

ESTUDIO FOTOMÉTRICO DE STEPHENSON 1 (2013)

I. FOTOMETRÍA *V* DE 36 COMPONENTES

FRANCISCO VIOLAT BORDONAU

Asesores Astronómicos Cacereños. fviolat@yahoo.es

Resumen. Hemos obtenido fotometría en banda *V* Johnson de 36 estrellas del cúmulo abierto Stephenson 1 durante siete noches, a lo largo del mes de diciembre de 2013, con la intención de localizar nuevas variables en la zona; de todas ellas sólo una (BD +36 3317) es una variable, de tipo binaria eclipsante. Presentamos en este primer trabajo las magnitudes *V* Johnson promedio de todas ellas y las comparamos con las obtenidas en los años 2008 desde Cáceres y 2009-2010 desde Pontevedra, encontrando los resultados consistentes entre ellos.

El cúmulo abierto Stephenson 1¹, conocido en la literatura profesional como *Cúmulo Delta Lyrae* y también C 1851+368, es un conjunto de astros muy jóvenes (entre 48 y 50 millones de años, Piskunov *et al.*, 2006), en torno a 56 millones de años a partir del punto de *turn off* ($B - V \sim -0.2$ y $M_v \sim -2$) (Violat Bordonau, 2012), localizado alrededor de la estrella variable roja Delta2 Lyrae a una distancia de unos 373 parsecs (Kharchenko *et al.*, 2005; Violat Bordonau, 2012); sus coordenadas son: α : 18h 54.0m y δ : +36° 49' (2000.0). Según datos de SIMBAD se aproxima a la Tierra a una velocidad de 21.60 kms⁻¹ debido al movimiento del Sol alrededor del centro galáctico.

Descubierto en 1959 (Stephenson, 1959) ha sido poco estudiado por los profesionales: en SIMBAD sólo encontramos 34 trabajos entre los años 1850 y 2014 siendo la mayoría de ellos sobre cinemática de cúmulos estelares y muy pocos dedicados a estudios fotométricos o espectroscópicos (uno de ellos, sobre velocidades radiales de algunas de sus componentes, ni siquiera está disponible en Internet). Hasta la fecha sólo se han realizado cuatro fotométricos: en 1963 (Bronkalla), quien pone en duda su existencia, 1968 (Eggen) quien confirma su carácter de cúmulo determinando el enrojecimiento y la magnitud absoluta, 1983 (Eggen) quien basándose en doce estrellas del cúmulo vuelve a refinar el valor de su magnitud absoluta y Anthony-Twarog (1984) quien estudiando sólo dieciséis estrellas de la zona no llega a confirmar que realmente sea un cúmulo, llegando incluso a dudar de su existencia aunque determina, como Eggen, el módulo de distancia y el enrojecimiento encontrándolo en valores similares. Por otro lado en un estudio espectroscópico del cúmulo realizado en 1971 (sólo disponible en papel), para determinar la pertenencia al mismo de las estrellas de la zona, se encontró que de las 18 estrellas estudiadas ocho de ellas (el 44%) podían ser o eran binarias espectroscópicas, aunque los escasos datos fotométricos no permitían comprobar si alguna de ella era, a la vez, una binaria eclipsante.

A la vista de estos resultados, y una vez examinados todos estos trabajos fotométricos, en otoño de 2006 encontramos evidencias más que suficientes para comenzar a estudiar el objeto en profundidad, ya que de los datos profesionales se deduce la existencia de un cúmulo abierto cuyo diagrama H-R muestra, sin duda alguna, una Secuencia Principal propia de un cúmulo joven, la presencia de binarias espectroscópicas abría la puerta al hallazgo de alguna o algunas binarias eclipsantes y utilizando nuestro equipo (telescopio, CCD y filtros fotométricos) probablemente podríamos dilucidar de una vez la existencia del cúmulo, evaluar el número de componentes, calcular su edad y determinar su distancia. A los pocos días de comenzada la campaña, en noviembre de 2006, descubrimos la (hasta ahora) única estrella binaria eclipsante del cúmulo: BD +36 3317 también conocida como SAO 67556 o VSX J185422.2+365107², descubrimiento dado a conocer a la comunidad internacional el 14 de enero de 2008 a través del *International Bulletin of Variable Stars* (IBVS) y posteriormente aparecido en su *Reports on New Discoveries* n° 5900³ (24 de agosto de 2009).

1 Puede encontrarse en SIMBAD en: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/sim-basic?Ident=Stephenson+1>

2 Datos disponibles en: http://www.aavso.org/vsx/index.php?view=detail_top&oid=232663&image=phase2_gsc2

3 Puede leerse y descargarse de la dirección: <http://www.konkoly.hu/cgi-bin/IBVSpdf?5900>

EQUIPO UTILIZADO

Como en campañas fotométricas anteriores⁴ hemos empleado un telescopio catadióptrico de 203 mm de diámetro y 2000 mm de focal trabajando con reductor de focal ($f/ 6.3$) y filtro V Johnson, tomando imágenes de 5 segundos de exposición para evitar la saturación de las estrellas más brillantes; la cámara CCD utilizada ha sido una Starlight Xpress modelo SXVF-M7, con electrónica de 16 bits y píxeles de 8.6×8.3 micras, capaz de proporcionar una resolución de $1.24'' \times 1.20''/\text{pixel}$ trabajando con esta focal: el campo aparente cubierto ha sido igual a $15.6' \times 11.6'$ lo que nos ha permitido capturar en torno a 60-65 estrellas por imagen (dependiendo de la turbulencia de la noche, que pudimos cuantificar por medio de la FWHM⁵). Hemos empleado el programa comercial *Astrometrica*, muy utilizado para obtener astrometría y fotometría de asteroides y cometas, para conocer los parámetros reales de nuestro sistema óptico: para ello bastó con abrir cualquier imagen obtenida y el software, descargándose parte del Catálogo UCAC4 para las coordenadas observadas (α : 18h 54m 01.90s y δ : $+36^\circ 50' 23.0''$), ajustó las posiciones teóricas de las estrellas a las reales de la imagen CCD por medio de un algoritmo matemático; una vez obtenido el ajuste en base a una serie de selecciones o preferencias (los *settings*) el programa nos proporcionó la información buscada del siguiente modo:

Settings for Scale and Orientation:

Focal Length = 1260.0mm \pm 10.0%, Position Angle = $0.0^\circ \pm 10.0^\circ$, Pointing = $\pm 5.0'$ Image flipped: no

Settings for CCD: Pixel Width = $8.6\mu\text{m}$, Pixel Height = $8.3\mu\text{m}$, Saturation = 65500

Settings for Object Detection:

Aperture Radius = 4, Detection Limit = 4.0, Min. FWHM = 0.70, PSF-Fit RMS = 0.20, Search Radius = 0.75

Settings for Reference Star Matching: Number of Stars = 50, Search Radius = 2.0, Magnitude = 10.0mag - 18.0mag

UCAC-4: 554 Records read ($21.4' \times 18.5'$)

Center Coordinates: RA = 18h 54m 01.90s, De = $+36^\circ 50' 23.0''$

Object List for Image 1 (1.fit): 289 Detections (**64 Stars**, 64 Ref. Stars, 0 Movers)

Astrometry of Image 1 (1.fit): 47 of 64 Reference Stars used: dRA = **0.19''**, dDe = **0.13''**

Origin: x0 = 376.0 y0 = 290.0 Center Coordinates: RA = 18h 53m 48.94s De = $+36^\circ 49' 29.1''$

Focal Length = **1426.9 mm** Rotation = **179.77°** Pixel Size: **1.24'' x 1.20''** Field of View: **15.6' x 11.6'**

Photometry of Image 1 (1.fit): 61 of 64 Reference Stars used: dmag = **0.17mag** Zero Point: 23.336mag

entre los datos proporcionados vemos el número de estrellas de las cuales podemos obtener astrometría o fotometría V (64 en total), la focal real del sistema óptico (casi 1427 mm frente a los 1260 que deberíamos obtener con el reductor de focal⁶), la orientación real del chip (179.77° frente a los 180° teóricos: es decir, el Norte abajo), el tamaño del píxel (próximo a $1.20''/\text{píxel}$), el campo de visión capturado ($15.6' \times 11.6'$), la diferencia entre las posiciones reales y las obtenidas (de $0.19''$ a $0.13''$ según la coordenada) así como la diferencia media en la fotometría (0.17 magnitudes). *Astrometrica* nos facilitó también información astrométrica y fotométrica de las 64 estrellas del cúmulo, una parte de la cual mostramos a continuación:

RA	dRA	Dec	dDec	V	d V	x	y	Flux	FWHM	Peak	Fit
h m s	"	° ' "	"	mag	mag			ADU	"	SNR	RMS
18 53 11.442	(-0.30)	+36 54 42.19	(-0.76)	13.97	-0.03	13.39	550.01	5562	3.7	16.6	0.108
18 53 12.753	+0.28	+36 54 01.18	+0.06	11.96	-0.44	26.10	515.85	35472	3.8	43.8	0.051
18 53 13.475	+0.10	+36 47 48.11	-0.09	9.89	-0.21	33.65	204.84	239373	4.7	109.3	0.050
18 53 14.087	(+0.78)	+36 45 08.36	(-0.23)	15.02	(-0.64)	39.82	71.67	2114	3.7	8.8	0.185
18 53 15.222	(-0.37)	+36 53 17.68	(+1.36)	15.23	-0.24	49.99	479.63	1750	1.3	8.6	0.148
18 53 16.290	(+0.46)	+36 48 58.92	(-0.56)	14.40	+0.38	60.73	263.93	3751	2.9	12.5	0.120
18 53 16.481	(+1.23)	+36 54 02.14	(-0.93)	14.56	-0.43	62.06	516.72	3225	3.3	9.6	0.187

4 Las cuales comenzaron en otoño de 2006 y han continuado, ininterrumpidamente, hasta la fecha.

5 *Full width at half maximum* o FWHM: es la anchura a media altura que presenta un determinado pico de emisión, en este caso el brillo de las estrellas del cúmulo; cuanto más alto sea mayor anchura presenta una estrella.

6 Por tanto hemos trabajado a $\sim f/ 7.13$ en vez de a $f/ 6.30$ como pensábamos.

la posición α de cada estrella, la diferencia en α (medida en segundos de arco), la posición δ , la diferencia en δ (también en segundos de arco), la magnitud V , la diferencia de magnitud encontrada, la posición en los ejes X e Y sobre la imagen, el flujo (en unidades ADU), la FWHM medida en segundos de arco, la relación señal/ruido y la diferencia con el ajuste obtenido. En la cabecera de datos ya vimos que la diferencia media de magnitud entre los valores reales y los encontrados era igual a 0.17 magnitudes mientras que las diferencias medias en las posiciones eran iguales a 0.19" en α y 0.13" en δ .

CAMPAÑA FOTOMÉTRICA

La campaña fotométrica se ha extendido desde los días 1 al de 16 diciembre de 2013, ambos inclusive, durante la cual se han obtenido imágenes en siete noches distintas los días 1, 3, 4, 5, 8, 15 y 16: el resto de las noches fue imposible trabajar debido a la meteorología adversa; puede verse, no obstante que hay dos grupos de noches contiguas entre los días 3 al 5 y 15-16 que hemos utilizado para ver las diferencias de magnitud de noche en noche. Como en todas las campañas las imágenes obtenidas han sido tratadas de bias, campos planos y campos oscuros promedios (tomando, para ello, un mínimo de 16 imágenes) para dejarlas listas para su uso fotométrico. En esta campaña, como en las anteriores, hemos empleado el programa *FotoDif* el cual es capaz de obtener fotometría automática de largas series de fotografías: para ello basta con marcar la estrella de comparación (de magnitud 8.664 V en nuestro caso) y las distintas estrellas que deseamos estudiar, que aparecerán rotuladas con la denominación *Var* (abreviatura de *presunta variable*) seguida de su número de orden tal y como podemos apreciar en la Figura 2.

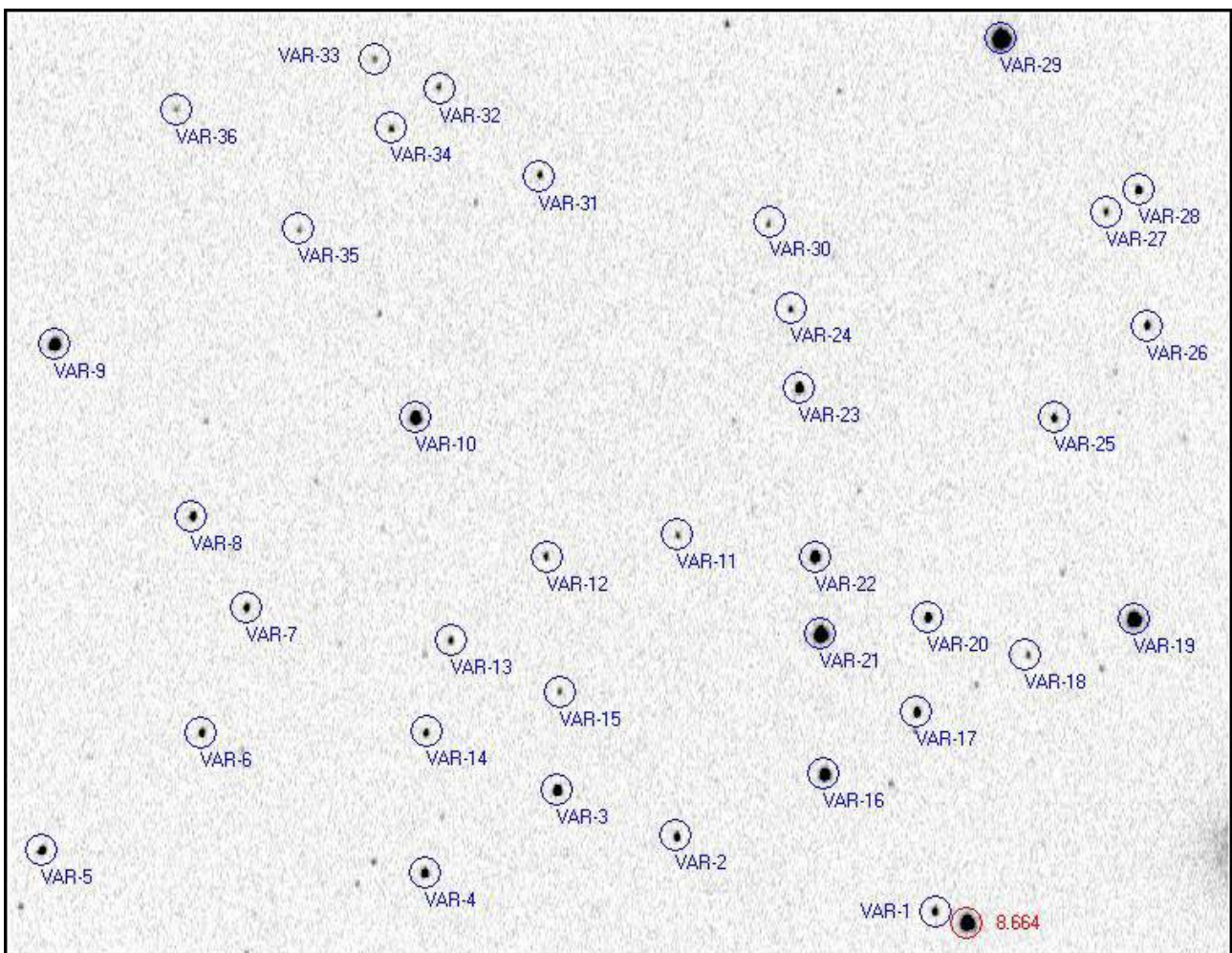


Figura 1. Imagen CCD del cúmulo abierto Stephenson 1 obtenida con filtro V Johnson: sobre ella se ha marcado la estrella de comparación (de magnitud 8.664 V) así como las 36 estrellas observadas. Norte abajo, Este a la derecha.

Al examinar la imagen notamos que podríamos haber seleccionado al menos una docena de estrellas más, todas ellas bien visibles en el campo capturado por el equipo, pero no lo hemos hecho por ser más débiles y presentar una relación señal/ruido demasiado baja como para obtener fotometría moderadamente precisa: de hecho la relación S/N de la estrella más débil que hemos seguido, la número 36, ha estado en el rango 25-30 con lo cual el error fotométrico ha rondado las 0.040 magnitudes.

La estrella de comparación ha sido la misma que hemos empleado con éxito en otras campañas fotométricas, BD +36 3314, un astro de magnitud 8.66 V (Broncakalla) que aparece en SIMBAD con magnitudes 8.74 B y 8.66 V (su índice de color $B - V$ es igual a 0.08) y tipo espectral A0; por desgracia la magnitud de la misma no es idéntica según la fuente consultada: para el mismo Bronkalla es de magnitud 8.66 V fotográfica con índice de color $B - V$ igual a 0.00 pero de magnitud 8.640 V fotoeléctrica con índice de color $B - V$ igual a 0.073. Consultado el NOMAD Catalogue (Zacharias *et al.*, 2005) aparece con magnitudes 8.720 B , 8.664 V y 8.630 R : este valor en banda V es prácticamente idéntico al obtenido por Bronkalla fotográficamente de manera que es el que hemos utilizado en nuestro trabajo⁷.

Al abrir cada la serie de imágenes obtenidas en cada noche *FotoDif* nos proporciona entre otros datos el Día Juliano Heliocéntrico, las magnitudes V , la precisión de las mediciones y la relación señal/ruido para cada una de las estrellas seleccionadas; en el ejemplo siguiente presentamos la fotometría de las quince primeras fotografías, obtenidas la noche del 1 de diciembre, de la estrella más brillante (Var-29⁸) y la más débil (Var-36) que hemos estudiado:

D.J.H.	VAR-29	±	RSR	VAR-36	±	RSR
2456628.25869	8.063	0.003	371	13.836	0.041	26
2456628.25910	8.005	0.003	389	14.130	0.046	23
2456628.25969	8.061	0.003	409	13.714	0.035	30
2456628.26043	7.944	0.003	402	14.030	0.044	24
2456628.26106	8.080	0.003	372	14.040	0.044	24
2456628.26252	7.965	0.003	395	13.698	0.038	28
2456628.26369	8.103	0.003	366	13.524	0.035	30
2456628.26449	7.976	0.003	393	13.973	0.043	25
2456628.26513	8.166	0.003	352	13.605	0.037	29
2456628.26644	8.104	0.003	372	13.794	0.039	27
2456628.26801	8.100	0.003	371	13.833	0.040	26
2456628.26895	7.909	0.003	404	14.037	0.044	24
2456628.26929	7.962	0.003	396	13.783	0.039	27
2456628.27093	8.079	0.003	370	13.903	0.042	25
2456628.27252	7.896	0.003	410	14.031	0.044	24

cuando examinamos los datos comprobamos que mientras para la Variable 29 el error de las mediciones ha sido siempre igual a 0.003 magnitudes (milésimas de magnitud), ya que la relación S/N ha sido superior en todos los casos a 352, para la Variable 36 este error ha oscilado entre 0.035 y 0.046 magnitudes ya que la relación S/N ha oscilado entre 23 y 30: el resto de las estrellas estudiadas han presentado errores comprendidos entre estos dos extremos, dependiendo de las magnitudes de las mismas. (En las demás noches los valores se mantuvieron similares.)

Presentamos en la Tabla 1 los resultados obtenidos en esta campaña: la Tabla muestra en la primera columna el número asignado a cada estrella tal como aparecen en la Figura 1, las magnitudes medias obtenidas noche a noche junto a sus errores fotométricos, el número de mediciones obtenidas (puntos) y la magnitud V Johnson promedio final junto con el error fotométrico (algunas estrellas no han sido medidas ciertas noches: esas casillas aparecen vacías).

⁷ Como la magnitud de la estrella de comparación la conocemos con una precisión de tres decimales también nosotros obtenemos, y presentamos, resultados con tres decimales que son los que mostramos en este trabajo.

⁸ La denominación *Var-29*, o cualquier otra, no indica que la estrella sea realmente variable sino que puede serlo: en realidad todas son para nosotros presuntas variables, aunque luego la fotometría noche a noche lo confirma o no.

TABLA 1
MAGNITUDES V OBTENIDAS

N°	1-XII	3-XII	4-XII	5-XII	8-XII	15-XII	16-XII	PTS	V
1	12.625 ± 0.092	12.589 ± 0.068	12.613 ± 0.105	12.618 ± 0.068	12.646 ± 0.066	12.613 ± 0.085	12.704 ± 0.088	224	12.620 ± 0.090
2	12.414 ± 0.068	12.387 ± 0.060	12.392 ± 0.075	12.374 ± 0.066	12.412 ± 0.048	12.426 ± 0.069	12.440 ± 0.066	244	12.405 ± 0.067
3	10.896 ± 0.032	10.884 ± 0.035	10.884 ± 0.056	10.870 ± 0.058	10.922 ± 0.027	10.883 ± 0.037	10.929 ± 0.036	239	10.892 ± 0.045
4	11.631 ± 0.038	11.591 ± 0.048	11.621 ± 0.059	11.621 ± 0.051	11.662 ± 0.033	11.645 ± 0.038	11.663 ± 0.058	241	11.633 ± 0.050
5	12.005 ± 0.045		12.020 ± 0.100	12.076 ± 0.092				48	12.009 ± 0.049
6	12.452 ± 0.057	12.461 ± 0.050	12.455 ± 0.067	12.444 ± 0.066	12.497 ± 0.066	12.465 ± 0.074	12.478 ± 0.098	229	12.460 ± 0.066
7	12.538 ± 0.065	12.542 ± 0.091	12.531 ± 0.081	12.526 ± 0.070	12.608 ± 0.064	12.567 ± 0.072	12.646 ± 0.130	226	12.555 ± 0.081
8	12.106 ± 0.047	12.080 ± 0.054	12.074 ± 0.059	12.085 ± 0.064	12.107 ± 0.072	12.106 ± 0.061	12.106 ± 0.081	231	12.096 ± 0.061
9	9.933 ± 0.030	9.928 ± 0.046	9.816 ± 0.209	9.917 ± 0.051				138	9.927 ± 0.044
10	9.706 ± 0.028	9.696 ± 0.022	9.713 ± 0.034	9.692 ± 0.052	9.746 ± 0.026	9.743 ± 0.030	9.760 ± 0.020	233	9.718 ± 0.041
11	13.466 ± 0.138	13.590 ± 0.155	13.475 ± 0.096	13.533 ± 0.161	13.565 ± 0.132	13.652 ± 0.204		196	13.548 ± 0.168
12	13.163 ± 0.120	13.043 ± 0.113	13.136 ± 0.152	13.050 ± 0.130	13.144 ± 0.102	13.148 ± 0.147		216	13.114 ± 0.137
13	13.110 ± 0.086	13.003 ± 0.095	13.010 ± 0.162	13.029 ± 0.110	13.062 ± 0.168	13.034 ± 0.120		215	13.046 ± 0.125
14	12.788 ± 0.077	12.737 ± 0.062	12.741 ± 0.075	12.775 ± 0.082	12.843 ± 0.080	12.785 ± 0.096		216	12.782 ± 0.086
15	13.406 ± 0.125	13.449 ± 0.131	13.395 ± 0.069	13.481 ± 0.178	13.494 ± 0.124	13.495 ± 0.165		216	13.460 ± 0.150
16	9.743 ± 0.028	9.715 ± 0.030	9.738 ± 0.032	9.727 ± 0.050	9.776 ± 0.026	9.758 ± 0.026	9.788 ± 0.016	243	9.748 ± 0.040
17	11.740 ± 0.037	11.717 ± 0.048	11.735 ± 0.052	11.716 ± 0.060	11.776 ± 0.031	11.764 ± 0.041	11.755 ± 0.068	241	11.743 ± 0.053
18	13.647 ± 0.192	13.483 ± 0.152	13.517 ± 0.172	13.659 ± 0.163	13.680 ± 0.179	13.539 ± 0.150		199	13.593 ± 0.179
19	8.789 ± 0.022	8.791 ± 0.032	9.203 ± 0.088	8.789 ± 0.024	8.792 ± 0.024	8.788 ± 0.032	8.788 ± 0.013	245	8.799 ± 0.019
20	11.804 ± 0.042	11.780 ± 0.049	11.808 ± 0.057	11.779 ± 0.055	11.844 ± 0.056	11.817 ± 0.049	11.819 ± 0.085	242	11.805 ± 0.059
21	8.738 ± 0.018	8.734 ± 0.033	8.728 ± 0.023	8.730 ± 0.026	8.747 ± 0.019	8.729 ± 0.033	8.746 ± 0.020	244	8.735 ± 0.027
22	10.252 ± 0.029	10.218 ± 0.029	10.235 ± 0.031	10.236 ± 0.051	10.281 ± 0.036	10.265 ± 0.031	10.296 ± 0.026	242	10.254 ± 0.042
23	10.994 ± 0.033	10.983 ± 0.039	10.974 ± 0.039	10.981 ± 0.053	11.030 ± 0.028	10.996 ± 0.039	11.093 ± 0.041	245	11.001 ± 0.050
24	13.391 ± 0.124	13.340 ± 0.113	13.313 ± 0.165	13.432 ± 0.140	13.440 ± 0.221	13.325 ± 0.169		216	13.381 ± 0.163
25	12.585 ± 0.049	12.551 ± 0.040	12.553 ± 0.060	12.558 ± 0.090	12.545 ± 0.154	12.566 ± 0.080	12.562 ± 0.111	230	12.563 ± 0.083
26	12.460 ± 0.059	12.460 ± 0.060	12.465 ± 0.063	12.468 ± 0.070	12.468 ± 0.065	12.444 ± 0.073	12.432 ± 0.073	230	12.458 ± 0.065
27	13.098 ± 0.110	13.209 ± 0.097	13.145 ± 0.138	13.174 ± 0.099	13.195 ± 0.148	13.204 ± 0.131	13.173 ± 0.216	228	13.170 ± 0.130
28	11.972 ± 0.039	11.961 ± 0.069	11.987 ± 0.075	11.951 ± 0.069	12.034 ± 0.044	12.019 ± 0.056	12.017 ± 0.059	222	11.986 ± 0.066
29	8.080 ± 0.093	8.067 ± 0.064	8.039 ± 0.140	8.071 ± 0.182	7.766 ± 0.098	7.848 ± 0.063	7.707 ± 0.017	245	7.949 ± 0.176
30	13.713 ± 0.154	13.848 ± 0.233	13.729 ± 0.212	13.754 ± 0.239	13.860 ± 0.172	13.823 ± 0.228	13.169 ± 0.128	183	13.736 ± 0.255
31	13.148 ± 0.073	13.120 ± 0.096	13.056 ± 0.107	13.028 ± 0.099	13.071 ± 0.132	13.137 ± 0.105	12.968 ± 0.127	232	13.085 ± 0.117
32	13.376 ± 0.140	13.428 ± 0.219	13.344 ± 0.087	13.398 ± 0.145	13.396 ± 0.158	13.348 ± 0.188	13.178 ± 0.242	214	13.374 ± 0.168
33	13.671 ± 0.149	13.692 ± 0.178	13.515 ± 0.085	13.693 ± 0.210	13.657 ± 0.200	13.833 ± 0.209		189	13.694 ± 0.195
34	13.292 ± 0.114	13.229 ± 0.127	13.331 ± 0.141	13.322 ± 0.145	13.323 ± 0.092	13.300 ± 0.153	13.462 ± 0.091	217	13.304 ± 0.135
35	13.693 ± 0.151	13.646 ± 0.186	13.595 ± 0.151	13.664 ± 0.180	13.563 ± 0.158	13.721 ± 0.212	13.237 ± 0.385	226	13.644 ± 0.197
36	13.822 ± 0.172	14.059 ± 0.293	13.756 ± 0.167	13.886 ± 0.200				133	13.870 ± 0.197

notamos que el número de mediciones (columna 9) no es igual para todas las estrellas debido a la posición de las mismas en la imagen: de este modo el astro n° 5, situado en el borde izquierdo de las tomas (zona Oeste del campo) no es visible más que en 48 de ellas siendo este, por tanto, el número de mediciones disponibles; otro tanto le ocurre a la estrella 9 con sólo 138 mediciones fotométricas. El resto presenta valores más elevados ya que prácticamente ha sido posible determinar su magnitud en todas o casi todas las imágenes digitales obtenidas (a excepción de las estrellas de magnitud superior a la 12.8 V en la última noche de observación, debido a las condiciones meteorológicas). De todas las estrellas estudiadas diez de ellas fueron medidas fotométricamente en la campaña observacional del año 2008, realizada con el mismo instrumental,

la cual se extendió entre el 1 de octubre y el 19 de diciembre, en la que se capturaron 514 imágenes distintas en banda V y 462 en banda R Johnson; en la Tabla 2 mostramos los siguientes datos: número en la campaña actual, número en la campaña de 2008, denominación en SIMBAD, magnitudes V , índices de color $B - V$ y espectros (los tres últimos datos tomados del trabajo fotométrico de Bronkalla):

TABLA 2
IDENTIFICACIÓN, MAGNITUDES V E ÍNDICES DE COLOR $B - V$

Nº	Astro	Denominación	V	$B - V$	Espectro
1	10	GSC 2651-600			
2	1	GSC 2650-1503	12.45	1.52	
3	2	TYC 2650-1388-1	10.95	0.59	
10	3	BD +36 3306	9.80	0.14	A2 V
16	8	BD +36 3313	9.83	0.02	A1 V
19	9	BD +36 3317	8.79	0.09	A0 V
21	7	BD +36 3312	8.74	1.06	K2 III
22	6	BD +36 3310	10.34	0.26	
23	4	BD +36 3311	11.11	0.36	F2 III
26	5	GSC 2651-965	12.56	1.15	
COMP.	COMP.	BD +36 3314	8.66	0.00	A0 V

podemos comprobar que conocemos las magnitudes V e índices de color $B - V$ de nueve de las diez estrella estudiadas (realmente diez si contamos a la estrella de comparación, BD +36 3314, utilizada en ambas campañas) y que sólo desconocemos los datos fotométricos de la estrella 1 que es, precisamente, la más débil de todas y por ello no aparece identificada en la carta que aparece en el trabajo de Bronkalla (Figura 2 de dicho trabajo). Comparemos en la Tabla 3 los resultados obtenidos en ambas campañas redondeando a dos decimales, previamente, las mediciones del año 2013; la última columna muestra las diferencias existentes entre ellas (hemos representado con letra cursiva las magnitudes de la estrella variable):

TABLA 3
COMPARATIVA: MAGNITUDES V OBTENIDAS (2008-2013)

Nº	ASTRO	V_{2008}	PUNTOS	V_{2013}	PUNTOS	DIF.
1	10	12.76 ± 0.05	337	12.62 ± 0.09	224	0.14
2	1	12.50 ± 0.04	324	12.41 ± 0.07	244	0.09
3	2	10.96 ± 0.02	313	12.89 ± 0.04	239	0.07
10	3	9.78 ± 0.02	176	9.72 ± 0.04	233	0.06
16	8	9.79 ± 0.02	496	9.75 ± 0.04	243	0.04
19	9	8.96 ± 0.30	514	8.80 ± 0.02	245	0.16
21	7	8.78 ± 0.02	514	8.74 ± 0.03	244	0.04
22	6	10.30 ± 0.02	493	10.25 ± 0.04	242	0.05
23	4	11.05 ± 0.02	274	11.00 ± 0.05	245	0.05
26	5	12.54 ± 0.05	159	12.46 ± 0.06	230	0.08

examinemos la tabla a fondo: notaremos, en primer lugar, que en la campaña de 2008 obtuvimos un mayor número de mediciones ya que trabajamos durante 37 noches distintas (frente a las siete del año 2013); comprobamos también que los errores cometidos al medir son superiores en la campaña más reciente frente a la más antigua, lo que se debe tanto al reducido número de noches observadas como al menor número de mediciones obtenidas; las diferencias de magnitud en el sentido año 2008 menos año 2013 son pequeñas, entre 0.04 y 0.09 magnitudes, excepto para la estrella variable y para la estrella más débil (la número 1) cuya diferencia es la mayor de todas: 0.14 magnitudes. Es muy posible que el cambio de filtros (interferenciales *Astrodon* los más actuales) y la inevitable diferencia en el "paso de banda" instrumental (la respuesta espectral del chip CCD sumada a la transmisión del propio filtro) haya ocasionado las diferencias de centésimas de magnitud que encontramos; en el caso de la estrella 1 la explicación puede radicar en que al situarse al lado de una estrella muy brillante (precisamente la de comparación, de magnitud 8.664 *V*) el fondo del cielo ha aparecido levemente abrigantado por ella haciéndola aparecer casi 0.15 magnitudes más brillante de lo que realmente es.

Las campañas fotométricas de los años 2009 y 2010 se realizaron desde el Observatorio Astronómico de Forcarei (Pontevedra)⁹, entre abril de 2009 y diciembre de 2010, con un telescopio reflector RCOS de 51 cm de diámetro dotado de filtros SBIG Custom Scientific *RGB*: no eran filtros fotométricos propiamente dichos, pero el fabricante indicaba en su página web que podían utilizarse para obtener fotometría CCD de manera que los empleamos experimentalmente; en la Figura 2 mostramos las curvas de transmisión de los filtros SBIG de Forcarei (izquierda) y las comparamos con las de los filtros *BVR_cI_c* de Cáceres (derecha).

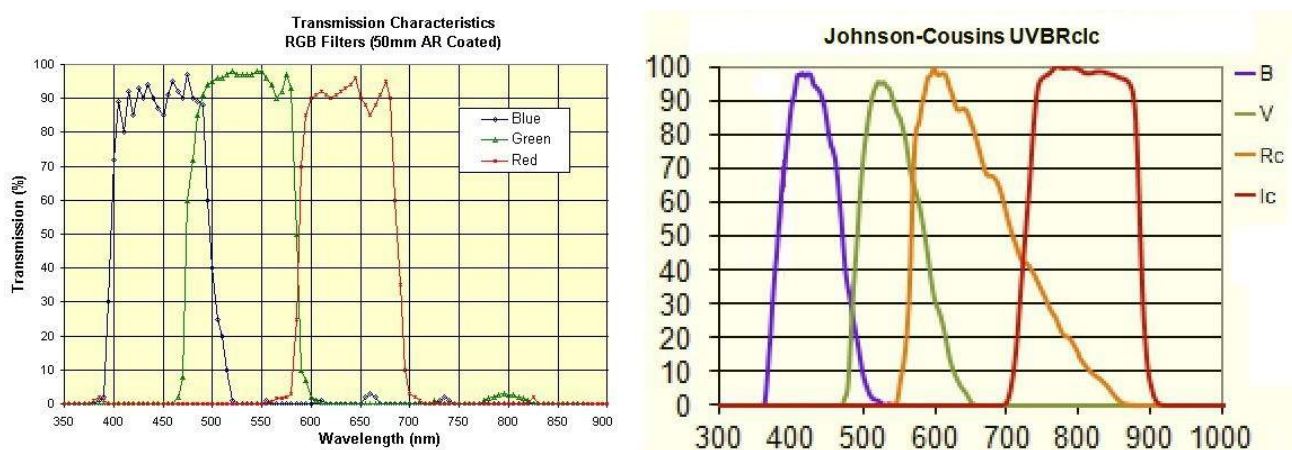


Figura 2. Curvas de transmisión de los filtros *RGB* utilizados en el Observatorio Astronómico de Forcarei (izquierda) frente a la de los filtros fotométricos *BVR_cI_c* Johnson empleados en el Observatorio Astronómico de Cáceres (derecha).

Notamos que aunque ambos tienen porcentajes de transmisión máximos prácticamente idénticos (superiores al 90% en todos los casos) los primeros tienen una anchura de transmisión demasiado "cuadrada" y homogénea en su recorrido frente a la anchura más estrecha y definida, "acampanada", de los Johnson.

La campaña del año 2009 se extendió entre los días 12 de mayo y 16 de septiembre habiendo trabajado dieciocho noches distintas y obtenido 315 imágenes CCD, mientras que la del año 2010 se extendió entre los días 16 de junio y 31 de julio habiendo trabajado veinte noches distintas y obtenido 356 imágenes CCD; en ambas campañas estudiamos diez estrellas distintas de las cuales nueve fueron comunes con la campaña de 2013, de manera que podemos comparar los resultados obtenidos en la Tabla 4 la cual ofrece la siguiente información: número en la campaña actual, número en las campañas 2009-2010, mediciones obtenidas en 2009, magnitud *V* promedio en esa campaña, mediciones obtenidas en 2010 y magnitud *V* promedio (como en casos anteriores hemos representado con letra cursiva las magnitudes de la estrella variable).

⁹ Perteneciente a la Fundación *Ceo, Ciencia e Cultura* (FC³), que pusimos en marcha en marzo de 2009 y en el cual trabajamos como Astrónomo de Apoyo, investigador y monitor hasta diciembre de 2010.

TABLA 4
COMPARATIVA: MAGNITUDES V OBTENIDAS (2009-2010)

N°	ASTRO	PUNTOS	V_{2009}	PUNTOS	V_{2010}
18	2	80	13.56 ± 0.16	170	13.66 ± 0.14
19	1	<i>315</i>	<i>9.01 ± 0.31</i>	<i>356</i>	<i>9.11 ± 0.34</i>
20	4	174	11.86 ± 0.06	338	11.81 ± 0.09
21	5	302	8.86 ± 0.02	356	8.86 ± 0.03
22	6	266	10.29 ± 0.04	346	10.24 ± 0.09
25	7	79	12.61 ± 0.10	172	12.62 ± 0.10
27	8	84	13.14 ± 0.16	167	13.19 ± 0.13
28	9	86	12.02 ± 0.09	171	12.00 ± 0.10
29	10	277	7.92 ± 0.14	345	7.85 ± 0.15

podemos ver que las magnitudes medias obtenidas en una campaña son consistentes con las de la otra con errores muy pequeños (como máximo 0.10 magnitudes en el caso de la estrella más débil estudiada). Comparemos estos resultados con los de la fotometría del año 2013 en una tabla similar, la Tabla 5, en la cual aparecen en letra cursiva los valores de la estrella eclipsante y redondeamos a dos decimales los resultados de nuestra fotometría más reciente:

TABLA 5
COMPARATIVA: MAGNITUDES V OBTENIDAS (2009-2013)

N°	ASTRO	PUNTOS	V_{2009}	PUNTOS	V_{2010}	PUNTOS	V_{2013}
18	2	80	13.56 ± 0.16	170	13.66 ± 0.14	199	13.59 ± 0.18
19	1	<i>315</i>	<i>9.01 ± 0.31</i>	<i>356</i>	<i>9.11 ± 0.34</i>	<i>245</i>	<i>8.80 ± 0.02</i>
20	4	174	11.86 ± 0.06	338	11.81 ± 0.09	242	11.81 ± 0.06
21	5	302	8.86 ± 0.02	356	8.86 ± 0.03	244	8.74 ± 0.03
22	6	266	10.29 ± 0.04	346	10.24 ± 0.09	242	10.25 ± 0.04
25	7	79	12.61 ± 0.10	172	12.62 ± 0.10	230	12.56 ± 0.08
27	8	84	13.14 ± 0.16	167	13.19 ± 0.13	228	13.17 ± 0.13
28	9	86	12.02 ± 0.09	171	12.00 ± 0.10	222	11.99 ± 0.07
29	10	277	7.92 ± 0.14	345	7.85 ± 0.15	245	7.95 ± 0.18

cuando examinamos detenidamente los diferentes valores comprobamos que, una vez más, las magnitudes medias de la estrella variable BD +36 3317 (estrella n° 19, astro n° 1) discrepan debido a que en la campaña más reciente no hemos capturado ningún eclipse completo (el cual hace descender esta magnitud media); en cuanto a las otras estrellas las diferencias son reducidas: 0.03 magnitudes (estrellas n° 27 y 28), 0.04 magnitudes (estrella 22), 0.05 magnitudes (estrella 20), 0.06 magnitudes (estrella 25), 0.07 magnitudes (estrella 18), 0.10 magnitudes (estrella 29) y 0.12 magnitudes (estrella 21); las magnitudes coinciden plenamente dentro de la precisión (y los errores) del instrumental empleado. Dejaremos para un trabajo futuro el análisis y representación de las curvas de luz de las estrellas estudiadas en esta campaña, así como la búsqueda de nuevas variables a partir de ellas.

RESUMEN

Hemos realizado fotometría CCD, en banda V Johnson, de 36 estrellas pertenecientes al joven cúmulo abierto Stephenson 1 entre los días 1 y de 16 de diciembre de 2013, trabajando en siete noches distintas, obteniendo las magnitudes promedio de todas ellas; los resultados se han comparado con los obtenidos en las campañas fotométricas de los años 2008 (desde Cáceres), 2009 y 2010 (desde Pontevedra) encontrándolos consistentes entre ellos dentro de la precisión del equipo utilizado. El análisis de las curvas de luz obtenidas, así como la búsqueda de nuevas estrellas variables a partir de ellas, se presentan en un próximo trabajo.

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, el telescopio RCOS de 51 cm de abertura del Observatorio Astronómico de Forcarei (Pontevedra), perteneciente a la Fundación *Ceo, Ciencia e Cultura* (FC³), así como el telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura, la cámara CCD, el reductor de focal y su rueda de filtros fotométricos (BVR_{cIc}) del Observatorio Astronómico de Cáceres.

REFERENCIAS

- Aladin Sky Atlas: <http://aladin.u-strasbg.fr/java/nph-aladin.pl>
- Anthony-Twarog, B. J., 1984, *AJ*, 89, 655: <http://simbad3.u-strasbg.fr/cgi-bin/cdsbib4?1984AJ....89..655A>
- Astrodon Astronomy Filters: www.astrodon.com/
- AAVSO (*American Association of Variable Star Observers*): <http://www.aavso.org/>
- Bronkalla, W., 1963, *AN*, 287, 249: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1963AN....287..249B>
- Eggen, O. J., 1968, *ApJ*, 152, 77: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1968ApJ...152...77E>
- Eggen, O. J., 1983, *MNRAS*, 204, 391: <http://cdsads.u-strasbg.fr/abs/1983MNRAS.204..391E>
- Fundación *Ceo, Ciencia e Cultura* (FC³): <http://urlm.es/www.fc3.es>
- Harding, G. A., Candy, M. P., 1971, *Royal Obs. Bull., Greenwich-Cape*, No. 164, p. 251: <http://cdsads.u-strasbg.fr/abs/1971RGOB..164..249H>
- IBVS: <http://www.konkoly.hu>
- Kharchenko N. V. *et al.*, 2005, *A&A*, 438, 1163: [2005A&A...438.1163K](http://cdsads.u-strasbg.fr/abs/2005A&A...438.1163K)
- Piskunov, A. E. *et al.*, 2006, *A&A*, 445, 545: <http://fr.arxiv.org/abs/astro-ph/0508575>
- SBIG Custom Scientific 50mm LRGBC Filters: http://archive.sbig.com/products/cs_lrgbc_filter_curves.htm
- SIMBAD Astronomical Database: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- Stephenson, C. B., 1959, *PASP*, 71, 145: <http://simbad3.u-strasbg.fr/cgi-bin/cdsbib4?1959PASP...71..145S>
- Violat Bordonau, F. A. (2012, febrero): *Estudio fotométrico y espectroscopio del cúmulo abierto Stephenson 1*, Trabajo Fin de Máster presentado en la *Universitat Internacional Valenciana* para la obtención del título de "Máster de Astronomía y Astrofísica".
- VizieR Catalogue Service: <http://vizier.u-strasbg.fr/>
- Zacharias *et al.* (2005), NOMAD, The Naval Observatory Merged Astrometric Dataset Catalogue, American Astronomical Society Meeting 205; *Bulletin of the American Astronomical Society*, Vol. 36, p.1418: <http://astrobib.u-strasbg.fr:2008/cgi-bin/cdsbib?2004AAS...205.4815ZVizieR>