

Fotometría del cúmulo abierto NGC 4755 (el Joyero)

Matías Alvarez ,César Parra , Laura Torres

Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas , Universidad de Chile

Departamento de Astronomía , Cerro Calán

Profesor Guía: Simón Casassus

Semestre de Primavera 2007

Resumen

En el siguiente trabajo se presentarán los resultados del estudio fotométrico de un joven cúmulo abierto, NGC4755 ,conocido también como el "Joyero de estrellas", éstos aportarán la información necesaria para construir un diagrama H-R del cual se podrá calcular la edad de dicho cúmulo. Se especificarán todos los métodos y procedimientos que se realizaron a lo largo del trabajo, los que incluyen toma de imágenes, calibración de las mismas y rutinas computacionales . También se abordará la Astrometría al telescopio GOTO de la Universidad de Chile.

Palabras Clave : Cúmulo Abierto , Diagrama H-R¹ , Fotometría.

1. Introducción

Un cúmulo estelar es un grupo de estrellas atraídas entre sí por su gravedad mutua. Este tipo de objetos se clasifica en dos tipos: cúmulos globulares y cúmulos abiertos. En particular, un cúmulo estelar abierto es un grupo numeroso de estrellas que puede contener varios miles de objetos formados casi simultáneamente a partir de una misma nube molecular y que permanecen todavía ligados gravitacionalmente. Los cúmulos abiertos se encuentran únicamente en galaxias con formación estelar activa, es decir, en galaxias espirales o irregulares. Típicamente tienen edades inferiores a unos pocos centenares de millones de años y se rompen y dispersan en su rotación alrededor del centro galáctico por interacciones gravitacionales con otros cúmulos o por encuentros cercanos entre sus propias estrellas. Los cúmulos estelares son objetos importantes en el estudio de la evolución estelar. Dado que todas las estrellas miembro son de edad y composición química similar pueden ser utilizadas para estudiar sus propiedades mucho mejor que en el caso de estrellas aisladas. El presente trabajo trata del estudio del cúmulo abierto NGC4755, también conocido como el cúmulo κ -Crucis, un joven cúmulo ubicado en el hemisferio sur (RA: 12:50:06 DEC: -60:4). Debido a la presencia de una estrella supergigante roja brillante y cuatro azules brillantes tipo B, se le ha dado también el nombre de "Joyero de Estrellas" (por J.Herschel). Aquí se llevará a cabo un análi-

sis fotométrico de NGC4755, con el fin de estimar su edad. Para esto se utilizará una serie de imágenes captadas por la cámara CCD² del telescopio GOTO, ubicado en el Observatorio Cerro Calán, a cargo del Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile. De manera complementaria se procederá a analizar la astrometría de dicho telescopio.

2. Procedimiento

2.1. Datos

2.1.1. Toma de Datos

Las imágenes a utilizar en el desarrollo de este proyecto fueron obtenidas a través del telescopio GOTO durante los meses de Septiembre y Octubre de 2007. En particular, se usarán imágenes en los filtros R, G, B, I.

2.1.2. Reducción de Datos

El objetivo de esta sección es mejorar la calidad de la imagen mediante la disminución de las distorsiones producidas principalmente por las sensibilidades térmica y óptica de la cámara CCD a través de la sustracción de un Dark³ y la posterior división por un Flatfield⁴, aplicadas a la imagen. En este caso, las imágenes fueron previamente tratadas

¹Diagrama Hertzsprung-Russell, relaciona magnitud y temperatura de una estrella, es de mucha importancia en la evolución estelar.

²Charge-Coupled Device.

³El Dark o Corriente Oscura es una imagen con igual tiempo de exposición que la imagen a utilizar, pero con el recolector cubierto.

⁴El Flatfield o Campo Plano es una imagen de cualquier zona, iluminada uniformemente.

con el Dark, sin embargo, se hizo imposible la utilización de flatfields, dado que éstos se encontraban en pésimas condiciones, presentándose heterogéneos y bastante aberrados.

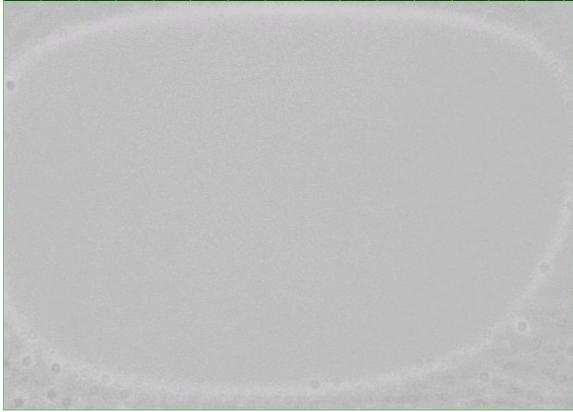


Figura 1: Imagen de Flatfield defectuosa



Figura 3: Imagen de NGC4755 en el filtro B
ngc4755_5s_B.Dark.fit

A continuación se dará un listado de las estrellas utilizadas en este Trabajo.

2.2. Fotometría

En esta sección se utilizaron dos imágenes de NGC4755, en los filtros B e I respectivamente, de las cuales se obtuvo la magnitud en cada uno de estos filtros para las estrellas del Cuadro 1. Con esto se construyó un Diagrama H-R del cúmulo de donde, finalmente, se logró estimar la edad de éste.



Figura 2: Imagen de NGC4755 en el filtro I
ngc4755_5s_I.Dark.fit

| número | Nombre | RA | DEC |
|--------|-------------|--------------|--------------|
| 1 | HD111973 | 12:53:48,920 | -60:22:34,48 |
| 2 | HD111904 | 12:53:21,895 | -60:19:42,56 |
| 3 | HD111990 | 12:53:59,799 | -60:20:07,51 |
| 4 | HD111934 | 12:53:37,617 | -60:21:25,42 |
| 5 | SAO252073 | 12:53:41,337 | -60:20:57,97 |
| 6 | SAO252075 | 12:53:47,258 | -60:19:55,23 |
| 7 | NGC4755-224 | 12:53:46,117 | -60:19:47,19 |
| 8 | NGC4755-105 | 12:53:39,188 | -60:21:12,44 |
| 9 | NGC4755-210 | 12:53:53,023 | -60:21:30,50 |
| 10 | SAO252074 | 12:53:46,468 | -60:24:12,33 |
| 11 | ALS2800 | 12:53:20,70 | -60:23:16,7 |
| 12 | NGC4755-115 | 12:53:34,094 | -60:20:59,75 |
| 13 | NGC4755-307 | 12:53:52,26 | -60:22:27,5 |
| 14 | NGC4755-220 | 12:54:08,62 | -60:21:38,9 |
| 15 | NGC4755-305 | 12:53:49,50 | -60:23:02,7 |
| 16 | NGC4755-201 | 12:53:58,03 | -60:22:15,4 |
| 17 | NGC4755-202 | 12:53:51,797 | -60:21:58,31 |
| 18 | NGC4755-104 | 12:53:41,352 | -60:21:13,75 |
| 19 | NGC4754-113 | 12:53:25,727 | -60:21:59,81 |
| 20 | NGC4755-410 | 12:53:25,617 | -60:22:27,62 |
| 21 | NGC4755-414 | 12:53,4 | -60:23 |
| 22 | HD312084 | 12:54:14,54 | -60:21:47,4 |

Cuadro 1: Estrellas utilizadas

2.2.1. Calibración

asumiendo los siguientes valores como conocidos:

Se procedió a la determinación del Factor de Calibración R^5 para los distintos filtros, mediante el uso de una estrella standard, en este caso se trabajó con Delta-Crux (RA: 12:12:28.60 DEC:-58:28:14.9). Para ésto, se midieron las cuentas por segundo⁶ de dicha estrella en la imagen correspondiente al filtro deseado, con la ayuda del software PDL⁷. Por otra parte, se calculó su flujo, mediante la ecuación:

Magnitud en I de Detal-Crux: $m_I = 2,587$
 Magnitud en B de Delta-Crux: $m_B = 3,095$
 Flujo de Vega en I:
 $F_{vega}(I) = 8,4 \times 10^{-10} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ \AA}^{-1}$
 Flujo de Vega en B:
 $F_{vega}(B) = 6,40 \times 10^{-9} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ \AA}^{-1}$

Finalmente, se despeja R de la siguiente ecuación:

$$m_{\star} = -2,5 \cdot \log_{10} \left(\frac{F_{\star}}{F_{Vega}} \right) \quad (1)$$

$$F_{\star} = Q \cdot R \cdot \Delta x \cdot \Delta y \quad (2)$$

⁵Respuesta de la cámara CCD.

⁶Cantidad de fotones que ingresan a cada píxel de la cámara CCD por unidad de tiempo.

⁷Perl Data Language, extensión de Perl, un poderoso lenguaje de programación.

⁸Ángulo Sólido.

donde se consideró $\Delta x \Delta y = 1 \Omega^8$

Así, se obtuvieron los siguientes valores para los factores de calibración:

$$R_I = 2,548592607 \times 10^{-17} \text{ erg cm}^{-2} \text{ cuentas}^{-1} \text{ \AA}^{-1} \Omega^{-1}.$$

$$R_B = 6,59826605282 \times 10^{-17} \text{ erg cm}^{-2} \text{ cuentas}^{-1} \text{ \AA}^{-1} \Omega^{-1}.$$

2.2.2. Construcción del Diagrama H-R

Se midieron las cuentas por segundo de cada una de las estrellas del Cuadro 1⁹ en ambos filtros y, con los valores ya conocidos de R_I y R_B , se obtuvo su flujo y magnitud utilizando las ecuaciones (2) y (1), respectivamente. Con estos resultados se construyó el Cuadro 2¹⁰.

Luego, el Diagrama H-R resultante fue:

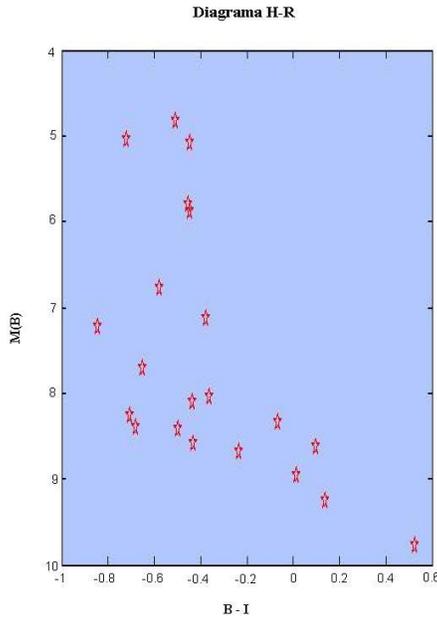


Figura 4: Diagrama H-R de NGC47755

⁹Exceptuando la Estrella número 10, que no es visible en las imágenes.

¹⁰Ver Cuadros 2, 3, 4 al final.

¹¹Punto que marca la salida de una estrella de la secuencia principal.

2.2.3. Estimación de la edad de NGC4755

Identificando la parte baja del Diagrama H-R como la Secuencia Principal de NGC4755, se pudo establecer que la Estrella Número 6 (Cuadro 1) corresponde a la más brillante de dicha secuencia, representando así el *turn-off point*¹¹. Luego, era necesario conocer la edad de dicha estrella para conseguir una aproximación de la edad del cúmulo. Esto se logró mediante la ecuación:

$$\frac{\tau_{\star}}{\tau_{\odot}} = \left(\frac{M_{\star}}{M_{\odot}} \right)^{-2,5} \quad (3)$$

en donde τ_{\odot} y M_{\odot} representan la edad y masa del Sol, respectivamente.

Para obtener el cociente entre las masas de la estrella número 6 y del Sol, primero se identificó en el Cuadro 3 la diferencia B-I correspondiente a la estrella en cuestión, la que sitúa su tipo espectral aproximadamente en B2.

Luego del Cuadro 4 se tomó un cociente cercano a B3, en este caso:

$$\frac{M_{\star}}{M_{\odot}} \approx 8,9$$

así, utilizando (3) se obtiene que la edad de dicha estrella y por consiguiente, la edad del cúmulo, es:

$$\tau_{\star} \approx 19,0431 \text{ millones de años}$$

resultado que será abordado más adelante.

2.3. Astrometría

En esta sección, se abordará la astrometría del telescopio GOTO. Específicamente, se hará una correspondencia entre coordenadas cartesianas y celestes para una imagen de NGC4755 en el filtro I, utilizando un programa hecho en PDL, proporcionado por el profesor Simon Casassus. El programa en cuestión lleva por nombre **resamp.pl** y, como su nombre indica, realiza un remuestreo de la imagen, normalizándola respecto de las coordenadas celestes, mediante la utilización de ciertos órdenes de aproximación y cantidad de estrellas como parámetro. En este caso, se utilizaron las estrellas del Cuadro 1¹² y se midieron sus posiciones en las imágenes remuestreadas, para los órdenes 1 – 2, 2 – 2, 2 – 1 y 1 – 1. Esto será de gran utilidad para futuros análisis astrométricos del telescopio. A continuación se presentan los Cuadros 5, 6, 7 y 8, con las coordenadas, en píxeles, de las estrellas en las imágenes ya mencionadas.

| número | Coordenadas (Píxeles) | |
|--------|-----------------------|-----|
| | i | j |
| 1 | 705 | 378 |
| 2 | 1305 | 866 |
| 3 | 531 | 790 |
| 4 | 957 | 574 |
| 5 | 889 | 654 |
| 6 | 789 | 824 |
| 8 | 929 | 606 |
| 9 | 637 | 558 |
| 10 | 741 | 106 |
| 11 | 1289 | 258 |
| 12 | 1041 | 646 |
| 13 | 637 | 398 |
| 14 | 309 | 534 |
| 15 | 689 | 298 |
| 16 | 645 | 430 |
| 17 | 657 | 478 |
| 19 | 1201 | 474 |
| 20 | 1197 | 398 |
| 21 | 1189 | 306 |
| 22 | 185 | 510 |

Cuadro 5: Ordenes X=1, Y=2.

| número | Coordenadas (Píxeles) | |
|--------|-----------------------|-----|
| | i | j |
| 1 | 709 | 378 |
| 2 | 1293 | 870 |
| 3 | 529 | 794 |
| 4 | 953 | 574 |
| 5 | 889 | 654 |
| 6 | 801 | 826 |
| 8 | | |
| 9 | 581 | 558 |
| 10 | 781 | 102 |
| 11 | | |
| 12 | 1065 | 642 |
| 13 | 661 | 398 |
| 14 | 289 | 534 |
| 15 | 725 | 298 |
| 16 | 649 | 434 |
| 17 | 633 | 482 |
| 19 | 1241 | 474 |
| 20 | 1173 | 398 |
| 21 | 1165 | 306 |
| 22 | 233 | 510 |

Cuadro 6: Ordenes X=2, Y=2.

| número | Coordenadas (Píxeles) | |
|--------|-----------------------|-----|
| | i | j |
| 1 | 705 | 382 |
| 2 | 1305 | 866 |
| 3 | 477 | 790 |
| 4 | 957 | 574 |
| 5 | 897 | 650 |
| 6 | 789 | 826 |
| 8 | 933 | 610 |
| 9 | 637 | 558 |
| 10 | 721 | 106 |
| 11 | 1317 | 258 |
| 12 | 1045 | 646 |
| 13 | 645 | 398 |
| 14 | 325 | 534 |
| 15 | 685 | 298 |
| 16 | 649 | 430 |
| 17 | 657 | 478 |
| 19 | 1205 | 474 |
| 20 | 1197 | 398 |
| 21 | 1185 | 310 |
| 22 | 225 | 510 |

Cuadro 7: Ordenes X=2, Y=1.

¹²Exceptuando las estrellas 7 y 18

| número | Coordenadas (Píxeles) | |
|--------|--------------------------|----------|
| | <i>i</i> | <i>j</i> |
| 1 | 709 | 382 |
| 2 | 1305 | 866 |
| 3 | 525 | 790 |
| 4 | 961 | 574 |
| 5 | 889 | 650 |
| 6 | 785 | 826 |
| 8 | 933 | 610 |
| 9 | 641 | 558 |
| 10 | 729 | 106 |
| 11 | 1293 | 258 |
| 12 | 1041 | 646 |
| 13 | 641 | 398 |
| 14 | 313 | 534 |
| 15 | 685 | 298 |
| 16 | 649 | 430 |
| 17 | 657 | 478 |
| 19 | 1201 | 474 |
| 20 | 1197 | 398 |
| 21 | 1189 | 306 |
| 22 | 189 | 510 |

Cuadro 8: Ordenes $X=1, Y=1$.

De todos los remuestreos hechos a la imagen NGC4755_ I_ 150s+Dark.fit con el que se obtuvo mejores resultados fue con los órdenes de aproximación $X = 1, Y = 2$.

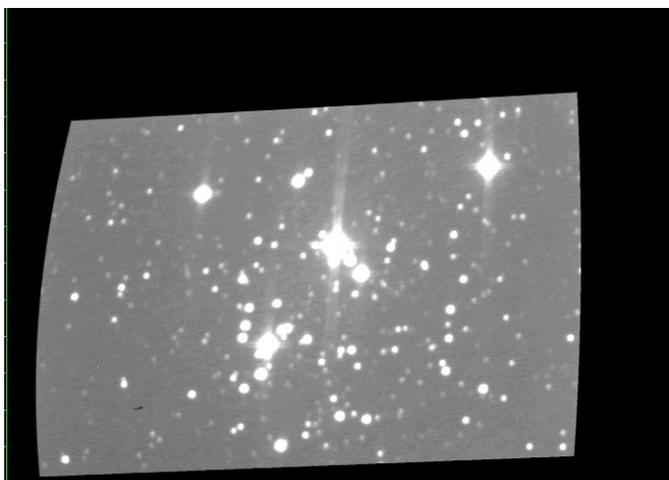


Figura 5: NGC4755_ I_ 150s+Dark.fit para $X = 1, Y = 2$.

Finalmente, utilizando imágenes en los filtros R, G, B, un remuestreo de orden 1 – 1 y el método rgbi, incluido en PDL, se procedió a la confección de la siguiente imagen de

NGC4755 en colores.



Figura 6: Imagen de NGC4755 en tres colores



Figura 7: Imagen real de NGC4755

3. Conclusión

Se ha estimado la edad de NGC4755 en 19,0431 millones de años, resultado distante de la edad real del cúmulo calculada en 7.1 millones de años por los astrónomos. Los errores de este cálculo podrían deberse, principalmente, a la débil reducción de datos realizada a las imágenes, como también a la gran cantidad de aproximaciones utilizadas. A la determinación del turn-off point o al recorte de imágenes para medir las cuentas de una determinada estrella, que fue hecho manualmente. Por otra parte, las características técnicas del telescopio GOTO y su cámara CCD no permiten una precisión considerable en la toma de datos. Por lo tanto, considerando todas las fuentes de error y posibles imprecisiones, se concluye que en este proyecto se ha llegado a una aproximación bastante cercana a la realidad para la edad del cúmulo abierto NGC4755.

Referencias

- [1] Simbad Astronomical Database.
simbad.u-strasbg.fr
- [2] Wikipedia
es.wikipedia.org
- [3] Chart NGC4755.
www.geocities.com/ariane1au/Page013.htm

Diagrama H-R

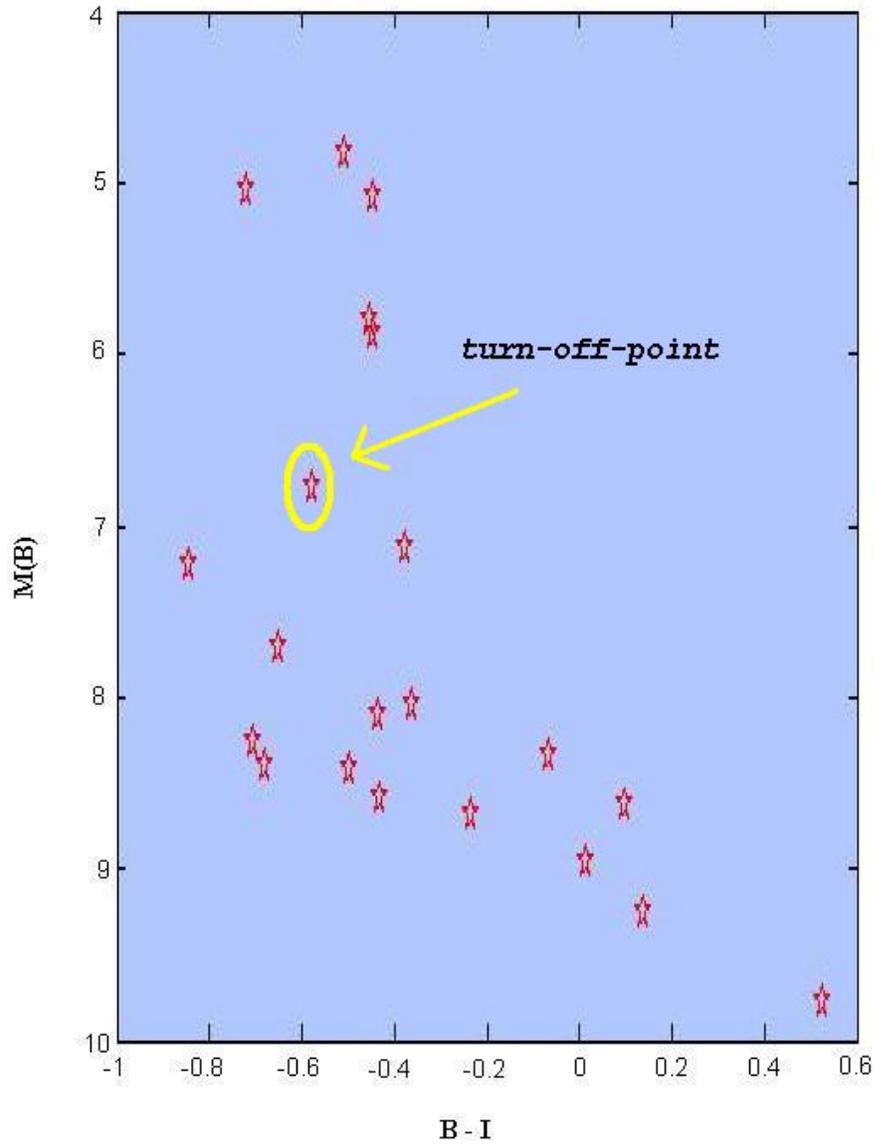


Figura 8: Diagrama H-R de NGC4775

| número | F_B | F_I | M_B | M_I | B-I |
|--------|--------------------------|-----------------------------|--------|--------|---------|
| 1 | $5,9352 \times 10^{-11}$ | $51,5930 \times 10^{-13}$ | 5.0819 | 5,5292 | -0.4473 |
| 2 | $7,535 \times 10^{-11}$ | $61,88614 \times 10^{-13}$ | 4.8226 | 5,3317 | -0.5091 |
| 3 | $3,0606 \times 10^{-11}$ | $26,46876 \times 10^{-13}$ | 5.8009 | 6,2538 | -0.4530 |
| 4 | $2,8309 \times 10^{-11}$ | $24,59733 \times 10^{-13}$ | 5.8856 | 6,3334 | -0.4479 |
| 5 | $6,1699 \times 10^{-11}$ | $41,758078 \times 10^{-13}$ | 5.0398 | 5,7588 | -0.7190 |
| 6 | $1,2472 \times 10^{-11}$ | $9,6205802 \times 10^{-13}$ | 6.7755 | 7,3526 | -0.5772 |
| 7 | $2,2701 \times 10^{-12}$ | $3,2576620 \times 10^{-13}$ | 8.6253 | 8,5284 | 0.0969 |
| 8 | $8,2694 \times 10^{-12}$ | $4,9911637 \times 10^{-13}$ | 7.2218 | 8,0651 | -0.8434 |
| 9 | $2,1539 \times 10^{-12}$ | $2,2766577 \times 10^{-13}$ | 8.6824 | 8,9174 | -0.2351 |
| 11 | $3,6587 \times 10^{-12}$ | $3,2174962 \times 10^{-13}$ | 8.1071 | 8,5419 | -0.4348 |
| 12 | $2,3408 \times 10^{-12}$ | $2,0666027 \times 10^{-13}$ | 8.592 | 9,0225 | -0.4306 |
| 13 | $3,9169 \times 10^{-12}$ | $3,6813400 \times 10^{-13}$ | 8.0331 | 8,3956 | -0.3626 |
| 14 | $1,2848 \times 10^{-12}$ | $1,9148085 \times 10^{-13}$ | 9.2433 | 9,1053 | 0.1379 |
| 15 | $8,9648 \times 10^{-12}$ | $8,3251816 \times 10^{-13}$ | 7.1341 | 7,5097 | -0.3756 |
| 16 | $5,2377 \times 10^{-12}$ | $3,7685019 \times 10^{-13}$ | 7.7176 | 8,3702 | -0.6527 |
| 17 | $3,2119 \times 10^{-12}$ | $2,1999961 \times 10^{-13}$ | 8.2485 | 8,9546 | -0.7061 |
| 18 | $2,8137 \times 10^{-12}$ | $1,973681 \times 10^{-13}$ | 8.3922 | 9,0725 | -0.6803 |
| 19 | $2,7517 \times 10^{-12}$ | $2,2812962 \times 10^{-13}$ | 8.4164 | 8,9152 | -0.4988 |
| 20 | $1,675 \times 10^{-12}$ | $2,2261446 \times 10^{-13}$ | 8.9553 | 8,9418 | 0.0135 |
| 21 | $2,9563 \times 10^{-12}$ | $3,6431621 \times 10^{-13}$ | 8.3386 | 8,4070 | -0.0684 |
| 22 | $7,9106 \times 10^{-13}$ | $1,6831925 \times 10^{-13}$ | 9.7699 | 9,2453 | 0.5245 |

Cuadro 2: Flujos y Magnitudes en los filtros B e I

| Tipo | B-V | V-R | R-I | B-R | B-I |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| O5 | -0,33 | -0,15 | -0,32 | -0,48 | -0,8 |
| O9 | -0,31 | -0,15 | -0,32 | -0,46 | -0,78 |
| B0 | -0,3 | -0,13 | -0,29 | -0,43 | -0,72 |
| B2 | -0,24 | -0,1 | -0,22 | -0,34 | -0,56 |
| B5 | -0,17 | -0,06 | -0,16 | -0,23 | -0,39 |
| B8 | -0,11 | -0,02 | -0,1 | -0,13 | -0,23 |
| A0 | -0,02 | 0,02 | -0,02 | 0 | -0,02 |
| A2 | 0,05 | 0,08 | 0,01 | 0,13 | 0,14 |
| A5 | 0,15 | 0,16 | 0,06 | 0,31 | 0,37 |
| F0 | 0,3 | 0,3 | 0,17 | 0,6 | 0,77 |
| F2 | 0,35 | 0,35 | 0,2 | 0,7 | 0,9 |
| F5 | 0,44 | 0,4 | 0,24 | 0,84 | 1,08 |
| F8 | 0,52 | 0,47 | 0,29 | 0,99 | 1,28 |
| G0 | 0,58 | 0,5 | 0,31 | 1,08 | 1,39 |
| G2 | 0,63 | 0,53 | 0,33 | 1,16 | 1,49 |
| G5 | 0,68 | 0,54 | 0,35 | 1,22 | 1,57 |
| G8 | 0,74 | 0,58 | 0,38 | 1,32 | 1,7 |
| K0 | 0,81 | 0,64 | 0,42 | 1,45 | 1,87 |
| K2 | 0,91 | 0,74 | 0,48 | 1,65 | 2,13 |
| K5 | 1,15 | 0,99 | 0,63 | 2,14 | 2,77 |
| M0 | 1,4 | 1,28 | 0,91 | 2,68 | 3,59 |
| M2 | 1,49 | 1,5 | 1,19 | 2,99 | 4,18 |
| M5 | 1,64 | 1,8 | 1,67 | 3,44 | 5,11 |

Cuadro 3: Calibration of MK Spectral Types

| Sp | $\frac{M_*}{M_\odot}$ |
|----|-----------------------|
| O3 | 120 |
| O5 | 60 |
| O6 | 37 |
| O8 | 23 |
| B0 | 17.5 |
| B3 | 7.6 |
| B5 | 5.9 |
| B8 | 3.8 |
| A0 | 2.9 |
| A5 | 2.0 |
| F0 | 1.6 |
| F5 | 1.4 |
| G0 | 1.05 |
| G5 | 0.92 |
| K0 | 0.79 |
| K5 | 0.67 |
| M0 | 0.51 |
| M2 | 0.40 |
| M5 | 0.21 |
| M8 | 0.06 |

Cuadro 4: Relación de masas