

Curso Física 1 para Bio-Geociencias (FI252) 2024

**Segunda evaluación corta: desde el lunes
15 de abril hasta el miércoles 25.**

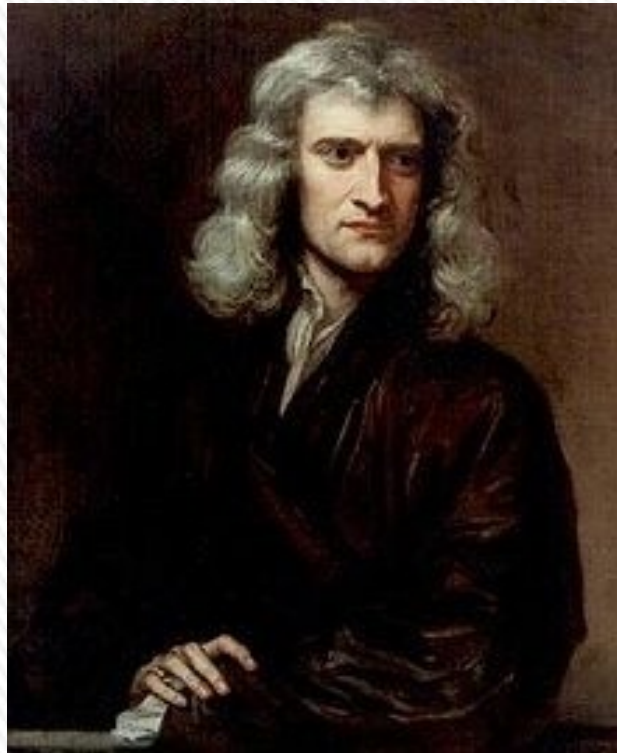
Unidad 2

**1er. Parcial: Sábado 11 de mayo hora 14:30.
En forma presencial**

**Clase de consultas generales en forma virtual: jueves de
20:00 a 21:30
por Zoom (enlace del teórico virtual)**

ATENCIÓN: Se recuerda que en el Salón de Actos no se pueden ingerir alimentos ni beber bebidas o tomar mate....

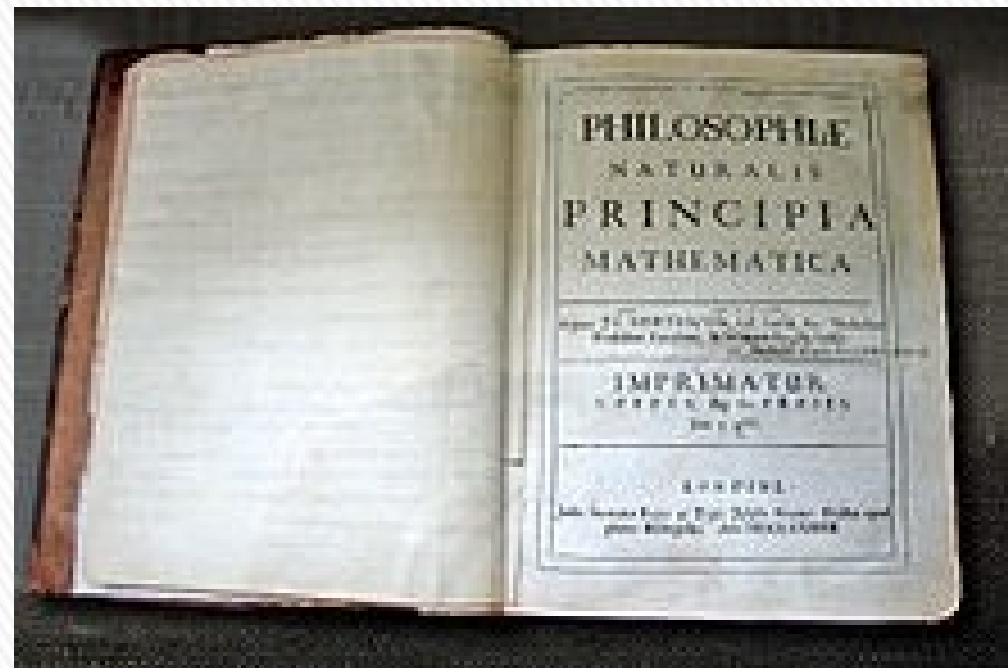
07- LEYES DEL MOVIMIENTO Y EQUILIBRIO ESTÁTICO



1642 (1643) -1727

Is. Newton

Fuerzas e interacciones. Superposición de fuerzas. 1era. Ley de Newton o ley de inercia. Marcos de referencia. Masa. 2da. Ley de Newton. 3era. Ley de Newton o Principio de Acción y Reacción.



Principios Matemáticos de la Filosofía Natural (1687)

¿Qué recuerdan de las leyes de Newton del movimiento?

Cómo enunciarían la Primera Ley de Newton (Principio de Inercia)?

Y la formulación correcta de la Segunda Ley?

Consideremos la siguiente situación.

Tengo al borrador apoyado sobre la mesa. Si el peso del borrador es la fuerza de “acción”, cuál es la fuerza de “reacción” de acuerdo a la Tercera Ley de Newton (Principio de Acción y Reacción)



4

Un camión grande choca frontalmente con un pequeño automóvil. Durante la colisión:

- a) La intensidad de la fuerza que el camión ejerce sobre el automóvil es mayor que la de la fuerza que el auto ejerce sobre el camión.
- b) La intensidad de la fuerza que el automóvil ejerce sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión ejerce sobre el auto.
- c) Ninguno ejerce una fuerza sobre el otro, el auto es aplastado simplemente porque se interpone en el camino del camión.
- d) El camión ejerce una fuerza sobre el automóvil pero el auto no ejerce ninguna fuerza sobre el camión.
- e) El camión ejerce una fuerza de la misma intensidad sobre el auto que la que el auto ejerce sobre el camión.



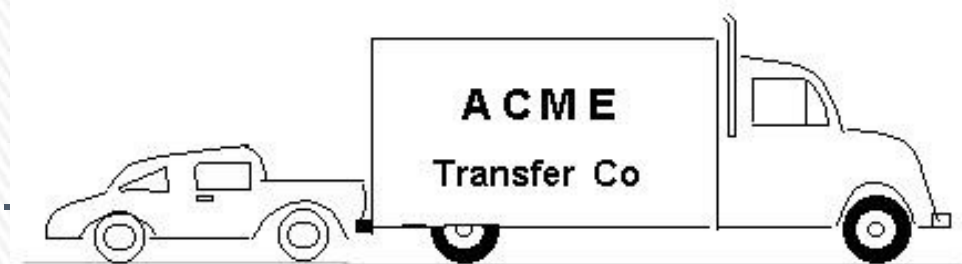
13

Un chico lanza hacia arriba una bola de acero. Considere el movimiento de la bola durante el intervalo comprendido entre el momento en que ésta deja de estar en contacto con la mano del chico hasta un instante anterior al impacto con el suelo. Suponga que las fuerzas ejercidas por el aire son despreciables. En estas condiciones, la(s) fuerza(s) que actúa(n) sobre la bola es (son):

- a) una fuerza hacia abajo debida a la gravedad junto con una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente.
- b) una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente desde el momento en que la bola abandona la mano del chico hasta que alcanza su punto más alto; en el camino de descenso hay una fuerza hacia abajo debida a la gravedad que aumenta continuamente a medida que el objeto se acerca progresivamente a la tierra.
- c) una fuerza hacia abajo prácticamente constante debida a la gravedad junto con una fuerza hacia arriba que disminuye continuamente hasta que la bola alcanza su punto más alto; en el camino de descenso sólo hay una fuerza constante hacia abajo debida a la gravedad.
- d) sólo una fuerza hacia abajo, prácticamente constante, debida a la gravedad.
- e) ninguna de las anteriores. La bola cae al suelo por su tendencia natural a descansar sobre la superficie de la tierra.

15 - Use la descripción y la figura adjuntas para contestar las dos preguntas siguientes (15 y 16).

Un camión grande se avería en la carretera y un pequeño automóvil lo empuja de regreso a la ciudad tal como se muestra en la figura adjunta.



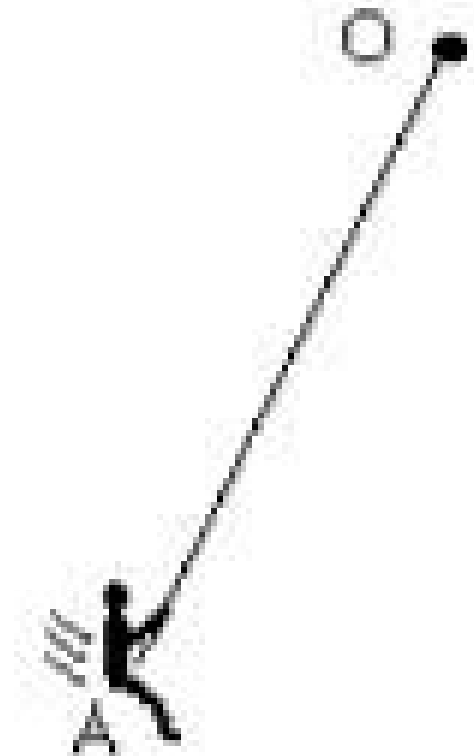
Mientras el automóvil que empuja al camión acelera para alcanzar la velocidad de marcha:

- a) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es igual a la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
- b) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es menor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
- c) la intensidad de la fuerza que el automóvil aplica sobre el camión es mayor que la de la fuerza que el camión aplica sobre el auto.
- d) dado que el motor del automóvil está en marcha, éste puede empujar al camión, pero el motor del camión no está funcionando, de modo que el camión no puede empujar al auto. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.
- e) ni el camión ni el automóvil ejercen fuerza alguna sobre el otro. El camión es empujado hacia adelante simplemente porque está en el camino del automóvil.

18

La figura adjunta muestra a un chico columpiándose en una cuerda, comenzando en un punto más alto que A. Considérense las siguientes fuerzas:

1. Una fuerza hacia abajo debida a la gravedad.
2. Una fuerza ejercida por la cuerda dirigida de A hacia O.
3. Una fuerza en la dirección del movimiento del chico.
4. Una fuerza en la dirección de O hacia A.



¿Cuál(es) de dichas fuerzas actúa(n) sobre el chico en la posición A?

- a) Sólo la 1. b) 1 y 2. c) 1 y 3. d) 1, 2 y 3. e) 1, 3 y 4.

25

Una mujer ejerce una fuerza horizontal constante sobre una caja grande. Como resultado, la caja se mueve sobre un piso horizontal a velocidad constante " v_0 ".

La fuerza horizontal constante aplicada por la mujer:

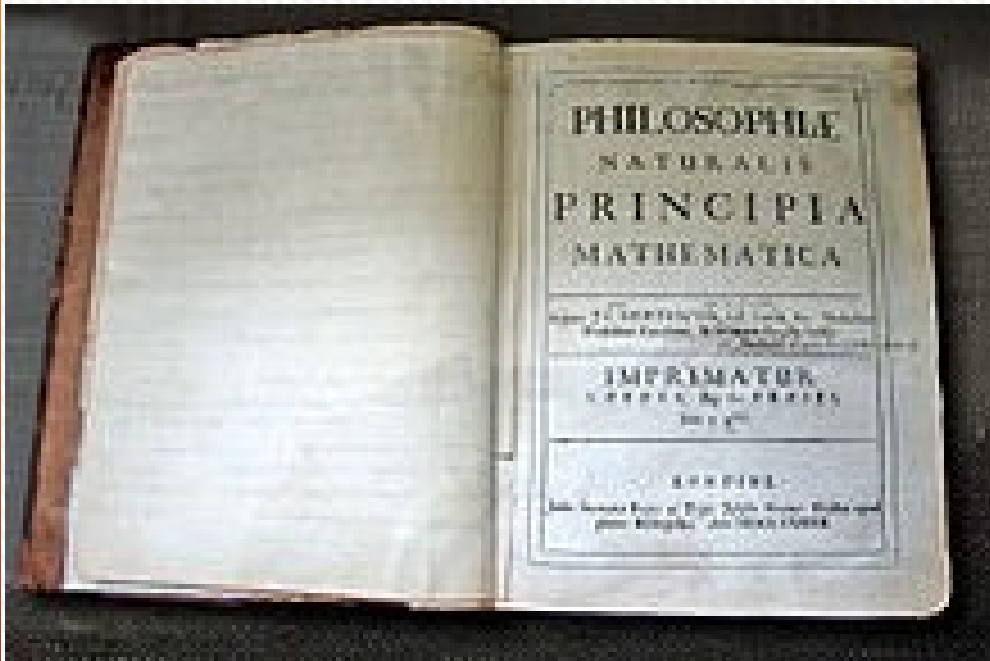
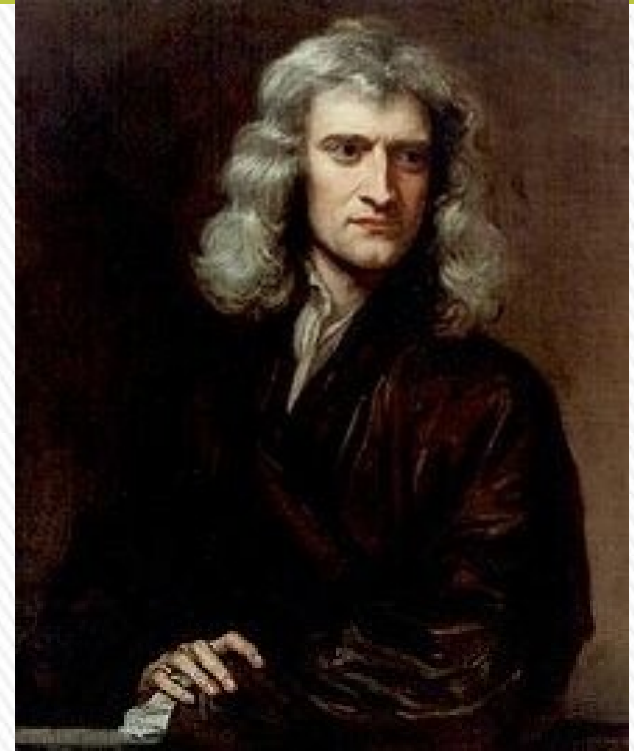
- a) tiene la misma magnitud que el peso de la caja.
- b) es mayor que el peso de la caja.
- c) tiene la misma magnitud que la fuerza total que se opone al movimiento de la caja.
- d) es mayor que la fuerza total que se opone al movimiento de la caja.
- e) es mayor que el peso de la caja y también que la fuerza total que se opone a su movimiento.



Las leyes del movimiento de Newton

Comenzamos con ***dinámica***: las tres leyes de movimiento básicas de Newton que la relacionan fuerzas y masas.

Principios Matemáticos de la Filosofía Natural (1687)



Newton no obtuvo matemáticamente las tres leyes, sino que las dedujo de un sinnúmero de experimentos realizados por otros científicos, especialmente Galileo Galilei.

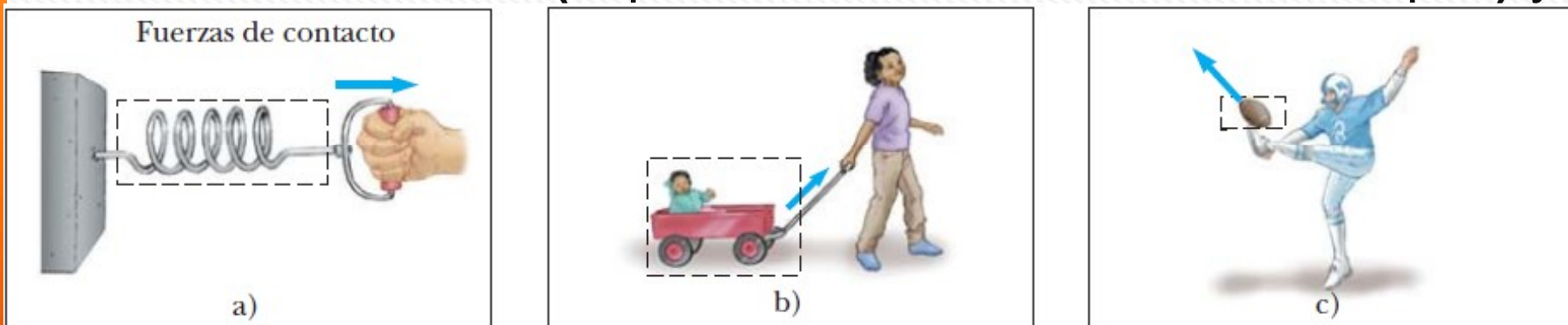
Fuerzas e interacciones

Fuerza es una interacción entre dos cuerpos o entre un cuerpo y su entorno.

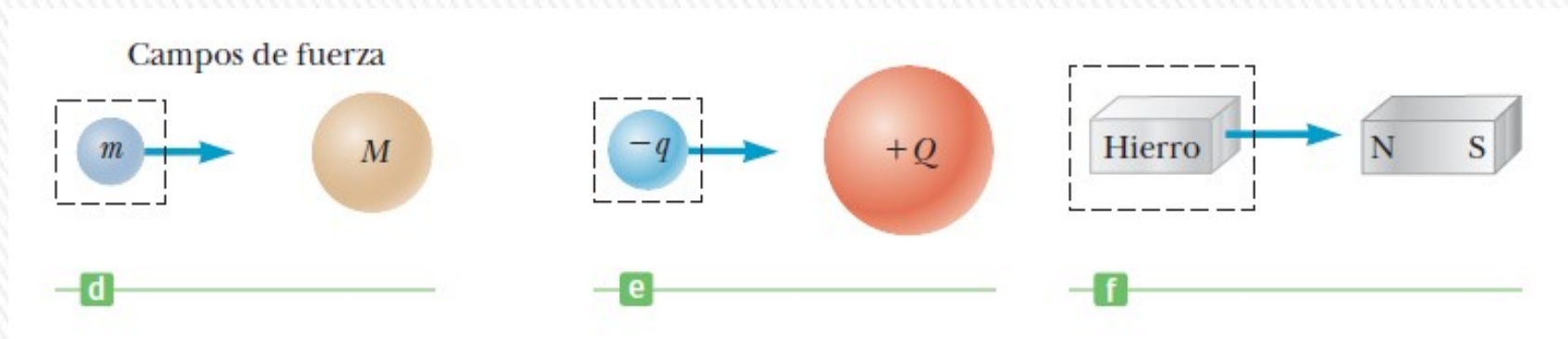
La fuerza es una magnitud vectorial.

Clasificación macroscópica:

fuerzas de contacto (implica contacto directo entre cuerpos) y,

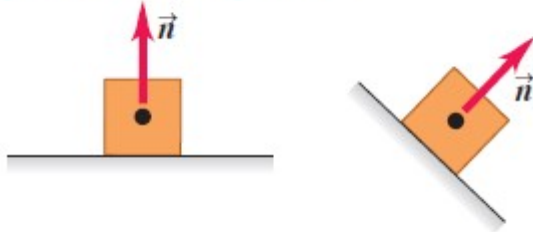


fuerzas de largo alcance (de campo).

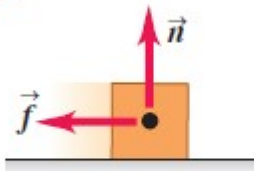


Fuerzas e interacciones

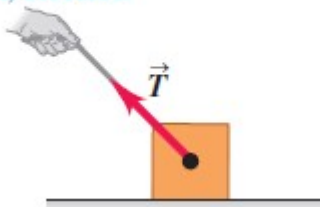
a) **Fuerza normal \vec{n}** : Cuando un objeto descansa o se empuja sobre una superficie, esta ejerce un empujón sobre el objeto que es perpendicular a la superficie.



b) **Fuerza de fricción \vec{f}** : Además de la fuerza normal, una superficie puede ejercer una fuerza de fricción sobre un objeto que es paralela a la superficie.



c) **Fuerza de tensión \vec{T}** : La fuerza de un tirón ejercida sobre un objeto por una cuerda, un cordón, etcétera.



Fuerza normal: ejercida sobre un objeto por cualquier superficie con la que esté en contacto.

Siempre actúa perpendicular a la superficie de contacto, sin importar el ángulo de esa superficie.

Fuerza de fricción: ejercida sobre un objeto por una superficie rugosa, actúa paralela a la superficie, en el sentido opuesto al deslizamiento.

Fuerza de tensión: fuerza del tirón ejercida por una cuerda o hilo tenso sobre un objeto al cual se ata.

Fuerzas e interacciones

Fuerzas de largo alcance (o de campo) son las que actúan aunque los cuerpos estén separados por espacio vacío.

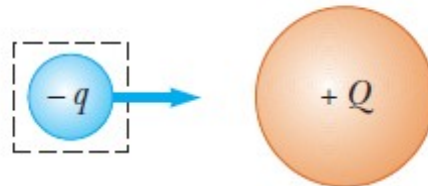
Ejemplos: Fuerza entre imanes (magnética) o entre dos cargas eléctricas o la fuerza gravitacional.

La fuerza de atracción gravitacional que la Tierra ejerce sobre un cuerpo se llama **peso del cuerpo**.

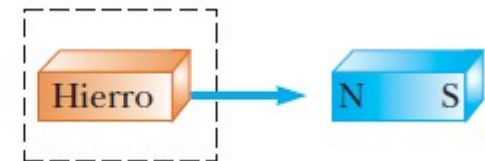
Fuerzas de campo



d)



e)



f)

La unidad de magnitud de fuerza en el SI es el **newton**, que se abrevia N.

Fuerzas e interacciones

Al examinar a nivel atómico, todas las fuerzas macroscópicas que se clasifican como fuerzas de contacto resultan ser causadas por fuerzas (de campo) eléctricas.

Las únicas **cuatro fuerzas fundamentales** conocidas en la naturaleza son todas fuerzas de campo:

- 1) **fuerzas gravitacionales** entre objetos,
- 2) **fuerzas electromagnéticas** entre cargas eléctricas,
- 3) **fuerzas fuertes** entre partículas subatómicas y
- 4) **fuerzas débiles** que surgen en ciertos procesos de decaimiento radiactivo.

En la física clásica sólo interesan las fuerzas gravitacional y electromagnética.

Superposición de fuerzas

Principio de superposición: el efecto de cualquier cantidad de fuerzas aplicadas a un punto de un cuerpo es el mismo que el de una sola fuerza igual a la suma vectorial de las fuerzas

La **fuerza neta (o total o resultante)** es la suma vectorial de todas las fuerzas que actúan sobre el objeto.

$$\bar{R} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 + \bar{F}_4 + \dots = \sum_i \bar{F}_i$$

Ecuación vectorial que puede expresarse en varias ecuaciones escalares (tantas como dimensiones tenga la situación)

$$R_x = \sum F_x$$

$$R_y = \sum F_y$$

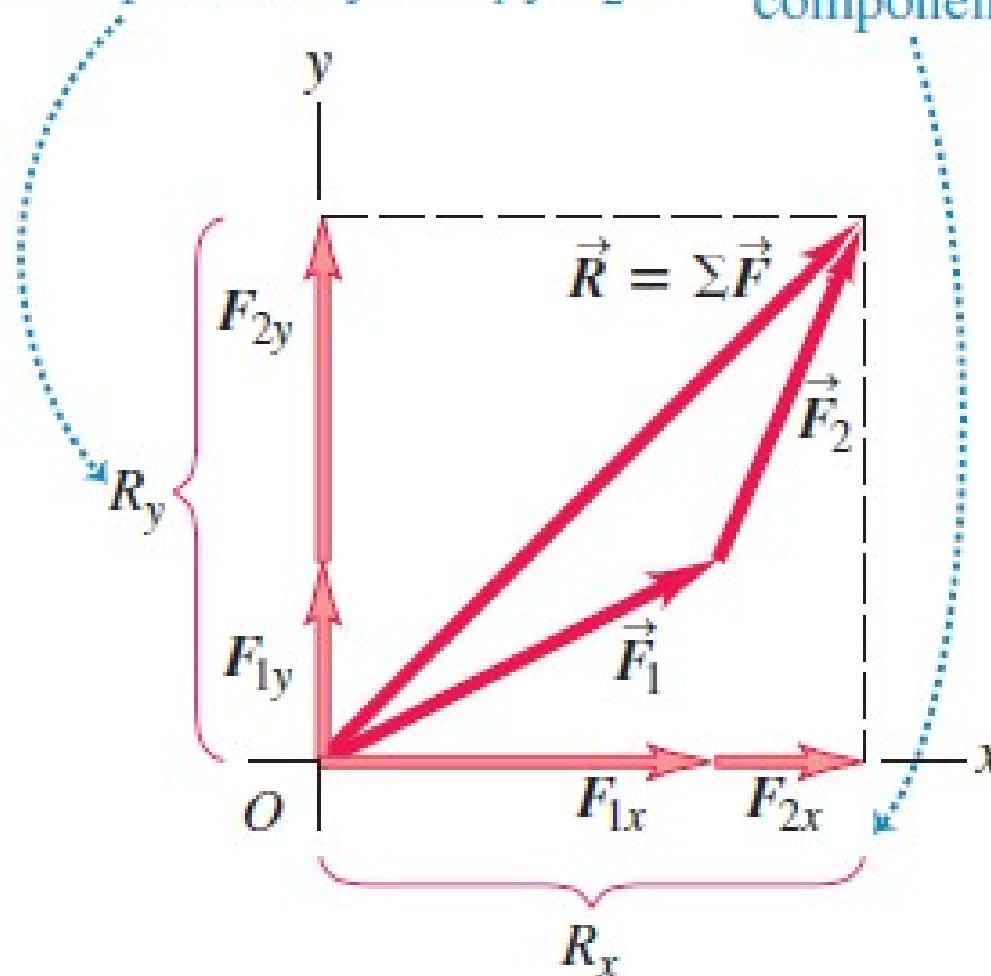


Superposición de fuerzas

\vec{R} es la suma (resultante) de \vec{F}_1 y \vec{F}_2 .

La componente y de \vec{R} es igual a la suma de las componentes y de \vec{F}_1 y \vec{F}_2 .

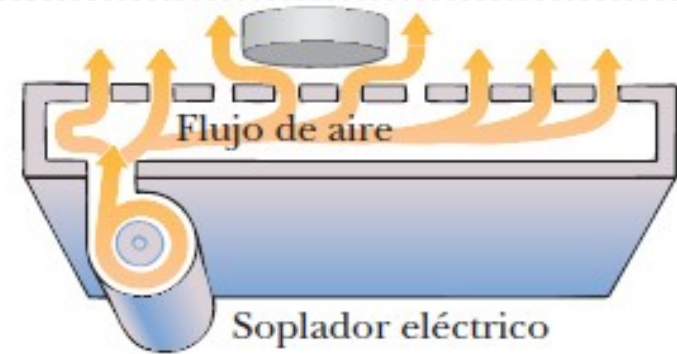
Lo mismo es válido para las componentes x .



Primera ley de Newton: Ley de Inercia

EXPERIMENTO MENTAL:

Disco de tejo sobre una mesa de aire perfectamente a nivel ubicada en un tren: El tren puede estar en reposo, moviéndose en forma acelerada o a velocidad constante. ¿Qué sucede en las distintas situaciones?



Es posible observar un objeto en movimiento desde muchos **marcos de referencia**.

La **primera ley del movimiento de Newton**, a veces llamada **ley de la inercia**, define un conjunto especial de marcos de referencia llamados **marcos inerciales**.

PRIMERA LEY DE NEWTON (1)

Si un objeto no interactúa con otros objetos, es posible identificar un marco de referencia en el que el objeto tiene aceleración cero.

Tal marco de referencia se llama **marco de referencia inercial**.

Primera ley de Newton: Ley de Inercia

MARCOS DE REFERENCIA INERCIALES

Cualquier marco de referencia que se mueve con velocidad constante en relación con un marco inercial es, en sí mismo, un marco inercial.

Un marco de referencia que se mueve con velocidad constante en relación con las estrellas distantes es la **mejor aproximación de un marco inercial.**

Para propósitos de estudio, se considera a la Tierra como marco inercial.

La Tierra no es estrictamente un marco inercial debido a su movimiento orbital en torno al Sol y su movimiento rotacional alrededor de su propio eje, y ambos involucran aceleraciones centrípetas, pero como son pequeñas comparadas con g , *con frecuencia se pueden despreciar.*

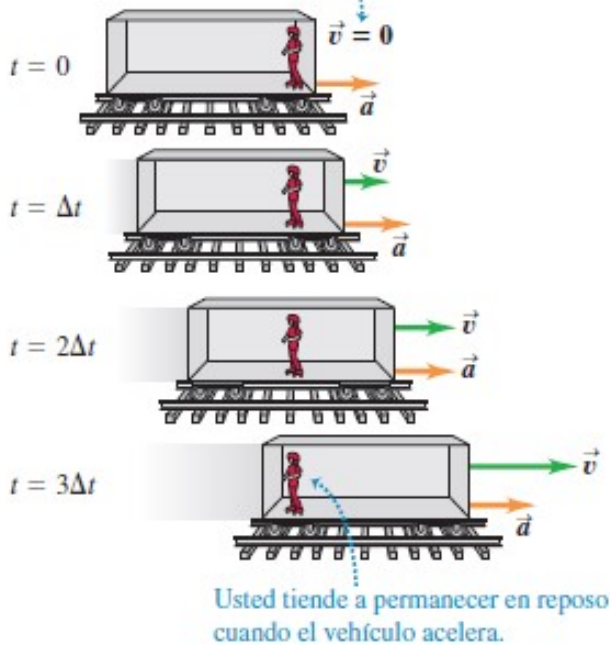
Por esta razón supondremos que: **La Tierra representa un marco inercial, junto con cualquier otro marco unido a él.**

Primera ley de Newton: Ley de Inercia

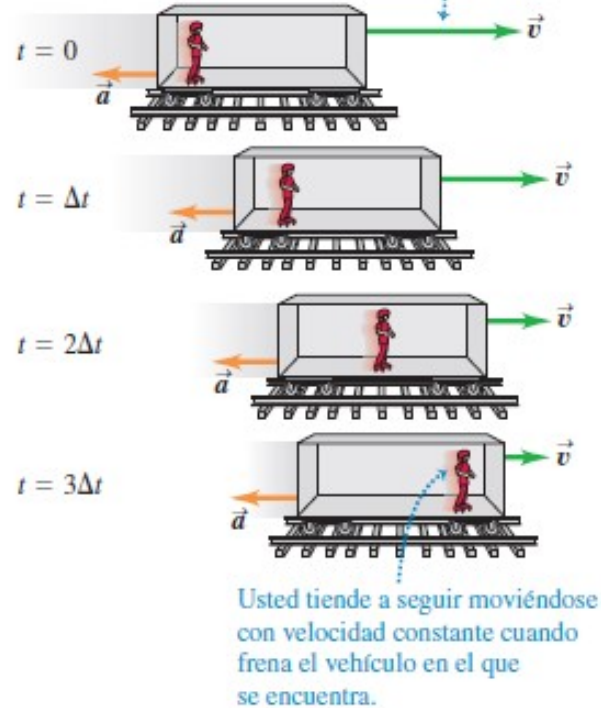
Marcos de referencia no inerciales

4.11 Viaje en un vehículo con aceleración.

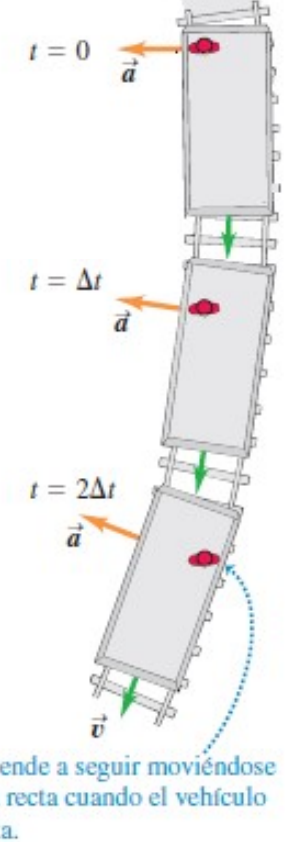
a) Inicialmente usted y el vehículo están en reposo.



b) Inicialmente usted y el vehículo están en movimiento.



c) El vehículo da vuelta a rapidez constante.



Primera ley de Newton: Ley de Inercia

Enunciado alternativo (más práctico):

PRIMERA LEY DE NEWTON (2)

En ausencia de fuerzas externas, y cuando se ve desde un marco de referencia inercial, un objeto en reposo se mantiene en reposo y un objeto en movimiento continúa en movimiento con una velocidad constante (con rapidez constante en línea recta).

Cuando ninguna fuerza actúa sobre un objeto, la aceleración del objeto es cero.

Conclusión: cualquier **objeto aislado** (*uno que no interactúa con su entorno*) está en reposo o en movimiento con velocidad constante.

La tendencia de un objeto a resistir cualquier intento por cambiar su velocidad se llama **inercia**.

CUIDADO!!!: La 1era. ley de Newton no explica lo que sucede con un objeto con fuerza neta cero, esto es, múltiples fuerzas que se cancelan; expresa lo que ocurre en ausencia de fuerzas externas.



Cuando un cuerpo está en reposo o se mueve con velocidad constante (en línea recta), decimos que el **cuerpo está en equilibrio**.

Para que un cuerpo esté en equilibrio, no deben actuar fuerzas sobre él, o deben actuar varias fuerzas cuya resultante, es decir, la fuerza neta, sea cero:

Cuerpo en equilibrio:

$$\sum \vec{F} = 0$$

Esto se cumple si cada componente de la fuerza neta es cero.

Estamos suponiendo que el cuerpo puede representarse adecuadamente como una partícula puntual.

Si el cuerpo tiene tamaño finito, tendremos que considerar también en *qué parte del cuerpo se aplican las fuerzas*.

MASA

Propiedad de un objeto que especifica cuánta resistencia muestra un objeto para cambiar su velocidad (inercia).

La unidad del SI de masa es el **kilogramo (kg)**. Es una cantidad escalar.

Los experimentos muestran que mientras más grande sea la masa de un objeto, menos acelera el objeto bajo la acción de una fuerza dada.

La masa es una propiedad inherente de un objeto y es independiente de los alrededores del objeto y del método que se aplica para medirla.

Masa y el peso son dos cantidades diferentes.

El peso de un objeto es igual a la magnitud de la fuerza gravitacional ejercida sobre el objeto y varía con la posición.

Por ejemplo, un objeto que pesa 100 N sobre la Tierra pesa solo aproximadamente 16,5 N sobre la Luna.

La masa de un objeto en cualquier lugar es la misma: un objeto que tiene una masa de 10 kg sobre la Tierra también tiene una masa de 10 kg sobre la Luna.

Segunda ley de Newton

2da. ley de Newton responde la pregunta de que acontece a un objeto que tiene una o más fuerzas que actúan sobre él.

Empujo un bloque de masa fija a través de una superficie horizontal sin fricción.
Si hago una fuerza horizontal \mathbf{F} sobre el bloque, éste se mueve con cierta aceleración \mathbf{a} .
Si aplico una fuerza $2\mathbf{F}$ sobre el mismo bloque, la aceleración del bloque será $2\mathbf{a}$.
Si aumenta la fuerza aplicada a $3\mathbf{F}$, la aceleración se triplica, etc.

SEGUNDA LEY DE NEWTON:

Cuando se ve desde un marco de referencia inercial, la aceleración de un objeto (de masa constante) es directamente proporcional a la fuerza neta que actúa sobre él e inversamente proporcional a su masa:

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

Ecuación válida sólo cuando la rapidez del objeto es mucho menor que la rapidez de la luz y para objetos que tienen masa constante.



Segunda ley de Newton

CUIDADO!!!: La fuerza es la causa de cambios en el movimiento.

La fuerza *no* causa movimiento. Se puede tener movimiento en ausencia de fuerzas, como describe la primera ley de Newton. La fuerza es la causa de los cambios en el movimiento, que se mide por la aceleración.

La ecuación $\sum \vec{F} = m\vec{a}$ es una expresión vectorial y por tanto es equivalente

a dos ecuaciones componentes en problemas en dos dimensiones:

$$\sum F_x = ma_x \quad \sum F_y = ma_y$$

CUIDADO!!!: $m \cdot a$ no es una fuerza -

La ecuación correspondiente a la 2da. ley de Newton *no* indica que el producto $m \cdot a$ sea una fuerza.

Todas las fuerzas sobre un objeto se suman como vectores para generar la fuerza neta en el lado izquierdo de la ecuación.

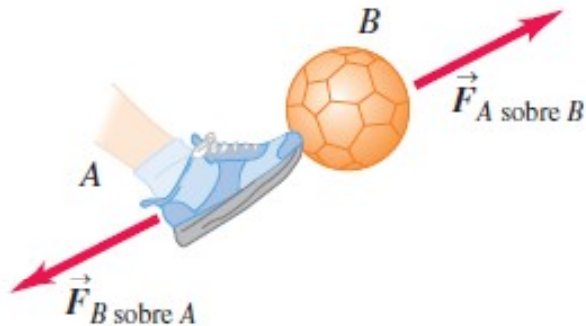
Esta fuerza neta se iguala con el producto de la masa del objeto y la aceleración que resulta de la fuerza neta.

No incluir una "fuerza ma " en el análisis de las fuerzas sobre un objeto.

Tercera ley de Newton: Principio de acción y reacción

Si el cuerpo A ejerce una fuerza $\vec{F}_{A \text{ sobre } B}$ sobre el cuerpo B, entonces, el cuerpo B ejerce una fuerza $\vec{F}_{B \text{ sobre } A}$ sobre el cuerpo A que tiene la misma magnitud, pero dirección opuesta:

$$\vec{F}_{A \text{ sobre } B} = -\vec{F}_{B \text{ sobre } A}$$



Las fuerzas son *interacciones entre dos objetos*: cuando empujamos sobre un objeto, el objeto empuja de vuelta sobre nosotros.

Los experimentos indican que, al interactuar dos cuerpos, las fuerzas que ejercen mutuamente son *iguales en magnitud y opuestas en dirección*.

Este importante principio se conoce como **tercera ley de Newton**:

TERCERA LEY DE NEWTON:

Si dos objetos interactúan, la fuerza \vec{F}_{12} que ejerce el objeto 1 sobre el objeto 2 es igual en magnitud y dirección y opuesta en sentido a la fuerza \vec{F}_{21} que ejerce el objeto 2 sobre el objeto 1:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

La fuerza que el objeto 1 ejerce sobre el objeto 2 se llama **fuerza de acción**, y la fuerza del objeto 2 sobre el objeto 1 se llama **fuerza de reacción**.

Tercera ley de Newton: Principio de acción y reacción

En todos los casos, las fuerzas de acción y reacción actúan sobre objetos *diferentes y deben ser del mismo tipo (gravitacional, eléctrica, etcétera)*.

La fuerza que actúa sobre un proyectil en caída libre es la fuerza gravitacional que ejerce la Tierra sobre el proyectil $\bar{F}_g = \bar{F}_{TP}$ (T = Tierra, p = proyectil), y la magnitud de esta fuerza es mg .

La reacción a esta fuerza es la fuerza gravitacional que ejerce el proyectil sobre la Tierra

$$\bar{F}_{PT} = -\bar{F}_{TP}$$

La fuerza de reacción \bar{F}_{PT} debe acelerar a la Tierra hacia el proyectil tal como la fuerza de acción \bar{F}_{TP} acelera al proyectil hacia la Tierra.

No obstante, puesto que la Tierra tiene una masa tan grande, su aceleración debida a esta fuerza de reacción es despreciablemente pequeña.

Algunas veces las llamamos **par acción-reacción**.

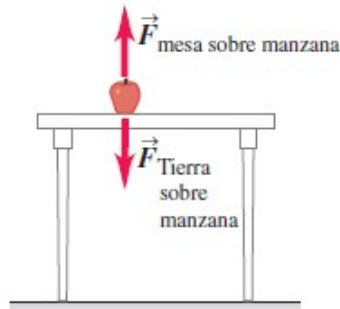
Esto *no implica una relación de causa y efecto*; podemos considerar cualquiera de las fuerzas como la “acción”, y la otra como la “reacción”.

A menudo decimos simplemente que las fuerzas son “iguales y opuestas” para indicar que tienen igual magnitud y dirección, pero sentido opuesto.

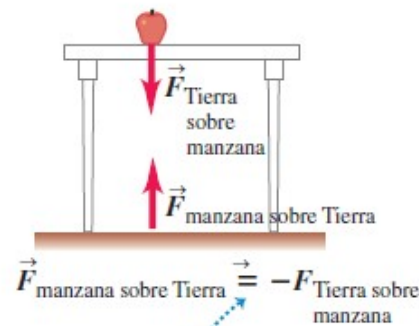
Tercera ley de Newton: Principio de acción y reacción

Las dos fuerzas de un par acción-reacción siempre actúan sobre cuerpos distintos.

a) Las fuerzas que actúan sobre la manzana

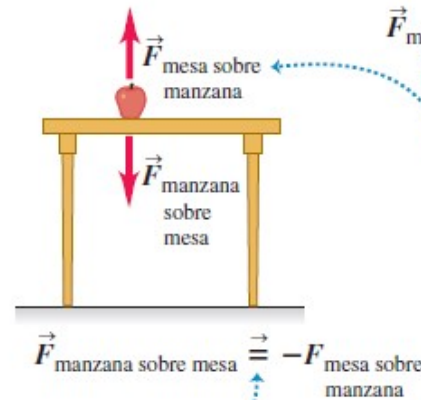


b) El par acción-reacción para la interacción entre la manzana y la Tierra

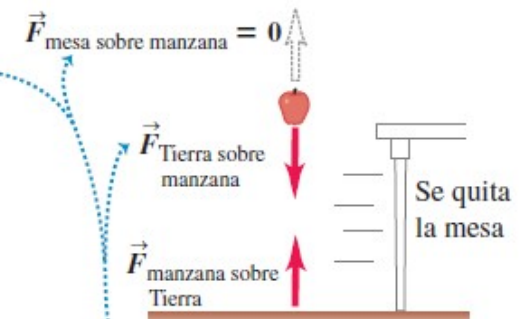


Los pares acción-reacción siempre representan una interacción entre dos objetos distintos.

c) El par acción-reacción para la interacción entre la manzana y la mesa



d) Se elimina una de las fuerzas que actúan sobre la manzana



Las dos fuerzas sobre la manzana NO PUEDEN ser un par acción-reacción porque actuarían sobre el mismo objeto. Vemos que si eliminamos una, la otra se conserva.

CUIDADO!!!: La fuerza normal n no siempre es igual a mg .

Si un objeto está en un plano inclinado, si hay fuerzas aplicadas con componentes verticales o si hay una aceleración vertical del sistema, por lo tanto $n \neq mg$.

Siempre aplicar la 2da. ley de Newton para encontrar la relación entre n y mg .

Ejemplo: Máquina de Atwood



Máquina de Atwood. Una carga de 15.0 kg de ladrillos cuelga del extremo de una cuerda que pasa por una polea pequeña sin fricción y tiene un contrapeso de 28.0 kg en el otro extremo, como se muestra en la figura. El sistema se libera del reposo.

- Dibuje dos diagramas de cuerpo libre, uno para la carga de ladrillos y otro para el contrapeso.
- ¿Qué magnitud tiene la aceleración hacia arriba de la carga de ladrillos?
- ¿Qué tensión hay en la cuerda mientras la carga se mueve? Compare esa tensión con el peso de la carga de ladrillos y con el del contrapeso.

¿Qué modelos usaremos para resolver el ejercicio?

- 1) Cuerda ideal: inextensible, sin masa y sin fricción.
- 2) Polea: pequeña y sin fricción.
- 3) Consideramos que las mediciones se realizan desde un marco de referencia inercial.
 - 1) Esto asegura que las velocidades y aceleraciones de los objetos es la misma.
 - 2) Asegura que la tensión es la misma en toda la cuerda (no se requiere un torque para hacer girar la polea).
 - 3) Puedo aplicar la 2da. Ley de Newton-

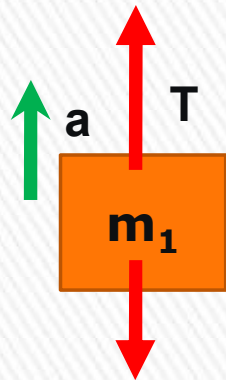
Datos:

masa de los ladrillos $m_1=15,0$ kg; masa del contrapeso $m_2=28,0$ kg
 $g=9,8$ m/s² (se considera como valor exacto)

Ambas masas van a tener la misma aceleración (en módulo)

Como $m_2 > m_1$, el contrapeso (m_2) va a bajar, y los ladrillos (m_1) suben,, esto implica que m_1 tendrá una aceleración hacia arriba mientras que m_2 la tendrá hacia abajo.

DCL de ladrillos m_1



2da. Ley de Newton a m_1 , considerando positivo el sentido ascendente.

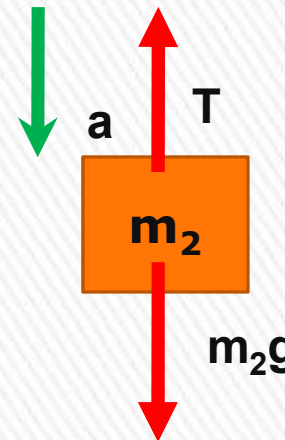
$$m_1 a = T - m_1 g \quad (1)$$

$m_1 g$

2da. Ley de Newton a m_2 , positivo sentido descendente.

$$m_2 a = m_2 g - T \quad (2)$$

DCL de contrapeso m_2



De (1) despejo T y lo introduzco en (2): $T = m_1 a + m_1 g$
 $m_2 a = m_2 g - T = m_2 g - (m_1 a + m_1 g) \rightarrow m_2 g - m_1 g = m_2 a + m_1 a$

De (1) despejo T y lo introduzco en (2): $T = m_1 a + m_1 g$
 $m_2 a = m_2 g - T = m_2 g - (m_1 a + m_1 g) \rightarrow m_2 g - m_1 g = m_2 a + m_1 a$

$$(m_2 - m_1)g = (m_2 + m_1)a$$

$$a = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} \right) g = \left(\frac{28.0 \text{ kg} - 15.0 \text{ kg}}{15.0 \text{ kg} + 28.0 \text{ kg}} \right) (9.80 \text{ m/s}^2) = 2.96 \text{ m/s}^2$$

Como

$$T = m_1 a + m_1 g$$

$$T = m_1(a + g) = (15.0 \text{ kg})(2.96 \text{ m/s}^2 + 9.80 \text{ m/s}^2) = 191 \text{ N}$$

$$a = 2,96 \text{ m/s}^2 \quad T = 191 \text{ N}$$



Ejercicio 3.2

Después de caer desde el reposo partiendo de una altura de 30 m, una pelota de 0,50 kg rebota hacia arriba, logrando una altura de 20 m. Si el contacto entre la pelota y la superficie de la tierra dura 2,0 ms, ¿qué fuerza promedio se ejerció sobre la pelota?

La fuerza promedio en el choque la podemos calcular como el producto de la aceleración media por la masa de la pelota. Esta fuerza va a ser vertical hacia arriba (sentido que consideraremos positivo).

A su vez, la aceleración media la podemos calcular a través de la definición de velocidad media considerando un intervalo de tiempo $\Delta t = 2,0$ ms. Sea v_F la rapidez de la pelota luego de chocar con la superficie de la tierra y v_I la velocidad antes de chocar. Entonces:

$$a_m = \frac{v_F - v_I}{\Delta t}$$

La rapidez con que un objeto llega al piso cuando se suelta con rapidez inicial nula y desde una altura h vale

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$F_m = ma_m = 0,50 \times 22.024 = 11.012 \text{ N}$$

$$v_I = \sqrt{2gh_I} = \sqrt{2(9.80)(30)} = 24,2487 \text{ m/s (hacia abajo)}$$

$$v_F = \sqrt{2gh_F} = \sqrt{2(9.80)(20)} = 19,7990 \text{ m/s (hacia arriba)}$$

$$F_{\text{media}} = 11 \text{ kN}$$

$$\text{Entonces, teniendo en cuenta los signos: } a_m = \frac{v_F - v_I}{\Delta t} = \frac{\sqrt{2gh_F} - (-\sqrt{2gh_I})}{\Delta t} = \frac{\sqrt{2gh_F} + \sqrt{2gh_I}}{\Delta t}$$

$$a_m = \frac{\sqrt{2gh_F} + \sqrt{2gh_I}}{\Delta t} = \frac{\sqrt{2(9,8)(20)} + \sqrt{2(9,8)(30)}}{2,0 \times 10^{-3}} = 22024 \text{ m/s}^2$$