

INTERFERÓMETRO HOLOGRÁFICO SENCILLO PARA DEMOSTRACIONES

G. Romero*, C. Martínez, E. Alanís

Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Exactas, Departamento de Física,
Buenos Aires 177 (4400) Salta

Se describe la construcción de un pequeño interferómetro holográfico, compuesto de elementos de fácil adquisición, para su utilización con fines didácticos. Se ilustran algunas experiencias demostrativas que pueden llevarse a cabo.

I. INTRODUCCIÓN

Cuando se reconstruye la imagen holográfica de un objeto iluminando, el holograma con un haz reconstructor idéntico al haz de referencia utilizado en la construcción, esta imagen está ubicada respecto de la placa, en el mismo lugar que ocupaba el objeto y posee las mismas dimensiones que éste. En otras palabras, la holografía nos permite almacenar frentes de onda y reconstruirlos en un tiempo posterior. Gracias a esta propiedad, frentes de onda que no existen simultáneamente, pueden ser inducidos a interferir. De la misma manera que en interferometría convencional, la observación de las franjas que se forman nos permite comparar los campos y, consecuentemente, también los objetos en los cuales ellos se originan.

Una de las técnicas básicas utilizadas se describe a continuación y es la que proponemos en este trabajo. En algunas aplicaciones es deseable observar la respuesta de un objeto de prueba sometido a diversas acciones mecánicas o térmicas, a tiempo real. Ésto puede ser logrado por la *Interferometría Holográfica a tiempo real*, en la cual la luz dispersada por un objeto interfiere con la onda de luz proveniente de su imagen virtual reconstruida holográficamente. Para ello puede utilizarse un sistema holográfico típico en el que se realiza una simple exposición holográfica del objeto en su configuración estática inicial. La placa es removida del aparato, procesada y devuelta a su posición original en el sistema holográfico. El holograma será iluminado simultáneamente por la onda de referencia y por la onda dispersada por el objeto. Un observador que mira a través del holograma recibirá luz proveniente de la imagen holográfica virtual del objeto y tam-

bién luz que es dispersada por el objeto y transmitida a través del holograma. Estas dos ondas son coherentes y en condiciones ideales se superponen exactamente en el espacio. En las condiciones descritas, si el objeto es ahora ligeramente deformado, el frente de onda que de él proviene no coincidirá exactamente con el frente de onda proveniente de la imagen holográfica y al ser estas ondas coherentes producirán un patrón de interferencia que reflejará los cambios experimentados por el objeto en el instante en que se producen.

Lo anterior es aplicable tanto a objetos opacos como transparentes, en cuyo caso es la luz transmitida por el mismo la que se analiza interferencialmente y son las variaciones locales de índice de refracción, inducidas por las acciones externas, las que dan lugar a la formación del patrón de interferencia.

Si bien la evaluación cuantitativa de las deformaciones por este método requiere de equipamiento y entrenamiento adecuados, es posible no obstante el montaje de una experiencia demostrativa destinada a alumnos de un curso a nivel universitario. El objetivo del presente trabajo es la descripción de una experiencia de *interferometría holográfica a tiempo real en medios transparentes*, que puede llevarse a cabo con elementos disponibles en un laboratorio de óptica.

Siendo la etapa más delicada el procesamiento de la placa holográfica, es conveniente poseer una experiencia previa con un *kit* elemental de holografía.

II. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

El sistema holográfico a emplear es una ver-

*Becaria del CONICET

sión sencilla, de un solo haz, tal como se ilustra en la Fig. 1 y cuyo montaje se describe en la siguiente sección. El sistema está dispuesto para registrar el frente de onda proveniente de un difusor transparente cuya imagen, luego de procesada la placa y reposicionada en el dispositivo, se superpondrá espacialmente con el difusor.

Como se ha dicho en la introducción, los frentes de onda provenientes de la imagen reconstruida y del propio objeto coinciden en el espacio del otro lado del holograma. En el caso que nos ocupa, las deformaciones en el frente de onda proveniente del objeto *no* se inducirán actuando sobre éste, sino produciendo variaciones de índice de refracción del aire contenido en el volumen abarcado por el haz que lo ilumina (haz objeto). En este caso, el rol del difusor es el de producir una fuente extensa que nos permita visualizar el patrón de interferencia, al difundir la luz en todas direcciones. Las perturbaciones de la distribución de índice de refracción en el haz objeto pueden lograrse generalmente mediante variaciones de la temperatura del aire o interponiendo diversos objetos transparentes en su recorrido. Por ejemplo, si se coloca una llama detrás del difusor, podrán apreciarse las variaciones de índice de refracción producidas por el gradiente de temperaturas alrededor de la llama, en forma de franjas de interferencias como se ilustra en las fotografías de las Figs. 2 y 3.

III. MONTAJE DE LA EXPERIENCIA

ELEMENTOS NECESARIOS:

- 1) Láser de He-Ne (≈ 3 a 5 mW de potencia).
- 2) Objetivo de microscopio (≈ 40 x).



Fig. 2. Fotografía del dispositivo donde se ha utilizado un espejo de reenvío. La foto pequeña ha sido tomada a través del holograma, sin la luz ambiente, y se aprecian las franjas de interferencia producidas por la llama de la vela, interpuesta en el haz objeto.

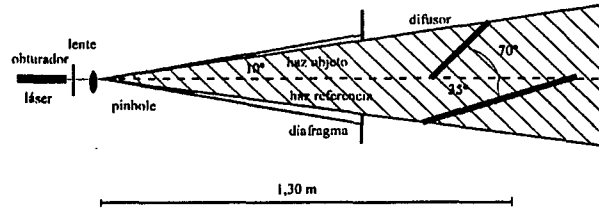


Fig. 1. Esquema del dispositivo experimental, vista en planta.

- 3) Difusor transparente (vidrio despolido de $\approx 6 \times 9$ cm).
- 4) Placa holográfica 8E75 (10×12 cm).
- 5) Productos para procesado del holograma (revelador, fijador, etc.).
- 6) Soportes para sujetar los elementos.
- 7) Mesada de laboratorio (estable) para el montaje. Podrán conseguirse mejores resultados si se dispone, además, de los siguientes elementos optativos:
- 8) Filtro espacial ("pinhole" y su montaje de localización).
- 9) Espejo de primera superficie ($\approx 3 \times 4$ cm) con tornillos milimétricos para variar su orientación.

IV. PROCEDIMIENTO RECOMENDADO

La Fig. 1 muestra un esquema (vista en planta) de la disposición de los elementos sobre la mesada de trabajo, donde se consignan las medidas aproximadas utilizadas en la presente experiencia. La disposición mostrada permite el uso de un solo haz para iluminar el difusor (haz objeto) y la placa holográfica (haz de referencia), y se ha comprobado que da buenos resultados.

En el caso que no se disponga de una mesada suficientemente larga, o que no pueda conseguirse una divergencia de haz que permita iluminar completamente el difusor y la placa, (por ejemplo si se utiliza un objetivo expensor de menor potencia), entonces puede adoptarse una disposición alternativa agregando un pequeño espejo de reenvío (de primera superficie), el que se coloca a continuación del expensor.

Conviene fijar adecuadamente todos los elementos para evitar movimientos y vibraciones. Se recomienda pegar todo con soldadura plástica, que luego puede removerse fácilmente. El cuarto de trabajo deberá ser oscuro, permitiéndose el uso de luz

de seguridad (foco de 25 W con un filtro verde-amarillo) la que si no incide directamente sobre la placa, permite trabajar durante un tiempo aproximado de 5 minutos sin efectos de velado apreciables.

Una vez posicionada la placa en el portaplacas, con la emulsión mirando hacia el difusor, se recomienda dejar estabilizar durante 10-15 minutos (conviene cubrir la placa con un papel negro y salir de la habitación).

El tiempo de exposición variará de acuerdo a la potencia del láser y la geometría del sistema, por lo que generalmente deberán efectuarse algunas pruebas. Para una potencia de 5mW y la geometría indicada, se utilizó un tiempo de 20 segundos. Para estos tiempos largos es muy importante evitar movimientos de aire, por lo que el operador deberá permanecer al lado del dispositivo obturador en reposo durante unos 5 minutos antes de proceder a la exposición. Una vez expuesta la placa, se procede al revelado "in-situ". Para ello se ha previsto un espacio debajo del portaplacas, (como se vé en la Fig. 2) que permite alojar una pequeña cubeta para contener y recuperar los líquidos a utilizar (una para cada líquido). El proceso de revelado recomendado es el siguiente:

- 1º) Ubicar la cubeta con revelador (KODAK D-76) diluido 3/1, y con un algodón embebido en el líquido, pasar suavemente por la cara emulsionada de la placa, tratando de mojar uniformemente (usar guantes). Reperir la operación continuamente hasta que se comience a observar el ennegrecimiento de la placa (entre 1 y 5 minutos). Revelar a una densidad del 15%. Para controlar el revelado, puede mirarse a través de la placa una pared o superficie blanca iluminada con la luz de seguridad.
- 2º) A continuación colocar la cubeta con detenedor, y mojar durante 30 segundos de la manera descrita anteriormente.



Fig. 3. Franjas de interferencia producidas por una vela encendida, al modificarse la distribución de índice de refracción del aire circundante por calentamiento (ver también la Fig. 2).

- 3º) Para el fijado, que viene a continuación, se recomienda utilizar un fijador rápido (universal) y fijar durante 2 minutos.
- 4º) Encender la luz normal.
- 5º) Lavar de la misma manera la placa con agua durante 5 minutos.
- 6º) Dejar secar.

Importante: Debe tenerse especial cuidado de no mover la placa durante el proceso anterior. Ésta tendrá que estar firmemente alojada en el portaplaca, y no deberá ejercerse demasiada presión con el algodón.

V. EXPERIENCIAS DEMOSTRATIVAS

Una vez seca la placa, debe abrirse el obturador para observar el holograma. Tapando el haz objeto (o el difusor) con un trozo de cartulina negra, debería observarse la imagen holográfica virtual del difusor. Esta imagen deberá ser sólo un poco más tenue que el objeto, para que las franjas de interferencia tengan buen contraste. Al descubrir el difusor, su imagen quedará superpuesta con éste. Por lo general, se observarán algunas franjas de interferencia (espúreas) en la superficie del difusor aún antes de iniciar las experiencias, lo que es debido a pequeñas variaciones en las condiciones ambientales y a deformaciones de la emulsión durante su procesamiento. Ésto debe tomarse como un indicio de que la experiencia ha salido bien. Cuando se modifique el camino óptico de la luz en el haz objeto, detrás del difusor, se observará un patrón de interferencia característico que reflejará dichas modificaciones.

A modo de ejemplo, se incluyen las fotografías de las Figs. 3 y 4, obtenidas, respectivamente, colocando en el haz objeto una vela encendida y un cilindro hueco, calentado mediante una resistencia



Fig. 4. Aquí se ha colocado en el haz objeto un cilindro hueco de aluminio, calentado mediante una resistencia eléctrica devanada en su superficie externa.

eléctrica devanada en su superficie exterior.

Se puede mejorar la calidad de la imagen y el contraste de las franjas, si se dispone de un filtro espacial para eliminar figuras de interferencia producidas por suciedad o defectos del recubrimiento en la lente expansora.

La utilización del espejo de reenvío se recomendó anteriormente para el caso que no se disponga de suficiente espacio en la mesa de trabajo. No obstante, si este espejo está montado sobre un soporte que disponga de ajustes micrométricos para variar su orientación, su inclusión aportará la ventaja adicional de permitir cierto control sobre la orientación y espaciado de las franjas espúreas. De esta manera, la experiencia puede ser utilizada hasta varios días después de procesado el holograma. Las

tomas fotográficas de las figuras fueron hechas dos días después de procesado el holograma, y se han podido repetir las experiencias transcurridos más de siete días.

Para consultar detalles adicionales, puede comunicarse con los autores.

REFERENCIAS

1. *Holography Handbook*. F. Unterséher, J. Hansen, B. Schlesingen. Ross Book 1982.
2. *Holograms*. Graham Saxby. Focal Press 1980.