

CONSTRUCTION OF AN OPTICAL-DIGITAL INTERFACE FOR FOURIER GENERATED HOLOGRAMS

CONSTRUCCIÓN DE UNA INTERFACE ÓPTICO-DIGITAL PARA GENERAR- RECONSTRUIR HOLOGRAMAS

Fís. Dudbil O. Pabón R., PhD. Jorge Enrique Rueda Parada

Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Básicas.
Departamento de Física y Geología, Grupo Óptica Moderna.
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia.
Tel.: +(57) (7) 5685303, Fax: +(57) (7) 568 5303, Ext. 156.
E-mail: jorgeenriquerueda@unipamplona.edu.co

Abstract: It implemented an Optical-Digital interface, which generates eight types of Fourier holograms. The digital hologram generation and reconstruction is digital, or optical device using a LCR2500. We developed a software application with Graphical User Interface. We present validation results of the implemented system.

Keywords: Digital Holography, Fourier Optics, Fourier Transform.

Resumen: Se implementó una interfase Óptico-Digital, que permite generar ocho tipos de hologramas de Fourier. La generación del holograma es digital y la reconstrucción es digital, u óptica utilizando un dispositivo LCR2500. Desarrollamos un aplicativo software con Interfase Gráfica de Usuario. Se presentan los resultados de validación del sistema.

Palabras clave: Holografía Digital, Óptica de Fourier, Transformada de Fourier.

1. INTRODUCCIÓN

Un holograma es el registro del todo de un frente de onda, es decir de su fase y amplitud [1-12]. Actualmente, el Registro-Reconstrucción de hologramas es posible de manera totalmente óptica, Digital-Óptica, o solo Digital. La generación digital con reconstrucción óptica se puede hacer utilizando moduladores espaciales de cristal líquido de funcionamiento por transmisión o reflexión (p.e. LCR2500 HoloEye). El dispositivo LCR2500 viene provisto de software de manejo, que permite generar solo un tipo de holograma digital. Este software es cerrado, es decir no puede ser modificado su código. Es conveniente contar con un aplicativo que permita generar cualquier tipo de holograma digital, y que dé mayor libertad de opciones al usuario. En este sentido, desarrollamos un aplicativo software con interface gráfica de usuario, que permite generar ocho tipos de

hologramas digitales de objetos planos; hologramas que se pueden reconstruir digitalmente o de manera óptica, por ejemplo, utilizando un modulador de cristal líquido. Presentamos resultados de validación, con reconstrucción óptica mediante un modulador espacial de cristal líquido LCR2500.

2. HOLOGRAMAS GENERADOS POR COMPUTADOR

Los hologramas generados por computador (HGC) se pueden utilizar para producir frentes de onda de cualquier amplitud y fase, por lo tanto son de gran utilidad en aplicaciones tales como filtrado espacial óptico, caracterización de superficies ópticas, generación de marcas de seguridad, aplicaciones de tipo industrial, médicas, entre otras.

La producción de hologramas digitales fue propuesto por Lee en 1978 [10], y por Yaroslavskii Merzlyakov en 1980 [11]. La producción de HGC consta de dos pasos fundamentales. El primer paso es calcular la amplitud compleja de la onda objeto en el plano del holograma. El segundo paso implica el uso de los valores calculados de la transformada de Fourier discreta para producir la función de transmitancia del holograma, que reconstruye la onda objeto cuando este se ilumina adecuadamente.

3. TÉCNICA DE CODIFICACIÓN DEL HOLOGRAMA

Para esta parte del sistema se desarrolló un software con interfase gráfica de usuario, desde la cual se puede cargar la imagen objeto, y elegir uno de los ocho algoritmos que calcula la función de transmitancia del holograma. Se pueden calcular los siguientes tipos de hologramas: Gerchberg-Saxton, Burch, Square-Wave, de amplitud, de parte real de la transformada de Fourier, de parte imaginaria de la transformada de Fourier, Cuaternario y *Crossed-Square-Wave* [11]. La interfase software se desarrolló en lenguaje Matlab. El diseño del algoritmo está constituido de nueve pasos fundamentales:

1. Cargar una imagen $f[N;M]$.
2. Normalizar la imagen de entrada $f[N;M]/255$
3. Generar una matriz de $zeros[2N;2M]$.
4. Insertar la matriz normalizada en la matriz de $zeros[2N;2M]$, que representa al plano objeto.
5. Generación de una onda portadora $f[2N;2M]$ y conversión de esta imagen en un objeto difuso, de fase aleatoria calculada a partir de la siguiente expresión:

$$\varphi = [\text{rand}[2N;2M] - 1/2] 2\pi$$

6. La onda objeto tiene entonces la forma:

$$g[2N;2M] = f[2N;2M] e^{i\varphi[2N;2M]}$$
7. Cálculo de la transformada de Fourier discreta de $g[2N;2M]$; el resultado tiene la forma:

$$G[k;l] = \sum_{k,i}^{2N \times 2M} g[2N,2M] e^{-2\pi i \frac{2N_k + 2M_l}{2N \times 2M}}$$

8. Extracción de la fase de $G[k;l]$;
9. Elección de la función de modulación de la fase (No todos los tipos de hologramas requieren la función de modulación).
10. Reconstrucción del holograma. Se puede hacer de manera digital u óptica registrando el holograma en un modulador espacial de luz (ejemplo: un LCR-2500).

4. RECONSTRUCCIÓN ÓPTICA DEL HOLOGRAMA

En las figuras 1 y 2 contienen una fotografía de la interfase óptico-digital implementada y el respectivo esquema del arreglo. El arreglo óptico es un 2F, en cuyo plano de entrada se ubica el modulador LCR2500 donde se registra vía digital el holograma generado.

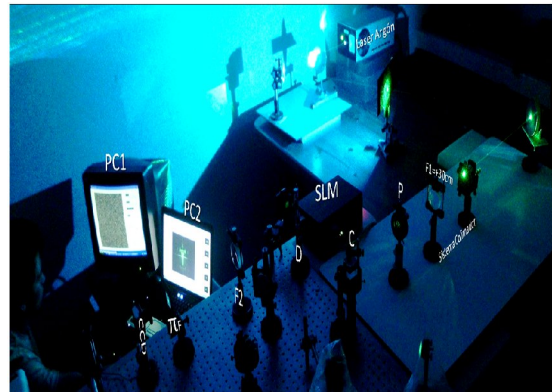


Fig. 1: Foto del montaje experimental.

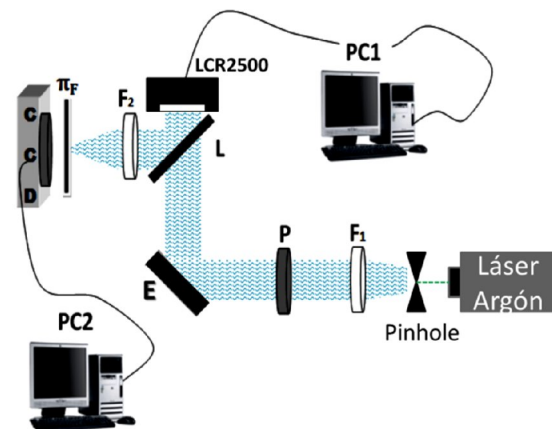


Fig. 2: Esquema del montaje experimental. C: cubo divisor de ond; L: lámina divisora de onda; F2: lente de Fourier; P: polarizador lineal. F1: lente convergente colimadora. LCR2500: modulador espacial de luz; E: espejo.

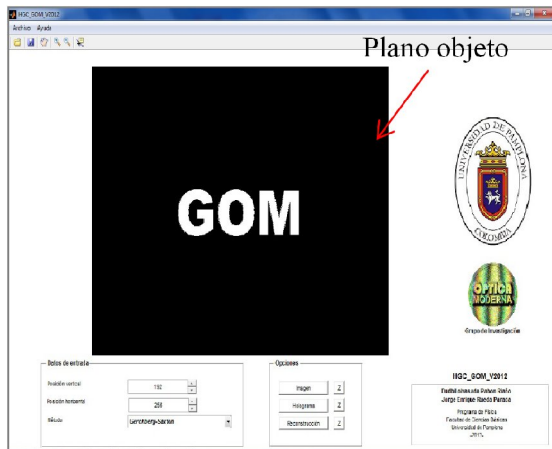
El arreglo se iluminó con una onda plana, de longitud de onda $514\text{nm}/45\text{mW}$ de un láser de Argón. Se polarizó linealmente el frente de onda para así lograr hologramas de sólo fase ó de Amplitud-Fase, mediante la rotación del plano de polarización. (Por ejemplo, con polarización paralela al eje director del modulador LCR-2500 la codificación del holograma es aproximadamente de solo fase). El computador PC1 calcula el holograma y lo registra en el SLM. La onda se difracta del plano del holograma y su

reconstrucción se observa en el plano de Fourier π_F ; La cámara CCD registra este plano. En caso de un holograma de amplitud, la polarización se debe ajustar perpendicularmente al eje director del modulador.

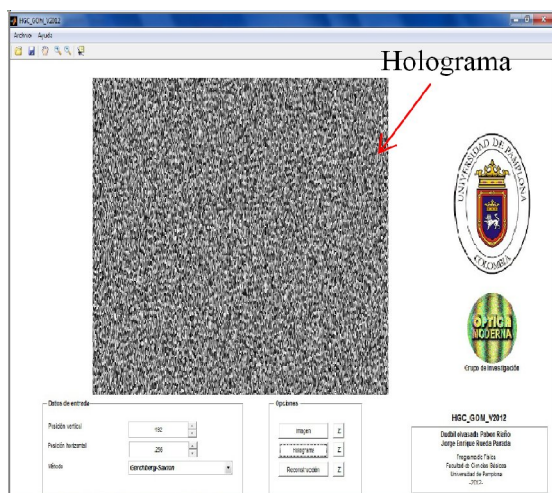
5. RESULTADOS

Presentamos algunos resultados de hologramas tipo Gerchberg-Saxton y tipo Burch. Estos tipos de hologramas son los que a nuestro juicio, presentaron la mejor eficiencia óptica, la mejor calidad de la imagen del holograma reconstruido y el menor costo computacional.

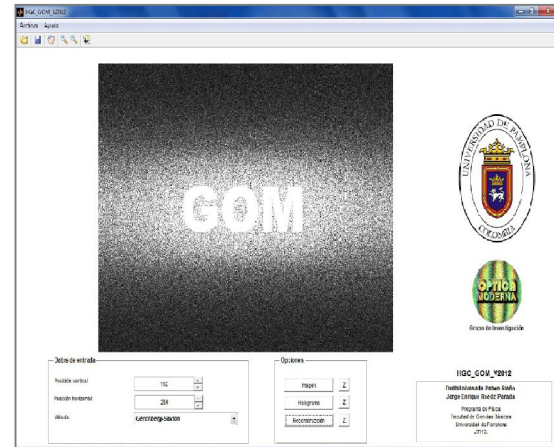
En la figura 3 se muestran las cuatro etapas de generación-reconstrucción de un holograma digital utilizando la GUI desarrollada.



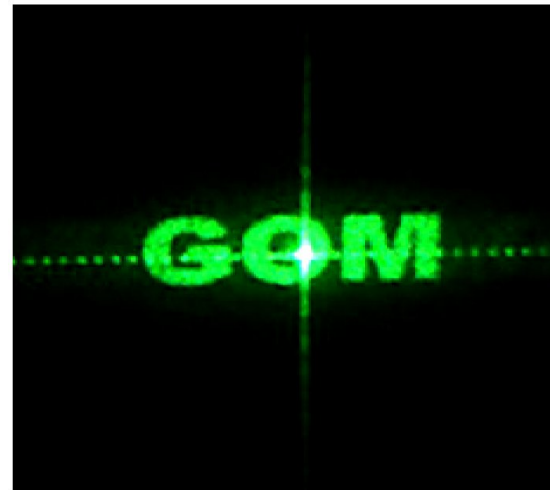
a) Imagen de la GUI mostrando el Plano objeto con la palabra GOM.



b) Imagen de la GUI mostrando el holograma digital del plano objeto de a).



c) Imagen de la GUI mostrando la reconstrucción digital del holograma b).



d) Reconstrucción óptica del holograma.

Fig. 3: a), b), c) y d) son las etapas de generación-reconstrucción de un holograma digital utilizando la GUI.

5.1 Resultado holograma tipo Gerchberg-Saxton

El método tiene la ventaja de no presentar traslape en las réplicas del holograma reconstruido, independientemente de la posición del objeto $f[N; M]$ en la matriz de $zeros[2N; 2M]$ (plano objeto), la figuras [4] es uno de los resultados de este tipo de holograma. Se pueden generar hologramas sobre el eje y fuera del eje. En el primer caso $f[N; M]$ debe estar centrada en el plano objeto; en el segundo caso se da para cualquier otra posición fuera del centro del plano objeto.

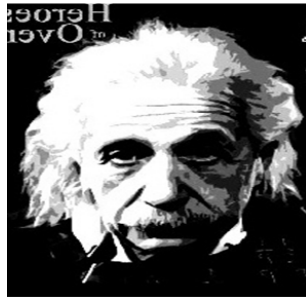
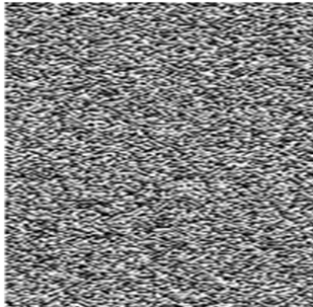
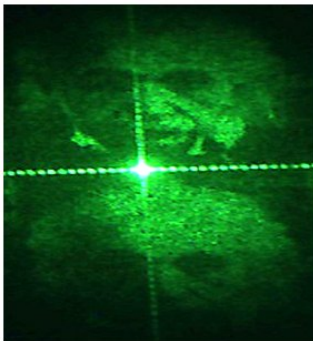
a) *Plano objeto.*b) *Holograma de a).*c) *Reconstrucción digital de b).*d) *Reconstrucción óptica de b).*

Fig. 4: Resultado holograma Gerchberg-Saxton.

5.2 Resultado holograma tipo Burch

La figura [5] es uno resultados de este tipo de holograma. Es importante que en este caso no es conveniente ubicar el objeto en el centro del plano objeto, por cuanto las réplicas se traslapan en el plano de Fourier (Ver figura 5c).

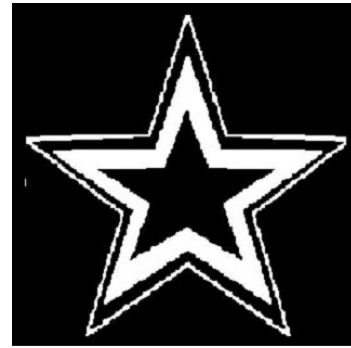
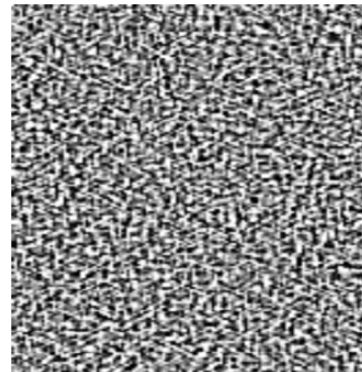
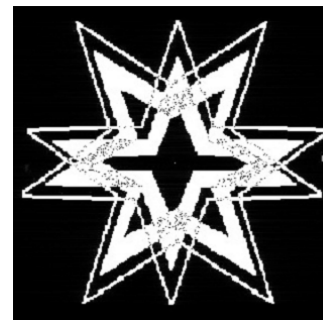
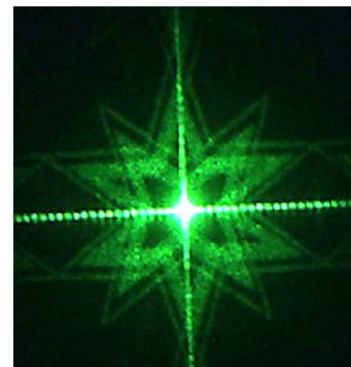
a) *Plano objeto.*b) *Holograma de a).*c) *Reconstrucción digital de b).*c) *Reconstrucción óptica de b).*

Fig.5: Resultado holograma tipo Burch.

7. CONCLUSIONES

Se desarrolló la herramienta software HGC_GOM_V2012.exe, mediante la cual se pueden calcular hologramas tipo Gerchberg-Saxton, tipo Burch y tipo fase modulada. Determinamos que los hologramas tipo Gerchberg-Saxton tienen ventajas respecto a los otros tipos. Específicamente, observamos que en la reconstrucción óptica, la eficiencia de difracción es mayor, y que la calidad del holograma reconstruido no sufre efectos de traslape de órdenes de difracción.

Los hologramas tipo Burch y tipo fase modulada, producen en la reconstrucción réplicas, que dependiendo de la posición del objeto, genera imágenes traslapadas del holograma reconstruido, siendo de mayor agresividad el traslape, cuando el objeto está en el origen del plano objeto, en cuyo caso el traslape es del 100% de los órdenes primarios con el orden cero.

De otra parte, el algoritmo de Gerchberg-Saxton es de bajo costo computacional, comparado con los otros algoritmos implementados. Es de resaltar, que la interfase desarrollada, a diferencia del aplicativo de HoloEye, permite objetos de cualquier tamaño y tipo de formato, en tanto que el algoritmo HoloEye sólo permite objetos bitonales de 200×200 píxeles. La perspectiva es utilizar la interfase para ampliar la aplicación a hologramas de objetos 3D.

REFERENCIAS

- [1]. Gerhard K. Ackermann and Jurgen Eichler. *Holography A Practical Approach*. Wiley-VCH, 2007.
- [2]. R.J. Cook N. Imoto M. Kitagawa S. Machida M.G. Raymer S. Saito J. Schwider La. Walmsley F. Wyrowski Y. Yamamoto T. Yanagawa G. Bjork, O. Bryngdahl. *Progress in Optics Volume XXVIII*. Elsevier Science Publishers B. V., 1990.
- [3]. P. Hariharan. *Optical Holography Principles, techniques, and applications*. Cambridge University Press, 1996.
- [4]. Y. Li L. Ma, H. Wang and H. Jin. *Numerical reconstruction of digital holograms for three-dimensional shape measurement*. Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, 6:396-400, 2004.
- [5]. W. H. Lee. *Sampled Fourier transform hologram generated by computer*. Appl. Opt, 9:639-643, 1970.
- [6]. Ting-Chung Poon. *Optical Scanning Holography With Matlab*. Springer Science Business Media, 2007.
- [7]. Leng Yi Ren. *Computer Generated Holography*. PhD thesis, National University of Singapore, 2009.
- [8]. U. Schanars and W. Jueptner. *Digital Holography: Digital Hologram Recording Numerical Reconstruction And Related Techniques*. Springer-Verlag Berlin heidelberg, 2005. 76
- [9]. Feng-yuan Yuan Zheng-ming Li. *Fabrication and digital reconstruction of an improved Fourier computer-generated hologram*. Energy Procedia, 11:3270-3275, 2011.
- [10]. Lee, W.-H., *Progress in Optics*. Wolf North-Holland, Amsterdam, 16:119-232, 1978.
- [11]. Yaroslavskii, L. P., and N. S. Merzlyakov, *Methods of Digital Holography*. Plenum Press, New York, 1980.
- [12]. Ting-Chung Poon, *Digital Holography and Three-Dimensional Display Principles and Applications*. Springer Science, 1-47, 2006.