



# Title: Demodulación de franjas de interferencia usando diferentes configuraciones

## Author: LÓPEZ-ÁLVAREZ, Yadira Fabiola

Editorial label ECORFAN: 607-8695  
BCONIMI Control Number: 2020-17  
BCONIMI Classification (2020): 120320-0017

Pages: 16  
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](http://www.ecorfan.org)

### Holdings

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

# Motivación

Este trabajo tiene como objetivo proporcionar información sobre el proceso que se sigue en la demodulación de franjas de interferencia.

Surge la necesidad debido a que en la literatura es difícil determinar qué proceso es el más conveniente de utilizar para cada geometría. También, busca que alumnos de Física, Mecánica y Mecatrónica comprendan el proceso de la metrología óptica

# 1. Introducción

La metrología de speckle es una importante aportación en las técnicas de medición óptica, las recientes aplicaciones de esta técnica abarcan la mecánica experimental, ingeniería, medicina, entre otras ciencias (Sjoedahi, 1997).

Cuando un haz de luz con características de coherencia temporal y espacial irradia sobre una superficie ópticamente rugosa, presenta una distribución aleatoria de la intensidad, dando lugar al fenómeno denominado moteado "*speckle*".

Las técnicas de metrología óptica como la fotografía de speckle y la interferometría involucran técnicas fotográficas y el fenómeno de interferencia presente en el patrón de speckle, que es en sí, el resultado de interferencias múltiples de los mismos speckle.

$$I = |A_1 + A_2|^2$$

$$I = |A_1|^2 + |A_2|^2 + A_1 A_2^* + A_1^* A_2$$

$$I_T = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos(\phi_1 - \phi_2) \quad (1)$$

Donde  $\phi_1$  y  $\phi_2$  son las fases de las amplitudes complejas de los speckles individuales, ésta diferencia de fases muestra la evolución mediante franjas de interferencia (Rastogi, 2001).

## **Demodulación de franjas de interferencia.**

Los métodos de demodulación convencionales utilizan Transformada de Fourier, esto para franjas abiertas  $(x, y)$ , transformada Wavelet y Hilbert.

La distribución de la intensidad obtenida de un patrón de franjas dada por la Eq. (1), contiene la fase que se desea obtener  $\phi(x,y)$  y representa la variable física que está siendo estimada.

Para determinar este valor se utiliza la Transformada de Fourier, donde se localiza el centro del espectro Fourier como funciones conjugadas complejas que contienen la demodulación y la información de la fase en el dominio frecuencia (Takeda, 1982)

$$\begin{aligned}\tilde{I}(u, v) &= F\{I(u, y)\} \\ \tilde{I}(u, v) &= \tilde{a}(u, v) + C(u + t, v) + C^*(u - t, v)\end{aligned}\quad (2)$$

Usando filtros paso banda y paso alto es posible obtener la información contenida en los términos  $C(u + t, v)$  y  $C^*(u - t, v)$ , y mediante la función  $\tan^{-1}$  obtener la fase envuelta.

$$\phi_w(x, y) = \tan^{-1} \left\{ \frac{\text{imag}(F^{-1}(\tilde{I}(u, v)))}{\text{real}(F^{-1}(\tilde{I}(u, v)))} \right\}\quad (3)$$

## 2. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo, se obtuvieron dos patrones de speckle según se indica en la Eq. (1), con deformación en las coordenadas  $(x,y)$  y con geometría circular según la ecuación  $x^2 + y^2$ .

# Proceso de demodulación.

- Asignar valores a  $x = i, y = j$ , del tamaño de una imagen  $256*256$ .
- Declarar la variable de la deformación, esta determinará el cambio en la geometría de las franjas:

$$\phi_2 = 2\pi * x, y, x^2 + y^2, \text{ etc.}$$

- Aplicar la Eq. (1), considerando dos intensidades, una de referencia y otra con deformación.

$$I_1(i, j) = 127 + 128 * \cos \phi_1$$

$$I_2(i, j) = 127 + 128 * \cos(\phi_1 - \phi_2)$$

- Ya que la interferometría es el resultado de la diferencia entre dos estados de intensidad.

$$I_T = I_1 - I_2.$$



Para la demodulación de las franjas con geometría horizontal y vertical, resultantes del paso 4:

Se utiliza la Transformada de Fourier directa e inversa.

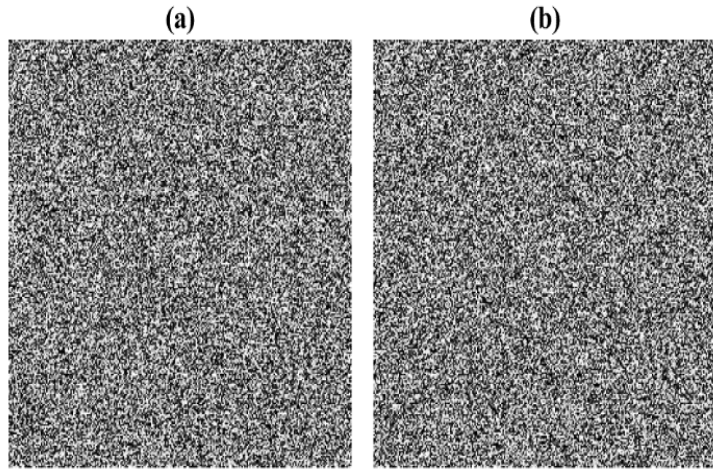
Mientras que para la demodulación de las franjas cerradas o circulares es necesario crear un interferograma artificial con las características del interferograma original, se puede determinar la fase envuelta del interferograma utilizando una aproximación en los valores del interferograma, sin embargo, el error en la demodulación puede aumentar.

## Demodulación de franjas de interferencia.

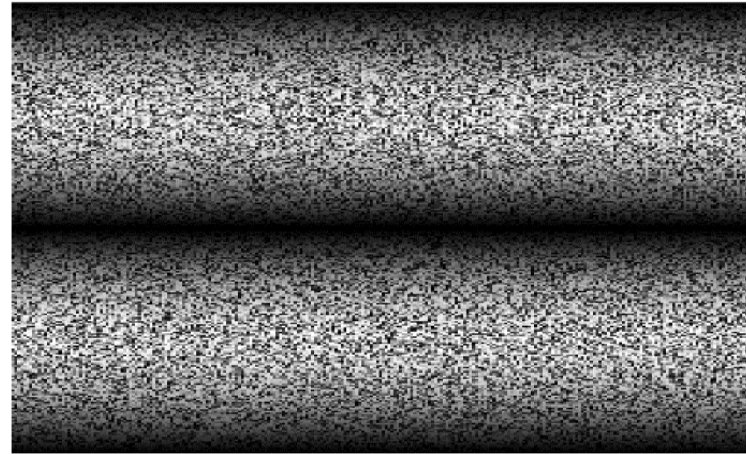
- Obtener la transformada de Fourier de cada interferograma.
- Crear filtro gaussiano y multiplicarlo por la transformada del interferograma, paso 1.
- Obtener la transformada inversa de Fourier y aplicar la Eq. 3.

- Para el caso de las franjas circulares, se aplican filtros basa banda en las coordenadas  $(x, y)$ .
- Se determina la trasformada de Fourier directa e inversa de cada interferograma con filtrado en  $(x, y)$ , del paso 3 y se aplica la Eq. (3) a cada uno.
- Se obtiene un interferograma sumando los obtenidos en el paso 4, con coordenadas en  $(x, y)$ .
- A partir del interferograma anterior, se multiplica por la parte real e imaginaria del interferograma creado genéticamente, aplicándose la Eq. (3).

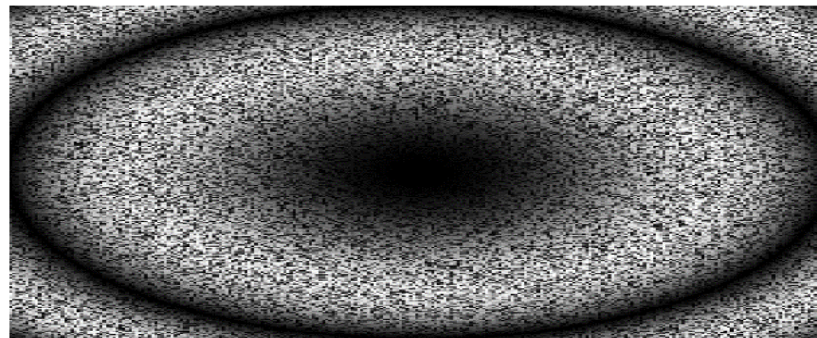
### 3. Resultados simulados



**Figura 1** Patrones de speckle (a) referencia  $I_1(i, j)$ , (b)deformado  $I_2(i, j)$



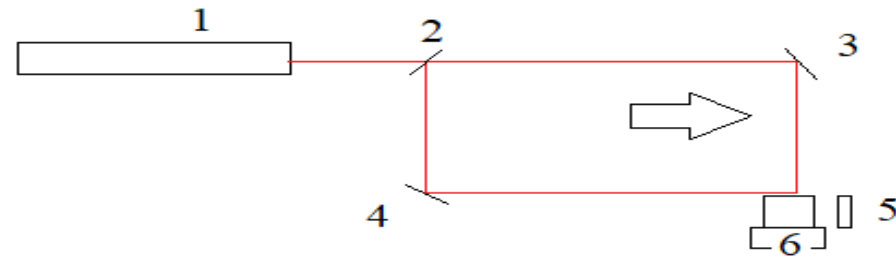
**Figura 2** Franjas de interferencia con deformación el eje x



**Figura 4** Franjas de interferencia con deformación en el eje  $(x^2+y^2)$ .

# Desarrollo experimental.

Para obtener patrón de franjas, se utilizó un interferómetro Mach Zehnder, construido con una fuente de luz coherente a 632.8 nm. Las imágenes se obtuvieron usando una cámara CCD XC-77, una computadora para procesar los datos.



**Figura 5** Interferómetro Mach Zehnder para obtener franjas de interferencia (1) Laser He-Ne, (2) Divisor de haz, (3), M1, (4) M2, (5) M3 y (6) CCD, la flecha indica una deformación en uno de los brazos del interferómetro

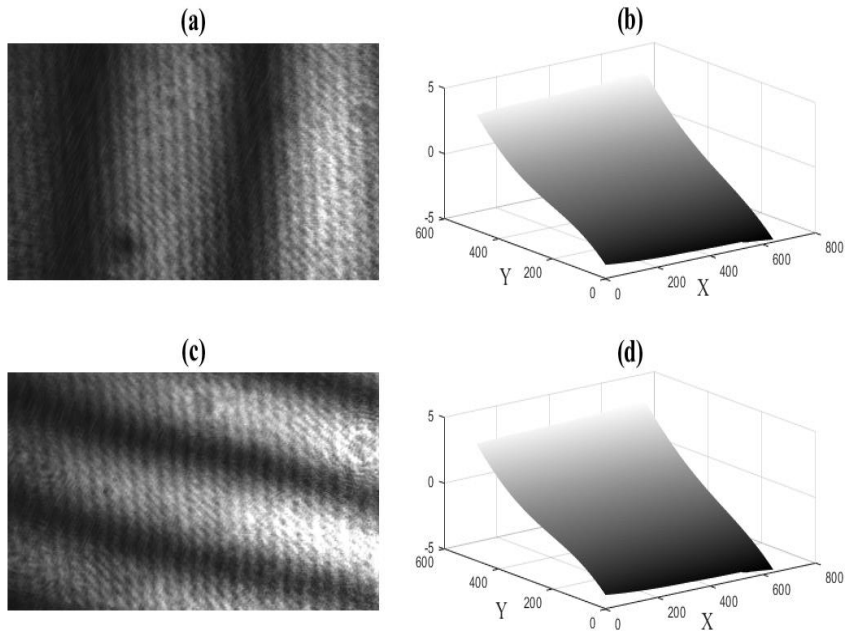
Cuando se presentan franjas de interferencia, ya sean horizontales y verticales, en general el mapa de fase característico se presenta con un plano, cuando este plano muestra curvaturas, significa que las franjas tomadas por el sistema de la Figura 5, tiene pequeños desplazamientos.

La Figura 6, muestra (a) deformación en  $x$ , (b) mapa de fase de las franjas de interferencia con deformación en  $x$ , (c) deformación en  $y$ , (d) mapa de fase de la deformación en  $y$ .

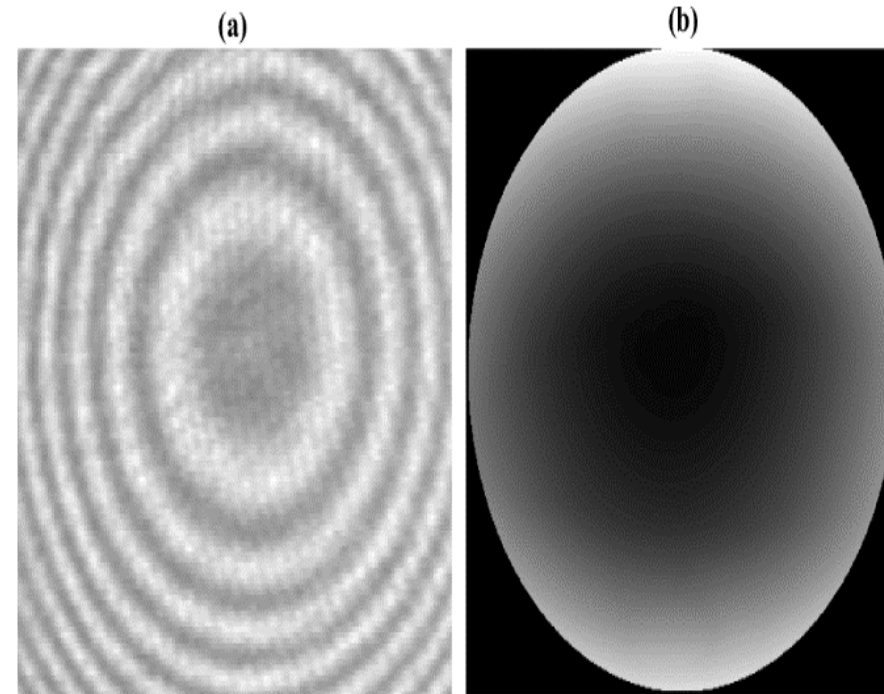
La Figura 7, muestra las franjas de interferencia circulares, en correspondencia con las obtenidas en la Figura 4. Se muestra, también, el mapa de fase obtenido con el proceso de demodulación descrito con anterioridad.



# Resultados experimentales



**Figura 6** Franjas de interferencia, con deformación (a) en  $y$ , (b) mapa de fase de las franjas de interferencia, con deformación en  $x$ , (c) franjas en  $y$ , (d) mapa de fase de las franjas de interferencia, con deformación en  $y$



**Figura 7** Demodulación del patrón de franjas circular, (a) franjas de interferencia con deformación  $(x^2+y^2)$ , (b) mapa de fase de las franjas de interferencia, con deformación en  $(x^2+y^2)$ .

# Conclusión.

En este trabajo se muestran y describen las técnicas de demodulación de franjas de interferencia con diferentes configuraciones, para obtener los mapas de fase característicos. Se demostró que el mapa de fase para los interferogramas con deformación en los ejes  $(x, y)$ , se presenta de manera lineal; para el caso del interferograma circular el mapa de fase muestra un comportamiento de parábola.

Para el caso de la demodulación del interferograma circular se considera un solo interferograma genético, para demodular los interferogramas experimentales, sin embargo, el uso de un interferograma genético para cada medición disminuirá los errores en las mediciones.



# Referencias

Rastogi P.K. (2001). Digital Speckle Pattern Interferometry and Related Techniques.

Sjoedahi Mikael, Synnergren Per, Johnson Peder. (1997). Applications of digital speckle photography in experimental mechanics, PIE 3098, *Optical Inspection and Micromasurement I*.

Takeda M., Ina H. and Kobayashi S. (1982). “Fourier-transform method of fringe-pattern analysis for computer-based topography and interferometry,” *J. Opt. Soc. Am.* **72** (1), 156–160.



**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/](http://www.ecorfan.org/) booklets)