

Construcción de Montaje Óptico para Medición de Absorbancia de Distintos Materiales

Paula Andrea Pardo Ramos* and Manuel Fernando Sánchez Alarcón†

Universidad de los Andes, Departamento de Física

(Dated: May 16, 2019)

Se construyó un montaje óptico con el fin de medir las absorbancias de materiales tales como vinipel, , bolsa plástica, acetato, acrílico y cubreobjetos para microscopio. Se llegó a que las curvas de intensidad y de absorción de cada material dependen tanto de la longitud de onda de los fotones incidentes como de la distancia entre fuente y muestra en el montaje. Por último se encontró experimentalmente el *absortion edge* del acrílico, mostrando que este resultado concuerda con lo que se ha medido previamente por otros grupos de investigación.

I. INTRODUCCIÓN

Dentro de la física experimental, específicamente en la física de altas energías y la óptica, un tema de estudio muy activo es la caracterización de la interacción de la radiación electromagnética con la materia. Teóricamente esta interacción se puede describir a través de la sección eficaz, que cambia dependiendo de la energía de los fotones que inciden en un material dando lugar a procesos de interacción como el efecto fotoeléctrico, efecto Compton y producción de pares. Experimentalmente, a través de la propiedad óptica conocida como absorbancia, es posible caracterizar los efectos que la radiación puede tener sobre ciertos materiales. Midiendo la intensidad de la luz antes y después de que esta penetre el objeto en cuestión, se pueden entender propiedades del material tales como su composición, la frecuencia de vibración de sus moléculas, entre otras.

El estudio de la absorbancia se hace importante en distintas aplicaciones tales como el monitoreo de procesos farmacéuticos o textiles, la caracterización de fluoróforos en análisis químico, análisis de la calidad del aire en las ciudades, entre otros [1]. Estas aplicaciones requieren de la construcción de un montaje óptico idóneo para medir la absorbancia de los materiales de interés. Sin embargo, no existe un montaje óptico estándar que pueda responder a todas las necesidades que cada una de estas aplicaciones requieren. Con este proyecto se pretende construir un montaje óptico que permita la medición de la absorbancia de distintos materiales en el rango de longitudes de onda asociadas a la luz visible. Para medir qué tan eficiente es este montaje, se pondrá a prueba haciendo uso de los equipos necesarios, brindados por el laboratorio de Óptica Cuántica de la Universidad de los Andes, haciendo las calibraciones y medidas necesarias.

II. MARCO TEÓRICO/ESTADO DEL ARTE

La ley de Beer-Lambert, entendida como una relación empírica que asocia la absorción de luz de un material con sus propiedades, ha sido aprovechada de muchas formas en muchos campos de la ciencia [1]. Uno de estos campos en los que este principio de absorción de la luz es aprovechado es en la óptica, con el fin de determinar las composiciones y propiedades de distintos materiales [2] [3]. La Ley de Beer-Lambert está dada por la Ecuación (1),

$$A = -\ln\left(\frac{I}{I_0}\right), \quad (1)$$

donde I_0 es la intensidad de la luz que entra en el material, I la intensidad de la luz que sale del material y A es la absorbancia.

Muchos estudios se han hecho acerca de este tema y desde distintas ramas de la física. Desde la física de altas energías aplicada a la medicina, por ejemplo, el principio de atenuación de la luz por un material se usa con el fin de observar el estado de órganos internos en el cuerpo a través de la técnica de *X-ray imaging* [4][5], es decir, haciendo uso de rayos X con el fin de obtener imágenes de los tejidos biológicos de interés. Sin embargo, la aplicación de interés para este proyecto es el estudio de las propiedades de atenuación de la luz en el rango visible para distintos materiales transparentes a través de la medición de sus respectivas absorbancias.

La teoría acerca de la medición de la absorbancia de distintos materiales ya ha sido probada en varias ocasiones en el área de la física médica con el fin de caracterizar la absorción de luz de tejidos humanos tales como tejido muscular, muestras oseas, materia gris, entre otros [3] Sin embargo, el experimento que se llevará a cabo en este proyecto tiene como objetivo caracterizar la absorbancia de materiales inorgánicos de uso cotidiano tales como acetato, vinipel, bolsas plásticas, vidrio acrílico y cubreobjetos para microscopio.

* pa.pardo10@uniandes.edu.co

† mf.sanchez17@uniandes.edu.co

III. MARCO EXPERIMENTAL

A. Metodología

Con el fin de construir un montaje óptico óptimo para hacer las mediciones de la absorbancia de los materiales que se usarán en este proyecto, primero se caracterizará la fuente de luz blanca que se usará en el montaje para tratar de entender propiedades tales como las longitudes de onda a las que emite y la intensidad con la que la luz sale de la fuente. Las mediciones de intensidades y longitudes de onda se harán con un espectrómetro de la empresa *Ocean Optics* de la serie USB [6].

Luego de tomar estas medidas, se diseñará y construirá el montaje experimental adecuado para poder integrar tanto la fuente de luz como el espectrómetro, teniendo en cuenta que entre estos dos debe haber un espacio suficiente para poder sujetar el material al cual se le quiere medir la absorbancia. Como un control para probar el montaje construido y con el fin de calibrar los instrumentos, se tomarán medidas de la intensidad de la luz sin ninguna muestra en medio para poder obtener los valores de I_0 de la Ecuación 1 necesarios para encontrar la absorbancia de los materiales usados a ocho distintas distancias entre fuente y material, con el fin de obtener una muestra estadística lo suficientemente amplia para llegar a una conclusión sólida. El detector en este caso es el puerto a través del cual incide la luz al espectrómetro.

Una vez calibrados los instrumentos y habiendo puesto a prueba el montaje a través del control propuesto, se desarrollará el experimento tal como se hizo con el control, salvo que esta vez se pondrán en medio de la fuente y el detector las muestras de los materiales usados. Midiendo con el espectrómetro las longitudes de onda e intensidades del haz de luz que atraviesa el material, se medirá la absorbancia con la Ecuación (1). Este experimento supone complicaciones a la hora de adaptar materiales de distintas consistencias al montaje. No obstante, para solucionar este problema se hizo uso de una pieza diseñada exclusivamente para esta aplicación por el equipo de trabajo de este proyecto y construida en el taller de mecánica de la Universidad de los Andes.

B. Montaje Experimental

Para poder medir la absorbancia de un material en el rango visible del espectro electromagnético, se escogió hacer un montaje sobre una mesa óptica con elementos tales como una fuente de luz blanca, un puerto para fibra óptica que al mismo tiempo pueda colimar el haz de luz proveniente de la fuente, una plataforma móvil que permita mover la muestra sobre el eje determinado por la dirección de propagación de la luz y otro puerto para fibra óptica que permita recibir la luz que ya ha atravesado la muestra y que la envíe al espectrómetro de la empresa

Ocean Optics para que sea interpretada por el software *Ocean View*. El montaje experimental se muestra en la Figura 1.

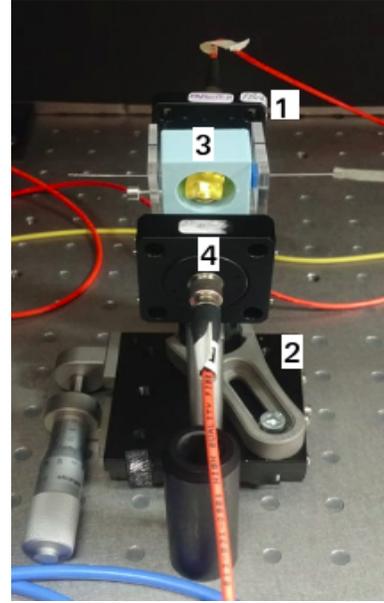


FIG. 1. Montaje experimental.

En la Figura 1, el elemento marcado con el número 1 es el puerto para fibra óptica de la compañía THORLABS de referencia PAF-X-11-PC-B, el número 2 corresponde a la plataforma móvil, el número 3 es la pieza que se mandó a construir en el taller de mecánica de la Universidad para sostener las muestras de prueba y el número 4 es un puerto para fibra óptica que funciona como receptor de la luz que sale de la muestra, ubicada en el elemento número 3.

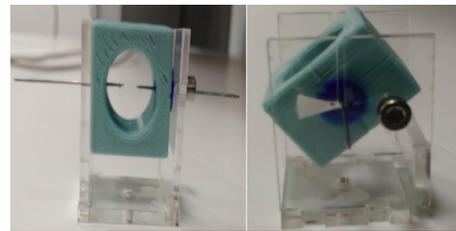


FIG. 2. Detalle de pieza para sostener muestra.

La fuente de luz blanca que se acopla al elemento número 1 es de la empresa Bentham de referencia WLS100, que emite en un rango de longitudes de onda de 300 nm a 2500 nm . La pieza número 3 en la Figura 1 fue diseñada con el objetivo de que las distintas muestras puedan ser sostenidas a través de dos alfileres, que funcionan como ejes de rotación del bloque azul en cuyo centro se pone la muestra. También las muestras pueden ser sostenidas en las paredes del bloque azul en caso de que estas tengan forma de lámina, como ocurre con las mues-

tras usadas para este proyecto. Este bloque azul es unido a una pieza acrílica transparente que permite que todo el conjunto pueda ser sostenido por la plataforma móvil. Este conjunto de piezas, identificadas con el número 3 en la Figura 1, se muestran a detalle en la Figura 2. Una vez el montaje óptico en la Figura 1 ha sido elaborado, se comienzan las primeras pruebas. Las láminas de material usadas tienen un tamaño de $2 \times 2 \text{ cm}$, que es el área de las caras del bloque azul, y un grosor específico que se muestra en la Tabla I.

TABLE I. Materiales usados para medición de absorbancia y sus respectivos grosores.

Material	Grosor(mm)
Cubreobjetos	0,15
Vinipel	0,025
Bolsa	0,9
Acetato 1	0,13
Acetato 2	0,2
Acrilico	0,5

IV. RESULTADOS

Para ocho distintas distancias entre fuente y muestra se tomaron los datos correspondientes al control del experimento que pretende calibrar el montaje experimental, observando la dependencia que hay entre el término I_0 de la ley de Beer-Lambert y estas ocho distancias. Las ocho distancias escogidas a las que se tomaron los datos fueron de $3,27 \text{ cm}$, $3,49 \text{ cm}$, $3,71 \text{ cm}$, $3,93 \text{ cm}$, $4,15 \text{ cm}$, $4,37 \text{ cm}$, $4,59 \text{ cm}$ y $4,81 \text{ cm}$. Dado que la fuente de luz blanca es policromática, el término I_0 también depende de las distintas longitudes de onda de los fotones que componen el haz. Para una distancia entre fuente y detector de $3,27 \text{ cm}$, la curva de I_0 contra longitud de onda se muestra en la Figura 3. Para las siete dis-

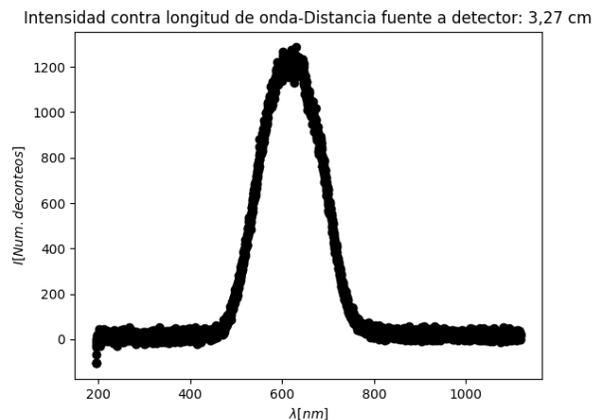


FIG. 3. Intensidad contra longitud de onda sin muestra en medio entre fuente y detector.

tancias restantes se obtuvieron curvas similares a la de la Figura 3. Sin embargo, para estudiar cómo cambia I_0 en función de la distancia entre fuente y muestra, se tomaron los máximos de cada curva y estos se ajustaron a un polinomio de grado 5, que demostró ser la función cuyo ajuste resultaba más cercano a los puntos experimentales obtenidos, con un coeficiente de ajuste de $R^2 = 0,998$ como se muestra en 4. La curva de los máximos de I_0 en función de la distancia entre fuente y detector se muestra también en la Figura 4, donde $Pol_5(A, B, C, D, E, F) = Ar^5 + Br^4 + Cr^3 + Dr^2 + Er + F$, con r la distancia entre fuente y muestra.

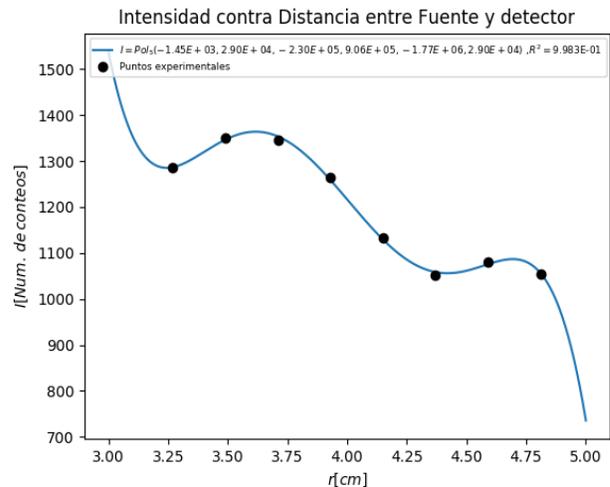


FIG. 4. Intensidad contra distancia entre fuente y muestra, r , en ausencia de muestra entre fuente y detector.

Se observa que, en general, la intensidad de la luz decrece a medida que r aumenta, salvo pequeñas fluctuaciones representadas por los máximos locales de la curva azul en la Figura 4. A partir de esta curva de calibración es posible encontrar la intensidad que incide en cada material para cualquier valor de r , por lo que para las medidas del término I de la ley de Beer-Lambert solo es necesario tomar datos para una distancia específica entre fuente y muestra para poder predecir cómo serán las curvas de intensidad para cualquier distancia.

Luego de esta medición, se obtuvieron las respectivas curvas de intensidad para cada material. Sujutando las láminas de los materiales descritos en la Tabla I al bloque azul en el montaje experimental, se lograron obtener las curvas que me muestran en la Figura 5 para una distancia entre fuente y muestra de $3,27 \text{ cm}$. Se obtuvieron también las curvas de intensidad contra longitud de onda para distancias entre fuente y muestra de $3,49 \text{ cm}$, $3,71 \text{ cm}$, $3,93 \text{ cm}$, $4,15 \text{ cm}$, $4,37 \text{ cm}$, $4,59 \text{ cm}$ y $4,81 \text{ cm}$. Se observa que, si bien la forma de la curva de intensidad contra longitud de onda se conserva, las intensidades para cada material disminuyeron respecto a los valores mostrados en la Figura 4.

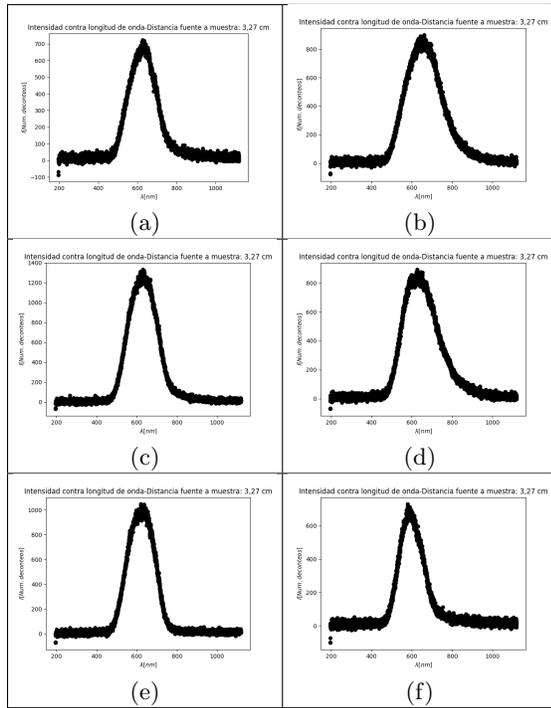


FIG. 5. Curvas de intensidad en número de fotones detectados contra longitud de onda en nanómetros para (a) Acetato 1, (b) Acetato 2, (c) Vinipel, (d) Bolsa, (e) Cubreobjetos y (f) Acrílico para una distancia entre fuente y muestra de 3,27 cm

Esto es lo que se espera teóricamente dado que una vez incide luz sobre un material, este absorberá una cantidad determinada de radiación electromagnética, de forma que la intensidad detectada será menor que la medida en el control y calibración del experimento para el término I_0 de la ley de Beer-Lambert. Con estas curvas y la Ecuación 1, es posible encontrar para cada longitud de onda y cada distancia entre detector y muestra la absorbancia de cada material. Para una distancia de 3,27 cm entre fuente y muestra, las absorbancias encontradas se muestran en la Figura 6.

A partir de las Figuras 6(a) y 6(b), se puede observar que la absorbancia depende del grosor del material. Esto se deduce ya que las Figuras 6(a) y 6(b) son las curvas de absorbancia del acetato pero para distintos grosores. También, observando cada una de las curvas obtenidas en la Figura 6, se deduce que es posible diferenciar un material de otro gracias a la medición de sus respectivas absorbancias.

Otro resultado interesante que se puede ver a partir de la Figura 6 es el que se muestra en la imagen 6(f), donde se observa una discontinuidad en la curva de absorbancia alrededor de los 700 nm. Esta discontinuidad es conocida como un *absortion edge* y muestra información implícita acerca de dónde la energía de un fotón absorbido por el material corresponde con una de sus energías de transición o con su potencial de ionización. Este *absortion*

edge ya había sido presentado en la literatura [7], sin embargo, se encontró que con el montaje experimental asociado a este experimento también se puede obtener.

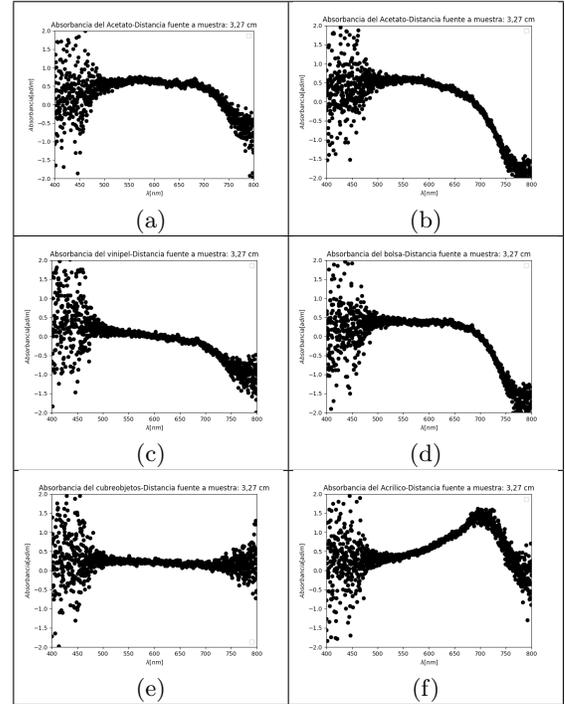


FIG. 6. Curvas de absorbancia contra longitud de onda en nanómetros en el rango visible del espectro electromagnético para (a) Acetato 1, (b) Acetato 2, (c) Vinipel, (d) Bolsa, (e) Cubreobjetos y (f) Acrílico para una distancia entre fuente y muestra de 3,27 cm

Además de las absorbancias medidas para una distancia entre fuente y muestra de 3,27 cm, se encontraron también las absorbancias para las otras siete distancias mencionadas previamente. A una distancia entre fuente y muestra de 4,81 cm se obtuvieron las curvas de absorbancia mostradas en la Figura 7. En estas curvas se observa que, en el rango del espectro electromagnético que corresponde a la luz visible, es decir entre 400 nm y 800 nm, la absorbancia tiende a ser constante. Esto obedece a la dependencia que tienen las curvas de intensidad de cada material, como las mostradas en la Figura 5, con la distancia entre fuente y muestra. Para cada material analizado, este valor constante de absorbancia es en promedio de 0,5.

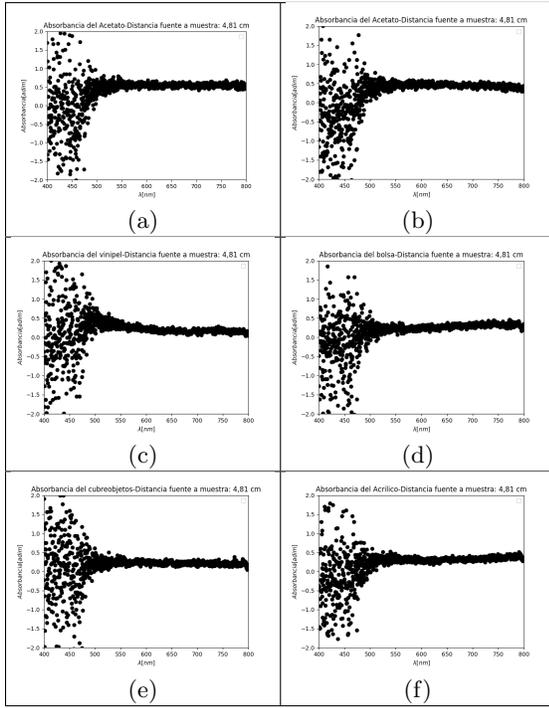


FIG. 7. Curvas de absorbancia contra longitud de onda en nanómetros en el rango visible del espectro electromagnético para (a) Acetato 1, (b) Acetato 2, (c) Vinipel, (d) Bolsa, (e) Cubreobjetos y (f) Acrílico para una distancia entre fuente y muestra de $4,81\text{ cm}$

V. ANÁLISIS

Como ya se discutió con anterioridad, se observa que las curvas de intensidad obtenidas para cada material, además de depender de la longitud de onda de los fotones incidentes, también depende de la distancia entre fuente y muestra, como se observa en las Figuras 3 e 5. Esta dependencia de la distancia entre fuente y muestra hace que las curvas de absorción mostradas en las Figuras 6, 7 y 8 también dependan de este parámetro del montaje experimental. De las absorbancias medidas y mostradas en estas Figuras, se puede observar, como se discutió en la sección de resultados, que los distintos materiales se pueden identificar a través de su absorbancia, dado que sus curvas características difieren de un material a otro. Esto a futuro podría ayudar a la industria en la caracterización y diferenciación de materiales desconocidos a través de sus curvas de absorción.

También, como último resultado, se obtuvo el *absortion edge* del acrílico que, como se dijo en la sección de resultados, ya había sido encontrado anteriormente y registrado en la literatura [7]. Sin embargo, con los datos obtenidos en el laboratorio de Óptica Cuántica, se pudo encontrar que la posición de este *absortion edge* cambia a medida que la distancia entre fuente y muestra

aumenta. Como se observa en la Figura 8, esta discontinuidad presenta un corrimiento a la derecha a medida que se aumenta la distancia entre fuente y muestra debido a la dependencia entre la curva de intensidad del acrílico respecto a esta variable.

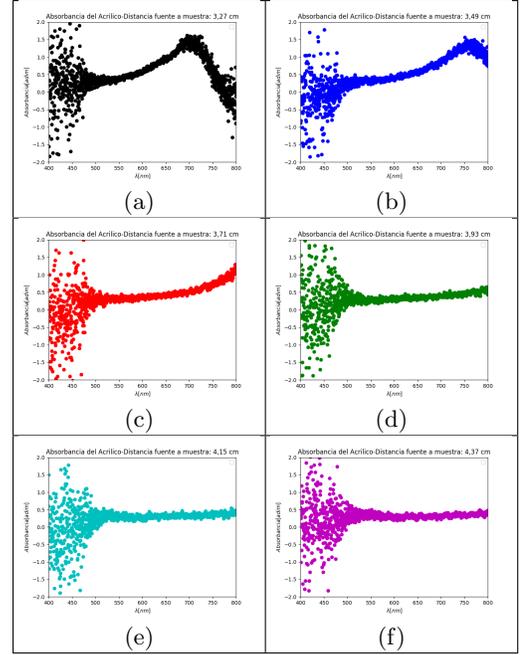


FIG. 8. Curvas de absorbancia contra longitud de onda en nanómetros en el rango visible del espectro electromagnético para el acrílico para distancias entre fuente y muestra de (a) $3,27\text{ cm}$, (b) $3,49\text{ cm}$, (c) $3,71\text{ cm}$, (d) $3,93\text{ cm}$, (e) $4,15\text{ cm}$ y (f) $4,37\text{ cm}$

VI. CONCLUSIONES

A partir del montaje experimental sugerido para este proyecto fue posible medir las curvas de intensidad y de absorbancia de cada material, observando una dependencia de estas respecto a la distancia entre fuente y muestra analizada. También, a partir de las medidas tomadas con este montaje en el Laboratorio de Óptica Cuántica, se pudo encontrar el *absortion edge* del acrílico, concordando esto con lo observado por otro grupo de investigación [7]. Dadas las coincidencias obtenidas entre los resultados presentados y lo encontrado en la literatura, se deduce que este montaje experimental es óptimo para la medición de absorbancias de distintos materiales.

ACKNOWLEDGMENTS

Agradecemos al equipo del Laboratorio de Óptica Cuántica, en especial a Johnny Tenorio y a las profesoras Alejandra Valencia y Mayerlin Nuñez por su valiosa ayuda y sus consejos para realizar este proyecto de la mejor forma posible.

-
- [1] A. Pisano, Light, air pollution, and pulse oximetry: The beer-lambert law, *Physics for Anesthesiologists*, 117–127 (2017).
- [2] O. İçelli, Z. Yalçın, V. Karakaya, and I. P. Ilgaz, The spectral applications of beer-lambert law for some biological and dosimetric materials 10.1063/1.4893831 (2014).
- [3] M. Bhatt, K. R. Ayyalasomayajula, and P. K. Yalavarthy, Generalized beer–lambert model for near-infrared light propagation in thick biological tissues, *Journal of Biomedical Optics* **21**, 076012 (2016).
- [4] S. Procz, J. Lubke, A. Zwerger, M. Mix, and M. Fiederle, Optimization of medipix-2 threshold masks for spectroscopic x-ray imaging, *IEEE Transactions on Nuclear Science* **56**, 1795–1799 (2009).
- [5] S. Procz, J. Lubke, A. Zwerger, A. Fauler, M. Pichotka, M. Mix, and M. Fiederle, Energy selective x-ray imaging with medipix, *IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference* 10.1109/nssmic.2010.5874533 (2010).
- [6] Usb series spectrometers, <https://oceanoptics.com/product-category/usb-series/>.
- [7] V. Chabukswar and G. Sable, Chemical oxidative synthesis and characterization of organica acid doped soluble conducting poly(o-anisidine), (2009).