

Análisis de la concentración de azúcar en agua destilada usando la técnica de moteado

Emmanuel Torres Sirangua¹, Luis Manuel Ledesma Carrillo¹, Ruth Ivonne Mata Chávez¹

¹Universidad de Guanajuato. División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca. Departamento de Estudios Multidisciplinarios. Av. Universidad s/n. Col. Yacatitas. Yuriria, Guanajuato.

e.torressirangua@ugto.mx¹, lm.ledesma@ugto.mx¹, ruth@ugto.mx¹

Resumen

Este estudio exploró la relación entre los patrones de moteado generados por una fibra óptica plástica expuesta a soluciones de azúcar en diferentes concentraciones y la posibilidad de utilizar redes neuronales para clasificar dichas soluciones. Se realizaron experimentos con dos fibras ópticas, variando la concentración de azúcar y capturando imágenes de los patrones de moteado. Estas imágenes fueron procesadas digitalmente para extraer características relevantes y posteriormente ser utilizadas para entrenar redes neuronales convolucionales. Los resultados obtenidos mostraron que las redes neuronales lograron clasificar las concentraciones de azúcar con una precisión de 91% y 88% para cada fibra, respectivamente. Estos hallazgos sugieren que los patrones de moteado pueden contener información discriminante sobre la concentración de solutos y que las redes neuronales son una herramienta eficaz para extraer dicha información. A largo plazo, esta investigación podría contribuir al desarrollo de sensores ópticos basados en fibras ópticas para aplicaciones en monitoreo ambiental y control de procesos industriales, ofreciendo una alternativa más económica y menos invasiva a las técnicas convencionales.

Palabras clave: Moteado, Fibra Óptica Plástica, Concentración de Azúcar, Clasificación de Imágenes.

Introducción

Los patrones de moteado, generados por la interferencia de ondas de luz coherentes, han sido ampliamente estudiados en diversos campos de la óptica. Estudios previos han demostrado que las características de estos patrones pueden proporcionar información valiosa sobre las propiedades de los medios a través de los cuales se propaga la luz. Algunos de estos artículos proporcionan una visión general de las aplicaciones clínicas de la imagen de contraste de moteado láser y refuerzan la idea de que los patrones de moteado pueden contener información valiosa sobre los tejidos biológicos [1]. Existen previas aplicaciones médicas que, de igual manera, se enfocan en el desarrollo de un sensor de glucosa no invasivo basado en el análisis de patrones de moteado en fibras ópticas [2].

Se ha consultado también un artículo que presenta un método de calibración de cámaras utilizando patrones de moteado sintéticos. Aunque su enfoque es diferente, demuestra la utilidad de los patrones de moteado en aplicaciones de visión por computadora y metrología [3]. Asimismo, algunos otros que hablan de técnicas de aprendizaje automático para la detección de moteado. Un artículo explora el uso de aprendizaje automático para mejorar la precisión en la medición de la perfusión sanguínea [4]. Finalmente se ha consultado también un artículo que presenta un método para medir la velocidad utilizando patrones de moteado y aprendizaje automático. Si bien se enfoca en la medición de velocidad, comparte el objetivo de utilizar técnicas de aprendizaje automático para cuantificar las características de los patrones de moteado [5].

En este trabajo, se explora la aplicación de los patrones de moteado en la detección de la concentración de azúcar en soluciones acuosas. A diferencia de otros estudios previos, este enfoque se basa en el uso de fibras ópticas plásticas y procesamiento de imágenes en Python, enfoque que es utilizado en la actualidad por el grupo de trabajo de instrumentación y procesamiento digital en el área de dispositivos y sensores de fibra óptica plástica (FOP) [6]. Al analizar los cambios en los patrones de moteado generados por una FOP expuesta a soluciones de azúcar con diferentes concentraciones, se busca desarrollar un método sencillo para determinar la concentración de esta sustancia.

Metodología

Se llevaron a cabo 2 experimentos, en el primero de ellos se usó una fibra óptica de 1mm y para el segundo se utilizó una fibra de 0.75mm. El montaje experimental consistió en una fuente láser con una longitud de onda de 633nm y una potencia a la salida de la fibra de 6.78 mW, una fibra óptica de 1 y 0.75mm previamente tratadas para pulir los extremos y no perder potencia, ver figura 1, un recipiente que se llena de solución agua-azúcar para el cual se usaron 250 ml de agua y concentraciones de azúcar de 0, 1, 3, 5, 7 y 9 mL de azúcar, figura 2, una pantalla y una cámara, figura 3.

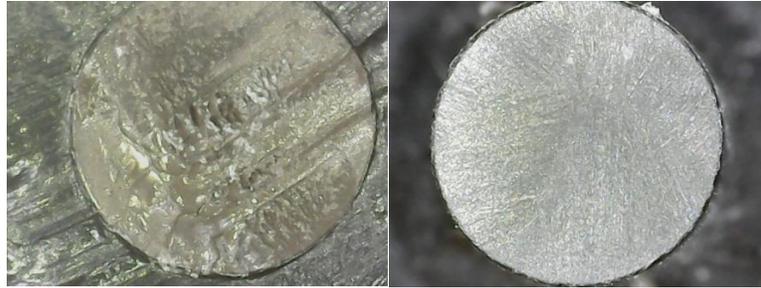


Figura 1 Fibra antes y después de ser pulida

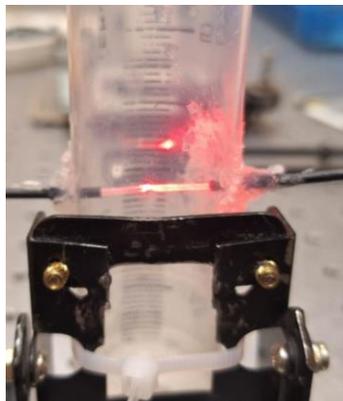


Figura 2 Recipiente donde se coloca el agua y azúcar

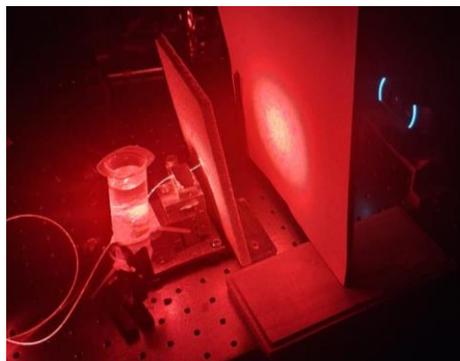


Figura 3 Arreglo final del experimento

La luz láser se acopló a la fibra, que luego se expuso a la solución haciendo una pequeña muesca en D en la fibra, ver figura 4.



Figura 4 Muesca en D en una fibra óptica plástica.

El patrón de moteado resultante se proyectó en la pantalla y fue capturado por la cámara. Para cada concentración de azúcar, se capturaron 50 imágenes del patrón de moteado, durante un experimento se variaron las luces externas para ver cual resultaba en la mejor visualización de los patrones de moteado y finalmente se determinó que la mejor era sin ningún tipo de luz externa. Las imágenes capturadas fueron preprocesadas para eliminar el ruido y mejorar el contraste del moteado mediante filtros en los cuales se suavizó la imagen, se extrajeron las motas y se realizó un proceso morfológico de dilatación para una mejor visualización, ver figura 5. Estas imágenes fueron almacenadas y posteriormente se entrenó una red neuronal para clasificarlas.

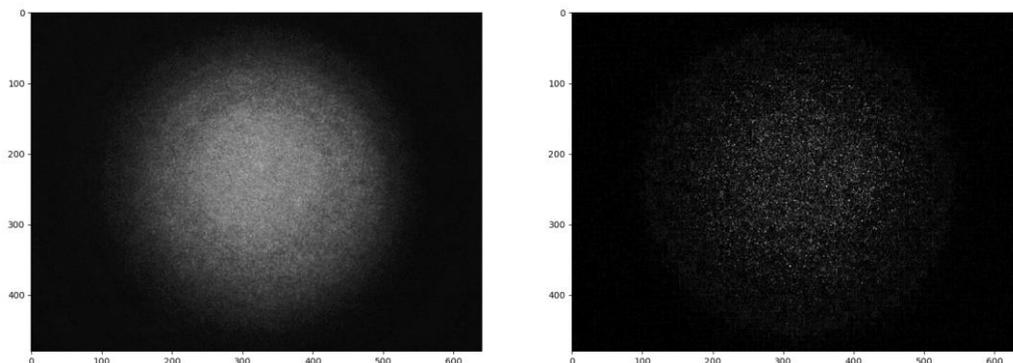
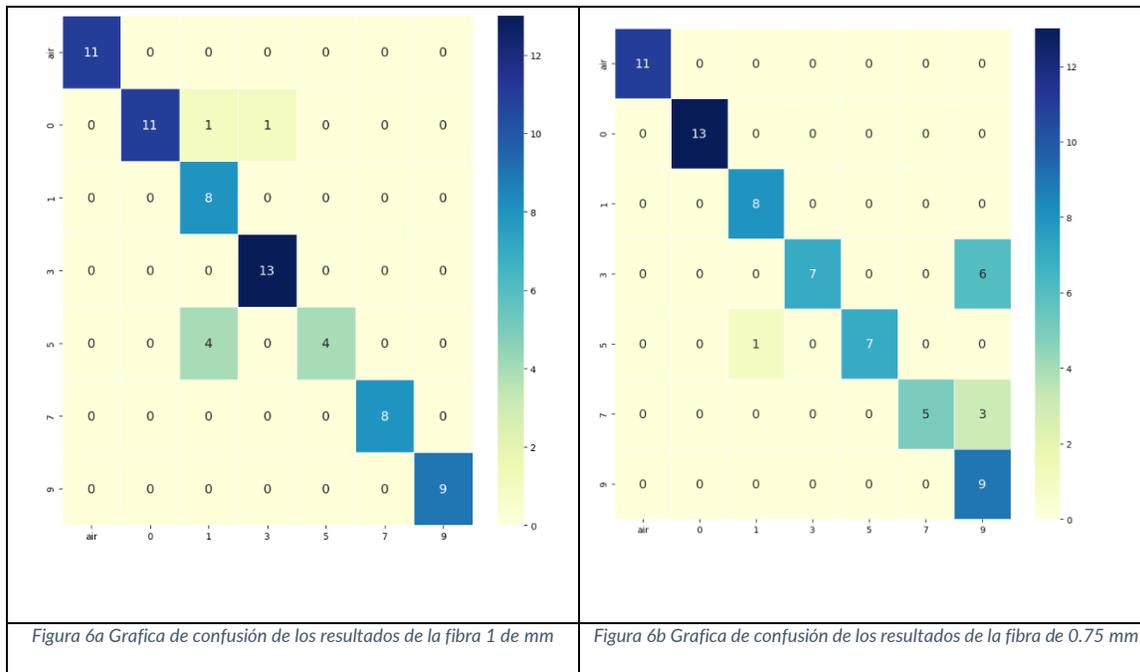


Figura 5 Imagen del patrón capturada antes y después del procesado

Resultados

El análisis de los patrones de moteado reveló una correlación significativa entre el tamaño promedio del moteado y la concentración de azúcar en las soluciones de agua en base a los resultados de los modelos de redes neuronales entrenados. La repetibilidad de las mediciones se evaluó comparando los resultados obtenidos con las fibras de 1mm y de 0.75mm. Los resultados de precisión son de 91% para la fibra de 1mm y de 86% para la fibra 2. Figura 6a y 6b. En cuanto a la imagen resultante, se observa una distribución aleatoria uniforme con un comportamiento de leve concentración al centro del patrón de moteado.



Conclusiones

Los resultados de este estudio han demostrado una correlación directa entre las características de los patrones de moteado y la concentración de azúcar en soluciones acuosas. Estos hallazgos sugieren que los patrones de moteado pueden ser utilizados como una herramienta eficaz para la cuantificación no invasiva de la concentración de azúcar en soluciones. Sin embargo, es necesario realizar más pruebas en diferentes condiciones para no tener resultados sesgado en cuestión del entrenamiento de la red neuronal.

Bibliografía/Referencias

- [1] Heeman, W., Steenbergen, W., van Dam, G., & Boerma, E. C. (2019). Clinical applications of laser speckle contrast imaging: a review. *Journal of biomedical optics*, 24(8), 1–11. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.24.8.080901>
- [2] Pal, D., Agadarov, S., Beiderman, Y., Beiderman, Y., Kumar, A., & Zalevsky, Z. (2022). Non-invasive blood glucose sensing by machine learning of optic fiber-based speckle pattern variation. *Journal of biomedical optics*, 27(9), 097001. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.27.9.097001>
- [3] Bin Chen, Bing Pan, Camera calibration using synthetic random speckle pattern and digital image correlation, *Optics and Lasers in Engineering*, Volume 126, 2020, 105919, ISSN 0143-8166, <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2019.105919>.
- [4] Fredriksson, I., Hultman, M., Strömberg, T., & Larsson, M. (2019). Machine learning in multiexposure laser speckle contrast imaging can replace conventional laser Doppler flowmetry. *Journal of biomedical optics*, 24(1), 1–11. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.24.1.016001>
- [5] Xiaoqi Hao, Shuicai Wu, Lan Lin, Yixiong Chen, Stephen P. Morgan, Shen Sun, A quantitative laser speckle-based velocity prediction approach using machine learning, *Optics and Lasers in Engineering*, Volume 166, 2023, 107587, ISSN 0143-8166, <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2023.107587>.
- [6] Sánchez Nieto, A. G., Rubén Ramirez Ramirez, C., Guzmán Magaña, A., Constantino Herrera, J. A., López Guzman, K., Ledesma Carrillo, L. M., & Mata Chávez, R. I. (2023). Análisis de un patrón de moteado de fibra óptica plástica con procesamiento digital de imágenes. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 21, 1–10. <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3995>