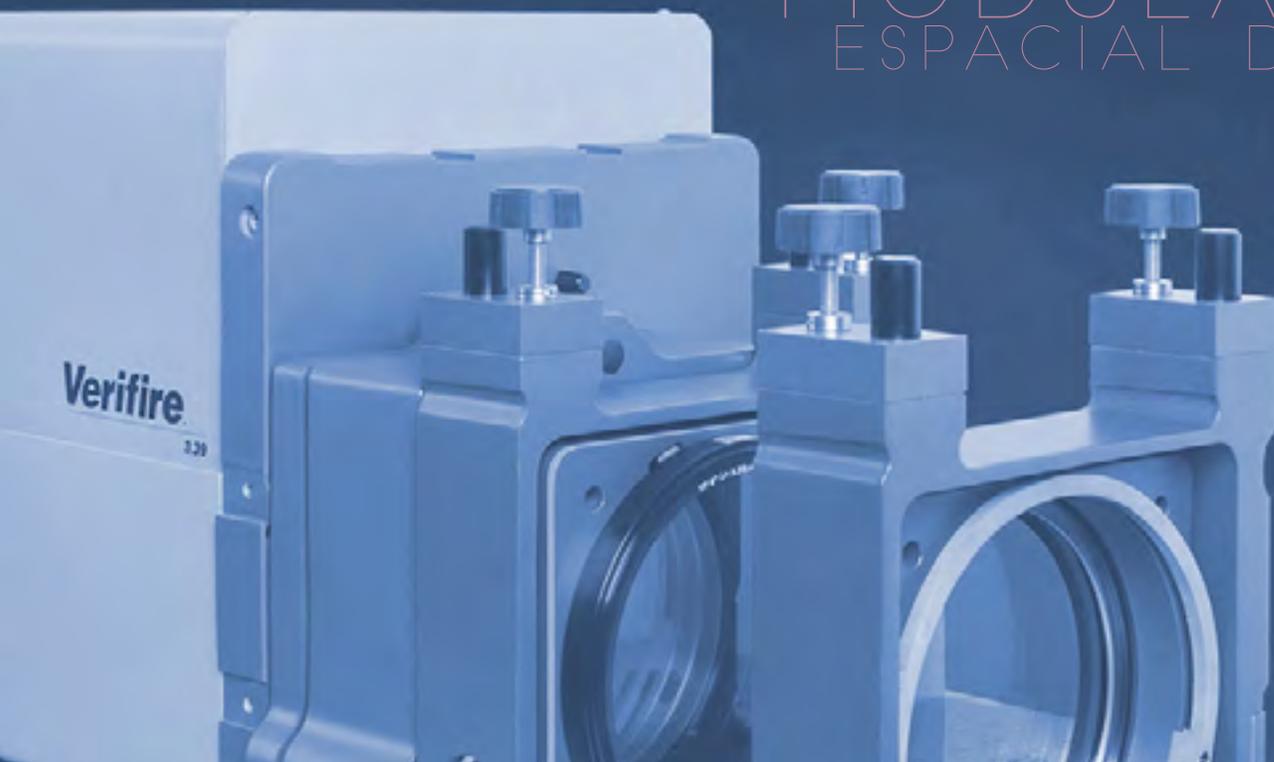


INTERFERENCIA

PRODUCIDA POR DOS RENDIJAS CUADRADAS MEDIANTE UN
MODULADOR
ESPACIAL DE LUZ
POR REFLEXIÓN



Benito Canales Pacheco¹, León Felipe Austria Gonzalez², Raymundo Sergio Noriega Loredo³ y Luis Alberto Ruiz Aguilar⁴

^{1,2,3,4} Universidad Tecnológica
de la Sierra Hidalguense
Carretera México-Tampico,
Km 100
Zacualtipán de Ángeles,
Hidalgo, México, C.P. 43200.



benito.canales@utsh.edu.mx

Recibido: Noviembre 11, 2016.

Recibido en forma revisada: Enero 1, 2017.

Aceptado: Enero 17, 2017.

Resumen: La interferometría óptica ha sido una herramienta básica e importante para desarrollar instrumentos ópticos, mejor conocidos como interferómetros, que son capaces de analizar superficies ópticas. Este trabajo se enfoca en el experimento de Young, que es uno de los interferómetros más importantes y reconocidos en la literatura científica debido a que ha resuelto muchos problemas a lo largo de la historia. Una de tantas aplicaciones que tiene este interferómetro es en las pruebas ópticas. Algunos autores han tomado la idea de Young y han trabajado sobre ella para probar sistemas ópticos tal y como se puede encontrar en el trabajo de S.D. Chalmer, (1950), donde utiliza un arreglo interferométrico de división de frente de onda para analizar un lente de manera local. Siguiendo la propuesta de Chalmer para probar superficies ópticas, en este artículo se caracteriza una mini pantalla optoelectrónica que remplazada a las rendijas del experimento de Young, permite una versatilidad al proyectar dos aberturas que actúan como dos fuentes de luz secundarias, y que estas se superponen en algún punto. Igualmente, se muestra a detalle la caracterización de la minipantalla para que funcione como un divisor de frente de onda, asimismo se muestra el estudio del comportamiento de sistema, cuando se proyectan aberturas con diferentes tamaños, separación y direcciones sobre la minipantalla, a través de una computadora.

Palabras clave: Experimento de Young, Pruebas Ópticas, Modulador espacial de luz.

Abstract: The optical interferometry has been a basic and important tool to develop optical instruments better known like interferometers, these are capable of analyzing optical surfaces. This work is based in Young's experiment that is one of the interferometers most important and recognized in the scientific literature because it has solved many problems throughout history. One of so many applications that this interferometers has is in the optical tests. Some authors have taken his Young's idea and have worked on her to prove optical systems it is possible to find in the S.D Chalmer's work. Some authors have taken his Young's idea and have worked on her to test optical systems it is possible to find in the Chalmer's work. Where he uses an interferometry array of wavefront division to analyze a lens locally. Following the proposal of Chalmer to test optical surfaces, this article features a mini opto-electronic screen that replaced to the slits of Young's experiment, allowing a versatility to project two openings that act as two secondary light sources, and that these superpose in some point. Equally the characterization of the miniscreen appears detailed in order that it works as a divisor abreast of wave, likewise the study of the system behavior appears, when openings are projected by different sizes, separation and directions on the miniscreen, across a computer.

✦ **Keywords:** Young experiment, optical testing, spatial light modulator.

Introducción

La mayoría de las pruebas ópticas que actualmente se implementan en los talleres de fabricación analizan una superficie de manera global, como lo son la prueba interferométricas de Fizeau, Newton, Ronchi, Alambre, Estrella, Foucault, prueba de Chalmer, de Foucault, la prueba Ronchi y anillos de Newton (Malacara, 2007), permitiendo conocer el promedio de los defectos de toda la superficie. Estas pruebas permiten obtener información sobre la derivada del frente de onda ($\partial w/\partial y$). Por otra parte están las denominadas pruebas interferométricas que obtienen información directa del frente de onda, como por ejemplo: el Interferómetro de Tyman Green, Fizeau, Newton, Murty (Desplazamiento lateral) (Malacara, 2007). También existen pruebas interferométricas, que no necesitan de una superficie de referencia, como son los interferómetros de Esparcimiento, Difracción por Punto, experimento de Young, prueba de Chalmer (Martin, 1950), todos estos métodos son de fácil implementación y altamente confiables, es por ello que este trabajo se enfoca en el experimento de Young para caracterizar un modulador espacial de luz por reflexión RSLM (por sus siglas en inglés Reflective spatial Ligth Modulator).

Experimento de Young

El experimento de Young clásico se muestra en la Figura 1. Este experimento consta de una fuente extendida S_0 que ilumina una rendija convirtiéndose en una fuente primaria que produce un frente de onda espacialmente coherente que ilumina a dos rendijas S_1 y S_2 juntas que se encuentran separadas en una pantalla Σ_a , estas rendijas constituirán como dos fuentes secundarias que se propagan y se superponen en una pantalla de observación Σ_o . De esta forma se puede producir franjas alternas brillantes y oscuras mejor conocidas como franjas de interferencia (Born y Wolf, 1999).



Figura 1. Diagrama del experimento de Young.

De la literatura escrita sobre el fenómeno de interferencia de la luz (Jenkins, 1981) se sabe que, si dos ondas monocromáticas son superpuestas en algún punto P, el campo eléctrico en P es:

$$E = E_1 + E_2, \quad (1)$$

Entonces la intensidad total en el punto P es:

$$I = I_1 + I_2 \pm \sqrt{I_1 I_2} \cos \delta, \quad (2)$$

donde:

$$I_1 = \langle E_1^2 \rangle, \quad I_2 = \langle E_2^2 \rangle. \quad (3)$$

La intensidad máxima será:

$$I_{\max} = I_1 + I_2 + \sqrt{I_1 I_2}, \quad (4)$$

donde:

$$|\delta| = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$$

La intensidad mínima es:

$$I_{\min} = I_1 + I_2 - \sqrt{I_1 I_2}, \quad (5)$$

donde:

$$|\delta| = \pi, 3\pi, \dots$$

En el caso especial, cuando $I_1 = I_2$, de la Ecuación 2 se tiene

$$I = 2I_1(1 + \cos \delta) = 4I_1 \cos^2 \frac{\delta}{2}, \quad (6)$$

Y la intensidad varía entre el valor máximo $I_{\max} = 4I_1$, y el valor mínimo I_{\min} .

$$|\delta| = 0, 2\pi, 4\pi, \dots \quad (7)$$

Modulador espacial de luz por Reflexión

El modulador espacial de luz RSLM (por sus siglas en inglés Reflective Spatial Ligth Modulator), es un dispositivo optoelectrónico que contiene una capa de cristal líquido ferro eléctrico de materiales birrefringentes,



y tiene una modulación de 1280 X 1024 píxeles y un área activa de 17.43 X 13.95 mm, cada píxel tiene un tamaño de 13.62 μm . La pantalla de cristal líquido forma parte de un dispositivo con circuitos integrados, que junto con una computadora, puede funcionar como una pantalla auxiliar, en la cual es posible proyectar imágenes y videos.

Con las propiedades que presenta el RSLM, el usuario puede controlar el funcionamiento de este dispositivo a través de una computadora. Con un software de dibujo gráfico se evita el reflejo de luz hasta un 90%, esto se logra a través de imágenes generadas en computadora con fondo negro y cuadros blancos para que funcione como la rendijas del experimento de Young, donde las zonas blancas actúan como fuentes secundarias que, al ser iluminadas producirán dos frentes de onda esféricos que se van a propagar y superponer en una cámara CCD (Charge Coupled Device); la intensidad de luz reflejada será mayor en la zona blanca y por el contrario, en la zona negra existirá un reflexión de intensidad menor.

La generación de imágenes con aperturas de diferentes separaciones, posiciones y tamaños, como se muestra en la Figura 2a, son proyectadas en el RSLM como se muestra en la Figura 2b. Esto se realiza para conocer las limitaciones que tiene el sistema.

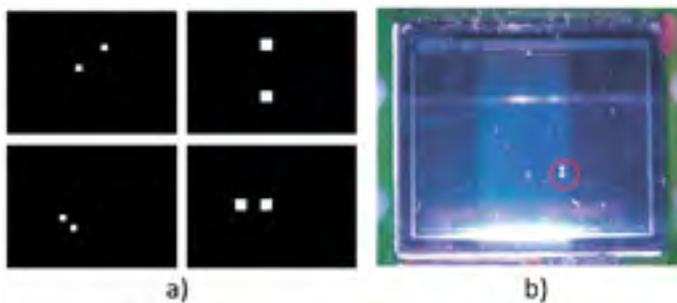


Figura 2a. Selección de zonas blancas en diferentes posiciones y separaciones de la pantalla. **Figura 2b.** Proyección de dos zonas blancas de (272.4 X 272.4 μm).

Arreglo experimental

El arreglo experimental consta de un láser Helio – Neón ($\lambda=632.8$ nm) con una potencia de 3mW, este fue colocado en una montura con movimientos en los ejes x, y; en seguida, se coloca un objetivo de microscopio de 60X de amplificación que permite expandir el haz de luz proveniente de la fuente, para así iluminar un espejo de Prueba (Ep) de diámetro de 13 cm y un radio de curvatura de 60 cm colocado a 60 cm de distancia de la fuente de luz. El espejo tiene un giro de 3° respecto al eje óptico permitiendo que la luz reflejada se dirija hacia un polarizador de luz que es montado en una pieza graduada, como se observa en la Figura 3. El Haz que se ha transmitido por el polarizador converge hacia el centro de curvatura del espejo; justo antes de este punto se coloca el modulador óptico RSLM, de tal manera que el diámetro del spot cubra el área activa del dispositivo. Este último elemento está inclinado 23° sobre el eje óptico permitiendo redireccionar la luz hacia un segundo polarizador, donde finalmente la luz incide sobre una cámara CCD, la cual permitirá capturar las imágenes provenientes del RSLM. La cámara CCD tiene las siguientes características: modelo XCST50, modulación 680X480 píxeles y un área activa del sensor 6.4 X 4.8 mm.



Figura 3. Arreglo experimental.



Interferogramas experimentales

La proyección de las imágenes en el modulador de luz actúan como las rendijas en el experimento de Young, que al ser iluminadas por luz proveniente del láser trabajan como dos fuentes secundarias produciendo un frente de onda esférico que se va a propagar y a superponer en la cámara de detección. El patrón de interferencia va a corresponder a una zona muy específica de toda la superficie del espejo, como se observa en la Figura 4. Si la superficie está libre de aberraciones se obtendrán franjas rectas y paralelas igualmente espaciadas; de lo contrario, las franjas estarán distorsionadas, indicando que el espejo está mal fabricado y tiene deformaciones físicas.

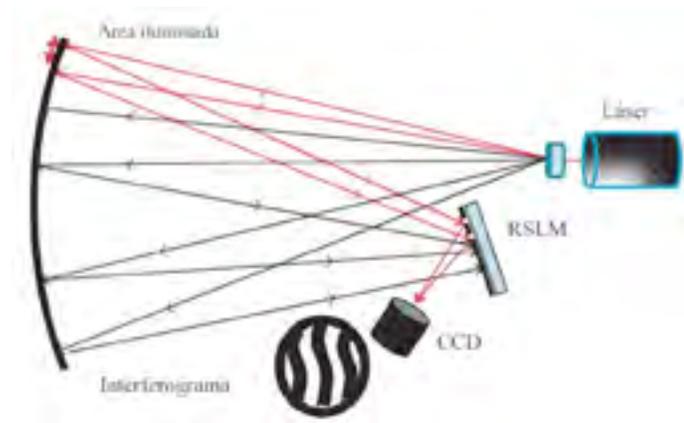


Figura 4. Diseño experimental.

Resultados

Los interferogramas obtenidos usando el arreglo experimental mostrado en la Figura 3, se presentan a continuación, donde en la Figura 5a,

se observa un patrón de interferencia que contiene tres franjas, esto fue producido por dos círculos de diámetro de $408.6 \mu\text{m}$, una separación de borde a borde de $204.3 \mu\text{m}$. En la Figura 5b se muestra un patrón de interferencia con siete franjas, esto fue producido por una imagen de dos círculos de diámetro de $408.6 \mu\text{m}$ y separados por $1.662 \mu\text{m}$, en particular este patrón presenta poca visibilidad en sus franjas. La Figura 5c presenta un patrón de interferencia con cinco franjas inclinadas a 45° , esto fue producido por una imagen de dos círculos inclinados a 45° con un diámetro de $544.8 \mu\text{m}$ separados por $1362 \mu\text{m}$. En la Figura 5d se muestra un patrón de difracción producido por una imagen de dos círculos de diámetro de $1362 \mu\text{m}$, separados por $3541.2 \mu\text{m}$, este efecto se debe a que la separación de borde a borde de los círculos es lo suficientemente grande para actuar como dos fuentes separadas, produciendo así cada una, un patrón de difracción.

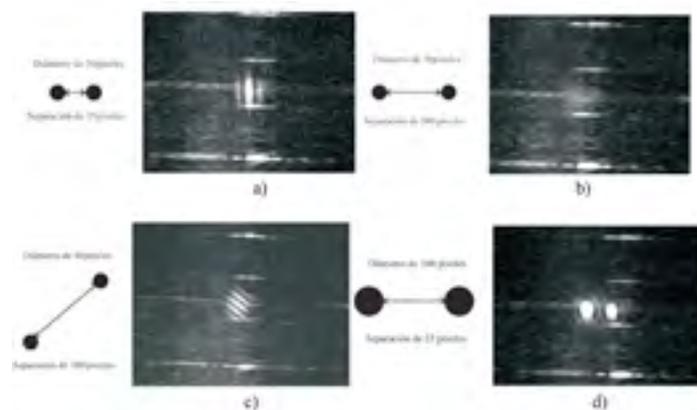


Figura 5. Patrones de interferencia producidos por dos aberturas de tamaño. (a) $408.6 - 204.3 \mu\text{m}$, (b) $408.6 - 1362 \mu\text{m}$, (c) $544.8 - 1362 \mu\text{m}$ a 45° , y (d) $1362 - 3541.2 \mu\text{m}$.



Para encontrar el tamaño y la separación de las aperturas que va permitir obtener un interferograma con buena visibilidad en las franjas, se generaron cuadros de diferentes tamaños y separaciones. En la Tabla 1 se muestran diferentes tamaños de aperturas con diferentes distancias entre ellas, también se muestra el número de franjas observadas en el interferograma. En general, para estos resultados, la visibilidad de las franjas depende de las características de las aperturas.

Tamaño de aperturas en μm	Separación en μm	N. de franjas observadas
136	136	1
136	272	4
136	408	6
272	136	3
272	408	4
272	680	6
408	408	3
408	544	4
408	680	5
408	816	7
408	952	8
544	136	3
544	544	4
544	680	5
544	816	7
544	952	8
680	136	1
680	408	3
680	680	4
680	816	4
680	952	8

Tabla 1. Resultados obtenidos con diferentes tamaños y separaciones de aperturas proyectadas en el RLSM.

Conclusión

En este trabajo se ha mostrado que, a partir del interferómetro desarrollado por Young en el siglo XVII, fue posible obtener patrones de interferencia utilizando una mini pantalla optoelectrónica, la cual funcionó como un divisor de frente de onda y resultó una herramienta muy importante, porque facilita el análisis local de una superficie óptica debido a que se pueden proyectar imágenes en el dispositivo en tiempo real provocando que sea un mecanismo útil.

Para obtener un mini interferograma con buena visibilidad y contraste, se realizó un estudio donde se proyectaron diferentes aperturas con distintos tamaños y separaciones, esto permitió conocer el tamaño adecuado para el caso ideal. El mejor resultado fue al proyectar aperturas de $544 \mu\text{m}$ de tamaño por $544 \mu\text{m}$ de separación.

Símbolos

E, E_1, E_2	Campo eléctrico (Evolución)	(E)
$I, I_1, I_2, I_{\text{total}}$	Intensidad (Newton/Coulomb)	(I)
δ	Fase (radianes)	(δ)

Bibliografía

†S.D, Chalmer, (1950). *Technical Optics*. Ed.Pitman Press. Bath vol. II. Pp.285-286.

†Malacara, Daniel,(2007). *Optical Shop Testing,USA*. ISBN 9780471484042.

†A. Francis, E. Harvey y E. White (1981). *Fundamentals of Optics*. California. ISBN 0070853460.

†M.Born y E. Wolf (1999). *Principles of Optics*. Cambridge. ISBN 0521642221.

