

ANEMÓMETRO LASER DOPPLER PARA LA MEDIDA DE DOS COMPONENTES DE VELOCIDAD PARA APLICACIONES HIDRODINÁMICAS (2D- LDA)

David García-Vizcaíno, Federico Dios, Alejandro Rodríguez, Adolfo Comerón,
Francisc Rocadenbosch, Constantino Muñoz

Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions (TSC). Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

dgarcia@tsc.upc.es

ABSTRACT

A *Laser Doppler Anemometer* system designed to measure two components of the velocity vector in fluids is presented. The scheme followed is the differential technique with *backward scattering* configuration. The scheme uses three laser beams crossing at the point of measure. Two of the beams pass through frequency shifters in order to displace the zero reference of each velocity component. The bursts reflected by the particles in the fluid are detected and mixed on the surface of an APD, which is used as an optical detector.

The system can work in real time with a rate of 30 measurements per second. It has been designed to detect velocities up to 3 m/s which is a current limit in hydrodynamic experiments. The error committed is about 1% and both signs of the velocity are distinguished.

1. INTRODUCCIÓN

Para determinar la velocidad de blancos sólidos, fluidos y/o gases en movimiento mediante técnicas que utilicen el concepto de desplazamiento Doppler de la luz láser, fueron demostradas por Yeh y Cummins [1] en los años sesenta. Existen diferentes técnicas, basadas en el efecto Doppler [2], que nos permiten medir y detectar la velocidad de blancos en movimiento, las cuáles pueden ser descritas de forma general como *Laser Doppler Anemometry*, comúnmente conocidas por LDA para aplicaciones sobre fluidos o gases.

Una de ellas, la técnica diferencial Doppler o de franjas, permite conocer la velocidad de blancos en movimiento en condiciones de SNR muy bajas, característica de los fluidos, mediante la focalización de dos (o más) haces de luz sobre un punto del blanco. La luz retrodispersada por las partículas del fluido es focalizada sobre un fotodetector, obteniéndose un batido de frecuencia igual a la diferencia del desplazamiento Doppler correspondientes a los dos ángulos de dispersión, donde la velocidad de la partícula será proporcional a esta frecuencia de batido, y función de otros parámetros del sistema (ángulo entre haces y longitud de onda del láser).

Una interpretación más sencilla del fenómeno de batido de la técnica diferencial, es plantear el proceso a partir de fenómenos de interferencia óptica (de ahí la llamada técnica de franjas). La región donde dos (o más) haces focalizan, forma una zona de franjas de interferencia llamada volumen de scattering (Fig.1)

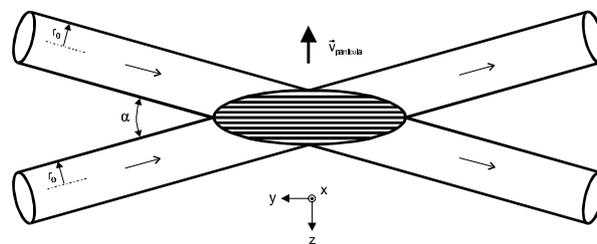


Figura 1. Modelo de franjas producido por la interferencia de dos haces en la técnica diferencial LDA.

La señal retrodispersada por las partículas del fluido al pasar por ella, es recibida sobre la superficie del detector (señal *burst*), apareciendo una modulación de la intensidad que es debida a la variación en la iluminación de las partículas del fluido que atraviesan la red de franjas oscuras y/o iluminadas (señal Doppler), y añadida a ella una señal pedestal producida por el perfil gaussiano de la luz láser (señal pedestal).

Esa variación periódica de la señal Doppler, frecuencia Doppler f_D , será proporcional a la velocidad de las partículas que pasan a través del volumen de scattering en la dirección perpendicular a la bisectriz que forman los haces de iluminación, α es el ángulo entre los haces de incidencia y l es la longitud de onda del láser, parámetros de diseño para la elección del tamaño óptimo de las partículas a detectar.

$$v_z = f_D \cdot \frac{l}{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad (1)$$

2. SISTEMA 2D-LDA

El objetivo de este sistema es utilizar la técnica diferencial para detectar dos componentes de la velocidad de las partículas que fluyen por un fluido y discriminar el sentido de movimiento. El sistema final, denominado 2D-LDA, se presenta en la figura 2.

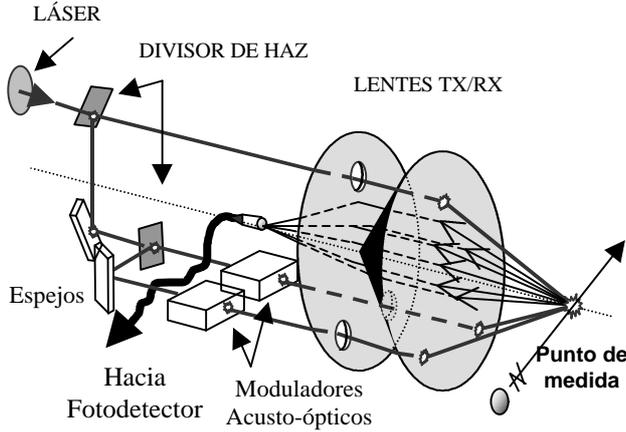


Figura 2. Sistema 2D-LDA.

Se utiliza como transmisor un láser de Nd:YAG (250 mW @532nm), y como receptor un APD seguido de un amplificador de transimpedancia. La luz generada por el láser es dividida en tres haces, mediante dos beamsplitters y un conjunto de espejos. Dos de los haces son desplazados en frecuencia mediante dos moduladores acusto-ópticos de valor $f_{AOM1}=39.1\text{MHz}$, y $f_{AOM2}=45.1\text{MHz}$, y mediante una lente se focalizan los tres haces sobre el blanco $\alpha=4.5^\circ$, formando un ángulo de 120 grados entre ellos. Parte de la luz dispersada por las partículas será recogida por las dos lentes (señal *burst*), y focalizada sobre una fibra óptica para ser tratada por un modulo fotodetector.

La interferencia producida por el cruce de tres haces de perfil gaussiano en un punto del fluido forman tres zonas de franjas, por interferencia de los haces dos a dos. Las partículas atraviesan las zonas de scattering, obteniéndose una señal *burst* (2), formada por una componente de baja frecuencia debida a la señal del pedestal y a otra de alta frecuencia (señal Doppler), formada por dos tonos centradas a las frecuencias de los AOM que serán proporcionales a las dos componentes de la velocidad a detectar v_1 y v_2

$$S(t) = A_p \cdot e^{-\left(\frac{2t}{T_{Trans}}\right)^2} [1 + [g \cdot (A_{S1} \cos(w_1 t) + A_{S2} \cos(w_2 t))]] \quad (2)$$

$$w_1 = 2p(f_{AOM1} \pm f_{D1}) \quad (3)$$

$$w_2 = 2p(f_{AOM2} \pm f_{D2}) \quad (4)$$

Donde T_{Trans} es el tiempo de tránsito de la partícula por la zona de medida, A_p la amplitud de la señal pedestal, A_{S1} y A_{S2} las amplitudes de las frecuencias Doppler y γ a la profundidad de modulación de la señal Doppler frente a la componente del pedestal. Las dos componentes de la velocidad serán v_1 y v_2 :

$$v_1 = \pm f_{D1} \frac{l}{2 \cdot \sin(\alpha/2)} \quad (5)$$

$$v_2 = \pm f_{D2} \frac{l}{2 \cdot \sin(\alpha/2)} \quad (6)$$

Mediante un subsistema electrónico de acondicionamiento, se consigue desplazar el espectro de la señal Doppler a una frecuencia intermedia de 3MHz, para su posterior procesado digital [5] mediante una tarjeta de adquisición de datos, frecuencia de muestreo 20MHz, la cual realiza la estimación espectral [3][6] y presentación de datos en un entorno Visual C++ en un PC a tiempo real, consiguiendo un error máximo en la medida del 1%, realizando unas 30 medidas por segundo.

3. CONCLUSIONES

Este sistema 2D-LDA permite detectar dos componentes de la velocidad de fluidos reversibles en tiempo real, de media potencia para entornos hidrodinámicos, con un sistema robusto, y con un error máximo del 1%. El sistema presenta la capacidad de realizar unas 30 medidas por segundo, con el fin de poder seguir los fenómenos hidrodinámicos más habituales, facilidad de operación en un entorno gráfico, potente, pero sencillo.

4. AGRADECIMIENTOS

El Gobierno Español financia este trabajo a través del programa CICYT PETRI 95-0249-OP, en colaboración con la empresa Monocrom S.L.

5. REFERENCIAS

- [1] L.E. Drain, *The Laser Doppler Technique*, Addison-Wesley (1975).
- [2] Yeh, Y. and Cummings H. Z., "Localized fluid flow measurements with an HeNe laser spectrometer", *Applied Physics Letters*, 4, 176-8 (1964)
- [3] F. Dios, A. Comerón, D. García-Vizcaíno, "On the choice of the number of samples in Laser Doppler Anemometry signal processing", en *Optical Engineering*, aceptado para su publicación
- [4] "Selected Papers on Laser Doppler Velocimetry", SPIE Milestone Series Vol. MS78. R.J. Adrian, 1993.
- [5] Y. Ikeda and T. Nakajima. "Burst digital correlator as laser-Doppler velocimetry signal processor", *Appl. Opt.* **35**(18), 3243-3249 (1996).
- [6] P.M. Howard and R.V. Edwards. "Implementation of a likelihood ratio test for laser Doppler velocimeter burst detection", *Appl. Opt.* **36**(30), 7629-7638 (1997).