



**Preparación Acceso a  
CFGS**

# **Física**

## **Contenidos**

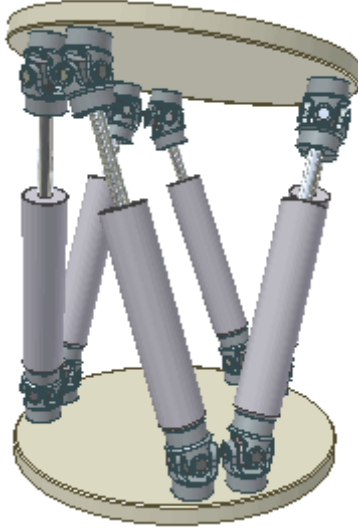
**Fuerzas y movimientos:  
Sistemas dinámicos**

# 1. Sistemas dinámicos

---

En este tema vamos a profundizar en la aplicación de las leyes de Newton a una serie de sistemas dinámicos, que se definen como aquellos sistemas físicos que evolucionan en el tiempo. Verás algunas causas que pueden provocar esta evolución y, sobre todo, se plantearán situaciones en los que tendrás que deducir las ecuaciones de movimiento.

Evidentemente estudiaremos sistemas muy simples, modelizaciones de los casos más complejos que pueden observarse en la realidad, pero el uso de estos modelos te permitirá comprender mejor el comportamiento de los sistemas reales sin necesidad de cálculos excesivamente complicados.



Animación 1 de [UtzOnBike](#) bajo licencia GNU Free Documentation

## 2. Sistemas con un cuerpo

---

El caso más sencillo de estudio dentro de la dinámica es aquél en el que únicamente existe un cuerpo cuyo movimiento quiere estudiarse. Este tipo de problemas es fundamental, pues su método de resolución es similar al aplicado en problemas más complicados.



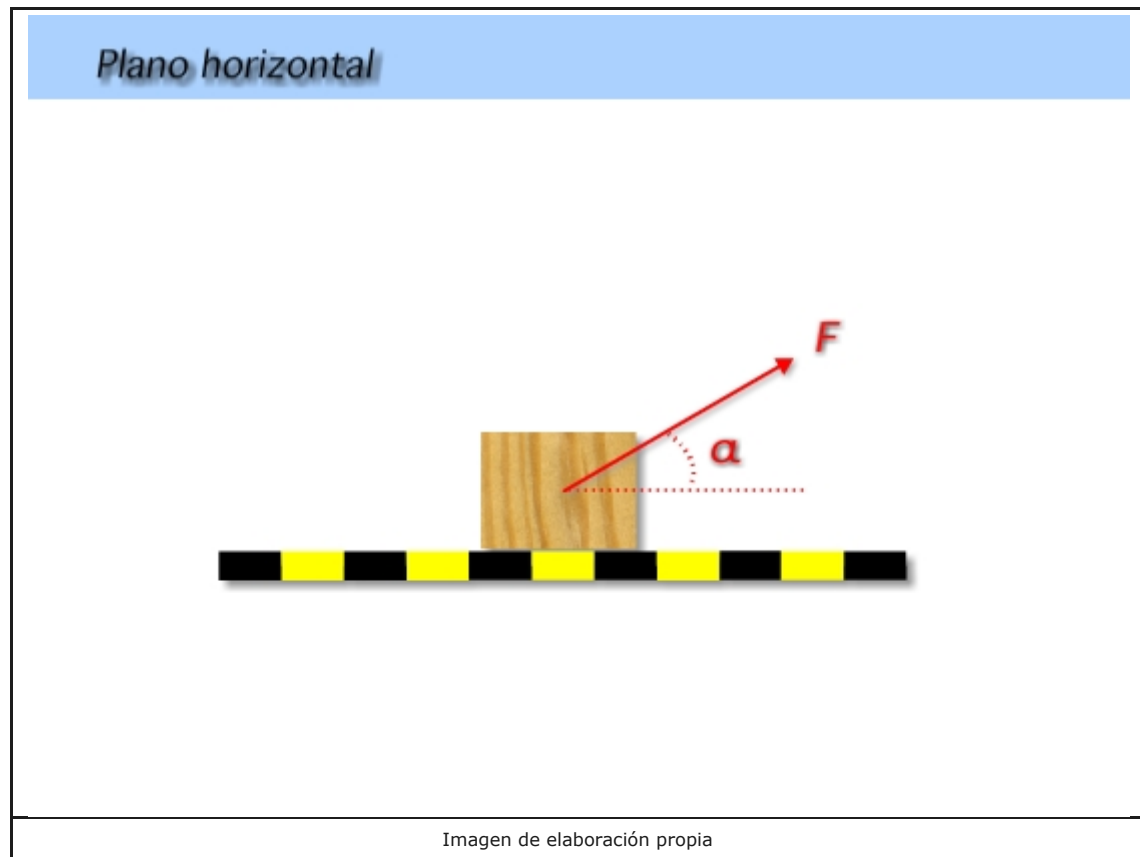
### *Importante*

---

Cuando tengas que resolver un problema de aplicación de las leyes de la dinámica, es importante que sigas ordenadamente las siguientes pautas:

1. Identifica las fuerzas que se ejercen sobre el cuerpo, así como su origen, tipo y dirección.
2. Dibuja un diagrama de fuerzas lo más simple posible, pero que contenga toda la información que se haya suministrado. El punto de aplicación de todas las fuerzas será el centro geométrico del cuerpo sobre el que actúan.
3. Escoge un sistema de referencia cartesiano de forma que uno de los ejes coincida con la dirección esperada de movimiento del cuerpo. La componente perpendicular al plano de movimiento se denomina **Normal** mientras que la paralela al mismo es la componente **Tangencial**.
4. Descompón todas las fuerzas en sus componentes según los ejes del sistema de referencia.
5. Aplica la segunda ley de Newton en cada uno de los ejes.
6. Resolución matemática del sistema de ecuaciones que resulta para conocer los datos que se nos piden.

## 2.1 Plano horizontal



El caso más simple de sistema dinámico que podemos encontrar es aquél en el que un cuerpo se mueve sobre un plano horizontal sin rozamiento con una fuerza  $F$  actuando sobre él. Además de dicha fuerza, en un problema de este tipo siempre actuarán dos fuerzas más:

- El peso ( $p$ ), que en este tema representaremos preferiblemente por su valor  $m \cdot g$ . Siempre tendrá dirección vertical y hacia abajo.
- La normal ( $N$ ), correspondiente a la fuerza de reacción de la superficie sobre la que se apoya el cuerpo. En este caso su dirección será, como su nombre indica, perpendicular a la superficie. En el caso de un plano horizontal siempre será vertical y hacia arriba. Esta fuerza tendremos que deducir en cada caso qué valor toma porque es la fuerza de reacción a la que el cuerpo hace sobre el plano.

Una vez identificadas las fuerzas, escogemos el sistema de referencia. El movimiento probablemente será paralelo al plano por lo que tomamos esta dirección y la perpendicular como ejes de nuestro sistema de referencia.



## Plano horizontal



Imagen de elaboración propia

El siguiente paso es descomponer aquellas fuerzas cuya dirección no coincida con alguno de los ejes de coordenadas en sus componentes cartesianas. En este caso, la única fuerza que no coincide es la fuerza  $F$ , por lo que procedemos a descomponerla en sus componentes  $F_x$  y  $F_y$ .

$$F_x = F \cdot \cos \alpha$$

$$F_y = F \cdot \sin \alpha$$

## Plano horizontal

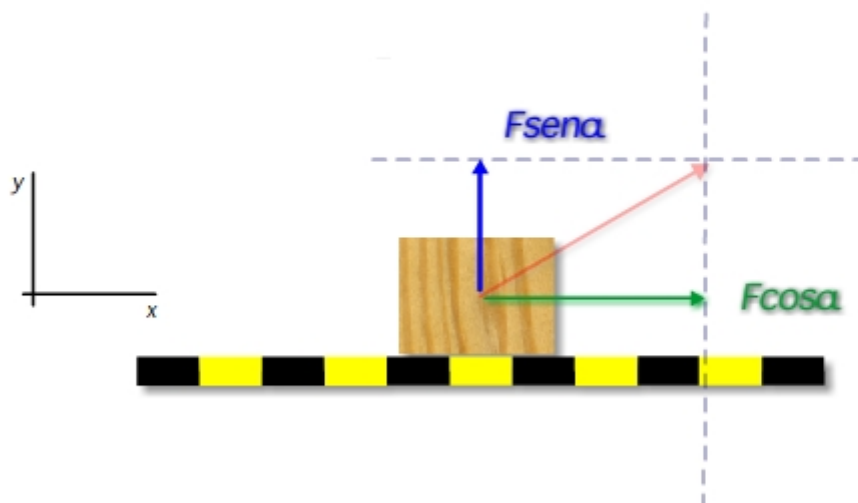


Imagen de elaboración propia

El nuevo esquema con las fuerzas descompuestas en sus ejes quedaría como sigue:

## Plano horizontal

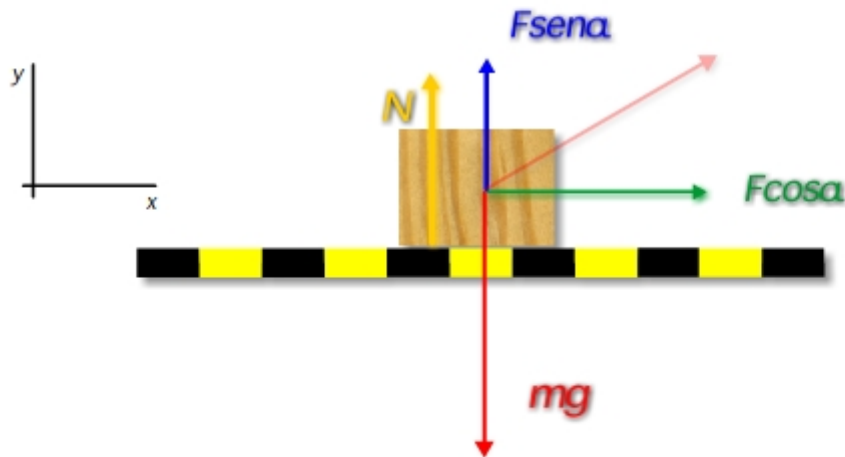


Imagen de elaboración propia

Ya sólo queda escribir las ecuaciones del movimiento en cada uno de los ejes. En cada eje tenemos en cuenta qué fuerzas actúan a favor del movimiento y restamos las que se oponen. En el eje horizontal hay aceleración pero no en el vertical por lo que las ecuaciones quedan:

$$\begin{aligned} F \cdot \cos \alpha &= m \cdot a_x \\ F \cdot \sin \alpha + N - m \cdot g &= 0 \end{aligned}$$

Obtenemos así un sistema de 2 ecuaciones con 2 incógnitas ( $a_x$  y  $N$ ). De cada una de las ecuaciones se pueden despejar de forma independiente cada una de ellas y habríamos resuelto el problema.

## Ejercicio resuelto

Sobre un objeto de masa 2 kg situado en un plano horizontal se ejerce una fuerza externa de 10 N aplicada con un ángulo de  $45^\circ$  respecto a la horizontal.

## Plano horizontal

masa= 2kg

$F = 10\text{ N}$

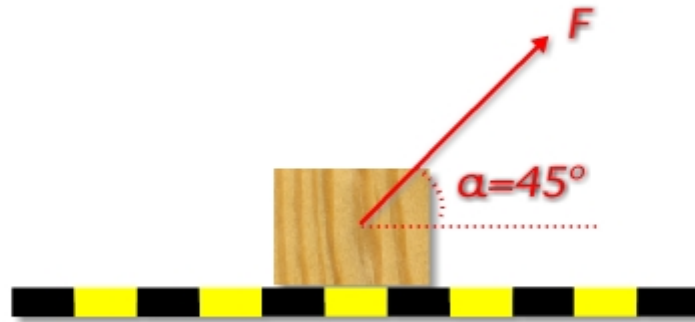


Imagen de elaboración propia

a) Dibuja el diagrama de fuerzas correspondiente a esta situación, elige un sistema de referencia y descompón todas las fuerzas en esos ejes.

#### Mostrar retroalimentación

El esquema de fuerzas será similar al que sigue:

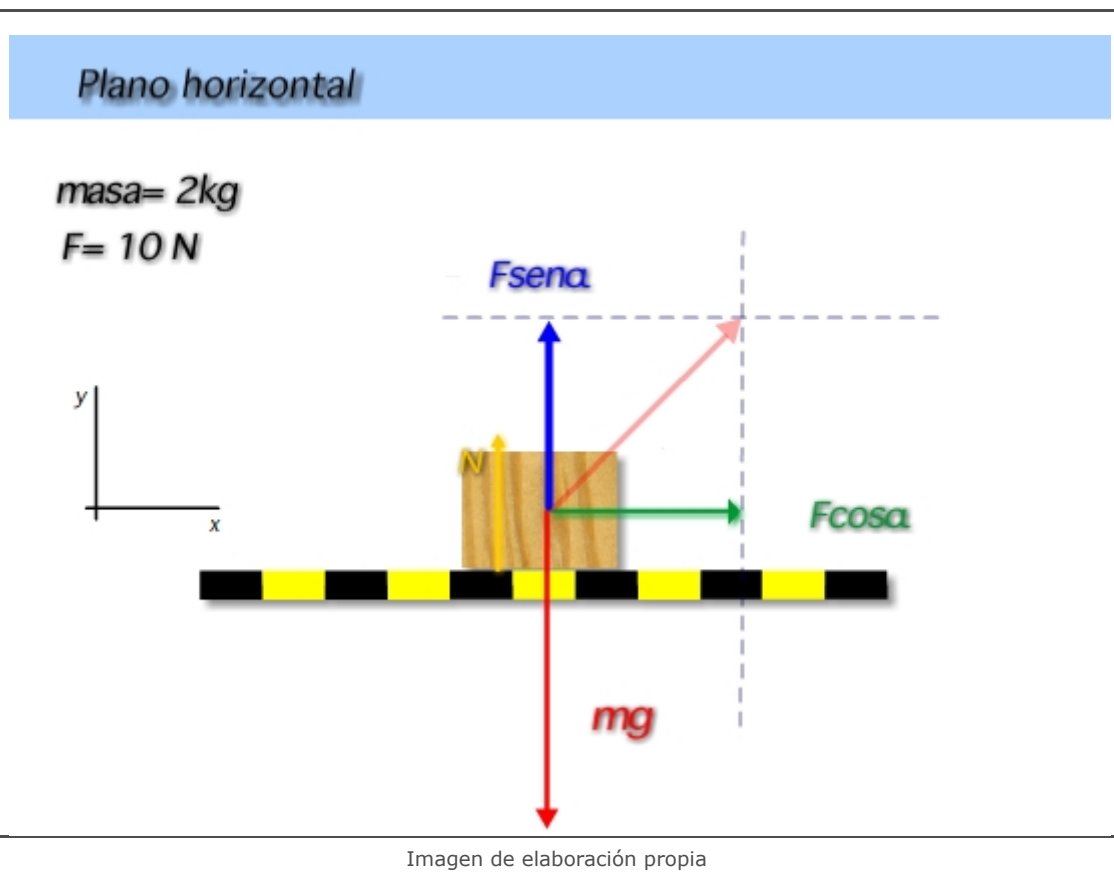


Imagen de elaboración propia

Hemos elegido como ejes coordenados el que va paralelo al plano y el perpendicular a este. Descomponemos la fuerza que no es paralelo a estos ejes:

$$F_x = F \cdot \cos \alpha = 10 \cdot \cos 45^\circ = 7,07\text{ N}$$

$$F_y = F \cdot \sin \alpha = 10 \cdot \sin 45^\circ = 7,07 \text{ N}$$

b) Aplica la 2ª ley de Newton.

#### Mostrar retroalimentación

Las ecuaciones del movimiento serán las siguientes:

- Eje x:  $F_x = m \cdot a \rightarrow 7,07 = 2 \cdot a$
- Eje y:  $F_y + N - m \cdot g = 0 \rightarrow 7,07 + N - 19,6 = 0$

c) Calcula el valor de la fuerza normal.

#### Mostrar retroalimentación

Para calcular la fuerza normal necesitarás despejar su valor de las ecuaciones correspondientes al eje y:

$$7,07 + N - 19,6 = 0$$

$$N = 19,6 - 7,07 = 12,53 \text{ N}$$

d) Calcula la aceleración que adquirirá el cuerpo por acción de dicha fuerza.

#### Mostrar retroalimentación

En este caso será necesario utilizar las ecuaciones del movimiento en el eje x:

$$7,07 = 2 \cdot a \rightarrow a = 7,07/2 \rightarrow a = 3,54 \text{ m/s}^2$$

## Comprueba lo aprendido Múltiple

Si al cuerpo del problema resuelto anterior se le aplica una fuerza de 20 N con un ángulo de 35°, el valor de la Normal y de su aceleración serán, respectivamente:

☐ 16.24 N y 8.19 m/s<sup>2</sup>

☐ 8.13 N y 8.19 m/s<sup>2</sup>

☐ 16.24 N y 5.21 m/s<sup>2</sup>

#### Mostrar retroalimentación

#### Solution

1. Incorrecto
2. Correcto



- 2. Correcto
- 3. Incorrecto

## 2.2 Fuerzas de rozamiento

Cuando un cuerpo se desliza sobre una superficie, tarde o temprano acabará parándose; esta afirmación parece contradecir la primera ley de Newton o de la inercia. ¿Cuál es la causa de este comportamiento? La fuerza de rozamiento que se opone al deslizamiento y que es debida a las imperfecciones microscópicas de los materiales. Nos confunde el hecho de que parece que no actúa ninguna fuerza pero hay una fuerza, la del rozamiento, que se opone al deslizamiento de un cuerpo sobre otro y que explica, de acuerdo con la segunda ley de Newton, la existencia de un cambio en el estado de movimiento.

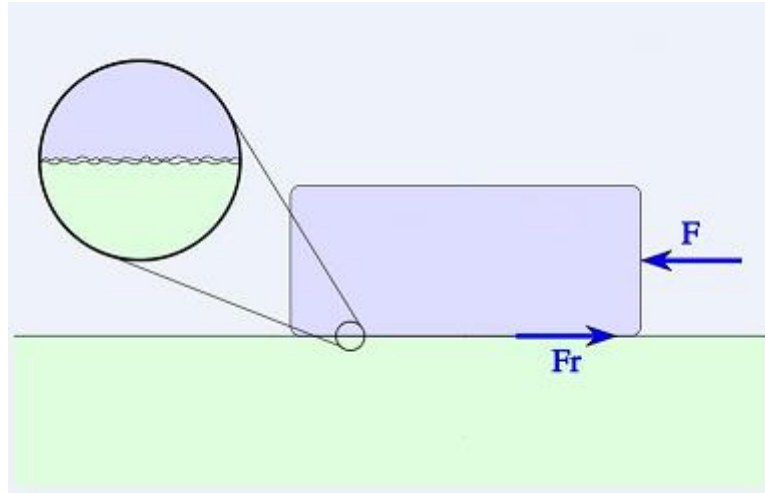


Imagen de [HiTe](#) adaptada, bajo licencia Creative Commons

### *Importante*

Por fuerza de rozamiento se entiende toda fuerza que se opone al deslizamiento de un objeto debido a las interacciones entre las superficies de contacto y/o el medio en el que se desplaza.

Al realizar un estudio experimental de una fuerza de rozamiento, se encuentran las siguientes características:

- Toda fuerza de rozamiento tiene la dirección de la superficie de contacto y sentido contrario al posible deslizamiento.
- El valor de su módulo toma valores desde cero hasta un valor máximo, que coincide con la fuerza mínima para iniciar el movimiento.
- Una vez ha comenzado el movimiento, el valor del módulo disminuye hasta un valor determinado que permanece constante mientras el cuerpo siga moviéndose.
- La fuerza de rozamiento no depende del área de contacto entre superficies.

De estos resultados podemos deducir la existencia de una constante de proporcionalidad entre fuerza de rozamiento y la Normal, que denominaremos **coeficiente de rozamiento** y representaremos por la letra griega  $\mu$ . Además, existen dos tipos de fuerza de rozamiento:

- Fuerza de rozamiento estático, que actúa sobre los cuerpos en reposo, caracterizada por el coeficiente de rozamiento estático  $\mu_e$ .
- Fuerza de rozamiento dinámico, que actúa sobre los cuerpos en movimiento, caracterizada por el coeficiente de rozamiento dinámico  $\mu_d$ .

## Importante

Según lo visto, el valor de la fuerza de rozamiento es variable. Mientras no haya deslizamiento, la fuerza de rozamiento coincide con las fuerzas aplicadas en la dirección del deslizamiento hasta alcanzar un valor máximo:

$$F_{Re\ max} = \mu_e \cdot N$$

Cuando se produce deslizamiento la fuerza de rozamiento se puede calcular como:

$$F_{Rd} = \mu_d \cdot N$$

Se cumple que para un mismo par de superficies que el coeficiente de rozamiento dinámico es menor que el estático.

## Ejercicio resuelto

Vamos a practicar un poco con el siguiente simulador para ver si has conseguido comprender cómo se manifiesta la fuerza de rozamiento.

Aplica una fuerza pequeña, 10 N por ejemplo, sobre el cuerpo del siguiente simulador y pulsa sobre comenzar. ¿Qué ocurre?

**Mostrar retroalimentación**

El cuerpo no se mueve.

¿Cómo es posible que el cuerpo no se mueva si estoy aplicando una fuerza sobre él?

**Mostrar retroalimentación**

Porque la suma de fuerzas que actúan sobre el cuerpo es cero. Esto quiere decir que debe haber una fuerza opuesta a la que estamos aplicando, de igual módulo, que la anule.

¿Cuál es esa fuerza?

**Mostrar retroalimentación**

La fuerza de rozamiento.

Reinicia y aplica una fuerza de 20 N. ¿Qué ocurre?

**Mostrar retroalimentación**

Tampoco se mueve. La fuerza de rozamiento ahora es de 20N y se opone a la que estamos aplicando de forma que la fuerza resultante es nula.

Reinicia y aplica una fuerza de 40 N. ¿Qué ocurre ahora?

**Mostrar retroalimentación**

Ahora la fuerza aplicada es mayor que la de rozamiento, existe una fuerza resultante o neta mayor que cero que provoca una aceleración en el cuerpo.

¿Qué valor tendrá la fuerza de rozamiento en la situación anterior?

**Mostrar retroalimentación**

Como la fuerza resultante (22.2N) es la diferencia entre la aplicada (40 N) y la de rozamiento, basta restar para determinar el valor de esta última. La fuerza de rozamiento en este caso vale 18.8 N.

Reinicia y aplica una fuerza de 50 N. ¿Qué valor tiene la fuerza de rozamiento en este caso?

**Mostrar retroalimentación**

Repitiendo el cálculo anterior deducimos que la fuerza de rozamiento vale:

$$F_R = 50 - 22.2 = 18.8\text{N}$$

Cuando el objeto se está moviendo, ¿qué ocurre con el valor de la fuerza de rozamiento?

**Mostrar retroalimentación**

Que es constante. Se puede calcular multiplicando el coeficiente de rozamiento dinámico por la fuerza normal.

¿Se puede afirmar con carácter general que la fuerza de rozamiento coincide en módulo con el producto del coeficiente de rozamiento y el valor de la fuerza normal?

**Mostrar retroalimentación**

No. Hemos comprobado que esto es sólo válido durante la fase dinámica, mientras el objeto se mueve. Antes de que comience a moverse la fuerza de rozamiento tiene un valor variable que depende de la fuerza aplicada.

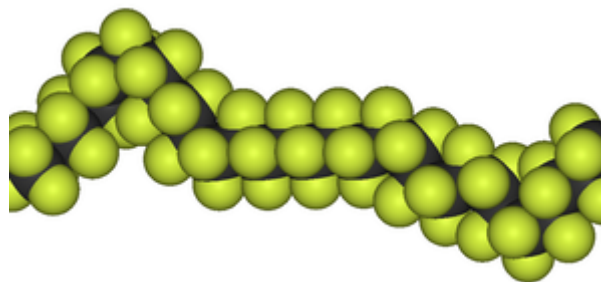
Reinicia de nuevo y mueve el cursor de la fuerza aplicada hasta que te ubiques en el punto A de la gráfica. ¿Qué ocurre? ¿Cuánto vale en este caso la fuerza de rozamiento máxima? ¿Cómo se puede calcular este valor?

### Mostrar retroalimentación

El cuerpo no se mueve porque la suma de fuerzas sigue siendo cero. Si aumentamos un poco más la fuerza aplicada, ya el rozamiento no es capaz de compensarla y el cuerpo comienza a moverse. La fuerza de rozamiento máxima es 25,8 N. Este valor se puede calcular aplicando la fórmula:

$$F_{\text{Re max}} = \mu_e \cdot N$$

### Curiosidad



Molécula de teflón. Imagen libre de derechos procedente de [Wikipedia](#)

El rozamiento nunca puede llegar a eliminarse completamente. Sin embargo, es posible reducirlo drásticamente mediante el uso de materiales específicos. La química moderna nos ha proporcionado sustancias que permiten un rozamiento mínimo: uno de estos materiales es el politetrafluoroetileno, más conocido por su nombre comercial **Teflón**.

Se trata de un material impermeable con un índice de fricción mínimo, lo que provoca que cualquier sustancia situada sobre él resbale, lo que le da su característica antiadherencia y de ahí su uso en sartenes y cacerolas. Como curiosidad, también se utiliza en piercings e implantes para evitar alergias y enganches con la ropa.

Puedes conocer más cosas sobre el politetrafluoroetileno en el siguiente [enlace](#).

### Comprueba lo aprendido Múltiple

Marca las afirmaciones sobre el rozamiento que sean correctas:

- ☐ Un cuerpo en reposo no sufre nunca rozamiento.

☐ El coeficiente de rozamiento estático siempre es mayor que el coeficiente de rozamiento dinámico.

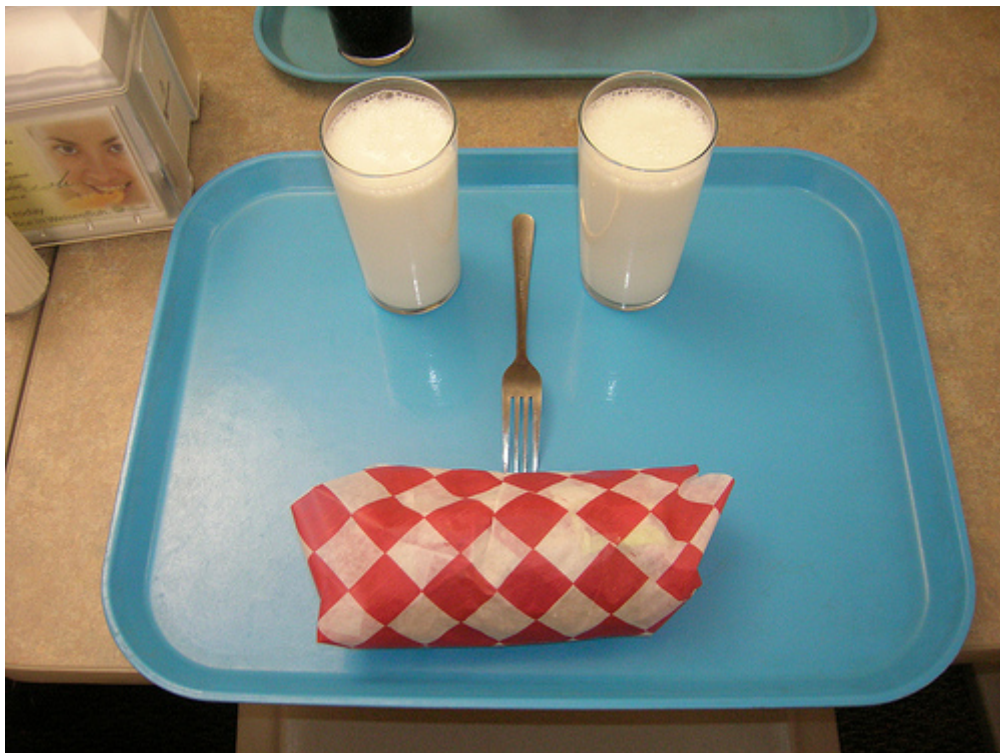
☐ La fuerza de rozamiento estático siempre es mayor que la fuerza de rozamiento dinámico.

### Mostrar retroalimentación

#### Solution

1. Incorrecto
2. Correcto
3. Incorrecto

## Ejercicio resuelto



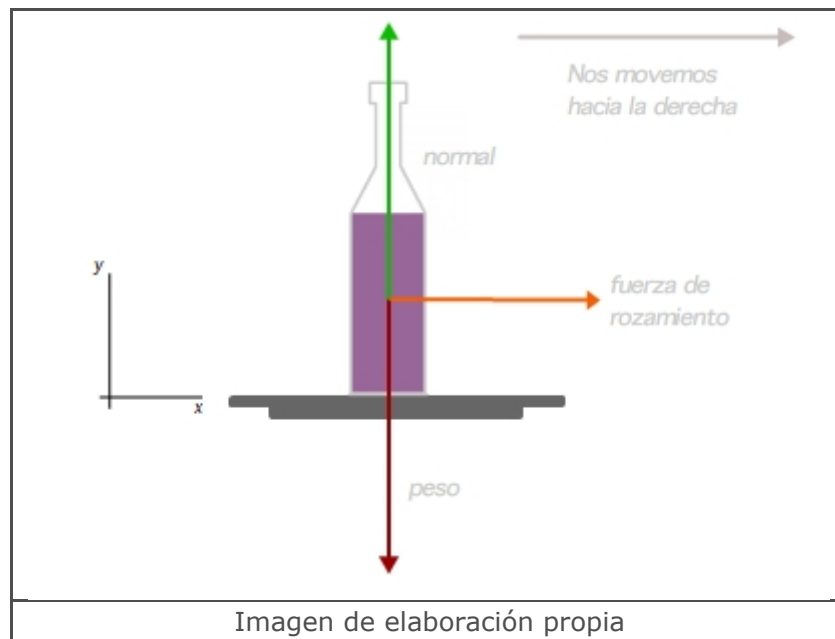
Algunos derechos reservados por [steakpinball](#)

Es muy frecuente escuchar la frase "el rozamiento siempre se opone al movimiento". Claro como muchos objetos se paran por culpa del rozamiento... Pero piensa en una situación muy cotidiana: ¿qué fuerza nos permite transportar objetos en una bandeja?

Haz un esquema y dibuja las fuerzas que actúan sobre un objeto situado sobre la bandeja.

### Mostrar retroalimentación

Evidentemente nosotros aplicamos una fuerza sobre la bandeja que desplaza al conjunto de la bandeja y el objeto que esta soporta encima. Supongamos que llevamos una botella. Las fuerzas que actúan sobre la botella, son la normal y su peso en dirección vertical. En dirección horizontal no hay ninguna fuerza aparentemente que la empuje hacia la derecha. Sin embargo, piensa por un momento qué ocurre cuando la bandeja está mojada. Es fácil ver como los objetos situados encima de una bandeja resbalan hacia atrás cuando nos movemos hacia delante y se pueden llegar a caer. Claro, cuando se moja la bandeja, el rozamiento de esta con los cuerpos que porta disminuye y por eso el cuerpo resbala. Por lo tanto la única fuerza que en este caso puede explicar el movimiento de la botella hacia la derecha es la fuerza de rozamiento con la superficie de la bandeja.

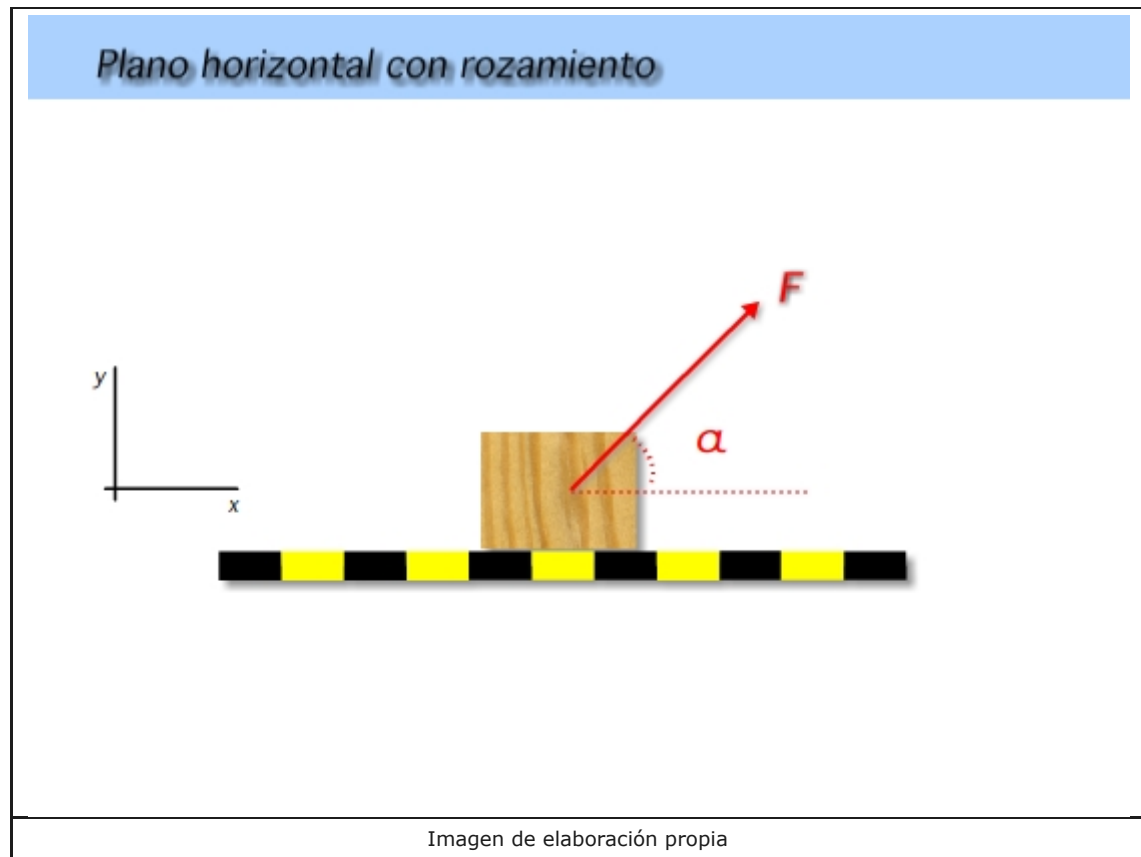


¿Qué es más correcto: decir que la fuerza de rozamiento se opone al movimiento o al deslizamiento entre superficies?

### Mostrar retroalimentación

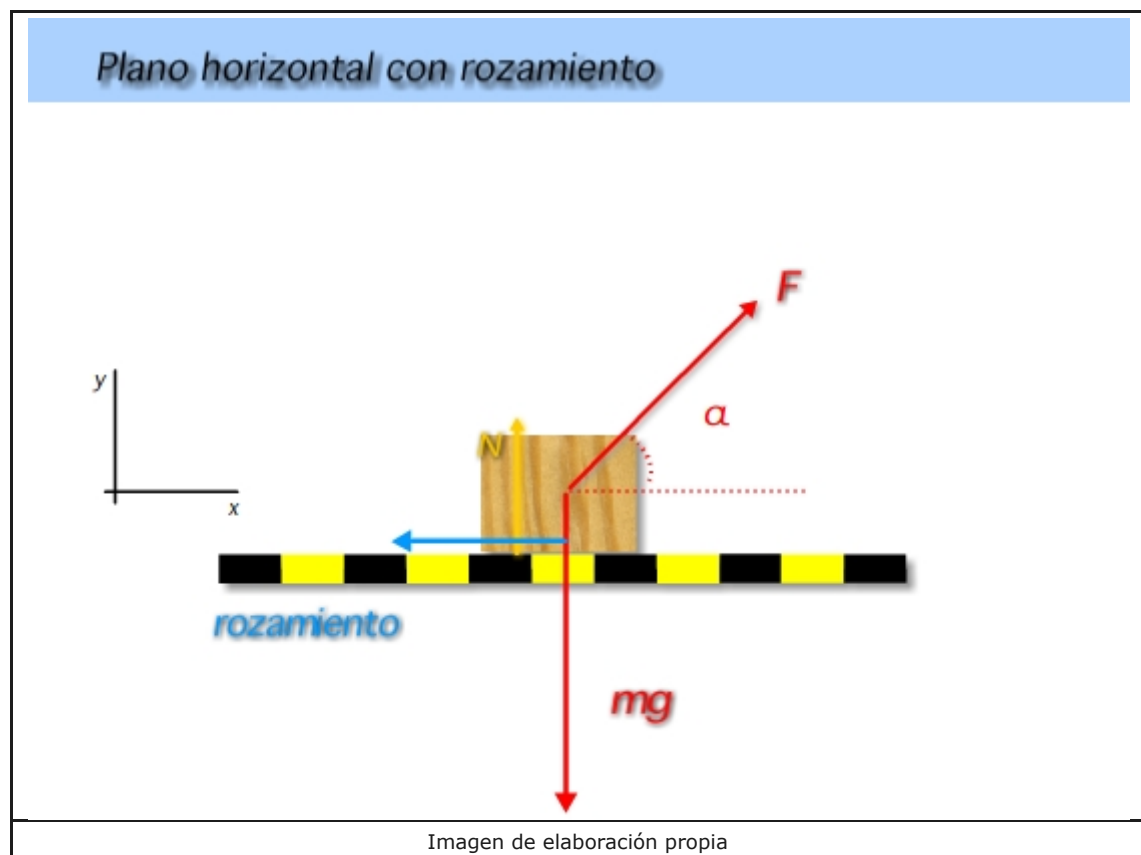
Evidentemente después de este ejemplo tenemos que concluir que la fuerza de rozamiento se opone al posible deslizamiento de un cuerpo sobre una superficie. Si la bandeja se mueve hacia la derecha, es posible que la botella deslice hacia la izquierda, por lo tanto el rozamiento apunta hacia la derecha oponiéndose a ese posible deslizamiento.

## 2.3 Plano horizontal con rozamiento



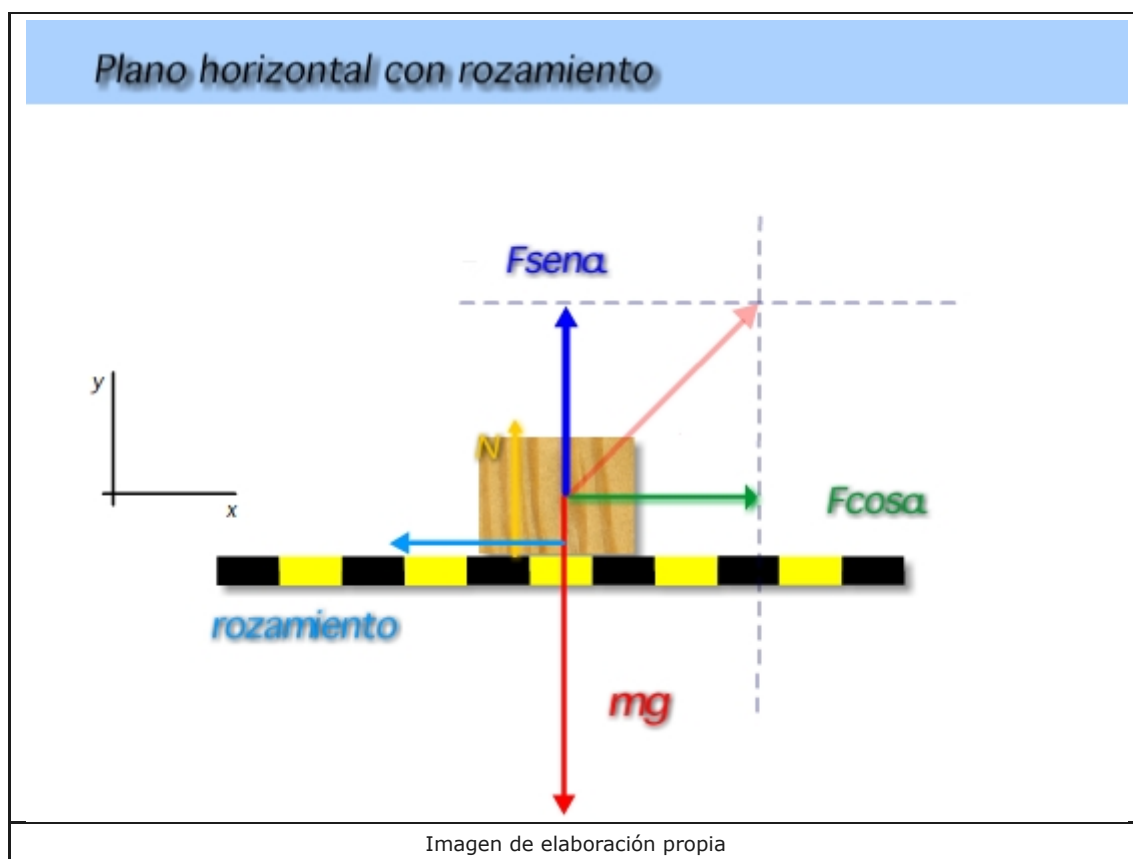
Ahora vas a estudiar un caso un poco más complicado del problema anterior. Vamos a estudiar el movimiento de un cuerpo sometido a una fuerza que se desliza sobre un plano horizontal con rozamiento. En principio supondremos que la fuerza aplicada es suficiente para modificar el estado de movimiento del objeto que originalmente está en reposo. De este modo podemos aplicar la fórmula para calcular la fuerza de rozamiento  $F_R$  que se opondrá al posible deslizamiento de ambas superficies.

Hacemos un esquema y dibujamos todas las fuerzas que actúan sobre nuestro cuerpo.





Elegimos un sistema de referencia adecuado y descomponemos las fuerzas que no sean paralela a ninguno de ambos ejes en sus componentes cartesianas.



$$F_x = F \cdot \cos \alpha$$

$$F_y = F \cdot \sin \alpha$$

Ahora aplicamos la 2ª ley de Newton a ambos ejes. En el vertical supondremos que no hay aceleración:

$$F \cdot \cos \alpha - F_R = m \cdot a_x$$

$$F \cdot \sin \alpha + N - m \cdot g = 0$$

Teniendo en cuenta que el valor de la fuerza de rozamiento en este caso, en que suponemos que el cuerpo está deslizando, es  $F_R = \mu \cdot N$ , puede escribirse:

$$F \cdot \cos \alpha - \mu \cdot N = m \cdot a_x$$

$$F \cdot \sin \alpha + N - m \cdot g = 0$$

Obtenemos un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas que puedes resolver fácilmente.

## Importante

En los problemas con rozamiento debes recordar siempre que existen dos tipos de coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ), y utilizar uno u otro en función del caso que tengas que resolver:

- Si el cuerpo no ha comenzado a moverse la fuerza de rozamiento tiene un valor desconocido y será una de las incógnitas del problema.
- Si el cuerpo está a punto de moverse o quieres calcular en qué momento comienza a hacerlo utilizarás el coeficiente de rozamiento estático ( $\mu_e$ ).
- Si el cuerpo ya se encuentra en movimiento, utilizarás el coeficiente de rozamiento

- Si el cuerpo ya se encuentra en movimiento, utilizas el coeficiente de rozamiento dinámico ( $\mu_d$ ).

## Ejercicio resuelto



Algunos derechos reservados por Sebastián-Dario

Un automóvil de 1000 kg de masa recibe la propulsión de su motor como una fuerza en dirección horizontal. Sabiendo que los coeficientes de rozamiento estático y dinámico de sus neumáticos con el asfalto en seco son  $\mu_e = 0.8$  y  $\mu_d = 0.6$  respectivamente, se pide que respondas a las siguientes cuestiones:

a) Dibuja el diagrama de fuerzas y escribe las ecuaciones correspondientes a la situación planteada.

### Mostrar retroalimentación

El esquema de las fuerzas será similar a siguiente:

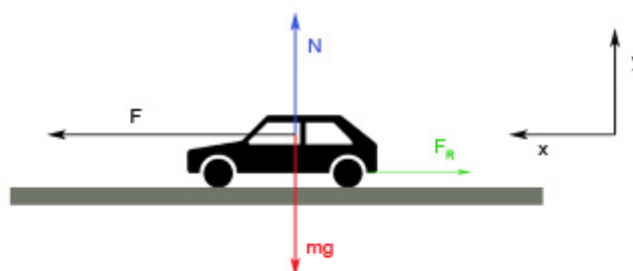


Imagen de elaboración propia

Debes observar que, por conveniencia, se han escogido los ejes coordenados como positivos en la dirección del movimiento. También cabe señalar que, en este caso, no

positivos en la dirección del movimiento. También cabe señalar que, en este caso, no es necesario descomponer ninguna fuerza por encontrarse todas en las direcciones de los ejes. Aplicando la 2ª ley de Newton a ambos ejes obtenemos:

- Eje x:  $F - F_R = m \cdot a$
- Eje y:  $N - m \cdot g = 0$

b) ¿Qué fuerza mínima deberá suministrar el motor para que el automóvil comience a moverse?

#### Mostrar retroalimentación

El automóvil comenzará a moverse cuando la fuerza aplicada por el motor supere la fuerza de rozamiento máxima. La fuerza de rozamiento máxima se puede calcular multiplicando el coeficiente de rozamiento estático por la Normal. Para calcular la fuerza mínima aplicada por el motor supondremos que la aceleración es cero:

- Eje x:  $F - \mu_e \cdot N = m \cdot 0 = 0$
- Eje y:  $N - m \cdot g = 0$

Despejando la Normal de la ecuación del eje y, obteniendo  $N = m \cdot g$ , y sustituyendo su valor en la primera ecuación:

$$F - \mu_e \cdot m \cdot g = 0 \rightarrow F = \mu_e \cdot m \cdot g = 0.8 \cdot 1000 \cdot 9.8 = 7840 \text{ N}$$

c) ¿Cuál será la fuerza necesaria para mantener el movimiento con velocidad constante?

#### Mostrar retroalimentación

Si el cuerpo ya se encuentra en movimiento, la fuerza de rozamiento se calcula usando el coeficiente de rozamiento dinámico. Además, si el movimiento es con velocidad constante, su aceleración deberá ser cero y las ecuaciones serán:

- Eje x:  $F - \mu_d \cdot N = m \cdot 0 = 0$
- Eje y:  $N - m \cdot g = 0$

El valor de la fuerza Normal sigue siendo  $N = m \cdot g$ , y por lo tanto:

$$F - \mu_d \cdot m \cdot g = 0 \rightarrow F = \mu_d \cdot m \cdot g = 0.6 \cdot 1000 \cdot 9.8 = 5880 \text{ N}$$

Como cabía esperar, es necesaria una fuerza menor para mantener el movimiento que para iniciarlo, debido al distinto valor de los coeficientes de rozamiento.

d) ¿Cuál será la aceleración que imprimirá al automóvil una fuerza de 10000 N?

#### Mostrar retroalimentación

La fuerza es mayor que la necesaria para iniciar el movimiento, por lo tanto el coeficiente de rozamiento a aplicar será  $\mu_d$ . En este caso la aceleración no será nula, y las ecuaciones quedarán de la forma:

- Eje x:  $F - \mu_d \cdot N = m \cdot a$
- Eje y:  $N - m \cdot g = 0$

De nuevo se despeja N de la ecuación del eje y y se sustituye en la ecuación del eje x, obteniendo:

$$F - \mu_d \cdot m \cdot g = m \cdot a$$

$$10000 - 0.6 \cdot 1000 \cdot 9.8 = 1000a$$

$$10000 - 5880 = 1000a$$

$$4120 = 1000a$$

$$a = 4120 : 1000$$

$$a = 4.12 \text{ m/s}^2$$

$$a = 4.12 \text{ m/s}^2$$

e) De repente, el conductor observa un obstáculo en la calzada a una distancia de 250 m. Si la velocidad en ese momento es de 90 km/h y el conductor coloca la marcha en punto muerto, ¿qué fuerza de frenado mínima (F) deberá ejercerse para que el vehículo no colisione con el obstáculo?

### Mostrar retroalimentación

En primer lugar, se transforman todas las unidades al Sistema Internacional (SI); en este caso  $90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$ .

Ahora tenemos una fuerza de frenado extra que se opone al movimiento y la fuerza del motor ya no se aplica, con lo cual las ecuaciones dinámicas serán:

- Eje x:  $-F - \mu_d \cdot N = m \cdot a$
- Eje y:  $N - m \cdot g = 0 \rightarrow N = m \cdot g$

Despejando podemos obtener el valor de la fuerza aplicada por los frenos:

$$F = -m \cdot a - \mu_d \cdot m \cdot g$$

Sin embargo, nos falta conocer el valor de la aceleración. Para ello, se utilizan las ecuaciones del movimiento que estudiaste en la unidad de cinemática. En este caso, por tratarse de un MRUA, usamos las ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + v_{0x} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \\ v_x &= v_{0x} + a \cdot t \end{aligned}$$

Sustituyendo los datos conocidos:

$$250 = 0 + 25 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$0 = 25 + a \cdot t$$

De la segunda ecuación despejamos la aceleración y sustituimos en la primera:

$$-25 = a \cdot t$$

$$a = \frac{-25}{t}$$

$$250 = 0 + 25 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \frac{-25}{t} \cdot t^2$$

$$250 = 25 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot (-25) \cdot t$$

$$250 = 25 \cdot t - 12.5 \cdot t$$

$$250 = 12.5 \cdot t$$

$$t = \frac{250}{12.5}$$

$$t = 20 \text{ s}$$

Sustituyendo en una expresión anterior podemos determinar la aceleración:

$$a = \frac{-25}{20}$$

Obtenemos que la aceleración vale  $-1.25 \text{ m/s}^2$  y sustituyendo en la expresión anterior:

$$F = -m \cdot a - \mu_d \cdot m \cdot g = -1000 \cdot (-1.25) - 0.6 \cdot 1000 \cdot 9.8 = 1250 - 5880 = -4630 \text{ N}$$

Deberá ejercer una fuerza de frenado mínima de 4630 N, indicando el signo negativo que se realizará en el sentido contrario al movimiento, tal y como se han definido los ejes.

## Reflexiona

Cuando el asfalto está mojado, el coeficiente de rozamiento disminuye drásticamente hasta valores tan bajos como  $\mu_e = 0.3$  y  $\mu_d = 0.25$  respectivamente. ¿Cómo variarán las fuerzas necesarias respecto a las calculadas en el apartado anterior? ¿Será esto positivo a la hora de la conducción del automóvil?



Imagen de [Dash](#) bajo licencia Creative Commons BY SA

### Mostrar retroalimentación

Al disminuir el coeficiente de rozamiento, disminuirá en igual medida la fuerza necesaria para comenzar y mantener el movimiento (en este caso, más de la mitad); también sería necesaria menos fuerza para obtener una aceleración similar.

Esto podría parecer bueno para ahorrar combustible o trabajar con motores menos potentes, pero sin embargo no es en absoluto deseable a la hora de conducir. De hecho, todo lo contrario: la disminución del rozamiento provoca falta de adherencia, que impide los cambios de dirección. No sería por tanto posible tomar las curvas a una velocidad alta, ya que al disminuir el rozamiento el coche tendería a seguir en línea recta, como verás en el tema 8. El caso extremo es el "aquaplaning", producido cuando se pierde totalmente la adherencia y el vehículo no responde al volante. Por ello se utilizan neumáticos de lluvia, que son más blandos (mayor rozamiento) y con dibujo (para evacuar el agua).

## 2.4 Plano inclinado

---

La mayor parte de los movimientos no tienen lugar en un plano horizontal, sino que presentan un cierto desnivel. Una buena aproximación para estos casos consiste en suponer que nuestro móvil se desplaza sobre un plano inclinado.

¿Tenemos fuerzas diferentes a las ya estudiadas? Pues no. Están presentes la fuerza peso (ejercida por el planeta Tierra), la fuerza Normal (ejercida por el plano), la fuerza de rozamiento y en algunos casos una fuerza aplicada. Sin embargo la presencia de un plano inclinado nos fuerza a cambiar el sistema de referencia y tomar los ejes en la dirección paralela y perpendicular a dicho plano. Como consecuencia tendremos que calcular las componentes cartesianas de la fuerza peso que ya no estará alineada con ningún eje.

### *Reflexiona*

Manipula el siguiente simulador variando el ángulo del plano inclinado y responde a las siguientes preguntas:

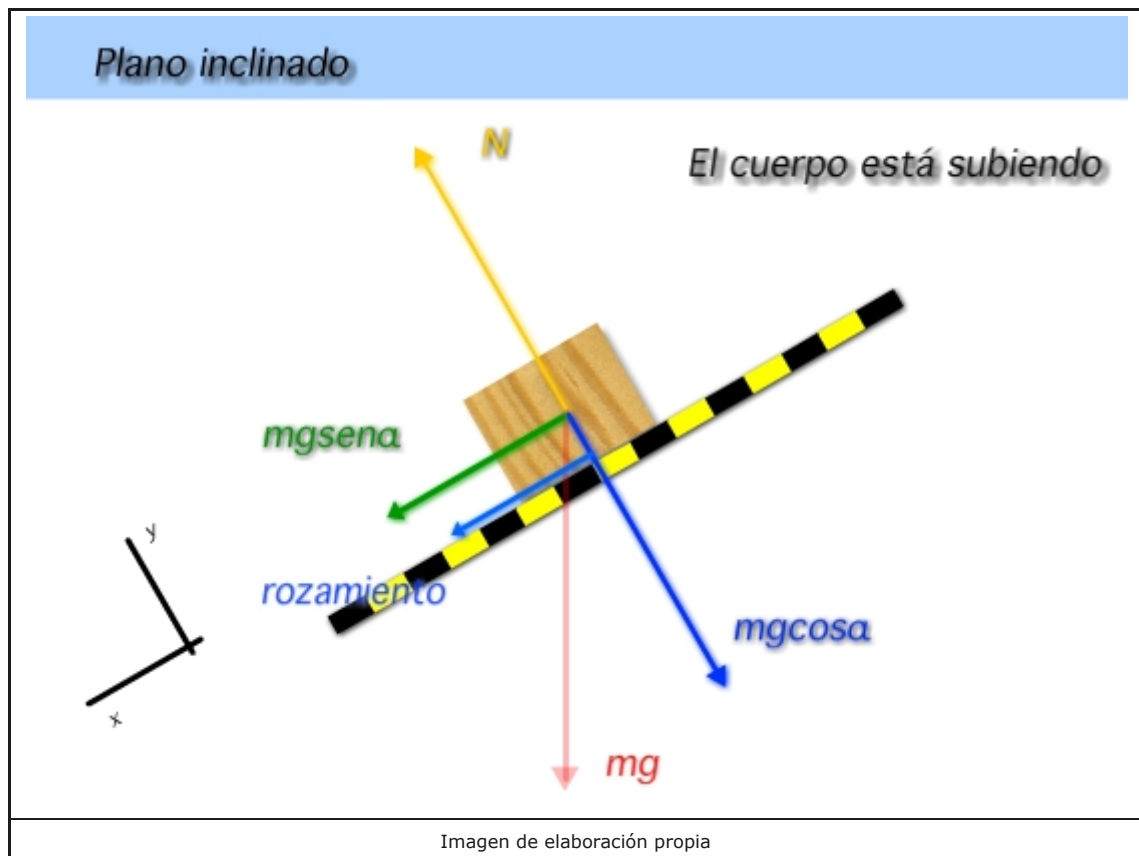
1. A medida que aumentamos el ángulo de inclinación del plano, ¿cómo varía la componente del peso paralela al plano?
2. A medida que aumentamos el ángulo de inclinación del plano, ¿cómo varía la componente del peso perpendicular al plano?

**Mostrar retroalimentación**

---

1. La componente paralela al plano  $mg\sen\alpha$  se hace mayor al ir creciendo el ángulo desde 0 hasta 90°. Cuando el ángulo es 0°, es decir, para un plano horizontal, esta componente se anula. Por contra cuando el ángulo alcanza los 90°, para un plano vertical, la componente paralela al plano coincide con el peso.
2. La componente perpendicular al plano  $mg\cos\alpha$  se comporta justo al contrario. Se hace menor al ir creciendo el ángulo desde 0 hasta 90°. Cuando el ángulo es 0°, es decir, para un plano horizontal, esta componente toma el valor de la fuerza peso. Por contra cuando el ángulo alcanza los 90°, para un plano vertical, la componente vertical del plano se anula.

Estudiaremos primero el caso de un cuerpo que asciende por un plano inclinado con rozamiento.



Aplicamos la segunda ley de Newton a cada eje teniendo en cuenta qué fuerzas actúan a favor y en contra:

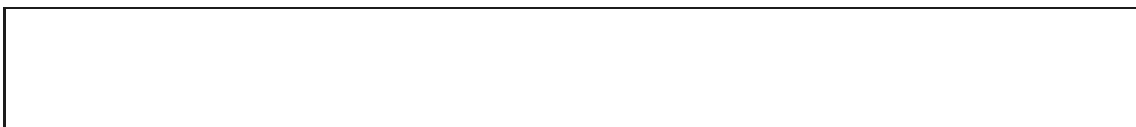
$$\begin{aligned} -m \cdot g \cdot \sen\alpha - F_R &= m \cdot a_x \\ N - m \cdot g \cdot \cos\alpha &= 0 \end{aligned}$$

Sustituyendo la fuerza de rozamiento por su valor como producto del coeficiente de rozamiento por la normal, se obtiene:

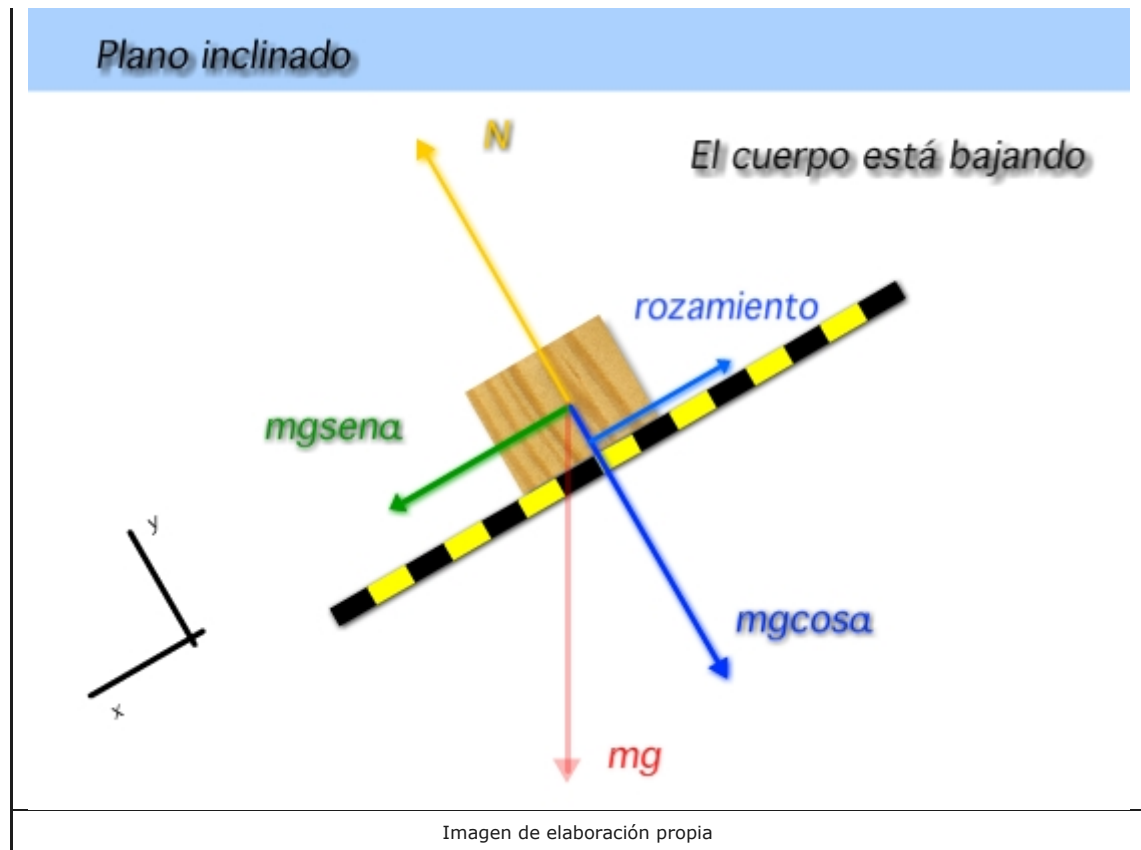
$$\begin{aligned} -m \cdot g \cdot \sen\alpha - \mu \cdot N &= m \cdot a_x \\ N &= m \cdot g \cdot \cos\alpha \end{aligned}$$

Calculando el valor de la normal con la segunda ecuación y sustituyendo en la primera ecuación podemos despajar la aceleración del cuerpo que evidentemente será negativa. Esto quiere decir que al cabo de un tiempo la velocidad se hará cero y el cuerpo se parará.

Veamos ahora qué ocurre cuando el cuerpo desciende por un plano inclinado con rozamiento.



## Plano inclinado



Aplicamos la segunda ley de Newton a cada eje teniendo en cuenta qué fuerzas actúan a favor y en contra:

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha - F_R = m \cdot a_x$$

$$N - m \cdot g \cdot \cos \alpha = 0$$

Sustituyendo la fuerza de rozamiento por su valor como producto del coeficiente de rozamiento por la normal, se obtiene un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha - \mu \cdot N = m \cdot a_x$$

$$N = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

Calculando el valor de la normal con la segunda ecuación y sustituyendo en la primera ecuación podemos despejar la aceleración del cuerpo. Dependiendo del ángulo de inclinación y del coeficiente de rozamiento tendremos una aceleración positiva o negativa.

## Ejercicio resuelto

Vamos a analizar el caso de un cuerpo que asciende o desciende por un plano inclinado con rozamiento. Supongamos primero que el cuerpo está subiendo.



1. Fija un ángulo de  $20^\circ$ . En la dirección perpendicular al plano, ¿hay aceleración? ¿Qué puedes concluir gracias a este dato?

**Mostrar retroalimentación**

La aceleración en dirección perpendicular al plano es nula y por lo tanto las fuerzas que apuntan hacia arriba y hacia abajo son iguales. En conclusión sabemos que la Normal vale igual que la componente  $mg\cos\alpha$ .

2. Al hacer crecer el ángulo de inclinación del plano inclinado, ¿cómo varía el valor de la Normal?

**Mostrar retroalimentación**

La Normal se hace más pequeña.

3. Al aumentar el ángulo de inclinación, ¿cómo varía la fuerza de rozamiento?

**Mostrar retroalimentación**

A medida que aumentamos el ángulo, la fuerza de rozamiento se hace menor puesto que la fuerza de rozamiento se calcula multiplicando el coeficiente de rozamiento dinámico por la normal y esta disminuye al crecer  $\alpha$ .

4. ¿Por qué la aceleración en la dirección paralela al plano es negativa cuando el cuerpo asciende?

**Mostrar retroalimentación**

Porque las dos fuerzas presentes, la componente  $mg\sin\alpha$  y el rozamiento apuntan hacia abajo, en contra del movimiento del cuerpo.

5. Supón ahora que el cuerpo está descendiendo, ¿hacia adónde apunta ahora la fuerza de rozamiento?

### Mostrar retroalimentación

Hacia arriba.

6. Modifica el ángulo de inclinación. ¿Qué ocurre con el signo de la aceleración?

### Mostrar retroalimentación

Con poca inclinación la componente  $mg\sin\alpha$  es pequeña. Por contra la otra componente del peso es grande y por tanto el rozamiento es grande. La fuerza a favor es menor que la fuerza en contra y en consecuencia la aceleración es negativa. El curso se va frenando hasta pararse.

Con un ángulo de inclinación alto, la componente  $mg\sin\alpha$  se hace mayor y la  $mg\cos\alpha$  por contra se hace más pequeña y con esta el rozamiento. En consecuencia la fuerza a favor es mayor que la fuerza en contra y la aceleración es positiva. El cuerpo cada vez se mueve con mayor velocidad.

*Comprueba lo aprendido*

Blanco

Un camión se encuentra en una cuesta. El motor del camión ejerce una fuerza hacia arriba cuando este asciende.

Para una inclinación de  $15^\circ$ , si la fuerza del motor es  , las fuerzas en contra del movimiento son  que las fuerzas a favor por lo que la aceleración es negativa . El camión irá  hasta pararse.

Para la misma inclinación, si la fuerza del motor es  , las fuerzas   
 del movimiento son mayores que las fuerzas  por lo que la  
aceleración es positiva . El camión irá subiendo cada vez con   .

**Enviar**

### 3. Cuerpos enlazados

---



Puente Ibn Fírnas en Córdoba  
Algunos derechos reservados por [Paco Lozano](#)

Hasta ahora se han tratado casos de sistemas dinámicos simples en los que existía un único cuerpo, pero ésta no es la situación más común que podemos encontrarnos. La mayor parte de dispositivos y máquinas que podemos observar a nuestro alrededor están formadas por distintas partes interrelacionadas entre sí, de tal forma que algún fallo o problema en cualquiera de ellas lleva asociado que el sistema en su conjunto deje de funcionar. Estos sistemas dinámicos formados por más de un cuerpo, son más complejos de estudiar que los sistemas de un único cuerpo.

Piensa en el caso de un vehículo con remolque. La fuerza de tracción del vehículo se transmite mediante el uso de un cable, cuerda o cadena. Esto ocurre porque el cuerpo que une al vehículo y al remolque se **tensa**.

*Importante*

Denominaremos **tensión** a la fuerza de interacción ejercida entre dos cuerpos cuando uno de ellos transmite un movimiento a otro mediante un dispositivo material. Esta tensión se representará por **T** y se trata de una fuerza de acción-reacción sobre el intermediario, normamente una cuerda o cable.

Para simplificar el estudio, las cuerdas y cables utilizados en toda esta sección serán "ideales", es decir no tendrán masa y serán inextensibles y capaces de soportar cualquier tensión.



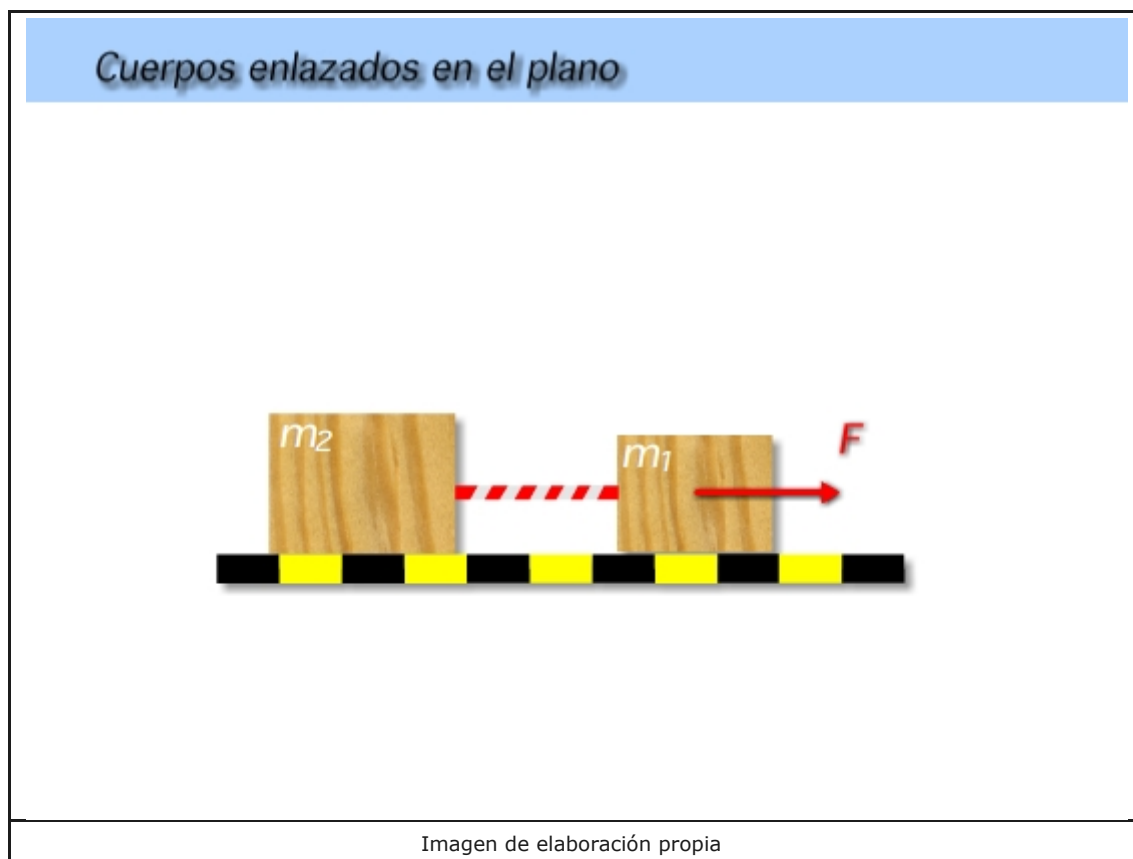
### *Importante*

---

Los cuerpos que están enlazados se mueven con la misma velocidad y aceleración, coincidiendo por tanto el espacio recorrido por cada uno de ellos. Además las tensiones en los extremos de la cuerda son iguales y de sentido contrario.

### 3.1 Plano horizontal

El ejemplo más sencillo de cuerpos enlazados es el conjunto vehículo-remolque. Esta situación se presenta en situaciones como en un tren, entre la locomotora y los vagones que arrastra, o en un coche que remolca una caravana.



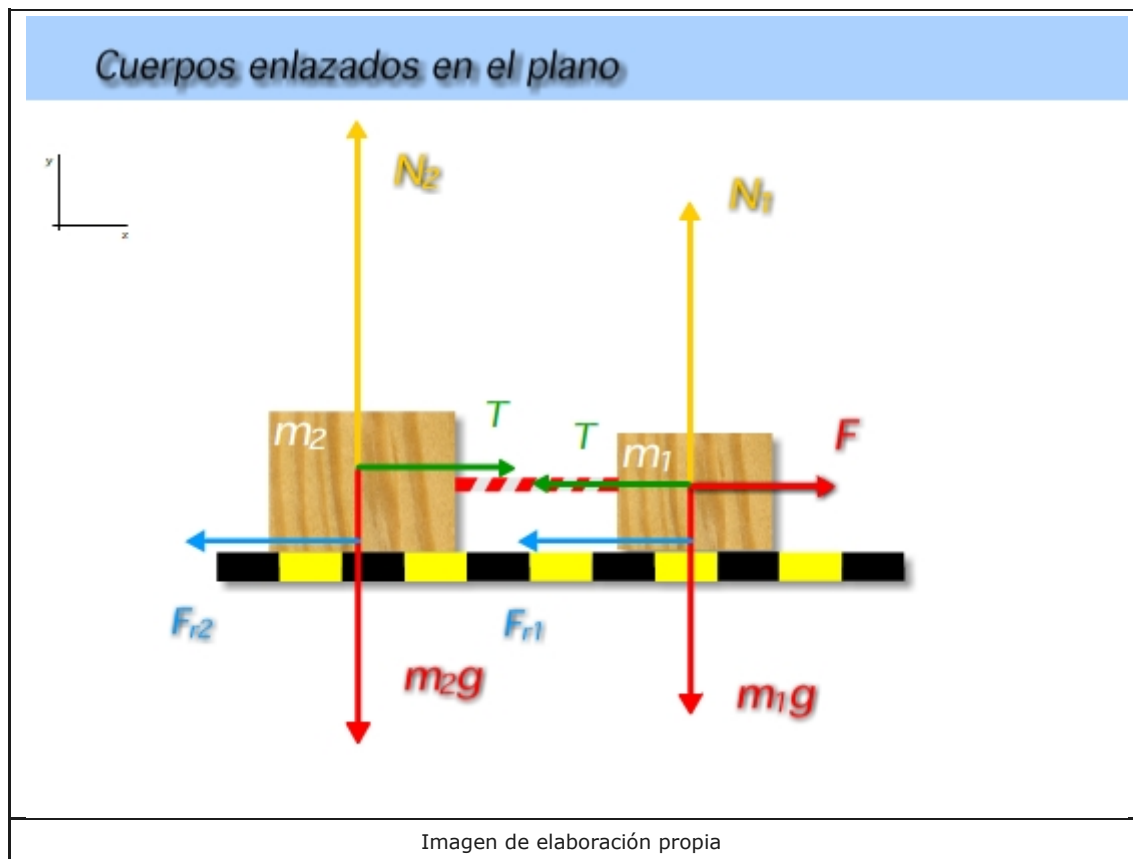
#### Importante

A la hora de resolver un problema de aplicación de las leyes de la dinámica en un sistema de cuerpos enlazados, es importante que sigas ordenadamente las siguientes pautas:

1. Identifica los distintos cuerpos que intervienen en el problema (recuerda que, en lo que a este tema se refiere, las cuerdas no son cuerpos como tales, sino simplemente el medio transmisor de la fuerza de Tensión)
2. Identifica las fuerzas que se ejercen sobre cada cuerpo, así como su origen, tipo y dirección. Ten en cuenta que la Tensión es una fuerza de acción y reacción aplicada en ambos extremos de la cuerda con sentido contrario en cada cuerpo.
3. Dibuja un diagrama de fuerzas lo más simple posible, pero que contenga toda la información que se haya suministrado. El punto de aplicación de todas las fuerzas será el centro geométrico del cuerpo sobre el que actúan.
4. Escoge un sistema de referencia cartesiano de forma que uno de los ejes coincida con la dirección esperada de movimiento del conjunto. Este sistema de referencia debe ser el mismo para todos los cuerpos intervinientes.
5. Descompón todas las fuerzas en sus componentes según los ejes del sistema de referencia.
6. Aplica la segunda ley de Newton para cada uno de los cuerpos por separado y en cada uno de los ejes.

¿Qué cambia respecto al tratamiento que hemos dado al problema de un cuerpo sobre una superficie horizontal? Pues evidentemente ahora tenemos dos cuerpos por lo que tendremos que aplicar la 2ª ley de Newton a ambos cuerpos y además tenemos una fuerza nueva, la Tensión de la cuerda, que actúa sobre ambos cuerpos. De hecho la cuerda tira hacia atrás del cuerpo 1 en reacción a la fuerza hacia delante que ejerce este sobre la cuerda, y esta fuerza se transmite íntegramente (por eso decimos que la cuerda se comporta de forma ideal) al segundo cuerpo.

Si dibujamos todas las fuerzas el diagrama quedaría como muestra la siguiente imagen:



En este caso todas las fuerzas son horizontales o verticales por lo que tomando como sistema de referencia los ejes en dirección paralela y perpendicular al plano, no necesitamos descomponer ninguna de las fuerzas presentes. Ahora tenemos hacer un balance de las fuerzas a favor y en contra en cada cuerpo y en cada eje. Supondremos si hay desplazamiento este ocurrirá en la dirección paralela al plano por lo que la aceleración vertical es cero. Según esto, se pueden escribir las ecuaciones dinámicas de cada uno de los cuerpos:

**Cuerpo 1:**

$$F - T - F_{r1} = m_1 \cdot a_1$$

$$N_1 - m_1 \cdot g = 0$$

**Cuerpo 2:**

$$T - F_{r2} = m_2 \cdot a_2$$

$$N_2 - m_2 \cdot g = 0$$

Suponiendo que el conjunto de ambos cuerpos se mueve, sabemos que existe una relación entre la fuerza normal y la fuerza de rozamiento:

$$F_{r1} = \mu \cdot N_1$$

$$F_{r2} = \mu \cdot N_2$$

Si sustituimos en las ecuaciones anteriores obtendremos:

**Cuerpo 1:**

$$F - T - \mu \cdot N_1 = m_1 \cdot a_1$$
$$N_1 - m_1 \cdot g = 0$$

**Cuerpo 2:**

$$T - \mu \cdot N_2 = m_2 \cdot a_2$$
$$N_2 - m_2 \cdot g = 0$$

Normalmente la fuerza  $F$  será un dato del problema y tendremos que determinar la aceleración de ambos cuerpos. Si te fijas tenemos 4 ecuaciones y 5 incógnitas ( $T$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ). ¿Imposible de resolver? No, suponemos que ambos cuerpos, al estar unidos por la cuerda, se desplazan de forma solidaria y por lo tanto tenemos una única aceleración. De la segunda y la cuarta ecuación podemos despejar el valor de las normales  $N_1$  y  $N_2$  y sustituir en las ecuaciones 1 y 3.

**Cuerpo 1:**

$$N_1 = m_1 \cdot g$$
$$F - T - \mu \cdot m_1 \cdot g = m_1 \cdot a$$

**Cuerpo 2:**

$$N_2 = m_2 \cdot g$$
$$T - \mu \cdot m_2 \cdot g = m_2 \cdot a$$

Si te fijas ahora tenemos un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, la tensión ( $T$ ) y la aceleración ( $a$ ).

$$F - T - \mu \cdot m_1 \cdot g = m_1 \cdot a$$
$$T - \mu \cdot m_2 \cdot g = m_2 \cdot a$$

Despejando la tensión de una...

$$T = m_2 \cdot a + \mu \cdot m_2 \cdot g$$

y sustituyendo en la otra podríamos despejar la aceleración y conocida esta podríamos determinar el valor de todas las demás fuerzas desconocidas.

$$F - m_2 \cdot a - \mu \cdot m_2 \cdot g - \mu \cdot m_1 \cdot g = m_1 \cdot a$$
$$F - \mu \cdot m_2 \cdot g - \mu \cdot m_1 \cdot g = m_1 \cdot a + m_2 \cdot a = (m_1 + m_2) \cdot a$$
$$F - \mu \cdot (m_1 + m_2) \cdot g = (m_1 + m_2) \cdot a$$
$$a = \frac{F - \mu \cdot (m_1 + m_2) \cdot g}{(m_1 + m_2)}$$

Ten en cuenta de que en los problemas que tengas que resolver, normalmente, sustituirás los valores de cada dato y no tendrás que manejar expresiones tan complejas. Lo importante es que entiendas el procedimiento general que esencialmente consiste en dibujar las fuerzas a los dos cuerpos, aplicar la 2ª ley de Newton a ambos y resolver el problema matemático que no es nada complejo.

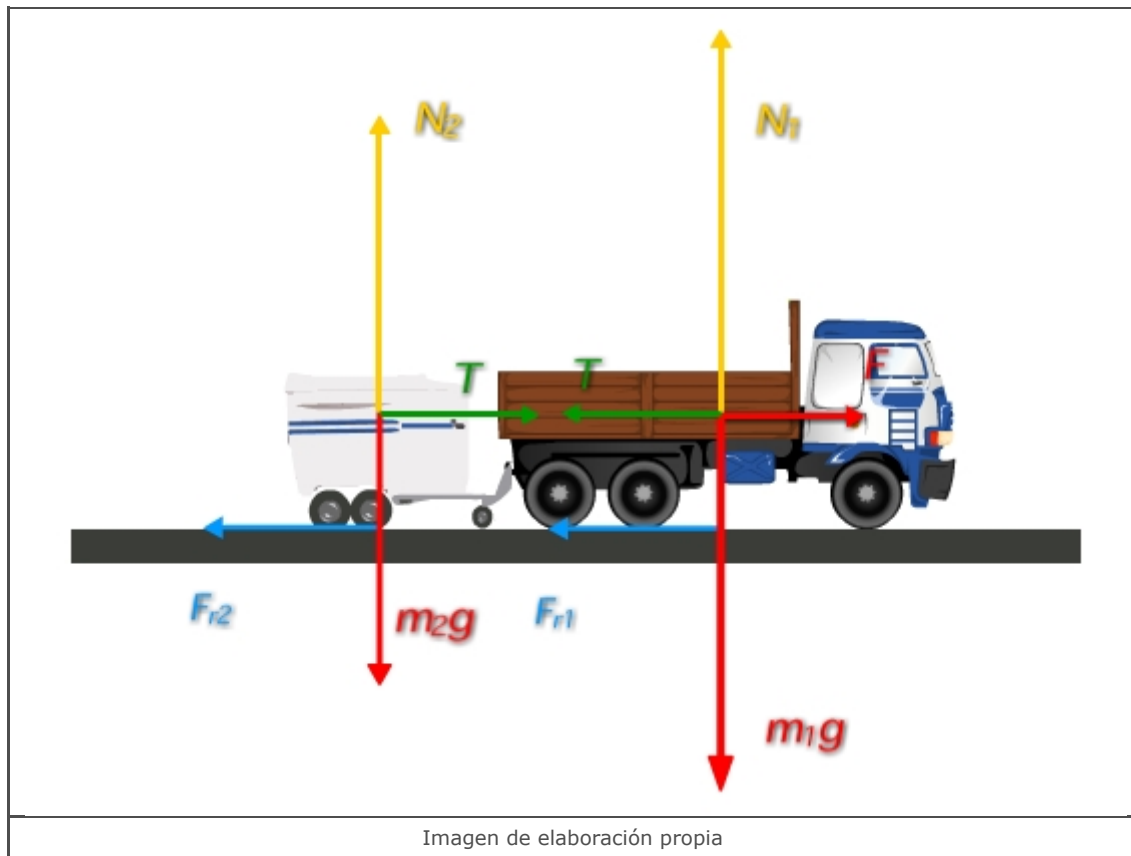
*Ejercicio resuelto*



Un camión ligero de masa 10000 kg arrastra un remolque cargado cuya masa total es de 5000 kg. El motor del camión ejerce una fuerza de 80000 N. Si el coeficiente de rozamiento dinámico entre el suelo y los neumáticos es  $\mu_d = 0.4$ :

a) Dibuja el diagrama de fuerzas correspondiente y escribe las ecuaciones dinámicas.

**Mostrar retroalimentación**



Las ecuaciones dinámicas correspondientes serán:

- Para el camión:

$$F - F_{r1} - T = m_1 \cdot a$$

$$N_1 = m_1 \cdot g$$

- Para el remolque:

$$T - F_{r2} = m_2 \cdot a$$

$$N_2 = m_2 \cdot g$$

b) Calcula la aceleración con que se mueve el conjunto.

**Mostrar retroalimentación**

Tenemos que resolver las ecuaciones dinámicas de nuestro caso de estudio. Como se mueven, existe una relación entre las fuerzas de rozamiento y las fuerzas normales:

$$F_{r1} = \mu \cdot N_1$$

$$F_{r2} = \mu \cdot N_2$$

Sustituyendo en las ecuaciones anteriores, el valor de las fuerzas de rozamiento, obtenemos:

- Para el camión:

$$F - \mu \cdot N_1 - T = m_1 \cdot a$$

$$N_1 = m_1 \cdot g$$

● Para el remolque:

$$T - \mu \cdot N_2 = m_2 \cdot a$$

$$N_2 = m_2 \cdot g$$

Despejando las normales y sustituyendo su valor en las ecuaciones 1 y 3 obtenemos:

$$F - \mu \cdot m_1 \cdot g - T = m_1 \cdot a$$

$$T - \mu \cdot m_2 \cdot g = m_2 \cdot a$$

Sustituamos los valores que nos da el problema:

$$F=80000 \text{ N}$$

$$m_1=10000 \text{ kg}$$

$$m_2=5000 \text{ kg}$$

$$\mu=0.4$$

$$g=10 \text{ m/s}^2$$

en las ecuaciones

$$80000 - 0.4 \cdot 10000 \cdot 10 - T = 10000 \cdot a \rightarrow 80000 - 40000 - T = 10000 \cdot a \rightarrow 40000 - T = 10000 \cdot a \rightarrow T = 40000 - 10000 \cdot a$$

$$T - 0.4 \cdot 5000 \cdot 10 = 5000 \cdot a \rightarrow T - 20000 = 5000 \cdot a$$

Una vez que se despeja la tensión de la primera ecuación, sustituyéndola en la segunda:

$$40000 - 10000 \cdot a - 20000 = 5000 \cdot a$$

$$20000 = 5000 \cdot a + 10000 \cdot a$$

$$20000 = 15000 \cdot a$$

$$a = 20000 : 15000$$

$$a = 1.33 \text{ m/s}^2$$

c) ¿Cuál es la tensión que soporta el enganche entre el camión y el remolque?

#### Mostrar retroalimentación

Para calcular la Tensión basta con sustituir los valores en la primera ecuación despejada anteriormente:

$$T = 40000 - 10000 \cdot a = T = 40000 - 10000 \cdot 1.33 = 26700 \text{ N}$$

### Reflexiona

El conjunto camión y remolque del ejercicio anterior circula sobre una placa de hielo que provoca la desaparición de las fuerzas de rozamiento. Si la fuerza realizada por el motor sigue siendo la misma, ¿qué aceleración alcanzará el conjunto? ¿Cuál será la tensión del enganche en esta situación?

#### Mostrar retroalimentación

En este caso sigue siendo válido el diagrama del problema resuelto anteriormente, con la única diferencia que ahora no existen fuerzas de rozamiento.

Las ecuaciones dinámicas correspondientes serán:

- Para el camión:  $F - T = m_1 \cdot a$  ( $N = m_1 \cdot g$  en el eje  $y$ )
- Para el remolque:  $T = m_2 \cdot a$  ( $N_2 = m_2 \cdot g$  en el eje  $y$ )

Sustituyendo de nuevo la ecuación del remolque en la del camión obtenemos:

$$F - m_2 \cdot a = m_1 \cdot a$$

$$a \cdot (m_1 + m_2) = F$$

$$a = F / (m_1 + m_2)$$

y por lo tanto la aceleración resulta ser:

$$a = 80000 / (10000 + 5000) = 80000/15000 = 5.3 \text{ m/s}^2$$

La tensión se obtiene automáticamente sustituyendo en

$$T = m_2 \cdot a = 5000 \cdot 5.3 = 26650 \text{ N}$$

Puede observarse que es la misma que en el caso con rozamiento, ya que en el caso de cuerpos enlazados en movimiento horizontal la tensión de la cuerda es independiente del rozamiento existente.

## 3.2 Movimiento vertical

Dentro del conjunto de sistemas dinámicos formados por cuerpos enlazados, otro caso de particular interés es el de la polea, que nos permite elevar un cuerpo más cómodamente al poder aplicar la fuerza hacia abajo.

La polea más sencilla es la polea simple, que transmite directamente la fuerza realizada sobre la cuerda hasta el cuerpo, tal y como se indica en la imagen.

De nuevo la cuerda no tiene masa, es inextensible y no existe rozamiento de ningún tipo entre la polea y la cuerda.

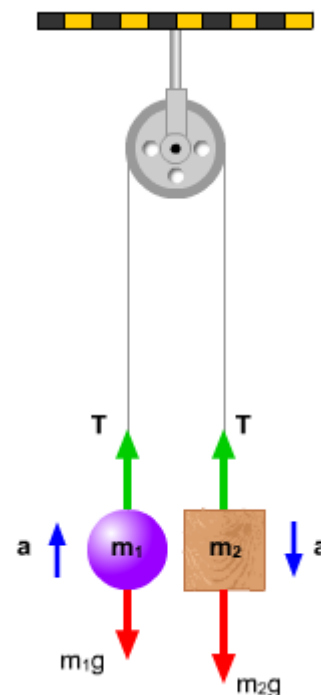


Imagen de elaboración propia

### *Ejercicio resuelto*

Vamos a experimentar un poco con el siguiente simulador.

Fija la masa del primer cuerpo en 15 kg y varía la masa del segundo. ¿Cómo varía la tensión?

**Mostrar retroalimentación**

La tensión es tanto mayor cuanto mayor es la masa del segundo cuerpo.

¿Hacia adónde se mueve el sistema?

**Mostrar retroalimentación**

El sistema se acelera hacia el cuerpo 1 mientras la masa del segundo es menor que la de este. Cuando la masa del segundo cuerpo supera la del primero, el sistema se acelera en sentido contrario.

¿Qué ocurre cuando las dos masas son iguales?

**Mostrar retroalimentación**

Las fuerzas peso son iguales e iguales a la tensión por lo que el sistema permanecerá en reposo.

## *Ejercicio resuelto*

La máquina de Atwood es una máquina simple de primera especie cuyo esquema se indica en la figura. Las masas que cuelgan de la máquina miden 20 y 10 kg respectivamente.



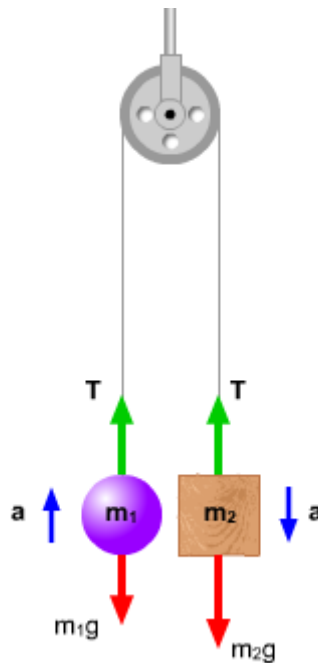


Imagen de elaboración propia

a) Escribe las ecuaciones del movimiento del sistema.

#### Mostrar retroalimentación

En este tipo de problemas la primera decisión no es tanto escoger el sistema de referencia (básicamente es un problema unidimensional), sino elegir un sentido de giro de la polea, determinado por el sentido de movimiento de la masa mayor. En este caso gira en el sentido de las agujas del reloj, de forma que el sentido del movimiento será el de la fuerza  $m_2 \cdot g$ . Las ecuaciones serán:

$$\text{Cuerpo 1: } T - m_1 \cdot g = m_1 \cdot a$$

$$\text{Cuerpo 2: } m_2 \cdot g - T = m_2 \cdot a$$

b) ¿Cuál será el valor de la aceleración?

#### Mostrar retroalimentación

Sustituyendo los datos del problema obtenemos:

$$\text{Cuerpo 1: } T - 10 \cdot 10 = 10 \cdot a \rightarrow T - 100 = 10 \cdot a$$

$$\text{Cuerpo 2: } 20 \cdot 10 - T = 20 \cdot a \rightarrow 200 - T = 20 \cdot a$$

Sumando ambas ecuaciones, desaparece la tensión y obtenemos el valor de la aceleración:

$$T - 100 + 200 - T = 20 \cdot a + 10 \cdot a$$

$$100 = 30 \cdot a$$

$$a = \frac{100}{30}$$

$$a = 3,33 \text{ m/s}^2$$

c) ¿Cuánto vale la tensión de la cuerda?

#### Mostrar retroalimentación

Basta con sustituir el valor de la aceleración en cualquiera de las dos ecuaciones:

$$T - 100 = 10 \cdot 3.33$$

$$T - 100 = 33.3$$

$$T = 133.3 \text{ N}$$

## Comprueba lo aprendido triple

Tenemos una máquina de Atwood en la que las masas de los cuerpos son, respectivamente,  $m_1 = 2 \text{ kg}$  y  $m_2 = 8 \text{ kg}$ .

¿Qué aceleración experimentará el sistema al dejarlo en libertad?

- ☐ 10.25 m/s<sup>2</sup>
- ☐ 11.76 m/s<sup>2</sup>
- ☐ 5.88 m/s<sup>2</sup>

¡Incorrecto!

¡Incorrecto!

¡Correcto! Aplicando la fórmula calculada anteriormente:  $a = (M - m) \cdot g / (M + m) = (8 - 2) \cdot 9.8 / (8 + 2) = 6 \cdot 9.8 / 10 = 5.88 \text{ m/s}^2$

### Solution

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta

¿Cuál será la tensión de la cuerda?

[Sugerencia](#)

- ☐ 28.56 N
- ☐ 31.36 N
- ☐ 20.45 N

¡Incorrecto!

¡Correcto! Sustituyendo tenemos  $T = m \cdot (g + a) = 2 \cdot (9.8 + 5.88) = 31.36 \text{ N}$

¡Incorrecto!

### Solution

1. Incorrecto
2. Incorrecto
3. Opción correcta





# Mapa Conceptual

---

# Fuentes para el profesorado

---

Descargar CMAP.

## Resumen

---

### Importante

Cuando tengas que resolver un problema de aplicación de las leyes de la dinámica, es importante que sigas ordenadamente las siguientes pautas:

1. Identifica las fuerzas que se ejercen sobre el cuerpo, así como su origen, tipo y dirección.
2. Dibuja un diagrama de fuerzas lo más simple posible, pero que contenga toda la información que se haya suministrado. El punto de aplicación de todas las fuerzas será el centro geométrico del cuerpo sobre el que actúan.
3. Escoge un sistema de referencia cartesiano de forma que uno de los ejes coincida con la dirección esperada de movimiento del cuerpo. La componente perpendicular al plano de movimiento se denomina **Normal** mientras que la paralela al mismo es la componente **Tangencial**.
4. Descompón todas las fuerzas en sus componentes según los ejes del sistema de referencia.
5. Aplica la segunda ley de Newton en cada uno de los ejes.
6. Resolución matemática del sistema de ecuaciones que resulta para conocer los datos que se nos piden.

### Importante

### Importante

El valor de la fuerza de rozamiento es variable. Mientras no haya deslizamiento, la fuerza de rozamiento coincide con las fuerzas aplicadas en la dirección del deslizamiento hasta alcanzar un valor máximo:

$$F_{Re\ max} = \mu_e \cdot N$$

Cuando se produce deslizamiento la fuerza de rozamiento se puede calcular como:

$$F_{Rd} = \mu_d \cdot N$$

Se cumple que para un mismo par de superficies que el coeficiente de rozamiento dinámico es menor que el estático.

## Importante

En los problemas con rozamiento debes recordar siempre que existen dos tipos de coeficiente de rozamiento ( $\mu$ ), y utilizar uno u otro en función del caso que tengas que resolver:

- Si el cuerpo no ha comenzado a moverse la fuerza de rozamiento tiene un valor desconocido y será una de las incógnitas del problema.
- Si el cuerpo está a punto de moverse o quieres calcular en qué momento comienza a hacerlo utilizarás el coeficiente de rozamiento estático ( $\mu_e$ ).
- Si el cuerpo ya se encuentra en movimiento, utilizarás el coeficiente de rozamiento dinámico ( $\mu_d$ ).

## Importante

Denominaremos **tensión** a la fuerza de interacción ejercida entre dos cuerpos cuando uno de ellos transmite un movimiento a otro mediante un dispositivo material. Esta tensión se representará por **T** y se trata de una fuerza de acción-reacción sobre el intermediario, normamente una cuerda o cable.

## Importante

### Actividad

A la hora de resolver un problema de aplicación de las leyes de la dinámica en un sistema de cuerpos enlazados, es importante que sigas ordenadamente las siguientes pautas:

1. Identifica los distintos cuerpos que intervienen en el problema (recuerda que, en lo que a este tema se refiere, las cuerdas no son cuerpos como tales, sino simplemente el medio transmisor de la fuerza de Tensión).

ruerza de tensión)

2. Identifica las fuerzas que se ejercen sobre cada cuerpo, así como su origen, tipo y dirección. Ten en cuenta que la Tensión es una fuerza de acción y reacción aplicada en ambos extremos de la cuerda con sentido contrario en cada cuerpo.

3. Dibuja un diagrama de fuerzas lo más simple posible, pero que contenga toda la información que se haya suministrado. El punto de aplicación de todas las fuerzas será el centro geométrico del cuerpo sobre el que actúan.

4. Escoge un sistema de referencia cartesiano de forma que uno de los ejes coincida con la dirección esperada de movimiento del conjunto. Este sistema de referencia debe ser el mismo para todos los cuerpos intervinientes.

5. Descompón todas las fuerzas en sus componentes según los ejes del sistema de referencia.

6. Aplica la segunda ley de Newton para cada uno de los cuerpos por separado y en cada uno de los ejes.

## Ejercicios resueltos

---

Esperemos que con estos ejercicios resueltos, no haya ningún nudo en los contenidos.



Imagen de [·júbilo·haku·](#) con [algunos derechos reservados](#)

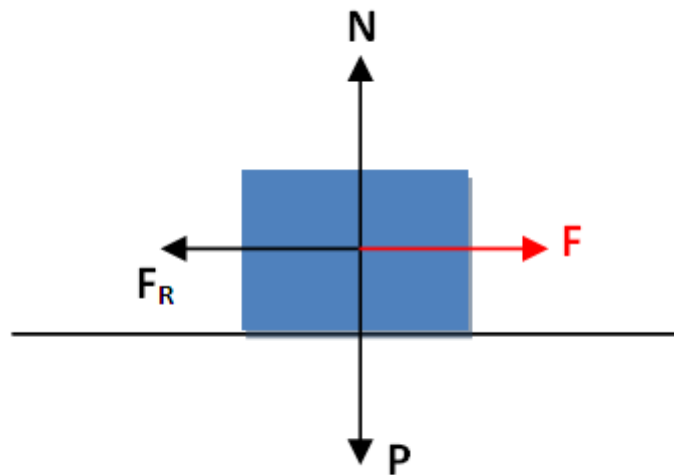
## Ejercicio 1

### Ejercicio resuelto

Calcula la fuerza horizontal que debe aplicarse a un bloque de cemento de 100 kg de masa para desplazarlo con velocidad uniforme sobre una superficie horizontal, si el coeficiente de rozamiento entre el cuerpo y la superficie es de 0.1.

#### Mostrar retroalimentación

Las fuerzas que actúan inicialmente sobre el bloque, que está apoyado en una superficie horizontal, serán el peso ( $P$ ), la fuerza normal ( $N$ ) y la fuerza de rozamiento ( $F_R$ ), tal y como podemos ver en el siguiente esquema. La fuerza  $F$  es la que tenemos que calcular según las condiciones que se indican en el enunciado.



Teniendo en cuenta la primera ley de Newton, para que el cuerpo se mueva con velocidad uniforme (constante), las fuerzas que actúan según el eje horizontal (que serían  $F$  y  $F_R$ ) deben anularse entre sí. Es decir, se debe cumplir que  $F = F_R$ .

En general, la fórmula para calcular la fuerza de rozamiento es:  $F_R = \mu \cdot N$

Por tanto, para calcular  $F_R$  debemos calcular antes la fuerza normal  $N$ .

Como el cuerpo no se desplaza respecto al eje vertical, implica que las fuerzas que actúan sobre dicho eje se anulan. Por tanto, la fuerza normal debe ser igual al peso ( $N = P$ ). Asimismo, podemos calcular el valor del peso a través de la ecuación:  $P = m \cdot g$

Por tanto, combinando todas esas ecuaciones, tenemos:

$$F = F_R = \mu \cdot N = \mu \cdot P = \mu \cdot m \cdot g$$

Sustituyendo el valor de  $m$ ,  $m$  (expresado en kg) y  $g$  ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ), obtenemos:

$$F = 0.1 \cdot 100 \cdot 9.8 = 98 \text{ N}$$

Por tanto, para que el cuerpo se desplace con velocidad constante según el eje  $x$ , la fuerza que se debe ejercer sobre él debe ser de 98 N.





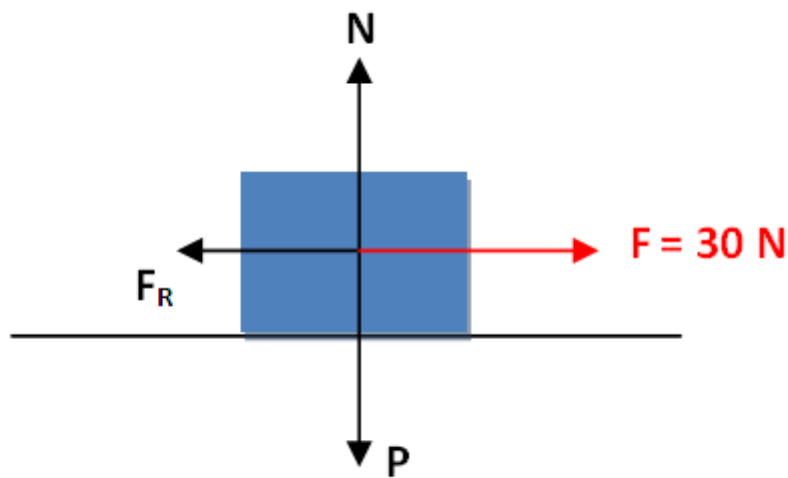
## Ejercicio 2

### Ejercicio resuelto

2. Se aplica una fuerza de 30 N a un cuerpo de 5 kg de masa que se desplaza por una superficie horizontal. Calcula qué aceleración adquiere el cuerpo si el coeficiente de rozamiento es 0.2.

#### Mostrar retroalimentación

Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo son las siguientes:



En primer lugar, debemos calcular el valor de la fuerza de rozamiento ( $F_R$ ). Si resulta que es igual a 30 N (el valor de  $F$ ), el cuerpo se moverá con velocidad constante, con lo que la aceleración sería nula. Si resulta que  $F_R > 30$  N, el cuerpo se desplazará con aceleración hacia la izquierda y si  $F_R < 30$  N, el cuerpo se desplazará hacia la derecha con una determinada aceleración, que tendremos que calcular.

La fórmula para calcular la fuerza de rozamiento es:  $F_R = \mu \cdot N$

Por tanto, para calcular  $F_R$  debemos calcular antes la fuerza normal  $N$ .

Como el cuerpo no se desplaza respecto al eje vertical, implica que las fuerzas que actúan sobre dicho eje se anulan. Por tanto, la fuerza normal debe ser igual al peso ( $N = P$ ). Asimismo, podemos calcular el valor del peso a través de la ecuación:  $P = m \cdot g$

Por tanto, combinando todas esas ecuaciones, tenemos:

$$F_R = \mu \cdot N = \mu \cdot P = \mu \cdot m \cdot g$$

Sustituyendo el valor de  $m$ ,  $m$  (expresado en kg) y  $g$  ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ), obtenemos:

$$F_R = 0.2 \cdot 5 \cdot 9.8 = 9.8 \text{ N}$$

Como  $F_R < 30$  N, sobre el cuerpo estará actuando una fuerza neta ( $F_{\text{net}}$ ) dirigida según el eje horizontal y hacia la derecha. Esta fuerza será la responsable de la aceleración que adquiera el cuerpo y su valor se obtendrá mediante la diferencia entre  $F$  y  $F_R$ .

entre  $F$  y  $F_R$ .

$$F_{neta} = F - F_R$$

$$F_{neta} = 30 - 9.8 = 20.2 \text{ N}$$

Podemos calcular el valor de la aceleración del cuerpo aplicando la segunda ley de Newton:

$$F_{neta} = m \cdot a$$

$$a = \frac{F_{neta}}{m}$$

$$a = \frac{20.2}{5} = 4.04 m/s^2$$

## Ejercicio 3

### Ejercicio resuelto

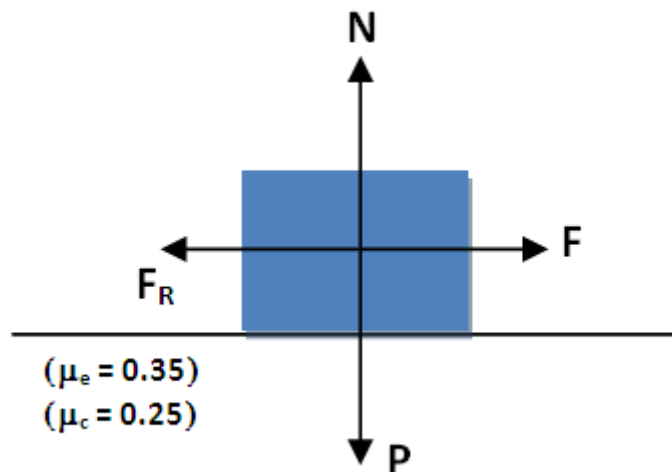
3. Imagina que quisieras desplazar un armario de 80 kg. Considerando que existe rozamiento, que el suelo es horizontal y que ejerces una fuerza también horizontal, calcula:

- a) La fuerza mínima necesaria que tienes que aplicar para que el armario comience a desplazarse.
- b) La fuerza mínima necesaria que tienes que aplicar para que, una vez en movimiento, se desplace con velocidad constante.

Datos: Coeficiente de rozamiento estático y cinético = 0.35 y 0.25, respectivamente.

#### Mostrar retroalimentación

Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo son:



a) Para conseguir que el cuerpo comience a moverse, se debe aportar, como mínimo, una fuerza igual a la fuerza de rozamiento estática, en la misma dirección y en sentido contrario (tal y como hemos indicado con la fuerza  $F$ ). Por tanto:

$$F = F_R = \mu_e \cdot m \cdot g$$

Si sustituimos los valores de  $\mu_e$ ,  $m$  (expresado en kg) y  $g$  ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ) tenemos:

$$F = 0.35 \cdot 80 \cdot 9.8 = 274.4 \text{ N}$$

b) Para que continúe el movimiento con velocidad constante se debe ejercer una fuerza igual a la fuerza de rozamiento cinética, en la misma dirección y en sentido contrario (tal y como hemos indicado con la fuerza  $F$ ). Así:

$$F = F_R = \mu_c \cdot m \cdot g$$

Si sustituimos los valores de  $\mu_c$ ,  $m$  (expresado en kg) y  $g$  ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ) tenemos:

$$F = 0.25 \cdot 80 \cdot 9.8 = 196 \text{ N}$$

Como puede observarse, el valor del coeficiente de rozamiento estático ( $\mu_e$ ) es mayor que el coeficiente de rozamiento dinámico o cinético ( $\mu_c$ ). Esto implica que la fuerza de rozamiento máxima que se opone a que se inicie el movimiento es mayor que la fuerza de rozamiento que aparece cuando el cuerpo ya está en movimiento.

## Ejercicio 4

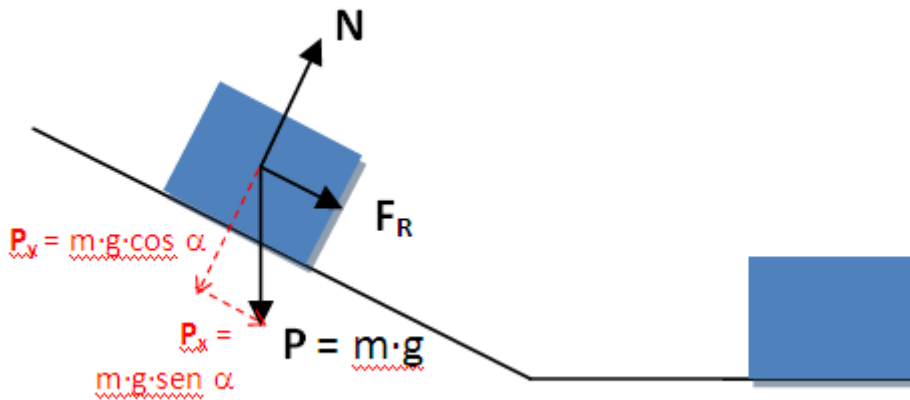
### Ejercicio resuelto

4. Un coche avanza a cierta velocidad por una recta hacia la base de una cuesta. Al llegar a ella, se rompe el motor y los frenos y empieza a subir por la cuesta. Suponiendo que sólo hay rozamiento con el aire, dibuja las fuerzas que están actuando sobre el coche cuando éste se encuentre en mitad de la cuesta e indica qué cuerpo ejerce cada una de ellas.

#### Mostrar retroalimentación

Para simplificar la situación, representaremos el coche utilizando un rectángulo. Como ejes de coordenadas, tomaremos el eje  $x$  en la dirección del plano inclinado y el eje  $y$ , perpendicular a la anterior.

Las fuerzas que actúan sobre el coche en mitad de la cuesta están representadas en el siguiente esquema:



El peso (**P**) es la fuerza debida a la atracción que la Tierra ejerce sobre un cuerpo. Como el cuerpo está situado sobre una cuesta (plano inclinado), esta fuerza se puede descomponer en dos componentes, considerando como eje horizontal la cuesta y como eje vertical, la línea perpendicular a la cuesta. Así, hablamos de **P<sub>x</sub>** (componente de la fuerza peso dirigida hacia el eje  $x$ ) y **P<sub>y</sub>** (componente de la fuerza peso dirigida hacia el eje  $y$ ).

También actúa sobre el cuerpo la fuerza normal (**N**), que es la fuerza que la superficie sobre la que está apoyado el cuerpo ejerce sobre el mismo. Esta fuerza va dirigida perpendicular a dicha superficie.

Por último, actúa también sobre el cuerpo la fuerza de rozamiento (**F<sub>R</sub>**) que el aire ejerce sobre el mismo.

Todas estas fuerzas están actuando sobre el cuerpo, por lo que tienen su punto de aplicación en el centro del mismo.

Al no actuar la fuerza del motor, la fuerza de rozamiento y la componente del peso dirigida hacia el eje  $x$  serán las responsables de que el coche tenga una aceleración negativa, de manera que la velocidad del coche irá disminuyendo conforme va subiendo la cuesta.

## Ejercicio 5

### Ejercicio resuelto

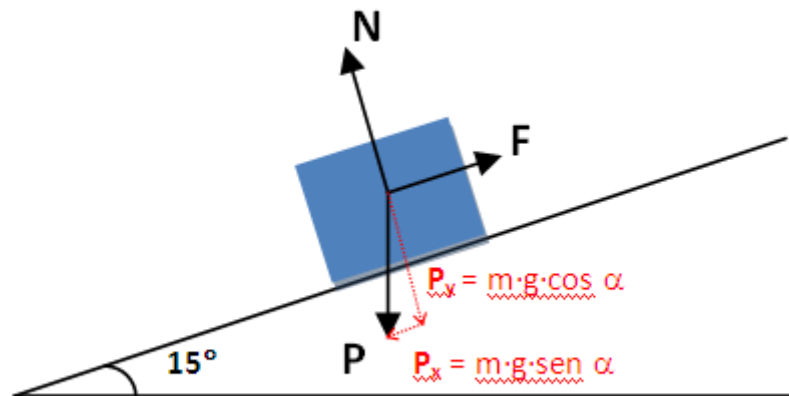
5. Un cuerpo de 25 kg de masa sube a velocidad constante por un plano inclinado que forma un ángulo de  $15^\circ$  con la horizontal. Sobre el cuerpo actúa una fuerza  $F$  paralela al plano inclinado. Calcula el valor de la fuerza  $F$  en las siguientes situaciones:

- a) Si el rozamiento entre el cuerpo y el plano es despreciable.
- b) Si el coeficiente de rozamiento tiene un valor de 0.1.

#### Mostrar retroalimentación

Como ejes coordenados, tomaremos el eje  $x$  en la dirección del plano inclinado y el eje  $y$ , perpendicular a la anterior.

a) Si no hay rozamiento, las fuerzas que actúan sobre el cuerpo son las que se muestran en el siguiente esquema:



Aplicamos la segunda ley de Newton en el eje  $x$  (eje cuya dirección es la misma que la del movimiento). Como el cuerpo sube a velocidad constante ( $a = 0$ ), resultará:

$$\Sigma F(\text{eje } x) = m \cdot a$$

$$F - P_x = m \cdot a$$

Como la velocidad es constante,  $a = 0$ .

$$F - P_x = 0$$

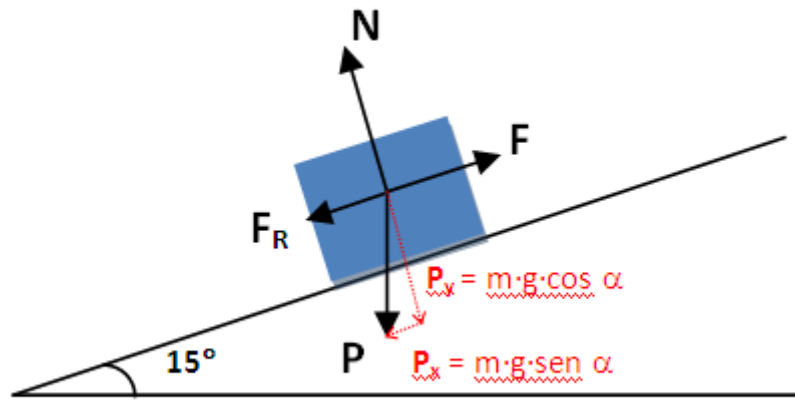
$$F = P_x$$

$$F = m \cdot g \cdot \text{sen} \alpha$$

Sustituyendo los valores correspondientes, tenemos:

$$F = 25 \cdot 9.8 \cdot \text{sen } 15 = 236.35 \text{ N}$$

b) En el caso de que exista rozamiento, las fuerzas implicadas son las siguientes:



Si queremos que el cuerpo suba la cuesta con velocidad constante, la situación es similar a la anterior, salvo que en la suma de las fuerzas dirigidas en el eje x también habrá que tener en cuenta la fuerza de rozamiento. Por tanto:

Como el cuerpo sube con velocidad constante ( $a = 0$ ), resultará:

$$\Sigma F(\text{eje } x) = m \cdot a$$

$$F - P_x - F_R = m \cdot a$$

Como la velocidad es constante,  $a = 0$ .

$$F - P_x - F_R = 0$$

$$F = P_x + F_R$$

Como sabemos:  $F_R = \mu \cdot N$

Como no hay movimiento en el eje vertical, la suma de fuerzas que actúan sobre el eje y también será igual a 0. Así:

$$N = P_y$$

$$N = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

Así:

$$F_R = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

Por otro lado, tenemos:

$$P_x = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Sustituyendo los valores con las unidades correspondientes, tenemos:

$$F_R = 0.1 \cdot 25 \cdot 9.8 \cdot \cos 15 = 23.66 \text{ N}$$

$$P_x = 25 \cdot 9.8 \cdot \sin 15 = 236.35 \text{ N}$$

Ahora calculamos F:

$$F = P_x + F_R$$

$$F = 236.35 + 23.66 = 260 \text{ N}$$

## Ejercicio 6

### Ejercicio resuelto

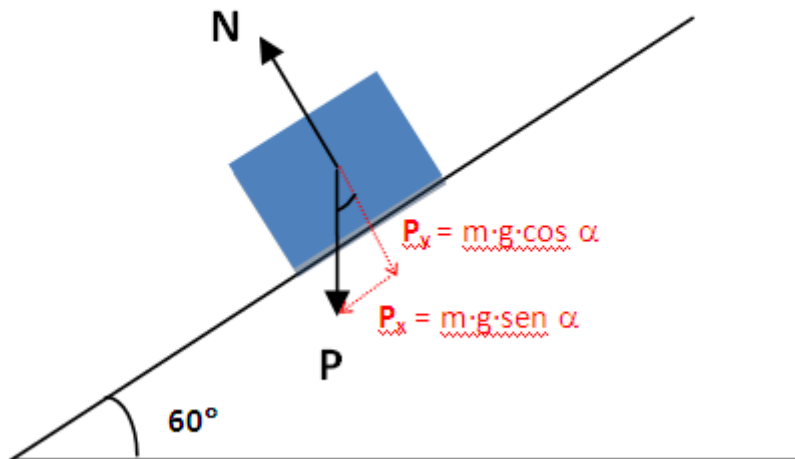
6. Un cuerpo de 15 kg se deja caer por un plano inclinado  $60^\circ$  respecto a la horizontal. Calcula la aceleración que adquiere el cuerpo si:

- a) No hay rozamiento.
- b) El coeficiente de rozamiento vale 0.5.

#### Mostrar retroalimentación

Como ejes coordenados, tomaremos el eje x en la dirección del plano inclinado y el eje y, perpendicular a la anterior.

a) Las fuerzas que intervienen en la situación planteada se muestran en el siguiente esquema:



Como no hay movimiento en el eje y, las fuerzas N y  $P_y$  se compensan, es decir,  $N = P_y$ .

Por tanto, en ausencia de rozamiento, la fuerza neta que está actuando sobre el cuerpo es  $P_x$ .

$$P_x = m \cdot g \cdot \operatorname{sen} \alpha$$

Sustituyendo los valores en las unidades correspondientes, tenemos:

$$P_x = 15 \cdot 9.8 \cdot \operatorname{sen} 60 = 127.3 \text{ N}$$

Aplicamos la segunda ley de Newton para determinar la aceleración:

$$P_x = m \cdot a$$

Despejando el valor de la aceleración, tenemos:

$$a = \frac{P_x}{m} = \frac{127.3}{15} = 8.5 \text{ m/s}^2$$

b) Cuando hay rozamiento, la situación es la siguiente:

La fuerza neta que actúa sobre el cuerpo en la dirección del eje x podrá calcularse a



La fuerza neta que actúa sobre el cuerpo en la dirección del eje x podrá calcularse a partir de la expresión:

$$F_{\text{neta}} = P_x - F_R$$

Sabemos que:  $F_R = \mu \cdot N$

Por tanto, debemos calcular el valor de N. Como hemos visto en el apartado anterior,  $N = P_y$ . Así:

$$F_R = \mu \cdot N = \mu \cdot P_y = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

Sustituyendo los valores en las unidades adecuadas, tenemos:

$$F_R = 0.5 \cdot 15 \cdot 9.8 \cdot \cos 60 = 36.75 \text{ N}$$

Y como también hemos visto en el apartado anterior:

$$P_x = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

$$P_x = 15 \cdot 9.8 \cdot \sin 60 = 127.3 \text{ N}$$

El valor de la fuerza neta será:  $F_{\text{neta}} = P_x - F_R$

$$F_{\text{neta}} = 127.3 - 36.75 = 90.55 \text{ N}$$

Aplicamos de nuevo la segunda ley de Newton para calcular la aceleración:

$$F_{\text{neta}} = m \cdot a$$

Despejando el valor de la aceleración, tenemos:

$$a = \frac{F_{\text{neta}}}{m} = \frac{90.55}{15} = 6 \text{ m/s}^2$$

## Ejercicio 7

### Ejercicio resuelto

7. En una obra cuelgan de los extremos de una cuerda inextensible y de masa despreciable que pasa por una polea, dos cuerpos,  $m_1$  y  $m_2$ , de 400 g y 500 g, respectivamente.

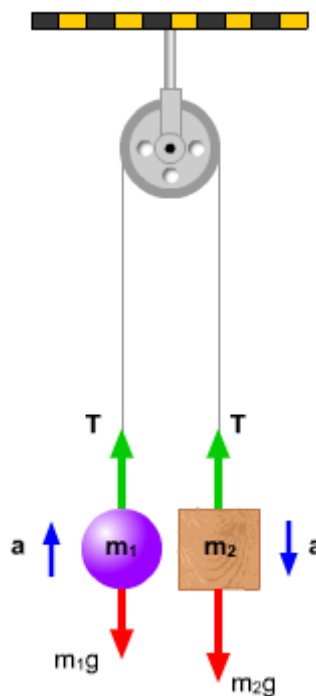
a) Dibuja e identifica en dicho dibujo las fuerzas que actúan sobre cada uno de los dos cuerpos.

b) ¿Cuál será la aceleración con la que se moverán ambos cuerpos cuando se deje el sistema en libertad?

Dato:  $g = 10 \text{ m/s}^2$

#### Mostrar retroalimentación

a) La situación que se plantea es la siguiente:



Captura de imagen de [Educaplus](#)

Las fuerzas que actuarán sobre ambos cuerpos son el peso (pintado con una flecha en rojo sobre cada uno de los cuerpos) y la tensión de la cuerda sobre cada cuerpo (pintada con una flecha en verde).

b) Cuando se deje el sistema en libertad, éste evolucionará en el sentido indicado con las flechas azules; es decir, el cuerpo de mayor masa ( $m_2$ ) descenderá y el cuerpo de menor masa ( $m_1$ ) ascenderá. La aceleración de dicho movimiento podemos calcularla estableciendo un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, teniendo en cuenta el sentido del movimiento y las fuerzas que actúan sobre ambos cuerpos.

**Cuerpo 1:**  $T - P_1 = m_1 \cdot a$ ;

Sustituyendo el valor de  $P_1$ , tenemos:

$$T - m_1 \cdot g = m_1 \cdot a$$

**Cuerpo 2:**  $P_2 - T = m_2 \cdot a;$

Sustituyendo el valor de  $P_2$ , tenemos:

$$m_2 \cdot g - T = m_2 \cdot a$$

En ambas ecuaciones, desconocemos el valor de  $T$  y el valor de  $a$ . Por tanto, podemos despejar el valor de  $T$  de una de las ecuaciones para sustituirlo en la otra y tener así una sola ecuación con una única incógnita.

Si despejamos  $T$  de la primera ecuación, tenemos:

$$T - m_1 \cdot g = m_1 \cdot a$$

$$T = m_1 \cdot g + m_1 \cdot a$$

Si sustituimos el valor de  $T$  en la segunda ecuación (la del cuerpo 2), tendremos:

$$m_2 \cdot g - T = m_2 \cdot a$$

$$m_2 \cdot g - m_1 \cdot g - m_1 \cdot a = m_2 \cdot a$$

Dejamos los factores en los que intervenga  $g$  a un lado del igual y ponemos en el otro lado del igual aquellos en los que interviene  $a$ .

$$m_2 \cdot g - m_1 \cdot g = m_1 \cdot a + m_2 \cdot a$$

Sacamos factor común  $g$  y  $a$ :

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

Ahora sólo nos queda despejar  $a$ :

$$a = \frac{(m_2 - m_1) \cdot g}{m_1 + m_2}$$

Sustituyendo el valor de las masas (expresadas en kg) y el valor de  $g$ , obtendremos el valor de la aceleración:

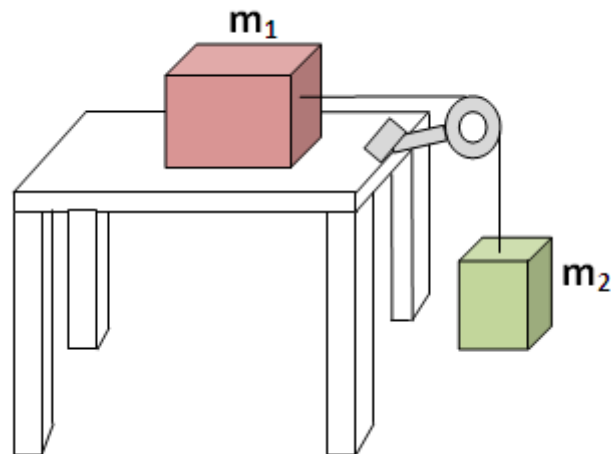
$$a = \frac{(0.5 - 0.4) \cdot 10}{0.4 + 0.5} = 1.11 m/s^2$$

El valor positivo de la aceleración confirma que es correcto el sentido asignado al movimiento.

## Ejercicio 8

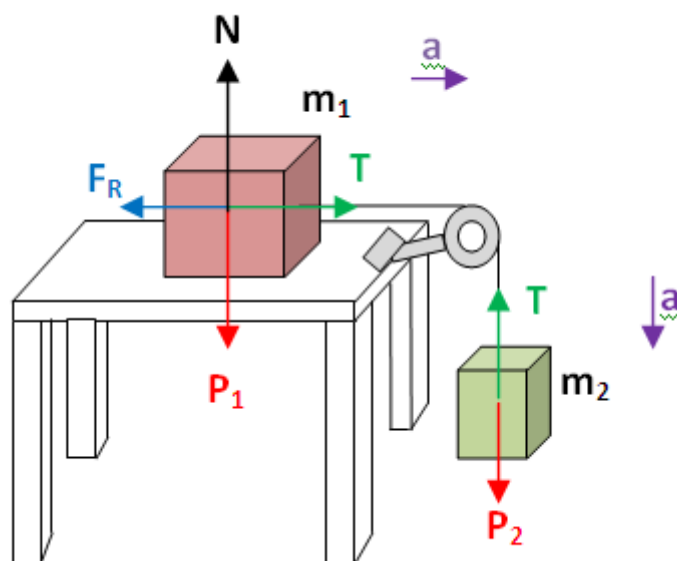
### *Ejercicio resuelto*

8. ¿Cuál será la aceleración del sistema que se muestra a continuación y la tensión de la cuerda suponiendo que hay movimiento y que  $m_1 = 5 \text{ kg}$ ,  $m_2 = 2 \text{ kg}$  y  $\mu = 0.08$ ? Considera que la cuerda es inextensible y de masa despreciable.



#### Mostrar retroalimentación

Las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo se muestran a continuación. También hemos indicado el sentido del movimiento del sistema:



Tendremos que establecer un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas. Para ello, tendremos que tener en cuenta las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo por separado.

**Cuerpo 1:**  $T - F_R = m_1 \cdot a$

**Cuerpo 2:**  $P_2 - T = m_2 \cdot a$

Como desconocemos el valor de T y el valor de a, debemos despejar T de una de las dos ecuaciones y sustituir su valor en la otra ecuación.

Así, si despejamos T de la ecuación del cuerpo 1, tenemos:  $T - F_R = m_1 \cdot a$  ;  $T = F_R + m_1 \cdot a$

Sustituyendo este valor de T en la ecuación del cuerpo 2, tenemos:

$$P_2 - T = m_2 \cdot a; P_2 - F_R - m_1 \cdot a = m_2 \cdot a$$

Pasamos al mismo miembro del igual todos los factores en los que esté a:

$$P_2 - F_R = m_1 \cdot a + m_2 \cdot a$$

Sacamos factor común la a:  $P_2 - F_R = (m_1 + m_2) \cdot a$

Despejando a, obtenemos:

$$a = \frac{P_2 - F_R}{m_1 + m_2}$$

Tenemos que calcular el valor de  $P_2$  y de  $F_R$ .

$$P_2 = m_2 \cdot g = 2 \cdot 9.8 = 19.6 \text{ N}$$

Por otro lado:  $F_R = \mu \cdot N$

Como el cuerpo 1 no se mueve en sentido vertical,  $N = P_1$

Por tanto:  $F_R = \mu \cdot N = \mu \cdot P_1 = \mu \cdot m_1 \cdot g$

Sustituyendo los valores en las unidades correspondientes, obtenemos:

$$F_R = 0.08 \cdot 5 \cdot 9.8 = 3.92 \text{ N}$$

Podemos obtener ya el valor de a:

$$a = \frac{19.6 - 3.92}{5 + 2} = 2.24 \text{ m/s}^2$$

El valor positivo de la aceleración confirma que es correcto el sentido asignado al movimiento.

Si sustituimos este valor en la ecuación despejada de T, podemos obtener el valor de la tensión:

$$T = F_R + m_1 \cdot a$$

$$T = 3.92 + 5 \cdot 2.24 = 15.12 \text{ N}$$

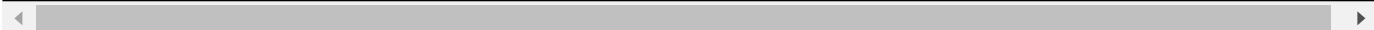
## Aviso Legal

---

El presente texto (en adelante, el "**Aviso Legal**") regula el acceso y el uso de los contenidos desde los que se enlaza. La utilización de estos contenidos atribuye la condición de usuario del mismo (en adelante, el "**Usuario**") e implica la aceptación plena y sin reservas de todas y cada una de las disposiciones incluidas en este Aviso Legal publicado en el momento de acceso al sitio web. Tal y como se explica más adelante, la autoría de estos materiales corresponde a un trabajo de la **Comunidad Autónoma Andaluza, Consejería de Educación y Deporte (en adelante Consejería de Educación y Deporte)**.

Con el fin de mejorar las prestaciones de los contenidos ofrecidos, la Consejería de Educación y Deporte se reserva el derecho, en cualquier momento, de forma unilateral y sin previa notificación al usuario, a modificar, ampliar o suspender temporalmente la presentación, configuración, especificaciones técnicas y servicios del sitio web que da soporte a los contenidos educativos objeto del presente Aviso Legal. En consecuencia, se recomienda al Usuario que lea atentamente el presente Aviso Legal en el momento que acceda al referido sitio web, ya que dicho Aviso puede ser modificado en cualquier momento, de conformidad con lo expuesto anteriormente.

**Régimen de Propiedad Intelectual e Industrial sobre los contenidos del**



# Imprimible

---

Descargar [imprimible](#) (pdf - 1921.73 KB).