

### **Capítulo 3 Implementación de un sensor LDV para la determinación de velocidad de un fluido bajo el régimen laminar**

#### **Chapter 3 Implementation of a LDV sensor for the determination of the velocity of a fluid under the laminar regime**

LÓPEZ-RODRÍGUEZ, José del Carmen†\*, FLORES-GIL, Aarón, SIERRA-GRAJEDA, Juan y MESA-CRUZ, Onésimo

*Universidad Autónoma del Carmen, Campus III, con Fracc. Mundo Maya, C.P. 24115, Ciudad del Carmen, Campeche, México*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *José del Carmen, López-Rodríguez* / **ORC ID:** 0000-0002-0404-0021, **CVU CONACYT ID:** 1006184

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

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Juan, Sierra Grajeda* / **ORC ID:** 0000-0002-0565-6450, **CVU CONACYT ID:** 219284

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Onésimo, Mesa-Cruz* / **ORC ID:** 0000-0002-0875-6852, **CVU CONACYT ID:** 488085

**DOI:** 10.35429/H.2021.12.1.26.35

J. López, A. Flores, J. Sierra y O. Mesa

\*020084@mail.unacar.mx

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

## Resumen

Este trabajo presenta el diseño y la construcción de un sistema detector de velocidad láser Doppler (LDV), con elementos de bajo coste, para realizar medidas de velocidad de un fluido en régimen laminar. El sistema permite, con mínimos cambios, realizar la adquisición de datos en dos variantes experimentales, por prospección y por retrospección. Los resultados de ambos métodos fueron procesados con Matlab y comparados. Los resultados experimentales muestran que las velocidades obtenidas con ambas propuestas se ordenan según el perfil laminar parabólico de Poiseuille, verificando que la propuesta experimental describe el comportamiento esperado para fluidos en régimen laminar.

## Fluido laminar, Doppler, Velocimetría, fotodiodo

### Abstract

This paper presents the design and construction of a Laser Doppler Velocity (LDV) detector system, with low-cost elements, to perform velocity measurements of a fluid under laminar regime. The system allows minimal changes, to perform data acquisition in two experimental variants, by prospecting and by retrospection. The results of both methods were processed with Matlab and compared. The experimental results show that the speeds obtained with both proposals are ordered according to the Poiseuille parabolic laminar profile, verifying that the experimental proposal describes the expected behavior for fluids under laminar regime.

## Laminar fluid, Doppler, Velocimetry, photodiode

### 3 Introducción

En este trabajo se presenta que el diseño y construcción de un sistema detector de Velocidades Láser Doppler (LDV, por sus siglas en inglés), con elementos de bajo costo, para efectuar mediciones de velocidad de un fluido bajo régimen laminar (A. Flores Gil, n.d.).

El sistema permite cambios mínimos, para realizar la adquisición de datos en dos variantes experimentales, por prospección y por retrospección. Los resultados de ambos métodos fueron procesados con Matlab y se confrontaron. Los resultados experimentales muestran que las velocidades obtenidas con ambas propuestas se ordenan según el perfil laminar parabólico de Poiseuille, comprobando que la propuesta experimental describe el comportamiento esperado para fluidos bajo régimen laminar.

#### 3.1 Objetivos

Implementar un sistema experimental que pueda medir la velocidad de un fluido bajo régimen laminar con características específicas, a diferentes velocidades y elementos constituyentes de bajo costo.

##### *Objetivos específicos*

- Construir un prototipo para hacer fluir una muestra líquida, con velocidad de bombeo controlado y hacer fluir un fluido con características newtonianas.
- Reproducir el arreglo óptico LDV.
- Medir las velocidades de flujo de un sistema con ayuda de un láser y la técnica LDV en medios transparentes o semitransparente.

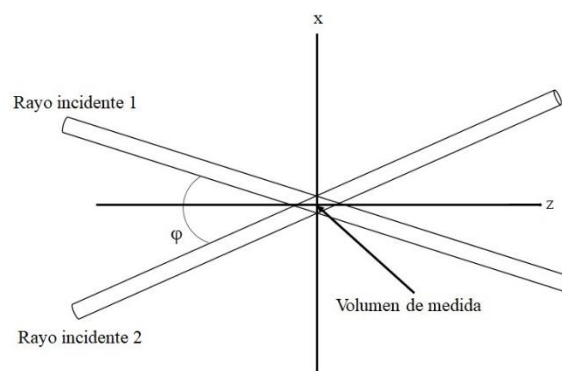
### 3.2 Justificación

El interés de esta propuesta de tesis es implementar un diseño similar al de (Fingerson & Menon, 2016), pero bajo la hipótesis de utilizar un láser de 650 nm de bajo costo y un sensor tipo fotodiodo de alta velocidad de respuesta, por la simplicidad del diseño se tiene una gran versatilidad, ya que con cambios mínimos en configuración de elementos, se pueden hacer pruebas en diferentes ángulos y con diferentes fluidos. De ser cierta la hipótesis, se tendrá un sistema menos robusto y costoso para medir la velocidad de fluidos en medios transparentes o semi transparentes.

### 3.3 Descripción de Método

La construcción e implementación de un sensor que se capaz de determinar la velocidad de un fluido bajo el régimen laminar aprovechando el funcionamiento de la técnica de anemometría láser Doppler más conocida como LDA o LDV (Haddadi et al., 2018), en esta técnica vemos cómo dos haces procedentes de un único láser se cruzan para formar el volumen de medida (Figura 3.1).

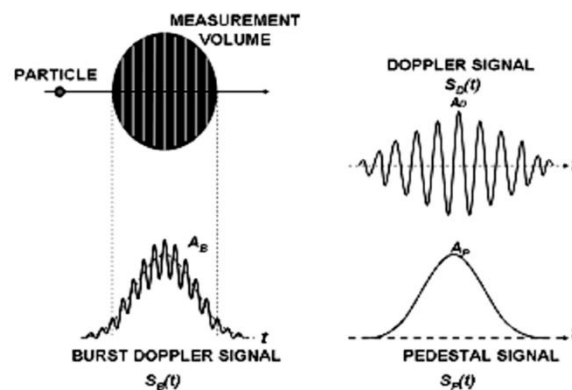
**Figura 3.1** Fenómeno Doppler, volumen de medida



*Fuente: Elaboración propia*

La interferencia de estos dos haces produce el patrón de franjas que puede observarse en la Figura 3.2. Cuando las partículas arrastradas por el flujo atraviesan el volumen de medida, la luz dispersada por aquéllas tiene una variación en la frecuencia respecto a la luz original por efecto Doppler. Esta variación de frecuencia se denomina frecuencia Doppler  $f_D$ , y su valor es igual a la velocidad de la partícula dividida entre el espaciado entre franjas de interferencia  $d_f$ . La luz dispersada es recogida por el fotodetector que convierte la luz en señal eléctrica y hace posible la medida de su frecuencia.

**Figura 3.2** Volumen de medida y señal Doppler



Fuente: (Ord, 2013)

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda de la luz del láser, y  $\varphi$  es el ángulo entre los dos haces de luz láser. La fuente de luz utilizada en este experimento es un láser a 650 nm, se usa un cubo divisor de haz 50/50, para dividir el haz original en dos haces con intensidades aproximadamente iguales. Los dos haces paralelos mediante el uso de un espejo pasan a través de una primera lente cuyo punto focal está alineado con el centro del tubo de flujo.

La propuesta experimental se montó en un módulo como se muestra en la Figura 3.3, dicho módulo se subdivide en tres sistemas (Sistema de recirculación de fluido, Fuente laser, prismas ópticos y sistema de desplazamiento horizontal y Módulo de adquisición de datos) cada uno de los elementos de dicha propuesta se describirán posteriormente.

**Figura 3.3** Propuesta experimental LDV



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4 Sistema de recirculación de fluido

#### *Bomba*

Para el sistema de circulación de agua empleamos una bomba jhonson modelo 2853 con voltaje de operación de 12 voltios y 3 amperes de corriente. La bomba tiene una conexión de salida de una pulgada un octavo (1-1/8"). Esta bomba es auto refrigerante, ya que es sumergible. Por la geometría y el diseño del impulsor, tiene una gran capacidad para dejar pasar partículas milimétricas (si en algún momento si tuviera que dopar el fluido con partículas).

**Figura 3.4** Bomba sumergible Jhonson 2853



*Fuente: Elaboración propia*

### *Tubo de policarbonato claro*

Para el área de detección se usó un tubo claro de policarbonato de una pulgada y un octavo (1-1/8”), como se muestra en la Figura 3.5, el tubo es lo suficientemente “cristalino” para dejar ver claramente a través de él. En la propuesta experimental se montó un tramo de longitud de 40 centímetros para poder tomar muestras en diferentes puntos del trayecto del fluido.

**Figura 3.5** Tubo de policarbonato transparente 40 cm



*Fuente: Elaboración propia*

### *Medidor de flujo digital*

Para tener un patrón de referencia de velocidad de fluido, se optó por un medidor de fluido digital, el medidor tipo turbina con lectura digital de alta confiabilidad y precisión ( $\pm 1\%$ ). Este medidor de fluido digital es capaz de soportar diferentes fluidos como diésel, urea, queroseno, gasolina, etc.

**Figura 3.6** Medidor de flujo digital (patrón de referencia)



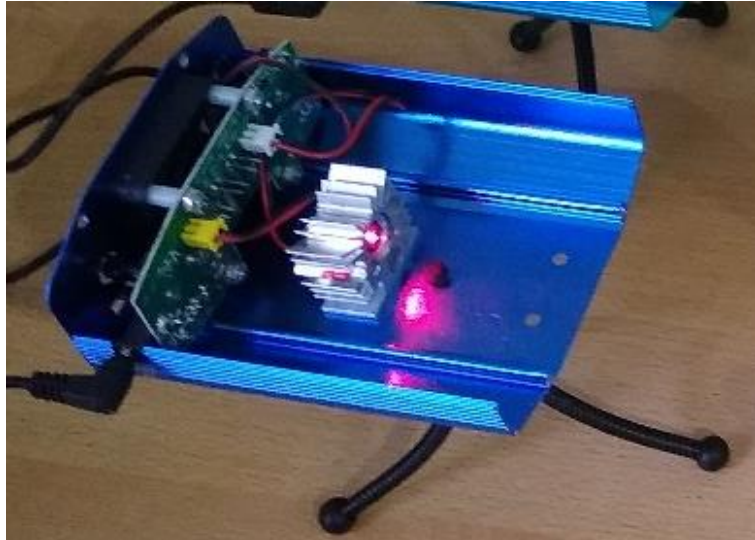
*Fuente: Elaboración propia*

## **3.5 Fuente laser, prismas ópticos y sistema de desplazamiento horizontal**

### *Láser*

Fuente láser de 650 nanómetros con 60 mW, este láser es usado como fuente de luz para nuestro sistema de emisión monocromática. Se eligió este láser por sus características de bajo costo y presencia en el mercado haciéndolo idóneo para nuestro propósito.

**Figura 3.7** Laser 650 nanómetros, 60 mW



*Fuente: Elaboración propia*

### *Arreglo de prismas ópticos*

La posición de las lentes biconvexas y prismas que reproducen el fenómeno Doppler, se sitúan de manera tal que el punto focal se focaliza dentro de nuestro volumen de medida. En la Figura 3.8 se muestran los elementos debidamente ubicados para la recreación del fenómeno óptico.

**Figura 3.8** Arreglo óptico de prismas y lentes biconvexas

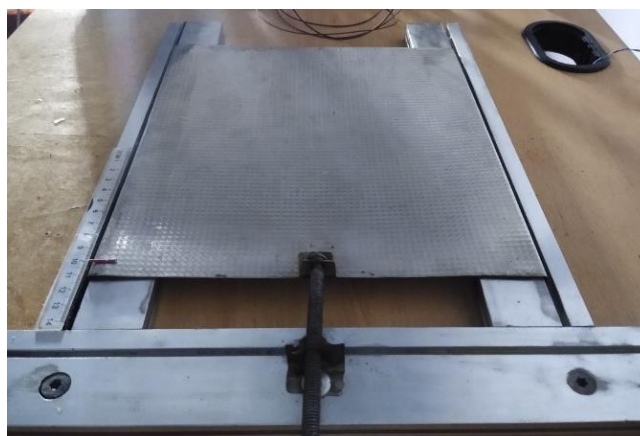


*Fuente: Elaboración propia*

### *Sistema de desplazamiento horizontal*

El sistema de desplazamiento horizontal (respecto a la superficie) consta de una bandeja de acero inoxidable con rieles laterales, estos actúan como guía para que el sistema tenga un desplazamiento uniforme. Para tener control de los saltos milimétricos nos apoyamos en una escala graduada longitudinal grabada en un lateral de nuestra bandeja de desplazamiento, con esta escala determinamos visualmente el deslizamiento de nuestro sistema

**Figura 3.9** Bandeja de desplazamiento horizontal



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.6 Módulo adquisición de datos y sistema detector

#### Módulo de adquisición de datos

Para la toma de muestras se optó por un osciloscopio digital “Owon” modelo SDS1022, con ancho de banda de 20 MHz, que debido a sus características consideramos que era ideal para nuestro propósito. Cuando el osciloscopio detecta ya una señal, se despliega en el display una forma de onda que hemos de interpretar como fluctuaciones de amplitud provenientes del sensor. Para ajustar los parámetros deseados usamos la escala de 500 nanosegundos con división en canal uno de 200 milivolts. Los datos son almacenados en un archivo de texto (.txt) y ordenado en dos columnas, numero de muestra y amplitud. Con este desplegado de datos podemos extraerlos de manera fácil para análisis posterior.

**Figura 3.10** Osciloscopio Owon SDS1022

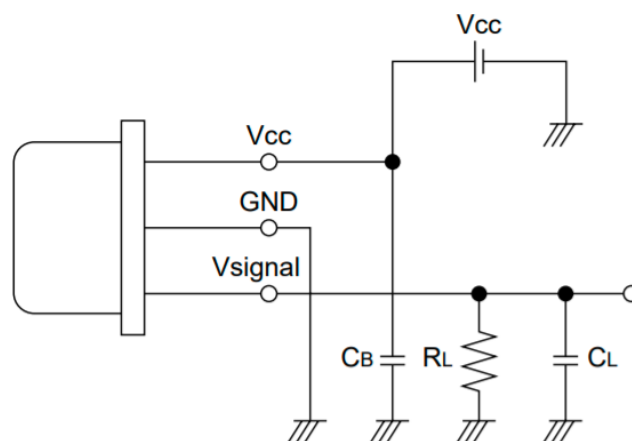


*Fuente: Elaboración propia*

#### Circuito detector

El sistema de detección con base en un fotodiodo se montó en una placa fenólica conforme a la especificación del fabricante en la Figura 3.11, se muestra el fotodiodo acompañado de elementos resistivos y capacitivos, dichos elementos tienen la función de reducir las señales parasitas (ruido), que se pudieran presentar en nuestro sistema y que son ajenas a las señales deseadas.

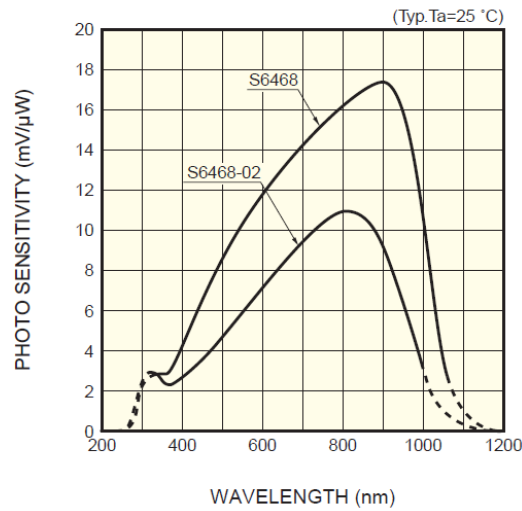
**Figura 3.11** Diagrama de conexión de fotodiodo s6468



*Fuente: (Pin, n.d.)*

Según las características del fabricante el fotodiodo S6468 cuenta con una respuesta espectral entre 320 y 1060 nm, con una temperatura de operación típica de 25 grados Celsius. Como podemos observar en la *Figura 3.11*, el fotodiodo tiene la máxima sensibilidad en 900 nm, pero cuenta con una buena sensibilidad que va desde los 600 a los 1060 nm.

**Figura 3.11** Foto sensibilidad fotodiodo S6468

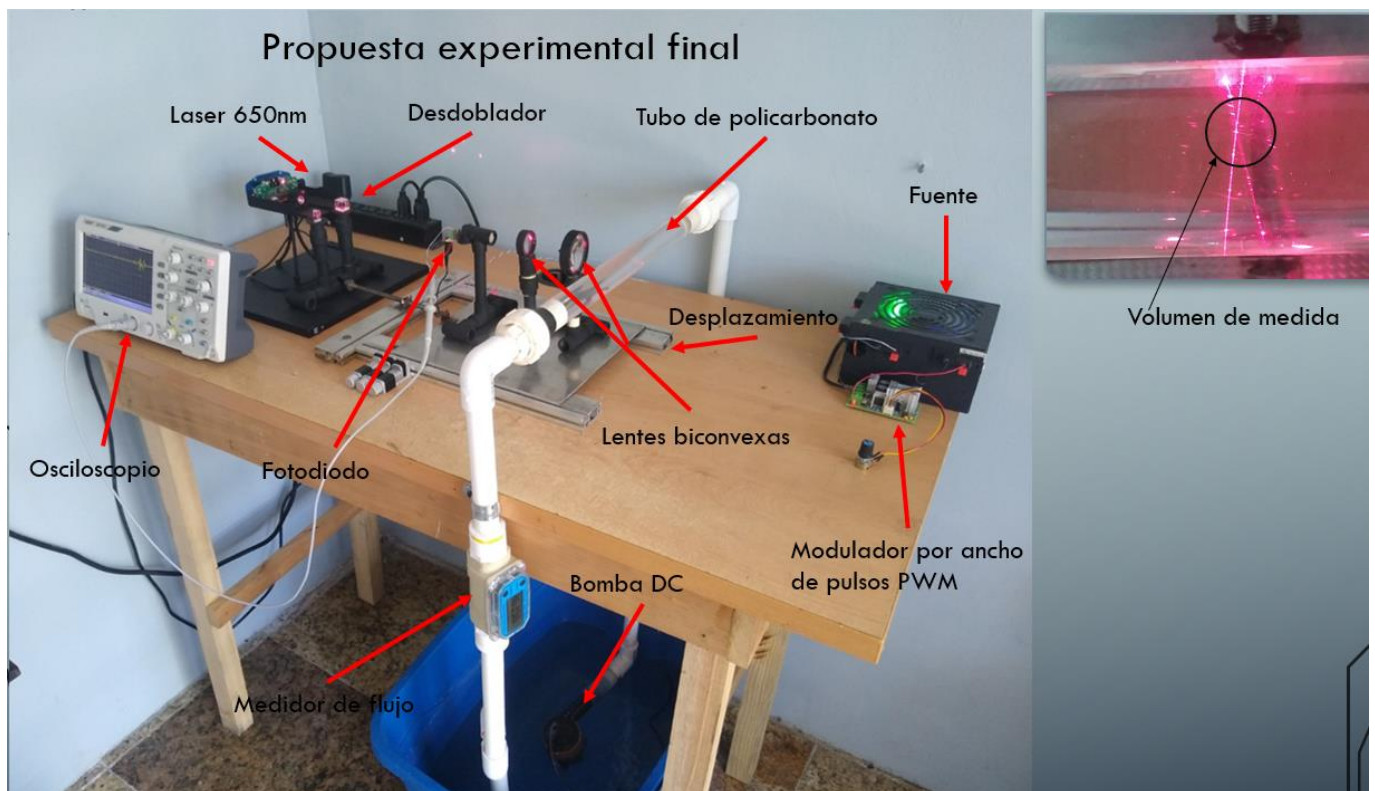


Fuente: (Pin, n.d.)

### 3.7 Experimento y resultados

Conforme a los datos recabados se analizaron con el programa Matlab, pasando del estado temporal al estado frecuencial usando la transformada rápida de Fourier, las gráficas resultantes muestran un cambio de estado temporal al frecuencial y nos muestra la amplitud máxima la cual interpretamos como la frecuencia Doppler experimental  $f_D$ . Posterior al análisis y durante todo el recorrido del medio, reproducimos el contorno parabólico necesario para determinar el perfil característico de los fluidos laminares.

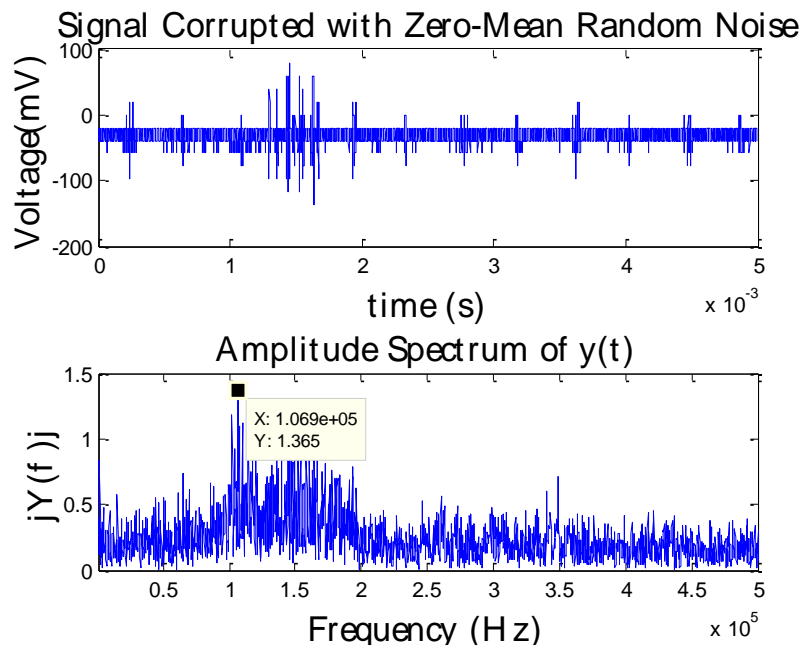
**Figura 3.12** Propuesta experimental integrando los tres submódulos



Fuente: Elaboración propia



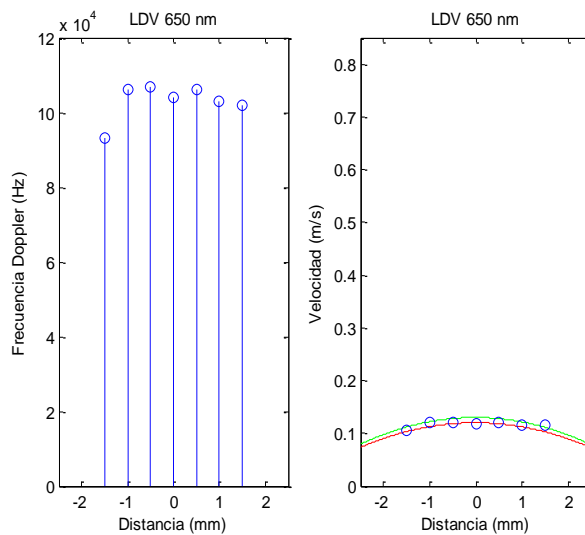
**Gráfico 3.1** Transformada rápida de Fourier de temporal a frecuencial



Fuente: Elaboración propia

Con el universo de datos recabados y tomando en cuenta solo las amplitudes máximas de frecuencia se delimitaron los datos, se desplegaron los valores gráficamente de los puntos ya acotados, que demuestran que nuestro fluido se comporta de manera laminar, ya que se reproduce la parábola característica de nuestro perfil laminar.

**Gráfico 3.2** Relación de frecuencia Doppler contra velocidad



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.1** Concentrado de velocidades en barrido horizontal del tubo de policarbonato

Dist. en mm	Muestra 1 velocidad (m/s)	Muestra 2 velocidad (m/s)	Muestra 3 velocidad (m/s)	Muestra 4 velocidad (m/s)	Muestra 5 velocidad (m/s)	Muestra 6 velocidad (m/s)
2	0.1115	0.1176	0.1165	0.1685	0.1697	0.1719
6	0.181	0.121	0.1595	0.1131	0.1244	0.1278
10	0.1629	0.1278	0.1233	0.1267	0.1188	0.1188
14	0.121	0.121	0.1165	0.1289	0.1165	0.1855
18	0.1188	0.1154	0.1482	0.1685	0.1278	0.1188
22	0.1154	0.1176	0.1176	0.1697	0.1674	0.1222
26	0.1855	0.1697	0.1165	0.1176	0.1357	0.1222

Fuente: Elaboración propia

### 3.8 Conclusiones

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que se logró determinar la velocidad de flujo de un fluido bajo el régimen laminar con el método propuesto, por lo tanto, la propuesta de la implementación y construcción de un sistema de bajo costo para medir velocidad de flujo a través del fenómeno óptico Doppler fue satisfactoria, podemos aseverar que este sistema es capaz de determinar la velocidad de fluidos newtonianos que se comporten de manera laminar. El arreglo óptico con láser de 650nm y sensor tipo diodo nos proporcionaron los elementos suficientes para determinar el comportamiento de nuestro fluido.

Vale la pena resaltar que aunque bien nuestro sistema se construyó para el objetivo planteado, para realizar mediciones de frecuencias Doppler en el volumen de medida o zona de interferencia, también se le pueden hacer adecuaciones, en la cual se tenga que incluir lentes cilíndricas, y una cámara rápida y de alta sensibilidad, se puedan realizar estudios de velocimetría por imágenes de partículas, para identificar el comportamiento del fluido entre otras variantes, al pasar por zonas con obstáculos VILLA HERRERA, J. E. (2021).

### 3.9 Referencias

- Flores Gil, A (n.d.). *Implementación de un velocímetro láser Doppler unidimensional con fibras ópticas*.
- Fingerson, L. M., & Menon, R. K. (2016). Laser doppler velocimetry. *Handbook of Fluid Dynamics: Second Edition*, 47.1-47.14. <https://doi.org/10.2184/lj.8.484>
- Haddadi, B., Gasser, C., Jordan, C., Harasek, M., & Lendl, B. (2018). Simultaneous Laser Doppler Velocimetry and stand-off Raman spectroscopy as a novel tool to assess flow characteristics of process streams. *Chemical Engineering Journal*, 334(August 2017), 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.10.027>
- Ord, C. F. (2013). Implementation and calibration of a laser Doppler velocimeter in order to measure liquids velocity. *Revista Mexicana de Física*, 59(1), 84–89.
- Pin, S. (n.d.). *Si PIN photodiode with preamp S6468 series*. 4–5.
- Villa herrera, J. E. (2021). *evaluación del efecto de la obstrucción de una columna en el flujo de agua en un canal mediante velocimetría por imágenes de partículas (doctoral dissertation, universidad autónoma de chihuahua)*.