

Aplicaciones didácticas asistidas de bajo costo para el laboratorio de física

¹Mealla Sánchez Mealla Sánchez,² Parra Pacheco Parra Pacheco

^{1,2} Departamento de Ciencias Básicas, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia.

Article History

Received Jun,09th, 2020

Accepted Jun ,13th, 2020

Published Jun ,23th, 2020



© 2020 The Authors. This article is an Open Access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution(CC-BY)license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

Abstract

El presente trabajo muestra la implementación de dos experiencias de laboratorio de física, asistidas por PC a través de tarjetas de control y toma de datos comerciales de bajo costo. Se utiliza una tarjeta Arduino para medir tiempos entre oscurecimientos en distintas fotopuertas ubicadas en la trayectoria de un objeto. El registro de los tiempos permite calcular la velocidad media y la instantánea en las distintas posiciones de fotopuertas. La primera experiencia está relacionada con el método alternativo sugerido por Galileo para medir la aceleración de la gravedad, comparando la velocidad con el cuadrado del tiempo transcurrido. Adicionalmente se puede medir el coeficiente cinético de roce conocido el valor de la gravedad. La segunda experiencia tiene que ver con la medición de la viscosidad de un líquido cuando cae una esfera metálica a través de él. Se calcula la velocidad media y la instantánea en las distintas posiciones de fotopuertas, esa velocidad se ajusta según la posición para poder calcular la velocidad límite, transformando la experiencia en un movimiento uniforme rectilíneo y también, para esa condición, con el valor de la velocidad se puede calcular la viscosidad.

Keywords: Arduino, Experiencias de laboratorio, Gravímetro, Viscosímetro

INTRODUCTION

La experimentación constituye uno de los componentes esenciales de la enseñanza de la física, debido a que permite establecer conexiones directas entre los modelos matemáticos y el comportamiento de los fenómenos naturales. El laboratorio proporciona al estudiante la oportunidad de observar, medir, comparar resultados, analizar incertidumbres y contrastar las predicciones teóricas con datos obtenidos experimentalmente. No obstante, el desarrollo de experiencias experimentales puede verse limitado por el costo del equipamiento. Los sistemas comerciales especializados para adquisición de datos, sensores y procesamiento automático pueden resultar difíciles de incorporar en instituciones educativas que disponen de recursos económicos limitados. Esta situación hace necesario explorar soluciones tecnológicas más económicas que mantengan una precisión suficiente para propósitos didácticos. Las plataformas electrónicas de código abierto, particularmente Arduino, han permitido desarrollar nuevas posibilidades para la instrumentación educativa. Estas tarjetas pueden comunicarse con sensores, fotopuertas y computadoras, registrar eventos con intervalos temporales pequeños y posteriormente transferir los datos para su procesamiento. La utilización de Arduino dentro del laboratorio permite también que el estudiante comprenda que un experimento moderno integra

física, electrónica, programación y análisis de datos. Esta característica contribuye al desarrollo de competencias interdisciplinarias y permite transformar experiencias tradicionales en actividades con mayor nivel de automatización. El presente trabajo desarrolla dos aplicaciones didácticas asistidas por computadora. La primera está relacionada con la determinación experimental de la aceleración gravitatoria y el análisis del coeficiente de rozamiento cinético. La segunda utiliza el movimiento de una esfera dentro de un líquido para determinar su velocidad límite y posteriormente estimar la viscosidad. En ambas experiencias, las fotopuertas desempeñan una función central. Cuando un objeto interrumpe el haz luminoso, el sistema identifica el instante correspondiente y Arduino registra la información temporal. Conociendo las posiciones de las fotopuertas, resulta posible calcular velocidades medias e instantáneas. Estas experiencias demuestran que la utilización de componentes electrónicos relativamente económicos puede proporcionar recursos adecuados para fortalecer la enseñanza experimental de la física.

Arduino y adquisición de datos en el laboratorio de física

Arduino constituye una plataforma electrónica de hardware y software abierto diseñada para facilitar la interacción entre sensores, actuadores y sistemas informáticos. Su bajo costo y relativa facilidad de programación han permitido una amplia utilización dentro de proyectos educativos. En el laboratorio de física, uno de sus principales beneficios corresponde a la adquisición automática de datos. Las mediciones manuales del tiempo mediante cronómetros pueden introducir importantes errores asociados con el tiempo de reacción del observador. Cuando los intervalos son pequeños, esta limitación puede modificar considerablemente los resultados. Las fotopuertas permiten reducir este problema. Estos dispositivos utilizan normalmente una fuente luminosa y un sensor colocado en el lado opuesto. Cuando un objeto atraviesa la trayectoria del haz, se produce una interrupción que puede registrarse electrónicamente. Si se colocan varias fotopuertas a lo largo de una trayectoria, pueden obtenerse distintos tiempos asociados con posiciones conocidas. Por ejemplo, cuando un objeto recorre una distancia determinada entre dos fotopuertas, su velocidad media puede obtenerse a partir de la relación entre la distancia recorrida y el intervalo de tiempo registrado. El uso de varias mediciones permite observar cómo cambia la velocidad durante el movimiento. Arduino puede enviar posteriormente los registros temporales a una computadora, donde los datos pueden almacenarse, representarse gráficamente y analizarse mediante software. Esta combinación permite que el laboratorio deje de depender exclusivamente de mediciones manuales y favorece un análisis más detallado del movimiento. Además, el estudiante puede estudiar simultáneamente incertidumbre experimental, resolución del sensor y propagación de errores.

Determinación experimental de la aceleración de la gravedad

La primera aplicación está relacionada con la medición de la aceleración de la gravedad mediante una estrategia experimental inspirada en los estudios clásicos de Galileo. El movimiento de un cuerpo sometido a aceleración aproximadamente constante permite relacionar posición, velocidad y tiempo. En un sistema experimental, el objeto se desplaza a lo largo de una trayectoria sobre la cual se distribuyen varias fotopuertas. Cada sensor registra el momento en que el objeto atraviesa una posición determinada. A partir de estos tiempos se obtiene información suficiente para calcular velocidades correspondientes a distintas regiones de la trayectoria. Supóngase, por ejemplo, que las fotopuertas se encuentran separadas por distancias conocidas. Si un objeto tarda un determinado intervalo en recorrer el espacio entre dos sensores, la velocidad media se obtiene dividiendo dicha distancia entre el tiempo registrado. Al repetir el procedimiento para distintas posiciones puede observarse un incremento progresivo de la velocidad cuando existe aceleración. Los datos obtenidos pueden posteriormente ajustarse utilizando las relaciones cinemáticas correspondientes al movimiento uniformemente acelerado. Desde una perspectiva didáctica, esta experiencia permite que el estudiante no utilice la ecuación del movimiento únicamente como una expresión matemática. Los valores obtenidos experimentalmente pueden compararse directamente con el comportamiento previsto por el modelo. El método también facilita el análisis gráfico. Una relación aproximadamente lineal entre las variables adecuadamente seleccionadas permite obtener la aceleración a partir de la pendiente del ajuste. La discrepancia entre el valor experimental de la gravedad y el valor teórico esperado puede analizarse mediante error porcentual, incertidumbre instrumental y pérdidas producidas por rozamiento.

Determinación del coeficiente cinético de rozamiento

Una extensión de la primera experiencia consiste en utilizar la información obtenida para estimar el coeficiente cinético de rozamiento. El rozamiento aparece cuando dos superficies mantienen contacto relativo y produce una fuerza que se

opone al movimiento. En un montaje experimental, la aceleración observada puede ser menor que la predicha para un sistema ideal debido a la existencia de fuerzas de fricción. Cuando el valor de la aceleración gravitatoria ya es conocido, el comportamiento dinámico del cuerpo permite analizar la contribución de la fuerza de rozamiento.

Para realizar este análisis es necesario considerar las fuerzas que actúan sobre el cuerpo y aplicar las leyes de Newton. El sistema experimental proporciona los tiempos y velocidades necesarios para determinar la aceleración real. La comparación entre la aceleración ideal y la aceleración experimental permite estimar la influencia del rozamiento. Esta actividad posee un considerable valor pedagógico porque muestra que los modelos ideales utilizados en los cursos introductorios de física necesitan ser adaptados cuando se estudian sistemas reales. El estudiante puede observar que pequeñas irregularidades en una superficie, cambios en el material o variaciones en la inclinación pueden modificar los resultados obtenidos. También puede realizar varias mediciones y obtener un valor medio del coeficiente de rozamiento. El análisis de la dispersión de los datos permite introducir conceptos relacionados con precisión, repetibilidad e incertidumbre experimental.

Medición de viscosidad mediante caída de una esfera

La segunda experiencia utiliza una esfera metálica que cae dentro de un líquido.

Cuando la esfera comienza su movimiento, distintas fuerzas actúan simultáneamente sobre ella.

El peso produce un movimiento descendente, mientras que el empuje del fluido y la fuerza viscosa se oponen al movimiento. Inicialmente, la esfera acelera. Sin embargo, a medida que aumenta la velocidad, también aumenta la resistencia ejercida por el líquido. Después de un determinado recorrido puede alcanzarse una condición en la cual las fuerzas se equilibran. En ese momento, la aceleración se aproxima a cero y la esfera continúa desplazándose con una velocidad aproximadamente constante denominada **velocidad límite o terminal**. Las fotopuertas situadas en distintas posiciones permiten registrar el paso de la esfera. Los tiempos obtenidos permiten calcular velocidades medias en diferentes regiones. Al analizar los datos desde la parte superior hacia la inferior puede observarse inicialmente un incremento de velocidad seguido por una tendencia hacia un valor prácticamente constante. Esta región resulta particularmente importante porque corresponde aproximadamente al movimiento rectilíneo uniforme. El valor de la velocidad límite puede utilizarse para determinar la viscosidad del líquido empleando el modelo físico correspondiente. La experiencia permite así relacionar conceptos de mecánica, fluidos y adquisición de datos. Desde el punto de vista didáctico, el estudiante puede identificar claramente la transición entre un movimiento acelerado y otro aproximadamente uniforme. También puede comparar diferentes líquidos y observar que aquellos con mayor viscosidad producen velocidades terminales menores para una esfera de características similares.

Procesamiento e interpretación de los datos experimentales

La adquisición automática de datos constituye únicamente la primera etapa del experimento. La utilidad didáctica depende de que los estudiantes participen posteriormente en el procesamiento e interpretación. En el experimento gravitatorio, los tiempos registrados por las fotopuertas permiten obtener velocidades correspondientes a diferentes posiciones. Cuando estos datos son organizados y representados gráficamente, el estudiante puede analizar la tendencia y determinar la aceleración a partir de un ajuste matemático. Si los resultados experimentales presentan pequeñas diferencias entre mediciones repetidas, es posible calcular valores medios y estudiar la dispersión. La identificación de puntos anómalos también constituye una actividad importante. Un registro temporal muy diferente del resto puede deberse a una interrupción incorrecta del haz, una vibración mecánica, una conexión defectuosa o una condición inicial diferente. En el viscosímetro, el análisis se concentra en determinar la región donde la velocidad deja de aumentar significativamente. La secuencia experimental puede describirse de la siguiente manera: inicialmente la esfera presenta una velocidad pequeña; posteriormente acelera por acción de la gravedad; la resistencia viscosa aumenta conforme aumenta la velocidad; finalmente, la fuerza resultante se aproxima a cero y la esfera se mueve con velocidad casi constante. En vez de utilizar solamente el último tiempo registrado, es conveniente comparar varias mediciones consecutivas. Cuando las velocidades calculadas presentan diferencias cada vez menores, puede identificarse experimentalmente la aproximación a la velocidad terminal. Estos datos también permiten comparar experimentos realizados con líquidos diferentes o esferas de distintos tamaños. La utilización de la computadora facilita este análisis porque permite representar gráficamente numerosos datos en pocos segundos.

No obstante, el procesamiento automático debe ir acompañado de una explicación conceptual. El estudiante debe

comprender qué representa cada valor y por qué determinada tendencia posee significado físico.

Ventajas didácticas y económicas del sistema

Una de las ventajas más importantes de estas experiencias corresponde a su bajo costo comparativo. Las tarjetas Arduino y numerosos sensores compatibles pueden adquirirse a precios relativamente reducidos frente a sistemas profesionales especializados. Esta característica permite desarrollar varios montajes dentro de un mismo laboratorio y facilitar que grupos pequeños de estudiantes trabajen simultáneamente. La arquitectura abierta también permite modificar el sistema según los objetivos de cada práctica. Por ejemplo, pueden añadirse nuevas fotopuertas, pantallas, sensores de temperatura o módulos de almacenamiento. Otro beneficio corresponde a la integración de conocimientos. Los estudiantes no solamente aplican principios físicos, sino que también interactúan con circuitos electrónicos, programación básica, procesamiento de datos y representación gráfica. La automatización incrementa además la cantidad de datos obtenidos durante una sesión de laboratorio. Mientras una medición manual puede exigir repetir cuidadosamente cada procedimiento, el sistema electrónico puede capturar múltiples eventos de manera consecutiva. Esto permite dedicar más tiempo a la interpretación de resultados. Sin embargo, el bajo costo no significa ausencia de rigor experimental. El equipo debe calibrarse, los sensores deben ubicarse correctamente y la incertidumbre de cada medición debe evaluarse. La experiencia resulta más educativa cuando los estudiantes comprenden tanto las ventajas como las limitaciones del sistema utilizado.

Discusión

La utilización de aplicaciones asistidas mediante Arduino demuestra que es posible desarrollar experiencias experimentales significativas sin depender necesariamente de instrumentación costosa. La automatización del registro temporal reduce una de las fuentes más importantes de incertidumbre presentes en las mediciones manuales: el tiempo de reacción humana. Además, la utilización de varias fotopuertas permite obtener una descripción más completa del movimiento. En la experiencia relacionada con gravedad, el estudiante puede observar cómo cambia la velocidad y relacionar esta variación con una aceleración aproximadamente constante. La incorporación del rozamiento permite posteriormente analizar las diferencias entre un modelo ideal y un sistema real. La experiencia de viscosidad introduce un fenómeno diferente. La esfera inicialmente acelera, pero posteriormente alcanza una velocidad límite debido al equilibrio entre las fuerzas que actúan sobre ella. Esta característica permite demostrar experimentalmente que no todos los movimientos bajo la acción de la gravedad mantienen aceleración constante durante todo el recorrido. Las dos experiencias presentan asimismo una importante dimensión metodológica. El estudiante debe formular hipótesis, registrar datos, representar resultados, realizar ajustes y comparar valores experimentales con predicciones teóricas. Por tanto, la incorporación de tecnología de bajo costo no debe considerarse únicamente una reducción económica. Representa también una oportunidad para transformar el laboratorio tradicional en un espacio de aprendizaje activo.

Summary

El trabajo presenta dos aplicaciones didácticas asistidas por computadora destinadas al laboratorio de física mediante una plataforma Arduino y fotopuertas de bajo costo.

La primera experiencia permite registrar los tiempos correspondientes al movimiento de un objeto en distintas posiciones. A partir de estos datos pueden calcularse velocidades medias e instantáneas y posteriormente determinar la aceleración. El montaje proporciona una alternativa experimental para analizar la aceleración gravitatoria siguiendo principios relacionados con los estudios de Galileo. Una vez conocido el valor de la gravedad, la misma información puede utilizarse para analizar el coeficiente cinético de rozamiento. La segunda experiencia utiliza una esfera metálica que cae dentro de un líquido. Las fotopuertas registran los tiempos de paso de la esfera y permiten obtener su velocidad en distintas posiciones. El análisis muestra inicialmente una región acelerada y posteriormente una aproximación hacia una velocidad constante. Esta velocidad límite proporciona la información necesaria para estimar la viscosidad del fluido. En ambas experiencias, la adquisición automática de datos reduce errores asociados con mediciones manuales y proporciona una cantidad mayor de información experimental. La utilización de Arduino contribuye además a reducir costos y facilita la reproducción de los montajes en laboratorios educativos. Estas aplicaciones muestran que las herramientas electrónicas abiertas pueden fortalecer el aprendizaje experimental de la mecánica y la física de fluidos.

Referencias

Arduino. (2018). *Arduino Uno Rev3: Technical specifications*. Arduino.

- Banzy, M., & Shiloh, M. (2014). *Getting started with Arduino* (3rd ed.). Maker Media.
- Bevington, P. R., & Robinson, D. K. (2003). *Data reduction and error analysis for the physical sciences* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Chabay, R. W., & Sherwood, B. A. (2015). *Matter and interactions* (4th ed.). Wiley.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of physics* (10th ed.). Wiley.
- Hibbeler, R. C. (2016). *Engineering mechanics: Dynamics* (14th ed.). Pearson.
- Monk, S. (2016). *Programming Arduino: Getting started with sketches* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Physics for scientists and engineers with modern physics* (9th ed.). Cengage Learning.
- Sokoloff, D. R., Laws, P. W., & Thornton, R. K. (2007). RealTime physics: Active learning labs transforming the introductory laboratory. *European Journal of Physics*, 28(3), S83–S94.
- Taylor, J. R. (1997). *An introduction to error analysis: The study of uncertainties in physical measurements* (2nd ed.). University Science Books.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Physics for scientists and engineers* (6th ed.). W. H. Freeman.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2016). *University physics with modern physics* (14th ed.). Pearson.