

**Aplicación del sistema de clasificación BCD a estrellas B en NCG 4755**  
**Application of the BCD classification system for B-type stars in NGC 4755**

Y. Aidelman<sup>1,2</sup>, L. Cidale<sup>1,2</sup> & J. Zorec<sup>3</sup>

(1) *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP*

(2) *Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET*

(3) *Institut d'Astrophysique de Paris, UMR 7095 CNRS-Université Piere & Marie Curie*

**Abstract.** We have applied the BCD spectrophotometric classification system to B-type stars belonging to the cluster NGC 4755. We have determined their fundamental parameters, which helped to estimate the distance modulus, color excess and age of this cluster.

## 1. Introducción

El estudio de cúmulos abiertos galácticos es de gran interés en varios aspectos astrofísicos, en el sentido que los cúmulos abiertos jóvenes proveen información sobre los procesos de formación estelar más recientes y son objetos claves para clarificar cuestiones sobre la estructura galáctica, mientras que los cúmulos abiertos viejos y de edad intermedia juegan un papel importante en la correlación entre las teorías de evolución estelar y galáctica. Tanto las distancias, edades, y contenidos estelares de los cúmulos abiertos brindan información sobre la historia de la formación de las estrellas, y sobre la estructura y la evolución de la Galaxia. Por otro lado, en muchos de estos sistemas estelares se encuentran estrellas con líneas en emisión. Este hecho resalta la importancia del estudio de estos cúmulos ya que, por las características mencionadas anteriormente, constituyen el escenario perfecto para estudiar la formación y evolución de estos objetos.

Sin embargo, el estudio fotométrico de cúmulos galácticos jóvenes conducen, en ocasiones, a resultados controvertidos en lo referente a la determinación de sus módulos de distancia y la discusión de la pertenencia de los objetos a dichos sistemas estelares. Algunas causas posibles de estas discrepancias se deben a la superposición de varias estructuras estelares en la dirección de la visual y a la presencia de una extinción interestelar generalmente no homogénea.

Tomando como punto de partida nuestro estudio previo de los cúmulos NGC 3766, NGC 6087 y NGC 2439 (Aidelman et al., 2010), hemos desarrollado un código para agilizar el sistema de clasificación espectrofotométrico BCD (Barbier & Chalonge, 1941; Chalonge & Divan, 1952), con el cual obtuvimos distancia, edad y parámetros fundamentales de las estrellas B pertenecientes al cúmulo NGC 4755 ( $\alpha = 12^h 50^m 6^s$ ;  $\delta = -60^\circ 04'$ ). Además, con este método, se intentarán mejorar las posiciones en el diagrama HR de las estrellas con fenómeno Be en cúmulos abiertos y así poder determinar su estado evolutivo.

En esta primera etapa nos dedicamos a contrastar los resultados del método BCD con los obtenidos tradicionalmente empleando métodos fotométricos. Para ello utilizamos espectros de baja resolución de 17 estrellas pertenecientes a NGC 4755 en el rango 3500-4600 Å adquiridos en junio del 2003, utilizando el espectrógrafo B&C adosado al telescopio de 2.15m de CASLEO, San Juan, Argentina.

## 2. Metodología

Barbier & Chalonge (1941) desarrollaron un sistema de clasificación espectrofotométrico basado únicamente en el estudio de la radiación de continuo en la vecindad de la discontinuidad de Balmer. Utiliza los siguientes parámetros: 1) La **intensidad del salto**,  $D$ , se calcula como

$$D = \log(F_{3700+}/F_{3700-}) \quad (1)$$

donde  $F_{3700+}$  es el valor del flujo acercándose por derecha a la vertical en  $\lambda = 3700$  Å, extrapolando la recta que ajusta al continuo de Paschen; y  $F_{3700-}$  es el flujo del continuo de Balmer acercándose por izquierda a  $\lambda = 3700$  Å (figura 1).

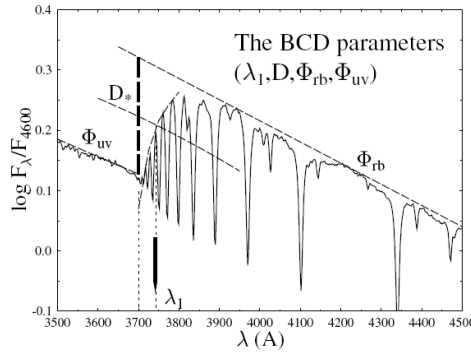


Figura 1. Parámetros del salto de Balmer (Zorec et al., 2009).

2) La **posición espectral media**,  $\lambda_1$ , que usualmente está dada como la diferencia  $\lambda_1 - 3700$  Å y 3) el **gradiente de color**,  $\Phi$ , que es un parámetro adicional que se define como

$$\Phi = \ln \left[ \frac{\lambda_a^5 F_{\lambda_a}}{\lambda_b^5 F_{\lambda_b}} \right] / \left( \frac{1}{\lambda_a} - \frac{1}{\lambda_b} \right) \quad (2)$$

donde se supone que para una dada distribución de energía estelar  $F_\lambda$ , entre las longitudes de onda  $\lambda_a$  y  $\lambda_b$ ,  $\Phi$  es constante (Allen, 1976). El gradiente de color  $\Phi_{uv}$ , dado en  $\mu m$ , se define para la región espectral 3200-3700 Å, y el gradiente de Paschen en sus dos versiones,  $\Phi_b$  ó  $\Phi_{rb}$ , se define para las regiones espectrales 4000-4800 Å y 4000-6700 Å, respectivamente. Los gradientes de color  $\Phi_b$  y  $\Phi_{rb}$  (expresados en  $\mu m$ ) pueden escribirse como función del color ( $B - V$ ) del sistema fotométrico UBV (Moujtahid et al., 1998). La relación entre el exceso de color y el gradiente de color debidos al enrojecimiento interestelar puede expresarse,

$$A_v = 3,1 E(B - V) = 1,7 (\Phi_{rb} - \Phi_{rb}^0) = 1,9 (\Phi_b - \Phi_b^0) \text{ mag} \quad (3)$$

donde  $\Phi_{rb}^0$  y  $\Phi_b^0$  son los gradientes de color intrínsecos (Chalonge & Divan, 1973). Se encuentra que  $D$  es un fuerte indicador de la temperatura efectiva, mientras que  $\lambda_1$  está relacionado con la gravedad superficial de la estrella. Con los valores de  $D$  y  $\lambda_1$ , junto con las calibraciones dadas por Chalonge & Divan (1973), Zorec (1986) y Zorec et al. (2009) se obtienen los parámetros estelares  $T_{eff}$ ,  $\log g$ ,  $M_v$ ,  $M_{bol}$ ,  $\Phi_b^0$ , tipo espectral y clase de luminosidad.

La aplicación de este método a un cúmulo abierto nos permite generar un diagrama HR a partir del cual podemos estimar la edad del sistema ajustando las isocronas dadas por Bressan et al. (1993). También podemos obtener los parámetros del cúmulo,  $E(B - V)$  y  $(m_v - M_v)_0$ , haciendo un promedio sobre los valores correspondientes a cada estrella.

### 3. Resultados

Tabla 1. NCG 4755: Parámetros fundamentales obtenidos a partir del sistema de clasificación BCD

ID Arp	other designation	$D$ [dex]	$\lambda_1$ [Å]	$T.E$	$T_{eff}$ [K]	$\log g$ [dex]	$M_v$ [mag]	$M_{bol}$ [mag]	$E(B - V)$ [mag]	$m_v$ [mag]	$(m_v - M_v)_0$ [mag]
0001	NSV 6008* (vs)	0.155	11.69	B8 Ia	12690	<2.80	-7.00 <sup>B</sup>	-7.82 <sup>F</sup>	0.28	5.75	11.88
0005	CPD-59 4552	0.097	32.95	B2 II	20390	2.87	-5.84	-7.06	0.13	8.35	13.79 <sup>pnm</sup>
0006	ALS 2816	0.120	58.83	B1 V	27160	4.02	-3.11	-5.10	0.28	9.09	11.33
0007	V* BS Cru (vc)	0.105	50.55	B1 IV	26330	3.45	-3.66	-5.61	0.12	9.79	13.08
0008	CPD-59 4540	0.198	64.66	B3 V	20360	4.23	-1.63	-3.09	0.26	9.93	10.75 <sup>pnm</sup>
0011	CPD-59 4530	0.285	61.67	B7 V	15370	4.28	-0.01	-1.55	0.37	11.42	10.28 <sup>pnm</sup>
0106	V* BU Cru	0.078	28.45	B2 Ia	20330	<2.80	-7.00 <sup>B</sup>	-8.50:	0.24	7.00	13.26 <sup>pnm</sup>
0113	CPD-59 4532 (vc)	0.146	52.33	B2 IV	23300	3.84	-2.73	-4.58	0.09	10.23	12.68
0117	CPD-59 4531	0.205	60.42	B3 V	20600	4.21	-1.60	-3.10	0.31	10.87	11.51
0201	V* EI Cru (vc)	0.121	43.03	B2 III	22620	3.02	-4.11	-5.53	0.13	9.37	13.08
0202	V* CX Cru (vc)	0.131	50.88	B2 IV	26010	3.69	-3.11	-5.09	0.19	10.06	12.58
0223	V* CC Cru (ve)	0.104	36.87	B2 II	22940	2.70:	-5.90	-7.10	0.25	7.93	13.06
0305	V* CN Cru (eb)	0.127	69.13	B2 V	26490	4.21	-2.09	-4.54	0.33	8.43	9.50 <sup>pnm</sup>
0306	CPD-59 4559* (Be)	0.097	54.71	B1 IV	30650	3.82	-3.52	-5.68	0.48	9.98	12.01
0418	CPD-59 4542 (vs)	0.123	48.62	B1 III	23750	3.40	-3.55	-5.19	0.14	9.86	12.98
0452	HD 312079	0.169	52.93	B3 IV	23100	4.03	-2.62	-4.08	0.22	10.12	12.06
0454	HD 312080	0.162	57.25	B2 V	22600	4.04	-2.13	-4.08	0.09	10.11	11.96
$E(B - V) = 0,22$ $(m_v - M_v)_0 = 12,35 \pm 0,37 \text{ mag}$											

(Be) Estrella Be

(ne) Emisión moderada en H $\beta$

(vs) Estrella variable

(vc) Estrella variable de tipo beta Cep

(ve) Estrella variable elipsoidal

(eb) Binaria eclipsante de tipo beta Lyr

$m_v$  dadas por Arp & van Sant (1958)

\* Estrellas con doble discontinuidad de Balmer

: Valores extrapolados

<sup>B</sup> Valores de  $M_v$  dados por Balona & Campton (1974)

<sup>F</sup> Valores de  $M_{bol}$  calculados utilizando las correcciones bolométricas dadas por Flower (1996)

(pnm) Estrellas con alta probabilidad de no pertenecer al cúmulo

De acuerdo a la metodología descrita, determinamos los valores de  $D$ ,  $\lambda_1$ , tipo espectral,  $T_{eff}$ ,  $\log g$ ,  $M_v$ ,  $M_{bol}$  y  $E(B - V)$  para las 17 estrellas observadas en

NGC 4755. Luego, tomando la fotometría de Arp & van Sant (1958), estimamos el módulo de distancia verdadero para cada objeto de la muestra. Todos estos valores se listan en la Tabla 1.

Una primera estimación del exceso de color y del módulo de distancia verdadero del cúmulo resulta de promediar todos los valores individuales obteniéndose  $\overline{E(B-V)} = 0,23$  y  $(m_v - M_v)_0 = 12,10 \pm 0,37 \text{ mag}$ , respectivamente. Tomaremos como criterio que los objetos cuyos módulos de distancia se alejen a más de  $3\sigma \simeq 1,10 \text{ mag}$  del valor medio, es decir  $(m_v - M_v)_0 < 11,0 \text{ mag}$  ó  $(m_v - M_v)_0 > 13,2 \text{ mag}$ , tienen alta probabilidad de no pertenecer al cúmulo (pnm). Éstos son: CPD-59 4552, CPD-59 4540, CPD-59 4530, V\* BU Cru y V\* CN Cru. Luego promediamos nuevamente los módulos de distancia y los excesos sin tener en cuenta a las estrellas pnm, obteniendo los valores finales  $(m_v - M_v)_0 = 12,35 \pm 0,37 \text{ mag}$  y  $\overline{E(B-V)} = 0,22$ .

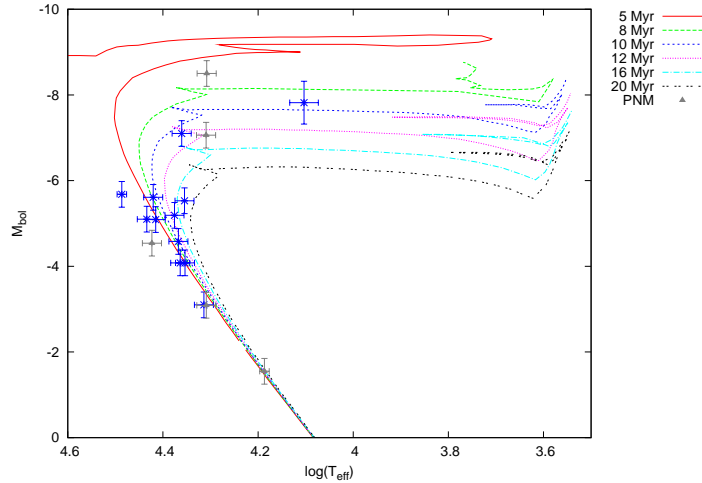


Figura 2. Diagrama HR de NGC 4755 con el ajuste de isocronas dadas por Bressan et al. (1993). (La versión en colores de la figura puede verse en la edición electrónica)

Realizamos un diagrama HR del cúmulo y determinamos una edad de  $\sim 10 \text{ Myr}$  a partir del ajuste de las isocronas dadas por Bressan et al. (1993). Este ajuste se muestra en la figura 2.

#### 4. Discusión y Conclusiones

Encontramos que el método de clasificación BCD es muy útil ya que permite determinar los parámetros fundamentales de las estrellas directamente de su espectro. Los valores medios del módulo de distancia ( $12,35 \pm 0,37 \text{ mag}$ ) y edad ( $\sim 10 \text{ Myr}$ ) inferidos están de acuerdo con los valores publicados por Kennedy (1966) y Sanner et al. (2001), respectivamente. Además, como los valores de  $D$  y  $\lambda_1$  están libres de extinción interestelar este método podría aplicarse a cúmulos más lejanos.

Con respecto a los tipos espectrales determinados con el sistema de clasificación BCD encontramos que nuestros resultados tienen un excelente acuerdo con los de Evans et al. (2005) (donde los tipos espectrales fueron determinados con el sistema MK y las clases de luminosidad se estimaron a partir del ancho equivalente de  $H\gamma$  y de las calibraciones de Balona & Campton (1974)). También encontramos un buen acuerdo entre las magnitudes absolutas determinadas con el método BCD y las aquellas determinadas a partir de la calibración de Balona & Campton (1974) empleando nuestros tipos espectrales.

En relación a las estrellas que clasificamos como pnm encontramos que Feast (1963) también reporta que el valor del módulo de distancia de CPD-59 4530 es mucho menor que el encontrado para las otras estrellas estudiadas. En cambio, la estrella CPD-59 4540 podría ser miembro debido a que Shobbrook (1984) encuentra una variación de  $\sim 2\text{ mag}$ ; indicando que es una doble visual cercana y al menos una de las componentes tiene fuerte emisión de  $H\beta$ .

De acuerdo a Ahumada & Lapasset (1995) la estrella V\* BS Cru (NGC 4766 7) tiene probabilidad de no ser miembro del cúmulo. Para este objeto nosotros encontramos que su módulo de distancia se encuentra cercano al límite superior establecido en este trabajo como criterio de membresía.

Sin embargo, encontramos discrepancias en la determinación de los excesos de color determinados a partir del  $\Phi_b$  ( $E(B - V) = 0,22$ ) y el fotométrico ( $E(B - V) \simeq 0,4$ ). A raíz de este inconveniente hemos estudiado más a fondo la relación 3 que vincula el exceso de color y el gradiente de color y encontramos que es necesario hacer un estudio más profundo que incluya observaciones de distintos cúmulos con distintos excesos de color.

**Agradecimientos.** Agradecemos a Rubén Vázquez por sus valiosas críticas y sugerencias.

## Referencias

- Ahumada, J. & Lapasset, E. 1995, A&AS, 109, 375  
 Aidelman, Y. J., Cidale, L. S., Zorec, J. & Aria, M. L. 2010 BAAA, 53, 141  
 Allen, C. W. 1976, Astrophysical Quantities, ed. Allen, C. W.  
 Arp, H. C. & van Sant, C. T. 1958, AJ, 63, 341  
 Balona, L. & Campton, D. 1974, MNRAS, 166, 203  
 Barbier, D. & Chalonge, D. 1941, Annals d'Astrophysique, p.30  
 Bressan, A. et al. 1993, A&AS, 100, 647  
 Chalonge, D. & Divan, L. 1952, AJ, 63, 186  
 Chalonge, D. & Divan, L. 1973, A&A, 23, 69  
 Evans, C. J. et al. 2005, A&A, 437, 467  
 Feast, M. W. 1963, MNRAS, 126, 11  
 Flower, P. J. 1996, ApJ, 469, 355  
 Kennedy, P. M. 1966, Mount Stromlo Obs. Mimeo., 9, 1  
 Moujtahid, A. et al. 1998, A&AS, 129, 289  
 Sanner et al. 2001, A&A, 369, 511  
 Shobbrook, R. R. 1984, MNRAS, 206, 273

- Zorec, J. 1986, Structure et rotation differentielle dans les étoiles B avec et sans emission, These d'Etat, Univ. Paris 7.
- Zorec, J. et al. 2009, A&A, 501, 297