



Reconstrucción de Imágenes Schlieren y Shadowgraph a partir del índice de refracción



Porta Zepeda David, Echeverría Arjonilla Carlos, Stern Forgach Catalina. Facultad de Ciencias, UNAM. davidporta@ciencias.unam.mx, carlosea1982@ciencias.unam.mx, catalina@ciencias.unam.mx

Desde el siglo XVII, se descubrió que era posible observar cambios en la densidad de líquidos y gases con métodos ópticos. Estas técnicas han sido mejoradas y usadas para ver el comportamiento de fenómenos que presentan un cambio en su densidad (Settles 2001). Sin embargo, la interpretación de las imágenes obtenidas por estas técnicas no es intuitiva ni sencilla. En este trabajo se determinan la primera y segunda derivadas por métodos numéricos a partir de la distribución espacial del índice de refracción de un flujo supersónico ($M=2$), obtenido por Porta (2015) con la técnica BOS (Background Oriented Schlieren), y se comparan con imágenes schlieren y shadowgraph del mismo flujo.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas schlieren y shadowgraph, son métodos ópticos no intrusivos que permiten ver cambios locales en el índice de refracción en medios transparentes, estos a su vez se pueden asociar a cambios de densidad por medio de la ecuación de Gladstone-Dale.

$$n - 1 = k\rho$$

En general, las técnicas se utilizan solamente para visualizar los fenómenos y tener una noción cualitativa de los mismos. Sin embargo, su interpretación no siempre resulta intuitiva ni fácil.

Si un haz de luz paralelo atraviesa una zona donde se tienen cambios locales de densidad, la luz se desviará un ángulo respecto a su trayectoria original. Al concentrar estos rayos con la ayuda de una lente, no todos coincidirán en su foco y la imagen producida por estos rayos es una imagen shadowgraph. Si en el foco se coloca una navaja, tal que obstruya algunos de los rayos desviados, se obtiene una imagen Schlieren (Porta 2013). El arreglo del schlieren se muestra en la figura 1.

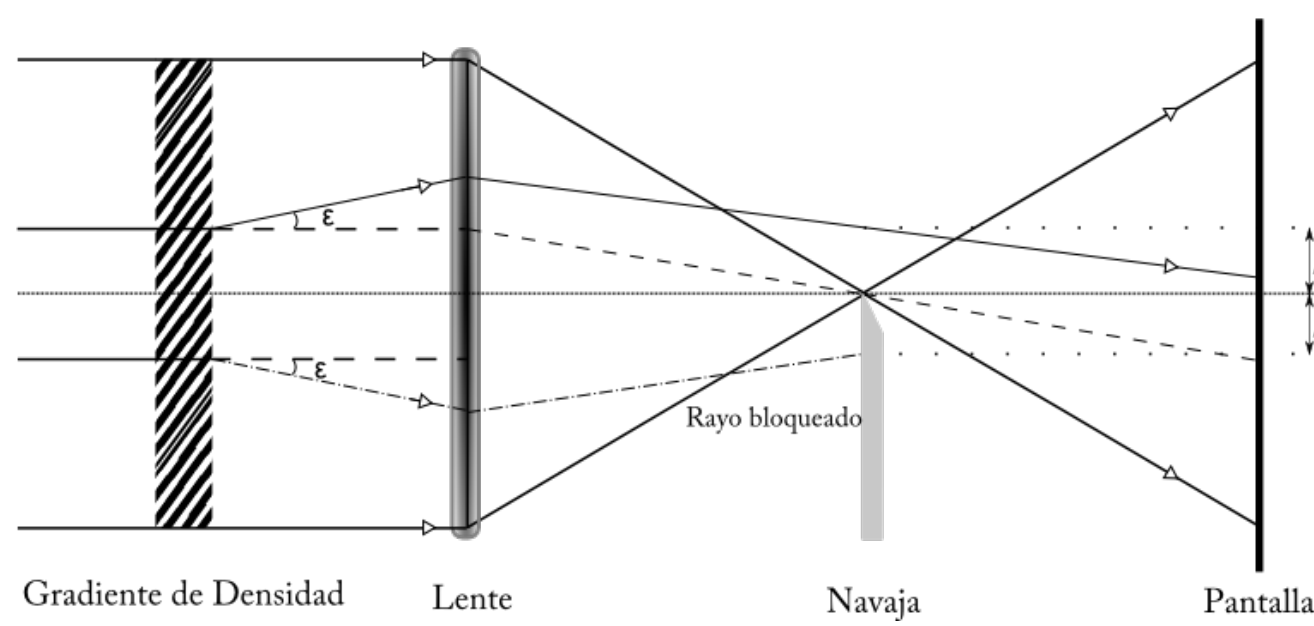


Figura 1.- Arreglo experimental de Schlieren

Con la técnica shadowgraph se obtiene la segunda derivada espacial de la densidad, mientras que con la técnica Schlieren se obtienen los cambios de densidad que están en dirección perpendicular a la posición de la navaja (Goldstein 1996). Esto se puede ver en las siguientes ecuaciones:

$$\frac{\Delta I}{I_k} = \pm L \int \frac{1}{n} \frac{\partial^2 n}{\partial y^2} dz \quad \frac{\Delta I}{I_k} = \pm \frac{f}{a_k} \int \frac{1}{n} \frac{\partial n}{\partial y} dz$$

En 1999 Meier patentó la técnica Background Oriented Schlieren (BOS), la cual permite determinar los valores de la densidad. La técnica consiste en medir los desplazamientos aparentes de un patrón conocido producidos por los cambios locales en el índice de refracción. Los desplazamientos aparentes se determinan mediante un algoritmo de correlación cruzada.

El siguiente paso es resolver numéricamente la siguiente ecuación de Poisson cuyo término fuente está compuesto por las derivadas de los desplazamientos (Porta 2015).

$$\nabla^2 \rho \approx S(x, y)$$

A partir de la técnica BOS se obtuvieron los campos de índice de refracción de un flujo supersónico con un número de Mach de 2, el cual es producido por una tobera recta de 4 mm de diámetro (Porta 2015). En la figura 3 se pueden apreciar los resultados.

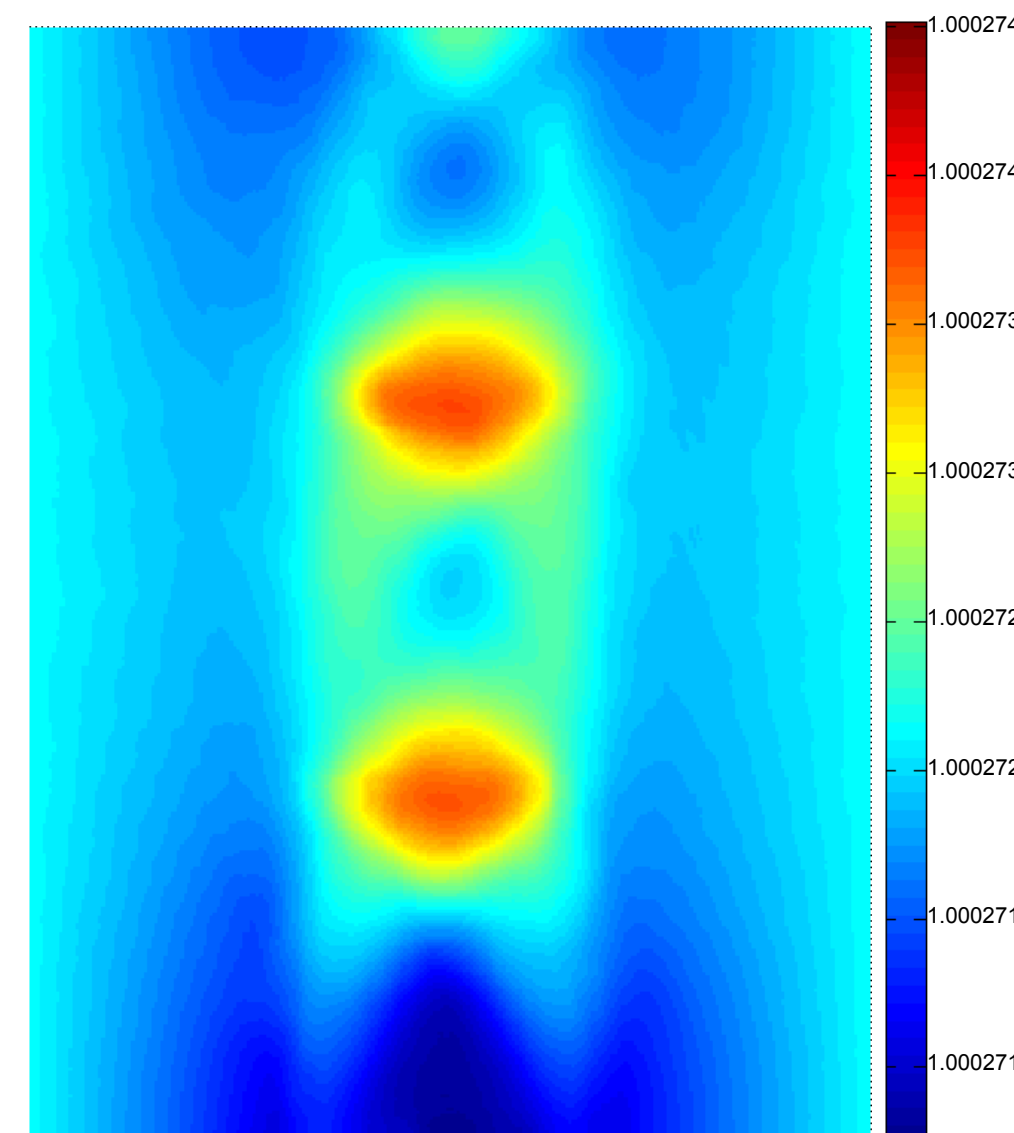


Figura 2.- Campo escalar del Índice de Refracción del flujo supersónico, obtenido a partir de BOS.

RESULTADOS

Usando los datos del campo del índice de refracción obtenidos mediante la técnica BOS, se reconstruyeron imágenes schlieren y shadowgraph usando algoritmos de diferencias finitas en dos dimensiones.

La interpretación de Schlieren es que se obtienen los cambios en dirección perpendicular a la posición de la navaja. Esto matemáticamente corresponde a una derivada direccional. El shadowgraph corresponde a una segunda derivada.

Los resultados obtenidos (figura 5) se compararon visualmente con imágenes reales de Schlieren y shadowgraph tomadas con un arreglo óptico conocido con Schlieren Z (Figura 4), en donde la navaja obstruye al rededor del $50 \pm 10\%$ de la luz.

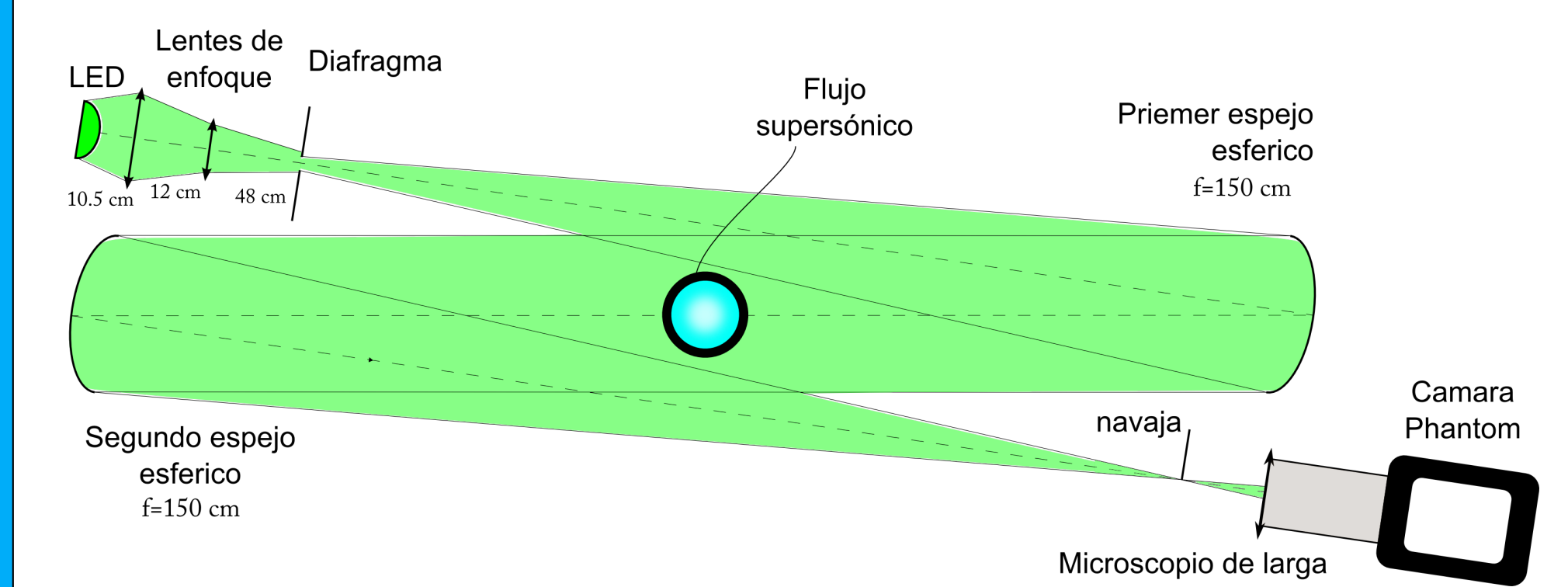


Figura 3.- Arreglo experimental de Schlieren Z

Se aprecian similitudes entre los resultados numéricos y las imágenes shadowgraph y Schlieren: en las imágenes Schlieren se ven regiones claras y oscuras cuya localización es análoga en ambos casos: en las imágenes shadowgraph la comparación es más difícil debido al error numérico acarreado, como líneas diagonales. Sin embargo se aprecian en algunas regiones las características de su contraparte.

CONCLUSIONES

Se obtuvieron imágenes de Schlieren y shadowgraph basados en los campos de índice de refracción que se compararon cualitativamente (visualmente) con imágenes reales de un flujo supersónico a Mach 2. Se encuentran muchas similitudes cualitativas.

Hay una correspondencia entre la derivada direccional y las imágenes schlieren obstruidas un 50%.

Al generar las imágenes schlieren a partir de los datos obtenidos por BOS y que resultan equiparables con las imágenes reales, se puede concluir que, efectivamente, la técnica BOS arroja los campos de densidad correctos.

Este estudio ayuda a comprender el significado de las imágenes schlieren como las regiones donde los cambios de densidad son más grandes y no las regiones en donde la densidad es más grande, las cuales no tienen por qué coincidir. En el shadowgraph se ven las regiones donde el cambio de densidad es mayor.

Agradecemos el apoyo de la UNAM a través de DGAPA PAPIIT IN117712.

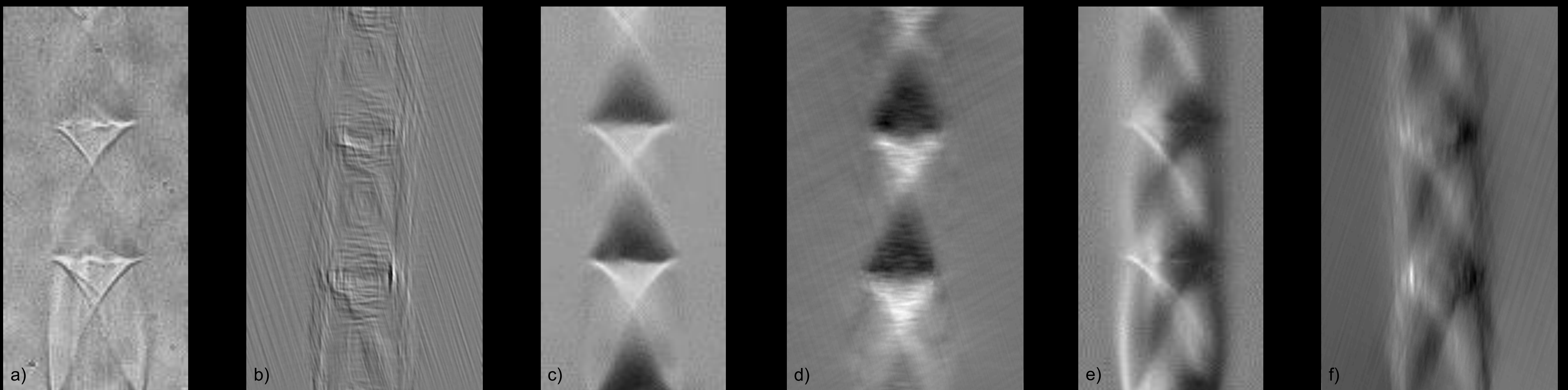


Figura 4.- a) Fotografías shadowgraph, b) Reconstrucción numérica de shadowgraph, c) Fotografía Schlieren con la navaja horizontal metida un 50%, d) Reconstrucción numérica de Schlieren horizontal, e) Fotografía Schlieren con la navaja vertical metida un 50%, f) Reconstrucción numérica de Schlieren vertical.

REFERENCIAS

- Goldstein R. J, Khehn T. H (1996), Fluid Mechanics Measurement, 2nd Edición. Edit. Hemisphere, USA. Capítulo 7 pp. 451-476.
- Meier G E A (1999) Hintergrund-Schlierenverfahren Deutsche Patentanmeldung DE 19942856 A1.
- Porta Zepeda David (2013). Estudio de interfaces en un flujo supersónico mediante shadowgraph (gráfica de sombras), Tesis de Licenciatura, UNAM.
- Porta Zepeda David (2015). Estudio de interfaces en un jet supersónico axisimétrico usando Schlieren con un fondo como referencia. Tesis de Maestría, UNAM.
- Settles G. S. (2001) Schlieren and Shadowgraph Techniques, Visualizing Phenomena in Transparent Media. Springer, USA.