

NATURALEZA ONDULATORIA DE LA LUZ:

INTERFERENCIA Y DIFRACCIÓN EN

LA RENDIJA SIMPLE, LA DOBLE RENDIJA Y LA RED DE DIFRACCIÓN.

(Práctica nº 16: Interferencias y difracción)

**CARLOS HUERTAS BARRA
FERNANDO HUESO GONZÁLEZ**
1º DE FÍSICA Grupo B. L1/2
*Práctica realizada el 12-III-08
Informe entregado el 2-IV-08*

ÍNDICE

ÍNDICE.....	- 2 -
RESUMEN	- 3 -
DIFRACCIÓN POR UNA RENDIJA...-	3 -
DOBLE RENDIJA DE YOUNG.....-	7 -
REDES DE DIFRACCIÓN	- 10 -
CONCLUSIÓN.....	- 16 -

RESUMEN

Este experimento consiste en el estudio de los fenómenos de interferencia y difracción en rendijas de un láser de luz monocromática. A partir de la medida de las distancias en la pantalla donde se observa el patrón de interferencias se puede calcular la longitud de onda de la luz empleada, resultado que se puede comparar con el que aparece inscrito en el láser.

Asimismo, este experimento hace evidente la naturaleza ondulatoria de la luz debido a las propiedades de interferencia y difracción en rendijas de anchura milimétrica y sustentan la descripción de la luz como onda electromagnética.

DIFRACCIÓN POR UNA RENDIJA

En esta primera parte del experimento se hace incidir un haz de rayo láser monocromático de 633 nm en una pantalla a través de una rendija simple de anchura a . Se mide la distancia D entre la pantalla y la rendija, que deben colocarse paralelamente y perpendicular al rayo. Además, el rayo debe pasar preferiblemente por el centro de la rendija. Hay que señalar que dichas condiciones son difíciles de garantizar, con lo que podría haberse cometido un error sistemático no contemplado que se puede ver reflejado en los valores finales.

En la pantalla, tras la difracción en la rendija, se forma un patrón de interferencias con puntos luminosos (interferencia constructiva) y otros oscuros (destrucciona) debido a la naturaleza ondulatoria de la luz. Se coloca en dicha pantalla un papel milimetrado de forma que la línea imaginaria que resulta de unir los puntos coincida con alguna de las líneas del papel milimetrado. Posteriormente se fija el papel con celo sobre la pantalla y se procede a medir la distancia entre el punto luminoso central y cada mínimo de intensidad, procurando no mirar el láser directamente con los ojos, pues podría provocar daños en la retina. Se puede indicar que es indiferente hacia qué lado se tomen las medidas, pues los puntos deben estar simétricamente dispuestos a uno y otro lado del punto central, siempre que la pantalla sea plana y que esté situada paralela a la rendija y perpendicular al rayo.

En realidad, al tratarse de una rendija en dos dimensiones (tiene anchura y longitud), en la pantalla se observan puntos ligeramente ovalados, aunque lo importante es la separación entre dichos puntos a lo largo del eje que pasa por sus centros. Se intenta (no es imprescindible) que el haz incida en el centro de la rendija (mayor claridad), aunque es algo complicado ajustarlo correctamente. A medida que se va ajustando a ese centro, el eje va girando, con lo que es importante colocar el papel milimetrado tras ajustarlo.

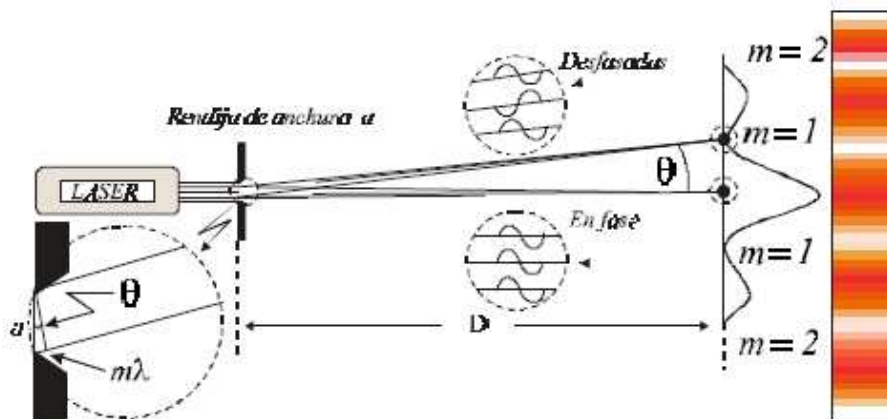


Figura 1 - Patrón de interferencias provocada por el rayo láser al atravesar una rendija de anchura milimétrica.

A continuación se presenta la tabla con los valores obtenidos para las diferentes rendijas de anchura a , separadas todas ellas una distancia fija $D = 100,0 \pm 0,1\text{cm}$ de la pantalla, donde se medía la distancia entre el centro hasta cada mínimo de intensidad. De este modo se pueden comparar los valores para las diferentes rendijas:

Tabla 1 - Distancias Y_m obtenidas desde el centro según el máximo m , para varias rendijas simples con diferente apertura a , siendo la distancia entre la pantalla y la rendija D en todos los casos.

a	0,16mm	0,08mm	0,04mm
m	$Y_m \pm 0,1 \text{ cm}$		
0	0,0	0,0	0,0
1	0,4	0,8	1,7
2	0,8	1,7	3,3
3	1,1	2,4	5,0
4	1,6	3,2	6,5
5	2,1	4,1	
6	2,5	4,9	
7	2,9	5,7	
8	3,3	6,4	
9	3,8		
10	4,2		

Podemos hacer la aproximación para ángulos paraxiales:

$$\sin \theta_m \approx \theta_m \approx \frac{Y_m}{D}$$

Esta aproximación es totalmente lícita, pues se puede comprobar en las hojas de cálculo que el valor que se obtiene para λ sin realizar esta aproximación sólo difiere en un manómetro del obtenido.

(El valor real del seno sería $\frac{Y_m}{\sqrt{Y_m^2 + D^2}}$, pero al ser $D \gg Y_m$, y por tanto el ángulo pequeño, es legítima la aproximación y despreciable el error, que formalmente habría que calcular como el resto de Lagrange en el desarrollo en serie de Taylor).

Y_m es la distancia de cada intensidad luminosa máxima al centro y D la distancia de la rendija a la pantalla, podemos calcular dichos valores con sus errores y representarlos frente a m para comprobar si existe una dependencia lineal o no.

Así pues el error de cada aproximación vendrá dado por la expresión:

$$\delta\left(\frac{Y_m}{D}\right) = \sqrt{\left(\frac{\delta(Y_m)}{D}\right)^2 + \left(\frac{Y_m}{D^2} \cdot \delta(D)\right)^2}$$

Los cálculos no se explicitan, pues los valores de dicho cociente son los de la tabla anterior divididos entre cien, y sus errores siempre 0,0010 (adimensional). Estos datos se representan en una gráfica conjunta para comparar según las diferentes rendijas:

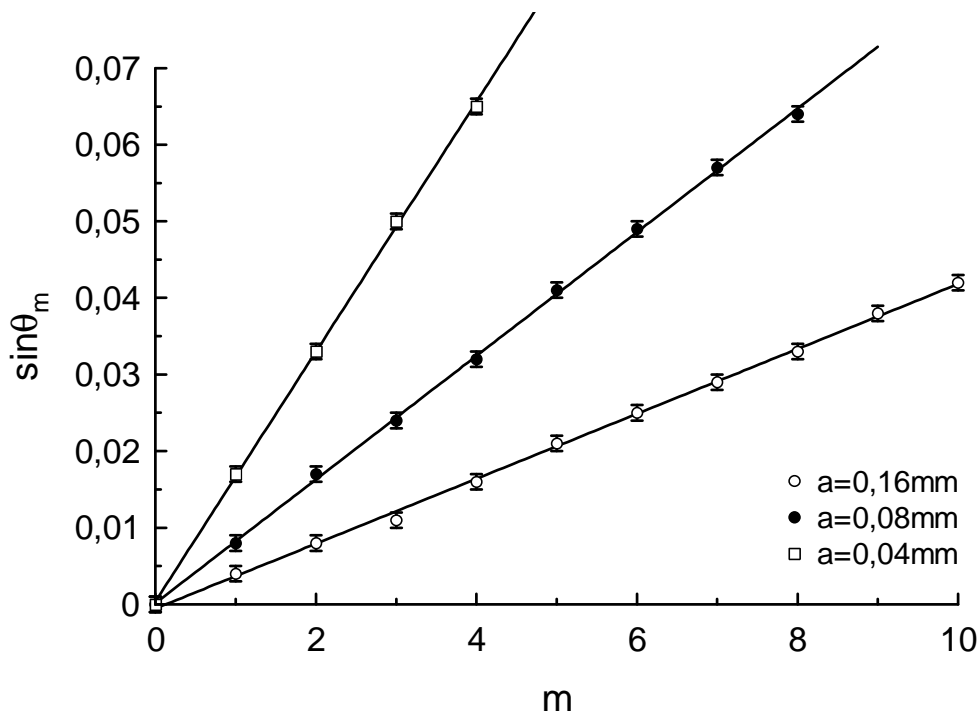


Figura 2 - Dependencia lineal obtenida para distintas rendijas simples haciendo incidir un haz de rayo láser monocromático.

Se verifica por tanto la dependencia lineal, es decir, los máximos o mínimos de intensidad están dispuestos simétricamente y a una distancia proporcional al máximo o mínimo que constituyen.

Se observa que cuanto mayor es la apertura de la rendija, menor es la pendiente y más medidas se pudieron hacer al estar los mínimos de intensidad más pegados entre sí y caber un mayor número en nuestra rango de medida.

A continuación se presenta la tabla con las ecuaciones de las rectas obtenidas de la **Figura 2**:

Tabla 2 - Ecuaciones de las rectas obtenidas para las diferentes rendijas simples.

a = 0,16mm	$\sin \theta_m = (424 \pm 5) \cdot 10^{-5} \cdot m + (-5 \pm 3) \cdot 10^{-4}$	$r = 0,9994$
a = 0,08mm	$\sin \theta_m = (807 \pm 7) \cdot 10^{-5} \cdot m + (2 \pm 3) \cdot 10^{-4}$	$r = 0,9998$
a = 0,04mm	$\sin \theta_m = (1630 \pm 19) \cdot 10^{-5} \cdot m + (4 \pm 5) \cdot 10^{-4}$	$r = 0,9998$

Se comprueba intuitivamente que las rectas tienen una relación entre sí, pues el cociente entre las pendientes es aproximadamente la inversa del cociente entre las aperturas. Esto es una manera superficial de comprobar que los valores que obtendremos para la lambda serán parecidos entre sí y que el rayo láser es el mismo en todos los casos, con lo que el método para obtener la longitud de onda del láser empleando diferentes rendijas es válido.

Así pues hallada las pendientes de cada recta, podemos calcular la longitud de onda λ , del rayo láser mediante la expresión:

$$\sin \theta_m = m \cdot \frac{\lambda}{a} \longrightarrow \frac{\lambda}{a} = \text{pendiente de la recta (A)}$$

$$\lambda = a \cdot A$$

Y el respectivo error de cada lambda, teniendo en cuenta que a tiene error despreciable, vendrá dado por la expresión:

$$\delta(\lambda) = a \cdot \delta(A)$$

Así pues, a continuación se presenta la longitud de onda obtenida para cada rendija con su respectivo error, y el valor esperado de dicha longitud, que aparecía inscrito en las características del aparato, con el fin de poder comparar los valores obtenidos experimentalmente con el valor esperado, que consideramos con error despreciable, al igual que la anchura de la rendija. Si observásemos una desviación sistemática respecto de lo esperado, podríamos pensar que o bien nuestro experimento ha sufrido un error sistemático o bien que los valores que aparecen en el aparato podrían no ser correctos.

Tabla 3 - Longitudes de onda obtenidas para un rayo láser rojo a partir de difracción por rendijas simples de anchura a.

a (mm)	λ (nm)	Desviación
0,16	678 ± 8	7%
0,08	645 ± 6	2%
0,04	652 ± 8	3%
Valor esperado	633	

Se comprueba que los valores son sistemáticamente superiores, e incompatibles teóricamente, aunque hay que señalar que la aproximación ha sido bastante buena, pues la desviación ha sido menor del 10% en todos los casos, siendo el segundo valor muy cercano y por tanto compatible (a 2 barras de error).

Cabría comparar estos resultados con los del resto del grupo de experimentación para comprobar que efectivamente obtenemos todos valores sistemáticamente superiores. En ese caso, cabría preguntarse si el error es del número que aparece en el láser o del procedimiento experimental y los metros utilizados para las medidas. En caso negativo, podría ser un error sistemático de nuestro experimento (por ejemplo, el haber colocado la pantalla no perfectamente paralela).

DOBLE RENDIJA DE YOUNG

En éste apartado hemos comprobado los efectos físicos que produce un rayo láser de una determinada longitud de onda al pasar por cuatro diferentes rendijas dobles con las siguientes características:

Tabla 4 - Características de las cuatro rendijas dobles, que son atravesadas por un rayo láser de color rojo.

	a(mm)	d(mm)
1ª	0,04	0,25
2ª	0,04	0,50
3ª	0,08	0,25
4ª	0,08	0,50

El patrón que se observa es semejante al de la rendija simple, pero con una envolvente de difracción, que provoca que cada x puntos aparezca un mínimo de intensidad donde podría esperarse un máximo. Esto se debe a que la anchura de las rendijas es finita y a que se “superpone” (Figura 3) de alguna manera con los máximos de intensidad para la doble rendija el mínimo que habría en ese punto con una sola rendija. Aparecen la denominada envolvente de difracción y franjas equidistantes que se repiten. Se dice que en los puntos (p. ej. $m=5$ en la Figura 3) o mínimos de difracción se tiene un orden perdido. (Tena, 2002)

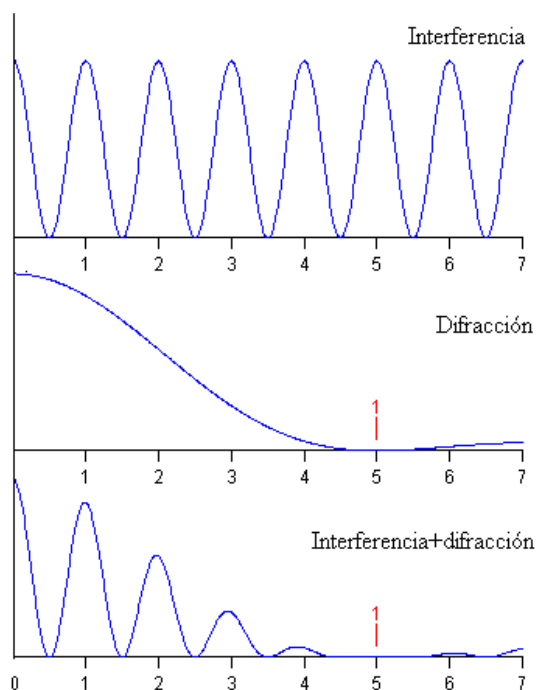


Figura 3 - Superposición de difracción e interferencia. Orden perdido en el punto 5.

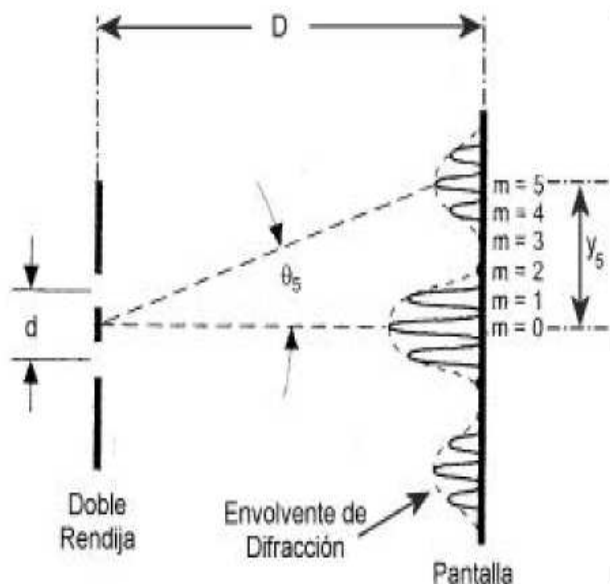


Figura 4 - Patrón de interferencias al atravesar un rayo láser la doble rendija.

Después de haber hecho que el rayo láser atravesara cada una de las cuatro rendijas, se observó que en la segunda rendija los puntos de máxima intensidad estaban más juntos que en la primera, aunque la distancia entre mínimos de difracción era a primera vista la misma. Por tanto había más puntos luminosos por cada banda entre órdenes perdidos. En la tercera rendija se observó que los puntos de máxima intensidad estaban aproximadamente igual de juntos que en la primera rendija, pero la distancia entre los órdenes perdidos era más pequeña, con lo que había menos puntos por franja que en la primera. En la cuarta rendija, se observó que los puntos de máxima intensidad tenían de nuevo, como en el paso de la primera a la segunda, una separación menor unos de otros, mientras que la distancia entre órdenes perdidos se había mantenido. Es en esta rendija donde los puntos aparecen más pegados, por lo que se escogió la primera para posteriores medidas al ser más apreciables y mensurables los puntos.

La explicación de este fenómeno es bastante intuitiva a partir de la **Tabla 4**: Cuanto mayor es la distancia entre las rendijas, más juntos estarán los máximos de intensidad entre sí, mientras que a mayor anchura de cada rendija, menor será la distancia entre los mínimos de difracción.

A continuación se presenta las medidas de los puntos de intensidad para la primera rendija a una distancia $D = 100,0 \pm 0,1\text{cm}$ entre la doble rendija y la pantalla, donde se mide también como m' los puntos de orden perdido. Estos puntos se señalan con un asterisco en las medidas anotadas en la libreta y se comprueba que entre dichos mínimos hay siempre seis máximos de intensidad (aunque no se especifica en este informe).

Tabla 5 - Distancias obtenidas sobre la pantalla en la difracción de un rayo láser de color rojo a través de una doble rendija.

m	$Y_m \pm 0,1\text{cm}$
0	0,0
1	0,3
2	0,5
3	0,7
4	1,0
5	1,3
6	1,5
7	1,7
8	2,0
9	2,3
10	2,5
11	2,7
12	3,0
13	3,2
14	3,5
15	3,7

Nota: Aunque en la tabla sólo se muestran 16 primeros valores, en realidad se midieron 47 puntos más, pero que no añadían información ni hacían más comprensible la valoración de las distancias obtenidas.

A continuación se presenta la gráfica a partir de los datos de la tabla anterior, con el fin de verificar el comportamiento lineal.

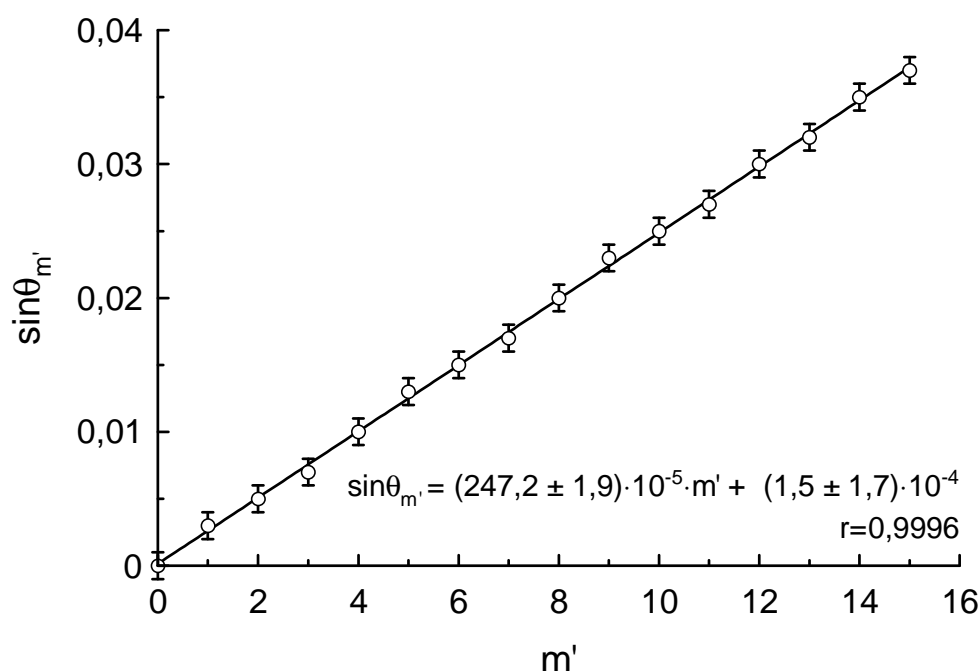


Figura 5 - Dependencia lineal entre la distancia al punto central de cada punto de intensidad máxima (o mínimo de difracción) al atravesar el rayo láser la doble rendija.

Se verifica efectivamente la dependencia lineal. Cabe señalar que los datos están poco dispersos y que se ajustan perfectamente a una recta. Puede observarse una pequeña tendencia sistemática agrupada cada dos o tres medidas, que probablemente se deba a la precisión de la medida. De haber dispuesto de un instrumento de medida más preciso, se podría haber observado una fluctuación algo más aleatoria.

Análogamente al apartado anterior, se puede emplear la misma fórmula, sustituyendo m por m' y a por d . A partir de la pendiente de la recta hallada y realizando el cálculo de errores obtenemos finalmente que:

$$\lambda = 618 \pm 5 \text{ nm}$$

Este valor está a más de dos veces el intervalo de error respecto del valor esperado, pero la desviación es menor del 10%, concretamente del 2%, con lo que se considera aceptable y satisfactorio. Queda descartada la hipótesis del apartado anterior sobre si estaba mal el valor de λ que aparecía en el aparato; aquí se comprueba que es simplemente un error sistemático del procedimiento experimental, que podría responder a no haber colocado bien la pantalla en el aparatado anterior. Se observa, por tanto, que cualquier variación de las condiciones tiene una notable influencia. Los datos son muy poco dispersos, con lo que fluctúan poco y se ajustan bien a rectas, como lo prueban todos los coeficientes de correlación lineal, muy cercanos a la unidad. Por tanto, en este experimento son más importantes los errores sistemáticos debido a unas condiciones imperfectas que los aleatorios debido a una dispersión que, como se observa, es prácticamente despreciable.

REDES DE DIFRACCIÓN

En esta parte del experimento se ha estudiado el patrón de interferencias y difracción creado por el láser al atravesar una red de difracción, compuesta por múltiples rendijas, cuyos centros están separados una distancia d respecto de las contiguas.

La pantalla debía colocarse exactamente paralela a la red para poder realizar las medidas correctamente. Una forma de verificar esto era que los puntos fuesen simétricos entre sí. Mediante el papel milimetrado se podía comprobar que estuviesen a la misma distancia e ir ajustando la pantalla hasta lograr la posición mejor. Cabe señalar que existe una incertidumbre en cuanto a dicha colocación que no se ha tenido en cuenta para el cálculo de los errores, con lo que podría haber un error sistemático no contemplado.

A continuación se muestra la tabla con las aproximaciones y sus respectivos errores ya hechos, de las distancias obtenidas para una misma red de difracción pero a distancias diferentes entre el rayo láser y la pantalla.

Tabla 6 - Valores de la distancia Y_m del punto central a cada máximo al paso de un rayo láser de color rojo a través de una red de difracción según la distancia D entre la pantalla y dicha red.

m	$Y_m \pm 0,1$	Y_m/D_1	$Y_m \pm 0,1$	Y_m/D_2	$Y_m \pm 0,5$	$Y_m/D_3 \pm 0,002$	
0	0,0	0,000	$\pm 0,005$	0,0	$0,0000 \pm 0,0015$	0,0	0,000
1	1,7	0,088		6,0	$0,0889 \pm 0,0015$	19,5	0,089
2	3,4	0,175		12,1	$0,1793 \pm 0,0015$	39,3	0,179
3	5,3	0,273	$\pm 0,006$	18,5	$0,2741 \pm 0,0015$	60,4	0,276
4	7,2	0,371		25,5	$0,3778 \pm 0,0016$	82,8	0,378
5	9,4	0,485		33,2	$0,4919 \pm 0,0017$		

En efecto, se observa un patrón de interferencias y difracción en la que no se observan, sin embargo, mínimos de difracción, con lo que estaríamos en un caso similar al de la rendija simple. Se miden las distancias para distintas posiciones de la pantalla para comparar dichas medidas. En la quinta medida para la tercera distancia, el error en la medida era mayor, puesto que la pantalla estaba mucho más separada y los puntos eran más gordos debido a la dispersión del haz de luz, con lo que no podías determinar exactamente el centro del punto. Por contra, en la primera había más precisión en el punto, pero al estar más cerca, el error del cociente es mayor.

A continuación se presenta la gráfica a partir de los valores de la tabla anterior, donde se muestra la dependencia lineal para las tres distintas distancias D , con el fin de una mejor comprensión y análisis comparativo de los resultados obtenidos para mayor fiabilidad.

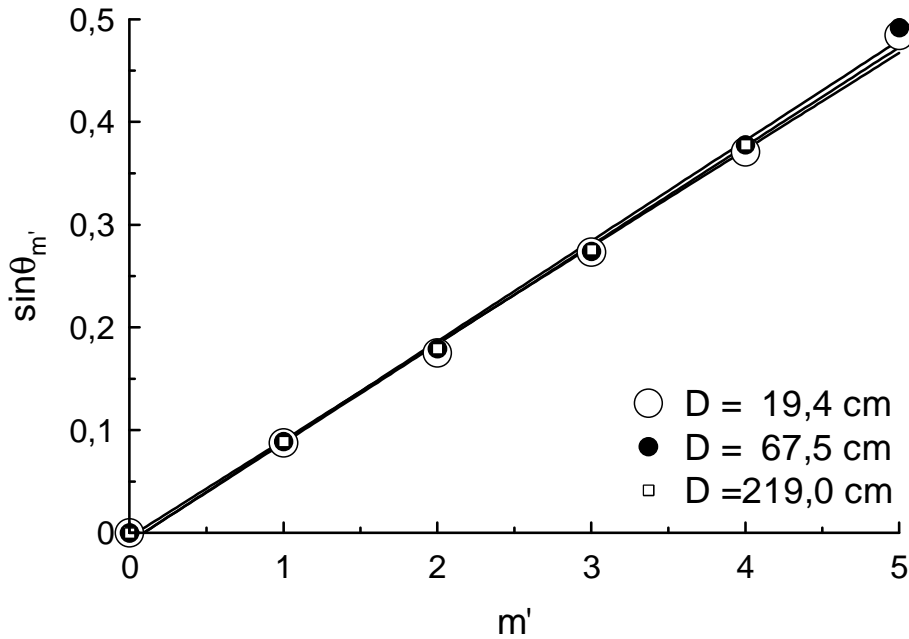


Figura 6 - Dependencia lineal entre la distancia al punto central de cada punto de intensidad máxima (o de orden perdido) al atravesar el rayo láser la red de difracción.

Tabla 7 - Ecuaciones de las rectas obtenidas en la difracción de un rayo láser a través de una red de difracción.

D₁ = 19,4 ± 0,1 cm	$\sin \theta_m = (96 \pm 2) \cdot 10^{-3} \cdot m + (-9 \pm 7) \cdot 10^{-3}$	$r = 0,999$
D₂ = 67,5 ± 0,1 cm	$\sin \theta_m = (98 \pm 2) \cdot 10^{-3} \cdot m + (-9 \pm 7) \cdot 10^{-3}$	$r = 0,999$
D₃ = 219,0 ± 0,5 cm	$\sin \theta_m = (94 \pm 2) \cdot 10^{-3} \cdot m + (-4 \pm 4) \cdot 10^{-3}$	$r = 0,9996$

En efecto, se comprueba la dependencia lineal esperada y se observa que las tres rectas coinciden casi perfectamente en una sola recta. La ordenada en el origen parece ser sistemáticamente inferior a cero, lo cual se podría deber a haber aproximado el seno del ángulo por la tangente.

Si conociésemos la distancia entre rendijas de la red de difracción, podríamos determinar de nuevo la longitud de onda del rayo láser. Al ser ésta desconocida, podemos proceder a la inversa: tomaremos 633nm como la longitud de onda del láser y determinaremos la separación de las rendijas para obtener las líneas por mm de la red de difracción.

Para ello tomaremos el valor medio de las pendientes y de sus errores:

$$A_{\text{medio}} = 96 \pm 2$$

Como $A = \frac{\lambda}{d}$, tenemos que d (separación entre los centros de dos rendijas adyacentes en la red de difracción) es:

$$d = \frac{\lambda}{A} \quad \delta(d) = \sqrt{\left(\frac{\delta(\lambda)}{A}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{A^2} \delta(A)\right)^2}$$

Si consideramos sin error la longitud de onda, el cálculo del error se simplifica.

Para calcular las líneas por mm de la red de difracción, basta con tomar la inversa del resultado obtenido.

$$N = \frac{1}{d} \quad \delta(N) = \frac{1}{d^2} \delta(d)$$

Se obtiene que la red de difracción tiene las siguientes características:

$$d_{\text{red1}} = 6,59 \pm 0,14 \mu\text{m}$$

$$N_{\text{red1}} = 152 \pm 3 \text{ líneas/mm}$$

Conviene señalar que la distancia entre las rendijas resulta ser aproximadamente 10 veces mayor que la longitud de onda del rayo láser. En caso de que fuese algunos órdenes de magnitud mayor, el fenómeno de difracción ya no sería apreciable.

Habría que comprobar si dichas características coinciden con las de la red utilizada buscando en la caja del material para poder verificar que los resultados obtenidos son fiables.

Analizando nuevamente los resultados, se puede ver que la aproximación hecha para el seno de los ángulos no es válida en los puntos más alejados, pues los ángulos son mayores de 15°. Por tanto es conveniente repetir los cálculos sin realizar dichas aproximaciones. La tabla de cálculos es la siguiente:

Tabla 8 - Valores del seno del ángulo de apertura sin aproximación paraxial al pasar un rayo láser de color rojo a través de una red de difracción.

m	sin $\theta_{(1)}$		sin $\theta_{(2)}$		sin $\theta_{(3)} \pm 0,002$
0	0,000	±0,005	0,000	± 0,001	0,000
1	0,087		0,089		0,089
2	0,173		0,179		0,179
3	0,264	±0,006	0,274	±0,002	0,276
4	0,348		0,378		0,378
5	0,436		0,492		

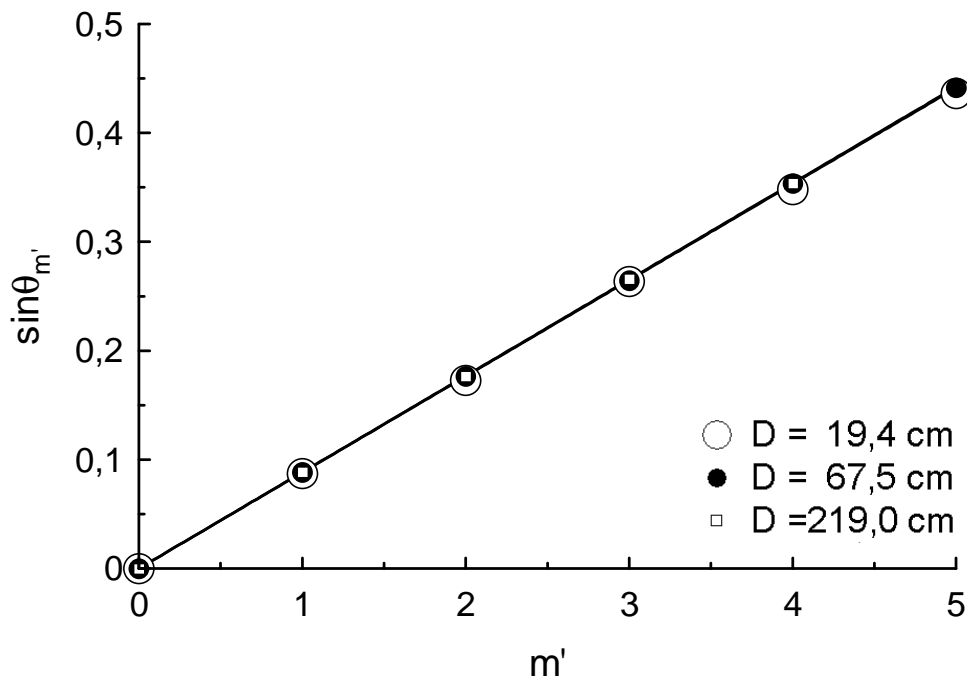


Figura 7 - Proporcionalidad entre la distancia de cada máximo al centro frente al orden m del máximo. Aparición del patrón de interferencias y difracción en la red de difracción.

Nota: No se realiza la aproximación paraxial.

Tabla 9 - Ecuaciones de las rectas obtenidas en la red de difracción sin realizar la aproximación paraxial.

D₁ = 19,4 ± 0,1 cm	$\sin \theta_m = (87,2 \pm 0,3) \cdot 10^{-3} \cdot m + (-0,2 \pm 1,0) \cdot 10^{-3}$	$r = 0,99998$
D₂ = 67,5 ± 0,1 cm	$\sin \theta_m = (88,26 \pm 0,08) \cdot 10^{-3} \cdot m + (0,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$	$r = 0,999999$
D₃ = 219,0 ± 0,5 cm	$\sin \theta_m = (88,45 \pm 0,12) \cdot 10^{-3} \cdot m + (0,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$	$r = 0,999997$

Se observa ahora un error en la pendiente y la ordenada en el origen considerablemente menor, dado que ahora se toman las distancias exactas y la proporcionalidad es mucho más ajustada. Los coeficientes de correlación lineal también son mayores.

La ordenada en el origen es prácticamente cero, oscilando aleatoriamente por encima y por debajo, a diferencia de la figura anterior. Asimismo, las medidas coinciden perfectamente en una sola recta y no se distinguen entre sí como en la otra representación.

El resultado para la red de difracción sería ahora:

$$d_{\text{red1}} = 7,19 \pm 0,03 \mu\text{m}$$

$$N_{\text{red1}} = 139,0 \pm 0,6 \text{ líneas/mm}$$

Este resultado es más preciso (menor error relativo) que el anterior y podría ajustarse mejor al valor real del número de líneas por milímetro de la red de difracción. Aunque en la red de difracción aparecía tachado con rotulador un número, apuntamos por si acaso dicho valor: 140 líneas/mm. Este valor es totalmente compatible con el que hemos obtenido, aunque ignoramos la validez del número que aparecía inscrito en el marco de dicha red.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en las medidas de una segunda red de difracción a diferentes distancias a las que se hizo incidir el rayo láser empleado en todo el experimento.

Tabla 10 - Valores de la distancia Y_m del punto central a cada máximo y del seno del ángulo θ para diferentes distancias D entre la segunda red de difracción y la pantalla de proyección.

D (cm)	19,7 ± 0,1		8,8 ± 0,1	
	Y_m ± 0,1 cm	sin θ₍₁₎ ± 0,005	Y_m ± 0,1 cm	sin θ₍₂₎
0	0,0	0,000	0,0	0,000 ± 0,011
1	7,9	0,372	3,5	0,370 ± 0,011
2			9,9	0,747 ± 0,008

Se observa que en sólo se han podido medir 2 ó 3 máximos de intensidad. Esto se debe a que en la red de difracción, debido a un número de líneas por mm distinto al de la red anterior, los máximos están mucho más separados, con lo que no es posible medir más máximos. En la primera medida, sólo pudimos medir el de primer orden, puesto que el de segundo salía fuera de nuestro rango de medida. En la segunda medida, acercamos la pantalla y la red mucho más, con lo que sí que nos fue posible medir el de segundo orden. Sin embargo, no aparecía ningún orden más por mucho que acercásemos la pantalla. Esto se debe a que para los siguientes órdenes no se puede apreciar el fenómeno, puesto que los ángulos deberían ser mayores de 90°. En esta red en concreto es muy importante el no realizar la aproximación paraxial, puesto que se observa inmediatamente que los ángulos son muy grandes.

Hay que indicar que la segunda medida fue algo complicada debido a la cercanía entre la red y la pantalla. Tuvimos que colocar un soporte adicional para que el láser estuviese perfectamente horizontal, y la toma de medidas era algo más complicada. Además, el ajuste inicial era particularmente difícil, puesto que nos llevó bastante tiempo ajustar el montaje de forma que la red y la pantalla estuviesen paralelos. Tratamos de, con la máxima precisión posible, ir variando levemente la posición del láser comprobando simultáneamente la simetría de los puntos de mismo orden respecto del centro. Girando a derecha e izquierda fuimos acercándonos más a la posición que cumplese más ajustadamente la simetría.

Es importante resaltar que una pequeña variación de la posición hacía que los puntos se separasen notablemente, al ser una red cuyos máximos de intensidad están tan separados. Por tanto, es posible que se incurra en algún error sistemático difícil de controlar, pues la precisión humana está bastante limitada y no se disponía de ningún aparato sofisticado de medida.

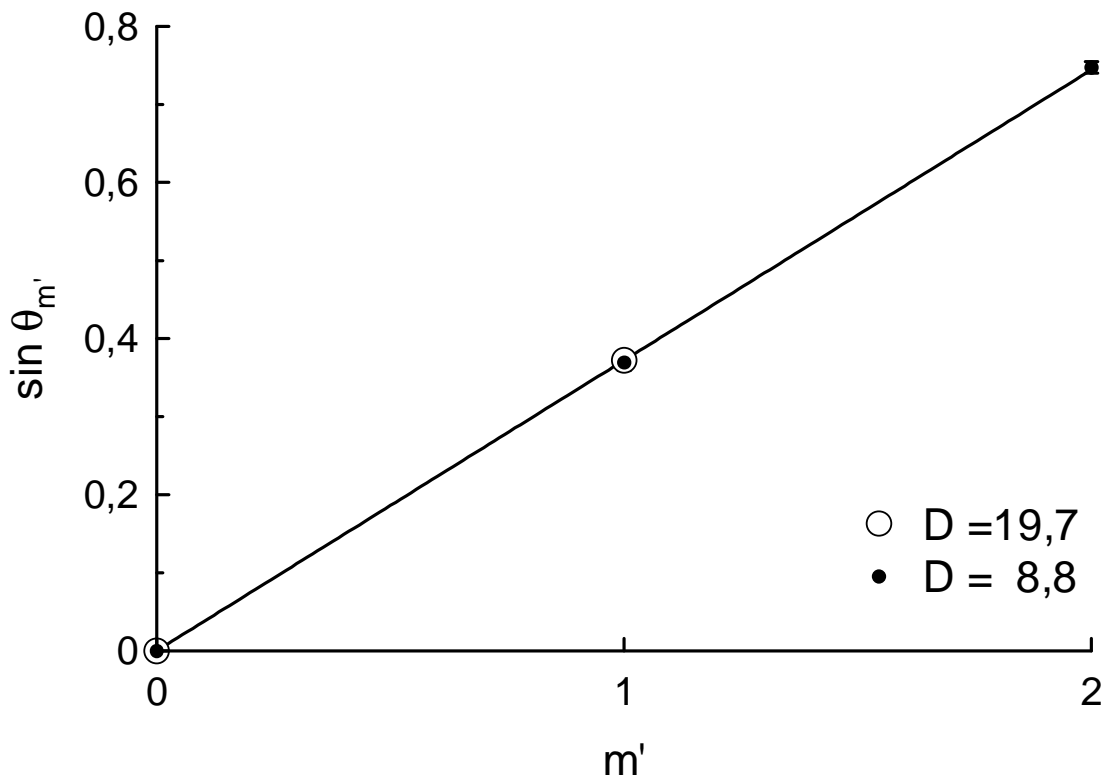


Figura 8 - Proporcionalidad entre la distancia de cada máximo al centro frente al orden m del máximo en la segunda red de difracción.

Nota: No se realiza la aproximación paraxial.

En efecto, se comprueba la dependencia lineal esperada. Las rectas y puntos de las dos medidas coinciden perfectamente, algo que no habría sucedido si hubiésemos realizado la aproximación paraxial.

Tabla 11 - Ecuaciones de las rectas obtenidas en la segunda red de difracción sin realizar la aproximación paraxial.

$D_1 = 19,7 \pm 0,1 \text{ cm}$	$\sin \theta_m = (0,372 \pm 0,005) \cdot m$	
$D_2 = 8,8 \pm 0,1 \text{ cm}$	$\sin \theta_m = (0,374 \pm 0,002) \cdot m + (-1 \pm 3) \cdot 10^{-3}$	$r = 0,99998$

Hay que señalar que la primera ecuación no es un ajuste por mínimos cuadrados, puesto que sólo hay dos datos. (Se asigna el error de la medida como error de la pendiente). Esto limita de alguna manera nuestros resultados. Los valores obtenidos para la red no son demasiado fiables, puesto que sólo se realizan dos o tres medidas. Por tanto, tendremos una incertidumbre mayor en el resultado final. No obstante, se pueden aceptar los resultados obtenidos, pues las dos medidas casan perfectamente, con lo que se pueden descartar errores sistemáticos debidos a las condiciones iniciales (ya que se varían entre la primera y segunda medida). Tan sólo podría permanecer algún error del aparato de medida, lo cual es muy improbable. Asimismo, la fluctuación de los datos es mínima, como lo prueba el coeficiente de correlación lineal.

El hecho de que esta red presente un patrón de interferencias distinto a la anterior y que los máximos estén mucho más separados, se verá reflejado en la distancia entre las rendijas de la red de difracción (puesto que el láser utilizado es el mismo).

El resultado para la segunda red de difracción sería ahora:

$$d_{\text{red1}} = 1,70 \pm 0,02 \mu\text{m}$$

$$N_{\text{red1}} = 589 \pm 7 \text{ líneas/mm}$$

Se comprueba efectivamente que esta red presenta una separación entre máximos mayor a causa de una menor separación entre las rendijas, que equivale a un mayor número de líneas por mm.

El valor obtenido es muy común en las redes de difracción (600 líneas por mm), con lo que tenemos un motivo más para considerar que el resultado obtenido es correcto y que el experimento ha sido un éxito gracias a la sencillez del procedimiento (escasa fluctuación de datos) así como al meticuloso procedimiento experimental, donde se ha cuidado al milímetro cada detalle para obtener unos resultados precisos y compatibles.

CONCLUSIÓN

En este experimento se han estudiado los fenómenos de interferencia y difracción de la luz y se ha calculado su longitud de onda en los dos primeros apartados, mientras que en la red de difracción se ha calculado la distancia de separación entre rendijas. Esto ha sido posible mediante la simple medida de las distancias en la pantalla entre los distintos mínimos o máximos de intensidad.

Es destacable la poca dispersión en general de los datos y las medidas, favorecida en parte a un procedimiento experimental muy cuidadoso. Así pues, los errores aleatorios han jugado un papel poco importante en este experimento, apenas había dispersión al tratarse de medidas estáticas y sencillas de ejecutar. En cambio, sí que hay un error sistemático presente y difícil de controlar, como lo es el montaje ideal del experimento y la imposibilidad de que la pantalla fuese perfectamente paralela a la rendija y perpendicular al rayo, lo que conlleva necesariamente una incertidumbre. Dichos errores sistemáticos se han puesto de manifiesto en los primeros dos apartados del experimento: en el primero se obtienen longitudes de onda sistemáticamente superiores a la esperada y en el segundo un valor por debajo. Este hecho revela la importancia de las condiciones iniciales de cada toma de medidas, que deben permanecer inalteradas a la largo de una misma toma.

En el apartado de la red de difracción se ha comprobado tanto visualmente como cuantitativamente la diferencia entre ambas redes y se han obtenido los valores de líneas por mm de cada red, que son muy probablemente compatibles con el valor real dada la precisión de los datos obtenidos en diferentes medidas. En consecuencia, y favorecido en parte por el cuidado procedimiento experimental (ajustando la pantalla al milímetro) se puede considerar esta parte del experimento satisfactoria y exitosa.

En el cálculo de la longitud de onda de la luz, pese a posibles errores sistemáticos dentro de un mismo apartado (causados por las condiciones iniciales), los resultados obtenidos en los distintos apartados son perfectamente comparables. La dispersión es del 9%, con lo que para obtener un valor final más fiable habría sido necesario tomar más medidas (para que un resultado muy bueno al hacer la media no pueda tratarse de una casualidad).

Haciendo el cálculo de la media ponderada, obtenemos que:

$$\lambda_{\text{med}} = 640 \pm 3 \text{ nm}$$

Este valor corresponde perfectamente al color rojo del láser empleado y tiene un error relativo respecto de lo esperado de tan sólo un 1,2%, con lo que podemos concluir que el experimento ha sido un éxito y que se han alcanzado satisfactoriamente los objetivos planteados.

Bibliografía consultada:

- Tena, Ballester (2002): *Guión de prácticas, Técnicas experimentales en Física General*
- <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/ondas/redes/redes.htm>
- <http://mit.ocw.universia.net/MAS-450Holographic-ImagingSpring2003/NR/rdonlyres/Media-Arts-and-Sciences/MAS-450Holographic-ImagingSpring2003/F0336332-E76F-49A7-830A-C2C1FB268E9C/0/lab2.pdf>
- <http://www.ual.es/~mjgarcia/redesdifraccion.pdf>