

Fuerzas de rozamiento

Objetivo

Determinar la dependencia de la fuerza de fricción con la normal a la superficie y su independencia respecto al área de contacto. Hallar valores experimentales de los coeficientes de fricción y cinético para una superficie específica.

Equipo

- Plano inclinado de madera con polea y escala graduada en grados
- Caja de pesas y 2 de 10g, 2 de 20g, 4 de 50g 1 de 100 g
- Balanza electrónica y mecánica
- Bloque de madera
- Polea para fotogate
- Sistema LabGICM
- Computador
- Calibrador

Introducción

El rozamiento por deslizamiento

El rozamiento entre dos superficies en contacto ha sido aprovechado por nuestros antepasados más remotos para hacer fuego frotando maderas. En nuestra época, el rozamiento tiene una gran importancia económica, se estima que si se le prestase mayor atención se podría ahorrar muchísima energía y recursos económicos.

Históricamente, el estudio del rozamiento comienza con Leonardo da Vinci que dedujo las leyes que gobiernan el movimiento de un bloque rectangular que desliza sobre una superficie plana. Sin embargo, este estudio pasó desapercibido.

En el siglo XVII Guillaume Amontons, físico francés, redescubrió las leyes del rozamiento estudiando el deslizamiento seco de dos superficies planas. Las conclusiones de Amontons son esencialmente las que estudiamos en los libros de Física General:

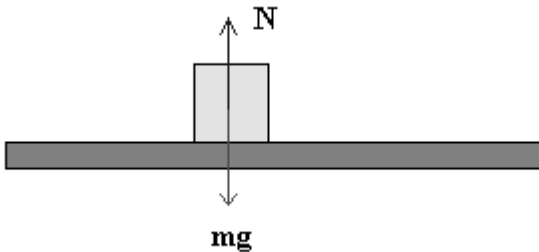
- La fuerza de rozamiento se opone al movimiento de un bloque que desliza sobre un plano.
- La fuerza de rozamiento es proporcional a la fuerza normal que ejerce el plano sobre el bloque.
- La fuerza de rozamiento no depende del área aparente de contacto.

El científico francés Coulomb añadió una propiedad más

- Una vez empezado el movimiento, la fuerza de rozamiento es independiente de la velocidad.

La fuerza normal

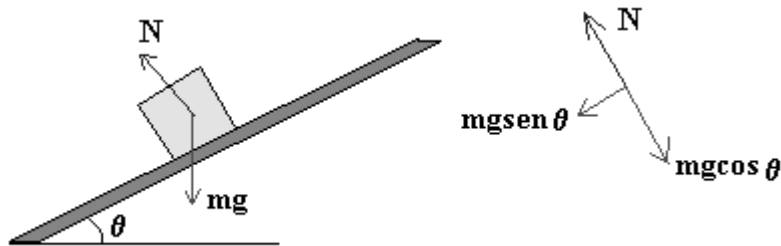
La fuerza normal, reacción del plano o fuerza que ejerce el plano sobre el bloque depende del peso del bloque, la inclinación del plano y de otras fuerzas que se ejerzan sobre el bloque.



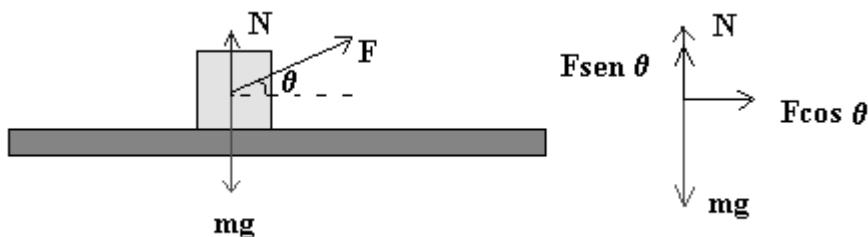
Supongamos que un bloque de masa m está en reposo sobre una superficie horizontal, las únicas fuerzas que actúan sobre él son el peso mg y la fuerza normal N . De las condiciones de equilibrio se obtiene que la fuerza normal N es igual al peso mg

$$N=mg$$

Si ahora, el plano está inclinado un ángulo θ , el bloque está en equilibrio en sentido perpendicular al plano inclinado por lo que la fuerza normal N es igual a la componente del peso perpendicular al plano, $N=mg \cdot \cos\theta$

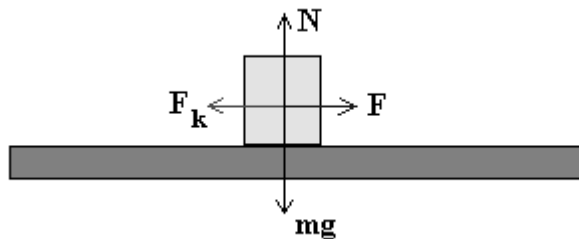


Consideremos de nuevo el bloque sobre la superficie horizontal. Si además atamos una cuerda al bloque que forme un ángulo θ con la horizontal, la fuerza normal deja de ser igual al peso. La condición de equilibrio en la dirección perpendicular al plano establece $N + F \cdot \sin\theta = mg$



Fuerza de rozamiento por deslizamiento

En la figura, se muestra un bloque arrastrado por una fuerza F horizontal. Sobre el bloque actúan el peso mg , la fuerza normal N que es igual al peso, y la fuerza de rozamiento F_k entre el bloque y el plano sobre el cual desliza. Si el bloque desliza con velocidad constante la fuerza aplicada F será igual a la fuerza de rozamiento por deslizamiento F_k .



Podemos investigar la dependencia de F_k con la fuerza normal N . Veremos que si duplicamos la masa m del bloque que desliza colocando encima de éste otro igual, la fuerza normal N se duplica, la fuerza F con la que tiramos del bloque se duplica y por tanto, F_k se duplica.

La fuerza de rozamiento por deslizamiento F_k es proporcional a la fuerza normal N .

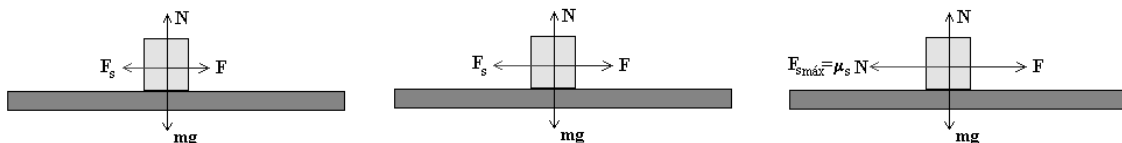
$$F_k = \mu_k N$$

La constante de proporcionalidad μ_k es un número sin dimensiones que se denomina coeficiente de rozamiento cinético.

El valor de μ_k es casi independiente del valor de la velocidad para velocidades relativas pequeñas entre las superficies, y decrece lentamente cuando el valor de la velocidad aumenta.

Fuerza de rozamiento estático

También existe una fuerza de rozamiento entre dos objetos que no están en movimiento relativo.



Como vemos en la figura, la fuerza F aplicada sobre el bloque aumenta gradualmente, pero el bloque permanece en reposo. Como la aceleración es cero la fuerza aplicada es igual y opuesta a la fuerza de rozamiento F_s .

$$F = F_s$$

La máxima fuerza de rozamiento corresponde al instante en el que el bloque está a punto de deslizarse.

$$F_{s\text{ máx}} = \mu_s N$$

La constante de proporcionalidad μ_s se denomina coeficiente de rozamiento estático.

Los coeficientes estático y cinético dependen de las condiciones de preparación y de la naturaleza de las dos superficies y son casi independientes del área de la superficie de contacto.

Tablas de valores de los coeficientes

- Coeficientes de rozamiento por deslizamiento para diferentes materiales

Superficies en contacto	μ_k
Acero sobre acero	0.18
Acero sobre hielo (patines)	0.02-0.03
Acero sobre hierro	0.19
Hielo sobre hielo	0.028
Patines de madera sobre hielo y nieve	0.035
Goma (neumático) sobre terreno firme	0.4-0.6
Correa de cuero (seca) sobre metal	0.56
Bronce sobre bronce	0.2
Bronce sobre acero	0.18
Roble sobre Roble en la dirección de la fibra	0.48

Fuente: Koshkin N. I., Shirkévich M. G.. *Manual de Física Elemental*. Editorial Mir 1975.

- Coeficientes de rozamiento estático y cinético

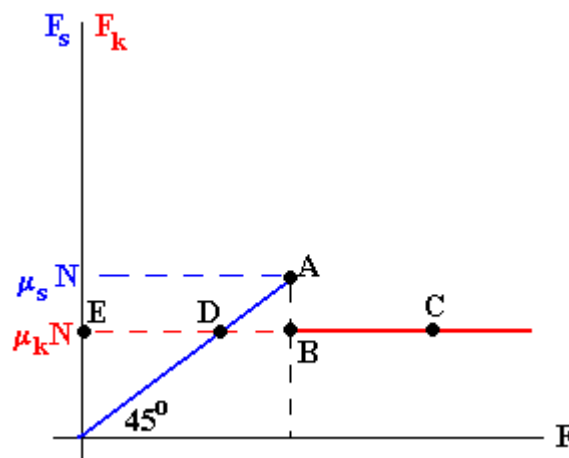
Superficies en contacto	μ_s	μ_k
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Caucho sobre concreto	1.0	0.8
Madera sobre madera	0.25-0.5	0.2

Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Articulaciones sinoviales en humanos	0.01	0.003

Fuente: Serway R. A.. *Física*. Editorial McGraw-Hill. (1992)

Comportamiento de un cuerpo que descansa sobre un plano horizontal

Dibujemos una gráfica en la que en el eje horizontal representamos la fuerza F aplicada sobre el bloque y en el eje vertical la fuerza de rozamiento.



- Desde el origen hasta el punto A la fuerza F aplicada sobre el bloque no es suficientemente grande como para moverlo. Estamos en una situación de equilibrio estático

$$F = F_s < \mu_s N$$

En el punto A, la fuerza de rozamiento estático F_s alcanza su máximo valor $\mu_s N$

$$F = F_{s \text{ máx}} = \mu_s N$$

- Si la fuerza F aplicada se incrementa un poquito más, el bloque comienza a moverse. La fuerza de rozamiento disminuye rápidamente a un valor menor e igual a la fuerza de rozamiento por deslizamiento, $F_k = \mu_k N$

Si la fuerza F no cambia, punto B, y permanece igual a $F_{s \text{ máx}}$ el bloque comienza moviéndose con una aceleración

$$a = (F - F_k) / m$$

Si incrementamos la fuerza F , punto C, la fuerza neta sobre el bloque $F - F_k$ se incrementa y también se incrementa la aceleración.

En el punto D, la fuerza F aplicada es igual a F_k por lo que la fuerza neta sobre el bloque será cero. El bloque se mueve con velocidad constante.

En el punto E, se anula la fuerza aplicada F , la fuerza que actúa sobre el bloque es $-F_k$, la aceleración es negativa y la velocidad decrece hasta que el bloque se para.

Experiencia

Un bloque de masa m descansa sobre un plano horizontal, el bloque está unido mediante un hilo inextensible y de peso despreciable que pasa por una polea y de el se cuelgan pesas. Vamos a estudiar el comportamiento del bloque y a realizar medidas del coeficiente estático y cinético.

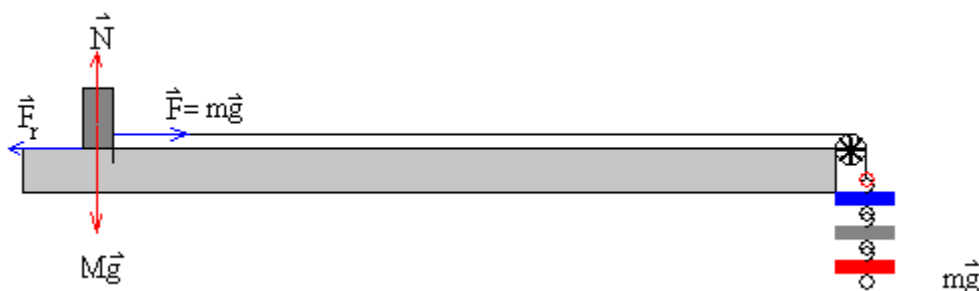
1.- Medida del coeficiente estático

Utilizando el dinamómetro determine el peso del bloque

Primer método

Relación entre la fuerza de fricción estática y la normal a la superficie.

Con el fin de determinar la conexión entre la fuerza de fricción estática y la normal a la superficie realice el siguiente procedimiento. Coloque el bloque sobre el plano y este en posición horizontal como se muestra en la figura. Añada pesas en la cuerda hasta que el bloque comience a moverse. Anote el valor de F . Ahora coloque sobre el bloque sucesivamente pesas de 50, 100, 150, 200,250, 300,350, 400, 500 g y repita lo anterior.



Consigne sus datos en la tabla 1

Se van colocando pesas en la cuerda y el bloque permanece en reposo. La fuerza de rozamiento vale

$$F_r = mg$$

donde m es la masa de las pesas que cuelgan de la cuerda.

Cuando va a empezar a deslizarse, la fuerza de rozamiento F_r adquiere el valor máximo posible $\mu_s N = \mu_s Mg$

$$\mu_s = m/M \quad (1)$$

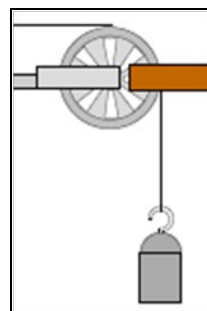
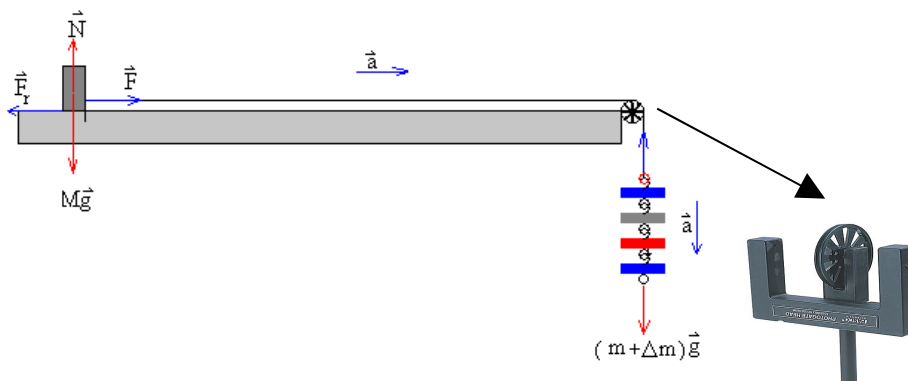
Segundo método

Coloque el bloque solo, sin cuerda sobre el plano inclinado y busque el ángulo θ para el cual, el bloque supere la fuerza de fricción en régimen estático. Repita lo anterior para un área diferente pero la misma clase de superficie. Es la fuerza de fricción independiente del área del cuerpo que se desliza?. Fue necesario cambiar el ángulo?

$$\mu_s = \tan \theta \quad (2)$$

2.- Medida del coeficiente cinético

- Haga el montaje que se muestra en la figura siguiente, colocando el fotogate en la polea de tal forma que podamos medir los deltas de tiempos cuando la polea gire debido al movimiento del bloque. Inicialmente la masa m debe ser tal que el sistema este en equilibrio.



$$\Delta\theta = 360^\circ/10 = 36^\circ$$

$$\Delta S = R \Delta\theta = R \cdot \pi \cdot 36/180$$

$$\Delta V = \Delta S / \Delta t$$

- Active la interfaz grafica del Laboratorio y seleccione "Fuerza de fricción".

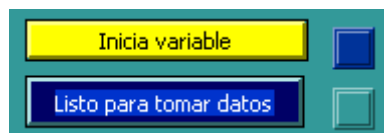


- Inicialice en esta interfaz los valores de las masas, numero de datos, radio de la puela y puerto serial.

Fuerza de fricción

Por Lucelly Reyes H

- Hunda la opción “Inicia variable”. Tenga un poco de paciencia hasta que el sistema LabGICM se active.



- Añadimos una pesa más Δm y el bloque empezará a deslizarse pero antes active la tecla “Listo para tomar datos ” de la interfaz grafica para empezar a registrar el movimiento, desplazándose una longitud x en un t .
- Una vez terminada la toma de datos genere el archivo de datos hundiendo la tecla “Guardar datos”.
- Calcule el coeficiente de fricción cinético. Aplicamos la segunda ley de Newton al movimiento del bloque tenemos:

$$\Sigma F_x = F - F_r = Ma$$

$$\Sigma F_y = N - Mg = 0$$

$$F_r = \mu_k N$$

Aplicamos la segunda ley de Newton al movimiento del sistema y las pesas

$$\Sigma F_y = (m + \Delta m)g - F = (m + \Delta m)a$$

Despejamos el coeficiente cinético μ_k

$$\mu_k = \frac{(m + \Delta m)g - (M + m + \Delta m)a}{Mg} \quad (3)$$

Análisis

1. Deducir las ecuaciones 1-2 y 3.
2. Enuncie sus conclusiones respecto a la dependencia o no de la fuerza de fricción con el área. ¿Cómo justifica físicamente este resultado?
3. Tome los datos de la tabla 1, y haga un gráfico de la fuerza normal ($N = Mg$ (dinas)) vs. Peso (mg (dinas)). Es posible de la gráfica concluir la existencia de la relación $F_r = \mu_s N$. Si es así, la constante de proporcionalidad es el llamado coeficiente de fricción estático (μ_s); determine el valor del coeficiente por medio de un ajuste de mínimos cuadrados, indicando la incertidumbre en la pendiente; para la clase de superficie que uso en su experimento.
4. Calcule el coeficiente de fricción estático usando la ecuación (2) y compare con el resultado anterior
5. De los datos que genera la interfaz, haga los siguientes gráficos: Δs vs t (acumulado), velocidad instantánea (Δv) vs. Tiempo acumulado. A partir de este gráfico haga un ajuste por mínimos cuadrados, la pendiente del ajuste representa la aceleración del sistema, encuentre la incertidumbre de la aceleración. Con este dato de aceleración, calcule el coeficiente de fricción cinético.
6. Compare los coeficientes de fricción estáticos y cinéticos, para superficies iguales. ¿Son diferentes?, si es así explique físicamente el por qué.
7. Describa las diferencias entre los conceptos de “fuerza de fricción” y “coeficiente de fricción”.
8. Simule su experimento con la interfaz grafica y compare sus resultados.

