

Prototipo Multiespectral para la Medición de Transmitancia y Absorbancia en Líquidos: Una Solución Accesible para Laboratorios y Educación

Multispectral Prototype for Measuring Transmittance and Absorbance in Liquids: An Accessible Solution for Laboratories and Education

Lesly Paola Tonanzin Fuentes Estrada¹, Salomón Flores García¹, Guillermo Tapia Tinoco¹

¹ Departamento de Ingeniería Agrícola, Departamento de Ciencias Ambientales, División de ciencias de la vida (DICIVA), Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato.

lpt.fuentesestrada@ugto.mx, s.flores.garcia@ugto.mx, g.tapia@ugto.mx

Resumen

Este estudio explora el uso del sensor AS7265x para medir la transmitancia y absorbancia en líquidos, combinando agua con colorantes a distintas concentraciones y separaciones. El sensor, que abarca un rango espectral de 410 nm a 940 nm mediante 18 bandas, fue evaluado con el propósito de verificar la precisión de sus lecturas en condiciones controladas. Para ello, se desarrolló un prototipo que elimina la interferencia de luz externa y permite regular la iluminación interna a través de un LED con voltaje ajustable. Este sistema posibilita mediciones a distancias que van de 1 a 3 centímetros. Las pruebas se realizaron en tubos de ensayo con capacidad de 50ml. La solución incluye agua a 35 ml y colorantes primarios (rojo, azul, verde y amarillo) con valores de 0.1 ml, 0.2 ml y 0.3 ml. Finalmente, el artículo presenta los resultados mediante gráficas comparativas que muestran cómo varían las mediciones según la distancia y la solución líquida.

Palabras clave: Absorbancia, transmitancia, AS7265x, espectrofotometría, espectrofotómetro.

Introducción

La aparición del espectrofotómetro creado por Arnold Beckman en 1941 revolucionó el mundo de la biociencia. La cotidianidad actual de este instrumento ha conducido al desconocimiento de los alcances de su tecnología (García, 2018). Un espectrofotómetro es un aparato que se usa en los laboratorios para determinar cuál es el haz de radiación electromagnética o luz y así identificar, calificar y cuantificar cómo es su energía (Internet 1, 2019).

La espectrofotometría tiene diversas aplicaciones en campos como la química, la biología, la bioquímica, la farmacología, la ciencia de los materiales y la industria alimentaria, entre otros. Algunas de las aplicaciones comunes de la espectrofotometría incluyen: Cuantificación de la concentración de sustancias químicas en solución. Determinación de la pureza y calidad de productos químicos. Análisis de biomoléculas como proteínas y ácidos nucleicos. Control de calidad en la industria farmacéutica y alimentaria. Monitoreo de contaminantes en muestras ambientales. Investigación de propiedades ópticas de materiales y compuestos (Internet 2 Chocron, J. 2023) Sin embargo, uno de los principales retos para su adopción más generalizada es el alto costo de los equipos espectrofotométricos, los cuales requieren tecnología de precisión y componentes ópticos especializados, lo que puede limitar su acceso en laboratorios con recursos limitados.

Gracias al avance tecnológico, han surgido dispositivos de bajo costo como los sensores espectrales, los cuales, aunque no alcanzan la precisión de un espectrofotómetro tradicional, resultan útiles para tareas más simples. Un ejemplo claro es el sensor AS7265x, que incorpora tres sensores en uno, cada uno capaz de medir seis bandas del espectro electromagnético, sumando un total de 18 bandas distintas. Estas bandas cubren desde la región ultravioleta hasta el infrarrojo cercano, es decir, de 400 nm a 900 nm. Además, su diseño facilita la programación y permite su integración con diversas plataformas, como Arduino Uno o ESP32 siendo esta última la utilizada en este trabajo, lo que lo hace adaptable a múltiples aplicaciones, como la detección de colores, concentraciones o impurezas. Actualmente, este sensor ha sido empleado en diversos campos, entre ellos la agricultura, donde se utiliza para detectar el estrés en cultivos y diferenciar plantas sanas de enfermas (Ducanhez *et al.*, 2021). En el área de materiales, ha servido para analizar la adulteración de líquidos (Shaikh *et al.*, 2022). En el sector salud, se ha aplicado en el análisis de sangre para medir niveles

de glucosa en la sangre con pacientes diabéticos (Septimo Ramos & Ramirez Seperak, 2024). Además, su accesibilidad y bajo costo lo han convertido en una opción atractiva para investigadores que buscan desarrollar prototipos de espectrofotometría económicos como los mencionados anteriormente.

En este trabajo se diseñó e implementó un prototipo que permite realizar las mediciones en condiciones controladas. Para reducir cualquier tipo de interferencia, se pintaron de negro tanto el interior como el exterior de un cubo de plástico, así como los componentes internos. Se incorporó un LED con intensidad variable controlada por voltaje. También se construyó una base de unicel ajustable para colocar tubos de ensayo transparentes, permitiendo que la luz del LED atravesara los tubos antes de llegar al sensor. Esta base permitía posicionar los tubos a distancias de 1 cm, 2 cm y 3 cm. Las mediciones se realizaron utilizando un solo tubo de ensayo, con el fin de evitar que las diferencias en el material afectaran los resultados posteriores. Se realizaron pruebas con soluciones de color azul, verde, amarillo y rojo, ubicadas a distintas distancias, variando la cantidad de colorante desde 0.1 mL hasta 0.3 mL.

Transmitancia y Absorbancia

La espectrofotometría es una técnica analítica utilizada para determinar cuánta luz absorbe una sustancia química, midiendo la intensidad de la luz que transmite un haz luminoso al atravesar una muestra, de acuerdo con la ley de Beer-Lambert. (Pecsok & Shields, 1983). La espectrofotometría, como técnica de medición, se ha desarrollado enormemente gracias al progreso tecnológico, al desarrollo de nuevos materiales y a los métodos de procesamiento de datos. El desarrollo de ópticas especializadas y de espectrofotómetros con microprocesadores que controlan su funcionamiento ha ampliado considerablemente las posibilidades de uso de estos instrumentos (Marczenko & Balcerzak, 2000).

La transmitancia (T) de una sustancia en solución es la relación entre la cantidad de luz transmitida que llega al detector una vez que ha atravesado la muestra. La absorbancia (A) es un concepto más relacionado con la muestra puesto que nos indica la cantidad de luz absorbida por la misma (Marczenko & Balcerzak, 2000). Ambos conceptos están estrechamente vinculados, ya que para determinar la absorbancia es necesario primero obtener el valor de la transmitancia, los cuales se determinan mediante las siguientes ecuaciones:

$$T = \frac{I_t}{I_o} * 100 \quad (1.1)$$

$$A = -\log_{10}(T) \quad (1.2)$$

Donde:

- T = Transmitancia.
- I_t = Intensidad de luz transmitida al pasar por la muestra.
- I_o = Intensidad de luz antes de pasar por la muestra.
- A = Absorbancia.

Sensor AS7265x

En la *Figura 1* se muestra el diagrama de las conexiones internas del sensor AS7265x, se pueden observar que consta de tres circuitos integrados denominados AS72651, AS72652 y AS72653. La comunicación con el ESP32 se realiza a través del protocolo de comunicación I2C. Cada Circuito integrado contiene seis canales ópticos para un total de 18 canales que cubren el rango espectral de 410 nm a 940 nm (ver Tabla 1). Cada canal cuenta con un filtro óptico gaussiano con una media de ancho de banda máximo de 20 nm. La ganancia y el tiempo de integración de los canales ópticos es configurable mediante registros internos. Un conversor analógico-digital (ADC) de 16 bits en cada sensor convierte las salidas de los canales ópticos en digitales AMS AG. (2017)

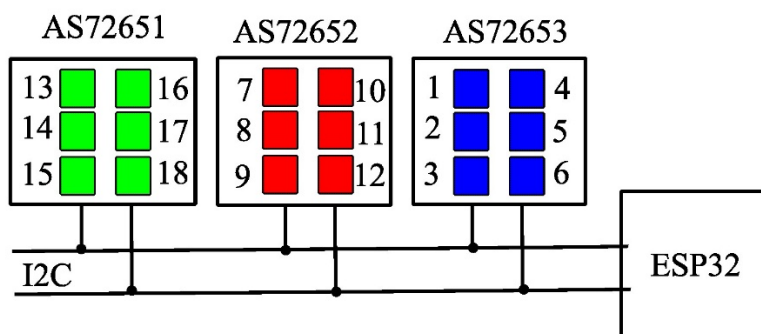


Figura 1. Diagrama de bloques del sensor AS7265X.
Adaptado de AS7265x Chip-Set Block Diagram, OSRAM, 2017, AMS AG. (2017).

Tabla 1. Bandas detectadas por el sensor AS7265X.

CANAL	ANCHO DE BANDA	CANAL	ANCHO DE BANDA
1	410nm	10	705nm
2	435nm	11	900nm
3	460nm	12	940nm
4	485nm	13	610nm
5	510nm	14	680nm
6	535nm	15	730nm
7	560nm	16	760nm
8	585nm	17	810nm
9	645nm	18	860nm

Nota. Adaptado de AS7265x Chip-Set Block Diagram, OSRAM, 2017, AMS AG. (2017).

Diseño de software y hardware

En la Figura 2 se presenta de manera clara la conexión establecida entre el microcontrolador ESP32 y el sensor espectral AS7265x. El ESP32 es un microcontrolador versátil que se puede programar utilizando el entorno de desarrollo Arduino, lo cual facilita la implementación de proyectos de censado y adquisición de datos. En este caso específico, el ESP32 se emplea para controlar y comunicarse con el sensor AS7265x, permitiendo así la captura de datos espectrales en diferentes longitudes de onda. La conexión entre ambos dispositivos no representa una gran complejidad, ya que el sensor AS7265x opera con un voltaje de alimentación de 3.3 volts, el mismo voltaje que puede suministrar directamente el ESP32 a través de uno de sus pines de salida. Esto elimina la necesidad de utilizar reguladores de voltaje externos u otros componentes adicionales para su alimentación. Además de los pines de alimentación (VCC y GND), se requieren dos pines adicionales para establecer la comunicación entre el microcontrolador y el sensor: La terminal de datos serie (por sus siglas en ingles SDA) y la terminal de reloj (por sus siglas en ingles SCL). En el ESP32, estos corresponden por defecto al pin GPIO 21 para SDA y al pin GPIO 22 para SCL. Ambos pines forman parte del protocolo de comunicación serial síncrono (por sus siglas en ingles I²C), el cual es ampliamente utilizado en la electrónica digital por su eficiencia y simplicidad.

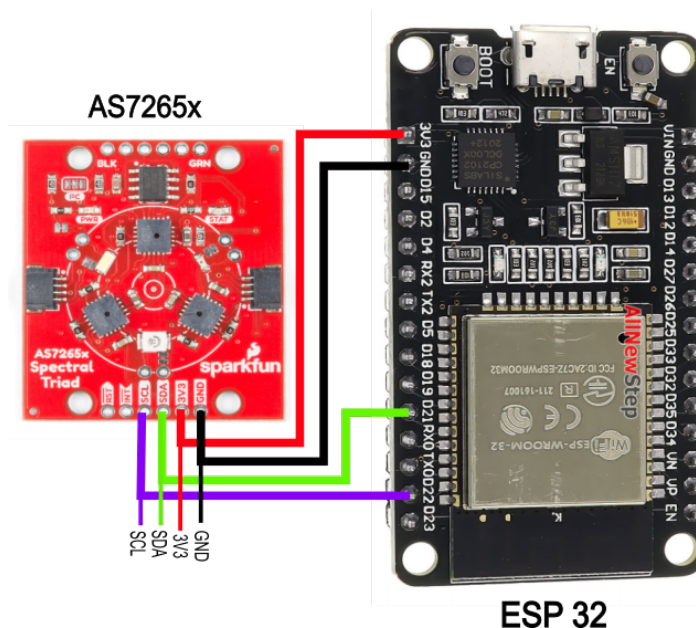


Figura 2. Conexiones entre ESP32 y AS7265x.

En la Figura 3 se muestra el segundo circuito del prototipo, compuesto por un LED de alta potencia que opera entre 6 y 12 volts, lo que permite ajustar la intensidad de luz según las necesidades del sensor AS7265x. Para suministrar este voltaje, se utilizó un adaptador universal regulable de 3 a 12 volts. Además, se eligió un LED con ventilador integrado para mantener una temperatura estable y evitar lecturas no deseadas en la banda del infrarrojo. El sistema también incluye un interruptor que permite encender o apagar el LED cuando sea necesario.



Figura 3. Conexiones entre ESP32 y AS7265x.

La Figura 4 muestra el diagrama de flujo del programa implementado para configurar y controlar la operación del sensor AS7265X. El flujo comienza con la instalación de la librería "SparkFun_AS7265X.h". Posteriormente, se declaró el sensor como un objeto, junto con una variable booleana llamada startMeasurement y una variable entera measurementCount. En la función setup, se estableció que el programa solo continuaría si se lograba la conexión con el monitor serial; en caso contrario, el programa seguiría intentando lograr la comunicación serial. Luego, se configuró el sensor con una ganancia de 64x, lo que significa que los valores de voltaje medidos en cada banda serían multiplicados por 64. Además, se estableció un tiempo de integración de 32 ciclos, donde cada ciclo equivale a 2.8 ms, dando un total de 89.6 ms por lectura. Estos valores de configuración se establecieron después de pruebas exhaustivas. El lazo principal incluye una condición que detecta si se ha ingresado la letra "M" o "m" en el monitor serial. Al hacerlo,

startMeasurement se establece en true y el contador measurementCount se reinicia a 0. A partir de ahí, mientras startMeasurement sea verdadero y measurementCount sea menor o igual a 5, el programa continuará ejecutándose. En cada iteración, incrementa el contador y realiza una lectura de las 18 bandas del sensor. Este proceso se repite cinco veces, tras lo cual el programa cambia startMeasurement a falso y este queda en espera de otra lectura del monitor serie para volver a iniciar el ciclo de mediciones. El número de mediciones es configurable por el usuario. Para este caso se determinó que con 5 mediciones se puede realizar un post procesamiento y así eliminar posibles errores en la lectura.

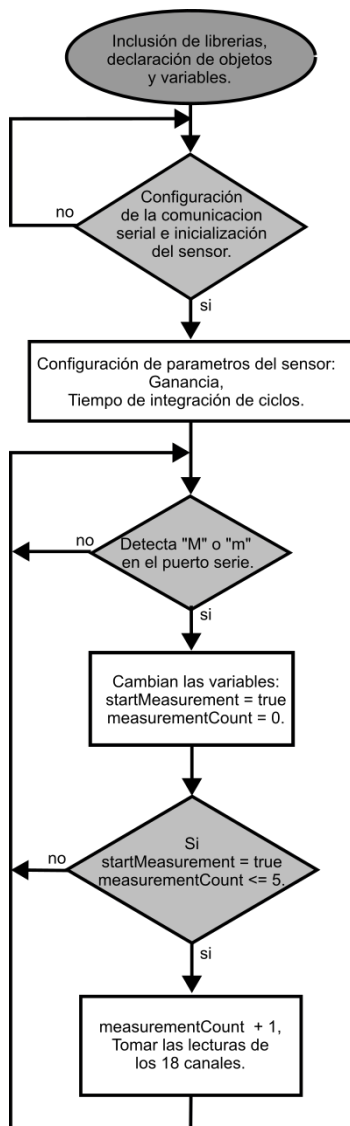


Figura 4. Diagrama de flujo del programa.

Diseño de prototipo

En la *Figura 5 a)*, se muestra el prototipo visto desde el exterior. Este diseño incorpora un microcontrolador ESP32 alojado en una caja negra en su interior, desde la cual sale un cable que se conecta al puerto de comunicación serie de la computadora para transferir los datos obtenidos por el sensor. También se observa un cargador multi voltaje que suministra un voltaje de 6 volts, así como un interruptor que permite encender o apagar el LED según sea necesario. Finalmente, en la *Figura 5 b)* se aprecia el área de pruebas, que

consiste en un recipiente completamente pintado de negro para asegurar la oscuridad total en su interior y así evitar interferencias lumínicas durante las mediciones.

En la misma *Figura 5 b)*, se muestra el sensor montado en una pared, junto con un tubo de ensayo donde se colocaba la muestra, ya fuera agua o agua con colorante. Además, se alcanza a ver una parte del LED, cuya luz está dirigida hacia el sensor atravesando previamente el tubo de ensayo.

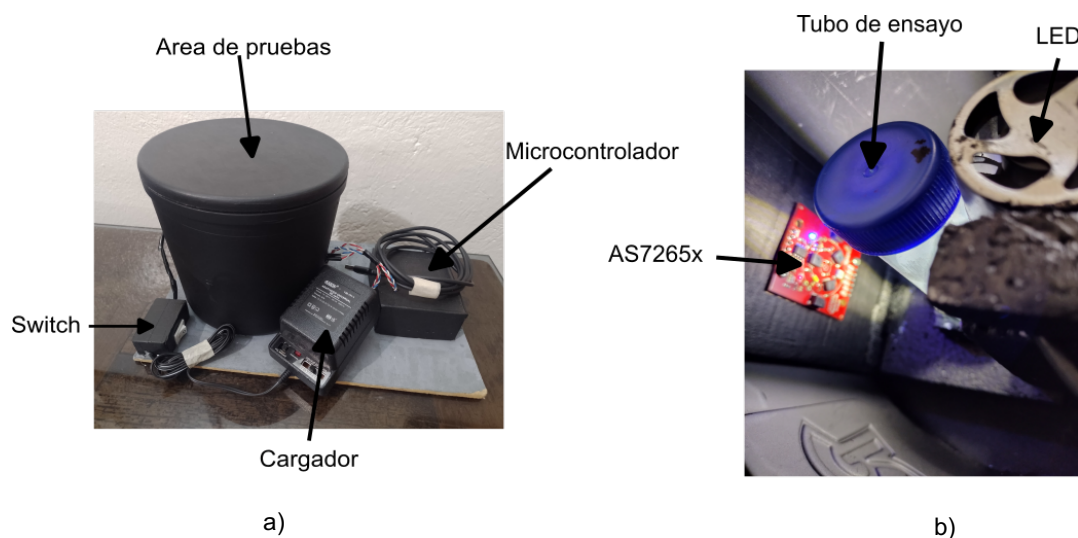


Figura 5. Prototipo Implementado. a) Componentes de prototipo. b) Interior del área de pruebas.

En la *Figura 6 a)* se muestra, la base utilizada para sostener el tubo de ensayo, ya que estos no cuentan con una base plana. Esta también fue pintada de negro para evitar posibles interferencias en las lecturas del sensor. Además, en la *Figura 6 b)* se observan los separadores, que indican las distintas distancias a las que se realizaron las mediciones, específicamente a 1 cm, 2 cm y 3 cm, lo que permitió controlar con precisión la separación entre el tubo de ensayo y el sensor.

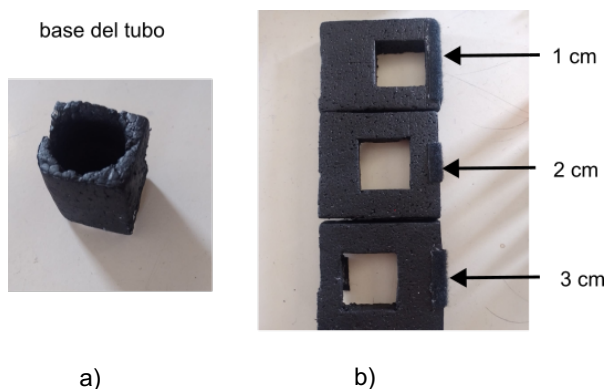


Figura 6. Soporte del tubo. a) Base del tubo de ensayo. b) Separadores del tubo.

En la *Figura 7 a)*, se presentan algunos elementos secundarios del prototipo que, aunque no eran parte principal del sistema, desempeñaron un papel importante. Se trata de los colorantes utilizados en los experimentos: amarillo, verde, azul y rojo. Estos se emplearon para teñir el agua y realizar las mediciones correspondientes. La coloración del agua se hizo con volúmenes específicos de cada colorante, por ejemplo, 0.1 ml, 0.2 ml y 0.3 ml. Para ello se utilizaron cuatro jeringas, *Figura 7 b)* una para cada color, con el objetivo de evitar la mezcla entre colorantes y así garantizar resultados más precisos.

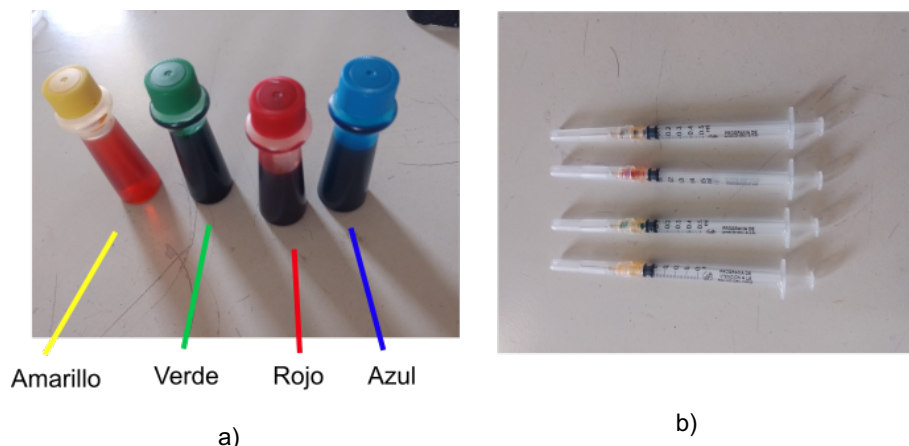


Figura 7. Materiales complementarios. a) Colorantes. b) Jeringas.

Resultados y Discusión

La calibración se realizó mediante un enfoque heurístico, ajustando iterativamente la ganancia y el tiempo de integración mientras se evaluaba la señal de salida bajo condiciones controladas. Se demostró que los parámetros indicados son ganancia de 64 y tiempo de integración 30 ms que optimizan el equilibrio entre sensibilidad, velocidad y estabilidad.

En la Figura 8 se muestra la gráfica correspondiente a las mediciones hechas utilizando únicamente la luz blanca del LED, con el tubo de ensayo lleno de agua sin colorante, es decir, en estado puro. Las mediciones se realizaron a dos distancias distintas: 2 cm y 3 cm entre el sensor y el tubo de ensayo. El propósito de esta prueba fue establecer una línea base o referencia para evaluar el comportamiento del sistema frente a un medio que, en teoría, no debería alterar significativamente el espectro de la luz incidente, ya que el agua tiene una alta transmitancia en la región visible del espectro electromagnético. La gráfica muestra cómo se distribuyen las intensidades detectadas en las 18 bandas espectrales captadas por el sensor. En el eje horizontal se representan las longitudes de onda en nanómetros (nm), abarcando de 410 a 940 nm, mientras que el eje vertical indica los conteos registrados por el sensor, es decir, la intensidad de la señal luminosa en cada una de las bandas.

Al tratarse de una fuente de luz blanca, que incluye una mezcla de múltiples longitudes de onda del espectro visible, se observa una respuesta notable en la mayoría de las bandas comprendidas entre los 400 nm y los 700 nm. Contrario a lo esperado, el sensor registró una distribución no uniforme de intensidad en estas bandas, reflejando que el agua absorbe de manera parcialmente proporcional la luz visible, lo que permite su paso solo en ciertas longitudes de onda. No obstante, las bandas correspondientes al infrarrojo cercano, especialmente aquellas por encima de los 800 nm, mostraron una menor respuesta, debido a que la emisión del LED blanco es limitada en esa región del espectro.

Una observación relevante es que, aunque inicialmente se realizaron mediciones también a 1 cm de distancia, esos datos fueron excluidos del análisis final. Esto se debe a que, a esa proximidad, el sensor presentó lecturas inconsistentes y poco confiables, probablemente debido a la saturación causada por la alta intensidad de la luz incidente o por efectos ópticos como reflexiones internas. Por ello, para asegurar mayor precisión y coherencia en los datos, el análisis se centró exclusivamente en las distancias de 2 cm y 3 cm.

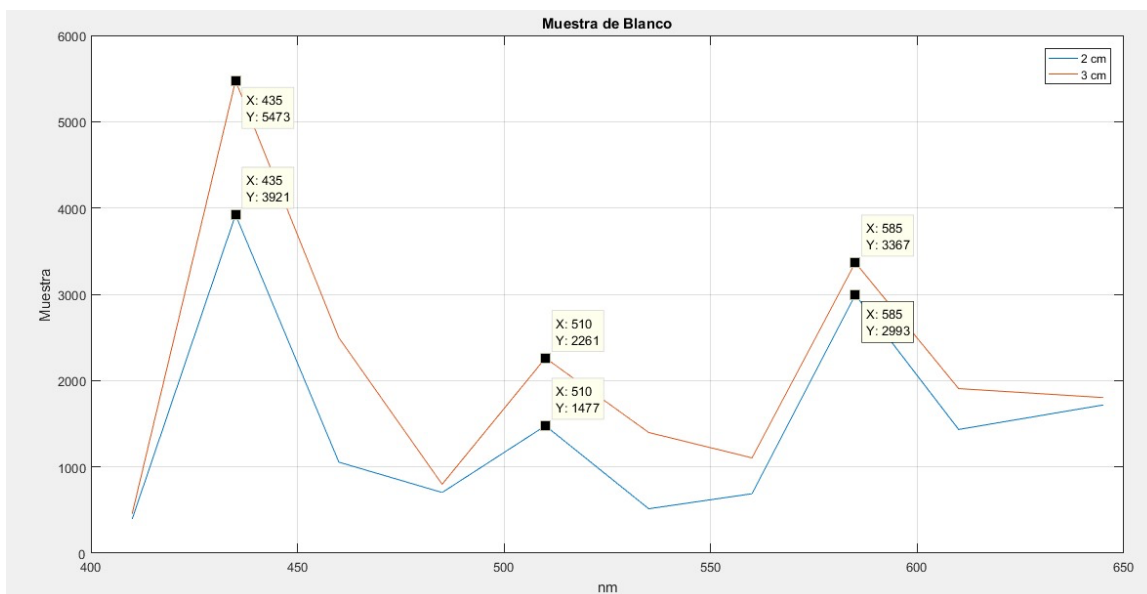


Figura 8. Resultados del agua.

En la Figura 9 se presentan los resultados obtenidos después de promediar los datos recolectados por el sensor para cada una de las 18 bandas espectrales. En esta etapa, se trabajó con los datos correspondientes a las mediciones de solución acuosa tinturada con colorantes específicos: azul, verde, amarillo y rojo, todos a una distancia de 3 cm entre el sensor y el tubo de ensayo. La metodología empleada consistió en la ecuación de la transmitancia que parte en dividir los valores obtenidos para cada banda correspondientes a las muestras con colorante entre los valores registrados para el caso del agua pura, utilizada como referencia bajo las mismas condiciones de medición (misma distancia, mismo tipo de iluminación). Posteriormente, este cociente se multiplicó por 100, lo cual permitió expresar los resultados como un porcentaje de transmitancia, es decir, qué tanto de la luz original del LED logró atravesar la muestra coloreada en comparación con el agua sin colorante.

El análisis de estas gráficas permite comprobar que las bandas que presentan una mayor transmitancia corresponden a las longitudes de onda características de cada color, lo cual es consistente con el comportamiento esperado de la luz y la absorción selectiva de los colorantes. Por ejemplo, en el caso del color azul, se observa un pico de transmitancia marcado alrededor de los 460 nm, que es justamente donde se encuentra el espectro principal de este color. De manera similar, en la gráfica correspondiente al color verde, se evidencia que la banda con mayor transmitancia se ubica cerca de los 510 nm, lo cual coincide con la región verde del espectro visible. En el caso del amarillo, se identifica una banda levantada aproximadamente a los 560 nm, que corresponde al rango típico del amarillo. No obstante, debido a que el colorante utilizado no era un amarillo completamente puro, también se registró un incremento de transmitancia en bandas cercanas a la región del rojo, lo que sugiere una ligera superposición espectral. Finalmente, para el color rojo, la banda que mostró la mayor intensidad se encuentra alrededor de los 650 nm, valor que coincide con la zona del rojo en el espectro electromagnético visible.

Estos resultados confirman que las bandas activadas corresponden a las longitudes de onda específicas de cada color, lo cual valida la correcta respuesta espectral del sensor y la coherencia del sistema experimental.

Además, se analizó cómo varía la transmitancia cuando se modifica la cantidad del colorante utilizado. A pesar de mantenerse fija la distancia de medición (3 cm), se observó que, al aumentar la cantidad del colorante, la transmitancia disminuye, lo cual se traduce en una mayor absorción de luz por parte de la muestra. Este comportamiento se aprecia claramente al comparar los porcentajes: conforme se incrementa el volumen del colorante —por ejemplo, de 0.1 ml a 0.3 ml—, los valores de transmitancia se reducen en las bandas asociadas al color correspondiente. Esto es particularmente notorio en los colorantes azul, verde y rojo, donde se aprecia una disminución progresiva de la transmitancia con cada aumento en el volumen del colorante.

El caso del amarillo mostró un comportamiento diferente: inicialmente, conservó valores de transmitancia relativamente estables para los valores de 0.1 y 0.2 ml. Posteriormente para el valor de 0.3 ml la transmitancia comenzó a disminuir en sus bandas principales. Esto se debe tanto a la naturaleza del colorante como a su grado de pureza y capacidad de absorción espectral.

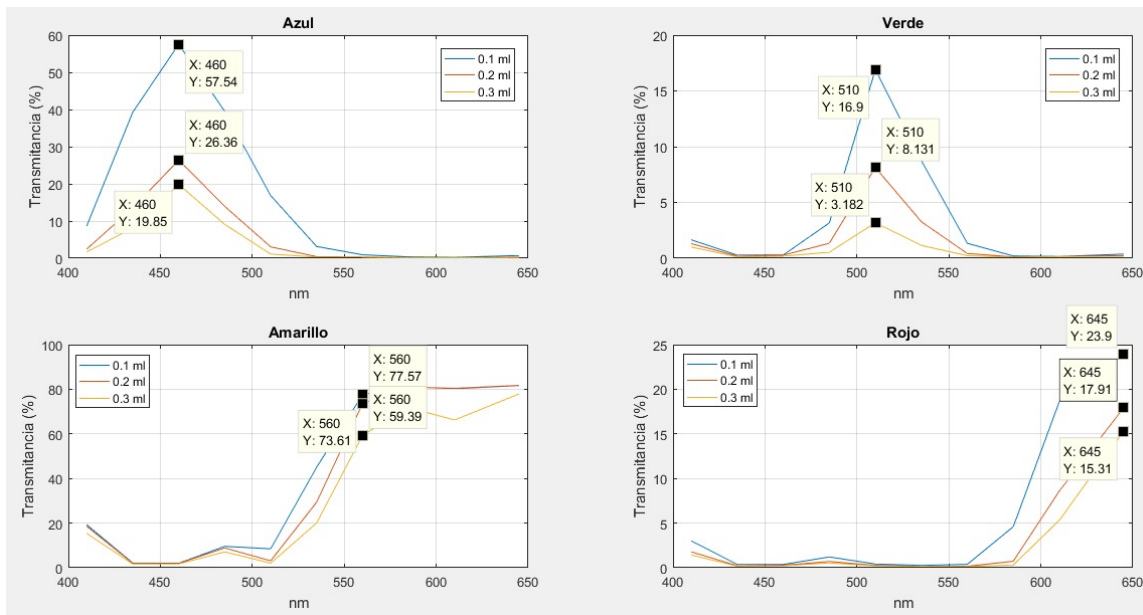


Figura 9. Resultados de mediciones a 3 cm.

En la Figura 10 se presentan los resultados obtenidos de las mediciones realizadas a una distancia de 2 cm entre el sensor y el tubo de ensayo. Para generar estas gráficas, se siguió el mismo procedimiento que en el caso de las mediciones a 3 cm descritas anteriormente. Al comparar los resultados obtenidos a 2 cm con los de 3 cm, se observa que las bandas espectrales que se activan o “se levantan” son prácticamente las mismas, lo cual confirma la coherencia y estabilidad del sistema de medición. Las longitudes de onda con mayor transmitancia siguen correspondiendo a los valores característicos de cada colorante: aproximadamente 460 nm para el azul, 510 nm para el verde, 560 nm para el amarillo y 650 nm para el rojo. Esta repetición de patrones en diferentes distancias respalda la consistencia espectral del sensor y la confiabilidad de los datos registrados. Sin embargo, un aspecto interesante que se presenta en esta figura es el cambio en los porcentajes de transmitancia. En general, los porcentajes fueron notablemente más altos en comparación con los obtenidos a 3 cm. En este sentido, se considera que trabajar a 2 cm mejora la precisión o sensibilidad de las mediciones, ya que se capta más información sin perder la diferenciación espectral.

No obstante, se detectó una anomalía particular en el color amarillo. Para los valores de 0.1 ml y 0.2 ml, los valores de transmitancia excedieron el 100%, lo cual es físicamente imposible bajo condiciones normales. Este fenómeno podría explicarse por pequeñas variaciones en las condiciones de iluminación, reflexiones internas, o incluso por el efecto del colorante actuando como un refuerzo en la transmisión dentro de esa banda específica. Un comportamiento similar ya se había observado en las pruebas a 1 cm, aunque en ese caso se manifestaba con todos los colores, y de manera más severa, generando valores altos en varias bandas, lo que dificultaba la interpretación y podía llevar a lecturas incorrectas.

Otra observación relevante se encuentra en el comportamiento del color verde, que no había sido abordado en profundidad anteriormente. En ambas gráficas (tanto a 2 cm como a 3 cm) se nota que este color presenta una alta capacidad de absorción de luz emitida por el LED blanco. Las bandas correspondientes al espectro verde tienen valores de transmitancia muy bajos, y en el caso de la solución con 0.3 ml de colorante, la transmitancia se aproxima a 2.385%, indicando prácticamente la absorción total de la luz en esas longitudes de onda. Este dato es importante porque resalta la sensibilidad del sensor para detectar variaciones sutiles de ciertos colorantes con alta opacidad en sus bandas dominantes.

En cuanto a los demás colorantes (azul y rojo principalmente), los resultados se mantuvieron consistentes respecto a los observados a 3 cm. Tanto la forma de las curvas como la distribución de las bandas activadas fueron prácticamente idénticas, lo cual sugiere que el sistema de medición responde de forma predecible y estable a diferentes distancias, al menos dentro del rango de 2 a 3 cm.

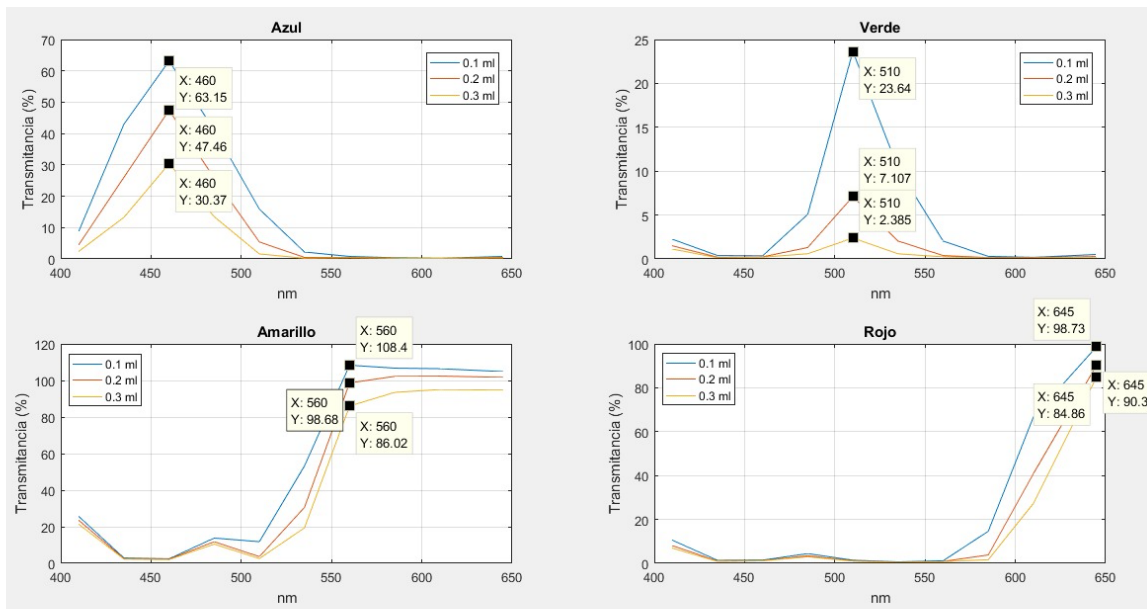


Figura 10. Resultados de mediciones a 2 cm.

Conclusiones

A lo largo del desarrollo del prototipo y la ejecución de las pruebas con el sensor multispectral, fue posible demostrar que el sistema diseñado tiene la capacidad de detectar y diferenciar de manera efectiva la transmitancia de luz a través de muestras con distintos colorantes, utilizando un LED blanco como fuente de iluminación y un sensor AS7265X para la adquisición de datos espectrales.

Se verificó que los resultados obtenidos son coherentes con la teoría del comportamiento espectral de cada color, ya que las bandas que mostraron mayor transmitancia en cada caso corresponden a las longitudes de onda características de cada colorante (por ejemplo, 460 nm para azul, 510 nm para verde, 560 nm para amarillo y 650 nm para rojo). Esto indica que el sensor responde de manera adecuada al espectro visible y puede ser útil para análisis ópticos de soluciones. Además, se comprobó que la cantidad de colorante utilizada tiene un efecto directo sobre la transmitancia: a mayor volumen de colorante, menor paso de luz, como era de esperarse por el aumento en la absorbancia del medio.

Bibliografía/Referencias

- AMS AG. (2017). AS7265x multi-spectral sensing engine: Technical datasheet (Revision 1.3). <https://ams-osram.com/products/sensor-solutions/ambient-light-color-spectral-proximity-sensors/ams-as7265x-smart-spectral-sensor>
- Díaz, N. A., Ruiz, J. A. B., Reyes, E. F., Cejudo, A. G., Novo, J. J., Peinado, J. P., ... & Fiñana, I. T. (2010). Espectrofotometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Universidad de Córdoba, 1-8.
- Ducanhez, A., Moinard, S., Brunel, G., Bendoula, R., Héran, D., & Tisseyre, B. (2021, October). The AS7265x Chipset as an Alternative Low-Cost Multispectral Sensor for Agriculture Applications Based on NDVI. In The International Conference on NIR (pp. 201-206). Singapore: Springer Nature Singapore.
- García, R. D. (2018). Instrumentos que revolucionaron la química: la historia del espectrofotómetro.

- Internet 1 Espectrofotómetro. (2019, junio 8). Materiales de Laboratorio.
<https://materialeslaboratorio.com/espectrofotometro/>
- Internet 2 Chocron, J. (2023, junio 15). Explorando las Aplicaciones del Espectrofotómetro. MaterialdeLaboratorios. <https://materialdelaboratorios.com/espectrofotometro/>
- Internet 3 General Description. (s/f). Smart 18-channel VIS to NIR spectral_ID 3-sensor chipset with electronic shutter. Sparkfun.com. Recuperado el 17 de junio de 2025, de https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/8/3/0/AS7265x_Datasheet.pdf
- Marczenko, Z., & Balcerzak, M. (2000). Principles of spectrophotometry. In Analytical Spectroscopy Library (Vol. 10, pp. 26-38). Elsevier.
- Pecsok, R. L., & Shields, L. D. (1983). Métodos modernos de análisis químicos. México: Limusa.
- Septimo Ramos, J. N., & Ramirez Seperak, B. L. (2024). Desarrollo de un glucómetro wearable no invasivo, utilizando espectrometría infrarroja cercana para el automonitoreo de pacientes diabéticos.
- Shaikh, K., Waqas, A., Baloch, U. A. K., Muneer, B., & Memon, A. (2022, December). Cost-Effective Portable Photonic Sensor for Liquid Adulteration Detection. In 2022 IEEE 19th International Conference on Smart Communities: Improving Quality of Life Using ICT, IoT and AI (HONET) (pp. 063-068). IEEE.