

Mesa holográfica estable a un costo mínimo

Manuel Fernández Guasti y Roger Sean Cudney Bueno

Departamento de Física, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa,

Apdo. postal 55-534, 09340 México, D.F.

(recibido el 23 de enero de 1987; aceptado el 27 de julio de 1987)

Resumen. Se describe la construcción de una mesa holográfica y la evaluación que se hizo de la misma. Los resultados son ampliamente satisfactorios. Se aclaran también algunas precauciones innecesarias en la realización de hologramas.

Abstract. The construction and evaluation of a cheap holographic table is described. The results are very favorable. Some remarks are made on certain precautions often taken in the making of holograms.

PACS: 06.90.+v

1. Introducción

Para producir hologramas con láseres continuos es necesario tener tanto los haces de iluminación, el objeto y la película en un montaje muy estable, puesto que en un holograma se graban franjas de alrededor de 2,000 líneas por milímetro y un movimiento del orden de 0.5 micras es suficiente para producir un borrado ("washout") de la información holográfica. El soporte donde se localizan las componentes ópticas, el objeto y la película lo llamamos genéricamente mesa holográfica. Dicha mesa debe ser, por ende, extremadamente estable y aislada de vibraciones externas.

En esta publicación primero discutimos algunas ideas erróneas que frecuentemente tenemos respecto a las precauciones en técnicas holográficas. Posteriormente describimos los criterios de diseño de nuestra mesa y la construcción de la misma. En la sección 4 discutimos la evaluación del sistema y exponemos nuestros resultados,

y posteriormente mostramos un holograma de alto grado de dificultad debido a la estabilidad requerida. En las conclusiones finales comparamos nuestro sistema con otros similares.

2. Mitos holográficos

Debido a la vibración que se transmite a la mesa holográfica por el suelo se cree que es conveniente localizar los cuartos holográficos en la planta baja o en un sótano, de preferencia haciendo un cimiento especial para soportar la mesa holográfica. Nuestra experiencia de hacer hologramas en el tercer piso de un edificio en Iztapalapa nos ha mostrado que con una mesa holográfica adecuada estas precauciones son completamente innecesarias (nuestros colegas del *Imperial College* trabajan en el séptimo piso en el centro de Londres).

Las vibraciones acústicas pueden inducir vibraciones en un sistema holográfico; por ello muchas de las personas que trabajamos en holografía consideramos prudente guardar silencio durante la exposición de un holograma. Hemos hecho hologramas con el radio encendido o un taladro funcionando y su calidad no ha variado. Es entonces innecesario un ambiente silencioso para hacer buenos hologramas.

Otra creencia común es que caminar en las cercanías de la mesa, portazos y acciones similares destruyen el patrón de interferencia del holograma. Nosotros hicimos exposiciones brincando alrededor de la mesa y la calidad sólo se degrada notablemente para exposiciones largas. Medidas cuantitativas de estos resultados se muestran en la sección 4.

3. Diseño y construcción de la mesa holográfica

El primer problema a resolver en una mesa holográfica es aislarla de las vibraciones externas. Dichas vibraciones pueden ser transmitidas a través de su soporte (generalmente el piso) o a través de la atmósfera (*i.e.*, ondas acústicas). El segundo problema consiste en amortiguar las vibraciones generadas en la mesa, ya sea por los efec-

tos antes mencionados o por movimientos producidos por el objeto holografiado y por la colocación de las componentes ópticas.

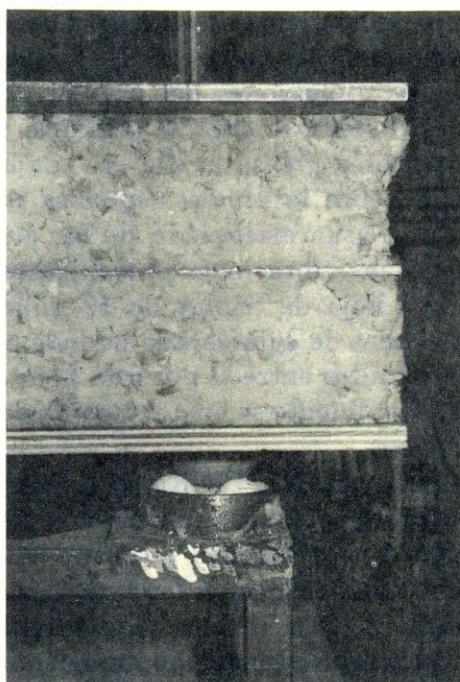
Para aislar la mesa de las vibraciones del piso se propuso un armazón rectangular de fierro sobre el cual se soldaron cuatro cilindros en sus esquinas superiores (véase la Fig. 1). Cada cilindro alberga tres pelotas de golf, sobre las cuales descansa una media esfera de madera. Debido a la gran elasticidad de las pelotas este sistema aísla muy eficazmente las vibraciones provenientes del piso. Posteriormente se colocó una hoja de triplay de 19 milímetros de espesor y sobre ella dos colchones de aglomerado de hule espuma de 13 centímetros de grueso separados entre sí por una hoja de triplay de 6 milímetros de espesor. Finalmente se colocó una placa de fierro de $120 \times 100 \times 1.27$ centímetros.

Debido a que la placa es muy masiva (124 Kg) es menos sensible a vibraciones externas; por otro lado, aunque su rigidez es finita, cualquier vibración es amortiguada rápidamente, pues todos los puntos de la placa están en estrecho contacto con el hule espuma. Además, la placa de fierro nos permite utilizar imanes para sujetar algunas piezas. Para afianzar más rígidamente los componentes sobre la mesa se hicieron barrenos con cuerda de 1/4 de pulgada de 7.5 centímetros a todo lo largo y ancho de la placa.

4. Evaluación por métodos holográficos directos

En vez de analizar modos de vibración de la masa, sus nodos, tiempos de amortiguamiento, etc., como normalmente se reporta en la literatura comercial, se hizo una evaluación pragmática realizando hologramas en diferentes tipos de condiciones. Esto se hizo por dos razones:

- i) Lo que importa finalmente en una mesa holográfica es que se puedan obtener hologramas eficientes y sin franjas de interferencia por deformación o vibración del sistema, y no saber cuáles son sus modos de vibración, etc.
- ii) La facilidad de efectuar estas pruebas.



Placa de acero

Aglomerado de hule
espuma

Triplay de 19 mm

Semiesfera de caoba

3 pelotas de golf

Base metálica

FIGURA 1. Fotografía que muestra un armazón de hierro sobre el que se soldaron cuatro cilindros en sus esquinas superiores.

Primero se hicieron rejillas de difracción holográficas siguiendo el arreglo que se muestra en la Fig. 2. En todos los casos se utilizó película Agfa-Gaevart 10E75, revelado con D-19 y blanqueado con ferricianuro de potasio [1]. La ecuación que gobierna los ángulos de difracción de una rejilla es [2]

$$\text{sen } \theta_d - \text{sen } \theta_i = \frac{n\lambda}{d}, \quad (1)$$

donde θ_i y θ_d son los ángulos que forman el haz incidente y difractado, respectivamente, con la normal a la rejilla (en nuestro caso, la placa holográfica), d es la separación entre franjas de la rejilla y λ es la longitud de onda de los haces. Para un láser de helio-neón

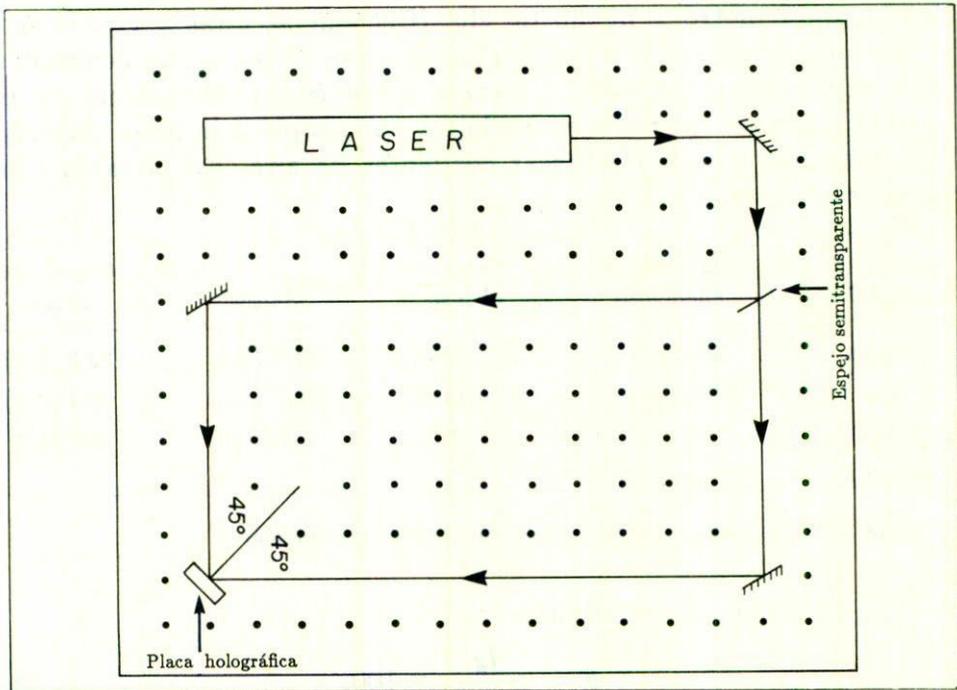


FIGURA 2. Vista superior del arreglo experimental para la fabricación de rejillas holográficas de prueba.

la longitud de onda es $\lambda = 0.633$ nm. Si los ángulos incidente y refractado son de 45 grados, tenemos que el número de líneas por milímetro grabadas en la placa es

$$d = 0.447 \text{ micras (es decir 2240 líneas por milímetro).} \quad (2)$$

Dada su alta frecuencia espacial, el movimiento más insignificante (0.5 micras) durante el tiempo de exposición sería suficiente para borrar la rejilla. Se hicieron varias rejillas variando tanto el tiempo de exposición como las condiciones ambientales de ruido mecánico y acústico. Para probar la respuesta de la mesa a diferentes tipos de fuerzas externas se aplicó un taladro eléctrico al piso a aproxi-

madamente metro y medio de ella (frecuencias altas y continuas) y los autores saltaron alrededor de la mesa (frecuencias generadas por impulsos). Para ejercer fuerzas a través de vibraciones en el aire se mantuvo un radio encendido y se le sopló a la mesa durante la exposición a modo de crear corrientes de aire. En la tabla I se muestran los resultados.

| Tiempo de exposición | Estático y silencioso | Taladro al piso | Salto | Corrientes de aire |
|----------------------|-----------------------|-----------------|------------|--------------------|
| 1/25 s | 30.3 (5.0) | 30.3 (5.0) | 30.3 (5.0) | 23.2 (5.0) |
| 4 s | 10.7 (1.5) | 10.7 (1.5) | 10.7 (1.5) | 10.7 (1.5) |
| 1 min | 8.5 (1.8) | 8.0 (1.8) | 6.7 (0.9) | 4.2 (0.9) |
| 15 min | 21.4 (4.0) | | | |

TABLA I. Eficiencia de difracción (errores entre paréntesis).

La eficiencia E se definió como

$$E = \frac{I_d}{I_i - I_r} \times 100, \quad (3)$$

donde I_d , I_i e I_r son las intensidades del haz difractado en el orden +1, del haz incidente y del haz reflejado por el sustrato de la película. Podemos ver que para exposiciones de 1/25 y 4 segundos no hay un cambio apreciable entre la exposición estática y las otras. Para la exposición de un minuto observamos una disminución considerable (50%) de la eficiencia en el caso de las corrientes de aire y una ligera disminución con los saltos. Es obvio que en estos dos casos la mesa estuvo expuesta a condiciones que por mucho sobrepasan las condiciones normales al realizar un holograma. Además, en el caso de las corrientes de aire, aparte del cambio de caminos ópticos debido a la vibración de las componentes en la mesa, existe el cambio debido a alteraciones en el índice de refracción del aire que muy posiblemente es más importante.

Aunque las eficiencias para una misma exposición son muy semejantes para todas las condiciones, existe un cambio notable entre

diferentes tiempos de exposición. Esto no se debe a vibraciones sino a errores de tiempo de exposición. En el caso de la exposición de 15 minutos se recupera una eficiencia dentro del margen de error de la exposición de $1/25$ de segundo, no se consideró que fuera necesario repetir las exposiciones intermedias. Para este tiempo de exposición no se hicieron más pruebas; sin embargo, esta prueba "estática y silenciosa" estuvo sujeta al ruido de gente caminando y platicando por los pasillos, portazos, en fin, condiciones normales de ruido ambiental. Este comportamiento extremadamente satisfactorio de la mesa se podría ver alterado si la calidad del piso variara.

La siguiente prueba consistió en realizar un holograma de arcoiris, que es un holograma visible con luz blanca que produce imágenes en diferentes colores dependiendo de la posición del observador, cuyos montajes son muy sensibles a las vibraciones. El primer paso consiste en obtener un holograma de transmisión convencional [3].

En el segundo paso se coloca una rendija horizontal de aproximadamente 0.5 centímetros de ancho en el holograma anterior, llamado holograma maestro, este es iluminado con un haz conjugado al haz de referencia del primer paso, a modo de obtener una imagen real en el lugar donde se colocó el objeto original. Esta imagen es la que ahora sirve como haz del objeto en el segundo paso. A diferencia del caso convencional de primer paso, ahora el haz de referencia se hace incidir en un plano inclinado con respecto al plano de la mesa, es decir, un plano oblicuo respecto a la horizontal.

Aunque en el segundo paso el ángulo entre los haces de objeto y de referencia es menor que en el caso de las rejillas, la gran cantidad de componentes ópticas y su colocación hacen que la estabilidad sea más crítica que en el caso de las rejillas. Para evitar relajamientos que pudieran introducir franjas de interferencia en el holograma se utilizó placa holográfica 8E75HD-NAH en vez de película.

Se expuso la placa durante 7 minutos en condiciones normales de ruido ambiental y se obtuvo un holograma nítido, eficiente y sin franjas de interferencia (véase la Fig. 3).

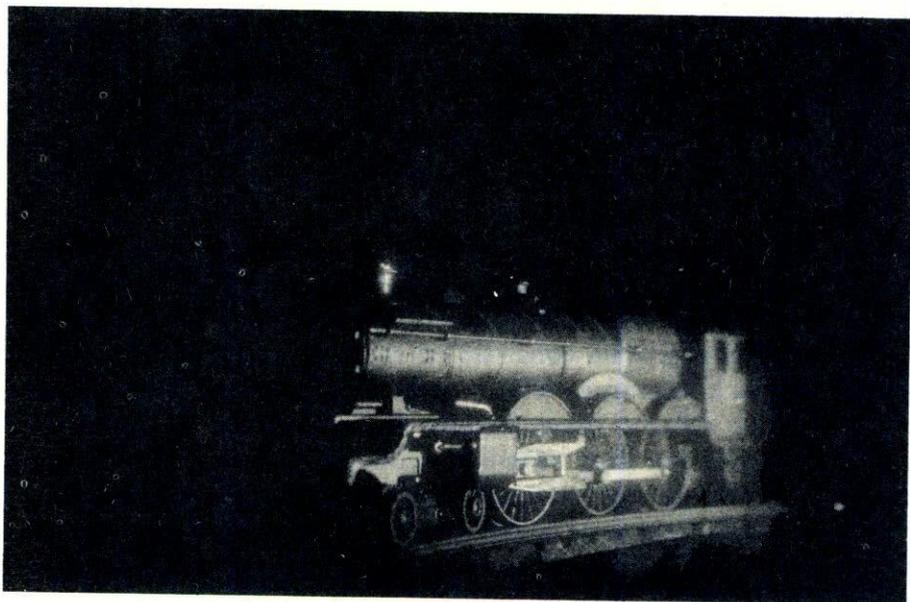


FIGURA 3. Holograma obtenido en condiciones normales de ruido ambiental.

Cabe mencionar que se han realizado exitosamente muchos tipos de hologramas en esta mesa, incluyendo hologramas de reflexión de dos pasos que requieren aún de mayor estabilidad.

5. Conclusiones

Frecuentemente, para hacer hologramas se piensa que es necesaria una mesa holográfica comercial; el costo de estas mesas es extremadamente alto, además requieren de permisos de importación y costos altísimos de flete por su tamaño y peso. Sin embargo, es claro que es factible construir una mesa holográfica como la que se describe en esta comunicación en un tiempo corto y a un costo muy modesto. En 1985, nuestra mesa costó en material 45,000 pesos. Una mesa comercial, Newport RS-46-8 con patas XL4A-H, que es la

más económica de dicho fabricante (precio de lista de enero de 1986 en 6,430 dólares) costaba en ese entonces por lo menos diez veces más [4].

Nuestra experiencia reciente nos muestra que los requerimientos de estabilidad de la mesa dependen en buena medida de la frecuencia del holograma a realizar; por otro lado, no es claro cuándo la vibración de fondo ya no afecta la eficiencia del holograma. Para responder a estas preguntas actualmente estamos montando un interferómetro de Fabry-Perot en la mesa para tratar de responder a estas incógnitas.

Referencias

1. L. Escobar Alarcón, Holografía-Reporte Interno UAM-Iztapalapa, México, D.F. (1986).
2. M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, Pergamon Press. Oxford (1975).
3. R. Collier *et al.*, *Optical Holography*, Academic Press. New York (1975).
4. Newport Corporation, 1983-1984 Commercial Catalogue, New Product Supplement.