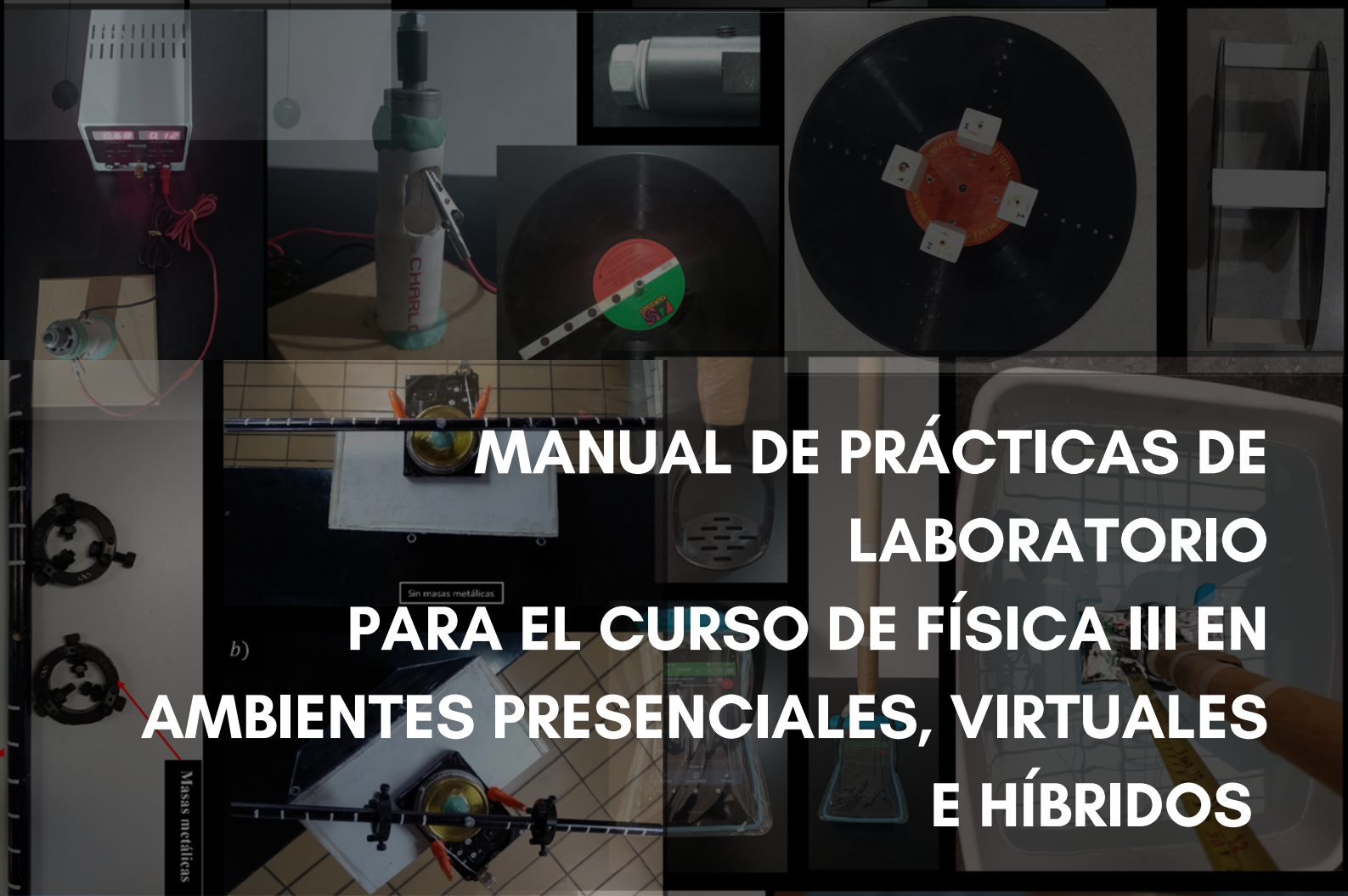




UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Escuela Nacional Colegio de Ciencia y Humanidades



ÍNDICE

PRESENTACIÓN

1

Práctica 1 Estudio experimental del Movimiento Circular Uniforme (MCU).

2

Práctica 2 Estudio experimental del Movimiento Circular Uniformemente Acelerado (MCUA).

9

Práctica 3 Determinación del valor de la gravedad a través del concepto de fuerza centrípeta.

12

Práctica 4 Obtención del centro de masa de una placa homogénea y de espesor uniforme.

18

Práctica 5 Variación de momento de inercia con respecto a la distribución de masa.

22

Práctica 6 Prototipo experimental para la determinación de momento de inercia de cuerpos rígidos.

29

ÍNDICE

- Práctica 7** Determinación de la densidad de un fluido y experimento de Plateau **39**
- Práctica 8** Aplicación del principio de Arquímedes en la determinación de la densidad de un fluido. **44**
- Práctica 9** Medición de la presión hidrostática con el uso del smartphone. **51**
- Práctica 10** Determinación experimental de la presión atmosférica en la mediante el estudio de la dilatación del aire. **56**
- Práctica 11** Aplicación de la ecuación de Bernoulli en el experimento de Torricelli. **61**

PRESENTACIÓN

En este trabajo se presenta un Manual de prácticas de laboratorio para el curso de Física III que se puede utilizar en ambientes presenciales, virtuales e híbridos. En dicho manual se abordan las dos unidades del curso, a saber, sistemas de cuerpos rígidos y sistemas de fluidos.

Los experimentos que se proponen en el Manual tienen la finalidad de que los alumnos amplíen, verifiquen o adquieran conocimiento, de acuerdo con los propósitos, aprendizajes y contenidos del programa de estudios de Física III de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades (ENCCCH), perteneciente a uno de los sistemas de educación media de la Universidad Autónoma de México (UNAM).

Las actividades del Manual de prácticas contienen: a) la explicación sobre su aplicación para lograr los aprendizajes propuestos; b) los propósitos; c) una breve introducción en donde se expone el fundamento teórico de los fenómenos en estudio; d) las actividades a desarrollar; e) las orientaciones para la organización y el análisis de datos; f) las formas de evaluación de los resultados de aprendizaje; g) las fuentes consultadas presentadas en formato APA y e) la información sobre las dificultades prácticas de la actividad.

Los materiales que se utilizan dentro de las actividades experimentales son fácil acceso y de bajo costo para los estudiantes. Además, se propone el uso del celular como un instrumento de medición en la adquisición de datos experimentales, ya sea por medio del video o mediante la activación de sensores por medio de *apps* de uso gratuito. También, se emplean softwares procesadores de imágenes y videos para la adquisición, análisis e interpretación de los datos. En este sentido, es importante mencionar que todos los experimentos son de carácter cuantitativo, siguiendo la filosofía del gran Galileo Galileo: "*Mide todo lo que se pueda medir; y lo que no, hazlo medible*" o la de Lord Kelvin: "*Sólo cuando puede medirse aquello de lo que se habla y expresarlo en números, ya se sabe algo sobre ello; pero cuando no puede medirse, cuando no puede expresarse en números su conocimiento es pobre e insatisfactorio*". Por tal motivo se hace énfasis que la forma en la que se construye el conocimiento desde el punto de vista metodológico que incluye aspectos como: preguntar, explorar, conjeturar, experimentar, observar, medir, concluir, comunicar, inferir, elaborar modelos, entre otros.

Finalmente, se espera que el presente Manual pueda ser adaptado a secuencias o estrategias didácticas que permitan mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en la aplicación de los programas de estudio vigentes de la ENCCCH, en particular al curso de Física III.

PRÁCTICA 1

Estudio experimental del Movimiento Circular Uniforme (MCU)

Aprendizajes

Aplica los conceptos de frecuencia y periodo de rotación al cálculo de la rapidez lineal de un objeto en el movimiento circular uniforme.

Identifica analogías que relacionen los parámetros del movimiento rotacional (θ, ω) con los parámetros del movimiento rectilíneo (x, v).

Resuelve problemas que relacionen la rapidez lineal con la rapidez angular.

Temáticas

- Movimiento Circular Uniforme
- Rapidez Lineal
- Rapidez angular
- Analogías de parámetros lineales y angulares.
- Parámetros lineales y angulares

PROPÓSITOS

- Diseñar y construir un prototipo experimental que permita generar un MCU.
- Utilizar el uso del celular para la adquisición de datos experimentales mediante el video, así como el uso del software *video tracker* para el procesamiento y análisis del mismo.

EXPLICACIÓN SOBRE SU APLICACIÓN PARA LOGRAR LOS APRENDIZAJES PROPUESTOS

Para lograr los aprendizajes propuestos, los estudiantes diseñarán y construirán un montaje experimental que permita generar un Movimiento Circular Uniforme (MCU).

Se utilizará el análisis del video con el software *video tracker*, el cual brinda la posibilidad de obtener datos experimentales del cambio en la posición angular y lineal con respecto al tiempo en un MCU. Mediante el análisis e interpretación de los datos obtenidos los estudiantes determinarán la rapidez angular y lineal, así como su relación con respecto al radio de la trayectoria circular.

INTRODUCCIÓN

En el universo abundan los ejemplos de movimientos en dos dimensiones, por ejemplo, los planetas giran alrededor del Sol en trayectorias casi circulares, algunos juegos mecánicos en los parques de diversión, sistemas electromecánicos, en el modelo de Bohr los electrones giran alrededor del núcleo del átomo en un movimiento circular, etc.

Para el caso que nos ocupa consideremos el MCU como un caso particular del movimiento en dos dimensiones, cuya característica principal es que la magnitud de la rapidez lineal y angular es constante. Por un lado, la rapidez lineal se define como la distancia recorrida por unidad de tiempo, mientras que la rapidez angular como el número de revoluciones por unidad de tiempo, es decir:

$$v = \frac{d}{t} \quad (1) \quad (\text{rapidez lineal})$$

$$\omega = \frac{\theta}{t} \quad (2) \quad (\text{rapidez angular})$$

Algunos otros aspectos de interés de un MCU son:

- Para determinar la posición de la partícula se utilizan coordenadas polares, ver **Fig. 1**.

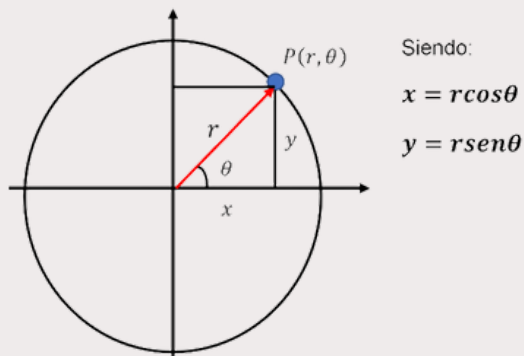


Fig.1. Representación de la posición de una partícula en un sistema de referencia en dos dimensiones.

- El desplazamiento angular (vector que va del punto A a B, ver **Fig. 2**) se puede medir en radianes. El radian se define como la medida del ángulo central que subtende un arco de igual longitud que el radio de la circunferencia. La equivalencia entre el radian y el grado es:

$$2\pi \text{ rad} = 360^\circ$$

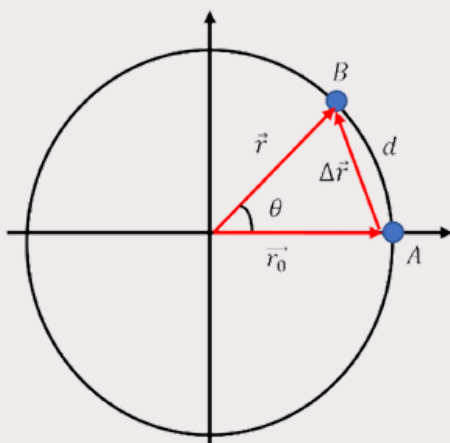


Fig.2. Representación del vector desplazamiento angular en un plano cartesiano.

- La longitud de arco, que es la distancia que recorre la partícula del punto A al B, se puede determinar en términos del desplazamiento angular mediante la Ec. (3), siempre y cuando el ángulo se exprese en radianes.

$$d = r\theta \quad (3)$$

- Si el vector de posición $\Delta\vec{r}$, ver **Fig. 2**, cambia en un intervalo de tiempo muy pequeño; es decir, si tiende a cero, entonces el desplazamiento angular también es muy pequeño, al igual que la longitud d . Si se toma en cuenta lo anterior y utilizando la Ec. (1), (2) y (3), se llega a:

$$v = r\omega \quad (4)$$

- En el MCU se suele expresar la rapidez angular en función de la frecuencia de rotación. La frecuencia, es el número de vueltas completas o revoluciones que el objeto realiza por unidad de tiempo, es decir:

$$f = \frac{n}{t} \quad (5)$$

En el sistema internacional (SI) de unidades la unidad de frecuencia es el Hertz (Hz) que es igual a una revolución por segundo.

- El periodo de un objeto en un MCU es el tiempo que tarda en efectuar una vuelta completa o una revolución y viene dado por la siguiente expresión:

$$T = \frac{t}{n} \quad (6)$$

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

Diseño y construcción del dispositivo experimental.

Para esta actividad se propone un montaje experimental en el cual se pueda generar un MCU. La propuesta consiste en usar un motor de corriente directa que se pueda fijar en la parte superior a un tubo de PVC, que a su vez este soportado sobre una base de madera.

Las terminales del motor se conectan a una fuente de voltaje variable para hacer rotar su eje, ver **Fig. 3**. En el eje del motor se puede poner un adaptador para colocar un disco de acetato.

Con la ayuda de cinta *masking tape* se hacen marcas a diferente distancia del centro del disco, esto con la finalidad de estudiar la dependencia de la rapidez lineal con respecto al radio de la trayectoria circular.

Montaje experimental para la toma de videos del MCU.

Para esta parte del experimento se regula el voltaje con la fuente de poder, de tal forma de generar un MCU, procurando que la rapidez del movimiento sea tal que se logren observar las marcas realizadas en el disco al tomar un video del movimiento. Si es necesario se recomienda hacer el uso de la cámara lenta del celular.

Con el objetivo de tener un video alineado del movimiento se puede fijar el celular en la parte superior. Para ello se utilizan algunas bases (por ejemplo tablas de madera u otros objetos), ver **Fig. 4**.

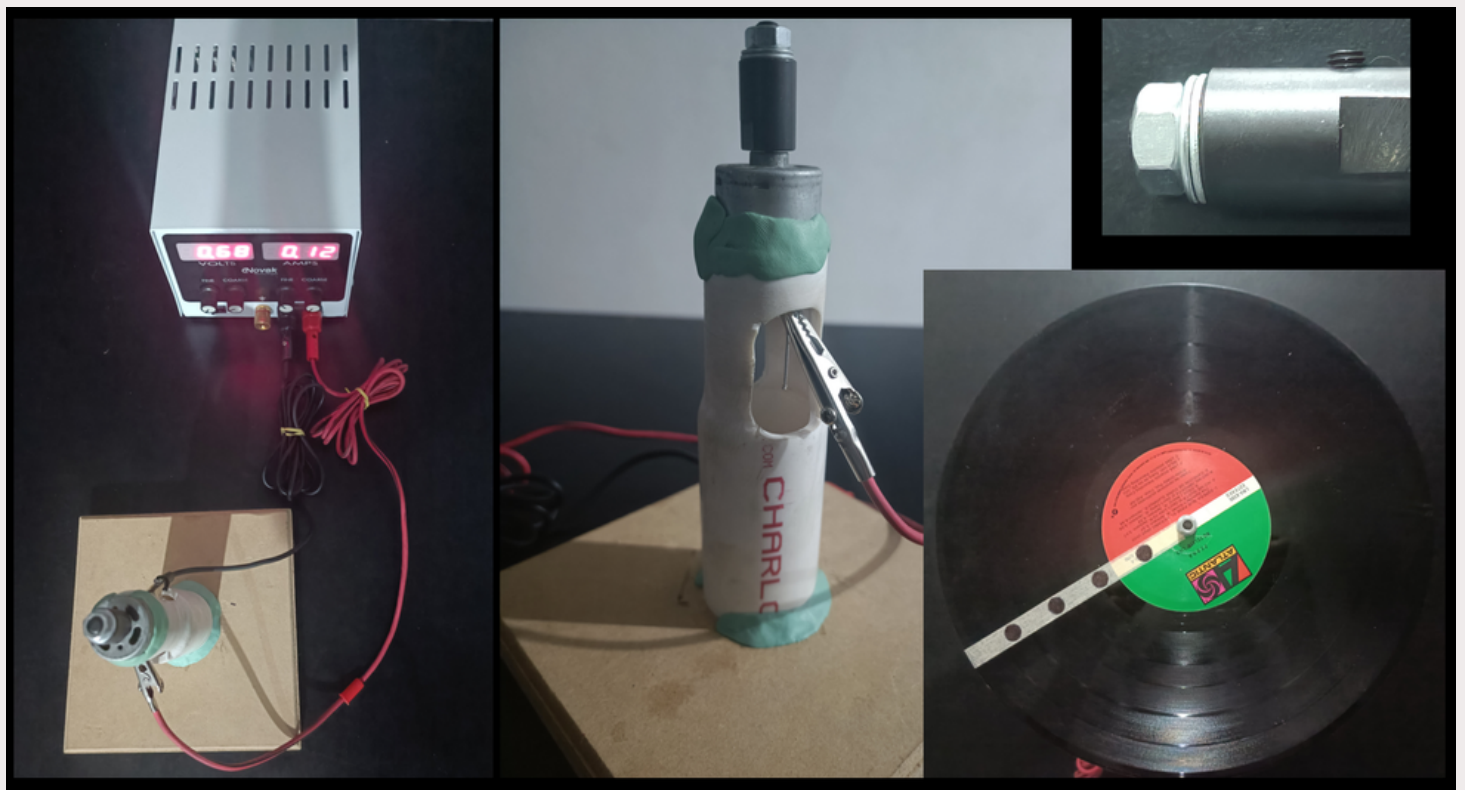


Fig. 3. Propuesta del montaje experimental para generar un MCU mediante el uso de un motor de corriente directa alimentado por una fuente de poder variable.

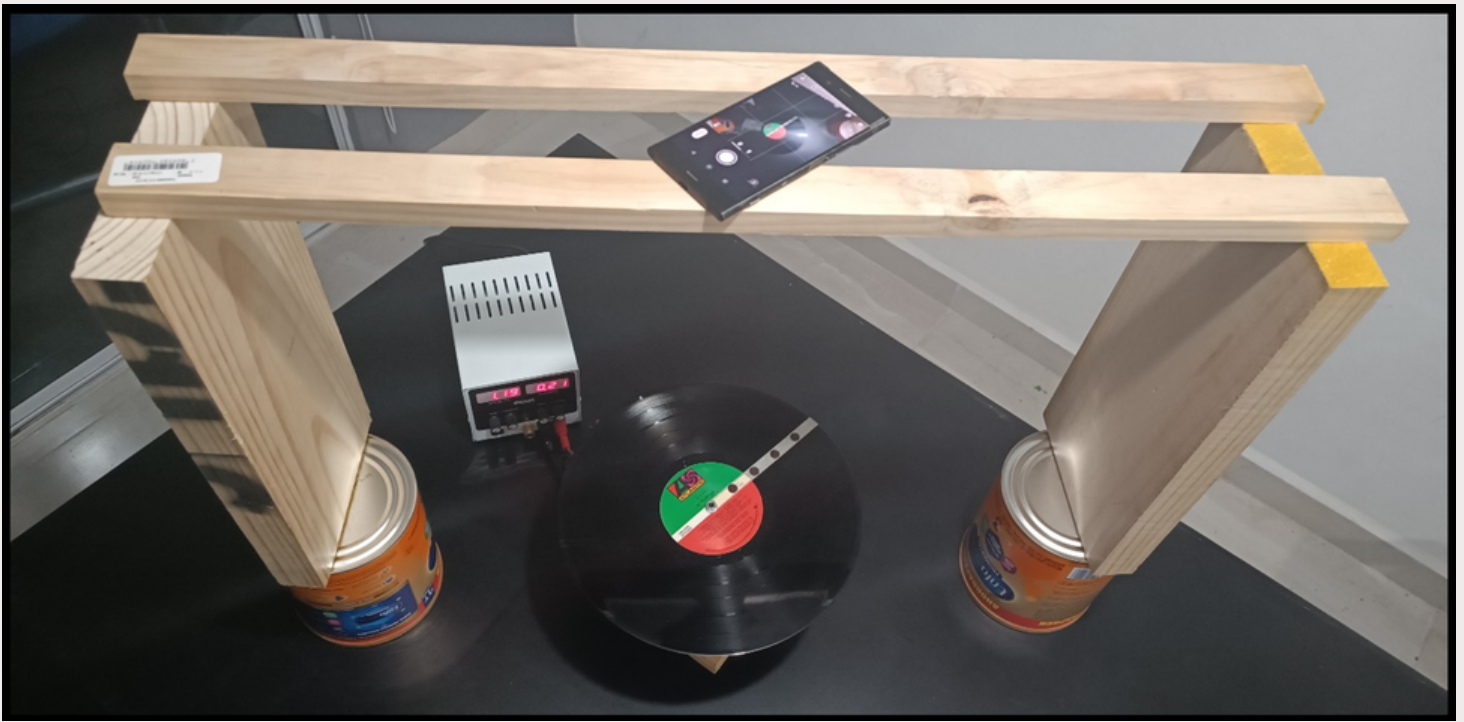


Fig. 4. Montaje experimental para obtener el video de un MCU.

ORIENTACIONES PARA LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE DATOS

Procesamiento del video con el software *video tracker*

Una vez tomados los videos se realiza su análisis con el software *video tracker*. Lo anterior con el objetivo de obtener datos del desplazamiento angular, así como las coordenadas (x,y) de un punto determinado con respecto al tiempo.

En el siguiente código QR se presenta un breve tutorial para el procesamiento del video con el software *video tracker*.



Determinación de la rapidez angular.

Realizar una gráfica del ángulo de rotación con respecto al tiempo (θ vs t). Si los datos experimentales siguen un comportamiento lineal, se determina la curva que se ajusta a ellos.

Posteriormente, mediante la interpretación con la Ec. (2), se determina la rapidez angular. El resultado se expresará rad/s, por lo que se realizará la conversión necesaria. A esta forma de determinar la rapidez angular se llamará por el método 1.

Con la finalidad de obtener la rapidez angular por medio de la medición del periodo, se realiza una grafica ya sea de x vs t o de y vs t . De las curvas senoidales o cosenoidales se obtiene el periodo, tomando dos puntos que presenten la misma fase. Luego, con los datos obtenidos se determina la rapidez angular y expresa el resultado en rad/s. A esta forma de determinar la rapidez angular se llamará por el método 2.

Tabla 1. Determinación de la rapidez angular y lineal a partir de algunas mediciones de parámetros involucrados en un MCU

r (m)	ω (rad/s) método 1	T (s)	f (Hz)	ω (rad/s) método 2	v (m/s) método 1	d (m)	v (m/s) método 2

Los resultados obtenidos se organizarán en la **tabla 1** y se explicarán las razones de las posibles diferencias entre ambos valores de la rapidez angular.

Determinación de la rapidez lineal

Para este caso se calcula la distancia recorrida, d , es decir, el perímetro correspondiente al radio analizado en el punto anterior. Con el valor medido del período se obtiene la rapidez lineal aplicando la Ec. (1). El resultado se expresará en m/s. A esta forma de determinar la rapidez lineal se nombrará por el método 1.

Después, se utiliza el valor obtenido de la rapidez angular mediante el método 1 y con ello se determina la rapidez lineal con la Ec. (4), por supuesto conociendo el valor del radio previamente medido. A esta forma de determinar la rapidez lineal la llamaremos por el método 2.

Los resultados se organizarán en la **tabla 1** y se explicarán las razones de las posibles diferencias entre ambos valores de la rapidez lineal.

Finalmente, se determina la rapidez lineal por medio del método 1 y se estudia su variación con respecto al radio de la trayectoria circular. Los valores numéricos se organizan en la **tabla 2**.

Tabla 2. Variación de la rapidez lineal con respecto al radio de la trayectoria circular.

r (m)	v (m/s)

Posteriormente, se realiza una gráfica de v vs r y se determina la ecuación de la curva que mejor se ajuste a los datos experimentales. Luego, por medio del análisis e interpretación de la Ec. (4) se obtiene la rapidez angular, la cual se contrastará con los valores obtenidos mediante los otros métodos.

LAS FORMAS DE EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los estudiantes realizarán un breve video (máximo 5 minutos) que contenga las siguientes características:

- Información de los integrantes del equipo, así como datos de la asignatura, grupo y nombre del profesor responsable.
- Descripción de los materiales utilizados y equipo para llevar a cabo la experimentación.
- Presentación de resultados organizados en tablas y gráficas, así como su análisis y discusión.
- Las conclusiones del trabajo realizado
- Bibliografía

El video será evaluado por el profesor y alumnos (de preferencia de otro grupo) mediante una rúbrica.

Como parte de una realimentación se propone la resolución de los siguientes ejercicios por parte de los alumnos:

- En unas pruebas de movimiento circular que se realizaron en una pista de 55 m de radio, un coche deportivo Porsche 911 necesito cuando menos 12.17 s para recorrer la pista sin patinar. Determina a) La frecuencia correspondiente; b) La rapidez lineal y c) El desplazamiento angular en radianes y en grados.
- La hélice de un helicóptero gira a 150 rpm (revoluciones/minuto). Si el diámetro de la hélice es de 4.0 m. Determina la velocidad lineal de la punta del aspa.

FUENTES CONSULTADAS

Álvaro, S; Rivera, W y Paredes A. (2022). Análisis grafico de la rapidez angular del movimiento circular en tiempo real a partir de un dispositivo para el laboratorio de Física. *Revista Tecnológica Espol-RTE*, vol. 34, n.2, p.52-63.

Calderón, S, et al. (2015). Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, v. 12, n.1, p. 212-226.

Douglas C. Giancoli. (1997). *Física. Principios y aplicaciones*, Ciudad de México, México: Pearson Educación.

Méndez Mendinueta, J. (2016). Diseño de una estrategia didáctica para la comprensión del movimiento circular uniforme y sus características. [Tesis de Maestría en enseñanza de las ciencias exactas y naturales, Universidad Nacional de Colombia]

Resnick, R., & Halliday, D. (2002). *Física (vol. 1)*. México: CECSA

Serway, R. Vuille, C. y Faughn, J. (2010). *Fundamentos de Física*. octava edición. CENGAGE Learning.

Tippens, Paul E. (2011). *Física, conceptos y aplicaciones*. séptima edición. México: Mc Graw Hill.

Wilson, J., Buffa, A. y Lou, B. (2007). *Física*. sexta edición. México: Pearson Educación.

INFORMACIÓN SOBRE LAS DIFICULTADES PRÁCTICAS DE LA ACTIVIDAD

En el caso de no contar con una fuente de voltaje ni un motor de corriente directa, la actividad experimental se puede realizar en casa usando la llanta de una bicicleta, un *spinner* u otro montaje experimental en donde se pueda generar un Movimiento Circular Uniforme (MCU).

También, si el celular no cuenta con cámara lenta, el video puede ser procesado en *apps* que se encuentran disponibles de manera gratuita en la *play store*, por ejemplo: *SloPro*, *TimeFreeze*, *SloGram*, *Slow Motion Video*, entre otras, con el objetivo de ralentizar el movimiento y poder distinguir y analizar con el programa *video tracker* la trayectoria circular.

Finalmente, en el caso no contar con una PC o laptop e instalar el programa *video tracker*, existe la *app Vidanalysis Free* que se puede descargar de la *play store* e instalar en un celular con sistema operativo Android. Para el sistema iOS se puede descargar la *app Video Physics for iOS*. Las *apps* anteriores realizan básicamente la misma función que *video tracker*, con la desventaja de tener un mayor margen de error al seguir la trayectoria de un objeto puntual, al menos que se cuente con una pluma digital.

PRÁCTICA 2

Estudio experimental del Movimiento Circular Uniforme Acelerado (MCUA)

Aprendizaje

Aplica el desplazamiento, la velocidad y la aceleración angulares a la resolución de problemas.

Temáticas

- Desplazamiento angular
- Velocidad angular
- Aceleración angular

PROPÓSITOS

- Diseñar y construir un prototipo experimental que permita generar un MCUA.
- Utilizar el uso del celular para la adquisición de datos experimentales mediante el video, así como el uso del software *video tracker* para el procesamiento y análisis del mismo.

EXPLICACIÓN SOBRE SU APLICACIÓN PARA LOGRAR LOS APRENDIZAJES PROPUESTOS

Para lograr el aprendizaje propuesto, los alumnos diseñarán y construirán un montaje experimental que permita generar un Movimiento Circular Uniformemente Acelerado (MCUA).

Se utilizará el análisis del video con el software *video tracker*, el cual brinda la posibilidad de obtener datos experimentales del cambio en el desplazamiento angular con respecto al tiempo en un MCUA. Mediante el análisis e interpretación de los datos obtenidos los estudiantes determinarán la velocidad y aceleración angular en el MCUA.

INTRODUCCIÓN

La aceleración angular es la tasa a la que su rapidez angular cambia con el tiempo. Si la rapidez angular cambia uniformemente de ω_1 a ω_2 en un tiempo t , entonces la aceleración angular, α , es constante y se define como:

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t} \quad (1)$$

Existen ecuaciones para el MCUA que incluyen el desplazamiento angular, θ , y la rapidez angular. Estas son análogas a las del movimiento lineal uniformemente acelerado y se expresan de la siguiente forma:

$$\omega_f = \omega_i + \alpha t \quad (2)$$

$$\omega_f^2 = \omega_i^2 + 2\alpha\theta \quad (3)$$

$$\theta = \omega_i t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \quad (4)$$

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

Diseño y construcción del dispositivo experimental.

Para este caso se puede utilizar el montaje experimental mostrado en la Práctica 1, en donde se realizan dos variantes, en primer instancia se generará un movimiento circular acelerado incrementando el voltaje en la fuente de poder o desacelerar el disco apagando la fuente una vez que el sistema haya logrado un movimiento circular constante y tomar el video hasta que se detenga.

También, si no se cuenta con la fuente de voltaje o motor de corriente directa, se puede usar la llanta de una bicicleta, *spinner* u otro sistema en donde se genere un MCUA.

Montaje experimental para la toma de videos del MCUA.

En montaje deberá ser tal que los videos estén alineados y se recomienda utilizar la cámara lenta para seguir de mejor forma la trayectoria de una particular que sea identificable sobre la superficie del disco, rin de la llanta o el sistema que se haya decidido lleva a cabo.

ORIENTACIONES PARA LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE DATOS

Los videos se procesan con el programa *video tracker* con el objetivo de obtener valores del desplazamiento angular con respecto al tiempo. La forma del procesamiento es análogo al explicado en el código QR presentado en la práctica 1.

Posteriormente, se realiza una gráfica de θ vs t y se determina la curva que mejor se ajuste a los datos experimentales. Mediante la interpretación de la Ec. (4) se obtiene el valor de la aceleración angular y la rapidez angular inicial.

LAS FORMAS DE EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los estudiantes realizarán una infografía que contenga las siguientes características:

- Información de los integrantes del equipo, así como datos de la asignatura, grupo y nombre del profesor responsable.
- Descripción de los materiales utilizados y equipo para llevar a cabo la experimentación.
- Presentación de resultados organizados en tablas y gráficas, así como su análisis y discusión.
- Las conclusiones del trabajo realizado
- Bibliografía

La infografía será evaluado por el profesor y alumnos (de preferencia de otro grupo) mediante una rúbrica.

Como parte de una realimentación se propone la resolución de los siguientes ejercicios por parte de los alumnos:

- Un tocadiscos que gira a 25 rpm se desconecta. Se frena con aceleración angular constante y queda parado al cabo de 20 s. Determinar a) la aceleración angular. b) ¿Cuál es la rapidez angular media del tocadiscos?. c) ¿Cuántas revoluciones realiza antes de detenerse?

- Un motor eléctrico arranca desde el reposo y alcanza su rapidez de rotación normal de 150 rpm en 2 segundos y después marcha con rapidez constante. Suponiendo que durante ese tiempo la aceleración angular es constante, determina: a) la aceleración angular, b) la rapidez angular a los 1.5 s de haber conectado el motor y c) el número de revoluciones del eje de la maquina durante el primer segundo.

FUENTES CONSULTADAS

Alonso, M. y Rojo, O. (1981). *Física mecánica y termodinámica*. México: Fondo Educativo Interamericano.

Calderón, S, et al. (2015). Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, v. 12, n.1, p. 212-226.

Douglas C. Giancoli. (1997). *Física. Principios y aplicaciones*, Ciudad de México, México: Pearson Educación.

Monsoriu, J.A; Ballester, E, Giménez, M.H; Manjón, F.J y Gómez, J.A. (2015). Implementación del sensor de aceleración de los smartphones en prácticas de laboratorio de dinámica del sólido rígido. *Innovación educativa en las enseñanzas técnicas*, vol. 2, pp:1023-1030.

Serway, R. Vuille, C. y Faughn, J. (2010). *Fundamentos de Física*. octava edición. CENGAGE Learning.

Tippens, Paul E. (2011). *Física, conceptos y aplicaciones*. séptima edición. México: Mc Graw Hill.

INFORMACIÓN SOBRE LAS DIFICULTADES PRÁCTICAS DE LA ACTIVIDAD

En el caso de no contar con una fuente de voltaje ni un motor de corriente directa, la actividad experimental se puede realizar en casa usando la llanta de una bicicleta, un *spinner* u otro montaje experimental en donde se pueda generar un Movimiento Circular Uniforme (MCU).

También, si el celular no cuenta con cámara lenta, el video puede ser procesado en *apps* que se encuentran disponibles de manera gratuita en la *play store*, por ejemplo: *SloPro*, *TimeFreeze*, *SloGram*, *Slow Motion Video*, entre otras, con el objetivo de ralentizar el movimiento y poder distinguir y analizar con el programa *video tracker* la trayectoria circular.

Finalmente, en el caso no contar con una PC o laptop e instalar el programa *video tracker*, existe la *app Vidanalysis Free* que se puede descargar de la *play store* e instalar en un celular con sistema operativo Android. Para el sistema iOS se puede descargar la *app Video Physics for iOS*. Las *apps* anteriores realizan básicamente la misma función que *video tracker*, con la desventaja de tener un mayor margen de error al seguir la trayectoria de un objeto puntual, al menos que se cuente con una pluma digital.

PRÁCTICA 3

Determinación del valor de la gravedad a través del concepto de fuerza centrípeta

Aprendizajes

Utiliza los conceptos de aceleración y fuerza centrípeta en la resolución de problemas para explicar la relación con el movimiento circular uniforme y otros sistemas no inerciales, así como contrastar modelos matemáticos con la realidad.

Aplica sus conocimientos sobre la fuerza centrípeta a problemas relacionados con movimiento en tres dimensiones.

Temáticas

- Aceleración centrípeta.
- Fuerza centrípeta.
- Aplicaciones fuerza centrípeta.

PROPÓSITOS

- Diseñar y realizar dos experimentos en donde se manifieste la fuerza centrípeta en un Movimiento Circular Uniforme (MCU).
- Plantear modelos que describan los fenómenos observados y determinar el valor de la gravedad para su contrastación.
- Utilizar las TICs para la adquisición, análisis e interpretación de datos experimentales.

EXPLICACIÓN SOBRE SU APLICACIÓN PARA LOGRAR LOS APRENDIZAJES PROPUESTOS

Para lograr los aprendizajes se propone el diseño y la realización de dos experimentos en donde se observe y analice el efecto de la aceleración y fuerza centrípeta en la descripción de un Movimiento Circular Uniforme (MCU).

En el primer experimento se analiza el MCU de una esfera sobre las paredes inclinadas de un vaso, mientras que en el segundo se logra suspender una botella con agua con el MCU de una pelota.

Para la adquisición de datos experimentales se utiliza el video en cámara lenta y el software *video tracker* para su análisis. Se plantean modelos fisicomatemáticos para la descripción del movimiento y se determina el valor de la gravedad con la finalidad de contrastar dichos modelos.

INTRODUCCIÓN

Consideremos el esquema de la **Fig. 1**, en donde se representa un diagrama de cuerpo libre de la esfera que se mueve con MCU sobre las paredes de un vaso. Tomando en cuenta el sistema de referencia (líneas puntuadas en color negro), despreciando la fuerza de fricción y aplicando la segunda ley de Newton, se cumple que en la componente x:

$$F_N \cos(90 - \theta) = m \frac{v^2}{R} \quad (1)$$

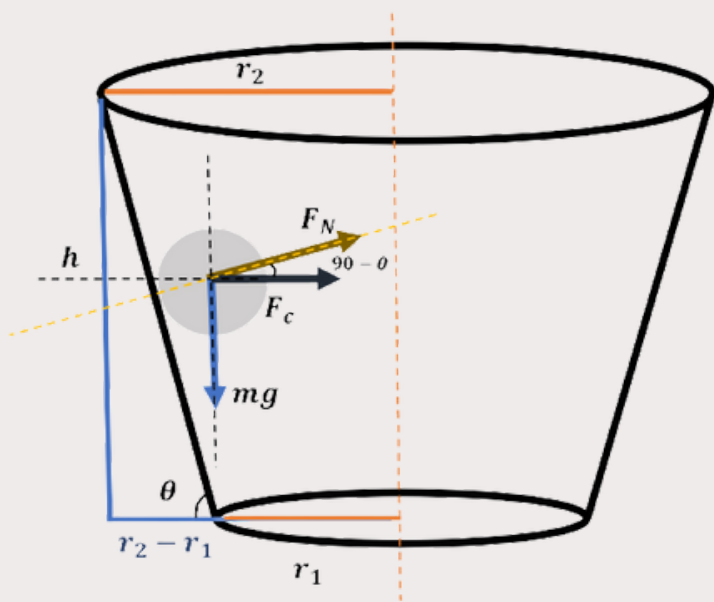


Fig.1. Diagrama de cuerpo libre de la esfera que se desliza en un MCU sobre las paredes del vaso cónico.

En donde, F_N es la fuerza normal, la cual es perpendicular a la superficie del vaso, mientras que el término cuadrático de la rapidez lineal entre el radio de la trayectoria circular, es precisamente la aceleración centrípeta, que al multiplicarla por la masa de la esfera se tiene magnitud de la fuerza centrípeta.

Por otra parte, al considerar las fuerzas en la componente y y aplicando nuevamente la segunda ley de Newton, se tiene:

$$F_N \text{sen}(90 - \theta) = mg \quad (2)$$

De la Ec. (1) y (2) y teniendo en cuenta que $v=R\omega$, se puede deducir que:

$$g = \frac{R\omega^2}{\tan\theta} \quad (3)$$

Del esquema de la **Fig. 1**, se puede determinar $\tan \theta$ en términos de las dimensiones del vaso, es decir, del radio superior e inferior, así como de su altura, por lo que la Ec. (3) se puede expresar de la siguiente manera:

$$g = R\omega^2 \frac{r_2 - r_1}{h} \quad (4)$$

Ahora, consideremos el diagrama de la **Fig. 2**, el cual representa el segundo experimento que consiste en suspender una botella mediante la aplicación de la fuerza centrípeta presente en un MCU de un objeto (pelota) de masa m .

Aplicando segunda ley de Newton a la botella de masa M y considerando por supuesto que se encuentra en equilibrio, se puede obtener:

$$T = Mg \quad (5)$$

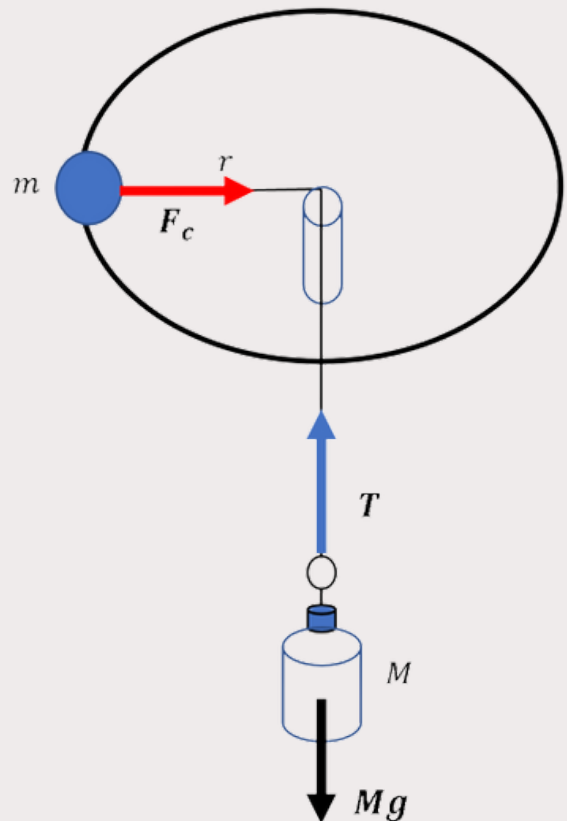


Fig.2. Esquema representativo del experimento 2.

Por otra parte, en el caso de la pelota de masa m se cumple que:

$$T = m \frac{v^2}{R} \quad (6)$$

De la Ec. (6) y (7) y considerando que $v=R\omega$, se puede demostrar que:

$$g = \frac{m}{M} R\omega^2 \quad (7)$$

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

Diseño y construcción de los prototipos experimentales

En el primer experimento se utilizará un vaso con geometría cónica. Se coloca dentro del vaso un balón metálico (o canica) y con la mano se genera un MCU, de tal forma que el balón se desplace sobre las superficies del vaso, ver **Fig. 3**.

Una vez que se haya estabilizado el movimiento a una determinada altura se toma un video en cámara lenta. Para ello se coloca un celular en la parte superior de manera paralela al plano del vaso.

También, con el objetivo de medir el radio de la trayectoria circular, R , se coloca una marca a la altura en que la esfera se desplace y con la ayuda de un hilo se mide el perímetro y por tanto el radio R .

El procedimiento anterior se realizará con al menos tres radios diferentes.

Finalmente, con la ayuda de un flexómetro o regla se miden las magnitudes descritas en la Ec. (4).

En el caso del segundo experimento se utilizará una pelota de goma, hilo cáñamo, el tubo de un bolígrafo, una botella de plástico, un tornillo con tuerca y una armella.

Con la ayuda de un taladro se realiza una perforación en el centro de la pelota con el objetivo de introducir el tornillo y sujetarlo con la tuerca, ver **Fig. 4**. Esto es importante ya que al momento de generar el MCU evitará que la pelota salga desprendida y pueda generar un accidente o romper algún objeto.

Luego, en un extremo de la pelota se ata el hilo cáñamo y se hace pasar por el tubo del bolígrafo sujetándolo en el otro extremo de la armella previamente fijado en la taparrosca de la botella.

Posteriormente, se procede a realizar el experimento. Para ello se coloca cierta cantidad de agua en la botella y se genera el MCU colocando la mano sobre el bolígrafo (sin tocar el hilo).

Una vez que se haya estabilizado el movimiento, es decir, que la botella se logre suspender por el efecto de la fuerza centrípeta, se toma un video en la parte superior.



Fig. 3. Diseño del prototipo correspondiente al experimento 1 para determinar el valor de la gravedad por medio del concepto de fuerza centrípeta

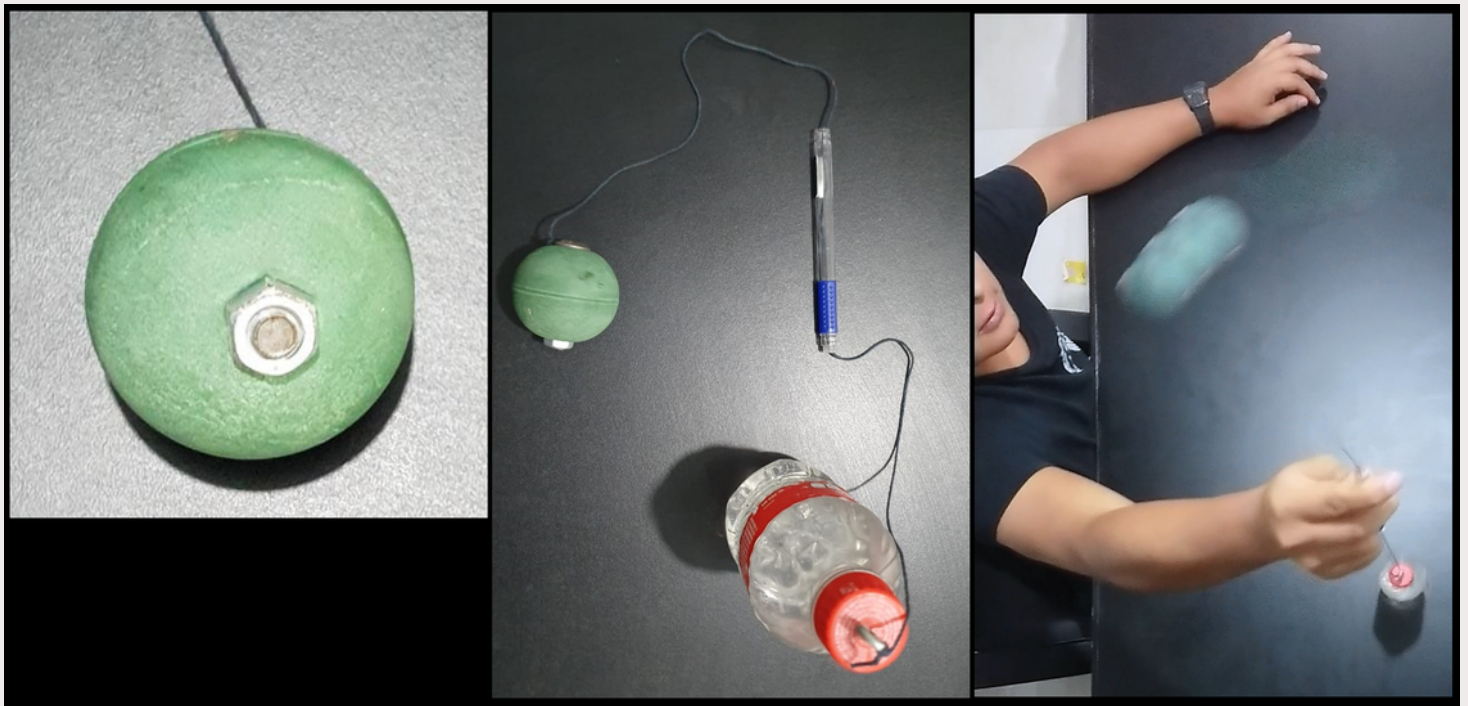


Fig. 4. Montaje del prototipo correspondiente al experimento 2 para determinar el valor de la gravedad por medio del concepto de fuerza centrípeta

Para medir el radio de la trayectoria circular, se coloca el pulgar en la parte superior del bolígrafo y se frena el movimiento. Después, con la ayuda de un flexómetro se mide el radio.

El procedimiento anterior se realizará con al menos tres radios diferentes.

Finalmente, con la ayuda de una bascula se mide la masa de la pelota y de la botella y mediante la Ec. (7) se obtiene el valor de la gravedad.

ORIENTACIONES PARA LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE DATOS

Determinación del valor de la gravedad con el experimento 1

Se miden las dimensiones geométricas del vaso y se genera el MCU con al menos tres radios. Para obtener la rapidez angular se procesa el video con el software *video tracker* tal y como se realizó en la práctica 1.

Posteriormente, se determina el valor de la gravedad mediante la Ec. (4). Para cada radio se contrasta el valor encontrado de la gravedad con el reportado en la literatura por medio del error porcentual, ver Ec. (8). Se organizan los resultados en la **tabla 1**.

$$\varepsilon(\%) = \frac{|g_{teo} - g_{exp}|}{g_{teo}} \times 100 \quad (8)$$

Tabla 1. Determinación de la gravedad mediante el experimento 1

R (m)	ω (rad/s)	g_{exp} (m/s ²)	ε (%)

Determinación del valor de la gravedad con el experimento 2

Se determina el valor de la rapidez angular mediante el procesamiento de los videos con el programa *video tracker*. Posteriormente, con el valor medido de la masa de la pelota y la botella se obtiene el valor de la gravedad por medio de la Ec. (7). También, al igual que el experimento 1 se contrasta el resultado con el calculo del error porcentual y se organizan los resultados en una tabla similar a la mostrada anteriormente.

LAS FORMAS DE EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

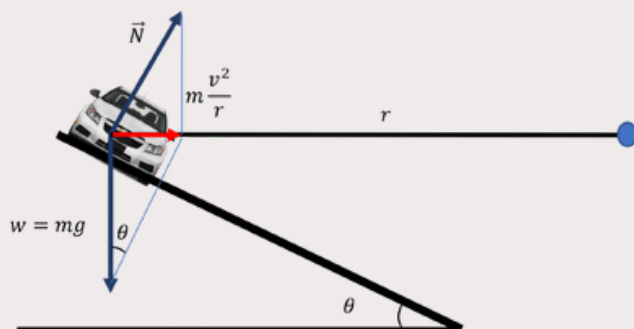
Los alumnos realizarán una presentación que contenga las siguientes características:

- Información de los integrantes del equipo, así como datos de la asignatura, grupo y nombre del profesor responsable.
- Descripción de los materiales utilizados y equipo para llevar a cabo la experimentación.
- Presentación de resultados organizados en tablas y gráficas, así como su análisis y discusión.
- Las conclusiones del trabajo realizado
- Bibliografía

La presentación se realizará en plenaria con el objetivo se realizar aportaciones por parte de los alumnos y profesor, en donde se realice una realimentación con la finalidad de mejorar el trabajo.

También, los alumnos resolverán de manera colaborativo el siguiente ejercicio:

- Una curva de 25 m de radio esta peraltada de manera que un automóvil puede tomarla a una velocidad de 20 m/s. Hallar la pendiente de la curva.



FUENTES CONSULTADAS

Collazos, M.C y Mora, C. (2011). Prototipo para medir fuerza centrípeta en función de masa, radio y periodo. *Lat. Am. J. Phys. Educ. Vol. 5, No. 2, pp: 520-525.*

Edge, R.D. (2002). *Experimentos con hilos y cinta adhesiva*. USA. American Physical Society y American Association of Physics Teachers (Con la colaboración de la Sociedad Mexicana de Física).

Haliday, D., Resnick, R. y Walker, J. (2011). *Fundamentos de física, Volumen 1*, octava edición. México: Grupo Editorial Patria.

Hidalgo, M.A y Medina, J. (2008). *Laboratorio de Física*. Madrid, España. Pearson Educación.

Jones, E y Childers, R. (2001). *Física contemporánea*, tercera Edición. México: McGraw Hill.

INFORMACIÓN SOBRE LAS DIFICULTADES PRÁCTICAS DE LA ACTIVIDAD

En el caso del primer experimento, la dificultad radica en la generación de un MCU estable de la esfera a una altura determinada del vaso, ya que se realiza con la mano.

Por otra parte, en ambos experimentos se requiere la ayuda de al menos dos integrantes para poder grabar los video. El caso de que la actividad se lleve a acabo en un ambiente virtual se podría involucrar a amigos y familiares para realizarla.

También, si el celular no cuenta con cámara lenta, el video puede ser procesado en *apps* que se encuentran disponibles de manera gratuita en la *play store*, por ejemplo: *SloPro*, *TimeFreeze*, *SloGram*, *Slow Motion Video*, entre otras, con el objetivo de ralentizar el movimiento y poder distinguir y analizar con el programa *video tracker* la trayectoria circular.

Finalmente, en el caso no contar con una PC o laptop e instalar el programa *video tracker*, existe la *app Vidanalysis Free* que se puede descargar de la *play store* e instalar en un celular con sistema operativo Android. Para el sistema iOS se puede descargar la *app Video Physics for iOS*. Las *apps* anteriores realizan básicamente la misma función que *video tracker*, con la desventaja de tener un mayor margen de error al seguir la trayectoria de un objeto puntual, al menos que se cuente con una pluma digital.

PRÁCTICA 4

Obtención del centro de masa de una placa homogénea y de espesor uniforme

Aprendizaje

Determina el centro de masa de un sistema de cuerpos rígidos.

Temática

- Centro de masa

PROPÓSITOS

- Construir una placa homogénea y de espesor uniforme.
- Determinar el centro de masa de la placa de manera experimental y contrastarlo con un modelo teórico.

INTRODUCCIÓN

Consideremos una placa horizontal, ver **Fig. 1**, la cual se puede dividir en pequeños elementos cuyas coordenadas se pueden representar con (x_1, y_1) ; (x_2, y_2) y así sucesivamente. Por otra parte, las fuerzas que actúan sobre dichos elementos serán representadas por w_1 ; w_2 , etc, y están dirigidas hacia el centro de la Tierra y para propósitos prácticos son paralelas, por lo que la fuerza resultante será en la misma dirección.

EXPLICACIÓN SOBRE SU APLICACIÓN PARA LOGRAR LOS APRENDIZAJES PROPUESTOS

Para lograr el aprendizaje se propone la construcción de una placa homogénea irregular de espesor uniforme hecha con cartón.

Los estudiantes determinarán el centro de masa de la placa de manera experimental. Para ello se suspenderá la placa de por lo menos dos puntos (por separado) hasta que llegue al equilibrio y se localizará el centro de gravedad mediante la intersección de dos líneas verticales.

Posteriormente, la placa irregular se dividirá en figuras regulares cuyo centro de gravedad sea conocido. Luego, aplicando que el momento del peso de toda la placa con respecto a un eje es igual a la suma de los momentos de los pesos de las diferentes partes con respecto a ese mismo eje se calculará el centro de masa de la placa irregular.

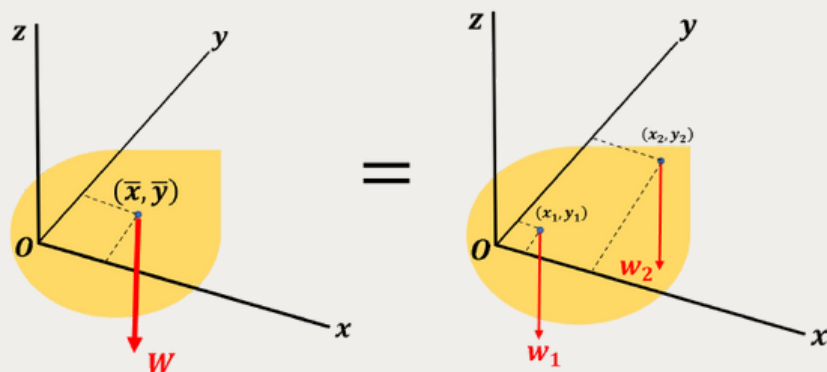


Fig.1. Representación esquemática del centro de gravedad de una placa irregular y su equivalencia con la placa dividida en elementos pequeños.

Luego, para determinar el centro de masa se puede determinar la suma de momentos en ambos ejes, es decir:

$$\sum M_y: \quad \bar{x}W = x_1w_1 + x_2w_2 + \dots + x_nw_n \quad (1)$$

$$\sum M_x: \quad \bar{y}W = y_1w_1 + y_2w_2 + \dots + y_nw_n \quad (2)$$

En el caso de una placa homogénea y de espesor uniforme, la magnitud del peso se puede expresar en términos de su área, densidad ($\rho = m/V$); siendo, m , la masa y V el volumen, que a su vez se puede expresar como ($V=At$), donde t , es el espesor de la placa, teniendo en cuenta lo anterior:

$$w_1 = \rho A_1 t g \quad (3)$$

$$W = \rho A t g \quad (4)$$

En donde A , es el área total de la placa. Por tanto, sustituyendo las Ec. (3) y (4) en (1) y (2) para cada elemento de masa, se obtiene el centro de masa con las siguientes expresiones:

$$\bar{x} = \frac{x_1A_1 + x_2A_2 + \dots + x_nA_n}{A} \quad (5)$$

$$\bar{y} = \frac{y_1A_1 + y_2A_2 + \dots + y_nA_n}{A} \quad (6)$$

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

Construcción de la placa irregular y determinación experimental de su centro de masa.

Con la ayuda de cartón, compas y tijeras se construye la siguiente placa irregular con las dimensiones mostradas en la **Fig. 2**.

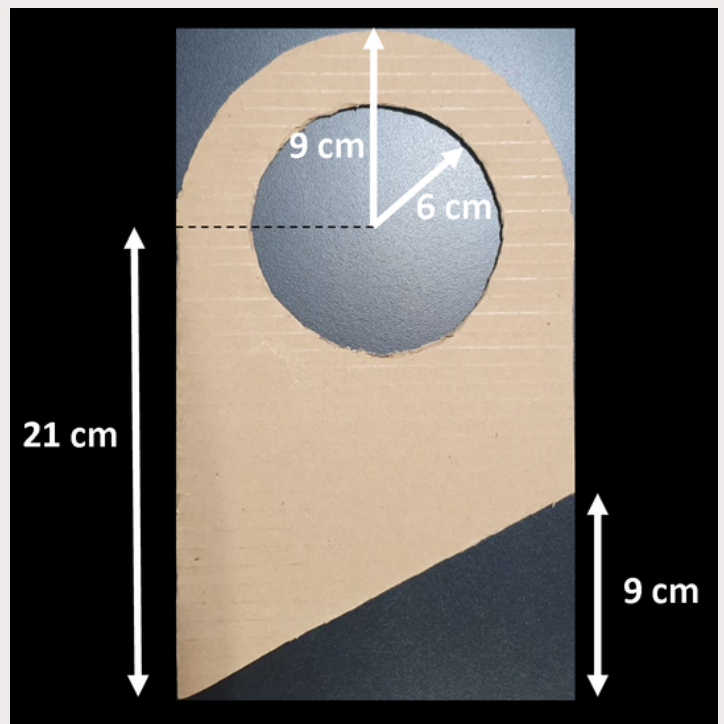


Fig.2. Placa homogénea de espesor uniforme construida con cartón.

Posteriormente, con la ayuda de una aguja o alambre realizar una perforación en un punto de la placa. Colocar la aguja de manera perpendicular de tal forma que la placa oscile y esperar hasta que se mantenga en equilibrio. En ese instante suspender un hilo con un contrapeso, ver **Fig. 3**. Luego se pone una marca en dirección a la vertical formada por el hilo y se traza la lineal con un plumón que une la perforación con la marca realizada.

El procedimiento anterior se hace con otro punto y la intersección de ambas líneas será el centro de masa de la placa. Colocar un sistema de referencia de tal forma de ubicar el punto de intersección mediante coordenadas cartesianas.

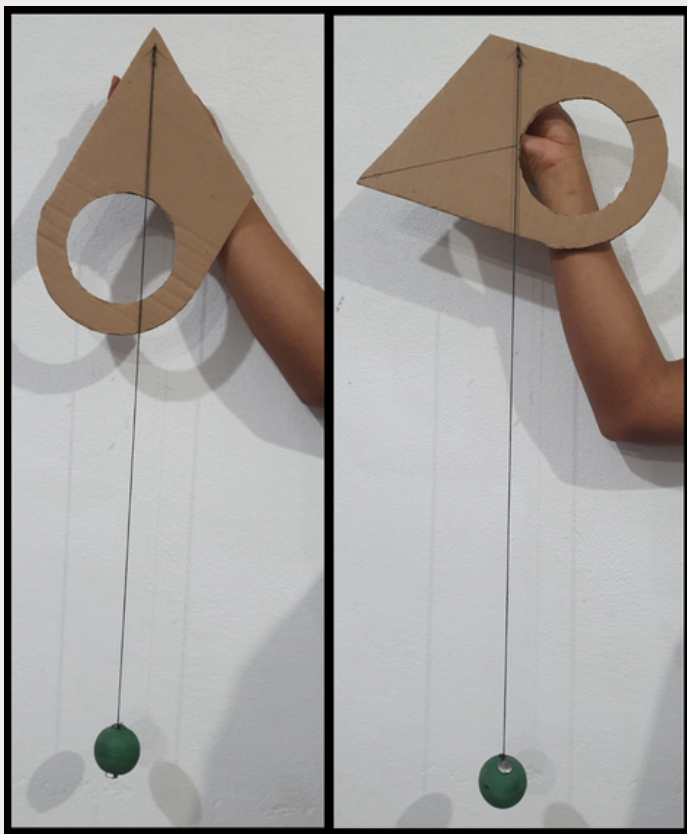


Fig.3. Determinación experimental del centro de masa de la placa

ORIENTACIONES PARA LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE DATOS

Obtención del centro de masa de la placa irregular.

Se divide la placa irregular en figuras regulares. Posteriormente, mediante el sistema de referencia previamente utilizado, se localiza el centro de masa de las figuras regulares. También, se calcula el área de cada figura regular, así como de la placa irregular. Los datos antes mencionados se organizan en la **tabla 1**.

Mediante las Ec. (5) y (6) se determina el centro de masa. Finalmente se contrasta el resultado con el obtenido experimentalmente a través del cálculo del error porcentual en cada coordenada del centro de masa.

Tabla 1. Organización de las coordenadas del centro de masa de las figuras regulares y su área.

Figura	x (cm)	y (cm)	A (cm)
1			
2			
3			
.....

LAS FORMAS DE EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los alumnos realizarán una presentación que contenga las siguientes características:

- Información de los integrantes del equipo, así como datos de la asignatura, grupo y nombre del profesor responsable.
- Descripción de la placa irregular y su determinación del centro de masa de manera experimental, en donde se muestren sus coordenadas.
- Cálculo teórico del centro de masa de la placa y su contrastación con el resultado experimental.
- Las conclusiones del trabajo realizado
- Bibliografía

La presentación se realizará en plenaria con el objetivo se realizar aportaciones por parte de los alumnos y profesor, en donde se realice una realimentación con la finalidad de mejorar el trabajo.

FUENTES CONSULTADAS

Beer, F.P; Johnston, R.E; Eisenberg, R.E y Staab, H.G. (2005). *Mecánica vectorial para ingenieros-Estática*, séptima edición, Ciudad de México, McGrawHill.

Douglas C. Giancoli. (1997). *Física. Principios y aplicaciones*, Ciudad de México, México: Pearson Educación.

Griffith, W.T. (2014). *Física conceptual*. Ciudad de México, McGrawHill Education.

Resnick, R., & Halliday, D. (2002). *Física (vol. 1)*. México: CECSA

INFORMACIÓN SOBRE LAS DIFICULTADES PRÁCTICAS DE LA ACTIVIDAD

En este caso se considera que no existen dificultades prácticas para llevar a cabo la actividad, ya que se utilizan materiales de fácil acceso para los alumnos y se puede realizar en ambientes presenciales, virtuales e híbridos.

PRÁCTICA 5

Variación de momento de inercia con respecto a la distribución de masa

Aprendizajes

Resuelve problemas que relacionen la aceleración lineal con la aceleración angular.

Determina el momento de inercia de un sistema discreto de cuerpos.

Resuelve problemas que involucren el momento de inercia de cuerpos sólidos regulares.

Temáticas

- Parámetros lineales y angulares.
- Momento de inercia.
- Momento de inercia de cuerpos sólidos.

PROPÓSITOS

- Diseñar y construir un prototipo experimental que permita medir la variación del momento de inercia con respecto a la distribución de masa de un sistema de cuerpos rígidos.
- Plantear un modelo que describa el fenómeno observado y contrastarlo mediante la experimentación.
- Utilizar las TICs para la adquisición, análisis e interpretación de datos experimentales.

EXPLICACIÓN SOBRE SU APLICACIÓN PARA LOGRAR LOS APRENDIZAJES PROPUESTOS

Para lograr los aprendizajes propuestos se propone una actividad experimental que consiste en estudiar el movimiento traslacional y rotacional de dos discos al descender sobre un plano inclinado.

Los discos se unen con bloques de madera y pijas metálicas. La idea principal es determinar el valor de la aceleración lineal del sistema de cuerpos rígidos al variar la distribución de masa con respecto a un eje de rotación y de esta forma observar cómo cambia el momento de inercia, a pesar de que la masa total del sistema se mantenga constante. La adquisición de datos experimentales se realizará por medio de videos en cámara lenta, los cuales se pueden tomar con un celular. El procesamiento y parte del análisis se hará con el software *video tracker*.

INTRODUCCIÓN

Consideremos la rodadura de un disco sobre un plano inclinado, ver **Fig. 1**. Para analizar su movimiento (traslacional y rotacional) se identifican las fuerzas que actúan sobre el disco, en este caso su peso (vector en color rojo), la fuerza de fricción (vector en color verde) y la fuerza normal (vector en color amarillo). Por tanto,, aplicando la segunda ley de Newton en su forma traslacional y tomando en cuenta las fuerzas en la dirección del movimiento, es decir, la componente x, se llega a:

$$M_t g \sin \theta - f = M_t a \quad (1)$$

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

Diseño y construcción del sistema de cuerpos rígidos.

Para la construcción del sistema de cuerpos rígidos se pueden usar dos discos de acetato antiguos. Se recomienda colocar un transportador impreso centrado en la superficie del disco, esto con la finalidad de marcar dos líneas perpendiculares entre sí y posteriormente realizar perforaciones con la ayuda de un taladro a una determinada distancia del eje de giro, ver

Fig. 2.

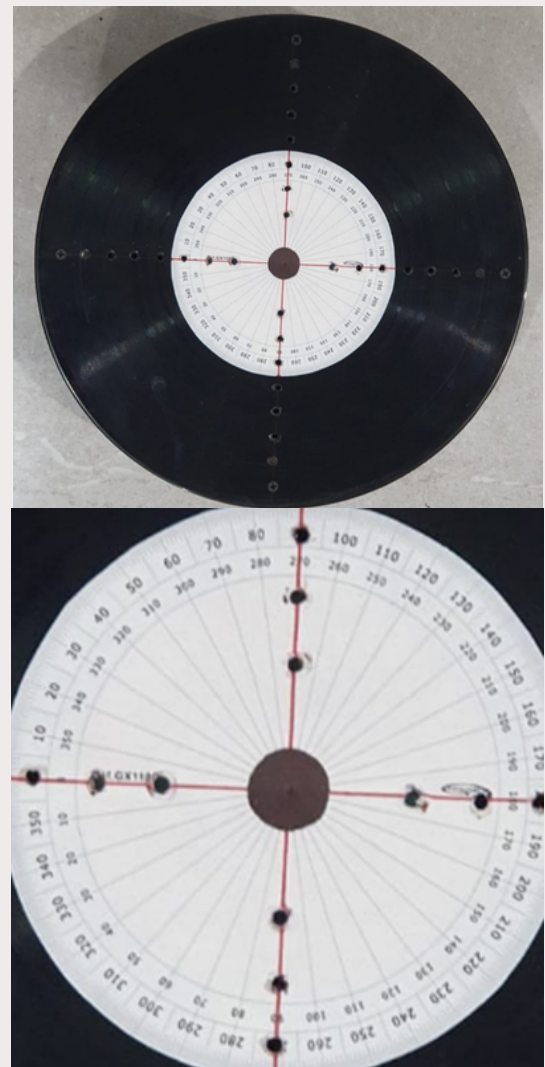


Fig.2. Vista superior de los discos de acetato. En la parte inferior se puede observar una ampliación de la impresión del transportador, el trazado de las líneas y las perforaciones realizadas de manera simétrica.

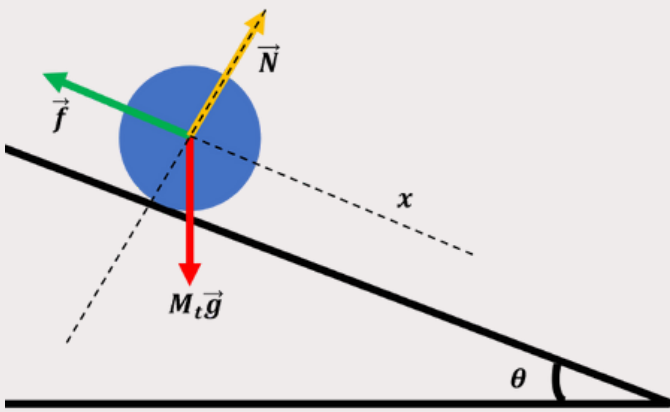


Fig.1. Identificación de las fuerzas que actúan sobre un disco al rodar en un plano inclinado

Ahora, considerando la segunda ley de Newton en su forma rotacional y tomando como eje de rotación el centro de masa del disco, se tiene que la única torca diferente de cero en el sistema, es la fuerza de fricción, de tal forma que:

$$fR = I_t \alpha \quad (2)$$

En donde, I_t es el momento de inercia y α la aceleración angular. Relacionando la aceleración lineal con la angular por medio del radio, es decir, $a = R\alpha$, entonces la Ec. (2) se puede expresar como:

$$fR = I_t \frac{a}{R} \quad (3)$$

De la Ec. (1) y (3) y realizando algunos pasos algebraicos se obtiene la aceleración lineal mediante la siguiente expresión:

$$a = \frac{M_t g \text{sen} \theta}{M_t + \frac{I_t}{R^2}} \quad (4)$$

Para la distribución de la masa en el sistema se pueden usar bloques de madera que unen a los discos con la ayuda de pijas metálicas. Esto permitirá ir colocando la masa a distintas posiciones, pero manteniendo la masa total del sistema constante. En la **Fig. 3** se muestra el sistema de cuerpo rígido ya construido.

Una vez construido el sistema de cuerpos rígidos se proceden a realizar los experimentos. En primer instancia se utiliza un plano inclinado, que puede ser una tabla de madera, ver **Fig. 4**.

Posteriormente, se deja caer el sistema y se toman videos con un celular del movimiento. Es importante que se centre la cámara del celular y se fije en esa posición, de tal manera que todos los videos se tomen de la misma forma. Por supuesto se tomará un video por cada posición de los bloques.

Es importante poner una marca que aparezca en los videos, esto con el objetivo de identificar las condiciones experimentales para un posterior análisis, ya que en los videos probablemente no se visualice la posición de los bloques.

También, si el movimiento es relativamente rápido, se recomienda tomar los videos en cámara lenta, con la finalidad de que no se distorsione el movimiento en el video y por tanto se dificulte el futuro análisis en *video tracker*.

Finalmente, con la ayuda de un transportador medir el ángulo de inclinación del plano inclinado. También, se puede calcular a partir de la medición de los catetos e hipotenusa y aplicar algunas relaciones trigonométricas.



Fig. 3. En la parte izquierda de la imagen se pueden observar los bloques de madera y las pijas metálicas usadas. En la parte central de la imagen se muestra cómo se pueden distribuir los bloques de manera simétrica. En la parte derecha se presenta el sistema de cuerpo rígido visto de manera lateral.

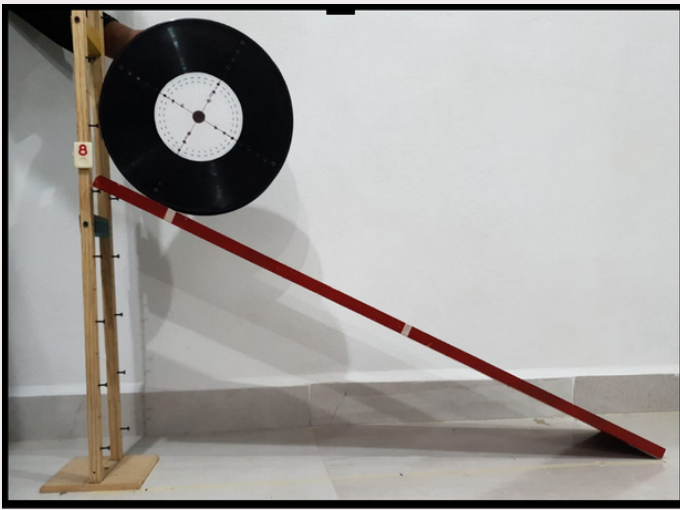


Fig. 4. Montaje experimental para estudiar la rodadura de un sistema de cuerpos rígidos sobre un plano inclinado.

ORIENTACIONES PARA LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE DATOS

Determinación del momento de inercia del sistema de cuerpos rígidos

En primer lugar, se medirá la masa de los discos y su radio, para lo cual se puede utilizar una balanza y un flexómetro, respectivamente.

Debido a que se está considerando el eje de rotación en el centro de masa de los discos, el momento de inercia correspondiente se determina con la siguiente expresión:

$$I_D = \frac{1}{2} M_{D1} R^2 + \frac{1}{2} M_{D2} R^2 \quad (5)$$

En el caso de que los bloques tengan la geometría de un prisma cuadrangular y teniendo en cuenta el teorema de los ejes paralelos, es decir, "el momento de inercia con respecto a cualquier eje paralelo a un eje, que pasa por el centro de masa, es igual al momento de inercia con respecto a este último más el producto de la masa por el cuadrado de la distancia entre los dos". Se puede expresar el momento de inercia de los bloques de la siguiente forma:

$$I_B = A + Br^2 \quad (6)$$

En donde A es precisamente el momento de inercia de los bloques para un eje que gira en su centro de masa, es decir:

$$A = \frac{1}{12} m_{B1}(b_1^2 + c_1^2) + \frac{1}{12} m_{B2}(b_2^2 + c_2^2) + \frac{1}{12} m_{B3}(b_3^2 + c_3^2) + \frac{1}{12} m_{B4}(b_4^2 + c_4^2) \quad (7)$$

Mientras que B es la masa total de los bloques. Cabe resaltar que en la Ec. (6), r , es precisamente la variable a estudiar, esto es, la distancia del centro de masa de los bloques al centro de masa de los discos. Por tanto, a partir de las mediciones geométricas de los bloques y de su masa se puede determinar el momento de inercia correspondiente a estos cuerpos rígidos.

Luego, para determinar el momento de inercia correspondiente a las pijas, se puede realizar la aproximación de que estas últimas constituyen un sistema discreto de partículas alrededor de un eje de rotación, es decir, se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$I_P = \sum_{i=1}^n m_{p_i} r^2 \quad (8)$$

Por tanto, el momento de inercia total del sistema de cuerpos rígidos corresponderá a la contribución del momento de inercia de los discos dado por la Ec. (5), al de los bloques, expresado por la Ec. (6) y al de las pijas, calculado con la Ec. (8), es decir:

$$I_t = I_D + I_B + I_P \quad (9)$$

Determinación de la aceleración teórica

Una vez calculado el momento de inercia total del sistema, se utiliza la Ec. (4) para determinar el valor de la aceleración teórica, por supuesto se deberá de contar con el ángulo de inclinación del plano inclinado. Organiza los resultados numéricos en la **tabla 1**.

Tabla 1. Determinación de la aceleración teórica lineal del sistema de cuerpos rígidos

r (m)	I_r (kg/m ²)	a (m/s ²) teórica

Determinación de la aceleración experimental mediante el procesamiento de los videos en el software *video tracker*.

Con el objetivo de contrastar el modelo que describe el movimiento del sistema de cuerpos rígidos se medirá el valor experimental de la aceleración a partir del análisis de los videos. La idea es obtener valores de la posición con respecto al tiempo del sistema rodando sobre el plano inclinado, para lo cual se hace uso del programa *video tracker*. En el siguiente cogido QR se muestra un video tutorial de como realizar dicha medición.



Posteriormente, realizar una gráfica de x vs t y obtener la curva que se ajusta a los datos experimentales. Se recomienda hacer uso de Excel para dicho fin. Luego, mediante la interpretación de la curva con la ecuación que describe un Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA), ver Ec. (10), determinar la aceleración experimental del sistema de cuerpos rígidos.

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (10)$$

El procedimiento anterior se realizará con cada video, esto es, con cada distancia r . Contrasta los resultados obtenidos en la **tabla 2** y determina el error porcentual entre el valor de la aceleración teórica y experimental. Para determinar el error porcentual utiliza la Ec. (11).

$$\varepsilon(\%) = \frac{|a_{teórica} - a_{experimental}|}{a_{teórica}} \times 100 \quad (11)$$

Tabla 2. Contrastación entre el valor de la aceleración teórica y experimental

$r(m)$	$a (m/s^2)$ teórica	$a (m/s^2)$ experimental	$\epsilon (%)$

LAS FORMAS DE EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los estudiantes realizarán una infografía que contenga las siguientes características:

- Información de los integrantes del equipo, así como datos de la asignatura, grupo y nombre del profesor responsable.
- Descripción de los materiales utilizados y equipo para llevar a cabo la experimentación.
- Presentación de resultados organizados en tablas y gráficas, así como su análisis y discusión.
- Las conclusiones del trabajo realizado
- Bibliografía

La infografía será evaluado por el profesor y alumnos (de preferencia de otro grupo) mediante una rúbrica.

Como parte de una realimentación se propone el análisis de la carrera de los redondos. Este es un experimento que consiste en explicar la razón del porque un disco llega primero a la meta que un aro, ver la siguiente figura.



El video se puede descargar de la página LivePhoto Physics, en el siguiente enlace:

https://www.rit.edu/cos/livephoto/LPVideos/hoop_disk/

De manera colaborativa los alumnos plantearan un modelo que permita calcular la aceleración lineal. Posteriormente, mediante el análisis con el programa *video tracker* se determina la aceleración experimental y se contrastan ambos resultados.

FUENTES CONSULTADAS

Arriasecq, I; Lester, M y Stipcich, S. (1999). Cuerpo Rígido: Experiencia de laboratorio con material de bajo costo. *Cad.Cat.Ens.Fís.*, v. 16, n. 1: pp: 92-100.

Iparraguirre, L.M. (2019). Una contribución para la enseñanza de la dinámica de las rotaciones. *Revista de Enseñanza de la Física*. Vol. 31, No. 2, pp: 83-89.

Gálvez, M y et.al. (2004). *Física experimental (1 ed.)*, España: Universidad Politécnica de Valencia.

Guzmán, M.A. (2005). La carrera de los redondos. *ContactoS 55*, pp: 63-66.

Haliday, D., Resnick, R. y Walker, J. (2011). *Fundamentos de Física*, octava edición. México: Grupo Editorial Patria.

Olivieri, N.A; Nuñez, P.A y Rodríguez, E.E. (2010). Rodadura de una esfera sobre un plano inclinado. Mejoras al experimento desarrollado en el "plano de Packard". *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 4, No.2, pp: 383-387.

INFORMACIÓN SOBRE LAS DIFICULTADES PRÁCTICAS DE LA ACTIVIDAD

Es de suma importancia realizar una modelación antes de construir el sistema de cuerpos rígidos, debido a que como se muestra en la Ec. (4) la aceleración esta en dependencia de factores como: la distancia de los bloques al centro de los discos, la masa de los bloques y de los discos y el ángulo de inclinación del plano inclinado, por lo que se debe notar un cambio apreciable en el valor de la aceleración lineal.

En el caso de usar discos de acetato se debe tener cuidado de sujetar los discos un instante antes de llegar a la parte inferior del plano inclinado ya que son un poco frágiles y se pueden llegar a romper.

También, si el celular no cuenta con cámara lenta, el video puede ser procesado en *apps* que se encuentran disponibles de manera gratuita en la *play store*, por ejemplo: *SloPro*, *TimeFreeze*, *SloGram*, *Slow Motion Video*, entre otras, con el objetivo de ralentizar el movimiento y poder distinguir y analizar con el programa *video tracker* el descenso del sistema de cuerpos rígidos.

Finalmente, en el caso no contar con una PC o laptop e instalar el programa *video tracker*, existe la *app Vidanalysis Free* que se puede descargar de la *play store* e instalar en un celular con sistema operativo Android. Para el sistema iOS se puede descargar la *app Video Physics for iOS*. Las *apps* anteriores realizan básicamente la misma función que *video tracker*, con la desventaja de tener un mayor margen de error al seguir la trayectoria de un objeto puntual, al menos que se cuente con una pluma digital.

PRÁCTICA 6

Prototipo experimental para la determinación de momento de inercia de cuerpos rígidos

Aprendizajes

Resuelve problemas que relacionen la aceleración lineal con la aceleración angular.

Determina el momento de inercia de un sistema discreto de cuerpos.

Resuelve problemas que involucren el momento de inercia de cuerpos sólidos regulares.

Temáticas

- Parámetros lineales y angulares.
- Momento de inercia.
- Momento de inercia de cuerpos sólidos.

PROPÓSITOS

- Diseñar y construir un dispositivo experimental que permita estudiar algunos conceptos de la dinámica del cuerpo rígido.
- Investigar cómo es la variación del momento de inercia con respecto a la distribución de masa alrededor de un eje rotacional.
- Verificar experimentalmente el teorema de los ejes paralelos con sólidos rígidos de diferente geometría
- Utilizar las TICs para la adquisición, análisis e interpretación de datos experimentales.

EXPLICACIÓN SOBRE SU APLICACIÓN PARA LOGRAR LOS APRENDIZAJES PROPUESTOS

Para el logro de los aprendizajes, en esta práctica se propone el diseño y la construcción de un dispositivo experimental que permita por medio de la experimentación abordar algunos fenómenos relacionados con el movimiento de sistemas de cuerpos rígidos.

El dispositivo consta de un sistema rotativo construido ya sea con un disco duro de computadora (desechable) o un *spinner*. En el eje del sistema se colocarán diferentes cuerpos rígidos como: discos, barras cilíndricas y placas rectangulares, de tal forma que al descender una masa que se ata con un hilo a ell sistema, esté rotará.

Mediante el planteamiento de un modelo se determinará la variación del momento de inercia con respecto a la distribución de masa alrededor de un eje de rotación y se verificará experimentalmente el teorema de los ejes paralelos con los cuerpos rígidos antes mencionados.

La adquisición, análisis e interpretación de datos experimentales se llevará a cabo mediante el uso del video tomado con un celular, así como del programa video tracker. Esto permitirá a los estudiante realizar un estudio detallado y preciso de los fenómenos observados.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la dinámica rotacional es de vital importancia para el diseño y construcción de mecanismos complejos, por ejemplo: brazos robóticos, sillas móviles, mecanismos destinados a personas con discapacidades físicas y motoras, entre muchos otros. También, sirve para explicar el funcionamiento de dispositivos mecánicos como giróscopos, máquinas y herramientas en la industria, en la salud y en los deportes; así como los movimientos planetarios o de otros cuerpos celestes.

En la **Fig. 1** se muestra un diagrama del prototipo experimental que se propone en esta práctica. La fuerza de tensión en el hilo, \mathbf{T} , y la fuerza de gravedad, \mathbf{w} , son las únicas que actúan sobre la masa, m , cuando esta desciende con un movimiento vertical de traslación. Por tanto, aplicando la segunda ley de Newton en su forma traslacional se obtiene:

$$T - mg = -ma \quad (1)$$

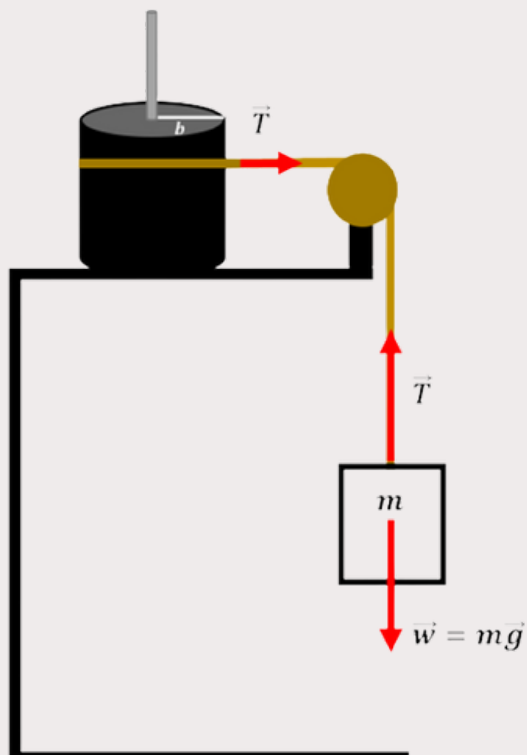


Fig.1. Diagrama del dispositivo experimental para el estudio de la dinámica de sistemas de cuerpos rígidos

Ahora aplicando la segunda ley de Newton en su forma rotacional en el disco (de radio b , ver **Fig.1**), se tiene la siguiente expresión:

$$Tb = I\alpha \quad (2)$$

Además, la aceleración angular se puede relacionar con la aceleración lineal y el radio por medio de:

$$a = b\alpha \quad (3)$$

De la Ec. (2) y (3) se llega a:

$$T = I \frac{a}{b^2} \quad (4)$$

Sustituyendo la Ec. (4) en (1) se obtiene finalmente a la expresión que permite determinar el momento de inercia del sistema, a saber:

$$I = mb^2 \left(\frac{g}{a} - 1 \right) \quad (5)$$

Es importante mencionar que en el presente modelo no se está tomando en cuenta las fuerzas de fricción, como la generada al pasar el hilo por la polea y la fricción del disco duro al rotar. También, se está vinculando el movimiento de traslación y rotación a través de la ligadura de un hilo inextensible.

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

Diseño y construcción del dispositivo experimental

Para el sistema físico de rotación se puede utilizar un disco duro de computadora (desechable) o también un *spinner*.

En el primer caso, sobre la superficie del disco se pega una lata y en el centro de esta se fija un tornillo que servirá como eje de rotación. Posteriormente, sobre la parte externa de la lata se enrolla un hilo ajustándolo y tensándolo. Finalmente, el hilo se hace pasar por medio de una polea y al otro extremo se sujeta una botella de plástico, ver **Fig. 2 (a)**.

En el caso de usar un *spinner* como sistema rotativo, ver **Fig. 3 (a)**, se propone el siguiente diseño y construcción.

En el orificio del balero se puede fijar un tornillo largo con la ayuda de *plastiloka*, teniendo precaución de que el tornillo quede de manera perpendicular al plano de balero. Esto con la intención de que al girar el sistema lo realice en un solo plano.

Para la base del *spinner* se pueden utilizar tres bloques de madera. Los bloques a su vez se pegan con resistol a una base de madera.

Por otra parte, se construye una polea con dos discos de madera, los cuales se unen con pegamento. Una vez que el pegamento secó se procede a lijar el borde de la polea, esto con la intención de poder enrollar hilo cáñamo.

En el centro de la polea se realiza un orificio con la ayuda de un taladro. Esto con el propósito de que el tornillo sea un eje de giro, el cual es perpendicular al plano de la polea.

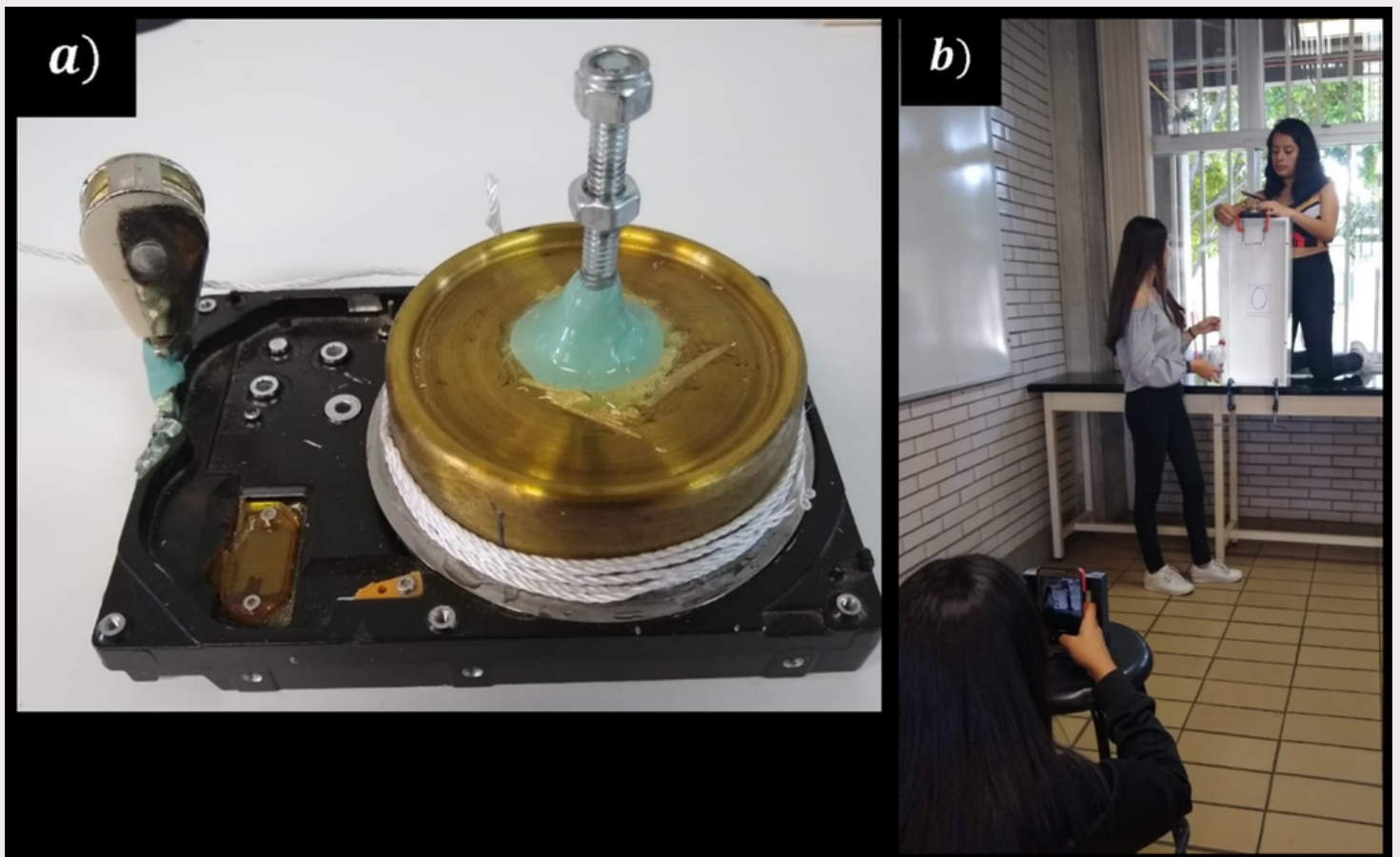


Fig. 2. Propuesta del dispositivo experimental usando un disco duro de computadora (desechable) para el estudio de la dinámica de un sistema de cuerpos rígidos.

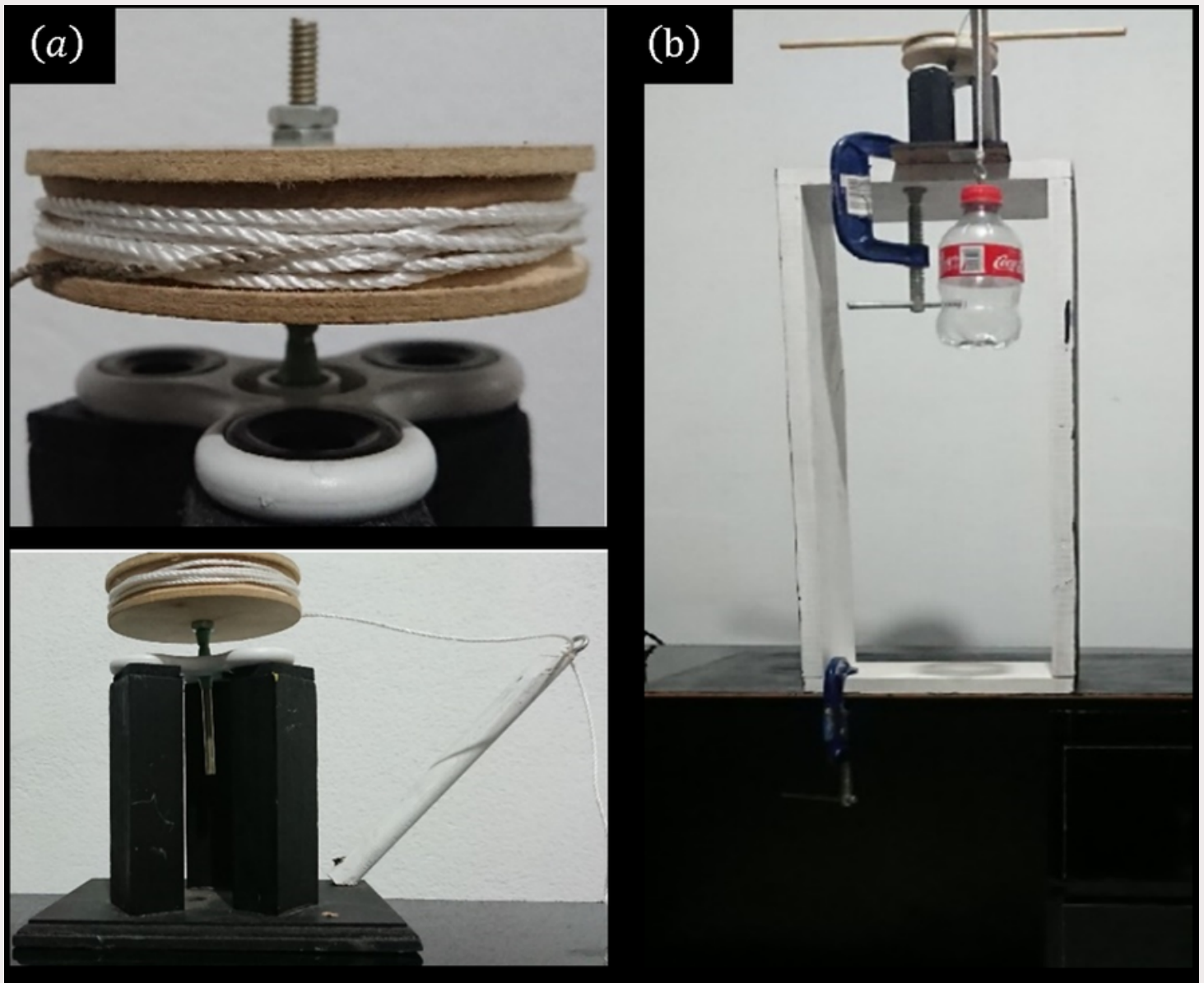


Fig. 3. Propuesta del dispositivo experimental usando un *spinner* para el estudio de la dinámica de un sistema de cuerpos rígidos.

Para que la polea quede completamente fija con el eje de giro se colocan dos tuercas metálicas. Una se fija en la parte inferior de la polea y la otra en la superior, y posteriormente se aprieta con una llave en sentido contrario.

Sobre la base de madera se puede fijar un palo de bandera a una posición e inclinación tal que el hilo cáñamo sea aproximadamente tangente y perpendicular al borde de la circunferencia de la polea. También en el extremo superior del palo de madera se coloca una armella circular con la finalidad de que el hilo pueda deslizarse sobre su superficie.

Variación del momento de inercia con respecto a la distribución de masa alrededor de un eje de rotación

Para que el sistema rote se deja caer una botella de plástico a una distancia mayor a un metro de la superficie del suelo. La magnitud de la masa de la botella se puede variar depositando agua.

En este caso se puede utilizar un tubo de PVC. En el centro de masa del tubo se realiza una perforación de tal forma que al montarlo al sistema rotativo quede perpendicular al eje de rotación, ver **Fig. 4 (a)**.

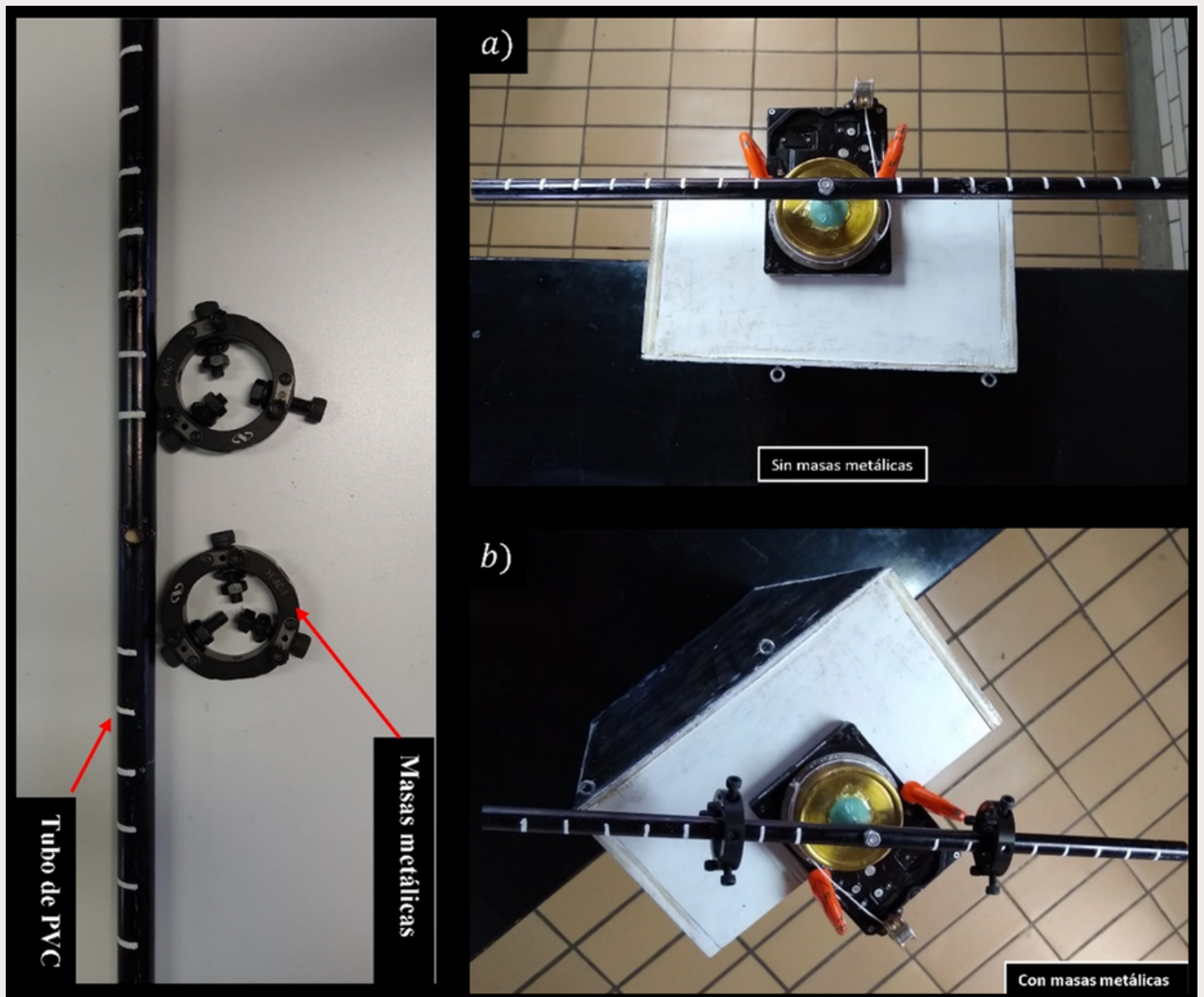


Fig. 4. Montaje experimental para estudiar la variación del momento de inercia con respecto a la distribución de masa.

Se colocan dos masas a lo largo del tubo de PVC, una en el extremo izquierdo y la otra al derecho, separadas a la misma distancia con respecto al centro de masa, ver **Fig. 4(b)**. Es importante que en esta parte se pueden usar pelotas de goma como masas, en donde, se realiza una perforación en su centro con un taladro y se incrustan en el tubo de PVC.

Por tanto, la idea es tomar un video de la caída de la botella por cada una de las distancias, con el objetivo observar cambios en su aceleración y por tanto, según la Ec. (5) en el momento de inercia. Lo anterior se realizará para los futuros experimentos.

Dependencia del momento de inercia con respecto a la variación de la masa

Para analizar este caso se construye una estructura con un tubo de PVC y dos botellas de plástico, en las cuales se les realiza perforaciones en aproximadamente su centro de masa con la ayuda de un taladro. Después, se introducen en los extremos del tubo y posteriormente se sellan con *plastiloka* o silicón para evitar fugas de agua, ver **Fig. 5(a)**.

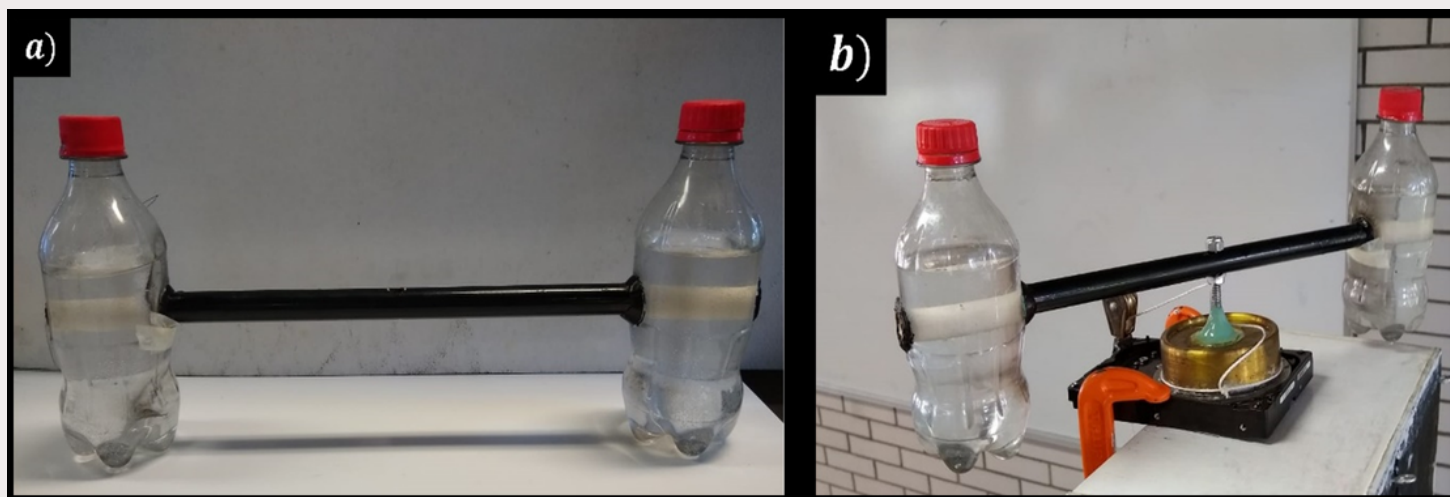


Fig. 5. Montaje experimental para estudiar la dependencia del momento de inercia con respecto a la masa.

Se deposita la misma cantidad de agua en las botellas. Posteriormente, la estructura se monta en el sistema rotativo, ver **Fig. 5(b)**.

Finalmente, se toma un video del descenso de la botella (la que hace rotar al sistema) por cada variación de masa.

Verificación experimental del teorema de los ejes paralelos

En este caso se construyen cuerpos rígidos de diferente geometría: disco, placa rectangular y barra cilíndrica.

Para ello, con la ayuda de un taladro se realizan perforaciones para los ejes de rotación distribuidos simétricamente con respecto al eje que pasa por el centro de masa de los cuerpos rígidos, ver **Fig. 6(a)**.

Posteriormente, los cuerpos rígidos se montan en el sistema rotativo en los diferentes orificios, ver **Fig. 6(b)**, y se toman videos del descenso de la botella con la cámara del celular.

ORIENTACIONES PARA LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE DATOS

Variación del momento de inercia con respecto a la distribución de masa alrededor de un eje de rotación

En primer lugar, se determinará el momento de inercia del *sistema rotativo + el tubo de PVC*, es decir, sin colocar las masas en el sistema. Este valor se definirá como I_0 .

Para lograr lo anterior, se obtienen valores de posición con respecto al tiempo del descenso de la botella usando el programa *video tracker*. En el siguiente código QR se presenta un breve tutorial, es importante mencionar que este procedimiento se realizará para los futuros videos.



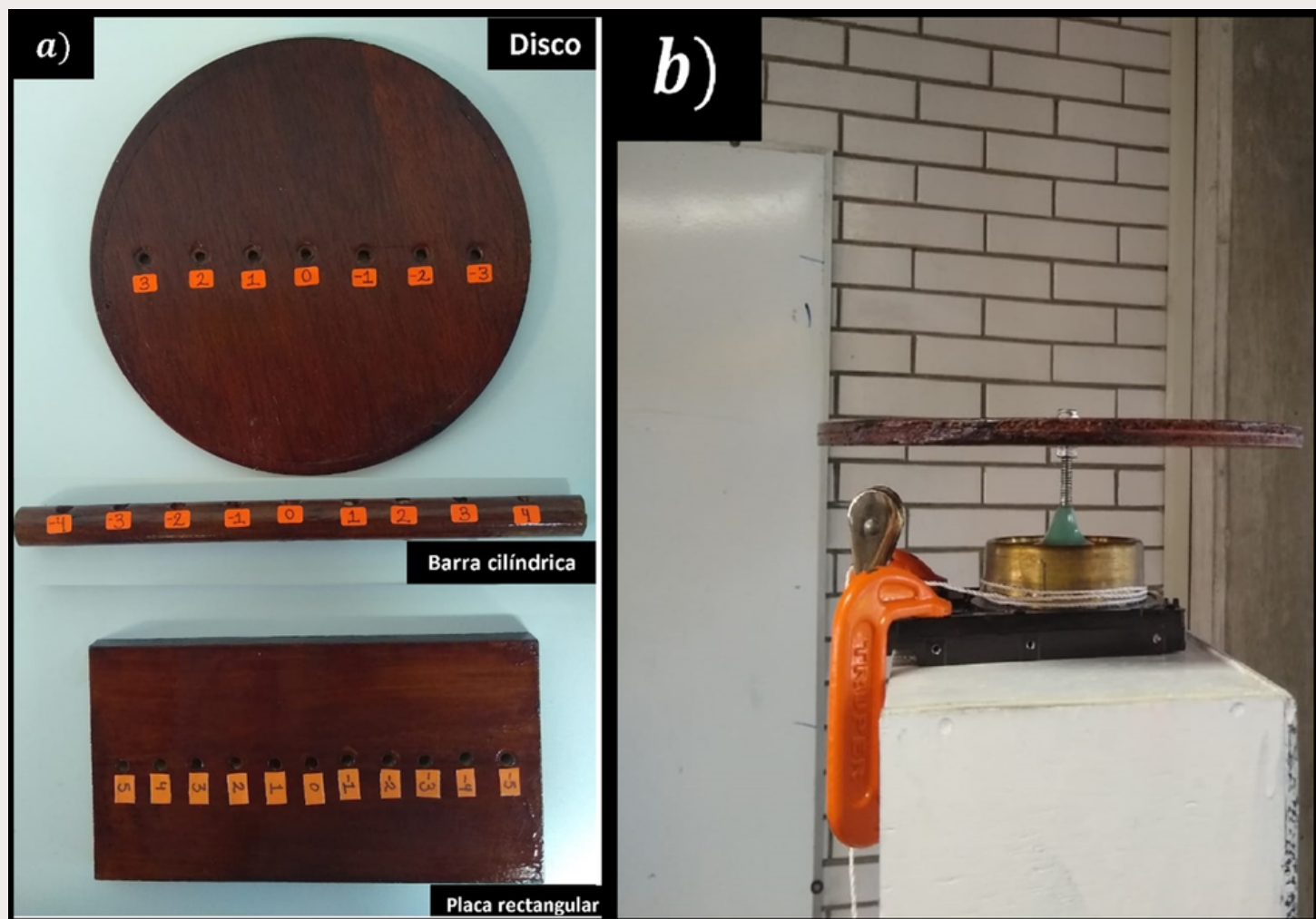


Fig. 6. (a) Cuerpos rígidos que se utilizan en esta práctica para verifica el teorema de los ejes paralelos: disco, barra cilíndrica y placa rectangular. (b) Montaje del disco en el sistema rotativo.

Posteriormente, se representa los valores en una gráfica y se determina la curva que mejor se ajuste a los datos experimentales. Si la curva representa un Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado (MRUA) se obtiene el valor de la aceleración lineal.

Finalmente, con el valor de la masa y el radio de la polea, se determina I_0 con la Ec. (5).

Ahora se realizan experimentos con las masas distribuidas a lo largo del eje de rotación, pero manteniendo constante la masa de la botella. Se determina el valor de la aceleración y por tanto nuevamente con la Ec. (5) el momento de inercia, que se denotara I_r .

Por tanto, si se quiere conocer el momento de inercia debido exclusivamente a la distribución de masa se puede utilizar la siguiente expresión:

$$I_{\text{exp}} = I_r - I_0 \quad (6)$$

Con el objetivo de contrastar el resultado experimental, se considera a las masas como un sistema discreto de cuerpos rígidos, de tal forma que se obtendrá el momento de inercia con la siguiente expresión:

$$I_{\text{teo}} = \sum_{i=1}^2 m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 \quad (7)$$

Tabla 1. Determinación del momento de inercia en dependencia de la variación de distribución de masa alrededor de un eje de rotación y su contrastación con el modelo teórico para un sistema discreto de cuerpos rígidos.

r (m)	α (m/s ²)	I_{exp} (kg m ²)	I_{teo} (kg m ²)	ε (%)

Los resultados se organizan en la **tabla 1** y se contrastan mediante el cálculo del error porcentual.

Dependencia del momento de inercia con respecto a la variación de la masa

En el apartado anterior la variable a estudiar fue la distancia con respecto al eje de rotación. Para este caso se mantiene constante dicha distancia y se varía la masa. Sin embargo, el análisis es análogo. Por tanto, en la **tabla 2** se organizan los resultados para este experimento.

Verificación experimental del teorema de los ejes paralelos

Para este caso, también la determinación del momento de inercia experimental del sistema se realiza de manera similar a los dos casos anteriores. Sin embargo, para la determinación del momento de inercia teórico se utilizarán las ecuaciones correspondientes a los cuerpos rígidos utilizados, ver **Fig. 7**. Además del teorema de los ejes paralelos que establece que: "el momento de inercia con respecto a cualquier eje paralelo a un eje, que pasa por el centro de masa, es igual al momento de inercia con respecto a este último más el producto de la

masa por el cuadrado de la distancia entre los dos". Es decir, el momento de inercia teórico se puede determinar con la siguiente expresión.

$$I_{\text{teo}} = I_{\text{cm}} + Mr^2 \quad (8)$$

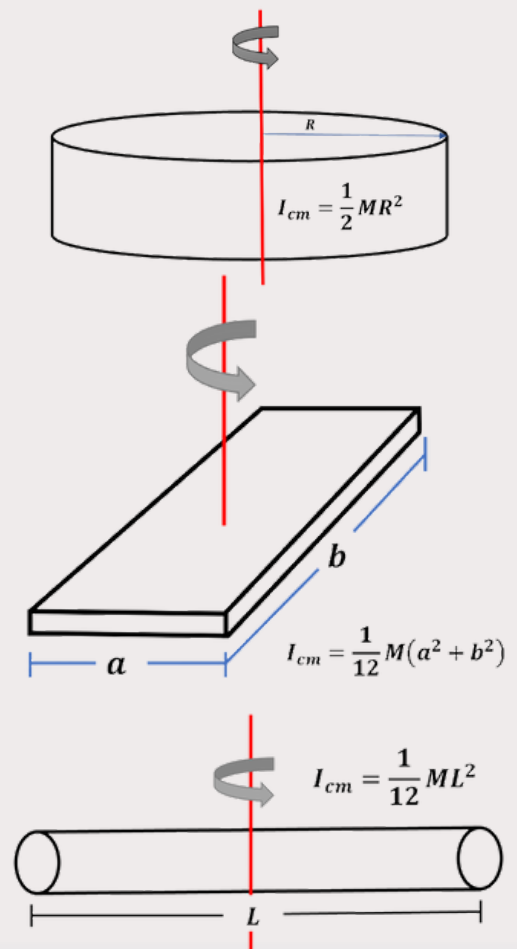


Fig. 7. Momento de inercia de los cuerpos rígidos cuyo eje pasa por su centro de masa

Tabla 2. Determinación del momento de inercia en dependencia de la variación de masa alrededor de un eje de rotación manteniendo la distancia constante y su contrastación con el modelo teórico para un sistema discreto de cuerpos rígidos.

m (kg)	a (m/s²)	I_{exp} (kg m²)	I_{teo} (kg m²)	ε(%)

Tabla 3. Determinación del momento de inercia de los cuerpos rígidos y verificación del teorema de los ejes paralelos. Ejemplo representativo de para el disco.

r (m)	a (m/s²)	I_{exp} (kg m²)	I_{teo} (kg m²)	ε(%)

LAS FORMAS DE EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los alumnos realizarán un reporte escrito con las siguientes características:

- Información del trabajo y autores
- Resumen
- Introducción
- Materiales y métodos
- Resultados
- Discusión
- Conclusiones
- Bibliografía
- Anexos

El reporte escrito se evaluará mediante una rúbrica que se localiza en el siguiente código QR.



FUENTES CONSULTADAS

Arriasecq, I; Lester, M y Stipcich, S. (1999). Cuerpo Rígido: Experiencia de laboratorio con material de bajo costo. *Cad.Cat.Ens.Fís.*, v. 16, n. 1: pp: 92-100.

Díaz, C.D y Vitery, C.F. (2014). Análisis de videos y modelado de sistemas Físicos sencillos como estrategia didáctica. *Revista Educación en Ingeniería*, Vol. 9, Nº. 18, pp: 190-200.

Iparraguirre, L.M. (2019). Una contribución para la enseñanza de la dinámica de las rotaciones. *Revista de Enseñanza de la Física*. Vol. 31, No. 2, pp: 83-89.

Haliday, D., Resnick, R. y Walker, J. (2011). *Fundamentos de Física*, octava edición. México: Grupo Editorial Patria.

Morales, C.C. (2010). Construcción de un prototipo para experimentos de mecánica. *Lat. Am. J. Phys. Educ.* Vol. 4, Suppl. 1, pp: 840-843.

Morales M.L & Sainea O.J (2002). *La enseñanza del movimiento rotacional desde una perspectiva del aprendizaje significativo en la media vocacional*. (Tesis de maestría). Universidad de Antioquia facultad de educación, Medellín.

Paul G. Hewitt. (1999). *Conceptos de Física*, México DF, México: Limusa

Sidorenko, V. (2014). *Celestial Mechanics*, Chapter: *Rotational Dynamics*, Editors: A. Celletti

INFORMACIÓN SOBRE LAS DIFICULTADES PRÁCTICAS DE LA ACTIVIDAD

Es importante asegurarse que el eje de rotación soporte los cuerpos rígidos al realizar los experimentos. En el caso de usar el disco reciclado de computadora no existe dificultad, sin embargo si se decide utilizar el *sppiner* como sistema rotativo es importante considerar lo anterior.

En el caso del diseño del experimento se debe tener en cuenta poner la cantidad de agua adecuada en la botella de tal forma que al realizar las variaciones de masa y distancia el sistema pueda rotar con aceleración constante.

Si el celular no cuenta con cámara lenta, el video puede ser procesado en *apps* que se encuentran disponibles de manera gratuita en la *play store*, por ejemplo: *SloPro*, *TimeFreeze*, *SloGram*, *Slow Motion Video*, entre otras, con el objetivo de ralentizar el movimiento y poder distinguir y analizar con el programa *video tracker* el descenso del sistema de cuerpos rígidos.

Finalmente, en el caso no contar con una PC o laptop e instalar el programa *video tracker*, existe la *app Vidanalysis Free* que se puede descargar de la *play store* e instalar en un celular con sistema operativo Android. Para el sistema iOS se puede descargar la *app Video Physics for iOS*. Las *apps* anteriores realizan básicamente la misma función que *video tracker*, con la desventaja de tener un mayor margen de error al seguir la trayectoria de un objeto puntual, al menos que se cuente con una pluma digital.

PRÁCTICA 7

Determinación de la densidad de un fluido y experimento de Plateau

Aprendizaje

Aplica el concepto de densidad en la resolución de problemas.

Temática

Fluidos estáticos

- Densidad

PROPÓSITOS

- Diseñar un experimento que permita medir la relación entre masa y volumen de una sustancia.
- Determinar la densidad de diferentes sustancias: agua de la llave, aceite vegetal y alcohol del 96.
- Explicar el experimento de Plateau aplicando el concepto de densidad y el principio de Arquímedes.

EXPLICACIÓN SOBRE SU APLICACIÓN PARA LOGRAR LOS APRENDIZAJES PROPUESTOS

Para lograr el aprendizaje propuesto los alumnos determinarán experimentalmente la densidad de diferentes sustancias: agua de la llave, aceite vegetal y alcohol del 96; a partir de encontrar su relación entre masa y volumen.

Posteriormente, se realizará el experimento de *Plateau*, que consiste básicamente en suspender una gota de aceite en una mezcla de agua y alcohol, esto con el objetivo de que los alumnos expliquen dicho fenómeno con el concepto de densidad e introducirlos al concepto de fuerzas de flotabilidad.

INTRODUCCIÓN

Se dice a veces que el hierro es “más pesado” que la madera. En realidad, esto no es cierto ya que un tronco grande de madera, sin duda, pesa más que una aguja de hierro. Lo que deberíamos decir es que el hierro es más denso que la madera. La densidad ρ de una sustancia se define como masa por unidad de volumen:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

donde m es la masa de una muestra de la sustancia y V su volumen. La densidad es una propiedad característica de cualquier sustancia pura. Los objetos hechos de una sustancia en estado puro, como el oro, pueden tener cualquier tamaño o masa, aunque su densidad siempre será la misma. La unidad de la densidad en Sistema Internacional de Unidades es el kg/m^3 .

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

Determinación de la densidad de los fluidos.

Para esta parte del experimento se utilizará agua de la llave, alcohol del 96 y aceite para cocinar. En un recipiente que permita medir el volumen se deposita cierta cantidad de sustancia y con la ayuda de una balanza se medirá su masa, ver **Fig. 1**. Es importante mencionar que la balanza se debe poner en cero cuando el recipiente este vacío, con el objetivo de medir solo la masa de la sustancia. También, se recomienda empezar el experimento con agua o alcohol y finalizarlo con el aceite, ya que se facilita la limpieza del recipiente durante el experimento y al final.

Experimento de Plateau

Para este experimento se utilizarán los fluidos antes mencionados. En primer lugar, se vierten de 2 a 3 ml de aceite vegetal con la ayuda de una jeringa en el interior de una taparrosca o corcholata. Para evitar que esta última flote en agua se le puede poner cinta doble cara o cinta adhesiva en la parte inferior.

Luego, con la ayuda de unas pinzas se coloca la taparrosca junto con el aceite en la base de un vaso, de preferencia transparente, ver recuadro izquierdo de la **Fig. 2**.

Posteriormente, se agregan 50 ml de alcohol en el vaso, teniendo precaución de que no caiga directamente sobre el aceite. Después, con una jeringa se va depositando agua, apoyando su boquilla en las paredes del vaso. Lo anterior se tiene que realizar lentamente con el objetivo de dar tiempo a que se mezcle el agua y alcohol, así como evitar turbulencias que afecten al aceite contenido en la taparrosca. En cierto instante la densidad de la disolución del alcohol y el agua se hará ligeramente superior a la del aceite y este subirá hacia la superficie. Medir la cantidad de agua agregada hasta observar lo anterior.

Por tanto, si se quiere que la esfera de aceite formada quede flotando entre el agua y alcohol se deberá añadir un poco más de alcohol con la finalidad de disminuir la densidad de la disolución final y conseguir que sea igual a la del aceite. Al agregar más cantidad de alcohol se observará cómo la esfera de aceite comienza a descender lentamente y acaba flotando, ver recuadro derecho de la **Fig.2**. Medir la cantidad de alcohol agregada hasta observar lo anterior.



Fig.1. Medición de la relación entre la masa y el volumen para el alcohol, aceite vegetal y agua de la llave.



Fig. 2. Montaje para realizar el experimento de Plateau.

ORIENTACIONES PARA LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE DATOS

Determinación de la densidad de los fluidos.

Para cada fluido (alcohol, aceite vegetal y agua de la llave) mide al menos 5 variaciones de la masa con respecto al volumen. Posteriormente, expresa las unidades en sistema internacional, es decir, el volumen en metros cúbicos y la masa en kilogramos. Organiza los datos experimentales en la **tabla 1** como ejemplo representativo, por supuesto se hace una tabla para cada fluido.

Luego, se realiza una grafica del volumen con respecto a la masa. En el caso de que siga un comportamiento lineal, obtener la ecuación de la curva que mejor se ajuste a los datos experimentales e interpreta el valor de la pendiente con la Ec. (1) con el objetivo de determina el valor de la densidad de cada uno de los fluidos.

Tabla 1. Datos experimentales del volumen con respecto a la masa.

V (m ³)	m (kg)

Indaga en la literatura la densidad de los fluidos en estudio y compáralos con los obtenidos experimentalmente por medio del cálculo del error porcentual. Organiza los resultados en la **tabla 2**.

Tabla 2. Contratación de la densidad obtenida experimentalmente con respecto al valor reportado en la literatura.

sustancia	ρ (kg/m ³) experimental	ρ (kg/m ³) teórico	ϵ (%)
agua			
aceite			
alcohol			

Experimento de Plateau

Se expresa el volumen de agua y alcohol en metros cúbicos. Si se supone que el volumen de la disolución es igual que la suma de los volúmenes empleados de agua y de alcohol, se puede hacer un calculo aproximado de la densidad de la disolución preparada mediante la siguiente expresión:

$$\rho_{disolución} = \frac{m_{agua} + m_{alcohol}}{V_{disolución}} \quad (2)$$

Para determinar la masa de agua y alcohol utiliza la Ec.(1) y el resultado experimental de sus densidades.

Posteriormente, con el objetivo de contrastar el resultado anterior e introducir el concepto de flotabilidad, realiza una indagación de la expresión que describe la fuerza de empuje y determínala. Finalmente, realiza un diagrama de cuerpo libre de la fuerzas que actúan sobre la esfera de aceite y aplica la segunda ley de Newton con el objetivo de obtener la densidad del aceite. Contrasta el resultado obtenido con el valor teórico y con el obtenido en el apartado anterior.

LAS FORMAS DE EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los estudiantes realizarán una infografía que contenga las siguientes características:

- Información de los integrantes del equipo, así como datos de la asignatura, grupo y nombre del profesor responsable.
- Descripción de los materiales utilizados y equipo para llevar a cabo la experimentación. Así como una imagen en donde se muestre el experimento de Plateau.
- Presentación de resultados organizados en tablas y gráficas, así como su análisis y discusión.
- Las conclusiones del trabajo realizado
- Bibliografía

La infografía será evaluado por el profesor y alumnos (de preferencia de otro grupo) mediante una rúbrica.

Como una realimentación los alumnos resolverán los siguientes ejercicios con los resultados obtenidos en la experimentación.

- ¿Qué volumen ocupa 0.4 kg de alcohol?
¿Cuál es el peso de este?
- ¿Qué volumen de agua tiene la misma masa de 100 cm³ de aceite?

FUENTES CONSULTADAS

Cengel, Y.A y Cimbala. J.M. (2012). *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones*, segunda edición. Ciudad de México, McGrawHill.

Hidalgo, M y Medina, J. (2008). *Laboratorio de Física*. Madrid, España. Pearson Educación.

Mott, R.L. (2006). *Mecánica de fluidos*, sexta edición, México D.F, Pearson Educación.

Paul G. Hewitt. (1999). *Conceptos de Física*, México DF, México: Limusa

Tómas, S y García M. (2015). *Experimentos de Física y Química en tiempos de crisis*. Murcia, España. Universidad de Murcia.

INFORMACIÓN SOBRE LAS DIFICULTADES PRÁCTICAS DE LA ACTIVIDAD

Se debe tener cuidado con derramar sustancias sobre el área de trabajo. También, al lavar el recipiente (con aceite) evitar de hacerlo en la tarja, ya que se puede contaminar el agua.

En el experimento de Plateau se deben mezclar las sustancias lentamente y sobre todo tener paciencia hasta lograr observar la gota de aceite.

PRÁCTICA 8

Aplicación del principio de Arquímedes en la determinación de la densidad de un fluido

Aprendizaje

Aplicar el principio de Arquímedes en la resolución de problemas.

Temáticas

Principio de Arquímedes

- Peso aparente
- Fuerza de flotación

EXPLICACIÓN SOBRE SU APLICACIÓN PARA LOGRAR LOS APRENDIZAJES PROPUESTOS

Para lograr el aprendizaje se propone que los estudiantes diseñen y construyan un prototipo experimental que permita medir el peso aparente cuando se sumerge un cuerpo en un fluido. Se plantea el hecho de utilizar materiales de fácil acceso para los alumnos, con el objetivo de que se pueda llevar a cabo el experimento en casa o en un laboratorio, así como el uso del software *video tracker* para realizar mediciones a partir del procesamiento de imágenes. Posteriormente se

determinará la densidad de diferentes fluidos (agua, aceite y alcohol del 96) mediante el análisis e interpretación de los datos experimentales y la aplicación de un modelo que describa el fenómeno observado y haga alusión al principio de Arquímedes y la segunda ley de Newton para un sistema en equilibrio.

PROPÓSITOS

- Diseñar y construir un prototipo experimental que permita medir el peso aparente de un cuerpo que se encuentra sumergido en un fluido.
- Verificar experimentalmente el principio de Arquímedes mediante la determinación de la densidad del agua, aceite y alcohol.

INTRODUCCIÓN

La fuerza de flotabilidad fue descubierta por Arquímedes en el siglo III a.C. Su postura fue realizada a través de un principio que lleva su nombre, el cual establece: "*Un cuerpo que se sumerge en un fluido experimenta una fuerza ascendente llamada empuje y que es igual al peso del fluido desplazado por él*". Además, cuando un cuerpo se sumerge en un fluido desplaza una cierta cantidad de líquido, igual al volumen de la parte sumergida por él. Este principio de carácter empírico fue posteriormente avalado mediante las leyes de Newton. Donde, la fuerza de flotabilidad tiene su naturaleza en las presiones que ejerce el fluido sobre el cuerpo, cuando éste se encuentra sumergido en su interior.

Consideremos que un cuerpo esta sujeto y sumergido en un fluido, ver **Fig. 1**. Realizando un diagrama de cuerpo libre se puede observar que sobre el cuerpo actúan tres fuerzas: 1) su peso (vector en color negro); 2) la tensión en la cuerda (vector en color rojo) y 3) la fuerza de empuje (vector en color verde), que es igual al peso del fluido desalojado por el cuerpo. Teniendo en cuenta las magnitudes de las componentes verticales y aplicando la segunda ley de Newton para el sistema en equilibrio se obtiene:

$$T + \rho g V_s - mg = 0 \quad (1)$$

En donde ρ es la densidad del fluido y V_s el volumen del objeto o en su defecto el volumen del liquido desplazado.

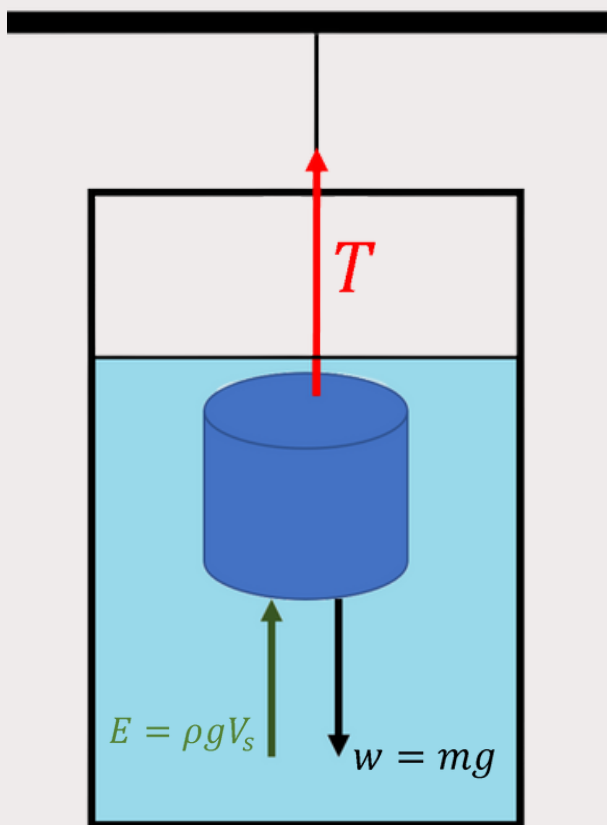


Fig.1. Diagrama de cuerpo libre para un objeto sumergido en un fluido.

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

En primera instancia se construirá un instrumento que permita medir el peso aparente de un objeto sumergido en un fluido, es decir, el valor de T en el modelo descrito en la Ec. (1). Por tanto, en el caso de no contar con un dinamómetro, se puede construir uno con una liga. Para ello, en los extremos de la liga se colocan dos armellas metálicas con ayuda de hilo, ver lado izquierdo de la **Fig. 2**.

Luego, la liga se coloca en una base en donde pueda colgarse de forma vertical. Se puede usar un nivel de burbuja para que el sistema este lo más alineado posible, ver zona central de la **Fig. 2**. Si no se cuenta con un nivel se podría descargar una *app* e instalarla en el celular, por ejemplo, *bubble level* es una buena opción y se encuentra de manera gratuita en la *play store*.

Diseño, construcción y calibración de un dinamómetro usando una liga

Con el objetivo de calibrar el dinamómetro se obtiene una relación entre la longitud de la liga y la fuerza ejercida sobre ella. Para lograr dicho fin, se utiliza una botella de plástico, en donde previamente se fija una armella metálica en el centro de su taparasca y se cuelga del otro extremo de la liga, ver lado derecho de la **Fig. 2**. La masa de la botella se puede variar depositando diferente cantidad de agua en su interior.

Para medir la longitud de la liga se coloca una referencia, que puede ser una regla y tomar fotografías con diferentes masas y posteriormente procesarlas en el software *video tracker* o medirla directamente. Mientras que la masa de la botella se mide directamente en una báscula.

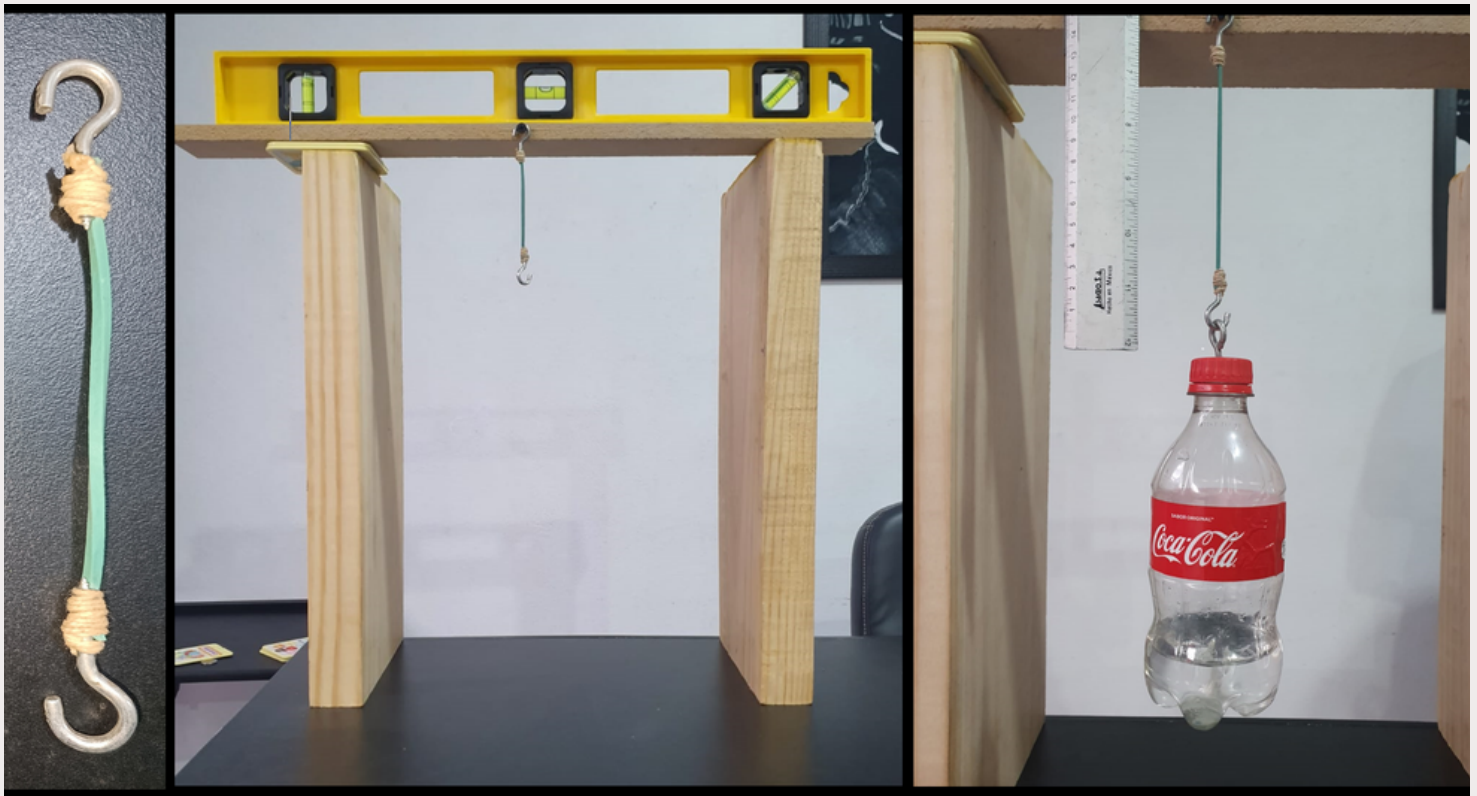


Fig. 3. Montaje experimental para realizar la calibración de un dinamómetro construido con una liga.

Medición del peso aparente y el volumen desplazado.

Para esta parte del experimento se necesitará un recipiente, de preferencia con geometría cilíndrica, aunque también se puede utilizar un prisma cuadrangular o rectangular, pero que en cualquiera de los casos sea un recipiente transparente.

Se deposita cierta cantidad de fluido en el recipiente y se marca el nivel, ver parte superior de la **Fig. 3**. Por otra lado, en el extremo de la liga se suspende un objeto cuyo volumen se pueda calcular a partir de sus dimensiones. Es importante que el peso del objeto sea tal que no se rompa la liga al colgarlo.

Posteriormente, se sumerge el objeto en el fluido, elevando poco a poco el recipiente, de tal forma que la superficie superior del objeto quede al nivel del líquido, ver parte inferior de la **Fig. 3**. Una vez logrado lo anterior se mide la longitud de la liga con la finalidad de obtener el peso aparente a partir de la ecuación de calibración del dinamómetro. También, se marca el nuevo nivel del fluido con el propósito de medir el volumen desplazado.

El procedimiento anterior se realizará con agua, aceite y alcohol del 96, los cuales fueron utilizados en la práctica 7.

ORIENTACIONES PARA LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE DATOS

Obtención de la curva de calibración del dinamómetro.

Organiza en la tabla 1 la variación de la longitud de la liga con respecto a la masa de la botella. En la columna 3 se determina el valor de la fuerza expresando el resultado en Newtons.

Tabla 1. Datos experimentales de la variación de la longitud de la liga con respecto a la masa, así como la determinación del peso de la botella.

L (cm)	m (g)	T(N)

En el caso de haber decidido medir la longitud de la liga a partir del procesamiento de las imágenes con el programa *video tracker* revisar el código que se muestra a continuación, en donde se presenta un video tutorial de como realizar dicha medición.

Posteriormente representa en una gráfica los datos de T(N) vs L(cm) y obtén la curva que mejor se ajuste a los valores experimentales. Dicha curva será la ecuación de calibración del dinamómetro.

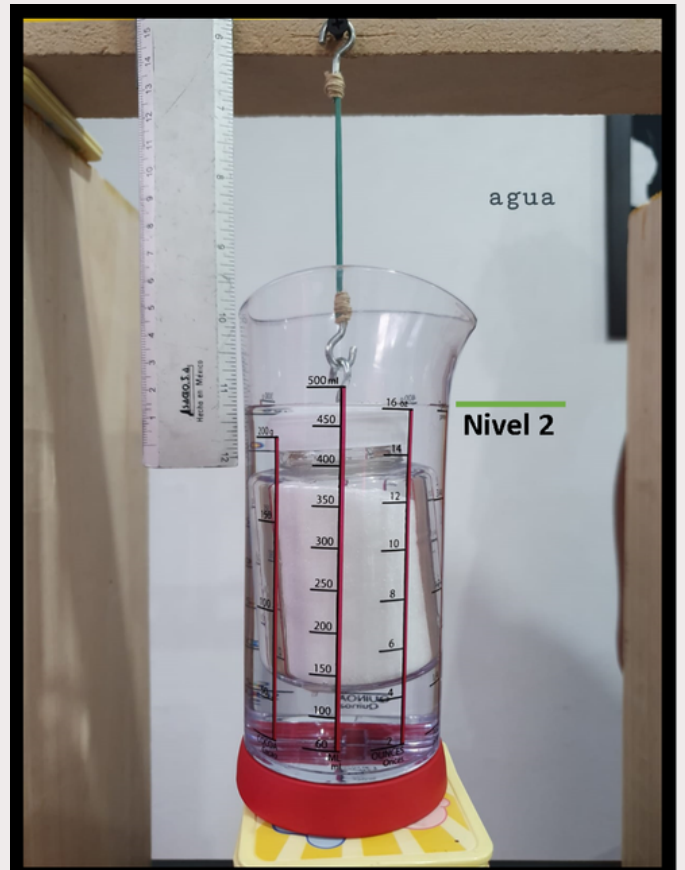


Fig. 4. Montaje experimental para medir el peso aparente del objeto sumergido en un fluido, en este caso en particular, agua.



Determinación de la densidad de los fluidos aplicando el principio de Arquímedes

Se determina el peso aparente T , ver Ec. 1, del objeto sumergido en agua, aceite y alcohol. Lo anterior se realiza midiendo la longitud de la liga y posteriormente se sustituye dicho valor en la ecuación de calibración del dinamómetro. Registrar los resultados en la **tabla 2**.

Luego, se calcula el volumen del cuerpo sumergido a partir de las mediciones de sus dimensiones y se contrasta el resultado con el obtenido anteriormente. Discute si se cumple el principio de Arquímedes o si existe una diferencia.

Tabla 2. Determinación del peso aparente del objeto al sumergirlo en diferentes sustancias: agua, aceite y alcohol.

Sustancia	L(cm)	T(N)	$V_s(m^3)$
agua			
aceite			
alcohol			

Por otra parte, se mide la masa del objeto sumergido con una balanza o con el dinamómetro y aplicando el modelo descrito en la Ec. (1) se determina el valor de la densidad de los fluidos. Lo anterior se realizará con ambos valores de los volúmenes, es decir, con el volumen desplazado, método 1 y con el calculado a partir de sus dimensiones, método 2.

Finalmente, se indagán los valores reportados en la literatura de la densidad de los fluidos en estudio y se contrastan con los obtenidos experimentalmente mediante la determinación del error porcentual. Organiza los resultados en la **tabla 3**.

LAS FORMAS DE EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los estudiantes realizarán en equipo una infografía con las siguientes características:

- Resumen
- Introducción
- Desarrollo experimental
- Análisis y discusión de resultados
- Conclusiones
- Referencias

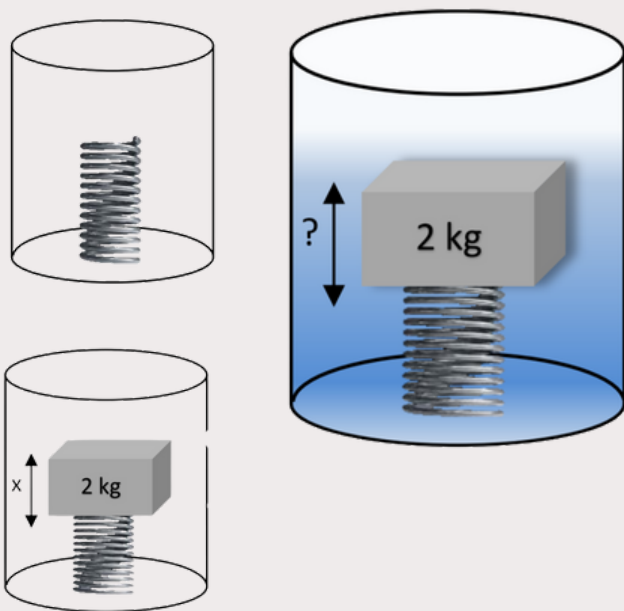
También, los alumnos contestarán de manera individual las siguientes preguntas:

- ¿Por qué un sólido puede flotar o hundirse en un fluido?
- ¿Qué es el empuje? ¿a qué llamamos fuerza de empuje?
- De acuerdo a la definición del principio de Arquímedes ¿a qué llamamos peso aparente?

Tabla 3. Determinación experimental de la densidad de las sustancias en cuestión aplicando el principio de Arquímedes y contrastación con los valores reportados en la literatura.

Sustancia	$\rho(\text{kg/m}^3)$ método 1	$\rho(\text{kg/m}^3)$ método 2	$\rho(\text{kg/m}^3)$ teórico	$\epsilon(\%)$ método 1	$\epsilon(\%)$ método 2
agua					
aceite					
alcohol					

- Un resorte está unido al fondo de un recipiente vacío, con el eje del resorte orientado verticalmente. Un bloque de 2 kg se fija a la parte superior del resorte y lo comprime una distancia x . A continuación, el recipiente se llena de agua hasta el borde.



Se puede afirmar que al llenar el recipiente:

- La elongación del resorte dependerá de la diferencia de densidad entre el agua y el bloque.
- El resorte se comprimirá una longitud mayor que x debido a la masa de agua sobre el bloque.
- El resorte se comprimirá una distancia menor que x debido a que todos los objetos dentro del agua pesan menos que en el aire.
- El resorte se comprimirá una distancia menor que x debido al empuje que realiza el agua sobre el bloque.

Justifica tu respuesta

FUENTES CONSULTADAS

Barbosa, C y Breitschaft, S (2006). Um aparato experimental para o estudo do princípio de Arquimedes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 1, p. 115 - 122.

Barrera, G (2017). *Diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del Principio de Arquímedes*. [Tesis de Licenciatura en Física, Universidad Pedagógica Nacional-Facultad de Ciencia y Tecnología].

Gálvez, M y et.al. (2004). *Física experimental (1 ed.)*, España: Universidad Politécnica de Valencia.

Hewitt, P (2016). *Física conceptual (12ª ed.)*, México: Pearson.

Olguín, J (2013). *El Aprendizaje Basado en Problemas (ABP), una estrategia para abordar el principio de Arquímedes en el nivel bachillerato*. [Tesis de Maestría en Ciencias en Física Educativa, Instituto Politécnico Nacional].

Tippens, P. (2011). *Física, conceptos y aplicaciones*, séptima edición. México: Mc Graw Hill.

INFORMACIÓN SOBRE LAS DIFICULTADES PRÁCTICAS DE LA ACTIVIDAD

- En el caso de no contar con una balanza para medir las diferentes masas de la botella se puede recurrir al concepto de densidad previamente visto y con la ayuda de un recipiente con el que se pueda medir el volumen del agua obtener el valor de la masa.
- Se recomienda comenzar el experimento con agua o alcohol, ya que si se comienza con el aceite se tendría que realizar la limpieza del recipiente, la cual es más complicada que en los casos anteriores.

PRÁCTICA 9

Medición de la presión hidrostática con el uso del smartphone

Aprendizajes

- **Aplicar** el concepto de presión en la resolución de problemas.
- **Describe** con dibujos los principios básicos de la presión de fluidos.

Temáticas

- Fluidos estáticos
- Presión
- Medición de la presión de un fluido.

Mediante el análisis de los datos experimentales e interpretación del modelo que describe la relación entre la presión hidrostática y la altura, se determinará la densidad del agua, lo anterior con la finalidad de validar dicha relación.

PROPÓSITOS

- Realizar un montaje experimental que permita obtener la relación entre la presión hidrostática ejercida por un fluido con respecto a la altura.
- Utilizar el smartphone como instrumento de medición de la presión hidrostática.
- Determinar la densidad del agua y contrastar el resultado para validar el modelo que describe la presión hidrostática en dependencia de la profundidad.

EXPLICACIÓN SOBRE SU APLICACIÓN PARA LOGRAR LOS APRENDIZAJES PROPUESTOS

Para lograr los aprendizajes planeados, se pretende que los estudiantes por medio de la experimentación restablezcan la relación entre la presión hidrostática ejercida por un fluido con respecto a la profundidad. El experimento consiste en depositar agua en una cubeta y utilizar como instrumento de medición el smartphone y la app *Physics Toolbox Suite* para activar el sensor barométrico del celular.

INTRODUCCIÓN

La presión se define como la fuerza por unidad de área y se expresa matemáticamente por medio de la Ec. (1):

$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

donde F es la magnitud de la fuerza que actúa de forma perpendicular al área de la superficie A .

A pesar de que la fuerza es una magnitud vectorial, la presión es un escalar, por lo que solo tiene magnitud. La unidad de medida de la presión es: N/m^2 , a la cual se le denomina pascal (Pa), esto es: $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$.

El concepto de presión es útil para tratar con fluidos, ya que estos pueden ejercer una presión en cualquier dirección. Para el caso de un fluido en reposo de densidad uniforme la presión es la misma en todas las direcciones a una profundidad dada y varía con la altura.

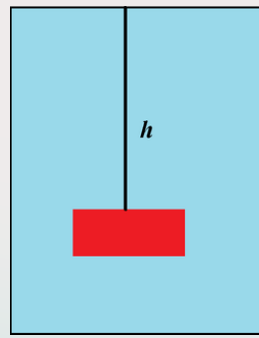


Fig.1. Representación esquemática de la presión ejercida por un fluido sobre un objeto que se encuentra a una altura h .

Consideremos un punto a una profundidad h debajo de la superficie del líquido, ver **Fig. 1**. La presión debida al líquido a esta profundidad obedece al peso de la columna del líquido sobre ella. Por tanto, la fuerza debida al peso del líquido que actúa sobre el área A es $F = mg = (\rho V)g = \rho Ahg$, donde: Ah es el volumen de la columna del líquido, ρ es la densidad del fluido, g es la aceleración de la gravedad. Por lo tanto, la presión P que ejerce fluido es:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\rho Ahg}{A} \quad (2)$$

Por tanto:

$$P = \rho gh \quad (3)$$

Esto es válido para fluidos cuya densidad no cambie con la profundidad, además de que el fluido sea incompresible.

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

Instalación y uso de la aplicación *app Physics Toolbox Suite* en el smartphone

En primer instancia es importante verificar si funciona el sensor barométrico en el celular. Para ello, se descarga de manera gratuita la *app Physics Toolbox Suite* de la *play store*. En el menú de opciones de la *app* utilizar el sensor "Barómetro". Con dicho sensor se pueden tomar las mediciones de la presión con respecto al tiempo de manera gráfica o directamente de manera digital, ver **Fig.2**. Una forma de cerciorarse de que funciona el sensor es observar que el sensor mide la presión atmosférica y al presionar con el pulgar la pantalla del celular existe un cambio en el valor de la presión registrada.

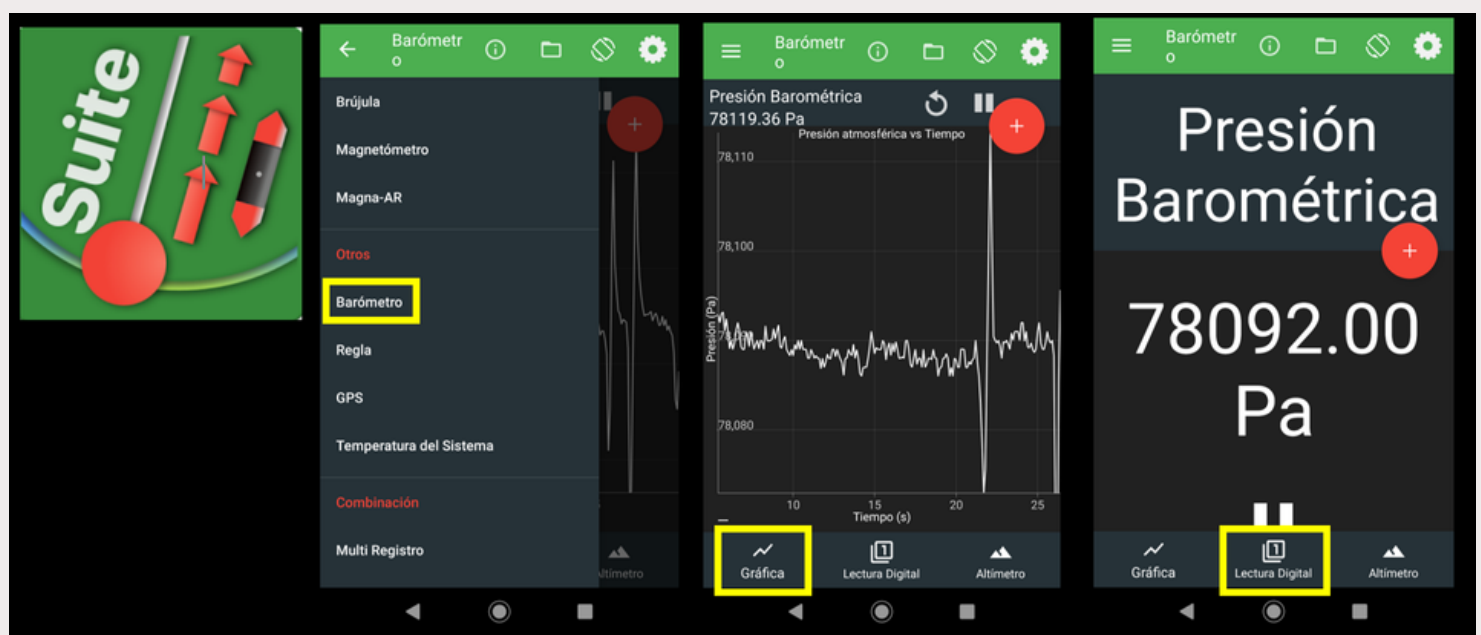


Fig.2. *App Physics Toolbox Suite* utilizada para medir la presión hidrostática de un fluido.

Medición de la presión con respecto a la altura

Se introduce el smartphone en una funda impermeable o en su defecto envolverlo en una bolsa de plástico transparente con el objetivo de evitar que se meta el agua en este y dañarlo.

Utilizar una base para el celular con la finalidad de poder introducirlo de manera horizontal en un recipiente con agua, ver **Fig.3**. Por supuesto el sensor barómetro tiene que estar en funcionamiento.

Sumergir el celular lentamente y tomar mediciones de la presión a diferentes alturas. Para medir la altura se recomienda utilizar un flexómetro.

ORIENTACIONES PARA LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE DATOS

En la **tabla 1** se registran los valores de la presión con respecto a la altura.

Tabla 1. Variación de la presión con respecto a la altura.

h (m)	P (Pa)



Fig. 3. Montaje experimental para medir la variación de la presión con respecto a la altura.

Es importante mencionar que la altura se debe variar siempre y cuando se observe un cambio apreciable en la presión. Para ello se requiere usar un recipiente con una profundidad mayor a los 40 cm aproximadamente. Se recomienda realiza al menos 5 variaciones de altura.

Posteriormente, realiza una grafica de P vs h y determina la curva que se ajusta a los datos experimentales. Determina el valor de la densidad del agua mediante la interpretación de la Ec. (3). Expresa el resultado en kg/m^3 y contrástalo con el reportado en la literatura por medio del error porcentual.

LAS FORMAS DE EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los estudiantes realizarán un breve video (máximo 5 minutos) que contenga las siguientes características:

- Información de los integrantes del equipo, así como datos de la asignatura, grupo y nombre del profesor responsable.
- Descripción de los materiales utilizados y equipo para llevar a cabo la experimentación.
- Presentación de resultados organizados en tablas y gráficas, así como su análisis y discusión.
- Las conclusiones del trabajo realizado
- Bibliografía

El video será evaluado por el profesor y alumnos (de preferencia de otro grupo) mediante una rúbrica.

FUENTES CONSULTADAS

Calderón, S, et al. (2015). Aulas-laboratorios de bajo costo, usando TIC. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, v. 12, n.1, p. 212-226.

Cueto J. y Nachón G. (2019). Un laboratorio en tu bolsillo. Recuperado en marzo 2, 2022, de *¿Cómo ves? Revista de Divulgación de la Ciencia UNAM*. Sitio web: <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/252/un-laboratorio-en-tu-bolsillo.pdf>

Douglas C. Giancoli. (1997). *Física. Principios y aplicaciones*, Ciudad de México, México: Pearson Educación.

Resnick, R., & Halliday, D. (2002). *Física (vol. 1)*. México: CECOSA

Serway, R. Vuille, C. y Faughn, J. (2010). *Fundamentos de Física*. octava edición. CENGAGE Learning.

Tippens, Paul E. (2011). *Física, conceptos y aplicaciones*. séptima edición. México: Mc Graw Hill.

Wright, K. (2020, 27 abril). *Smartphone Physics on the Rise*. Physics. Recuperado 10 de julio de 2022, de <https://physics.aps.org/articles/v13/68>

INFORMACIÓN SOBRE LAS DIFICULTADES PRÁCTICAS DE LA ACTIVIDAD

Es de suma importancia evitar que se moje el celular, ya que se puede llegar a dañar, pero que también se logre distinguir el valor de la presión. En el caso de no poder observar el valor antes mencionado, se puede comunicar el teléfono con el ordenador o laptop utilizando el programa de uso gratuito TeamViewer conjuntamente con la aplicación Host de TeamViewer en el celular.

PRÁCTICA 10

Determinación experimental de la presión atmosférica mediante el estudio de la dilatación del aire

Aprendizaje

Comprende la relación entre la presión absoluta, la presión manométrica y la presión atmosférica.

Temáticas

- Presión absoluta.
- Presión manométrica.
- Presión atmosférica.

PROPÓSITOS

- Diseñar y construir un montaje experimental, en específico un manómetro, que permita determinar experimentalmente la presión atmosférica.
- Proponer un modelo fisicomatemático en donde se aplique el concepto del gas ideal a la dilatación del aire y que permita relacionar los cambios de temperatura con respecto al incremento del nivel de agua al transferir calor al sistema.
- Hacer el uso del video para la adquisición de los datos experimentales, con el objetivo de tener una mayor precisión en las mediciones.

EXPLICACIÓN SOBRE SU APLICACIÓN PARA LOGRAR LOS APRENDIZAJES PROPUESTOS

Para lograr los aprendizajes se propone que los estudiantes construyan un manómetro y analicen las variables involucradas en el experimento.

El manómetro se construirá con una manguera transparente que se le da forma de "U", en la cual se deposita una mezcla de agua con colorante. Un extremo de la manguera se conecta a una lata de aluminio que contiene aire, mientras que el otro se deja abierto a la atmósfera. Dentro de la lata se introduce un termómetro digital para medir la temperatura del sistema (aire contenido en la lata). Posteriormente, por medio de una fuente de energía se le transferirá calor al sistema, de tal forma que las variables (temperatura, presión y volumen) tendrán una relación con el cambio en el nivel de agua del manómetro.

Para explicar el fenómeno físico observado se propone un modelo que consiste en estudiar la dilatación del aire y tratar a este como un gas ideal. Dicho modelo permitirá relacionar el cambio de temperatura con respecto al nivel del agua y de esta forma encontrar el valor de la presión atmosférica.

INTRODUCCIÓN

En el esquema de la **Fig. 1** se presenta la situación del experimento que se realizará. Consideremos que el aire que se encuentra dentro del recipiente se comporta como un gas ideal, entonces bajo estas condiciones iniciales se tiene:

$$P_0V_0 = nRT_0 \quad (1)$$

En donde n y R es el número de moles y la constante universal de los gases ideales, respectivamente. Mientras que P_0 , T_0 y V_0 , son la presión, temperatura y volumen inicial, respectivamente. Observar que bajo estas condiciones la presión coincide con la presión atmosférica.

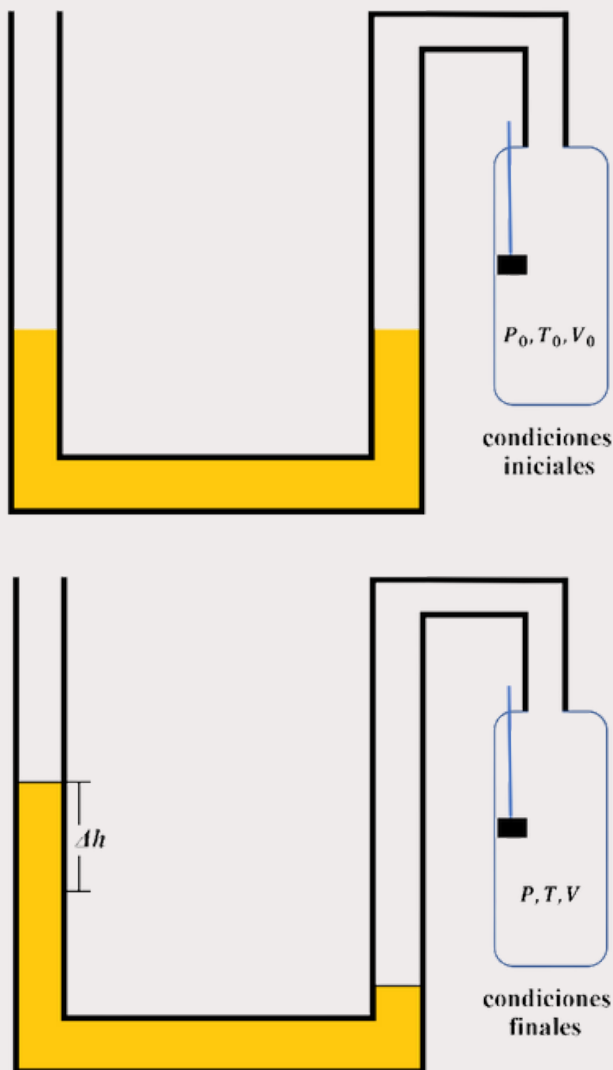


Fig.1. Esquema representativo del manómetro para determinar la presión atmosférica por medio de la dilatación del aire.

Después de transferir calor al sistema, tanto la presión, volumen y temperatura también incrementarán, de tal forma que la ecuación de los gases ideales se puede expresar de la siguiente manera:

$$PV = nRT \quad (2)$$

En donde:

$$P = P_0 + \Delta P \quad (3)$$

$$T = T_0 + \Delta T \quad (4)$$

$$V = V_0 + \Delta V \quad (5)$$

Sustituyendo las Ec. (3), (4) y (5) en la Ec. (2) y realizando algunos pasos algebraicos se puede demostrar que:

$$P_0V_0\Delta T = T_0P_0\Delta V + T_0V_0\Delta P + T_0\Delta P\Delta V \quad (6)$$

Por otra parte, el cambio de la presión, ΔP , se puede expresar en términos del incremento de la altura, Δh , la densidad del agua, ρ y el valor de la gravedad, g , como:

$$\Delta P = \rho g \Delta h \quad (7)$$

También, debido a que la manguera tiene geometría cilíndrica, el incremento en el volumen se puede expresar como:

$$\Delta V = \pi r^2 \Delta h \quad (8)$$

Donde r es el radio interno de la manguera. Finalmente, sustituyendo la Ec. (7) y (8) en la Ec. (6) y realizando algunos pasos algebraicos se puede demostrar que:

$$\Delta T = (P_0\pi r^2 + V_0\rho g) \frac{T_0}{P_0V_0} \Delta h + \rho g\pi r^2 \frac{T_0}{P_0V_0} \Delta h^2 \quad (9)$$

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

Diseño y construcción del dispositivo experimental

Para esta parte se puede utilizar una lata de aluminio como contenedor del aire. En la parte superior se realizan dos perforaciones con la ayuda de un taladro, que sea del diámetro de un corcho de madera. Posteriormente, en un corcho se introduce la manguera de plástico transparente, la cual se recomienda que sea de aproximadamente un metro de longitud y 5 mm de diámetro interno; mientras que en otro corcho se introduce un termómetro digital, ver **Fig. 2(a)**. Después, los corchos se colocan en los dos agujeros a presión y se sellan con *plastiloka* y silicón para evitar fugas de aire, ver **Fig. 2(b)**.

Para el montaje del manómetro se puede utilizar papel cascarrón. En la superficie de este se realizan perforaciones para sujetar la manguera y quede en forma de "U", ver **Fig. 3**.

Se deja un pequeño espacio entre los sujetadores y la superficie del papel cascarrón con el objetivo de poder quitar y poner la manguera cuando sea necesario. También, se ocupan dos bases para sostener el dispositivo experimental. Además, en un costado del papel cascarrón se coloca un soporte universal y un aro metálico para sostener la lata de aluminio.

Posteriormente, se mezcla agua con colorante y se deposita en la manguera con la ayuda de una jeringa. Es de vital importancia que mientras se deposita la mezcla no se formen burbujas de aire. También, se debe de cerciorar que el nivel de agua se encuentre a la misma altura, de tal forma que la presión en la lata se pueda considerar aproximadamente igual a la presión atmosférica.

Para transferir calor al sistema se puede utilizar una parrilla eléctrica colocada por debajo de la superficie de la lata. La principal razón de la elección de la parrilla eléctrica como fuente de -

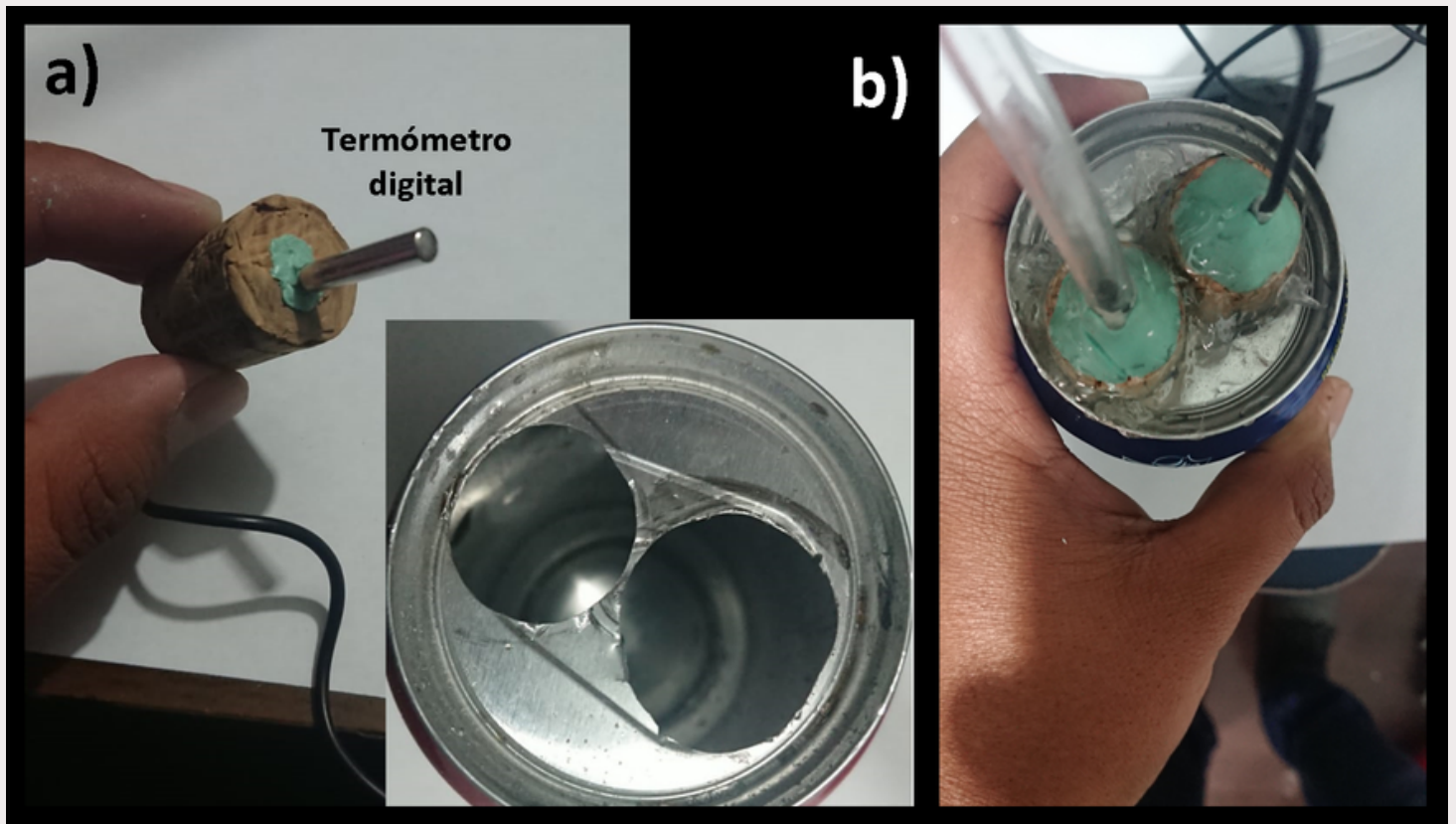


Fig. 2. a) instalación del termómetro digital para introducirlo a la lata de aluminio. b) sellamiento del sistema con *plastiloka* (verde) y silicón para evitar fugas de aire.

calor es que se puede variar la potencia y por ende la rapidez con que la que se transfiere calor al sistema.

Por ultimo, se tomará un video con la cámara de un celular en el momento de trasferir calor al sistema. La finalidad del video es para obtener datos experimentales de la variación del nivel de agua con la temperatura, realizando capturas de pantalla y posteriormente analizarlas con el programa *video tracker* para obtener dicha variación. La utilidad del video es importante ya que el nivel de agua tiende a subir relativamente rápido y se complica la medición directa, a "ojo" por así decirlo.

ORIENTACIONES PARA LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE DATOS

En el siguiente código QR se presenta un breve tutorial en donde se muestra como analizar una captura de pantalla del video para obtener el incremento de altura del nivel de agua con respecto a la temperatura.



Se organizan los datos de temperatura y del nivel de agua en la **tabla 1**. Después se determina el incremento de temperatura tomando como referencia la temperatura ambiente en la cual se lleva a cabo el experimento.

Tabla 1. Variación del nivel de agua con respecto a la temperatura.

T (°C)	h (m)	ΔT (°C)	Δh (m)

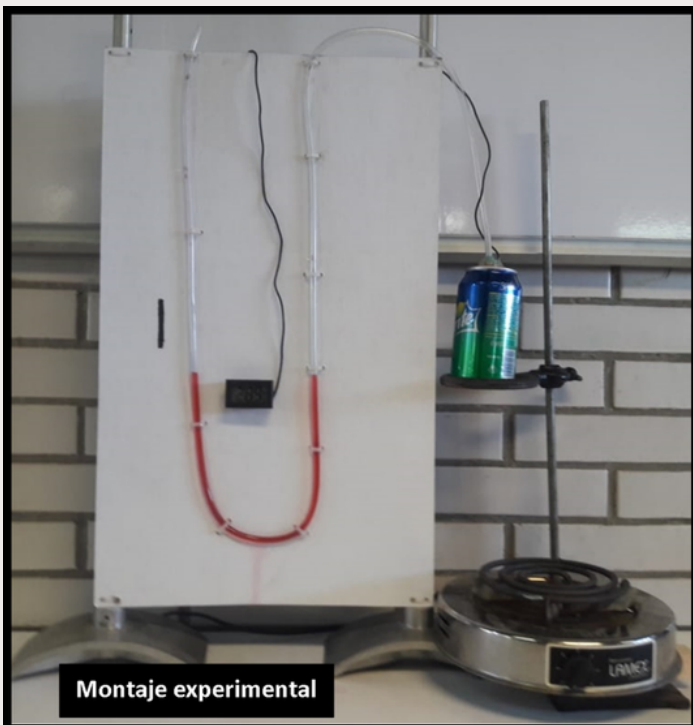


Fig.3. Imagen del montaje experimental para determinar la presión atmosférica por medio de la dilatación del aire.

Posteriormente, se realiza una gráfica de Δh vs ΔT y se determina la curva que se ajusta a los datos experimentales. Mediante la interpretación de los coeficientes de ajuste, se obtiene el valor de la presión atmosférica interpretando la Ec. (9). Finalmente, el resultado se contrasta con el valor reportado en la literatura mediante el error porcentual.

LAS FORMAS DE EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los alumnos realizarán una presentación que contenga las siguientes características:

- Información de los integrantes del equipo, así como datos de la asignatura, grupo y nombre del profesor responsable.
- Descripción de los materiales utilizados y equipo para llevar a cabo la experimentación.
- Presentación de resultados organizados en tablas y gráficas, así como su análisis y discusión.
- Las conclusiones del trabajo realizado
- Bibliografía

La presentación se realizará en plenaria con el objetivo de realizar aportaciones por parte de los alumnos y profesor, en donde se realice una realimentación con la finalidad de mejorar el trabajo.

FUENTES CONSULTADAS

Alaniz, S. A, Nieto, A. F, & Lozano, L. M. (Eds.). (2011). *EXPERIMENTOS SIMPLES PARA ENTENDER UNA TIERRA COMPLICADA: La presión atmosférica y la caída de los cuerpos (5ª ed.)*. Ciudad de México, México: UNAM:Centro de Geociencias.

Giancoli, Douglas. (2009). *Física 2: principio con aplicaciones*, 6ª edición. México: Pearson Educación.

Merriam, J. B. (1992). Atmospheric pressure and gravity. *Geophys. J. Znr*, Vol. 109, pp. 488-500.

Reif-Acherman S., & Fiderman M.M. (2010). Eugene Bourdon y la evolución del manómetro. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Vol. 32, Num.1, pp.1601-10.

Than, A. S. (2005). Effect of barometric pressure on sea level variations in the Pacific region. *The South Pacific Journal of Natural Science*. Vol. 23, pp. 9-15.

Velasco S., González A., Roman F.L and White J.A. (2002). A simple method for measure atmospheric pressure. *American Journal of Physics*, Vol. 70. pp. 1236

INFORMACIÓN SOBRE LAS DIFICULTADES PRÁCTICAS DE LA ACTIVIDAD

El uso del termómetro puede presentar una dificultad, sin embargo, actualmente el costo es relativamente económico, aproximadamente de \$50 mexicanos, por lo que se recomienda conseguir con tiempo.

También, se pueden usar los sensores de temperatura Lesa que se encuentran en los planteles de Colegio o utilizar un sensor de temperatura y registrar los datos mediante una placa de Arduino.

PRÁCTICA 11

Aplicación de la ecuación de Bernoulli en el experimento de Torricelli

Aprendizajes

Resuelve problemas que relacionen la razón de flujo con la velocidad y el área transversal.

Utiliza la ecuación de Bernoulli en su forma general y en sus casos particulares.

Temáticas

Gasto

Ecuación de Bernoulli

- Fluido en reposo, (teorema de Torricelli).
- Flujo a presión constante.
- Flujo a través de un tubo horizontal.

PROPÓSITOS

- Diseñar y realizar un experimento con materiales de fácil acceso que permita estudiar las pérdidas de energía en el experimento de Torricelli.
- Comprender los límites de validez de los modelos matemáticos considerados.
- Utilizar el teléfono celular como instrumento de medición para la adquisición de datos experimentales, así como softwares procesadores de videos, imágenes, datos y gráficos.
- Resolverá problemas prototipo donde se presenten procesos de transferencia de masa y energía con base en los principios de conservación.

EXPLICACIÓN SOBRE SU APLICACIÓN PARA LOGRAR LOS APRENDIZAJES PROPUESTOS

Para lograr los aprendizajes propuestos se propone un estudio experimental relacionado con las pérdidas de energía en el flujo de agua en el experimento clásico de Torricelli. Para ello se diseñará y realizará un montaje experimental en donde se analicen las pérdidas de energía con respecto a la longitud del tubo de salida y a su diámetro.

En esta práctica los alumnos utilizarán materiales accesibles y de bajos recursos. Además de utilizar las TIC para la toma, procesamiento y análisis de datos experimentales, lo cual permite obtener un análisis detallado del fenómeno en cuestión.

INTRODUCCIÓN

En el esquema de la **Fig. 1** se presenta la situación del experimento que se realizará. Consideremos la expresión matemática del principio de Bernoulli.

$$P_1 + \rho g H_1 + \frac{1}{2} \rho u_1^2 = P_2 + \rho g H_2 + \frac{1}{2} \rho u_2^2 \quad (1)$$

Luego, para este caso en particular:

$$P_1 = P_2 = P_{atm} \quad (2)$$

Además, teniendo en cuenta la ecuación de continuidad:

$$A_1 u_1 = A_2 u_2 \quad (3)$$

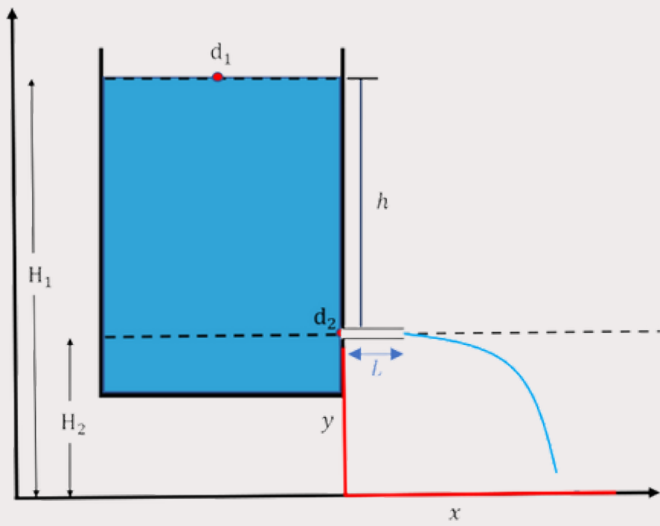


Fig.1. Esquema representativo del experimento de Torricelli. A la salida de d2 se representa un tubo de longitud L.

Expresando el área en términos de los diámetro y realizando algunos pasos algebraicos con la ecuaciones anteriores se puede demostrar que la rapidez de salida del chorro de agua viene dado por:

$$u_2 = \gamma \sqrt{2gh} \quad (4)$$

En donde:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^4}} \quad (5)$$

ACTIVIDADES PARA DESARROLLAR

Diseño y construcción del dispositivo experimental

Para estos experimentos se utilizan botellas de plástico transparentes a las cuales se les retira la parte superior con la ayuda de un cutter, de tal forma de obtener una estructura cilíndrica. En la zona inferior de las botellas se realizan orificios alrededor de su circunferencia con la finalidad de incrustar tubos de diferente diámetro y longitud, ver **Fig. 2.**

Se puede utilizar *plastiloka* o silicón para pegar los tubos en la parte inferior de botella y de esta manera evitar fugas de agua al momento de realizar los experimentos.

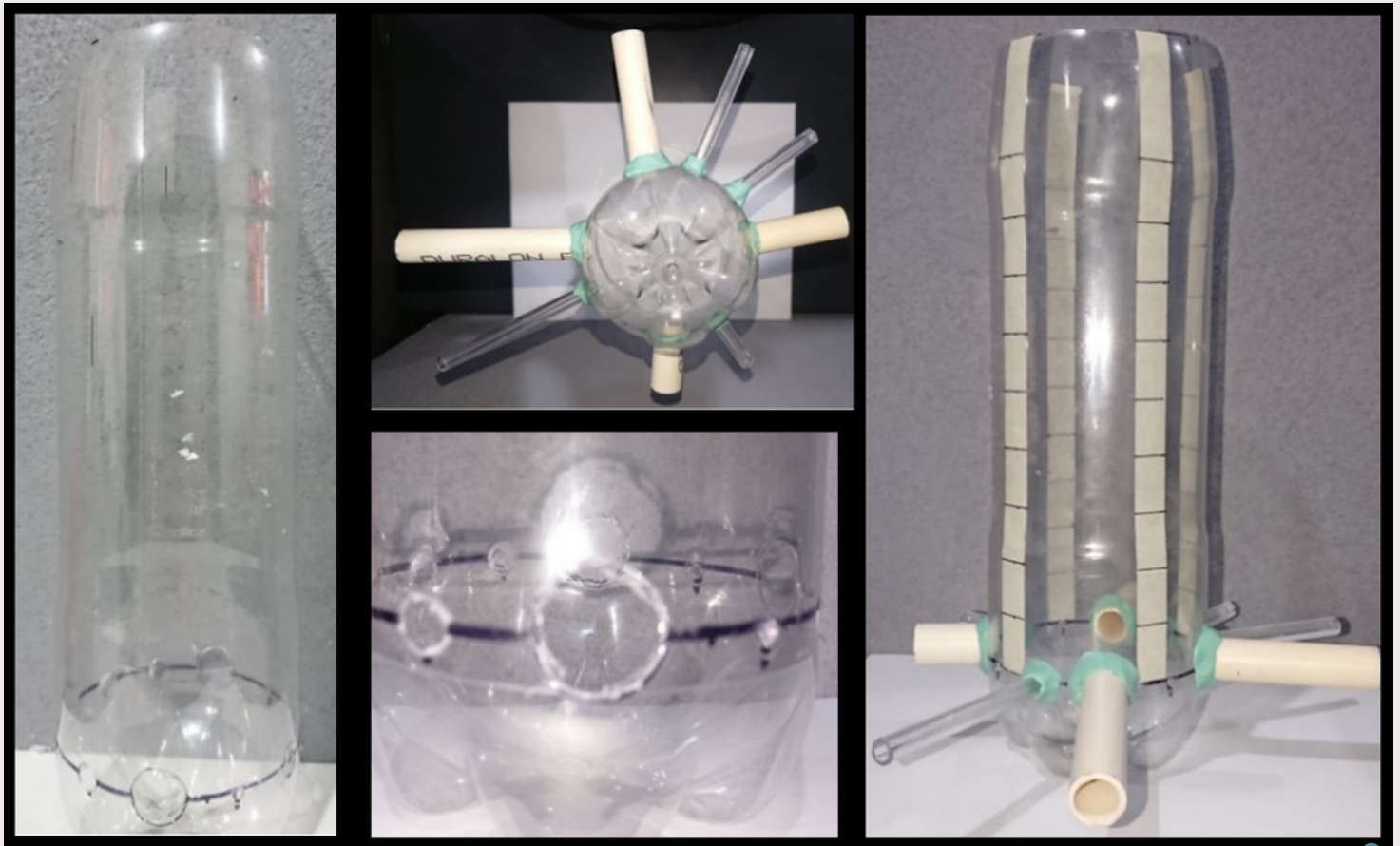


Fig. 2. Construcción del prototipo experimental. Se utilizan botellas de plástico y tubos de diferente diámetro y longitud, los cuales se pueden obtener de bolígrafos y PVC.

Con el objetivo de conocer cómo varía el nivel de agua con respecto al tiempo, así como de tener una imagen de la trayectoria del chorro de agua por cada altura, sobre la superficie de la botella se coloca una cinta con *masking tape* en donde se marcan líneas que indicaran el nivel de agua medido desde la mitad del diámetro del tubo (altura cero), ver **Fig. 2**, recuadro derecho.

Montaje del prototipo y experimentación

La botella se llena con agua hasta el máximo nivel y se coloca sobre una superficie plana a una determinada altura con respecto a la superficie del suelo. Con la finalidad de verificar que la superficie de la mesa no este inclinada se puede utilizar un nivel que se puede descargar de manera gratuita de la *play store* e instalar en el celular. La aplicación "*Precise Level & Bubble Level Meter*" es una buena opción. Si se decidió trabajar con una sola botella se pueden tapar los orificios con un pedazo de bolsa de plástico y ligas para evitar que se derrame el agua.

Para la obtención de los datos experimentales se utilizan dos celulares. Con primero de ellos se toma un vídeo del descenso del nivel de agua, con el propósito de determinar la variación de la altura con respecto al tiempo, ver **Fig. 3**, lado izquierdo. Este celular se puede fijar con pinzas de plástico o un tripie. Mientras que con el segundo celular se toma un video de la trayectoria del chorro de agua, procurando que este lo más centrado posible. En este caso es importante mencionar que en el video se pueda observar el nivel de agua, con el fin de conocer la trayectoria del chorro de agua para una determinada altura.

En la pared se coloca un fondo con una referencia (una distancia conocida) con el objetivo de poder obtener las coordenadas (x y y) de la trayectoria del chorro de agua en un análisis posterior con el programa *video tracker*.

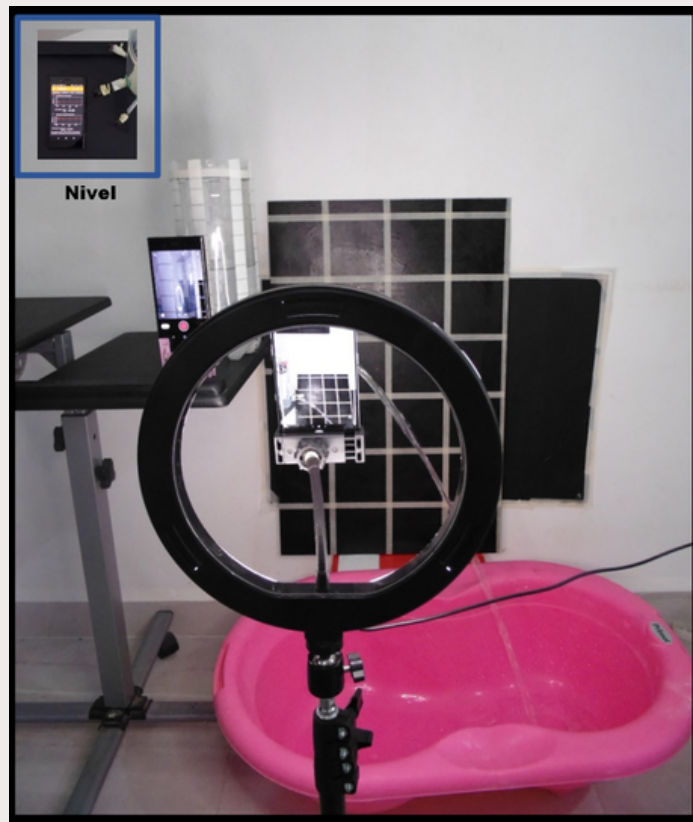


Fig. 3. Montaje del prototipo experimental para la obtención de los datos. En el lado izquierdo se toma el video para obtener la variación del nivel de agua con respecto al tiempo y del lado derecho de la trayectoria del chorro de agua.

Para evitar que el agua se derrame sobre el suelo se pone un recipiente sobre la superficie del suelo. Finalmente se toman los videos por cada variación del diámetro y longitud de los tubos.

ORIENTACIONES PARA LA ORGANIZACIÓN Y EL ANÁLISIS DE DATOS

Determinación experimental de la rapidez de salida del chorro de agua

Para esta parte del experimento se investigará cual es la variación de la rapidez de salida del chorro de agua con respecto a la altura. Para ello selecciona un video con un tubo de cierta longitud y área transversal.

Posteriormente, revisa el video tutorial en el siguiente código QR, con la intención de saber como medir datos de la posición (x,y) del chorro de agua con el programa *video tracker*.



Luego, realiza una gráfica de x vs y y obtén la curva que mejor se ajuste a los datos experimentales. Interpreta la ecuación con la curva que describe el movimiento de una trayectoria parabólica, ver Ec. (6) y determina el valor experimental de la rapidez de salida del chorro de agua.

$$y = H_2 - \frac{1}{2} \frac{g}{u_2^2} x^2 \quad (6)$$

El procedimiento anterior se realizará para al menos cinco alturas del nivel de agua. Con dicho valor de las alturas seleccionadas, calcula el resultado teórico de la rapidez del chorro de agua mediante la Ec. (4) y contrástalo con el obtenido experimentalmente mediante el error porcentual. Organiza los resultados en la **tabla 1**.

Tabla 1. Contrastación de la rapidez de salida teórica con respecto a la experimental.

h (m)	u_2 (m/s) experimental	u_2 (m/s) teórico	ϵ (%)

Estudio de las pérdidas de energía en el experimento de Torrecelli

El cálculo realizado para determinar la rapidez de salida del chorro de agua con la Ec. (4) es el modelo ideal y fue deducido a partir de la ecuación de continuidad, ver Ec. (3). Sin embargo, durante el flujo existen pérdidas de energía debido a la turbulencia del fluido y a la viscosidad de este, por esta razón se propone que la ecuación de continuada debe ser modificada por un coeficiente, μ , asociado al posible estrechamiento del chorro de agua en la salida, así como a pérdidas de energía, es decir la ecuación de continuidad se expresará de la siguiente forma:

$$A_1 u_1 = \mu A_2 u_2 \quad (7)$$

Por tal motivo, $\mu=1$ para el caso ideal. Por tanto, el siguiente objetivo es determinar μ de manera experimental y observar como varía con respecto a la longitud y diámetro de los tubos.

En primer instancia, se calculará el tiempo de vaciamiento por medio del estudio de la variación del nivel del agua con respecto al tiempo usando el video que se tomó con el primer celular. Para ello se tiene que:

$$u_1 = \frac{dh(t)}{dt} \quad (8)$$

Sustituyendo la Ec. (4) y (7) en (8), se obtiene:

$$u_1 = \frac{dh(t)}{dt} = \frac{A_2}{A_1} \mu \gamma \sqrt{2gh} \quad (9)$$

Reacomodando términos de la Ec. (9)

$$\frac{dh(t)}{\sqrt{2gh}} = \frac{A_2}{A_1} \mu \gamma dt \quad (10)$$

Integrando la Ec. (10), considerando la altura inicial h_0 al tiempo $t=0$ y una determinada altura h y al tiempo t .

$$\frac{1}{\sqrt{2g}} \int_{h_0}^h h^{-1/2} dh = \frac{A_2}{A_1} \mu \gamma \int_0^t dt$$

Por lo tanto, se puede encontrar una relación entre el nivel del agua con respecto al tiempo y que involucre μ , es decir:

$$\sqrt{h} - \sqrt{h_0} = \sqrt{\frac{g}{2}} \frac{A_2}{A_1} \mu \gamma t \quad (11)$$

Teniendo en cuenta que el tiempo de vaciado, el cual se denotará como t_v ocurre para cuando $h=0$, entonces de la Ecu. (11):

$$t_v = \frac{\sqrt{h_0}}{\sqrt{\frac{g}{2}} \frac{A_2}{A_1} \mu \gamma} = \sqrt{\frac{2h_0 A_1^2}{g A_2^2 \mu^2 \gamma^2}} \quad (12)$$

Como se puede observar de la Ec. (12) teniendo el valor del tiempo de vaciado se puede obtener el coeficiente μ , entonces, reacomodando la Ec. (11) y multiplicando por uno (ver letras en negritas) se puede llegar a la Ec. (13) con la que se puede determinar el tiempo de vaciado, es decir:

$$\frac{-\sqrt{h_0}}{-\sqrt{h_0}} \frac{\sqrt{h}}{\sqrt{\frac{g}{2}} \frac{A_2}{A_1} \mu \gamma} - \frac{\sqrt{h_0}}{\sqrt{\frac{g}{2}} \frac{A_2}{A_1} \mu \gamma} = t$$

$$-\frac{\sqrt{h(t)}}{\sqrt{h_0}} t_v + t_v = t$$

$$t_v \left(1 - \frac{\sqrt{h(t)}}{\sqrt{h_0}} \right) = t$$

$$\sqrt{\frac{h(t)}{h_0}} = -\frac{t}{t_v} + 1 \quad (13)$$

Entonces, para una altura inicial del nivel de agua, para cada una de las longitudes y diámetros de los tubos, obtén por medio del programa *video tracker* valores de $h(t)$ vs t y posteriormente linealiza los datos experimentales, es decir, realiza una gráfica de:

$$\sqrt{\frac{h(t)}{h_0}} \text{ VS } t$$

Determina el valor de la pendiente, m , y luego el tiempo de vaciado mediante la interpretación de la Ec. (13). Finalmente, con las dimensiones previamente medidas de la botella y los tubos, determina el μ utilizando la Ec. (12).

Organiza los resultados en la **tabla 2** y discute la variación de μ con respecto a la longitud y el diámetro de los tubos. Con ello explica la diferencia entre los valores teóricos y experimentales de la rapidez de salida del chorro de agua en el apartado anterior, ver **tabla 1**.

Tabla 2. Determinación del coeficiente μ en dependencia de las características del tubo de salida de agua

L (cm) longitud del tubo	d_2 (cm) Diámetro de salida	m (1/s) pendiente	t_v (s) Tiempo de vaciado	μ

LAS FORMAS DE EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE APRENDIZAJE

Los alumnos realizarán un reporte escrito con las siguientes características:

- Información del trabajo y autores
- Resumen
- Introducción
- Materiales y métodos
- Resultados
- Discusión
- Conclusiones
- Bibliografía
- Anexos

El reporte escrito se evaluará mediante una rúbrica que se localiza en el siguiente código QR.



FUENTES CONSULTADAS

Aguilar B. (2013) *Desarrollo de programas de computación para la solución de problemas de fluidos*. (Tesis de pregrado). UNAM, México. https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/iq/tesis/tesis_aguilar_barrios.pdf

Gil, S. (2017). *Experimentos de física, usando las TIC y elementos de bajo costo: electromagnetismo, ondas, fluidos y termodinámica (1ª ed)*, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Alfaomega grupo editor argentino.

Holiday, D., Resnick, R. y Walker, J. (2011). *Fundamentos de física, Volumen 1*. Octava edición. México: Grupo Editorial Patria.

Riveros, R. Héctor, et al. (2000). *Experimentos impactantes 1, mecánica y fluidos*. México: Trillas.

INFORMACIÓN SOBRE LAS DIFICULTADES PRÁCTICAS DE LA ACTIVIDAD

El experimento se puede realizar usando diferentes botellas, pero que tengan las mismas características, esto es importante mencionar porque se puede tener fugas de agua si no se sella bien con bolsas de plástico la salida de agua en los tubos.

Por otra parte, los videos se deben de tomar a la misma distancia en todas las variaciones, ya que si se cambia, existen errores de paralaje que afectan la medición de la posición del chorro de agua al analizarlo con *video tracker*.

Finalmente, en el caso no contar con una PC o laptop e instalar el programa *video tracker*, existe la *app Vidanalysis Free* que se puede descargar de la *play store* e instalar en un celular con sistema operativo Android. Para el sistema iOS se puede descargar la *app Video Physics for iOS*. Las *apps* anteriores realizan básicamente la misma función que *video tracker*, con la desventaja de tener un mayor margen de error al seguir la trayectoria de un objeto puntual, al menos que se cuente con una pluma digital.