

## Práctica 2

### Determinación del coeficiente de rozamiento dinámico

#### 1. Introducción.

En esta práctica estudiaremos cómo afecta el rozamiento al movimiento uniformemente acelerado en un plano inclinado. Se trata de determinar la aceleración a partir de la medida de la velocidad en diferentes puntos del plano inclinado y estimar en qué grado la aceleración neta depende por una parte de la acción de la gravedad y por otra de la fuerza de rozamiento.

Consideraremos el movimiento de un bloque de masa  $M$  en un plano inclinado un ángulo  $\theta$  (ver la Fig. 1), que es estirado por un segundo bloque, de masa  $m$ . Despreciaremos la masa de la polea y el rozamiento de la cuerda con ella. El bloque de masa  $M$  estará inicialmente en reposo, en la posición que tomaremos como  $d = 0$  m. Calcularemos la velocidad  $v$  del bloque móvil en diferentes posiciones  $d$ . El móvil experimentará un movimiento uniformemente acelerado con aceleración  $a$ .

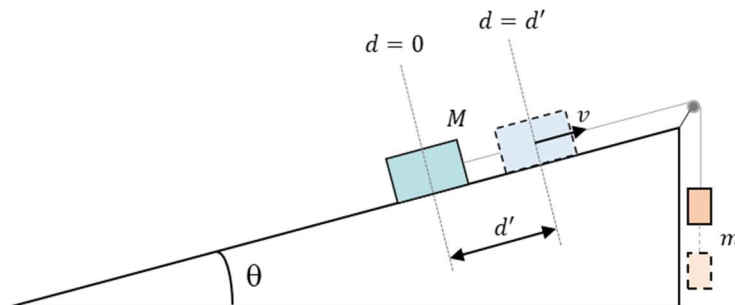


Fig. 1. Posiciones  $d$  del bloque móvil de masa  $M$  sobre el plano inclinado.

Según las leyes de la cinemática, si la velocidad inicial es igual a cero,

$$d = \frac{1}{2}at^2, \quad v = at. \quad (1)$$

Por lo tanto, obtenemos que

$$v^2 = 2ad \quad (2)$$

En las ecuaciones anteriores,  $v$  es la velocidad del móvil cuando ha recorrido una distancia  $d$  a lo largo del plano inclinado.

El diagrama de las fuerzas sobre el cuerpo en el plano inclinado, de masa  $M$ , considera su peso ( $P_M = Mg$ , con  $g$  la aceleración de la gravedad), la fuerza que realiza el plano inclinado sobre este cuerpo móvil (fuerza normal,  $F_N$ ), la fuerza de fricción que se opone al movimiento,  $F_{fr}$ , y  $T$ , la tensión de la cuerda de la que cuelga la masa  $m$  (ver la Fig. 2). Cuando el bloque está en movimiento, en el eje longitudinal del plano inclinado actúan la componente del peso en esa dirección y la fuerza de rozamiento, que considera el coeficiente de fricción dinámico,  $\mu$ , las dos en el mismo sentido, y la tensión de la cuerda, en sentido contrario. En la dirección perpendicular, se igualan la componente correspondiente del peso y la fuerza normal.

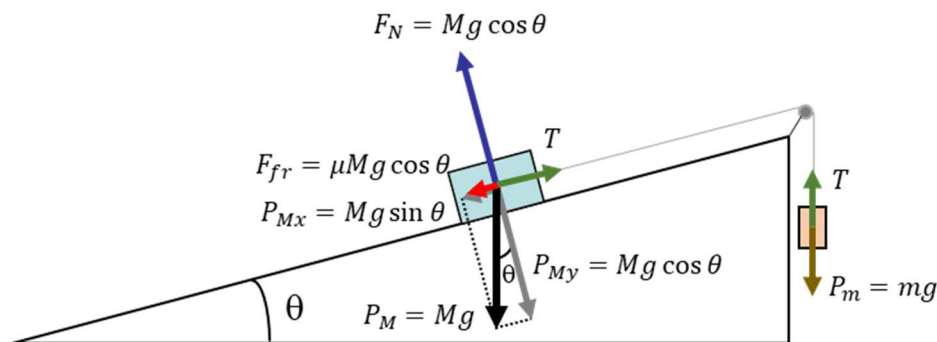


Fig. 2. Diagrama de fuerzas de un móvil sobre el plano inclinado.

Matemáticamente, la relación de fuerzas en el eje longitudinal del plano inclinado, y en la masa  $m$ , se expresan, respectivamente:

$$T - \mu Mg \cos \theta - Mg \sin \theta = Ma, \quad mg - T = ma \quad (3)$$

y por tanto, la aceleración en presencia de rozamiento es igual a:

$$a = \frac{mg - Mg(\sin \theta + \mu \cos \theta)}{M + m} \quad (4)$$

y en ausencia de fricción, la aceleración sería

$$a_0 = \frac{mg - Mg \sin \theta}{M + m} \quad (5)$$

Por otro lado, el coeficiente de fricción se puede calcular como

$$\mu = \frac{m + M}{M g \cos \theta} (a_0 - a) \quad (6)$$

Nuestro objetivo es medir  $\nu$ , para diferentes valores de la distancia recorrida por el bloque móvil,  $d$ , y así determinar primero el valor de la aceleración a partir de un ajuste por mínimos cuadrados y, entonces, con un cálculo geométrico del ángulo de elevación del carril  $\theta$ , obtener  $\mu$ .

## 2. Método experimental.

En primer lugar, para inclinar el carril, coloca una caja bajo uno de sus pies. Coge un patín de madera y, si es necesario, monta la bandera (ver Fig. 3). Monta también la polea y engancha el soporte de las pesas al patín de madera con la ayuda del hilo.

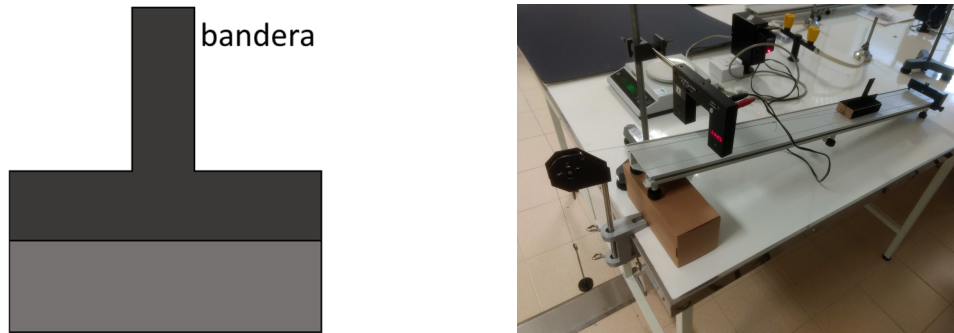


Fig. 3. Montaje experimental: (izquierda) patín y (derecha) montaje con la célula fotoeléctrica.

Una célula fotoeléctrica servirá para determinar la velocidad del móvil, a partir de la medida del tiempo  $t$  que la bandera está bloqueando el haz luminoso de la célula:

$$v = \frac{d_{ef}}{\bar{t}} \quad (7)$$

donde  $d_{ef}$  es la longitud efectiva de la bandera, que has de medir. Un punto clave en el experimento es la medida correcta de la velocidad. Coloca la fotocélula en diferentes posiciones sobre el carril, separadas una distancia de 10 cm. Consideraremos como referencia en cada posición el punto en que la bandera empieza a cortar el haz de la célula. La velocidad medida se interpretará como una velocidad media correspondiente a la anchura de la bandera.

Para comenzar las medidas, sujeta el patín en la posición que eliges como  $d = 0$ , y asegúrate de que parte del reposo,  $v_0 = 0$ , soltándolo sin impulso inicial. Se realizarán medidas del coeficiente de fricción entre el carril de plástico y la parte vestida de la pieza de madera, con una masa colgando de la polea de 60 g (10 el soporte y otros 50 g).

Lee el tiempo  $t$ , que mide la fotocélula, y apunta los valores medidos. Han de realizarse tres lecturas de tiempo por cada posición para reducir el error de la medida. Cambia la posición de la fotocélula y repite el proceso. Construye una tabla con los 3 valores de  $t$ , su media y la velocidad  $v$ .

Si comparamos la ecuación  $v^2 = 2 a d$  (2) con la ecuación de una recta

$$y = m x + n, \quad (8)$$

comprobamos que podemos identificar como variable independiente ( $x$ ) a la distancia  $d$ , como variable dependiente ( $y$ ) a la velocidad al cuadrado  $v^2$ , y como pendiente ( $m$ ) al producto  $2a$ . La ordenada en el origen ( $n$ ) sería en este caso igual a cero.

Añade a la tabla los valores de  $x$  y de  $y$ , es decir  $d$  y  $v^2$ , represéntalos gráficamente y calcula la recta que mejor define su comportamiento mediante un ajuste por mínimos cuadrados y determinad el valor de pendiente ( $m$ ) con su error.

### 3. Tratamiento de datos y presentación de resultados

1. Necesitaremos calcular  $\theta$  a partir de la ecuación:

$$(9) \quad \sin \theta = \frac{h}{L}$$

Atención: elabora el triángulo rectángulo y observa que  $L$  es la distancia entre las patas del carril, y  $h$  es la elevación (altura de la caja colocada para elevar el carril)

2. Ahora calcula la aceleración que tendría la masa en ausencia de fricción,  $a_0$  a partir de la ecuación (5).
3. A continuación calcula el valor experimental de la aceleración,  $a_{\text{exp}}$ . Para ello es necesario relacionar la aceleración con el valor de la pendiente, a partir de las ecuaciones (2) y (8).
4. Calcula el coeficiente de fricción a partir de la ecuación (6) con su error.

### 4. Cuestiones adicionales

1. Comenta si la aceleración experimental  $a_{\text{exp}}$  que has encontrado es mayor o menor que  $a_0$ .
2. ¿Cómo afectaría al experimento que la longitud de la bandera fuese de 10 cm en vez de 2.5 cm aproximadamente?