

MANUAL DE USUARIOS.

OBSERVATORIO ASTRONÓMICO NACIONAL,
SIERRA DE SAN PEDRO MÁRTIR,
BAJA CALIFORNIA,
MÉXICO.

**ESPECTRÓGRAFO
BOLLER & CHIVENS
MODELO 26767.**

Telescopio 0.84 m.

**Marco Arturo Moreno Corral, Esteban Luna,
Leonel Gutiérrez, Jorge Valdés,
Benjamín Martínez y Víctor García .**

Octubre del 2000

Introducción.

El espectrógrafo de resolución media Boller & Chivens modelo 26767, fue adquirido en 1974 para ser usado en el foco cassegrain del telescopio de 0.84m, del Observatorio Astronómico Nacional (OAN-SPM). Es un instrumento versátil y ligero, diseñado para telescopios profesionales de tamaño intermedio, que por ser compacto y de bajo costo resultó ideal para entrenamiento de estudiantes graduados en Astronomía.

Como se verá más adelante, el instrumento está equipado con todos los aditamentos de un espectrógrafo estándar necesarios para producir espectros estelares y nebulares. Tiene elemento dispersor, rendijas de diversos tamaños, sistema de fuente de comparación, mascarillas, obturador, colimador y cámara.

Originalmente el espectrógrafo se adquirió equipado con una rejilla de difracción del Bausch & Lomb Grating Laboratory de 400 l/mm, optimizada para $\lambda_c = 8453\text{Å}$, a un ángulo de blaze de $9^\circ 44'$. La cámara con la que el fabricante equipó el instrumento es concéntrica del tipo Cassegrain-Maksutov, con razón focal $f/3$, desarrollada por Ira S. Bowen, optimizada para el rango espectral comprendido entre los 3000 Åy el cercano infrarrojo. El instrumento cuenta con un colimador formado por un espejo parabólico fuera de eje, cuyo diámetro es de 5 cm, el cual puede enfocarse moviéndolo mecánicamente. La imagen espectral se registraba en placas fotográficas de vidrio cuyas dimensiones eran de $5 \times 5\text{cm}^2$. Gracias a que el portaplacas correspondiente podía desplazarse, una misma placa servía para registrar varios espectros. La fuente de calibración proporcionada por el fabricante fue de He-Ar, contenida en un práctico bulbo cristalino con forma de foco convencional, aunque de tamaño reducido, que es alimentado por corriente alterna de 110 volts.

Una vez en el Observatorio, el instrumento fue empleado en proyectos de investigación como la “Clasificación espectral de estrellas variables”, el “Estudio de estrellas simbióticas” y la “Clasificación de estándares espectroscópicos”, e incluso en el estudio de la nova descubierta por el asistente de telescopio Gaspar Sánchez, también conocida como V1500 Cygni 1975. Además, se utilizó para entrenar estudiantes asociados al IAUNAM. Puesto que las limitaciones impuestas por la respuesta de las emulsiones fotográficas disponibles en esa época impidieron el estudio de objetos más débiles que la magnitud 12, este espectrógrafo fue olvidado, quedando guardado por más de dos décadas.

La modernización.

Los detectores tipo CCD han sido usados muy ventajosamente durante los últimos años en el OAN-SPM, tanto para obtener imágenes directas a través de filtros selectos, como para trabajo espectroscópico, por lo que se decidió revitalizar el espectrógrafo Boller & Chivens del 0.84 m, poniéndole un detector de ese tipo. Con el financiamiento obtenido por medio de un proyecto de investigación sometido al CONACYT, se planteó a ese organismo la compra de un detector CCD para uso exclusivo del espectrógrafo en cuestión. Esta propuesta fue aprobada bajo el Proyecto 400340-4-2243-PE. Conforme a las políticas instrumentales que se estaban implementando en el OAN-SPM, se decidió utilizar como detector de este espectrógrafo alguno de los CCDs ya disponibles, por lo que en su lugar se compraron dos cámaras intensificadas de Xybion Electronic System Corporation, una de las cuales ha sido utilizada para substituir el ocular de guiado original de Boller & Chivens.

El proceso de actualización de este instrumento se desarrolló en tres etapas. Adquisición de las componentes electrónicas, mecánicas y ópticas necesarias, diseño y fabricación de una montura liviana pero rígida, que permitiera instalarle la botella criogénica que contiene el CCD, y la construcción de una platina giratoria para acoplar el espectrógrafo al telescopio de 0.84 m.

Los criterios utilizados para llevar a cabo la modernización fueron que el instrumento siguiera siendo de fácil manejo, que todo el trabajo de construcción y adaptación de las diversas partes mecánicas y ópticas se realizaran en los talleres y laboratorios del OAN-Ensenada y que la electrónica necesaria fuera compatible con la ya existente en el telescopio de 0.84 m.

Montura de acoplamiento del CCD.

Esta montura de aluminio anodizado fue diseñada y construida por personal del Taller de Mecánica de Precisión del IAUNAM-Ensenada. Se encuentra formada por una estructura rígida montada en la parte donde originalmente estuvo el portaplacas del espectrógrafo. La montura contiene un cilindro hueco que permite enfocar adecuadamente el CCD mediante rotación manual, acción que **SIEMPRE** debe ser hecha por el Mecánico de Precisión en turno. Este dispositivo fue complementado agregándole un sensor mecánico de posición que permite determinar el plano focal óptimo para cada uno de los CCD's del OAN-SPM con una precisión de 0.001 de pulgada. En el acoplador también se encuentra colocado en forma permanente el obturador del CCD. Como parte complementaria de esta montura se construyó un anillo rígido, que instalado sobre el tubo que contiene al colimador, ayuda a dar rigidez al soporte que carga la botella criogénica.

Platina.

La platina giratoria, diseñada y construida en los talleres del OAN-Ensenada, sirve para acoplar el espectrógrafo directamente al telescopio, permitiendo que gire alrededor de su eje óptico. Esto se traduce en un cambio efectivo de la dirección de la rendija de observación respecto a la bóveda celeste. Para realizar esta operación, primero hay que soltar **SUAVEMENTE** las dos perillas de sujeción que se encuentran en esta platina, y luego girar la perilla graduada en grados. De esta manera la rendija del espectrógrafo puede girarse 360° en una u otra dirección. Rutinariamente los técnicos instalan el espectrógrafo en una posición en que la rendija queda orientada Este-Oeste, de tal manera que al barrer una estrella sobre la rendija moviendo solamente la ascensión recta, no se salga de ella.

Nota:

Al realizar la operación de giro, debe tenerse cuidado de no forzar, jalar o desconectar algunos de los cables de los diferentes aparatos instalados en la base del telescopio.

La óptica.

El sistema óptico de este espectrógrafo es relativamente sencillo y se muestra en la Figura 1. Originalmente estuvo formado por la cámara Cassegrain-Maksutov, el colimador, el ocular de guiado y la rejilla de difracción. En la actualidad el ocular se ha substituido por una cámara electrónica intensificada de la marca Xybion, para lo cual se construyeron las partes mecánicas necesarias en el Taller de Mecánica de Precisión del IAUNAM-Ensenada.

Además de limpiar, probar y alinear adecuadamente las superficies ópticas de estos elementos en el Laboratorio de Óptica del IAUNAM-Ensenada, se hicieron los cálculos necesarios y las medidas precisas para establecer la posición del plano focal combinado del espectrógrafo y el CCD, lo que obligó a separar mecánicamente 5 mm las dos superficies que forman la cámara Cassegrain-Maksutov, permitiendo de esa manera adecuar este instrumento a los distintos detectores digitales que actualmente posee el OAN-SPM.

El colimador.

El colimador de este espectrógrafo se encuentra montado en la base del tubo. Está formado por un espejo parabólico fuera de eje, que puede moverse por la acción de una cadena plástica sin fin, que a su vez es movida desde el exterior del espectrógrafo mediante el giro de una perilla alojada en el fondo del tubo de colimación. La distancia focal de ese espejo es de 69.4 cm (27 pulgadas). La Figura 2 presenta un esquema que muestra un corte lateral y una vista de frente del colimador y del mecanismo que lo soporta.

Nota:

Siempre que no se use el espectrógrafo, el obturador correspondiente debe estar cerrado (close) para evitar que caiga polvo o basura sobre el espejo. Cuando el instrumento no está montado en el telescopio, además debe cubrirse el orificio por donde se recibe la luz.

Si es necesario limpiar ese espejo, esa operación que es delicada y requiere desarmar parcialmente el espectrógrafo, deberá ser realizada por el óptico del OAN-SPM.

Por ningún motivo debe tocarse la superficie de ese espejo.

Parámetros para el espectrógrafo de rendija.

Un esquema general de un espectrómetro de rendija se muestra en la Figura 5, en el que aparecen la rendija de entrada de ancho w en el plano focal del telescopio, el colimador de diámetro d_1 y distancia focal f_1 , la cámara de diámetro d_2 y distancia focal f_2 , el elemento dispersor \mathbf{A} y finalmente la rendija de entrada enfocada por el colimador y la cámara w' . La relación geométrica entre estas cantidades se expresa de la siguiente manera:

$$w' = \frac{d_1 f_2}{f_1 d_2} w.$$

De esta ecuación se puede reconocer en número \mathbf{F} comúnmente denotado por $(\mathbf{f}/)$, de cada elemento óptico, dados por $F_1 = \frac{f_1}{d_1}$ y $F_2 = \frac{f_2}{d_2}$, respectivamente. Esta forma de expresar la proyección de la rendija al plano focal de la cámara facilita los cálculos, dado que los números \mathbf{F} de cada elemento óptico están dados por el fabricante. En nuestro caso, esos parámetros se encuentran en la Figura 1 y son $F_1=13.5$ y $F_2=3$, por lo que resulta que el tamaño de la rendija proyectada es $w'=0.2222w$. Por ejemplo, si se usa una rendija de 150 micrómetros de ancho, entonces se tiene que la proyección será de $w'=33.33$ micrómetros. Si se usa un CCD con pixeles de 24 micrómetros, entonces la proyección resultará aproximadamente en 2 pixeles.

Las rejillas.

Actualmente el espectrógrafo cuenta con dos rejillas. Una optimizada para el rojo y otra para el azul. La primera fue construida por Bausch & Lomb, mientras que la segunda es de Richardson Grating Laboratory. Esta última fue adquirida con financiamiento otorgado a través del proyecto IN104991 de la DGPA de la UNAM.

Ambas rejillas tienen las mismas dimensiones y cada una se encuentra montada sobre una base de aluminio anodizado, la que a su vez puede ser colocada en el portarejillas giratorio del espectrógrafo mediante tres tornillos.

La Figura 3 muestra líneas de identificación en el espectro de comparación (HeAr), obtenido con la rejilla “azul”, mientras que la Figura 4 muestra las del “rojo”.

Nota:

El cambio de rejilla es una operación delicada. Debe ser hecha por el técnico responsable y de preferencia durante el día. La

superficie dispersora **NUNCA** debe ser tocada. La grasa de la piel y los rayones la dañan. Tampoco se deben usar limpiadores de spray. Si es necesario limpiarlas, dirigirse al óptico del OAN-SPM.

Nota:

La rejilla No. 1 presenta un rayón en forma de 5 en su parte inferior izquierda. Tiene algunos otros más pequeños. Es utilizable y produce buenos espectros.

Las características de cada una de las rejillas actualmente disponibles se presentan en la siguiente página.

El Portarejillas.

Este dispositivo es una unidad cilíndrica con una carátula angular, que puede ser removida del espectrógrafo quitando cuatro tornillos de tipo allen. Para cambiar el ángulo de la rejilla que se esté utilizando, hay que soltar los dos seguros metálicos colocados a los lados de la carátula graduada y girar la perilla. El ángulo al que se pone la rejilla puede ser leído en el vernier que se encuentra en la parte superior. Puesto el valor que se desea, volver a apretar suavemente los seguros correspondientes.

Nota:

En la parte central de la perilla de giro, hay otra que es la que permite cubrir o destapar la rejilla. Para usar el espectrógrafo esta palanca debe estar afuera. En caso contrario mantenerla cubierta, así se evitará que le caiga polvo o se le pegue basura a la superficie dispersora.

Filtros.

Originalmente, el espectrógrafo tenía un portafiltros, en el que intercambiando los filtros de uno en uno era posible cortar los órdenes correspondientes. Como la operación de cambiarlos no era sencilla, pues su tamaño

es reducido, se tomó la decisión de construir 8 nuevos portafiltros. De esta manera, en cada portafiltros quedará un solo filtro en forma permanente. Ahora, para instalar cualquier filtro en el espectrógrafo, únicamente es necesario mover dos tornillos, hacer el cambio correspondiente de portafiltro y volver a apretarlos. Para información sobre los filtros disponibles, ver tabla adjunta.

FILTROS PASA ALTAS

FILTRO	λ_s (nm)	λ_c (nm)	λ_{p1} (nm)	λ_{p2} (nm)	ρ (g/cm ³)	T (°C)
GG395	350	395+-3	470	700	3.61	438
GG435	390	435+-6	510	700	2.75	605
OG550	510	550+-6	610	-	2.76	597
RG695	640	590+-6	760	-	2.76	599

λ_s = Límite inferior del filtro pasa bandas con transmitancia $\leq 1\%$.

λ_c = Posición central al 50% de la transmitancia.

λ_p = Límite superior con transmitancia $\geq 99\%$.

ρ = Densidad.

T = Temperatura de transformación.

Para la serie GG, $\lambda_{p1} = 95\%$ y $\lambda_{p2} = 99\%$.

Para la serie RG, $\lambda_{p1} = 90\%$ y $\lambda_{p2} = 97\%$.

Rejilla 1 (Bausch & Lomb).

Densidad de la rejilla: 400 líneas/mm.

Fecha de construcción 4/5/74.

Área útil 64 mm × 64 mm.

Tamaño del blank 68.6 mm × 68.6 mm × 9.1 mm.

Material del blank BSC2.

Radio(si es cóncava) ∞. Resolución $\geq 80\%$ del valor teórico.

Longitud de onda óptima 8453Å. Ángulo de blaze 9° 44'.

Eficiencia 88% a 8350Å, 90% a 8450Å, 88% a 8550Å.

Intensidad máxima de los fantasmas 0.03%.

Número de catálogo 35-53-09-580.

Número de serie 985-10-4-1.

Rejilla 2 (Richardson Grating Laboratory).

Densidad de la rejilla: 400 líneas/mm.

Fecha de construcción 12/11/97.

Área útil 64 mm × 64 mm.

Tamaño del blank 68.6 mm × 68.6 mm × 9.1 mm.

Material del blank BSC2.

Radio(si es cóncava) ∞. Resolución $\geq 80\%$ del valor teórico.

Longitud de onda óptima 5500Å. Ángulo de blaze 6° 30'.

Eficiencia 75% a 5100Å, 72% a 5500Å, 70% a 5800Å.

Intensidad máxima de los fantasmas 0.03%.

Número de catálogo 35-53-09-581.

Número de serie 1383-4-3-2.

Nota:

Dispersión = 2.4 Å/pix.

La electrónica.

La videocámara intensificada ICCD utilizada para sustituir el ocular de guiado es de alto rendimiento. Fue fabricada por la compañía Xybion y es el modelo ISS-255. Gracias al trabajo realizado por personal del Laboratorio de Electrónica del IAUNAM-Ensenada, actualmente permite desplegar simultáneamente en un monitor la imagen de la rendija que se esté usando y el campo estelar que se pretende observar, liberando así al astrónomo del molesto guiado manual a través del ocular.

Puesto que ese tipo de cámaras intensificadas tienen como elemento sensible un cátodo de fósforo que puede quemarse por altos niveles de iluminación, miembros de ese laboratorio diseñaron un sistema protector que apaga automáticamente la cámara cuando detecta un flujo luminoso peligroso. Esto se manifiesta en pérdida de la imagen en el monitor. Una vez que se restablecen las condiciones de iluminación adecuada, este dispositivo vuelve a encenderla. Situaciones en las que operará automáticamente este mecanismo de seguridad son por ejemplo, cuando se olvida apagar la fuente de comparación y se pretende exponer, o cuando por error o descuido se dirige a la cámara una lámpara de mano o se enciende la luz de la cúpula.

La ganancia a la que opera esta cámara es variable y puede ser determinada mediante el controlador electrónico que la acompaña, el cual es parte integral de este equipo y fue construido por el fabricante especialmente para ella, **por lo que no debe intercambiarse con otros**, que aunque físicamente son iguales, no corresponden a las características de esa cámara. Cuando se prende el controlador, la perilla (potenciómetro) de ganancia debe estar en el mínimo. Al incrementar la ganancia hay que cuidar **NO SATURAR AL DETECTOR**, pues puede dañarse la cámara intensificada. El resto de la electrónica que se usa cuando se trabaja con el espectrógrafo es la de control del CCD y la del guiador. Para mayor información sobre esos equipos, véase los manuales correspondientes.

Para comenzar.

El espectrógrafo Boller & Chivens modelo 26767, como todo instrumento astronómico de precisión, es un equipo delicado, por lo que el usuario debe estar familiarizado con su uso. Una vez que ha sido instalado por los miembros del personal técnico en el telescopio y éste ha sido correctamente balanceado, y la botella criogénica del CCD llena con nitrógeno líquido para enfriar ese dispositivo hasta su temperatura de operación, lo primero que el astrónomo debe hacer es revisar qué rejilla de difracción está instalada de las dos disponibles para este espectrógrafo (ver sección correspondiente), para así asegurarse que el ángulo de dispersión que ponga centre el espectro en la región de su interés. También debe cerciorarse si hay puesto algún filtro en el portafiltros y qué lámpara de comparación está instalada.

Antes de hacer cualquier exposición, deberá prenderse la fuente de comparación, descubrirse la rejilla, **JALANDO SUAVEMENTE** la perilla central de la unidad portarejillas, abrir el obturador mecánico del espectrógrafo llevándolo a la posición “open” y poner la palanca que selecciona el objeto o la fuente de comparación en la dirección adecuada.

Enfoque del espectrógrafo.

Para poner este aparato en foco es necesario realizar dos operaciones. Primeramente debe ponerse el detector CCD en foco, pero antes de comenzar esa operación, se debe llevar el colimador del espectrógrafo a la mitad de su carrera útil. Esto se hace moviendo la perilla que se encuentra en la base inferior del tubo y viendo el desplazamiento marcado por la carátula correspondiente, la cual se halla localizada en la parte inferior del tubo que contiene al colimador. La manecilla chica indica las centenas y la grande las unidades. Este indicador de marca FEDERAL, va de 0 a 999, lo que equivale a un desplazamiento vertical total de **una pulgada**; sin embargo, la carrera real del colimador es de 0.723 pulgadas, llegando en ese valor a un tope físico que le impide seguirse desplazando. Alcanzado ese punto, **NO DEBE FORZARSE**, pues ello dañaría el mecanismo que lo mueve. Una vez que el colimador ha sido llevado a la posición media (~ 0.350), enciéndase la lámpara de comparación y con un tiempo corto (~ 100 msec) tómesese una exposición para ver qué tan enfocado está el CCD. Si el foco no es el adecuado, tomar más exposiciones, durante las cuales el Mecánico de Precisión en turno deberá acercarlo o alejarlo. Como para ello deben aflojarse los tornillos que sujetan el CCD al espectrógrafo, el trabajo debe ser hecho por el técnico.

NO LO DEBE HACER EL AYUDANTE NI EL ASTRÓNOMO.

El mecánico irá girando la botella del CCD en pasos pequeños, ayudándose del palpador antes mencionado. Tomando imágenes sucesivas, podrá verse si el foco mejora o empeora.

Nota:

Se sugiere desplegar cada vez la pantalla gráfica de PMIS, para hacer un trazado del perfil de las líneas. Con este procedimiento se pueden obtener líneas espectrales de alrededor de 2 a 3 pixeles de ancho a potencia media.

Una vez hecho esto, el mecánico debe atornillar adecuadamente el contenedor del CCD, pudiendo entonces el astrónomo proceder al segundo paso de enfoque, consistente en buscar el **foco fino** del espectrógrafo, lo que hará desplazando el colimador, p. ej. de 10 en 10 unidades. Una vez logrado el foco óptimo, ya no deberá moverse el colimador en toda la temporada.

Enfoque del telescopio.

Cuando se ha enfocado el espectrógrafo de acuerdo al procedimiento antes descrito y se ha logrado un espectro de comparación adecuado, ya no deberá moverse ni el dispositivo de enfoque del CCD, ni el colimador.

Para enfocar el telescopio deberá procederse en la forma convencional. Apuntando una estrella no muy brillante (~ 5 a magnitud) y teniéndola centrada en la pantalla del CCD, proceder a formar la mejor imagen posible apretando los botones de foco de la paleta de mando del telescopio.

Campos planos.

Debido a lo reducido del cuerpo del espectrógrafo, se decidió no incorporarle una fuente de luz blanca, por lo que los campos planos, deberán hacerse con luz difusa del cielo al atardecer o antes de que amanezca, o bien iluminando la pantalla blanca que hay dentro de la cúpula con una fuente uniforme. En ambos casos debe buscarse no saturar el detector.

Recomendaciones.

No observar estrellas brillantes que ocasionen que tanto el CCD, como la cámara intensificada se saturen.

Si es necesario observar una estrella de esas características, usar un filtro de densidad neutra.

Prender la lámpara de comparación de He-Ar sólo cuando sea necesario. Ya no se consiguen en el mercado y en el OAN-SPM ya no hay de repuesto.

Para lograr un buen guiado durante las exposiciones largas, consultar el Manual del guiador (Comunicación Técnica del Observatorio No. 97-1).

Para desplegar y manipular las imágenes que se obtienen con este espectrógrafo, ver el manual de PMIS o consultar al astrónomo residente en turno.

Agradecimientos.

Gran parte del financiamiento utilizado para actualizar este espectrógrafo fue proporcionado por el CONACYT, a través del proyecto de investigación 400340-4-2243-PE. Una de las rejillas de difracción fue adquirida con fondos otorgados por la DGPA de la UNAM al proyecto IN104991. A ambas instituciones nuestro agradecimiento.

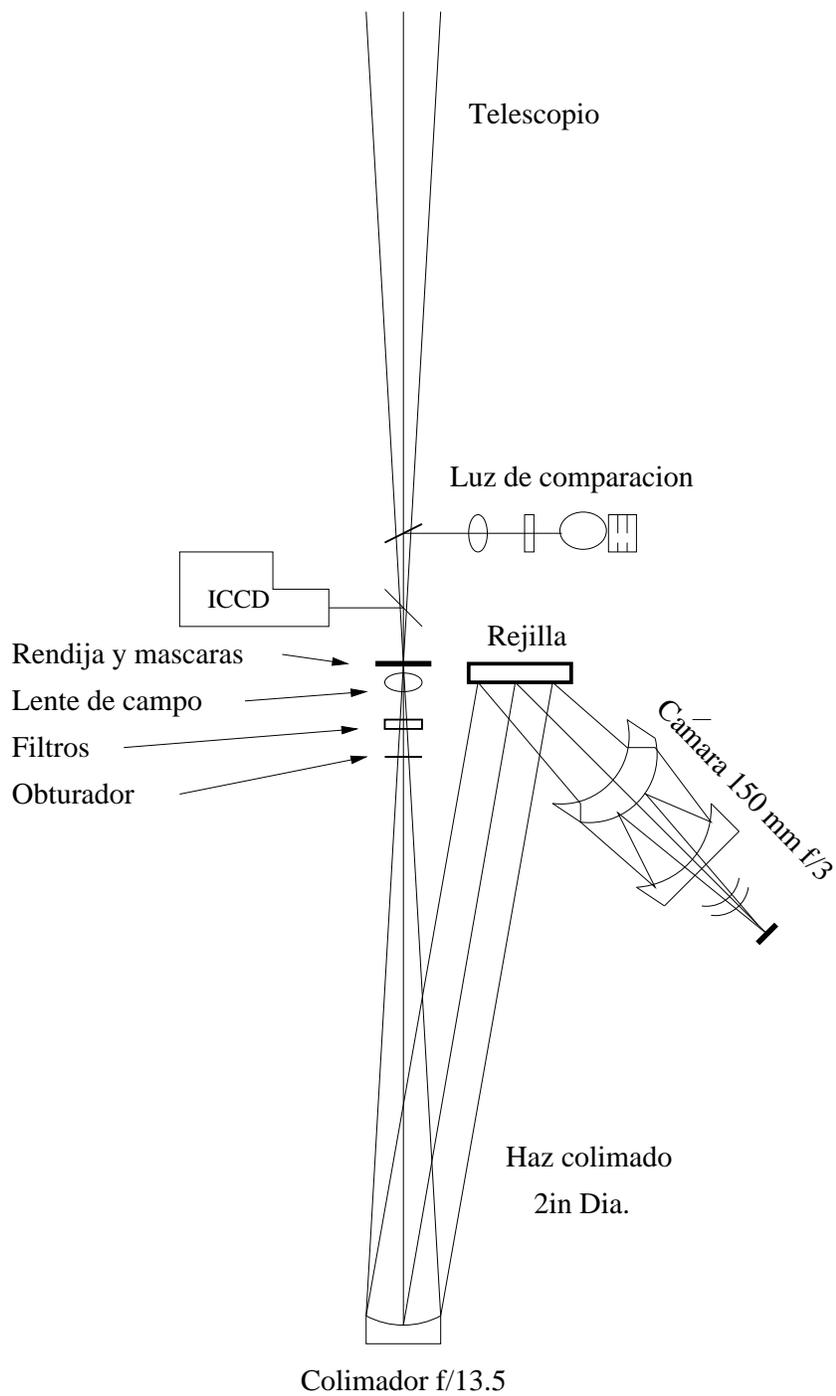


Figure 1: Diagrama óptico del espectrógrafo Boller & Chivens modelo 26767.

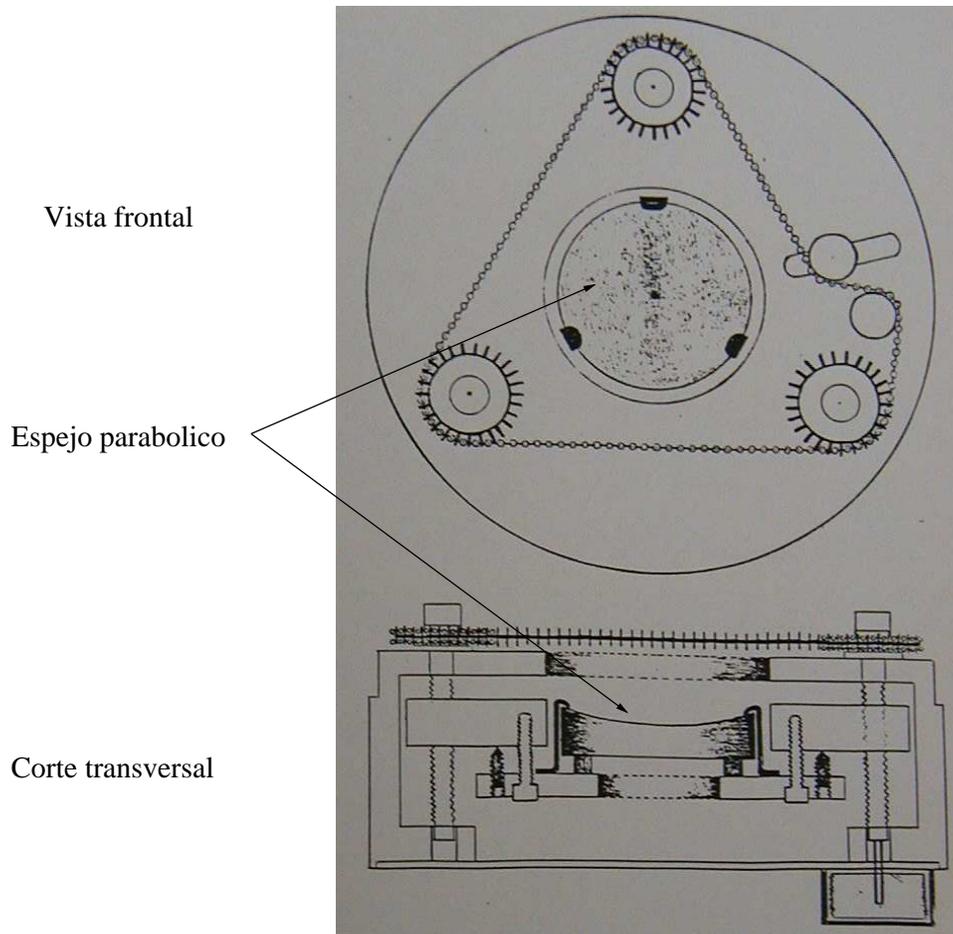


Figure 2: Posición del sistema de desplazamiento del colimador.

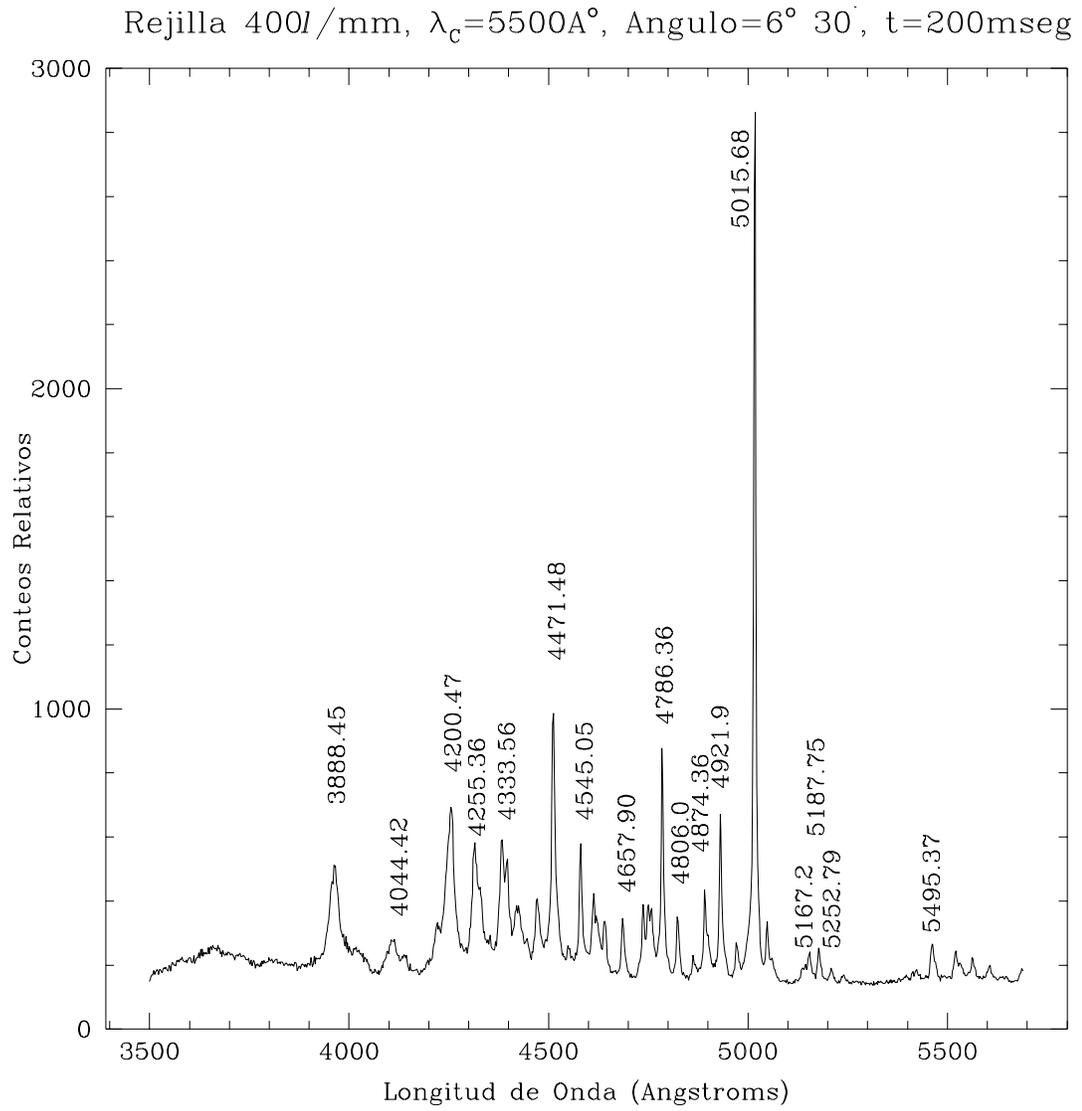


Figure 3: Algunas líneas prominentes del HeAr, presentes en la región espectral del azul.

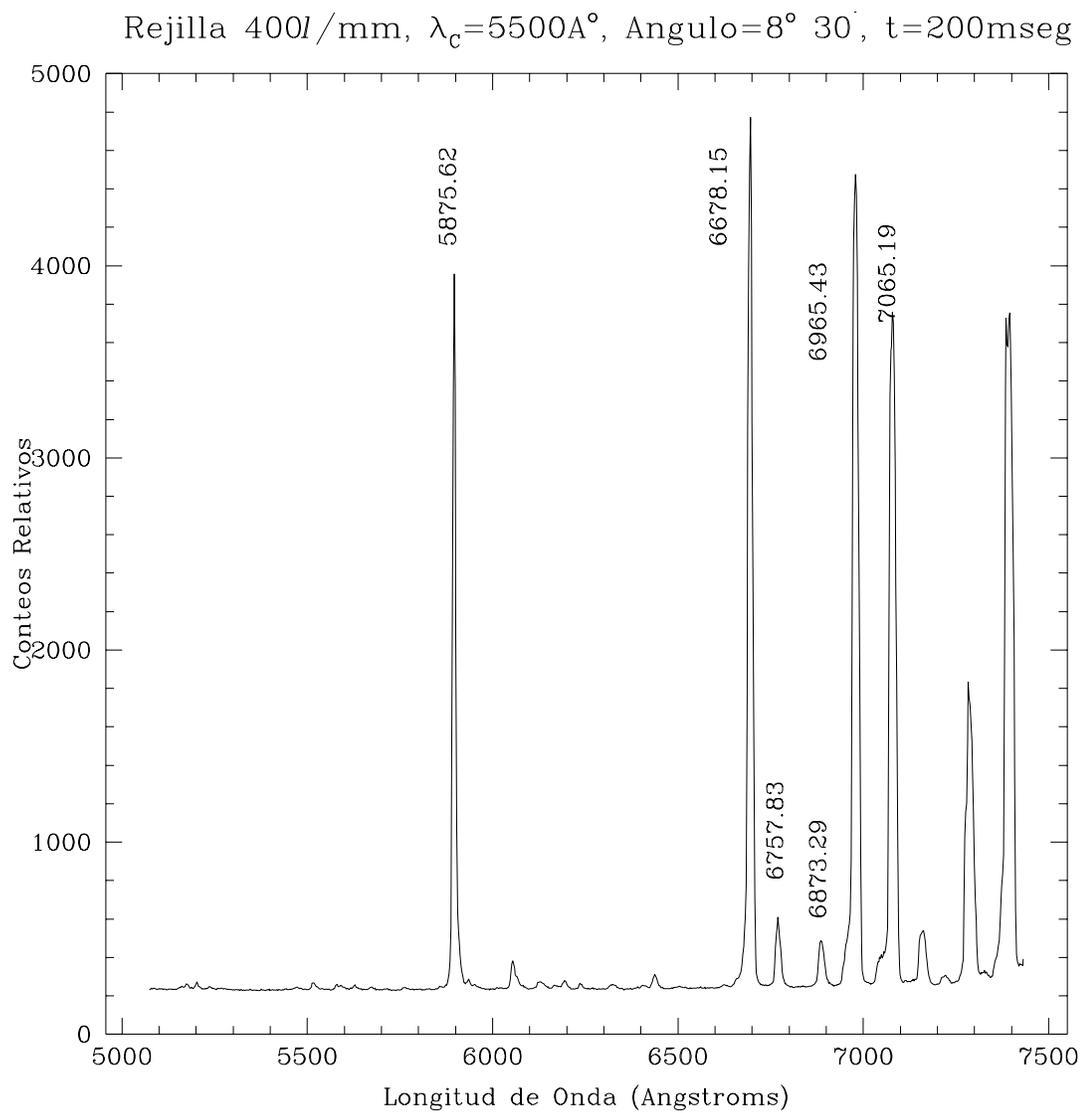


Figure 4: Algunas líneas prominentes del HeAr, presentes en la región espectral del rojo.

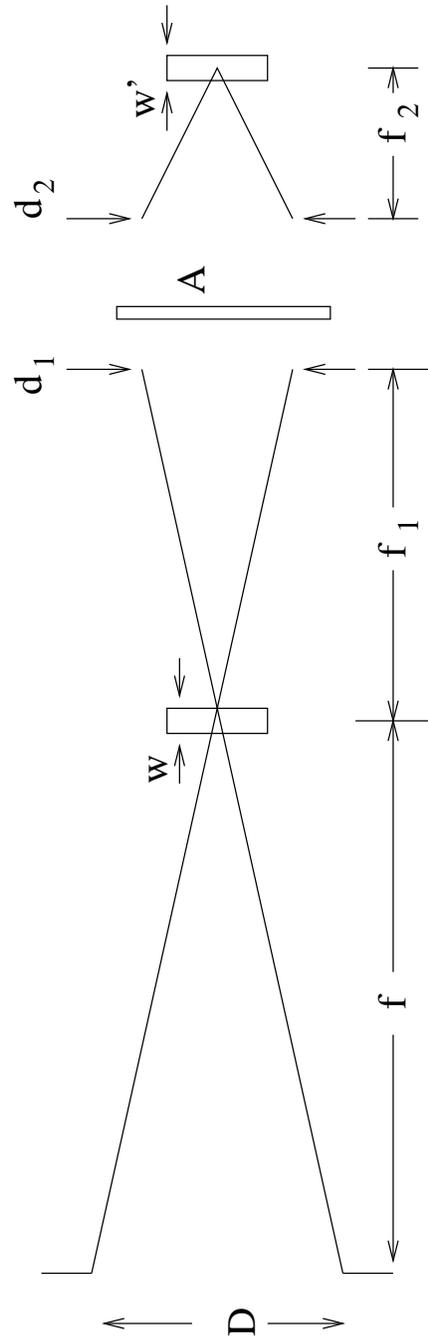


Figure 5: Esquema para un espectrómetro de rendija.