

## ROZAMIENTO

El rozamiento es una fuerza que ya conocés de la vida diaria. Es la fuerza que hace que se frenen las cosas que se vienen moviendo.

Las piezas de las máquinas se desgastan debido al rozamiento. Los autos pierden parte de su potencia para contrarrestar los efectos del rozamiento.

Aparentemente el rozamiento es una fuerza que no sirve para nada, salvo para molestar. Pero...

¿Cómo harías para caminar si no hubiera rozamiento?

(Patarías y te quedarías todo el tiempo en el mismo lugar!)

¿Cómo harían los autos para frenar?

(No tendrían forma de parar y seguirían de largo)

Como ves, todo tiene su pro y su contra en esta vida... ( ? ).

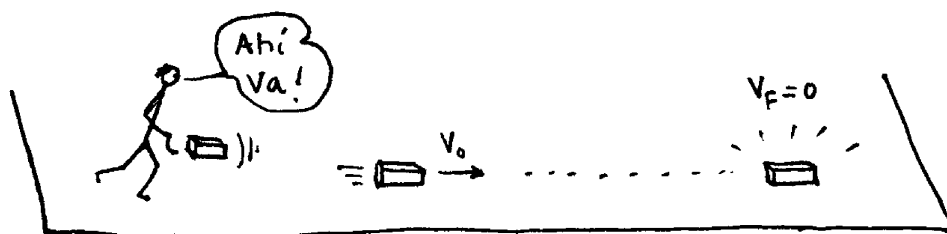
En la realidad real, todas las cosas que se mueven tienen rozamiento y es imposible eliminarlo del todo. ( Imposible ).

Vamos ahora a lo siguiente:

ATENTO

¿ HACIA DONDE APUNTA LA FUERZA DE ROZAMIENTO ?

Suponete que tiro un ladrillo por el piso. El ladrillo va avanzando y se va frenando.



Al principio el objeto se mueve con una determinada velocidad, pero después de recorrer unos metros se frena y se queda quieto.

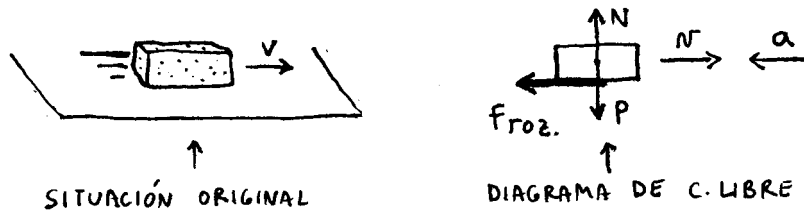
Pregunta: ¿ Por qué pasa esto ?.

RTA.: Por el rozamiento.

Entre el ladrillo y el piso hay rozamiento, y esta fuerza maldita es la que hace que el coso se frene.

Si no hubiera rozamiento el ladrillo se seguiría moviendo por los siglos de los siglos y no se pararía nunca. ( Nunca ).

Fijate como es el diagrama de cuerpo libre: ( mirar con atención por favor ).



Fijate que el tipo se mueve para allá  $\rightarrow$ , pero la aceleración va para allá  $\leftarrow$ . Es decir, el cuerpo se está frenando.

En el dibujo  $f_{\text{ROZ}}$  apunta al revés que la velocidad, eso significa que la fuerza de rozamiento se opone al movimiento.

Si un cuerpo viene moviéndose, la fuerza de rozamiento va a tratar de frenarlo.

Ahora, una aclaración importante: La gente suele decir: Bueno, es fácil. La fuerza de rozamiento SIEMPRE se opone al movimiento.  $F_{\text{roz}}$  SIEMPRE va al revés que la velocidad.

Pero...Hummmm, esto no es del todo correcto. Es decir, efectivamente, en la mayoría de los casos la fuerza de rozamiento apunta al revés de la velocidad.

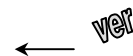
Generalmente  $F_{\text{roz}}$  intenta frenar al cuerpo... ¡ Pero no siempre !.

( Esto no es fácil de ver ). Digamos que hay algunos casos malditos donde el rozamiento va en el mismo sentido que la velocidad. Es más, en estos casos el rozamiento no solo no lo frena al cuerpo sino que lo ayuda a moverse.

Hay un par de problemas en la guía en dónde la fuerza de rozamiento apunta al revés del pepino. ( Es decir, repito, a favor de la velocidad ). Y si uno se equivoca al poner el sentido de  $F_{\text{roz}}$  en el diagrama de cuerpo libre... ¡ Alpiste, fuiste !.

Por eso ellos dicen que:

La fuerza de rozamiento siempre se opone al movimiento RELATIVO de las superficies que están en contacto

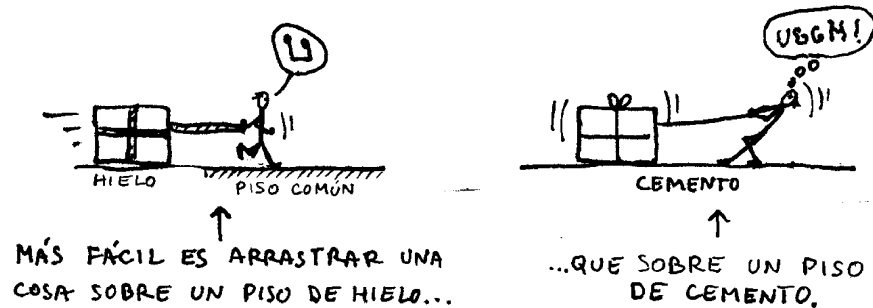


## LEYES DEL ROZAMIENTO

Estas leyes son experimentales. Podés comprobarlas ahora mismo consiguiendo algún cuerpo que tenga forma tipo ladrillo. ( 3 caras planas con diferentes superficies ). Podría ser una goma o algo así.

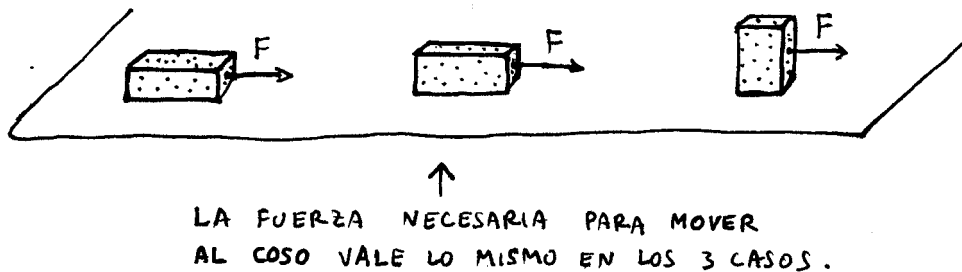
1\_ La fuerza de rozamiento depende del material con el que estén hechas las superficies que están en contacto.

A una persona le resulta más fácil caminar sobre el piso de cemento que sobre un piso de hielo. Eso pasa porque el rozamiento goma-cemento es distinto que el rozamiento goma-hielo.



2\_ El valor de la fuerza de rozamiento no depende del tamaño de la superficie que está apoyada.

Al arrastrar un ladrillo por el piso, la fuerza que tengo que hacer va a ser la misma, cualquiera sea la cara del ladrillo que esté apoyada.



De la misma manera:



3\_ La fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza normal que el plano ejerce sobre el cuerpo.

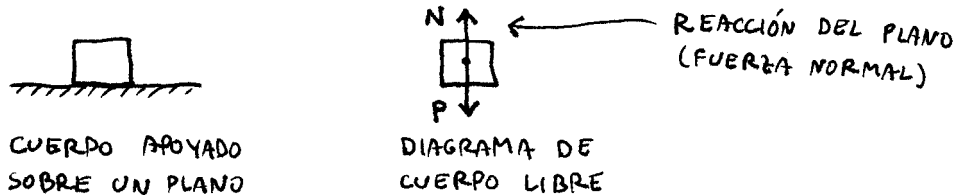
Esta es la ley que tenés que saber bien porque es la que se usa para resolver los ejercicios.

Pero antes me gustaría que entiendas lo siguiente:

## LA NORMAL NO SIEMPRE ES IGUAL AL PESO

VER

¿Qué era la fuerza normal? La normal es la reacción que el piso ejerce sobre el cuerpo. Esa reacción es siempre  $\perp$  al plano de apoyo, por eso se la llama normal. (La palabra Normal en física significa perpendicular).



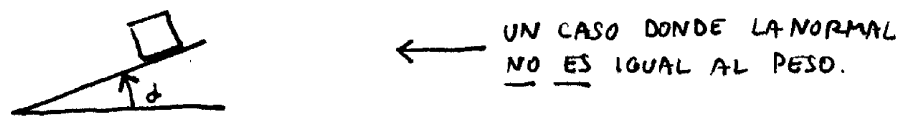
Hasta ahora la normal nunca importó para nada porque no se usaba en los problemas. Ahora en rozamiento va a importar. (Atento!).

Ahora, hay una maldita tendencia a creer que la normal es siempre igual al peso. No, No, No!. (☹)

Eso pasa a veces, no siempre. Puede ser que en el problema que te tomen la normal no sea igual al peso. (Suelen hacer esto).

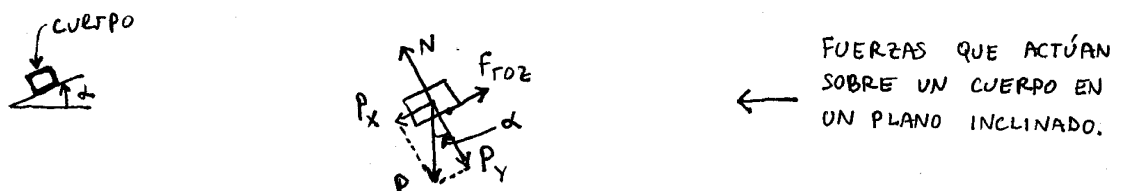
En el ejemplo de arriba, donde el cuerpo está simplemente apoyado en un plano horizontal, ahí sí la normal es igual al peso.

¿Pero que pasa si yo ahora inclino el plano?

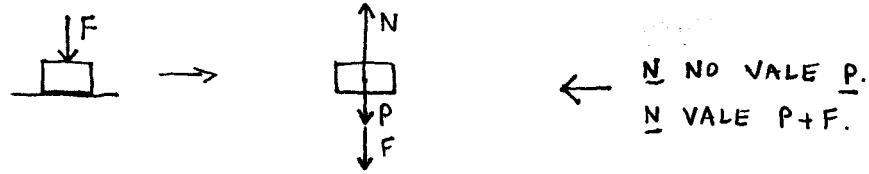


Ahora la normal ya no va a ser más igual al peso. ¿De dónde sale eso?

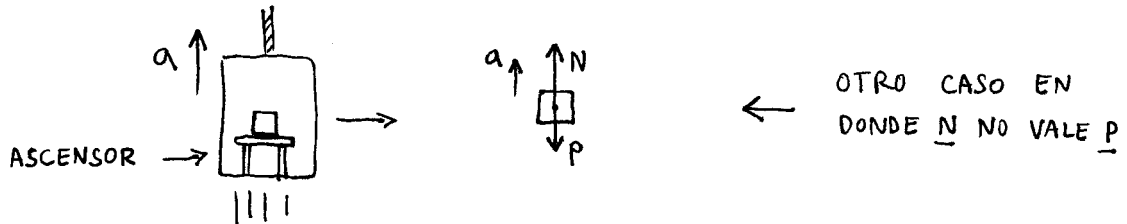
Rta: → Del diagrama de cuerpo libre.



Ahora  $N$  no vale más  $P$ . Ahora  $N$  vale  $P_y$  que es  $P \cdot \cos \alpha$ . Lo mismo pasa si tengo un cuerpo en un plano horizontal pero alguien lo aprieta contra el piso.



Y lo mismo pasaría si el tipo estuviera subiendo o bajando en un ascensor con aceleración constante. ( Ojo que este caso también lo toman ).



Entonces: ¿ La normal es siempre igual al peso ?

RTA.: En el caso general no. Es decir, muchas veces, sí. Pero siempre-siempre, NO.

### ROZAMIENTO ESTÁTICO Y ROZAMIENTO DINÁMICO

Hay 2 tipos de rozamiento que tenés que conocer. Estos 2 tipos de rozamiento son el rozamiento estático y el rozamiento dinámico.

A grandes rasgos digamos que tengo rozamiento estático cuando hay rozamiento pero el cuerpo se queda quieto.

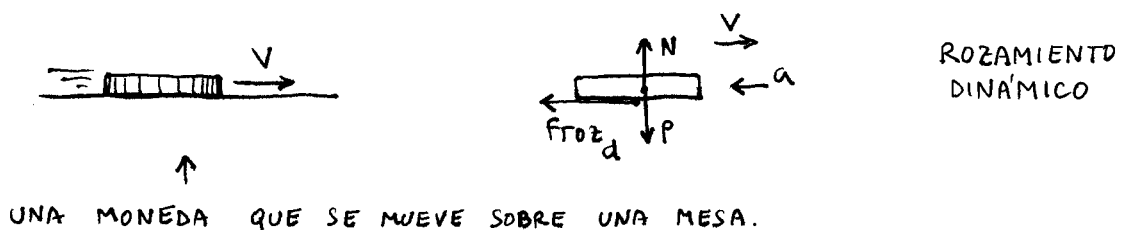
Tipo una persona que intenta empujar un placard pero el placard no se mueve.

Tengo rozamiento dinámico cuando hay rozamiento y el cuerpo se mueve. Tipo un esquiador que va por la nieve y patina .

Veamos qué pasa en cada caso.

### ROZAMIENTO DINÁMICO

Supongamos la situación de un cuerpo que avanza rozando contra el piso. Fijate :



Mientras la moneda va deslizando la fuerza de rozamiento la va frenando.

Tengo rozamiento dinámico.

Me pregunto ahora lo siguiente: ¿ Cuánto vale la  $f_{ROZ}$  dinámico ?.

Bueno, te comenté antes que el valor de la fuerza de rozamiento era proporcional a la normal y que dependía del material con que estuvieran hechas las superficies en contacto. Eso se pone matemáticamente así:

$$f_{ROZ} = \mu_d \cdot N$$

Fuerza de rozamiento dinámico.      Coeficiente de rozamiento dinámico ( $\mu$  dinámico)      Fuerza normal.

← Ecuación que se usa cuando hay rozamiento dinámico.

El  $\mu$  dinámico es un número sin unidades. Da una idea de qué tan grande es el rozamiento que hay entre las superficies que se están tocando.

Por ejemplo, si el piso es de cemento tendré un determinado valor de  $\mu$ . Ahora, si el piso es de hielo, la superficie será más patinosa y el  $\mu$  será menor.

Digamos que el coeficiente de rozamiento dinámico vendría a ser un número que me estaría indicando el grado de "patinosidad" de las superficies.

( ¿ Patinosidad ? ¡Qué cosas dice la gente! ).

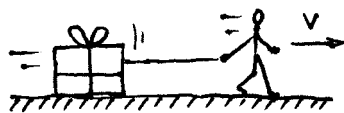
Es decir: Superficies muy patinosas  $\Rightarrow$  poco rozamiento  $\Rightarrow$   $\mu$  chico.

Una aclaración: Generalmente tanto el  $\mu$  estático como el  $\mu$  dinámico son menores que 1. Pero atención. Como siempre, esto pasa para la mayoría de los objetos, pero no para todos.

Quiero decir, esto de que los coeficientes de rozamiento son siempre menores que 1 no es una regla general.

### Ejemplo

El tipo de la figura arrastra una caja que pesa 20 Kgf. Calcular la fuerza de rozamiento entre el piso y la caja. Dato:  $\mu_d$  piso-caja = 0,3.



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

$$F_{ROZ} = 0,3 \cdot 20 \text{ Kgf}$$

$$\Rightarrow \underline{F_{ROZ} = 6 \text{ Kgf}}$$

Con respecto a este ejemplo fijate que la fuerza de rozamiento vale 6 kgf.

Este valor de la  $F_{\text{roz}}$  es independiente de con qué velocidad camine el tipo. Podrá ir a 1 por hora o a 10 por hora. La fuerza de rozamiento dinámico no depende de la velocidad. ( Esto es lo que quería que vieras )

### ROZAMIENTO ESTÁTICO

Tengo rozamiento estático cuando trato de empujar una cosa para moverla pero la cosa no se mueve. Sería este ejemplo:

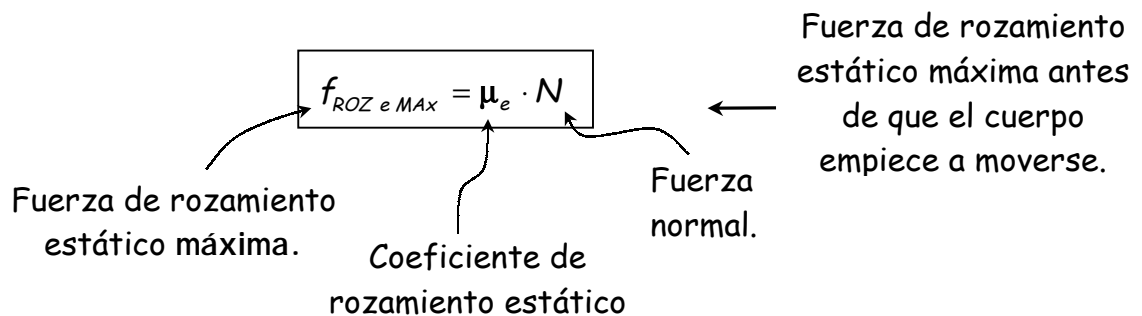


Es decir, el tipo ejerce una fuerza sobre el placard pero el coso maldito no quiere moverse.

Pensemos.

¿ Cuánto vale la fuerza de rozamiento en este caso ?

Bueno, los tipos demostraron que la fuerza de rozamiento máxima que ejerce el piso antes de que el tipo empiece a moverse vale  $\mu_e$  por  $N$ .



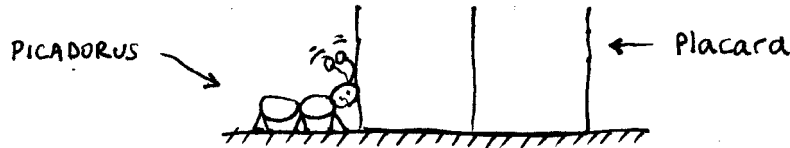
Quiero que veas bien cómo es esto de Fuerza de rozamiento estática máxima =  $\mu_e$  por  $N$ .

Supongamos que el placard pesa 30 kilos y el  $\mu_e$  estático es 0,5. La fuerza de rozamiento máxima me da 15 Kgf ( = 0,5 x 30 ).

Eso no quiere decir que el rozamiento esté haciendo una fuerza de 15 kilos. Eso quiere decir que la fuerza máxima que el rozamiento puede hacer, antes de que el placard se empiece a mover, vale 15 kilos.

( Cuidado con esto por favor ).

Es decir, supongamos que una hormiga picadora trata de empujar el placard con una fuerza de 10 gramos-fuerza. ( 10 grf ).



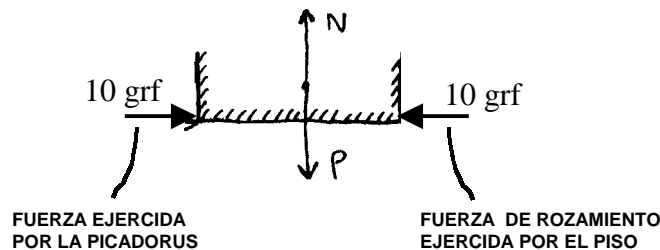
La hormiga no puede mover al coso porque sólo ejerce una fuerza de 10 gramos fuerza. Para poder moverlo tendría que ejercer una fuerza de 15 Kgf o más.

A ver si entendés lo que quiero decir. Te pregunto:

Cuando la hormiga empuja con una fuerza de 10 gramos fuerza , ...  
¿ la fuerza de rozamiento vale 15 Kg fuerza ?

RTA.: No, la fuerza de rozamiento va a valer 10 gramos fuerza.

Es decir, el diagrama de cuerpo libre para el placard sería éste:



¿ Y si ahora la hormiga empuja con una fuerza de 100 gramos-fuerza ?

Rta: La fuerza de rozamiento valdría 100 gramos-fuerza.

¿ Y si la fuerza fuera de 1000 gramos-fuerza ?

Entonces  $f_{ROZ}$  valdría 1000 gramos-fuerza.

¿ Y si fuera de 10 Kilogramos fuerza ?

-  $f_{ROZ}$  valdría 10 kilogramos fuerza.

¿ Y si fuera de 15 Kg ?

-  $f_{ROZ}$  valdría justo 15 kilogramos fuerza.

¿ Y si fuera de 15,1 Kg ?

- Ahhh! Entonces ahí el cuerpo empezaría a moverse. En ese caso para calcular el valor de la fuerza de rozamiento tendría que usar el  $\mu$  dinámico.

¿ Ves cómo es la cosa ? La fuerza de rozamiento estático no vale siempre  $\mu$  estático por ene. Lo que vale  $\mu_e$  por ene es la fuerza de rozamiento máxima, que puede existir antes de que el tipo empiece a moverse. ( Ahora sí ).

Vamos ahora a esto otro:

¿ EL  $\mu$  ESTÁTICO ES SIEMPRE MAYOR QUE EL  $\mu$  DINÁMICO ?

Una vez que uno aplicó una fuerza mayor a 15 Kgf, el cuerpo se empieza a mover.

Ahora, una vez que el tipo está en movimiento, ya no es necesario seguir aplicando una fuerza de 15 Kg para hacer que se siga moviendo. Va a alcanzar con aplicar una fuerza menor.

¿ Por qué pasa esto ?

Pasa porque generalmente el  $\mu$  dinámico es menor que el  $\mu$  estático. Atención. Esto de que  $\mu_e > \mu_d$  vale para la mayoría de los materiales, pero tampoco es una ley general. Para algunos materiales no se cumple.

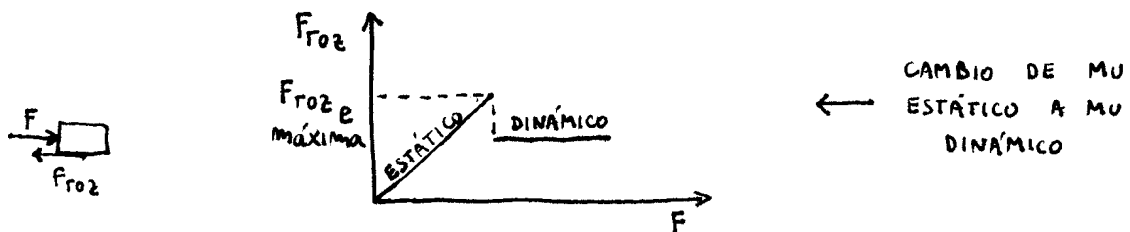
Por ejemplo si en el problema del placard el  $\mu_e$  era de 0,5 ; ahora el  $\mu_d$  podría ser de 0,4 o 0,3. ( Por ejemplo ).

La fuerza de rozamiento dinámico valdría:

$$f_{ROZ\ d} = \mu_d \cdot N = 0,4 \cdot 30\text{Kgf} = 12\ \text{Kgf}$$

Es decir, para hacer que el cuerpo empiece a moverse necesito una fuerza de 15 Kgf, pero para mantenerlo en movimiento alcanza con aplicar una fuerza de 12Kgf.

Este salto que pega la fuerza de rozamiento cuando pasa de estar quieta a moverse lo gráfico así:



En esta representación,  $F$  es la fuerza que yo aplico para tratar de mover el cuerpo.

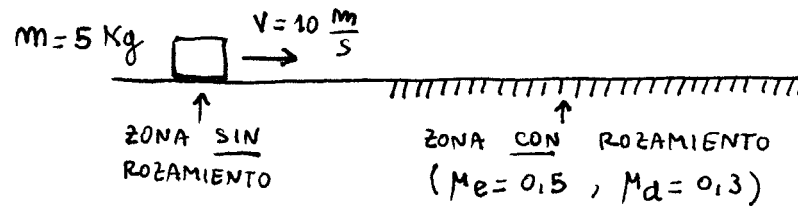
Repito. Este hecho de que el  $\mu$  dinámico sea menor que el  $\mu$  estático se cumple para la mayoría de los cuerpos, pero no para todos.

### Ejemplo

Un cuerpo de masa 5 kg se mueve con velocidad 10 m/s por una zona sin rozamiento como indica la figura. Luego entra en una zona con rozamiento. Calcular:

- La aceleración que tiene mientras se va frenando en la zona con rozamiento.
- La fuerza de rozamiento estático una vez que se detuvo.
- La fuerza mínima que hay que ejercer para volver a ponerlo

en movimiento.



a) - Cuando entra en la región con rozamiento, el diagrama de cuerpo libre va a ser éste:



La fuerza de rozamiento dinámico vale  $\mu_d$  por  $eNe$ . La calculo:

$$f_{ROZ d} = \mu_d \cdot \frac{N}{mg} = 0,3 \cdot 5 \text{ Kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 14,7 \text{ N}$$

Ahora puedo calcular la aceleración con la que está frenando. Como  $F = m \cdot a$ , la aceleración de frenado va a ser  $a = F / m$ .

$$a = \frac{F_{ROZ d}}{m} = \frac{14,7 \text{ Kg m/s}^2}{5 \text{ Kg}}$$

$$\Rightarrow \underline{a = 2,94 \text{ m/s}^2} \quad \leftarrow \text{Aceleración de frenado.}$$

b) - Ahora calculemos la Fuerza de rozamiento estático cuando el cuerpo está quieto. Una vez que el tipo se frenó, el diagrama de cuerpo libre es éste:



De lo que tenés que darte cuenta es que ahora el cuerpo está quieto. No se mueve. Eso significa que... ¡no hay fuerza de rozamiento!

Nadie trata de empujar al cuerpo para que se mueva, de manera que el rozamiento no va a aparecer. Entonces la respuesta a la pregunta b) es:

$$\underline{f_{ROZ} = 0} \quad \leftarrow f_{ROZ} \text{ cuando el tipo está quieto.}$$

c)- Ahora, ¿qué fuerza hay que hacer para ponerlo en movimiento ?.

Bueno, si el tipo está quieto y alguien lo empuja para tratar de moverlo tengo este diagrama de cuerpo libre:



Para hacer que arranque voy a tener que hacer una fuerza un poquitito mayor a la fuerza de rozamiento estática máxima.

$$f_{ROZ e MAX} = \mu_e \cdot N = 0,5 \cdot \underbrace{5 \text{ Kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}_N$$

$$\Rightarrow f_{ROZ e MAX} = 24,5 \text{ N}$$

Es decir, la fuerza  $F$  a ejercer tendrá que ser algo mayor a 24,5 N.

Entonces la fuerza mínima para ponerlo en movimiento en el caso límite va a ser:

$$\underline{f_{MIN} = 24,5 \text{ N}}$$

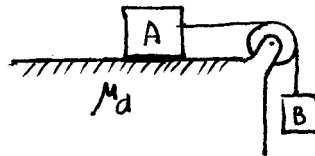
← Fuerza mínima para hacer que empiece a moverse.

Nota: En este problema la velocidad inicial no se usa y es un dato de más.

### Otro ejemplo

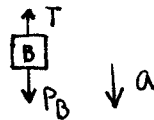
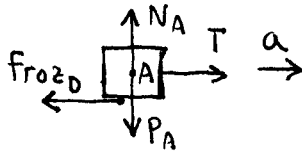
- Calcular la aceleración del sistema de la figura y la tensión en la cuerda.

Datos: En el dibujo.



$$\begin{aligned} m_A &= 10 \text{ Kg} \\ m_B &= 5 \text{ Kg} \\ \mu_d &= 0,2 \end{aligned}$$

Hago un diagrama de cuerpo libre para cada uno de los cuerpos:



← DIAGRAMAS

$$T - f_{roz_D} = m_A a$$

$$P_B - T = m_B a \quad \leftarrow \text{ECUACIONES}$$

Para cada diagrama planteé la ecuación de Newton. Ahora tengo que resolver el

sistema de  $2 \times 2$  que me quedó. Tengo lo siguiente:

$$T - f_{\text{ROZ } d} = m_A \cdot a \quad ; \quad P_B - T = m_B \cdot a$$

Ahora sumo estas 2 ecuaciones para que se vaya la tensión. Este es un truco que siempre conviene usar en los problemas de dinámica.

$$\Rightarrow T - f_{\text{roz } d} + P_B - T = m_A \cdot a + m_B \cdot a$$

$$\Rightarrow -f_{\text{roz } d} + P_B = (m_A + m_B) \cdot a$$

$$\Rightarrow 5 \text{ Kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} - 0,2 \cdot 10 \text{ Kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = (10 \text{ Kg} + 5 \text{ Kg}) \cdot a$$

$$49 \text{ N} - 19,6 \text{ N} = 15 \text{ kg} \cdot a$$

$$15 \text{ kg} \cdot a = 29,4 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$

$$\Rightarrow \boxed{a = 1,96 \text{ m/s}^2}$$

¿Cómo calculo ahora la tensión en la cuerda?

Bueno, sólo tengo que reemplazar esta aceleración en cualquiera de las ecuaciones del principio y despejar T. Por ejemplo:

$$P_B - T = m_B \cdot a \quad \Rightarrow \quad T = P_B - m_B \cdot a$$

$$\Rightarrow T = m_B \cdot g - m_B \cdot a$$

$$\Rightarrow T = m_B \cdot (g - a)$$

$$\Rightarrow T = 5 \text{ Kg} \cdot \left( 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} - 1,96 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$\Rightarrow \underline{T = 39,2 \text{ N}} \quad \leftarrow \text{ Tensión en la cuerda}$$

Para verificar este resultado podría reemplazar la aceleración en la otra ecuación y ver si da lo mismo.

No lo hago porque ya lo hice recién en un papelito acá al lado mío y me dio lo mismo. ( $\Rightarrow$  chau).

### ROZAMIENTO, CONCLUSION.

Mirá, rozamiento no es un tema difícil. Es como lo que vimos antes en dinámica

solo que ahora hay una fuerza más que se llama rozamiento y que se suele calcular como  $\mu$  por N.

Hasta agarrarle la mano vas a tener que resolverte algunos problemas, pero bueno, eso pasa siempre acá en física.

Te repito: Rozamiento no es difícil. Hacé los problemas de la guía y te vas a dar cuenta.

Y si no hagamos así: Yo siempre ando dando vueltas por el pasillo. Buscame a mi y me lo preguntás.

---

Próximos Temas:      LEY de HOOKE.  
                                 MOV. CIRCULAR  
                                 GRAVITACIÓN