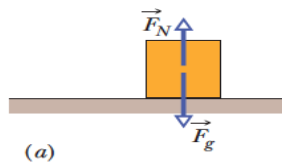


Fricción.

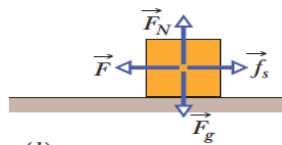
Cuando dos superficies se tocan se ejercen fuerzas entre ellas. La fuente primordial de estas fuerzas superficiales o de contacto es la atracción o repulsión eléctrica entre las partículas cargadas (electrones, protones) de los cuales están hechos los materiales. La suma vectorial de todas las fuerzas microscópicas entre las partículas de las superficies es una fuerza macroscópica que se puede medir en el laboratorio.

El siguiente diagrama muestra dos superficies en contacto. Cada superficie ejerce una fuerza igual pero en sentido opuesto de la otra. La fuerza total que la superficie 2 ejerce sobre la superficie 1, $\vec{F}_{12}$, está dirigida hacia alguna dirección arbitraria en el espacio. La

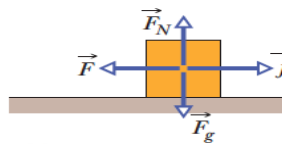
descomposición de $\vec{F}_{12}$ en sus componentes perpendicular y paralela al plano son la fuerza normal $\vec{F}_N$ y la fuerza de fricción $\vec{f}$, respectivamente.



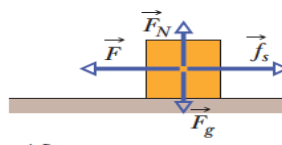
(a)



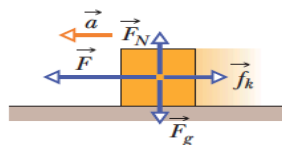
(b)



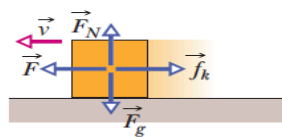
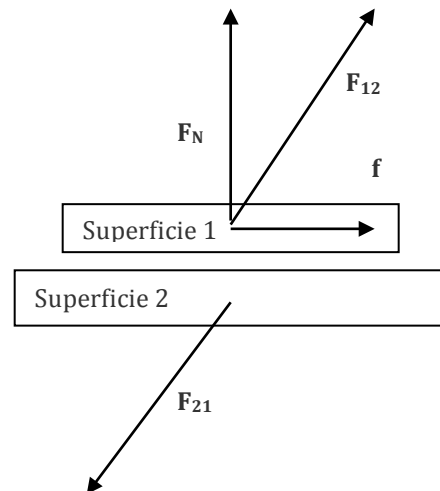
(c)



(d)



(e)



El papel que juega la fuerza normal es que esta tiende a mantener las dos superficies separadas. La fuerza de fricción resiste a cualquier movimiento entre las superficies y está siempre dirigida en la dirección opuesta al movimiento. El grado de fricción que muestran los diferentes materiales se puede medir por dos formas de coeficientes de fricción: estático y cinético.

Fricción estática y cinética.

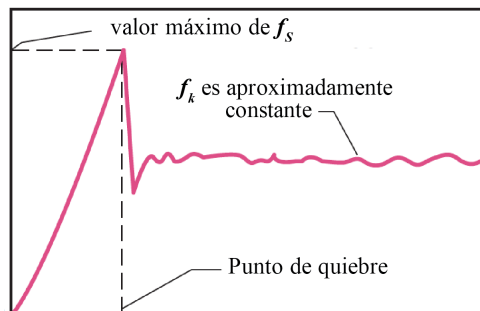
Si las superficies en contacto presentan o no movimiento relativo, las fuerzas friccionales son diferentes.

La *fricción estática* actúa cuando dos superficies que se encuentran en contacto y en reposo exhiben resistencia al deslizamiento. La fricción estática ($\vec{f}_s$) es una fuerza de

unión que trabaja para mantener juntas ambas superficies. La dirección de $\vec{f}_s$ es opuesta a la fuerza que se ejerce para mover los objetos. Hasta un cierto límite, la magnitud de $\vec{f}_s$ es igual a la fuerza externa de tal manera que la fuerza neta sobre la superficie es cero y no hay movimiento (ver figura). La fricción estática es entonces una fuerza variable y toma cualquier valor necesario para mantener las superficies en equilibrio (figuras a-c).

Si la fuerza externa que se aplica aumenta también lo hace $\vec{f}_s$, aunque $\vec{f}_s$ no puede exceder un cierto valor máximo. Cuando la fuerza externa excede este valor máximo de $\vec{f}_s$, la fuerza de unión que mantiene los materiales juntos se rompe e inicia el movimiento (d). El máximo valor de $\vec{f}_s$ depende de la química molecular de las superficies. Es diferente para cada material y por tanto se debe determinar por experimentación.

Una vez que se inicia el movimiento, la *fricción estática* es reemplazada por la *fricción cinética* ($\vec{f}_k$). La dirección de la fricción cinética es opuesta a la velocidad relativa entre las dos superficies (d-e). $\vec{f}_k$ resiste el movimiento y ocasiona que la rapidez de movimiento disminuya. Bajo condiciones normales, la fricción cinética es aproximadamente constante. Al igual que $\vec{f}_s$ depende de las características de las superficies y por tanto debe determinarse por experimentación.



Coefficientes de fricción.

Experimentalmente se ha demostrado que en buena aproximación, las fuerzas de fricción son proporcionales a la fuerza normal entre las superficies. La razón entre la fuerza friccional y la fuerza normal se le conoce como *coeficiente de fricción*, μ :

$$\mu = \frac{f}{F_N}$$

donde μ es usualmente menor a uno y es adimensional. De esta manera, la fuerza de fricción estática (máxima) se puede calcular como

$$f_s = \mu_s F_N$$

y la fricción cinética como

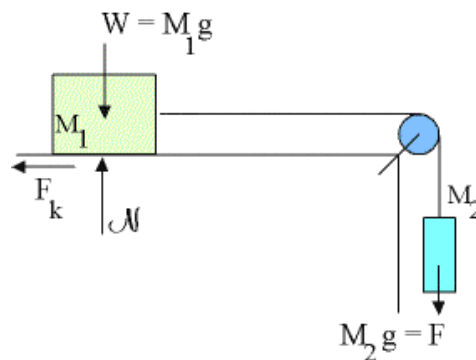
$$f_k = \mu_k F_N$$

Generalmente, $\mu_s > \mu_k$, tal que la fuerza máxima de fricción estática es mayor que la fuerza de fricción cinética.

Experimentación.

Caso de un peso colgante en un plano horizontal.

Una forma de determinar los coeficientes de fricción estática y cinética es medir desplazamientos de dos superficies bajo la acción de una fuerza. El diseño del experimento se ilustra en la figura siguiente.



En el experimento, se coloca un bloque de masa M_1 sobre la horizontal que está conectado a una masa M_2 a través de una cuerda y polea, tal que M_2 cuelga verticalmente. Para determinar la magnitud de la fricción cinética se cuelga un peso suficiente en la cuerda para lograr que el bloque M_1 se ponga en movimiento a velocidad constante (se requiere en ocasiones dar un pequeño empujón para romper el efecto de fricción estática).

Debido a que la aceleración es cero en ambas direcciones, la segunda ley de Newton indica que la suma de las fuerzas en estas direcciones deben ser cero una vez que existe el movimiento. La tensión en la cuerda en la dirección horizontal es igual al peso de la masa que cuelga. Esta fuerza jala el bloque en una dirección y la fricción cinética se opone al movimiento. En la dirección vertical, el peso del bloque empuja hacia abajo y la fuerza normal hacia arriba. El balance de fuerzas es $f_k = W_2$ en la horizontal, y $F_N = W_1$ en la vertical, donde $W_1 = M_1 g$ es el peso del bloque con masa M_1 y $W_2 = M_2 g$ es el peso de la masa que cuelga. Puesto que las masas son cantidades conocidas, es posible calcular la fuerza normal y la fuerza friccional.

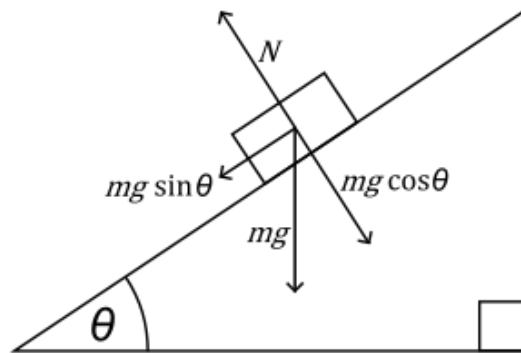
El valor de f_s se puede determinar realizando de forma repetida el mismo experimento, y para cada caso, se calcula la razón de masas:

$$\mu_k = \frac{f_k}{F_N} = \frac{W_2}{W_1} = \frac{M_2 g}{M_1 g} = \frac{M_2}{M_1}$$

De la misma manera, el coeficiente de fricción estático se puede determinar si se deja el bloque en reposo y se busca la masa que permite iniciar su deslizamiento sobre la mesa. Justo en el momento en que el bloque inicia su deslizamiento se tiene que $f_s = W_2$ y $F_N = W_1$. Es posible determinar μ_s si se grafica f_s como función de F_N .

Coeficientes de fricción en un plano inclinado.

Otra forma de determinar el valor de los coeficientes de fricción es al estudiar el desplazamiento de un bloque sobre una superficie inclinada (ver diagrama). Se coloca una pieza de madera u otro material sobre una superficie plana, la cual se levanta por uno de los extremos hasta que el ángulo θ que hace con la horizontal sea lo suficientemente grande como para que el la pieza se deslice pendiente abajo.



Justo cuando el ángulo origina que el bloque inicie su movimiento, conocido como el *ángulo límite de reposo*, las fuerzas están en balance y se tiene que $f_s = W \sin \theta$ y $F_N = W \cos \theta$. Al dividir estas dos ecuaciones se tiene μ_s :

$$\mu_s = \frac{f_s}{F_N} = \frac{W \sin \theta}{W \cos \theta} = \tan \theta$$

Experimentación.

- 1) Determine el coeficiente de fricción cinética entre un bloque de madera y la superficie de una mesa. Encuentre la fuerza (peso por unidad de masa) necesaria para mantener el bloque que se desliza a velocidad constante. Este criterio será subjetivo de los miembros del equipo que realizan el experimento. Determine el valor de f_k y el de la fuerza normal F_N .
- 2) Realice el mismo experimento usando como área de contacto uno de los lados del bloque (con menor área de contacto). Determine el efecto que tiene las dimensiones de área sobre la fuerza de fricción cinética. Para este caso también calcule el valor f_k y el de la fuerza normal F_N .
- 3) Determine la fricción estática entre el bloque y la mesa con un procedimiento similar al punto (1), excepto que aquí simplemente se determina el peso de la masa colgante que es necesario para iniciar el movimiento desde el reposo. Calcule el valor de f_s y el de la fuerza normal F_N .

- 4) Determine el coeficiente de fricción estática usando de criterio el ángulo límite de reposo. En este caso, la superficie (mesa) se inclina y se encuentra el ángulo máximo de elevación antes de que el bloque en reposo inicie su deslizamiento. Calcule el valor de f_s y el de la fuerza normal F_N . Para este ejercicio puede utilizar el análisis de imágenes de video si considera necesario

Masa del bloque:						
Fricción cinética, área grande.						
Exp	Masa sobre bloque	Masa Total (M_1)	Fuerza Normal (F_N)	Masa que cuelga (M_2)	Fuerza de Fricción (f_k)	μ_k
1						
2						
3						
4						
5						
6						