

Nanopartículas de carbón derivadas de flor de jamaica, para láseres pulsados de fibra óptica.

Carbon nanoparticles derived from roselle flower for pulsed fiber lasers.

Romeo Emmanuel Nuñez Gomez* (1).
Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Zacatepec.
romeo.ng@zacatepec.tecnm.mx.

Alfredo Olarte Paredes (2). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Zacatepec,
alfredo.op@zacatepec.tecnm.mx.

Gilberto Anzueto Sánchez. (3) Centro de Investigaciones en Óptica, gilberto.anzueto@cio.mx.

Areli Marlen Salgado Delgado (4). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Zacatepec,
areli.sd@zacatepec.tecnm.mx.

René Salgado Delgado (5). Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Zacatepec,
rene.sd@zacatepec.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en agosto 02, 2024; aceptado en septiembre 20, 2024.

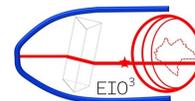
Resumen.

En este trabajo, se presentan los resultados de la obtención de nanopartículas de carbón a través de un proceso de síntesis verde de flor de jamaica deshidratada, en condiciones de temperatura controlada y su aplicación directa en la generación de láseres pulsados de fibra óptica. Las nanopartículas de carbón obtenidas fueron caracterizadas y posteriormente depositadas en la punta de un empalme mecánico tipo FC e integradas a la cavidad de un láser de fibra óptica dopado con erbio en configuración de anillo. Al aumentar gradualmente la potencia de bombeo en la cavidad, se obtiene un régimen de emisión pulsado de tipo Q-switch, que opera con tasas de repetición de pulsos ópticos, que van desde 12.25 kHz hasta 27.33 kHz. La longitud de emisión láser se establece en 1562.244 nm, con una relación señal-ruido óptica por arriba de 50 dB. Datos característicos del régimen pulsado como la duración de los pulsos, la potencia de emisión y su energía son presentados y analizados. Estos resultados proporcionan un análisis del desempeño del láser bajo diferentes condiciones de bombeo, destacando el potencial de las nanopartículas de carbón obtenidas a través de síntesis verde y su capacidad para generar pulsos en láseres de fibra óptica.

Palabras claves: Láseres de fibra óptica, láseres pulsados, nanopartículas de carbón.

Abstract.

This work presents the results of obtaining carbon nanoparticles through a green synthesis process using dehydrated hibiscus flowers under controlled temperature conditions, and their direct application in the generation of pulsed fiber optic lasers. The obtained carbon nanoparticles were characterized and subsequently deposited on the tip of an FC-type mechanical splice, then integrated into the cavity of an erbium-doped fiber laser in a ring configuration. As the



pump power in the cavity was gradually increased, a Q-switching pulsed emission regime was achieved, operating with optical pulse repetition rates ranging from 12.25 kHz to 27.33 kHz. The laser emission wavelength was set at 1562.244 nm, with an optical signal-to-noise ratio exceeding 50 dB. Key data from the pulsed regime, such as pulse duration, emission power, and energy, are presented and analyzed. These results provide an analysis of the laser's performance under different pumping conditions, highlighting the potential of the carbon nanoparticles obtained through green synthesis and their ability to generate pulses in fiber optic lasers.

Keywords: Carbon nanoparticles, fiber optic lasers, pulsed lasers

1. Introducción.

Las nanopartículas de carbón son una clase de nanomateriales, que han ganado una atención significativa en los últimos años debido a sus propiedades ópticas únicas, especialmente su luminiscencia, biocompatibilidad y facilidad de síntesis (Oliveira & Alves, 2022). Estas estructuras con diámetros generalmente menores a 10 nanómetros, compuestas predominantemente de carbono y, en algunos casos, otros elementos no metálicos. La investigación sobre las nanopartículas de carbono ha experimentado un crecimiento continuo desde su descubrimiento, las nanopartículas de carbono también poseen propiedades electrónicas derivadas de un fenómeno conocido como confinamiento cuántico (Lim et al., 2015). Esto les confiere un estatus intermedio entre los semiconductores convencionales y las moléculas discretas.

Están compuestos exclusivamente de carbono, lo que les permite ser sintetizados a partir de una amplia gama de materiales orgánicos. Su baja toxicidad, solubilidad en agua y biocompatibilidad son características destacadas. A diferencia de las nanopartículas de carbono inorgánicas, que pueden presentar ciertos riesgos tóxicos, estas nanopartículas de carbono son seguras y, al estar formadas por carbono, poseen propiedades estructurales y electrónicas únicas que las diferencian de otras nanopartículas (Surana & Bhattacharya, 2023). Son candidatos ideales para aplicaciones biomédicas y monitoreo ambiental en sistemas láser avanzados. Estudios recientes han demostrado la efectividad de sensores ópticos y biosensores, mostrando su potencial en diversos campos (Cai et al., 2022; Yu et al., 2019; Zhang et al., 2022).

Incorporarlas en láseres han demostrado ser un nanomaterial prometedor, actuando como absorbedor saturable en la producción de láseres con emisión pulsada. En este sentido, se han desarrollado láseres pulsados de vanadato de gadolinio, el cual emplea nanopartículas (puntos cuánticos de carbón) de alta calidad para producir trenes de pulsos de hasta 1.13 MHz (Liu et al., 2017). En el caso de láseres de fibra óptica, se han obtenido nanopartículas de carbón a raíz de la carbonización de la mecha de velas convencionales. En este caso, se obtuvo un régimen pulsado Q-switch con una tasa de repetición máxima de 73.3 kHz. (Sohail et al., 2023)

Este estudio tiene como objetivo explorar el potencial de las nanopartículas de carbón sintetizadas a partir de la hoja seca de flor de jamaica y su implementación como absorbedor saturable en el contexto de láseres pulsados de fibra dopados con erbio. Las nanopartículas se obtuvieron siguiendo la metodología del reciente trabajo de Rojas-Valencia (Rojas-Valencia et al., 2021). Al investigar su impacto en la dinámica y el rendimiento del láser, contribuimos a la comprensión de cómo los nanomateriales basados en carbono pueden mejorar la funcionalidad de los dispositivos fotónicos, promoviendo el camino para futuras innovaciones en la tecnología láser.

2. Métodos.

El proceso de obtención de las nanopartículas de carbón se basa a partir de síntesis verde, derivado del proceso de carbonización de hojas secas de flor de Jamaica. La flor de Jamaica empleada en este trabajo se adquirió en comercios locales, como muestra la **Fig. 1a**. El proceso de síntesis se describe de la siguiente forma: se pesaron 10 gramos de flor seca, las cuales fueron colocadas dentro de un crisol y llevadas al interior de una mufla. La temperatura de la mufla se fijó a 200 °C, a presión ambiental. Para este caso, se realizaron 4 muestras distintas, cambiando la variable del tiempo de exposición, que va de 1,2,3 y 4 horas, con el objetivo de analizar su impacto en la funcionalización y propiedades

de las nanopartículas. Posteriormente, una vez que la muestra carbonizada se ha enfriado a temperatura ambiente (ver **Fig. 1b**), se coloca dentro de un mortero con el objetivo de macerar y reducir su tamaño hasta obtener un polvo muy fino, tal como se observa en la **Fig. 1c**. Se toman y pesan aproximadamente 0.1 gr del polvo y se disuelven en 10 mL de agua destilada, agitando la vigorosamente hasta obtener una mezcla homogénea. Posteriormente, la mezcla se deposita en tubos falcon y se llevan la centrifugadora a una velocidad de rotación de 4500 rpm y una temperatura de 23 °C durante 30 minutos. Finalmente, previo a su almacenamiento, a la mezcla se le aplica un proceso de depuración con filtros que tienen un tamaño de poro de 0.22 μm (**Fig. 1d**). Este proceso se realiza para filtrar las nano partículas y eliminar aglomerados, impurezas o fragmentos derivados del proceso de síntesis que pudieran presentar tamaños mayores.



Figura 1. a) flor de jamaica seca, obtenida en comercio local, b) proceso de carbonización, c) maceración y obtención de polvo fino de carbón, d) filtrado de las nanopartículas de carbón.

Una de las características principales de las nanopartículas de carbón, es la emisión de fluorescencia en el visible cuando estas son excitadas con luz en el rango del ultravioleta (UV). En este experimento, una vez que las muestras fueron filtradas y almacenadas, se les irradiaó con una fuente de luz UV para observar y confirmar si las partículas obtenidas presentan esta característica visible, lo que asegura la formación de las nanopartículas y su proceso de funcionalización. En la **Fig. 2**, se observan las 4 muestras obtenidas bajo luz UV, emitiendo fluorescencia particularmente en el color verde, lo que confirma la premisa previa.



Figura 2. a) nanopartículas de carbón bajo luz UV emiten fluorescencia en el color verde.

Las muestras obtenidas fueron caracterizadas mediante espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (Fourier transform infrared spectroscopy, FTIR), utilizando un espectrómetro Pekin Elmer Spectrum Two. El análisis se realizó en un rango espectral de 4000 a 580 cm^{-1} , lo que permitió evaluar de manera precisa las interacciones moleculares y la estructura química de los materiales. El objetivo principal de este estudio fue caracterizar el proceso de funcionalización en función de la temperatura de exposición, lo que facilita la identificación de los grupos funcionales presentes en las muestras.

Las muestras analizadas fueron extraídas de los polvos finos generados tras el proceso de carbonización, lo que proporciona información valiosa sobre los cambios estructurales y químicos inducidos durante este proceso. Este análisis es crucial para comprender cómo la temperatura de exposición influye en la modificación de las propiedades químicas y funcionales de los materiales. La **Fig. 3** muestra los resultados obtenidos de la prueba FTIR.

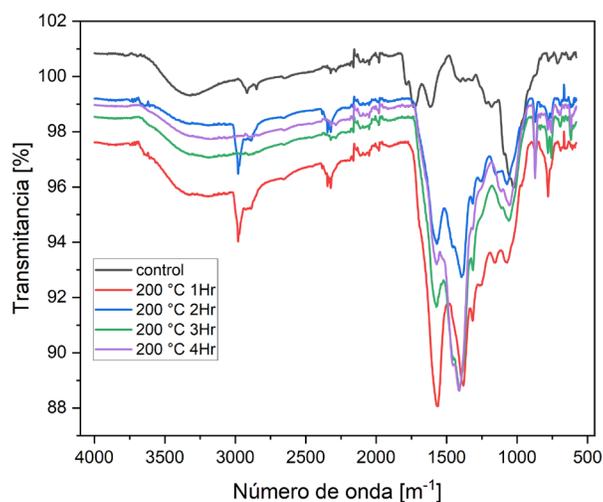


Figura 3. FTIR de las nanopartículas de carbón, bajo condiciones de temperatura a 200 ° C y exposiciones de 1 a 4 hrs.

La presencia de varios grupos funcionales clave se muestra por el análisis del espectro FTIR de las nanopartículas de carbón. La banda a 3367 cm^{-1} indica el estiramiento del grupo -OH, lo que indica que hay hidroxilos en la superficie, que son esenciales para la estabilidad de las soluciones acuosas. Las señales a 2982 cm^{-1} y 1422 cm^{-1} están relacionadas con las vibraciones de enlaces C-H, lo que indica que durante la carbonización hay restos de compuestos alifáticos no completamente descompuestos. La señal de 2348 cm^{-1} se asocia con CO_2 , que puede haber sido adsorbido o generado

durante el proceso de síntesis. Además, la señal a 1579 cm^{-1} indica la presencia de estructuras aromáticas, que son cruciales para las propiedades electrónicas y ópticas de las nanopartículas de carbón. Las señales a 1064 cm^{-1} indican grupos C-O o C-O-C relacionados con éteres o alcoholes, que contribuyen a la funcionalización superficial. Finalmente, las bandas a 874 cm^{-1} y 776 cm^{-1} confirman la existencia de anillos aromáticos, fundamentales para la estabilidad estructural y las propiedades ópticas.

La **Fig. 4** muestra el esquema de fabricación del dispositivo óptico basado en nanopartículas de carbón. Se utilizó fibra óptica monomodo (single mode fiber, SMF-28) acoplada a un empalme mecánico tipo FC, lo cual permite una conexión con la cavidad láser. Las nanopartículas, sintetizadas a 300 °C durante 3 horas, fueron extraídas mediante una micropipeta para ser depositadas en la punta del empalme en un proceso de goteo controlado. Este método de deposición permite obtener una capa homogénea de nanopartículas. Se realizaron múltiples ciclos de goteo, seguidos de un secado parcial entre cada aplicación, asegurando así la formación de un recubrimiento uniforme que maximiza la interacción entre la luz y las nanopartículas.

El dispositivo fue integrado dentro de la cavidad láser de fibra óptica, donde su principal función es explotar las propiedades de absorción saturable de las nanopartículas de carbón. Este dispositivo, una vez integrado en la cavidad láser, permite que la luz generada en su interior interactúe repetidamente con las nanopartículas depositadas.



Figura 4. Punta de empalme mecánico, preparada con el depósito de nanopartículas de carbón mediante goteo.

3. Desarrollo.

3.1 Implementación de la cavidad láser.

Para la generación de emisión pulsada, se propuso una cavidad láser de fibra óptica dopada con erbio en configuración de anillo, como se muestra en la **Fig. 5**. Está formada por un diodo láser de bombeo, con emisión a 980 nm , el cual es la fuente de excitación de la fibra dopada con erbio y se conecta a la cavidad a través de un multiplexor por división de longitud de onda (wavelength division multiplexer, WDM) de 2 canales a 980 nm y 1550 nm . La salida se empalma a la fibra activa que tiene una longitud aproximada de 2 m . Las nanopartículas de carbón depositadas en el empalme mecánico, funcionan como el elemento de absorción saturable y son colocadas a la salida de la fibra dopada con erbio. Un acoplador de salida 70/30, se conecta a la cavidad para extraer y analizar el 30% de la señal que va directamente al monitoreo simultáneo de la emisión espectral con un analizador óptico espectral OSA y los pulsos ópticos a través de un fotodetector de alta velocidad, analizados en un osciloscopio. El 70% de la señal restante pasa a través de un aislador para retroalimentar la cavidad y amplificar la señal láser. Un aislador es colocado entre la salida del acoplador y la entrada del puerto de 1550 nm del WDM, para asegurar la operación en una sola dirección de la señal láser. Finalmente, la cavidad en anillo se cierra colocando un controlador de polarización, esto para manipular los estados de polarización de la señal dentro de la cavidad.

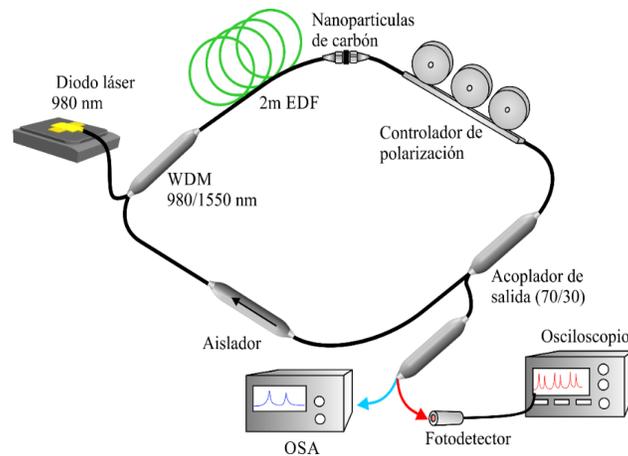
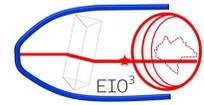


Figura 5. Esquema experimental de la cavidad del láser de fibra óptica dopada con erbio, para la monitorización espectral y temporal.

En un láser de fibra óptica pasivo tipo Q-switch, la modulación de los pulsos se lleva a cabo mediante la variación gradual de la potencia de bombeo. Este proceso provoca un incremento progresivo en la tasa de repetición de los trenes de pulsos ópticos, así como una disminución gradual de la duración de los mismos. Este comportamiento es el resultado de la saturación del material o dispositivo de absorción, que regula la acumulación de energía en la cavidad del láser. A medida que se alcanza un umbral crítico de saturación, se permite la emisión de pulsos más cortos y más frecuentes.

El umbral de emisión láser se monitorea a un valor de 38 mW de potencia. En la **Fig. 6** se puede observar que la emisión láser se establece a una longitud de onda de 1567.244 nm, para un valor de 43.8 mW de potencia óptica de bombeo. La señal láser presenta una relación señal a ruido de 50.16 dB. De la **Fig. 5**, es posible observar que la señal presenta la oscilación de modos adyacentes, los cuales se amplifican debido a que se tiene una cavidad de funcionamiento libre, la cual no contiene filtros para mantener la señal con una finesa espectral. Para estas condiciones de bombeo, el régimen pulsado aun no es observable.

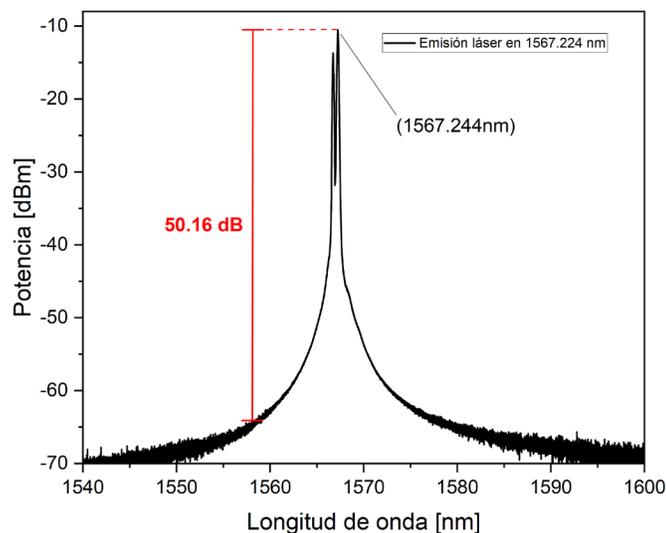


Figura 6. Emisión láser establecida en 1567.244 nm, con una relación señal a ruido de 50.16 dB.

3.2 Resultados del láser pulsado.

Incrementando gradualmente la potencia de bombeo a 52.2 mW, el régimen continuo desaparece y el régimen pulsado supera su umbral, es entonces cuando los trenes de pulsos ópticos son observables por medio del osciloscopio. A medida que la intensidad del campo óptico aumenta, la capacidad de absorción de las nanopartículas disminuye, permitiendo que se transmita una mayor cantidad de luz a través del medio. Este mecanismo habilita la formación de trenes de pulsos ópticos. En la **Fig. 7a** se muestran los trenes de pulsos que presentan una frecuencia de 12.26 kHz. Para los bombeos de 67.81 mW, 91.66 mW y 139.46 mW se obtienen tasas de repetición de pulsos de 15.76 kHz, 20.85 kHz y 27.33 kHz. Estos tres trenes de pulsos se demuestran en la **Fig. 7b-7d** respectivamente, de los cuales se puede observar la estabilidad, así como su uniformidad, indicando su operación de forma eficiente.

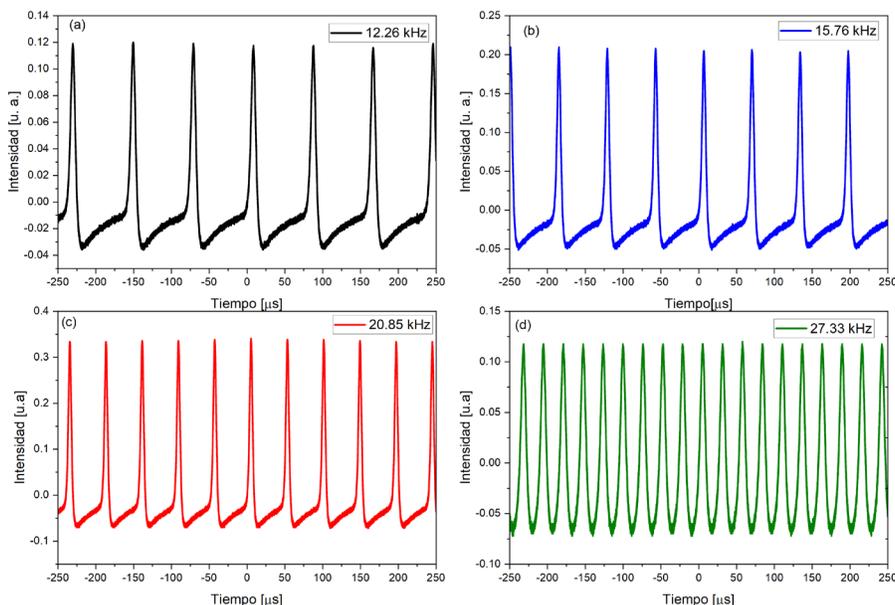


Figura 7. a) repetición de pulsos a 12.26 kHz, b) tasa de repetición a 15.76 kHz, c) tren de pulsos a 20.85 kHz y d) máxima tasa de pulsos obtenida a 15.76 kHz.

Bombeando la cavidad con un valor superior a 139.46 mW, el régimen pulsado desaparece y el sistema entra nuevamente en un régimen de emisión continua. Este comportamiento se debe a la saturación de las nanopartículas de carbón, las cuales son sometidas a una intensidad de bombeo que excede su umbral de saturación. A medida que las nanopartículas son bombeadas intensamente, no pueden recuperar sus propiedades absorbentes de forma efectiva, lo que provoca una pérdida de modulación en la intensidad del láser y, por ende, la desaparición de los pulsos. En este punto, las nanopartículas ya no generan pulsos, ya que han alcanzado un nivel de saturación donde la tasa de absorción es mínima o nula. Este fenómeno se conoce como bleaching (decoloración), en el cual el material ya no puede seguir modulando la intensidad de la luz debido a la ocupación total de sus niveles energéticos.

Por otra parte, el tiempo de duración de los pulsos presenta un decremento a medida que la velocidad de repetición de los pulsos se incrementa, con valores que van de 6.86 μ s a 4.1 μ s para los valores de bombeo previamente indicados. El comportamiento de la tasa de repetición de pulsos, así como la duración o ancho de los pulsos en función de la potencia óptica de bombeo se puede apreciar en la gráfica de la Fig. 8. En ella se observa el comportamiento propio de un láser pulsado Q-switch en el cual, a medida que la tasa de repetición incrementa (línea negra con puntos), la duración del pulso disminuye (línea roja con puntos).

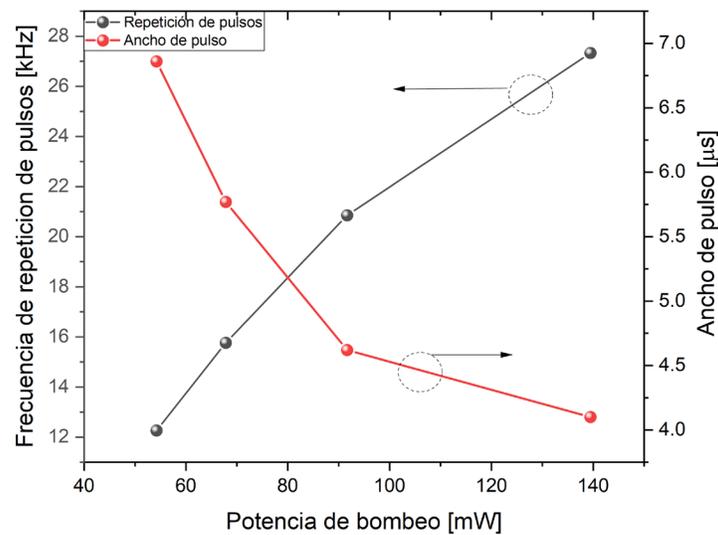
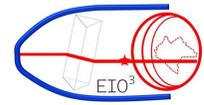


Figura 8. Respuesta en tasa de repetición de pulsos y ancho de pulso en función de la potencia óptica de bombeo.

En la **Fig. 9** se presenta la potencia óptica promedio en el régimen pulsado y también los resultados de la estimación del comportamiento de energía del tren de pulsos, en función del incremento en la potencia de bombeo y de la longitud de onda de emisión láser a 1567.244 nm. A través de un medidor de potencia óptica se obtuvo que la emisión pulsada tiene un valor de 17.6 μW e incrementa gradualmente de forma lineal a un valor máximo de 145 μW . En el caso de la energía de los pulsos, frecuentemente se estima dividir la potencia promedio por la tasa de repetición de pulsos, válido para repetición de pulsos baja. Esta estimación varía de 1.39 nJ a un valor máximo de 5.3 nJ para 27.33 kHz.

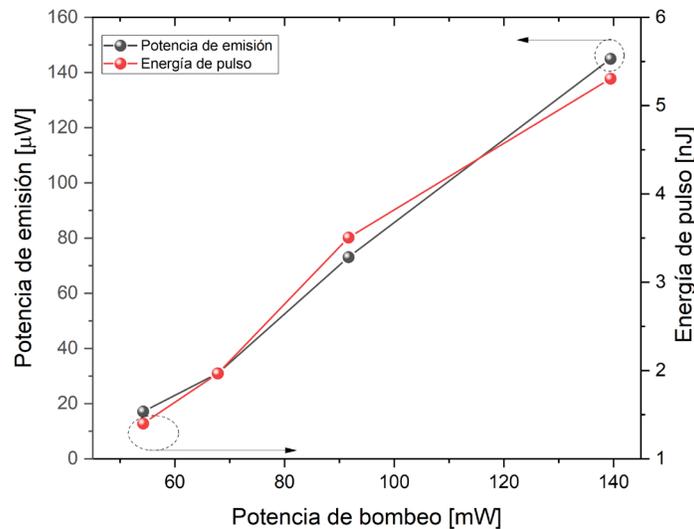
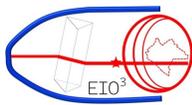


Figura 9. Respuesta de la potencia de bombeo y a energía de los pulsos, en función de la potencia óptica de bombeo para el régimen pulsado.

Finalmente, los resultados presentados en este trabajo demuestran la capacidad y potencial de las nanopartículas de carbón para producir láseres pulsados en el régimen pulsado Q-switch. Una de las ventajas de esta propuesta es el proceso de síntesis verde, el cual genera los menores impactos al medio ambiente además de la baja toxicidad de las nanopartículas.



Conclusiones.

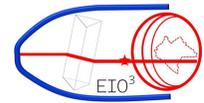
En conclusión, los resultados obtenidos en este estudio destacan el potencial innovador de las nanopartículas de carbón sintetizadas de manera sostenible a partir de flor de jamaica deshidratada. La integración de estas nanopartículas en un láser de fibra óptica dopado con erbio ha demostrado su capacidad para mejorar el rendimiento de la emisión pulsada, logrando tasas de repetición de pulsos ópticos que varían entre 12.25 kHz y 27.33 kHz, con una longitud de emisión láser establecida en 1562.244 nm. La relación señal-ruido óptica superior a 50 dB, junto con las características de duración de pulso y potencia de emisión presentadas, subrayan la efectividad de las nanopartículas en la generación de pulsos láser. Estos hallazgos resaltan el uso de materiales derivados de procesos de síntesis verde no solo como una alternativa sostenible, sino también como un componente clave en la optimización de láseres de fibra óptica para diversas aplicaciones tecnológicas.

Créditos.

El autor agradece a CONAHCYT por el apoyo otorgado mediante Estancias Posdoctorales por México 2022(1) para la Formación y Consolidación de las y los Investigadores por México.

Referencias bibliográficas.

- Cai, Y., Zhang, J., Zhang, M., Wang, M., & Zhao, Y. (2022).** *The optical fiber sensing platform for ferric ions detection: A practical application for carbon quantum dots.* *Sensors and Actuators B: Chemical*, 364(April), 131857. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2022.131857>
- Lim, S. Y., Shen, W., & Gao, Z. (2015).** *Carbon quantum dots and their applications.* *Chemical Society Reviews*, 44(1), 362–381. <https://doi.org/10.1039/c4cs00269e>
- Liu, S., Wang, Q., Wang, K., Yao, Y., Zhang, H., Ren, T., Yin, Z., Du, F., Zhang, B., & He, J. (2017).** *Two-photon saturable absorption properties and laser Q-switch application of carbon quantum dots.* *Optics Letters*, 42(19), 3972. <https://doi.org/10.1364/ol.42.003972>
- Oliveira, T. L., & Alves, A. K. (2022).** *Carbon Quantum Dots.* In *Engineering Materials*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86901-4_4
- Rojas-Valencia, O. G., Regules-Carrasco, M., Hernández-Fuentes, J., Germán, C. M. R. S., Estrada-Flores, M., & Villagarcía-Chávez, E. (2021).** *Synthesis of blue emissive carbon quantum dots from Hibiscus Sabdariffa flower: Surface functionalization analysis by FT-IR spectroscopy.* *Materialia*, 19(August), 101182. <https://doi.org/10.1016/j.mtla.2021.101182>
- Sohail, M., Zhang, C., Ahmed, R., Asghar, H., Ali Khan, S., Zamin Khan, N., Chen, T., Aslam. Baig, M., & Wang, Z. (2023).** *Carbon nanoparticles (CNPs) as a saturable absorber for a passively Q-switched erbium (Er³⁺) doped fiber laser.* *Optics and Laser Technology*, 160(November 2022), 109046. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2022.109046>
- Surana, K., & Bhattacharya, B. (2023).** *Carbon quantum dots.* In *Nanomaterials for sustainable energy applications* (pp. 147–159). CRC Press.
- Yu, S., Ding, L., Lin, H., Wu, W., & Huang, J. (2019).** *A novel optical fiber glucose biosensor based on carbon quantum dots-glucose oxidase/cellulose acetate complex sensitive film.* *Biosensors and Bioelectronics*, 146(August), 111760. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2019.111760>



Zhang, Y., Ding, L., Zhang, H., Wang, P., & Li, H. (2022). *A new optical fiber biosensor for acetylcholine detection based on pH sensitive fluorescent carbon quantum dots.* *Sensors and Actuators B: Chemical*, 369(May), 132268. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2022.132268>

Biografía de los investigadores.



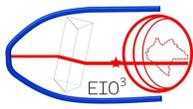
Romeo Emmanuel Nuñez Gomez, Ingeniero Electromecánico del Instituto Tecnológico de Zacatepec, Doctorado en Ingeniería y Ciencias Aplicadas con opción terminal en el área eléctrica. Posdoctorante en el IT de Zacatepec. Desarrolla investigación en fibras ópticas, láseres de fibra láseres pulsados basados en fibra óptica. Candidato a investigador.



Alfredo Olarte Paredes, Profesor-investigador de Tecnológico Nacional de México (TNM) campus Zacatepec, en el área de ingeniería electromecánica y posgrado en la maestría de ciencias de la ingeniería y el doctorado en ciencias de la ingeniería en las líneas de investigación de ingeniería y tecnología de los materiales y materiales en ingeniería sustentable. Cuerpo académico de diseño y caracterización de nanomateriales. Investigador nivel 1



Gilberto Anzueto Sanchez, Dr. en Ciencias (Óptica) por el Centro de investigaciones en Óptica (2007) Maestro en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Guanajuato (2003). Ingeniero en Electrónica graduado del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (2001). Investigador Asociado del Centro de Investigaciones de Óptica. Sus intereses de investigación actuales incluyen la metrología óptica y el láser de fibra. Investigador nivel II.



Areli Marlen Salgado Delgado. Profesor-Investigador del IT de Zacatepec. Doctora en Ciencias en Polímeros. Su trayectoria profesional está orientada hacia el estudio de los biomateriales, la ingeniería de biomateriales y la ciencia de biomateriales. Tiene un especial interés en la ingeniería de polímeros y desarrollo de nuevos polímeros. Investigadora nivel 1.



René Salgado Delgado. Doctorado en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Querétaro. Profesor investigador de tiempo completo en el IT de Zacatepec. Su investigación. Intereses en el estudio de biopolímeros para la creación de materiales compuestos con desechos agroindustriales. Investigador nivel I