

# SIMULACIONES NUMÉRICAS DE ANILLOS DE AUTO-DIFRACCIÓN DE HACES GAUSSIANOS

Muñoz Cendejas, Rogelio Alejandro (1), Alvarado Méndez, Edgar (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería en Mecatrónica, Universidad de Guanajuato] | [ra.munozcendejas@ugto.mx].

2 [Departamento de Ingeniería Electrónica, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [ealvarad@ugto.mx].

## Resumen

Presentamos un estudio numérico basado en el comportamiento no lineal de materiales orgánicos. Cuando se hace incidir un haz láser sobre una muestra, se caracteriza principalmente por generar anillos de auto-difracción. En este trabajo se presenta un modelo numérico, así como una interfaz gráfica en MATLAB mediante el control de la diferencia de fase, la localidad o no localidad y la distancia de propagación.

## Abstract

We present a numerical study based on the nonlinear behavior of organic materials. When a laser beam is incident on a sample, it is mainly characterized by generating self-diffraction rings. In this work, we present a numerical model, as well as a graphical interface in MATLAB by controlling the phase difference, the locality or non-locality and the distance of propagation.

## Palabras Clave

Índice de refracción; auto modulación de fase; no linealidad de tercer orden.

## INTRODUCCIÓN

### Óptica no Lineal

Cuando un fuerte campo electromagnético interactúa con un material dan origen a fenómenos ópticos no lineales, por lo tanto, las propiedades ópticas del material cambian.

En la naturaleza, existen muchos materiales orgánicos que exhiben propiedades ópticas no lineales de tercer orden y pueden ser observados como fenómenos físicos [1-2].

Algunos fenómenos físicos no lineales de tercer orden que podemos observar son: auto-difracción, auto-modulación de fase, absorción no lineal y la generación del tercer armónico [3].

Encontrar materiales con un alta no linealidad de tercer orden, es un importante logro y es en estos materiales donde observamos el fenómeno de anillos de auto-difracción a campo lejano un ejemplo de dichos anillos se muestra en la Figura 1.

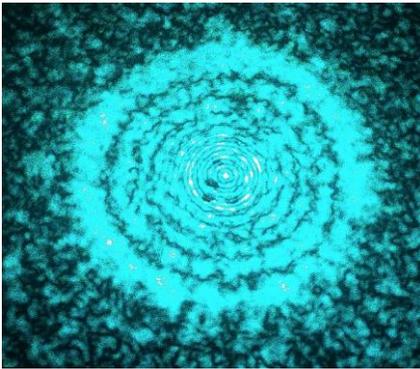


Figura 1: Anillos de auto-difracción.

Podemos ver a simple vista este fenómeno a campo lejano haciendo un arreglo óptico como se muestra en la Figura 2.

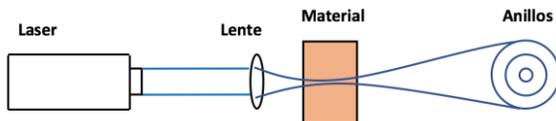


Figura 2: Arreglo óptico.

El fenómeno de anillos de auto-difracción es generado, porque el material auto modula la fase del láser, esta auto modulación de la fase es descrita por la siguiente ecuación [4].

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \int_0^L \Delta n dz \quad (1)$$

Donde  $\Delta\phi$  es el cambio de fase,  $\lambda$  la longitud de onda del haz y  $\Delta n$  el cambio del índice de refracción no lineal, y para muestras muy delgadas puede aproximarse como se observa en la ecuación 2.

$$\Delta\phi \approx \frac{2\pi}{\lambda} \Delta n L \quad (2)$$

El cambio del índice de refracción no lineal depende de la intensidad y puede ser representado como se muestra en la ecuación 3.

$$\Delta n = n_0 + n_2 I \quad (3)$$

Donde  $n_2$  es el índice de refracción no lineal,  $I$  es la intensidad y  $n_0$  es el índice de refracción lineal.

Si consideramos un haz Gaussiano, con una anchura  $w_0$  y una longitud de onda  $\lambda$ , propagándose en la dirección  $z$ , este haz sigue una amplitud de campo dado por la ecuación 4 [5].

$$\begin{aligned} \bar{E}(r, z) & \quad (4) \\ &= A_0 \frac{w_0}{w(z)} \exp\left[-\frac{r^2}{w(z)^2}\right] \exp\left[-ikz - ik\frac{r^2}{2R(z)} + i\varepsilon(z)\right] \end{aligned}$$

Donde:

$$w(z) = w_0 \left[1 + (z/z_0)^2\right]^{1/2} \quad (5)$$

$$R(z) = z \left[1 + (z_0/z)^2\right] \quad (6)$$

$$\varepsilon(z) = \tan^{-1}[z/z_0] \quad (7)$$

Donde  $A_0$  es una constante,  $r$  es una coordenada radial,  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $z_0 = \pi w_0^2/\lambda$ ,  $w(z)$  es el ancho

del haz,  $R(z)$  el radio de curvatura del frente de onda,  $\epsilon(z)$  retardo de fase relativo a la onda plana.

Al incidir una muestra con este haz Gaussiano podemos expresar el campo de salida como:

$$E_{out} = E(r, z) \exp(-i\Delta\phi(r)) \quad (8)$$

Donde  $E$  es la amplitud del campo del haz Gaussiano que entra en la muestra,  $r$  una coordenada radial y  $\Delta\phi(r)$  el cambio de fase no lineal. Este cambio de fase no lineal puede ser aproximado a:

$$\Delta\phi(r) \approx \Delta\phi_0 \exp\left[-\frac{mr^2}{w^2}\right] \quad (9)$$

Donde  $\Delta\phi_0$  es el máximo desplazamiento de fase foto inducida después de que el haz cruza el material en  $z$  y  $m$  puede ser considerada como un factor que afecta el ancho de la función Gaussiana, este factor puede tomar cualquier valor real positivo, cuando es  $m=2$  se puede decir que el material es local, cuando  $m > 2$  se dice que es débil no local y cuando  $m < 2$  es altamente no local [5].

Para la simulación numérica de los anillos de auto-difracción se toma en cuenta el campo de salida expresado en la ecuación 8, ya que este campo se obtiene después de que el haz cruza el material, el cual genera el fenómeno de anillos de auto-difracción.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Nosotros utilizamos como herramienta el software matemático MATLAB, en el cual resolvimos numéricamente la ecuación 8, también utilizamos el control de componentes de interfaz en dicho software para crear una interfaz gráfica donde proporcionamos una interacción directa con el usuario.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al terminar con la programación, nuestro primer paso fue corroborar que el programa funcionaba correctamente, para esto reprodujimos resultados dados en [5] donde se tiene como resultado lo que se observa en las Figuras 3 y 5.

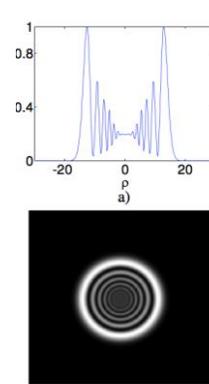


Figura 3: Resultados tomados de [5], con parámetros de entrada  $\Delta\phi_0 = 12$ ,  $z = -2$  y  $m = 1$ .

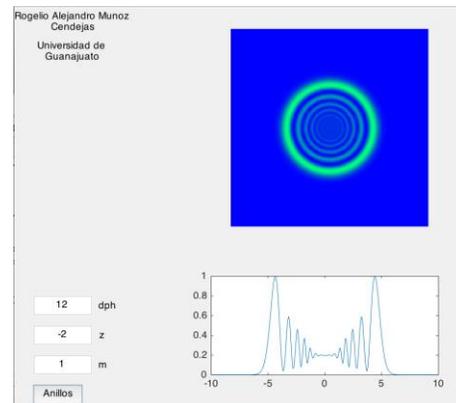


Figura 4: Resultados obtenidos en el programa con parámetros de entrada  $\Delta\phi_0 = 12$ ,  $z = -2$  y  $m = 1$ .

Como podemos notar en la Figura 4 nuestro programa reprodujo correctamente el resultado tomado del artículo [5].

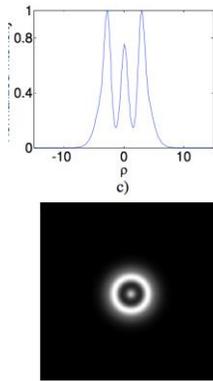


Figura 5: Resultados tomados de [5], con parámetros de entrada  $\Delta\phi_0 = 2$ ,  $z = -2$  y  $m = 4$ .

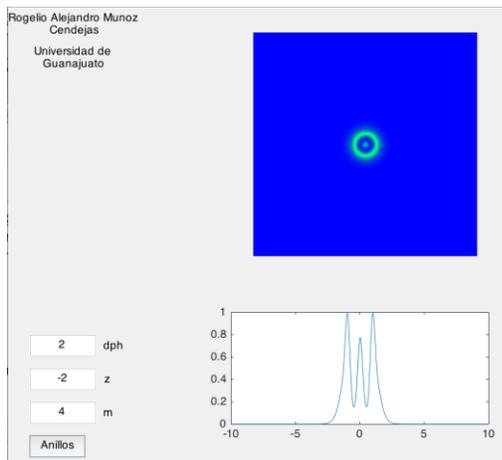


Figura 6: Resultados obtenidos en el programa con parámetros de entrada  $\Delta\phi_0 = 2$ ,  $z = -2$  y  $m = 4$ .

Nuevamente el programa reprodujo los resultados como se puede apreciar en la Figura 6, con esto corroboramos que el programa funciona correctamente.

Continuando con las pruebas, se preparó una muestra con limilla-dioxano y usamos un láser de Argón de 514nm. de longitud de onda, generamos anillos de auto-difracción como se muestra en la Figura 7.

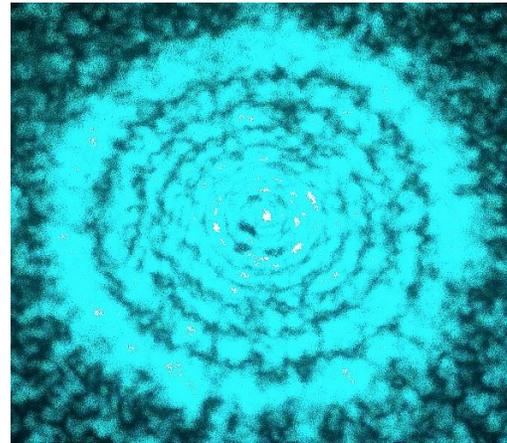


Figura 7: Anillos de auto-difracción de una muestra de limilla-dioxano, incidiendo un láser de Argón.

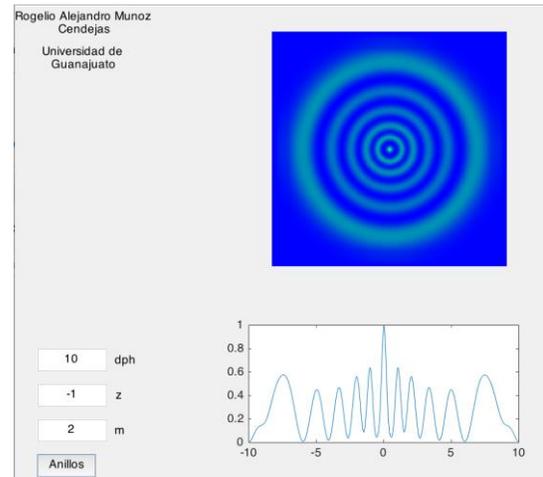
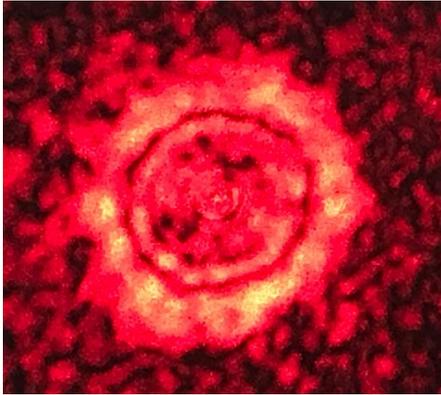


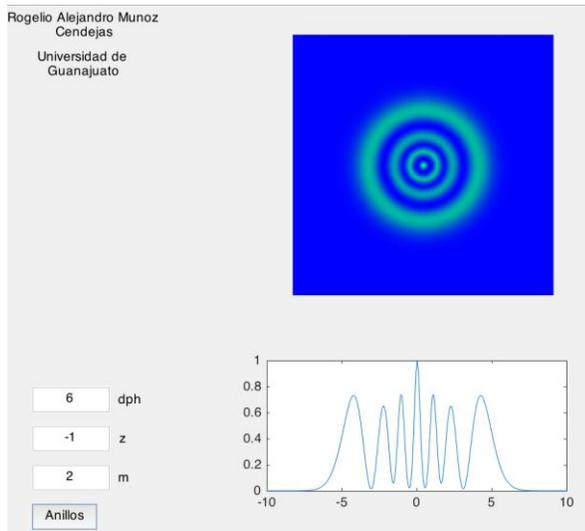
Figura 8: Simulación de anillos de auto-difracción de una muestra de limilla-dioxano.

Como podemos ver en la Figura 8, logramos simular un experimento físico y así obtenemos los parámetros de entrada como lo son  $\Delta\phi_0 = 10$ ,  $z = -1$  y  $m = 2$ , donde es fácil notar que el material es local gracias al factor  $m$ .

Realizamos el mismo análisis a la muestra ahora utilizando un láser de HeNe de 633nm. de longitud de onda, donde obtuvimos los anillos que se aprecian en la Figura 9.



**Figura 9: Anillos de auto-difracción de una muestra de limoneno-dioxano, incidiendo un láser de HeNe.**



**Figura 10: Simulación de anillos de auto-difracción de una muestra de limoneno-dioxano, incidiendo un láser de HeNe.**

Como se observa en la Figura 10, se simuló el experimento de la Figura 9 y podemos corroborar que se trata de un material local ya que el factor  $m = 2$ .

## CONCLUSIONES

Es posible simular los anillos de auto-difracción tomados de experimentos físicos reproduciendo estos experimentos en la interface, así sabremos si el material en el cual se está trabajando es local, débil no local o altamente no local, así como obtendremos el cambio de fase máximo que tendrá,

esto nos dará información para facilitarnos el estudio del material en el cual se está trabajando.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Edgar Alvarado Méndez por su apoyo durante el proyecto y a la Universidad de Guanajuato por permitirme hacer uso del laboratorio de Optoelectrónica.

## REFERENCIAS

- [1] Severiano Carrillo, I., Alvarado Méndez, E., Trejo Durán, M. & Méndez Otero, M.M., (2017). Improved Z-scan adjustment to thermal nonlinearities by including nonlinear absorption. *Optics Communications*, (397), 140-146.
- [2] Cano Lara, M., Severiano Carrillo, I., Trejo Durán, M. & Alvarado Méndez, E., (2017). Evolution of diffraction and self-diffraction phenomena in thin films of Gelite Bloom/Hibiscus sabdariffa. *Journal of Modern Optics*, 1-6.
- [3] García, S., Vázquez, J. L., Rentería, M., Aguilar Garduño, I. G., Delgado, F., Trejo Durán, M., García Revilla, M. A., Alvarado Méndez, E. & Vázquez, M. A. (2016). Synthesis and experimental-computational characterization of nonlinear optical properties of triazacyclopentafluorene-coumarin derivatives. *Optical Materials*, (62), 231-239.
- [4] Villafranca, A. B. & Saravannattu, K., (2012). Diversity and slow dynamics of diffraction rings: a comprehensive study of spatial self-phase modulation in a photopolymer. *Opt. Soc.*, 29(9), 2357-2371.
- [5] García Ramirez, E. V., Arroyo Carrasco, M. L., Méndez Otero, M. M., Chavez Cerda, S. & Iturbe Castillo, M. D. (2010). Far field intensity distributions due to spatial self phase modulation of a Gaussian beam by a thin nonlocal nonlinear media. *Optic Express*, 18(21), 22067-22079.