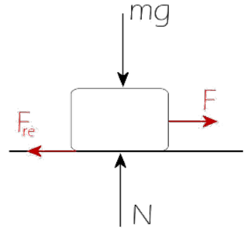
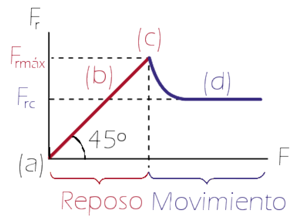
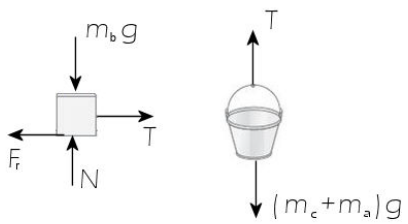
a) Siempre que la superficie de un cuerpo desliza sobre la de otro aparecen las fuerzas de rozamiento, que son paralelas a las superficies y obran sobre cada uno de los cuerpos en tal sentido que se oponen al movimiento relativo. Las fuerzas de rozamiento siempre se oponen al movimiento y nunca lo ayudan. Aunque no haya movimiento relativo puede haber rozamiento entre las superficies; basta con que haya una tendencia al movimiento por la acción de otras fuerzas que actúen sobre los cuerpos en contacto. En este último caso hablaremos de rozamiento estático en contraposición al rozamiento cinético, que se presenta cuando hay movimiento relativo.



Realicemos un sencillo experimento para ver la diferencia entre el rozamiento estático y el cinético. Supongamos un bloque en reposo sobre una superficie horizontal, como se muestra en la figura y apliquémosle una fuerza horizontal cuya magnitud **F** podamos variar. Encontraremos que cuando la magnitud de la fuerza **F** es suficientemente pequeña el bloque permanece en reposo sobre el tablero; la fuerza **F** está contrarrestada por una fuerza de rozamiento (estático) en la misma dirección, pero en sentido opuesto al de la fuerza aplicada, ejercida por el tablero y que obra en la superficie de contacto. Conforme vamos aumentando la magnitud de la fuerza aplicada **F** nos iremos acercando a un valor límite para el cual el movimiento es inminente. Hasta alcanzarse ese valor límite, la fuerza de rozamiento estática irá creciendo de modo que en todo momento contrarreste exactamente a la fuerza aplicada **F**. En esta situación límite diremos que el tablero ejerce una fuerza de rozamiento estático máxima sobre el bloque. Cuando aumentemos, aunque sólo sea ligeramente, la intensidad de la fuerza aplicada por encima de ese valor límite, observaremos que el bloque se pone en movimiento, y que dicho movimiento es acelerado. Se demuestra así que una vez iniciado el movimiento la fuerza de rozamiento ha disminuido, es decir, la fuerza de rozamiento cinético es menor que la de rozamiento estático máxima. Si después de iniciado el movimiento reducimos la intensidad de la fuera **F** aplicada a un valor conveniente, encontraremos que es posible conservar el bloque en movimiento uniforme; esta fuerza puede ser pequeña, pero no nula. Así, si representamos en una gráfica la fuerza de rozamiento frente a la fuerza **F** aplicada, durante el intervalo estático tendremos que la fuerza de rozamiento y la fuerza **F** se contrarrestan y son iguales (recta de pendiente positiva y ángulo 45º), hasta llegar al valor máximo. A partir de ahí, la fuerza de rozamiento disminuye instantáneamente al valor cinético, que permanece constante y es inferior al estático.





b) El instante en que se inicia el movimiento es el último momento en que el sumatorio de fuerzas es nulo (último momento de equilibrio) y en ese instante la fuerza de rozamiento adquiere su valor máximo, el estático. Así, si hacemos los diagramas del cubo con la arena y del bloque por separado tendremos lo que aparece en la figura. A partir de la segunda ley de Newton para el bloque:

$$\Sigma F_y=0 \Rightarrow N-m_b g=0 \Rightarrow N=m_b g=28 \cdot 9{,}8=274{,}4\ N$$

Cuando el movimiento es inminente la fuerza de rozamiento es la máxima, es decir:

$$F_r=(F_r)_{máx}=\mu_e N=0{,}45 \cdot 274{,}4=123{,}48\ N$$

$$\Sigma F_x=0 \Rightarrow T-F_r=0 \Rightarrow T=F_r=123{,}48\ N$$

Y ahora para el cubo:

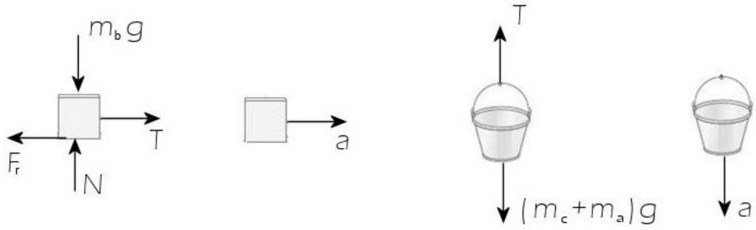
$$\Sigma F_y=0 \Rightarrow T-(m_c+m_a)g=0 \Rightarrow 123{,}48-(2+m_a) \cdot 9{,}8=0 \Rightarrow m_a=10{,}6\ kg$$

$$\underline{m_a=10{,}6\ kg}$$

En cuanto se inicia el movimiento la fuerza de rozamiento desciende inmediatamente a su valor cinético, y el sistema comienza a acelerar. La fuerza de rozamiento vale entonces:

$$F_r=F_{rc}=\mu_c N=0{,}32 \cdot 274{,}4=87{,}808\ N$$

Ahora el cubo y el bloque se moverán con la misma aceleración, y tendremos lo que aparece en la figura.



Aplicando la segunda ley de Newton a los dos sistemas tendremos:

$$\Sigma F_x=m_b a_{bx} \Rightarrow T-F_r=m_b a \Rightarrow T-87{,}808=28a$$

$$\Sigma F_y=(m_c+m_a)a_{cay} \Rightarrow T-(m_c+m_a)g=-(m_c+m_a)a$$

$$T-(10{,}6+2)\cdot 9{,}8=-(10{,}6+2)a$$

Y nos queda un sistema de dos ecuaciones y dos incógnitas:

$$T-87{,}808=28a$$

$$T-(10{,}6+2)\cdot 9{,}8=-(10{,}6+2)a \Rightarrow T-123{,}48=-12{,}6a$$

Restando las dos ecuaciones:

$$T-87{,}808-T+123{,}48=28a+12{,}6a \Rightarrow 35{,}672=40{,}6a \Rightarrow a=0{,}879\ m/s^2$$

$$\underline{a=0{,}879\ m/s^2}$$