

Práctica

Coeficiente de rozamiento

Planteamiento

Deseamos **medir el coeficiente de rozamiento dinámico que aparece en el desplazamiento con fricción de un sólido sobre otro.**

El coeficiente de rozamiento dinámico es una característica física de cada material, que informa de la oposición que presenta un cuerpo a que un objeto sólido avance sobre él con rozamiento. Se representa por la letra griega μ y es un parámetro adimensional.

A mayor coeficiente de rozamiento mayor oposición al avance, y viceversa. Es lógico pensar que materiales de superficie pulida (como el hielo o un espejo) presentarán un coeficiente de rozamiento menor que materiales con superficie rugosa (como la madera).

Tomaremos la mesa de trabajo del laboratorio como base sólida sobre la que deslizaremos una pieza de madera, a la que añadiremos poco a poco sobrepeso. La fuerza que debemos aplicar para realizar el deslizamiento la estimaremos con ayuda de un dinamómetro (ver imagen) con precisión de $\pm 0,01 N$. Realizando varias medidas podremos estimar, como expondremos en la fundamentación teórica, un valor medio experimental del coeficiente de rozamiento dinámico.



Fundamento teórico

Supongamos un objeto que reposa sobre una superficie horizontal sólida. Si aplicamos una fuerza creciente sobre el objeto, con dirección paralela a la superficie que lo soporta, llegaremos a un instante en que el objeto comience a deslizar sobre la superficie.

Para comenzar el deslizamiento es necesario vencer una **fuerza de rozamiento** inicial determinada por un coeficiente de rozamiento estático. Una vez iniciado el movimiento, la fuerza de rozamiento a vencer viene determinada por un coeficiente de rozamiento dinámico.

Este coeficiente dinámico es menor que el estático, por lo que se requiere “menos fuerza” para mantener un movimiento constante de fricción que para iniciarlo.

La fuerza de rozamiento siempre se opone al sentido del movimiento, por lo que si dejamos de aplicar fuerza sobre nuestro objeto, se detendrá con el paso del tiempo debido a la desaceleración provocada por la fuerza de rozamiento.

Analíticamente podemos expresar esta fuerza de rozamiento como proporcional al coeficiente de

rozamiento y es proporcional a la fuerza peso $m \cdot g$ que recae de manera perpendicular sobre la superficie de deslizamiento (denominada normal N).

$$F_R = -\mu \cdot N$$

Donde hemos expresado los módulos de la fuerza rozamiento y de la fuerza normal (que son vectores). El signo menos nos recuerda que la fuerza de rozamiento se opone al sentido del movimiento.

Para superficies horizontales, la normal coincide con el peso $m \cdot g$. Es decir:

$$F_R = -\mu \cdot m \cdot g$$

$\mu \equiv$ coeficiente de rozamiento dinámico

$m \equiv$ masa

$g \simeq 9,8 \text{ m/s}^2$ (aceleración gravitatoria en la corteza terrestre)

Si nuestro objeto sólido desliza con **velocidad constante** sobre la superficie horizontal, su aceleración será 0, por lo que aplicando la **segunda ley de Newton** podemos afirmar que la suma de fuerzas horizontales que convergen en el objeto se anulan.

$$F_{\text{experimental}} + F_R = m \cdot a \rightarrow F_{\text{experimental}} + F_R = 0 \rightarrow F_{\text{experimental}} - \mu \cdot m \cdot g = 0 \rightarrow F_{\text{experimental}} = \mu \cdot m \cdot g$$

Donde $F_{\text{experimental}}$ es la fuerza que debemos aplicar para que el objeto deslice con velocidad constante. Y el valor de esa fuerza es la que vamos a determinar con ayuda del dinamómetro, y la que nos permitirá estimar el valor del coeficiente de rozamiento dinámico:

$$\mu = \frac{F_{\text{experimental}}}{m \cdot g}$$

Determinación de la fuerza experimental

Necesitamos desplazar nuestro objeto con una velocidad constante sobre la mesa de trabajo. ¿Cómo conseguirlo? Con ayuda de un motor eléctrico.

Ataremos con un hilo el extremo fijo del dinamómetro a una polea insertada en el eje de giro de un engranaje reductor, con un motor eléctrico alimentado por una fuente de alimentación de corriente continua. Y el extremo móvil del dinamómetro lo engancharemos al objeto de madera (que posee una hembrilla cerrada para enganchar).

De esta forma, tras unos instantes en que el movimiento se estabiliza tras arrancar desde el estado de reposo, veremos que el índice en forma de lenteja del dinamómetro marcará un valor constante a lo largo del desplazamiento con fricción. Con varias medidas, podremos estimar el valor medio de esta fuerza experimental.

Además iremos colocando, de forma progresiva, **sobrepeso sobre el objeto de madera**. Con esto aumentaremos la masa del objeto a deslizar y, por lo tanto, aumentará la fuerza experimental indicada en el dinamómetro. Pero **el coeficiente de rozamiento debe mantenerse constante**, ya que es directamente proporcional a la fuerza experimental e inversamente proporcional a la masa del objeto.

Las primeras medidas las realizaremos solo con el objeto de madera: $masa_1$. Luego añadiremos un primer sobrepeso (con forma de cilindro metálico) para obtener $masa_2$. Con otro sobrepeso obtendremos $masa_3$ y finalmente, con el último sobrepeso, tendremos $masa_4$.

$$masa_1 \rightarrow \mu = \frac{F_{experimental\ 1}}{m_1 \cdot g}$$

$$masa_2 \rightarrow \mu = \frac{F_{experimental\ 2}}{m_2 \cdot g}$$

$$masa_3 \rightarrow \mu = \frac{F_{experimental\ 3}}{m_3 \cdot g}$$

$$masa_4 \rightarrow \mu = \frac{F_{experimental\ 4}}{m_4 \cdot g}$$

Cada conjunto de medidas realizadas con cada masa nos dará un valor medio del coeficiente de rozamiento dinámico experimental. Sobre estos valores medios calcularemos, finalmente, una nueva media aritmética.

Tareas a realizar en el laboratorio e informe a entregar

1. **Pesa**, en la balanza de precisión, el objeto de madera y los tres sobrepesos **por separado**. Anota los resultados obtenidos en **kg**.
2. Coloca el dinamómetro de manera horizontal y haz coincidir el índice con forma de lenteja con la posición de 0. **Solo si es necesario**, gira la tuerca para fijar esta posición inicial.
2. Ata el extremo fijo del dinamómetro a la polea del motor y engancha su extremo móvil a la hembrilla del objeto de madera.
3. Con ayuda de bloques de madera y velcro, fija la posición del engranaje mecánico que contiene al motor eléctrico, para evitar que pueda desplazarse y alterar los registros del dinamómetro.
4. El motor, el dinamómetro y el objeto de madera deben estar alineados, con el hilo completamente estirado. La fuente de alimentación está ajustada para dar el menor voltaje posible que permita el funcionamiento del motor. **No tocar nunca las ruedas que controlan el voltaje y la intensidad de la fuente**.
5. Comprueba una vez más que el índice con forma de lenteja marca la posición 0 y conecta la fuente de alimentación. La polea y el eje de giro comenzarán a recoger el hilo, y el dinamómetro y el objeto de madera comenzarán a moverse.
6. Pasados unos instantes, el movimiento se estabilizará con velocidad constante y el valor del dinamómetro permanecerá fijo. Anota este valor, apaga la fuente de alimentación y ajusta nuevamente el índice con forma de lenteja a la posición 0. Debes **tomar 10 medidas con cada una de las masas**:

- objeto de madera
- objeto de madera + sobrepeso 1
- objeto de madera + sobrepeso 1 + sobrepeso 2
- objeto de madera + sobrepeso 1 + sobrepeso 2 + sobrepeso 3

6. Es muy importante que los objetos estén bien alineados y que el motor no se desplace de su posición inicial.

7. Si el hilo se enrolla por completo **puedes desenrollarlo cambiando la polaridad de los conectores de la fuente de alimentación**. La polea girará en sentido opuesto y el hilo comenzará a desenrollarse.

8. Cuando tengas las 10 medidas con cada una de las masas, realiza la media aritmética para estimar el valor de la fuerza experimental. Con cada valor medio de la fuerza y con cada masa, obtener el valor

$$\mu = \frac{F_{\text{experimental}}}{m \cdot g} .$$

9. Tendrás **cuatro valores del coeficiente de rozamiento dinámico**. Realiza la **media aritmética** de estos cuatro valores para obtener el valor medio definitivo de tu experimento.

10. Representar gráficamente, con ayuda de un editor de funciones (GeoGebra, WolframAlpha, Graph, etc.), un sistema de coordenadas donde el eje horizontal señale el valor $m \cdot g$ y el eje vertical indique $F_{\text{experimental}}$. Representa en estos ejes las cuatro parejas de valores $(m \cdot g, F_{\text{experimental}})$ obtenidas en el laboratorio. Cada pareja indicará un punto en el plano.

11. Trazar una recta que pase por el origen $(0,0)$ y lo más cerca posible de los cuatro puntos (es una estimación que busca ajustar los puntos alrededor de una recta, por lo que cada grupo de práctica debe proponer una recta que, aproximadamente, cumpla este requisito.). Obtener la ecuación de esa recta y su pendiente. **¿Qué relación tiene la pendiente con el coeficiente de rozamiento dinámico obtenido en el laboratorio?**

12. Al terminar la práctica, debes **mostrar al profesor todos los resultados tomados y los cálculos que haya dado tiempo realizar**. Es obligatorio que el profesor revise y dé el visto bueno a la toma de datos para poder presentar el posterior informe.

13. El profesor evaluará la práctica a partir de un **informe**, realizado **a mano**, que recoja **todos los cálculos, medidas y estimaciones realizadas** en el laboratorio, además de un **breve resumen del fundamento teórico y del procedimiento experimental** seguido en el laboratorio. Si se han solicitado gráficas, pueden realizarse a ordenador, imprimirlas y pegarlas dentro del informe a mano. Cuidar la buena presentación, el orden y claridad en la exposición, y la correcta presentación de los resultados y las conclusiones. Entregar el informe antes de la fecha límite indicada por el profesor.