

Filtros de banda estrecha

I. Rodríguez and O. Lehmkuhl

January 8, 2008

1 Características de los filtros

En un filtro de banda estrecha los parámetros más importantes a tener en cuenta son el FWHM (o ancho de banda), su máxima transmisividad y el bloqueo fuera-de-banda. Para seleccionar correctamente un filtro de banda estrecha es necesario conocer y entender cada una de estas características. Intentaremos explicarlas a continuación:

FWHM o ancho de banda

El término técnico FWHM (del inglés Full-Width at Half-Maximum; ancho total a la altura media del perfil dado) es una medida del ancho de una distribución. En astrofotografía se usa como una medida del ancho de una estrella en una imagen medida en la mitad de la curva de Gauss de su flujo. El perfil gaussiano de una estrella en una foto astronómica viene dado matemáticamente por:

$$f(x) = \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

Esta expresión se puede representar gráficamente según la figura 1

En un filtro, el FWHM o ancho de banda puede ser definido como el el ancho medido a la mitad de la transmisión máxima. El ancho de banda describe el tamaño de un segmento espectral. Un ancho de banda de 10nm indica un rango de 10nm de radiación. El ancho de banda de un filtro, se mide por tanto unidades de longitudes de onda, o sea en nanómetros (ver figura 2).

El ancho de banda de un filtro de banda estrecha es función del ángulo de incidencia de la luz. Este ángulo de incidencia puede calcularse fácilmente en función de la relación focal del telescopio utilizando sencillas relaciones trigonométricas. En la fig 3 se muestra el cono de luz que se produce como resultado de que el telescopio recibe una cantidad de luz que enfoca en un punto. El ángulo que forma el cono de luz se puede calcular como:

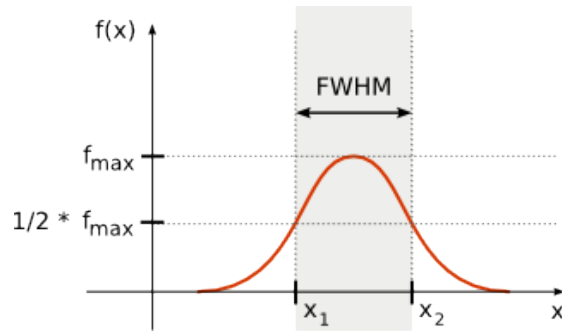


Figure 1: Representación del FWHM de una distribución gaussiana

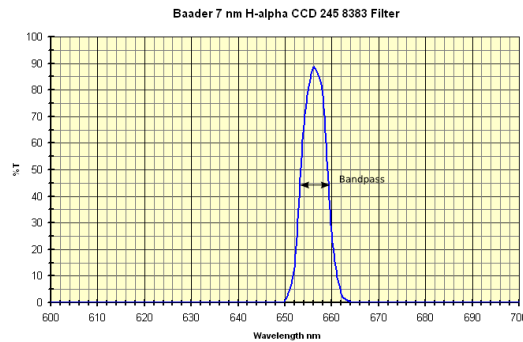


Figure 2: Representación del ancho de banda de un filtro

$$\theta = \tan^{-1} \frac{D}{2F} \quad (2)$$

donde D es el diámetro del tubo o apertura y F es la longitud focal. Si la relación focal de un telescopio es $f = F/D$, entonces se puede re-escribir la expresión anterior como:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{1}{2f} \quad (3)$$

La combinación de un cono de luz pronunciado y aperturas grandes limitan el uso de filtros de banda estrecha a sistemas lentos¹. En esta situación, la longitud de onda a la que transmite un filtro se desplaza hacia longitudes de onda más cortas a medida que aumenta el ángulo de incidencia de la luz. Por tanto esta situación puede afectar (reducir) la eficiencia de un filtro.

La siguiente expresión puede usarse para determinar el desplazamiento en la longitud de onda de un filtro para ángulos de incidencia hasta 15 grados:

¹Por un sistema lento se entiende como aquel sistema con relaciones focales iguales o mayores que $f/4$

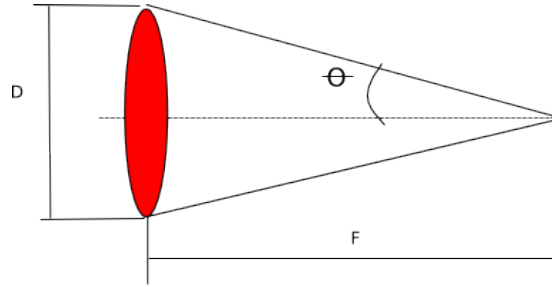


Figure 3: Angulo del cono de luz

$$\lambda_{\theta} = \lambda_0 \left[1 - \left(\frac{N_e}{N_f} \right)^2 \sin^2 \theta \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

donde λ_{θ} es la longitud de onda al ángulo de incidencia, λ_0 es la longitud de onda para condiciones de incidencia normal (perpendicular a la superficie), N_e es el índice de refracción del medio exterior, N_f es el índice de refracción del filtro y θ es el ángulo de incidencia.

Para telescopios rápidos (más rápidos de $f/4$), filtros con un ancho de banda menor de $13nm$ puede resultar en una degradación de su eficiencia. Para sistemas lentos, se recomienda filtros con ancho de banda más estrecho ya que reafirma el efecto del filtro.

1.1 Transmisividad máxima

La relación entre el poder radiante transmitido a través del filtro respecto al poder radiante incidente se define como la transmisividad del filtro. Un filtro con una transmisividad de un 50% (para una longitud de onda determinada) absorberá un 50% de la radiación incidente y transmitirá el otro 50%. Mientras mayor sea la transmisividad del filtro a la longitud de onda de paso (p. ej. a $656.3nm$ para el caso de los filtros de $H\alpha$), su eficiencia será mayor.

1.2 Bloqueo fuera de banda

Se define como la atenuación de la radiación incidente a una longitud de onda diferente que la longitud de onda de paso. Es importante que un filtro de banda estrecha sea capaz de bloquear toda la radiación no deseada, para todas las longitudes de onda diferentes que la de su ancho de banda, a la cual debe mantener la transmisividad al máximo. Un buen bloqueo fuera de banda del filtro puede permitir conseguir altas relaciones señal-ruido (SNR- del inglés signal to noise ratio) y un mayor contraste, incluso con una luna brillante en las inmediaciones o bajo cielos polucionados.

2 Como seleccionar un filtro

Existe una gran variedad de filtro para diferentes longitudes de onda (es decir $H\alpha$, [OIII], [SII], etc.) en el mercado. Todos ellos también a una gran variedad de precios dependiendo de sus prestaciones y del fabricante (Astrodon, Astronomik, Baader, etc.). Estos filtros son comercializados también a diferentes anchos de banda (6nm, 7nm, 10nm, 13nm, etc.). Por tanto, una selección del filtro más adecuado para cada caso puede resultar cuanto menos complicada. No encontraremos una respuesta única a la pregunta de ¿cuál es el filtro más adecuado?. Esta respuesta dependerá de que sistema óptico utilizas y (quizás la más importante) a cuanto asciende tu presupuesto. Solo unos cuantas notas: para el mismo ancho de banda, mientras mayor sea la transmitancia mejor. Por otra parte, para la misma transmitancia, mientras menor sea el ancho de banda mejor. En ambos casos la relación señal ruido aumentará.

Otro aspecto a tener en cuenta cuando se planea comprar filtros de banda estrecha es si además del comunmente empleado filtro de $H\alpha$ se desea comprar también los filtro de [SII] y [OIII]. En este caso una buena recomendación es que los filtros sean parfocales². Esto podría eliminar la necesidad de re-enfocar cuando se produce el cambio de filtro.

3 Cómo detectar dónde se producen los halos

Un problema bastante usual cuando se utilizan fotos con filtros(aunque no siempre es la única causa) es que a veces aparecen los antiestéticos halos alrededor de las estrellas. Estos halos dependen de la configuración utilizada, pero también pueden ser debidos a un funcionamiento defectuoso del recubrimiento antireflectante en los elementos del sistema óptico cerca de la imagen. Esta situación se puede ver agravada en sistemas rápidos. EL factor dominante en estos sistemas es el pronunciado ángulo de incidencia. A medida que aumenta el ángulo de incidencia los recubrimientos pueden tener un incremento en la reflexión. A mayor cantidad de luz reflejada por las superficies ópticas, mayor será la probabilidad que aparezcan halos. En sistemas rápidos aún con las mejores superficies antireflectantes las imágenes pueden presentar halos. Estos límites lo impone la física.

La cuestión más importante es poder saber entre cuales superficies se están produciendo las reflexiones que producen los halos en el CCD. A continuación intentaremos comentar algunos pasos que pueden ser útiles a la hora de buscar la causa de los antiestéticos halos. Información adicional sobre este tema puede encontrarse en [1].

- El primer paso es si estás haciendo fotos con diferentes filtros (sean RGB or Ha [OIII] [SII]) es detectar si los halos se reproducen en las diferentes imágenes tomadas con los diferentes filtros. Esto ayudaria a descartar la causa de que las reflexiones son dependientes de la longitud de onda (o del

²enfocan en el mismo punto de enfoque

ancho de banda) que se está utilizando. Si hay halos en todas las imágenes esta es la primera evidencia de que existen reflexiones entre las superficies.

- En segundo lugar, calcularemos el tamaño del halo en el CCD. Para ello primeramente mediremos el número de píxeles que contiene el halo (diámetro del halo en la imagen). Esto puede hacerse realizando un “stretching” del histograma de la imagen hasta que aparezca el halo. Su tamaño en mm será:

$$\text{diámetro halo en el CCD} = \text{diámetro en píxeles} \cdot \text{tamaño pixel} \quad (5)$$

donde el tamaño del píxel es en mm. Si la foto se ha realizado en binning, p.ej. 2x2, entonces se tendrá que multiplicar el tamaño del píxel por 2.

- A continuación determinaremos donde se produce la reflexión. Para esto, se ha de localizar a que distancia del chip está la causa. De una manera similar a cuando calculamos la distancia focal del telescopio a partir de la relación focal y el diámetro, es posible calcular la distancia del chip a la que se produce la reflexión como:

$$\text{distancia reflexión} = f \cdot \text{diámetro halo} \quad (6)$$

En la figura 4 cada halo es causado por reflexiones diferentes: entre la ventana de entrada de la CCD y el filtro, entre el chip y la ventana de entrada, debidas al espesor de la ventana de entrada. En todas las situaciones **la distancia a la que de produce la reflexión es dos veces la distancia entre las superficies que causan la reflexión**. En la figura no está representado pero la cubierta del chip también puede causar una reflexión.

References

- [1] <http://www.astrodon.com/documentation/documentation.cfm?DocID=3>

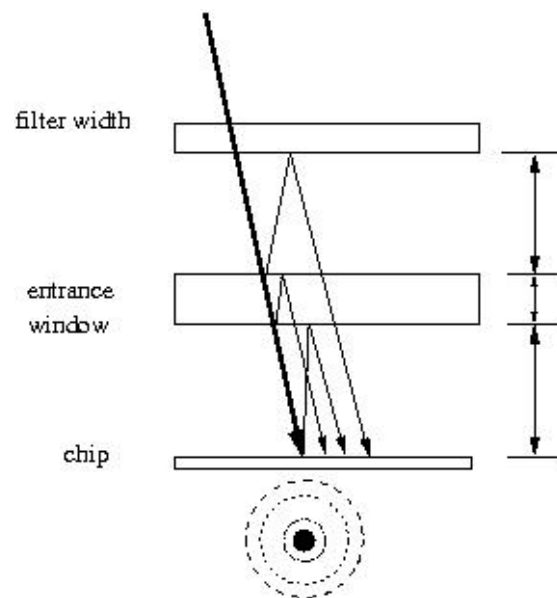


Figure 4: Diagrama de las diferentes superficies desde el filtro al CCD