



Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias  
ISSN: 1697-011X  
revista.eureka@uca.es  
Universidad de Cádiz  
España

## Prototipo de un espectrofotómetro modular para la enseñanza de la química

Ramos Paredes, Larry; Charca Benavente, Juan Rafael; Veleto Sapacayo, Manuel Isidro  
Prototipo de un espectrofotómetro modular para la enseñanza de la química  
Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 20, núm. 2, 2023  
Universidad de Cádiz, España  
Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92073956010>  
DOI: [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2023.v20.i2.2402](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2402)

## Prototipo de un espectrofotómetro modular para la enseñanza de la química

Prototype of a modular spectrophotometer for chemistry education

*Larry Ramos Paredes*

*Departamento de Química, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú*  
lramospar@unsa.edu.pe

 <https://orcid.org/0000-0001-5249-7301>

DOI: [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2023.v20.i2.2402](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2402)

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92073956010>

*Juan Rafael Charca Benavente*

*Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú*  
jcharca@unsa.edu.pe

 <https://orcid.org/0000-0001-8110-2540>

*Manuel Isidro Veleto Sapacayo*

*Departamento de Química, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú*  
mveletos@unsa.edu.pe

 <https://orcid.org/0000-0001-5249-9032>

Recepción: 04 Enero 2022

Revisado: 13 Febrero 2022

Aprobación: 08 Febrero 2023

### RESUMEN:

El artículo presenta un prototipo diseñado para la enseñanza superior, este prototipo es un espectrofotómetro modular, el cual consta de tres módulos, el primer módulo es la fuente de luz, el segundo módulo es el portacubetas en el cual ocurren las transiciones electrónicas y en el tercer módulo las transiciones electrónicas que ocurren en el segundo módulo se convierten en datos numéricos. Este prototipo tiene la ventaja de ser móvil, no se descalibra, debido a que utiliza un juego de diodos emisores de luz (LEDs) como fuente de luz. Este prototipo mide impedancias de una fotorresistencia, la cual es afectada por las transiciones electrónicas ocurridas en el segundo módulo. Este prototipo de espectrofotómetro modular nos permite utilizarlo para la química analítica correlacionando las concentraciones de una muestra con la impedancia de la fotorresistencia, la cual se mide con un multímetro. Este prototipo presenta coeficientes de determinación de 0.9993, 0.9990, 0.9989 y 0.9961, respectivamente para soluciones de sulfato de cobre, permanganato de potasio, pigmento amarillo huevo y colágeno, estas mediciones nos permiten aplicar la ley de Lambert-Beer para la espectrofotometría.

**PALABRAS CLAVE:** Espectroscopia Visible, Espectrofotómetro modular, Química analítica, Fotoquímica, ley de Lambert-Beer.

### ABSTRACT:

The article presents a prototype designed for higher education, this prototype is a modular spectrophotometer, which consists of three modules, the first module is the light source, the second module is the cuvette holder in which the electronic transitions occur and in the third module the electronic transitions that occur in the second module are converted into numerical data. This prototype has the advantage of being mobile, it does not become out of calibration, because it uses a set of light emitting diodes (LEDs) as a light source. This prototype measures impedances of a photoresistor, which is affected by the electronic transitions occurring in the second module. This modular spectrophotometer prototype allows us to use it for analytical chemistry by correlating the concentrations of a sample with the impedance of the photoresistor, which is measured with a multimeter. This prototype presents determination coefficients of 0.9993, 0.9990, 0.9989 and 0.9961, respectively for solutions of copper sulfate, potassium permanganate, egg yellow pigment and collagen, these measurements allow us to apply Lambert-Beer law for spectrophotometry.

**KEYWORDS:** Visible spectroscopy, Modular spectrophotometer, Analytical chemistry, Photochemistry, Lambert-Beer law.

## INTRODUCCIÓN

La espectrofotometría visible es una técnica analítica que permite cuantificar la concentración de determinados analitos y aplicada en diversos campos como la biotecnología, investigación farmacéutica, ingeniería química, ciencia de los materiales, investigación agrícola y química. La ley de Lambert-Beer expresa la relación entre la absorbancia de la luz monocromática y la concentración de una sustancia en solución (Moreira *et al.* 2016). La espectrofotometría se enseña en universidades e institutos de educación superior, estas instituciones generalmente tienen pocos espectrofotómetros, por lo que la cantidad de tiempo dedicado al contacto de los estudiantes con el espectrofotómetro es limitada, así como su aprendizaje (Montoya *et al.* 2013). Creemos que este tiempo de contacto estudiante-espectrofotómetro debería incrementarse, pensamos que presentar a la comunidad académica un espectrofotómetro de bajo costo e introducirlo en estas clases de espectrofotometría mejoraría el aprendizaje de los estudiantes.

Es importante que el alumno realice la medida de absorbancia y calcule la ecuación de la curva de calibración y la regresión lineal de la misma. El alumno debe aprender a realizar este tipo de curvas e interpretarlas para ganar experiencia en las medidas espectrofotométricas.

Consideramos que la espectrofotometría es de gran importancia como herramienta para realizar diversas mediciones de la materia; además, creemos que la espectrofotometría debería enseñarse en los últimos años de la educación secundaria. Este artículo describe nuestra experiencia en el desarrollo de un espectrofotómetro modular de bajo costo para la enseñanza de la espectrofotometría.

El espectrofotómetro es un instrumento utilizado principalmente por químicos y físicos para realizar determinaciones químicas cualitativas y estudiar fenómenos ópticos en soluciones químicas; esta técnica instrumental tiene resultados fiables (Widiatmoko *et al.* 2011). Montoya Rossi, Baltuano Elías y Arbildo López (2013) consideran que el principal obstáculo para la implementación de un laboratorio de enseñanza de espectrofotometría es el alto costo de los espectrofotómetros. Sería interesante que los estudiantes pudieran construir sus propios instrumentos y utilizarlos, obteniendo resultados confiables, los cuales demuestren experimentalmente que son adecuados para el propósito del análisis químico instrumental cualitativo y cuantitativo (Montoya *et al.* 2013; Widiatmoko *et al.* 2011).

Montoya *et al.* (2013), Heredia-Ávalos (2009) y Wakabayashi y Hamada (2006) describen la fabricación y evaluación de un espectrofotómetro para medir la radiación electromagnética en la región del visible en la realización de prácticas de laboratorio de análisis químico instrumental cuantitativo y cualitativo, en los temas de espectrofotometría de absorción molecular, espectrofotometría de fluorescencia molecular, espectrofotometría de emisión atómica y turbidimetría, aplicables en laboratorios con bajos recursos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El espectrofotómetro construido consta de tres módulos, el primer módulo es una fuente de luz, este módulo presenta una batería de 9V, 5 leds de los siguientes colores: azul, verde, amarillo, naranja y rojo. En segundo módulo se producen las transiciones electrónicas debido a la interacción de la materia y la luz. El tercer módulo consta de un multímetro digital y las medidas realizadas son la impedancia de la fotorresistencia.

### Construcción del espectrofotómetro modular

Para la disposición de las resistencias del primer módulo se realizó una placa de circuito electrónico con el objetivo de obtener el máximo rendimiento de los LEDs, la luz procedente del primer módulo se transfiere al segundo módulo por fibra óptica, el segundo módulo tiene un portacubeta de policarbonato, una cubeta

de poliestireno transparente y un detector que es una fotorresistencia cuya impedancia se mide en el tercer módulo, que es un multímetro digital adquirido comercialmente. La disposición de los módulos de este espectrofotómetro puede verse en la figura 1.

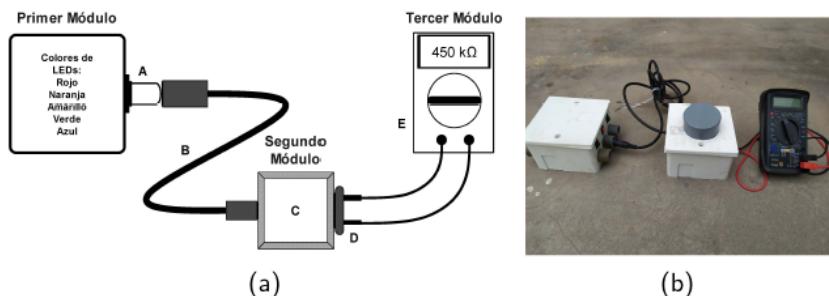


FIGURA 1

Esquema y fotografía del espectrofotómetro modular. (a) Esquema del espectrofotómetro modular. A, diodo emisor de luz (fuente de luz monocromática); B, fibra óptica; C, cubeta; D, fotorresistencia (detector); E, multímetro digital. (b) Fotografía del espectrofotómetro modular

## Cómo utilizar el espectrofotómetro modular

- Preparar una batería de soluciones para realizar la curva de calibración.
- Encender el LED seleccionado y el multímetro.
- Para realizar la medición del blanco, se colocan en la cubeta todos los reactivos que intervienen, excepto la muestra que se va a medir, y se anota la impedancia de esta medición, que se restará de las demás mediciones que se realicen.
  - Colocar la solución preparada en la cubeta y posteriormente la cubeta en el portacubetas.
  - Observar la medición y anotar la impedancia.
  - Repetir esta operación para todas las soluciones preparadas.

## Curvas de calibración

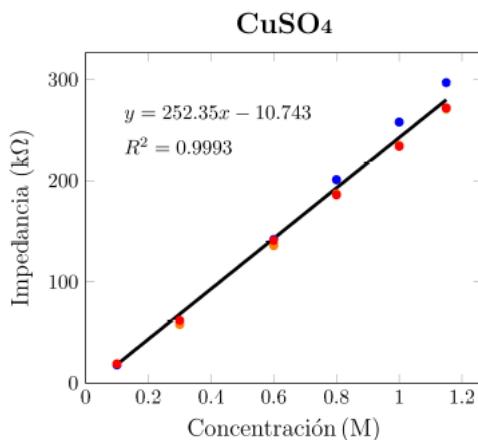
Para observar el comportamiento de la ley de Lambert-Beer, se prepararon curvas de calibración para el sulfato de cobre (0.1, 0.3, 0.6, 0.8, 1.0 y 1.5 M), permanganato de potasio (0.05, 0.1, 0.3, 0.7, 1.0 y 1.5 mg/L), un pigmento orgánico llamado Amarillo Huevo (0.15, 0.3, 0.45, 0.6, 0.75 y 0.9 mg/mL) y una proteína llamada colágeno (200, 400, 600, 800, 1000 y 1200 mg/L). Todas las mediciones se realizaron por triplicado y se tomó la media aritmética. Las mediciones en el eje de ordenadas fueron las impedancias medidas en la fotorresistencia, como se muestra en la figura 2.

## RESULTADOS

Mediciones no presentadas en este artículo nos indican que para el analito sulfato de cobre concentraciones superiores a 1.2 M pierden la linealidad de la recta. Para el analito permanganato de potasio concentraciones superiores a 1.5 mg/L pierden la linealidad de la recta. Para el analito Amarillo Huevo concentraciones superiores a 1.0 mg/mL pierden la linealidad de la recta. Para el analito proteína colágeno concentraciones superiores a 1.0 mg/mL pierden la linealidad de la recta.

## Curva de calibración del sulfato de cobre

Se preparó una solución 1.5 M de sulfato de cobre y luego se hicieron diluciones de 2mL de 0.1, 0.3, 0.6, 0.8, 1.0 M; las mediciones se realizaron con el led de luz amarilla por triplicado; se obtuvo una curva de calibración con una ecuación de:  $y = 252.35x - 10.743$  y un coeficiente de determinación de:  $R^2 = 0.9993$  como se muestra en la figura 2.

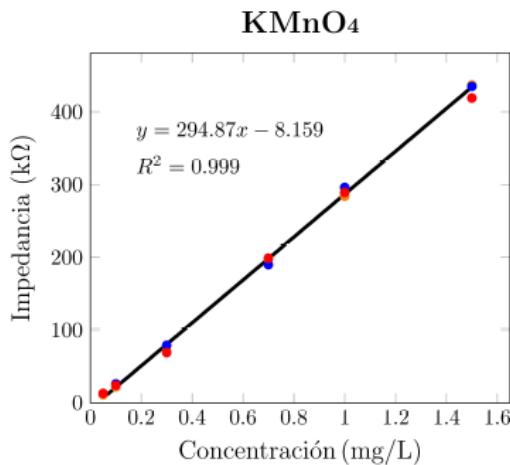


**FIGURA 2**

Curva de calibración del CuSO<sub>4</sub>. Esta curva de calibración se realizó con el espectrofotómetro modular, se realizaron seis mediciones por triplicado, el coeficiente de determinación fue  $R^2 = 0.9993$

## Curva de calibración del permanganato de potasio

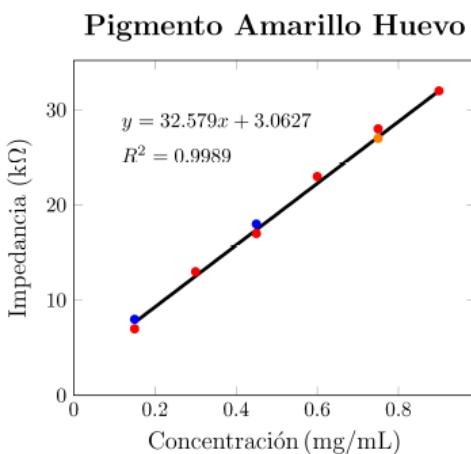
Se preparó una solución de permanganato de potasio de 1.5 mg/L y luego se hicieron diluciones de 2 mL de 0.05, 0.1, 0.3, 0.7, 1.0 mg/L; las mediciones se realizaron con el led de luz amarilla por triplicado, se obtuvo una curva de calibración con una ecuación  $y = 294.87x - 8.159$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.999$  como se muestra en la figura 3.

**FIGURA 3**

Curva de calibración del KMnO<sub>4</sub>. Esta curva de calibración se realizó con el espectrofotómetro modular, se realizaron seis mediciones por triplicado, el coeficiente de determinación fue  $R^2 = 0.999$

### Curva de calibración del pigmento orgánico Amarillo Huevo

Se preparó una solución de 0.9 mg/mL de pigmento orgánico Amarillo Huevo y luego se hicieron diluciones de 2 mL de 0.15, 0.3, 0.45, 0.6, 0.75 mg/mL; las mediciones se realizaron con el led de luz azul por triplicado, se obtuvo una curva de calibración con una ecuación  $y = 32.579x + 3.0627$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9989$  como se muestra en la figura 4.

**FIGURA 4**

Curva de calibración del pigmento orgánico Amarillo Huevo. Esta curva de calibración se realizó con el espectrofotómetro modular, se realizaron seis mediciones por triplicado, el coeficiente de determinación fue  $R^2 = 0.9989$

## Curva de calibración de la proteína colágeno

Se preparó una solución de 1200 mg/L de la proteína llamada Colágeno y luego se hicieron diluciones de 2 mL de 200, 400, 600, 800, 1000 mg/L; luego se agregó hidróxido de sodio y sulfato de cobre siguiendo el método de Lewis descrito por Lema *et al.* (2002); las mediciones se realizaron con el led de luz amarilla por triplicado, se obtuvo una curva de calibración con una ecuación  $y = 0.011x + 116.78$  y un coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9961$  como se muestra en la figura 5.

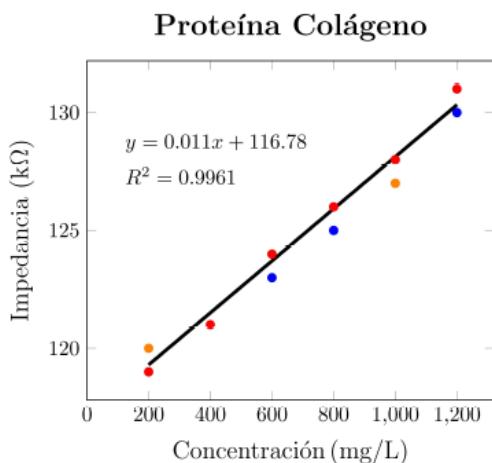


FIGURA 5

Curva de calibración de la proteína colágeno. Esta curva de calibración se realizó con el espectrofotómetro modular, se realizaron seis mediciones por triplicado, el coeficiente de determinación fue  $R^2 = 0.9961$

## DISCUSIÓN

Chng y Patuwo en 2020 informan de un espectrofotómetro modular y comentan en su artículo que un espectrofotómetro modular es más adecuado para los estudiantes de pregrado que aprenden espectroscopía, y además comentan que los estudiantes que participaron en la construcción del espectrofotómetro modular fueron mejores en la resolución de problemas con mediciones erróneas y mejores en la descripción de las partes de un espectrofotómetro que aquellos estudiantes que realizaron su trabajo con un espectrofotómetro comercial; por estas razones creemos que un espectrofotómetro modular es más adecuado para la enseñanza de la espectrofotometría.

Las razones por las que utilizamos diodos emisores de luz (LED) es porque son económicos, duraderos y emiten luz en un rango limitado de longitudes de onda, de 20 a 30 nm alrededor del valor máximo (Mozo *et al.* 2001). Los resultados relacionados al coeficiente de determinación que hemos obtenido indican el cumplimiento de la ley de Lambert-Beer, lo que nos permite encontrar concentraciones desconocidas aplicando la metodología descrita. Asimismo, Asheim, Kvittingen E. V., Kvittingen L. y Verley (2014) señalan un prototipo similar al presentado en este artículo, que utiliza LEDs como fuente de luz y concluyen, al igual que nosotros, que esta fuente de luz puede ser aplicada para ilustrar la ley de Lambert-Beer incluyendo estimaciones de absorbividad molar.

Nuestras mediciones en impedancia y no en absorbancia no nos impiden trabajar en la aplicación de la ley de Lambert-Beer, los resultados que hemos obtenido indican muy buenos coeficientes de determinación, al igual que Lema, Aljinovic y Lozano (2002) que trabajaron con impedancia y no con absorbancia.

En la parte experimental se presentaron cuatro curvas de calibración entre ellas tenemos coeficientes de determinación de 0.9961 a 0.9993, que resultan en coeficientes de determinación muy cercanos a

1.0, al revisar la literatura observamos a Lema y colaboradores en 2002 que reportan un prototipo de espectrofotómetro con coeficientes de determinación de 0.989 a 0.999, Montoya y colaboradores en 2013 utilizando un prototipo de espectrofotómetro de bajo costo y alto rendimiento para radiación visible donde reportan curvas de calibración con coeficientes de determinación de 0.9969 a 0.9993, González-Morales y colaboradores en 2020 utilizando un espectrofotómetro UV-Visible de bajo costo reportan coeficientes de determinación de 0.97758 a 0.98856, finalmente, Moreira y colaboradores en 2016 utilizando un fotómetro de bajo costo para aulas de química experimental reportan un coeficiente de determinación de 0.9997. Como se ha comentado, los datos referentes al coeficiente de determinación que hemos obtenido están en rangos aceptables, estos datos nos permiten confiar en las mediciones para utilizar la ley de Lambert-Beer, creemos que este prototipo, al ser robusto y de bajo costo, puede ser utilizado para la educación superior y secundaria; debido al alto costo de los espectrofotómetros comerciales, las instituciones educativas suelen optar por comprar uno o dos espectrofotómetros, los cuales son insuficientes para una adecuada enseñanza de la espectrofotometría.

## CONCLUSIONES

Una de las ventajas de un espectrofotómetro modular es facilitar a los estudiantes la comprensión del funcionamiento de sus componentes y permitirles resolver los errores de medición.

Este prototipo no presenta problemas de descalibración al trasladarlo, debido a que utiliza Leds como fuente de luz.

La impedancia como unidad de medida para correlacionar diferentes concentraciones nos permite aplicar la ley de Lambert-Beer; debido a los muy buenos coeficientes de determinación encontrados, este prototipo es capaz de realizar determinaciones cuantitativas aceptables para el aprendizaje de la espectrofotometría en el rango visible.

Otra ventaja de este espectrofotómetro modular es su bajo costo (aproximadamente catorce euros).

## REFERENCIAS

- Asheim J., Kvittingen E. V., Kvittingen L., Verley R. (2014) A simple, small-scale Lego colorimeter with a light-emitting diode (LED) used as detector. *Journal of Chemical Education*, 91(7), 1037-1039. <https://doi.org/10.1021/ed400838n>
- Heredia-Ávalos S. (2009) Cómo construir un espectroscopio casero con un CD. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 491-495. <http://hdl.handle.net/10498/9915>
- Chng J. K., Patuwo M. Y. (2020) Building a Raspberry Pi Spectrophotometer for Undergraduate Chemistry Classes. *Journal of Chemical Education*, 98(2), 682-688. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00987>
- González-Morales D., Valencia A., Díaz-Nuñez A., Fuentes-Estrada M., López-Santos O., García-Beltrán O. (2020) Development of a low-cost UV-Vis spectrophotometer and its application for the detection of mercuric ions assisted by chemosensors. *Sensors*, 20(3), 906. <https://doi.org/10.3390/s20030906>
- Lema M. A., Aljinovic E. M., Lozano M. E. (2002) Using a homemade spectrophotometer in teaching biosciences. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 30(2), 106-110. <https://doi.org/10.1002/bmb.2002.494030020032>
- Montoya Rossi E., Baltuano Elías Ó., Arbildo López A. (2013) Espectrómetro para radiación visible hecho en casa, de bajo costo y altas prestaciones. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(1), 80-91.
- Moreira A. F., Santos S. D., Junior A. C. (2016) Construção e caracterização de um fotômetro destinado ao uso de aulas experimentais de química sobre a lei de Beer-Lambert. *Holos*, 2, 142-151. <https://doi.org/10.15628/holos.2016.4016>

Mozo J. D., Galan M., Roldán E. (2001) Application of light emitting diodes to chemical analysis: Determination of copper in water. *Journal of Chemical Education*, 78(3), 355. <https://doi.org/10.1021/ed078p355>

Wakabayashi F., Hamada K. (2006) A DVD spectroscope: A simple, high-resolution classroom spectroscope. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 56. <https://doi.org/10.1021/ed083p56>

Widiatmoko E., Budiman M., Abdullah M. (2011) A simple spectrophotometer using common materials and a digital camera. *Physics Education*, 46(3), 332. <http://iopscience.iop.org/0031-9120/46/3/014>

## INFORMACIÓN ADICIONAL

*Para citar este artículo:* Ramos Paredes, L., Charca Benavente, J. R. y Veleto Sapacayo, M. I. (2023) Prototipo de un espectrofotómetro modular para la enseñanza de la química. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 20(2), 2402. doi: 10.25267/Rev\_Eureka\_ensen\_divulg\_cienc.2023.v20.i2.2402