

## 60. MONOCROMADOR DE CZENRY-TURNER

Ref.- OPTIC-14

**Principio físico:** Un espectroscopio es un instrumento que sirve para observar, medir y analizar la intensidad de la luz emitida por una sustancia en una determinada porción del espectro electromagnético. El monocromador es una parte integral de muchos tipos de espectrómetros y espectroscopios siendo el componente que permite separar la luz en sus diferentes longitudes de onda o bien por refracción (prisma) o por difracción (utilizando rejillas de difracción), permitiendo el análisis espectral de la misma. Después de pasar por el monocromador, la luz dispersada se dirige hacia un detector que mide generalmente la intensidad de la radiación electromagnética en función de la longitud de onda, formando así un espectro completo.

La **historia de la espectroscopía** está íntimamente ligada al desarrollo de las redes de difracción:

- En 1666 Isaac Newton descompone la luz solar utilizando un prisma, demostrando que la luz visible o blanca es realmente una unión indistinguible de ondas de diferentes frecuencias, cada una asociada a un color del espectro visible que el ojo es capaz de percibir.
- 1785: David Rittenhouse inventa sin fines espectroscópicos la primera rejilla de difracción.
- 1802: William Hyde Wollaston construyó un “espectrómetro primitivo” al añadir una lente al modelo de Newton para enfocar el espectro del sol sobre una pantalla, y verificó que colores no se distribuyen de manera uniforme, sino que aparecen bandas oscuras.
- En 1814 Joseph von Fraunhofer diseñó el espectroscopio (Figura 2) y en 1821 repitió los experimentos de Rittenhouse tras producir unas rejillas de difracción hechas de vidrio con finas líneas paralelas en la superficie. Con dicho sistema fundamentó las bases de la espectroscopía moderna al estudiar el espectro de la luz solar con mayor precisión y determinar 574 líneas fijas oscuras con sus longitudes de onda correspondientes.



Figura 1. Experimento de descomposición de la luz por Newton.

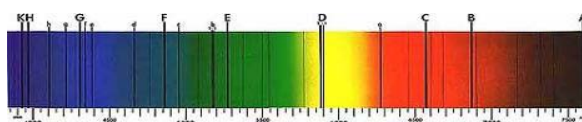


Figura 2. Joseph von Fraunhofer en una demostración del espectroscopio desarrollado por él, construido con un teodolito en cuya plataforma instala un prisma de cristal muy puro. Espectro solar con las “líneas de Fraunhofer”.

- En 1820, los astrónomos John Herschel y William Fox utilizaron la espectroscopía de llama para analizar la luz emitida por sustancias químicas calentadas y así identificar su composición. En 1834, Henry Fox Talbot propuso usar el espectro de la luz para discernir

# ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

sustancias químicas. Charles Wheatstone en 1836 empleó descargas eléctricas para estudiar los espectros de emisión de diferentes átomos. León Foucault descubrió en 1849 que los elementos tienen espectros característicos de emisión y absorción.

- En la década de 1850 Gustav Kirchhoff junto a Robert Wilhelm Bunsen mejoraron el espectroscopio de Fraunhofer para analizar muestras calentadas utilizando un mechero ideado por Bunsen (Figura 3). Establecieron en 1860 un protocolo experimental riguroso para estudiar espectros de elementos químicos que les permitió descubrir el cesio y el rubidio, y demostrar la absorción de la luz solar por gases atmosféricos.

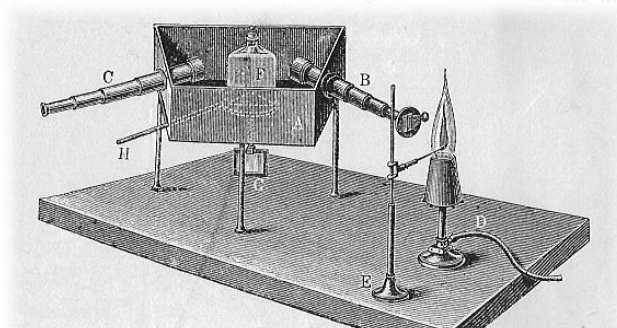


Figura 3. Espectroscopio de Kirchhoff y Bunsen.

- En la década de 1880, Henry Augustus Rowland diseñó un espectrógrafo de círculo utilizando rejillas cóncavas que mejoró la resolución y precisión para identificar líneas espectrales mejorando el conocimiento de la composición del sol y otras estrellas.
- En la década de 1910s se introducen las **redes de difracción** (véase ref. 4, los patrones de rejillas o espacio entre ranuras determinan los ángulos en los que se difractan diferentes órdenes de  $\lambda$ ).

- Marianus Czerny y su estudiante de posgrado Arthur Francis Turner idearon en 1930 (Figura 4) uno de los métodos más útiles para utilizar rejillas de difracción planas para espectroscopia: el montaje del **monocromador Czerny-Turner**.

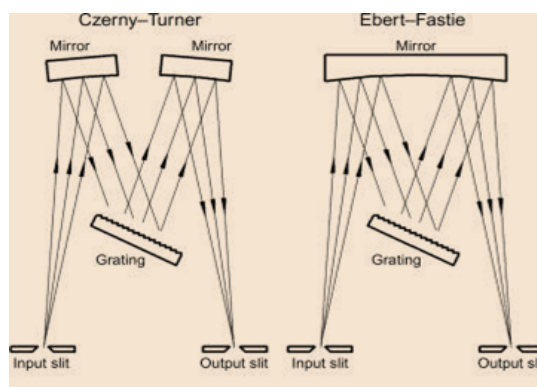


Figura 4. Czerny-Turner y Ebert-Fastie.

- En 1948 William G. Fastie reinventa el montaje Ebert, que había sido descrito por Hermann Ebert en 1889, y lo mejora para su uso en análisis espectral industrial.
- En las décadas de 1960 y 1970 se realizan mejoras en los diseños de monocromadores para reducir las aberraciones ópticas como la curvatura de las ranuras de entrada y salida para compensar el astigmatismo. Los monocromadores CCD aparecen en los 1980, en los años 90 y 2000 se fabrican de redes de difracción mediante técnicas como la holografía. Hoy en día las tecnologías de fibra óptica, MEMS y la detección mejorada han llevado a monocromadores con un rendimiento óptico muy superior.

**Marianus Czerny y Arthur Francis Turner:** Marianus Czerny (1875-1945) fue un físico y óptico alemán que trabajó en la Universidad Técnica de Berlín y en la Universidad de Gotinga. Arthur F. Turner tras graduarse en física 1929 en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) realizó el doctorado en la Universidad de Berlín con los profesores Pringsheim y Czerny. Turner ocupó una posición reconocida internacionalmente en la historia del diseño de recubrimientos

# ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

multicapa, así como 24 patentes en óptica. En 1930, Czerny y Turner diseñaron un monocromador simple que mejoró la resolución espectral y la eficiencia de captación de luz mediante la disposición estratégica de un espejo colimador y un espejo de retorno, y señalaron las correcciones de aberración inherentes (Figura 5). Después del diseño del monocromador Ebert-Fastie en 1952 se verificó que el Czerny-Turner mejoraba la corrección de aberraciones respecto a éste por lo que ha seguido siendo popular hasta el día de hoy por su diseño de bajo coste, simple y eficiente.

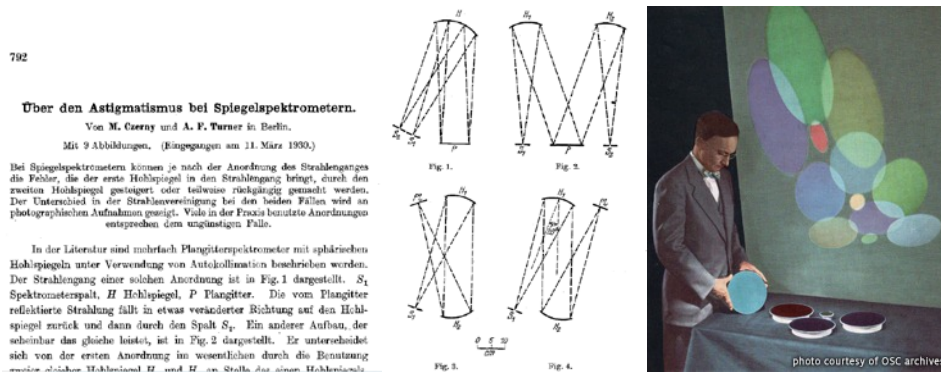


Figura 5. Portada del artículo "Sobre el astigmatismo en espectrómetros de espejo" de Max Czerny y Arthur F. Turner de 1930. Además de la configuración "W", existen otras variaciones como la configuración "X" y "U", cada una con sus propias ventajas y desventajas en términos de reducción de la luz dispersa y aberraciones ópticas.

Fotografía de Turner desarrollando su trabajo en Bausch & Lomb Optical Company.

## Modo de operación del monocromador Czerny-Turner:

está basado en la dispersión de la luz mediante una red de difracción plana y el uso de espejos cóncavos fuera de eje para colimar y enfocar la luz del modo siguiente (Figura 6): La luz (A) entra en el monocromador a través de una ranura de entrada (B) y es dirigida hacia un espejo esférico que la colima (C) (la convierte en un haz de rayos paralelos). Luego, la luz colimada incide sobre una red de difracción o rejilla giratoria (D) donde se dispersa en diferentes direcciones según su longitud de onda. El haz disperso se enfoca sobre un segundo espejo (E), la luz pasa a través de una segunda ranura, la ranura de salida (F), que selecciona una banda estrecha de longitudes de onda para su análisis. La luz dispersa que no pasa por la ranura de salida es absorbida o desviada para evitar que contribuya a la luz dispersa.

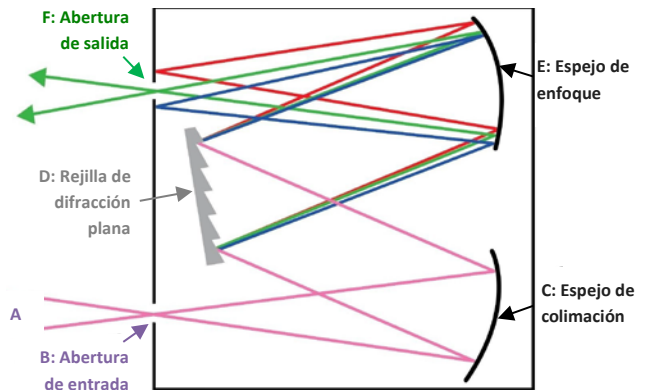


Figura 6. El diseño Czerny-Turner posee una configuración en forma de "W" como sugiere la trayectoria de la luz que viaja a través de dos espejos esféricos y la red de difracción. Esta configuración de espejos permite la cancelación del coma, una aberración óptica que puede afectar la imagen espectral.

**Monocromador Czerny-Turner fabricado por R. Fuess:** Se muestra un diseño típico de monocromador que permite seleccionar una sola longitud de onda específica de la luz de una

# ANTIGUOS INSTRUMENTOS DE LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

---

fuerza compleja que contiene múltiples longitudes de onda y analizar las componentes espectrales individuales. Consta de aberturas de entrada y salida, dos espejos esféricos cuyas posiciones permanecen fijas y una rejilla de difracción. La longitud de onda particular que pasa a través del monocromador se selecciona girando el ángulo de la rejilla que se mueve de forma solidaria con el eje de giro del teodolito y se maneja en la parte inferior por un tornillo micrométrico, incluye ocular.

**Fabricante:** R. Fuess. Berlin-Steglitz, Alemania.

**Fecha de Fabricación aproximada:** 1930-1940.

**Material:** latón lacado, latón niquelado.

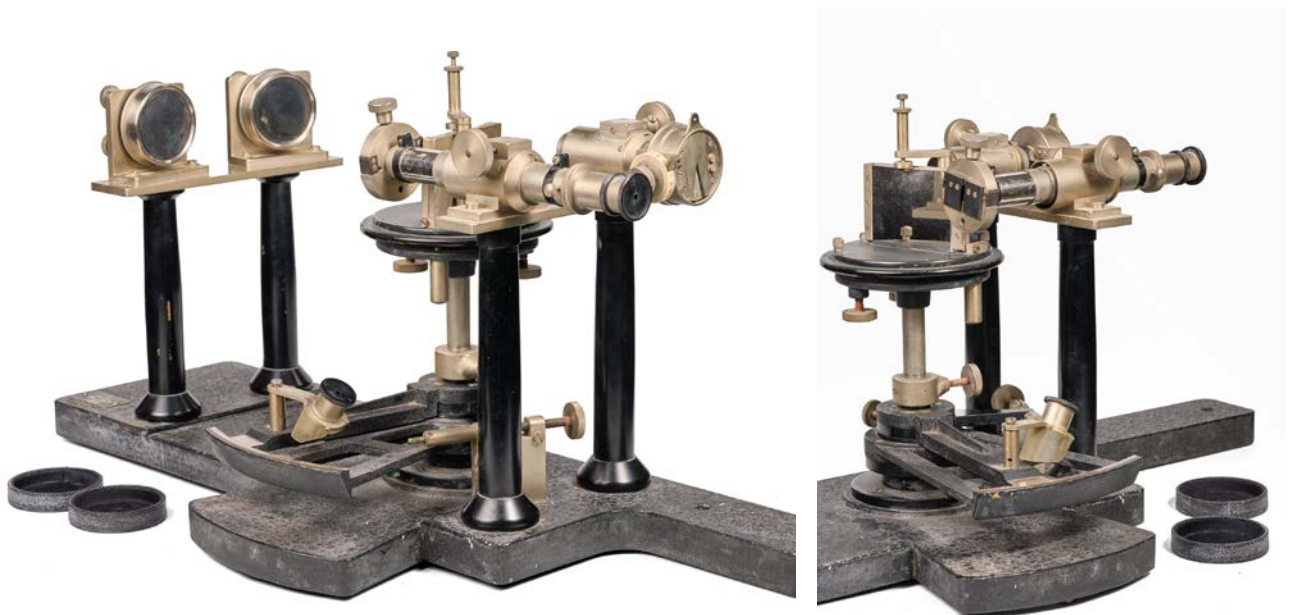


Figura 6. Monocromador de R. Fuess de la Universidad de Salamanca. Fabricado en Berlin-Steglitz, Alemania. (izquierda) vista de la abertura de entrada, espejos y abertura de salida con ocular. (derecha) vista de la rejilla de difracción y la abertura de salida.

**Aplicaciones:** En el siglo XX, el desarrollo de la mecánica cuántica y la mejor comprensión de la estructura atómica que llevaron al desarrollo de diferentes técnicas espectroscópicas como la espectroscopía de masas, la espectroscopia de absorción atómica, o la resonancia magnética nuclear (RMN), entre otros, que transformaron la espectroscopia en una herramienta poderosa para la determinación de estructuras moleculares. Los monocromadores Czerny-Turner son versátiles y se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, desde la investigación científica hasta el análisis industrial, debido a su capacidad para proporcionar un rendimiento óptico de alta calidad a un costo relativamente bajo. Algunos ejemplos son estudios de estructuras moleculares, análisis de materiales y determinación de composición química. Pueden estar diseñados para operar en diferentes rangos espectrales (UV, visible, IR) dependiendo de la aplicación específica.

1. <https://www.nireos.com/how-does-a-monochromator-work>
2. <https://www.horiba.com/int/scientific/technologies/spectrometers-and-monochromators/spectrometers-monochromators-and-spectrographs/>
3. <https://www.rp-photonics.com/monochromators.html>
4. <https://www.edmundoptics.eu/knowledge-center/application-notes/optics/all-about-diffraction-gratings/>