

## IMPLEMENTACIÓN DE PELÍCULA FOTOGRÁFICA KODALITH PARA LA ELABORACIÓN DE HOLOGRAMAS DE FOURIER DE FASE

Diana M. González, Rodrigo Henao, Guillermo Pineda  
Instituto de Física, Universidad de Antioquia  
A.A.1226, Medellín, Colombia

### RESUMEN

Dentro de la holografía generada por computador y sus múltiples aplicaciones, los hologramas de Fourier presentan un interés de particular relevancia porque permiten hacer codificación de señales y presentan una gran versatilidad en montajes ópticos. En este trabajo se muestra posibilidad de utilizar materiales de registro no convencionales, como es la película fotográfica "Kodalith", para la elaboración de hologramas de Fourier de fase generados por computador. El hecho de poder implementar este tipo de materiales de registro contribuye a que la producción de hologramas de Fourier se pueda hacer reduciendo los costos y con un material que es de fácil adquisición en el mercado. Todo esto permite generar aplicaciones prácticas y de buen provecho a nivel industrial, como es la fabricación de registros de seguridad a pequeña escala.

### INTRODUCCIÓN

Los Hologramas de Fourier son un sistema de franjas ópticas de interferencia, como los hologramas convencionales, pero en este caso se registra la transformada de Fourier del objeto, obtenida en el plano focal posterior de un lente o calculada por un computador en el caso de elaboración de hologramas sintéticos de Fourier. El sistema de franjas se imprime con buena calidad en impresora láser o utilizando foto o electronolitografía. En el proceso se tienen como limitantes la velocidad y la memoria del computador, así como la resolución de los dispositivos impresores.

Para la generación computacional de hologramas de Fourier se hace un muestreo de la transformada bidimensional de Fourier de un objeto. Cada punto del muestreo contiene la información de la amplitud y la fase de la transformada del punto designado. La calidad del holograma dependerá del número de puntos y del tiempo de cómputo.

El método más sencillo es hacer una transformada de Fourier discreta (DFT) de los datos que describen el objeto. De ahí que el punto de partida sea la transformada bidimensional discreta de Fourier:

$$\tilde{f}_{jk} = \sum_{m=-M/2}^{M/2-1} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} f_{mn} \exp \left[ 2\pi i \left( \frac{mj}{M} + \frac{nk}{N} \right) \right]$$

Con

$$\tilde{f}_{jk} = \tilde{f}\left(\frac{j}{\Delta x}, \frac{k}{\Delta y}\right), \quad -\frac{M}{2} \leq j \leq \left(\frac{M}{2}\right) - 1 \quad \text{y} \quad -\frac{N}{2} \leq k \leq \left(\frac{N}{2}\right) - 1 \quad (1)$$

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para la elaboración de los hologramas de Fourier se utilizó el programa LIGHT SWORD (Versión 5.0 para DOS) desarrollado y diseñado para un análisis sofisticado de propagación bidimensional de ondas. Para el registro se utilizó película "Kodalith" con el fin de establecer las posibilidades que tiene este material fotográfico para ser utilizado en holografía debido a sus características de alta resolución y contraste.

Una vez obtenido el objeto (en una imagen "bit map" (BMP) de 8 bits en escala de grises) se hace una propagación iterativa obteniendo una intensidad uniforme, y la información del objeto codificada en la fase. Para obtener el holograma de Fourier de fase se calcula la transformada de Fourier, o lo que es equivalente, se multiplica  $T(x,y)$  por un lente conjugado. De este modo se tiene que la transmitancia del holograma de Fourier queda dada por:

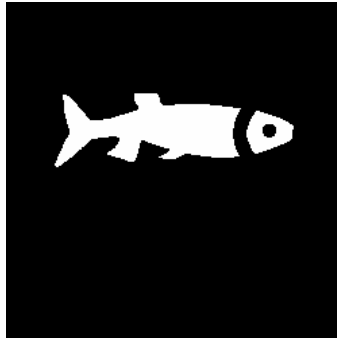
$$T_f = T \cdot e^{i\frac{kr^2}{2f}} \quad (2)$$

Donde  $k$  es el número de onda y  $f$  es la distancia focal del lente. Finalmente se obtiene la imagen correspondiente al holograma de Fourier. Se imprime una magnificación del resultado y se fotografía en un medio de alto contraste como el "Kodalith" (ASA 8) haciendo la reducción del caso. En el proceso de revelado se utilizó D-19 y su respectivo fijador con un tiempo de 3 a 5 minutos. Aunque no es necesario blanquear la película, si es conveniente hacerlo pues este proceso mejora la calidad de la imagen.

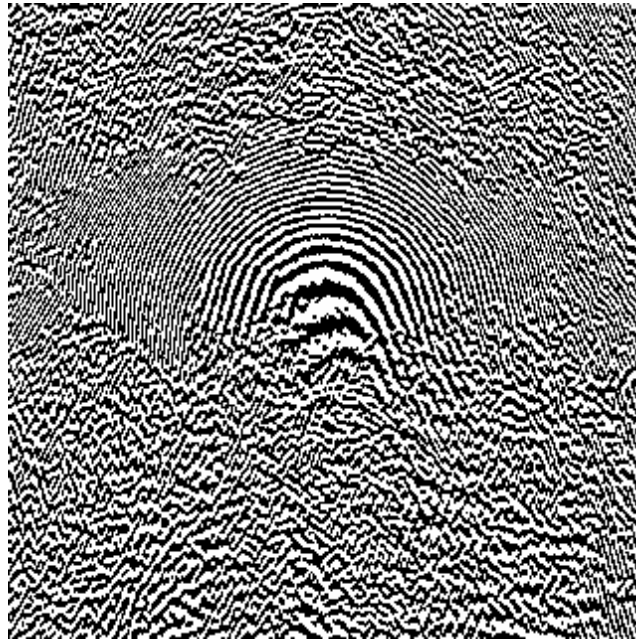
### RESULTADOS

Como resultado se obtuvieron varios registros de Hologramas de Fourier de Fase en película fotográfica "Kodalith", además de sus respectivas simulaciones. Las imágenes obtenidas son adecuadas para los objetos utilizados, que eran bastante simples y no presentaban complejidad en su forma y lineamiento. Estas características y propiedades cumplen con el requisito suficiente para múltiples aplicaciones como la de la elaboración de marcas y registros de seguridad.

A continuación se muestran las imágenes (reducidas) de las simulaciones obtenidas para uno de los objetos utilizados. La Figura 1 es un objeto diseñado en Corel DRAW 8.

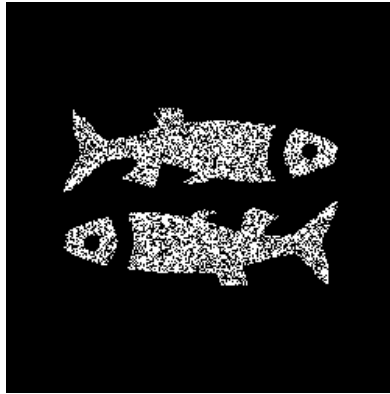


**Figura 1.** Objeto diseñado para la elaboración del Holograma de Fourier de Fase. El patrón que se ilustra en la Figura 2 corresponde a la difracción para dos niveles de fase. Se utilizó una impresora láser (600 pixeles por pulgada ) en tono de grises.



**Figura 2.** Holograma de Fourier de fase del objeto de la Figura 1.

En la simulación de la reconstrucción y se obtiene una imagen como la que se muestra en la Figura 3. Nótese que aparecen dos imágenes rotada una respecto de la otra  $180^\circ$  alrededor del eje óptico, y que además presentan speckles.



**Figura 3.** Simulación de la reconstrucción del holograma de Fourier de Fase.

En la práctica se reconstruye una imagen como la de la simulación, pero se observa además el orden cero de difracción como un punto muy resplandeciente en el eje óptico.

### CONCLUSIONES

- ◆ Se logró estandarizar el proceso de elaboración de hologramas de Fourier de fase (hasta de cuatro niveles) generados por computador y verificar la factibilidad de utilizar, como medio de registro, película fotográfica “Kodalith”.
- ◆ Las características de la imagen resultante de los hologramas que en este trabajo se describen permiten que este tipo de hologramas tenga diversas aplicaciones tanto en el ámbito académico como en el industrial y empresarial. En particular se encuentra interés en la utilización de Hologramas de Fourier de Fase para la elaboración de marcas y registros de seguridad.
- ◆ Se presenta una alternativa en la utilización de película fotográfica como medio de registro para holografía. Esto implica la posibilidad de implementar una técnica de bajo costo, de fácil acceso comercial y con muchas aplicaciones
- ◆ En el ámbito académico se abre un panorama de posibilidades de investigación para implementar, en la holografía, materiales de registro alternativos y buscar sus posibles aplicaciones.

## PERSPECTIVAS

- ◆ Los hologramas que se obtuvieron utilizando la película fotográfica “*Kodalith*”, fueron elaborados con patrones de interferencia de dos y cuatro niveles de fase. Se puede pensar en la posibilidad de hacer registros en dicha película con una mayor cantidad de niveles de fase y observar las consecuencias que esto pueda tener en la calidad de la imagen reconstruida.
  
- ◆ Es posible introducir durante la elaboración del holograma de Fourier un rayo de referencia “fuera del eje” para evitar que al final del proceso, en el patrón de la difracción, aparezca la imagen que tiene una rotación  $180^\circ$  alrededor del eje óptico. Esto haría que la simulación se pareciera más al proceso óptico que usualmente se utiliza para la elaboración de hologramas de Fourier.
  
- ◆ Se plantea la posibilidad de elaborar el mismo tipo de hologramas pero ópticamente. Como el “*Kodalith*” no es sensible al rojo se podría hacer el registro con un láser verde.

## REFERENCIAS

- [1] Principles of Holography. Howard M, Smith.
- [2] Optical Holography. Robert J. Collier. Christoph B. Burckhardt. Lawrence H. Lin.
- [3] Introduction to Fourier optics. Joseph W. Goodman.
- [4] Linear systems, Fourier transforms, and Optics. Jack D. Gaskill.
- [5] Computer – generated Holograms: techniques and applications. Way-Hon Lee.
- [6] My way in Holography. Yuri Denisyuk. 1.987
- [7] Journal of Modern Optics. 1.990, VOL 3, No. 8.
- [8] Digital Holography – Computer Generated Holograms. Progress in Optics XXVIII. 1.990.
- [9] The Fourier transform and its applications. R. Bracewell