

3.1.5 Fuerza de fricción estática y dinámica (Tippens, P.; 2011: 79-81)

Estudia la teoría en este documento a partir del apartado 4.7 Fricción.

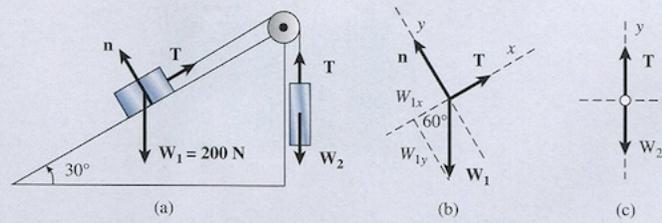


Figura 4.11 Se traza un diagrama de cuerpo libre para cada bloque del problema.

Tabla 4.3

Fuerza	θ_x	Componente x	Componente y
T	0°	$T_x = T = W_2$	$T_y = 0$
n	90°	$n_x = 0$	$n_y = n$
W_1	60°	$W_{1x} = -(200 \text{ N}) \cos 60^\circ$	$W_{1y} = -(200 \text{ N}) \sin 60^\circ$

Considerando el diagrama para el bloque que se halla sobre el plano inclinado, determinamos las componentes de cada fuerza ejercida en él como se muestra en la tabla 4.3.

Al aplicar la primera condición de equilibrio se obtiene

$$\sum F_x = 0: \quad T - (200 \text{ N}) \cos 60^\circ = 0 \quad (4.8)$$

$$\sum F_y = 0: \quad n - (200 \text{ N}) \sin 60^\circ = 0 \quad (4.9)$$

De la ecuación (4.8) obtenemos

$$T = (200 \text{ N}) \cos 60^\circ = 100 \text{ N}$$

y puesto que la tensión T en la cuerda es igual al peso W_2 se dice que se necesita un peso de 100 N para mantener el equilibrio.

La fuerza normal que ejerce el plano sobre el bloque de 200 N se determina a partir de la ecuación (4.9), aunque este cálculo no fue necesario para determinar el peso W_2 .

$$\begin{aligned} n &= (200 \text{ N}) \sin 60^\circ \\ &= 173 \text{ lb} \end{aligned}$$

4.7 Fricción

Siempre que un cuerpo se mueve estando en contacto con otro objeto, existen **fuerzas de fricción** que se oponen al movimiento relativo. Estas fuerzas se deben a que una superficie se adhiere contra la otra y a que encajan entre sí las irregularidades de las superficies de rozamiento. Es precisamente esta fricción la que mantiene a un clavo dentro de una tabla, la que nos permite caminar y la que hace que los frenos de un automóvil cumplan su función. En todos estos casos la fricción produce un efecto deseable.

Sin embargo, en muchas otras circunstancias es indispensable minimizar la fricción. Por ejemplo, provoca que se requiera mayor trabajo para operar maquinaria, causa desgaste y genera calor, lo que a menudo ocasiona otros perjuicios. Los automóviles y los aviones se diseñan con formas aerodinámicas para reducir la fricción con el aire, ya que ésta es muy grande a gran rapidez.

Siempre que se desliza una superficie sobre otra, la fuerza de fricción que ejercen los cuerpos entre sí es paralela o tangente a ambas superficies y actúa de tal modo que se opone al movimiento relativo de las superficies. Es importante observar que estas fuerzas existen no sólo cuando hay un movimiento relativo, sino también cuando uno de los cuerpos tan sólo *tiende* a deslizarse sobre el otro.

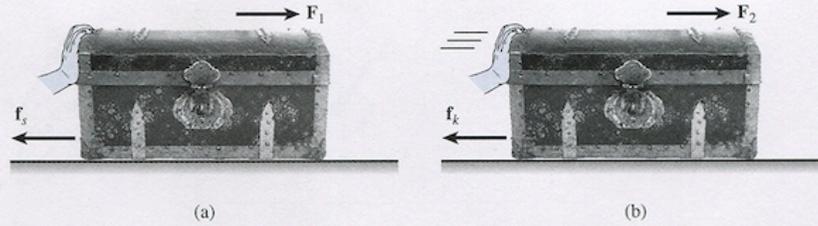


Figura 4.12 (a) En fricción estática el movimiento es inminente. (b) En fricción cinética las dos superficies están en movimiento relativo. (Foto de Hemera, Inc.)

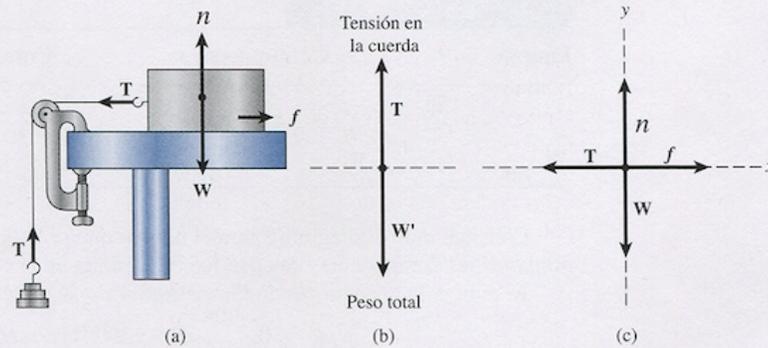


Figura 4.13 Experimento para determinar la fuerza de fricción.

Suponga que se ejerce una fuerza sobre un baúl, como se muestra en la figura 4.12. Al principio el bloque no se mueve debido a la acción de una fuerza llamada *fuerza de fricción estática* (f_s), pero a medida que aumenta la fuerza aplicada llega el momento en que el bloque se mueve. La fuerza de fricción ejercida por la superficie horizontal mientras se mueve el bloque se denomina *fuerza de fricción cinética* (f_k).

Las leyes que rigen a las fuerzas de fricción se determinan experimentalmente en el laboratorio utilizando un aparato similar al que se ilustra en la figura 4.13a. Considere una caja de peso W colocada sobre una mesa horizontal y atada con una cuerda que pasa por una polea, ligera y sin fricción; además, en el otro extremo de la cuerda se cuelgan varias pesas. Todas las fuerzas que actúan sobre la caja y las pesas se presentan en sus diagramas de cuerpo libre correspondientes (figura 4.13b y c).

Consideremos que el sistema está en equilibrio, lo que implica que la caja esté en reposo o se mueva con velocidad constante; en cualquier caso se puede aplicar la primera condición de equilibrio. Analice el diagrama de fuerzas como se muestra en la figura 4.13c.

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0: & \quad f - T = 0 & \quad \text{o} & \quad f = T \\ \sum F_y = 0: & \quad n - W = 0 & \quad \text{o} & \quad n = W \end{aligned}$$

Por tanto, la fuerza de fricción es de igual magnitud que la tensión en la cuerda y la fuerza normal ejercida por la mesa sobre la caja es igual al peso de esta última. Observe que la tensión en la cuerda se determina por el peso de las pesas sumado al peso de su soporte.

Suponga que empezamos colocando poco a poco pesas en el soporte para aumentar gradualmente la tensión de la cuerda. Al incrementar la tensión, la fuerza de fricción estática, que es de igual magnitud pero de dirección opuesta, también aumenta. Si T aumenta lo suficiente, la caja empieza a moverse, lo que significa que T ha sobrepasado la *máxima* fuerza de fricción estática $f_{s,\text{máx}}$. Por ello, aunque la fuerza de fricción estática f_s cambiará de acuerdo con los valores de la tensión de la cuerda, existe un valor máximo único $f_{s,\text{máx}}$.

Para continuar el experimento, suponga que agregamos pesas a la caja, con lo que aumentaría la fuerza normal (n) entre la caja y la mesa. La fuerza normal ahora será

$$n + W + \text{pesas añadidas}$$

Si se repite el experimento anterior, veremos que será necesario un nuevo valor de T , proporcionalmente mayor, para superar la máxima fuerza de fricción estática. Es decir, al duplicar la fuerza normal entre las dos superficies, la máxima fuerza de fricción estática que debe contrarrestarse se duplica también. Si N se triplica, f_s se triplica también, y lo mismo ocurre para los demás factores. Por tanto, puede decirse que la máxima fuerza de fricción estática es directamente proporcional a la fuerza normal entre las dos superficies. Podemos escribir esta proporcionalidad como

$$f_{s,m\acute{a}x} \propto N$$

La fuerza de fricción estática siempre es menor o igual que la fuerza máxima:

$$f_s \leq \mu_s N \tag{4.10}$$

A menos que se indique de otra forma, la ecuación (4.10) se escribe como una igualdad y se supone que se refiere al máximo valor de fricción estática. El símbolo μ_s es una constante de proporcionalidad llamada *coeficiente de fricción estática*. Puesto que μ_s es una razón constante entre dos fuerzas, se trata de una cantidad sin dimensiones.

En el experimento anterior se debe observar que una vez que se sobrepasa el máximo valor de fricción estática, la caja aumenta su rapidez, es decir, se acelera, hasta topar con la polea. Esto significa que bastaría un valor menor de T para mantener la caja en movimiento con rapidez constante. Por tanto, la fuerza de fricción cinética es menor que el máximo valor de f_s para las dos superficies. En otras palabras, se requiere de más fuerza para que el bloque empiece a moverse que para mantenerlo en movimiento a rapidez constante. En este último caso también se satisface la primera condición de equilibrio; así, el mismo razonamiento que nos permitió derivar la ecuación (4.10) para la fricción estática, nos lleva a la siguiente proporcionalidad para la fricción cinética:

$$f_k = \mu_k N \tag{4.11}$$

donde μ_k es una constante de proporcionalidad llamada *coeficiente de fricción cinética*.

Se puede demostrar que los coeficientes de proporcionalidad μ_s y μ_k dependen de la rugosidad de las superficies pero no del área de contacto entre ellas. Al analizar las ecuaciones anteriores se observa que μ depende únicamente de la fuerza de fricción f y de la fuerza normal N entre las superficies. Se debe aceptar, desde luego, que las ecuaciones (4.10) y (4.11) no son fundamentalmente rigurosas, como otras ecuaciones físicas. Gran número de variables interfieren con la aplicación general de estas fórmulas. Por ejemplo, nadie que tenga experiencia en carreras de automóviles puede creer que la fuerza de fricción sea *completamente* independiente del área de contacto. Sin embargo, las ecuaciones son herramientas útiles para determinar las fuerzas de resistencia en casos específicos.

En la tabla 4.4 se muestran algunos valores representativos de los coeficientes de fricción estática y cinética entre diferentes tipos de superficies. Estos valores son aproximados y dependen de las condiciones de las superficies. No obstante, para nuestros propósitos, supondremos que todos ellos tienen coeficientes de hasta tres cifras significativas.

Tabla 4.4
Coefficientes aproximados de fricción

Material	μ_s	μ_k
Madera sobre madera	0.7	0.4
Acero sobre acero	0.15	0.09
Metal sobre cuero	0.6	0.5
Madera sobre cuero	0.5	0.4
Caucho sobre concreto seco	0.9	0.7
Caucho sobre concreto mojado	0.7	0.57