

Comprobando la ley de variación de intensidad de la luz con la distancia por medio de sensores para Arduino



Pedro A. Willging, Carmen E. Lambrecht, Juan M. Distel, Mario G. Campo

*Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de La Pampa,
Av. Uruguay 151, Santa Rosa, La Pampa, CP 6300, Argentina.*

E-mail: pedro@exactas.unlpam.edu.ar

ISSN 1870-9095

(Recibido el 18 de agosto de 2025, aceptado el 31 de octubre de 2025)

Resumen

En este trabajo se describe una experiencia de laboratorio para comprobar la variación de la intensidad de la luz respecto de la distancia a la fuente emisora. Ha sido llevada a cabo utilizando dispositivos de robótica educativa, con sensores y placa Arduino. Además de referenciar las leyes de la física que subyacen a la experiencia, se indica la manera en que se ha elaborado el dispositivo para la toma y registro de datos. Se incluye el análisis de los datos recolectados en una prueba experimental y se hacen consideraciones relacionadas con su utilización en las clases de física.

Palabras clave: robótica educativa, Arduino, prácticas de laboratorio.

Abstract

This paper describes a laboratory experiment to test the variation of light intensity with respect to the distance from the emitting source. It was carried out using educational robotics devices, sensors, and an Arduino board. In addition to referencing the laws of physics underlying the experiment, it describes how the device for data collection and recording was designed. It includes an analysis of the data collected in an experimental test and discusses considerations related to its use in physics classes.

Keywords: educational robotics, Arduino, lab practices.

I. INTRODUCCIÓN

La variación de la intensidad luminosa sobre una superficie con la distancia a la fuente de luz, representa una función matemática muy atrayente de estudiar en el nivel medio. Desde la práctica docente, se observa que los estudiantes tienden a pensar que la relación entre dos variables es lineal, cualquiera sea el fenómeno que esté ocurriendo.

El uso de una placa Arduino y un luxómetro, permiten construir un equipo de bajo costo para la medición de la intensidad de la luz de diferentes lámparas y así recolectar los datos necesarios para su posterior análisis, a fin de determinar la relación funcional entre las variables.

II. FUNDAMENTOS DE LA FÍSICA INVOLUCRADOS EN ESTA EXPERIENCIA

Para caracterizar como la luz ilumina a diferentes objetos, se utilizan varias magnitudes. Una de ellas es la iluminación E . Si se considera una fuente de luz pequeña en comparación con sus alrededores, esta emite luz que se propaga en forma rectilínea. Cuando esta luz alcanza una pantalla, la iluminación E que llega a ella depende de la intensidad de luz

de la lámpara I , de la distancia a la misma d , y del ángulo con la que el rayo de luz incide en dicha pantalla, medido respecto de una línea normal a la superficie (o de un versor unitario normal a la superficie, ver Figura 1) [1, 2].

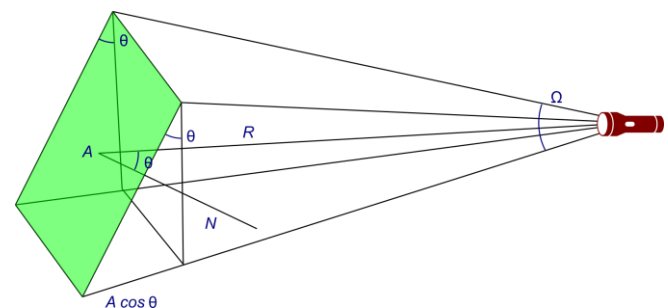


FIGURA 1. Fuente de luz, proyección sobre una pantalla y variables a considerar.

Matemáticamente, esta relación se expresa en la siguiente fórmula:

$$E = \frac{I \cos \theta}{d^2}. \quad (1)$$

Si la luz incide en forma perpendicular a la superficie, el ángulo es igual a cero, por lo que la iluminación:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (2)$$

En el sistema internacional (SI), la unidad de medida de la iluminación E es lux (lx) y la de la intensidad luminosa I es candela (cd). En el caso estudiado, la pantalla es el propio luxómetro y se considera que la luz llega en forma perpendicular a su superficie, por lo que el ángulo es nulo [3]. Otra magnitud utilizada es el flujo luminoso, que está relacionado con la cantidad total de luz visible emitida por una fuente luminosa. La unidad de medida del flujo es el lumen (lm). Pueden deducirse las relaciones entre lux, lumen y candelas y se ilustran en la Figura 2: 1 lumen = 1 candela \times estereorradián (1 lm = 1 cd \cdot sr). Por otro lado, 1 lux = 1 lumen por metro cuadrado (1 lx = 1 lm/m²) [4].

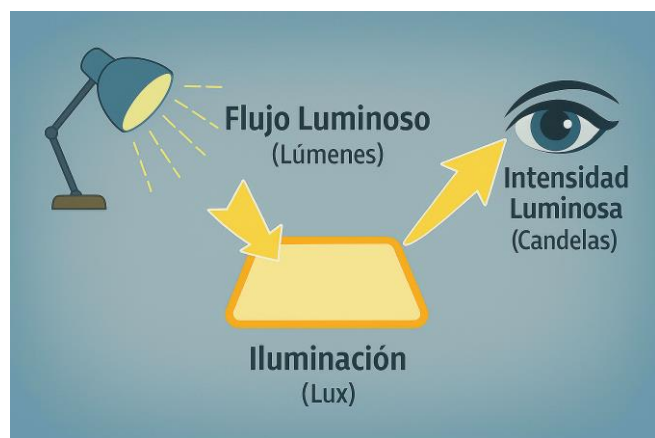


FIGURA 2. Relación entre distintas unidades fotométricas.

III. USO DE ROBÓTICA EDUCATIVA COMO RECURSO PARA EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS

En los cursos de ciencias experimentales, armar dispositivos para involucrar a las/os estudiantes de manera activa es un desafío que intenta superar los acercamientos teóricos desconectados de las experiencias tangibles. Quienes persiguen mejoras en la educación, están a la búsqueda de metodologías innovadoras y recursos de aprendizaje valederos para incorporar en la currícula escolar. Una de esas metodologías con potencial de mejorar la experiencia de aprendizaje es la robótica educativa [5]. Actualmente, la robótica educativa se está haciendo de un lugar en cursos de todos los niveles educativos, particularmente por su capacidad de integrar varias disciplinas, como la Mecánica, la Física, la Informática, la Biología, y la Química, entre otras. Otra ventaja del uso de la robótica, es que permite una experiencia real, tangible, donde las/os estudiantes pueden armar y explorar con el diseño de artefactos electrónicos, generar hipótesis sobre los mecanismos y sensores, para posteriormente verificar, validar o contraponer sus

suposiciones [6, 7]. Por otro lado, los costos de los dispositivos necesarios para crear un robot están ahora al alcance de un entusiasta de la electrónica. Sensores, partes mecánicas y plaquetas controladoras se consiguen en el mercado a costos accesibles aún para instituciones educativas con bajo presupuesto. Colaboran también con la proliferación de proyectos de robótica educativa, las iniciativas de software y hardware abierto que permiten la creación de artefactos de aprendizaje y recolección de datos innovadores.

Existen diversas motivaciones por las cuales la ciencia experimental moderna requiere de dispositivos automáticos de medición. Ya sea por lo peligroso de los materiales que se manipulen (como en el caso de experimentos de física nuclear), porque se necesita recolectar datos en lugares inaccesibles o durante períodos muy prolongados, o porque los parámetros a considerar son muy complejos con las técnicas tradicionales. Por ello, es muy conveniente introducir en las prácticas de laboratorio nuevos dispositivos automáticos que sean seguros, fácilmente programables y baratos. Este tipo de características deseables las reúnen los micro-controladores Arduino [8]. Para quienes no están familiarizados, una descripción detallada del funcionamiento del ambiente Arduino puede encontrarse en Organtini [9]. Hay varias experiencias de utilización de este tipo de recursos tecnológicos en el aula de física, que involucran distintas áreas, tales como la cinemática [10], termodinámica [11], electricidad [12] y otros conceptos fundamentales de la física [13]. En estas experiencias, se demuestra el valor didáctico del uso de esta metodología y recursos tecnológicos.

IV. METODOLOGÍA: ARMADO DEL DISPOSITIVO PARA RECOLECTAR LOS DATOS Y PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN

Para el armado del dispositivo de medición, se utilizó una placa Arduino UNO y un luxómetro Bh1750 (voltaje de operación: 3 a 5 V, respuesta espectral similar a la del ojo humano, rango de medición 1-65535 lux, Figura 3). Al circuito se le agregó un interruptor permitiendo la toma de datos en lapsos de tiempo controlados por quien estaba a cargo del experimento. Se utilizaron dos fuentes de luz. Una de ellas es una linterna con 7 diodos led, y la otra fuente de luz es una lámpara led 5,5 W.

La Figura 4 muestra un esquema del dispositivo montado para realizar el experimento. En el mismo se observa la ubicación de la fuente de luz (**FL**) y el luxómetro (**L**) que está montado en la placa Arduino, ambos separados una distancia **d**, que se mide con una cinta métrica. En las Figuras 11 y 12, se ilustra por medio de fotos el montaje experimental implementado en el laboratorio. En el ambiente donde se realizó el experimento, se evitaron las fuentes de iluminación externas (ventanas), si bien no se logró una oscuridad completa, el espacio de trabajo quedó en semipenumbra.



FIGURA 3. Luxómetro Bh1750.

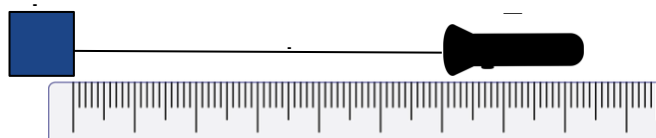


FIGURA 4. Esquema del montaje para la toma de datos.

Se varió la distancia de la fuente de luz al luxómetro y se recolectaron los datos de intensidad de luz utilizando un programa codificado en lenguaje Arduino (ver el Anexo), pudiendo hacer esa recolección de forma automática y también definiendo manualmente cuando comenzar o detener el registro. En la Figura 5 se muestra una captura de pantalla de los datos que se iban registrando por medio del programa informático. Estos datos se almacenan en archivos digitales que contienen las marcas de tiempos y las intensidades de luz captadas por el sensor. En la Figura 6, se muestra el esquema de conexión del luxómetro y la placa Arduino, con los otros componentes necesarios (interruptor, resistencia de 10k Ohm) para el funcionamiento y registro de datos experimentales. Este esquema ha sido realizado con el software provisto por la iniciativa abierta de Fritzing (<https://fritzing.org/>).

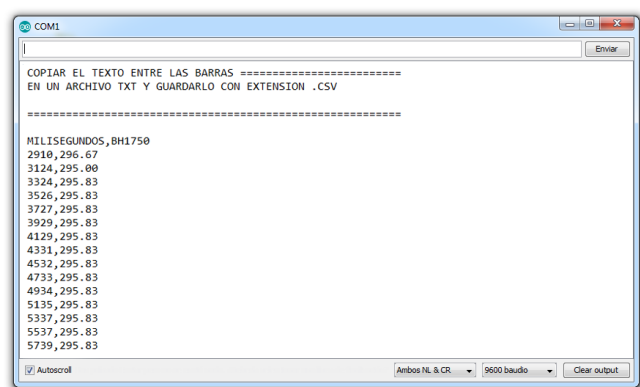


FIGURA 5. Captura de pantalla del registro de datos obtenidos con el dispositivo.

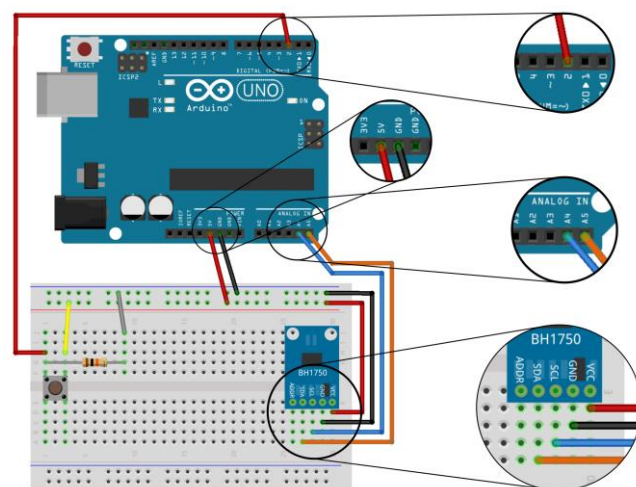


FIGURA 6. Esquema del circuito de conexión de las partes del dispositivo de medición.

V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Se realizaron varias mediciones, a fines de comprobar la relación (2). Las Tablas I y II muestran los resultados obtenidos, utilizando dos fuentes de iluminación distintas. Además, se ha incluido una tercera columna en las tablas que muestra el cálculo de la inversa del cuadrado de la distancia, que permitirá el análisis de los resultados.

TABLA I. Datos para la fuente de luz 1.

d (m)	E (lx)	d^{-2} (m^{-2})
0.10	14000	100
0.15	6800	44.44
0.20	3790	25
0.25	2380	16
0.30	1660	11.11
0.35	1200	8.163
0.40	910	6.25

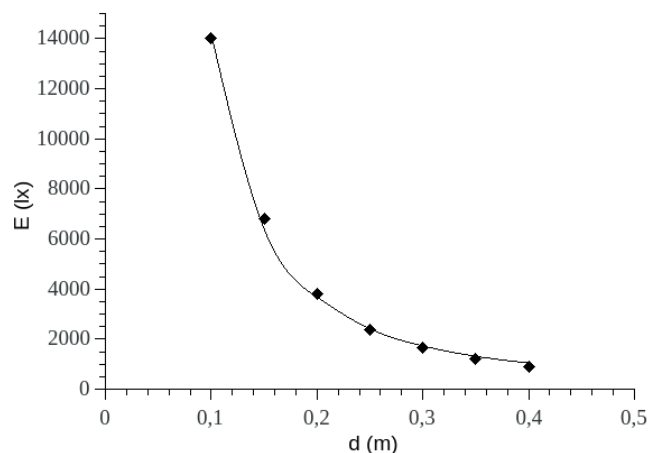


FIGURA 7. Iluminación en función de la distancia, fuente de luz 1.

El gráfico de la Figura 7 representa los datos de iluminación en función de la distancia para los datos de la Tabla I. Para analizar si la relación se corresponde con una función que depende de la inversa del cuadrado de la distancia, se grafica la iluminación en función del d^{-2} . En el gráfico de la Figura 8 puede observarse que se obtiene una función lineal, lo que demuestra que se comprueba la relación (2) y cuya ecuación permite determinar la intensidad de luz de la fuente de luz utilizada ($R^2 = 0.9981$). En este caso, el valor obtenido es de 140 lm.

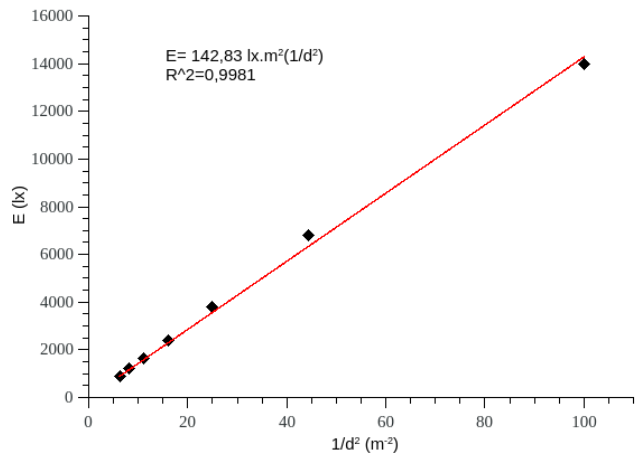


FIGURA 8. Iluminación en función de la inversa de la distancia para la fuente de luz 1.

En cuanto a la segunda fuente de luz utilizada, cuyos datos corresponden a la Tabla II, se realizó para el análisis de los mismos, el gráfico correspondiente a la iluminación en función de la distancia (Figura 9). Al igual que en el caso anterior, para verificar si se trata de una relación inversamente proporcional, se analizó la gráfica de la Figura 10, que permite comprobar nuevamente la relación para el rango de datos estudiado ($R^2 = 0.9983$). En este caso, la intensidad luminosa de la fuente de luz, se corresponde con un valor aproximado a los 40 lm.

TABLA II. Datos para la fuente de luz 2.

$d \text{ (m)}$	$E \text{ (lx)}$	$d^{-2} \text{ (m}^{-2}\text{)}$
0.15	1900	44.44
0.20	1055	25
0.25	716	16
0.30	528	11.11
0.35	414	8.16
0.40	350	6.25
0.45	280	4.94
0.50	270	4
0.60	222	2.77
0.70	188	2.04

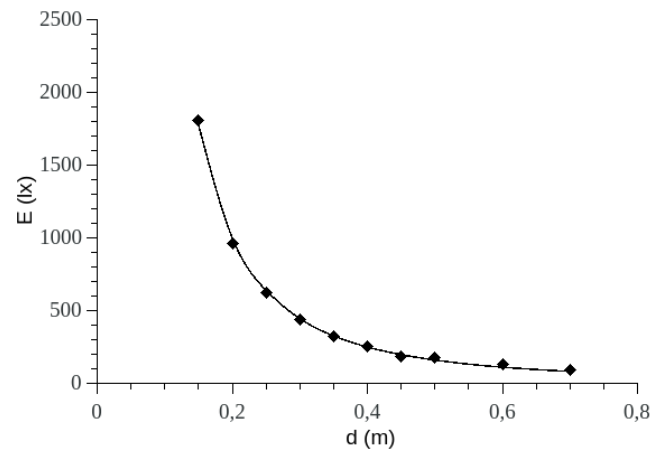


FIGURA 9. Iluminación en función de la distancia, fuente de luz 2.

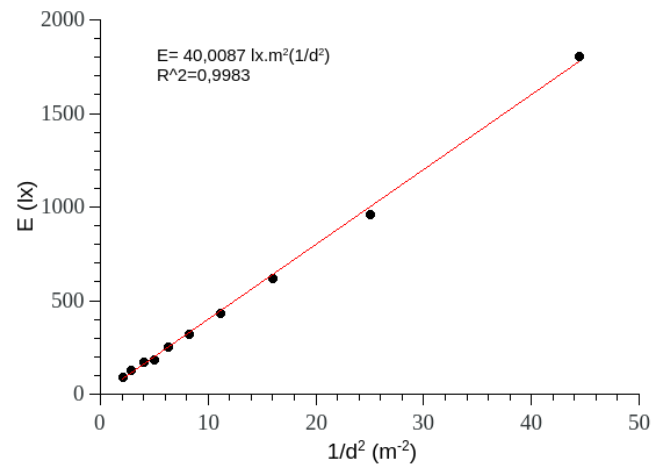


FIGURA 10. Iluminación en función de la inversa de la distancia para la fuente de luz 2.

VI. CONCLUSIONES

La experiencia realizada y los resultados obtenidos muestran que es posible comprobar experimentalmente la relación de la iluminación con la inversa del cuadrado de la distancia, utilizando un dispositivo experimental de bajo costo. El armado del equipo experimental para registrar los datos, puede realizarse con materiales que no son muy costosos, y obtenibles de manera relativamente sencilla. Es decir, que esta experiencia puede replicarse en distintos ámbitos educativos aun disponiendo de pocos recursos técnicos y económicos.

El código de programación necesario para el registro de los datos desde el sensor y su posterior almacenamiento, no tiene muchos requerimientos de espacio o memoria en la computadora y es totalmente configurable, ya que se hace con un lenguaje de código abierto (ver Anexo).

Quienes participan del experimento, particularmente si lo hacen desde su armado y puesta a punto, pueden ver todos los aspectos relacionados con el registro de los datos, la sensibilidad de los dispositivos empleados a las condiciones del laboratorio y su posterior procesamiento.

Este tipo de experiencias de laboratorio, utilizando elementos de robótica educativa, hardware y software libre, tienen la posibilidad de actualizar y dinamizar las prácticas habituales de las clases de física y otras ciencias experimentales, brindando oportunidades para desarrollar actividades en la modalidad de aprendizaje activo, con estudiantes motivados e involucrados en su aprendizaje.

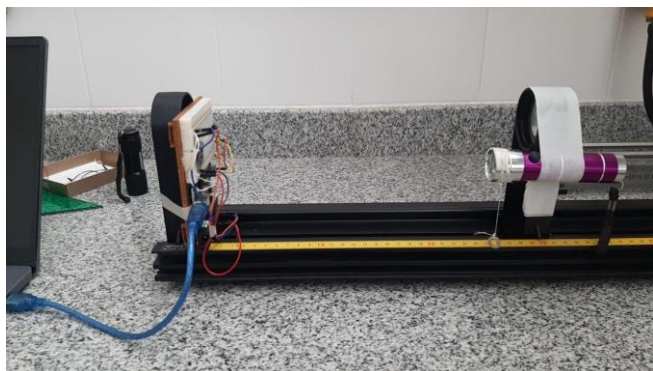


FIGURA 11. Montaje del dispositivo de medición.

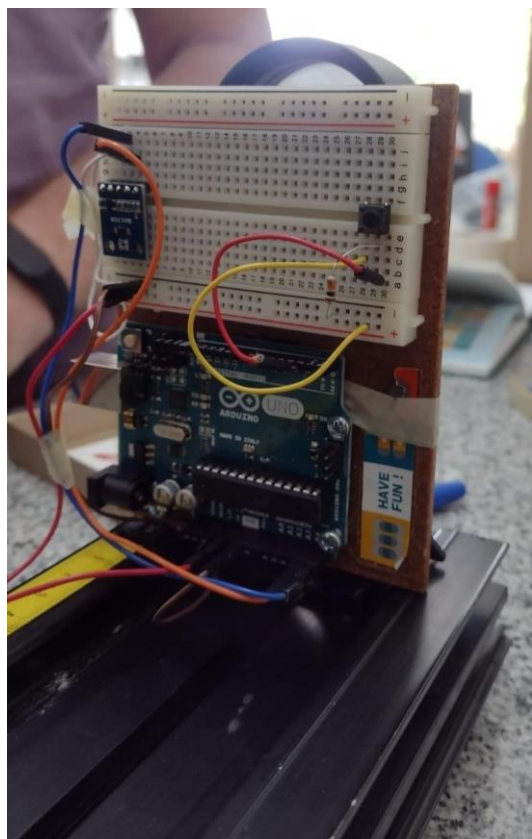


FIGURA 12. Placa Arduino con sensor para medir la iluminación.

REFERENCIAS

- [1] Tippens, P. E., *Física. Conceptos y aplicaciones*. Séptima edición, (McGraw-Hill Interamericana, México, 2007).
- [2] Zitzewitz, P. W. & Meff, R. F., *Física 2. Principios y problemas*, Primera Edición, (McGraw-Hill Interamericana, México, 1995).

- [3] Máximo, A. & Alvarenga, B., *Física general con experimentos*, Cuarta edición, (Oxford, México, 1998).
- [4] Gómez González, E. G., *Guía básica de conceptos de radiometría y fotometría*. Universidad de Sevilla: Sevilla, España. <https://www.electro-genesis.com/WebGenesisBiblio/Literatura/Articulos/Iluminacion/Web/Radiometria%20y%20Fotometria.pdf>
Consultado el 7 de julio de 2025.
- [5] Pujol López, F. A., et al., *Robótica educativa como herramienta de aprendizaje de tecnología*. En: Roig-Vila, Rosabel (coord.). *Redes de Investigación e Innovación en Docencia Universitaria*. Volumen 2020. Alicante: Universidad de Alicante, Instituto de Ciencias de la Educación (ICE), 389-397 (2020).
- [6] Patiño, P. K. et al., *Using Robotics as a Learning Tool in Latin America and Spain*, IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje **9**, 144-150 (2014).
- [7] Weinberg, J. B. & Yu, X., *Robotics in education: Low-cost platforms for teaching integrated systems*, IEEE Robotics & automation magazine **10**, 4-6 (2003).
- [8] Lesteiro-Tejeda, J. A., Hernandez-Delfín, D. & Batista-Leyva, A. J. *Automatización de experimentos con Arduino*, Revista Cubana de Física **34**, 120-124 (2017).
- [9] Organtini, G., *Arduino as a tool for physics experiments*, Journal of Physics: Conference Series. Volumen **1076**. (2018). DOI: 10.1088/1742-6596/1076/1/012026
- [10] Barralaga, F., *Sensores Ultrasónicos y Arduino en Experiencias de Laboratorio de Cinemática*, Revista De La Escuela De Física **9**, 65-72 (2022).
- [11] Sari, U. & Kirindi, T., *Using Arduino in physics teaching: Arduino-based physics experiment to study temperature dependence of electrical resistance*, Journal of Computer and Education Research **7**, 698-710 (2019).
- [12] Souza, S. S. F. de, *Use of the Arduino platform in the teaching/learning process of electricity fundamentals in physics*, Research, Society and Development **13**, 3 (2024).
- [13] Kinchin, J., *Using an Arduino in physics teaching for beginners*, Physics Education **53**, 6 (2018).

ANEXO

Código para el funcionamiento y registro de los datos:

```
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>

BH1750 lightMeter;
float luxBH1750;
const int PinBoton = 2; //PIN DEL BOTÓN
const int PinLed = 13; //PIN DEL LED
INTEGRADO
int EstadoBoton = 0;
int midiendo = 0;
unsigned long milisegundos;

void setup(){
  // Inicializando Pines
  pinMode(PinLed, OUTPUT);
  pinMode(PinBoton, INPUT);
```

```

// Inicializando Consola
Serial.begin(9600);

// Inicializando el bus I2C
Wire.begin();

// Inicializando BH1750
lightMeter.begin();

Serial.println(F("Presione el botón
para comenzar a medir"));
}

void loop() {
  // leemos el estado del botón,
  verificamos nuevamente en 150 ms
  EstadoBoton = digitalRead(PinBoton);
  if (EstadoBoton == HIGH) {
    delay(150);
    if (EstadoBoton == HIGH) {
      if (midiendo == 1) {
        // Si ya estábamos midiendo,
        vamos a escribir en la consola el
        // separador final de texto.
        midiendo = 0;
        Serial.println("");

Serial.println("=====
=====");
        Serial.println("");
      } else {
        // Si NO estábamos midiendo,
        escribimos en la consola el separador de
        // inicio y dejamos una
        separación al texto anterior, ya que no
        // podemos borrar el texto
        anterior de la consola.
        midiendo = 1;
        Serial.println("");

Serial.println("");;
Serial.println("");;
Serial.println("");;
Serial.println("");;
Serial.println("");;
Serial.println("COPIAR EL TEXTO
ENTRE LAS BARRAS=====");
        Serial.println("EN UN ARCHIVO TXT
Y GUARDARLO CON EXTENSIÓN .CSV");
        Serial.println("");

Serial.println("=====
=====");
        Serial.println("");

Serial.println(F("MILISEGUNDOS,BH1750"));
      }
    }
    if (midiendo == 1) {
      digitalWrite(PinLed, HIGH);

      // Tomamos la medida con el sensor
      BH1750
      luxBH1750 =
      lightMeter.readLightLevel();

      // Obtenemos los milisegundos desde
      el inicio de arduino.
      milisegundos = millis();

      Serial.print(milisegundos);
      Serial.print(",");
      Serial.println(luxBH1750);
    } else {
      digitalWrite(PinLed, LOW);
    }

    delay(200);
  }
}

```