

Análisis del experimento de Young usando la Transformada de Fourier

1. Objetivos

En esta práctica se busca analizar un experimento clásico, el cual supuso un hito en la historia de la física pues probó la dualidad onda-corpúsculo de la luz. Para ello se hará uso de las herramientas estudiadas durante el curso. Para ello, se hará el desarrollo teórico usando estas herramientas modernas, en contraposición a las utilizadas en el experimento original. A continuación, realizará una validación experimental de la formulación obtenida.

Los objetivos específicos de esta sesión son:

1. Ser capaz de identificar transformaciones de señales que pueden aparecer en problemas reales.
2. Familiarizarse con transformadas a lo largo del dominio espacial
3. Ser capaz de estimar parámetros físicos a partir de la información espectral de la señal.

2. Desarrollo teórico

El problema que se considera en esta sesión es el análisis de la difracción de la luz cuando esta pasa por una o varias rendijas. En primer lugar, se mostrará la ecuación que gobierna dicho sistema, conocida como ecuación de difracción de Fraunhofer. Después, se mostrará el experimento llevado a cabo por Thomas Young en el año 1801 y su modelo teórico.

2.1. Descripción del sistema

El problema físico que aquí se considera es el ilustrado en la figura 1. En dicho problema se tiene una pantalla con una o varias ranuras por las cuales pasa una onda monocromática (i.e., de un sólo color) y que tiene una longitud de onda λ . Esta luz pasa por las rendijas, donde su distribución se denomina $a(x')$, y se propaga por el espacio dando lugar a una distribución de luz a una distancia L , que denominaremos $I(x)$.

La relación entre la entrada al sistema $a(x')$ y la salida $I(x)$ viene dada por la ecuación de la difracción de Fraunhofer:

$$I(x) \propto \int_{-\infty}^{\infty} a(x') e^{-jk \frac{xx'}{L}} dx'$$

donde $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ es el número de onda correspondiente a la longitud de onda de trabajo.

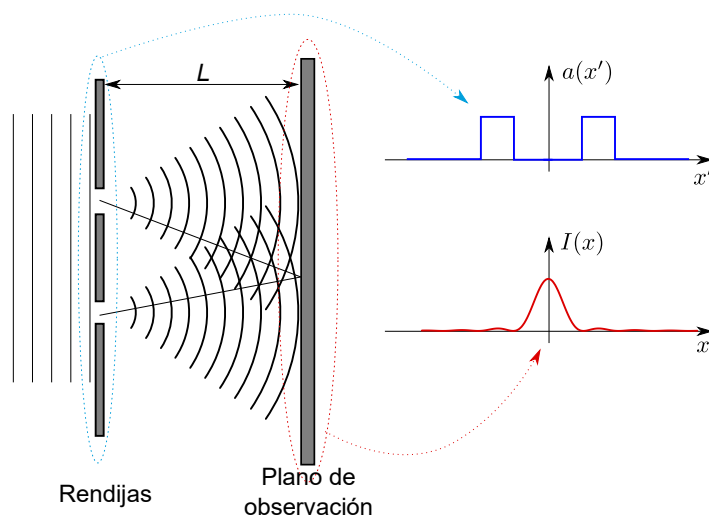
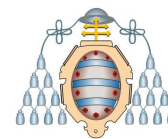


Figura 1: Componentes principales de un sistema con difracción en una rejilla.

Aunque no entraremos en mayores detalles, pues se escapan al ámbito de la asignatura, tanto la señal de entrada como la de salida son habitualmente modelados como señales complejas pues se modelan como si fuesen fasores. Además, es importante reseñar que nuestros ojos son sensibles, no a la distribución $I(x)$, sino a la su intensidad $|I(x)|^2$.

TAREA

1. Expresa la ecuación anterior en función de transformaciones conocidas.

2.2. El experimento de Young

El experimento de Young, también conocido como experimento de la doble rendija, es una demostración clásica de que la luz presenta características propias de las partículas así como de las ondas. Este experimento fue realizado por primera vez en 1801 por Thomas Young. Una implementación, realizada con componentes modernos, se encuentra recogido en la figura 2.

El experimento consiste en hacer pasar una señal de luz por dos rendijas para observar como la interacción entre las ondas produce un cierto patrón conocido. Tal y como hemos visto en la sección anterior, esta interacción se puede modelar mediante la ecuación de difracción.

Suponiendo una longitud de onda correspondiente al verde ($\lambda = 532 \text{ nm}$) y una distancia al plano de observación $L = 3,9 \text{ m}$, realice las siguientes tareas:

TAREA

1. Obtenga la intensidad de la luz $|I(x)|^2$ que se obtiene en el experimento con una única rendija de ancho $W = 100 \mu\text{m}$.
2. Obtenga la intensidad de la luz $|I(x)|^2$ que se obtiene en el experimento con dos rendijas idénticas, de ancho $W = 100 \mu\text{m}$ y separadas $D = 1 \text{ mm}$.

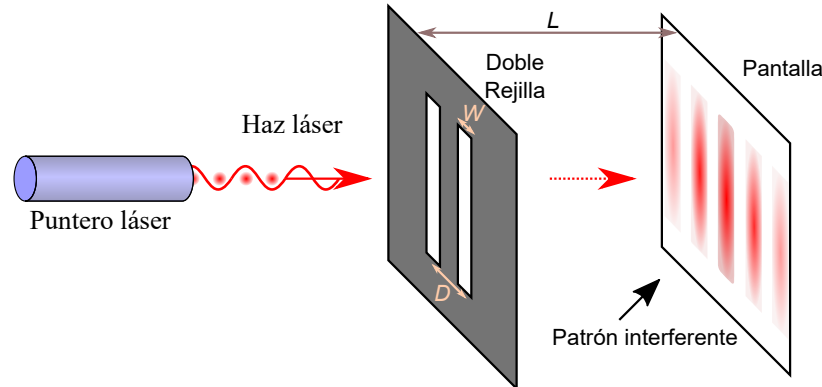
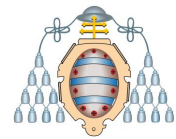


Figura 2: Experimento de la doble rejilla. El experimento original se realizó de manera similar pero en lugar de un puntero láser se utilizó luz solar filtrada por un pequeño agujero.

3. Desarrollo experimental

A continuación, se realizará una validación experimental que le permitirá obtener varios de los parámetros observados anteriormente. Además, la figura 3 contiene algunos resultados de referencia que pueden servirle de guía.

Puedes reproducir el experimento en casa utilizando papel de aluminio, un cúter, una regla y un láser sencillo. Con ayuda de la regla, realiza dos cortes para crear dos ranuras paralelas lo más cercanas posible (1 mm aproximadamente) en el papel de aluminio. El ancho de la ranura será aproximadamente el ancho del cúter. La longitud recomendada de las líneas es de al menos 1 cm. Después de eso, ilumina las ranuras con el láser y mira la proyección a una distancia de 4-5 m.

También puedes seguir otros tutoriales disponibles en internet:
<https://www.youtube.com/watch?v=kKdaRJ3vAmA>

Una vez que hayas replicado el experimento, tendrás que:

- TAREA**
1. Mida la distancia L .
 2. Conocida la longitud de onda (verde: $\lambda = 532 \text{ nm}$, rojo: $\lambda = 650 \text{ nm}$), obtenga la separación entre las rejillas D a partir de la señal $|I(x)|^2$. Puede suponer que ambas rejillas tienen el mismo ancho.
 3. A partir de la señal $|I(x)|^2$, calcule el ancho de las rendijas W . Puede suponer que ambas rejillas tienen el mismo ancho.

- OPCIONAL**
1. Repita las dos últimas tareas para un láser con una longitud de onda diferente.

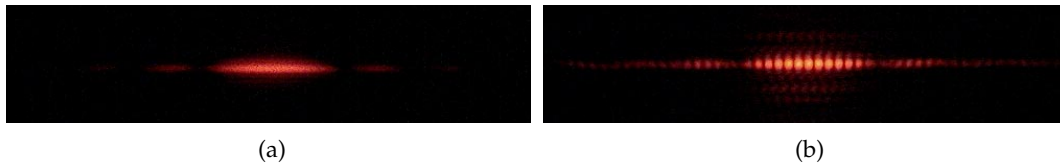
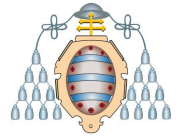


Figura 3: Resultados esperados utilizando (a) una rejilla y (b) dos rejillas.