



FICH

UNL

UNIVERSIDAD NACIONAL
DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería
y Ciencias Hídricas

FÍSICA I

Notas de dinámica: Leyes de Newton

Version v.2

FICH – UNL

2021

DINÁMICA

La **cinemática** es el estudio del movimiento de los cuerpos sin importar la causa de ellos. La **dinámica** se encarga de analizar cuales son las causas de dichos movimientos. Vamos a ver que la dinámica y la cinemática están fuertemente relacionadas como **causa-efecto**.

Isaac Newton (1642-1727) tomó los desarrollos previos de Galileo, quien ya había avanzado sobre conceptos como la aceleración y la velocidad, pero no había alcanzado el formalismo matemático. Newton generó las herramientas del cálculo, necesarias para relacionar posición, velocidad y aceleración y luego avanzó en el concepto de **fuerza** como fuente del movimiento. Eso le permitió enunciar las tres leyes de la dinámica.



DINÁMICA



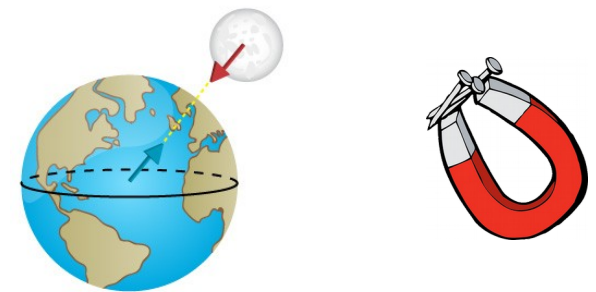
Pero, ¿que es una **fuerza**?: es una interacción entre dos cuerpos. Esta definición puede parecer demasiado general, pero debe serlo para cubrir el amplio abanico de fuerzas que existen en la naturaleza.

Las fuerzas pueden clasificarse como **fuerzas de contacto y de distancia**.

Ejemplos de **fuerzas de contacto** pueden ser patear una pelota o empujar una caja



Ejemplos de **fuerzas de distancia** son la atracción gravitatoria, las fuerzas eléctricas entre cuerpos cargados, o la fuerza magnética sobre cargas en movimiento. A pesar de que a veces puede parecer que la fuerza aparece por la acción de un “campo”, este campo (gravitatorio, magnético, eléctrico) es creado por la presencia de un cuerpo.



DINÁMICA - 1° ley del movimiento



Ahora que sabemos la definición de fuerza, pensemos en cuál es su efecto. Intuitivamente sabemos que el movimiento de un cuerpo está directamente relacionado con las fuerzas que actúan sobre él. Claramente, si empujamos la caja hacia la derecha es esperable que se mueva en esa dirección y no en la contraria. Pero debemos entender que el movimiento y la aceleración no necesariamente van en la misma dirección.

Newton enunció tres leyes del movimiento que relacionan causa y efecto. La primera ley es un caso particular de la segunda. Pero empecemos por la primera:

1° ley: Un cuerpo sobre el que no actúa una fuerza neta no está acelerado

El concepto es simple, pero debe entenderse qué, decir que un cuerpo no está acelerado no es decir que no está en movimiento. La aceleración es el cambio de la velocidad. Luego, la ausencia de una fuerza neta equivale a decir que la velocidad no cambiará. En definitiva, en ausencia de fuerza neta, un cuerpo que está en reposo (velocidad nula) permanecerá en reposo. Un cuerpo que se mueve a velocidad constante continuará moviéndose de la misma forma.

DINÁMICA - 1º ley del movimiento



Podemos expresar la primera ley en términos de una ecuación muy simple:

$$\vec{F}_{neta} = \sum \vec{F} = 0 \quad \longrightarrow \quad \text{Aceleración nula}$$

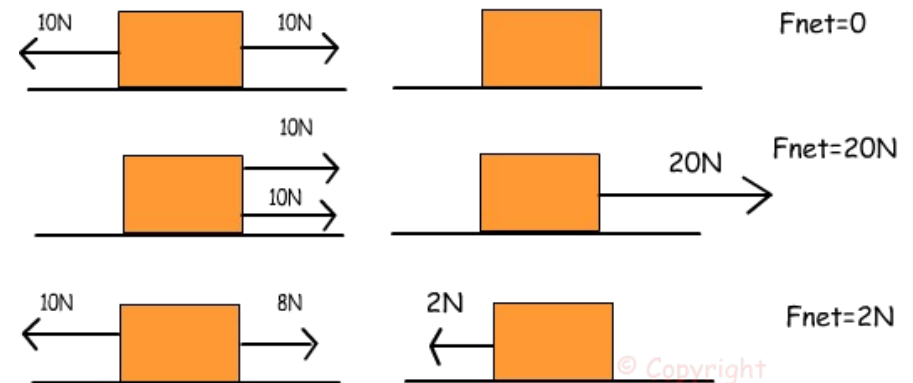
Pero como toda ecuación vectorial, debemos trabajarla en términos de sus componentes en un sistema de referencia. Si elegimos el sistema cartesiano x,y,z nos queda:

$$F_{x\,neta} = \sum F_x = 0$$

$$F_{y\,neta} = \sum F_y = 0$$

$$F_{z\,neta} = \sum F_z = 0$$

Veamos, unos ejemplos. En el primer caso la fuerza neta es nula. Se espera entonces que el cuerpo permanezca en reposo si lo estaba, o continúe con velocidad constante si la tenía. Los otros dos casos si tienen fuerza neta, en un caso hacia la derecha y en el otro hacia la izquierda. Se espera entonces que estos últimos si estén acelerados.



La primera ley es clara. Un cuerpo permanece en reposo o a velocidad constante (entiéndase velocidad como un vector y no solo una magnitud) si la sumatoria de fuerzas es igual a cero.

DINÁMICA- 2° ley del movimiento



Esto nos lleva a enunciar la **segunda ley**:

2° ley: *Un cuerpo sobre el que actúa una fuerza neta se acelera con una aceleración igual a la fuerza dividida por su masa.*

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

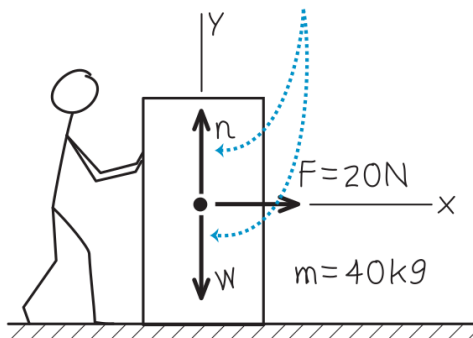
Esta ecuación vectorial debe ser tratada en sus componentes. Si tomamos un sistema cartesiano x, y, z :

$$\sum F_x = m a_x$$

$$\sum F_y = m a_y$$

$$\sum F_z = m a_z$$

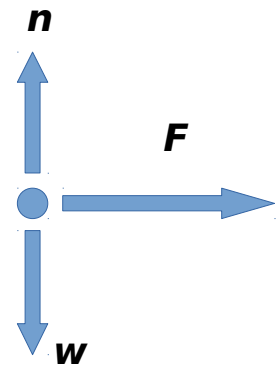
Pero antes de aplicar esta ecuación debemos dibujar correctamente TODAS las fuerzas que actúan sobre el cuerpo en un diagrama que se denomina **diagrama de cuerpo libre o aislado**. Esta etapa es fundamental.



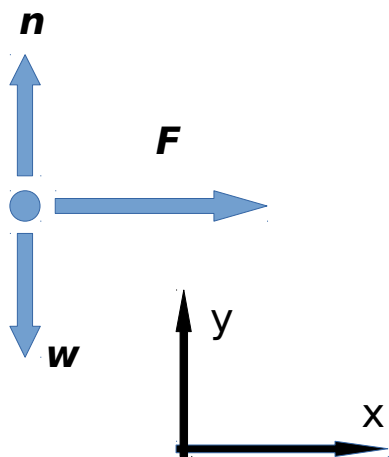
Vemos un ejemplo sencillo:

Una persona empuja una caja de masa $m = 40 \text{ kg}$ apoyada sobre el piso mediante una fuerza $F = 20 \text{ N}$. La caja está sometida a la acción de la atracción gravitatoria, la cual se manifiesta mediante la fuerza w . Al mismo tiempo, el piso le hace una fuerza n hacia arriba. En este problema simple no hay más fuerzas involucradas ya que no hay fricción entre la caja y el piso.

Diagrama de cuerpo libre (DCL)



DINÁMICA- 2° ley del movimiento



Veamos qué son cada una de las fuerzas:

F es la fuerza que realiza la persona

W es la fuerza peso, la cual es resultado de la atracción gravitatoria entre la caja y la tierra. Esta fuerza, la calcularemos como:

$$\vec{w} = m \vec{g}$$

donde **g** es la aceleración gravitatoria.

n es la fuerza normal que impone el suelo a la caja.

F y **n** son fuerzas de contacto. **W** es una fuerza de distancia.

Apliquemos la segunda ley al problema de la caja, primero en el **eje x** de acuerdo al sistema coordenado indicado en la figura:

$$\sum F_x = m a_x \rightarrow a_x = \frac{\sum F_x}{m}$$

$$a_x = \frac{20 \text{ N}}{40 \text{ kg}} = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

En el **eje y**, tengo dos fuerzas, pero la caja no está acelerada en esa dirección. Luego, la 2° ley se convierte en la primera:

$$\sum F_y = n - w = 0$$

$$n = w = m g = 40 \text{ kg} 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}}^2 = 392 \text{ N}$$



Repasando,

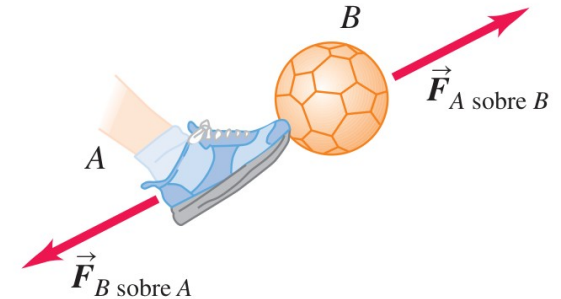
- 1- Las ecuaciones de dinámica son vectoriales pero se resuelven en componentes según un sistema coordenado
- 2- El sistema coordenado es lo primero que debe definirse
- 3- Cuando en un eje coordenado el cuerpo no se acelera, entonces aplico la primera ley.
- 4- Para resolver la dinámica de un cuerpo es necesario aislarlo del entorno considerando todas las fuerzas que lo afectan, sean de contacto o de distancia.

DINÁMICA - 3° ley del movimiento



La **tercera ley de Newton** no tiene una fórmula asociada pero tiene gran importancia para entender y luego resolver problemas en física:

3° ley: si el cuerpo A ejerce una fuerza \mathbf{F}_{AB} ($F_{A \text{ sobre } B}$) sobre el cuerpo B, entonces, B ejerce una fuerza \mathbf{F}_{BA} ($F_{B \text{ sobre } A}$) sobre A. Estas dos fuerzas tienen la misma magnitud pero dirección opuesta. Además \mathbf{F}_{AB} actúa sobre B y \mathbf{F}_{BA} actúa sobre A.



La ley de acción y reacción está presente en todas las interacciones entre cuerpos. Es decir que, a cada acción corresponde una reacción.

Cuando se patea una pelota, la acción (patear) se efectúa sobre la pelota y la reacción es una fuerza igual y contraria, que aplica la pelota sobre el pie. Otros ejemplos son un arma reculando al disparar, o la propulsión de un cohete que eyecta gas a alta velocidad y recibe una reacción de ese gas impulsándolo.



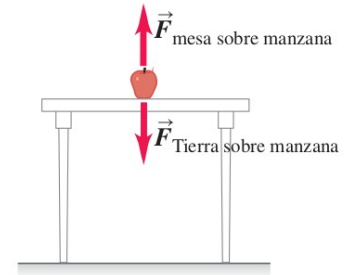
DINÁMICA - 3° ley del movimiento



Es decir que podemos hablar de pares de fuerzas acción-reacción. Veamos el caso de una manzana sobre una mesa.

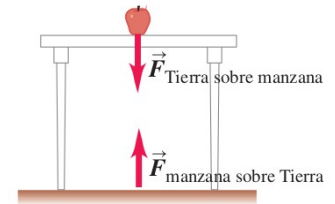
Existen dos fuerzas sobre la manzana:

La fuerza peso ($F_{\text{Tierra sobre manzana}}$) hacia abajo y la fuerza normal $F_{\text{mesa sobre manzana}}$ que efectúa la mesa. Estas dos fuerzas deben ser iguales ya que la manzana no está acelerada. Pero estas dos fuerzas no son un par acción-reacción ya que ambas están sobre el mismo cuerpo.

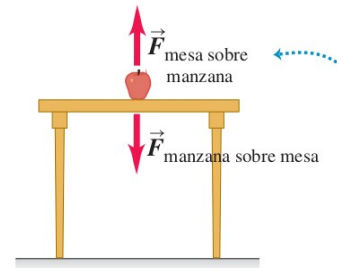


Los pares son los siguientes:

La fuerza peso $F_{\text{Tierra sobre manzana}}$ tiene su par en el la tierra (se considera concentrada en el centro de la tierra, pero eso lo veremos más adelante), ya que la fuerza de gravedad se establece entre la manzana y la tierra.



La fuerza normal $F_{\text{mesa sobre manzana}}$ sobre la manzana tiene su reacción sobre la mesa.

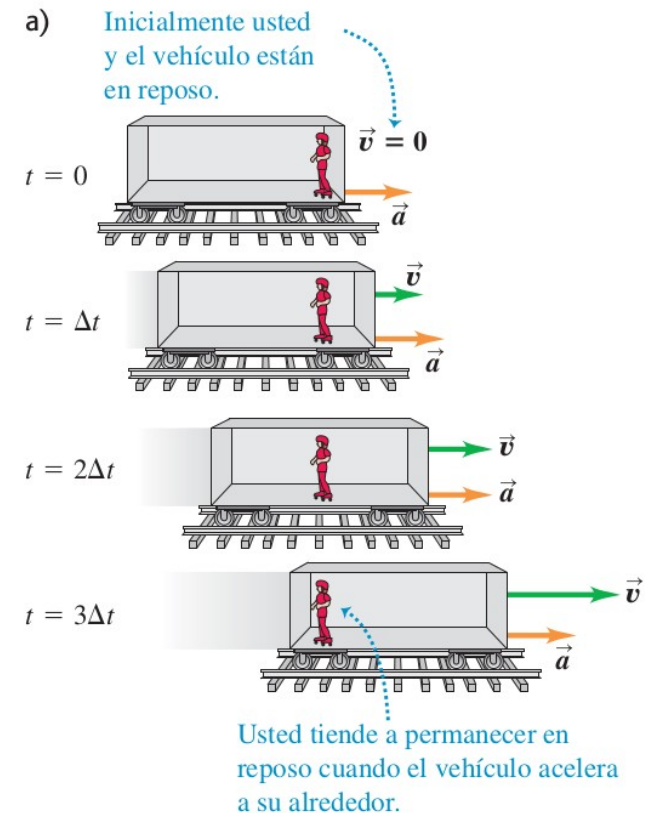


DINÁMICA – sistemas inerciales



Un sistema inercial es un marco de referencia que no está acelerado, aunque puede tener velocidad constante ($v=0$ es solo un caso particular). En los sistemas inerciales se cumple qué para que exista una aceleración debe existir una fuerza que la produzca.

Analicemos el caso de un patinador P que se encuentra encerrado en un vagón de tren transparente. Supongamos que en el extremo izquierdo del vagón hay un observador (O_A) quieto respecto al vagón y mirando al patinador. Fuera del tren hay otro observador (O_B) parado inmóvil en el suelo. En $t=0$ el vagón está detenido, al igual que el patinador y los dos observadores. En $t=\Delta t$ el vagón comienza a acelerar con a hacia la derecha aumentando su velocidad. Pero el patinador no puede acelerarse debido a que el tren no puede transmitirle ninguna fuerza horizontal a través de los patines. Sin embargo, el observador O_A ve que el patinador se está acercando hacia él con aceleración a . Aparece entonces una incongruencia o violación de la segunda ley de Newton: el observador O_A ve un cuerpo acelerarse sin que exista fuerza aplicada.



DINÁMICA - sistemas inerciales

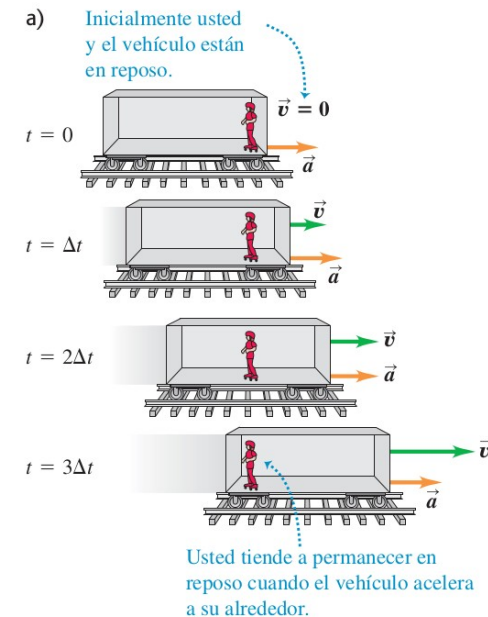


Por otro lado, el observador \mathbf{O}_B ve que el tren se está acelerando, pero el patinador permanece quieto respecto al suelo, lo cual es razonable porque no hay fuerzas aplicadas sobre el patinador. Esto sí verifica las leyes de Newton, ya que al no haber fuerza aplicada no debe haber una aceleración y, sí el cuerpo estaba inicialmente quieto en $t=0$ entonces permanecerá quieto en todo momento.

Ahora podemos repasar la definición de sistema inercial. El observador \mathbf{O}_A está en un sistema acelerado o no inercial, montado sobre el vagón. Por ello, al querer aplicar las leyes de Newton se encuentra con que estas no logran explicar lo que observa.

Por otro lado, el observador \mathbf{O}_B en tierra no está acelerado y él sí verifica que al no haber fuerza aplicada sobre el patinador tampoco hay una aceleración sobre el mismo ya que no cambia su posición respecto al piso.

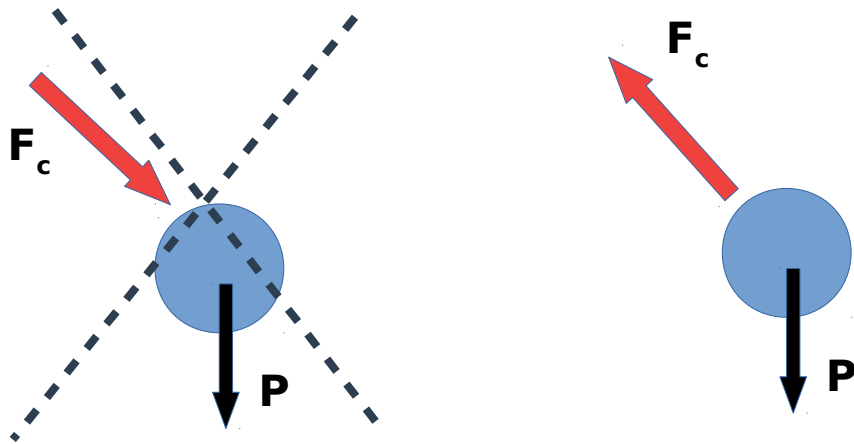
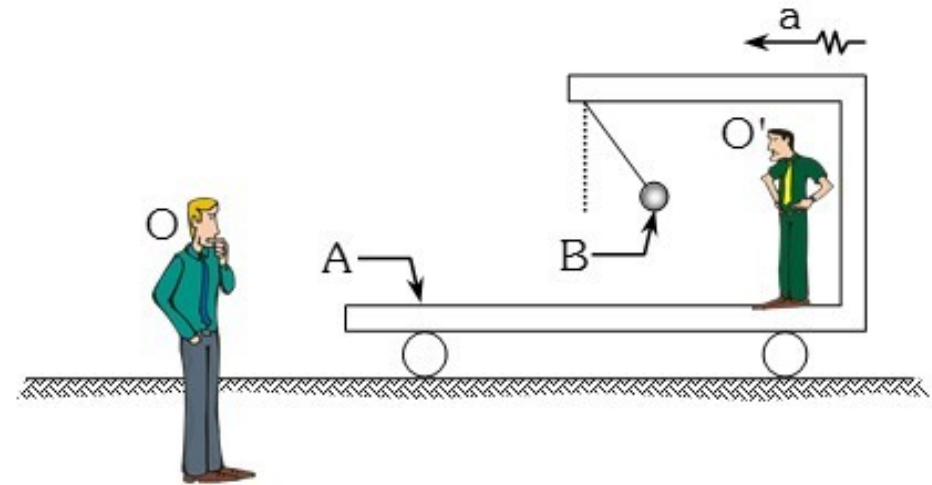
Las leyes de Newton solo se cumplen cuando son aplicadas en marcos de referencia inerciales, es decir con $a = 0$. En definitiva, la aceleración del objeto en estudio debe medirse desde un marco de referencia fijo o moviéndose a velocidad constante, pero no acelerado.



DINÁMICA - sistemas inerciales



Acá tenemos un problema similar: un observador O' está montado sobre un carro donde hay una bola colgada de una cuerda. Repentinamente el carro se acelera hacia la izquierda y el observador O' ve que la bola se acerca hacia él. Pero, ¿esto es posible desde el punto de vista de las Leyes de Newton?. La cuerda no puede empujar a la bola hacia la derecha, solo puede hacerlo hacia la izquierda.



Tarea: Si la masa de la bola es 1 kg y la aceleración del carro es de 2 m/s^2 .

1- ¿Cual será el ángulo que forma la cuerda con la vertical?

2- Y si el carro se mueve a velocidad constante, ¿cuál será el ángulo?

Ayuda: asuma que la bola tiene la misma aceleración que el carro

DINÁMICA – Problema 1



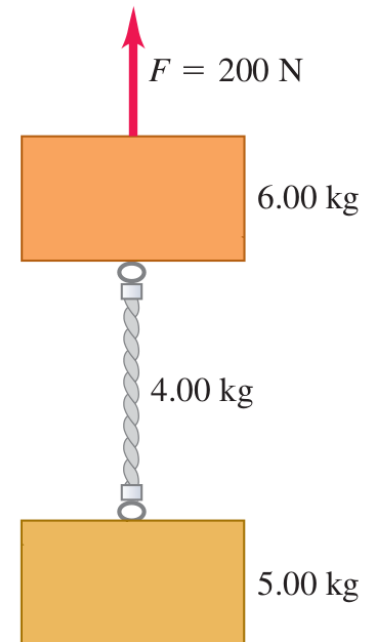
Resolvamos un problema para ver cuanto entendemos....

Problema 1: Los dos bloques de la figura están unidos por una cuerda gruesa uniforme de 4 kg de masa. Se aplica una fuerza de 200 N hacia arriba, como se indica.

a) Dibuje un diagrama de cuerpo libre para el bloque de 6 kg, otro para la cuerda de 4 kg, y otro para el bloque de 5 kg. Para cada fuerza, indique qué cuerpo la ejerce y los pares acción reacción.

b) ¿Calcule la aceleración que tiene cada cuerpo?

c) ¿Qué tensión, es decir que fuerza, hay en la parte superior de la cuerda?

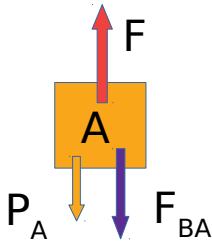


DINÁMICA – Problema 1

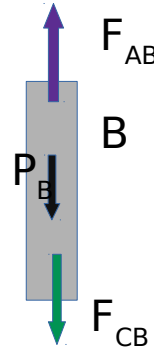


a) Empecemos por los diagramas llamando A al bloque de 6 kg, B a la cuerda y C al bloque de 5 kg:

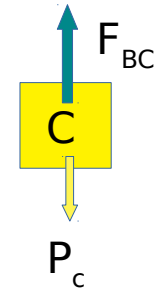
El diagrama del bloque A es:



El diagrama de la cuerda B es:



El diagrama del bloque C es:

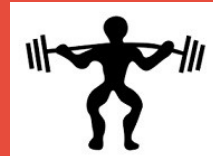


Los pares acción-reacción son:

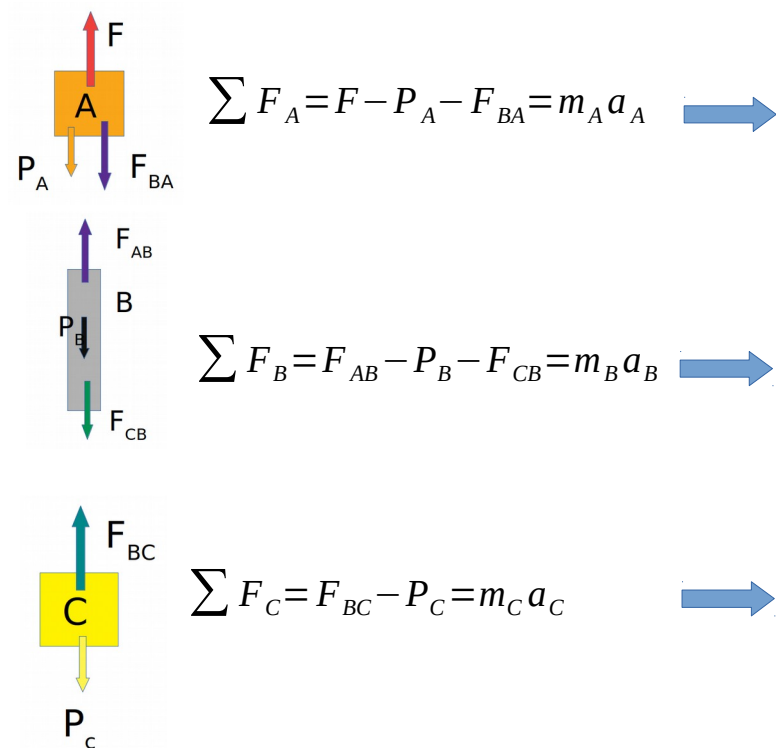
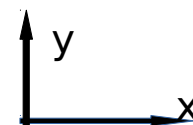
- 1- F con F' . F' es una fuerza que tira del bloque A. Por ejemplo una persona, un aparato, etc.
- 2- P_A , P_B y P_C son las fuerzas peso y sus reacciones son tres fuerzas que están en la tierra.
- 3- F_{BA} en el bloque A con F_{AB} en el bloque B
- 4- F_{CB} en el bloque B con F_{BC} en el bloque C

Nota: recuerde que ningún par de fuerzas acción-reacción están sobre el mismo cuerpo

DINÁMICA - Problema 1



b) Calculemos la aceleración de cada cuerpo. Acá tenemos dos opciones, o bien plantear un sistema de ecuaciones, una para cada cuerpo, o bien pensar que todos los cuerpos van a acelerarse con igual aceleración a . Esto último es solo válido si la cuerda es inextensible, con lo cual todos los cuerpos se moverán juntos. Definamos un sistema coordenado, por ejemplo el eje y positivo hacia arriba. Las ecuaciones quedan:



Usemos ahora la tercera ley que dice que las fuerzas de acción y reacción tienen igual magnitud, Y los pares de fuerzas definidos Antes:

$$|F_{BA}| = |F_{AB}| = F_{A-B}$$

$$|F_{CB}| = |F_{BC}| = F_{B-C}$$

$$a_A = a_B = a_C = a$$

$$P_A = m_A g$$

$$P_B = m_B g$$

$$P_C = m_C g$$

$$\rightarrow 1) F - m_A g - F_{A-B} = m_A a$$

$$\rightarrow 2) F_{A-B} - m_B g - F_{B-C} = m_B a$$

$$\rightarrow 3) F_{B-C} - m_C g = m_C a$$

Tenemos 3 ecuaciones con 3 incógnitas:

a , F_{A-B} y F_{B-C}

Para resolverlo podemos despejar F_{A-B} de la ec. 1 y F_{B-C} de la ec. 3 y reemplazar en la ec. 2.

$$F - m_A(g+a) - m_B g - m_C(g+a) = m_B a$$

$$F - g(m_A + m_B + m_C) = a(m_A + m_B + m_C)$$

$$a = \frac{F - g(m_A + m_B + m_C)}{m_A + m_B + m_C}$$

DINÁMICA - Problema 1



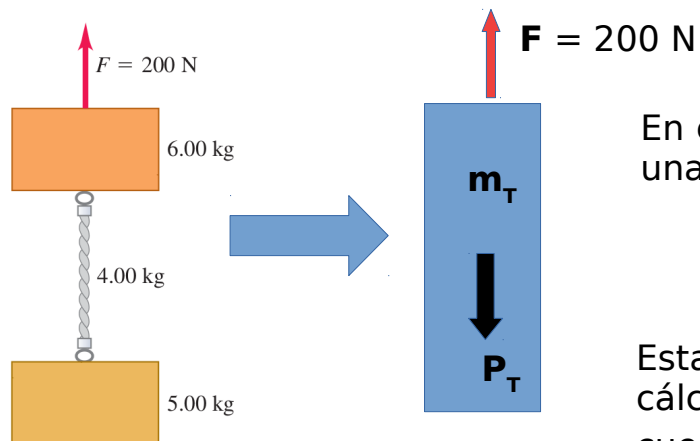
Es decir que la aceleración es igual a la fuerza aplicada F menos el peso de los tres cuerpos dividido por la masa de los cuerpos. Luego las fuerzas entre cuerpos son:

$$\rightarrow a = \frac{F - g(m_A + m_B + m_C)}{m_A + m_B + m_C} = \frac{200 \text{ N} - 9.8 \text{ m/s}^2 (15 \text{ kg})}{15 \text{ kg}} = 3.53 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

1) $F_{A-B} = F - m_A(g + a) = 200 \text{ N} - 6 \text{ kg}(9.8 \text{ m/s}^2 + 3.53 \text{ m/s}^2) = 120 \text{ N}$

3) $F_{B-C} = m_C(g + a) = 5 \text{ kg}(9.8 \text{ m/s}^2 + 3.53 \text{ m/s}^2) = 66.7 \text{ N}$

Otra forma de obtener la aceleración a : Podríamos haber llegado a la misma respuesta si en lugar de pensar que hay tres cuerpos vinculados mediante fuerzas existe un único cuerpo con una masa total m_T igual a la suma de todas las masas, es decir 15 kg. Esto solo es válido cuando puedo asegurar que todos los cuerpos se moverán en conjunto con la misma aceleración. En ese caso, mi problema es:

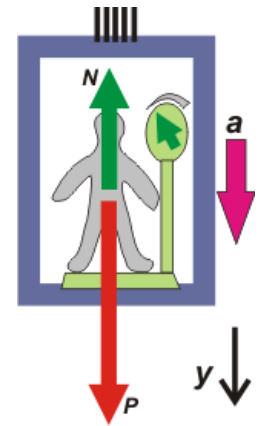


En este problema, la aceleración a de los tres cuerpos se obtiene aplicando una única ecuación:

$$\sum F_T = F - P_T = m_T a \quad \rightarrow \quad a = \frac{F - P_T}{m_T} = 3.53 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Esta forma de resolver tiene gran simplicidad sobre la anterior para el cálculo de la aceleración. Si luego quiero obtener las fuerzas F_{A-B} y F_{B-C} entre cuerpos entonces podré aplicar la segunda ley de Newton a cada cuerpo por separado y, conociendo la aceleración a , calcular las fuerzas.

DINÁMICA – Problema 2



Problema 2: una persona está parada en una balanza dentro de un ascensor. El ascensor es acelerado hacia abajo con \mathbf{a} . La persona tiene un peso \mathbf{P} y la balanza le aplica una fuerza normal \mathbf{N} . Apliquemos la segunda ley considerando que la coordenada \mathbf{y} apunta hacia abajo.

Nota: sabemos que la aceleración es hacia abajo, pero no sabemos si el ascensor se está moviendo hacia abajo, hacia arriba o acaba de iniciar el movimiento. Pero, veremos que esto no cambia en nada el problema.

$$\sum F_y = P - N = m a \quad \text{Notar que } \mathbf{P} \text{ y } \mathbf{a} \text{ son positivas en este caso y } \mathbf{N} \text{ negativa}$$

Despejamos \mathbf{N} , es decir lo que mide la balanza: $\longrightarrow N = P - m a = m g - m a \quad N = m(g - a)$

Veamos algunas posibilidades:

- 1) $\mathbf{a} = 0$:** esto implica que el ascensor está quieto o se mueve a velocidad constante, no importa en que dirección. Luego $N = mg$, es decir el peso que obtendremos en un sistema no acelerado
- 2) $\mathbf{a} > 0$:** esto implica que el ascensor se acelera hacia abajo con una aceleración \mathbf{a} . Si por ejemplo $a = 4.9 \text{ m/s}^2$ entonces la balanza marcará un valor igual a la mitad del peso real de la persona. En el extremo, \mathbf{a} podrá ser igual a \mathbf{g} , es decir 9.8 m/s^2 . En ese caso $\mathbf{N} = 0$ y la balanza no marcará nada. ¿Cual sería esta situación?
- 3) $\mathbf{a} < 0$:** esto implica que el ascensor se acelera hacia arriba con una aceleración \mathbf{a} . Si por ejemplo $a = 9.8 \text{ m/s}^2$ entonces la balanza marcará un valor igual al doble del peso real de la persona. ¿Hay límite para la aceleración \mathbf{a} hacia arriba?

DINÁMICA – Algunas preguntas....



- 1- ¿Un cuerpo puede estar en equilibrio si una sola fuerza actúa sobre él?
- 2- Una bola lanzada verticalmente hacia arriba tiene velocidad cero en su punto más alto. ¿Está en equilibrio ahí? ¿Por qué?
- 3- Al volar en un avión de noche en aire tranquilo, no tenemos sensación de movimiento, aunque el avión vaya a 800 km/h. ¿Por qué?
- 4- Se dice que la “fuerza de inercia” lanza a los pasajeros hacia adelante cuando un automóvil frena abruptamente. ¿Qué error tiene esa explicación?
- 5- ¿La segunda ley de Newton se cumple para un observador en un auto si este acelera, frena o toma una curva a velocidad constante?
- 6- Una caja grande cuelga del extremo de una cuerda vertical. ¿La tensión en la cuerda es mayor cuando la caja está en reposo o cuando sube con rapidez constante? Si la caja sube, ¿la tensión en la cuerda es mayor cuando la caja está acelerando o cuando está frenando?