

# Investigación de la dependencia coeficiente de roce cinético respecto de las áreas de contacto

## Autores:

Diego A. García, [diegote19@hotmail.com](mailto:diegote19@hotmail.com)

Licurgo O. Coppo, [licu@uol.com.ar](mailto:licu@uol.com.ar)

María José Urcola, [urquidc@hotmail.com](mailto:urquidc@hotmail.com)

FICEN - Universidad Favaloro – Laboratorio de física I - 2003

## Resumen

*Se investigó la variación de la fuerza de roce (seca) entre un grupo de bloques, de distintas áreas de contacto con una superficie lisa y horizontal. Se tomaron mediciones de velocidades variando el valor de las masas sobre el móvil que se desplaza. Y se varió para cada área la magnitud de la fuerza que impulsó a cada bloque.*

*Conforme al planteo de las ecuaciones que describen el movimiento para el sistema estudiado, se obtuvieron los valores del coeficiente de roce cinético ( $\mu_k$ ) correspondiente a cada área (utilizando los datos tomados respecto de las distintas masas).*

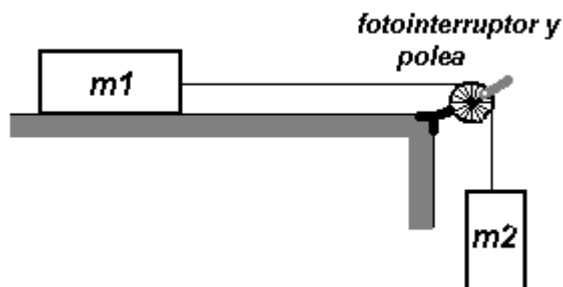
*Finalmente se concluyó que el coeficiente de fricción cinético es independiente del área de contacto, para un mismo material, y del peso de los mismos.*

## Introducción

El objetivo del trabajo experimental fue investigar la dependencia del coeficiente de roce cinético,  $\mu_k$ , con las diferentes áreas de las superficies de contacto.

El experimento permitió variar las masas de un móvil de área determinada, que se desplazaba sobre una superficie seca, lisa y horizontal. Este procedimiento se repitió para cada una de las diferentes áreas seleccionadas.

A continuación se muestra el sistema utilizado:

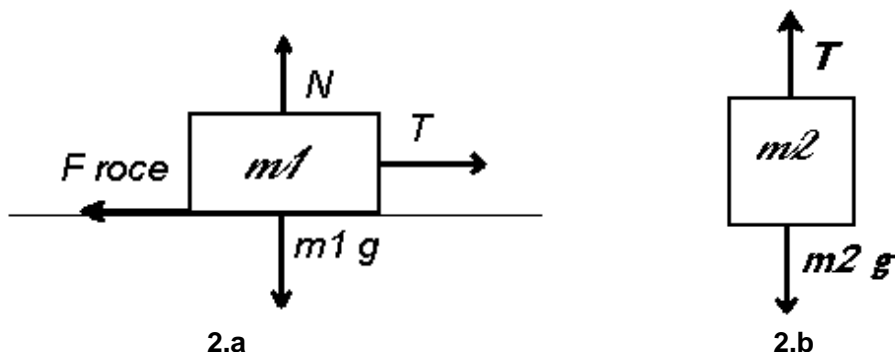


**Figura 1:** Dispositivo experimental para estudiar las características básicas de la fuerza de roce en superficies secas.

El bloque está unido a un hilo que le transmite una fuerza controlada debida al peso de otro cuerpo, responsable de su aceleración. Durante el trabajo se varió además la masa de la pesa que cae, para evaluar también su efecto sobre el coeficiente de roce.

Para hallar las respuestas a los interrogantes buscados fue necesario basarnos en un marco teórico dado por las leyes de la mecánica newtoniana.

A continuación se presentan las ecuaciones generales para el desplazamiento de los dos bloques, con sus respectivos diagramas de cuerpo libre:



*Figura 2:* (a) Diagrama de cuerpo libre para el bloque que se desliza sobre la superficie lisa y seca. Donde,  $\mathbf{N}$  es la fuerza normal a la superficie,  $\mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{g}$  es la fuerza peso,  $\mathbf{F}_{roce}$  es la fuerza de rozamiento cinético, y  $\mathbf{T}$ , la tensión producida por el desplazamiento de  $m_2$ . (b) Diagrama de cuerpo libre para el bloque que cae. Donde,  $\mathbf{m}_2 \cdot \mathbf{g}$  es la fuerza peso y  $\mathbf{T}$ , la tensión que ejerce la soga y la resistencia del bloque que se desliza por la superficie plana.

Hipótesis de trabajo: Suponemos temporarily que:  $F_{roce} = \mu_k \cdot N$  . (0)

Sistema de ecuaciones de movimiento para el bloque sobre la superficie ( $m_1$ ):

$$\begin{aligned} \sum F_x &= T - F_{roce} = T - \mu_k N = m_1 \cdot a \\ \sum F_y &= N - m_1 \cdot g = 0 \Rightarrow N = m_1 \cdot g \end{aligned} \quad (1)$$

Ecuación de movimiento para la pesa que cae ( $m_2$ ):

$$\sum F_y = m_2 \cdot g - T = m_2 \cdot a \quad (2)$$

Finalmente, del desarrollo de las ecuaciones (1) y (2), se obtiene:

$$\frac{(m_1 + m_2)a}{g} = m_2 - m_1 \mu_k \quad (3)$$

De verificarse experimentalmente esta hipótesis temporaria (0), se obtiene de la gráfica de la ecuación anterior (3), una función lineal entre el producto de  $(m_1 + m_2)$  por  $a/g$  (aceleraciones lineal y gravitatoria, respectivamente) en función de  $m_1$ . Donde  $m_2$  representa la ordenada al origen y  $\mu_k$  la pendiente de la recta.

## Desarrollo

A continuación se describen detalles sobre el dispositivo experimental utilizado:

Los bloques eran de madera de pino, y se deslizaban sobre una superficie de madera (guillermína) lisa, seca y horizontal.

El dispositivo utilizado permitió variar las masas ( $m_1$ ) con facilidad para cada bloque con su correspondiente área de contacto. Para variar el área, cada vez, se cambió de bloque, y posteriormente se tomaron nuevas mediciones para los diferentes valores de  $m_1$ .

A continuación se presentan los bloques con sus respectivas áreas:

	<u>Área</u>	<u>valor de <math>m_2</math></u>
Bloque 1:	$67 \pm 2 \text{ cm}^2$	$0.132 \pm 0.001 \text{ kg}$
Bloque 2:	$108 \pm 2 \text{ cm}^2$	$0.132 \pm 0.001 \text{ kg}$
Bloque 3:	$63 \pm 2 \text{ cm}^2$	$0.193 \pm 0.001 \text{ kg}$
Bloque 4:	$135 \pm 2 \text{ cm}^2$	$0.243 \pm 0.001 \text{ kg}$

Los bloques, con sus respectivas áreas tenían una masa propia, que sumada a las masas adicionales (con motivo de variar  $m_1$ ) requerían fuerzas distintas para comenzar a desplazarse. Como puede verse, para cada bloque hay un valor diferente asignado para  $m_2$ . Este valor solo modificó en cada caso la magnitud de la fuerza necesaria transmitida por el hilo.

Con el uso de un fotointerruptor, se tomaron los tiempos en función de los cuales la polea giraba sobre su eje, a partir del movimiento del sistema.

La polea giraba con un desplazamiento angular constante para cada intervalo de tiempo. El desplazamiento fue calculado por la geometría de la misma (para este caso, un ángulo de  $\pi/5$ ).

Para el primer bloque (es decir un área determinada), se obtuvieron los valores correspondientes a la velocidad angular, en función del tiempo, para cada una de las masas  $m_1$ .

Éstos valores resultaron lineales en todos los casos.

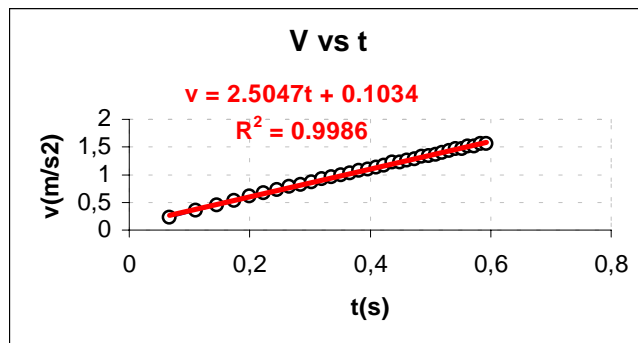
Como la velocidad lineal de un punto sobre el borde de la polea es igual a la de un punto sobre el hilo, se conoció la velocidad lineal del bloque a partir de la siguiente relación:

$$v = \omega r$$

aquí  $\omega$  es la velocidad angular de la polea,  $v$  la velocidad lineal del hilo y los bloques  $m_1$  y  $m_2$ , y  $r$  el radio de la polea.

Mediante esta conversión y para cada gráfica de velocidad lineal en función del tiempo, se pudo conocer la aceleración lineal del bloque (representada por la pendiente).

Ejemplo: Este es el ejemplo para uno de los valores de  $m_1 = 0.156 \pm 0.001 \text{ kg}$ , tomado para el bloque 1 (con área =  $67 \pm 2 \text{ cm}^2$ )



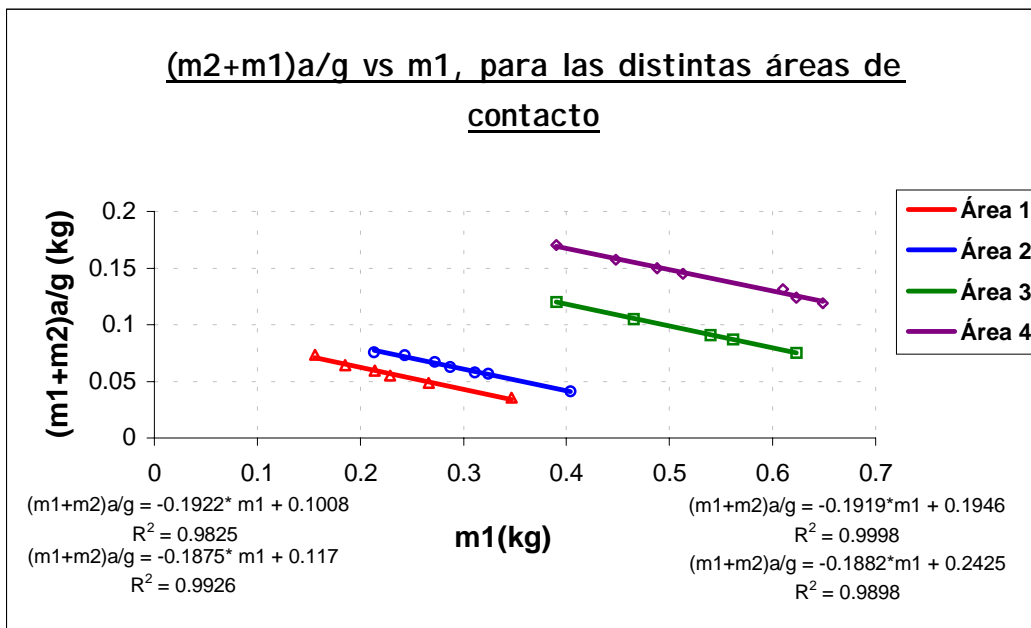
**Figura 3:** Gráfica de la velocidad lineal del sistema en función del tiempo. Véase que la pendiente de la ecuación de la línea de tendencia, muestra el valor de la aceleración tangencial.

Una vez que se conoció el valor de la aceleración (dada por la pendiente de la recta), el mismo procedimiento se repitió para 8 valores diferentes de  $m_1$ , y así se procedió para cada una de las cuatro áreas.

**Observación:** Se observó, durante el análisis de los datos, que las aceleraciones para cada variación de  $m_1$ , disminuyen en función del incremento de la masa, lo que es consistente con las leyes que describen el movimiento.

Para todos los valores hallados de aceleraciones se graficó la ecuación (3), para hallar los valores del coeficiente de roce cinético (para las cuatro áreas de contacto).

### Resultados:

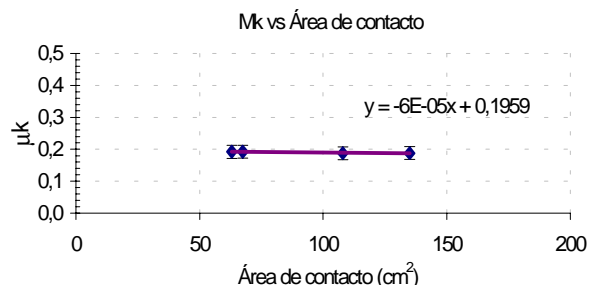


**Figura 5:** Gráfica de la ecuación (6), para los cuatro bloques. La figura presenta las ecuaciones de las líneas de tendencias correspondientes, para cada área, siguiendo los colores de referencia de las rectas.

Como puede observarse, de la Fig. 5, los datos experimentales  $(m_1+m_2)a/g$  en función de  $m_1$  presentan una dependencia lineal, cuya ordenada al origen es el valor de  $m_2$ , y cuya

pendiente representa el valor de  $\mu_k$ , de acuerdo con la ec.(3), para cada una de las distintas áreas de contacto con la superficie de fricción. Esta figura muestra claramente que, las pendientes son aproximadamente las mismas.

área	$\mu_k$	Incertidumbre
1	0,19	0,01
2	0,187	0,007
3	0,192	0,001
4	0,188	0,008



**Figura 6:** Gráfica del coeficiente de roce cinético en función del área de contacto con la superficie de contacto.

Como puede verse en la figura 6, el valor de  $\mu_k$ , es prácticamente constante, para las diferentes áreas de contacto pertenecientes a cada uno de los bloques.

Finalmente, el mejor valor para  $\mu_k$ , con su respectiva incertidumbre, es:

$$\langle \mu_k \rangle = 0.192 \pm 0.001$$

### Discusión:

Resulta interesante aclarar que el método desarrollado en esta experiencia, es válido únicamente para la situación que describe este sistema en particular, es decir todo lo discutido hasta aquí vale si se cumple que la fuerza aplicada al bloque  $m_1$ ,  $F_{ap}=T$ , es tal que  $F_{ap} > F_{roce}^{(s)}$ , o sea la fuerza aplicada sobre el móvil que se desplaza es mayor que la fuerza de rozamiento estática. Es decir se cumple:

$$F_{ap} > F_{roce}^{(s)} = \mu_s N \geq F_{roce}^{(k)} = \mu_k N$$

Donde  $F_{roce}^{(k)}$  es la fuerza de roce dinámico, y  $F_{roce}^{(s)}$  la fuerza del roce estático.

Si por el contrario,  $F_{ap}$  esta comprendida entre  $F_{roce}^{(k)}$  y  $F_{roce}^{(s)}$ , o sea se verifica:

$$F_{roce}^{(k)} \leq F_{ap} \leq F_{roce}^{(s)}$$

Para este caso, según se describe en la referencia bibliográfica (3), en análisis realizado en este trabajo no vale, ni tampoco se puede sostener la hipótesis (0). Para mas información ver ref. 3

**Conclusiones:**

1. El valor del coeficiente de rozamiento cinético obtenido,  $\mu_k$ , es independiente de el área en contacto con la superficie de rozamiento (para un mismo material).
2. El valor de  $\mu_k$  también es independiente del cuerpo en contacto con la superficie. Por lo tanto, podemos afirmar, que si  $F_{ap} > \mu_s N$ . Entonces,  $F_{roce} = \mu_k N$ .

**Bibliografía:**

1. Gil, Salvador y Rodríguez, Eduardo; "Física re-Creativa" Buenos Aires: Prentice Hall, 2001.
2. Sears, Zemansky, Young, Freedman; "Física Universitaria". 9º ed.-USA: Adisson-Wesley Longman,1996.
3. The Physics Teacher, pág 412-415, "A Strange Behavior of Friction", vol. 37, Oct. 1999, Rebecca Morrow, Alistar Grant, David P. Jackson.