

Estado actual de filtros GG395 y OG550 instalados en el Boller & Chivens en el telescopio de 2.1m del OAN-SPM.

Pedro Francisco Guillén, Juan Manuel Núñez, Ilse Plauchu Frayn, Gustavo Melgoza Kennedy.

Instituto de Astronomía. Universidad Nacional Autónoma de México.
Km. 103 Carretera Tijuana-Ensenada, Ensenada, B. C., México.

RESUMEN:

Se presenta una actualización del estado de los filtros GG395 y OG550 instalados en el Boller & Chivens de uso en el telescopio de 2.1m. Se adquirieron *flats* de domo por cada filtro con la rejilla de 300 l/mm para cubrir todo el intervalo espectral visible. Con estos *flats* se midió la

transmitancia de los filtros. También se adquirieron espectros de una estrella estándar para ejemplificar el efecto de los filtros sobre la curva de luz espectral. Se obtiene una transmitancia de 0.913 y 0.937 (91% y 93% aproximadamente), respectivamente para estos filtros.

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	2
2. FILTROS DEL BOLLER & CHIVENS	3
3. TRANSMITANCIA DE LOS FILTROS GG395 Y OG550	7
4. CONCLUSIONES	13
5. REFERENCIAS	14
6. AGRADECIMIENTOS	14

1. INTRODUCCIÓN

El espectrógrafo Boller & Chivens (Perkins-Elmer Corporation, 1975) es un espectrógrafo de baja dispersión (resolución de baja a intermedia) asignado para trabajar con el telescopio de 2.1m del Observatorio Astronómico Nacional (OAN) en San Pedro Mártir (SPM) para diversos estudios astronómicos, tales como: la medición de *redshift* de galaxias lejanas, caracterización espectrofotométrica de estrellas, estudio de abundancias químicas en nebulosas, etc. Para la observación astronómica y para algún estudio científico en particular, es necesario observar con diferentes resoluciones (intervalos espectrales) usando las distintas rejillas de difracción para este instrumento. En algunas configuraciones se pueden tener espectros contaminados con luz azul proveniente de órdenes secundarios (segundo orden en adelante) incidiendo en la parte roja del espectro en el intervalo visible. Para evitar este problema es necesario usar filtros que cortan la luz a ciertas longitudes de onda de acuerdo a las características de cada observación.

La ecuación para cada rejilla de difracción está dada por:

$$d \operatorname{sen}(\theta) = m\lambda \quad (1)$$

donde d es la separación entre las líneas de rayado de la rejilla, θ es el ángulo del rayo de luz difractado y λ la longitud de onda de la luz. Para el caso de la rejilla de difracción de 400 l/mm es posible determinar la posición de los órdenes de difracción en términos de sus ángulos de dispersión y sus longitudes de onda en los cuales se encontrarían traslape de patrones de difracción en los primeros dos órdenes.

De la ecuación (1) se resuelve para θ y queda como

$$\theta = \operatorname{arccosen}\left(\frac{m\lambda}{d}\right) \quad (2)$$

donde d está dada como $1\text{mm}/400\text{l} = 1 \times 10^7 \text{ \AA}/400 = 25000 \text{ \AA}$. Se calcula para un intervalo de 3000 \AA a 7000 \AA mostrando los resultados en la Tabla 1. Notándose que, para ángulos entre $13^\circ.88$ y $16^\circ.26$, existe un traslape de luz azul del segundo orden sobre el extremo rojo del primer orden.

TABLA 1

Ángulos para los dos primeros órdenes, los cuales traslapan a ciertos ángulos a ciertas longitudes de onda.

ORDEN	λ (Å)	θ (grados)
$m = 1$	3000	$6^\circ.89$
	7000	$16^\circ.26$
$m = 2$	3000	$13^\circ.88$
	7000	$24^\circ.05$

El poder de resolución está dado por $R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = mN$ donde m es el orden de difracción, N es el número de líneas (por milímetro) del rayado de la rejilla de difracción y λ es la longitud de onda de la luz incidente. Con esta ecuación el observador podrá escoger la resolución requerida para su observación y el intervalo espectral dependiendo del ángulo *blaze* y del ángulo al que rote la rejilla en el *decker* del espectrógrafo. Las rejillas usadas en el OAN-SPM para este instrumento están listadas en la Tabla 2. Para cada rejilla y ángulo, el usuario podría usar los filtros a discreción para eliminar la luz azul, la cual a segundo orden podría incidir en el lado rojo del espectro.

TABLA 2

Rejillas que se encuentran en el catálogo del OAN-SPM.
Se muestra el número de líneas por milímetro y el ángulo blaze del rayado de las líneas.

REJILLA	ÁNGULO BLAZE	REJILLA	ÁNGULO BLAZE
150 l/mm	2°09'	600 l/mm	8°38'
150 l/mm	3°26'	600 l/mm	13°00'
300 l/mm	4°18'	1200 l/mm	26°07'
400 l/mm	6°30'	1200 l/mm	13°31'
400 l/mm	9°44'	1200 l/mm	21°00'
400 l/mm	13°54'		

2. FILTROS DEL BOLLER & CHIVENS

En el observatorio, el espectrógrafo Boller & Chivens ha tenido constantemente algunos cambios estructurales de actualización para adecuar los mecanismos a nuevas necesidades en la operación y en la adquisición de datos astronómicos. En el 2005 se hizo una modificación para montar obturadores independientes al espectrógrafo (mencionado en el acervo del OAN-SPM, M. Richer, 2006). Con esta modificación se instaló una bandeja de filtros que consta de tres espacios, de los cuales el primero está libre y los otros dos tienen instalados los filtros GG395 y OG550, respectivamente.

Los filtros utilizados son del fabricante SCHOTT (<http://www.us.schott.com/english/index.html>) de tipo “cortadores” (*cut-off*) ópticos de 3 mm de espesor (Ver Figura 1).



Figura 1: Filtro de SCHOTT red-cutter OG550 en su montura de aluminio, este filtro se monta en la bayoneta de filtros del Boller.

Estos filtros ópticos son caracterizados por su transmitancia, la cual depende de la longitud de onda (λ). Así que la propiedad física más importante para este tipo de filtros es la transmitancia espectral $\tau(\lambda)$, o la transmitancia espectral interna $\tau_i(\lambda)$. La transmitancia interna se define como el cociente del flujo de salida respecto al flujo de entrada, dado en la siguiente ecuación como:

$$\tau_i(\lambda) = \frac{I_{\lambda, salida}}{I_{\lambda, entrada}} \quad (3)$$

El flujo de entrada está disminuido por una pérdida debido a la reflexión producida por el filtro en la interfaz aire-vidrio, la cual está en función de la longitud de onda. Esta pérdida se describe por el factor de reflexión, $P(\lambda)$, que depende del índice de refracción n y de la longitud de onda como:

$$P(\lambda) = \frac{2n}{n^2 + 1} \quad (4)$$

Por tanto, $\tau(\lambda)$ depende del flujo incidente sin pérdida por reflexión, como:

$$\tau(\lambda) = \frac{I_{\lambda, transmitida}}{I_{\lambda, incidente}} \quad (5)$$

Dicho de otra manera, la transmitancia interna dada por la ecuación (3) depende del flujo de salida respecto al de entrada, el cual ha penetrado el vidrio. Por tanto $\tau_i(\lambda)$ describe la transmitancia del filtro por absorción sin considerar pérdidas por reflexión. Sin embargo, la transmitancia interna no puede ser medida directamente, pero puede ser relacionada mediante el factor de reflexión, como:

$$\tau(\lambda) = P(\lambda) \cdot \tau_i(\lambda) \quad (6)$$

En la *Figura 2* se muestra como ejemplo una curva de transmitancia típica con algunas propiedades ópticas de este tipo de filtros anchos cortadores.

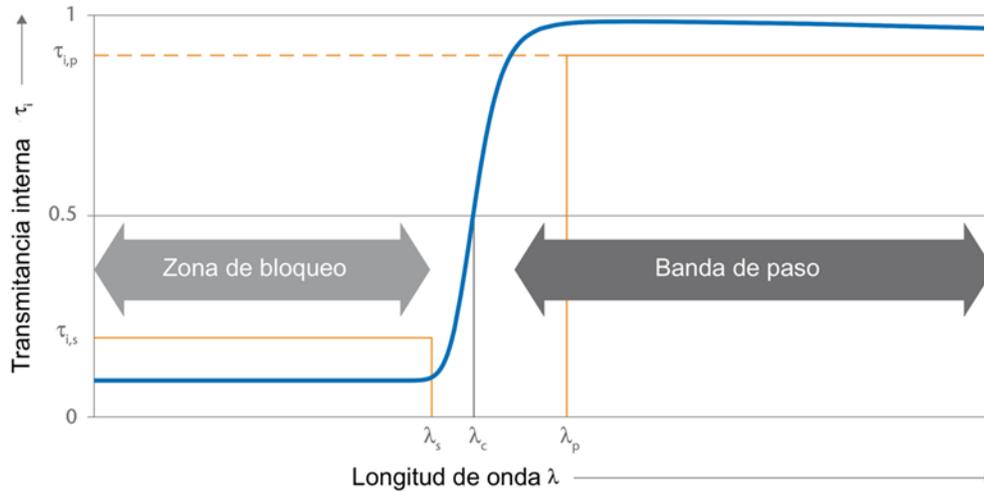


Figura 2: Tomada de Schott. Se muestran las zonas de bloqueo y paso de filtros anchos cortadores. En azul se muestra la curva de transmitancia. En la ordenada se tiene la transmitancia interna y, en la abscisa, la longitud de onda.

Para las características dadas en las tablas del proveedor tenemos ciertos valores definidos como la longitud de onda de corte, λ_c , en la cual la transmitancia interna es $\tau_i = 0.5$; la longitud de onda límite de bloqueo, λ_s , está definida como en la cual la transmitancia siempre está debajo del umbral, y la longitud de onda límite de banda de paso, λ_p , a partir de la cual la transmitancia interna no cae debajo de cierta transmitancia dentro de cierto intervalo espectral. En la Tabla 3 se muestran los valores físicos proporcionados por el proveedor para los filtros GG395 y OG550.

TABLA 3

Características de fábrica. Se listan las propiedades garantizadas por el fabricante Schott.

FILTRO	FACTOR DE REFLEXIÓN	VALORES ESPECTRALES	ÍNDICE DE REFRACCIÓN
GG395	P = 0.918	$\lambda_c(\tau_i = 0.5) = 3950\text{Å} \pm 60\text{Å}$ $\lambda_s(\tau_i = 10^{-5}) = 3400\text{Å}$ $\lambda_p(\tau_i = 0.92) = 4800\text{Å}$	$n_e(5461\text{Å}) = 1.510$ $n_d(5876\text{Å}) = 1.510$ $n_s(8521\text{Å}) = 1.510$ $n_t(10140\text{Å}) = 1.520$
OG550	P = 0.921	$\lambda_c(\tau_i = 0.5) = 5500\text{Å} \pm 60\text{Å}$ $\lambda_s(\tau_i = 10^{-5}) = 4800\text{Å}$ $\lambda_p(\tau_i = 0.93) = 6200\text{Å}$	$n_e(5461\text{Å}) = 1.510$ $n_d(5461\text{Å}) = 1.510$ $n_s(5461\text{Å}) = 1.510$ $n_t(5461\text{Å}) = 1.500$

Con la bayoneta instalada por el costado del Boller (ver *Figura 3*), se pueden posicionar estos filtros sobre el eje óptico, entre la rendija y el obturador. Con la bayoneta extraída completamente se tiene posicionada la bandeja con el hueco; con la bayoneta al primer tope, se tiene el filtro OG550 posicionado; al segundo y último tope se tiene posicionado el filtro GG395.

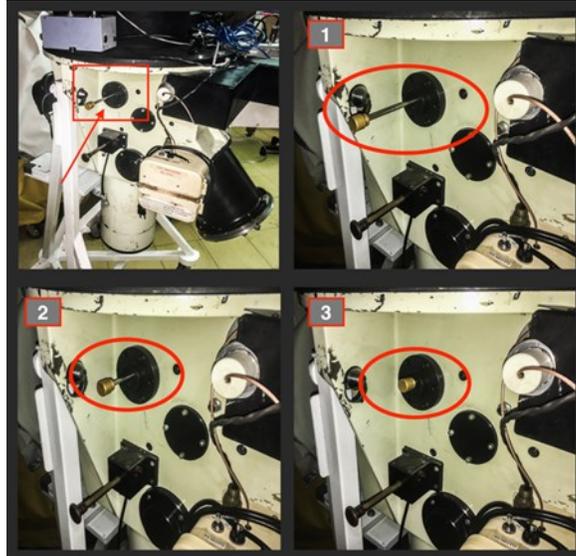


Figura 3: En el primer panel se muestra el costado Este del Boller, donde se encuentra la bayoneta de posicionado de filtros. En el panel marcado con 1 se muestra la primera posición de la bandeja con el hueco. En el panel 2, en la posición intermedia, la cual posiciona al filtro OG550. En el panel 3 la bayoneta queda completamente insertada, posicionando el filtro GG395.

Dentro de la recámara o *decker* (ver *Figura 4*) se muestra la posición del filtro OG550 situado en el eje óptico. En la imagen el obturador se encuentra abierto.

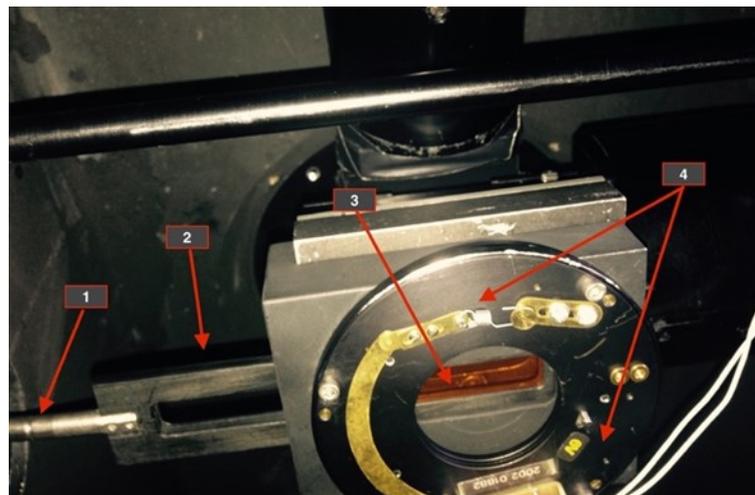


Figura 4: Posición de la bandeja de filtros entre el obturador y la rendija.
1. Bayoneta para posicionar la bandeja de filtros. 2. Bandeja de filtros. 3. Filtro OG550.
4. Base del obturador (se muestra abierto).

En la Figura 5 se muestra en otra perspectiva el mecanismo de filtros. En esa imagen el obturador está cerrado.

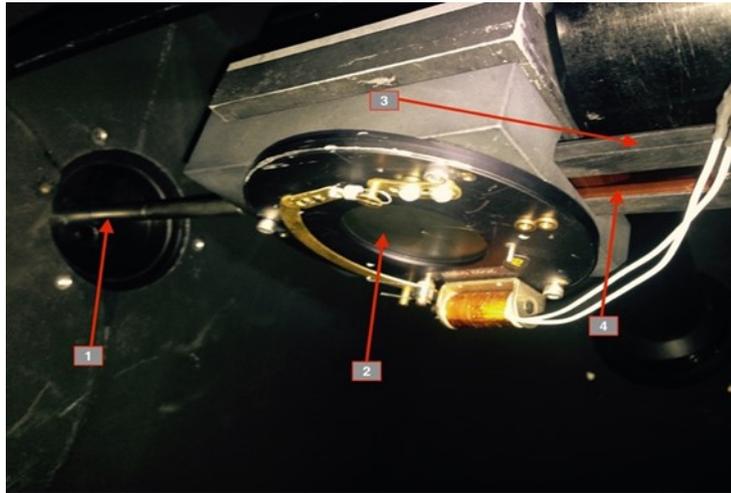


Figura 5: Posición de la bandeja de filtros entre el obturador y la rendija.
1. Bayoneta para posicionar la bandeja de filtros. 2. Obturador de pétalos.
3. Bandeja de filtros. 4. Filtro OG550.

3. TRANSMITANCIA DE LOS FILTROS GG395 Y OG550

Para verificar el estado de los filtros se adquirieron imágenes de calibración durante la temporada de mantenimiento del Boller & Chivens (55-Nuñez 2016B OAN-SPM). Se obtuvieron *flats* del domo en las mismas circunstancias: misma posición de telescopio, intensidad de iluminación constante, apertura de rendija, misma rejilla, mismo ángulo de *decker* y mismo tiempo de integración. La única variable fue la posición de los filtros.

Se obtuvieron imágenes de *flats* sin filtro, con los filtros OG550 y el GG395 a cinco segundos de integración cada uno, se adquirió el espectro de la lámpara de comparación de CuHeNeAr para la calibración en longitud de onda y se adquirieron imágenes *bias*. Se utilizó la rejilla de 150 l/mm (blaze $3^{\circ}26'$) y rotada en el *decker* a 4° . Se procesaron y calibraron las imágenes usando IRAF. Se eligió la rejilla de 150 líneas por milímetro ya que esta cubre gran intervalo espectral del óptico.

Una vez calibradas las imágenes se calcularon las curvas de transmitancia dividiendo los *flats* sin filtro respecto a los *flats* con filtro. En la Figura 6 se muestran las curvas de luz de los *flats* correspondientes, así como su correspondiente imagen FITS. El procedimiento consistió en usar las mismas regiones sobre las imágenes FITS, se extrajo la intensidad de brillo en todos los renglones sobre las columnas (el eje espacial), se eligió un área efectiva con la mayor cantidad de píxeles sobre el eje espacial sin involucrar las orillas. De la intensidad de cada columna se reprodujo la curva de luz respecto a la longitud de onda. Posteriormente se hace un cociente de punto a punto sobre la intensidad de brillo de los *flats* sin filtro respecto a cada uno de los *flats* con filtro.

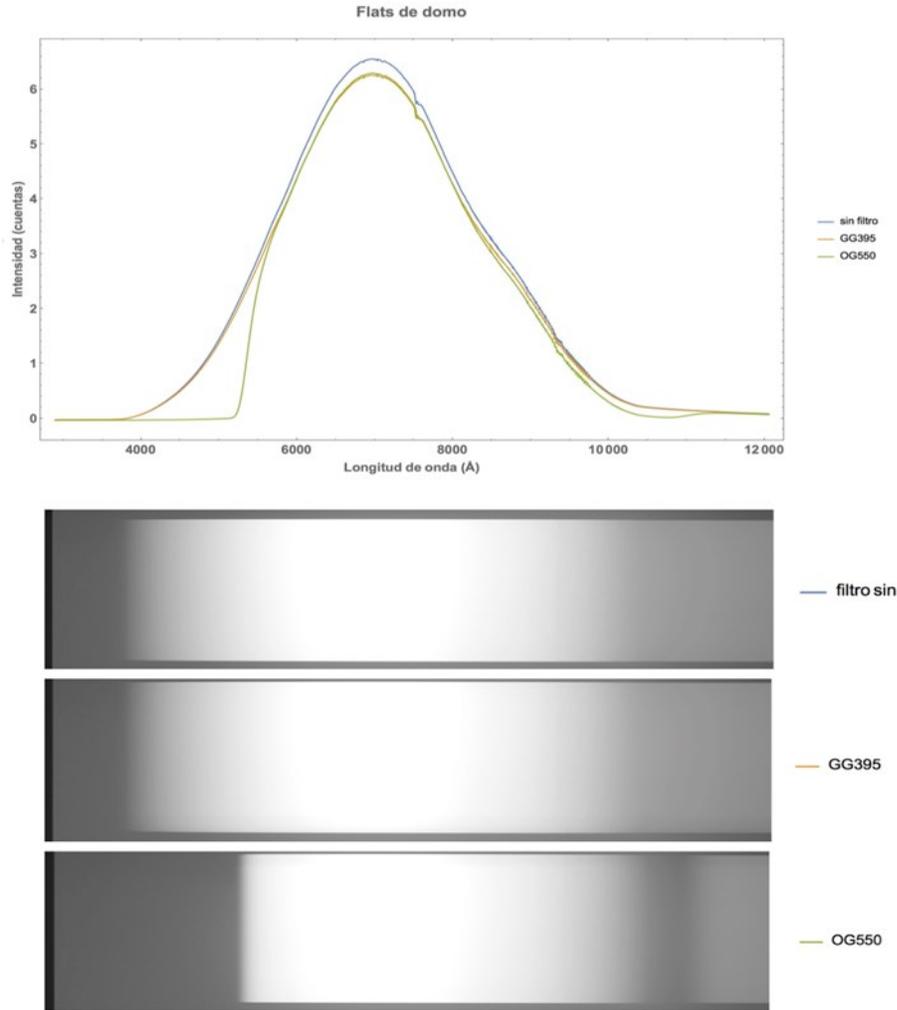


Figura 6: En el panel superior se muestran las curvas en intensidad media de los flats de domo. En el panel de abajo se muestra en escala de grises el despliegue de los archivos FITS de los flats.

El resultado para cada uno de los filtros está mostrado en la *Figura 7*. Para reproducir la curva correcta es necesario usar la ecuación (6) para cada una de las curvas de transmitancia usando los valores del factor de reflexión listados en la *Tabla 3* para cada filtro. Con esto, se miden los parámetros correspondientes en cada curva para verificar el estado de los filtros. Estos valores están listados en la *Tabla 4* siendo consistentes con los valores de fábrica. Esto quiere decir que los filtros instalados en el Boller permanecen sin degradación de sus propiedades ópticas debido al paso del tiempo. Los valores de las curvas de transmitancia son confiables en el intervalo óptico (entre > 2500 y < 8000 Å), más allá de 8000 Å, al rojo del espectro, tenemos presentes franjas de interferencia en el CCD lo que produce un ruido en la curva de transmitancia. Sin embargo, este ruido es sutil en algunos espectros. Las franjas de interferencia conocidas también como efecto *etaloning* son producidas por el material del CCD retroiluminado debido a la interferencia de la luz que pasa a través del sustrato de silicio; este efecto puede ser atenuado en el procesado y calibrado de los espectros usando tareas estándar en IRAF.

Nota: no se hace corrección de respuesta del *flat* ya que estamos procesando las curvas con *flats*, para que de esta manera no se introduzca error en la medición de la transmitancia.

El espectrógrafo y el CCD están optimizados para detectar luz en el óptico, y con estas rejillas podemos alcanzar longitudes de onda de otros órdenes. Con esto se tiene que, para ciertos ángulos de rejilla, tendremos distintos órdenes que pueden contaminar el espectro, inclusive, aparentemente, en el lado infrarrojo entre .8 y 1.2 μm .

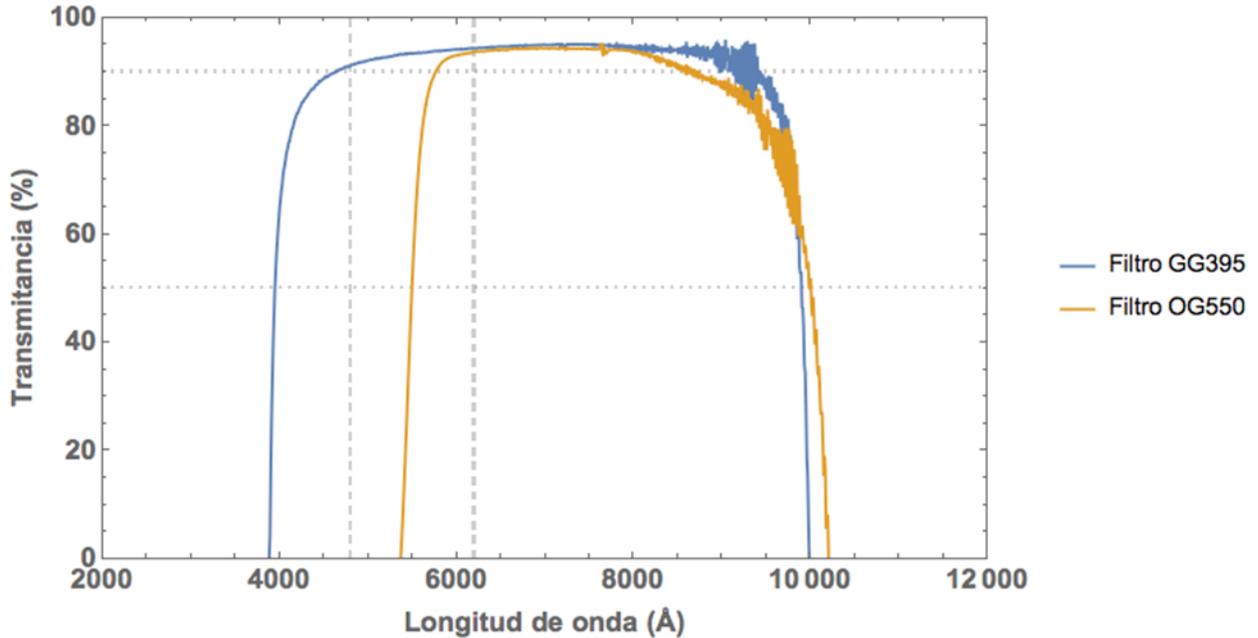


Figura 7: Curvas de transmitancia porcentual. Las líneas verticales punteadas en gris representan las longitudes de onda λ_p de izquierda a derecha, GG395 y OG550, respectivamente. La línea horizontal punteada en gris, a 50% indica la longitud de onda de corte en la intersección con las curvas de transmitancia del lado izquierdo de la gráfica.

Como se ha mencionado, las imágenes se adquirieron en las mismas condiciones. La intensidad de luz fue constante en todo momento y, el telescopio y domo, permanecieron detenidos en la misma posición (así como todos los demás componentes ópticos y mecánicos). Se adquirieron cinco imágenes (en configuración de *flats* de domo) por cada filtro y cinco imágenes sin filtro para combinar por mediana el valor del brillo en cuentas; no es necesario calibrar en flujo ya que de la ecuación (5) se obtiene un valor adimensional. Usando la paquetería de IRAF se verificó la desviación estándar de las cinco imágenes y el valor de la moda respecto al valor de la combinación de las mismas, con la diferencia de este valor se obtuvo un error menor al 1%. No se incluye otro error ya que el camino óptico se encuentra en las mismas circunstancias también, y no hay variables en la configuración usada que permitan un error sistemático por los instrumentos.

El error en longitud de onda fue calculado con IRAF durante la calibración, se considera la media en pixeles del ancho de varias líneas del espectro de Cu-Ne-Ar de comparación. Este valor es multiplicado por la línea de base en lambda calculada en IRAF, con esto se obtiene un ancho en lambda promedio de 30Å.

TABLA 4

Se muestran en verde los valores medidos en este trabajo comparados con los valores de la Tabla 3 del fabricante. Esto muestra que no hay degradación en los filtros.

FILTRO	FACTOR DE REFLEXIÓN	VALORES ESPECTRALES
GG395	P = 0.918	$\lambda_c(\tau_i = 0.5) = 3945\text{Å} \pm 30\text{Å}$ $\lambda_s(\tau_i = 10^{-5}) = 3400\text{Å}$ $\lambda_p(\tau_i = 0.913) = 4800\text{Å}$
OG550	P = 0.921	$\lambda_c(\tau_i = 0.5) = 5501\text{Å} \pm 30\text{Å}$ $\lambda_s(\tau_i = 10^{-5}) = 4800\text{Å}$ $\lambda_p(\tau_i = 0.937) = 6200\text{Å}$

Hemos mencionado que estos filtros bloquean la luz azul de segundo orden del espectro de una fuente, que puede estar contaminando la parte roja del espectro; este orden depende del ángulo (ecuaciones 1 y 2) y considerando la naturaleza de la fuente. Por ejemplo, estrellas cuyo máximo en la curva de radiación de cuerpo negro esté en cierta longitud de onda, se deberá escoger un filtro cuya λ_c de corte esté por el lado azul de ese máximo si se requiere obtener información del tipo espectral, o bien rotar el *decker* apropiadamente para desplazar la posición en longitud de onda sobre el detector. No obstante, sólo basta con saber en qué ángulos e intervalos de longitudes de onda se encontrará traslape de órdenes y con esto elegir el filtro adecuado. En la Tabla 5 se muestran los valores obtenidos de la ecuación (2) considerando las rejillas empleadas con el Boller en el telescopio de 2.1m del OAN-SPM.

TABLA 5

Ángulos de rejilla y longitudes de onda para el primer y segundo orden.
Se muestran los ángulos a los cuales hay traslape de órdenes.

150 l/mm λ (Å)	m1 grados (°)	m2 grados (°)	300 l/mm λ (Å)	m1 grados (°)	m2 grados (°)	400 l/mm λ (Å)	m1 grados (°)	m2 grados (°)
2000	1.71945	3.43891	2000	3.43891	6.87782	2000	4.58521	9.17044
3000	2.57918	5.15837	3000	5.15837	10.3167	3000	6.87782	13.7557
4000	3.43891	6.87782	4000	6.87782	13.7557	4000	9.17044	18.3409
5000	4.29864	8.59728	5000	8.59728	17.1946	5000	11.4631	22.9262
6000	5.15837	10.3167	6000	10.3167	20.6336	6000	13.7557	27.5116
7000	6.01809	12.0362	7000	12.0362	24.0726	7000	16.0483	32.097
8000	6.87782	13.7557	8000	13.7557	27.5116	8000	18.3409	36.6825
9000	7.73755	15.4751	9000	15.4751	30.9506	9000	20.6336	41.268
10000	8.59728	17.1946	10000	17.1946	34.3897	10000	22.9262	45.8536
600 l/mm λ (Å)	m1 grados (°)	m2 grados (°)	1200l/mm λ (Å)	m1 grados (°)	m2 grados (°)			
2000	6.87782	13.7557	2000	13.7557	27.5116			
3000	10.3167	20.6336	3000	20.6336	41.268			
4000	13.7557	27.5116	4000	27.5116	55.0251			
5000	17.1946	34.3897	5000	34.3897	68.7832			
6000	20.6336	41.268	6000	41.268	82.5425			
7000	24.0726	48.1464	7000	45.8536	96.3032			
8000	27.5116	55.0251	8000	55.0251	110.066			
9000	30.9506	61.904	9000	61.904	123.83			
10000	34.3897	68.7832	10000	68.7832	137.597			

Para poner en contexto esto, se observó la estrella HR7596 ($\alpha = 19^h 54^m 44^s$, $\delta = +00^\circ 16' 20''$, J2000) de tipo espectral B9IV con la rejilla de 150 l/mm (blaze $3^\circ 26'$) y rotada en el *decker* a 4.0° . Así como la estrella HD93521 ($\alpha = 10^h 48^m 23^s$, $\delta = +37^\circ 34' 13''$, J2000) de tipo espectral O9.5IIIInn con la rejilla de 300 l/mm (blaze $4^\circ 18'$) rotada a en el *decker* a 6.0° usando una rendija a 150 μm de apertura, obteniendo así espectro sin filtro y con el filtro OG550 de la estrella 58 Aql y, sin filtro y con filtro GG395 de la estrella HD93521. En las Figuras 8 y 9 se muestra el efecto que produce el uso del filtro OG550. En el espectro sin filtro se aprecia, en la parte roja, un bulto en el continuo entre 8000 y 10000 Å y se aprecian varias líneas de absorción que

proviene del segundo orden del mismo espectro. En el espectro con el filtro OG550 se aprecia la zona de corte y la emisión del continuo con los órdenes contaminantes suprimidos.

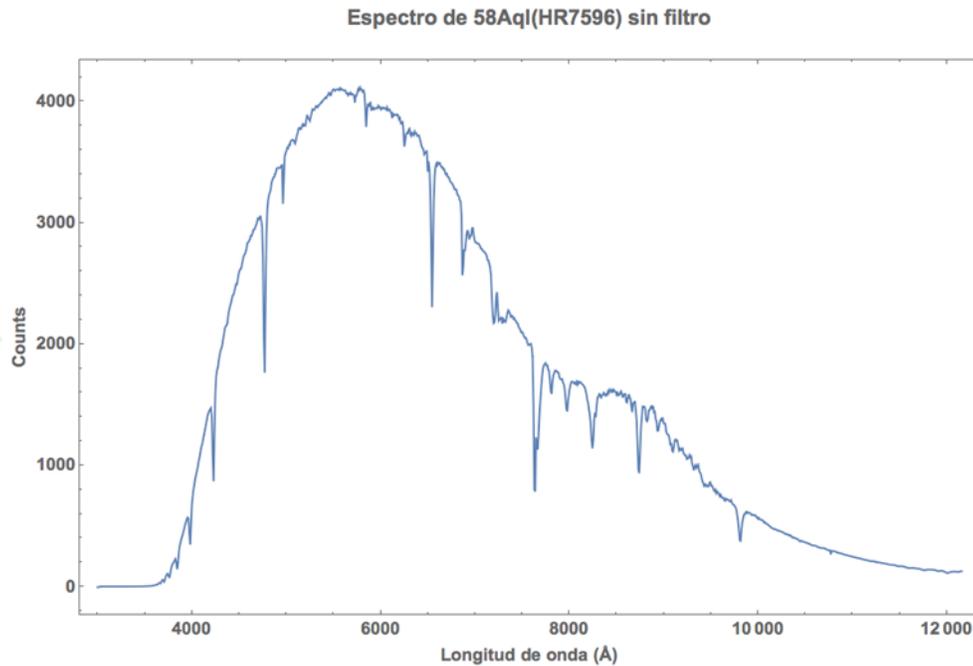


Figura 8: Espectro de HR7596 adquirido sin filtro. Se aprecia una joroba en la curva entre 8000 y 10000 Å.

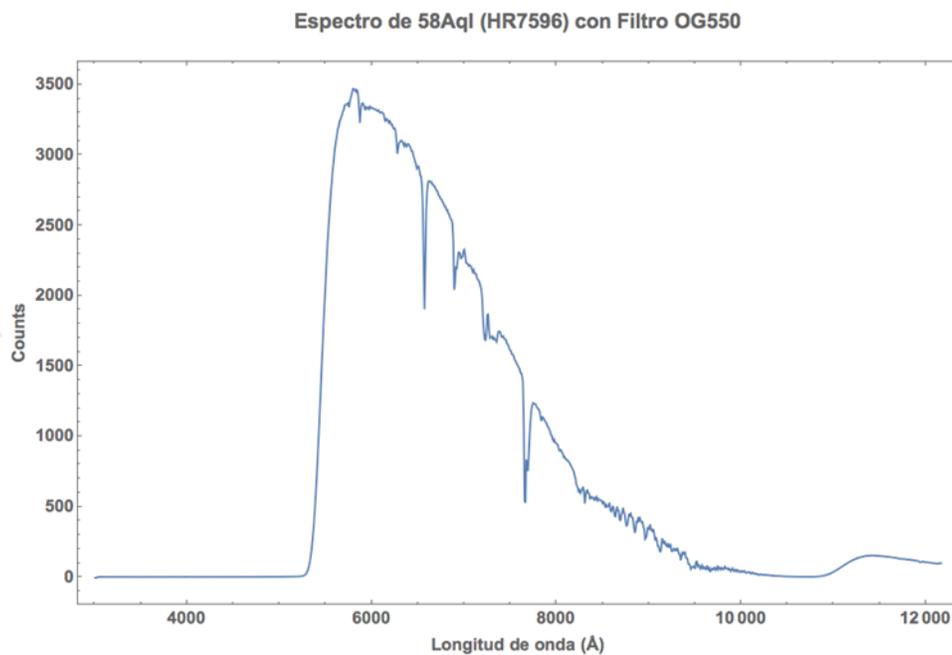


Figura 9: Espectro de HR7596. Espectro adquirido con el filtro OG550. Se muestra suprimida la contaminación de otros órdenes alrededor de 8000 y 10000 Å. Se hacen notorias las franjas de interferencia por efecto de etaloning.

En la *Figura 10* se muestra el efecto que produce el filtro GG395. En el espectro sin filtro se aprecia, alrededor de 5000 Å, un levantamiento del continuo debido a las contribuciones de órdenes más altos. No se aprecian líneas de absorción o emisión predominantes de otro orden. Podrían estar suprimidas estas líneas provenientes de otros órdenes debido a la óptica del espectrógrafo y a la sensibilidad del detector en el extremo azul del espectro (más eficiente en conjunto en el lado rojo del espectro); la contribución más importante se podría dar en el continuo como en el caso presentado aquí.

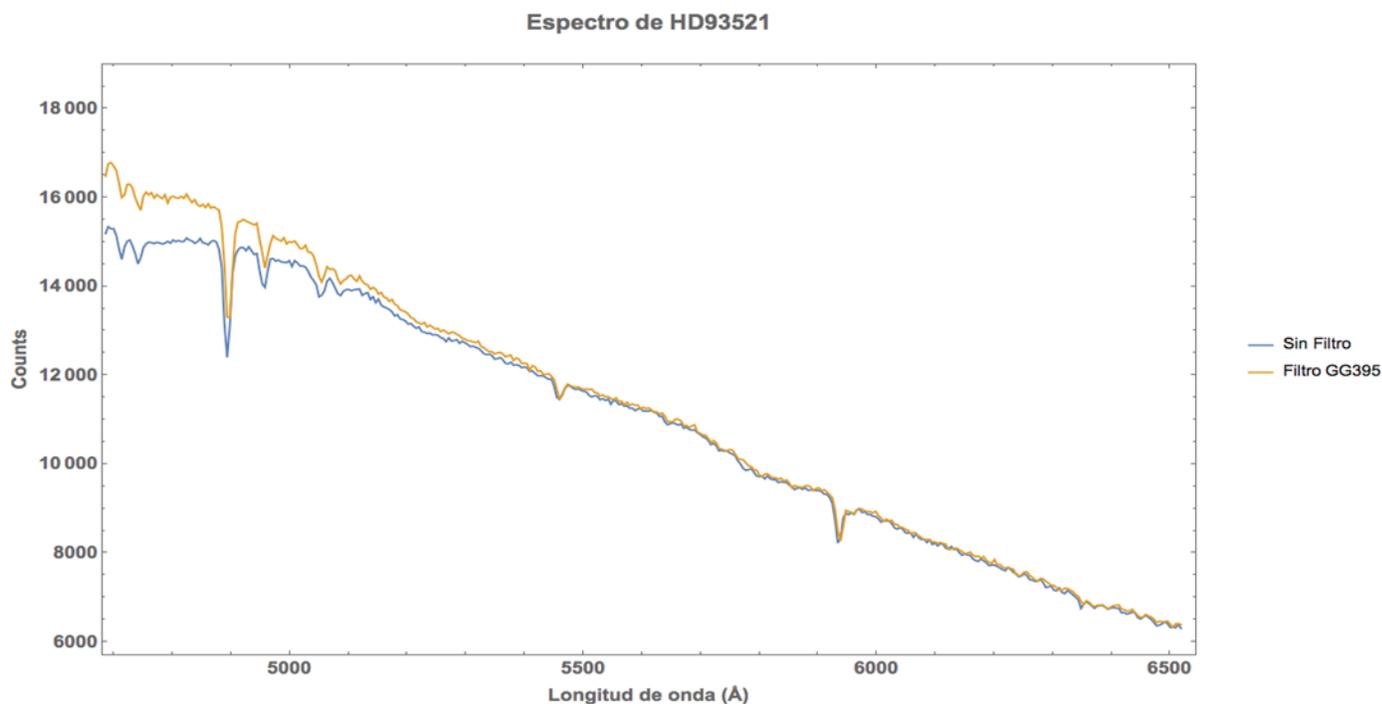


Figura 10: Espectros de HD93521. Se muestran superpuestos los espectros de esta estrella observadas sin filtro y con filtro GG395. En la curva en color azul se muestra suprimida la contribución de órdenes más altos, siendo despreciables o poco notables a más de 5500 Å para este caso.

4. CONCLUSIONES

Se ha hecho la caracterización de los filtros GG395 y OG550 instalados en el Boller & Chivens. Se calculó la curva de transmitancia donde se estima que ambos filtros transfieren aproximadamente 91% y 93% en la región de banda de paso. El resultado de los parámetros físicos medidos para cada filtro nos permite comparar con los valores o especificaciones del fabricante, concluyendo que los filtros no se han degradado con el paso de al menos una década de su último reporte de estado. Se muestra un par de ejemplos del uso de los filtros empleando la rejilla de 150 y 300 líneas por milímetro, respectivamente, donde se muestra el efecto de usar filtros para eliminar la luz contaminante que proviene del segundo orden o de órdenes más altos. También se mostraron los procedimientos de posicionado de los filtros usando la bayoneta para que el usuario

pueda saber qué filtro está posicionado en el eje óptico. Se sugiere considerar estos filtros para su rechazo o reevaluación si la transmitancia es reducida en un 10% pues representaría una pérdida considerable de luz pudiendo limitar la detección de fuentes astronómicas débiles o, en su defecto, alargando los tiempos de observación astronómica por mayor tiempo total de obturación. Así mismo, si un censo posterior llegare a mostrar demasiadas variaciones o pendientes a lo largo de la meseta de la curva de transmitancia, podría representar una degradación en la homogeneidad de los filtros, para lo cual se sugeriría realizar una prueba de Ronchi (C. Tejada & J. Herrera, 2014) de dichos filtros.

5. REFERENCIAS

- [1] The Perkins-Elmer Corporation Boller & Chivens Division. JOB 59007, Pasadena, California. 1975.
- [2] Gasvik, K. J. “Diffraction”, *Optical Metrology*, chap. 4, 3rd ed. Ed. Wiley, New York, 2012.
- [3] M. Richer, “El nuevo mecanismo de filtros para el espectrógrafo Boller & Chivens” Observatorio Astronómico Nacional, San Pedro Mártir
http://www.astrossp.unam.mx/~sectec/web/instrumentos/bchivens/filtros/filtros_nuevo.htm
2006.
- [4] SCHOTT Advanced Optics,
http://www.us.schott.com/advanced_optics/english/
- [5] C. Tejada y J. Herrera. “Pruebas de Ronchi y de uniformidad visual de varias series de filtros del OAN.”
Publicaciones Técnicas del Instituto de Astronomía, UNAM.
Comunicación Interna CI-2014-03.
México, 2014.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todo el personal técnico académico del Observatorio Astronómico Nacional que opera en la Sierra de San Pedro Mártir, así como al personal administrativo, por el gran apoyo técnico brindado, así como los servicios brindados en el OAN-SPM para poder llevar a cabo nuestras tareas académicas.

PFGR agradece al Dr. Joel Herrera Vázquez por sus comentarios y discusiones privadas en estos temas que han enriquecido este documento.

Agradecemos al revisor anónimo que ha enriquecido este trabajo con sus comentarios.

