

# ESTUDIO FOTOMÉTRICO DE MESSIER 13

## II. SECUENCIAS FOTOMÉTRICAS MULTIBANDA $BVI_c$

FRANCISCO VIOLAT BORDONAU

Asesores Astronómicos Cacereños, [fviolat@yahoo.es](mailto:fviolat@yahoo.es)

**Resumen.** En este segundo estudio dedicado a la fotometría CCD del cúmulo globular Messier 13 (NGC 6205), presentamos y analizamos varias secuencias fotométricas multibanda  $BVI_c$  que hemos utilizado o utilizaremos para realizar estudios fotométricos y colorimétricos del cúmulo (incluyendo diagramas color-magnitud). Incluimos también la Distribución Espectral de la Energía (S.E.D.) de dos estrellas del cúmulo de brillos y colores dispares (la variable V38, naranja, y la *Blue Straggler* L222, azul) así como uno de los cinco diagramas color-magnitud (magnitudes  $V$  e índices de color  $B - V$ ) que hemos realizado del cúmulo utilizando las mediciones obtenidas en la campaña fotométrica del año 2013; dicho diagrama nos permite observar las distintas zonas del mismo: la Rama de las Gigantes Rojas, la Rama de las Subgigantes, la Rama Horizontal (mag.  $\sim 15 V$ ), la zona de las *Blue Stragglers* (mag.  $\sim 16-18 V$ ) y el sector situado cerca del *Turnoff Point* (mag.  $\sim 18 V$ ).

---

En un trabajo anterior (Violat, 2013) presentamos y analizamos la historia de los diferentes estudios fotométricos realizados del cúmulo globular Messier 13 (NGC 6205), entre los años 1905 y 2010, comentando primero los más antiguos (todos ellos fotográficos) y luego los más modernos (fotoeléctricos o CCD), sus diversos autores y precisiones, presentando en nueve tablas los resultados obtenidos por los diferentes investigadores y deteniéndonos en el trabajo de Sandquist y colaboradores (Sandquist *et al.*, 2010), del cual hicimos una pequeña comparativa con las fotometrías obtenidas años atrás por Kadla (1966), Cudworth-Monet (1979) y Osborn (2000).

En este segundo trabajo vamos a presentar varias secuencias fotométricas más actuales analizándolas en detalle para comprobar su linealidad, el rango de magnitudes que abarcan y si son adecuadas, o no, para realizar estudios fotométricos multibanda ( $BVRI$ ) del cúmulo. Finalmente presentaremos el primer diagrama color-magnitud del cúmulo (diagrama H-R) que hemos elaborado utilizando los datos obtenidos en la campaña fotométrica del año 2013, en bandas  $B$  y  $V$  Johnson (Johnson y Morgan, 1953), sirviendo el mismo como introducción a un completo estudio sobre el tema: obtención de magnitudes  $BVI_c$  y diagramas color-magnitud  $B - V$  y  $B - I_c$  de distintos sectores del cúmulo (incluyendo la zona del núcleo) que presentaremos próximamente en otro trabajo.

### 1. SECUENCIA $UBVRI$ DE OSBORN (2000).

Desde el año 2001 hemos venido utilizando la fotometría de Osborn publicada en su trabajo fotométrico del año 2000: en él se listan y tabulan las magnitudes  $UBVRI$  de 104 estrellas del cúmulo obtenidas tanto con fotómetro fotoeléctrico (en 1983 y 1991) como fotográficamente (placas de los años 1967-1969, 1976 y 1983). De todas ellas elegimos cuidadosamente una secuencia que creímos adecuada (en función de su posición y cercanía a otras estrellas) para estudiar todas las estrellas variables del cúmulo, sospechosas de variabilidad y no variables que presentamos en la Tabla 1; en dicha tabla (y en todas las demás) se tabula el número de la estrella en el catálogo Ludendorff (1905) así como las magnitudes  $B$ ,  $V$  e índices de color  $B - V$  de las mismas, magnitudes que también aparecen en la carta CCD del cúmulo que elaboramos en el año 2001 (Figura 1 de nuestro anterior estudio); las estrellas aparecen ordenadas por su magnitud  $V$ :

**TABLA 1. SECUENCIA FOTOMÉTRICA DE OSBORN**

<b>L</b>	<b>B</b>	<b>V</b>	<b>B – V</b>
261	13.59	12.20	1.39
199	13.56	12.21	1.35
853	13.64	12.25	1.39
250	13.70	12.39	1.31
1019	13.30	12.65	0.65
252	13.90	12.68	1.13
169	13.98	12.81	1.17
353	13.99	12.83	1.36
863	14.20	13.07	1.13
222	12.97	13.15	-0.18
848	14.22	13.15	1.07
201	14.25	13.18	1.07
176	14.37	13.34	1.03
921	14.41	13.38	1.03
268	14.51	13.50	1.01
920	14.57	13.71	0.86
783	14.84	13.89	0.96
1027	14.86	14.20	0.66
379	15.23	14.42	0.81
203	15.77	14.98	0.79
1057	15.97	15.20	0.77
187	15.31	15.21	0.10
135	16.10	15.34	0.76
322	15.78	15.69	0.09
527	16.71	16.26	0.45

como podemos ver la secuencia fotométrica cubre exactamente cuatro magnitudes: desde la cima de la Rama de las Gigantes Rojas hasta aproximadamente una magnitud por debajo de la Rama Horizontal, que es la zona en donde se localizan las estrellas variables de tipo RR Lyrae; la secuencia incluye también las débiles estrellas "variables" denominadas V12 (L187), V3 (L135), V4 (L322) y V14 (L527) que realmente no varían de brillo (Kopacki *et al.*, 2003). Notaremos también que hemos elegido, en varios casos, parejas de estrellas de brillo similar (12.20, 12.21 y 12.25; 12.65 y 12.68; 12.81 y 12.83; 12.34 y 12.38 ó 15.20 y 15.21, así como dos de magnitudes idénticas: 13.15 y 13.15): esto se ha hecho a propósito ya que, al situarse estas diferentes estrellas de calibración en zonas de posible apiñamiento estelar (con la consiguiente alteración y contaminación lumínica por parte de estrellas vecinas), podamos decidir entre utilizar unas u otras dependiendo de la focal empleada y de la resolución final obtenida en las imágenes CCD filtradas.

Ahora bien, ¿es esta secuencia de veinticinco estrellas la más adecuada para calibrar nuestras imágenes y obtener fotometría a partir de ellas? Para responder la pregunta lo mejor es representar gráficamente la magnitud de todas estas estrellas, lo que hacemos en la Figura 1:

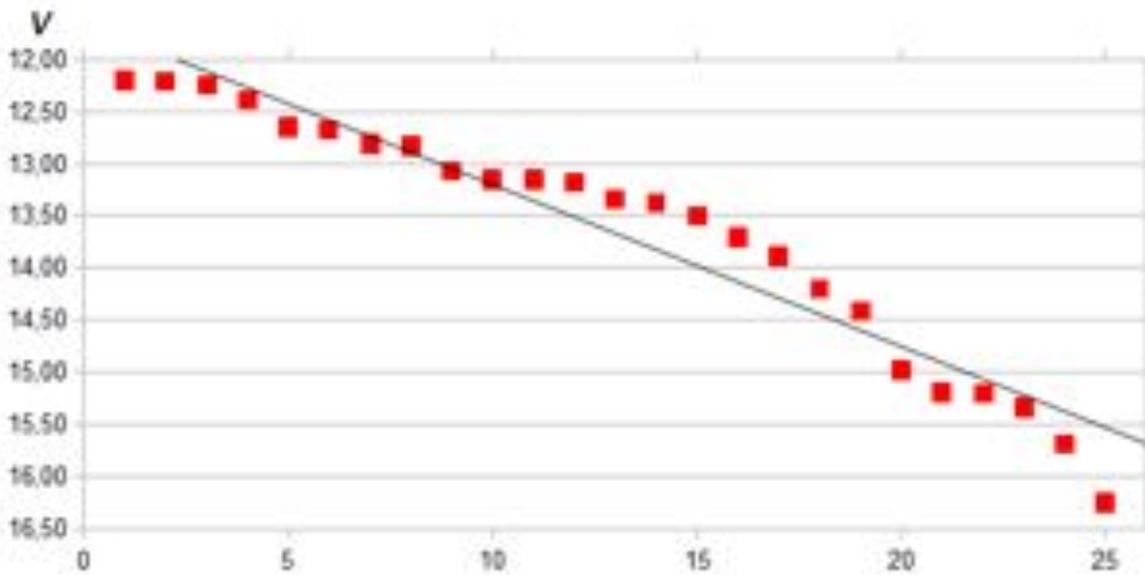


Figura 1. Gráfico que muestra la secuencia original de Osborn y sus 25 estrellas: se ha superpuesto sobre ella una línea de regresión o ajuste lineal; el resultado muestra que los valores oscilan alrededor de la línea de regresión.

notamos enseguida que la secuencia no es la más adecuada para estudiar el cúmulo ya que hay valores casi idénticos redundantes, los tramos entre magnitudes no son iguales y, en general, los datos aparecen a un lado y otro de la línea de ajuste: sin duda alguna esta secuencia puede mejorarse. Podemos hacer una nueva secuencia, más breve y más *lineal*, eliminando algunas estrellas no esenciales, las redundantes y alguna otra más de magnitudes similares a las que hay en su proximidad, la cual un vez elaborada representamos en la Figura 2; el listado de las estrellas que nos han quedado ahora y sus magnitudes, diecisiete en total, aparece en la Tabla 2.

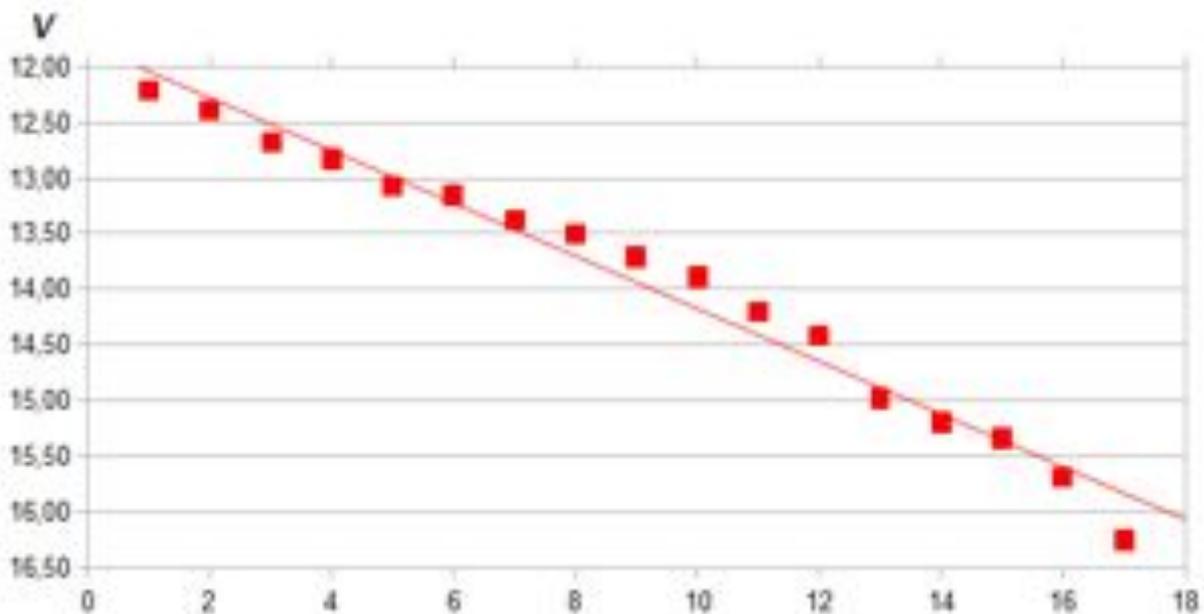


Figura 2. Gráfico que presenta la secuencia reducida de Osborn, esta vez con 17 estrellas: se ha superpuesto sobre ella una línea de regresión o ajuste lineal; el resultado es bastante más coherente excepto para la estrella más débil.

**TABLA 2. NUEVA SECUENCIA FOTOMÉTRICA DE OSBORN**

<b>L</b>	<b>B</b>	<b>V</b>	<b>B - V</b>
261	13.59	12.20	1.39
250	13.70	12.39	1.31
252	13.90	12.68	1.13
353	13.99	12.83	1.36
863	14.20	13.07	1.13
848	14.22	13.15	1.07
921	14.41	13.38	1.03
268	14.51	13.50	1.01
920	14.57	13.71	0.86
783	14.84	13.89	0.96
1027	14.86	14.20	0.66
379	15.23	14.42	0.81
203	15.77	14.98	0.79
1057	15.97	15.20	0.77
135	16.10	15.34	0.76
322	15.78	15.69	0.09
527	16.71	16.26	0.45

con esta nueva secuencia la distribución de magnitudes es más lineal y coherente en cuanto a tramos de magnitud; el único valor discordante es el más débil, que se aparta de la linealidad, pero de todos modos la secuencia nos permite estudiar cómodamente todas las estrellas situadas entre la cima de la Rama de las Gigantes Rojas (mag.  $\sim 12 V$ ) y la Rama Horizontal (magnitud cercana a la  $\sim 15 V$ ).

## 2. SECUENCIA DE SANDQUIST *ET AL.* (2010).

Examinando los trabajos fotométricos del cúmulo más recientes encontramos el de Sandquist y colaboradores (Sandquist *et al.*, 2010), que tabula magnitudes  $B$ ,  $V$  e  $I_c$  (con una precisión de tres decimales) de nada menos que 641 estrellas de la Rama de las Gigantes Rojas, 84 de la Rama Asintótica y 792 de la Rama Horizontal con lo que disponemos de una amplísima gama de valores entre los que elegir. Antes de comenzar a seleccionarlos comprobamos que todas estas estrellas cumplieren tres requisitos muy importantes:

a) poder ser localizadas sin error sobre nuestras imágenes, para lo cual sólo elegimos estrellas con número Ludendorff claramente identificables a través de SIMBAD Database y VizieR

b) situarse, de ser posible, lejos del núcleo (para evitar el apiñamiento estelar) pero dentro del campo cubierto por el chip, y

c) aparecer aisladas de otras estrellas, para evitar la contaminación lumínica de las mismas.

Comenzamos por el sector Oeste del cúmulo (la parte izquierda en nuestras imágenes CCD), que contiene los números Ludendorff (L) más bajos y empezamos a buscar estrellas brillantes con números L, saltando a VizieR para conocer sus magnitudes  $B$ ,  $V$  e  $I_c$  y anotarlas en una tabla de

datos; poco a poco fuimos buscando e identificando estrellas de brillo cada vez más alto hasta llegar al límite de nuestra mejor imagen filtrada en banda  $B$  (en torno a la magnitud  $\sim 18.5 V$ ). Al terminar la operación nos encontramos con que habíamos elaborado una lista de 34 estrellas cuyas magnitudes oscilaban entre la 12.175 y la 17.996  $V$ : casi seis magnitudes enteras. En la Tabla 2 mostramos las veintiuna primeras estrellas ordenadas, dentro de cada columna, por su magnitud  $V$ :

**TABLA 3. SECUENCIA FOTOMÉTRICA DE SANDQUIST *ET AL.***

<b>L</b>	<b><math>V</math></b>	<b>L</b>	<b><math>V</math></b>	<b>L</b>	<b><math>V</math></b>
<b>199</b>	12.175	<b>268</b>	13.475	<b>38</b>	14.690
<b>745</b>	12.480	<b>26</b>	13.560	<b>80</b>	14.926
<b>316</b>	12.516	<b>43</b>	13.686	<b>50</b>	14.967
<b>77</b>	12.762	<b>81</b>	13.958	<b>49</b>	15.100
<b>848</b>	13.109	<b>833</b>	14.071	<b>14</b>	15.290
<b>109</b>	13.274	<b>79</b>	14.205	<b>69</b>	15.362
<b>243</b>	13.280	<b>29</b>	14.525	<b>55</b>	15.427

cuando representamos estas estrellas en un gráfico ordenado por magnitudes, como hicimos antes con las secuencias de Osborn, obtenemos el resultado mostrado en la Figura 3:

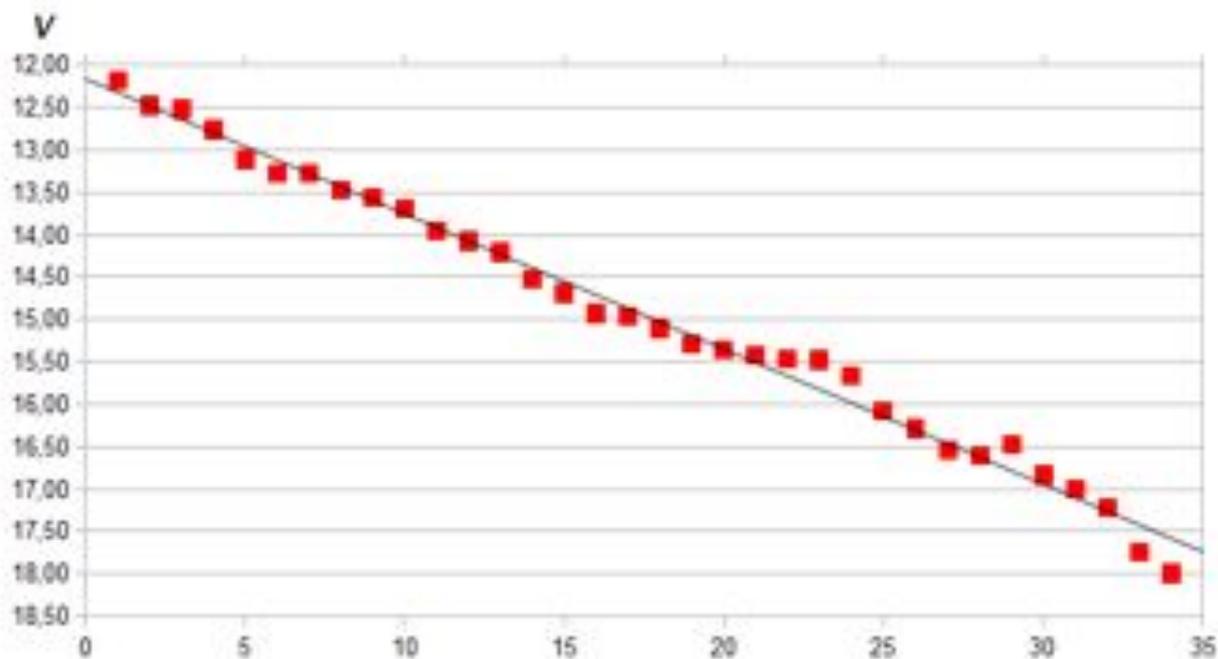


Figura 3. Gráfico que muestra las 34 estrellas de la secuencia original de Sandquist *et al.*: se ha superpuesto sobre ella una línea de regresión o ajuste lineal. La secuencia es muy completa pero no es la más perfecta posible.

al examinar la figura veremos que la secuencia es moderadamente lineal hasta cerca de la magnitud 15.50  $V$  pero que, a partir de este punto, las estrellas *zigzaguean* a un lado y otro de la línea de

ajuste perdiendo la linealidad cerca de la magnitud 17.20  $V$ : es preciso elegir con mucho más cuidado las estrellas; cuando lo hacemos así nos quedamos con sólo dieciocho entre las magnitudes 12.175 y 17.001  $V$ , exactamente igual que antes, pero que al representarlas en un gráfico ordenadas por magnitud (Figura 4) muestran una linealidad que, si no es perfecta del todo, sí es mucho más ajustada y con una mejor distribución de astros por magnitudes.

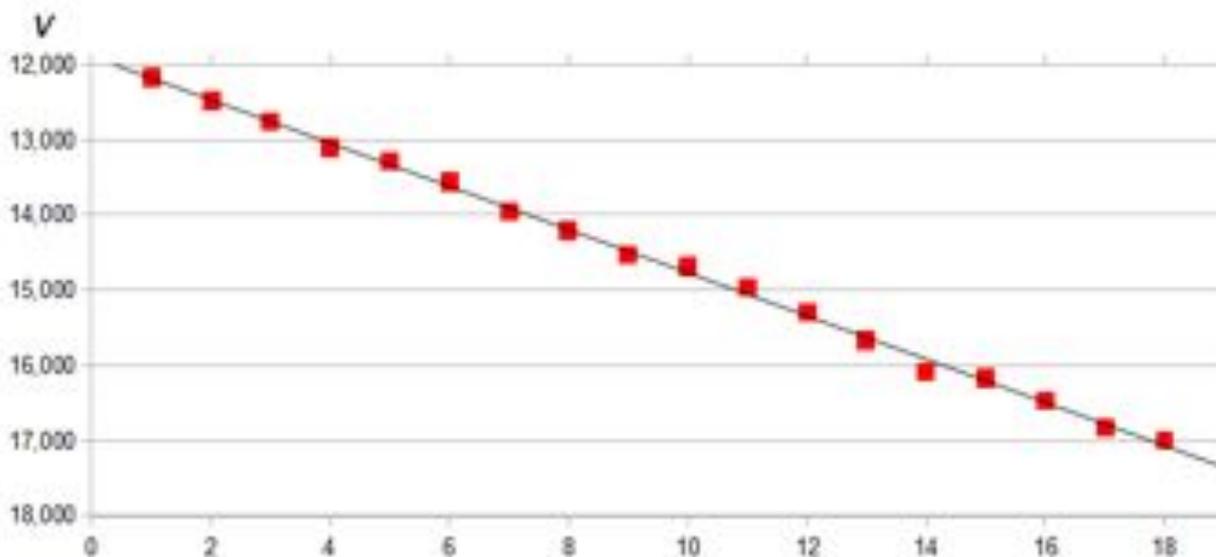


Figura 4. Gráfico que muestra la secuencia final de Sandquist *et al.*: como en los demás casos se ha superpuesto sobre ella una línea de ajuste; la secuencia obtenida es muy completa, bien distribuida y con una buena linealidad.

La relación de estas estrellas especialmente seleccionadas las presentamos en la Tabla 4; cada una de ellas ha sido bautizada con una letra mayúscula (además de tener su propio número Ludendorff), letras que luego nos ayudarán a identificarlas sobre una de nuestras imágenes CCD:

**TABLA 4. NUEVA SECUENCIA FOTOMÉTRICA DE SANDQUIST *ET AL.***

<b>L</b>	<b>LETRA</b>	<b><math>V</math></b>	<b>L</b>	<b>LETRA</b>	<b><math>V</math></b>	<b>L</b>	<b>LETRA</b>	<b><math>V</math></b>
<b>199</b>	<i>A</i>	12.175	<b>81</b>	<i>G</i>	13.958	<b>179</b>	<i>M</i>	15.669
<b>745</b>	<i>B</i>	12.480	<b>79</b>	<i>H</i>	14.205	<b>46</b>	<i>N</i>	16.083
<b>77</b>	<i>C</i>	12.762	<b>29</b>	<i>I</i>	14.525	<b>84</b>	<i>Ñ</i>	16.171
<b>848</b>	<i>D</i>	13.109	<b>38</b>	<i>J</i>	14.690	<b>1071</b>	<i>O</i>	16.471
<b>243</b>	<i>E</i>	13.280	<b>50</b>	<i>K</i>	14.967	<b>54</b>	<i>P</i>	16.834
<b>26</b>	<i>F</i>	13.560	<b>14</b>	<i>L</i>	15.290	<b>161</b>	<i>Q</i>	17.001

en la Figura 5 mostramos esta secuencia claramente identificada (por sus letras mayúsculas) sobre una de nuestras imágenes CCD filtradas en banda *B*:

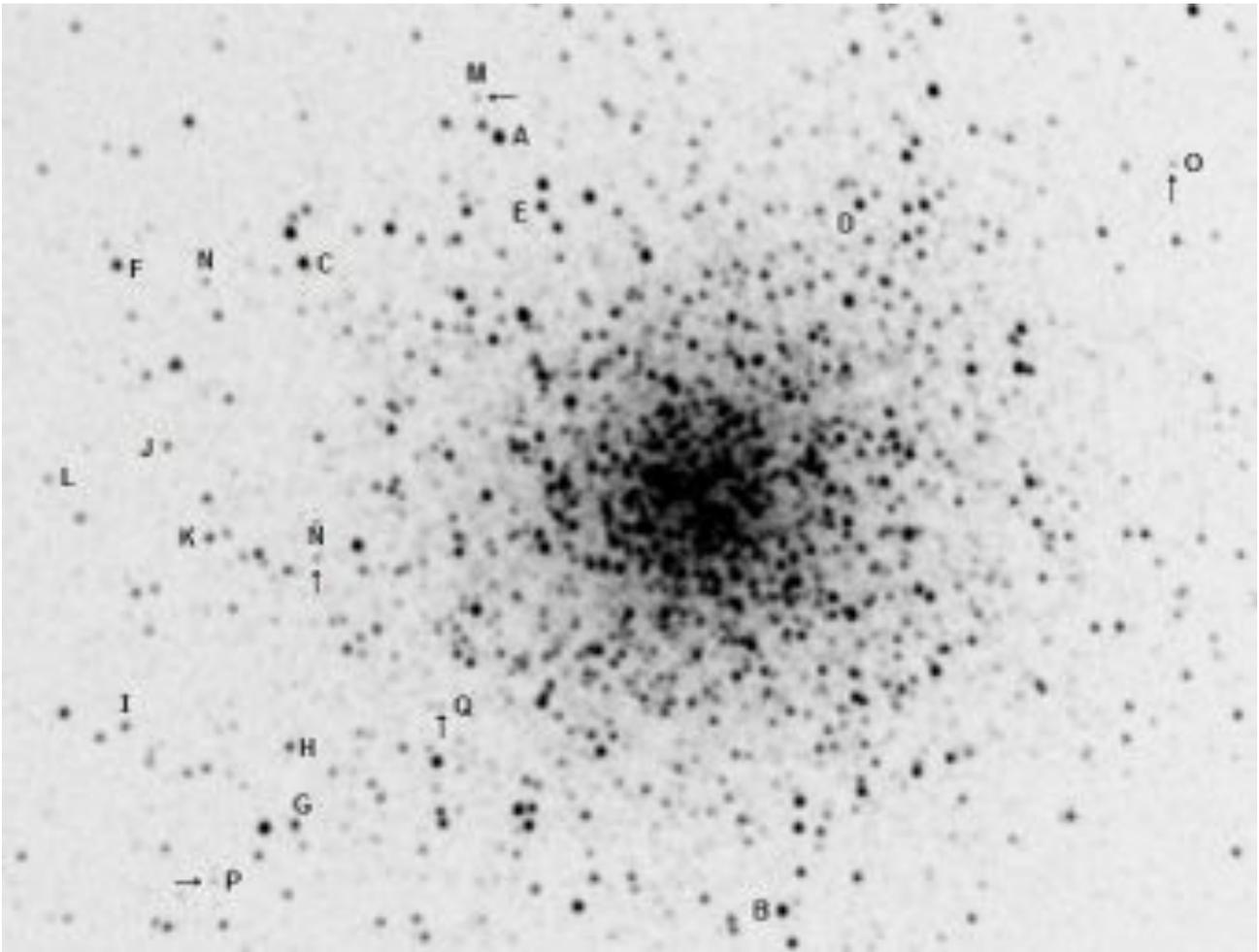


Figura 5. Imagen CCD del cúmulo Messier 13, en banda  $B$  Johnson, sobre la cual se han marcado las estrellas de la nueva calibración fotométrica de Sandquist *et al.*: con flechas aparecen identificadas las componentes más débiles o difíciles de identificar; Norte abajo, Este a la derecha.

Hemos utilizado una imagen tomada con filtro azul ( $B$  Johnson) para evitar que las estrellas más brillantes (todas ellas Gigantes Rojas) apareciesen excesivamente saturadas, cosa que nos obligaría a tener que cambiar el brillo y el contraste: si lo hiciésemos así las estrellas más débiles (superiores a la magnitud  $\sim 16 V$ ) desaparecerían de la imagen y no podríamos identificar las componentes débiles de la secuencia Sandquist; de hecho en la imagen CCD se pueden apreciar, en el límite, estrellas de la magnitud  $18.0 V$  e incluso algo más débiles (mag.  $\sim 18.5 V$ ).

Con esta secuencia podemos obtener fotometría (en banda  $V$ ) de las estrellas componentes del cúmulo: todas las variables conocidas (Gigantes Rojas, Cefeidas, RR Lyrae e incluso SX Phoenicis) y el resto de componentes hasta la magnitud  $\sim 17.5 V$  aproximadamente. Ahora bien, dado que Sandquist y equipo determinaron las magnitudes  $B$ ,  $V$  e  $I_c$  de gran cantidad de estrellas, y nosotros sólo hemos presentado hasta ahora las magnitudes  $V$ , estamos en disposición de elaborar y mostrar una nueva tabla (que denominaremos Tabla 5) que incluya las magnitudes de las estrellas de nuestra secuencia en las distintas bandas medidas por estos investigadores; dicha nueva tabla identifica las distintas componentes por su letra mayúscula, y número Ludendorff, ordenadas por su magnitud en banda  $V$ .

**TABLA 5. MAGNITUDES  $BVI_c$  DE SANDQUIST ET AL.**

LETRA	L	B	V	$I_c$
A	199	13.538	12.175	10.775
B	745	13.773	12.480	11.146
C	77	13.903	12.762	11.505
D	848	14.179	13.109	11.922
E	243	14.313	13.280	12.130
F	26	14.510	13.560	12.469
G	81	14.840	13.958	12.906
H	79	15.043	14.205	13.177
I	29	15.324	14.525	13.529
J	38	15.480	14.690	13.743
K	50	14.985	14.967	14.863
L	14	16.040	15.290	14.366
M	179	16.367	15.669	14.763
N	46	16.946	16.083	16.179
Ñ	84	16.024	16.171	16.267
O	1071	16.375	16.471	16.566
P	54	16.671	16.834	16.958
Q	161	16.806	17.001	17.144

la información contenida en la Tabla anterior, además de necesaria para efectuar fotometría multibanda con los programas adecuados, nos permite calcular los índices de color (tales como  $B - V$ ,  $B - I_c$  o  $V - I_c$ ) y conocer la *Distribución Espectral de la Energía* (S.E.D. por sus siglas en inglés) de cada una de estas estrellas: es decir, saber en qué zona del espectro electromagnético ( $B$  color azul,  $V$  color verde o  $I_c$  sector del infrarrojo cercano) emite más energía, de donde podemos deducir su color y tipo espectral aproximado en función de su temperatura superficial; de este modo la estrella A, con un índice de color  $B - V$  igual a 1.363, emite su máximo en el infrarrojo cercano mientras que la estrella Q, con un índice de color  $B - V$  igual a -0.195, tiene su máximo brillo en la zona azul del espectro. En la Figura 6 comparamos los índices de color  $B - V$  de tres estrellas con distintas temperaturas superficiales, espectros y colores:

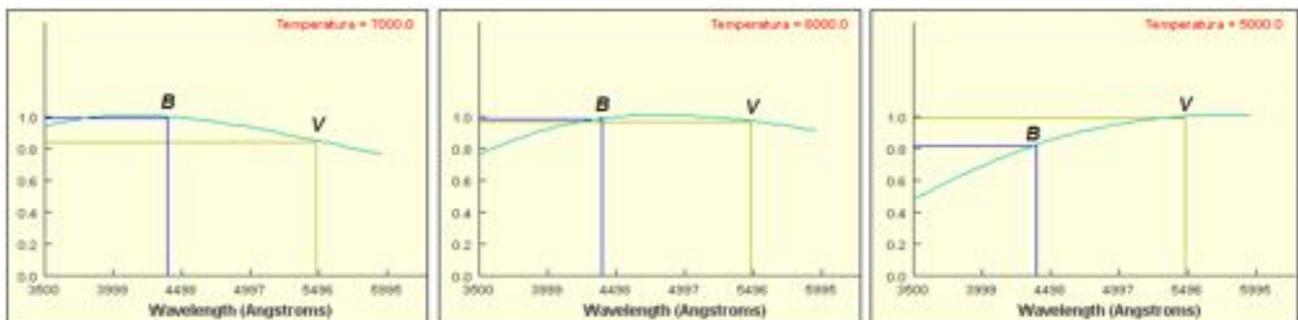


Figura 6. Índices de color  $B - V$  de tres estrellas en función de su temperatura superficial: 7000 K, 6000 K y 5000 K.

si nos fijamos en el panel de la izquierda veremos que el índice de color  $B - V$  es negativo ya que la estrella es caliente (7000 K) y emite más energía en la zona azul que en la verde; la del centro tiene un índice de color próximo a cero ya que brilla casi lo mismo con el filtro  $B$  que con el  $V$  al ser un poco más fría (6000 K), mientras que la de la derecha es algo más fría todavía (5000 K) emitiendo más energía en la zona verde que en la azul: su índice de color  $B - V$  es positivo. Podemos hacer esto mismo con cuatro estrellas de la secuencia de Sandquist *et al.*, concretamente con los astros A, K, O y Q, para ver la S.E.D. de cada uno de ellos y poder determinar si son fríos (rojizos y naranjas) o calientes (blancos y azulados), lo que mostramos en la Figura 7:

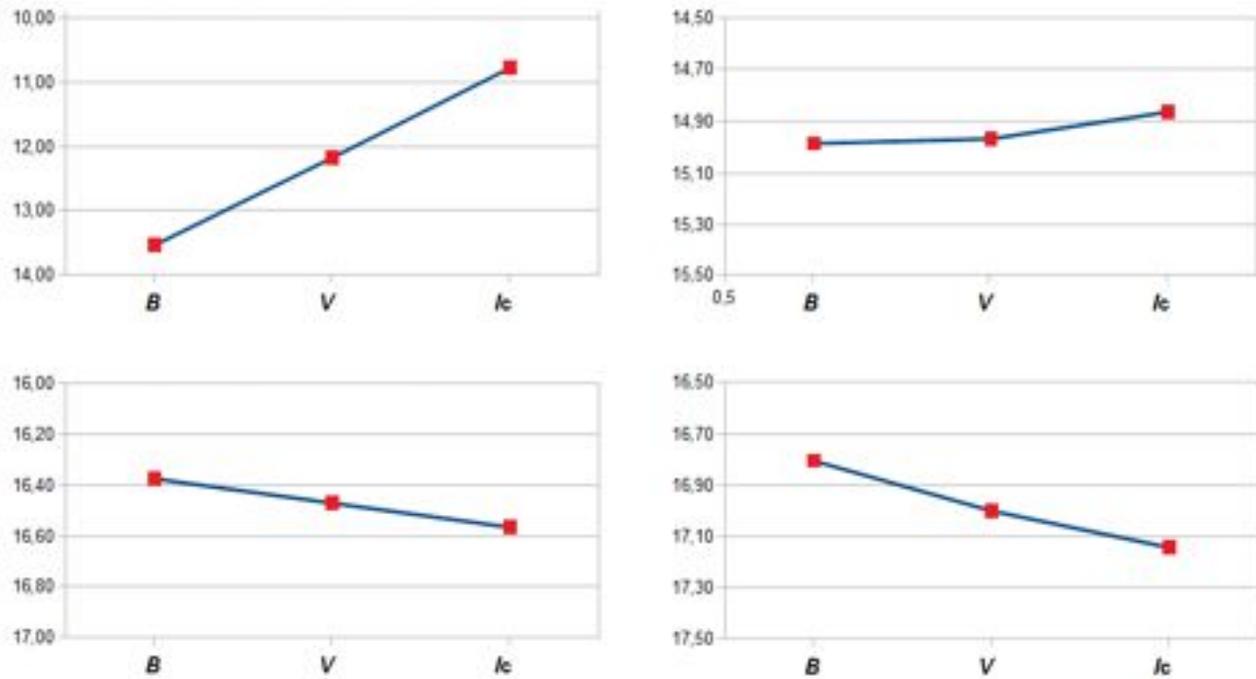


Figura 7. Distribución espectral de la energía (S.E.D.) de cuatro estrellas que son, de izquierda a derecha y de arriba a abajo, las denominadas A, K, O y Q respectivamente; se aprecia con claridad la diferencia de emisiones según el filtro utilizado. Notemos que mientras que la escala de la primera estrella abarca cuatro magnitudes las restantes sólo abarcan una magnitud, lo que indica que sus índices de color  $B - V$  y  $B - I_c$  son mucho más reducidos.

el primer panel (arriba a la izquierda) corresponde a la estrella A (L199): notamos de inmediato que la escala abarca cuatro magnitudes y que el astro emite más energía en la zona infrarroja que en la azul, lo que nos indica que es frío: su índice de color  $B - V$  es igual a 1.363; el segundo panel (arriba a la derecha) corresponde a la estrella K (L50) con un índice de color  $B - V$  igual a 0.018: es un astro que emite casi la misma energía en la zona azul que en la verde, de modo que es blanco; la tercera estrella (panel inferior izquierdo) corresponde a la que hemos bautizado como O (L1071) con un índice de color  $B - V$  igual a -0.096, por lo cual la estrella es blanco-azulada; finalmente la última estrella (panel inferior derecho) es la que llamamos Q (L54) con un índice de color  $B - V$  igual a -0.195: es un astro claramente azulado.

### 3. FOTOMETRÍA $BVI_c$ DE 635 ESTRELLAS DEL CÚMULO.

Utilizando la secuencia fotométrica de Sandquist *et al.* presentada en la Tabla 5 hemos calibrado distintas imágenes  $B$ ,  $V$  e  $I_c$  del cúmulo capturadas por nosotros, en las cuales se han identificado con números y medido un total de 635 estrellas (520 principales y otras 115 secundarias); para facilitar el proceso de identificación y medición de cada estrella hemos dividido el cúmulo, previamente, en cinco sectores denominados A a D (sector sudoeste, sector sudeste, sector nordeste y sector noroeste) así como la zona del núcleo, denominada Sector E; estos sectores aparecen identificados con toda claridad en la Figura 8:

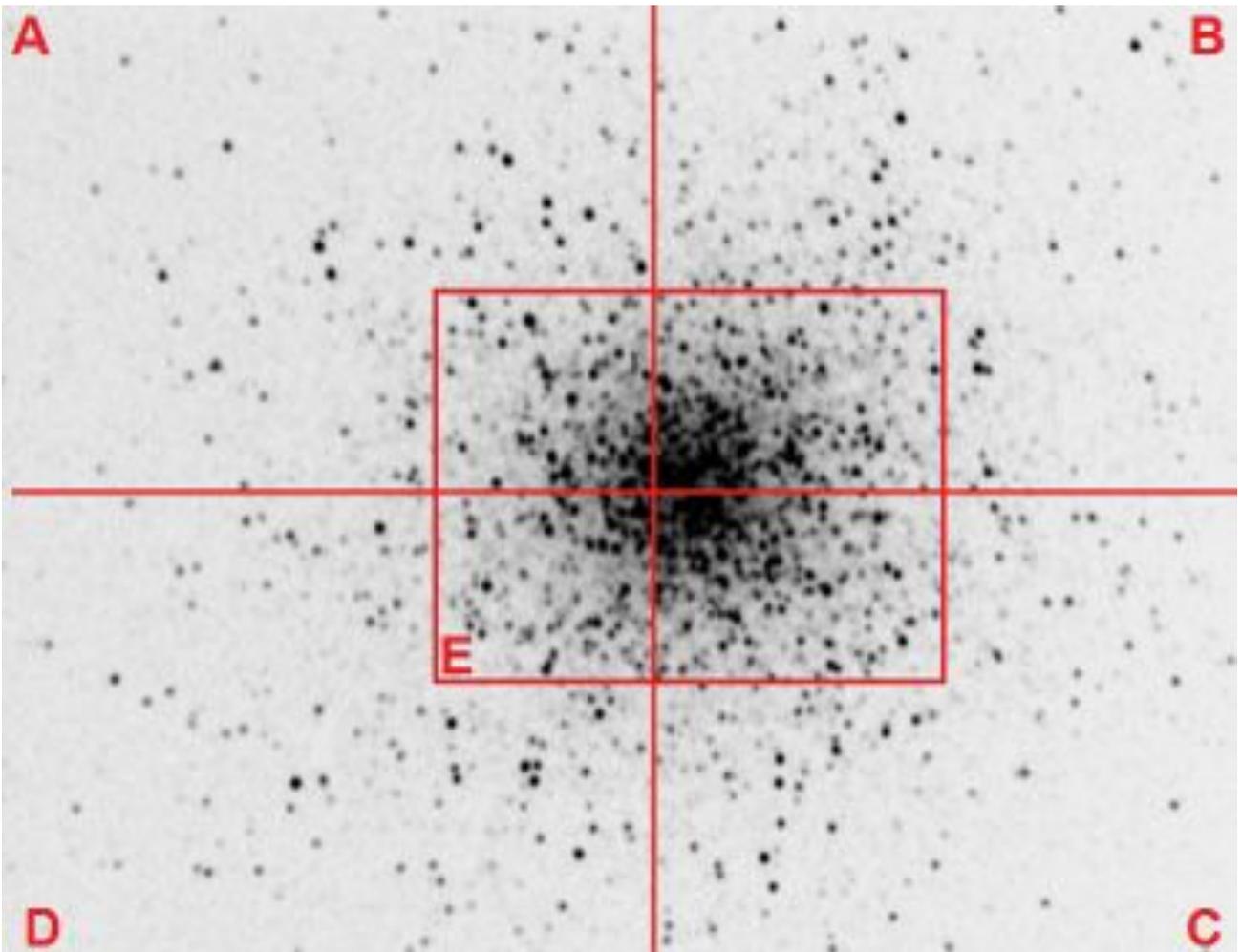


Figura 8. Los cinco sectores A a E en los cuales se ha dividido el cúmulo para medir fotométricamente sus distintas estrellas componentes. Imagen CCD obtenida por el autor en banda  $B$  Johnson: Norte abajo, Este a la derecha.

el centro de la figura coincide con el centro real del cúmulo, de tal manera que el Sector E nos permite obtener una buena fotometría de la zona más interna del mismo y de sus variables más calientes (Cefeidas, RR Lyrae y SX Phoenicis), todas las cuales están contenidas en este sector.

Al haber obtenido fotometría multibanda  $BVI_c$  podemos determinar no sólo los índices de color de todas las estrellas estudiadas, sino presentar las Distribuciones Espectrales de la Energía de

las mismas tal como hicimos antes a partir de la fotometría de Sandquist *et al.* pero ahora con nuestros propios datos: de este modo, por ejemplo, podemos mostrar las S.E.D. de dos estrellas de brillos y colores muy dispares como son la variable de tipo Gigante Roja V38 (L414) y la estrella azul de tipo *Blue Straggler* L222, lo que hacemos en la Figura 9:

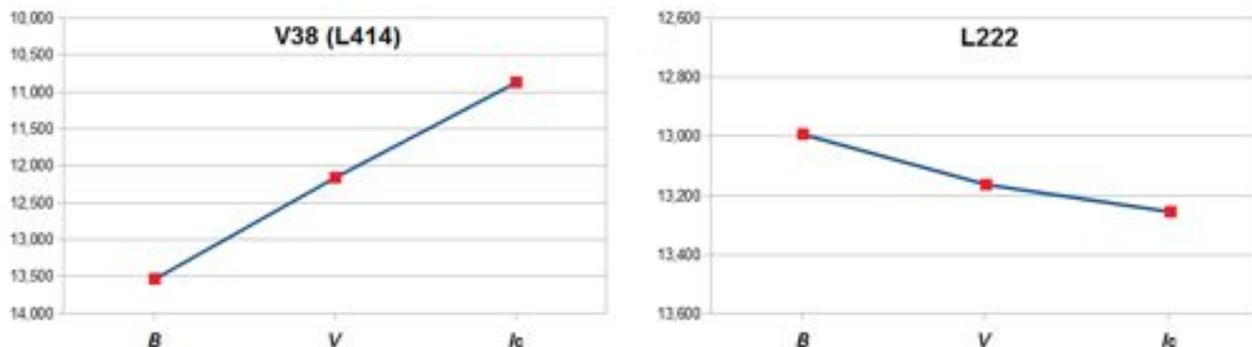


Figura 9. Distribución Espectral de la Energía de las estrellas V38 (L414) y L222: la primera es una variable de tipo Gigante Roja, la segunda una estrella muy azul de tipo *Blue Straggler*. Nótese la diferencia de escalas en cada panel.

la primera de ellas tiene, según nuestras mediciones, magnitudes 13.540  $B$ , 12.162  $V$  y 10.874  $I_c$  con un índice de color  $B - V$  igual a 1.354, mientras que la segunda es de magnitud 12.993  $B$ , 13.163  $V$  y 13.255  $I_c$  por tanto su índice de color  $B - V$  es igual a -0.170: mientras que V38 es anaranjada L222 es muy azulada. Esta diferencia es más acusada cuando medimos los índice de color  $B - I_c$ : el de la primera es igual 2.666 (casi tres magnitudes) y el de la segunda igual a -0.262, de ahí la diferencia en la escala de los gráficos presentados.

Utilizando la fotometría de los cinco sectores mencionados hemos obtenido diagramas color-magnitud  $B - V$  de cada uno de ellos; en la Figura 10 comparamos el resultado obtenido a partir de las 109 estrellas contenidas en el Sector B (astros números 92 a 200, ambos inclusive), diagrama que comparamos con el obtenido por Paltrinieri *et al.* (1998).

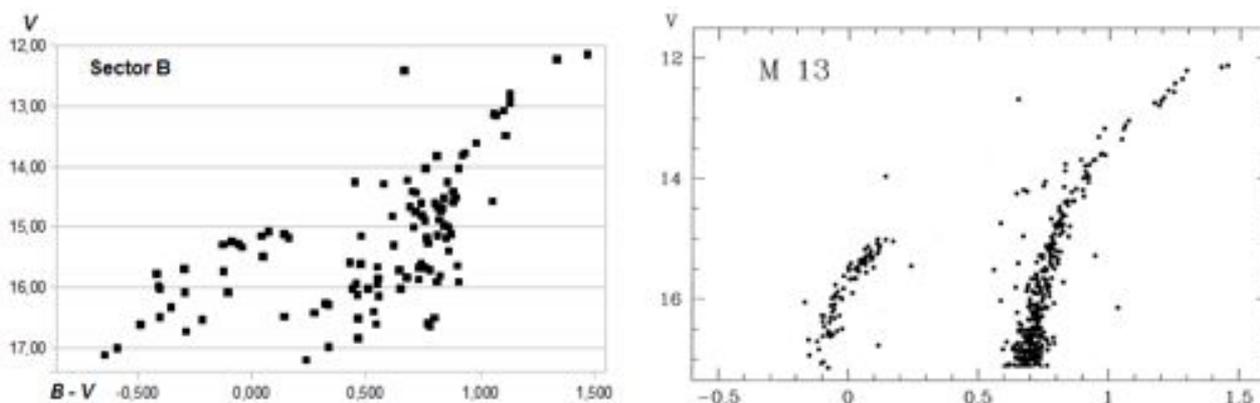


Figura 10. Diagramas color-magnitud obtenidos por el autor (izquierda, Sector B de M13) y Paltrinieri *et al.* (derecha): en ambos se aprecia la Secuencia de las Gigantes Rojas, la Rama Asintótica y la Rama Horizontal con un hueco muy visible entre ellos, zona que corresponde a la *Banda de Inestabilidad* de las variables de tipo Cefeida y RR Lyrae.

el examen atento de los mismos pone de manifiesto, en primer lugar, que ambos abarcan cinco magnitudes desde la cima de las Gigantes Rojas hasta la magnitud 17  $V$ ; en segundo lugar podemos ver en ambos dos grupos de estrellas muy bien definidos: las pertenecientes a la Rama Horizontal, formada por estrellas fundamentalmente blancoazuladas y la Rama de las Gigantes Rojas formada por astros rojizos, naranjas y amarillentos. Vemos, además, un hueco (o *gap*) muy llamativo entre ambos grupos: es conocido como *Banda de Inestabilidad* y es la zona en donde se sitúan las estrellas variables de tipo Cefeida y RR Lyrae.

## RESUMEN

Hemos presentado y analizado dos secuencias fotométricas multibanda: la de Osborn (2000) y la de Sanquist *et al.* (2010); de ellas hemos obtenido, a su vez, otras dos nuevas secuencias bien muestreadas y con una excelente linealidad que pueden ser utilizadas para realizar fotometría del cúmulo. Se presentan también la secuencia fotométrica empleada por nosotros en el año 2013 y la carta CCD que las identifica, los cinco sectores (A a E) en los que hemos dividido el cúmulo para su estudio fotométrico, las S.E.D. de dos estrellas muy distintas (una Gigante Roja y una *Blue Straggler*), que se analizan y comparan, así como uno de los cinco diagramas color-magnitud  $B - V$  que hemos obtenido a partir de la monumental fotometría obtenida en el año 2013: un total de 635 estrellas distintas de las cuales 520 son principales y otras 115 secundarias.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido realizado utilizando los catálogos y bancos de datos de VizieR y SIMBAD (Centro de Datos Estelares CDS, Strasbourg, France), Aladin Sky Atlas, NASA's Astrophysics Data System así como el telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura, la cámara CCD y su rueda de filtros fotométricos ( $BVR_cI_c$ ) del Observatorio Astronómico de Cáceres.

## REFERENCIAS

- Aladin Sky Atlas: <http://aladin.u-strasbg.fr/java/nph-aladin.pl>  
Cudworth, K. M., Monet, D. G. (1979), AJ, 84, 774  
Johnson, H. L., Morgan, W. W. (1953), ApJ, vol. 117, 313  
Kadla, Z. I. (1966), *Izv. Glav. Astron. Obs.*, 181, 93  
Kopacki, G. *et al.* (2003), A&A, 398, 541  
Luddendorf, H. (1905), *Publ. Astrophys. Obs. Potsdam*, 15, N° 50  
Osborn, W. (2000), AJ, 119, 2902  
Paltrinieri, B. *et al.* (1998), MNRAS, vol. 293, p. 434  
Sandquist, E. L., Gordon M., Levine D., Bolte M. (2010), AJ, 139, 2374  
SIMBAD Astronomical Database: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>  
Violat Bordonau, F. A. (2013, agosto) web Casanchi: <http://casanchi.com/ast/secuencias01.htm>  
VizieR Catalogue Service: <http://vizier.u-strasbg.fr/>