

PRÁCTICA DE LABORATORIO

COEFICIENTES DE FRICCÓN ESTÁTICO Y CINÉTICO

Contenido

1. OBJETIVO

2. SISTEMA EXPERIMENTAL

Materiales requeridos.

Montaje Experimental.

3. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

3.1. COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO

3.1.1. Determinación de μ_s al encontrar el ángulo en que inicia el movimiento en un plano inclinado

3.1.2. Determinación de μ_s al encontrar la masa que inicia el movimiento en un plano horizontal

3.2. COEFICIENTE DE FRICCIÓN CINÉTICO

3.2.1. Determinación de μ_k al encontrar la aceleración constante ascendente en el plano inclinado

3.2.2. Determinación de μ_k al encontrar la aceleración constante en el plano horizontal

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Recomendaciones

4.1. COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO

4.1.1. Determinación de μ_s al encontrar el ángulo en que inicia el movimiento en un plano inclinado

4.1.2. Determinación de μ_s al encontrar la masa que inicia el movimiento en un plano horizontal

4.2. COEFICIENTE DE FRICCIÓN CINÉTICO

4.2.1. Determinación de μ_k al encontrar la aceleración constante ascendente en el plano inclinado

4.2.2. Determinación de μ_k al encontrar la aceleración constante en el plano horizontal

5. ANÁLISIS

1. OBJETIVO

Medir los coeficientes de fricción estático y dinámico entre dos superficies de madera por diferentes métodos.

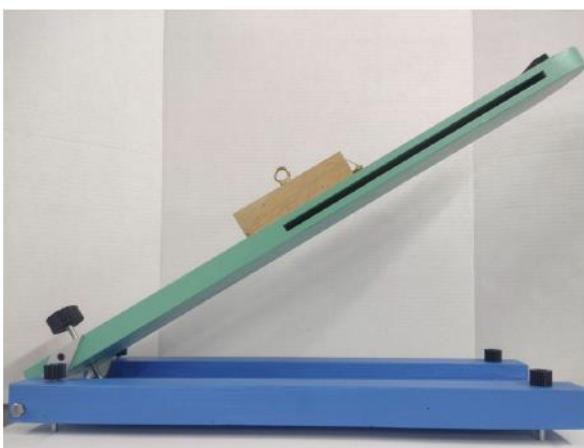
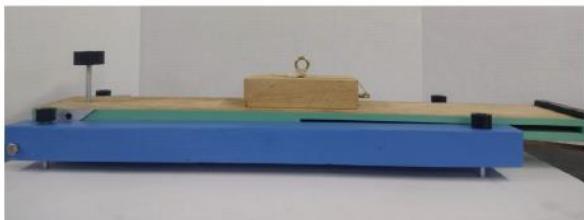
2. SISTEMA EXPERIMENTAL

Materiales requeridos.

- Plano inclinado ajustable.
- Bloque de madera
- Nivel de burbuja
- Juego de masas de 1 g, 5 g, 10 g,
- Cuerda liviana y resistente de 1m
- Balanza
- Portapesas + pesas.
- Cronómetro de Laboratorio (CronoLab) + Polea
- Celular con SO Android para instalar aplicación CronoLab (estudiante)
- Computador con Excel (estudiante).
- Aplicación PhyPhox ([descargar](#))

Montaje Experimental.

El sistema experimental se muestra en la figura (1).



(a)



(b)

Figura 1. Montaje experimental para obtener los coeficientes de fricción estático y cinético. En (a) se muestran el plano de forma horizontal e inclinado con el bloque de madera, y en (b) se incluye el CronoLab con la polea.

3. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

El modelo de fuerza de fricción se expresa como:

$$f = \mu N \quad (1)$$

El coeficiente μ se refiere al tipo de fricción, ya sea estático o cinético como se estudió en la teoría del apéndice sobre coeficiente de fricción. Ahora presentaremos las ecuaciones a poner a prueba en el laboratorio.

El orden en que se presentan las consideraciones teóricas es el mismo que se sigue en el procedimiento experimental.

3.1. COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO

Para encontrar el coeficiente de fricción estático, los métodos consisten en aplicar una fuerza paralela al plano de medida, opuesta a la fuerza de fricción. La fuerza se incrementa de manera gradual desde cero hasta alcanzar un valor máximo donde el cuerpo deja su estado de reposo e inicia su movimiento.

El coeficiente lo calcularemos por dos métodos: el primero es el método de encontrar el ángulo en que inicia el movimiento en un plano inclinado y el segundo es método de encontrar la masa que inicia el movimiento en un plano horizontal. Explicaremos la teoría de cada método

3.1.1. Determinación de μ_s al encontrar el ángulo en que inicia el movimiento en un plano inclinado



Figura 2. (a) Masa sobre plano horizontal y (b) sobre un plano inclinado con su diagrama de cuerpo libre. La flecha verde punteada indica la dirección de movimiento inminente.

En la figura (2) nos permite ilustrar el método. El proceso comienza con un cuerpo que se encuentra sobre una superficie rugosa horizontal, figura (2.a). Luego, se incrementa el ángulo de inclinación, figura (2.b), lo que produce una componente del peso paralela a la superficie que se contrarresta por la fuerza de fricción. La superficie se eleva en un ángulo θ hasta que el cuerpo se desliza hacia abajo. Según la segunda ley de Newton, la sumatoria de fuerzas toma la forma

$$\sum \vec{F} : \vec{N} + \vec{w} + \vec{f}_s = 0 \quad (2)$$

al descomponer la ecuación vectorial (2) y usando el diagrama de cuerpo libre, figura (1.b), se llega al sistema de ecuaciones.

$$\sum F_x: f_s - m g \sin(\theta) = 0$$

$$\sum F_y: N - m g \cos(\theta) = 0 \quad (3)$$

De la segunda ecuación de (3) se tiene que $N = mg \cos(\theta)$ y de la primera, $f_s = mg \sin(\theta)$. Como $f_s = \mu_s N$, entonces $f_s = \mu_s mg \cos(\theta)$. A medida que el ángulo θ aumenta, la componente del peso paralela a la superficie, $mg \sin(\theta)$, también aumenta. Esta componente es contrarrestada por la fuerza de fricción f_s . El sistema permanece en reposo mientras $mg \sin(\theta) \leq f_s$, es decir: $mg \sin(\theta) \leq \mu_s m g \cos(\theta)$.

En el caso límite en el que $mg \sin(\theta) = \mu_s m g \cos(\theta)$, inicial el movimiento y, la solución para μ_s es:

$$\mu_s = \tan \theta_c \quad (4)$$

En este método determinamos el coeficiente de fricción estático μ_s al medir el ángulo para el cual la masa comienza a moverse.

3.1.2. Determinación de μ_s al encontrar la masa que inicia el movimiento en un plano horizontal

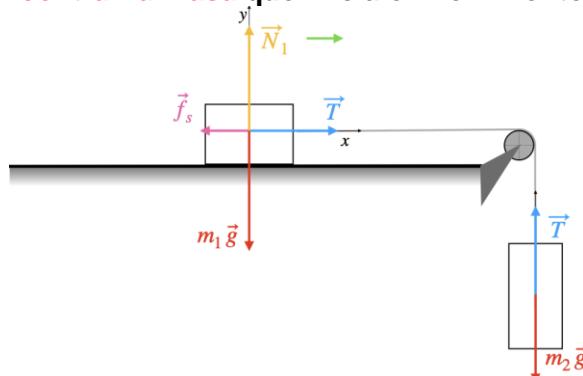


Figura 3. El sistema está compuesto por dos masas unidas por una polea para determinar el coeficiente de fricción estático. La flecha indica la dirección de movimiento inminente.

En la figura 3 nos permite ilustrar el método. La fuerza horizontal sobre la masa m_1 se genera a partir de una masa colgante m_2 colgante que pasa por una polea como lo muestra la figura (3). En este caso, se ajusta la masa suspendida m_2 hasta un valor máximo que garantice que el sistema permanece en reposo. Tanto la tensión de la cuerda como la componente del peso paralela a la superficie son contrarrestadas por la fuerza de fricción.

En la masa m_1 se presentan una fuerza normal \vec{N}_1 , una fuerza horizontal \vec{T} y una fuerza de fricción estática \vec{f}_s . Mientras la suma de fuerzas que actúan sobre el cuerpo sea cero, el cuerpo permanecerá en reposo.

$$\sum_{m_1} \vec{F}: \quad \vec{N}_1 + \vec{w}_1 + \vec{T} + \vec{f}_s = 0 \quad (5)$$

Descomponiendo la ecuación vectorial (5)

$$\sum_{m_1} F_x: \quad T - f_s = 0$$

$$\sum_{m_1} F_y: \quad N_1 - m_1 g = 0 \quad (6)$$

De la ecuación en el eje y se deduce que: $N_1 = m_1 g$ y $f_s = T$. Además, $f_s = \mu_s N_1 = \mu_s m_1 g$. Para la masa m_2 , las únicas fuerzas que actúan son la tensión de la cuerda \vec{T} y su peso \vec{w}_2

$$\sum_{m_2} \vec{F}: \quad \vec{w}_2 + \vec{T} = 0 \quad (7)$$

La ecuación en el eje y toma la forma:

$$\sum_{m_2} F_y: \quad T - m_2 g = 0 \quad (8)$$

Donde encontramos que $T = m_2 g$. Debido a que la masa de la cuerda es despreciable, la cuerda es inextensible, la polea no rota y la fricción en el rodamiento es despreciable, se puede considerar que la tensión en la cuerda es igual en ambos extremos.

El sistema permanece en reposo mientras $T \leq f_s$, es decir: $m_2 g \leq \mu_s m_1 g$. En la condición movimiento inminente y se obtiene que:

$$m_2 g = \mu_s m_1 g \quad (9)$$

Por lo tanto, el coeficiente de fricción estático es:

$$\mu_s = \frac{m_2}{m_1} \quad (10)$$

El coeficiente de fricción estático se obtiene a partir del cociente entre las masas m_2 y m_1 .

En este método determinamos el coeficiente de fricción estático μ_s al encontrar la masa m_2 que inicia el movimiento.

3.2. COEFICIENTE DE FRICTION CINÉTICO

3.2.1. Determinación de μ_k al encontrar la aceleración constante ascendente en el plano inclinado

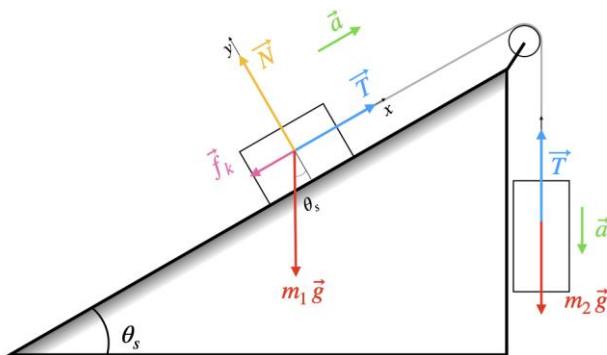


Figura 4. Masa sobre plano inclinado de ángulo variable unida una masa colgante que se mueve con aceleración constante

A partir de la figura (4) y considerando que las masas se mueven con aceleración constante, la aplicación de la segunda ley de Newton genera el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned}\sum_{m_1} F_x: \quad T - f_k - m_1 g \sin(\theta) &= m_1 a \\ \sum_{m_1} F_y: \quad N_1 - m_1 g \cos(\theta) &= 0 \\ \sum_{m_2} F_y: \quad T - m_2 g &= -m_2 a\end{aligned}\tag{11}$$

Observe que las aceleraciones de las masas son idénticas debido a las características de la cuerda. Se propone como tarea resolver el sistema de ecuaciones para el coeficiente de fricción cinética μ_k , el cual da como resultado

$$\mu_k = \frac{(m_2 - m_1 \sin(\theta)) g - (m_1 + m_2)a}{m_1 \cos(\theta)g}\tag{12}$$

Dado que podemos establecer las masas y el ángulo, en este método determinamos el coeficiente de fricción cinético μ_k al encontrar la aceleración de sistema usando el CronoLab.

3.2.2. Determinación de μ_k al encontrar la aceleración constante en el plano horizontal

Para el caso del plano horizontal, simplemente hacemos $\theta = 0$ en la ecuación (12):

$$\mu_k = \frac{m_2 g - (m_1 + m_2)a}{m_1 g}\tag{13}$$

De nuevo, podemos establecer las masas y el ángulo y determinar el coeficiente de fricción cinético μ_k al encontrar la aceleración de sistema usando el CronoLab.

4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Recomendaciones

1. El plano inclinado debe estar nivelado antes de tomar medidas. Para conseguir esto, se pueden utilizar tornillos para nivelar completamente el plano. Una correcta nivelación corrige desviaciones del bloque cuando se mueve.
2. Para evitar errores en la medición, es importante que el hilo esté paralelo a la superficie y alineado con la polea al iniciar la toma de datos con el CronoLab. Además, hilo, polea y bloque deben estar alineados.
3. Es fundamental evitar que el hilo haga contacto con el soporte del CronoLab. Asimismo, se deben ajustar las tuercas con dos dedos para que el soporte quede firme, evitando forzar excesivamente, ya que esto podría dañar el soporte.

- Cuando registre series de datos con el CronoLab, es importante garantizar que el bloque no sufra bamboleo ni se frene al inicio ni al final de su recorrido. En caso de que esto ocurra, es recomendable repetir la toma de datos para obtener resultados precisos.
- Antes de empezar, asegúrese de tener instalada la aplicación CronoLab en su teléfono inteligente y de vincular el dispositivo CronoLab para su correcto funcionamiento. Ver instrucciones de instalación y funcionamiento básico. ([instalación de CronoLab](#))

4.1. COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO

4.1.1. Determinación de μ_s al encontrar el ángulo en que inicia el movimiento en un plano inclinado

En esta sección se describe el procedimiento para variar el ángulo de inclinación del plano y obtener las medidas necesarias para comprobar la ecuación (4) obtenida de la figura (2). A continuación, se describen los pasos a seguir:

- Use la balanza para medir la masa del bloque con su respectiva incertidumbre y reporte su resultado en la tabla (1).
- Coloque el plano horizontal y nivele tanto a lo largo como a lo ancho utilizando el nivel de burbuja y los tornillos.
- Coloque el bloque sobre el plano apoyado en el lado de mayor superficie. Para todas sus mediciones ponga el bloque de madera siempre en el mismo lugar.
- Gire la perilla cuidadosamente para ajustar el ángulo de inclinación hasta que el bloque se deslice. Use el CronoLab en la opción de coeficiente de fricción para medir el ángulo de inclinación del plano. Registre en la tabla (1) el valor del ángulo en y su correspondiente incertidumbre. (si no pueda medir el ángulo con CronoLab, puede usar la aplicación PhyPhox).
- Coloque el plano en posición horizontal y repita otras dos veces el procedimiento según los pasos 1 a 4. Registre sus datos en la tabla (1).
- Ahora, para comprobar la independencia entre las áreas en contacto, repetiremos el experimento, pero colocando el bloque de madera en el lado de menor área. Realice el procedimiento 3 veces siguiendo los pasos 1 a 4. Registre sus datos en la tabla (1).
- Ahora, para comprobar la independencia de la masa, repetiremos el experimento, pero variando la masa sobre el bloque de madera (en el lado de mayor área). Añada masa al bloque en la parte superior y realice el procedimiento 3 veces para masas de 40g y 60g, siguiendo los pasos 1 a 4. Registre sus datos en la tabla (1).

4.1.2. Determinación de μ_s al encontrar la masa que inicia el movimiento en un plano horizontal

Para llevar a cabo esta parte del experimento, se requieren dos objetos con diferentes masas: uno se debe colocar sobre el plano horizontal de madera y el otro se debe colgar de una cuerda según la figura (3). Esto con el objetivo de comprobar la ecuación (10). Los pasos son los siguientes:

- Posicione el plano en forma horizontal y asegúrese de que esté nivelado.
- El bloque de madera enganchado a la cuerda es la masa m_1 y el portapesas (con las pesas) al otro extremo de la cuerda es m_2 .
- Coloque el bloque de masa m_1 sobre la superficie plana y permita que el portapesas cuelgue libremente. Para todas sus mediciones ponga el bloque de madera siempre en el mismo lugar.
- Añada masas al portapesas hasta que encuentre el valor mínimo en el cual el sistema empiece a moverse. Registre en la tabla (2) la masa del bloque m_1 y la colgante total m_2 .
- Repita los pasos 1 a 4 para dos diferentes valores de masa m_1 , es decir, al añadir masa al bloque de madera en la parte superior. Registre en la tabla (2).

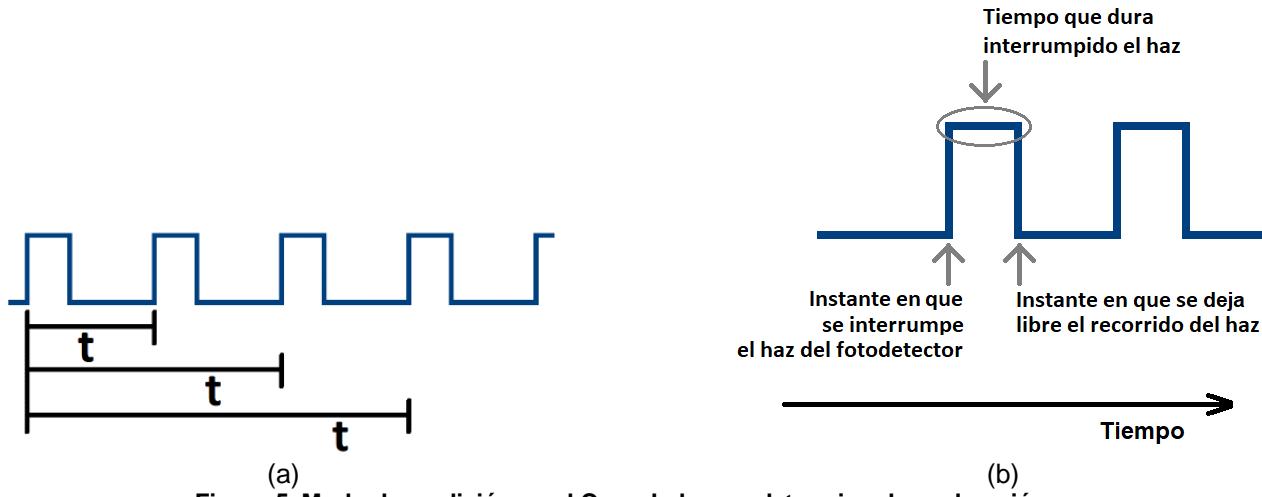
4.2. COEFICIENTE DE FRICCIÓN CINÉTICO

4.2.1. Determinación de μ_k al encontrar la aceleración constante ascendente en el plano inclinado

En este experimento, se utilizará el dispositivo CronoLab y su aplicación para capturar los datos de posición versus tiempo y determinar la aceleración con la que se mueven las masas para comprobar la ecuación (12) obtenida de la figura (4). Para obtener la aceleración, puede utilizar la plantilla de Excel suministrada por el profesor. A continuación, se deben realizar los siguientes pasos:

- Asegúrese de que la polea y el CronoLab estén lo más alineados posible con respecto al plano inclinado y que no presente inclinación en ningún otro sentido.

- Coloque el bloque de madera sobre el plano inclinado, pase el hilo sobre la polea y al extremo ponga el portapesas colgando de la cuerda. Eleve el plano inclinado hasta un ángulo θ entre 20° y 40° . Las masas y el hilo deben moverse libremente. Ajuste el soporte del CronoLab de tal manera que **el hilo solo toque la polea y que sea paralelo al plano inclinado**. El hilo no debe tocar el cuerpo del CronoLab.
- Seleccione para la masa colgante m_2 valores menores a 200g en las que observe un movimiento uniforme, sin frenadas o paradas al inicio y final del recorrido. NO añada ninguna masa al bloque de madera en su parte superior.
- El modo de medición que se utiliza en el CronoLab se indica en la figura (5) el cual corresponde a la opción de “Coeficiente de Fricción” en la app.
- Seleccione el número de datos en 30, teniendo en cuenta que es más o menos la distancia que recorre el bloque antes de llegar al tope superior.



- Evite que el bloque choque bruscamente con el tope del plano inclinado, ya que el ChronoLab podría caer. Registre los datos de m_1 , m_2 y θ en la tabla (3).
- Ubique el bloque m_1 en la parte baja del plano inclinado antes de iniciar su movimiento ascendente. Para todas sus mediciones ponga el bloque de madera siempre en el mismo lugar. Manténgalo quieto y **asegúrese que la luz láser pase a través de un agujero en la polea**. Luego, presione medir y suelte el bloque teniendo cuidado en detenerlo antes de que golpee el tope del plano inclinado.
- Lleve los datos registrados a la hoja electrónica para obtener la aceleración y su respectiva incertidumbre a partir de un polinomio que ajuste los datos. Registre la aceleración en la tabla (3).
- Realice otras 2 mediciones dejando fijo el valor de θ y m_1 , pero aumentando m_2 en 20 g en cada medida. Determine la aceleración en estas medidas y registre en la tabla (3).
- A partir del valor de la aceleración, determine el coeficiente de fricción cinético para cada serie de datos. Registre sus datos en la tabla (3).

4.2.2. Determinación de μ_k al encontrar la aceleración constante en el plano horizontal

El método es idéntico al anterior, excepto que el plano se encuentra en posición horizontal. El objetivo es comprobar la ecuación (13) obtenida de la figura (4) cuando hacemos $\theta = 0$. Procedemos así:

- Lleve el plano a la posición horizontal, es decir con el ángulo $\theta = 0$.
- Repita los mismos pasos descritos en la sección anterior. Disminuya el valor de la masa m_2 para evitar que el bloque se acelere demasiado y choque bruscamente con el tope. Registre sus datos en la tabla (4).

5. ANÁLISIS

El análisis se centra en el experimento y busca evaluar el logro de los objetivos y analizar errores. Si los valores son muy distintos entre sí, es necesario examinar el procedimiento experimental para encontrar posibles fuentes de error

Discuta los resultados obtenidos en el experimento, considerando las posibles fuentes de error y limitaciones

del procedimiento experimental. También puede comparar los resultados con la teoría y otras investigaciones previas para evaluar la validez de los resultados obtenidos.

Compare los resultados de los procedimientos para el caso del coeficiente estático. Compare los resultados de los procedimientos para el caso del coeficiente cinético ¿Qué se puede concluir al comparar los resultados de los coeficientes estáticos con el cinético? ¿Es lo que esperaba?

Analizar las posibles causas de error en las mediciones y valorar su incidencia en los resultados obtenidos. Se pueden considerar errores en la medición de θ , errores en la medición de las masas, errores en la medición del tiempo en el CronoLab, entre otros.

A partir de los resultados obtenidos, se debe concluir la precisión y validez del experimento y el valor del coeficiente de rozamiento cinético. Se pueden proponer mejoras en el procedimiento experimental para obtener resultados más precisos en futuros experimentos.

Agregue todo lo que considere necesario de manera concreta.

Tabla 1

	Medición inicial		Independencia con el área		Independencia con la masa			
	$m_1 = \pm$	$A = \pm$						
1	$\theta \pm \Delta\theta$	$\mu_s \pm \Delta\mu_s$						
2								
3								

Tabla 2

1	$m_1 = \pm$	$m_2 = \pm$	$\mu_s = \pm$
2	$m_1 = \pm$	$m_2 = \pm$	$\mu_s = \pm$
3	$m_1 = \pm$	$m_2 = \pm$	$\mu_s = \pm$

Tabla 3

1	$m_1 = \pm$	$m_2 = \pm$	$\theta = \pm$	$a = \pm$	$\mu_k = \pm$
2		$m_2 = \pm$		$a = \pm$	$\mu_k = \pm$
3		$m_2 = \pm$		$a = \pm$	$\mu_k = \pm$

Tabla 4

1	$m_1 = \pm$	$m_2 = \pm$	$a = \pm$	$\mu_k = \pm$
2		$m_2 = \pm$	$a = \pm$	$\mu_k = \pm$
3		$m_2 = \pm$	$a = \pm$	$\mu_k = \pm$