

# Haciendo hologramas en la escuela y en la casa

(Making holograms at school and at home)

Rolando Serra Toledo<sup>1</sup>, Alfredo Moreno Yeras<sup>1</sup>, Daniel S.F. Magalhães<sup>2</sup>,  
Mikiya Muramatsu<sup>3</sup> y José B. Lemus<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de la Habana, Cuba

<sup>2</sup>Instituto de Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas SP, Brasil

<sup>3</sup>Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil

<sup>4</sup>Departamento de Ciências Básicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Libre de Colombia, Bogotá, Colombia

Recibido em 28/10/2009; Aceito em 11/12/2009; Publicado em 17/2/2011

La comunidad científica que se ocupa de los problemas relacionados con el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física, ha dedicado muchos esfuerzos en los últimos años al perfeccionamiento del mismo, motivado en primera instancia, por las demandas de renovación que el impetuoso desarrollo científico-técnico le impone en la actualidad a la enseñanza de las ciencias. En los últimos años se ha producido un desarrollo vertiginoso en la fabricación de diodos láser que emiten en el espectro visible, esto ha permitido su utilización creciente en múltiples aplicaciones y hace factible su utilización en la enseñanza aprendizaje de la física universitaria y en particular de la holografía, por sus grandes ventajas frente a los láseres convencionales de gran costo y difícil manipulación. En el trabajo se describen la instalación experimental portátil diseñada para la obtención de hologramas en la escuela y en la casa con la utilización de diodos láser, la metodología de trabajo a seguir, los métodos de procesamiento utilizados para diferentes tipos de emulsiones holográficas y un análisis de los defectos que pueden presentar los hologramas producidos y la forma de detectarlos y erradicarlos.

**Palavras-chave:** holograma, diodo laser, física.

The scientific community that deals with the problems related with the teaching-learning process of Physics has devoted many efforts in its perfecting in the last years motivated, in the first instance, by renewal demands that the rapidly scientific-technological development currently requests in the teaching of science. In the last few years a rapid development in the production of visible-emission diode lasers has been made, this has allowed their increasing use in many applications and makes possible their utilization in the teaching-learning of the physics in the university and particularly of holography, for their great advantages over the high-cost conventional lasers and difficult handling. In this work we describe the portable experimental setup designed for the obtainment of holograms at school and at home using diode laser, the working methodology to be followed, the processing methods used for different types of holographic emulsions and an analysis of frequent defects in the recording and how to detect and eradicate them.

**Keywords:** holography, diode laser, physics.

## 1. Introducción

La holografía es un método de recuperación integral de la información relativa al campo de irradiación difundido por un objeto real, por lo que permite obtener imágenes ópticas tridimensionales de distintos tipos de objetos [1].

El holograma es el resultado del proceso holográfico, de manera similar a la foto que es el resultado del proceso fotográfico. Para que se pueda comprender con mayor facilidad que es un holograma, podemos decir que es una foto realizada con el empleo de un láser y que la principal característica que posee es el carácter tridimensional de la imagen.

Al mirar un holograma el espectador tiene la impresión de ver, a través de una placa de vidrio un objeto realmente existente y puede observarlo desde diferentes ángulos. El holograma refleja las zonas de luz y sombra, y la textura del material resulta visible, lo que acrecienta la impresión de relieve. En realidad el objeto no existe en la placa holográfica, pero crea la ilusión óptica de su presencia ya que el holograma envía al espectador ondas luminosas idénticas a las que reflejaría el objeto real. La singular cualidad que permite al holograma producir un duplicado óptico de un objeto, indujo a estudiar las posibilidades de su utilización como medio de enseñanza de la física [2, 3] (Ver Fig. 1).

<sup>1</sup>E-mail: serra@electrica.cujae.edu.cu.

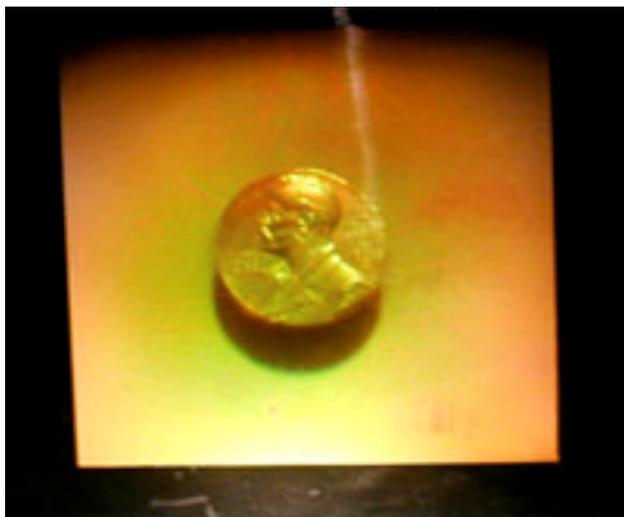


Figura 1 - Holograma de la medalla del Premio Nobel de Ernest Hemingway.

La comunidad científica que se ocupa de los problemas relacionados con el proceso de enseñanza - aprendizaje de la física ha dedicado muchos esfuerzos en los últimos años al perfeccionamiento del mismo motivados en primera instancia, por las demandas de renovación que el impetuoso desarrollo científico- técnico le impone en la actualidad a la enseñanza de las ciencias. Esto se refleja en el contexto cubano en varias tesis doctorales defendidas en los últimos 15 años [4-8].

Entre las principales dificultades que se reportan en el mundo en la enseñanza - aprendizaje de la física (Conferencia Internacional sobre Educación en Física 2003, Evento Universidad 2006 y 2008, Taller internacional sobre Enseñanza de la Física en Ingeniería 2004, 2006 y 2008) podemos citar las siguientes:

- Poca motivación.
- Poca comprensión de los principios, leyes y conceptos que se estudian.
- Habilidades experimentales y de observación muy limitadas.
- Balance no adecuado entre las demostraciones y prácticas de laboratorio “reales” en relación con las virtuales.
- Muy poca utilización de medios de enseñanza en las demostraciones en conferencias, clases prácticas y seminarios.
- No se analizan al nivel requerido las aplicaciones en la práctica profesional y en la vida cotidiana.
- Los estudiantes no sólo carecen de dominios conceptuales, procedimentales y actitudinales en esta disciplina, sino también de una actitud investigadora, creativa, crítica, autónoma e independiente.

En este contexto, el desarrollo de nuevas propuestas didácticas para el diseño y la utilización de sistemas

de experimentos en las diferentes formas de enseñanza aprendizaje de la disciplina física, que incluyan el uso de nuevos dispositivos tecnológicos desarrollados recientemente en el mundo, adquiere una gran importancia como contribución para lograr incrementar la comprensión de las leyes y conceptos estudiados, la motivación y al desarrollo de habilidades prácticas y de observación en la enseñanza aprendizaje de esta disciplina.

Las aplicaciones cotidianas de los láseres semiconductores son en la actualidad muy amplias por su utilización en las telecomunicaciones, reproductores y grabadores de discos compactos, lectores de códigos de barras, impresoras y desde luego en los punteros láser, entre otras [9-11].

Estos punteros láser están fabricados con diodos láser que emiten en el espectro visible, lo que hace factible su utilización en la enseñanza aprendizaje de la física universitaria y en particular de la holografía, por sus grandes ventajas en relación con los láseres gaseosos convencionales como los de He-Ne de gran costo y difícil manipulación (Ver Fig. 2).

La realización de hologramas por los propios estudiantes en la escuela o incluso en la casa, permitiría la mejor comprensión de las leyes y conceptos de la física y en particular de la óptica relacionados con el proceso holográfico y además incrementar la motivación por esta disciplina.

En el trabajo se describen la instalación experimental portátil diseñada para la producción de hologramas en la escuela y en la casa con la utilización de diodos láser, la metodología de trabajo a seguir, los métodos de procesamiento utilizados para diferentes tipos de emulsiones holográficas y un análisis de los defectos que pueden presentar los hologramas producidos y la forma de detectarlos y erradicarlos.



Figura 2 - Puntero Láser utilizado para la obtención de los hologramas.



Figura 3 - Dos vistas de la instalación experimental portátil para la obtención de hologramas.

## 2. Diseño y construcción de la instalación para la producción de hologramas y metodología a utilizar para obtenerlos

Para la obtención de los hologramas se construyó una instalación experimental como se muestra en la Fig. 3. La caja cerrada, que evita la entrada de cualquier luz exterior, se coloca sobre dos cámaras de bicicletas pequeñas que permiten el aislamiento del sistema de cualquier vibración exterior. La caja está diseñada de forma tal que permite introducir las dos manos para poder manipular el sistema experimental en su interior en un ambiente iluminado.

El esquema de registro holográfico recomendado por su sencillez es el conocido como de Denisiuk que se muestra en la Fig. 4.

En la Fig. 5 se muestra el esquema del proceso de registro holográfico con una ampliación de la zona de contacto entre la emulsión holográfica y el objeto. El frente de onda proveniente del puntero láser (1) se divide en dos partes al incidir en la emulsión holográfica transparente (2), de forma tal que una de las partes constituye el haz de referencia (4) y la otra parte que atraviesa la emulsión ilumina el objeto y se refleja en el mismo constituye el haz objeto (3). Al superponerse

en la emulsión holográfica los haces objeto y referencia forman como resultado un patrón de interferencia en forma de planos paralelos al de la emulsión (5).

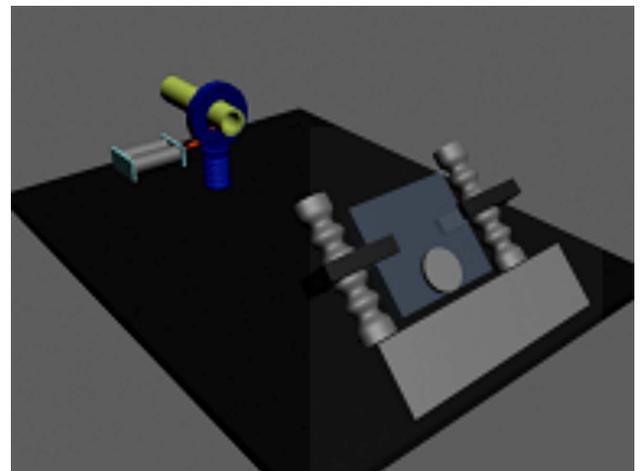


Figura 4 - Esquema de Denisiuk utilizado para el registro holográfico.

Para el trabajo con el puntero láser, se debe retirar la lente delantera del mismo para lograr la expansión del haz y la uniformidad en la iluminación del objeto sin la necesidad de utilizar objetivos de microscopio y filtros espaciales (ver Fig. 6).

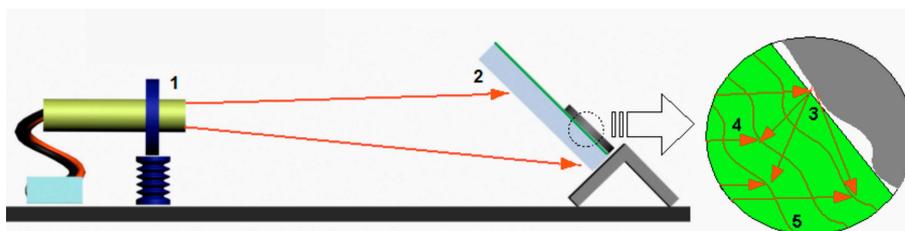


Figura 5 - Esquema del proceso de registro holográfico con una ampliación de la zona de contacto entre la emulsión holográfica y el objeto.

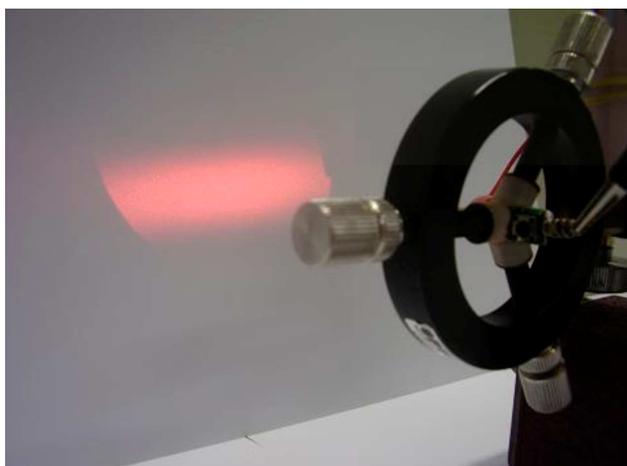


Figura 6 - Haz proveniente del puntero láser sin la lente delantera.

## 2.1. Metodología para la obtención de los hologramas

- Encender el diodo láser y bloquear el haz con un cartón negro.
- Colocar la película holográfica entre los vidrios con la cara de la emulsión hacia el objeto (ver Fig. 7) y fijarlo con los prendedores por los extremos. Como la película holográfica no es sensible al verde, se puede utilizar un Led de este color alimentado por baterías (ver Fig. 8) para permitir la observación en la oscuridad en todo el proceso de registro del holograma.

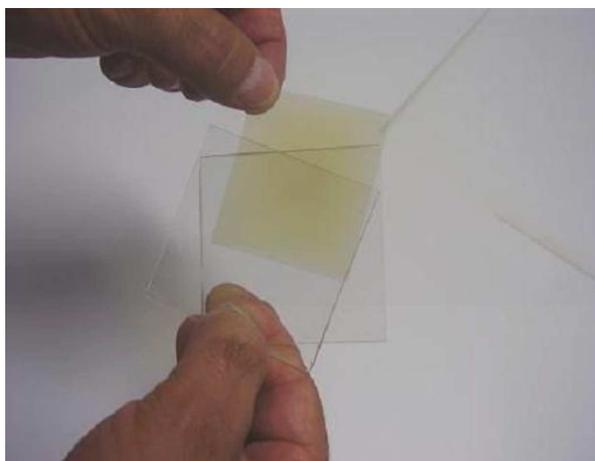


Figura 7 - Colocación de la película holográfica entre dos vidrios transparentes.



Figura 8 - LED verde acoplado a baterías.

- Colocar el conjunto en la base y situar el objeto a holografar apoyado en el vidrio por la parte trasera (ver Fig. 9). Es posible encentrar el objeto con relación a la emulsión colocándolo sobre un pequeño soporte.
- Dejar reposar el sistema por 1 minuto, manteniendo el cartón negro que bloquea el haz láser en suspensión.
- Realizar la exposición retirando el cartón que bloquea el haz láser, teniendo cuidado en no tocar ninguna parte del sistema antes o durante la exposición.
- Bloquear el haz con el cartón negro al finalizar la exposición.
- Retirar con cuidado la película holográfica de los vidrios y colocarla en una caja bien cerrada que impida la entrada de la luz.
- Preparar los productos químicos en las cubetas respectivas para el procesamiento del holograma de acuerdo al tipo de emulsión utilizada como se indica en el epígrafe 3.

- Una vez finalizado todo el proceso de obtención del holograma, debe iluminarlo con una fuente de luz puntual para observar la imagen holográfica del objeto.

En dependencia de las condiciones después de obtenido el holograma, se puede realizar el procesamiento químico del mismo en un cuarto oscuro con la ayuda de la iluminación del LED verde o también se puede realizar el primer paso de revelado dentro de la propia caja negra cerrada y continuar el resto del proceso en un área iluminada.

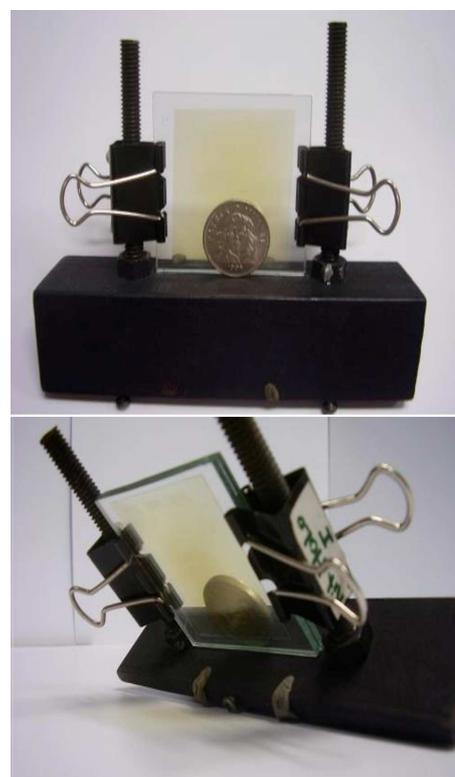


Figura 9 - Dos vistas de la colocación de la película holográfica y el objeto a holografar en el soporte.

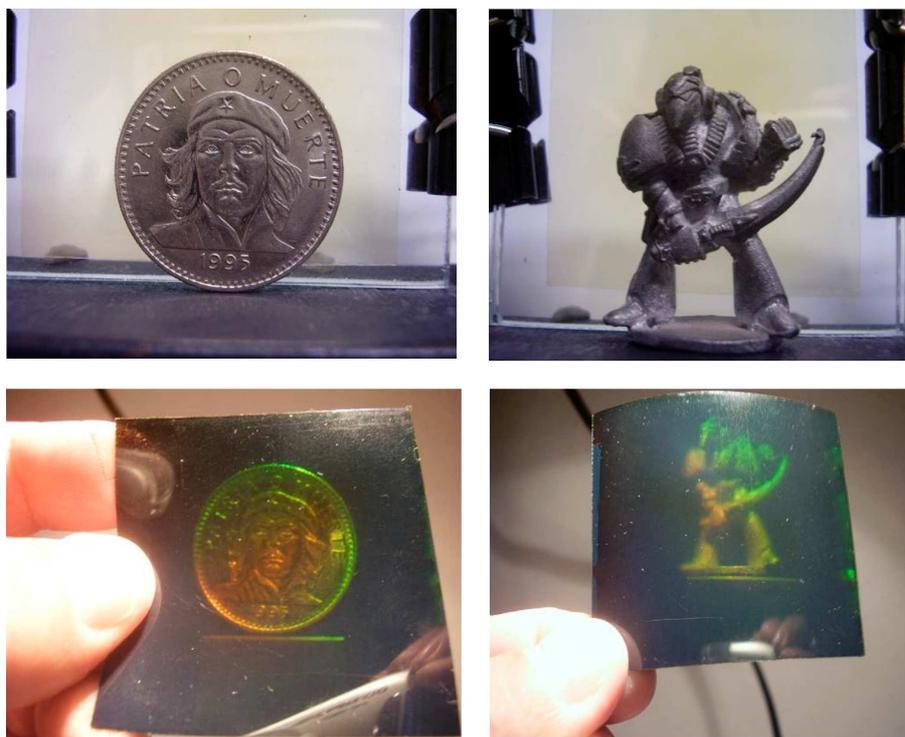


Figura 10 - En la parte superior se muestran los objetos holografiados y en la parte inferior los hologramas obtenidos.

En los experimentos se utilizaron como objetos a holografiar una moneda cubana y un guerrero en miniatura. En la Fig. 10 se muestran los objetos holografiados y los hologramas obtenidos.

### 3. Diferentes métodos de procesamiento para distintos tipos de emulsiones holográficas

#### 3.1. Procesamiento químico de hologramas en emulsión 8E75 HD Agfa Gevaert (patente cubana) [12]

##### a) Revelado

El revelador está formado por dos disoluciones distintas llamadas A y B. Cuando se va a utilizar se mezclan a partes iguales los líquidos A y B en la bandeja de revelado inmediatamente antes de su uso.

##### Solución A:

10 g de pirogallol  
1 L de agua destilada

##### Solución B:

60 g de carbonato de sodio  
1 L de agua destilada  
Tiempo de revelado - 2 min a 20 °C  
Enjuague - 2 min a 20 °C

Un parámetro muy importante que debe ser controlado es la densidad del holograma que representa la cantidad de plata metálica producida en la emulsión por su exposición y revelado antes del proceso de blanqueado. Este parámetro indica el grado de opacidad de

la emulsión y se expresa como el logaritmo del inverso de la transparencia.

En hologramas de reflexión la densidad óptima es de 2,5.

##### b) Blanqueado

##### Primer blanqueador:

Dicromato de amonio - 3 g  
Ácido sulfúrico (96%) - 4 mL  
Agua destilada - 1 l  
Tiempo de blanqueado- 2 min a 20 °C  
Enjuague- 2 min a 20 °C

##### Segundo blanqueador:

Permanganato de potasio - 0,8 g  
Ácido sulfúrico (96%) - 10 mL  
Agua destilada - 1 l  
Tiempo de blanqueado - 2 min a 20 °C  
Enjuague - 3 min a 20 °C

##### c) Escurrimiento

Introducir la placa holográfica en una disolución (del tipo Photo-Flo de Kodak o Agepon de Agfa Gevaert) que permita lograr un escurrimiento adecuado y evitar la formación de gotas.

##### d) Secado

Si utiliza un secador manual de pelo, la corriente de aire caliente se aplica a una distancia no menor de 40 cm por la superficie de vidrio y no por la emulsión directamente, para evitar la incrustación de partículas de polvo e impurezas.

##### e) Conservación

Aplicar pintura negra mate por la cara de la emulsión. La pintura spray debe aplicarse a una dis-

tancia mayor de 20 cm para evitar que penetre en la emulsión y ocasione un daño irreparable. Se deben dar 2 manos con secado intermedio para garantizar un grado de opacidad adecuado.

### 3.2. Procesamiento químico de emulsión PFG-03 Slavich (metodología cubana) [13]

#### a) Revelado

Se utilizó revelador GP-2 modificado en proporción de 40 mL de la solución concentrada en 1l de agua destilada a temperatura de 20 °C

##### GP-2 modificado

- Metilfenidona - 0,2 g
- Tiocianato de amonio - 12 g
- Sulfito de sodio - 100 g
- Hidróxido de potasio - 5 g
- Tiocianato de amonio - 12 g
- Completar 1l de agua destilada
- Tiempo de revelado - 15 min a 20 °C
- Enjuague - 3 min a 20 °C

#### b) Fijado

##### F - 5 Kodak

- Tiosulfato de sodio - 240 g
- Sulfito de sodio - 15 g
- Ácido acético glacial - 12 mL
- Ácido bórico en cristales - 7,5 g
- Alumbre potásico - 15 g
- Completar 1l de agua destilada
- Tiempo de fijado - 10 min a 20 °C
- Enjuague - 3 min a 20 °C

#### c) Escurrimiento

- Enjuague en disolución de alcohol etílico al 50% (2 min)
- Enjuague en disolución de alcohol etílico al 90% (1 min)

#### d) Secado

Si utiliza un secador manual de pelo, la corriente de aire caliente se aplica a una distancia no menor de 40 cm por la superficie de vidrio y no por la emulsión directamente, para evitar la incrustación de partículas de polvo e impurezas.

#### e) Conservación

Aplicar pintura negra mate por la cara de la emulsión. La pintura spray debe aplicarse a una distancia mayor de 20 cm para evitar que penetre en la emulsión y ocasione un daño irreparable. Se deben dar 2 manos con secado intermedio para garantizar un grado de opacidad adecuado.

## 4. Principales defectos que pueden aparecer en los hologramas producidos y como detectarlos y eliminarlos

Existen diversos factores que influyen en la calidad final de un holograma. A continuación exponemos una lista

de ideas, de acuerdo a nuestra experiencia, que ayudarán a localizar el problema y conocer como resolverlo o evitarlo cuando encuentre algún fallo importante en la calidad de la imagen.

### 1. No aparece imagen

- Si durante el revelado la placa holográfica se oscurece rápidamente pueden haber ocurrido dos cosas: El material fue velado por una exposición accidental a la luz blanca o fue sobreexposto.

- Si durante el revelado la placa holográfica se oscurece normalmente y alcanza su densidad adecuada la causa más probable es que ocurrió un movimiento del objeto o de la placa durante la exposición.

- Si durante el revelado la placa holográfica se oscurece muy lentamente, la causa es una falta de exposición, o sea, el material esta subexposto.

### 2. Faltan zonas del holograma

- Si la composición contiene varios objetos y uno de ellos se mueve aunque sea muy ligeramente durante la exposición, no aparecerá su imagen holográfica.

- Si la imagen holográfica es solo una banda estrecha, el objeto se movió durante la exposición y la porción visible es la parte que permaneció estacionaria. Si la imagen holográfica es solo una línea estrecha, el objeto giró durante la exposición. Este efecto ocurre en ocasiones cuando el objeto a holografar posee forma cilíndrica o circular y solamente llega luz a la placa reflejada de la zona frontal del mismo.

### 3. El holograma tiene zonas oscuras

- El objeto puede haber vibrado o puede haber sufrido una ligera distorsión durante la exposición.

### 4. La imagen holográfica presenta franjas de interferencia

- El objeto se movió ligeramente durante la exposición. Si son franjas paralelas corresponde a un movimiento de traslación en el plano, en ocasiones originado cuando el objeto se sostiene sobre plastilina y esta cede.

- Si la placa holográfica es la que tiene las franjas de interferencia, es ella la que se movió durante la exposición.

- En ocasiones se observan franjas paralelas coloreadas que van disminuyendo su intensidad a medida que nos alejamos del borde de la placa. Esto ocurre debido a la difracción de la luz láser en los bordes de la placa holográfica durante la exposición cuando no quedan cubiertas por el portaplacas, ocurriendo reflexiones internas.

- Inestabilidad del láser.

### 5. La imagen holográfica es borrosa

- El origen puede ser una sobreexposición o una subexposición de la placa holográfica. Para dilucidar esto se debe chequear la densidad del holograma durante el revelado.

- Si no utilizó agua destilada en la composición del revelado, la causa probable es el alto contenido de cloro que posee en ocasiones el agua corriente.

- Si no son las causas anteriores es posible que la iluminación del objeto no fue la requerida o que el mismo se encuentre muy distante del material de registro.

- Se debe chequear la estabilidad de la potencia de salida del láser que puede haber variado durante la exposición.

#### **6. La imagen holográfica es muy débil y con poco contraste**

- Se debe chequear la lámpara de seguridad ya que es posible que este velando la placa holográfica durante el revelado.

- El material holográfico puede estar defectuoso.

#### **7. La parte trasera de objetos de gran profundidad o el fondo blanco no se observan en la imagen holográfica**

- La distancia de esa zona del objeto o del fondo a la placa holográfica es mayor que la longitud de coherencia del láser.

#### **8. El holograma tiene manchas en la emulsión**

- En el proceso de revelado o blanqueado, la emulsión no queda cubierta completamente.

- No se le da a la placa holográfica el tiempo de enjuague necesario.

- Se utiliza un revelador o blanqueador mas tiempo que el de su vencimiento.

- No se realiza adecuadamente el paso de escurrimiento y quedan gotas de agua en la emulsión.

- Si las manchas ocurren después de pintar la emulsión, la pintura reacciona con la misma o penetró en la emulsión al aplicarla con el spray a una distancia menor de 15 cm.

#### **9. Los hologramas se oscurecen en pocos días**

- Enjuague inadecuado que deja residuos químicos que continúan actuando sobre la emulsión.

#### **10. Existe cambio de color de algunas zonas de la imagen reconstruida**

- Si se utilizó un secador manual para acelerar el proceso de secado de la emulsión, se puede haber producido un calentamiento no uniforme y por tanto una variación en el espesor de la emulsión y por consiguiente un cambio en el color de reconstrucción.

#### **11. El color de la imagen reconstruida no corresponde al de la longitud de onda del láser**

- Ocurrió un cambio en el espesor de la emulsión cuya causa posible es una variación de temperatura en algún paso del procesamiento químico.

### **5. Conclusiones**

Se ha presentado el diseño y construcción de una instalación experimental portátil diseñada para la fabricación de hologramas en la escuela y en la casa con la utilización de un puntero de diodos láser, la

metodología de trabajo a seguir, los métodos de procesamiento utilizados para diferentes tipos de emulsiones holográficas y un análisis de los defectos que pueden presentar los hologramas producidos y la forma de detectarlos y erradicarlos.

Esta instalación permite la realización de hologramas por los propios estudiantes en la escuela o incluso en la casa, favoreciendo la mejor comprensión de las leyes y conceptos de la física y en particular de la óptica relacionados con el proceso holográfico y además logra incrementar la motivación de los estudiantes por esta disciplina.

### **Referencias**

- [1] G. Saxby, *Practical Holography* (Cambridge University Press, Cambridge, 1996).
- [2] R. Serra, *La Utilización del Holograma como Medio de Enseñanza y de Educación Social en Cuba a Través del Vínculo Investigación – Docencia – Extensión Universitaria*. Tesis Doctoral, Cuba, 2004.
- [3] Rolando Serra Toledo, Gilda Vega Cruz, Angel Ferrat Zaldo, José. J. Lunazzi y Daniel. S.F. Magalhães, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **31**, 1401 (2009).
- [4] A. García, *Física General Aplicada: Novedosa Concepción para la Enseñanza de la Física en Ciencias Técnicas*. Tesis Doctoral, Cuba, 1997.
- [5] P. Horrutinier, *El Perfeccionamiento del Sistema de Conocimientos en la Disciplina Física para Estudiantes de Ingeniería*. Tesis Doctoral, Cuba, 1998.
- [6] A. Patiño, *Una Concepción de Modernización para la Disciplina Física General en Ciencias Técnicas*. Tesis Doctoral, Cuba, 2000.
- [7] A. Ferrat, *La Resolución de Problemas de Física. Un Estudio para Propiciar su Aprendizaje Mediante el uso de Estrategias de Solución*. Tesis Doctoral, Cuba, 1999.
- [8] H. Falcón, *Una Concepción de Profesionalización desde la Disciplina Física General en Ciencias Técnicas*. Tesis Doctoral, Cuba, 2003.
- [9] I.R. Sinclair and J. Dunton *Practical Electronics Handbook* (Burlington, Oxford, 2007), 6<sup>th</sup> ed.
- [10] L. Vaden, *Discos Ópticos*, disponible en [www.monografias.com](http://www.monografias.com).
- [11] F. Ayala, *Reansmisión de Datos*, disponible en [www.monografias.com](http://www.monografias.com).
- [12] R.L. Serra, R. González, P. Milanes, A. Alejo, M. Garí, y A. Moreno, *Procedimiento para el procesamiento de hologramas de reflexión con emulsión AGFA GEVAERT 8E75HD*, Patente cubana No. CU 22617 A1, 2000.
- [13] Rolando Serra, Rolando González, Alfredo Moreno, Beatriz Moreno y Manuel Garí, in: *Memorias del Primer Foro de Óptica América-Europa (Láser e Industria)*, Valencia, España, 1995.