



# Capítulo 4B. Fricción y equilibrio

Presentación PowerPoint de

Paul E. Tippens, Profesor de Física

Southern Polytechnic State University

© 2007

**Equilibrio:** Hasta que inicia el movimiento, todas las fuerzas sobre la podadora están en balanceadas. La fricción sobre los cojinetes de las ruedas y en el suelo se oponen al movimiento lateral.

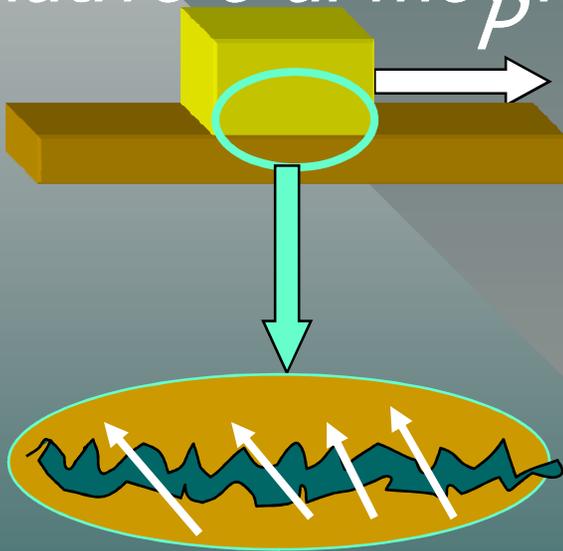


## Objetivos: Después de completar este módulo, deberá:

- Definir y calcular los coeficientes de fricción cinética y estática, y dar la relación de fricción a la fuerza normal.
- Aplicar los conceptos de fricción estática y cinética a problemas que involucren movimiento constante o movimiento inminente.

## Fuerzas de fricción

*Cuando dos superficies están en contacto, las fuerzas de fricción se oponen al movimiento relativo o al movimiento inminente.*

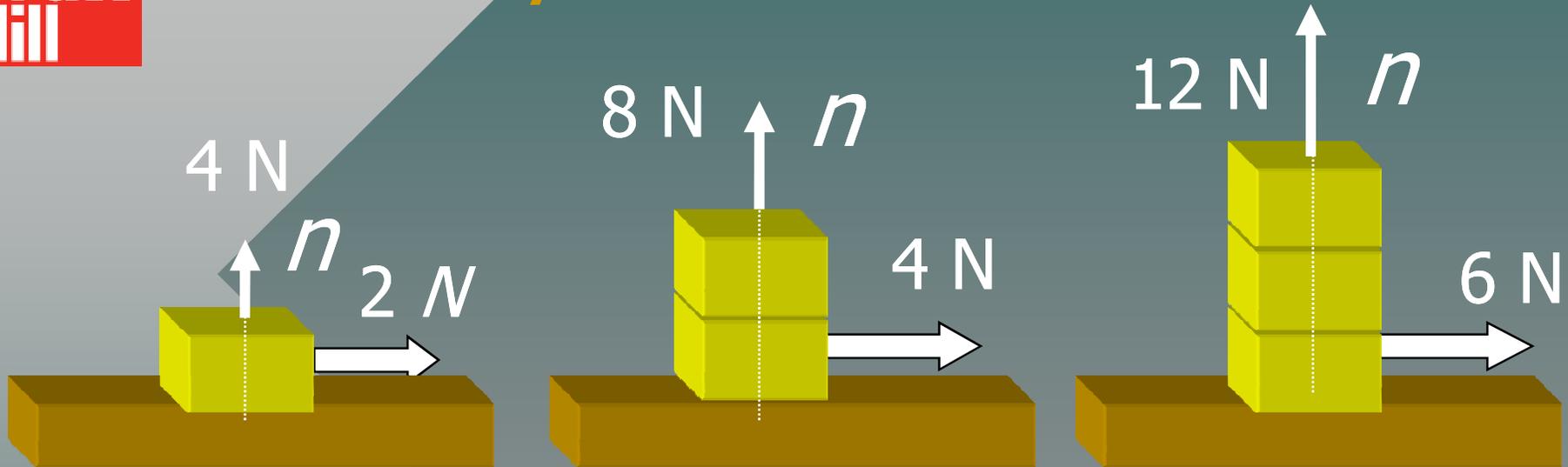


Las fuerzas de fricción son *paralelas* a las superficies en contacto y *se oponen* al movimiento o movimiento inminente.

Fricción estática: No movimiento relativo.

Fricción cinética: Movimiento relativo.

# Fricción y fuerza normal

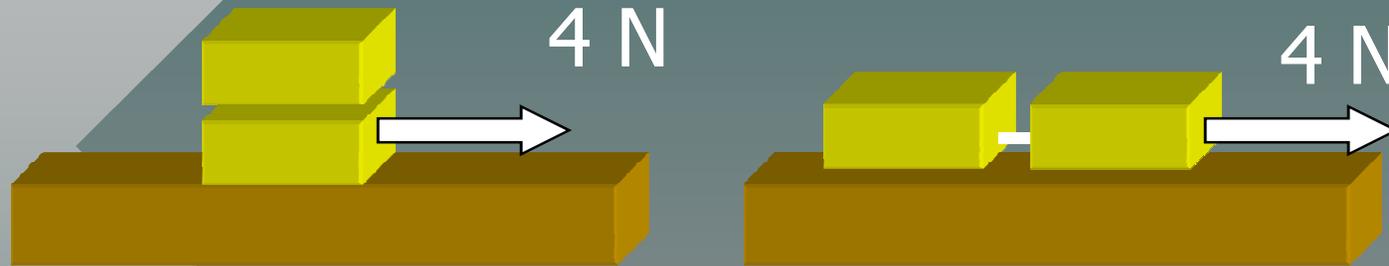


*La fuerza que se requiere para superar la fricción **estática** o **cinética** es proporcional a la fuerza normal,  $n$ .*

$$f_s = \mu_s n$$

$$f_k = \mu_k n$$

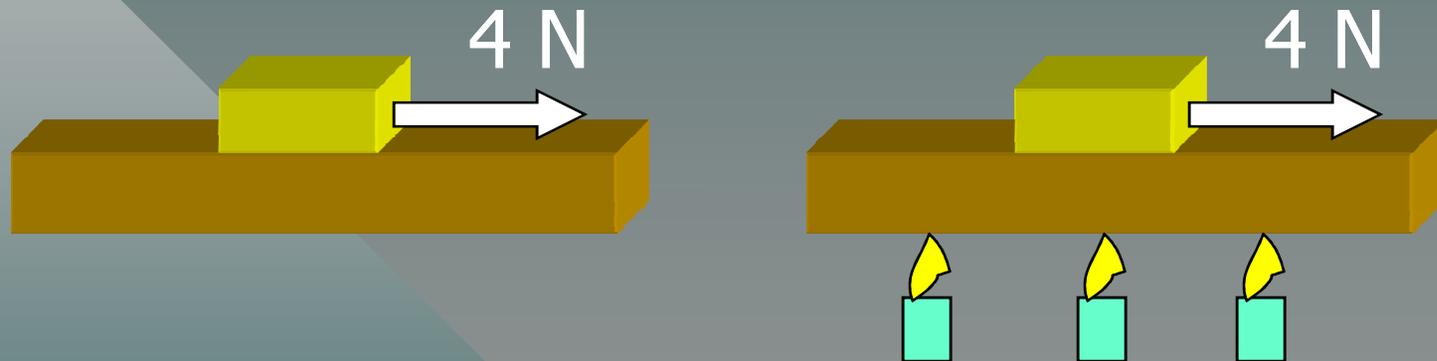
## Las fuerzas de fricción son independientes del área.



Si la masa total que jala es constante, se requiere la misma fuerza (4 N) para superar la fricción incluso con el doble de área de contacto.

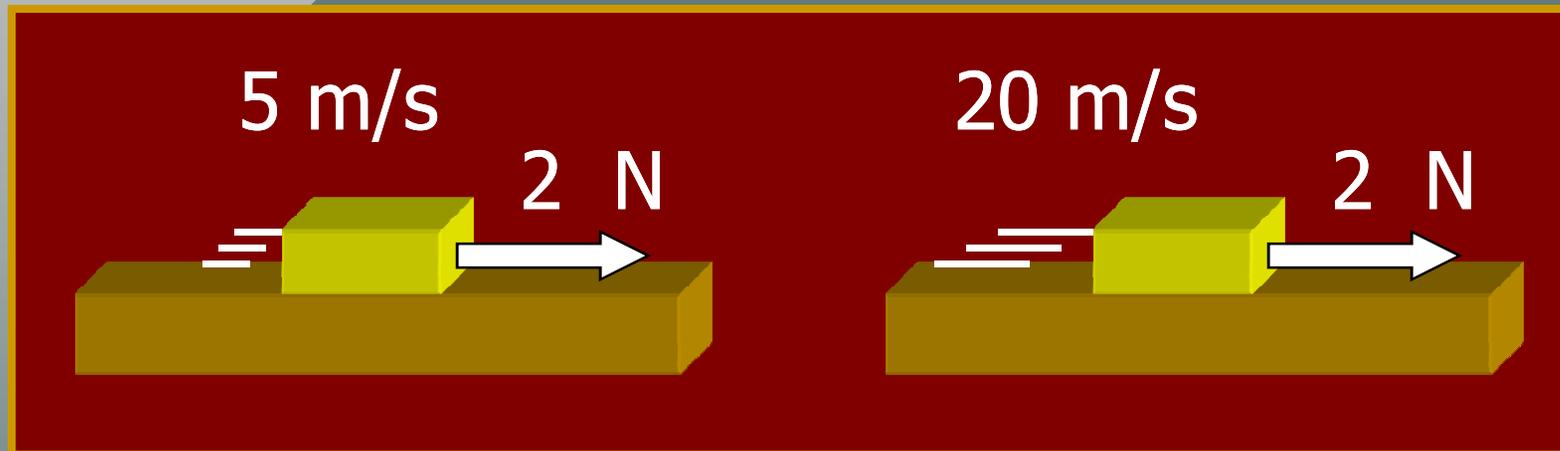
Para que esto sea cierto, es esencial que TODAS las otras variables se controlen estrictamente.

Las fuerzas de fricción son independientes de la temperatura, siempre que no ocurran variaciones químicas o estructurales.



A veces el calor puede hacer que las superficies se deformen o vuelvan pegajosas. En tales casos, la temperatura puede ser un factor.

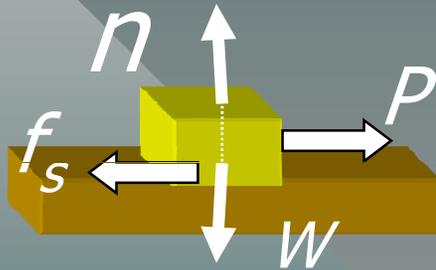
## Las fuerzas de fricción son independientes de la rapidez.



La fuerza de fricción cinética es la misma a **5 m/s** o a **20 m/s**. De nuevo, debe suponer que no hay cambios químicos o mecánicos debido a la rapidez.

# La fuerza de fricción estática

*Cuando se intenta mover un objeto sobre una superficie, la fricción estática aumenta lentamente hasta un valor **MÁXIMO**.*



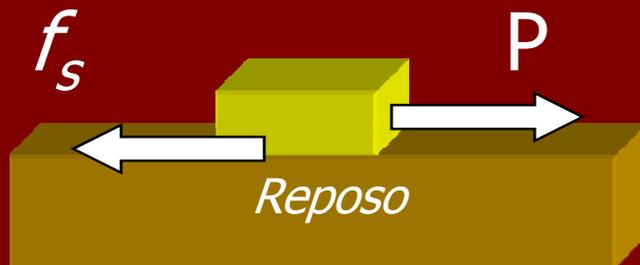
$$f_s \leq \mu_s n$$

*En este módulo, cuando se use la siguiente ecuación, se refiere sólo al valor **máximo** de la fricción estática y se escribe simplemente:*

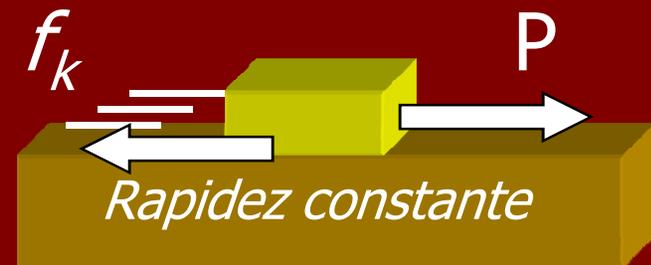
$$f_s = \mu_s n$$

## Movimiento constante o inminente

Para el movimiento que es *inminente* y para el movimiento con rapidez *constante*, la fuerza resultante es cero y  $\Sigma F = 0$ . (Equilibrio)



$$P - f_s = 0$$

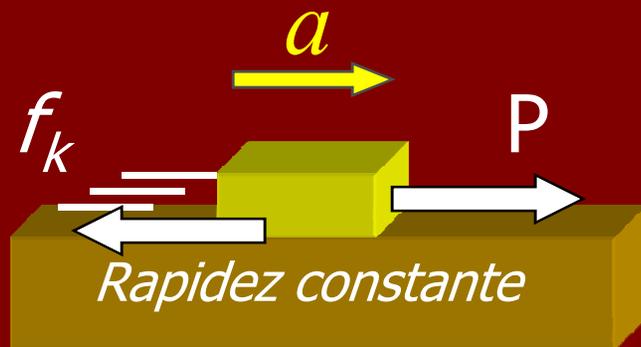


$$P - f_k = 0$$

Aquí el **peso** y **las fuerzas normales** están balanceadas y no afectan al movimiento.

## Fricción y aceleración

*Cuando  $P$  es mayor que el máximo  $f_s$  la fuerza resultante produce aceleración.*

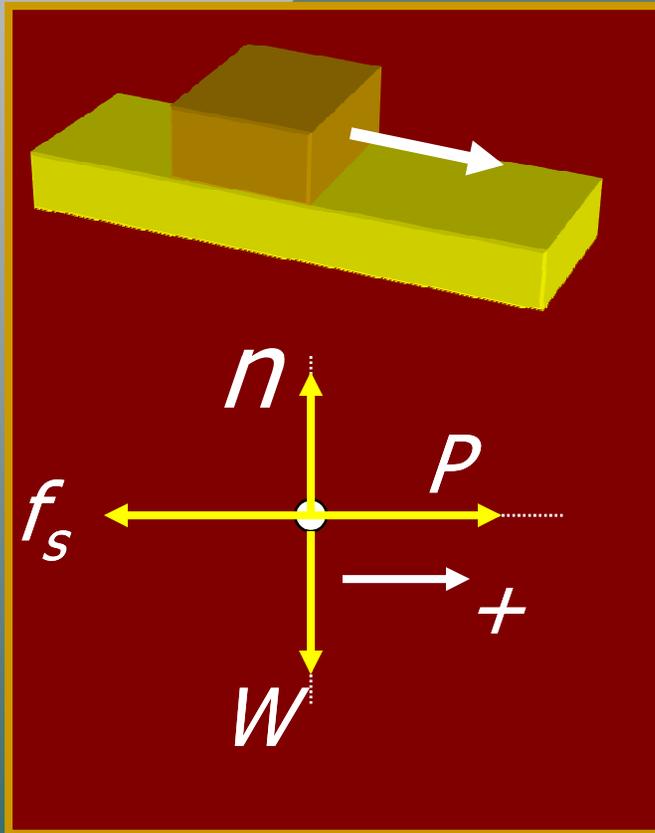


*Este caso se analizará en un capítulo posterior.*

$$f_k = \mu_k n$$

Note que la fuerza de fricción cinética permanece constante incluso mientras aumenta la velocidad.

Ejemplo 1: Si  $\mu_k = 0.3$  y  $\mu_s = 0.5$ , ¿qué jalón horizontal  $P$  se requiere para apenas iniciar el movimiento de un bloque de  $250\text{-N}$ ?



1. Dibuje bosquejo y diagrama de cuerpo libre como se muestra.

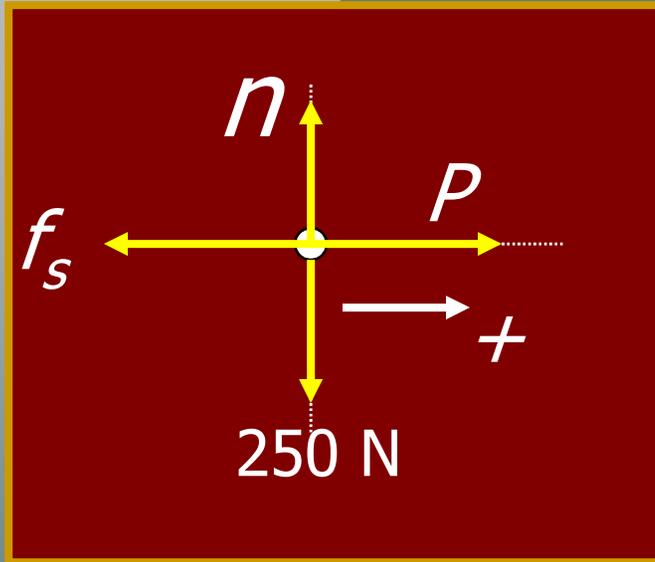
2. Mencione lo conocido y etiquete lo que se encontrará:

$$\mu_k = 0.3; \mu_s = 0.5; W = 250 \text{ N}$$

Encontrar:  $P = ?$  Para apenas comenzar

3. Reconozca movimiento inminente:  $P - f_s = 0$

Ejemplo 1 (cont.):  $\mu_s = 0.5$ ,  $W = 250 \text{ N}$ .  
 Encontrar  $P$  para superar  $f_s(\text{máx})$ . Aplique fricción estática.



*Para este caso:  $P - f_s = 0$*

*4. Para encontrar  $P$  necesita conocer  $f_s$ , que es:*

$$f_s = \mu_s n \quad n = ?$$

*5. Para encontrar  $n$ :*  $\Sigma F_y = 0 \quad n - W = 0$

$$W = 250 \text{ N}$$

$$n = 250 \text{ N}$$

*(continúa)*

Ejemplo 1 (cont.):  $\mu_s = 0.5$ ,  $W = 250$  N.  
 Encontrar  $P$  para superar  $f_s$  (*máx*). Ahora se  
 conoce  $n = 250$  N.

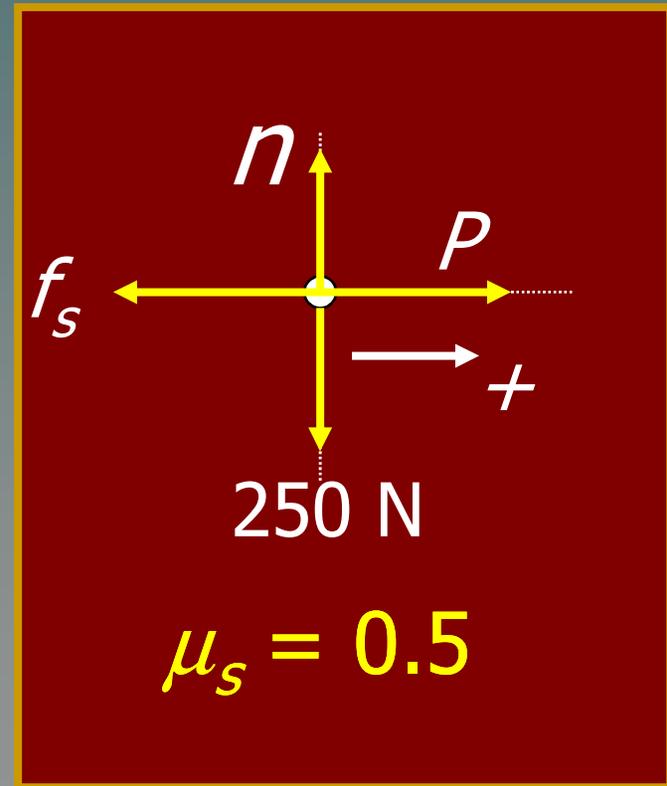
6. A continuación encuentre  $f_s$  a  
 partir de:

$$f_s = \mu_s n = 0.5 (250 \text{ N})$$

7. Para este caso:  $P - f_s = 0$

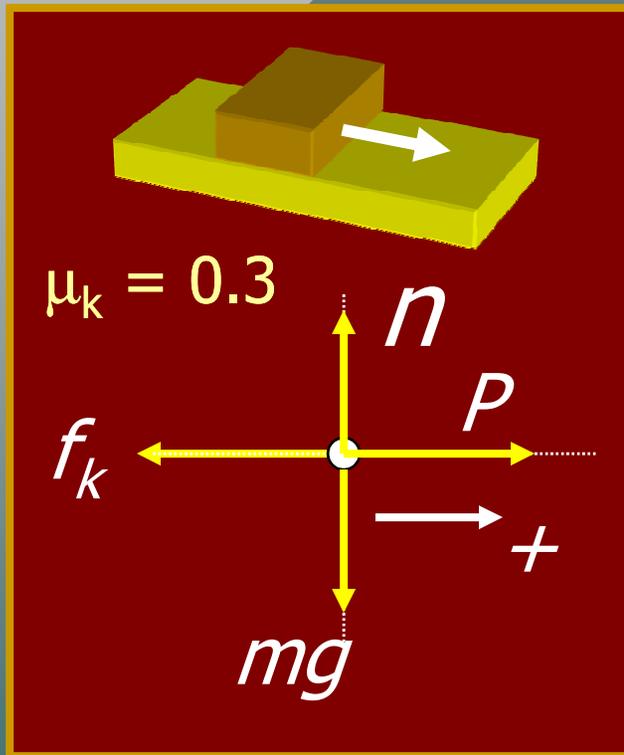
$$P = f_s = 0.5 (250 \text{ N})$$

$$P = 125 \text{ N}$$



Esta fuerza (**125 N**) es necesaria para **apenas iniciar** el  
 movimiento. Considere a continuación  $P$  necesaria para  
 rapidez constante.

Ejemplo 1 (cont.): Si  $\mu_k = 0.3$  y  $\mu_s = 0.5$ , ¿qué jalón horizontal  $P$  se requiere para mover con rapidez constante? (Superar fricción **cinética**)



$$\Sigma F_y = ma_y = 0$$

$$n - W = 0 \quad n = W$$

$$\text{Ahora: } f_k = \mu_k n = \mu_k W$$

$$\Sigma F_x = 0; \quad P - f_k = 0$$

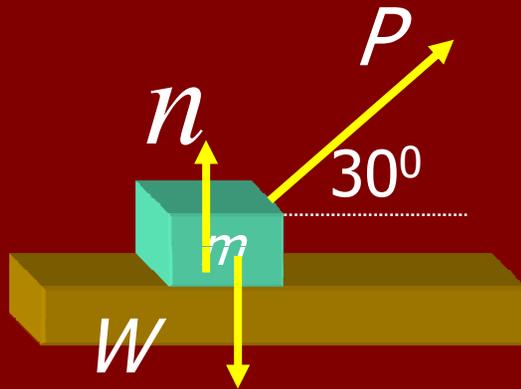
$$P = f_k = \mu_k W$$

$$P = (0.3)(250 \text{ N})$$

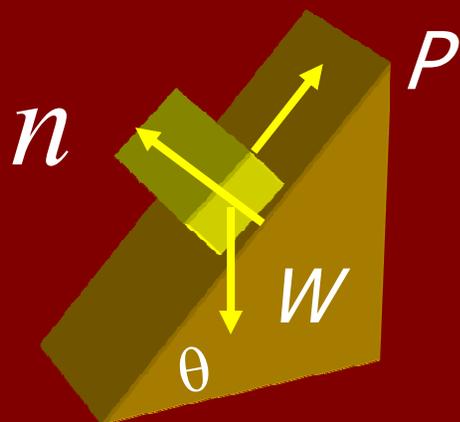
$$P = 75.0 \text{ N}$$

# La fuerza normal y el peso

La fuerza normal **NO** siempre es igual al peso. Los siguientes son ejemplos:



Aquí la fuerza normal es **menor** que el peso debido al componente ascendente de  $P$ .



Aquí la fuerza normal es igual sólo al **componente** del peso perpendicular al plano.

## Repaso de diagramas de cuerpo libre:

Para problemas de fricción:

- Lea el problema; dibuje y etiquete bosquejo.
- Construya diagrama de fuerzas para cada objeto, vectores en el origen de los ejes  $x$ ,  $y$ . Elija el eje  $x$  el  $y$  a lo largo del movimiento o movimiento inminente.
- Puntee rectángulos y etiquete los componentes  $x$  y  $y$  opuesto y adyacente a los ángulos.
- Etiquete todos los componentes; elija dirección positiva.

## Para fricción en equilibrio:

- Lea, dibuje y etiquete el problema.
- Dibuje diagrama de cuerpo libre para cada cuerpo.
- Elija el eje  $x$  o  $y$  a lo largo del movimiento o movimiento inminente y elija la dirección de movimiento como positiva.
- Identifique la fuerza normal y escriba una de las siguiente:

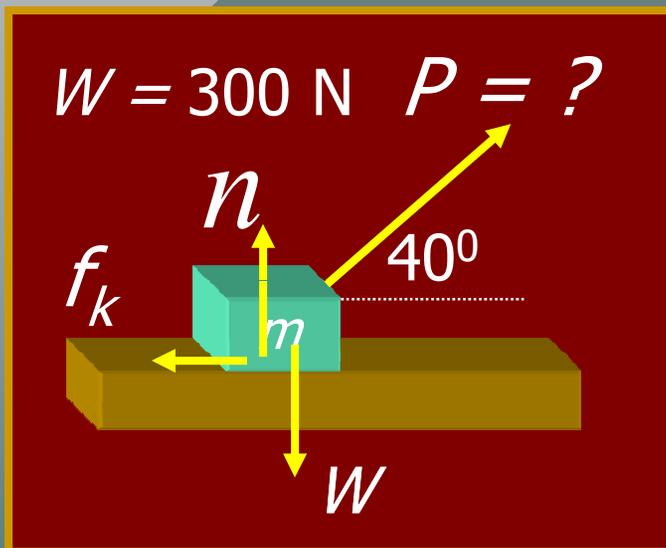
$$f_s = \mu_s n \text{ o } f_k = \mu_k n$$

- Para equilibrio, escriba para cada eje:

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0$$

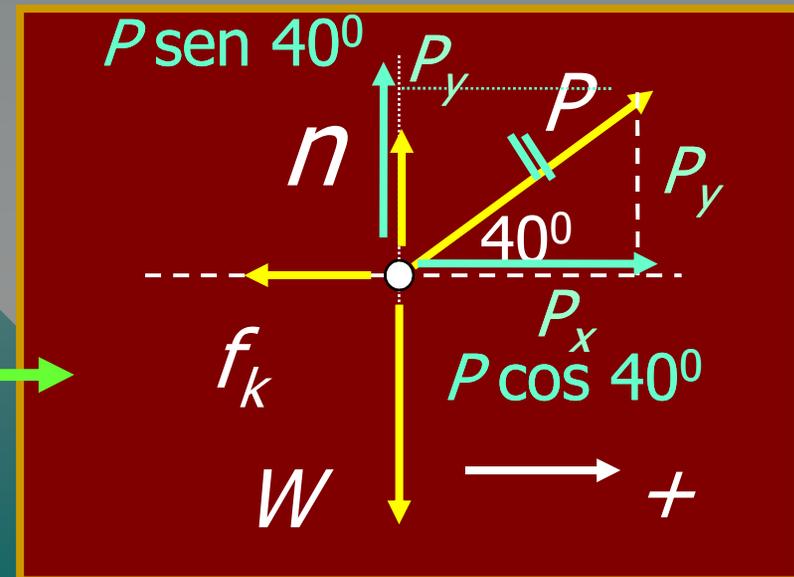
- Resuelva para cantidades desconocidas.

**Ejemplo 2.** Una fuerza de 60 N arrastra un bloque de 300-N mediante una cuerda a un ángulo de  $40^\circ$  sobre la superficie horizontal. Si  $\mu_k = 0.2$ , ¿qué fuerza  $P$  producirá rapidez constante?



1. Dibuje y etiquete un bosquejo del problema.
2. Dibuje diagrama de cuerpo libre.

Se sustituye la fuerza  $P$  por sus componentes  $P_x$  y  $P_y$ .



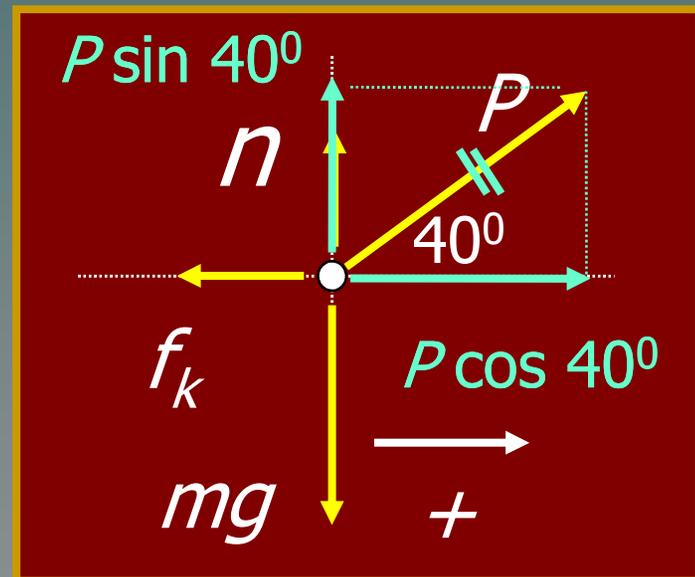
Ejemplo 2 (cont.).  $P = \text{¿?}$ ;  $W = 300 \text{ N}$ ;  $u_k = 0.2$ .

3. Encuentre componentes de  $P$ :

$$P_x = P \cos 40^\circ = 0.766P$$

$$P_y = P \sin 40^\circ = 0.643P$$

$$P_x = 0.766P; P_y = 0.643P$$



*Nota: Las fuerzas verticales están balanceadas y, para rapidez constante, las fuerzas horizontales están balanceadas.*

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

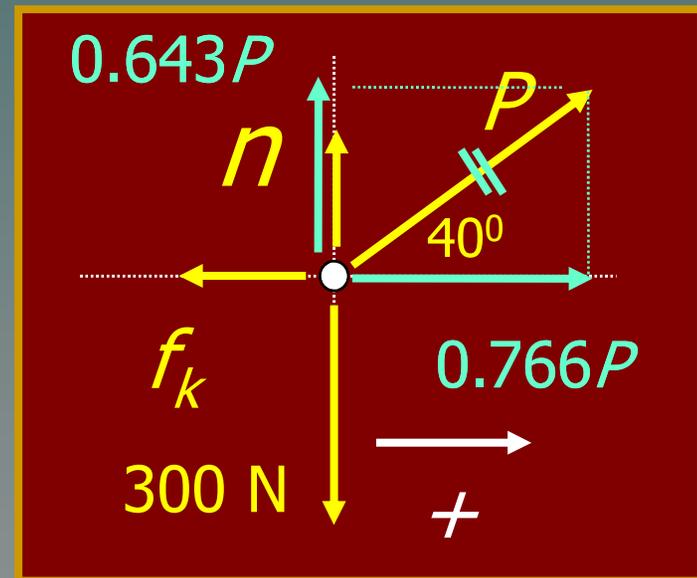
Ejemplo 2 (cont.).  $P = \text{¿?}$ ;  $W = 300 \text{ N}$ ;  $u_k = 0.2$ .

$$P_x = 0.766P$$

$$P_y = 0.643P$$

4. Aplique condiciones de equilibrio al eje vertical.

$$\Sigma F_y = 0$$



$$n + 0.643P - 300 \text{ N} = 0 \quad [P_y \text{ y } n \text{ son arriba (+)}]$$

$$n = 300 \text{ N} - 0.643P; \quad \text{Resuelva para } n \text{ en términos de } P$$

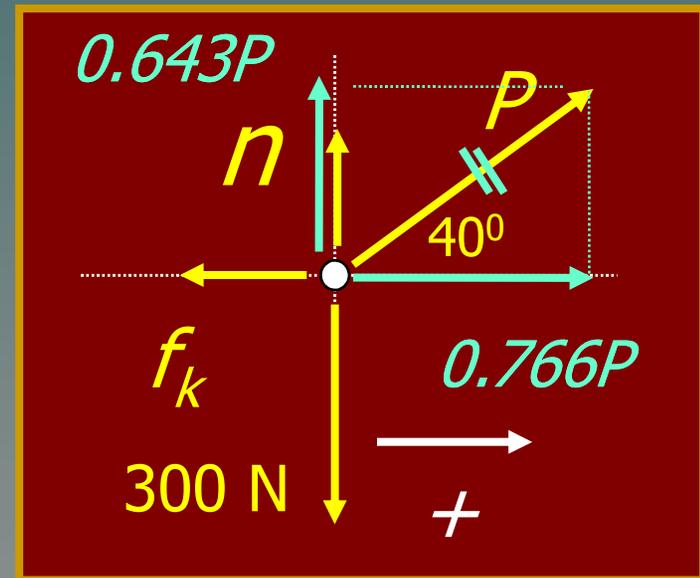
$$n = 300 \text{ N} - 0.643P$$

Ejemplo 2 (cont.).  $P = \text{¿?}$ ;  $W = 300 \text{ N}$ ;  $\mu_k = 0.2$ .

$$n = 300 \text{ N} - 0.643P$$

5. Aplique  $\Sigma F_x = 0$  a movimiento horizontal constante.

$$\Sigma F_x = 0.766P - f_k = 0$$



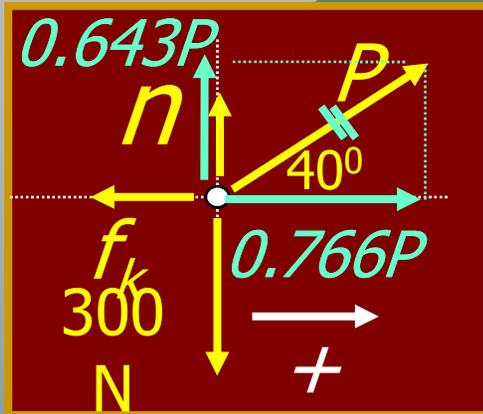
$$f_k = \mu_k n = (0.2)(300 \text{ N} - 0.643P)$$

$$f_k = (0.2)(300 \text{ N} - 0.643P) = 60 \text{ N} - 0.129P$$

$$0.766P - f_k = 0;$$

$$0.766P - (60 \text{ N} - 0.129P) = 0$$

Ejemplo 2 (cont.).  $P = \text{¿?}$ ;  $W = 300 \text{ N}$ ;  $\mu_k = 0.2$ .



$$0.766P - (60 \text{ N} - 0.129P) = 0$$

$$0.766P - 60 \text{ N} + 0.129P = 0$$

$$0.766P + 0.129P = 60 \text{ N}$$

$$0.766P + 0.129P = 60 \text{ N}$$

$$0.895P = 60 \text{ N}$$

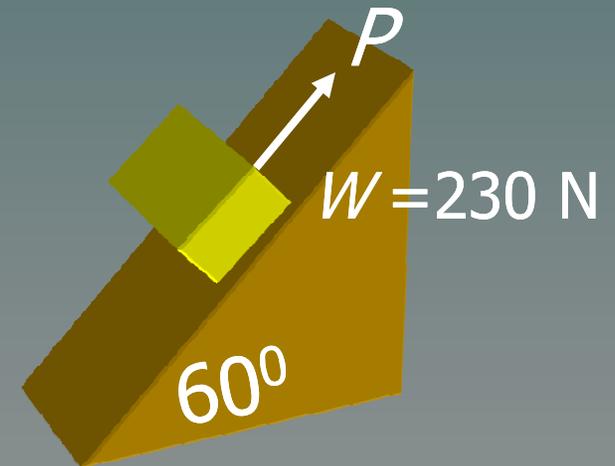
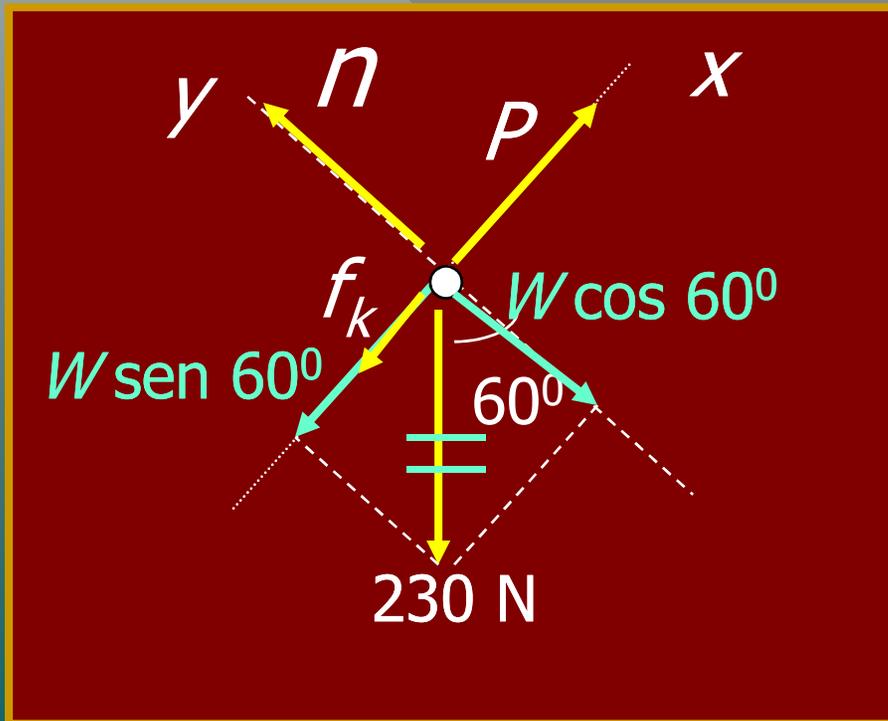
$$P = 67.0 \text{ N}$$

Si  $P = 67 \text{ N}$ , el bloque se arrastrará con rapidez constante.

$$P = 67.0 \text{ N}$$

Ejemplo 3: ¿Qué empuje  $P$  sobre el plano se necesita para mover un bloque de  $230 \text{ N}$  arriba del plano con rapidez constante si  $\mu_k = 0.3$ ?

*Paso 1:* Dibuje cuerpo libre, incluidos fuerzas, ángulos y componentes.



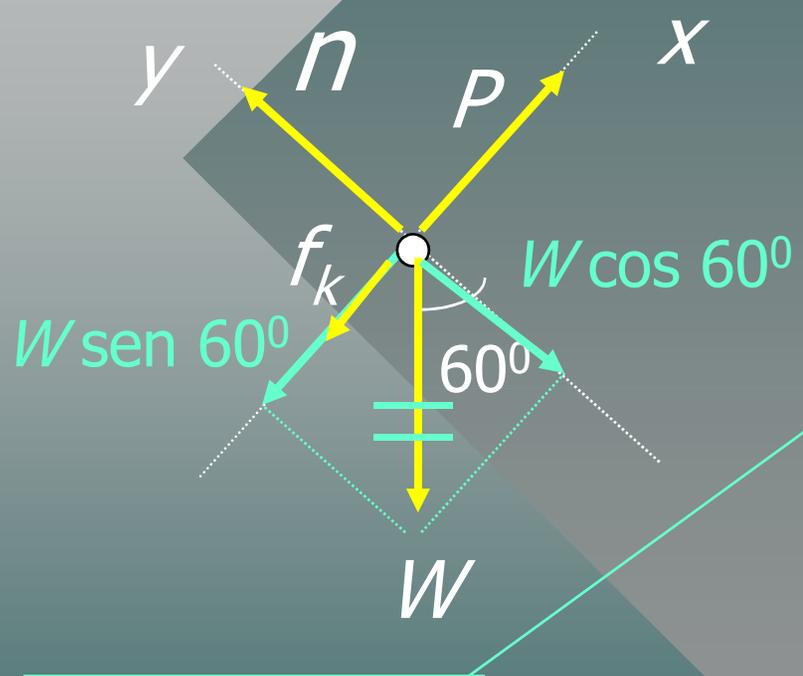
*Paso 2:*  $\Sigma F_y = 0$

$$n - W \cos 60^\circ = 0$$

$$n = (230 \text{ N}) \cos 60^\circ$$

$$n = 115 \text{ N}$$

Ejemplo 3 (cont.): Encuentre  $P$  para dar movimiento sobre el plano ( $W = 230 \text{ N}$ ).



$$n = 115 \text{ N} \quad W = 230 \text{ N}$$

*Paso 3. Aplique  $\Sigma F_x = 0$*

$$P - f_k - W \sin 60^\circ = 0$$

$$f_k = \mu_k n = 0.2(115 \text{ N})$$

$$f_k = 23 \text{ N}, \quad P = \text{¿?}$$

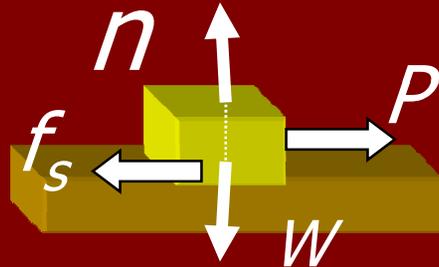
$$P - 23 \text{ N} - (230 \text{ N}) \sin 60^\circ = 0$$

$$P - 23 \text{ N} - 199 \text{ N} = 0$$

$$P = 222 \text{ N}$$

## Resumen: Puntos importantes a considerar cuando resuelva problemas de fricción.

- La fuerza máxima de fricción estática es la fuerza requerida para **apenas iniciar** el movimiento.



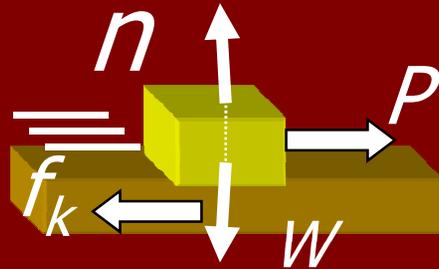
$$f_s \leq \mu_s n$$

*En ese instante existe equilibrio:*

$$\Sigma F_x = 0; \quad \Sigma F_y = 0$$

## Resumen: Puntos importantes (cont.)

- La fuerza de **fricción cinética** es aquella requerida para mantener **movimiento constante**.



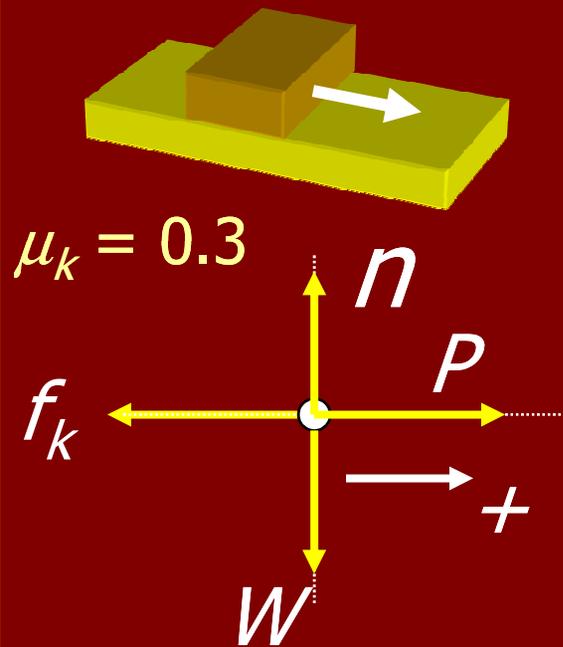
$$f_k = \mu_k n$$

- Existe equilibrio si la rapidez es constante, pero  **$f_k$  no** se hace más grande conforme la rapidez aumenta.

$$\Sigma F_x = 0; \quad \Sigma F_y = 0$$

## Resumen: Puntos importantes (cont.)

- Elija eje  $x$  o  $y$  a lo largo de la dirección de movimiento o movimiento inminente.



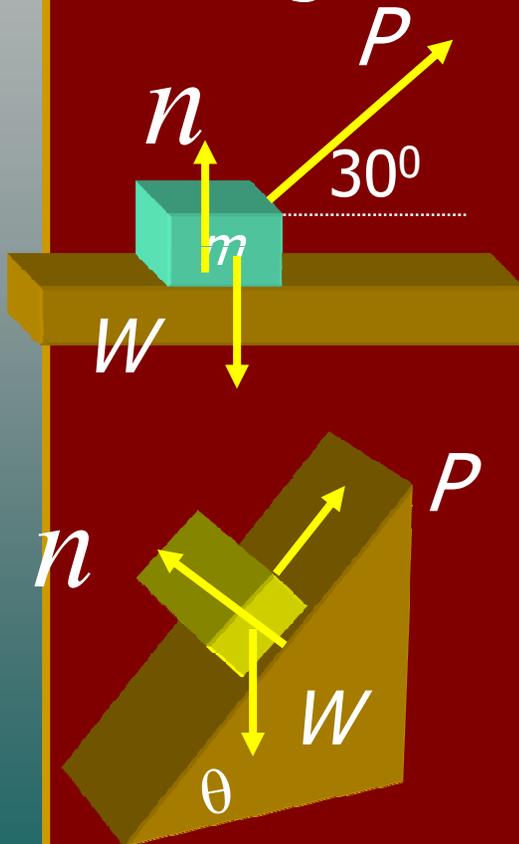
La  $\Sigma F$  será **zero** a lo largo del **eje  $x$**  y del **eje  $y$** .

En esta figura se tiene:

$$\Sigma F_x = 0; \quad \Sigma F_y = 0$$

## Resumen: Puntos importantes (cont.)

- Recuerde: la fuerza normal  $n$  no siempre es igual al peso de un objeto.



Es necesario dibujar el diagrama de cuerpo libre y sumar las fuerzas para encontrar el valor correcto de  $n$ .

$$\Sigma F_x = 0; \quad \Sigma F_y = 0$$

## Resumen

Fricción estática: No  
movimiento relativo.

$$f_s \leq \mu_s n$$

Fricción cinética:  
Movimiento relativo.

$$f_k = \mu_k n$$

El procedimiento para la solución de  
problemas de equilibrio es el mismo para  
cada caso:

$$\Sigma F_x = 0 \quad \Sigma F_y = 0$$

# Conclusión: Capítulo 4B

## Fricción y equilibrio

