

INTERFERENCIA – DIFRACCIÓN - REDES DE DIFRACCIÓN

OBJETIVOS

- Estudiar el fenómeno de interferencia en forma cualitativa utilizando como interferómetro un biprisma de Fresnel.
- Estudiar el patrón de difracción producido una por una abertura de geometría rectangular (rendija) y determinar el tamaño de la rendija.
- Medir el espectro emitido por una lámpara de sodio utilizando redes de difracción. Determinar los límites del espectro visible usando una fuente de luz blanca.

PARTE 1: FENÓMENO DE INTERFERENCIA

INTRODUCCIÓN

Una característica importante del movimiento ondulatorio es el fenómeno de interferencia, que ocurre cuando dos o más ondas coinciden en el espacio y en el tiempo. Al coincidir en un mismo punto, las ondas se superponen y la onda resultante es la suma de cada una de ellas. Dependiendo fundamentalmente de las longitudes de onda, amplitudes y de la distancia relativa entre las mismas, se distinguen dos tipos de interferencias (**Fig. 1**):

- **Constructiva:** se produce cuando se superponen ondas en fase, obteniendo una onda resultante de mayor amplitud que las ondas iniciales.

- **Destructiva:** es la superposición de ondas en contrafase, obteniendo una onda resultante de menor amplitud que las ondas iniciales.

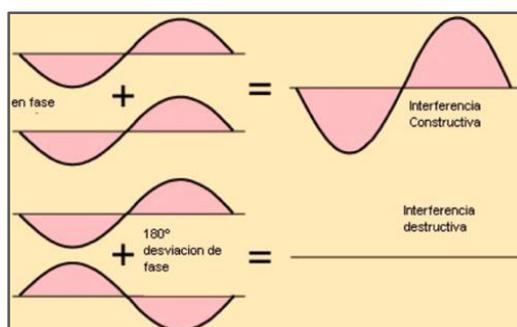


Figura 1. Esquema de interferencia constructiva y destructiva.

Biprisma de Fresnel

El biprisma de Fresnel es un interferómetro de división de frente de onda, comportamiento similar a la doble rendija de Young. Consta de dos prismas delgados que sirven para generar dos imágenes coherentes de una fuente (rendija iluminada) de tal forma de que la luz proveniente de ambas imágenes da lugar a interferencias en una zona situada a continuación del biprisma (**Fig. 2 a**). Estas franjas son reales **no** localizadas (es decir, pueden verse en una pantalla en toda una región que se extiende más allá del biprisma). Se puede demostrar que el plano donde se encuentran ubicadas las fuentes virtuales generadas por el biprisma es el mismo plano en el cual está ubicada la rendija. En cada punto del espacio donde la diferencia de camino óptico de las ondas provenientes de cada fuente sea igual a un número entero de longitudes de onda, habrá interferencia constructiva y se verá una franja brillante (**Fig. 2 b y c**).

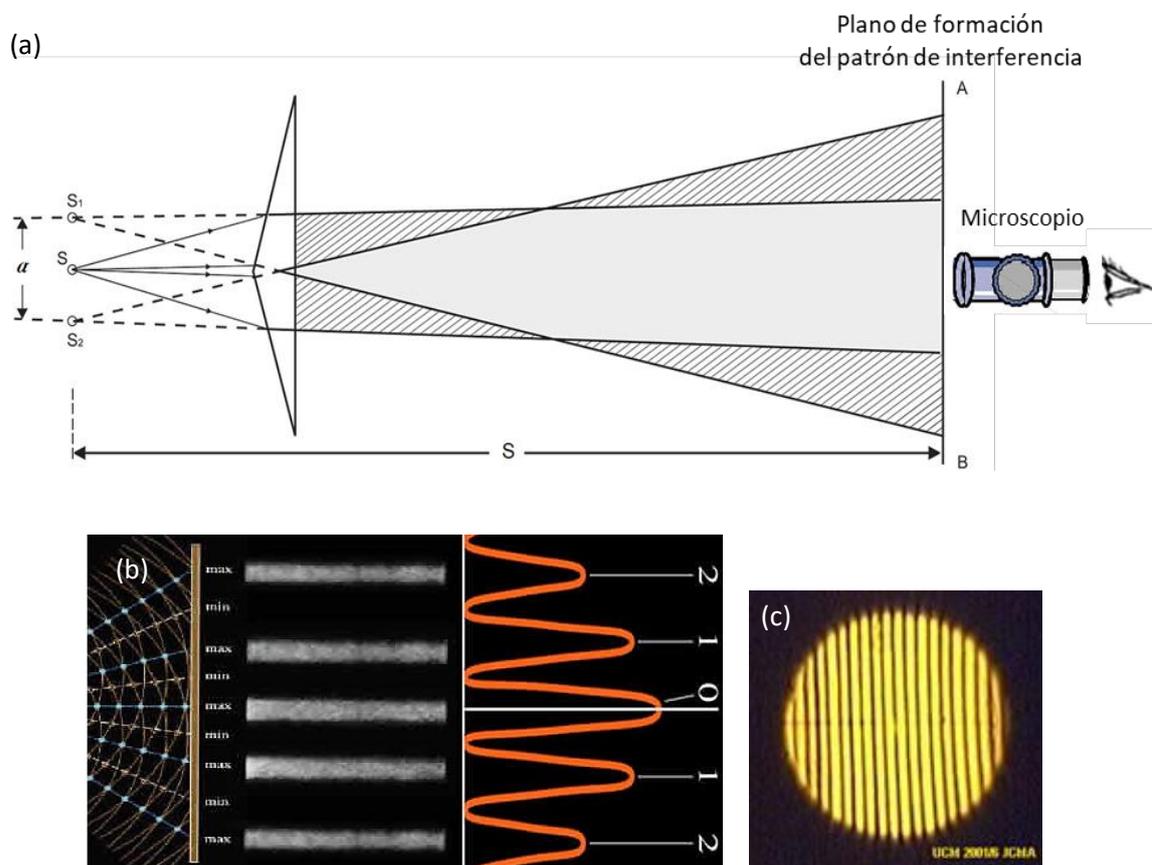


Figura 2. Biprisma de Fresnel. (a) La fuente de luz se encuentra en s y sus imágenes virtuales en s_1 y s_2 separadas por una distancia a . Las franjas de interferencia se observan con un microscopio a una distancia S de las fuentes. (b-c) Patrón de interferencia. Las franjas están separadas a una distancia Δy .

ACTIVIDADES – FENÓMENO DE INTERFERENCIA: DEMOSTRATIVO (ANOTAR TODO EN EL CUADERNO)

El objetivo de esta experiencia consiste en **observar el patrón de interferencia** generado por una lámpara de sodio mediante un método interferométrico.

Para la realización de este experimento se dispone de un biprisma de Fresnel y como fuente la luz de una lámpara de sodio que pasa por una rendija (ranura) de ancho variable. Estos elementos pueden ubicarse en un banco óptico mediante diferentes posicionadores. En particular, se cuenta con un posicionador que tiene un brazo con desplazamiento lateral (unidad de traslación). También se dispone de un microscopio de banco que contiene con un retículo que puede desplazarse mediante una perilla graduada (micrómetro) a fin de medir los objetos en su campo visual. **Para esta práctica es fundamental tener todos los elementos bien alineados.**

Nota: La lámpara de sodio necesita un tiempo para entrar en régimen por lo que conviene prenderla varios minutos antes, si no está del todo amarilla no sirve ya que no se están viendo las longitudes de onda adecuadas.

Alineación y observación de las fuentes coherentes

ASEGURARSE que el interferómetro genere dos fuentes coherentes. Usando el microscopio de banco, observe las fuentes virtuales generadas por el biprisma. Para ello convendrá que tenga en cuenta las siguientes preguntas (anotar en el cuaderno):

- ¿Dónde se encuentran las dos fuentes coherentes que interfieren en el Biprisma de Fresnel?
- ¿Puede observar dos fuentes virtuales?

Recomendaciones: Al observar las fuentes virtuales es conveniente asegurarse de que sean de igual intensidad y forma. Una forma de hacer esto es desenfocar ligeramente y asegurarse de que ambas fuentes virtuales siguen siendo similares.

Para pensar y anotar en el cuaderno:

¿Cómo determinaría la longitud de onda más intensa emitida por la lámpara de sodio? ¿Qué parámetro/os podría variar para realizar más de una determinación de la longitud de onda?

PARTE 2: FENÓMENO DE DIFRACCIÓN

INTRODUCCIÓN

La difracción es un fenómeno típicamente ondulatorio que se observa cuando una onda se distorsiona por un obstáculo cuyas dimensiones son comparables con la longitud de onda. Según el principio de Huygens [1], cuando una onda incide sobre una rendija todos los puntos de su plano se convierten en fuentes secundarias de ondas, emitiendo nuevas ondas que se superponen generando un patrón de difracción. El fenómeno de difracción no es cualitativamente distinto al de la interferencia, sino que se considera como la interferencia de un número infinito de fuentes.

Consideremos el caso en la que el obstáculo es una rendija estrecha y larga de modo de poder ignorar los efectos de los extremos de la misma. Si suponemos que las ondas incidentes son normales al plano de la rendija y el observador se encuentra a una distancia mucho mayor al ancho de la misma, la difracción resultante se denomina difracción de Fraunhofer [1] (**Fig. 3**). En este caso, la intensidad del patrón de difracción generado por una rendija de ancho a en función del ángulo de observación θ sobre una pantalla ubicada a una distancia D , está dada por:

$$I(\theta) = I_0 \left(\frac{\text{sen}(\beta)}{\beta} \right)^2 \quad (1)$$

con

$$\beta = \frac{\pi a}{\lambda} \text{sen}(\theta) \quad (2)$$

donde I_0 es la intensidad del máximo central y λ es la longitud de onda de la luz utilizada.

El ángulo θ mide la apertura angular del patrón de difracción respecto del máximo central y verifica:

$$\tan(\theta) = \frac{y}{D} \quad (3)$$

siendo y la coordenada sobre la pantalla y D la distancia rendija-pantalla.

Recuerde que la pantalla está ubicada muy alejada de la rendija, con lo cual θ puede ser considerado un ángulo pequeño. Recuerde que si usó un fotómetro para medir la intensidad, el parámetro D es la distancia desde la rendija hasta el elemento sensible del fotómetro.

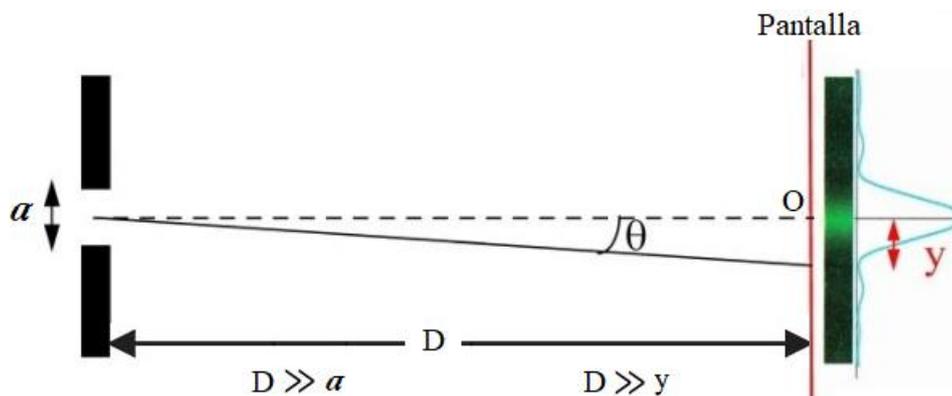


Figura 3. Esquema que representa la difracción de Fraunhofer para una rendija estrecha en donde se observa la figura de difracción sobre una pantalla muy alejada de la rendija.

La relación entre los mínimos de difracción (y_n^{min}), el ancho de la rendija (a) y la longitud de onda (λ) estará dada por:

$$y_n^{min} = n \cdot \frac{D \cdot \lambda}{a} \quad (4)$$

donde $n = \pm 1, \pm 2, \dots$ es el orden del n -ésimo mínimo y D es la distancia rendija–pantalla.

El sistema rendija-obstáculo de igual dimensión corresponde a los tipos de sistema llamados complementarios es decir que si se superponen completan una pantalla opaca. Una característica notable de estos sistemas es que forman los mismos patrones de difracción. Este resultado se conoce como *principio de Babinet* y se debe al hecho de que la figura de difracción producida bloqueando parte de un frente de onda depende solamente de las ubicaciones de *los bordes* de los obstáculos que producen difracción [2].

ACTIVIDADES – FENÓMENO DE DIFRACCIÓN

Determinación del tamaño de la rendija (ranura) mediante dos métodos

Se desea **determinar el tamaño de una rendija** mediante la observación del patrón de difracción producido por dicha rendija cuando se la ilumina con un láser (**Fig. 4**). Para ello se propone iluminar una rendija de ancho variable con un láser y observar sobre una pantalla la distribución de la intensidad de la luz. Una vez obtenido el patrón de difracción sobre la pantalla, **variar el ancho de la rendija** y estudiar cómo se modifica la imagen del patrón de difracción.

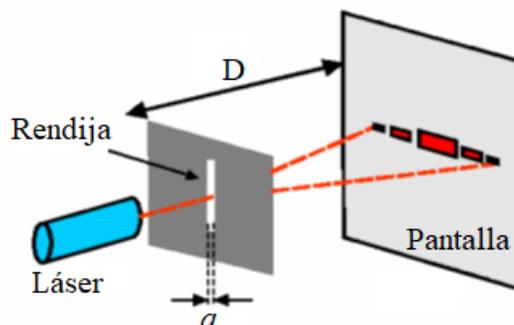


Figura 4. Esquema del dispositivo experimental.

- Observe cómo varía el ancho de la zona central de máxima intensidad cuando se aumenta o disminuye el tamaño de la rendija.
- Describa cómo se modifica la imagen de difracción al cambiar la distancia entre la rendija y la pantalla.
- Determine la posición de los mínimos de difracción marcando en una hoja/hoja milimetrada. También fotografíe el patrón de difracción con y sin una regla, usando un fondo negro.
- Grafique la posición de los MÍNIMOS de intensidad (y_n^{min}) en función de n y determine el ancho a de la rendija (a) a partir del conocimiento de la longitud de onda del láser ($\lambda = 638,5$ nm), de la distancia D y utilizando la ec. (4).

Distribución de intensidad del patrón de difracción

El objetivo de esta parte de la práctica es **obtener la distribución de intensidades utilizando el programa Image J.**

- Si no lo hizo anteriormente, fotografíe el patrón de difracción con y sin una regla, usando un fondo negro. ¿Cómo colocarían en este caso la cámara en el sistema óptico? ¿Es posible obtener la información de la intensidad en función de la posición a partir de dicha imagen?
- Mediante el Image J, obtenga el patrón de difracción. Para ello, abra la foto en el programa, utilice seleccione el ícono que permite dibujar una línea y haga atravesar la línea por el patrón de difracción. Luego vaya a análisis y a “plot ptofile”.
- Estime el ancho de la rendija empleada.

PARTE 3: REDES DE DIFRACCIÓN

INTRODUCCIÓN

Una red de difracción es una estructura repetitiva que se utiliza para introducir una perturbación periódica en un frente de onda. Entre las configuraciones más sencillas se encuentra la red plana de transmisión formada por una serie de rendijas idénticas y equiespaciadas. Las redes de difracción permiten separar las distintas longitudes de onda que componen un haz de luz. Dado que cada elemento químico puede emitir o absorber una serie

de longitudes de ondas electromagnéticas características, existen instrumentos denominados espectrómetros que emplean redes de difracción para analizar las longitudes de onda que caracterizan dichos elementos químicos. Los espectrómetros se usan para identificar materiales, en especial, en ciertas ramas de la química y la astrofísica.

Si un frente de ondas plano incide sobre una red, observándose la difracción de Fraunhofer en una pantalla alejada, la distribución de intensidad se puede expresar como:

$$I(\theta) = I_0 \left(\frac{\text{sen}(\beta)}{\beta} \right)^2 \left(\frac{\text{sen}(N\alpha)}{\text{sen}(\alpha)} \right)^2 \quad (5)$$

con
$$\alpha = \frac{\pi \cdot b}{\lambda} (\text{sen}(\theta) - \text{sen}(\theta_0)) \quad (6)$$

$$\beta = \frac{\pi \cdot a}{\lambda} (\text{sen}(\theta) - \text{sen}(\theta_0)) \quad (7)$$

donde λ es la longitud de onda, θ_0 es el ángulo que forma el haz incidente con la red, θ es el ángulo que forma el haz que se observa sobre la pantalla, a es el ancho de cada una de las rendijas y b es la separación entre rendijas (**Fig. 5**).

El primer factor entre paréntesis en la ecuación (5) está referido a la *difracción* producida por cada rendija presente en la red, mientras que el segundo factor proviene de la *interferencia* entre las N rendijas de la red. Al variar θ , esta intensidad irá cambiando haciéndose máxima o mínima (cero) para valores específicos de α y β , determinando una serie de **máximos principales** en la pantalla (existen máximos secundarios mucho menos intensos entre los máximos principales).

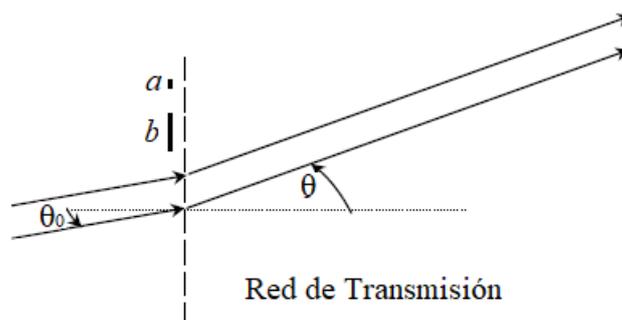


Figura 5. Esquema de la geometría de una red de transmisión donde θ_0 es el ángulo que forma el haz incidente con la red, θ es el ángulo que forma el haz que se observa sobre la pantalla, a es el ancho de cada una de las rendijas y b es la separación entre rendijas.

Cada rendija produce sobre la pantalla el patrón de difracción característico de una rendija. El resultado de esta combinación es la interferencia de las múltiples rendijas modulada por la figura de difracción. Dado que en este caso la campana central de difracción es mucho más ancha que la separación entre los máximos de interferencia, **los órdenes que usualmente se ven con una red son los provenientes de la interferencia producida por las N rendijas**. Si nos concentramos entonces en el factor de interferencia encontramos que se hace máximo cuando se cumple que:

$$\alpha = m \cdot \pi \quad m = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (8)$$

m se denomina orden de interferencia.

Reemplazando la ec. 8 en la expresión de α (ec. 6) resulta que:

$$(\text{sen}(\theta_m) - \text{sen}(\theta_0)) = m \frac{\lambda}{b} \quad (9)$$

donde el ángulo θ_m corresponde al máximo de interferencia m . Esta expresión se denomina **ecuación de la red** [1].

Para pensar:

Si el haz incidente no es monocromático, esta expresión vale para cada longitud de onda presente en el haz. ¿Cómo es la relación entre el ángulo y la longitud de onda? A mayor longitud de onda, ¿la desviación del haz será mayor o menor? Analizar cómo es la distribución de los máximos cuando la incidencia es normal ($\theta_0 = 0$) y cuando no lo es ($\theta_0 \neq 0$).

ACTIVIDADES – REDES DE DIFRACCIÓN

Determinación del espectro de emisión de una lámpara de sodio con una red de transmisión

En esta parte, se estudiará el espectro emitido por una lámpara de sodio y por una fuente de luz blanca, utilizando una red de difracción. Para ello, se empleará un goniómetro (instrumento que se utiliza para medir ángulos). Tómense un tiempo para familiarizarse con las diferentes partes del goniómetro; en particular, identifique los diferentes tornillos: uno fija la platina giratoria, otro fija el anteojo y un tercero mueve finamente el anteojo para medir con el vernier. **IMPORTANTE! Antes de empezar a medir, el goniómetro debe ajustarse para trabajar bajo las condiciones de difracción de Fraunhofer (ver apéndice).**

Arme el dispositivo que se muestra en la **Fig. 6**. Se propone utilizar una red de difracción de transmisión. Asegúrense de **anotar las especificaciones de las redes** de difracción que use (periodicidad, etc.). Coloque la red sobre una platina de modo que ésta quede perpendicular al haz incidente y **bien centrada**, es decir que el haz debe incidir con el ángulo cero respecto a la normal a la red ($\theta_0 = 0$).

Para asegurarse incidencia normal ubique el anteojo enfrentando al colimador y lea la posición angular. Luego, busque los máximos correspondientes al máximo orden de interferencia visible, moviendo hacia un lado (por ej. derecho) y luego hacia el otro (izquierdo) y registrando los ángulos correspondientes. Si la desviación respecto de la posición angular correspondiente a un mismo orden de interferencia es la misma hacia ambos lados, se puede considerar que la red está ubicada en forma perpendicular al haz incidente (justifique por qué es válida ésta afirmación). De no ser así, gire la platina levemente y vuelva a determinar la desviación de los máximos hacia ambos lados hasta que las observaciones coincidan.

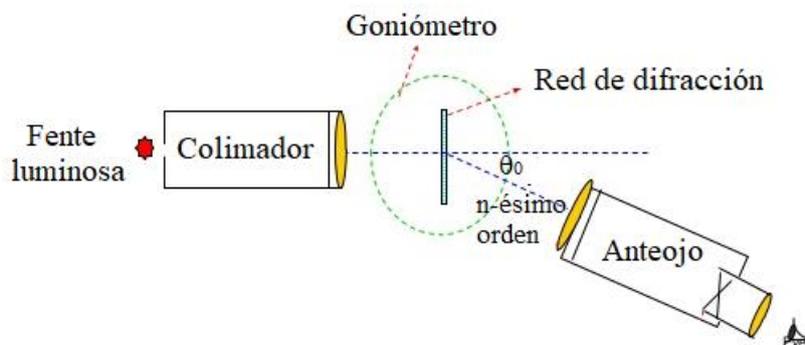


Figura 6. Esquema del dispositivo experimental para medir el espectro de una fuente luminosa con una red de difracción.

Una vez ajustado el goniómetro y montada la red correctamente, describan lo que se observa al usar como fuente la lámpara de Sodio (*recuerde que la lámpara de sodio necesita un tiempo para entrar en régimen; si no está del todo amarilla, quiere decir que no entró en régimen y no se están viendo las longitudes de onda adecuadas*).

- ¿Qué tipo de espectro emite la lámpara de sodio?
- ¿Cuántos órdenes de interferencia puede observar?
- ¿Es monocromática la luz de la lámpara de la fuente?

Determinación de las longitudes de onda presentes en la lámpara de sodio

Conociendo la periodicidad de la red y midiendo los ángulos de los distintos máximos de interferencia, calcule las longitudes de onda presentes en la lámpara de Sodio a partir de la ecuación de la red (ec. 9). Mida la mayor cantidad de órdenes que pueda de modo de hacer un gráfico respetable (más de 3 puntos) de $\text{sen}(\theta_m)$ en función de m .

- Confeccione una lista de todas las longitudes de onda calculadas y compárelas con las tabuladas (se pueden buscar en la ref. [3]).
- ¿Por qué se observa amarilla la luz de la lámpara de Sodio? En la lámpara de sodio hay presentes dos longitudes de onda muy cercana entre sí y muy intensa, correspondiente al amarillo, comúnmente llamadas el doblete del sodio.
- Intente medir el doblete y compararlo con los valores tabulados.

Determinación de los límites del espectro visible usando una lámpara de luz blanca

Con el mismo dispositivo reemplazar la lámpara de sodio por una lámpara de luz blanca y observar el espectro. Describir el espectro que se observa:

- ¿Cómo es el espectro de emisión? ¿Es distinto al observado en la lámpara de sodio?
- ¿Cuántos órdenes de interferencia puede observar?
- Obtener las longitudes de onda de los límites que puede percibir (es decir, el rango del espectro de luz visible).

REFERENCIAS

- [1] Curso de Física de Berkeley, Volumen 3: Ondas, Frank Crawford (1971).
[2] E. Hecht, *Óptica*, Ed. Addison Wesley, Capítulo 10 (1998).
[3] National Institute of Standards and Technology: <http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm>

*Se consideraron prácticas de laboratorio II (ByG) de las Dras. L. Sigaut y L. Pietrasanta.

APÉNDICE

El goniómetro

El goniómetro consta de una platina giratoria solidaria a un limbo graduado (sobre la cual se coloca la red), de un colimador para crear un haz incidente de rayos paralelos, y de un anteojo que permite llevar el plano de observación al infinito. Dicho anteojo es móvil y posee un *vernier* para medir el ángulo de giro sobre el limbo graduado. Además, el anteojo tiene un retículo en forma de cruz que permite definir las posiciones que se miden. Antes de medir, el dispositivo debe ser ajustado para trabajar bajo las condiciones de difracción de Fraunhofer e incidencia normal. Para ello se debe enfocar el colimador y el anteojo. Primero se enfoca el anteojo mirando un objeto distante (enfoque a infinito) desplazando el ocular del tubo. Luego se enfoca el colimador enfrentándolo al anteojo y desplazando la rendija que se halla adherida a él hasta obtener una imagen nítida de ella. A continuación se debe ubicar la red paralela al eje del goniómetro y aproximadamente perpendicular al haz colimado. La red se encuentra paralela al eje cuando la imagen de la rendija a través de la red se halle centrada y paralela al eje vertical del retículo. Para lograr posicionarla correctamente la platina cuenta con tres tornillos de nivelación.