

## PRESENTACIÓN: $\frac{1}{2}$ N MURAL

### Primer análisis fotométrico CCD *UBVI* del cúmulo abierto comparativamente brillante NGC 2587

A.E. Piatti<sup>1,4</sup>, J.J. Clariá<sup>3,4</sup>, A.V. Ahumada<sup>2,3,4</sup>

(1) Instituto de Astronomía y Física del Espacio, Buenos Aires

(2) Observatorio Europeo del Sur, Santiago, Chile

(3) Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba

(4) CONICET

**Abstract.** Using CCD *UBVI<sub>KC</sub>* images obtained at Cerro Tololo Observatory (Chile) we show that NGC 2587 is a solar metallicity open cluster, somewhat younger than the Hyades, located at  $\sim 9.8$  kpc from the Galactic center in a direction in which the interstellar extinction follows the normal law. Using previously published kinematic data we determine the mean cluster's proper motion. Recently, this paper has been extensively published in MNRAS, 397, 1073 (2009).

**Resumen.** Usando imágenes CCD *UBVI<sub>KC</sub>* obtenidas en el Observatorio de Cerro Tololo (Chile), mostramos que NGC 2587 es un cúmulo abierto de metalicidad solar, algo más joven que las Hyades, ubicado a  $\sim 9.8$  kpc del centro galáctico en una dirección en la cual la extinción interestelar sigue la ley normal. Usando datos cinemáticos previamente publicados determinamos el movimiento propio medio de NGC 2587. Recientemente, este trabajo ha sido publicado *in extenso* en MNRAS, 397, 1073.

## 1. Observaciones y dimensiones

NGC 2587 es un cúmulo abierto relativamente brillante sobre el cual no existe ningún estudio fotométrico previo. Si bien Bustos Fierro (2007, en adelante BF07) midió movimientos propios (MPs) dentro de un campo de  $2^\circ \times 2^\circ$  en la región del cúmulo, no verificó la realidad física del mismo ni determinó sus parámetros básicos. Para clarificar su naturaleza, en el presente estudio usamos datos fotométricos de alta calidad obtenidos con el telescopio de 0.9 m y un CCD de 2048x208 pixeles del Observatorio de Cerro Tololo (Chile).

Las coordenadas del centro del cúmulo se determinaron a partir de ajustes gaussianos a los perfiles de densidad estelar en las direcciones X e Y, usando tareas de *IRAF* y aplicando el método estadístico descrito por Piatti et al. (2006). Las coordenadas resultantes son  $(X_C, Y_C) = (1300 \pm 10, 1190 \pm 10)$  pixeles, equivalentes a  $\alpha_{2000} = 8^h 23' 27''$ ,  $\delta_{2000} = -29^\circ 30' 34''$ . Si bien estos valores coinciden con los que resultan de una inspección visual, BF07 centró este objeto  $5.9'$  al sureste de nuestro valor. El perfil de densidad estelar radial de NGC 2587

no presenta una forma típicamente gaussiana. Sin embargo, el 75 % de los miembros (ver Sección 3) se ubican dentro de  $5'$  del centro. Como el miembro más alejado se ubica a  $8'$  del centro, adoptamos este valor como una estimación del radio de NGC 2587.

## 2. Nuevo método estadístico para limpiar el diagrama color-magnitud

No parece fácil identificar con precisión la secuencia principal (SP) de NGC 2587 en los diagramas color-magnitud (CM) observados (Fig. 1). En los mismos se aprecian un par de aparentes "clumps" de gigantes rojas centrados en  $(V, V - I) \simeq (12.5, 1.2)$  y  $(13.2, 1.5)$  y sus contrapartes en el diagrama  $(V, B - V)$ . De las posibles SPs, la del cúmulo parece ser la que alcanza la magnitud más brillante y el color más azul. Sin embargo, para determinar los parámetros básicos de NGC 2587 hay que minimizar primero la contaminación por estrellas del campo. Nótese que tanto las estrellas del cúmulo como del campo parecen estar afectadas por aproximadamente el mismo enrojecimiento; de allí la superposición de las respectivas secuencias. NGC 2587 no parece un cúmulo concentrado. Por el contrario, su apariencia revela más bien unas pocas estrellas comparativamente brillantes desparramadas en el campo. Precisamente, debido a su baja densidad estelar y al campo relativamente poblado sobre el cual este objeto se proyecta, cualquier diagrama CM construido a partir de extracciones circulares alrededor de su centro resultará muy contaminado por estrellas del campo. Dado que NGC 2587 cubre la mayor parte del área de  $13.6' \times 13.6'$  observada, desarrollamos un método alternativo para limpiar estadísticamente los diagramas CM. El mismo se basa en las siguientes suposiciones: (1) NGC 2587 tiene una baja densidad estelar. (2) Sus miembros se encuentran esparcidos en todo el área cubierta por el CCD. (3) El cúmulo está proyectado sobre un campo estelar muy poblado. Estas hipótesis, tomadas en conjunto, implican que cualquier diagrama CM extraído de área unitaria, en cualquier lugar del campo, debería estar principalmente representado por estrellas del campo. Dividimos entonces la región observada en 64 "cuadrados" de 250 píxeles de lado cada uno y construimos para cada uno de ellos los diagramas CM. A primera vista, se aprecian algunas diferencias entre estos diagramas, lo que revela cierta inhomogeneidad en la distribución espacial de los brillos y colores de la estrellas.

El método propuesto consiste en adoptar uno de esos 64 diagramas CM extraídos como "diagrama CM del campo" para descontaminar estadísticamente los restantes 63 diagramas. Este procedimiento de "limpieza" se repitió usando como diagrama CM del campo cada uno de los 64 diagramas CM. Al final de este proceso, cada diagrama CM extraído de cada cuadrado resultó individualmente limpiado usando cada vez un diagrama CM del campo diferente. La "limpieza" fue realizada usando cuadrados de  $[\Delta V, \Delta(B - V)] = [\Delta V, \Delta(V - I)] = (1.0, 0.2)$  magnitudes. Esta misma "limpieza" fue realizada usando cuadrados de  $(0.5, 0.2)$  y  $(0.5, 0.1)$  magnitudes e incluso cuadrados de  $500 \text{ píxeles}^2$  de área. Al comparar los 63 diagramas CM limpiados para un determinado cuadrado con el diagrama CM observado, resultan los correspondientes residuos y las características fiduciales del diagrama CM de ese cuadrado. En otras palabras, una estrella que aparece 63 veces en los diagramas CM limpiados de un determinado cuadrado

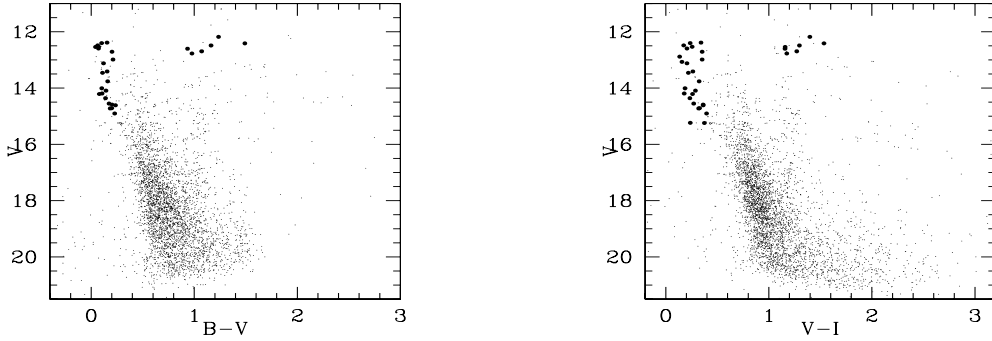


Figura 1. Diagramas CM observados. Los círculos negros representan probables miembros fotométricos

tiene muchas chances, estadísticamente hablando, de formar parte de las características intrínsecas del diagrama CM de ese cuadradito. Además, una estrella que es eliminada aproximadamente 63 veces tiene una magnitud y colores dentro de los valores típicos encontrados en los diagramas CM del campo. De esta manera, cuantas menos veces sea una estrella eliminada en un determinado cuadradito, mayor será la probabilidad de que constituya una característica inherente de ese cuadradito. Decidimos entonces adoptar como "probable miembro del cúmulo" una estrella que tenga 2 mediciones de  $B - V$  y  $V - I$  y que, además, haya sido eliminada menos del 20 % de las veces. De las 4406 estrellas medidas, un total de 32 satisfacen estos requisitos. La Fig. 2 muestra los diagramas CM limpiados. Entre las estrellas observadas más brillantes que  $V = 12$ , sólo HD 70927 tiene tipo espectral MK conocido. De acuerdo a Houck & Cowley (1975), se trata de una estrella F7/8 III. Luego, su magnitud absoluta visual es  $M_V = -2.3$  (Straizys 1992). Si suponemos que la misma está afectada por el enrojecimiento del cúmulo, sería un objeto de primer plano, ya que su distancia sería en este caso  $\sim 1.4$  kpc (ver Sección 3). Las posiciones en los diagramas CM de las restantes estrellas brillantes observadas indican que todas son probablemente no miembros.

### 3. Determinación de los parámetros fundamentales del cúmulo

Para determinar los parámetros fundamentales de NGC 2587 ajustamos isócronas teóricas de Lejeune & Schaerer (2001) a los diagramas CM en los cuales se ha minimizado la contaminación por estrellas del campo. Primero, ajustamos independientemente la Secuencia Principal de Edad Cero (ZAMS) a los diagramas  $(V, B - V)$  y  $(V, V - I)$  para cada metalicidad seleccionada y derivamos  $E(B - V)$ ,  $E(V - I)$  y  $V - M_V$ . El ajuste para  $Z = 0.020$  es el que mejor reproduce la secuencia no evolucionada. Luego, seleccionamos isócronas para valores de  $\log t$  mayores que 8.0 y usamos los pares de valores  $[V - M_V, E(B - V)]$  y  $[V - M_V, E(V - I)]$  derivados para estimar la edad del cúmulo. La isócrona correspondiente a  $\log t = 8.70$  ( $t = 5 \times 10^8$  años) es la que mejor reproduce las características del cúmulo. Para ajustar esta isócrona usamos  $E(B - V) = 0.10$ ,  $E(V - I) = 0.15$  y  $V - M_V = 12.50$ , obtenidos del ajuste de la ZAMS. En la Fig. 2 se muestra la ZAMS y la isócrona adoptada para  $Z = 0.020$ . Para fines de com-

paración, se muestran en líneas de puntos las isócronas para  $\log t = 8.65$  y  $8.75$ . La razón  $E(V - I)/E(B - V) = 1.50 \pm 0.40$  obtenida muestra buen acuerdo con la ley normal de enrojecimiento (Dean et al. 1978). Usando  $R = A_V/E(B - V) = 3.2$  (Straizys 1992), resulta para NGC 2587 una distancia heliocéntrica de  $2.7 \pm 0.7$  kpc y una distancia galactocéntrica de  $\sim 9.8$ , si se adopta 8.5 kpc como la distancia del Sol al centro galáctico.

#### 4. Análisis de los movimientos propios

BF07 midió MPs de 4172 estrellas en la región. Veinte de nuestros 32 miembros están en su lista. Excepto 2 estrellas con MPs bien diferentes, las 18 restantes tienen un MP medio de  $\mu_\alpha = -4.3 \pm 3.6$  msa/año y  $\mu_\delta = -2.5 \pm 3.4$  msa/año, valores que adoptamos para NGC 2587. HD 70927, no miembro de acuerdo a su  $M_V$ , tiene un MP que difiere en poco más de  $2\sigma$  del MP medio del cúmulo. BF07 derivó probabilidades de pertenencia entre 50 % y 70 % para 23 estrellas por él consideradas miembros. Sin embargo, sólo 2 de ellas están sobre la isócrona adoptada. Los MPs medios determinados por BF07 representan entonces una mezcla de MPs del cúmulo y del campo.

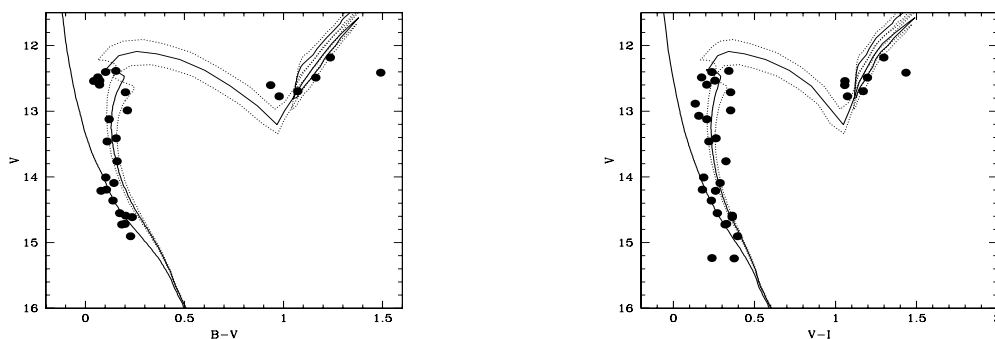


Figura 2. Diagramas color-magnitud con los probables miembros de NGC 2587. Las líneas llenas representan la ZAMS y las isócronas de Lejeune & Schaerer (2001). En líneas punteadas se muestran las isócronas asociadas a los errores en la edad del cúmulo.

#### Referencias

- Bustos Fierro, I.H., 2007, *Tesis Doctoral*, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.  
 Dean, F.J., Warren, P.R., Cousins, A.W.J., 1978, MNRAS, 183, 569  
 Houck, N., Cowley, A.P., 1978, University of Michigan Catalogue of Two-Dimensional Spectral Types for the HD stars  
 Lejeune, T., Schaerer, D., 2001, A&A, 366, 538  
 Piatti, A.E., Clariá, J.J., Ahumada, A.V., 2006, MNRAS, 367, 599  
 Straizys, V., 1992, *Multicolor Stellar Photometry*, Pachart Publishing House, Tucson, Arizona