

CARACTERIZACIÓN Y MONITOREO DE UN HAZ LÁSER DE BAJA POTENCIA

J. Muñoz, J. Cabrera, E. Montilla, J. León Téllez y A. Bastidas
Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación.
Universidad del Cauca. Popayán, Colombia.
E-mail: jleon@atenea.ucauca.edu.co.

RESUMEN

Los láseres que funcionan en el visible, se han convertido por sus características, en uno de los pilares fundamentales de la ciencia y la tecnología. Aquí se reporta un trabajo basado en un método experimental para medir algunas de las características físicas de un láser de He-Ne @ 632,8 nm y 1 mW de potencia, tales como la longitud de onda mediante el experimento de Michelson, y el grado de coherencia complejo mediante el experimento de Young.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas láser utilizados actualmente en los diferentes campos de aplicación, industria, telecomunicaciones, medicina, control de calidad y trabajo de laboratorio, entre otros, deben presentar condiciones óptimas de funcionamiento. La mayoría de los láseres son susceptibles a desajustes producidos principalmente por las condiciones de los lugares de trabajo. Esto lleva a un deterioro de los componentes ópticos, del medio activo y del sistema eléctrico, produciendo efectos de pérdida de potencia, anchos de banda grande y en general poca eficiencia. Esto hace prioritario realizar frecuentemente un monitoreo muy riguroso para verificar y proponer soluciones tendientes al buen funcionamiento de dichas fuentes de luz.

DISCUSIÓN TEÓRICA

El láser constituye la mejor aproximación a las ondas electromagnéticas planas sinusoidales simples, esto facilita la medida de la longitud de onda utilizando, por ejemplo, el interferómetro de Michelson y Morley como en nuestro caso. La diferencia de fase entre los dos haces en la zona de superposición es la que corresponde a la diferencia de camino óptico, [1].

$$\delta = 2n(d_2 - d_1) \quad (1)$$

Donde n es el índice de refracción del medio para la longitud de onda utilizada y d_2 , d_1 las distancias recorridas por los dos haces. Si el sistema está perfectamente alineado y el haz de iluminación es en buena aproximación una onda monocromática, la amplitud del campo luminoso y la intensidad luminosa a la salida tendrán valores constantes para todo (x,y,z) , que dependerán solamente de la diferencia de camino óptico, serán máximos para $\delta=0$ ó $\delta=m\lambda$, y mínimos para $\delta=(2m+1)\lambda/2$. Si $\delta=0$ y el sistema está completamente desalineado de manera que los haces emergentes del dispositivo formen un ángulo pequeño y sobre la pantalla de observación existirá un sistema de franjas paralelas cuya repartición sinusoidal de intensidad dará la máxima visibilidad, porque se ha supuesto que las amplitudes de los haces son iguales y que por haberse obtenido de un mismo haz y recorrido un mismo camino son

perfectamente coherentes. Si se desplaza uno de los espejos paralelo a si mismo, este desplazamiento introduce una diferencia de camino óptico entre los dos haces, que a su vez produce un desplazamiento global del sistema de franjas sobre la pantalla.

La calidad de las franjas producido por un sistema interferométrico puede describirse cuantitativamente usando la visibilidad, v , que, formulada inicialmente por Michelson, es proporcionada por:

$$v(r) = \frac{I_{m\acute{a}x} - I_{m\acute{i}n}}{I_{m\acute{a}x} + I_{m\acute{i}n}} \quad (2)$$

Aquí $I_{m\acute{a}x}$ y $I_{m\acute{i}n}$ son las irradiancias correspondientes al máximo y al mínimo contiguo en el sistema de franjas. Mediante el experimento de Young es posible variar la separación de las aberturas, medir la visibilidad, v , cuando cambia y relacionar esta medida con el concepto de coherencia. El modulo del grado de coherencia complejo es idéntico a la visibilidad de las franjas, [2].

MÉTODO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

Mediante el montaje del experimento de Michelson se realizó el conteo de los anillos de interferencia y el registro de la distancia del espejo móvil y mediante la expresión,

$$\lambda = 2(\Delta d) / m \quad (3)$$

Con Δd = desplazamiento del espejo, m = número de anillos y λ = longitud de onda, se obtuvo los resultados mostrados en la Tabla 1:

Tabla No.1

No. de medida	m	Δd (mm) $\pm 0,0005$ mm	λ (nm) ± 20 nm
1	49	0,0170	680
2	50	0,0168	672
3	81	0,0260	641
4	100	0,0318	636
Promedio			653,8 ± 20 nm

El resultado aquí obtenido es cercano al valor convencional de 632,8 nm; el error es del 3,32%. Este porcentaje indica que el montaje experimental permite medir, en primera aproximación, la longitud de onda de una fuente de luz láser, indicando con esto que el sistema de medida puede ser optimizado para obtener resultados con mayor exactitud y precisión.

Utilizando un fototransistor NPN Plastic Silicon, tipo OP593, el cual presenta una respuesta espectral típica mostrada en la Figura 1, donde en forma conjunta se ubican algunos puntos experimentales de comparación.. El sistema de adquisición de datos utilizado fue el

Multifunción I/O 100kS/s, 12 Bit, 8 entradas analógicas, con una tarjeta DAQ-1200. El movimiento horizontal del fototransistor proporciona una relación lineal entre un voltaje regulado por un potenciómetro y la distancia correspondiente. Esta relación se presenta en la Figura 2.

Bajo estas condiciones se obtuvo el registro de las medidas de intensidad relativa en unción de la posición para el sistema de franjas del experimento de Michelson, tal como se muestra en la Figura 3.

También utilizando el experimento de Young se obtuvieron distribuciones de franjas mediante dos aberturas circulares pequeñas iluminadas con un láser de He-Ne, [3]. Teniendo en cuenta, por una parte, el grado de coherencia complejo, que se define como,

$$\tilde{\gamma}_{12}(\tau) = \frac{\tilde{\Gamma}_{12}(\theta)}{\sqrt{\tilde{\Gamma}_{11}(\theta)\tilde{\Gamma}_{22}(\theta)}} \quad (4)$$

donde, $\tau = t_2 - t_1$ indica el desplazamiento del origen temporal respecto a las irradiancias en los puntos S1 y S2, $\tilde{\gamma}_{12}(\tau)$ es la función de coherencia mutua de los campos luminosos en las abertura circulares S1 y S2, $\tilde{\gamma}_{11}(\tau)$ ó $\tilde{\gamma}_{22}(\tau)$ representan las funciones de coherencia mutua cuando se hace coincidir S1 y S2. Y por otra parte, según la ley general de interferencia para la luz parcialmente coherente,

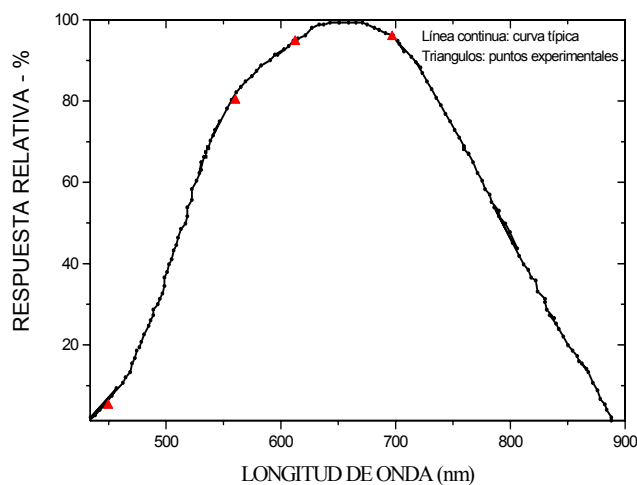


Figura 1. Respuesta espectral típica del fototransistor NPN-Si

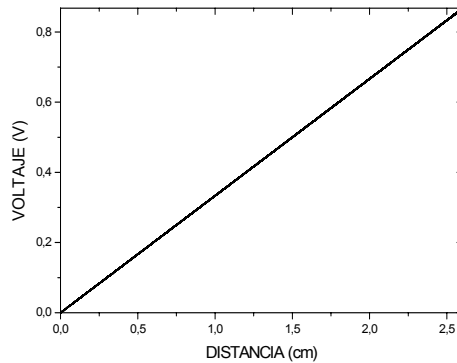


Figura 2. Relación del movimiento horizontal del fototransistor con el voltaje

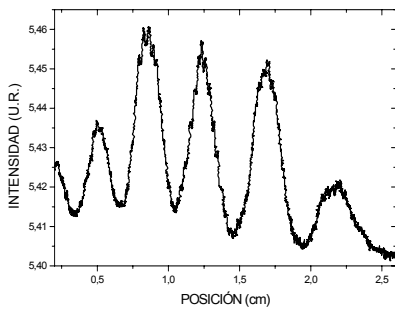


Figura 3. Intensidad de las franjas de interferencia del experimento de Michelson en función de la posición.

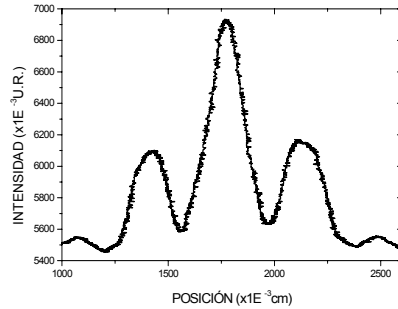


Figura 4. Intensidad de las franjas de interferencia del experimento de Young en función de la posición.

$$I = I_1 + I_2 + \sqrt{I_1 I_2} \operatorname{Re} \tilde{\gamma}_{12}(\tau) \quad (5)$$

Sugieren claramente la manera según la cual las partes reales de $\tilde{\Gamma}_{12}(\tau)$ y $\tilde{\gamma}_{12}(\tau)$ pueden determinarse a partir de medidas directas. Se ajustaron las condiciones experimentales para que las densidades de flujo de las dos perturbaciones sean iguales, y mediante la ecuación, $v = |\tilde{\gamma}_{12}(\tau)|$, se obtuvo el grado de coherencia complejo de la distribución de franjas resultante, [4]. Además, el desplazamiento fuera de eje en la localización de la franja central, permitió medir, $\alpha_{12}(\tau)$, que es el retardo relativo de la fase de las dos perturbaciones en S_1 y S_2 . Por lo tanto, las medidas de la visibilidad y la posición de las franjas dan como resultado la amplitud y la fase del grado de coherencia complejo. En la Figura 4, se presenta las medidas de la intensidad relativa en función de la posición. El valor de, a, la separación

entre las dos aberturas circulares, y los valores medidos de, α_{12} y $v = |\tilde{\gamma}_{12}|$, se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2

a (cm)	0,7
α_{12}	0
$v = \tilde{\gamma}_{12} $	0,095

CONCLUSIONES

El interferómetro de Michelson es un método relativamente simple y de mucha estabilidad, con condiciones favorables para determinar el valor de la longitud de onda de la radiación electromagnética emitida por un láser. Los valores obtenidos están muy cercanos al valor convencionalmente verdadero, puesto que las operaciones matemáticas intermedias son mínimas.

La medida del grado de coherencia compleja de una fuente de luz láser, permite determinar la calidad de la radiación, lo cual es definitivo al momento de involucrar tareas de alta precisión, por ejemplo en la cirugía de ojos en el campo de la medicina, entre muchos más. Es importante tener en cuenta que el grado de coherencia compleja tiene un límite superior igual a la unidad para todos los valores de τ y para cualquier par de puntos espaciales únicamente si el campo óptico es estrictamente monocromático siendo, por lo tanto, tal situación inalcanzable. Además, tampoco puede existir en el espacio libre un campo de radiación no nulo para el cual $|\tilde{\gamma}_{12}(\tau)| = 0$ para todos los valores de τ y para cualquier par de puntos espaciales.

REFERENCIAS

- [1]. Born, M., Wolf, E., Principles of Optics, 7ª edición, Editorial Cambridge, 1999.
- [2]. Casas, J., Óptica, Universidad de Zaragoza, 1985.
- [3]. Simon, J. M. and Comastri, S. A., Two-beam interferometer illuminated by a non-monochromatic incoherent periodic source: 1. Young's interferometer, 4th Iberoamerican Meeting on Optics and 7th Latin American Meeting on optics, Lasers, and Their Applications. Proceedings of SPIE, Vol. 4419, 2001, p. 231-234.
- [4]. Manceñido, M. E., Zerbino, L. M. And Garavaglia, M., Analysis of a Young michelson tandem interferometer, 4th Iberoamerican Meeting on Optics and 7th Latin American Meeting on optics, Lasers, and Their Applications. Proceedings of SPIE, Vol. 4419, 2001, p. 239-242.