

# Hogramas multiplexados de imagen. Nuevas aplicaciones y perspectivas

L.R. Berriel-Valdos, S. Guel, E. Tepichín

*Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica,  
Apartado postal No. 51, 72000 Puebla, Pue., México.*

A. Olivares-Pérez y R. Rodríguez-Vera

*Centro de Investigaciones en Óptica, A.C.  
Apartado postal No. 948, 37000 León, Gto.*

(Recibido el 13 de octubre de 1988; aceptado el 27 de julio de 1989)

**Resumen.** Se muestran varias aplicaciones de los hologramas multiplexados de imagen mediante la técnica de grabar la información con una sola longitud de onda, variando el ángulo del haz de referencia. Algunas de estas aplicaciones utilizan un sistema de procesado óptico de imágenes del tipo de Fourier, otras se llevan a cabo grabando directamente la imagen del objeto sobre la placa fotográfica. El método es de fácil implementación y muestra gran versatilidad en la recuperación y visualización en color de la información registrada.

**PACS:** 42.40.My; 42.80.Tb; 42.30.Kg

## 1. Introducción

Los hologramas imagen (HI) tienen su origen en los hologramas normales con la diferencia de que el objeto a holografar se encuentra en el plano de la placa fotográfica [1]. Una de las ventajas de los HI es que estos se pueden observar con luz blanca, como consecuencia de que los requerimientos de coherencia y ancho de banda de la fuente de reconstrucción se minimizan [2-4]. Otro efecto más de los HI es que la imagen observada cambia de color al girar el holograma, este efecto es por la dispersión que sufre la luz blanca debido a la rejilla holográfica que se forma en el registro del holograma. Por otro lado, la técnica de multiplexar hologramas se inició poco después de llevar a cabo los primeros hologramas grabados con luz coherente de un láser [5]. Esta técnica consiste en grabar sobre una misma placa fotográfica varios hologramas y observar cada una de las imágenes holográficas a un ángulo diferente. En los hologramas imagen aquí propuestos se utiliza la técnica de multiplexado con la variante de que las imágenes a grabar deben observarse simultáneamente en el mismo ángulo. Este trabajo es la extensión de nuevas aplicaciones de los HI [6]. En la referencia [6] se exploró la técnica de los Hologramas Multiplexados de Imagen (HMI) en pseudocoloración de transparencias en blanco y negro, realce de borde unidireccional, diferencia de imágenes y finalmente multiplexado de información por

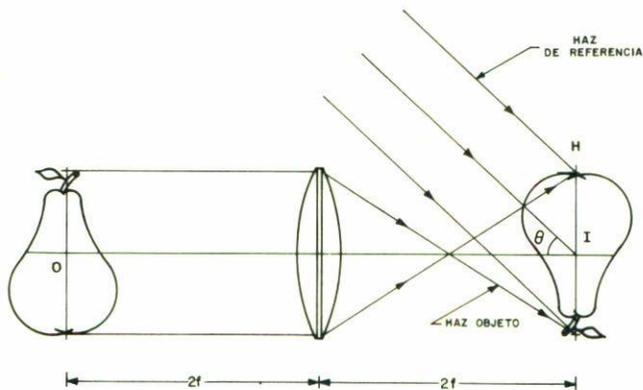


FIGURA 1. Esquema de un arreglo experimental para grabar un holograma multiplexado de imagen. O = objeto, L = lente, H = placa holográfica,  $\theta$  = ángulo de alguno de los haces de referencia, I = imagen del objeto O.

codificación en color. En este trabajo estamos reportando la codificación en color de frecuencias espaciales, obtención de la versión holográfica de una transparencia en color, el uso de la técnica de multiplexado para obtener memorias holográficas; y finalmente, pseudocolorear los planos en profundidad de un objeto tridimensional. En la siguiente sección se hará un resumen de la teoría de los (HMI) e inmediatamente después se enumerarán algunas aplicaciones que actualmente se están reportando para su publicación y algunas otras de las cuales aún no se tienen resultados experimentales pero cuya factibilidad es clara. Finalmente, se llegará a concluir sobre las aplicaciones ya obtenidas y sobre futuras líneas de trabajo.

## 2. Teoría

Un arreglo experimental para grabar un holograma multiplexado de imagen es el mostrado en la Fig. 1. La imagen I del objeto O se forma mediante la lente L en el plano de la placa fotográfica H. La distancia focal de la lente es  $f$ , y el objeto se coloca a una distancia de  $2f$  de la lente con el fin de tener amplificación uno. Si el objeto es transparente y lo suficientemente delgado se le puede iluminar con un haz colimado de luz coherente de izquierda a derecha a lo largo del eje óptico del sistema; de otra forma el objeto se puede iluminar con el haz colimado incidiendo sobre él mismo, de tal manera que la luz difusa o especular reflejada sea la que forme la imagen sobre la placa fotográfica. Suponiendo que el objeto es transparente, la amplitud de la imagen del objeto sobre la placa queda dado por  $I_c(x) = I(x) \exp(j\pi x^2/\lambda f)$ , donde  $j = \sqrt{-1}$ ,  $\lambda$  es la longitud de onda de la fuente de luz empleada en el registro del holograma; por simplificación se usó notación

unidimensional. La onda plana de referencia tiene una distribución de amplitud sobre la placa fotográfica de la forma  $r_c(x) = r \exp(j2\pi\xi x)$ , donde  $r$  es la amplitud del haz colimado de referencia,  $\xi = (\sin \theta)/\lambda$  la cual representa la frecuencia espacial en la dirección  $x$  y  $\theta$  es el ángulo de incidencia de ésta. En la placa holográfica,  $H$ , la amplitud total  $i(x)$  es

$$i(x) = I_c(x) + r_c(x), \quad (1)$$

por consiguiente, el patrón de intensidad,  $I(x)$  en el plano del holograma es

$$I(x) = |I(x)|^2 + r^2 + I_c^*(x)r_c(x) + I_c(x)r_c^*(x), \quad (2)$$

donde el asterisco como superíndice significa complejo conjugado.

En condiciones de linealidad, la amplitud de transmitancia  $t_c(x)$  de la placa holográfica después de revelarla [2], está en relación directa con la intensidad  $I(x)$  de la siguiente manera

$$t_c(x) = t_{co} + \beta T I(x), \quad (3)$$

donde  $\beta$  es la pendiente de la curva de transmitancia contra exposición, característica del material fotográfico,  $T$  el tiempo de exposición y  $t_{co}$  es la transmitancia constante de fondo. Si reconstruimos el holograma con el conjugado del haz de referencia empleado en la grabación, la amplitud compleja de la onda transmitida a través del holograma podemos escribirla como

$$\begin{aligned} u(x) = & \left\{ t_{co} + \beta T [ |I(x)|^2 + r^2 ] \right\} r \exp(-j2\pi\xi x) \\ & + \beta \text{Tr}^2 I(x) \exp\left(\frac{j\pi x^2}{\lambda f}\right) \exp(-j4\pi\xi x) \\ & + \beta \text{Tr}^2 I(x) \exp\left(-\frac{j\pi x^2}{\lambda f}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

En esta expresión el tercer término representa una onda esférica que converge a la distancia  $f$  atrás del holograma. Si el observador coloca la pupila de su ojo en el punto donde converge esta onda, verá una imagen brillante del objeto. El primer término de la Ec. (4) es una onda que se propaga en la dirección del haz conjugado y el segundo es el frente de onda divergente que viaja en un ángulo que es dos veces el del haz conjugado de reconstrucción. Al analizar la reconstrucción de las imágenes real y virtual como si fueran producidas por haz objeto y referencia como fuentes puntuales, la imagen virtual y la conjugada están localizadas sobre el plano del holograma y por lo tanto, los requerimientos de coherencia de la fuente de reconstrucción son mínimas, permitiendo la utilización de una fuente de luz blanca en la reconstrucción del holograma. Otra ventaja adicional de este tipo de hologramas es que la imagen reconstruida puede observarse en un color determinado [7].

Supongamos ahora que la reconstrucción tiene lugar con una onda dirigida en otra dirección y misma longitud de onda

$$r \exp(-j2\pi\xi'x), \tag{5}$$

donde  $\xi' = (\text{sen } \theta')/\lambda$  y  $\theta'$  es el nuevo ángulo de reconstrucción. La amplitud de la luz difractada por el holograma la podemos expresar entonces como

$$\begin{aligned} u(x) = & \{t_{\text{co}} + \beta T [I(x)]^2 + r^2\} r \exp(-j2\pi\xi'x) \\ & + \beta \text{Tr}^2 I(x) \exp\left(\frac{j\pi x^2}{\lambda f}\right) \exp[-j2\pi(\xi + \xi')x] \\ & + \beta \text{Tr}^2 I(x) \exp\left(-\frac{j\pi x^2}{\lambda f}\right) \exp[j2\pi(\xi - \xi')x]. \end{aligned} \tag{6}$$

Al examinar el tercer término de esta expresión que es el de interés para nosotros, ya que representa la imagen real, es la onda convergente que lleva la información de la imagen  $I(x)$ , en una dirección que corresponde al factor de inclinación  $(\xi - \xi')$ . Naturalmente si queremos recuperar la imagen en la dirección original, se debe anular el factor de inclinación  $(\xi - \xi')$ , y esto se puede obtener si hacemos

$$\xi = \xi', \tag{7}$$

pero esta es una solución trivial, que se obtiene cuando se reconstruye con el ángulo igual a aquél con que fue registrado. Otra solución para que el factor de inclinación se anule puede encontrarse de la forma siguiente,

$$\frac{\text{sen } \theta}{\lambda} = \frac{\text{sen } \theta'}{\lambda'} = \text{constante.} \tag{8}$$

La condición (8) implica que hay que conservar los factores de inclinación constantes, en otras palabras, la frecuencia espacial constante y como se puede observar esta invariante depende de otra longitud de onda ( $\lambda'$ ) y otro ángulo ( $\theta'$ ). En nuestro caso, nos interesa reconstruir con luz blanca, pero con un ángulo en el cual se superpongan los colores deseados. Esto solamente se logra al variar la frecuencia espacial para cada color cuando se graba el holograma con una sola longitud de onda ( $\lambda$ ). Calculando el período de dicha distribución espacial tenemos,

$$d' \text{sen } \theta' = d \text{sen } \theta = \lambda \tag{8a}$$

donde  $\lambda$  es la longitud de onda del registro,  $d'$ ,  $d$  son los períodos de la distribución espacial y  $\theta'$ ,  $\theta$  son los ángulos de referencia.

Ahora, al reconstruir el holograma con luz blanca se quiere que los colores se superpongan en un solo ángulo, entonces

$$\begin{aligned}d' \operatorname{sen} \theta_w &= \lambda' \\d \operatorname{sen} \theta_w &= \lambda\end{aligned}$$

siendo

$$\frac{\lambda'}{d'} = \frac{\lambda}{d} = \operatorname{sen} \theta_w \quad (8b)$$

donde  $\theta_w$  es el ángulo de superposición de los colores y  $\lambda'$ ,  $\lambda$  son los colores deseados. Despejando el periodo de (8b) y sustituyendo en (8a) obtenemos

$$\lambda' \operatorname{sen} \theta' = \lambda \operatorname{sen} \theta = \lambda \operatorname{sen} \theta_w = \text{constante}, \quad (8c)$$

esta relación nos permite anular el factor de inclinación.

Si procedemos ahora a grabar los hologramas de dos transparencias  $O_1$  y  $O_2$ , con los haces de referencia haciendo ángulos  $\theta$  y  $\theta'$  cuyos factores de inclinación fueran  $\xi = (\operatorname{sen} \theta)/\lambda$  y  $\xi' = (\operatorname{sen} \theta')/\lambda$ , entonces la distribución de intensidad sobre el plano del holograma está dado por

$$\begin{aligned}I(x) &= [2r^2 + |I_1(x)|^2 + |I_2(x)|^2] \\&+ rI_1(x) \exp\left(\frac{j\pi x^2}{\lambda f}\right) \exp(-j2\pi\xi x) \\&+ rI_1(x) \exp\left(-\frac{j\pi x^2}{\lambda f}\right) \exp(j2\pi\xi x) \\&+ rI_2(x) \exp\left(\frac{j\pi x^2}{\lambda f}\right) \exp(-j2\pi\xi' x) \\&+ rI_2(x) \exp\left(-\frac{j\pi x^2}{\lambda f}\right) \exp(j2\pi\xi' x),\end{aligned} \quad (9)$$

reconstruyendo ahora el holograma con el conjugado de uno de los haces de registro

$$r \exp(-j2\pi\xi x), \quad (10)$$

y considerando las condiciones apropiadas de linealidad, entonces la amplitud de

transmitancia es

$$\begin{aligned}
 u(x) = & [t_{co} + 2\beta \text{Tr}^2 + \beta T |I_1(x)|^2 + \beta T |I_2(x)|^2] r \exp(-j2\pi\xi x) \\
 & + \beta \text{Tr}^2 I_1(x) \exp\left(\frac{j\pi x^2}{\lambda f}\right) \exp(-j4\pi\xi x) \\
 & + \beta \text{Tr}^2 I_1(x) \exp\left(-\frac{j\pi x^2}{\lambda f}\right) \\
 & + \beta \text{Tr}^2 I_2(x) \exp\left(\frac{j\pi x^2}{\lambda f}\right) \exp[-j2\pi(\xi + \xi')x] \\
 & + \beta \text{Tr}^2 I_2(x) \exp\left(-\frac{j\pi x^2}{\lambda f}\right) \exp[j2\pi(\xi - \xi')x].
 \end{aligned} \tag{11}$$

De esta expresión el tercero y quinto términos asociados con las transparencias  $O_1$  y  $O_2$ , aparecen cada una con color diferente, cuando el holograma es iluminado con una fuente de luz blanca. Por tanto, si deseamos reconstruir tres imágenes superpuestas en los colores rojo, verde y azul, es necesario fijar uno de los ángulos de los frentes de onda de referencia con su longitud de onda, los otros ángulos se obtienen a partir de la ecuación

$$\lambda_r \text{sen } \theta_r = \lambda_v \text{sen } \theta_v = \lambda_a \text{sen } \theta_a = \text{constante}, \tag{12}$$

donde los subíndices r, v y a, significan rojo, verde y azul, respectivamente. Por consiguiente, podemos observar de manera simultánea en una misma dirección, las imágenes asociadas al color rojo  $\lambda_r$ , verde,  $\lambda_v$ , y azul,  $\lambda_a$ , grabadas en el holograma. Es posible registrar un mayor número de imágenes en diferentes colores siguiendo la relación dada en la Ec. (12); sin embargo, con el fin de optimizar la eficiencia de difracción [8], sólo es suficiente grabar tres imágenes para tres colores primarios en una misma placa fotográfica, permitiendo una variedad de posibles aplicaciones como a continuación veremos.

### 3. Aplicaciones

#### *Codificación de frecuencias espaciales por pseudocolor*

Existe la posibilidad de pseudocolorear, mediante la técnica HMI, información frecuencial de una escena. Esto se lleva a cabo en un arreglo óptico, donde en uno de sus brazos se encuentra un procesador de Fourier [9]. En este caso las imágenes a pseudocolorear son las producidas por el procesador óptico al filtrar frecuencias altas, intermedias o bajas de una misma escena. En la Fig. 2 mostramos fotografías en blanco y negro de imágenes holográficas que resultan al procesar la fotografía

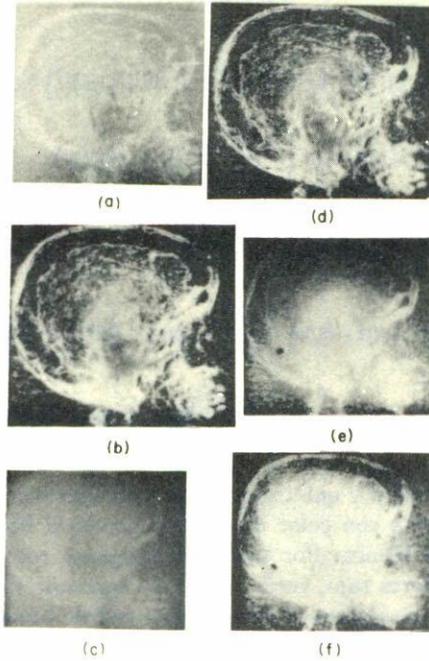


FIGURA 2. Fotografía en blanco y negro de imágenes holográficas codificadas en color mediante la técnica HMI y filtradas espacialmente en el plano de Fourier. (a) Imagen en azul en frecuencias intermedias; (b) En verde altas frecuencias; (c) Sin filtraje alguno, en rojo. (d) Combinación de (a) y (b); (e) Combinación de (b) y (c) y (f), Combinación de (a), (b) y (c).

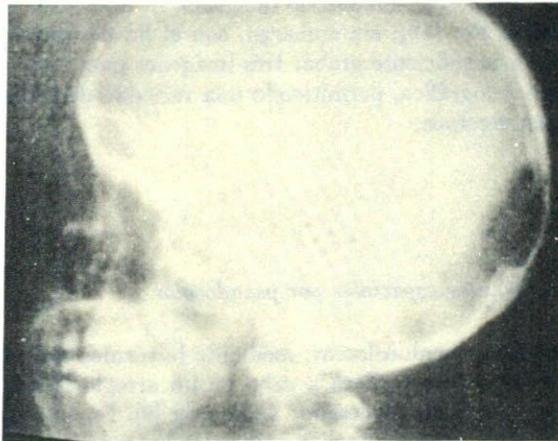


FIGURA 3. Fotografía original a procesar y pseudocolorear mediante la técnica HMI.

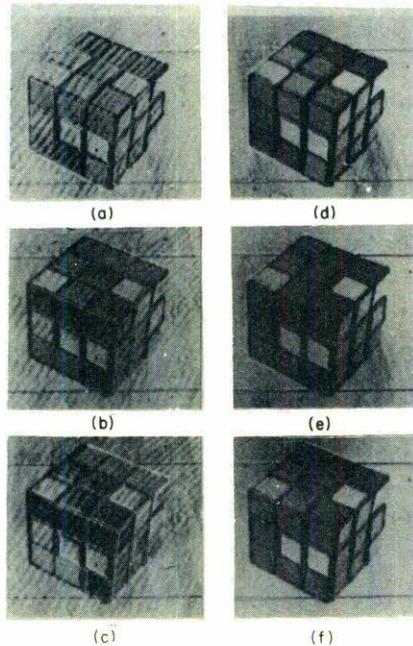


FIGURA 4. Fotografías en blanco y negro de las imágenes holográficas en los colores originales del objeto. Estas imágenes son observadas a diferentes ángulos. Nótese el cambio repentino de color (en este caso niveles de gris, en la columna izquierda donde no se usaron haces de referencia codificados. En la columna derecha son observadas a los mismos ángulos que las de la columna izquierda, solamente que aquí se emplearon haces de referencia codificados.

original mostrada en Fig. 3. En este método existe la ventaja de superponer tanto el color como el contenido frecuencial de la escena en el mismo plano, de tal manera que tenemos una infinidad de combinaciones de color y contenido frecuencial al girar el HMI. Esta misma técnica puede implementarse para pseudocolorear el contenido frecuencial direccional de una escena [10], el cual ofrece una alternativa al método óptico incoherente [11]; la ventaja de este método es que no es necesario intercalar filtros de color en el plano de Fourier, sino que la pseudocoloreación se obtiene por la dispersión de la luz blanca de reconstrucción, ventaja que reditúa en la observación de colores más brillantes y naturales.

#### *Pseudocoloreación de niveles de gris*

La técnica HMI permite obtener los colores originales de una escena en color [7], es decir, la versión holográfica de una transparencia en color. Con ayuda del método conocido como separación de color, los colores primarios de la escena se registran consecutivamente con los tres haces de referencia a diferentes ángulos, de acuerdo con las relaciones dadas por la ecuación (12). El ángulo de visión en estos hologra-

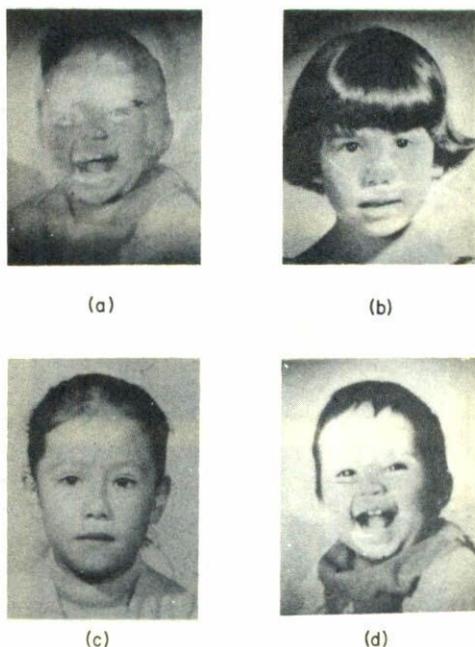
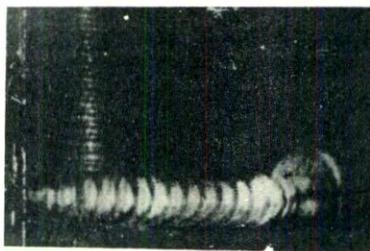


FIGURA 5. Fotografías en blanco y negro de los resultados experimentales obtenidos en el almacenamiento de información en un HMI. La recuperación de la información fue: (a) Sin rejilla en la iluminación; y cuando se ilumina con la extensión del espectro de la rejilla en el (b) rojo, (c) verde y (d), azul.

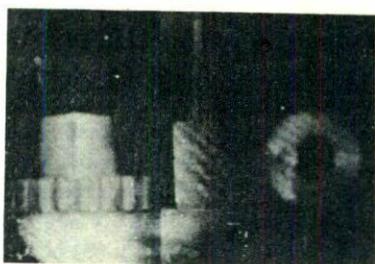
mas es reducido; sin embargo, este problema se evitó codificando mediante placas difusoras los haces de referencia. En la Fig. 4 se muestra fotografías en blanco y negro de imágenes holográficas observadas a ángulos diferentes cuando los haces de referencia no son codificados (columna izquierda) y cuando son codificados (columna derecha). Pequeñas variaciones en el ángulo de observación, cuando el haz no está codificado, hacen que la escena varíe de colores perdiéndose los colores originales de ella. Cuando los haces de referencia se codifican, los cambios de color al variar el ángulo de observación no se manifiestan en forma abrupta. Este método de registrar colores primarios de una escena original en HMI permite que el contraste en el color no cambie con el tiempo porque en la placa holográfica lo que se registra con rejillas de difracción a frecuencias espaciales diferentes y no colores reales.

#### *Memorias holográficas*

Los HMI permiten almacenar información para diferente color al variar el ángulo del haz de referencia [6]. En principio, la cantidad de información a almacenar se encuentra limitada por la eficiencia de difracción, la cual disminuye conforme el número de imágenes que se almacenan en el holograma aumenta [8]. La recuperación



(a)



(b)

FIGURA 6. Fotografías en blanco y negro de la pseudocoloración por profundidad mediante la técnica HMI. (a) Imagen de un objeto continuo donde el color rojo corresponde a una menor profundidad y el azul a una mayor. (b) Imagen de un objeto discreto; en este caso también los colores varían desde el rojo hasta el azul indicando de menor a mayor profundidad.

de la información se lleva a cabo iluminando el holograma con una fuente de luz blanca y colocando entre la fuente y el holograma una rejilla de difracción con un espectro de colores suficientemente extendido de tal forma que el holograma se ilumine por una parte del espectro. Esta rejilla de difracción a la vez puede construirse usando la técnica de los HMI. En la Fig. 5 mostramos fotografías en blanco y negro de la reconstrucción del holograma multiplexado. En esta vemos (5a) la superposición de la información cuando no se emplea la rejilla de iluminación del HMI. Las fotografías 5b, 5c y 5d, son las informaciones recuperadas cuando la extensión del espectro del color rojo, verde y azul, respectivamente, ilumina al HMI.

#### *Pseudocoloración por profundidad de escenas 3-D*

Una aplicación importante de la técnica HMI es que se puede utilizar para pseudocolorear escenas 3-D por profundidad [4]. Este método refuerza los colores que representan los distintos planos de profundidad en los que se encuentra contenida la imagen holográfica, la cual tiene una correspondencia no lineal con el objeto. Esta no linealidad radica en que el sistema óptico empleado en la construcción de este tipo

de hologramas, está constituido por lentes que deforman la imagen tridimensional de un objeto en forma asintótica. Por tanto, primero hay que calcular y ajustar nuestro diseño del arreglo experimental en función de las dimensiones del objeto para minimizar dicha deformación. Otro punto importante antes de pseudocolorear por profundidad, es que el objeto a holografar se encuentre correctamente enfocado por el sistema óptico. Para lo cual se utiliza una rendija como diafragma sobre la lente formadora de imagen; la abertura de la rendija es tal que debe ser menor o igual que el diámetro de la pupila de nuestro ojo, con ello eliminamos errores de paralaje, que en nuestro caso se corrige, colocando la rendija en forma horizontal. Debido al campo de visión que tenemos, este método se limita a pseudocolorear profundidad de objetos proyectados en una dirección. Además, la rendija controla el efecto de la dispersión del color en forma logarítmica [12]. Entonces se utiliza el método de multiplexado para registrar tres hologramas del objeto 3-D. Iluminando diferentes partes del objeto, éstas se registran con un haz de referencia que representa un color primario; en nuestro caso se optó por tres haces de referencia que representan los tres colores primarios. Los objetos a pseudocolorear pueden ser continuos o discretos. Los resultados son importantes porque se puede cuantificar la relación espacial que existe entre el objeto y el plano donde se encuentra ubicada la película fotosensible. En la Fig. 6 se muestran las fotografías en blanco y negro de pseudocoloreación por profundidad para los casos: (a) objeto continuo y (b) objeto discreto.

#### 4. Perspectivas

##### *a) Detección de objetos de fase*

Existe también la posibilidad de utilizar en el mismo arreglo óptico de HMI modificado con un sistema Schlieren [13], el cual puede ser de utilidad para detectar objetos de fase, mapeo de gradientes de temperatura, concentración en difusión, etc.; permitiéndonos incluir una cuarta dimensión más al objeto: el color.

##### *b) Detección de inhomogeneidades en materiales transparentes e isotrópicos*

En este caso se registran sobre la placa fotográfica tres imágenes de proyecciones diferentes, del mismo objeto girado sobre un mismo eje. Cada una de estas proyecciones se graba con un haz de referencia a diferente ángulo. En regiones de la imagen holográfica donde se superpongan los tres colores primarios, corresponde a partes donde existe homogeneidad en el objeto; en cualquier otro caso se observan regiones en colores primarios, los cuales nos indican inhomogeneidad.

##### *c) Estereoscopia holográfica*

Para observar el efecto estereoscópico, se registran sobre la misma placa fotográfica dos escenas ligeramente desplazadas angularmente del mismo objeto; cada una de

estas escenas se graba con haces de referencia a ángulos diferentes. Al reconstruirse el holograma con un haz colimado de luz blanca estas escenas se superponen cada una con un color primario y de manera simultánea, proporcionando el efecto estereoscópico pseudocoloreado.

*d) Pseudocolocación de diferencia de imágenes*

Es muy conocida la técnica de pseudocolocación de diferencia de imágenes mediante el uso de un procesador de Fourier en iluminación incoherente [14]. En tal técnica las imágenes a diferenciar son muestreadas con rejillas de Ronchi y a partir de éstas se sintetiza a una imagen (imagen preprocesada). Se ha demostrado [15] que esta imagen sintetizada al filtrarla espacialmente en el plano de Fourier nos proporciona la suma (orden cero), la resta (orden uno) y la suma con contraste invertido (orden dos), de las dos imágenes. En nuestro caso, empleando el método de HMI, grabamos sobre la misma placa holográfica la suma, la diferencia y la suma con contraste invertido, cada una de ellas con un haz de referencia a diferente ángulo. Observamos al iluminar el HMI con una fuente de luz blanca la pseudocolocación en niveles de gris en dos colores para la suma y la suma con contraste invertido y, la diferencia de imágenes pseudocoloreada en la combinación de los tres colores primarios.

## 5. Conclusiones

Por los resultados mostrados, los HMI tienen una gama de posibles aplicaciones que los hacen atractivos en diferentes áreas, como es en el almacenamiento de información, en reconocimiento de objetos por su ubicación espacial, en pseudocolocación tanto por niveles de gris como por contenido frecuencial, etc. La metodología empleada para grabar este tipo de HMI es barata por utilizar únicamente la longitud de onda de un láser de He-Ne a 632.8 nm y una sola placa fotográfica, ventaja atractiva en comparación con los reportados, donde se utiliza tres láseres cada uno con diferente longitud de onda [5,16-17]; hologramas arcoiris grabados sobre tres placas fotográficas para sintetizar un solo holograma multiplexado [18]; o aquéllos en que se utiliza la holografía sandwich [19,20], en la cual se graban dos hologramas en diferentes placas fotográficas cada una con diferente longitud de onda para después superponer emulsión con emulsión haciendo coincidir las imágenes grabadas. El contraste de los colores en los HMI obtenidos es bueno y éstos no cambian con el tiempo como consecuencia ya que son rejillas de difracción lo que se registra en la placa holográfica. Finalmente, la resolución en la imagen obtenida es de la más alta en holografía, ya que la pérdida de frecuencias espaciales asociadas al objeto es baja. Cabe mencionar que una de las ventajas más favorables es que de los métodos ópticos incoherentes para obtener pseudocolocación hasta ahora reportados el HMI es uno de los más eficientes, ya que no requieren de intercalamiento de filtros de color al momento de procesar la imagen, produciendo colores más brillantes y naturales.

## Agradecimientos

R. Rodríguez-Vera y A. Olivares Pérez agradecen al CONACYT el apoyo económico recibido durante sus estudios de posgrado. También queremos agradecer a Raymundo Mendoza Arce el apoyo técnico recibido en el trazo de los esquemas y a J. Ibarra por las tomas fotográficas.

## Referencias

1. L. Rosen, *Appl. Phys. Lett.* **9** (1966) 337.
2. P. Hariharan, *Optical Holography. Principles, Techniques and Applications*. Cambridge University Press, New York (1984).
3. R. Rodríguez Vera, *Técnicas Holográficas en la Reproducción de Escenas en Color*. Tesis de Maestría, CIO-INAOE (1986).
4. A. Olivares Pérez, *Pseudocoloración por profundidad de Escenas 3-D con Hologramas de Imagen*. Tesis de Maestría, CIO-INAOE (1986).
5. R.S. Collier and K.S. Pennington, *Appl. Opt.* **6** (1967) 1091.
6. S. Guel Sandoval y L.R. Berriel Valdós, *Memorias MEXICON 83 IEEE*, (1983) s/p.
7. R. Rodríguez-Vera, L.R. Berriel-Valdos and A.A. Morales-Romero, *Opt. Eng.* **28** (1989) 193.
8. J.L. LaMacchia and C.J. Vincelette, *Appl. Opt.* **7** (1968) 1857.
9. R. Rodríguez-Vera, L.R. Berriel-Valdos, and A.A. Morales-Romero, aceptado para su publicación en *Opt. Comm.* (1988).
10. D. Luna, *Pseudocoloración Holográfica en Componentes Frecuenciales de Imágenes Filtradas Espacialmente*. Tesis de Licenciatura, CIO (1988).
11. A. Pons, P. Andrés, C. Ferreira and C. Illueca, *J. Optics* **15** (1984) 65.
12. A. Olivares-Pérez, L.R. Berriel-Valdos and A.A. Morales-Romero, enviado para su publicación a *Appl. Opt.* (1988).
13. L.A. Vasil'ev, *Schlierer Methods*. New York: Israel Program for Scientific Translation, Ketre Inc. (1971).
14. R. Rodríguez Vera, *Diferencias de Imágenes Preprocesadas*. Tesis de Licenciatura, Escuela de Física y Matemáticas, Universidad Michoacana, Morelia, Mich., (1982).
15. G. Rodríguez, *Opt. Lett.* **8** (1983) 455.
16. A.A. Friesem and R.J. Fedorowicz, *Appl. Opt.* **6** (1967) 529.
17. R.A. Lessard, P. Langlois and A. Boivin, *Appl. Opt.* **14** (1975) 565.
18. P.N. Tamura, *Appl. Opt.* **17** (1978) 2532.
19. P. Hariharan, W.H. Steel, and Z.S. Hegedus, *Opt. Lett.* **1** (1977) 8.
20. P. Hariharan, *Opt. Comm.* **35** (1980) 42.

**Abstract.** Some applications of multiplexed image holograms are shown. This multiplexing technique is based on the relative angle of the reference beam which varies for each recorded image; just one laser wavelength is used along the process. Some applications use Fourier optical image processing systems, some others make records directly from the object's image on the photographic plate. Herein the methods proposed, can be easily implemented experimentally and show versatility to retrieve the image and color of the recorded information.