

Capítulo 5 Construcción de un sistema de velocimetría láser Doppler con un sensor dieléctrico de fibras ópticas

Chapter 5 Construction of a Doppler laser velocimetry system with fiber optic dielectric sensor

LUNA-REYES, Martha María†*, FLORES-GIL, Aarón, LÓPEZ-RODRÍGUEZ, José del Carmen y DE LA CRUZ-MAY, Lelio

Universidad Autónoma del Carmen, Facultad de Ingeniería y Tecnología, México.

ID 1^{er} Autor: *Martha María, Luna-Reyes* / **ORC ID:** 0000-0002-5106-2020, **CVU CONACYT ID:** 1088488

ID 1^{er} Coautor: *Aarón, Flores-Gil* / **ORC ID:** 0000-0002-2302-2056, **CVU CONACYT ID:** 121166

ID 2^{do} Coautor: *José del Carmen, López-Rodríguez* / **ORC ID:** 0000-0002-0404-0021, **CVU CONACYT ID:** 1006184

ID 3^{er} Coautor: *Lelio, De la Cruz-May* / **ORC ID:** 0000-0003-3918-0582, **CVU CONACYT ID:** 75160

DOI: 10.35429/H.2021.12.1.49.55

M. Luna, A. Flores, J. López y L. De la Cruz

*101051@mail.unacar.mx

S. Figueroa, B. Pérez, J. Flores, L. Santis. (AA. VV.) Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Handbooks-©ECORFAN-México, Campeche, 2021.

Resumen

Se presenta una propuesta experimental para el desarrollo de un Velocímetro Láser Doppler que permita detectar frecuencias de vibración de manera más precisa, con niveles de ruido en las señales significativamente más bajos que los presentados en un sistema de auto manufactura basado en un arreglo de prisma y lentes, mediante la implementación de un sistema de fibras ópticas que definirán la distancia focal para establecer el volumen de medida, en el que puedan ser detectadas las variaciones de frecuencia ocasionadas por vibraciones mecánicas inducidas. Se presentan pruebas preliminares de vibración con la adecuación de la fibra óptica, desde la toma de datos hasta su procesamiento mediante un programa de FFT desarrollado en Matlab, donde serán localizados los picos más altos producto de las vibraciones.

Fibras, Ópticas, Velocimetría, Láser, Doppler, Vibración

Abstract

Experimental proposal for the development of a Doppler Laser Velocimeter that allows to detect vibrations frequencies more precisely, with lower noise levels in the signal than those presented in a self manufacturing system based on a prism arrangement and lenses through the implementation of an optical fiber system that will define the focal length to establish the measurement volumen, in wich the frequency variations caused by induced mechanical vibrations can be detected. Preliminary tests are presented with the adaptation of the optical fiber, from data collection to processing through an FFT program developed in Matlab, where the highest peaks caused by vibrations will be located.

Optical, fiber, LDV, Vibration, Doppler

5.1 Introducción

El efecto Doppler describe el desplazamiento existente en la frecuencia temporal de una onda percibida por un observador cuando la fuente que lo genera, el observador o ambos se encuentran en movimiento relativo. La Velocimetría Láser Doppler es una técnica no invasiva que basa su funcionamiento en el efecto Doppler producido por la interferencia de un haz de luz dividido en dos haces de igual intensidad, mediante el uso de un desdoblador de haz, que se enfocan interceptándose en un punto común. Dicha interferencia de haces forma lo que se conoce como “Volumen de Medida”.

En el modelo de Haz de Referencia se utiliza, generalmente, un arreglo de prisma y lentes para generar el Volumen de Medida, zona donde se lleva a cabo la medición y es captada por el elemento fotodetector del sistema LDV. Este tipo de sistemas tienen un amplio rango de aplicaciones, desde la medición de velocidad en fluidos laminares o turbulentos (Gómez & Portador, 2005), diagnósticos biomédicos aplicados a arterias y tejidos (Agrawal, 2005), hasta para la medición de vibraciones de sistemas dinámicos que incluyan rodamientos (White, 2010). Presentan ventajas muy claras, como son su respuesta lineal en un rango amplio de velocidades, respuesta rápida, independencia de temperatura y alta resolución espacial (Agrawal, 2005); Sin embargo, también presenta algunas limitaciones en su implementación, tales como una relación de señal ruido deficiente debido a una falta de coincidencia en la relación entre la señal y las potencias del haz de referencia y condiciones estrictas de alineación (Charrett et al., 2012).

Las fibras ópticas permiten superar muchas de estas limitaciones, además de ofrecer la capacidad de suministro y recogida de luz flexibles en regiones que de otro modo serían inaccesibles (Charrett et al., 2012). Es por esta razón, que se propone el uso de fibra óptica multi modo para la generación del volumen de medida y demostrar su funcionalidad aplicada a la recolección de muestras mediante la detección de variaciones de frecuencia ocasionadas por vibraciones mecánicas inducidas.

En este capítulo se presentarán los componentes del Sistema LDV propuesto experimentalmente, enfatizando la fibra óptica y su funcionamiento como el elemento que define el punto focal y, en consecuencia, generador del Volumen de Medida, la toma de muestras preliminares de los espectros de frecuencia temporal y su procesamiento mediante un programa de FFT desarrollado en Matlab que demuestra su eficacia para la recolección de espectros armónicos o vibratoriales.

Objetivo General

- Desarrollar un Sistema de Velocimetría Láser Doppler simplificado con un sensor dieléctrico de fibra óptica, adecuado para la detección de frecuencias vibracionales.

Objetivos Específicos

- Probar la eficacia detectando señales de vibración mecánica mediante la toma de espectros vibracionales.
- Identificar los picos máximos en los espectros, producto de la presencia de vibración mecánica inducida.

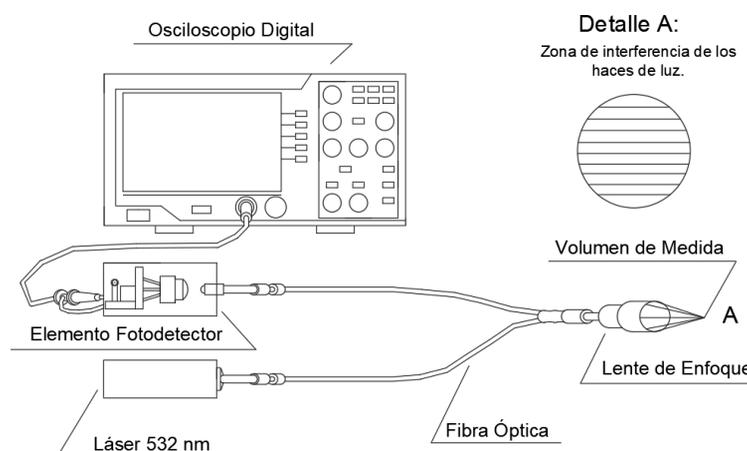
Metodología

El desarrollo de la propuesta experimental está basado principalmente en el trabajo de López et al., (2021), en donde 2 haces procedentes de un único láser se cruzan para formar el volumen de medida (López et al., 2021), explorando aplicaciones sobre ondas mecánicas e implementando, en base a la información recabada, un arreglo con un sensor dieléctrico de fibra óptica que determine la distancia focal y genere con ello el volumen de medida.

Componentes del Sistema

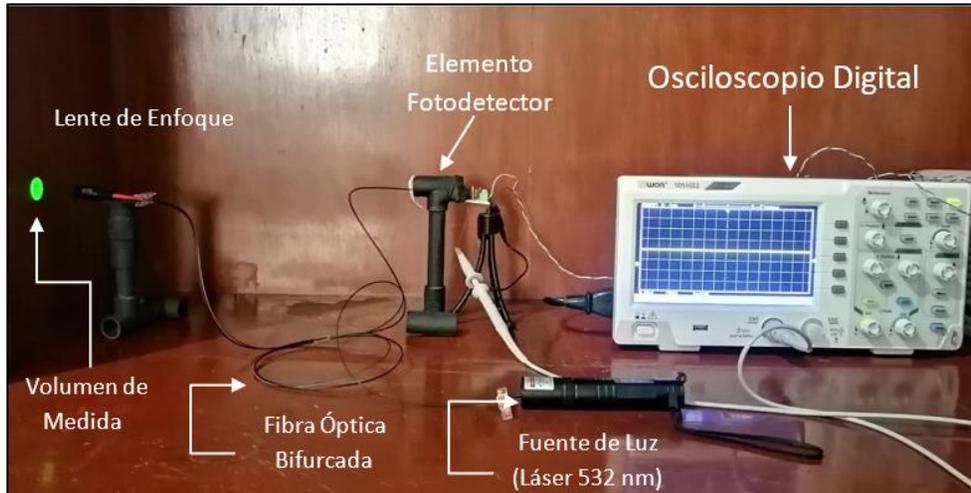
Los componentes principales de nuestro sistema experimental son un láser de 532 nm, con potencia <math><1000\text{mW}</math>, marca D. X, modelo H851, clase III, un sensor dieléctrico de fibra óptica multi modal (9 modos) modelo FFRC-310, lentes de enfoque del sensor amplificador de fibra óptica modelos 617, 517 y 417 (35 mm, 15 mm y 7 mm de distancia focal, respectivamente), un Foto diodo marca Hamamatsu modelo S-6468 como sistema fotodetector, un Osciloscopio Digital marca Owon, modelo SDS1022 como adquisidor de datos en tiempo real y un programa de FFT (Transformadas Rápidas de Fourier, por sus siglas en inglés) que permitirá procesar las señales obtenidas con el osciloscopio. En la Figura 5.1, es posible apreciar de manera esquemática el sistema LDV completo, mientras que en la Figura 5.2, se muestra el sistema ya montado.

Figura 5.1 Diagrama de Componentes de la propuesta experimental de un sistema LDV con sensor dieléctrico por fibra óptica



Fuente: Elaboración propia

Figura 5.2 Propuesta experimental de un sistema LDV con sensor dieléctrico por fibra óptica.



Fuente: Elaboración propia.

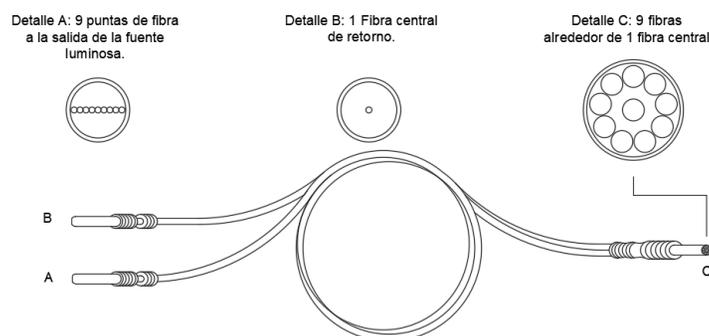
En el LDV tradicional, un haz de luz láser inicial pasa por un desdoblador de haz, cuya componente transmitida sigue su trayecto normal, mientras que la componente reflejada se dirige a un espejo con el propósito de que siga su trayecto paralelo al haz de luz láser transmitido. Estas dos componentes paralelas pasan posteriormente por una lente convexa, para finalmente superponerse en el punto focal de la lente, dando lugar al efecto de interferencia en dicho punto.

Nuestra propuesta consiste en un láser de semiconductor de 532 nm de longitud de onda, una sonda de 10 fibras ópticas bifurcada. Diseñada de tal forma que en uno de sus extremos se tienen ordenadas 9 fibras en forma lineal. Este extremo se conecta directamente al láser, pasan por un conector (que es el equivalente al desdoblador de haz), y en el otro extremo las 9 fibras se ordenan alrededor de una fibra central tal y como se muestra en la Figura 5.3. Para generar la interferencia, se adapta una lente convexa de distancia focal de 35 cm, y justamente a esa distancia se forma lo que se denomina el volumen de medida, o la región de interferencia.

En la experimentación, este extremo de la fibra se acerca (a la distancia de 35 cm) al objeto de estudio, que será un objeto en régimen dinámico, ya sea en vibración, circulación, rotación, etc. Cuando el objeto de estudio pasa por el volumen de medida, se produce un efecto de dispersión de los haces incidentes. Desplazando su frecuencia por efecto Doppler (ver Tsutomu Tajikawa et al. 2012). La misma lente recoge por reflexión, la información de la luz dispersada, la dirige ahora a la fibra central, que está conectada al elemento detector, y finalmente se registran las señales en un osciloscopio, tal y como se muestra en la Figura 5.1, y Figura 5.2.

Una vez obtenidas las señales, se extraen del osciloscopio digital para ser procesadas en el ordenador por medio de un código Matlab de FFT, para convertirlas de variaciones temporales a espectros de frecuencia.

Figura 5.3 Fibra Óptica Bifurcada.



Fuente: Elaboración propia

La implementación de la fibra óptica pretende corregir algunas de las limitaciones de los modelos tradicionales, basados en arreglos de prisma y lentes, como son algunos problemas de alineación y la relación señal-ruido presente en las muestras.

En la Figura 5.3, se observan la configuración del sensor dieléctrico de fibra óptica a aplicar al sistema, en ella se destacan 3 puntos principales: el punto A con un arreglo mapeado de entrada, el punto C, que muestra el arreglo de 9 fibras alrededor de 1 fibra central y el B, que ilustra la sonda de recolección que viaja desde el punto C, por medio de la fibra central, hasta el elemento fotodetector que se interconecta al sistema adquisidor de datos.

Toma de muestras

Se seleccionó el sensor de enfoque 617 de 35mm de distancia focal para realizar la toma de muestras de vibración. Se utilizó una bomba sumergible unida a un tubo de policarbonato, sitio en el cual se colocó el volumen de medida para la toma de muestras de vibración. Se encendió la bomba en velocidad baja, media y alta y se observó el comportamiento en tiempo real de la frecuencia de las señales proyectadas en el osciloscopio digital, para posteriormente congelar la imagen y extraer la muestra, como ilustra en la Figura 5.3. Se obtuvieron un total de 3 muestras, 1 por cada velocidad.

Figura 5.4 Volumen de Medida y Bomba sumergible Johnson 2855

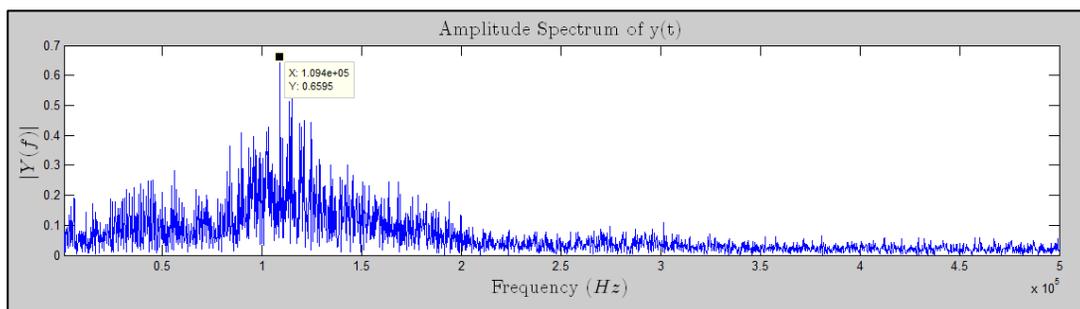


Fuente: Elaboración propia

5.2 Resultados

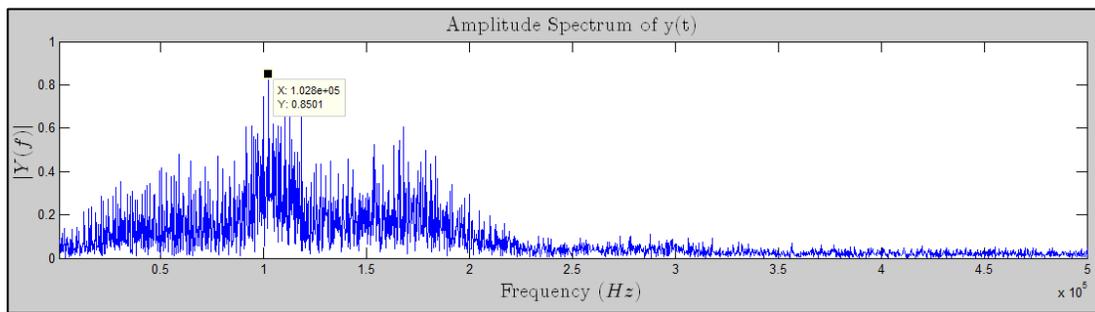
Las muestras extraídas del Osciloscopio se procesaron mediante el programa de FFT en Matlab para transformar las señales obtenidas en el dominio del tiempo a espectros de frecuencia, donde se aprecia notablemente la interferencia de la vibración inducida.

Gráfico 5.2 Espectro Vibracional del tubo de Policarbonato conectado a bomba sumergible, encendida en velocidad baja



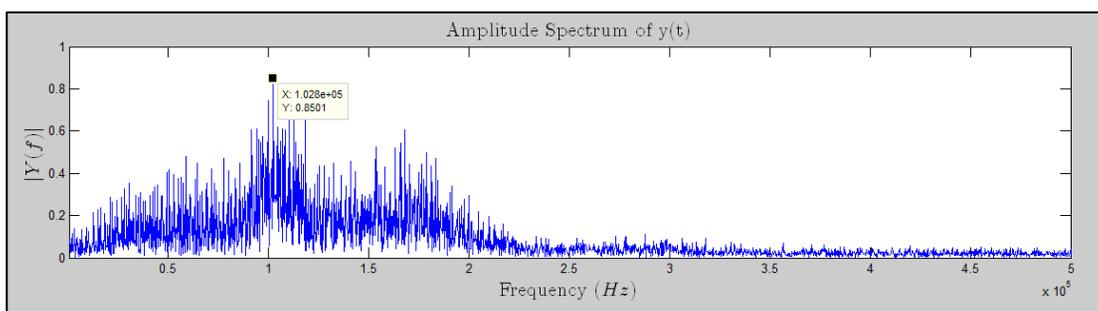
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5.2 Espectro Vibracional del tubo de Policarbonato conectado a bomba sumergible, encendida en velocidad media



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5.3 Espectro Vibracional del tubo de Policarbonato conectado a bomba sumergible, encendida en velocidad alta



Fuente: Elaboración propia

En cada uno de los espectros obtenidos, es posible identificar una cantidad considerable de frecuencias o picos, cada uno puede llegar a corresponder a algún tipo de frecuencia característica del sistema dinámico. Se ha marcado el pico más alto como ejemplo de la presencia de una interferencia por vibración en el volumen de medida.

5.3 Conclusiones

La primera fase experimental del sistema ha demostrado ser viable para la detección de frecuencias armónicas por medio del arreglo de sensor dieléctrico por fibra óptica en lugar de los arreglos ópticos convencionales (prisma y lentes). En la experimentación y resultados preliminares pudo observarse con claridad la presencia de múltiples frecuencias de vibración, confirmando así que es posible detectar este tipo de señales con este equipo experimental.

Destacan su flexibilidad para llevar el volumen de medida a sitios inaccesibles para un arreglo de prisma, permitiendo un monitoreo más completo de la región a examinar en caso de requerirse; Presenta una facilidad de alineación destacable y un ruido reducido en las señales, así como buena sensibilidad a los cambios en la vibración.

Se recomienda continuar la línea de investigación con la caracterización de las frecuencias encontradas (identificando las frecuencias características de los elementos dinámicos a analizar) y llevar un seguimiento de su comportamiento bajo diferentes condiciones.

5.4 Agradecimiento

Agradecemos a la UNACAR por el apoyo brindado para la realización de este trabajo, a través del proyecto 069/DGIP/2019. Los autores declaramos que no hay conflicto de interés acerca de la publicación de este artículo.

5.5 Referencias

- Agrawal, A. K. (2005). *FIBER-OPTIC LASER DOPPLER VELOCIMETER FOR MICROCIRCULATORY FLOW MEASUREMENTS*. The University of Utah.
- Charrett, T. O. H., James, S. W., & Tatam, R. P. (2012). Optical fibre laser velocimetry: A review. *Measurement Science and Technology*, 23(3). <https://doi.org/10.1088/0957-0233/23/3/032001>
- Gómez, V. C., & Portador, R. I. P. (2005). Diagnóstico de condiciones de operación de rodamientos en máquinas usando espectros de alto orden. *Centro Nacional de Investigación y Desarrollo*, 1–205.
- José, I., Rodríguez, L., Gil, A. F., Manuel, J., & Sierra, T. (2021). *Construcción de un Sensor de Velocidad Unidireccional, para Medición de Velocidades de un Fluido Bajo el Régimen Laminar*. 13(8), 291–295.
- Tsutomu Tajikawa, Wataru Ishihara, Shimpei Kohri, Kenkichi Ohba, "Development of Miniaturized Fiber-Optic Laser Doppler Velocimetry Sensor for Measuring Local Blood Velocity: Measurement of Whole Blood Velocity in Model Blood Vessel Using a Fiber-Optic Sensor with a Convex Lens-Like Tip", *Journal of Sensors*, vol. 2012, Article ID 426476, 11 pages, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/426476>
- White, G. (2010). Introducción al Análisis de Vibraciones. *International Computer Music Conference*, 18–30.