

# Cálculo de enrojecimiento a partir de datos fotométricos

Mérida, 12 de noviembre de 2003

## 1 Definiciones

La luz que proviene de las estrellas se atenúa como consecuencia de la dispersión y absorción del medio interestelar. Aunque incluye dos fenómenos físicos diferentes, los astrónomos se refieren a dicha atenuación de manera genérica como *absorción*. La absorción del medio interestelar es función de la longitud de onda de la luz observada.

### 1.1 Extinción

La extinción  $A_{\lambda_p}$ , para determinada longitud de onda o banda fotométrica  $\lambda_p$ , es por definición la diferencia entre la magnitud aparente observada de la estrella  $m^{obs}$  y su magnitud aparente intrínseca  $m^{int}$ :

$$A_{\lambda_p} \equiv (m^{obs} - m^{int})_{\lambda_p} \quad (1)$$

Entendemos por intrínseca, a la magnitud en ausencia de extinción interestelar la cual ser'a suministrada por ls modelos.

### 1.2 Enrojecimiento o exceso de color

El enrojecimiento  $E(m_{\lambda_p} - m_{\lambda_q})$ , para determinado color  $m_{\lambda_p} - m_{\lambda_q}$ , se define de manera análoga a la extinción como la diferencia entre el color observado y el color intrínseco:

$$E(m_{\lambda_p} - m_{\lambda_q}) = (m_{\lambda_p}^{obs} - m_{\lambda_q}^{obs}) - (m_{\lambda_p}^{int} - m_{\lambda_q}^{int}) \quad (2)$$

Haciendo uso de la definición de extinción es posible reescribir el exceso de color como:

$$E(m_{\lambda_p} - m_{\lambda_q}) = A_{\lambda_p} - A_{\lambda_q} \quad (3)$$

Los excesos de color son generalmente positivos debido que los índices de color se definen como la resta a una magnitud en cierta banda, de otra magnitud en una banda más roja que la primera y a que la extinción afecta más intensamente a las bandas más azules.

### 1.3 Ley de Extinción

También conocida como *Curva de Extinción*, la *Ley de Extinción* es un resultado empírico que establece la razón de la absorción entre dos bandas fotométricas. Observacionalmente se establece que la extinción cambia con la dirección. La pendiente de la *Curva de Extinción* en las cercanías de la banda  $V$  viene dada por la cantidad  $R_V$ :

$$R_V = \frac{A_V}{A_B - A_V} = \frac{A_V}{E(B - V)} \quad (4)$$

Valores típicos son  $R_V \approx 3$  para curvas empinadas y  $R_V \approx 5$  para curvas que no lo son. Cuando se compara la *Curva de Extinción* a través del medio interestelar con la medida en la dirección de una nube molecular se observa en ambas un comportamiento igual para colores rojos pero diferente para colores azules. Este efecto es consecuencia de la variación de la densidad de polvo. Por este motivo se establece la razón entre absorciones respecto de una banda roja, típicamente la banda  $J$ .

## 2 Cálculo de la absorción y el vector de enrojecimiento

El enrojecimiento se representa mediante un vector llamado *de enrojecimiento*  $\vec{R}$ , inscrito en el plano de un diagrama color-color  $m_{\lambda_m} - m_{\lambda_n}$  vs.  $m_{\lambda_p} - m_{\lambda_q}$  donde las componentes de  $\vec{R}$  son los excesos de color  $E(m_{\lambda_m} - m_{\lambda_n})$  y  $E(m_{\lambda_p} - m_{\lambda_q})$  respectivamente.

### 2.1 Cálculo de la absorción conociendo la magnitud absoluta y la distancia

De la proporcionalidad inversa entre el flujo y la distancia  $d$  a la fuente, y la *Ecuación de Pogson*, obtenemos la siguiente relación entre magnitudes absolutas intrínsecas  $M$  y magnitudes aparentes intrínsecas  $m^{int}$

$$m^{int} - M = 5 \text{Log}d - 5 \quad (5)$$

donde la absorción para la banda correspondiente, viene dada por  $A = m^{obs} - m^{int}$  y reescribiendo la ecuación 5 como:

$$m^{obs} = M + A + 5 \text{Log}d - 5 \quad (6)$$

encontramos que conociendo la distancia  $d$  y la magnitud absoluta  $M$ , es posible calcular la absorción  $A$  con sólo medir la magnitud  $m^{obs}$ .

## 2.2 Cálculo del enrojecimiento conocido el espectro

A partir del espectro es posible conocer el color intrínseco de la estrella y mediante fotometría se establece el color observado. La resta de ambas cantidades es por definición el enrojecimiento.

## 2.3 Cálculo de la absorción desconociendo el espectro y la distancia

Asumimos que la absorción es una función de la longitud de onda efectiva de la banda  $\lambda_p$  y que tiende a cero cuando  $\lambda_p$  se hace muy grande. Esta función es de la forma:

$$A = A_0 f(\lambda_p) \quad (7)$$

donde  $A_0$  es una constante por determinar y  $f$  es una función teórica proporcional a  $\lambda_p^{-1.8}$ . La constante  $A_0$  y la distancia  $d$  pueden calcularse minimizando la expresión:

$$\sum_{\lambda_p} \left( m - M - A_0 f(\lambda_p) - 5 \text{Log} d + 5 \right)^2 = 0 \quad (8)$$

donde la suma se extiende sobre diferentes longitudes de onda efectivas  $\lambda_p$ .

## 2.4 Componentes de $\vec{R}$

Las coordenadas del origen de  $\vec{R}$ , vienen dados por convención, por los valores de los colores observados y cada componente por los correspondientes enrojecimientos, siendo las coordenadas del extremo del vector corresponden a los colores intrínsecos. En otras palabras,  $\vec{R}$  nos indica como desplazar a una estrella de determinado tipo espectral, desde su posición observada hasta su posición real en un diagrama color-color.

## 2.5 Cálculo del enrojecimiento conocido el tipo espectral

Los modelos teóricos exponen la  $T_{eff}$  en lugar del tipo espectral. La conversión entre ambas cantidades, para distintos modelos, ha sido establecida por diferentes autores. En Luhman 1999 (ApJ, 525,466) encontramos la conversión para los modelos de estrellas de muy baja masa y enanas marrones de Baraffe et.al. 1998. Esta clase de modelos ofrecen los flujos o magnitudes absolutas intrínsecas como función de la temperatura, con lo cual es posible calcular los colores intrínsecos.

Mediante la ecuación 3 escribimos las componentes de  $\vec{R}$  en términos de las absorciones como:

$$E(m_{\lambda_m} - m_{\lambda_n}) = A_{\lambda_m} - A_{\lambda_n} \quad (9)$$

$$E(m_{\lambda_p} - m_{\lambda_q}) = A_{\lambda_p} - A_{\lambda_q} \quad (10)$$

En adelante, particularizaremos la discusión a la *Ley de Extinción* propuesta por Rieke & Lebofsky (1985), siendo el tratamiento análogo para otras leyes.

Esta ley establece las siguientes relaciones entre absorciones en distintas bandas:  $A_I/A_V = 0.482$ ,  $A_J/A_V = 0.282$ ,  $A_H/A_V = 0.175$  y  $A_K/A_V = 0.112$ . Por otra parte, los enrojecimientos pueden escribirse según las ecuaciones 9 y 10 como:

$$E(I - J) = A_I - A_J \quad (11)$$

$$E(I - K) = A_I - A_K \quad (12)$$

$$E(J - H) = A_J - A_H \quad (13)$$

y sustituyendo la *Ley de Extinción* obtenemos que cada componente del vector de enrojecimiento puede ser escrita como el producto de un factor y la absorción en la banda V:

$$E(I - J) = 0.2 \times A_V \quad (14)$$

$$E(I - K) = 0.37 \times A_V \quad (15)$$

$$E(J - H) = 0.107 \times A_V \quad (16)$$

La absorción  $A_V$  puede estimarse según el escenario o, si se cuenta con fotometría en las bandas  $B$  y  $V$ , calcularse mediante  $A_V = E(B - V) \times R_V$  donde  $R_V = 3.09 \pm 0.03$  (Rieke & Lebofsky).