

Laboratorio de Física II (ByG)  
2do cuat. 2015

**Guía 5:** Redes de Difracción. Espectrofotómetro.

Objetivos

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.

Introducción

Como estudiaremos en este trabajo práctico, 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, instrumentos denominados espectrómetros emplean redes de difracción para analizar las longitudes de onda que caracterizan cada elemento. Estos instrumentos se usan en el análisis espectroscópico para identificar materiales, en especial en ciertas ramas de la química y la astrofísica.

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.

Si un frente de ondas plano incide sobre una red y observamos la difracción de Fraunhofer en una pantalla alejada, la distribución de intensidad la podemos expresar por:

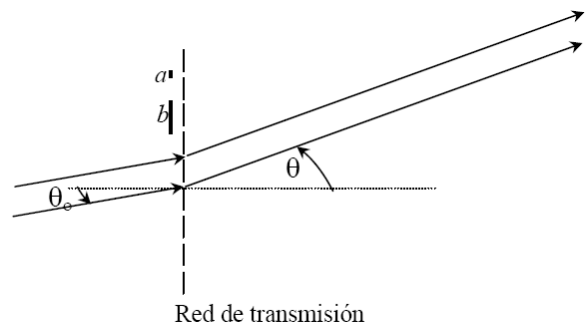
$$I(\theta) = I_o \left( \frac{\text{sen}(\beta)}{\beta} \right)^2 \left( \frac{\text{sen}(N \cdot \alpha)}{\text{sen}(\alpha)} \right)^2 \quad (1)$$

Con

$$\alpha = \frac{\pi \cdot b}{\lambda} (\text{sen}(\theta) - \text{sen}(\theta_o))$$

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

donde  $\lambda$  es la longitud de onda,  $\theta_o$  es el ángulo que forma el haz incidente con la red,  $\theta$  es el ángulo que forma el haz que estamos observando sobre la pantalla,  $a$  es el ancho de cada una de las rendijas y  $b$  es la separación entre rendijas (Figura 1).



**Figura 1.** Esquema de la geometría de una red de transmisión.  $\theta_o$  es el ángulo que forma el haz incidente con la red,  $\theta$  es el ángulo que forma el haz que estamos observando sobre la pantalla,  $a$  es el ancho de cada una de las rendijas y  $b$  es la separación entre rendijas

El primer factor entre paréntesis en la ecuación (1) 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  $\theta$ , esta intensidad irá cambiando haciéndose máxima o mínima (cero) para valores específicos de  $\alpha$  y  $\beta$  determinando una serie de **máximos principales** en la pantalla de observación (existen máximos secundarios mucho menos intensos entre los máximos principales). A su vez 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:

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

$m$  se denomina orden de interferencia. Reemplazando en la expresión de  $\alpha$  resulta que:

$$\text{sen}(\theta_m) - \text{sen}(\theta_o) = m \frac{\lambda}{b} \quad (3)$$

donde el ángulo  $\theta_m$  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, es decir, 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 ( $\theta_o = 0$ ) y cuando no lo es ( $\theta_o \neq 0$ ).

## Actividades

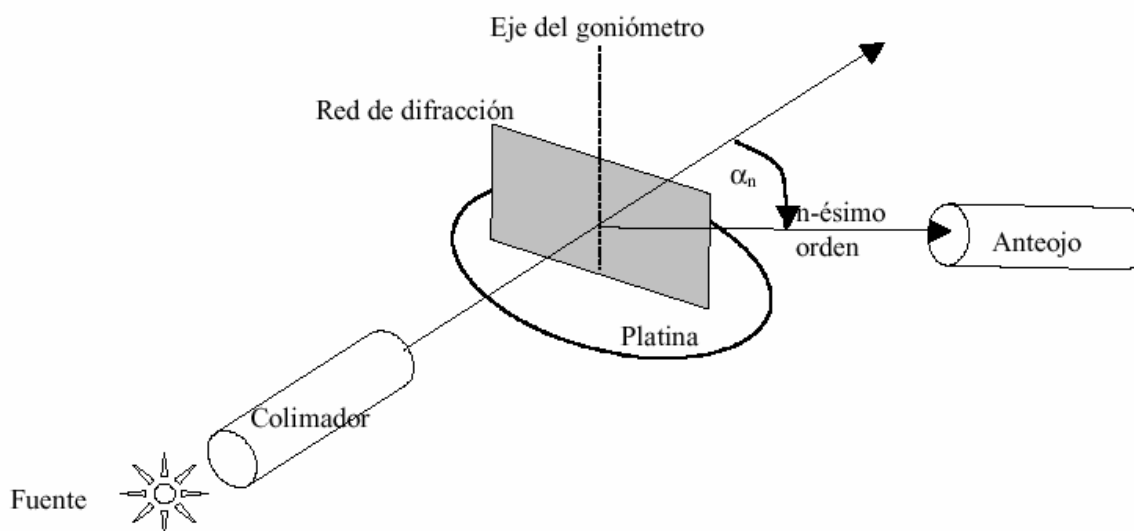
En esta práctica vamos a estudiar el espectro emitido por una lámpara de sodio y por una fuente de luz blanca, utilizando una red de difracción. Para ello vamos a emplear un goniómetro (instrumento que se utiliza para medir ángulos). Tómense un tiempo para familiarizarse con las diferentes partes del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

En el laboratorio se cuenta con diferentes tipos redes de difracción (hay redes de transmisión y de reflexión) y de diferente periodicidad. Asegúrense de anotar las especificaciones de las redes de difracción que usen.

En la Figura 2 se muestra el dispositivo a montar. La red se coloca sobre la platina de modo que ésta quede perpendicular al haz incidente y **bien centrada**, es decir que el haz debe incidir con

ángulo cero respecto a la normal a la red ( $\theta_0 = 0$ ). ¿Por qué? Si así no fuera, ¿qué precaución se debería tomar antes de hacer las cuentas?

Para asegurarse incidencia normal se ubica el anteojo enfrentando al colimador y se lee la posición angular ( $L_0$ ), luego se buscan los máximos correspondientes al máximo orden de interferencia visible. Primero hacia un lado (por ej. derecho) y luego hacia el otro (izquierdo) registrando los ángulos correspondientes. Si la desviación respecto de  $L_0$ , 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 porque ésta afirmación es válida). 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 2.** Esquema del dispositivo experimental utilizado para medir el espectro de una fuente luminosa con una red de difracción.

### Determinación del espectro de emisión de una lámpara de sodio

Una vez ajustado el goniómetro y montada la red correctamente, describan lo que se observa al usar como fuente la lámpara de Sodio. Recuerden que 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 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 fuente?

Compare lo observado al usar dos redes de transmisión con diferente período.

- ¿Cuántos órdenes de interferencia puede observar con cada una?
- ¿Cuál de ellas logra separar más las diferentes longitudes de onda?

Elija la red que considere más adecuada y determine las longitudes de onda presentes en la lámpara de sodio a partir de la medición de los ángulos de los distintos máximos de interferencia.

- Justifique la elección de la red de difracción.
- Confeccione una lista de todas las longitudes de onda medidas y compárelas con las tabuladas (un buen lugar para buscar los valores tabulados es en la ref [2])
- ¿Por qué se observa amarilla la luz de la lámpara de Sodio?
- 

En la lámpara de sodio hay presentes dos longitudes de onda muy cercanas entre sí y muy intensas correspondientes al amarillo, comúnmente llamadas el doblete del sodio.

- ¿A partir de qué orden se puede apreciar el doblete del sodio?
- Intentar medirlo y comparar con los valores tabulados.

Opcional: Hallar las longitudes de onda del espectro de la lámpara de sodio usando una red de difracción por reflexión. ¿Cómo habrá que ubicarla en este caso y qué consideraciones hay que tener en cuenta para hallar las longitudes de onda?

### 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. Describan lo que observan!!

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

### Algunos usos de las Redes de Difracción

#### El Monocromador

Es un sistema que es capaz de producir luz monocromática sintonizable a partir de una fuente de luz blanca. Un esquema muy simplificado se observa en la Figura 3. Básicamente, la luz blanca se hace incidir sobre una red de difracción que se puede rotar de forma que permite seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa a través de una ranura [3].

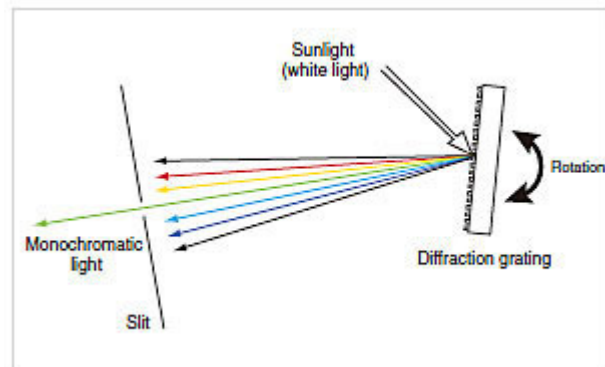


Figura 3. Principio básico de funcionamiento de un monocromador. Fuente ref [3]

## El Espectrofotómetro

El espectrofotómetro es un dispositivo muy empleado en laboratorios, que permite determinar la concentración de una sustancia en una solución, permitiendo así la realización de análisis cuantitativos. Utiliza las propiedades de la luz y su interacción con otras sustancias, para determinar la naturaleza de las mismas.

En la Figura 4 se muestra un esquema simplificado del mecanismo de funcionamiento de un espectrofotómetro. En general en estos equipos la luz de una lámpara es guiada a través de un monocromador que permite seleccionar luz de una determinada longitud de onda y la hace pasar por la muestra. La intensidad de la luz que sale de la muestra es captada por un detector y comparada con la intensidad de la luz que incidió en la muestra y a partir de esto se calcula la transmitancia de la muestra, que depende de factores como la concentración de la sustancia. Para cada sustancia determinada, se utilizará la radiación de longitud de onda a la que absorba más cantidad de luz [4].

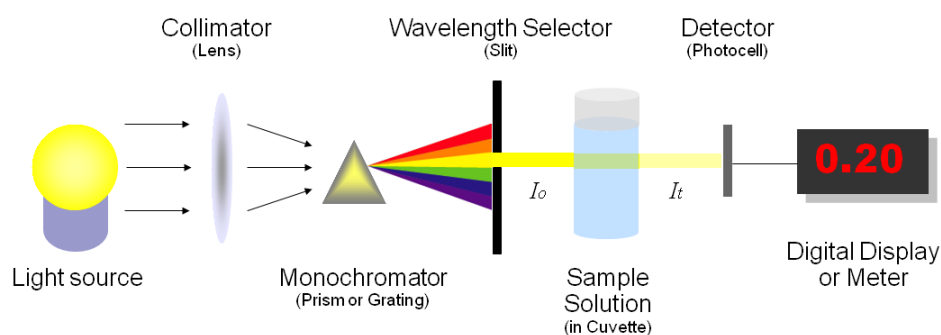


Figura 4: Esquema simplificado del mecanismo de un espectrógrafo. Ilustración de Heesung Shim.

## Referencias

- [1] E. Hecht, *Óptica*, Ed. Addison Wesley, Capítulo 10 (1998).
- [2] National Institute of Standards and Technology: <http://www.nist.gov/pml/data/asd.cfm>
- [3] UV TALK LETTER Vol. 3, Shimadzu Scientific Instruments.
- [4] Manual de mantenimiento para equipo de laboratorio, Capítulo 11, OPS; 2005.

## 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 mejor 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.