

LEYES DE NEWTON

INTRODUCCIÓN

En el capítulo anterior, abordamos la descripción del movimiento de un cuerpo, describiéndolo en función de la **posición** (x), **tiempo** (t), **velocidad** (v) y **aceleración** (a), de tal forma que mediante el análisis decíamos hacia donde se mueve, como se mueve, y en un determinado instante de tiempo predecir en que posición se encontraba y con que velocidad se estaba moviendo. En tal descripción, no nos interesaba el porque se mueve el cuerpo.

En el presente capítulo abordaremos las causas del movimiento de los cuerpos, que es el objeto de estudio de la Dinámica.

Desde el punto de vista de la **Mecánica Clásica** que es el nivel que nos atañe, al igual que en Cinemática, restringiremos nuestro estudio considerando:

Cuerpos grandes como si fuesen partículas o corpúsculos (**modelo corpuscular**) y que además se mueven con velocidades mucho muy pequeñas en comparación con la velocidad de la luz ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$).

Las causas que originan el movimiento de los cuerpos **se deben a la interacción con otros cuerpos** que conforman su medio ambiente, entendiendo por medio ambiente todo aquello que lo rodea, como pueden ser: planos horizontales, verticales, inclinados, lisos o ásperos; cuerdas; poleas; la Tierra; el Sol, etc.

INTRODUCCIÓN

Dentro del medio ambiente, restringiremos aún más nuestro problema, considerando únicamente cuerpos cercanos ya que la interacción que ejercen los cuerpos lejanos como el Sol o la Luna es insignificante y se puede despreciar.

El problema a resolver es el siguiente:

Se nos proporciona un cuerpo del cual conocemos sus principales características como pueden ser: su masa, peso, densidad, volumen, composición, rugosidad, carga eléctrica, temperatura, etc.

Colocamos dicho cuerpo con una velocidad inicial en un medio ambiente adecuado, del cual tenemos una descripción completa, es decir, si hay un plano, si es liso o rugoso, si existen cuerdas, poleas, otros cuerpos, etc.

Las preguntas a contestar serían:

¿Por que se mueve?

¿Como se seguirá moviendo?

Dicho problema fue resuelto por Isaac Newton para una gran variedad de medios ambientes y fue cuando formuló las **Leyes de Movimiento** y la **Ley de la Gravitación Universal**.

INTRODUCCIÓN

Las interacciones entre cuerpos se deben a cuatro tipo de fuerzas llamadas fundamentales y son las que gobiernan el Universo:

- **Fuerza Gravitacional.**- Mantiene unidos a cuerpos grandes: Tierra - personas; Tierra – Luna; Tierra – Sol).
- **Fuerza Electromagnética.**- Mantiene unidas a las moléculas y a los átomos y en el interior de estos últimos, hace que los electrones permanezcan cerca del núcleo.
- **Fuerza Nuclear Fuerte.**- Actúa a nivel nuclear y hace que las partículas se mantengan juntas dentro del núcleo atómico.
- **Fuerza Nuclear Débil.**- Permite que algunos núcleos atómicos se separen produciendo radioactividad.

De acuerdo a su magnitud pueden ser:

- **Constantes**
- **Variables**

Por su aplicación en sistemas o procesos pueden ser:

- **Conservativas**
- **No conservativas o disipativas**

Por su forma de actuar o interacción con otros cuerpos pueden ser:

- **Por contacto**
- **A distancia**

INTRODUCCIÓN

En nuestro caso, abordaremos el concepto de **interacción** que es una **fuerza**, la cual se define en función de **la aceleración que experimenta un cuerpo patrón cuando es colocado en un medio ambiente**, estableciendo una técnica para asociarle una masa **m** a cualquier cuerpo, con el fin de entender que cuerpos de la misma naturaleza (por ejemplo madera), experimentan diferentes aceleraciones cuando son colocados en el mismo medio ambiente.

El concepto de **fuerza y masa** se encuentran íntimamente relacionados, asociamos a:

- la **fuerza** con jalar o empujar un objeto y,
- la **masa** como la resistencia que presenta un cuerpo a ser acelerado (movido).

Los tres conceptos: **fuerza, masa y aceleración**, se relacionan entre sí por medio de:

- las **Leyes de la Naturaleza o Leyes de Fuerzas** y
- las **Leyes de Movimiento o Leyes de Newton**,

Las primeras son aquéllas mediante las cuales se rigen los fenómenos naturales e involucran a las propiedades del cuerpo con su medio ambiente.

Las segundas, son las que rigen su comportamiento en ese medio ambiente.

INTRODUCCIÓN (LEYES DE FUERZA)

Dentro de las **Leyes de Fuerza** se tienen dos clasificaciones:

- *Interacción por contacto*
- *Interacción a distancia*

Interacción por contacto

- Fuerzas de fricción
 - **$F = mN$** Por ejemplo un cuerpo al ser arrastrado por una superficie áspera.
 - **$F = m\mathbf{v}$** Un cuerpo que se mueve en un medio que puede ser aire o un líquido.
- Fuerza elástica:
 - **$F = kx$** Por ejemplo al comprimir o estirar un resorte.
- Fuerza de sostén o soporte:
 - **$F = P/A$** Por ejemplo cuando aplicamos una presión sobre un objeto.

INTRODUCCIÓN (LEYES DE FUERZA)

Interacción a distancia

- Fuerza gravitacional (de atracción)
 - $\mathbf{F} = m\mathbf{a}_y$ Por ejemplo el peso de un cuerpo (donde $|\mathbf{a}_y| = g$)
 - $\mathbf{F} = (GmM/r^2) \mathbf{r}$ Por ejemplo la fuerza de atracción que existe entre el Sol y la Tierra.
- Fuerza Eléctrica (atracción o repulsión)
 - $\mathbf{F} = (kq_1q_2/r^2) \mathbf{r}$ Por ejemplo la fuerza de repulsión que existe entre dos electrones.
- Fuerza magnética (atracción o repulsión)
 - $\mathbf{F} = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$ Por ejemplo un electrón que se mueve en un campo magnético.

INTRODUCCIÓN (LEYES DE MOVIMIENTO)

De las **Leyes de Movimiento**, tenemos los siguientes enunciados de las Leyes de Newton:

Primera Ley.- Todo cuerpo permanecerá en su estado de reposo o de movimiento rectilíneo uniforme, a menos que se vea obligado a cambiar dicho estado por medio de un agente externo que le aplique una fuerza.

Segunda Ley.- La aceleración que experimenta un cuerpo es directamente proporcional a la fuerza resultante e inversamente proporcional su masa.

Tercera Ley.- A toda acción le corresponde una reacción de igual magnitud pero en sentido contrario.

INTRODUCCIÓN

En esta primera parte de la Dinámica de los cuerpos, consideraremos únicamente casos ideales en los cuales:

- No existe fricción,

adicionalmente, trabajaremos exclusivamente con

- Fuerzas constantes,

es decir que en todo el movimiento del cuerpo se esta ejerciendo una fuerza que no cambia de magnitud ni de dirección ni sentido.

En la segunda parte de la Dinámica se abordarán problemas que involucren fricción.

Posteriormente (Capítulo de Trabajo y Energía) se abordarán fuerzas tanto constantes como variables, así como conservativas y disipativas.

LEYES DE MOVIMIENTO

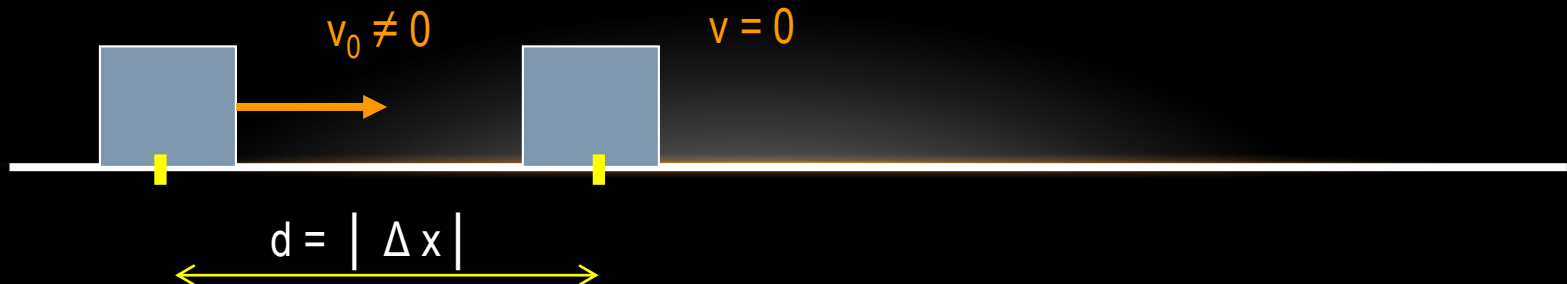
PRIMERA LEY DE NEWTON

En la época de Aristóteles, se creía firmemente que un cuerpo se encontraba en su estado natural cuando estaba en reposo, que se requería la presencia de un agente externo que lo impulsara y que cambiara dicho estado. Cuando el agente externo dejaba de impulsarlo, tendía nuevamente a su estado natural.

Dicha aseveración aún persiste en muchas personas en nuestros días, ya que por experiencia propia, cuando arrojamamos un objeto con una cierta velocidad inicial sobre un plano, el cuerpo recorre una distancia y se detiene.

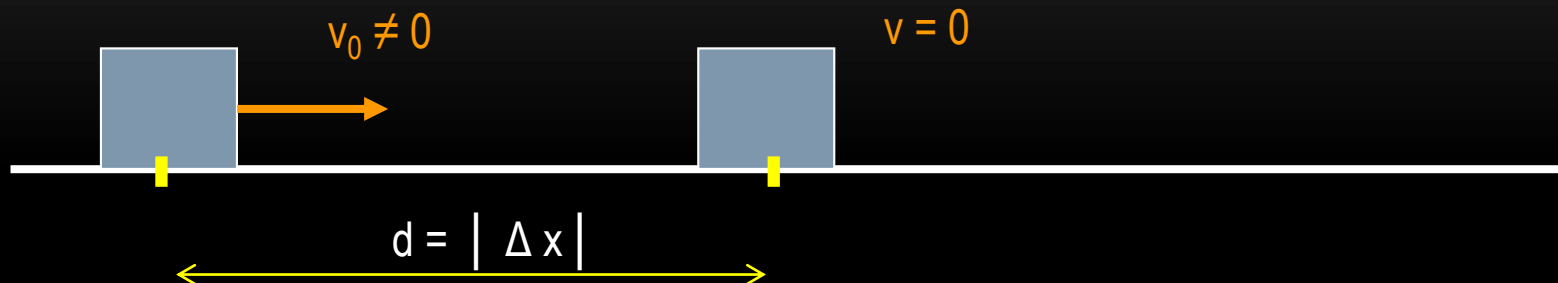
Nuestro error así como el de Aristóteles lo aclara Galileo con el siguiente experimento:

Él argumentaba que si arrojábamos un cuerpo sobre una superficie, este tendería al reposo después de recorrer una distancia.

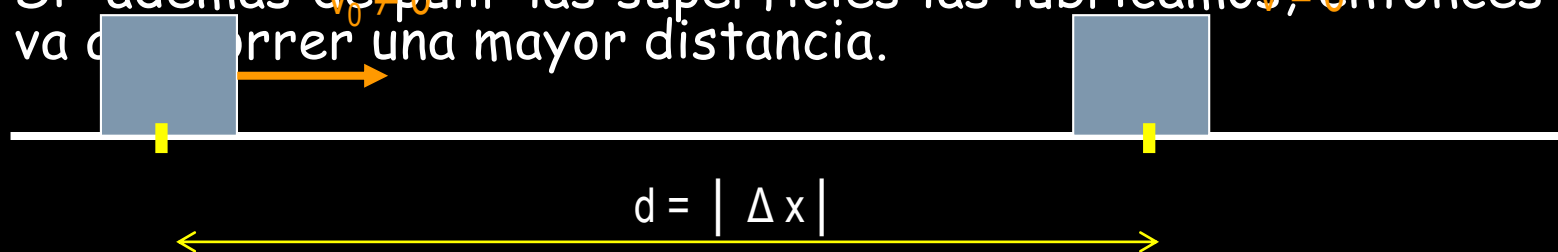


PRIMERA LEY DE NEWTON

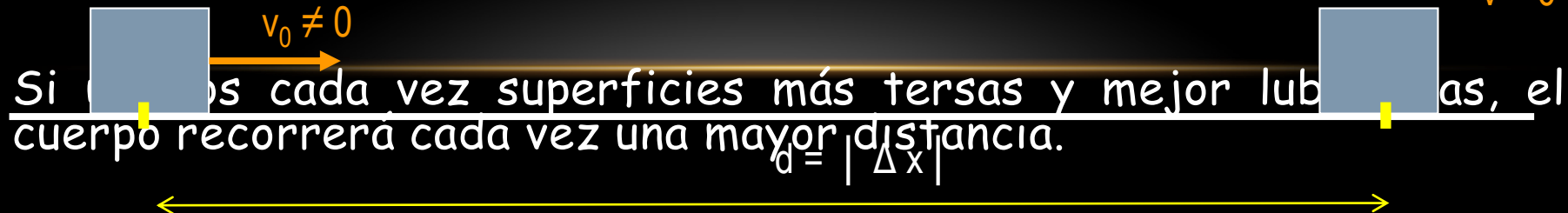
Pero que si arrojamos el cuerpo con la misma velocidad inicial una vez pulidas las superficies, el cuerpo recorrerá una mayor distancia.



Si además de pulir las superficies las lubricamos, entonces el cuerpo va a recorrer una mayor distancia.

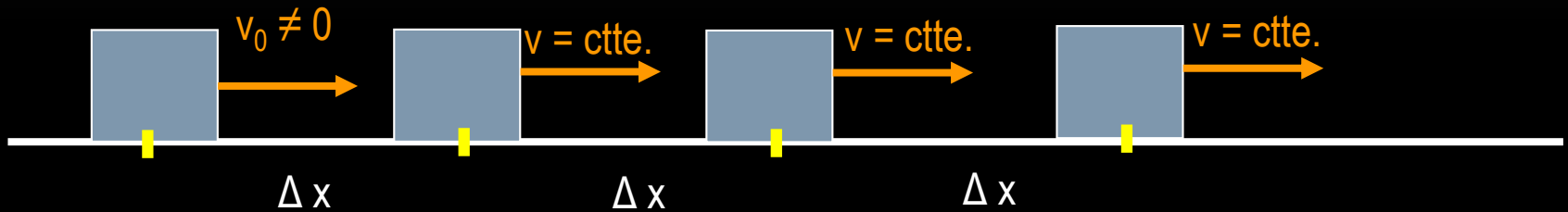


Si cada vez superficies más tersas y mejor lubricadas, el cuerpo recorrerá cada vez una mayor distancia.



PRIMERA LEY DE NEWTON

En el experimento anterior, se está eliminando la fricción, por lo que al evitarla completamente, lo que tendremos será un cuerpo que se mueve siempre con la misma velocidad con la que se arroja, es decir, será un movimiento rectilíneo uniforme.



El experimento, Galileo lo resumió en el siguiente enunciado:

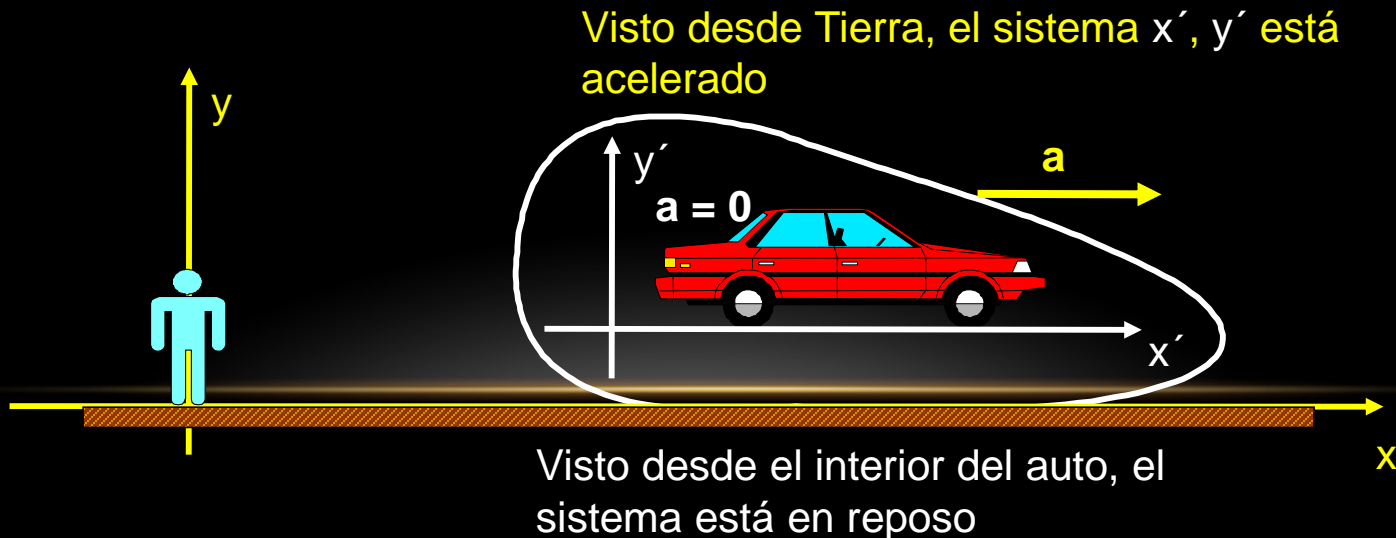
"Se requiere la presencia de un agente externo para cambiar la velocidad inicial de un cuerpo, pero no se requiere tal presencia para que el cuerpo continúe moviéndose con la misma velocidad".

Como se puede apreciar, aunque con otras palabras, la idea de Galileo se encuentra expresada en el enunciado de la Primera Ley de Newton.

PRIMERA LEY DE NEWTON

Si nos adelantamos e interpretamos la Segunda Ley, apreciaremos que si la fuerza neta sobre un cuerpo es cero, entonces no habrá aceleración y por consiguiente el cuerpo estará en reposo o moviéndose con velocidad constante.

Por tal razón, algunos autores atribuyen que la Primera Ley es un caso especial de la Segunda Ley, sin embargo, la Primera Ley se atribuye a marcos de referencia inerciales, ya que sobre un cuerpo puede estar obrando una fuerza neta diferente de cero y la aceleración del cuerpo es cero. Ejemplo de lo anterior, es cuando una persona parada en tierra observa como se acelera un automóvil, un pasajero que vaya en el auto, observará que todas las cosas en el interior del auto están en reposo con respecto a él.



SEGUNDA LEY DE NEWTON

Como se mencionó en la introducción, el concepto de Fuerza lo relacionamos con jalar o empujar un objeto, sin embargo **en Física se requiere una definición mas precisa y se define en función de la aceleración que experimenta un cuerpo patrón en un medio ambiente adecuado.**

Por convención Internacional, el cuerpo patrón es un cilindro de Platino e Iridio, al cual se le a asignado una masa de 1 kilogramo por lo que se le denomina *kilogramo patrón*. Como medio ambiente, se elige una superficie lisa (sin fricción) y un resorte de longitud L

Para determinar la Fuerza que el medio ambiente ejerce sobre el cuerpo, se realiza el siguiente experimento:

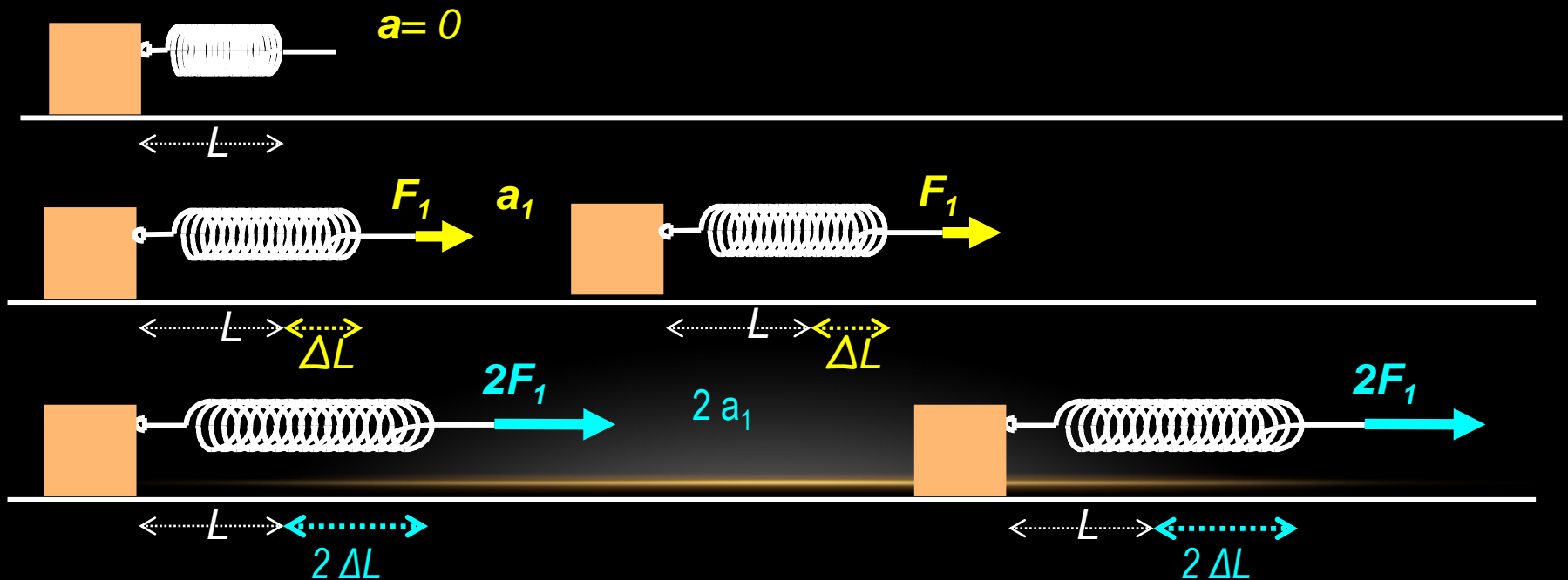
se ata el kilogramo patrón al resorte, colocándolo sobre la superficie horizontal y estirando el resorte una cierta longitud ΔL , de tal forma que el cuerpo empiece a moverse (al iniciar el movimiento, el cuerpo que estaba en reposo cambia de velocidad) acelerándose. Mientras mantengamos elongado el resorte la misma longitud ΔL , la aceleración, que podemos medir experimentalmente, será constante, su valor numérico dependerá de que tanto incrementemos la longitud del resorte.

SEGUNDA LEY DE NEWTON

Si para un cierto ΔL encontramos una aceleración de 1 m/s^2 , entonces decimos que el medio ambiente está ejerciendo una Fuerza de 1 Newton sobre el cuerpo patrón. Luego entonces, el Newton se define como:

$$1 \text{ Newton} = 1 \text{ Kg m/s}^2$$

Si continuamos con el experimento pero incrementando al doble la elongación del resorte, entonces la aceleración que encontraremos será el doble de la anterior y en este caso decimos que el medio ambiente está ejerciendo una fuerza de 2 Newton sobre el cuerpo.



SEGUNDA LEY DE NEWTON

Una conclusión de nuestro experimento es que:

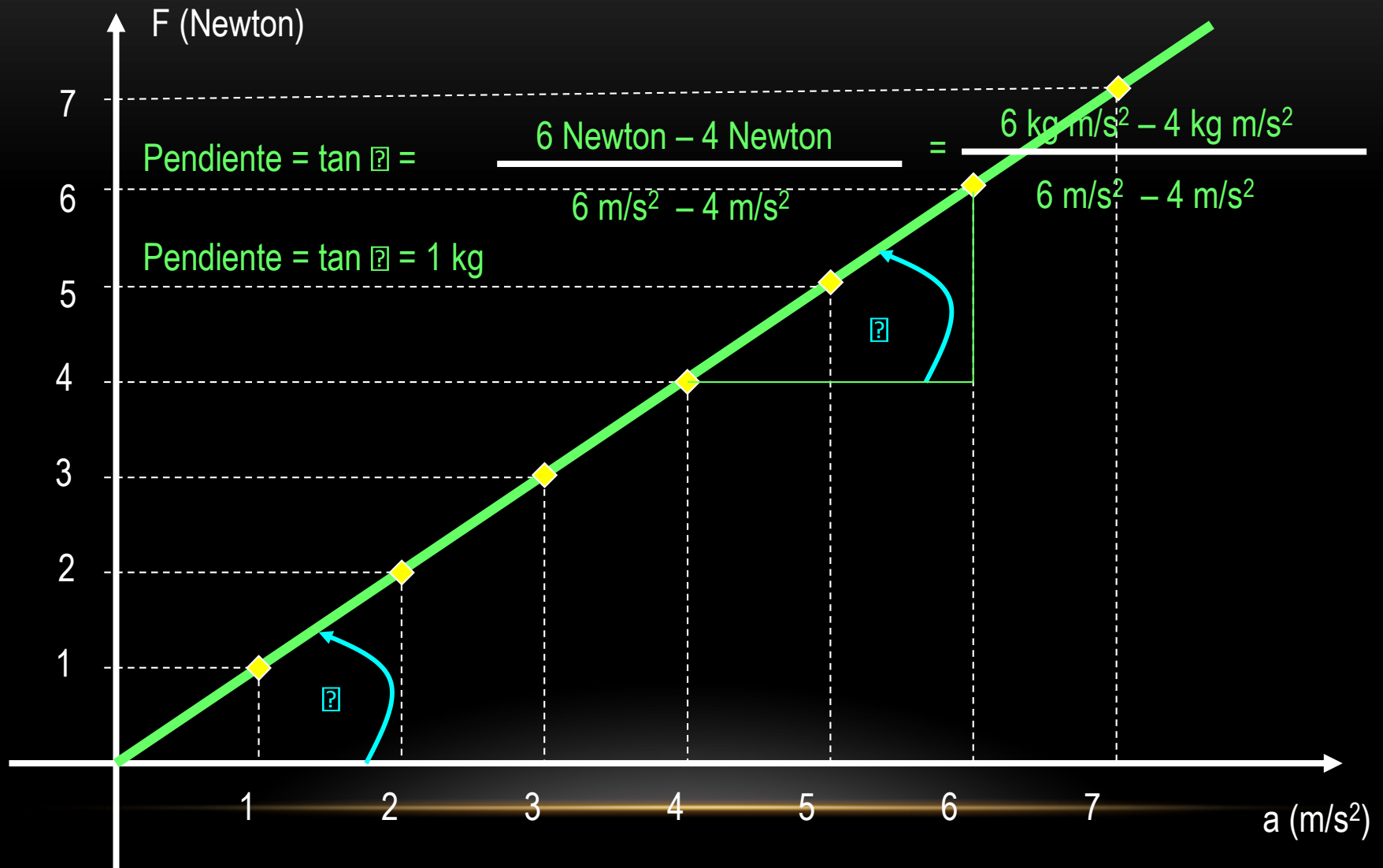
la Fuerza aplicada es directamente proporcional a la aceleración que experimenta el cuerpo.

Para determinar la constante de proporcionalidad, incrementamos nuevamente la elongación del resorte aplicando una mayor fuerza, de tal forma que al medir las aceleraciones encontramos los siguientes valores para las respectivas elongaciones del resorte:

Fuerza (Newton)	Elongación (cm)	Aceleración (m/s ²)
$F_1 = 1$	ΔL	$a_1 = 1$
$F_2 = 2$	$2 \Delta L$	$2 a_1 = 2$
$F_3 = 3$	$3 \Delta L$	$3 a_1 = 3$
$F_4 = 4$	$4 \Delta L$	$4 a_1 = 4$
$F_5 = 5$	$5 \Delta L$	$5 a_1 = 5$
$F_6 = 6$	$6 \Delta L$	$6 a_1 = 6$
$F_7 = 7$	$7 \Delta L$	$7 a_1 = 7$

SEGUNDA LEY DE NEWTON

Al graficar nuestros resultados de Fuerza contra aceleración, obtenemos:



SEGUNDA LEY DE NEWTON

Como se podrá observar en la gráfica, se obtiene una línea recta por lo que la proporción que guarda la fuerza aplicada con respecto a la aceleración del cuerpo patrón es una proporción lineal. Al calcular la pendiente de la recta y aplicar la definición de fuerza, se tiene que las unidades de la pendiente son unidades de masa, con lo cual se infiere que la constante de proporcionalidad es la masa del cuerpo patrón.

Luego entonces, *la Fuerza aplicada es directamente proporcional a la aceleración del cuerpo, siendo la constante de proporcionalidad la masa del mismo*, lo cual expresado en terminología matemática es:

$$F = m a$$

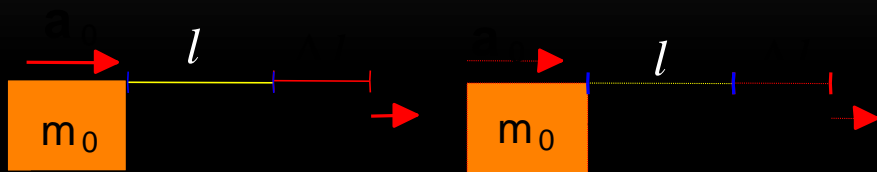
Dicha ecuación es la segunda Ley de Newton.

Ya que la aceleración es un vector que es multiplicado por un escalar como lo es la masa, se obtiene un nuevo vector que tiene la misma dirección y sentido que el vector que le da origen. Consecuentemente, la Fuerza es una cantidad vectorial, por lo que:

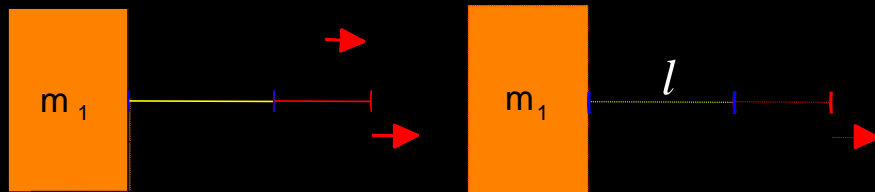
$$F = m a$$

SEGUNDA LEY DE NEWTON

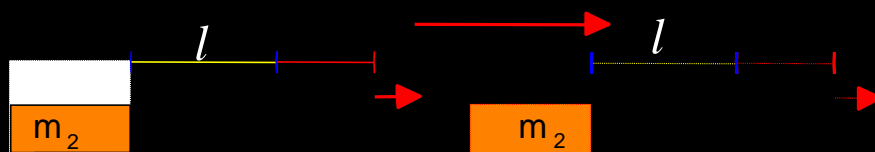
Debemos de realizar nuevos experimentos para conocer los efectos que una misma fuerza ejerce sobre otros cuerpos y comparar los resultados con el efecto que se producen en el kilogramo patrón. Para ello, escojamos otros cuerpos de masa desconocida y procedamos a realizar los experimentos.



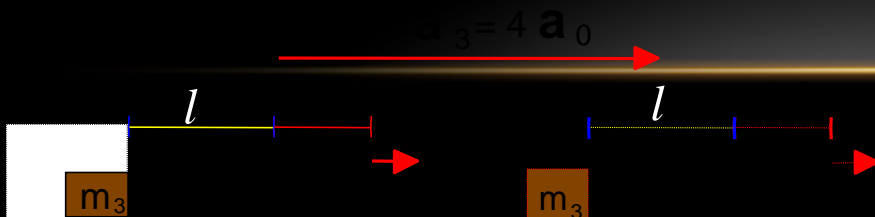
Se aplica una fuerza F al kilogramo patrón y experimentalmente determinamos la aceleración que experimenta, teniendo ésta un cierto valor a .



A otro cuerpo de masa desconocida M , le aplicamos la misma fuerza F , encontrando que su aceleración es la mitad de la que -- experimento el kilogramo patrón.



A un segundo cuerpo de masa desconocida m_2 le aplicamos la misma fuerza F , encontrando que su aceleración es el doble de la que experimentó el kilogramo patrón.



Por último, a un tercer cuerpo de masa desconocida m_3 le aplicamos la misma fuerza F encontrando que su aceleración es el cuadruple de la que experimentó el kilogramo patrón.

SEGUNDA LEY DE NEWTON

De lo anterior concluimos que: *cuerpos de la misma naturaleza experimentan diferentes aceleraciones cuando son colocados en un mismo medio ambiente.*

Así mismo, al tomar el cociente de la aceleración que experimenta el cuerpo patrón y la aceleración que experimenta cualquiera de las masas desconocidas, obtenemos:

$$\frac{\text{aceleración del cuerpo patrón}}{\text{aceleración de la masa desconocida}} = \frac{\text{masa desconocida}}{\text{masa patrón}} = \text{ctte.}$$

o bien:

$$\frac{a_0}{a} = \frac{m}{m_0} = \frac{m_1}{m_0} = \frac{m_2}{m_0} = \text{ctte.}$$

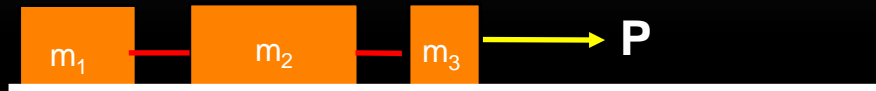
conocida como **relación de masas y aceleraciones**, con la cual podemos determinar la masa de cualquier cuerpo despejándola de la relación. Por ejemplo:

$$m_2 = \frac{a_0 m_0}{a_2} = \frac{1 \frac{m}{s^2} (1kg)}{4 \frac{m}{s^2}} = \frac{1}{4} kg$$

SEGUNDA LEY DE NEWTON

Cuando unimos varios cuerpos y aplicamos una fuerza, los cuerpos se moverán en conjunto, experimentando la misma aceleración, lo cual es equivalente a tener un solo cuerpo de masa

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + \dots$$



Equivale a:



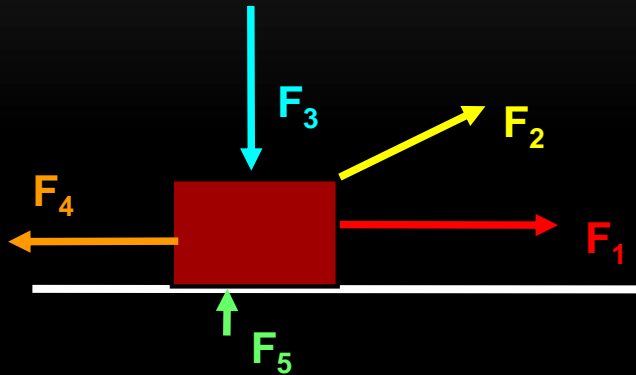
La aceleración se determina mediante:

$$a = \frac{P}{M} = \frac{P}{m_1 + m_2 + m_3}$$

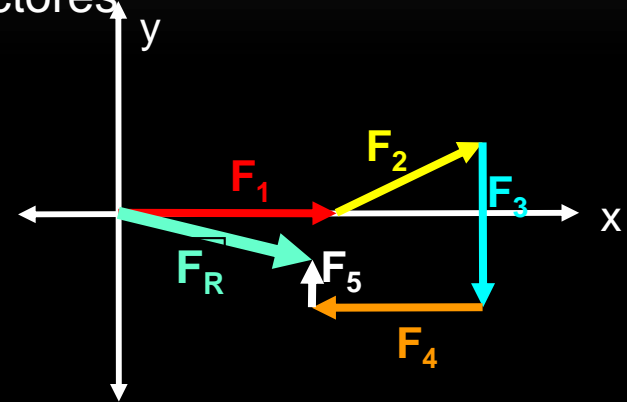
donde P es la magnitud de la fuerza aplicada.

SEGUNDA LEY DE NEWTON

Sin embargo, sobre un cuerpo pueden actuar varias fuerzas como por ejemplo:



Como son vectores, debemos sumarlos como vectores



donde F_R es la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre o **FUERZA RESULTANTE O NETA**, lo que equivale a que sobre el cuerpo estuviera actuando únicamente esta fuerza



SEGUNDA LEY DE NEWTON

Para determinar analíticamente a la fuerza resultante, debemos descomponer a las fuerzas individuales en sus componentes rectangulares sobre los ejes, de tal forma que:

Donde:

$$F_r = |\mathbf{F}_r| = \left| \vec{F} \right| = \sqrt{\left(\sum F_x \right)^2 + \left(\sum F_y \right)^2}$$

$$\sum F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} + F_{5x}$$

$$\sum F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} + F_{5y}$$

Además, la segunda ley expresada en forma de componentes es:

$$\sum F_x = ma_x$$

$$\sum F_y = ma_y$$

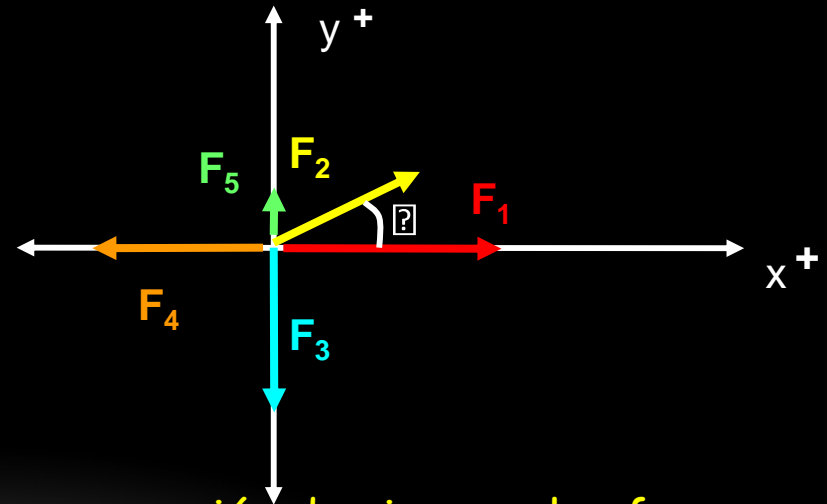
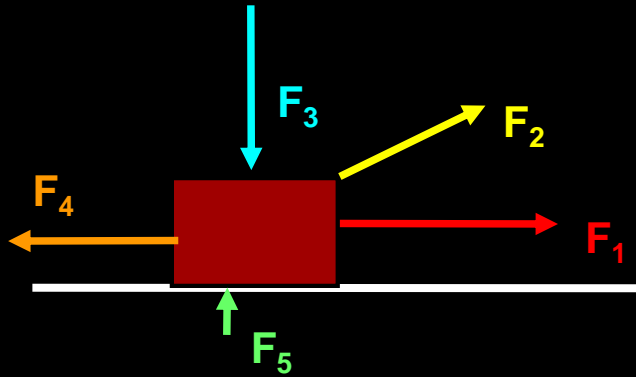
En la cual la aceleración del cuerpo se determina mediante cálculos y **en algunos casos mediante la observación del cuerpo**, como por ejemplo, cuando se va deslizando sobre el piso (eje x), la aceleración en el eje vertical es cero ($a_y = 0$).

SEGUNDA LEY DE NEWTON

Al resolver problemas que involucren fuerzas, es conveniente realizar **Diagramas de Cuerpo Libre o aislado** en los cuales consideramos al cuerpo como si fuese un punto situado en el origen de coordenadas, colocando ahí todas las fuerzas que actúan sobre él así como los respectivos ángulos que dichas fuerzas forman con respecto a un determinado eje, esto último para poder calcular las componentes de dichas fuerzas sobre los ejes.

Del ejemplo anterior, el Diagrama de Cuerpo Libre es:

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE



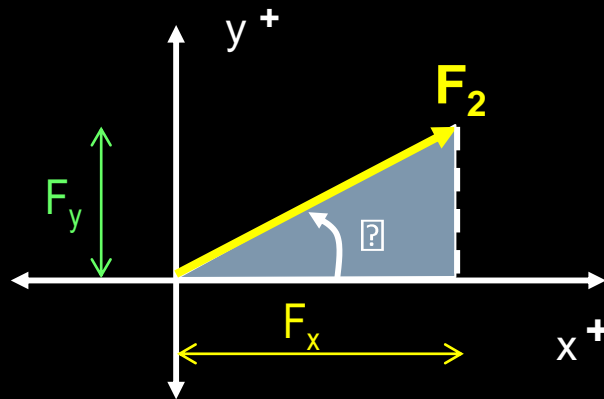
Se elige un sistema de referencia con su convención de signos y las fuerzas se colocan en él y saliendo del origen

SEGUNDA LEY DE NEWTON

Para determinar las componentes, se procede como en el tema de vectores, teniendo cuidado al seleccionar el ángulo, ya que en algunos problemas el ángulo se mide con respecto al eje de las y 's, por lo que las funciones trigonométricas que relacionan a las componentes con la magnitud del vector y el ángulo cambian.

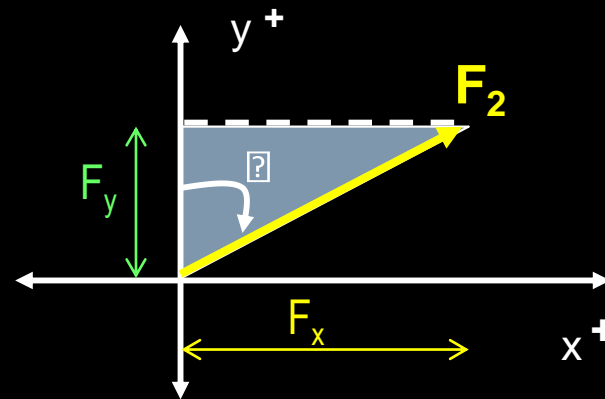
Por tal motivo se recomienda siempre formar el triángulo rectángulo y a él aplicarle las funciones $\text{sen } \theta$, $\text{cos } \theta$ y $\text{tan } \theta$

Aplicación de las funciones de acuerdo al ángulo



$$F_x = |F_2| \cos \theta$$

$$F_y = |F_2| \text{sen } \theta$$



$$F_x = |F_2| \text{sen } \theta$$

$$F_y = |F_2| \cos \theta$$

TERCERA LEY DE NEWTON

Todas las fuerzas que actúan sobre un cuerpo, provienen de la interacción mutua del mismo con el medio ambiente, debido a que es mutua, **una fuerza sola o aislada es una imposibilidad física**, **las fuerzas actúan por parejas**, una de ellas es la que ejerce el cuerpo sobre el medio ambiente y la otra es la que el medio ambiente ejerce sobre el cuerpo (para efecto de aplicaciones, ésta es la que nos interesa).

A una de ellas (cualquiera) se le llama **Fuerza de Acción** en tanto que a la otra **Fuerza de Reacción**.

Ambas **son de igual magnitud pero en sentido diferente**, se encuentran sobre la línea de acción que une a los dos cuerpos **y lo importante de la tercera ley es que actúan sobre cuerpos diferentes**.

Si actuasen sobre el mismo cuerpo, al aplicar la segunda ley tendríamos que ambas se anularían y consecuentemente no tendríamos movimiento (aceleración).

Para ilustrar lo anterior, imaginemos que nos recargamos con la palma de la mano sobre un muro. El muro nos detiene y evita que caigamos, esa es la fuerza que el muro ejerce **sobre nosotros**, la otra fuerza, es la que nosotros ejercemos **sobre el muro**, si éste no estuviese bien pegado, al aplicarle una mayor fuerza podríamos derribarlo.

TERCERA LEY DE NEWTON

Otro ejemplo es cuando queremos cerrar una puerta de un golpe utilizando nuestro pie descalzo. Nosotros ejercemos una fuerza sobre la puerta y ésta hace que se cierre (acción); la puerta a su vez ejerce una fuerza sobre nosotros, la cual experimentamos mediante el dolor del pie (reacción).

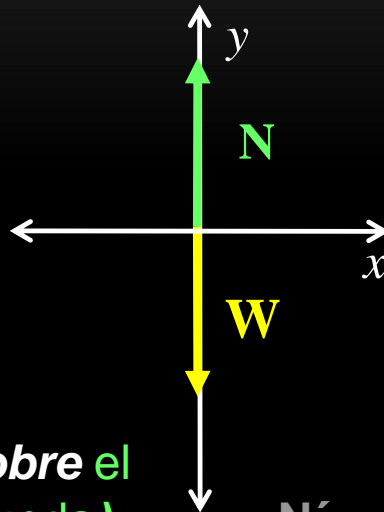
Para que nos quede claro el concepto, analicemos el siguiente ejemplo donde se tiene un bloque de masa m colocado sobre un piso horizontal apoyado en ladrillos.

En éste ejemplo tenemos dos cuerpos; uno es el bloque y el otro el piso, hagamos el análisis para ambos cuerpos utilizando diagramas de cuerpo libre:

TERCERA LEY DE NEWTON



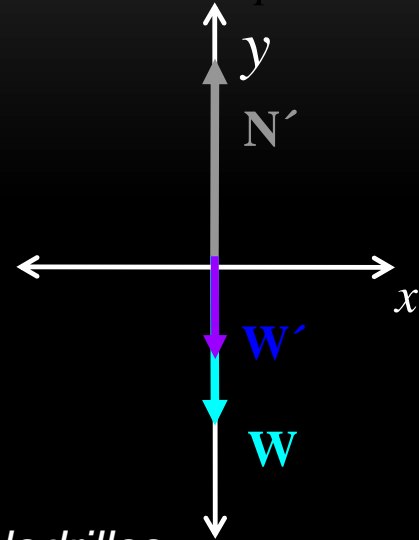
Sobre el bloque



N = Fuerza que **el piso** ejerce sobre el bloque (evita que el bloque se hunda)

W = Fuerza que **la Tierra** ejerce sobre el bloque, (lo que llamamos peso)

Sobre el piso



N' = Fuerza que los ladrillos ejercen sobre el piso

W' = Fuerza que la Tierra ejerce sobre El Piso (peso del piso)

W = Fuerza que el **bloque** ejerce sobre el **Piso** (peso del bloque)

Como el sistema está en reposo, las fuerzas que apuntan hacia arriba deben de ser iguales a las que apuntan hacia abajo

$$N = W \quad ; \quad N' = W' + W$$

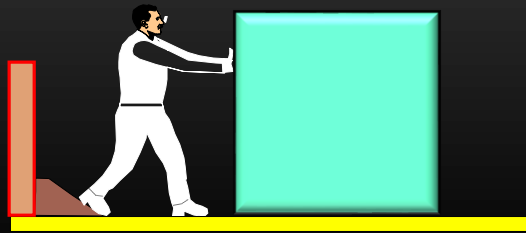
TERCERA LEY DE NEWTON

Si deseamos encontrar por parejas a las fuerzas (acción y reacción), debemos expresarlas de la siguiente forma:

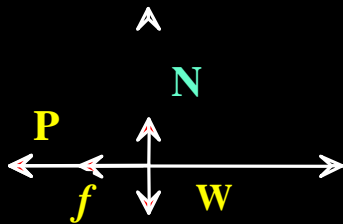
Acción	Reacción
$\mathbf{W} = \mathbf{F}_{\text{Tierra / bloque}}$	$\mathbf{F}_{\text{bloque / Tierra}}$
$\mathbf{N} = \mathbf{F}_{\text{piso / bloque}}$	$\mathbf{F}_{\text{bloque / piso}}$
$\mathbf{W}' = \mathbf{F}_{\text{Tierra / piso}}$	$\mathbf{F}_{\text{piso / Tierra}}$
$\mathbf{N}' = \mathbf{F}_{\text{ladrillos / piso}}$	$\mathbf{F}_{\text{piso / ladrillos}}$

Si se observa bien, al encontrar una de las fuerzas, la otra surge inmediatamente, lo único que tenemos que hacer es invertir los subíndices. Por ejemplo: $\mathbf{F}_{\text{T/b}}$ (acción), $\mathbf{F}_{\text{b/T}}$ (reacción).

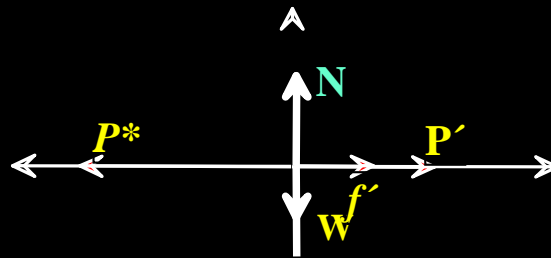
TERCERA LEY DE NEWTON



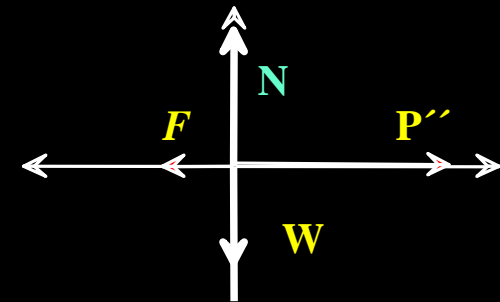
Sobre la cuña



Sobre el hombre



Sobre la caja



N, W Son las fuerzas Normales y Pesos de los cuerpos.

P Es la fuerza que el hombre ejerce sobre la cuña.

P' Es la fuerza que la cuña ejerce sobre el hombre.

P'' Es la fuerza que el hombre ejerce sobre la caja, y es la suma de $P' + f'$

f Es la fuerza que el hombre ejerce sobre la Tierra (fuerza de rozamiento), el hombre empuja a la Tierra hacia atrás

Es la fuerza que la Tierra ejerce sobre el hombre, es la contraparte de la anterior y es la que nos hace avanzar o caminar

Es la fuerza de rozamiento entre la caja y la Tierra, ésta fuerza puede ser menor que f

Es la fuerza que la caja ejerce sobre el hombre, es la contraparte de P''

TERCERA LEY DE NEWTON

La fuerza normal recibe ese nombre debido a que es normal o perpendicular a las superficies en contacto.

El peso siempre es vertical y dirigido hacia el centro de la Tierra.

La fuerza de rozamiento es paralela a las superficies en contacto y siempre se oponen al movimiento (o bien son contrarias a la dirección del movimiento).