VOLUMEN 28
Verano de la Ciencia XXIX
ISSN 2395-9797
www.jóvenesenlaciencia.ugto.mx

Propuesta de diseño para la construcción de un espectrofotómetro UV-VIS a base arduino y fibra óptica

Jiménez Salazar Jorge Ándres[1,*], Rivera Manrique Solange Ivette[1]

[1]Departamento de Ingenierías Química, Electrónica y Biomédica. División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato.

ja.jimenez.salazar@ugto.mx *

Resumen

La espectrofotometría es una de las técnicas más utilizadas para cuantificar la concentración de analitos, está es una técnica analítica que se basa en la ley de Lamber-Beer, la cual expresa la relación entre la absorbancia de la luz monocromática y la concentración de la muestra. En el presente trabajo se han revisado diversos trabajos de diseño y construcción de fotómetros y espectrofotómetros elaborados ya sea para fines didácticos o para ser usados en laboratorios escolares, teniendo algunos de ellos resultados aceptables comparados con los comerciales. Se presenta una propuesta de diseño con un microcontrolador Arduino UNO o similar, ya que este permite controlar con facilidad el servomotor, estableciendo en un código los grados de inclinación en los que se ajusta el motor para mover la rejilla de dispersión y acceder a diferentes longitudes de onda. Al igual que este, podrá recibir los datos del sensor espectral. La configuración del Arduino puede alterarse a través de código de manera sencilla, por lo tanto, parece una buena opción para adaptarse a las necesidades del usuario

Palabras clave: Arduino, espectrofotómetro, fibra óptica, sensores ópticos.

1. INTRODUCCIÓN

Existen diversas técnicas para cuantificar la concentración de determinadas sustancias (analitos) y se puede aplicar a diversas áreas como la ciencia de los materiales, ingeniería química, industria farmacéutica, agronomía, industria alimenticia, etc. Una de estas técnicas es la espectrofotometría UV-visible (UV-VIS) la cual es una técnica analítica que se basa en la ley de Lambert-Beer que expresa la relación entre la absorbancia de la luz monocromática y la concentración de una sustancia en solución.

La metodología utilizada en los análisis por medio de espectros como radiación UV, IR, visible, tienen como principio la interacción entre la materia y la radiación electromagnética, dando lugar a la refracción, reflexión, absorción, difracción y transmisión de energía según sea la estructura molecular de la muestra a analizar (analito). Debido a que la radiación electromagnética se puede seleccionar por longitudes de onda específicas, es posible modificar ángulos y distancias de enlace, acelerar electrones, generar cambios en entornos electrónicos, así como desencadenar transiciones electrónicas, es posible identificar y cuantificar a la muestra deseada con técnicas como la espectroscopia IR, espectroscopia de masas, espectroscopia Raman, espectroscopia UV-VIS entre otras (Daniel García, 2018).

En el presente trabajo se hablará con mayor profundidad sobre la radiación UV-VIS. Este tipo de energía es absorbida por las moléculas siempre y cuando la energía requerida de la radiación incidente sea la misma que la energía en una transición electrónica de las moléculas de la muestra a analizar. Dicha absorción de energía es llamada excitación electrónica y se asocia con la transmisión de un electrón desde un estado molecular fundamental a un estado de mayor energía (Kalkbrenner et al., 2024).

1.1 TRANSMITANCIA Y ABSORBANCIA

Cuando alguna radiación con determinada longitud de onda e intensidad Io incide perpendicularmente sobre alguna disolución que contenga la muestra a analizar la cual absorbe luz (cromóforo), el compuesto absorberá una parte de la radiación incidente (Ia) y transmitirá el resto (It), de forma que se cumple (Shreya Yesu, 2024):

$$I_0 = I_a + I_t \quad (1)$$

La transmitancia (T) de una solución que contiene al analito es la relación entre la cantidad de luz transmitida que logra llegar al detector una vez que ha sido absorbida por la muestra, It, y la cantidad de luz que incidió sobre ella, Io es representada en tanto por ciento(Abril Díaz et al., 2019):

$$\%T = \frac{I_t}{I_0} * 100 \quad (2)$$

La transmitancia representa una medida física entre la relación de intensidad incidente y transmitida al pasar por la muestra. La relación entre %T y la concentración no es lineal, pero asume una relación logarítmica inversa [3]. La absorbancia (A) está relacionada con la muestra, ya que indica la cantidad de luz

que es absorbida por esta, y se define como el logaritmo de 1/T, en consecuencia(Nur Shasha Abdul Halim et al., 2023):

$$A = \log\frac{1}{T} = -\log T = -\log\frac{I_t}{I_0} \quad (3)$$

Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales (Io = It), la transmitancia es del 100% e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda, y entonces A=log 1 = 0.

1.2 LEY DE LAMBER BEER

La ley de Beer-Lambert relaciona la intensidad de luz incidente en un medio con la intensidad transmitida después de que en dicho medio se produzca absorción. La ley explica que hay una relación exponencial entre la transmisión de luz a través de una sustancia y la concentración de la sustancia, así como también entre la transmisión y la longitud del cuerpo que la luz atraviesa (Paredes et al., 2023a)

Esta ley expresa la relación entre absorbancia de luz monocromática (de longitud de onda fija) y concentración de un cromóforo en solución:

$$A = \log\frac{I}{I_0} = \varepsilon.c.l \quad (4)$$

Donde:

ε = es la absortividad molar con unidades de L mol^{-1} cm^{-1}

c = es la concentración del compuesto en solución, expresada en mol L^{-1}

l = es la longitud del paso óptico de la muestra; que es, el espesor de la celda en que la muestra está contenida y la expresaremos en centímetros

Para poder aplicar la ley de Lambert-Beer es necesario seleccionar previamente una longitud de onda puesto que tanto A como ε varían con ella. Para ello se obtiene previamente el espectro de absorción de la sustancia, que consiste en una representación de los valores de absorbancia frente a la longitud de onda expresada en nanómetros (nm). Del espectro de absorción puede seleccionarse el valor de longitud de onda pa4ra el cual la absorbancia es máxima (Shidiq et al., 2020).

En el presente trabajo se revisaron diversos artículos donde se diseñaron y construyeron diferentes espectrofotómetros a bajo costo, los cuales se describirán los más importantes en la sección de metodología, así mismo, se coloca la propuesta del espectrofotómetro, sin embargo, no fue posible llegar a la construcción de este, en los siguientes párrafos se describen espectrofotómetros construidos por diversos autores y una

propuesta a base de Arduino y fibra óptica dopada de erbio.

2. METODOLOGÍA

A continuación, se presentará la revisión de varios artículos donde se diseñaron y construyeron fotómetros y espectrofotómetros. Se expondrán la instrumentación diseñada y materiales utilizados, así como su aproximación al diseño y sus características esenciales, además en esta se sección se busca no solo brindar una vista concisa del fundamento de operación e implementación de cada uno de los diseños de los autores sino, también obtener una vista general y clara del desempeño obtenido cada uno de ellos en cuestión a las curvas de la calibración resultantes del dispositivo y sus parámetros generales; como resolución o límite de detección (LOD) según sea el caso en las mediciones presentadas por los autores.

2.1. FOTÓMETRO CONSTRUIDO CON LED 'S

El diseño que se presenta a continuación es un fotómetro diseñado y construido como una propuesta que sirviera en el contexto didáctico para los estudiantes de tercer año de química, donde los componentes del fotómetro diseñado son visibles y facilitan el proceso de aprendizaje (Chapul Karla Belén et al., 2018)principio de operación del dispositivo radica en radiación UV suministrada desde un extremo del dispositivo por un LED UV que pasa por la muestra y es detectada por otro LED UV de mismas características que el LED emisor, la manera en la que este LED actúa como detector es debido a su naturaleza de semiconductor, gracias al efecto fotoeléctrico cuando el LED se expone a la luz esta causa una corriente y por consiguiente un potencial eléctrico entre las terminales del diodo que en el caso de este dispositivo es detectado por un multímetro, este funcionamiento se ve representado en la figura 1.

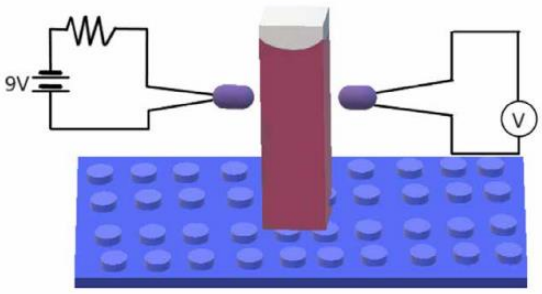


Figura 1. Esquema del fotómetro construido con LED 's [1].

Como puede observarse en la figura 1 el fotómetro de este proyecto tiene una estructura LED >> Muestra >> Detector, siendo así una estructura simple en donde se detecta la luz que pasa por la muestra en una longitud de onda única dada por el LED UV de aproximadamente 400 nm, este LED emisor trabaja con

un voltaje directo de 3.6 V por lo que el circuito empleado para la alimentación constó de una bateria de 9V para la alimentación, siendo limitado el voltaje suministrado por esta a la fotorresistencia está se le mantuvo en un valor con pocas fluctuaciones colocándola en una caja cerrada junto a una linterna de teléfono inteligente de manera que la intensidad luminosa se mantuviera lo más constante posible y no alterara la intensidad del LED emisor.

En el trabajo se muestran diferentes herramientas para evaluar y determinar los rangos en los que el dispositivo es más preciso, primeramente, se buscó determinar el intervalo de porcentaje de transmitancia en el cual el error relativo a la concentración (Δc/c) era menor, este error fue calculado a través de la siguiente ecuación.

$$\Delta c/c \;=\; (0.4343 \,/\, T\ log\ T)\ \Delta T \quad (5)$$

Donde T es la transmitancia y ΔT es la incertidumbre del valor de la transmitancia (error fotométrico), este error fotométrico fue calculado de 0.009 cuando el error de un espectrómetro profesional de 0.004, siguiendo esta ecuación para cada nivel de transmitancia se construyó la figura 2.

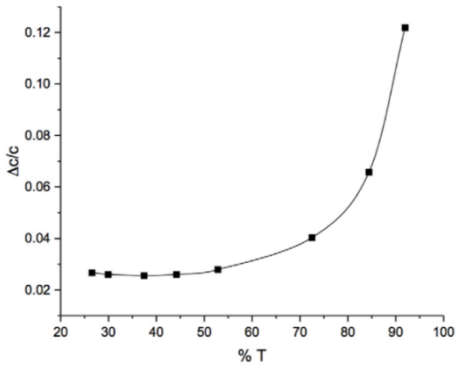


Figura 2. Relación del error relativo a la concentración (Δc/c) y el porcentaje de transmitancia

De esta manera se determinó que el intervalo donde se mantiene un menor error relativo a la concentración que es del 20% al 60% de transmitancia, proporciona un punto de partida para saber que en ese intervalo de parámetros es más confiable el dispositivo, además de que dicha medición a su vez asegura que los resultados sean cuando se construye la curva de utilizándose el gráfico de Ringbom, donde en vez de comprobar el intervalo con respecto al error se evaluó el intervalo de linealidad el cual busca un intervalo donde la relación entre la transmitancia y la concentración tenga un comportamiento lineal que siga la ley de Lambert-Beer debido a que estos dos tienen una relación proporcional, dicho resultado se observa en la figura 3 , la cual indica el intervalo de linealidad entre 37% a 85% de transmitancia.

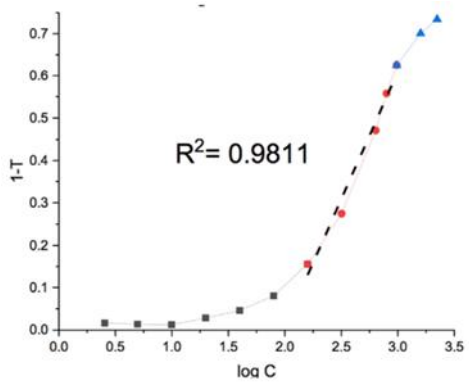


Figura 3. Se Grafica de Ringbom que representa la linealidad que existe entre la transmitancia y la concentración de la muestra analizada, en rojo se muestran las mediciones que corresponden al intervalo de linealidad con R^2 = 0.9811

Se realizaron pruebas con diferentes concentraciones de una solución de fenolftaleína, la cual absorbe en 370 nm, para obtener las curvas de calibración. Por lo que fue útil para el rango del dispositivo construido, se realizaron diez concentraciones diferentes de la sustancia, posteriormente respetando los intervalos de linealidad y de error se construyó una curva de calibración comparada con un espectrómetro profesional Cary 50 (figura 4) de las cuales se obtuvieron los valores de las rectas resultantes de esta calibración y = mx +b los cuales se muestran en la tabla 1.

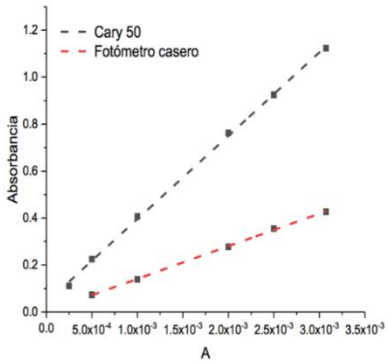


Figura 4 Se muestra la curva de calibración del dispositivo comparada con el espectrómetro profesional Cary 50

	Cary 50	Fotómetro casero
b	0.0407 ± 0.00969	0.00266 ± 0.00378
m	354.89569 ± 5.17927	138.65901 ± 1.84481
R^2	0.99915	0.99947

Tabla 1.Valores de las rectas de calibración de cada dispositivo.

2.2. ESPECTRÓMETROS CASEROS RESULTANTES DE LABORATORIO DE ANÁLISIS

INSTRUMENTAL.

En este trabajo donde se exponen los resultados obtenidos durante el curso antes mencionado los autores se centran en el papel didáctico que tomó la construcción de los diversos espectrofotómetros (Stewart J. Tavener, 2007). Las propuestas proponían el uso de LED >> Rejillas de Transmisión/difracción >> Sistema controlador de la longitud de onda (λ) >> muestra >> lentes convexos >> fotómetro. Para el sensado de los fotones transmitidos, todos los diseños contenían como detector un fotómetro el cual fue construido por todos los estudiantes con la instrucción de los tutores del curso (Tavener, 2007) (figura 5), igualmente los diseños coincidían en la utilización de lentes convexos los cuales actúan como lentes de colimación que aseguran que la mayor cantidad posible de intensidad lumínica pueda llegar al analito.

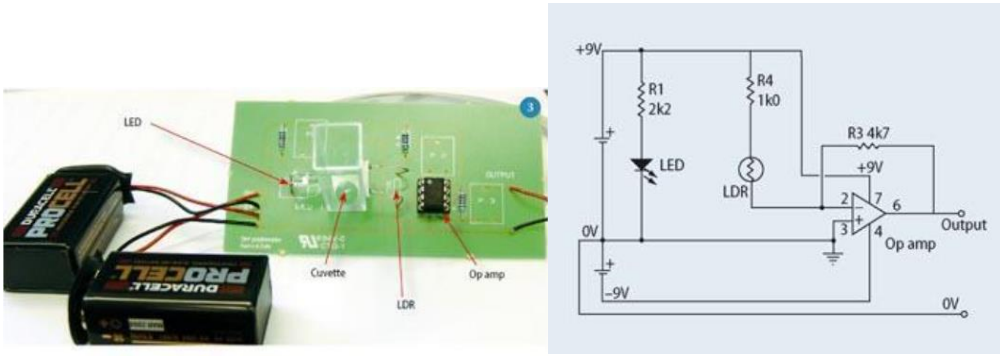


Figura 5. Imagen del fotómetro en el que se basaron los tutores del curso para los fotómetros construidos por los estudiantes (a la izquierda) y se muestra el circuito eléctrico correspondiente a este fotómetro (a la derecha) (Tavener, 2007)

Se comparó el espectrofotómetro hecho con un espectrómetro profesional como puede verse en la figura 6, se obtuvo una máxima absorbancia en estos de un 70% como máximo con respecto a la absorbancia máxima del espectrómetro profesional Cary 50, se obtuvieron límites de detección de 6 a 200 veces mayores que el espectrómetro Cary 50, es decir, considerablemente menos sensible que el espectrómetro profesional, de igual manera se reportaron en algunos espectrómetros una resoluciones de 3.2 y 8.4 nm, de manera que se pudo obtener espectrómetros que realizan mediciones satisfactorias pero con una menor exactitud que los profesionales, como es de esperarse para las construcciones caseras.

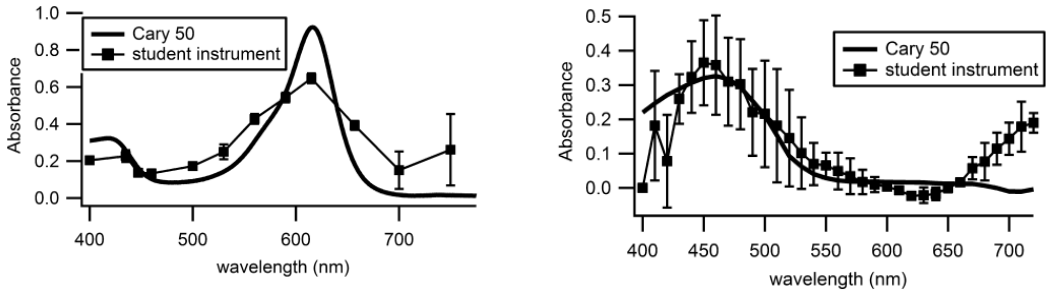
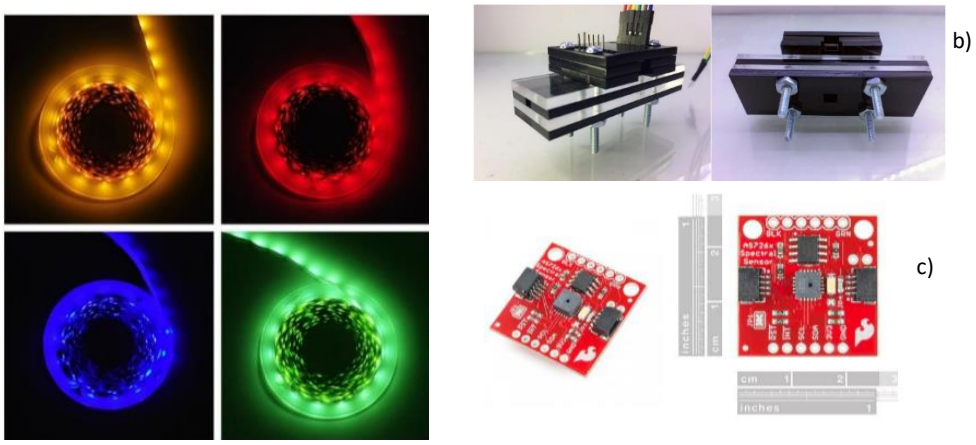


Figura .6. Espectro obtenido del compuesto verde de malaquita en el espectrómetro de los estudiantes comparado con el espectrómetro (Wilson & Wilson, 2017a).

2.3. ESPECTROFOTÓMETRO VIS PORTABLE DE BAJO COSTO

El espectrofotómetro construido en este trabajo de titulación de ingeniería electrónica opta por un enfoque de diseño portable de pocos componentes que opera en la región del espectro visible, la estructura usada es de LED >> Muestra >> Detector, esta estructura está controlada por un microcontrolador Arduino de manera que no se necesitaron componentes ópticos ni para la selección de la longitud de onda deseada ni para la colimación o dispersión de la luz. Se propone como fuente de luz fue utilizada una tira LEDs RGB SMD2835 de 5V (figura 7 a) los cuales pueden cambiar en cuatro longitudes de onda diferentes las cuales corresponden a los colores azul, verde, amarillo y rojo, como repositorio de la muestra se utilizó un sistema microfluidico (figura 7 b), , como detector en lugar de utilizar una fotorresistencia se optó por un sensor ya diseñado para estos propósitos en cual es un módulo de Arduino llamado sensor Espectral As7262 (figura 7 c), de esta manera por el tamaño reducido del sensor puede ser acoplado en un lado del sistema microfluidico y la fuente de luz dispuesta en el lado contrario del sistema tapando con cinta negra los demás LED ‘s de la tira como se ve en la figura 8, (Moisés David Pacheco Almeyda, 2021).



a) b) c)

Figura 7. Componentes utilizados para la construcción del dispositivo a) Tiras de luz led que pueden cambiar a los cuatro colores que se ven en la imagen con la ayuda del Arduino, b) Sistema microfluidico de laboratorio, c) Sensor espectral As7262

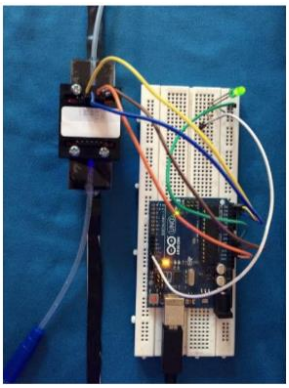


Figura 8. Se muestran el prototipo final construido con los elementos en conjunto y el Arduino controlando la fuente de luz y el sensor espectral

Posteriormente a la construcción del prototipo descrito en el párrafo anterior se realizó una curva de calibración utilizando una solución simple de agua con diferentes concentraciones de acuarela de color verde, la concentración de esta solución variaba en intervalos de 2 mL. La curva de calibración resultante se analizó y comparo con datos obtenidos con anterioridad con un espectrómetro profesional disponible en el laboratorio de la universidad (figura 9), de esta curva de calibración se obtuvieron los datos de la regresión lineal de la curva del dispositivo construido las cuales son de la ecuación $y = mx - b$ de m = 1.3857 y $b = -0.01516$ y también mostró un comportamiento lineal con $R^2 = 0.992$.

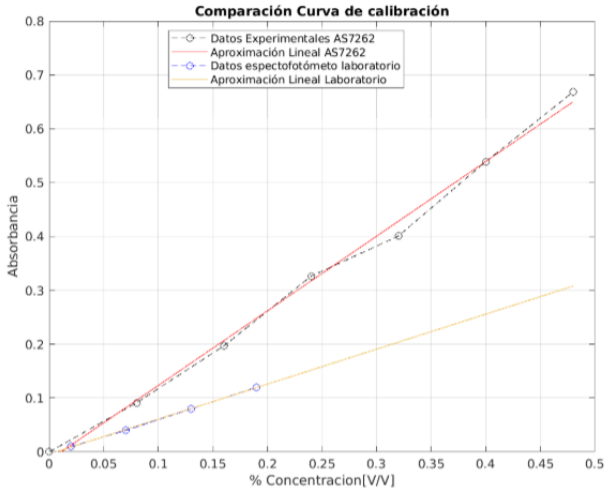


Figura 6. Curva de calibración del dispositivo comprada con la curva de calibración del espectrómetro de laboratorio

En este diseño puede decirse que se priorizo la portabilidad y simpleza utilizando productos ya diseñados con el propósito de análisis espectral como lo es el sensor utilizado, los resultados obtenidos muestran la precisión obtenida en la curva de calibración producto de las decisiones tomadas en la metodología siendo hasta el momento el dispositivo con un comportamiento de mayor linealidad en comparación con los dos dispositivos anteriormente expuestos.

2.4. ESPECTROFOTÓMETRO MODULAR PARA LA ENSEÑANZA.

Este artículo reporta un diseño que comparte similitudes con el comentado en el párrafo anterior, este diseño fue realizado con el objetivo de concretar un diseño que fuera sencillo de concebir por estudiantes que realizan su primer acercamiento a este instrumento (Paredes et.al., 2023), realizando su dispositivo de manera modular donde cada parte de la estructura: LED >> Muestra >> Detector, es convertido en un módulo bien diferenciado por el usuario por 3 compartimentos diferentes, a pesar de esta aproximación modular, el dispositivo es portátil y los autores también establecieron como objetivo que durante la traslación de su

prototipo no se descalibrara tan sencillamente.

El primer módulo corresponde a la fuente de radiación/iluminación, la cual consta de cinco LED ‘s de diferentes longitudes de onda las cuales corresponden a los colores Azul, Verde, Amarillo, Naranja y Rojo de manera que para cada longitud de onda se enciende manualmente el LED correspondiente en el mismo módulo, la luz emitida en este es transmitida al siguiente módulo utilizando fibra óptica de manera que se puedan comunicar ambos sin necesidad de encontrarse contiguos. El segundo módulo contiene el analito a analizar, el cual es dispuesto en una porta cubeta de policarbonato, acoplado a este módulo se encuentra la fotorresistencia que actúa como detector. Finalmente, el tercer módulo consta de un multímetro digital conectado a la fotorresistencia ya mencionado que despliega el valor de impedancia correspondiente (figura 10).

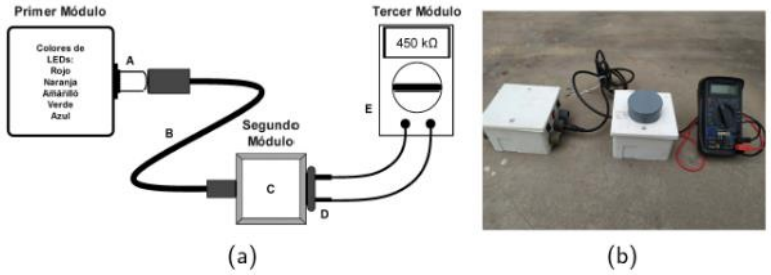


Figura 10. (a) Esquema del espectrofotómetro donde A es el primer módulo que consta de la luz emitida B es la fibra óptica que conecta los módulos y que transmite la luz del primer módulo, C representa la muestra dispuesta en el segundo módulo, D es la fotorresistencia empleada como detector cuyo valor se despliega en el multímetro E, (b) Se muestra una fotografía del espectrofotómetro montado

Para asegurar que se obtuvieran lecturas certeras, se realizaron curvas de calibración para evaluar el desempeño del dispositivo utilizando cuatro sustancias diferentes, las cuales fueron 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 (Amarillo Huevo) (0.15, 0.3, 0.45, 0.6, 0.75 y 0.9 mg/mL) y colágeno (200, 400, 600, 800, 1000 y 1200 mg/L) (Paredes et al., 2023b), de manera que se obtuvo una curva de calibración para cada una de estas sustancias, las cuales se observan en la figura 11 junto a los valores de linealidad obteniendo como valor máximo de R^2 el valor de $R^2 = 0.9993$ siendo el valor más alto de los valores presentados hasta el momento.

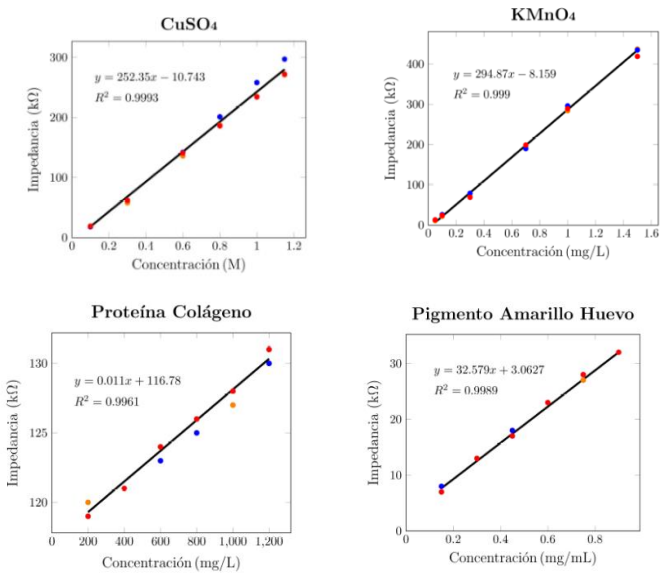


Figura 11. Curvas de calibración obtenidas para las cuatro muestras mostrándose en cada grafica por encima el compuesto al que pertenece y dentro del grafico la ecuación y valor de la regresión lineal realizada

Como conclusión de este dispositivo, podemos decir que brindó uno de los mejores resultados, aunque no en todas las sustancias probadas, pero igualmente resulta en un diseño comprensible para poder entender los componentes fundamentales de un espectrofotómetro para los estudiantes.

3. RESULTADOS

Después de analizar los resultados de los prototipos reportados en diferentes fuentes, se diseñó un prototipo que permitirá dar valores con menor índice de error, sin embargo, debido a problemas con la entrega de material, no se pudo concluir la construcción de esté. A continuación, se presenta el diseño del espectrofotómetro propuesto

3.1. DISEÑO DE LA PROPUESTA

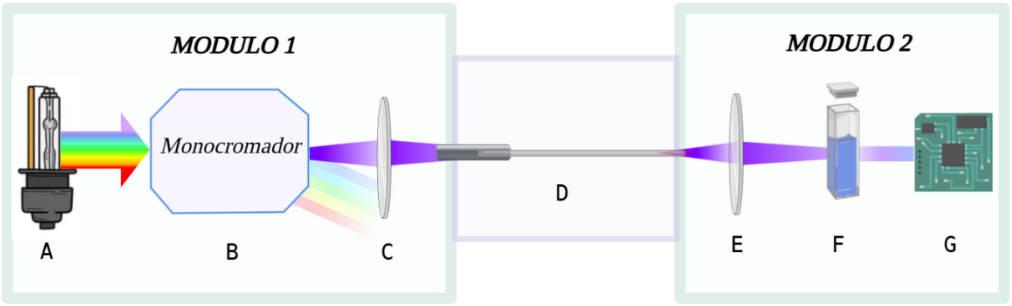


Figura 12. Esquema del fundamento de operación del espectrofotómetro.

La figura12, representa el esquema general de la propuesta del espectrofotómetro, donde se muestra el módulo de emisión-radiación (Módulo 1) y el módulo de análisis de la muestra (Módulo 2), se observa también: que A representa la fuente de radiación propuesta, siendo la lámpara de xenón, debido a que esta proporciona una intensidad continua desde el espectro UV-VIS. El funcionamiento de esta se basa en la ionización del xenón cuando una carga eléctrica se hace para a través de dos electrodos de tungsteno.

El monocromador (B) se compone principalmente de una rejilla de entrada, encarga de delimitar la luz proveniente de la fuente, para posteriormente entrar al prisma que será el encargado de dispersar la luz y así sólo transmitir la longitud de onda deseada. Por último, se coloca otra rejilla de salida, encargada de dirigir la luz monocromática al analito, así como definir la región de longitud de onda que será detectada. Para asegurar que la radiación no se disperse, se coloca un lente colimador (C).

*(*BioRender, *2024)(*Producto Rejilla de difracción 50/100/300/600 líneas, rejilla de transmisión de 2mm, espectrofotómetro, experimento de enseñanza óptica, *s/f)(*BioRender, *2024)(*Producto Rejilla de difracción 50/100/300/600 líneas, rejilla de transmisión de 2mm, espectrofotómetro, experimento de enseñanza óptica, *s/f)(*BioRender, *2024)(*Producto Rejilla de difracción 50/100/300/600 líneas, rejilla de transmisión de 2mm, espectrofotómetro, experimento de enseñanza óptica, *s/f)*

Ya que la propuesta consta de dos módulos, es necesario colocar un instrumento que los una, el uso de una fibra óptica (D) es ideal para transportar la radiación entre módulos sin pérdidas significativas, ya que, gracias a la reflexión total interna, promueve la fotomultiplicación y si el medio activo es de alguna tierra rara como el erbio, está será más eficaz. Sin embargo, es necesario colocar un lente convergente (E) que funciona para colimar la luz con la menor dispersión posible y así llegue a la muestra (F), los fotones que no son absorbidos se transmiten (transmitancia) y es necesario tener un sensor que los pueda detectar (G) sensor espectral. Elementos para el diagrama obtenidos de *(*Producto Rejilla de difracción 50/100/300/600 líneas, rejilla de transmisión de 2mm, espectrofotómetro, experimento de enseñanza óptica, *s/f) (*BioRender, *2024)*

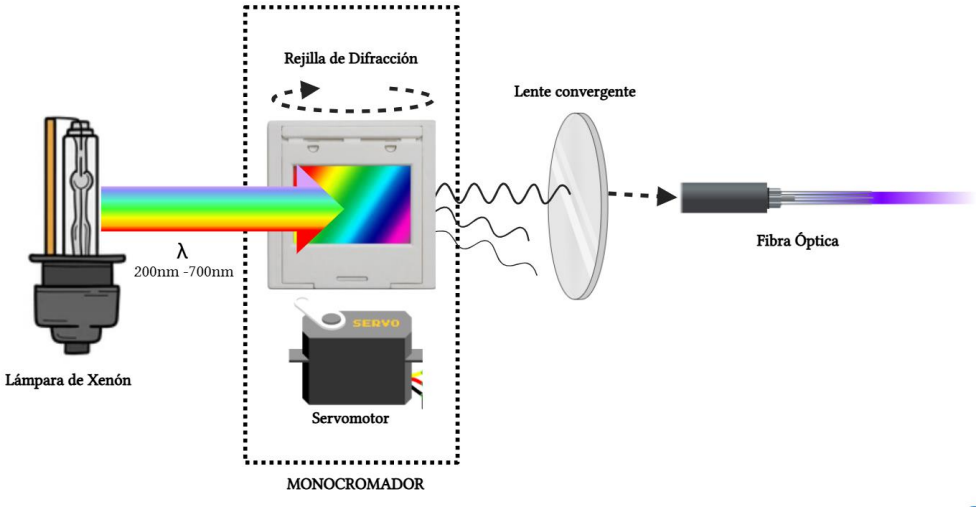


*Figura 13. Esquema detallado del módulo (*BioRender, *2024)*

En la figura 13 se muestra detalladamente del primer módulo, en donde se puede observar el funcionamiento del monocromador, la rejilla de difracción está sujeta al servomotor controlado por el Arduino de tal manera que cuando se modifica el valor del ángulo de giro del motor también se cambia la inclinación y por lo tanto la longitud de onda que pasa hacia el lente ya que al estar dividida cada longitud de onda en el espacio podemos cambiar el enfoque con la inclinación de la rejilla, posteriormente esta longitud de onda seleccionada por la inclinación determinada por el Arduino, la luz llega a la segunda gradilla y posteriormente al lente de colimación y así finalmente poder incidir en la fibra óptica. Elementos para el diagrama obtenidos de (user15234473, 2024) *(*BioRender, *2024)*(Pardo Carlos, 2024)

3.1. CONTROL DEL DISPOSITIVO POR MICROCONTROLADOR

Como puede observarse en la figura 13 el dispositivo consta con dos elementos principales, las cuales requieren un control electrónico y digital para poder funcionar. Los dispositivos que se proponen son, el sensor espectral AS7341 que es utilizado como detector y el servomotor utilizado para el monocromador; para el control de estos componentes se recomienda en este diseño un microcontrolador Arduino UNO o similar ya que este permite controlar con facilidad el servomotor estableciendo en un código los grados de inclinación en los que se ajusta el motor para mover la rejilla de dispersión y acceder a diferentes longitudes de onda, al igual que este podrá recibir los datos del sensor espectral, la configuración del Arduino puede alterarse a través de código de manera sencilla por lo tanto parece una buena opción para adaptarse a las necesidades del usuario.

Así como si se opta por su construcción se puede adaptar de manera adecuada el microcontrolador al modelo de motor y tipo de sensor seleccionado. El monocromador como fue explicado en el párrafo anterior

funciona dependiendo de cuantos grados de giro se impongan en el servomotor desde el Arduino, en la construcción de este diseño se necesitaría realizar una calibración adecuada para poder conocer los ángulos correctos de inclinación que correspondan a la respectiva longitud de onda deseada, para esto se debe procesar correctamente la información del sensor para poder realizar pruebas del desempeño de estos dos elementos en conjunto.

4. CONCLUSIONES

La espectrofotometría es una técnica muy útil para la cuantificación de analitos, se cuenta con equipo altamente sofisticado que se utiliza en diversas áreas como la ciencia de materiales, industria de alimentos, química, cosmética, agronomía, entre otras. Tal es la importancia de está que se han diseñado prototipos a bajo costo, obteniendo curvas de calibración aceptables. Sin embargo, estás se pudieran tener mejor exactitud si se diseñan con materiales como fibras ópticas, que si bien es cierto incrementan el costo, tienen la ventaja de transmitir la radiación con menos pérdidas, gracias a la refracción total interna. El diseño propuesto, gracias a que une ambos módulos con está, puede ayudar a que la transmitancia cuente con menos pérdidas. Gracias al uno del sensor espectral AS734, se pueden contabilizar los fotones transmitidos, ya que gracias a su amplio sensado (350 nm a 1200 nm) no da lugar a perdidas lumínicas. El diseño y construcción de espectrofotómetros es de mucha utilidad en el ámbito académico, ya que permite contar con técnicas para la cuantificación de analitos, para reforzar los conceptos aprendidos

5. REFERENCIAS

Abril Díaz, N., Antonio Bárcena Ruiz, J., Fernández Reyes, E., Galván Cejudo, A., Jorrín Novo, J., Peinado Peinado, J., Toribio Meléndez-Valdés, F., & Túnez Fiñana, I. (2019). *8. Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas*.

BioRender. (2024). https://www.biorender.com/

Chapul Karla Belén, A., Ramírez Francisco Alberto, A., Calva Adriana, H., & García María del Pilar, T. (2018). *Construcción de un fotómetro con leds: estudio comparativo*.

Daniel García, R. (2018). *Instrumentos que revolucionaron la química: la historia del espectrofotómetro*. www.saber.ula.ve/avancesenquimicaAvancesenQuímica,13

Moisés David Pacheco Almeyda. (2021). *PROYECTO FIN DE CARRERA FACULTAD DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA Para obtener el título de*.

Kalkbrenner, C., Van, A., Smith, T., & Charles, D. (2024). *Low-Cost Spectrophotometer*.

Nur Shasha Abdul Halim, A., Yi Qian, T., Syazwani Abdul Keyon, A., Safwati Mohd Nor, N., & Bahru, J. (2023). DEVELOPMENT OF A HOME-BUILT UV-VISIBLE SPECTROPHOTOMETER EMPLOYING ARDUINO MICROCONTROLLER SYSTEM FOR CHEMICAL ANALYSIS (Pembangunan Spektrofotometer Ultraungu-Nampak Binaan Sendiri Menggunakan Sistem Pengawal Mikro Arduino untuk Analisis Bahan Kimia). En *Malaysian Journal of Analytical Sciences* (Vol. 27).

Pardo Carlos. (2024, marzo). *Servomotor*. Picuino. https://www.picuino.com/es/control-actuator-servomotor.html

Paredes, L. R., Benavente, J. R. C., & Sapacayo, M. I. V. (2023a). Prototype of a modular spectrophotometer for chemistry education. *Revista Eureka*, *20*(2), 240201–240208. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2402

Paredes, L. R., Benavente, J. R. C., & Sapacayo, M. I. V. (2023b). Prototype of a modular spectrophotometer for chemistry education. *Revista Eureka*, *20*(2), 240201–240208. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i2.2402

Producto Rejilla de difracción 50/100/300/600 líneas, rejilla de transmisión de 2mm, espectrofotómetro, experimento de enseñanza óptica. (s/f). Aliexpress. Recuperado el 10 de julio de 2024, de https://es.aliexpress.com/item/1005006049440460.html?src=google&aff_fcid=5ab7054f8c9f4ed491dd50ee1224fea2-1722009476162-09421-UneMJZVf&aff_fsk=UneMJZVf&aff_platform=aaf&sk=UneMJZVf&aff_trace_key=5ab7054f8c9f4ed491dd50ee1224fea2-1722009476162-09421-UneMJZVf&terminal_id=4dfbf05a56124e3d96e484e3cf2c5093&afSmartRedirect=n

Shidiq, A. S., Permanasari, A., & Hernani, H. (2020). *Simple, Portable, and Inexpensive Spectrophotometers for High Schools Lab Activity*.

Shreya Yesu, K. (2024). A REVIEW ON UV VIS SPECTROPHOTOMETER. *www.irjmets.com @International Research Journal of Modernization in Engineering*, *4914*. www.irjmets.com

Stewart J. Tavener. (2007). *Build your own spectrophotometer*.

Tavener, S. J. (2007, agosto 31). *Build your own spectrophotometer*. Royal society of chemistry.

user15234473, P. F. (2024, julio). *Bombilla de luz eléctrica de lámpara de arco de xenón*. Freepik. https://www.freepik.es/vector-premium/bombilla-luz-electrica-lampara-arco-xenon-icono-faros-coche-estilo-garabato_30253380.htm

Wilson, M. V., & Wilson, E. (2017). Authentic performance in the instrumental analysis laboratory: Building a visible spectrophotometer prototype. *Journal of Chemical Education*, *94*(1), 44–51. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00515