

Fotometría estándar en el sistema B-V-R

1 Introducción

A la hora de hacer fotometría de precisión necesitamos hacer medidas con filtros. Si nuestras curvas de sensibilidad espectral son diferentes de las del sistema estándar (como suele ocurrir en la mayoría de los casos), nuestros datos fotométricos contendrán errores y no se podrán comparar con los obtenidos en otros observatorios. Nuestro conjunto de filtros no suele ser perfecto y puede ocurrir que por ejemplo el filtro R (rojo) no tenga el máximo de transmisión en el estándar R, sino que se halle desplazado algunas longitudes de onda, de igual manera puede ocurrir con el filtro B y V. Así pues resulta obvio que para poder comparar las medidas realizadas con nuestros filtros es necesario hacer una *calibración* que nos permita comparar nuestros valores con los estándar. Esta calibración pasa por determinar los denominados *coeficientes de transformación*.

2 Coeficientes de transformación

La nomenclatura convencional establece que para las magnitudes *instrumentales*, que por definición son las obtenidas directamente con nuestro sistema, se empleen las letras minúsculas, (b, v, r), correspondientes respectivamente al azul, visual y rojo. Estas magnitudes están directamente relacionadas con las cuentas medidas con nuestro dispositivo CCD mediante las expresiones

$$v = -2.5 \log(ADU_v) \quad (1)$$

$$r = -2.5 \log(ADU_r) \quad (2)$$

donde las siglas ADU se refieren a *analog-digital units*, es decir las unidades de flujo electrónico registrado por la CCD en el lugar de la imagen donde se ha detectado la estrella. Estas unidades o cuentas de flujo han de estar convenientemente compensadas por las tomas oscuras (dark) y por las tomas planas (flat) de la CCD para así dar cuenta real de la luminosidad inherente a la propia estrella. Cada una de estas cuentas es diferente según el tipo de filtro empleado.

Estas magnitudes instrumentales v y r han de extrapolarse a sus valores fuera de la atmósfera teniendo en cuenta la masa de aire. En cualquier caso el cálculo de los coeficientes de transformación se hace con unas estrellas de referencia del catálogo Landolt las cuales se hallan cerca del ecuador. La calibración ha de hacerse con las estrellas cerca del cenit. De esa manera los errores inherentes al efecto atmosférico quedan contemplados dentro de los ajustes que se hagan. Las magnitudes instrumentales fuera de la atmósfera

se representan con el subíndice 0, es decir, v_0 y r_0 . Así pues hemos de encontrar una forma de relacionar las magnitudes estándar V y R con las instrumentales v_0 y r_0 . Suponiendo una variación de tipo lineal podemos escribir

$$(V - R) = T_{vr} \cdot (v_0 - r_0) + Z_{vr} \quad (3)$$

$$(V - v_0) = T_v \cdot (V - R) + Z_v \quad (4)$$

En estas expresiones T_{vr} y T_v son los *coeficientes de transformación* y Z_{vr} y Z_v son coeficientes de punto cero y que dependen de cada noche. Las ecuaciones no son más que un ajuste lineal por mínimos cuadrados, fácilmente calculable con cualquier programa de tratamiento de datos.

Por lo comentado anteriormente, en la ecuación 3 podemos tomar las magnitudes instrumentales directamente si trabajamos en un campo de estrellas Landolt. Esta ecuación se puede expresar de otra manera algo más conveniente mediante la fórmula

$$[(V - R) - (v - r)] = m \cdot (V - R) + b \quad (5)$$

con lo que la pendiente m está relacionada con el coeficiente T_{vr} por

$$T_{vr} = \frac{1}{1 - m} \quad (6)$$

Los coeficientes T_{vr} y T_v así obtenidos son los que nos van a poder permitir pasar nuestra fotometría instrumental a fotometría estándar VR. Estos coeficientes de transformación han de calcularse cuidadosamente una vez por año. La razón de ello es que alguno de los parámetros de nuestro observatorio pueden cambiar lentamente, como el recubrimiento óptico de lentes y espejos, el polvo o la suciedad y también cambios sutiles en la transmitancia de los filtros. Lo ideal sería hallarlos en varias noches sucesivas y ver si cambian de manera notable, lo cual indicaría si se ha modificado mucho la calidad del cielo de una noche a otra.

3 Fotometría en el sistema estándar

Los coeficientes de transformación no son obligatorios en la mayoría de los casos de estudio de fotometría de estrellas variables porque la cartas de la AAVSO ya dan estrellas de comparación en filtros V bastante bien definidos. Tampoco son necesarios para la determinación de curvas de luz de asteroides ya que en estos solo se requiere la magnitud diferencial. Sin embargo hay casos en los que sí es necesario determinar la magnitud relativa verdadera de una estrella y entonces ya es obligatorio el cálculo de los coeficientes de transformación. El procedimiento para expresar nuestra fotometría en el sistema estándar pasa por tres puntos: (1) determinar los coeficientes de transformación T_{vr} y T_v , (2) tomar los datos de fotometría cada noche, y (3) reducir nuestros datos al sistema estándar. El

punto (2) referente a tomar datos cada noche contiene a su vez otros tres puntos: cada noche hemos de recoger datos que nos permitirán calcular la extinción atmosférica y los coeficientes de punto cero para los filtros V y R y con ello hacer la fotometría estándar de nuestro objeto a estudiar. Un esquema del proceso a seguir es el siguiente:

1. Una vez por año determinar los coeficientes de transformación.
2. Cada noche tomar datos que nos permitan:
 - Determinar la extinción atmosférica en las bandas v y r;
 - Determinar los coeficientes de punto cero en las bandas v y r;
 - Tomar datos fotométricos del objeto a estudiar en las bandas v y r.
3. Realizar la reducción de datos para expresar nuestros resultados en el sistema estándar VR:
 - Calcular la magnitud estándar V y el índice de color para cada estrella de comparación cada noche;
 - Calcular la magnitud estándar V y el índice de color del objeto a estudiar.