

"MEDIDA HOLOGRAFICA DE DEFORMACIONES UTILIZANDO UN REGISTRO INTERFEROMETRICO

N. Rodríguez, R. Torroba, M. Gallardo y M. Garavaglia

RESUMEN

Se presenta en esta comunicación una nueva técnica holográfica por doble exposición, para el estudio de deformaciones colocando un interferograma entre el objeto a analizar y un medio de registro fotográfico. Este novedoso método permite la obtención simultánea de los datos cuantitativos y de la estructura topográfica de la deformación. Se destaca su simplicidad, ya que no requiere más condiciones de estabilidad que las usadas en todo proceso holográfico, emplea un número mínimo de elementos ópticos y no necesita ser llevada a cabo en un laboratorio, pudiendo ser usada como herramienta de fácil manejo para el control de calidad, ofreciendo la ventaja de poder trabajar tanto a tiempo diferido como a tiempo real.

En nuestro laboratorio se ha desarrollado una cavidad interferométrica sólida, de vidrio, que consiste principalmente de dos superficies parabólicas parcialmente reflectantes en disposición confocal y dos diópticos planoparabólicos como muestra la figura 1.

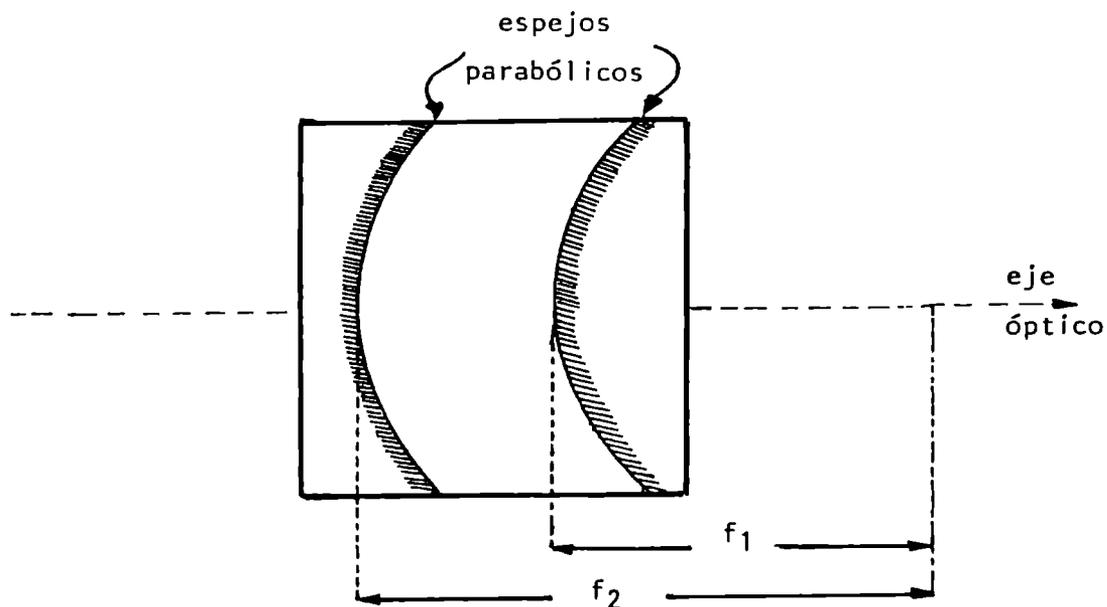


Figura 1.

Con este dispositivo, se pudo detectar a la salida, un diagrama de interferencia cuyo comportamiento presenta interesantes características. Este diagrama se obtiene como respuesta de la cavidad resonante a la incidencia de luz proveniente de un láser, en forma de onda plana de amplitud constante.

El cálculo de la diferencia de camino óptico de los rayos que arriban a un mismo punto del plano de observación, permite obtener el perfil analítico del diagrama interferencial, que puede ser observado en la figura 2.

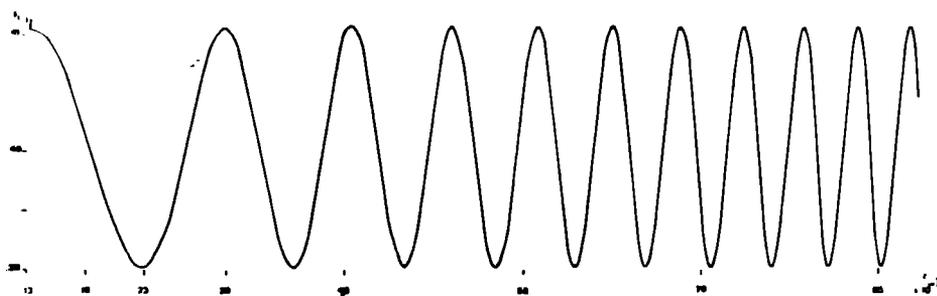


Figura 2

El gráfico representa la relación entre la intensidad transmitida por el interferómetro y la intensidad incidente al mismo, en función de la distancia al eje óptico del sistema, de un punto contenido en un plano de observación perpendicular a dicho eje.

Se observa además, que esta figura tiene simetría circular por lo que, en definitiva, está formada por anillos concéntricos al eje.

Este diagrama de interferencia puede ser almacenado en un medio de registro fotosensible, llamado interferograma. Al iluminarlo con una onda plana coherente, se encuentra que parte de ella no se desvía, parte se enfoca en el eje a una cierta distancia f del registro y parte parece provenir de un punto situado a f detrás de la placa, como se muestra en la figura 3.

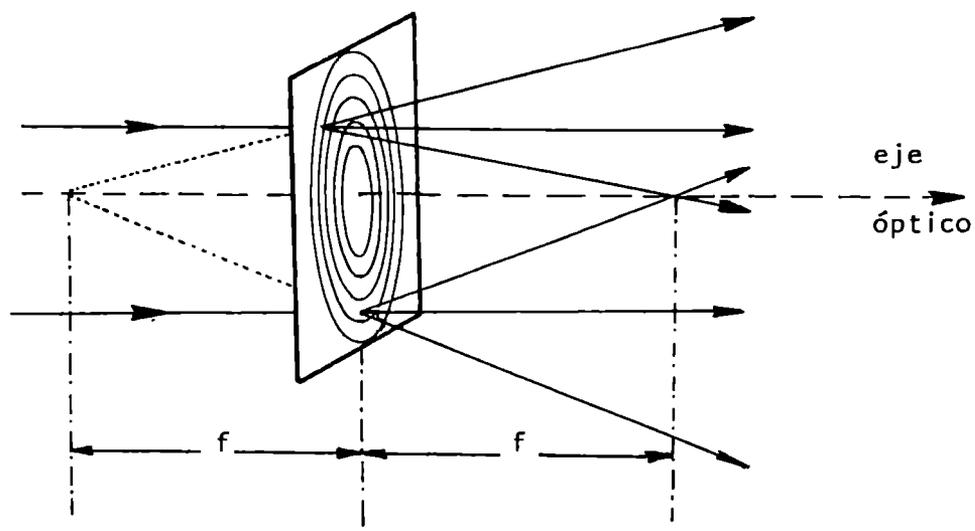


Figura 3.

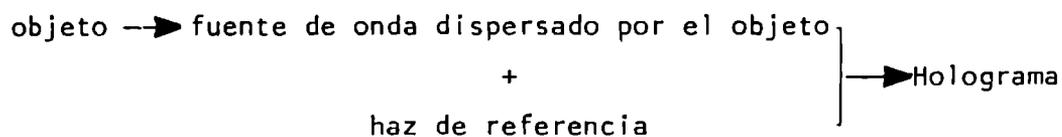
Se ve, de esta manera, que su comportamiento es semejante al de una lente de distancia focal f .

Conviene recordar algunos aspectos fundamentales de un proceso holográfico.

El significado de registrar una información en holografía, es el de almacenar la estructura espacial de las ondas de luz que transportan la información del objeto del cual provienen.

Un proceso holográfico puede ser representado simbólicamente en dos pasos:

a) Construcción:



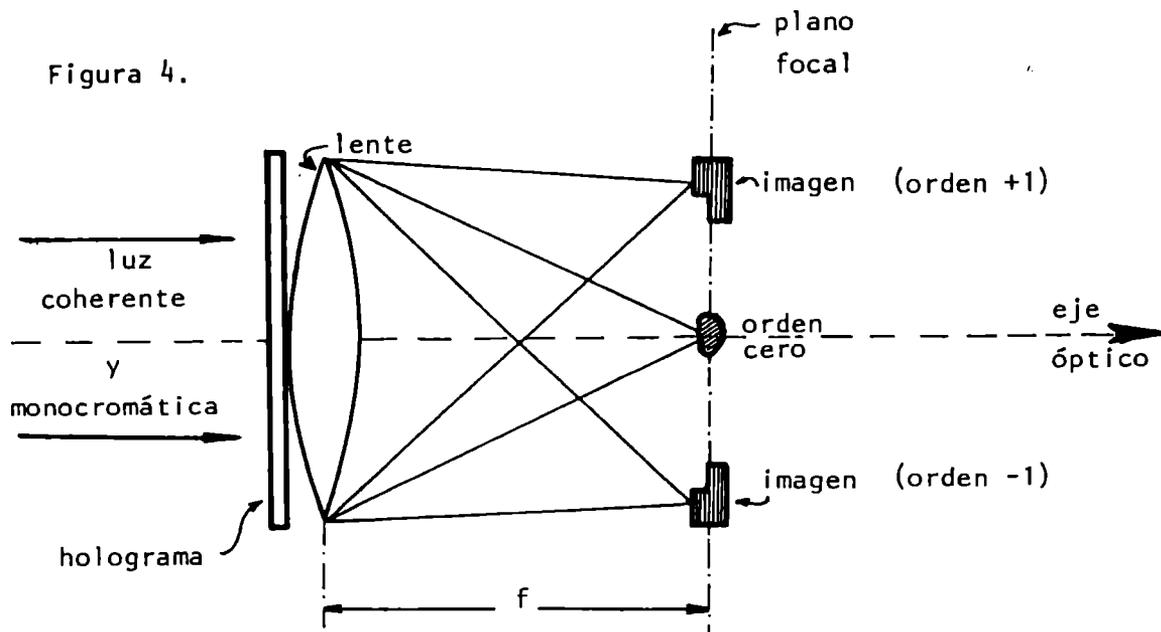
b) Reconstrucción

Holograma → onda reconstruida → imagen del objeto

El principio holográfico demanda que la iluminación sea coherente, más específicamente, la fuente de iluminación debe ser capaz de producir un sistema de franjas de interferencia en una emulsión fotográfica. La holografía permite registrar no sólo la amplitud, sino también la fase de la información transportada por la onda luminosa proveniente del objeto gracias a esta estructura interferométrica, lo que se logra al sumar a este haz, un haz de referencia, que es mutuamente coherente con la onda original.

Es la luz difractada por este diagrama de interferencia la que reconstruye a la onda objeto original.

Una forma particular de registro holográfico, se obtiene cuando el haz de referencia es esférico y proviene de una fuente puntual situada en el mismo plano en que se encuentra el objeto. Dicho holograma tiene la propiedad de que al ser colocado frente a una lente e iluminado con un haz paralelo de luz coherente y monocromática enfoca, en el plano focal trasero de la lente, dos imágenes del objeto original. Estas imágenes están invertidas una con respecto a la otra situada simétricamente al eje óptico del sistema, y son llamadas órdenes de difracción +1 y -1. Además se halla una concentración de luz en el eje, definida como orden cero y que corresponde a la imagen de las ondas utilizadas para iluminar al registro, como se ve en la figura 4. Esta clase especial de holograma se denomina holograma de Fourier.



Recordando que nuestro interferograma difracta a cada haz que incide sobre él, como mostraba la figura 3, es razonable suponer que esta difracción provea el haz de referencia necesario para el proceso holográfico cuando el interferograma sea iluminado con el haz proveniente del objeto original.

Así, al interponer nuestro interferograma entre una muestra iluminada con luz proveniente de un láser y el medio de registro fotográfico, se obtendrá un holograma de ella, pudiéndose comprobar que se trata de un holograma de Fourier.

En la figura 5 se muestra el esquema experimental del proceso de registro

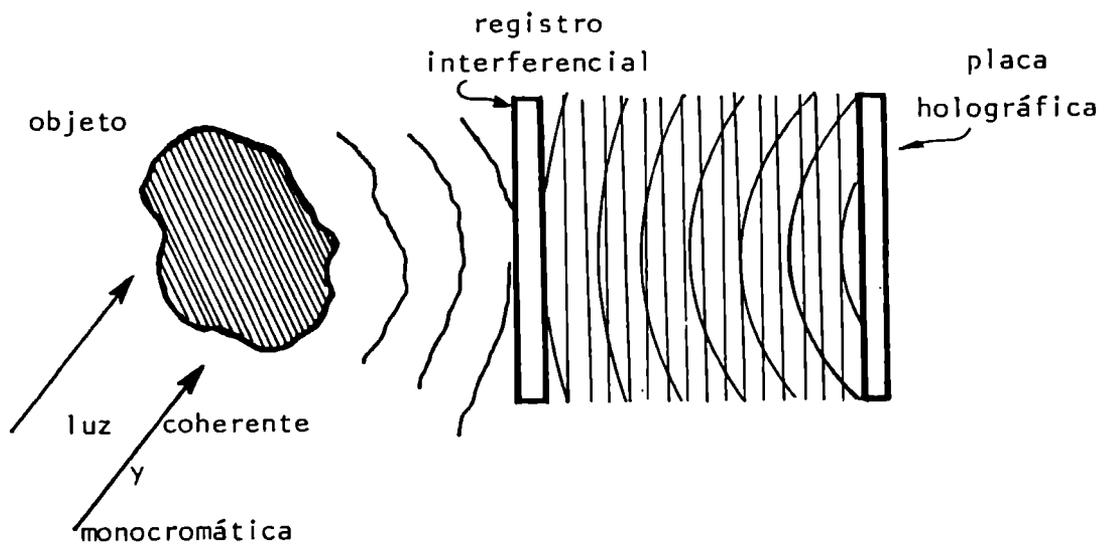


Figura 5.

En la figura 6, se observa una fotografía de la reconstrucción de un holograma obtenido según el montaje de la figura anterior.

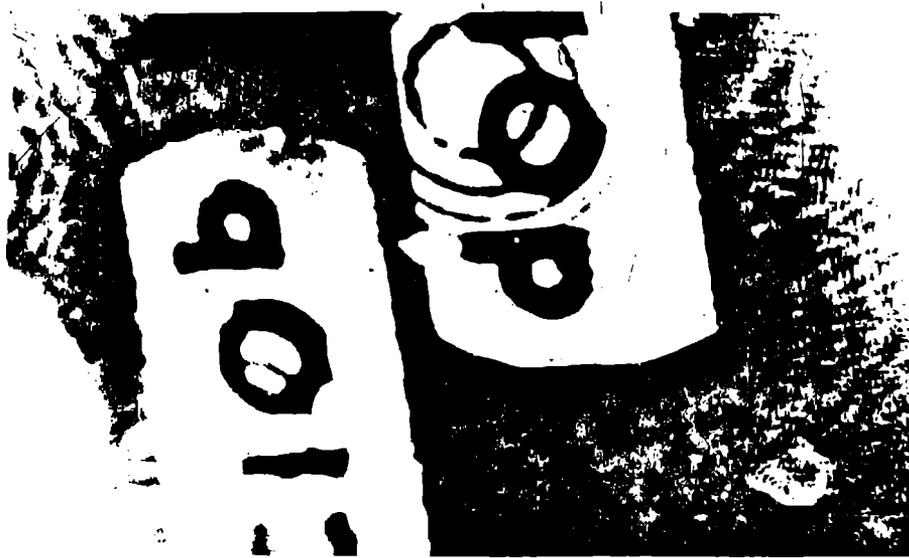


figura 6

Por otra parte, si sobre una misma placa de registro se realizan dos exposiciones tomando como escena al mismo objeto, pero alterando de alguna manera (deformación, traslación, rotación, etc.) a esta muestra entre las exposiciones, se obtendrá al reconstruir la imagen, la interferencia entre las dos imágenes holográficas (generadas una por cada exposición), que son coherentes entre sí. La interferencia se debe a que las ondas provenientes de cada objeto reconstruido difieren una de la otra. Así, a la imagen del objeto se le superpondrán franjas de interferencia.

Si esta experiencia interferométrica es llevada a cabo en las condiciones ya discutidas, su resultado será la obtención de un holograma interferométrico de Fourier.

Además, como la luz utilizada en todo el proceso es coherente, es de esperar la aparición del fenómeno conocido como "speckle" o granularidad, característico de la luz proveniente de un láser al incidir sobre cualquier superficie.

Como es sabido, este fenómeno es aprovechado como técnica para el estudio de deformaciones, traslaciones, etc., siendo también basado en la doble exposición y en la interferencia. Si se observa la imagen de un registro fotográfico de speckle doblemente expuesto en el plano focal trasero de una lente, la figura de interferencia se traduce en la existencia de franjas rectas cuya orientación y espaciado permiten obtener la información sobre los cambios experimentados por el objeto.

Análogamente, en nuestro caso el speckle estará presente, dando en el orden cero ya mencionado las franjas rectas que darán cuenta de la magnitud promedio de las alteraciones que ha sufrido la muestra.

Resultados experimentales:

Se muestra la aplicación de esta técnica el estudio de deformaciones sufridas por una viga empotrada en voladizo, cuando es sometida a una carga en su extremo libre.

La figura 7 muestra una fotografía del arreglo experimental utilizado para llevar a cabo el registro holográfico por doble exposición.

La experiencia realizada corresponde a un ensayo de laboratorio, para el cual se utilizó una barra de material plástico cargada con un peso de 5 gramos en su extremo libre.

En la figura 8 se muestra una fotografía de la imagen reconstruída, las líneas curvas que se observan sobre las imágenes que no correspondan al orden cero, son franjas que siguen los contornos de igual deformación.

La explicación de estas curvas reside en el hecho de que los puntos del objeto que sufrieron entre las exposiciones la misma deformación, tendrán igual diferencia de camino óptico y por lo tanto tendrán igual estado interferencial (destrutivo, constructivo e intermedio), entonces, por ejemplo, las líneas oscuras unirán a todos aquellos puntos que han sufrido un mismo desplazamiento tal que la interferencia sea totalmente destructiva.

Por otro lado, la imagen reconstruída en el orden cero, contiene como se dijo, las franjas de interferencia generadas por el fenómeno de speckle. Por la presencia de esta imagen, se puede analizar cuantitativamente la deformación de la muestra a través de la relación

$$R = \frac{f\lambda}{dM} \quad \text{donde}$$

f = longitud focal de la lente utilizada en la reconstrucción de las imágenes.

λ = longitud de onda utilizada para iluminar el holograma.

M = factor de magnificación.

d = espaciado entre franjas

Para el caso citado como ejemplo se pudo medir un desplazamiento promedio de 19,5 μm . El relevamiento de datos se realizó electrónicamente, por medio de un fotodetector montado sobre un tornillo micrométrico, con su salida conectado a un osciloscopio.

El fotodetector barría el plano focal de la lente en las vecindades del orden cero, observándose en el osciloscopio el pasaje de un máximo a un mínimo, que corresponde al pasaje de una franja brillante a una oscura, y registrándose la lectura del tornillo micrométrico entre ambas observaciones. Dicha lectura corresponde al espaciado en-

CONCLUSION:

El objeto de esta investigación ha sido el desarrollo de un nuevo método para la obtención de hologramas interferométricos, que a la vez de facilitar la recolección de datos, ofrezca la ventaja de un sencillo montaje experimental.

La versatilidad del mismo permite la visualización en tiempo real, es decir, poder observar la distribución de la deformación a medida que la misma se va produciendo.



figura 7



imagen en el
orden cero

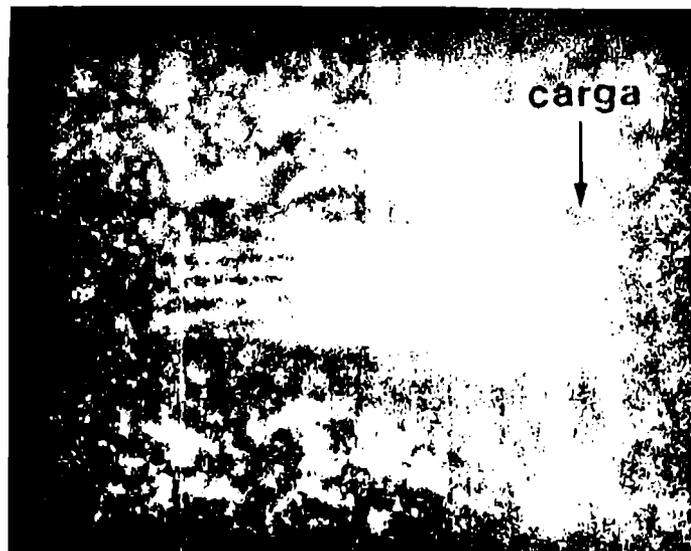


imagen en el
orden +1

figura 8

BIBLIOGRAFIA:

Los temas tratados en el presente trabajo, que tienen su origen en la denominada "Optica de Fourier", pueden ser profundizados en los siguientes libros de texto:

- M. Born and E. Wolf, "Principles of Optics", Pergamon Press, New York (1959).
- J. Goodman, "Introduction to Fourier Optics", Mc Graw Hill Inc. (1968).
- M. Françon. "La granularitée laser (speckle) et ses application en Optique", Masson editeur, Paris (1977).