

# Design And Implementation Of A Photocolorimeter Using Microcontrollers To Determine Analyzes In Aqueous Solutions

## Diseño E Implementación De Un Fotocolorímetro Usando Microcontroladores Para Determinar Analitos En Soluciones Acuosas

Daniel Ruiz Navas, M.Sc.<sup>1</sup>, John R. Castro-Suarez Ph.D.<sup>2</sup>, and Harold A. Rodriguez-Arias, M.Sc.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institución Tecnológica Colegio Mayor de Bolívar, Cartagena, Colombia, [i.arqueing@colmayorbolivar.edu.co](mailto:i.arqueing@colmayorbolivar.edu.co)

<sup>2</sup>Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo, Tecnar, Cartagena, Colombia, [jhon.castro@tecnar.edu.co](mailto:jhon.castro@tecnar.edu.co)

<sup>1</sup>Institución Tecnológica Colegio Mayor de Bolívar, Cartagena, Colombia, [hrodriguez@colmayorbolivar.edu.co](mailto:hrodriguez@colmayorbolivar.edu.co)

*Abstract– This article presents the construction and characterization process of a digital Photo colorimeter using visible light range LED's (Red, Green and Blue) as light sources, a TCS3200 as light sensing element and two PIC18F2550 microcontrollers to implement the device Firmware. The article begins with an introduction where it is shown the importance of developing laboratory equipment for formative research. The second section is focused on the construction process of the device with the participation of some students from the research seedbed of Industrial Process Control (CONPI in Spanish) from the Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo, students and professors of the Colegio Mayor de Bolívar Technological Institution, the third section is about the current state of the project and also about the characterization process that has been followed with the developed device and finally on the fourth section it is presented the future works and the conclusions about the work done.*

**Keywords:** Photocolorimetry, Microcontrollers, LED, Formative Research.

### I. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos aplicados a instrumentos de medición les proporcionan a los estudiantes dispositivos capaces de realizar mediciones de forma automática con lo que se facilita la realización de pruebas en los procesos formativos y las investigaciones, sin embargo, lo anterior presenta el inconveniente de no relacionar directamente al estudiante con los principios de funcionamiento de los instrumentos de medida por lo que se pierden oportunidades de aprendizaje e incluso de posibles innovaciones.

Existen numerosos dispositivos comerciales, trabajos e investigación relacionados con la colorimetría. Algunos trabajos son orientados al diseño de fotocolorímetros de bajo costo y de propósito general [1, 2, 3], otros trabajos se orientan a una aplicación específica, como el trabajo de

Tsutomu Matsuo de la Universidad de Kobe orientado a prácticas estudiantiles [4], o el trabajo de Melissa A. Thal de la Universidad de Indiana, en el que se diseñó un fotocolorímetro para ser implementado por estudiantes, utilizando LEDs como fuente de luz y foto resistores (mejor resultado), fotodiodos o foto Darlington como elementos sensores de luz [5], también se tiene el trabajo de Rohit Kanwar del Instituto de Ciencia de Bangalore, en el que se diseñó un fotocolorímetro portable de bajo costo para la detección de fluoruro en agua para consumo humano. Utiliza LEDs como fuente de luz y un fotodiodo. Costo del sistema de aproximadamente 5 USD (necesita un voltímetro) [6], o el trabajo de Gerald C. Anzalone del instituto de la Universidad Tecnológica de Michigan, en el que se diseñó un fotocolorímetro con hardware y software Open-Source para medición de la demanda química de oxígeno COD [7]. Un ejemplo similar es el trabajo de Suchita P. Bhangale del Nowrosjee Wadia College, Pune, India. En el que se diseñó un fotocolorímetro basado en sistemas embebidos de bajo costo para la detección de cobre en aguas residuales [8]. También el trabajo de Carrie M. Clippard del Bellwood-Antis High School, Pennsylvania. En el que se diseñó, construyó y caracterizó un fotocolorímetro portátil, compacto y de bajo costo para los laboratorios de química de la institución [9] y el trabajo de Mark Wilson y Erin Wilson del Doane College en Nebraska, quienes describen el proceso de construcción de un espectrofotómetro en el rango de la luz visible y también en el rango del ultravioleta cercano como un proyecto para los estudiantes de la institución [10]. Una aproximación un poco diferente consiste en utilizar Smartphone para tomar imágenes de las muestras y luego analizar colorimétricamente esas imágenes en un computador, como el trabajo de Antonio García de la Universidad de Granada, España en el que se utilizaron celulares Nokia con sistema el operativo S60 para

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.170>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

16<sup>th</sup> LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Innovation in Education and Inclusion", 19-21 July 2018, Lima, Peru.

implementar colorímetros [11], o más recientemente el trabajo de Prinya Masawat de la universidad de Naresuan, Phitsanulok, Tailandia, en el que se diseñó un colorímetro de imágenes digitales basado en Iphone con su respectiva App para la detección de tetraciclina en leche bovina [12].

Se puede apreciar a lo largo de más de quince años un interés en la inclusión de nuevas tecnologías en el desarrollo de equipos de Colorimetría con un énfasis en la portabilidad y el bajo costo de los equipos a desarrollar.

Con el objetivo de involucrar a los estudiantes directamente en su proceso de aprendizaje y concientizar a los estudiantes de que los instrumentos de medida no son “cajas negras” que simplemente se utilizan para obtener una magnitud deseada, se propone la construcción y caracterización de un fotocolorímetro digital. El dispositivo se desarrolla con el objetivo de poder realizar análisis químicos para la detección de metanol en bebidas alcohólicas comerciales, medición de la concentración de acetaminofén (u otro ingrediente activo) en medicamentos de venta libre o medición de la calidad del agua para consumo humano. El dispositivo diseñado tiene la versatilidad de realizar pruebas en el campo, obteniendo de esta forma información rápida que permita la toma de decisiones oportunas. Con la construcción de este fotocolorímetro se pretende motivar a los estudiantes a investigar y a aprender los principios de funcionamiento de un instrumento de medida con un potencial interesante en cuanto a aplicabilidad en procesos industriales y de investigación. El estar involucrados paso a paso en el proceso de la construcción del instrumento les permite a los estudiantes desarrollar unas habilidades cognitivas para su proceso de formación y se facilita el proceso de aprendizaje debido a que por medio de la práctica se tiene una realimentación inmediata de los conceptos teóricos que se están aplicando.

## II MATERIALES Y METODO

El dispositivo se diseña teniendo en cuenta los conocimientos disponibles para los estudiantes relacionados con la electrónica o la química en los distintos cursos que reciben en su proceso de formación, de forma similar se tiene en cuenta utilizar elementos de bajo costo para facilitar la construcción y la adopción del dispositivo desarrollado en los diferentes procesos de formación e investigación formativa que se ejecutan al interior de las instituciones educativas y finalmente se tuvo en cuenta la posibilidad de expandir la funcionalidad del dispositivo para una posible integración con dispositivos móviles y aplicaciones web. En la Figura 1 se puede apreciar un esquema general del dispositivo desarrollado.

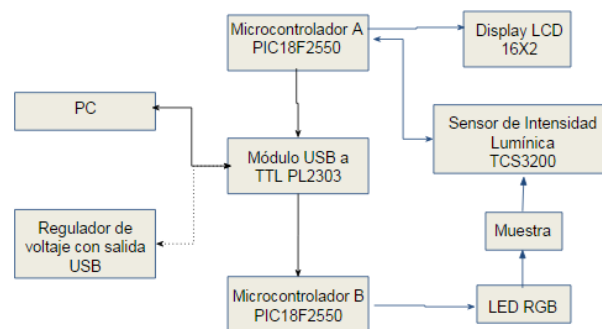


Figura 1. Esquema general del Fotocolorímetro desarrollado.

Se seleccionó como elemento sensible a la luz en el rango visible (400 nm – 700 nm) el TCS3200 que transforma la intensidad lumínica percibida en frecuencia, este elemento se puede configurar para trabajar con filtros de luz roja, verde, azul o ningún filtro. El microcontrolador A PIC18F2550 configura al sensor para obtener la medida de la intensidad lumínica cada 250 ms, obteniendo de esta manera un valor para cada modo de funcionamiento del sensor cada segundo. Este microcontrolador mide la frecuencia entregada por el sensor y simultáneamente la visualiza en un LCD y la envía por medio de un módulo TTL a USB hacia un PC. Por otra parte se tiene que el microcontrolador B PIC18F2550 recibe por medio del módulo TTL a USB una señal de control desde el PC que permite variar tres canales PWM independientes, cada uno para controlar la intensidad lumínica de un LED. De esta forma se puede configurar la fuente de luz del fotocolorímetro para funcionar con un determinado color de intensidad variable o realizar pruebas con combinaciones de varios LED con varias intensidades. El módulo TTL a USB PL2303 está compartido entre los dos microcontroladores, para realizar la configuración de la fuente de luz y el envío de datos del fotocolorímetro hasta el PC. La comunicación con el PC se efectúa a través de un Macro en Excel con una interfaz gráfica que permite configurar los parámetros de la comunicación serial, así como también, el intercambio de información con el fotocolorímetro. Los datos obtenidos quedan directamente registrados en una hoja de cálculo de Excel lo que facilita su manipulación y análisis. Dicha interfaz se puede apreciar en la Figura 2.

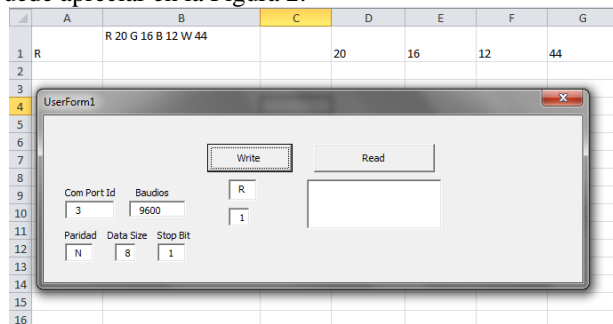


Figura 2. Interfaz gráfica para configuración y toma de datos del Fotocolorímetro.

En cuanto a la alimentación de los componentes electrónicos, esta se puede realizar desde el módulo TTL a USB al estar conectado al PC, o también se puede utilizar un cargador de celular con salida USB, pero en este caso la toma de datos se debe efectuar de forma manual.

Las primeras pruebas muestran en la figura 3 como la señal recibida presenta fluctuaciones que no dejan tener ningún tipo de lectura, por lo tanto se pensó inicialmente en tener un ambiente controlado para que factores externos no afectaran la toma de datos.

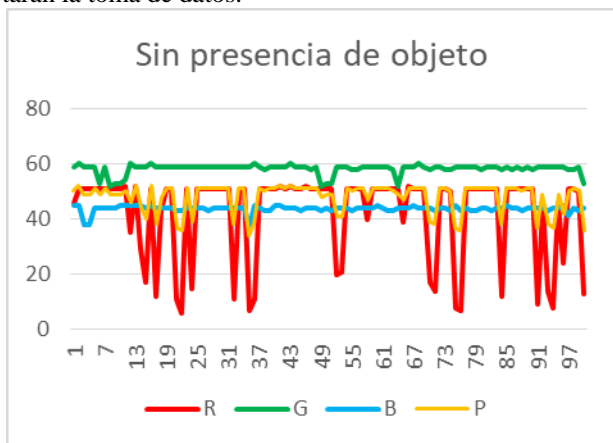


Figura 3. Datos recolectados con el sensor TCS3200 en ambiente natural.

Ya habiendo comprobado la presencia de ruidos (datos no deseados) se procede a construir un ambiente controlado e intentar mejorar la muestra, y es así como en la figura 4 se puede observar unos datos más limpios en términos del encruzamiento entre las franjas RGB, y se ve claramente la tendencia de mayor a menor verde, rojo y azul.

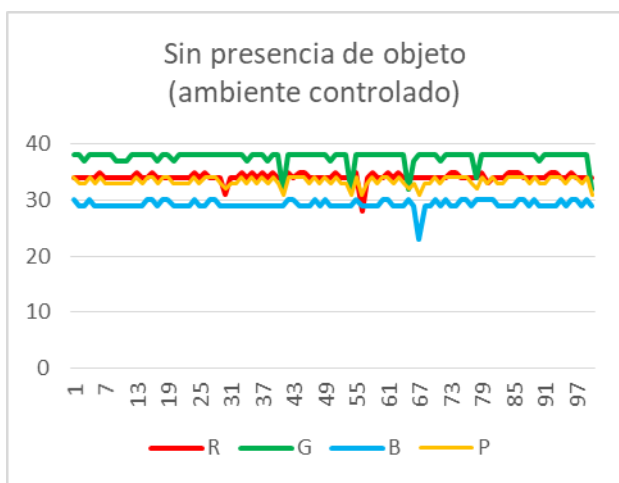


Figura 4. Datos recolectados con el sensor TCS3200 en ambiente controlado.

Lo que se hizo a continuación fue comparar usando los filtros, o tomar muestras ya no en vacío, sino con una sustancia, en este caso una sustancia cualquiera con el color

rojo predominante, en la figura 5 es la sustancia de prueba expuesta en ambiente no controlado separada 1 cm del sensor TCS3200, y se ve claramente la tendencia, de que el de menor lectura fuera la trama de rojo seguida por la azul y luego la verde, sin embargo se ven unos resaltos y simplemente se quería mejorar la señal, que su comportamiento fuera más lineal.

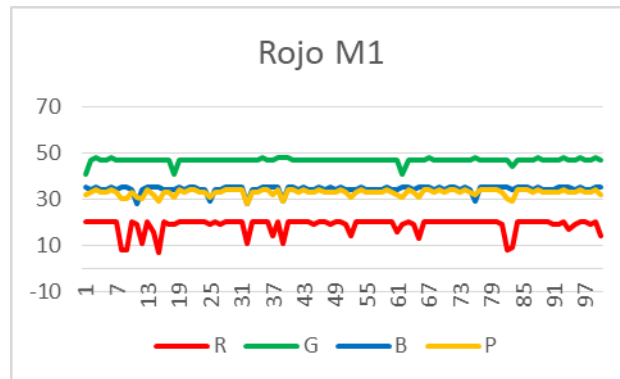


Figura 5. Datos recolectados con el sensor TCS3200 en ambiente natural sustancia roja.

En la segunda toma de datos, pero con ambiente controlado, se observa en la figura 6 como las franjas rojo, azul y verde son más lineales, y esto es lo que se estaba buscando, y se toma la decisión de que el sensor este dentro de un contenedor que no permita el paso de las luz natural, o luces externas. Cabe resaltar que para todos los casos se tomaron 100 datos en intervalos de 100 milisegundos.

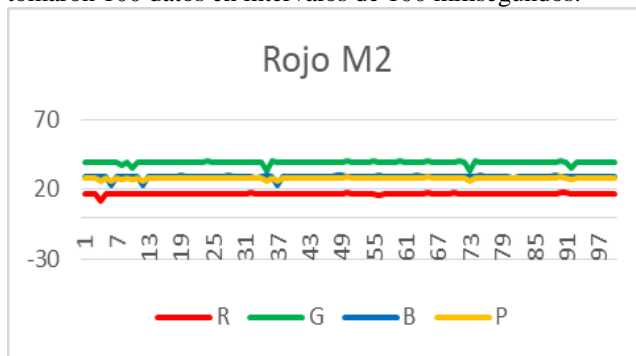


Figura 6. Datos recolectados con el sensor TCS3200 en ambiente controlado sustancia roja.

Para la implementación del contenedor del dispositivo se utilizó una caja plástica genérica la cual fue modificada por medio de un motortool, y los circuitos electrónicos se fijaron al contenedor por medio de tornillos y tuercas de uso común.

Los estudiantes que participaron en la construcción del dispositivo pertenecen a la Tecnología en Electrónica y Telecomunicaciones, y a la Tecnología en Instrumentación de Procesos Industriales de la Fundación Tecnológica Antonio de Arévalo por lo que tenían conocimientos relacionados con el montaje de circuitos electrónicos y en el uso de circuitos integrados, sin embargo, fue necesario dedicar un tiempo

adicional para adquirir los conocimientos relacionados con los microcontroladores ya que dicha temática sólo es tratada en los semestres finales de su proceso de formación. La respuesta por parte de los estudiantes fue muy satisfactoria y debido a esto se propuso implementar el desarrollo de dispositivos de medición como un tema de desarrollo tecnológico e innovación en la modalidad de Proyecto de Aula.

### III RESULTADOS

En la Figura 7 se identifican con letras los componentes más notorios del dispositivo desarrollado: El elemento señalado con la letra **A** es el conector USB por medio del cual se envían los datos a un PC y al mismo tiempo se recibe la alimentación del dispositivo. El elemento señalado con **B** es el display LCD en el que se pueden visualizar los datos medidos con el fotocolorímetro en caso de ser usado en ausencia de un PC. El elemento marcado con la letra **C** es el sensor de intensidad lumínica, este sensor entrega un dato de frecuencia que va ser directamente proporcional a la potencia luminosa percibida. Estos datos son transformados para obtener una medida de la absorbancia por medio de la ecuación

$$A = \text{Log} \left( \frac{P_0}{P} \right) \tag{1}$$

Donde **A** es la Absorbancia, **P<sub>0</sub>** es la potencia luminosa medida cuando la concentración de la sustancia a medir es cero (es decir solución blanco) y **P** es la potencia lumínica captada en la disolución con la concentración desconocida. El elemento marcado con la letra **D** es la celda para contener la solución a analizar. Dicha celda es un insumo de laboratorio estandarizado que garantiza que el trayecto que recorre la luz a través de la muestra corresponda a un 1 cm. Lo anterior es con el fin de facilitar los cálculos en la ley de Lambert-Beer según la ecuación

$$A = \epsilon * b * c \tag{2}$$

Donde **A** es la absorbancia que es medida por medio del fotocolorímetro,  $\frac{\epsilon}{\text{Litros} \cdot \text{moles} \cdot \text{cm}}$  es la constante de absortividad molar en [13], **b** Corresponde a la longitud del paso óptico a través del cual viaja la luz en la muestra (1 cm en nuestro caso) y **c** es la concentración de la sustancia que se quiere medir. Finalmente el elemento denotado **E** corresponde al LED utilizado como fuente luminosa en el fotocolorímetro.

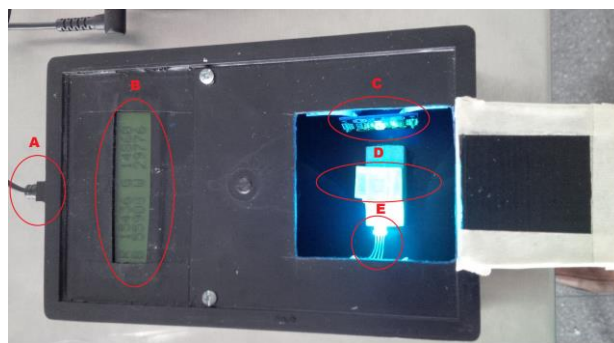


Figura 7. Fotocolorímetro construido.

Para la evaluación del funcionamiento del fotocolorímetro se realizó una serie de experimentos en los que se buscaba realizar una curva de calibración a partir de concentraciones conocidas del tinte violeta de metilo. Se busca establecer una relación lineal entre la concentración del tinte y la absorbancia medida por el fotocolorímetro, dando de esta manera una medida de la sensibilidad del instrumento diseñado. Se prepararon entonces soluciones de violeta de metilo y agua de la siguiente forma. Unos 100 ml de concentración inicial que se tomaba como la concentración máxima o de 1 en la que se espera la mayor absorbancia, a partir de esta se toman 50 ml que se completan con 50 ml de agua y se obtiene una concentración de 0.5 de la original. Una vez más se toman 50 ml de esta nueva solución y se agregan 50 ml de agua para producir una concentración de 0.25 y se repite el proceso hasta obtener soluciones con concentraciones de 0.125, 0.0625 y 0.03125. En la Figura 8 se presentan las soluciones utilizadas en los experimentos.



Figura 8. Soluciones de violeta de metilo en agua.

Se procedió a medir la intensidad lumínica (en unidades de Absorbancia) por triplicado a cada una de las soluciones preparadas. Los datos promediados del análisis por triplicados se presentan en la Tabla 1.

TABLA 1.  
INTENSIDAD LUMÍNICA PROMEDIADA.

Concentración/Filtro Sensor	Rojo	Verde	Azul	Transparente
0	15957	765	1859	17496
1/32	16287	783	1807	17077
1/16	14403	693	1689	15733
1/8	14529	695	1688	15644
1/4	14212	679	1608	15045
1/2	13449	641	1553	14441
1	12036	575	1432	13108

### III DISCUSIÓN (O ANÁLISIS DE RESULTADOS)

Durante la realización de las pruebas de caracterización del dispositivo se encontró que un factor muy importante para el correcto funcionamiento del mismo era la colocación de las muestras en el dispositivo. Debido a que se requiere ingresar y retirar constantemente el recipiente con las muestras a evaluar, se construyó el contenedor pensando en esta necesidad, sin embargo, pequeñas variaciones en el posicionamiento del contenedor de la muestra generaban cambios considerables en la intensidad lumínica medida por lo que se considera necesario construir el receptáculo del contenedor tomando como prioridad la invariabilidad en el posicionamiento de las muestras.

Del promedio de los datos obtenidos en los experimentos para cada modo de funcionamiento del sensor TCS3200, se encontró un comportamiento más lineal para la absorbancia medida sin utilizar filtros (un  $R^2$  de 0.86) y el comportamiento menos lineal se encontró con el filtro para luz roja (un  $R^2$  de 0.85). En la Figura 9 se puede apreciar el mejor comportamiento obtenido para la medición de la concentración con el Fotocolorímetro construido.

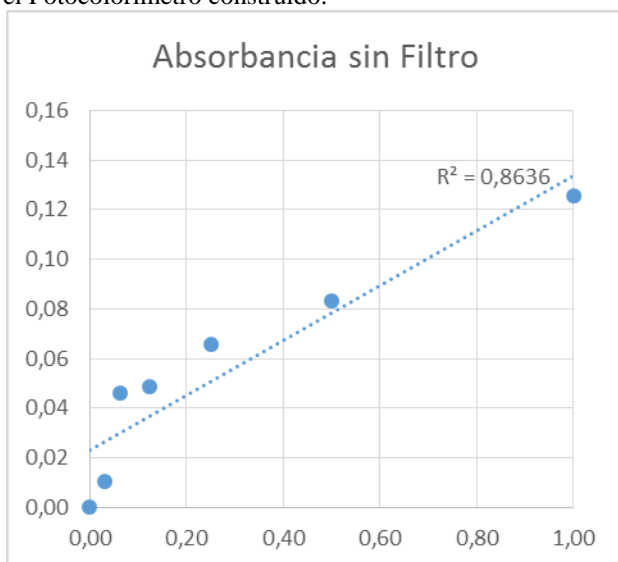


Figura 9. Gráfica de Absorbancia vs Concentración Sensor TCS3200 sin filtro.

El sensor TCS3200 permite utilizar filtros para color rojo, verde, azul o no utilizar filtro. Experimentalmente se encontró que en la prueba realizada a pesar de utilizar un LED con luz roja para una solución con color predominantemente violeta, el resultado más lineal se obtuvo al trabajar sin filtros de colores. Es posible que al mejorar la implementación física del colorímetro se puedan apreciar mejores comportamientos para la absorbancia utilizando los filtros específicos para un determinado color de luz.

### CONCLUSIONES

La interacción directa entre el dispositivo construido y un PC facilita la realización de los experimentos, sin embargo, la portabilidad del dispositivo queda sujeta a la portabilidad del PC al que se conecte. Básicamente se tiene un equipo que podría funcionar como elemento de medida en laboratorio al conectarse a un computador de escritorio, o podría utilizarse como un dispositivo de medida en campo al conectarse con un computador portátil.

Se podría pensar en reemplazar el módulo de comunicación TTL a USB por un módulo de comunicaciones de Wi-Fi o un módulo Bluetooth y con esto habilitar la interacción con dispositivos móviles, sin embargo, esta mejora implicaría también la necesidad de pensar en un circuito para obtener la alimentación de la electrónica a partir de baterías.

Una vez se realicen los ajustes y mejoras detectados en esta primera etapa del proyecto se espera realizar experimentos de caracterización del dispositivo utilizando colorímetros comerciales y se espera llegara índices de correlación entre el Fotocolorímetro construido y el dispositivo comercial como los encontrados en la literatura con factor  $R^2$  de al menos 0.99.

La constante evolución de la tecnología y los medios de producción de la misma en un mundo globalizado, hacen que cada vez sea más fácil y más barato acceder a componentes electrónicos de calidad. Esto representa una oportunidad para las instituciones educativas para construir sus propios instrumentos y facilitar de esta forma los procesos educativos y de investigación.

### REFERENCIAS

- [1] J. Gordon, a. James, S. Harman y K. Weiss, «A Film Canister Colorimeter,» *Journal of Chemical Education*, vol. 79, n° 8, pp. 1005-1006, 2002.
- [2] T.-S. Yeh y S.-S. Tseng, «A Low Cost LED Based Spectrometer,» *Journal of Chinese Chemical Society*, vol. 53, n° 5, pp. 1067-1072, 2006.

- [3] Z. Rodriguez, R. Narvaez, C. Quiñones, H. Espinosa y D. Ramírez, «Desarrollo de un Dispositivo de Bajo Costo para Detección de Luz Visible Utilizando Instrumentación Virtual,» *Revista Colombiana de Física*, vol. 40, n° 1, pp. 375-378, 2008.
- [4] T. Matsuo, A. Muromatsu, K. Katayama y M. Mori, «Construction of a Photoelectric Colorimeter and Application to Student's Experiments,» *Journal of Chemical Education*, pp. 329-333, 1989.
- [5] M. A. Thal y M. J. Samide, «Applied electronics: Construction of a Simple Spectrophotometer,» *Journal of Chemical Education*, pp. 1510-1512, 2001.
- [6] Rohit, L. Kanwar y K. K. Rao, «Development of a low-cost portable Colorimeter for the estimation of fluoride in drinking water,» *Sensors and Actuators B: Chemical*, pp. 245-251, 2010.
- [7] G. C. Anzalone, A. G. Glover y J. M. Pearce, «Open-source Colorimeter,» *Sensors*, pp. 5338-5346, 2013.
- [8] s. P. Bhangale, «Development of Embedded System Based Colorimeter for the analysis of copper in waste water,» *International Journal of Innovative Reserch in Science Engineering and Technology*, pp. 17869-17876, 2014.
- [9] C. M. Clippard, W. Hughes, B. S. Chohan y D. G. Sykes, «Construction and Characterization of a compact, portable, low-cost Colorimeter for the Chemical Lab.,» *Journal of Chemical Education*, p. 1241-1248, 2016.
- [10] M. V. Wilson y E. Wilson, «Authentic Performance in the Instrumental Analysis Laboratory: Building a Visible Spectrophotometer Prototype,» *Journal of Chemical Education*, pp. 1-8, 2016.
- [11] A. García, M. Erena, E. D. Marinetto y C. A. Abad, «Mobile Phone Platform as portable Chemical Analyzer,» *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 156, n° 1, pp. 350-359, 2011.
- [12] P. Masawat, A. Harfield y A. Namwong, «An iPhone-based digital image Colorimeter for detecting tetracycline in milk,» *Food Chemistry*, pp. 23-29, 2015.
- [13] K. A. Rubinson y J. F. Rubinson, *Análisis Instrumental*, Madrid: Pearson Educación S.A., 2001.