



ESTUDIO DE CAMBIOS DE FASE EN MATERIALES ORGANICOS NO LINEALES

A. J. del S. Saldaña-Sánchez^a, L. O. Arredondo-Martínez^a, V. de J. García-Macías^a, M. Cano-Lara^a, Israel Severiano-Carrillo^a, M. Trejo-Durán^b, E. Alvarado-Méndez^a.

^aDivisión de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca (DICIS), Universidad de Guanajuato, Com. Palo Blanco s/n 36885, Salamanca, Gto., astrid.jsss@hotmail.com, luigiugyo@hotmail.com, nomewton.vichente@gmail.com, mirkitt@yahoo.com, isevecar@hotmail.com, eaalvarad@ugto.mx.

^bDivisión de Ingenierías, Campus Yuriria (DICIS), Universidad de Guanajuato, Av. Universidad S/N, Colonia Yacatitas, Yuriria, Gto. mtrejo@ugto.mx

RESUMEN

En el presente trabajo se muestran los resultados de la caracterización óptica no lineal empleando la técnica Z-scan (barrido en Z) en forma experimental y numérica. Se utilizó el material orgánico de flor Hibiscus Sabdariffa o también conocida como flor de Jamaica en forma líquida a diferentes concentraciones. Los resultados obtenidos mediante la técnica de Z-scan, para refracción no lineal (apertura cerrada) obteniendo su índice de refracción no lineal y su signo. Estos resultados fueron empleados para obtener el contraste de fase. El material orgánico empleado se puede utilizar para su aplicación en diversas ramas de la optoelectrónica.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años en la tecnología ha habido una gran tendencia de emplear colorantes orgánicos debido a que los colorantes sintéticos pueden ser tóxicos y difíciles de degradar. Como resultado de tales efectos se ha aumentado el interés de emplear colorantes de origen natural como posibles sustitutos, ya que hasta la fecha no hay evidencia de que su uso sea nocivo a la salud. Entre los colorantes naturales se encuentran las clorofilas, carotenoides, flavonoides, antocianinas y betalainas, los cuales están presentes en gran variedad de productos naturales [1]. Las aplicaciones de estos materiales orgánicos se encuentran en protectores de instrumentos sensitivos, limitadores ópticos, sensores de glucosa en la sangre, celdas solares orgánicas, así como también guías de onda y láminas fotorrefractivas [2].

Cuando altas intensidades de luz inciden sobre algún material no lineal, entonces modifica su índice de refracción. Estos cambios en el índice se deben al efecto llamado auto-modulación espacial de fase. Es decir, si cambia el índice de refracción entonces el material cambiará la fase inicial del haz. Esto se ve reflejado en la medición experimental usando la técnica de Z-scan. En este trabajo los cambios de fase son estudiados indirectamente en el uso de Z-scan.

Ramírez et al., estudiaron las propiedades ópticas no lineales en el material orgánico Hibiscus Sabdariffa, donde se demostró que el medio exhibe una alta respuesta no local y no lineal en potencias de 5 hasta 20 mW empleando un láser de Argón de $\lambda = 514 \text{ nm}$. En un medio no local la respuesta no lineal inducida en un punto afecta a una cierta región; la respuesta del medio en un punto en particular no está determinada solamente por la intensidad de onda en ese punto, sino que depende de dicha intensidad en la vecindad del punto. Los cambios de fase son relacionados con la medición del índice de refracción no lineal mediante la técnica Z-scan. En óptica las no linealidades no locales aparecen cuando los mecanismos no lineales involucran procesos de transporte como conducción de calor [3,4].



Un modelo numérico utilizado en este trabajo que describe curvas de la técnica de barrido en Z para el caso de refracción no lineal es el presentado por Reynoso Lara [5], el cual describe al medio no lineal como una lente delgada fotoinducida donde su distancia focal $f(z)$ es descrita como una constante a multiplicada por el radio del haz elevado a una potencia r , la potencia utilizada nos describirá el tipo de no linealidad que se encuentra presente en el medio.

La técnica Z-scan (barrido en Z) es un método sencillo para la medición del signo y magnitud de la respuesta no lineal, tanto para la parte refractiva como la absorbiva de un material. La técnica Z-scan está basada en la observación del cambio del perfil del haz gaussiano a lo largo del eje z en el campo lejano, esto debido a la respuesta no lineal del material durante la propagación del haz a través de la muestra que se tiene en estudio. La irradiancia de la luz transmitida es medida usando un detector en el campo lejano, y la muestra debe ser de un espesor menor a la distancia de Rayleigh del haz enfocado [6].

Un arreglo de Z-scan (ver fig. 1) consta de la emisión de un haz Gaussiano que es inducido a una muestra, la cual realiza un barrido desde $-Z$ antes del foco a Z después del foco pasando por ω_0 que es la distancia focal (radio mínimo del haz).

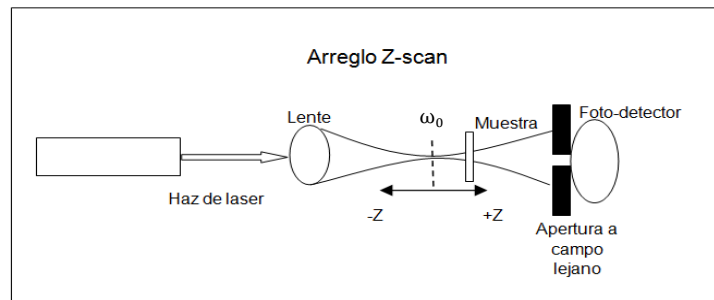


Figura 1. Arreglo de la técnica de Z-scan.

Donde las curvas de Z-scan describen la irradiancia de la luz transmitida en el campo lejano. Si la curva presenta un pico y luego un valle, la no linealidad es negativa; pero si la curva presenta primero un valle seguido de un pico su no linealidad es positiva, como se muestra en la figura 2 [7].

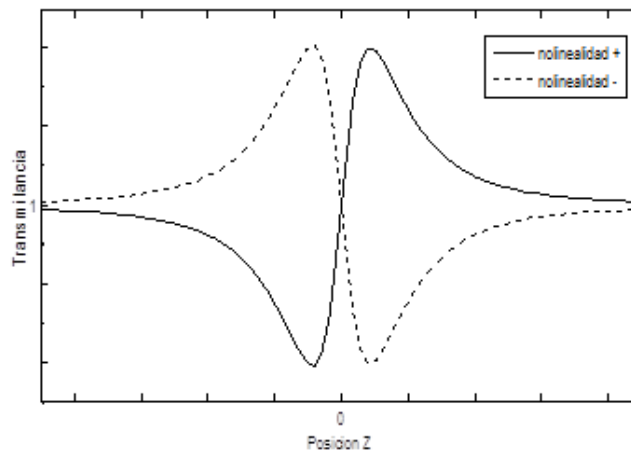


Figura 2. Signo de la transmitancia



2. TEORÍA

Modelo utilizado para la representación numérica de la técnica de barrido en Z

En el año 2007 se publicó el modelo de Reynoso Lara [5], el cual describe la técnica de barrido en Z, está basado en la teoría del haz Gaussiano, matrices ABCD y el parámetro q , para describir la propagación del haz Gaussiano en la muestra y a campo lejano (en el fotodetector).

La relación obtenida para el modelo de longitud focal de la transmitancia normalizada $T(z)$, es:

$$T(z) = \frac{f(z)^2}{z_0^2 + (f(z) - z)^2}. \quad (1)$$

La ecuación (1) es válida para cualquier tipo de material modelado como una lente de longitud focal $f(z)$, a continuación se describe la forma de $f(z)$ para un medio con una no linealidad tipo Kerr expresada de la siguiente forma:

$$f_{Kerr}(z) = \frac{\pi}{8n_2LP} W^4(z), \quad (2)$$

donde n_2 es el índice de refracción no lineal, L es el espesor del medio y P es la potencia total es observada una dependencia del radio del haz a la cuarta potencia.

De manera general la longitud focal de la muestra no lineal vista como una lente delgada es expresada como [5]:

$$f(z) = a_r W^r(z). \quad (3)$$

donde a_r es la constante con unidades adecuadas que representan a los parámetros del material, así como del haz incidente, $W^r(z)$ es el radio del haz y r supondremos por simplicidad como número entero.

Se presentan las curvas obtenidas con este modelo considerando diferentes valores para r y a (figura 3), se considera una longitud de onda $\lambda = 532 \text{ nm}$ y un $\omega_0 = 8.9 \mu\text{m}$.

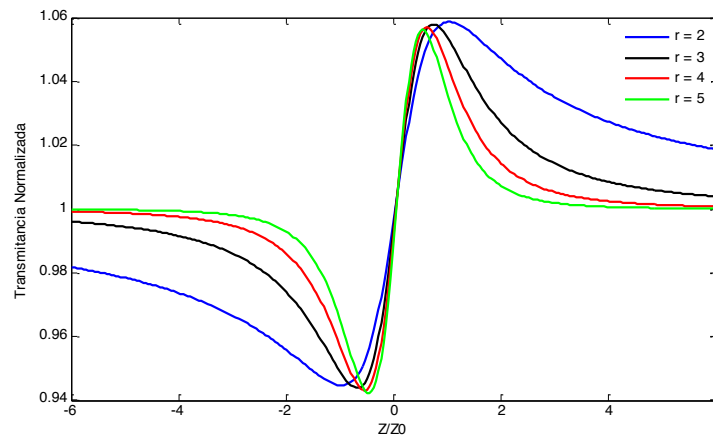


Figura 3. Modelo de Reynoso Lara para la obtención de curvas de la técnica de barrido en Z para diferentes valores de r : $r=2$, $a_2=1 \times 10^6$ (azul), $r=3$, $a_3=8.64 \times 10^8$ (negro), $r=4$, $a_4=8.19 \times 10^{11}$ (rojo), $r=5$, $a_5=8.11 \times 10^{14}$ (verde).



3. PARTE EXPERIMENTAL

a) ELABORACIÓN DE MUESTRAS LÍQUIDAS.

En un recipiente de vidrio se mezcló 5g de Hibiscus Sabdariffa seca (flor de Jamaica) en 50 ml de agua destilada. Se calentó en una estufa eléctrica (IKA C-MAG HS 7) a 100°C hasta hervir (aproximadamente 15 min). Se retiró de la estufa y se dejó reposar a temperatura ambiente (aprox. 23°C). Posteriormente se realizó un filtrado para retirar los residuos de la Jamaica seca y emplear únicamente la concentración líquida.

Una vez extraída la muestra de concentración líquida de Hibiscus Sabdariffa, la concentración filtrada fue depositada en celdas de cuarzo (A. Daigger & Company.) de 1mm de espesor, para realizar la caracterización óptica no lineal con la técnica Z-scan.

b) TECNICA Z-SCAN

Para la obtención de los espectros de transmitancia óptica de la muestra orgánica con la técnica Z-scan se utilizó el arreglo experimental de la figura 1, un láser de Argón cw multilínea, el cual emite una longitud de onda de $\lambda = 514\text{nm}$. Las potencias empleadas fueron de 5, 10 15 y 20 mW.

En el arreglo experimental el haz láser fue enfocado con una lente de 7.5 cm de longitud focal hacia la muestra orgánica a caracterizar. El detector de potencia fue colocado a campo lejano, aprox. a 80 cm sobre el eje de barrido Z. El barrido se realizó sobre una distancia de -50mm a 50mm. La adquisición de los datos fue realizada con una tarjeta de datos (National Instruments) y un programa elaborado en Labview.

4. RESULTADOS

Las curvas experimentales de las concentraciones líquidas de Hibiscus Sabdariffa concuerdan con los resultados numéricos obtenidos del modelo propuesto por Reynoso Lara. Esto se observa en la figura 4. Los parámetros empleados experimentalmente son: $\lambda = 514\text{ nm}$, $\omega_0 = 28\ \mu\text{m}$ y $z_0 = 5\text{ mm}$ a diferentes potencias de 5- 20 mW. El parámetro numérico $r = 2.5$ fue utilizado en la simulación numérica. Podemos notar que al generar la curva obtenida experimentalmente hay variaciones en el comportamiento que se dieron por cambios ocurridos al momento de su obtención debido al medio.

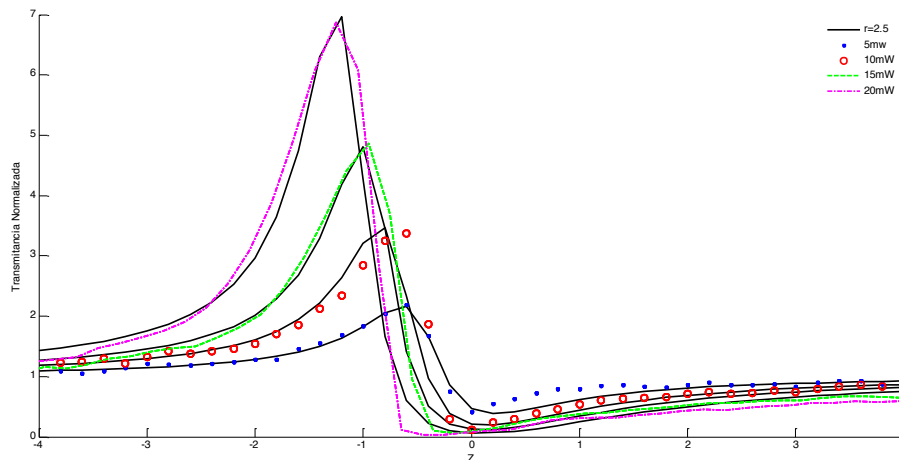


Figura 4. Comparación de las curvas de barrido en Z numéricas con las curvas experimentales, los datos utilizados son $\lambda = 514\text{nm}$, $\omega_0 = 28\ \mu\text{m}$, utilizando para el modelo numérico (negro) una $r = 2.5$ en todos los casos con un valor de a : para 5mW $a = -11 \times 10^5$, experimental azul (.), 10mW $a = -6 \times 10^5$, experimental rojo (o), 15mW $a = -4.3 \times 10^5$, experimental verde (—), 20mW $a = -3 \times 10^5$, experimental magenta (.-).



Con la medición de las propiedades ópticas no lineales (n_2 y signo (-)) se pudo observar patrones de anillos de difracción a campo lejano originados por la muestra (ver figura 5).

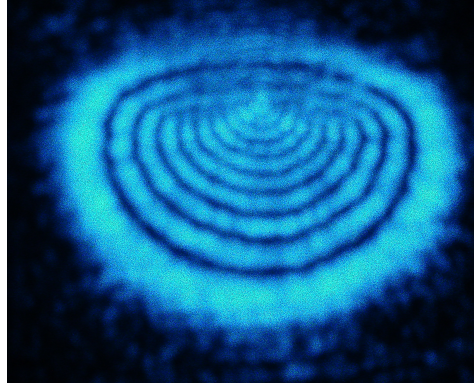


Figura 5. Imagen donde presenta patrones de anillos de difracción a campo lejano originados por la muestra Hibiscus Sabdariffa con láser de argón, $\lambda=514\text{nm}$ y $\omega_0=28\mu\text{m}$.

5. CONCLUSIONES

El material orgánico de flor Hibiscus Sabdariffa no es contaminante, su empleo en la tecnología disminuye los costos y es de fácil obtención. Se observa en los resultados que el signo de la no linealidad es negativo, así como que el ajuste utilizando el modelo de Reynoso Lara para un valor de $r=2.5$, describe las curvas obtenidas para la flor Hibiscus Sabdariffa, a diferentes potencias para las muestras líquidas.

Se mostró que para las muestras líquidas es posible obtener curvas de barrido en Z como se observa en la fig. 4, las cuales pueden ser utilizadas en dispositivos ópticos y óptoelectrónicos como limitadores ópticos.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. E. Franco Zavaleta, "Caracterización parcial del pigmento rojo del fruto de la jiotilla (*Escontria chiotilla*); una cactácea subexplotada", 2004, pp.1.
2. M. Carrascosa, "No Linealidades Fotorrefractivas Y Aplicaciones", pp. 12-18.
3. D. Ramírez Martínez, E. A. Méndez, M. T. Durán, y M. A. V. Guevara , "Nonlocal nonlinear refraction in Hibiscus Sabdariffa with large phase shifts", 2014, pp. 10.
4. E. V. García Ramírez, "Modelo para describir Z-scan y auto-modulación espacial de fase en medios delgados no lineales no locales", 2012, pp. 21-22.
5. E. Reynoso. Lara, Z. N. Meza, M. D. I. Castillo, C. G. T. Palacios, E. M. Panameño, and M. L. A. Carrasco. "Influence of the photoinduced focal length of a thin nonlinear material in the Z-scan technique", *Optics Express*, Vol. 15, 2007, pp. 2517-2529.
6. M. S. Bahae, D. J. Hagan, "Sensitive Measurement of Optical Nonlinearities Using a Single Beam" in *IEEE Journal of quantum electronics*, Vol. 4, 1990, pp. 1.
7. S.L. Gómez, F.L.S. Cuppo, y A.M. F. Neto, "Nonlinear Optical Properties of Liquid Crystals Probed by Z-scan Technique", 2003,pp. 1-2.