



## **Detección de un fluido con tomografía de coherencia óptica e intensidad de píxeles en imágenes digitales.**

## **Detection of a fluid using optical coherence tomography and pixel intensity in digital images.**

Jesé Jesús Vicente Vicente<sup>1</sup>, Héctor Hugo Cerecedo Núñez<sup>1\*</sup>, Patricia Padilla Sosa<sup>1</sup>,  
Jorge Castro Ramos<sup>2</sup>.

1 Laboratorio de Óptica Aplicada, Facultad de Física, Universidad Veracruzana.

2 Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Tonantzintla, Puebla.

\*Autor de correspondencia: hcerecedo@uv.mx.

Recibido 28 de marzo 2025; recibido en forma revisada 05 de julio 2025; aceptado 01 de noviembre 2025

### **RESUMEN**

La Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) es una técnica de interferometría óptica con resolución espacial del orden de micrómetros (entre 1 a 20  $\mu\text{m}$ ) y resoluciones de profundidad o axiales del orden de decenas de micrómetros. La técnica OCT ha permitido llevarla a aplicaciones médico-biológicas, en el ámbito de las ingenierías o en física aplicada (Chang, S., et.al., 2008). En este texto reportamos el empleo de un tomógrafo óptico de escaneo tipo radar (SR-OCT, a 930nm) (Thorlabs, 2025) para detectar la presencia de un fluido en mangueras de plástico, esto lo proponemos como parte de un estudio que nos permita comprender el flujo de sangre en las venas y su relación con algunas enfermedades (Merriam-Webster, 2025). La metodología de este estudio consiste en adquirir imágenes de secciones transversales (conjunto de datos bidimensionales provenientes del SR-OCT, conocidos como B-scan) de un fluido en distintas condiciones, que pasa a través de las mangueras

de plástico. Para llevar a cabo nuestro estudio, las imágenes adquiridas se preparan, es decir, se adecuan los datos que representan las imágenes (Mertz, D., 2021): en cada imagen se selecciona una región de píxeles, fija y común; en dicha área y para cada imagen, se toma y promedia la intensidad de los píxeles; es decir, para cada una de las imágenes, los datos se analizan basándose en una selección y comparación de píxeles promediados, y se comparan las regiones del mismo tamaño. La lectura, acondicionamiento y análisis de los datos se realiza con una programación en Python (George, N., 2021). Así, los datos de distintas condiciones del fluido dentro de las mangueras se correlacionan y comparan para concluir que es posible distinguir la presencia de un fluido dentro de los conductos.

**Palabras Clave:** Sensores ópticos, Tomografía de Coherencia Óptica, Imágenes Digitales.

## ABSTRACT

Optical Coherence Tomography (OCT) is an optical interferometry technique with spatial resolution on the order of micrometers (between 1 to 20  $\mu\text{m}$ ) and axial or depth resolutions on the order of tens of micrometers. The OCT technique has been applied to medical-biological fields, engineering, and applied physics (Chang, S., et al., 2008). This paper reports the use of a radar-type optical scanning tomograph (SR-OCT, at 930nm) (Thorlabs, 2025) to detect the presence of a fluid in plastic hoses. This is proposed as part of a study that aims to understand blood flow in veins and its relationship with certain diseases (Merriam-Webster, 2025). The methodology of this study involves acquiring cross-sectional images (a set of 2D data from the SR-OCT, known as B-scans) of a fluid under various conditions as it passes through plastic hoses. To conduct our study, the acquired images are prepared, i.e., the data representing the images are adjusted (Mertz, D., 2021): a fixed and common region of pixels is selected in each image; within that area, for each image, the pixel intensity is taken and averaged. Thus, for each of the images, the data are analyzed based on the selection and comparison of averaged pixels, and the regions of the same size are compared. The reading, conditioning, and analysis of the data are performed using Python programming (George, N., 2021). Therefore, the data from different fluid conditions within the hoses are correlated and compared to conclude that it is possible to distinguish the presence of a fluid inside the pipes.

**Keywords:** Optical sensors, Optical Coherence Tomography, Digital Images.

## INTRODUCCIÓN

La tomografía de coherencia óptica (OCT, por sus

siglas en inglés) es una potente tecnología para obtener imágenes transversales de alta resolución de

la microestructura interna, de superficies y muestras biológicas. Se basa en la medición interferométrica de la variación de luz coherente retroesparcida, para después formar imágenes de la estructura de la superficie de muestras de prueba. Aprovecha la coherencia temporal óptica de una fuente de luz de banda ancha para lograr un seccionamiento óptico preciso en la profundidad del material (Chang et al., 2008; Drexler & Fujimoto, 2015).

Algunas de las ventajas del OCT frente a otros sistemas y tecnologías de obtención de imágenes son: la resolución espacial y que es una técnica no destructiva. En el caso de la resolución, una principal ventaja del OCT es su alta resolución frente a otros sistemas de toma de imágenes, ver figura 1. La técnica OCT puede lograr una resolución espacial de 15  $\mu\text{m}$ ; mientras que otras técnicas como el ultrasonido alcanzan 150 $\mu\text{m}$ ; la Tomografía Computarizada de Alta Resolución alcanza unas 300 $\mu\text{m}$  y la imagen por Resonancia Magnética (MRI) obtiene unas 1000 $\mu\text{m}$  de resolución. Para el caso de OCT, esta característica permite una mayor visualización de los detalles o defectos. Al ser no

destructiva puede realizarse sin contacto; esta característica aumenta la seguridad y la facilidad de uso y aumenta la posibilidad de aplicaciones in vivo, lo cual es realmente importante para aplicaciones biomédicas (Chang et al., 2008; Huang et al., 1991).

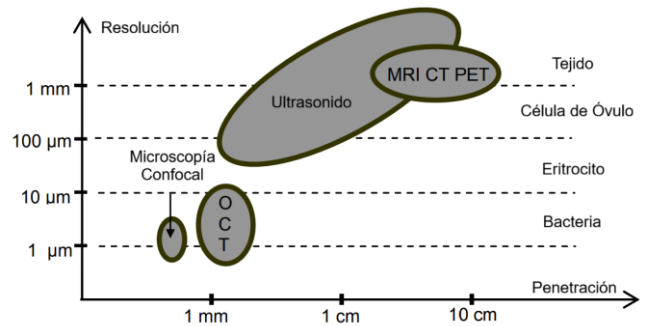


Figura 1. Comparación de la resolución espacial de diferentes sistemas de toma de imágenes (Chang et al., 2008).

### Operación

#### básica de un OCT

La tomografía

de coherencia óptica (OCT, por sus siglas en inglés) genera imágenes bidimensionales (2D o B-scan), tridimensionales (3D o C-scan) y de alta resolución espacial; las cuales se basan en magnitud, fase, el cambio de frecuencia y polarización, de la luz parcialmente coherente en el tiempo (luz de baja coherencia). Dicha luz proviene de ser retroesparcida y retroreflejada (back-scatter y back-reflection) (Fercher, 2009). Para obtener imágenes directas

(como en la fotografía común), todas las capas reflejadas desde la parte inferior de un objeto se fusionarán en una sola; por lo que en ello se carece de una función que separan unas de otras; sin embargo, con la obtención de imágenes por tomografía óptica, se utiliza la compuerta de coherencia (conocida como coherence gating) para extraer imágenes transversales de diferentes profundidades, como se ilustra en la figura 2. Generada por un interferómetro y una fuente de luz de banda ancha, la compuerta de coherencia desempeña un papel importante en la separación de imágenes de la dimensión de profundidad. (Chang et al., 2008).

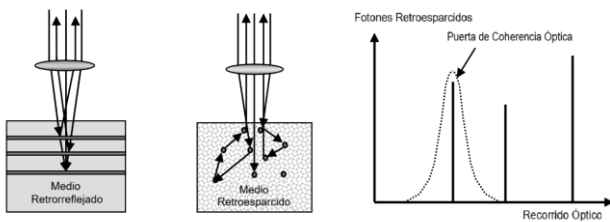


Figura 2. Las fotos con diferentes caminos fueron separadas por una puerta de coherencia (Chang et al., 2008).

Como hemos mencionado, el OCT genera imágenes

transversales| y volumétricas midiendo la magnitud y el retardo temporal del eco de la luz retroesparcida.

Las imágenes transversales se generan escaneando transversalmente el haz óptico incidente y realizando mediciones axiales secuenciales del retardo temporal del eco, a esto se le conoce como escaneos axiales o A-scans.

Las imágenes seccionales transversales se generan al escanear el haz de OCT en dirección transversal para adquirir una serie de exploraciones axiales. Esto produce un conjunto de datos bidimensional (B-scan) que puede mostrarse como una imagen en escala de grises o en falso color.

Los conjuntos de datos tridimensionales (C-scan) y volumétricos se generan mediante la adquisición de imágenes transversales secuenciales. Los conjuntos de datos tridimensionales contienen información estructural volumétrica completa y se pueden mostrar de manera similar a las imágenes de RM o TC (Fercher et al., 2003; Fujimoto & Drexler, 2015), esto se ilustra en la figura 3.

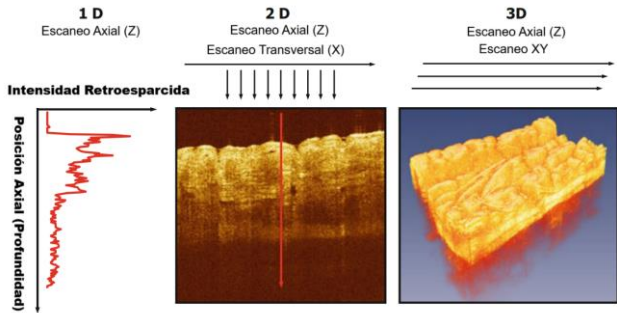


Figura 3. La OCT genera imágenes transversales o tridimensionales midiendo la magnitud y el tiempo de retardo del eco de la luz (Fujimoto & Drexler, 2015). De izquierda a derecha, A-scan, B-scan y C-scan.

### METODOLOGÍA

Para el desarrollo de esta investigación, la metodología consistió en obtener imágenes tipo B-Scan, con un OCT tipo SR-OCT, de la marca Thorlabs, modelo OCP930SR, ver figura 4a. Las imágenes que se obtuvieron fueron de secciones transversales de mangueras de plástico de 3mm de diámetro externo, ver figura 4b y 4c. Por las mangueras se hizo circular, por una parte: agua; y por otra parte: una mezcla de leche y agua; como medios de estudio y comparación. Además, se hizo cambiar la velocidad del flujo de una manera arbitraria y

cualitativa, a través de un sistema gota a gota o por un flujo continuo. La toma de las imágenes se realizó aplastando un poco la manguera (doblada) y de manera normal (sin doblar). Así, bajo diferentes condiciones, se obtuvieron imágenes B-Sacan.

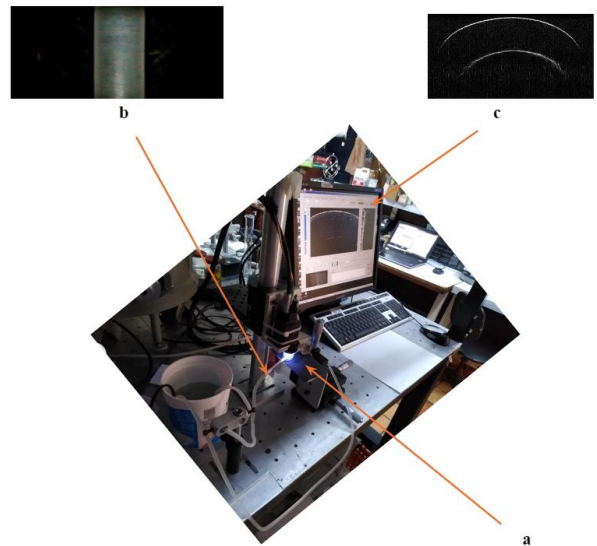


Figura 4. Arreglo experimental en el cual se observa: a) la punta o cabeza del OCT, b) la manguera con fluido, y c) la sección transversal escaneada (B-Scan).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de comenzar a realizar el análisis de las imágenes obtenidas por la OCT, se deben seguir ciertos pasos para “limpiar” los datos de la mejor manera posible, para una mejor eficiencia del

análisis de las imágenes ya que gran parte del análisis de datos radica en “limpiar” adecuadamente los datos. Ciertamente, algunos datos son mejores mientras que otros no tanto, pero todos los datos están “sucios”, al menos para minimizar el margen de error (Mertz, 2021). Tras tomar las mediciones, se obtuvieron imágenes del tipo B-Scan, ver figura 5, que se encuentran en un formato de mapa de bits (.bmp) lo que implica que los elementos de la matriz asociada a la imagen son del tipo flotante (float).

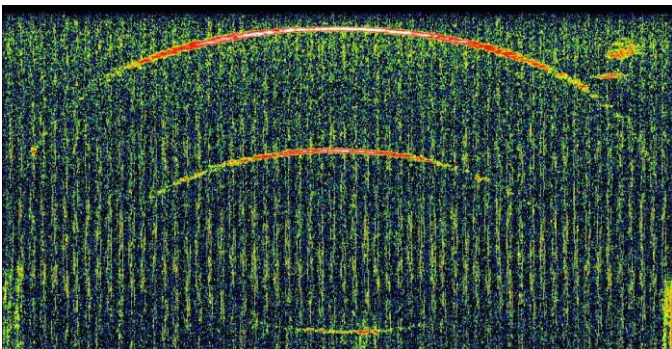


Figura 5. Imagen del tipo B-Scan tomada por la OCT. Aunque la imagen aparenta tener 'colores' realmente es una matriz de un solo canal, i.e., es una imagen a escala de grises.

La figura 5 se muestra como una imagen de falso color a la cual se le realiza una conversión a un formato .jpg, lo cual se muestra en la figura 6. En virtud de que los elementos de la matriz asociada a las

imágenes del tipo .jpg se encuentran dados en un formato de número del tipo entero (int), se debe realizar nuevamente otra conversión a un formato .csv; para tener una representación explícita de los elementos numéricos enteros del B-Scan.

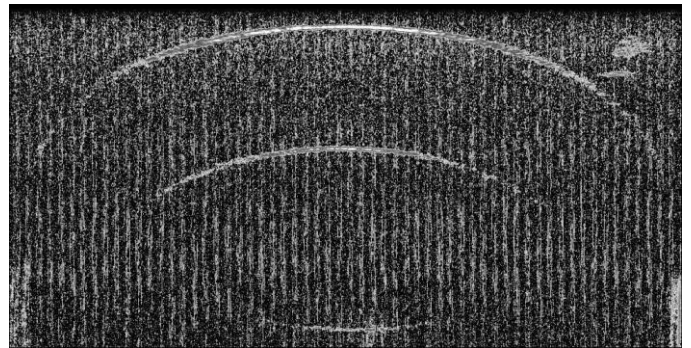


Figura 6. Imagen .jpg en escala de grises asociada a la figura original en formato .BMP

De la figura 5 y 6 se pueden observar tres curvaturas. La curvatura superior corresponde a la superficie exterior de la manguera y está relacionada con el radio externo de la manguera, y las otras dos curvaturas corresponden a las paredes internas de la manguera, asociadas con el radio interno de la manguera. La región entre la curva exterior e interior corresponde al espesor de la manguera, esa región no es de interés en nuestro estudio.

La región interés en nuestro estudio es lo que se encuentra en el radio interno de la manguera. En esa

región se coloca o no una mezcla líquida para realizar el estudio, es un fluido que atraviesa la manguera, el cual lleva alguna velocidad  $v$ .

Como todo lo que se encuentra fuera de esta región carece de importancia para su análisis, es conveniente recortar la imagen de tal forma que solo se abarque la región entre los radios internos de la manguera. En este caso, se llevó a cabo un recorte de la imagen mediante la escritura de un programa en el lenguaje de programación Python. Con ello, se procede a un análisis. La forma de analizar el contenido de la manguera fue mediante el siguiente proceso: Primero se determina un punto de referencia (ver punto rojo de la figura 6). Este punto se escogió de tal forma que quedara en la columna 250 de nuestras imágenes; en esa columna se obtuvo el valor promedio de la intensidad de los píxeles (corresponde a la franja horizontal azul de la figura 7). Así, el punto de referencia (el punto rojo) se colocó a una altura arbitraria de 100 píxeles por encima del valor promedio que se acaba de mencionar; pero de tal forma que este punto estuviera dentro de la cavidad de la manguera.

Entonces, alrededor de ese punto, se determina una región cuadrada de longitud  $L=50$  píxeles. La longitud de este cuadrado se eligió también de manera arbitraria.

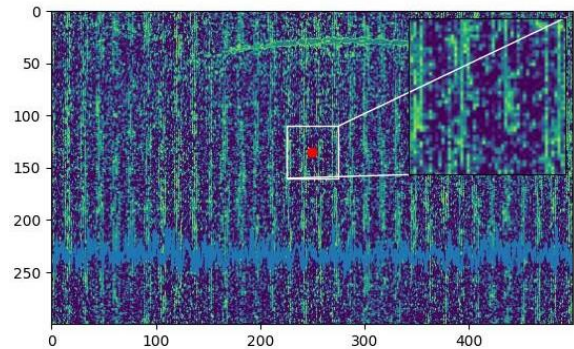


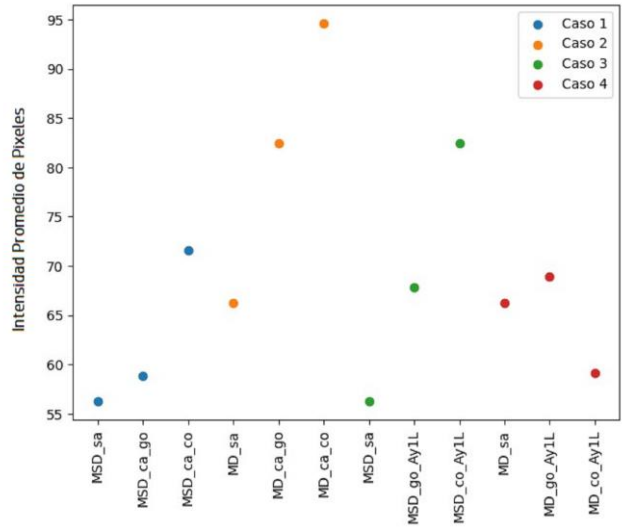
Figura 7. Imagen resultante con la que llevar a cabo el análisis cuantitativo de la muestra de la región por la que se mueve el fluido.

Con ello, para obtener un parámetro cuantitativo y con el fin de poder distinguir el fluido que corre a través de la manguera, se calculó el promedio de la sección cuadrada mostrada en la figura 6. Este promedio se obtuvo mediante la suma de cada elemento de la matriz dentro de la sección cuadrada dividida entre el total de elementos en la sección, es decir:

$$P = \frac{\sum_{i,j} p_{i,j}}{L^2}$$

Ecuación 1. donde  $P$  representa el promedio resultante para la sección cuadrada y  $p_{i,j}$  a cada elemento dentro de la sección (George, 2021).

Como resultado, se obtuvo un parámetro cuantitativo que resulta de utilidad para distinguir a cada imagen, es decir, para determinar si es posible distinguir el fluido que recorre el interior de la manguera. La Tabla 1 indica los distintos casos para los que se tomaron medidas. Siguiendo este proceso para los distintos casos, de los que se tomaron medidas, se obtiene el gráfico de la figura 8.



Caso 1	Manguera sin doblar con agua	MSD_sa	Sin agua
		MSD_ca_go	Con agua y circulación lenta
		MSD_ca_co	Con agua y circulación rápida
Caso 2	Manguera doblada con agua	MD_sa	Sin agua
		MD_ca_go	Con agua y circulación lenta
		MD_ca_co	Con agua y circulación rápida
Caso 3	Manguera sin doblar con agua y leche	MSD_sa	Sin agua
		MSD_go_Ay1L	Con agua y circulación lenta
		MSD_co_Ay1L	Con agua y circulación rápida
Caso 4	Manguera doblada con agua y leche	MD_sa	Sin agua
		MD_go_Ay1L	Con agua y circulación lenta
		MD_co_Ay1L	Con agua y circulación rápida

Tabla 1: Casos y abreviaciones utilizadas para el estudio de fluidos en mangueras.

Fig. 8: Gráfico obtenido para cada caso del cual se tomaron mediciones. Se observa que el valor del promedio de la sección cuadrangular tiende a crecer conforme el líquido en el interior de la manguera aumenta su velocidad para los primeros tres casos.

De la información concentrada en la figura 8, se observa que se obtienen resultados favorables (caso 2 y caso 3) en la respuesta a la detección de la presencia de un fluido y en la distinción de velocidades. Sin embargo, la mejor configuración para realizar una detección de líquidos o alguna mezcla de líquidos, se muestra en los casos 1 y 3, en los cuales, no es necesario modificar la manguera y en los cuales si es posible detectar algunos líquidos y mezclas; así como discernir entre sus velocidades.

La presencia o distinción entre los diferentes casos se observa por los distintos valores de la intensidad promedio de los pixeles, apoyados por la ecuación 1. Considerando nuestra mejor elección, fusionando los casos 1 y 3, se observa que a medida que el líquido es más denso, el valor de intensidad promedio de los pixeles es más alto; lo mismo sucede con la rapidez del fluido. Es decir, el valor de intensidad de los pixeles es directamente proporcional a la densidad y a la rapidez en el fluido.

### **CONCLUSIONES**

Tras realizar esta investigación, respecto a la metodología propuesta, sobre el análisis de los datos (imágenes), se puede concluir que el centro de referencia (pixel) colocado en la sección cuadrangular depende del valor máximo de los pixeles; que a su vez, depende del recorte que se le hizo a la imagen original; por lo que en ocasiones se puede estar fuera de la región por la que transcurre el fluido, o demasiado cerca al borde de la manguera; lo que añadirá dificultades al análisis. Para evitar esto, se recomienda ser cuidadoso al tomar las

medidas experimentales. Además, como solo se determinó un promedio para cada caso, este no es concluyente; es decir, se necesitan más mediciones experimentales bajo las mismas circunstancias, para determinar si en efecto, se tiende a un mismo valor o si son resultados aislados y, por lo tanto, no concluyentes. Debido a que los datos experimentales poseen un ruido alto inherente a la toma de mediciones y, aunado a lo expuesto en el punto anterior, se corrobora la importancia de tomar varias mediciones para cada caso bajo las mismas circunstancias. Sin embargo, si hay evidencias para distinguir y determinar presencia, y rapidez de un fluido dentro de una cavidad como las mangueras o algún equivalente como las venas. Así, la metodología de análisis de las imágenes o datos del OCT resulta ser accesible, simple y de utilidad para este tipo de propuesta. Los resultados mostrados aquí son perfectibles y en el futuro inmediato se deberán realizarse más pruebas y propuestas de aplicación.

### **BIBLIOGRAFÍA**

Chang, S., Mao, Y., Flueraru, C., & Sherif, S. (2008). Optical coherence tomography: technology and applications. Proceedings of SPIE, the

- International Society for Optical Engineering/Proceedings of SPIE, 7156, 715606.  
<https://doi.org/10.1117/12.806813>
- Drexler, W., & Fujimoto, J. G. (2015, agosto). Optical coherence tomography. Springer.
- Fercher, A. F., Drexler, W., Hitzenberger, C. K., & Lasser, T. (2003). Optical coherence tomography - principles and applications. Reports on Progress in Physics, 66(2), 239-303. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/66/2/204>
- Fercher, A. F. (2009). Optical coherence tomography – development, principles, applications. Zeitschrift für Medizinische Physik, 20(4), 251-276.  
<https://doi.org/10.1016/j.zemedi.2009.11.002>
- Fujimoto, J. G., & Drexler, W. (2015, enero). Introduction to OCT.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-06419-2>
- George, N. (2021, septiembre). Practical Data Science with Python. Packt Publishing, 1 edition.
- Huang, D., Swanson, E. A., Lin, C. P., Schuman, J. S., Stinson, W. G., Chang, W., Hee, M. R., Flotte, T., Gregory, K., Puliafito, C. A., & Fujimoto, J. G. (1991). Optical coherence tomography. Science, 254(5035), 1178-1181.  
<https://doi.org/10.1126/science.1957169>
- Mertz, D. (2021, marzo). Cleaning Data for Effective Data Science. Packt Publishing.
- Merriam-Webster (2025). “Angiology.” Merriam-Webster.com Medical Dictionary, <https://www.merriam-webster.com/medical/angiology>. Accessed 10 Sep. 2025.
- Thorlabs (2025). Spectral Radar OCT System, Thorlabs.  
<https://www.thorlabs.com/catalogpages/595.pdf>, Accessed 10 Sep. 2025.