

*Estudio del interferómetro de Michelson
mediante un laboratorio virtual*
*Study of the Michelson interferometer by means
of a virtual laboratory*

Francisco M. Muñoz-Pérez, Juan A. Monsoriu
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
fmmuope1@upvnet.upv.es, jmonsori@fis.upv.es

J. Gabriel Ortega Mendoza
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE TULANCINGO
jose.ortega@upt.edu.mx

Abstract

La interferencia es un fenómeno de la física de ondas que se produce cuando dos o más ondas se superponen. En el caso de la interferencia de la luz, esto resulta en patrones de luz y sombra. En este trabajo, presentamos un laboratorio virtual desarrollado como interfaz gráfica de usuario (GUI) en el software Matlab, que tiene como propósito facilitar el estudio del fenómeno de interferencia de la luz para diferentes longitudes de onda. La meta principal es proporcionar a los estudiantes de asignaturas de Física y Óptica, tanto a nivel de pregrado como de grado, las competencias necesarias para comprender el comportamiento ondulatorio de la luz a través del análisis del patrón de interferencia generado

Interference is a phenomenon of wave physics that occurs when two or more waves overlap. In the case of light, this results in patterns of light and shadow. In this paper, we present a virtual laboratory developed as a graphical user interface (GUI) in Matlab software, which aims to facilitate the study of the interference phenomenon of light for different wavelengths. The main goal is to provide students of Physics and Optics, both at undergraduate and graduate level, with the necessary skills to understand the wave behavior of light through the analysis of the interference pattern generated.

Palabras clave: Laboratorio Virtual, Matlab, Interferómetro, Michelson
Keywords: [Virtual Laboratory](#), [Matlab](#), [Interferometer](#), [Michelson](#)

1. Introducción

La interferencia de la luz es un fenómeno fascinante que se produce cuando dos o más ondas de luz se superponen, creando patrones de intensificación o cancelación conocidos como interferencias. Este fenómeno es fundamental en diversos campos, desde la óptica hasta la física cuántica, y ha sido estudiado y aplicado en numerosos experimentos y tecnologías (Andrews, 1960).

Uno de los dispositivos más importantes para estudiar la interferencia de la luz es el interferómetro de Michelson, desarrollado por el físico Albert A. Michelson a finales del siglo XIX. Este dispositivo es una herramienta fundamental en la investigación óptica y ha sido utilizado en una amplia gama de aplicaciones, desde la determinación de la velocidad de la luz hasta la detección de ondas gravitacionales (Hecht, 1998).

El interferómetro de Michelson consiste en un divisor de haz, que divide un haz de luz en dos caminos diferentes, y dos espejos que reflejan la luz creando dos fuentes puntuales coherentes virtuales y que se interfieren en un punto al volver. En este punto, las dos ondas de luz interfieren entre sí, creando patrones de interferencia que pueden ser observados y analizados. El interferómetro de Michelson ha sido utilizado en una amplia variedad de aplicaciones, como la medición precisa de longitudes, la detección de pequeños cambios en la longitud de onda de la luz, la determinación de la velocidad de la luz y la detección de ondas gravitacionales. Su versatilidad y precisión lo convierten en una herramienta invaluable en la investigación científica y tecnológica (Guenther, 1990).

La enseñanza de temas científicos a través de entornos virtuales se ha convertido en una herramienta poderosa que brinda a los estudiantes la oportunidad de aprender de manera interactiva y práctica (Steinberg, 2000), (Depcik, 2005). Al permitir que los estudiantes interactúen con laboratorios virtuales, ajustando variables y explorando diversos escenarios físicos, se facilita la comprensión de conceptos científicos y el análisis rápido de los resultados. Esto genera una transición eficaz entre el concepto a aprender y el modelo presentado, promoviendo así un aprendizaje más profundo y significativo (Vidaurre, 2002). El laboratorio virtual que presentamos permite el estudio de interferencia de la luz a través de un interferómetro de Michelson. Como resultado se obtiene el patrón de interferencia de anillos concéntricos para diferentes longitudes de onda. Se desarrolla un interfaz gráfica de usuario desarrollada en el software MATLAB (GUI MATLAB, 2024), (Matlab, 2008). A través de este laboratorio virtual se busca que el estudiante estudie el fenómeno de interferencia, la dependencia del patrón interferométrico a través de las longitud de onda de la luz, la diferencia de camino óptico y la coherencia entre los dos haces de luz.

2. Base teórica

La interferencia es la combinación por superposición de dos o más ondas que se encuentran en un punto del espacio, donde la intensidad del campo eléctrico resultante \mathbf{E} es igual a la suma vectorial de las perturbaciones individuales.

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + .. \quad (1)$$

La interferencia de la luz se traduce como interacción de dos o más ondas de luz cuyo resultado es un patrón de irradiancia. Si consideramos dos fuentes puntuales coherentes, con una separación a entre ellas, mayor a su longitud de onda λ . El patrón de intereferencia resultante esta constituido como el promedio temporal de la magnitud de intensidad del campo eléctrico (Hecht, 1998).

$$I = \langle \mathbf{E}^2 \rangle_T \quad (2)$$

donde,

$$\mathbf{E}^2 = (\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2)(\mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2) \quad (3)$$

Resolviendo el producto de la ecuación 3 es posible obtener,

$$I = I_1 + I_2 + I_{12}, \quad (4)$$

donde $I_1 = \langle \mathbf{E}_1^2 \rangle_T$, $I_2 = \langle \mathbf{E}_2^2 \rangle_T$ y $I_{12} = 2 \langle \mathbf{E}_1 \mathbf{E}_2 \rangle_T$. El último término es denominado de interferencia. Resolviendo el producto del término de intereferencia y realizando el promedio temporal es posible obtener la siguiente expresión:

$$I_{12} = \mathbf{E}_1 \mathbf{E}_2 \cos \delta \tag{5}$$

Donde δ es la diferencia de fase resultante de la combinación de la diferencia de ángulo de desfase inicial y de longitud de onda. Para el caso donde \mathbf{E}_{01} y \mathbf{E}_{02} son perpendiculares $I_{12} = 0$ y para el caso contrario, donde son paralelos, la irradiancia total se obtiene como:

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta \tag{6}$$

Se obtiene un máximo de irradiancia cuando $\cos \delta = 1$, donde $\delta = 2\pi m$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$), y un mínimo de irradiancia se produce cuando $\cos \delta = -1$, donde $\delta = \pi m'$ ($m' = 2m + 1$). El interferómetro de Michelson es un dispositivo que permite visualizar el patrón de interferencia de dos brazos derivados por división de amplitud de una fuente de luz coherente. Su configuración básica incluye un divisor de haz (BS), que separa la onda en dos (denominadas I_1 e I_2). Estas ondas se reflejan en los espejos M_1 y M_2 , actuando como fuentes virtuales. Al regresar en dirección al divisor de haz, I_1 se refracta y I_2 se refleja, superponiéndose para generar el patrón de interferencia mostrado en el plano de observación (ver Figura ??).

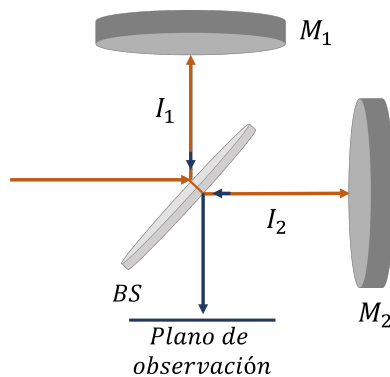


Figura 1: Configuración del interferómetro de Michelson

La distribución del patrón de interferencia de luz monocromática esta compuesto de un número de anillos brillantes y oscuros. A cada uno de estos le corresponde un orden fijo m . Conforme la diferencia de camino óptico decrece, es decir cuando M_1 se desplaza una distancia $\Delta d = \lambda/2$ con respecto de M_2 cada orden de interferencia se desplaza a la posición previamente ocupada por una orden adyacente. Cuando Δd se acerca a cero, los anillos se comprimen hacia el centro y al ser $\Delta d = 0$ se observa únicamente el orden central. En el caso donde Δd aumenta, un mayor número de ordenes de difracción se observan desplazándose al exterior. A través del desplazamiento de los ordenes de interferencia en un punto fijo es posible medir distancias muy pequeñas como describe la siguiente expresión,

$$\Delta d = m \frac{\lambda}{2} \tag{7}$$

3. Laboratorio virtual

El laboratorio virtual cuenta con una interfaz de usuario que se muestra en la Figura 1. Esta interfaz consta de dos partes principales: la sección de parámetros de entrada, ubicada en la parte inferior, y una segunda sección que incluye dos ventanas gráficas en la parte superior. A continuación, se detallan ambas partes.

Parámetros de entrada:

A_1 : Consiste en dos deslizadores, I_1 y I_2 , que permiten al usuario elegir la intensidad normalizada de cada brazo del interferómetro.

A_2 : Deslizador para seleccionar la diferencia de distancia entre ambas fuentes virtuales, con un rango de 0 a 1000 μm .

A_3 : Un deslizador para elegir la longitud de onda λ , para un rango de valores de 380 a 740 nm.

Parámetros de salida:

B_1 : Gráfico que presenta la distribución de irradiancia en un corte transversal del patrón de interferencia.

B_2 : Ventana gráfica que muestra de manera dinámica y detallada el patrón completo de franjas circulares de interferencia.

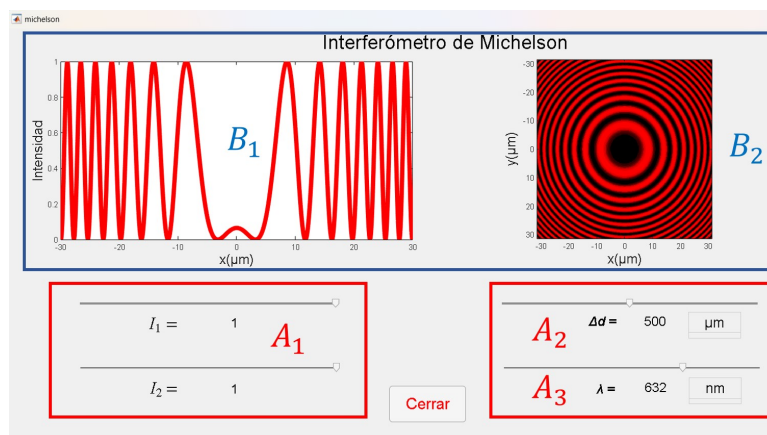


Figura 2: Laboratorio virtual para el estudio de la interferencia a través de un interferómetro de Michelson.

A continuación, se presentan algunos ejemplos prácticos que ilustran las aplicaciones del laboratorio virtual. En la Figura 2 se representa el caso donde solo se simula un haz de interferencia ($I_2 = 1$) mientras que el haz $I_1 = 0$. Como se puede apreciar, no se produce un patrón de interferencia como cabría esperar, ya que no hay dos haces superponiéndose, condición para obtener un patrón de interferencia. Este fenómeno se asemeja experimentalmente a obstruir uno de los brazos del interferómetro de Michelson. Como se observa en la Figura 2, únicamente se muestra un patrón continuo de luz.

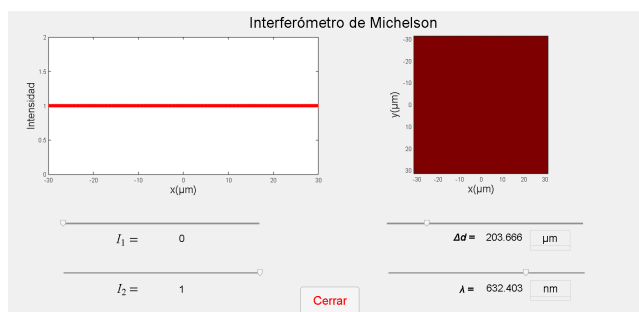


Figura 3: Resultados obtenidos a través del laboratorio virtual para un solo haz de interferencia de $\lambda = 655.86$ nm.

El laboratorio virtual permite simular la diferencia entre los espejos M_1 y M_2 . Al modificar la distancia entre las fuentes virtuales coherentes el número de franjas de interferencia que es posible observar también lo hace. Un ejemplo de esto se muestra en la Figura 3, cuando se utiliza una longitud de onda de $\lambda = 380$ nm y una diferencia de camino óptico $\Delta d = 203.66 \mu\text{m}$, se observa un mayor número de anillos de interferencia. Por otro lado, cuando la diferencia de camino óptico es de $\Delta d = 63.13 \mu\text{m}$, el número de órdenes de interferencia es menor en comparación con el caso anterior.

A través del laboratorio virtual, también es posible observar la dependencia de las franjas circulares de interferencia con respecto a la longitud de onda. Como se muestra en la ecuación 1, al modificar λ , se produce un desplazamiento en los órdenes de interferencia. Un ejemplo de esto se ilustra en la Figura 4, donde para una misma diferencia de camino óptico Δd y tres longitudes de onda diferentes: a) $\lambda = 628.7$ nm, b) $\lambda = 520.9$ nm y c) $\lambda = 441.7$ nm, se observa un cambio en el patrón de interferencia, notable en el orden de interferencia central.

4. Conclusiones

Se presenta un laboratorio virtual para el estudio del patrón de interferencia generado por un interferómetro de Michelson. Los ejemplos proporcionados permiten investigar las características de la interferencia y su dependencia con la longitud de onda en la posición de los órdenes de interferencia. Este laboratorio virtual representa una valiosa herramienta para el estudio de la interferencia de la luz, un tema fundamental en el

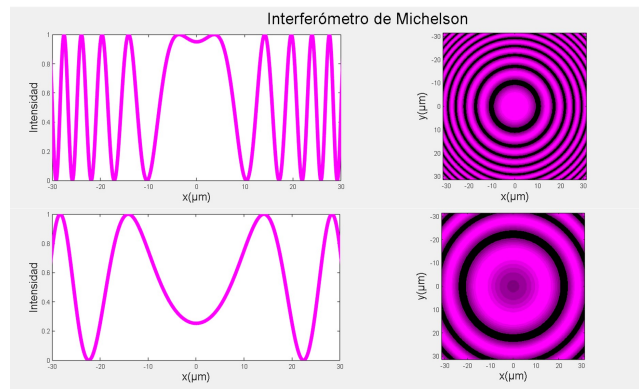


Figura 4: Patrón interferométrico para dos diferentes Δd y una única longitud de onda $\lambda = 380$ nm.

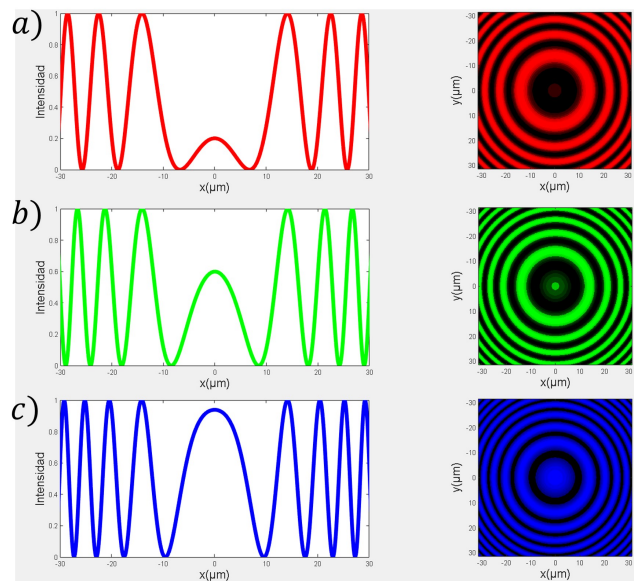










Figura 5: Patrón de interferencia para tres diferentes longitudes de onda λ y una $\Delta d = 203.6 \mu\text{m}$. a) $\lambda = 628.7$ nm, b) $\lambda = 520.9$ nm y c) $\lambda = 441.7$ nm.

ámbito de la óptica física. La interfaz de usuario facilita a los estudiantes un análisis ágil, permitiéndoles verificar la base teórica discutida en el aula mediante la modificación de los parámetros.

5. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (PID2022-142407NB-I00) y por la Generalitat Valenciana (CIPROM/2022/30). F.M.M.P. también agradece la financiación de la Universitat Politècnica de València (PAID-01-20-25). Este trabajo ha sido desarrollado por el Equipo de Innovación y Calidad Educativa MSEL de la Universitat Politècnica de València.

Referencias

-  [Matlab\(2008\).](#)
Matlab R2008a User's Guide. The Mathworks
The Mathworks, INC., INC. Natick, MA. USA.
-  [Matlab\(2024\).](#)
GUI MATLAB
<https://es.mathworks.com/discovery/matlab-gui.html>
-  [Hecht, E.\(1998\).](#)
Optics
Addison-Wesley, 3rd. E.
-  [Guenther, R. D.\(1990\).](#)
Modern Optics
Wiley
-  [Andrews, C. L.\(1960\).](#)
Optics of the Electromagnetic Spectrum
Prentice-Hall
-  [Vidaurre, A., Riera, J., Giménez, M. H., Monsoriu, J. A.\(2002\).](#)
Contribution of digital simulation in visualizing physics processes
Computer Applications in Engineering Education, vol.10
-  [Depcik, C., Assanis, D. N.\(2005\).](#)
Graphical user interfaces in an engineering educational environment
Computer Applications in Engineering Education, vol.13 (1)
-  [Steinberg, R. N.\(2000\).](#)
Computers in teaching science: To simulate or not to simulate?
Computer Applications in Engineering Education, vol. 68