

## Guía de análisis del experimento "Caída del cilindro"

### A) Introducción al experimento

Todos los objetos en caída libre en las proximidades de la superficie de la Tierra tienen una aceleración constante,  $g$ , cuando se puede ignorar la resistencia del aire. Este experimento prueba la validez de esta propiedad para un cuerpo rígido que cae, pero que tiene un vínculo con un objeto que no se mueve de su lugar, lo que induce otro movimiento además de la traslación.

### B) Procedimiento de análisis

**B1. Modelo.** Mira los videos del experimento y observa los movimientos del cilindro y de la cinta en su conjunto. Reflexiona y **anota, usando tus palabras** (estas anotaciones no se puntuarán, pero es necesario anotarlas para que puedas comprobar su concepción inicial cuando termines el informe):

- i. ¿Cómo describes el movimiento del cilindro? ¿Y de la cinta?
- ii. En el aparato experimental, ubica los vínculos del cilindro y de la cinta. ¿Cómo se mantienen a lo largo del movimiento? En cuanto a los elementos de la disposición experimental que constituyen estos vínculos, identifica cuáles de sus propiedades son importantes para mantenerlos intactos durante todo el movimiento.
- iii. ¿Qué papel juegan los vínculos en el movimiento de los cilindros? ¿Y en el de la cinta?
- iv. ¿Sugiere el análisis anterior que la aceleración del centro de masa del cilindro es constante? Su valor sería **menor, igual o mayor** que  $g$ ?
- v. Construye un modelo físico del aparato experimental, es decir, escribe un texto que explique cómo las fuerzas que actúan sobre el cilindro (y la cinta, tal vez) causan el movimiento observado, sin usar ecuaciones, pero incluyendo términos como fuerza, torque, momento de inercia, aceleración angular, etc.

**B2. Toma de datos.** Observa las imágenes del conjunto que se te asignó. El cuadrinado tiene líneas horizontales y verticales negras en las que las gruesas están separadas por 1 cm y las delgadas por 0,5 cm; además tiene una línea roja cada 5 cm.

Elige un punto del cuadrinado como origen del sistema de coordenadas cartesianas: será más fácil elegir el origen del sistema de coordenadas en una línea roja. Adopta el centro del cilindro o el extremo superior o inferior del borde como referencia para medir sus posiciones.

Construye una tabla, asociándola a cada fotograma  $i$  el instante del tiempo  $t_i$  y la posición vertical  $y(t_i)$  del cilindro en el cuadrinado. Adopta 2 mm para la desviación estándar de las posiciones, es decir,  $\sigma_y = 0,2 \text{ cm}$ , e ignora la incertidumbre en el tiempo.

**B3. Grandezas cinemáticas.** Calcula la velocidad media promedio del cilindro en el *referencial del laboratorio*, para los intervalos de tiempo  $[t_{i-1}; t_{i+1}]$ , y usa ese valor como una estimativa de la velocidad instantánea en el instante  $t_i$ , o sea:

$$v(t_i) \cong \bar{v}(t_i) = \frac{y(t_{i+1}) - y(t_{i-1})}{t_{i+1} - t_{i-1}} \quad (1)$$

en que  $y$  y  $t$  corresponden, respectivamente, a la posición vertical y al instante del tiempo, mientras que  $\bar{v}$  simboliza la velocidad lineal media y  $i$  el número del cuadro em cuestión

Calcula también la desviación estándar de la velocidad a partir de la siguiente ecuación:

$$\sigma_{v_y} = \frac{\sqrt{2}}{|t_{i+1} - t_{i-1}|} \sigma_y \quad (2)$$

**B4. Resultado experimental.** Construye el gráfico de la velocidad del cilindro en función del tiempo calculado en el ítem **B3** y ajusta una línea de tendencia a ese gráfico. Inserta también las barras de incertidumbre. Identifica e interpreta la pendiente ajustada a los datos por la planilla,  $a$ . De acuerdo con la guía de procesamiento de datos (en las pestañas auxiliares, documento [Estatística: MEXI](#)), calcula la desviación estándar de la pendiente  $a$  como:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{v_y}}{T} \sqrt{\frac{12}{N}} \quad (3)$$

en que  $T$  es el intervalo de tiempo total durante el cual se midió la velocidad vertical del cilindro, y  $N$  es el número de datos.

**B5. Modelo matemático.** Construye una representación matemática del sistema que te permita determinar la aceleración del cilindro y encuentra una fórmula para esta cantidad a partir de las propiedades de los elementos del aparato experimental. Para ello, resuelve el siguiente ejercicio:

Se enrolla una cinta en la superficie de un cilindro hueco, de masa  $M$ , con radios exterior e interior iguales a  $R$  y  $r$ , respectivamente. La cinta tiene un extremo fijo y el cilindro cae verticalmente, como en el video del experimento. Para determinar su aceleración durante la caída, sigue los pasos:

- Haz un boceto de la disposición y el diagrama de cuerpo libre del objeto en estudio.
- Escribe la ecuación de movimiento (o ecuaciones de movimiento, el camino que elijas).
- Encuentra fórmulas que relacionen las propiedades físicas de los elementos del aparato experimental (radio, masa, etc.) con los parámetros de la ecuación (o ecuaciones) del punto b).
- Sustituye estas fórmulas en la ecuación (o ecuaciones) de movimiento del punto b).
- Aísla algebraicamente la aceleración lineal del cilindro en función de  $g$  y de los radios.

**B6. Aceleración calculada.** Para cada uno de los posibles pares de radios internos y externos de los cilindros usados en este experimento, enumerados en la pestaña de materiales, calcula numéricamente la aceleración estimada por el modelo matemático. Haz este cálculo en una planilla, de modo que puedas usar la misma fórmula para todos los cilindros.

**B7. Incertidumbre en la aceleración.** Calcula la desviación estándar del valor calculado en **B6**, en función de las desviaciones típicas de los radios interior y exterior del cilindro. Al igual que con el cálculo de aceleraciones, haz los cálculos en la planilla para usar la misma fórmula para todos los casos.

**B8. Similitud.** Identifica el cilindro que protagonizó el conjunto de imágenes que analizaste y comenta si hay ambigüedad en el resultado. Determina el grado de similitud entre el aparato experimental y el modelo desarrollado, suponiendo que has identificado correctamente el cilindro utilizado.

## Procedimiento de preparación del informe

Cada grupo deberá presentar un único documento, con los siguientes apartados:

**C1. Identificación.** Enumera los nombres de los miembros del grupo e indica el conjunto de datos analizado.

**C2. Descripción del experimento.** Describe sucintamente lo que has observado en el video y los componentes del arreglo experimental. Incluye todos los elementos que juegan un papel en el movimiento tal como lo ves en las imágenes, dejando claro cómo los objetos se vinculan entre sí de una manera que da como resultado el movimiento observado, pero no uses fórmulas. El foco debe estar en los elementos y sus características, en todo lo que es importante para construir un aparato experimental similar. Escribe dos versiones de tu descripción, una sin usar los nombres de las cantidades físicas como fuerza, torque, inercia, como lo harías para aquellos que no estudian física, y otra, usando estos nombres, pero sin usar fórmulas, como necesitas **pensar** para escribir las ecuaciones necesarias para calcular la aceleración. Para ayudar, usa las notas iniciales del ítem **B1**.

**C3. Modelo matemático.** Desarrolla la representación matemática del modelo y presenta la expresión para el momento de inercia del cilindro, así como la fórmula para la aceleración obtenida. Deja claro si consideraste el movimiento como una rotación pura o una combinación de rotación y traslación y justifica tu elección. Discute la dinámica del movimiento: ¿El modelo indica que la aceleración es constante o variable? ¿Menor, igual o mayor que  $g$ ? ¿La cantidad de movimiento es constante o varía? ¿La energía es constante o varía? Explica, usando solo palabras, por qué la masa del cilindro no entra en la expresión de la aceleración angular.

**C4. Datos obtenidos.** Presenta las tablas obtenidas en los ítems **B2** y **B3**. Compruebe que has expresado los valores de las cantidades en unidades apropiadas y con un número adecuado de dígitos significativos. No olvides mencionar cómo realizaste los cálculos y llegaste a los resultados.

**C5. Análisis de datos.** Presenta el gráfico de la velocidad del cilindro en función del tiempo y la pendiente de la línea de tendencia (ítem **B4**). Presenta la tabla de aceleraciones esperadas para los diferentes cilindros, acompañada de las respectivas desviaciones estándar.

**C6. Resultados y discusión.** Señala cual cilindro se debe haber usado para generar el conjunto de imágenes que analizaste y evalúa el grado de certeza de tu elección. Discute si el modelo es compatible con la observación dentro de las incertidumbres experimentales.

Comenta tu expectativa inicial sobre el valor de la aceleración del cilindro obtenida en el ítem **B1**, y si es coherente con los resultados obtenidos en **B4**. ¿Qué propiedades del sistema determinan que la aceleración sea (constante, variable) y (menor, igual, mayor) que  $g$ ? ¿Cuál fue el papel de los vínculos en este resultado?

**C7. Conclusión.** Informa el grado de éxito del modelo en la explicación del movimiento: vuelve a la introducción, presta atención al objetivo del experimento y comenta si se logró completamente, parcialmente o no, y por qué. (Puedes volver a tus hipótesis y preguntas registradas en el ítem **B1** para verificar si el experimento corroboraba o no dichas expectativas iniciales). Indica si los vínculos interfirieron con el movimiento y si esta conclusión podría extenderse a cualquier sistema. Concluir si la precisión del experimento fue suficiente para definir qué cilindro se utilizó.