



Title: Densidad Espectral en Guías de Onda mediante Propiedades Estadísticas y Teorema de Wiener – Khintchine

Author: LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola

Editorial label ECORFAN: 607-8695
BCONIMI Control Number: 2020-18
BCONIMI Classification (2020): 120320-0018

Pages: 13
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.
143 – 50 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 1 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.
Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings		
Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic
Spain	El Salvador	Republic
Ecuador	Taiwan	of Congo
Peru	Paraguay	Nicaragua

Motivación para la investigación

Debido a las exigencias en el desarrollo de las comunicaciones, el análisis de los cambios en la intensidad a la salida de una guía de onda, da pauta para estudiar los cambios generados debido a perturbaciones en el medio de transmisión, así como implementar métodos de análisis eficientes, y que se contribuya al desarrollo de una mejorada transmisión de datos.

Contribución de la investigación

Se determina a partir de métodos estadísticos y se correlaciona con Transformada rápida de Fourier el análisis de los cambios que sufre la intensidad en la transmisión de los datos a través de las guías de onda, cuando es sometida a deformaciones. El análisis se hace a partir de la distribución de patrones de speckle sobre una superficie rugosa. Se obtienen los cambios en intensidad realizando un análisis de correlación de técnicas.

1. Introducción

Una condición necesaria para que el campo eléctrico $E(r, t)$ y magnético $H(r, t)$ satisfagan la ecuación de onda, en términos de frecuencia, es necesario que dicha ecuación sea reducida a la ecuación de Helmholtz, Eq. (1), para dar resultado a un patrón de campo electromagnético transversal a la dirección de propagación, donde a cada uno de estos patrones se les denomina modo.

$$\nabla^2 \cdot E(r, t) + k^2 n^2 E(r, t) = 0 \quad (1)$$

$$Z = e^{(i\beta z)} \quad (2)$$

Cuando se hace incidir una luz coherente dentro del cono de aceptación de una fibra óptica, los modos de propagación producidos en ella y que se encuentran dentro del núcleo se ven afectados por los cambios ambientales que se producen sobre la guía, resultando en cambios del patrón de speckle a final de la fibra descritos mediante las funciones de Bessel y representado mediante la Eq. (4) (Lujo, 2008).

$$I_T = \frac{1}{2} \text{Re}[E \times H * \hat{z}] \quad (3)$$

$$I = \frac{1}{2} \sum_{m=0}^N \sum_{l=0}^N A_m B_{n_m}(U_m R) A_l B_{n_l}(U_l R) \cos(n_m \theta) \cos(n_l \theta) \exp[-i(\Delta\beta_{ml} z - \Delta\phi_{ml})] \quad (4)$$

Si a la guía de onda se le induce una deformación $\Delta\theta(t)$ presentará una diferencia en el camino óptico que sigue el haz de luz dentro del medio, la cual podrá ser representada como una correlación entre los cambios de los modos de propagación con la deformación inducida, pudiendo ser representada en términos de la constante de propagación, afectando directamente a la fase de la intensidad de la salida de la fibra óptica y la distribución de los patrones de speckle que generan los modos (Gutierrez, 2018) .

La perturbación, que se propaga por una guía de onda, de longitud L , dado por:

$$\emptyset = \beta L \quad (5)$$

Análisis estadístico para patrones de speckle proyectados en una superficie

El patrón de speckle puede ser estudiado desde la perspectiva de la estadística mediante el análisis de la función de la densidad de probabilidad obtenida de la intensidad de un punto y la de segundo orden que analiza la densidad espectral de la luz, y que a su vez esta puede ser estudiada como la función de autocorrelación (Massaki,1986). También está directamente relacionada con el Teorema de Wiener – Khintchine (WKT), según lo expone Cohen *et al*, (Cohen, 1998).

$$C = \frac{\sum_i \sum_j ((I_{ref(i,j)} - I_{ref}) \cdot (I_{n(i,j)} - \langle I_n \rangle))}{\sqrt{\sum_i \sum_j (I_{ref(i,j)} - \langle I_{ref} \rangle)^2 (\sum_i \sum_j (I_{n(i,j)} - \langle I_n \rangle)^2)}} \quad (6)$$

$$c(i, j) = F^{-1}(H_{s1}^* H_{s2}) \quad (7)$$

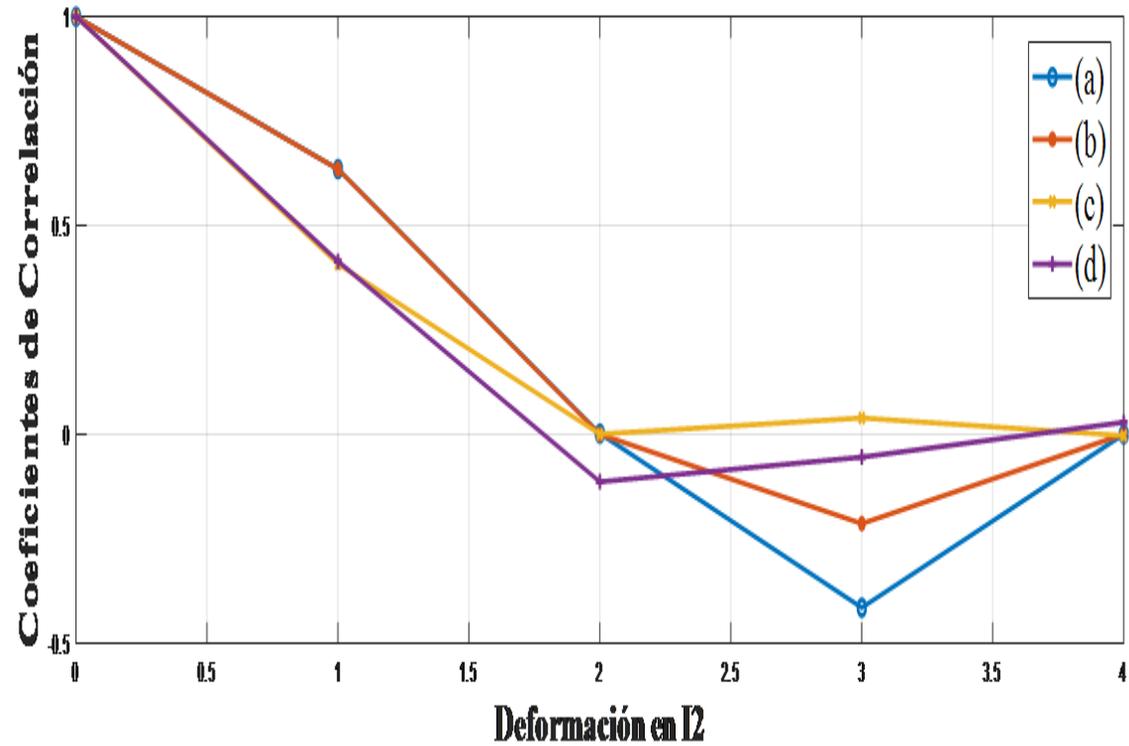
Donde H_{s1} y H_{s2} , denotan las transformadas de Fourier de la sub-imagen de los patrones obtenidos, * indica el complejo conjugado de la sub-imagen de referencia y F^{-1} , la Transformada Inversa de Fourier.

2. Desarrollo

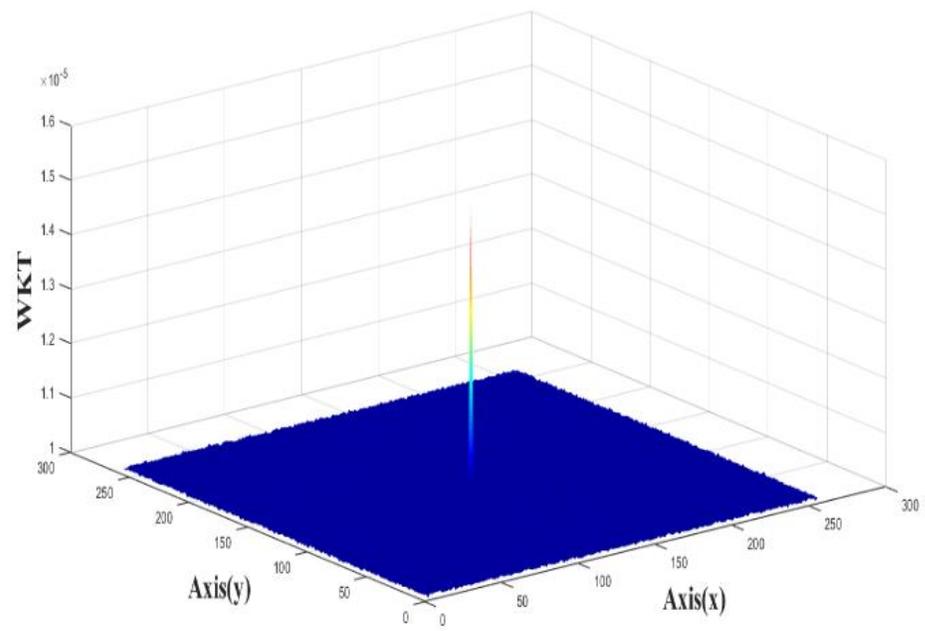
Para el análisis de los cambios de intensidad en las guías de onda, se crearon en el software Matlab, dos patrones de speckle a partir de la Eq. (4), uno se utilizó como referencia y al otro se le aplicó una deformación en los ejes (x, y) . Los dos patrones de speckle son correlacionados para determinar la similitud y/o diferencias originadas por la diferencia de fase en cada uno. Las deformaciones inducidas se realizaron con intervalos de $0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}, 2\pi$, según lo muestra la Tabla 1.

Deformación en I2	Densidad espectral entre I1-I2, usando WKT normalizada	Coefficiente de Correlación
$\Delta\varphi = 0$	1	1
$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}x$	0.8774	0.6356
$\Delta\varphi = \pi x$	0.663171691	0.0025
$\Delta\varphi = \frac{3\pi}{2}x$	0.005898427	-0.2141
$\Delta\varphi = 2\pi x$	0.663171691	0.0008619
$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}y$	0.877457405	0.6353
$\Delta\varphi = \pi y$	0.663171691	0.00074382
$\Delta\varphi = \frac{3\pi}{2}y$	0.005910223	-0.2130
$\Delta\varphi = 2\pi y$	0.668414155	-0.00088050
$\Delta\varphi = (x + y)$	0.803407602	0.7077
$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}(x + y)$	0.659239843	0.4083
$\Delta\varphi = \pi(x + y)$	0.664482307	0.0011
$\Delta\varphi = \frac{3\pi}{2}(x + y)$	0.678899083	0.0398
$\Delta\varphi = 2\pi(x + y)$	0.665137615	-0.0025
$\Delta\varphi = (x^2 + y^2)$	0.906946265	0.7226
$\Delta\varphi = \frac{\pi}{2}(x^2 + y^2)$	0.803407602	0.4150
$\Delta\varphi = \pi(x^2 + y^2)$	0.006258847	-0.1130
$\Delta\varphi = \frac{3\pi}{2}(x^2 + y^2)$	0.005952359	-0.0540
$\Delta\varphi = 2\pi(x^2 + y^2)$	0.673656619	0.0294

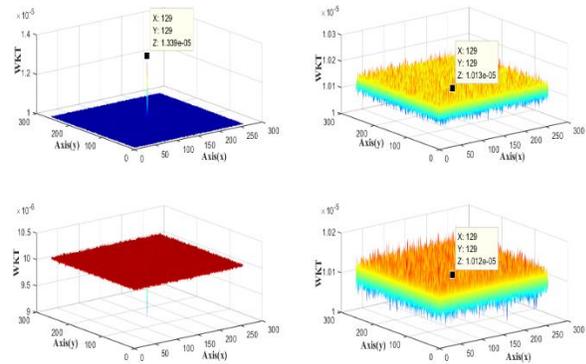
Tabla 1 Deformación aplicada en I2, densidad espectral usando WKT y coeficientes de correlación



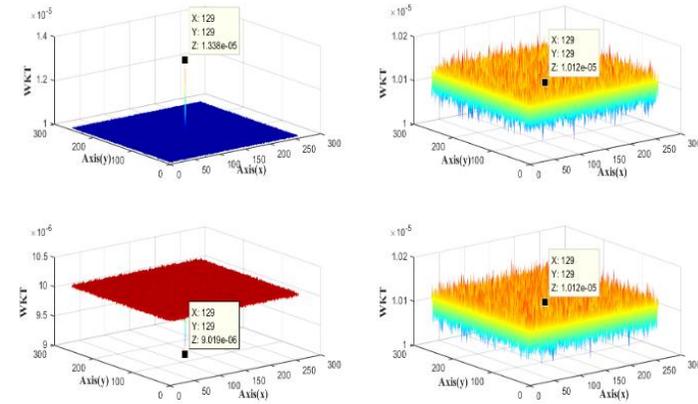
Gráfica 1 Comportamiento de los coeficientes de correlación, (a)Deformación en x, (b)Deformación en y, (c)Deformación en (x,y), (d)Deformación en (x² + y²), con intervalos de $\frac{\pi}{2}$.



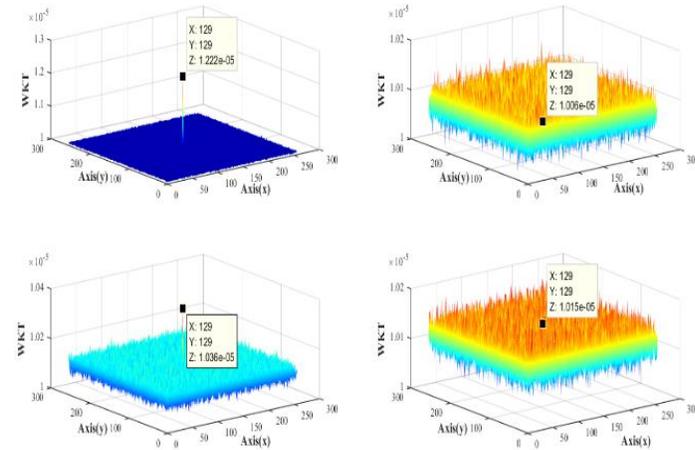
Gráfica 2 Comportamiento de densidad espectral usando WKT



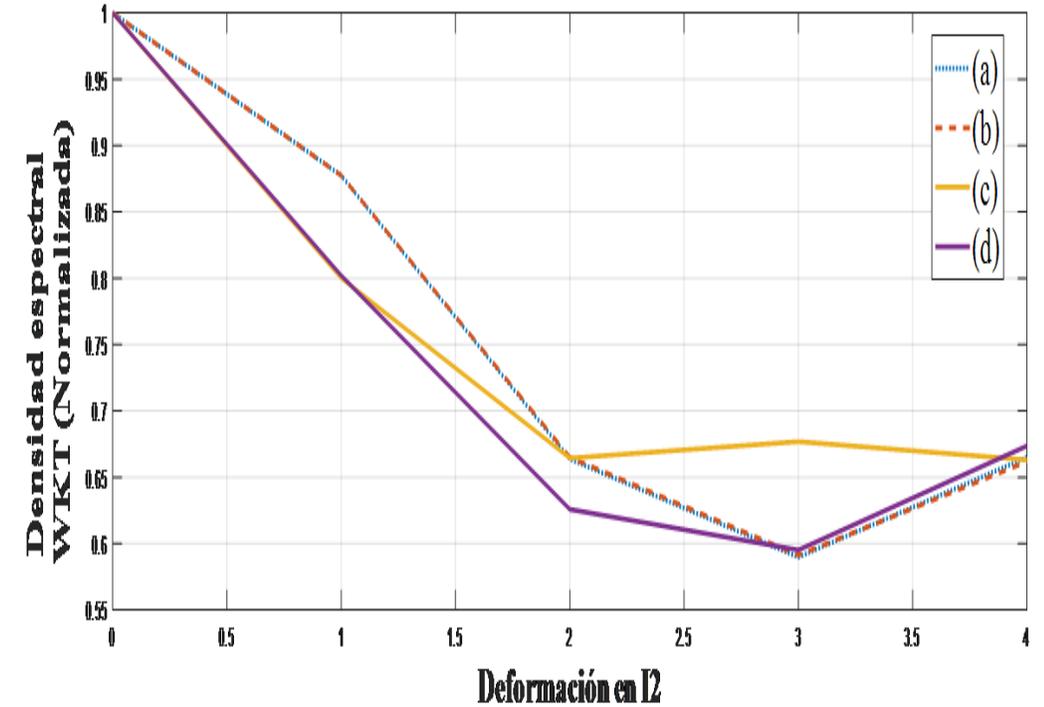
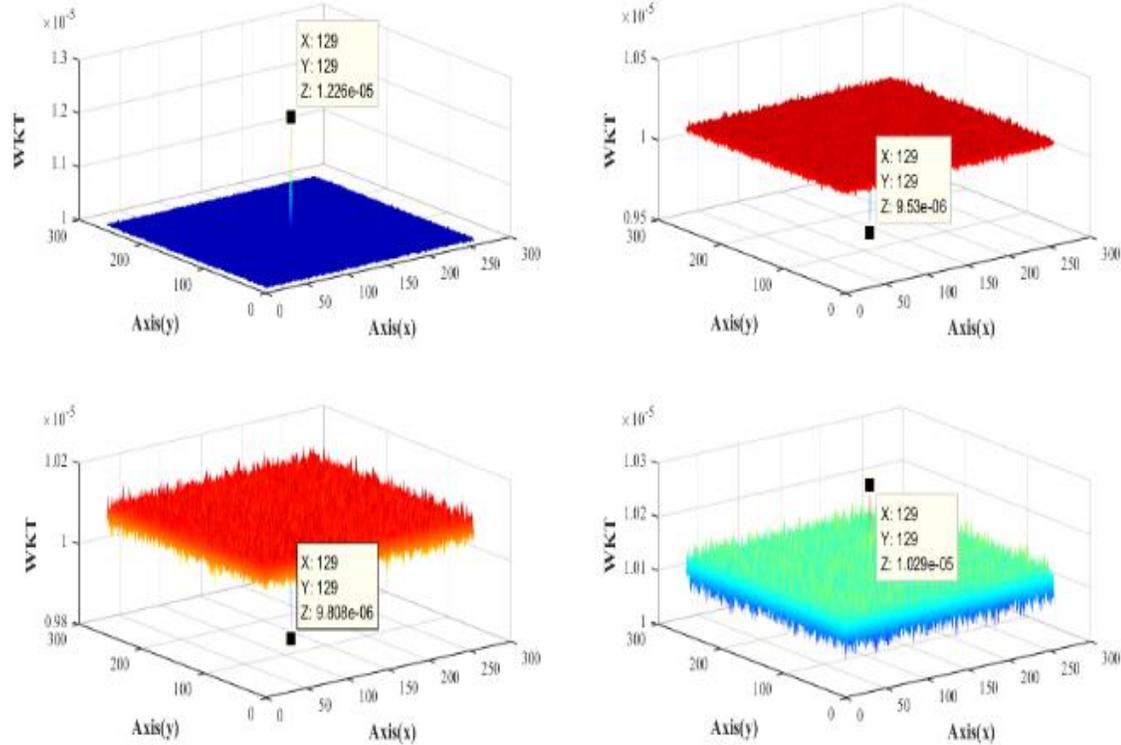
Gráfica 3 Comportamiento de densidad espectral usando WKT, con deformación en x.



Gráfica 4 Comportamiento de densidad espectral usando WKT, con deformación en v



Gráfica 5 Comportamiento de densidad espectral usando WKT, con deformación en x+y



Gráfica 6 Comportamiento de densidad espectral usando WKT, con deformación en $(x^2 + y^2)$.

Gráfica 7 Comportamiento de densidad espectral usando WKT, (a)Deformación en x, (b)Deformación en y, (c)Deformación en (x,y), (d)Deformación en $(x^2 + y^2)$.

Conclusión

Se puede aproximar la propagación de la luz dentro de una guía de onda circular, se utiliza el Teorema de Winner-Khintchine, para describir la distribución de la intensidad espectral. Se compara el comportamiento de los coeficientes con los puntos máximos de la distribución de intensidad, obteniendo un comportamiento descendente, mostrando puntos de intersección entre estos dos métodos, también, se puede mencionar que ambos métodos dan la información necesaria para determinar si se está limitando la capacidad de transmisión de datos, en base a los cambios en intensidad y su distribución espectral, ya que es factible realizar una aproximación entre la correlación cruzada y el Teorema de Wiener Khintchine.

Referencias

- Cohen L. (1998). The generalization of the Wiener-Khinchin theorem. Proceedings of the 1998 *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP '98* (Cat. No.98CH36181), Seattle, WA, USA, (3) 1577-1580.
- Gutierrez L., et al., (2018). Specklegramas de fibra óptica analizados mediante procesamiento digital de imágenes, *Rev. Acad. Colomb. Cienc.Ex. Fis. Nat.* 42(163):182-188.
- Lujo Ivan, Klokoc Pavo, Komljenovic Tin, Bosliljevac Marko, Sipus, (2008). Fiber Optic Vibration Sensor Based on Multimode Fiber. *Radioengineering*, 17(2) 93-97.
- Massaki Imai, (1986). Statical properties of optical Fiber Speckle, *Bulletin or Faculty of Engineering, Hokkaido University*, 130:89-104.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCONIMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)