

Práctica: el rozamiento en un plano inclinado y sobre la mesa

Se mide el coeficiente de rozamiento estático entre un taco de madera y una tabla a partir del ángulo al que el taco empieza a deslizar, y se comprueba que ese ángulo no depende de la masa. Después se mide el coeficiente dinámico arrastrando el taco con un dinamómetro a velocidad constante sobre la mesa, como pendiente de la gráfica rozamiento-normal.

DURACIÓN

2 sesiones de 55 min

AGRUPACIÓN

grupos de 3

UNIDAD 15

Fuerzas en equilibrio y en movimiento: estática, dinámica y seguridad vial

MATERIALES

- Tabla lisa de madera de 1,00 m, con un tope o un libro al pie para recoger el taco
- Taco de madera con gancho (unos 100 g) y masas de 100 g que se puedan sujetar encima
- Regla o cinta métrica de 1 m (resolución 1 mm) y, si lo hay, transportador o inclinómetro del móvil
- Dinamómetro de 5 N (la parte B llega a picos de unos 2,5 N, por encima de la escala de uno de 2 N) y cordel
- Balanza electrónica de resolución 0,1 g (puede ser compartida)
- Pila de libros o soporte con nuez para levantar la tabla poco a poco

ENCAJE CURRICULAR · Saberes E.2, E.3 · Comp. específicas CE1, CE2, CE4 · Comp. clave STEM, CCL, CD, CPSAA

Criterios: 1.2, 2.3, 4.1, 4.2

Objetivo

Medir los coeficientes de rozamiento estático y dinámico entre dos superficies de madera por dos métodos distintos, comprobar si el ángulo al que un cuerpo empieza a deslizar depende de su masa y relacionar el resultado con la frenada de un vehículo.

Planteamiento

Antes de medir, cada grupo escribe y justifica dos predicciones:

1. Si se pone una masa encima del taco, ¿empezará a deslizar con más inclinación, con menos o con la misma?
2. Al arrastrar el taco con un dinamómetro, ¿la lectura será la misma justo antes de que arranque que cuando ya se mueve?

Normas de seguridad específicas

- La tabla se levanta poco a poco y nunca por encima de unos 45°, sujeta por una persona o apoyada en un soporte estable. Al pie de la tabla debe haber un tope (un libro) que recoja el taco: no se deja caer al suelo ni sobre los pies.

- Las masas se sujetan bien al taco (con cinta o en un hueco); una masa suelta puede salir despedida al deslizar.
- No se cuelga del dinamómetro ni se tira de él con más fuerza que el máximo de su escala: el muelle se deforma de forma permanente y puede soltarse de golpe.
- Se trabaja en la mesa, lejos del borde, con el cordel corto, sin tirones y sin apuntar el dinamómetro hacia otra persona.

Procedimiento

Parte A. Ángulo crítico (sesión 1)

1. Comprobad con la balanza la masa del taco y de las masas adicionales. Limpiad con un paño seco la tabla y la cara del taco que va a deslizar.
2. Colocad la tabla horizontal sobre la mesa y el taco cerca de su extremo superior. Levantad ese extremo muy despacio hasta que el taco empiece a deslizar.
3. Sin mover la tabla, medid la altura h del extremo levantado respecto de la mesa. Anotadla.
4. Repetid cinco veces, colocando el taco siempre en el mismo sitio y con la misma cara.
5. Repetid la serie con 100 g y con 200 g sujetos encima del taco.

Parte B. Arrastre sobre la mesa (sesión 2)

6. Usad el dinamómetro de 5 N y ajustad su cero en horizontal. Atad el taco al dinamómetro con un cordel corto, paralelo a la mesa.
7. Tirad muy despacio y anotad la lectura máxima justo antes de que el taco empiece a moverse (pico estático).
8. Una vez en marcha, mantened una velocidad constante y lenta y anotad la lectura media (rozamiento dinámico).
9. Repetid los pasos 7 y 8 con masas totales de 200, 300, 400 y 500 g sobre la mesa.
10. Representad la fuerza de rozamiento dinámico frente a la normal ($N = m g$) y calculad la pendiente.

Tabla de datos

CARGA SOBRE EL TACO	H_1 (M)	H_2 (M)	H_3 (M)	H_4 (M)	H_5 (M)	H MEDIA (M)	θ (°)	$M_E = \tan \theta$
Taco solo								
Taco + 100 g								
Taco + 200 g								

MASA TOTAL (KG)	NORMAL $N = M G$ (N)	PICO ESTÁTICO (N)	ROZAMIENTO DINÁMICO (N)	$M_D = F/N$
0,200				
0,300				
0,400				
0,500				

Tratamiento de datos y cuestiones

1. Con $L = 1,000$ m, calculad $\sin \theta = h/L$, el ángulo θ y $\mu_e = \tan \theta$ para cada serie. Expresad μ_e con su incertidumbre a partir de la dispersión de h .
2. ¿Depende el ángulo crítico de la masa? Justificadlo con la ecuación del plano inclinado y comparadlo con vuestra predicción.

3. Obtened μ_d como pendiente de la gráfica F frente a N. ¿Pasa la recta por el origen? Calculad μ_e con el pico estático y comparadlo con el de la parte A.
4. ¿Qué error se comete si el cordel no está horizontal? ¿Y si se tira a tirones? Cita otras dos fuentes de error.
5. ¿A qué ángulo empezaría a deslizar una caja de madera sobre una rampa de madera? ¿Con qué aceleración bajaría por una rampa de 30° ? Relacionad el coeficiente de rozamiento con la deceleración máxima de un coche y con la distancia de frenado en seco y en mojado.
6. ¿Con cuántas cifras significativas tiene sentido dar los coeficientes? ¿Son constantes universales de la madera? Comparad los resultados con las predicciones y redactad el informe con la estructura de la unidad 1.

Alternativa virtual

Si no hay material, se puede usar la simulación en español [Fuerzas y Movimiento: Intro](#) de PhET (Universidad de Colorado). En su pantalla de rozamiento se aplica una fuerza creciente a un objeto hasta que arranca y se observa que el rozamiento estático se ajusta a la fuerza aplicada hasta un máximo y después baja al valor dinámico; repitiendo con objetos de distinta masa se puede construir la tabla de la parte B. Para el plano inclinado existe [Rampa: Fuerzas y movimiento](#), una versión más antigua que se ejecuta en el navegador.

Rúbrica

CRITERIO	INSUFICIENTE (1)	SUFICIENTE (2)	NOTABLE (3)	EXCELENTE (4)
Trabajo experimental y seguridad (1.2)	Levanta la tabla de golpe, deja caer el taco o sobrecarga el dinamómetro	Completa las medidas con recordatorios	Sube la tabla despacio, ajusta el cero, tira en horizontal y repite las medidas sin recordatorios	Además, controla las variables (misma cara, misma posición, superficies limpias) y lo justifica
Explicación de los fenómenos (2.3)	No relaciona el deslizamiento con las fuerzas	Describe las observaciones sin justificarlas con fuerzas	Explica con la descomposición del peso por qué la masa no influye y por qué $\mu_e > \mu_d$	Además, relaciona el coeficiente con la frenada de un vehículo en seco y en mojado
Cálculo y unidades (4.1)	Errores de trigonometría o de unidades que invalidan los coeficientes	Calcula los coeficientes con algún error menor	Calcula μ_e y μ_d con las cifras significativas adecuadas y obtiene μ_d como pendiente	Además, estima la incertidumbre de μ_e a partir de la dispersión
Análisis crítico (4.2)	Acepta los resultados sin discutirlos	Cita una fuente de error genérica	Identifica las fuentes de error principales y su efecto sobre el resultado	Además, compara los dos métodos para μ_e y discute los límites del modelo $F_r = \mu N$

Solución orientativa

Para el profesorado: pasos de la resolución del ejercicio.

1. Parte A, ejemplo de datos (tabla $L = 1,000$ m, taco solo): alturas a las que empieza a deslizar $h = 0,44; 0,46; 0,45; 0,47; 0,44$ m. Media $h = 0,452$ m, desviación típica $s = 0,013$ m, incertidumbre de la media $s/\sqrt{5} = 0,006$ m. $\sin \theta = h/L = 0,452 \rightarrow \theta = 26,9^\circ$; $\mu_e = \tan \theta = 0,507 \approx 0,51$. Con $h = 0,452 \pm 0,006$ m, $\tan \theta$ va de $0,499$ a $0,515$: $\mu_e = 0,51 \pm 0,01$. Es coherente con el valor aproximado $0,5$ para madera sobre madera (OpenStax, tabla 5.1).
2. Parte A, masa: con 100 g o 200 g encima, el ángulo crítico se mantiene dentro de la dispersión de las medidas. Explicación: en el límite, $m g \sin \theta = \mu_e m g \cos \theta$, la masa se simplifica y $\tan \theta = \mu_e$. La hipótesis «el taco más pesado aguanta más inclinación» queda refutada.
3. Parte B, ejemplo de datos: masas $m = 0,200; 0,300; 0,400; 0,500$ kg $\rightarrow N = m g = 1,96; 2,94; 3,92; 4,91$ N. Lecturas a velocidad constante $F = 0,60; 0,88; 1,20; 1,47$ N. Cocientes F/N : $0,306; 0,299; 0,306; 0,300$. Ajuste por mínimos cuadrados: pendiente $0,299$, ordenada $0,012$ N (del orden de la resolución del dinamómetro, compatible con cero). Forzando el origen, $0,302$. $\mu_d \approx 0,30$, coherente con el $0,3$ de la tabla para madera sobre madera.
4. Parte B, pico de arranque: con $0,300$ kg, la lectura justo antes de que el taco se mueva es de unos $1,5$ N $\rightarrow \mu_e = 1,50 / (0,300 \times 9,81) = 0,51$ (con $0,500$ kg el pico llega a unos $0,51 \times 0,500 \times 9,81 = 2,5$ N, por eso hace falta el dinamómetro de 5 N), que coincide con el valor de la parte A obtenido por un método distinto. $\mu_e > \mu_d$: cuesta más arrancar que mantener el movimiento.
5. Cuestión 4: si el dinamómetro no está horizontal y tira hacia arriba con un ángulo α , la normal disminuye ($N = m g - F \sin \alpha$) y la lectura ya no es $\mu_d m g$: se obtendría un coeficiente aparente menor. Si se tira a tirones, la lectura oscila entre el pico estático y el valor dinámico. Otras fuentes de error: tabla o taco sucios o húmedos (el coeficiente cambia de un día a otro), lectura en oblicuo del dinamómetro y subir la tabla a saltos, que hace que el taco arranque antes de tiempo.
6. Cuestión 5: con $\mu_e = 0,51$, una caja de madera en una rampa de madera empieza a deslizar hacia los 27° . Con $\mu_d = 0,30$, una vez en marcha baja por una rampa de 30° con $a = g (\sin 30^\circ - 0,30 \cos 30^\circ) = 9,81 \times (0,500 - 0,260) = 2,4$ m/s². Relación con la seguridad vial: el coeficiente entre neumático y calzada fija la deceleración máxima de frenada, $a = \mu g$; la tabla de OpenStax da para caucho sobre hormigón $0,7$ en seco y $0,5$ en mojado (valores dinámicos aproximados), lo que alarga la distancia de frenado un 40% con la calzada mojada.
7. Cuestión 6 (análisis crítico): el modelo $F_r = \mu N$ es empírico y aproximado; el coeficiente se da con una o dos cifras significativas y varía con el estado de las superficies. Un resultado como $\mu_e = 0,507$ debe darse como $0,51 \pm 0,01$ y valorarse como propio de esas superficies ese día, no como una constante universal. Se valora que el grupo compare los dos métodos para μ_e y explique la diferencia, si la hay, por la dispersión.