

# ESTUDIO FOTOMÉTRICO DE MESSIER 13

## CAMPAÑA DEL AÑO 2013

### I. GIGANTES ROJAS

FRANCISCO VIOLAT BORDONAU

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

**Resumen.** En este nuevo trabajo fotométrico del cúmulo globular Messier 13 (NGC 6205) presentamos parte de los resultados obtenidos durante la campaña del año 2013, especialmente observaciones y curvas de luz de las variables del tipo Gigante Roja: dejamos las variables rápidas (RR Lyrae y Cefeidas) y las sospechosas de variabilidad para un trabajo futuro. Se presentan también las magnitudes medias, amplitudes, curvas de luz y períodos obtenidos de las mediciones, los cuales comparamos con los valores profesionales; comprobamos, un año más, que las Gigantes Rojas no presentan períodos regulares ni cumplen los períodos oficiales a excepción de V41, regular como un reloj, lo que nos hace sospechar que es realmente una binaria eclipsante.

---

En la primavera del año 2001 iniciamos un estudio fotométrico del cúmulo Messier 13 (NGC 6205) que se ha extendido durante trece años consecutivos: con ello hemos obtenido el mayor conjunto de datos fotométricos del cúmulo disponible en estos momentos, el cual nos ha permitido observar el comportamiento de sus estrellas variables de una manera no lograda hasta la fecha; al disponer de mediciones fotométricas con una excelente cobertura temporal (típicamente de cuatro a seis meses en cada campaña), con un muestreo de datos muy elevado, hemos podido obtener una información abundante -y detallada- de las variables, que no puede compararse a los resultados profesionales, ya que éstos trabajan habitualmente durante unas pocas noches en cada campaña y obtienen curvas de luz quizá muy precisas, pero generalmente pobres y mal muestreadas.

En la del año 2013 hemos obtenido unos resultados similares a los de otras campañas anteriores, con la salvedad de haber comenzado a trabajar en cuatro bandas distintas:  $B$  y  $V$  Johnson y  $R$  e  $I$  Coussins (aunque únicamente hemos obtenido fotometría de las estrellas variables en banda  $V$ ), las cuales hemos utilizado para obtener índices de color  $B - V$  de 650 estrellas del cúmulo.

#### 1. OBSERVACIONES Y REDUCCIÓN DE DATOS.

Se han capturado imágenes utilizando un telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura y 2000 mm de focal con una cámara CCD de la marca StarlightXpress, modelo SXVF-M7, de 752 x 580 píxeles de 8.6 micras de lado y 16 bits, acoplada al foco primario (focal real: 1947.4 mm); el campo cubierto en las imágenes ha sido de 11.4' x 8.5' con una escala igual a 0.90"/píxel. Hemos trabajado entre los días 30 de junio (Día Juliano Heliocéntrico 2.456.474) y 30 de octubre (D.J.H. 2.456.596), totalizando 40 noches, que desglosamos en la Tabla 1: en ella podemos observar que las imágenes se han capturado con filtros  $B$  y  $V$  Johnson ( $B$ ,  $V$ ),  $I$  Coussins ( $I_c$ ) y red de difracción para tomar espectros (sp). Algunas noches se han tomado imágenes en tres bandas ( $BVI_c$  por ejemplo, el día 26 de julio), otras en dos (pueden ser  $B$  y  $V$ , como 1 de septiembre, o  $V$  e  $I_c$  el 21 de agosto) aunque la mayoría se han capturado en banda  $V$  Johnson, para realizar el seguimiento fotométrico rutinario de las estrellas variables del cúmulo. Algunas pocas noches (15, 16, 18 de agosto y 7 de octubre) se han obtenido espectros de baja resolución, que nos han permitido comprobar el tipo espectral de las estrellas periféricas del cúmulo (todas ellas son gigantes de tipos G y K).

**Tabla 1**  
**Diario de trabajo: fotografías capturadas**

<b>Día</b>	<b>Fotografías</b>	<b>Filtro</b>	<b>Día</b>	<b>Fotografías</b>	<b>Filtro</b>
30-06	10	<i>V</i>	26-07	3	<i>B</i>
				7	<i>V</i>
				3	<i>Ic</i>
30-07	5	<i>B</i>	31-07	6	<i>V</i>
05-08	8	<i>V</i>	06-08	2	<i>V</i>
08-08	7	<i>V</i>	09-08	15	<i>V</i>
10-08	6	<i>V</i>	14-08	8	<i>V</i>
15-08	5	sp	16-08	8	sp
18-08	9	<i>V</i>			
	7	sp	25-08	5	<i>V</i>
26-08	4	<i>V</i>	27-08	9	<i>V</i>
29-08	6	<i>V</i>			
	5	<i>Ic</i>	30-08	11	<i>V</i>
01-09	9	<i>B</i>			
	7	<i>V</i>	02-09	9	<i>V</i>
08-09	9	<i>V</i>	10-09	10	<i>B</i>
11-09	7	<i>V</i>	13-09	8	<i>V</i>
15-09	7	<i>V</i>	18-09	6	<i>V</i>
20-09	11	<i>V</i>	22-09	8	<i>V</i>
23-09	9	<i>V</i>	03-10	3	<i>Ic</i>
04-10	5	<i>V</i>	06-10	6	<i>V</i>
07-10	5	<i>V</i>			
	5	sp	08-10	6	<i>V</i>
09-10	5	<i>V</i>	11-10	6	<i>V</i>
16-10	6	<i>V</i>	17-10	4	<i>V</i>
27-10	8	<i>V</i>	30-10	7	<i>V</i>

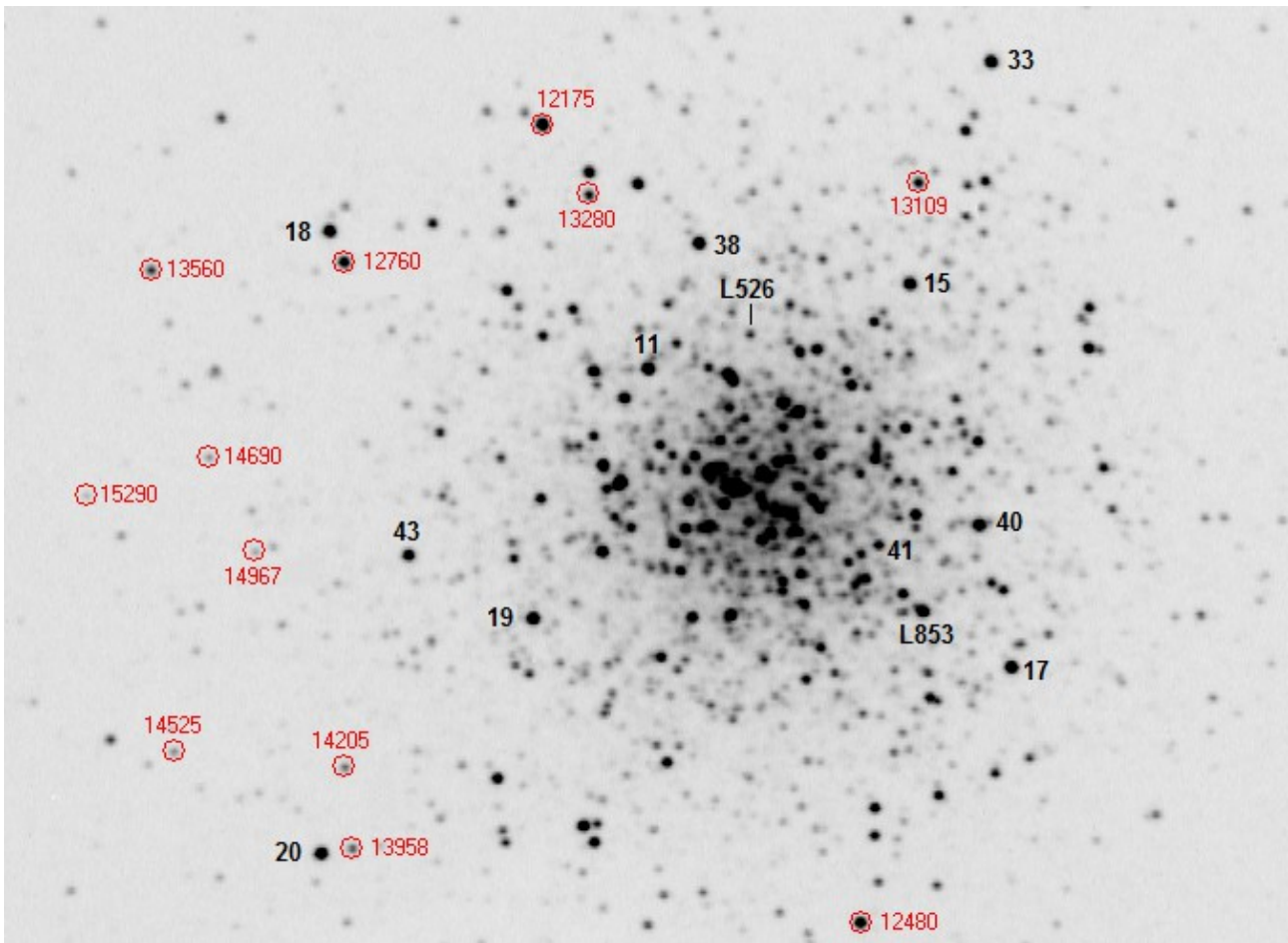
Las imágenes, una de las cuales mostramos en la Figura 1, se han abierto con el programa comercial *Astroart 5.0* (de MSB Software<sup>1</sup>) siendo calibradas con doce estrellas muy bien escogidas de una secuencia fotométrica (en banda *V*) tomada del trabajo de Sandquist y colaboradores (Sandquist *et al.*, 2010), estudio que tabulaba magnitudes *B*, *V* e *I<sub>c</sub>* (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. Las estrellas empleadas en esta calibración son las mismas que hemos utilizado en un estudio fotométrico anterior (Violat, 2014) y se listan en la Tabla 2, en la cual la letra L indica su número de orden dentro del Catálogo Ludendorff (Ludendorff, 1905) y la letra *V* su magnitud en dicha banda.

Notemos que la secuencia cubre un rango de tres magnitudes: esto nos ha permitido estudiar todas las estrellas del cúmulo comprendidas entre las magnitudes más brillantes (como las variables de tipo Gigante Roja V11, V17, V38 y V42, todas ellas en torno a la magnitud  $\sim 11.95$  *V* en su máximo) y las estrellas de la Rama Horizontal con variables de tipo RR Lyrae, cuya magnitud media está en torno a la 14.83 *V*. En el centro, en torno a la magnitudes 13-14 *V*, quedan las tres únicas Cefeidas conocidas en el cúmulo (V1, V2 y V6).

**Tabla 2**  
**Secuencia fotométrica de Sandquist *et al.***

<b>L</b>	<b><i>V</i></b>	<b>L</b>	<b><i>V</i></b>	<b>L</b>	<b><i>V</i></b>
<b>199</b>	12.175	<b>745</b>	12.480	<b>77</b>	12.762
<b>848</b>	13.109	<b>243</b>	13.280	<b>26</b>	13.560
<b>81</b>	13.958	<b>79</b>	14.205	<b>29</b>	14.525
<b>38</b>	14.690	<b>50</b>	14.967	<b>14</b>	15.290

1 Disponible en la dirección: <http://www.msb-astroart.com/>



**Figura 1.** Las doce estrellas de calibración fotométrica y las estrellas variables medidas en este estudio: se ha omitido el punto decimal para mayor claridad. La escala en la imagen es igual a 0.9" por píxel; Norte abajo y Este a la derecha.

## 2. RESULTADOS OBTENIDOS.

La Figura 1 muestra la posición y magnitud de las doce estrellas de calibración listadas en la tabla anterior: se han omitido las letras latinas sustituyéndolas por sus magnitudes, eliminando el punto decimal para mayor claridad; notemos que hemos seleccionado estrellas situadas lo más lejos posible del núcleo del cúmulo y, preferentemente, de estrellas compañeras brillantes las cuales podrían alterar los resultados debido a la luz difundida sobre el chip. También identifica las variables estudiadas (rotuladas con su número de orden: del 11 al 43) además de dos estrellas no variables de control: L526 (blanca) y L853 (amarillenta).

Utilizando las doce estrellas de calibración se han abierto y medido todas las imágenes, mes a mes, para obtener de ellas mediciones de brillo de las diferentes estrellas estudiadas: en la Tabla 3 mostramos el número de mediciones obtenidas de cada una de ellas, siendo el total igual a 1880 puntos; notemos que el número de datos no es idéntico en todas las estrellas: ello es debido a que en algunas ocasiones no ha sido posible extraer mediciones válidas de ciertas estrellas, bien porque algún satélite artificial o avión ha cruzado el campo del chip, porque las estrellas estaban cerca del borde de la imagen (o incluso fuera del mismo), por haber coincidido con algún píxel muerto, traza de rayo cósmico o cualquier defecto similar. En estos casos la magnitud obtenida de esas fotografías defectuosas ha resultado ser una o dos décimas superior a lo usual, destacando del grupo obtenido cada noche, habiendo sido clasificada como "anómala" y eliminada del conjunto. La información mostrada en la tabla es la siguiente: estrella estudiada, mediciones obtenidas, magnitud media, desviación estándar, amplitud medida y período calculado de las mediciones obtenidas.

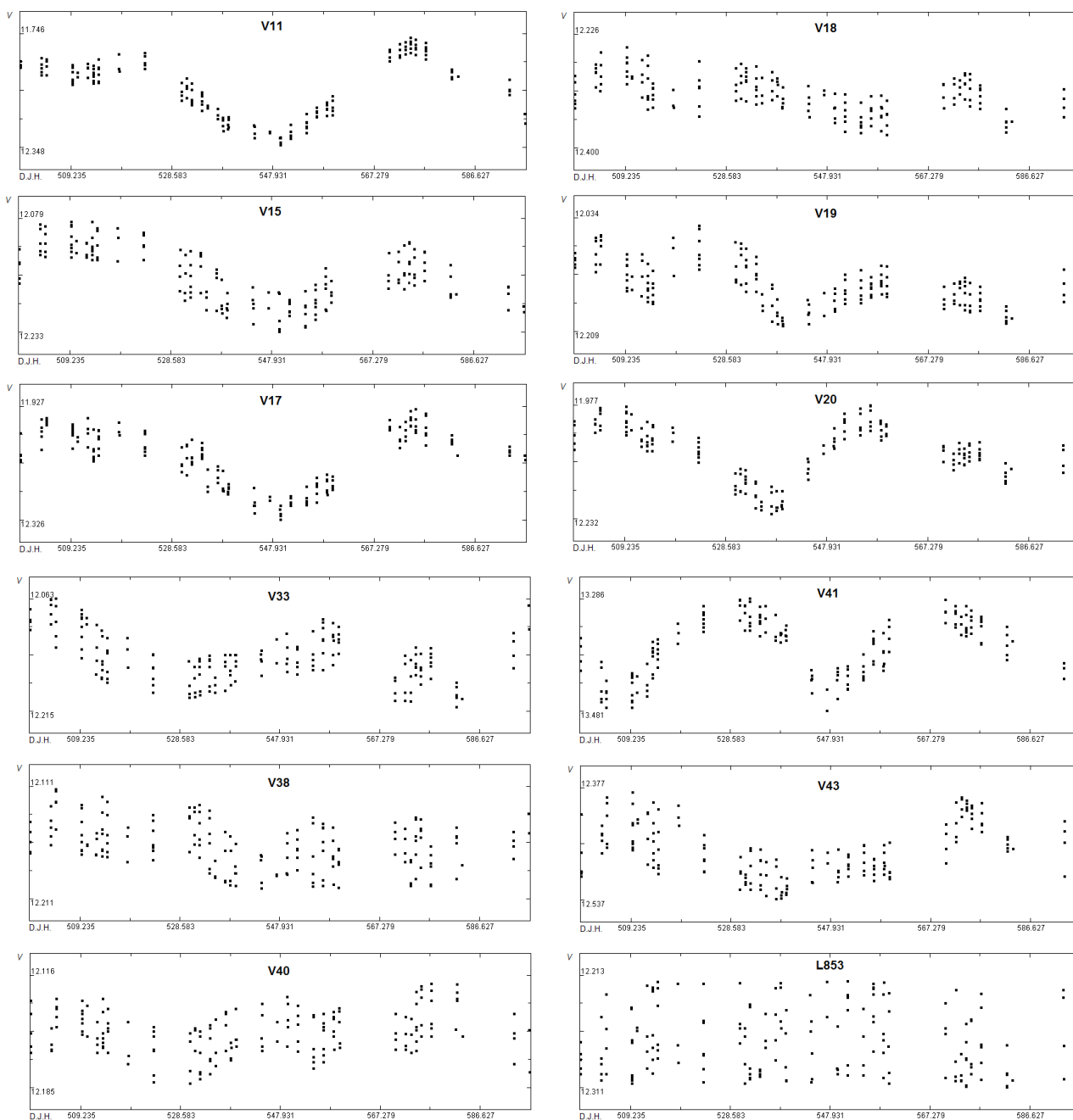
**Tabla 3**  
**Variables, magnitudes medias, amplitudes y períodos**

Variable	Mediciones	Magnitud media	$\sigma$	Amplitud	Período
V11	170	12.039	0.153	0.602	62.5
V15	171	12.158	0.038	0.154	70.7
V17	171	12.108	0.102	0.399	66.4
V18	171	12.320	0.036	0.174	30.9
V19	171	12.140	0.040	0.175	30.9
V20	171	12.084	0.062	0.255	51.7
V33	171	12.142	0.037	0.152	50.9
V38	171	12.165	0.022	0.100	98.8
V40	171	12.152	0.015	0.069	35.8
V41	171	12.372	0.050	0.195	42.2
V43	171	12.466	0.040	0.160	75.1
L853	171	12.273	0.029	0.098	no variable
L526	151	12.821	0.022	0.081	no variable

El examen de la tabla pone de manifiesto que la mayoría de las variables se han medido más brillantes que la magnitud 12.30  $V$ , en la cima de la Rama de las Gigantes Rojas, excepto en tres casos: V18 (12.320  $V$ ), V41(12.372  $V$ ) y V43 (12.466  $V$ ); el resto de ellas son, casi todas, los astros más brillantes del cúmulo. Las estrellas L526 (un astro blanco-azulado) y L853 (amarillenta) han sido utilizadas como astros de control, al no ser variables. Enseguida notamos que la desviación estándar  $\sigma$  es alta (por encima de  $\sigma > 0.3$ ) en las variables de mayor amplitud pero es menor en aquellas de amplitud moderadamente reducida (de 0.2 a 0.1) o incluso muy pequeñas ( $\sigma < 0.060$ ) para aquellas que presentan amplitudes ( $A$ ) inferiores a 0.19 magnitudes: buenos ejemplos son V41 ( $A = 0.19$  magnitudes,  $\sigma = 0.050$ ), V15 ( $A = 0.15$ ,  $\sigma = 0.038$ ) o V38 ( $A = 0.10$ ,  $\sigma = 0.022$ ); las estrellas de control, al no ser variables, han presentado amplitudes (dispersión de los puntos) inferiores a 0.099 magnitudes con valores de  $\sigma$  más reducidos ( $\sigma < 0.030$ ). En la Tabla 4 presentamos una comparativa entre los valores publicados y los obtenidos de los datos de esta campaña; la tabla contiene la siguiente información: nombre de la variables, magnitud tomada de Kopacki *et al.* (2003), nuestra magnitud media (2013), amplitud de Kopacki *et al.*, nuestra amplitud, el período extraído de nuestros datos ( $P_1$ ) y el período  $P_2$  que se considera oficial (ambos medidos en días) si se ha llegado a determinar (V38, V40 y V43 no tienen valores publicados, hasta la fecha).

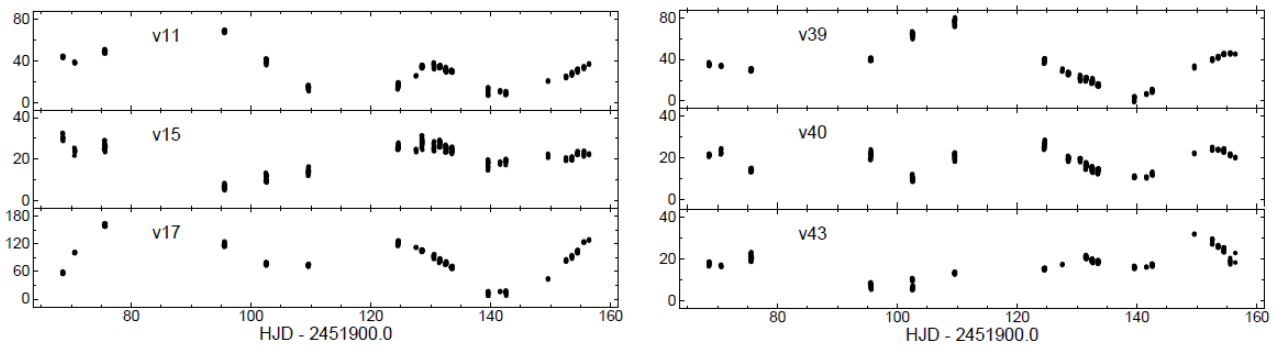
**Tabla 4**  
**Magnitudes, amplitudes y períodos (comparación)**

Variable	Mag. (K)	Mag. (V)	Amp. (K)	Amp. (V)	$P_1$ (d)	$P_2$ (d)
V11	11.928	12.039	0.13	0.60	62.37	91.77
V15	12.139	12.158	0.09	0.15	72.00	39.23
V17	11.976	12.108	0.38	0.40	66.54	43.4
V18	12.319	12.320	0.11	0.17	30.93	41.25
V19	12.066	12.140	0.09	0.17	30.89	44.48
V20	---	12.084	---	0.25	51.69	64.26
V33	---	12.142	---	0.15	50.92	40.37
V38	12.118	12.165	0.07	0.10	83.51	---
V40	12.075	12.152	0.08	0.07	35.87	---
V41	13.155	12.372	0.11	0.19	42.13	42.5
V43	12.470	12.466	0.07	0.16	75.17	---



**Figura 2.** Curvas de luz de las variables de tipo Gigante Roja estudiadas: en el panel superior V11, V15, V17, V18, V19 y V20, en el inferior V33, V38, V40, V41, V43 y la estrella de control (no variable) L853.

El único período que es prácticamente idéntico al oficial es el de V41, una estrella de magnitud media igual a la 13.155  $V$  (Kopacki *et al.*), o la 12.372  $V$  (este trabajo), que brilla nada menos que una magnitud completa por debajo de las restantes Gigantes Rojas y que, por varias pruebas indirectas pero convincentes, siempre nos ha parecido una binaria eclipsante y no una estrellas pulsante como el resto de las variables que aquí estudiamos. De los datos de Kopacki *et al.* se deduce que V11, V15, V17, V38 y V43 son variables de largo período ( $P > 50$  días), pero este equipo de astrónomos no pudo determinar ninguno de ellos: una vez más en total concordancia con nuestros resultados aquí mostrados.



**Figura 3.** Curvas de luz de seis variables de tipo Gigante Roja obtenidas por el equipo de Kopacki durante la campaña del año 2001: todas ellas presentan “sincronismo” al tener mínimos en las mismas fechas, en torno al DJH 2.452.040).

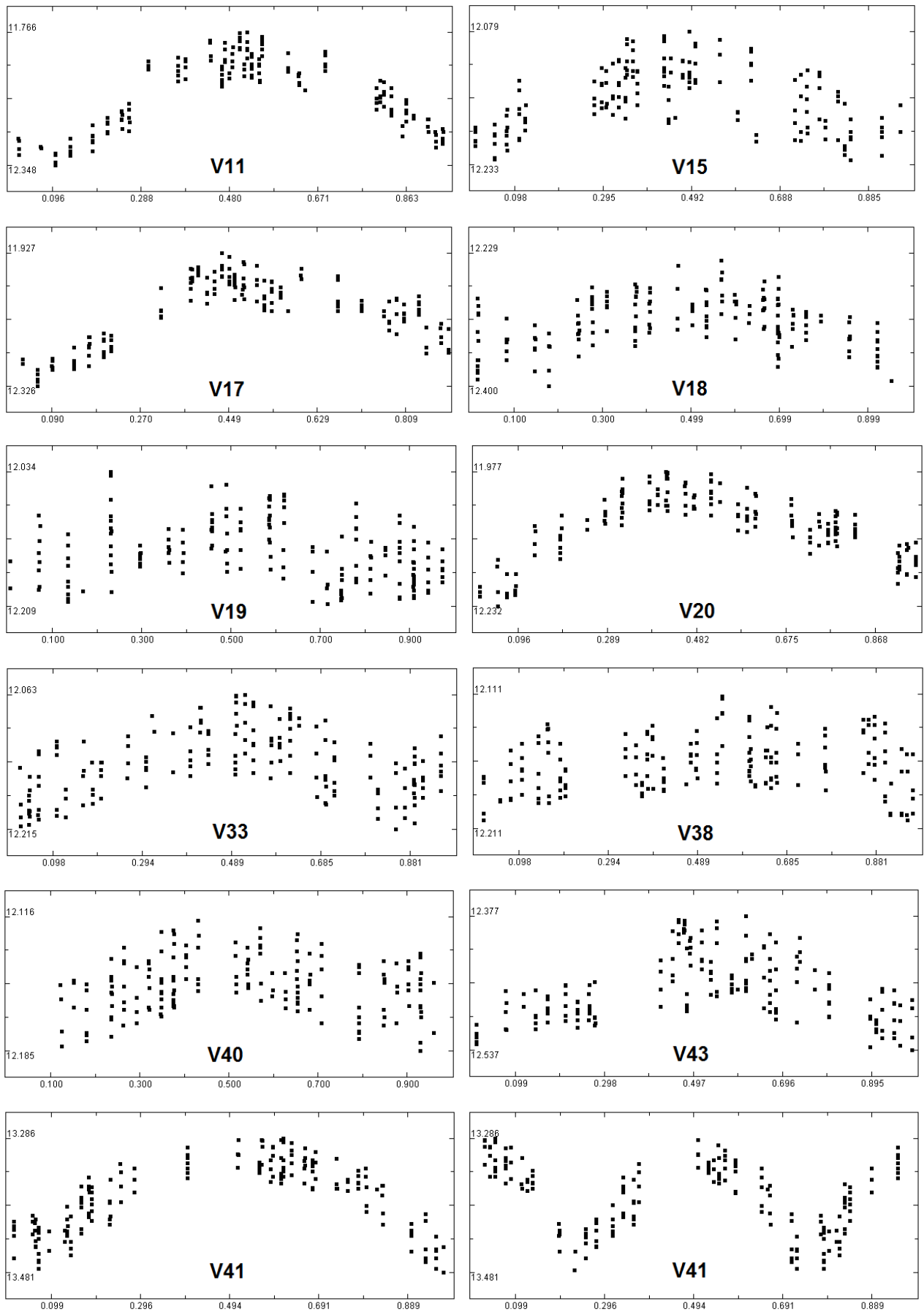
Hemos representado en la Figura 2 las curvas de luz de las variables estudiadas: un hecho muy llamativo es que cinco de ellas (V11, V15, V17, V19 y V41) han presentado mínimos simultáneos en torno a la misma fecha (D.J.H. 2.456.547) mientras que los de otras dos (V33 y V40) sucedieron en torno al D.J.H. 2.456.525: el resto no muestra esta especie de “sincronismo”, fenómeno que tampoco se aprecia en la estrella de control L835. Podríamos pensar que este fenómeno no es real y se debe a un simple *artefacto* de las imágenes, que ha originado un error en algunas de las variables, si no fuese porque este mismo “sincronismo” se aprecia en las curvas de luz de Kopacki *et al.* obtenidas en el año 2001, seis de las cuales mostramos en la Figura 3. El examen de las mismas muestra que los períodos de las estrellas V11, V15 y V17 (de máximo intenso a máximo intenso, o mínimo profundo a mínimo profundo), son superiores a 50-60 días, en total coincidencia con nuestros datos: el de V40 es próximo a los 35-36 días, similar a nuestro valor. V43, finalmente, tiene un período superior a los 70 días y presenta una muy reducida amplitud.

Utilizando los períodos que hemos obtenido, listados en la Tabla 4, hemos representado en la Figura 4 las curvas de luz de las estrellas estudiadas: podemos comprobar que las de V11, V15, V17, V18, V20, V33 y V40 son buenas o bastante buenas, dentro de la no total regularidad de estas variables; en el caso de V19 el resultado es mediocre, debido a que no es demasiado regular, lo mismo que ocurre con V38 (representada con nuestro mejor ajuste: 83.5 días) y V43 que es altamente irregular, tal como pudimos ver en las curvas de luz del equipo polaco.

### 3. V41, UN CASO ESPECIAL.

V41 merece unos comentarios: según los datos de Kopacki *et al.* es la única variable de tipo Gigante Roja que presenta un período regular, 42.5 días, prácticamente idéntico al obtenido por nosotros: su curva de luz es casi perfecta al dibujarla con el período oficial (Figura 4, abajo del todo, panel izquierdo) pero, si la representamos con un período doble (abajo, panel derecho) comprobaremos que es idéntica a la de una binaria eclipsante del tipo EB. Dado que presenta fuertes oscilaciones en su velocidad radial (¡nada menos que 21.71 km! en el rango -18.92 a +2.79, Lupton *et al.*, 1983) para nosotros es más que evidente que estamos ante un sistema orbital, y no una variable pulsante, y así lo indicamos en un trabajo anterior (Violat y Bannasar, 2004)<sup>2</sup>. Otra prueba de que no es una variable pulsante es que no está, como todas las demás, en la *cima* de la Rama de las Gigantes Rojas sino una magnitud más abajo: es una estrella con una temperatura superficial mayor, un radio inferior y en el diagrama H-R aparece situada lejos de la zona en la que se localizan las variables pulsantes, precisamente las Gigantes Rojas de mayor luminosidad. No creemos, por tanto, que sea una estrella pulsante y sí un sistema orbital.

<sup>2</sup> Puede descargarse de esta dirección: <http://casanchi.com/ast/v41.pdf>



**Figura 4.** Curvas de luz dibujadas en fase con los periodos obtenidos: V41 con 42.13 días (izda.) y 84.26 días (dcha.).

## RESUMEN

Hemos realizado observaciones fotométricas del cúmulo globular Messier 13 durante cuarenta noches, entre los días 26 de junio y 30 de octubre de 2013: en este período se han tomado imágenes CCD filtradas ( $BVI_c$ ) para estudiar las variables del cúmulo (Gigantes Rojas, Cefeidas y RR Lyrae), aunque en este trabajo sólo presentamos los resultados de las Gigantes Rojas. Con las 1880 mediciones fotométricas obtenidas en banda  $V$  se han dibujado curvas de luz de todas ellas: el análisis de los datos obtenidos nos ha permitido determinar períodos de variación comprendidos entre los 30.9 y los 83.5 días; excepto en un único caso (V41) estos períodos aparecen completamente distintos a los oficiales: esto se debe a que las variables son del tipo semirregular. La representación de las curvas de luz muestran que los períodos son consistentes y dibujan buenas curvas, excepto en unos pocos casos (V19, V38 y V43) ya que dichas estrellas son muy poco regulares. La variable V41, un año más, presenta una curva de luz más propia de un sistema binario eclipsante (de tipo EB) que una Gigante Roja pulsante.

## 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>  
Kopacki, G. *et al.* (2003), *A&A*, 398, 541  
Ludendorff, H. (1905), *Publ. Astrophys. Obs. Potsdam*, 15, N° 50  
Lupton, R. H., *et al.* (1987), *AJ*, 93, 5  
Osborn, W. (2000), *AJ*, 119, 2902  
Sandquist, E. L. *et al.* (2010), *AJ*, 139, 2374  
Servillat, M. *et al.* (2011), *ApJ*, 773, 106  
SIMBAD Astronomical Database: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>  
Viola Bordonau, F. A. (2004, abril) web Casanchi: <http://casanchi.com/ast/v4101.htm>  
Viola Bordonau, F. A. (2014, febrero) web Casanchi: <http://casanchi.com/ast/secuencias02.htm>  
VizieR Catalogue Service: <http://vizier.u-strasbg.fr/>



## ANEXO I VARIABILIDAD Y ESTADÍSTICA

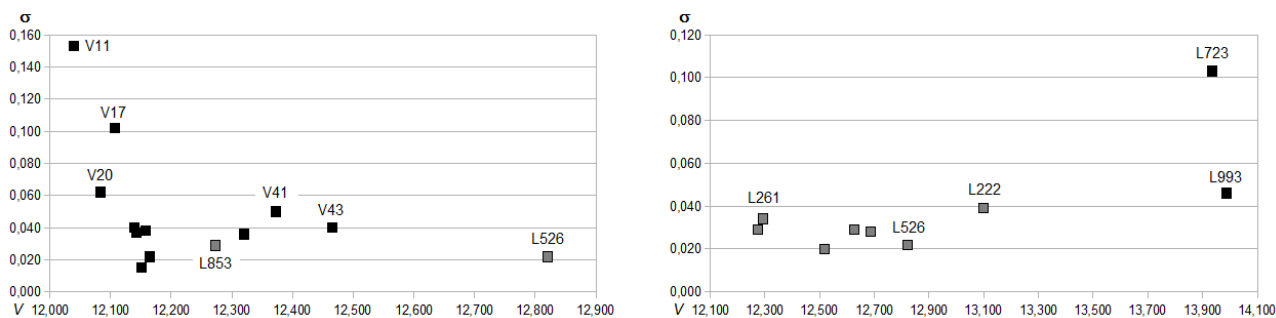
Al presentar los resultados fotométricos obtenidos (Tabla 3) incluimos la desviación estándar ( $\sigma$ ), una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio: nos indica si las mediciones fotométricas están concentradas en torno a un valor promedio (la magnitud media) o dispersas, posible signo de variabilidad; en este último caso cuanto mayor sea  $\sigma$  mayor es la amplitud medida, sea o no variable la estrella estudiada (podemos hablar de *amplitud real*, si es ciertamente variable y *amplitud ficticia* si no lo es: por ejemplo en el caso de una estrella que es difícil de medir porque aparece muy pegada a otra). Como es de esperar las estrellas no variables, de brillo constante, han de presentar valores reducidos excepto para todas aquellas estrellas muy apiñadas, las cuales son difíciles de medir: en el caso de las dos estrellas no variables de la citada tabla estos valores estaban por debajo de  $\sigma < 0.030$ .

En la campaña actual hemos seguido nueve estrellas Ludendorff no variables para controlar la calidad y la desviación estándar de las mediciones; los resultados fotométricos obtenidos para estas nueve estrellas de control aparecen reflejado en la Tabla 5, en la cual las distintas columnas corresponden al nombre de la estrella (en el Catálogo Ludendorff), el número de mediciones obtenidas, la magnitud media y la desviación estándar:

**Tabla 5**  
**Datos fotométricos: estrellas de control**

Estrella	Mediciones	Magnitud media	$\sigma$
L853	171	12.273	0.029
L261	171	12.292	0.034
L316	171	12.517	0.020
L244	170	12.626	0.029
L158	171	12.686	0.028
L526	131	12.821	0.022
L222	170	13.099	0.039
L723	131	13.935	0.103
L993	171	13.987	0.046

dado que ya disponemos de datos fotométricos para los dos grupos de estrellas (variables, en la Tabla 3 y no variables en la Tabla 5) podemos presentar dos gráficos del tipo desviación estándar/magnitud, que mostramos en la Figura 5.



**Figura 5.** Diagramas desviación estándar/magnitud: a la izquierda estrellas variables, a la derecha estrellas de brillo constante; en ambos casos las variables están dibujadas en color negro y las no variables en gris

El panel izquierdo corresponde a las estrellas variables y el derecho a las no variables: en ambos se han marcado con cuadrados negros las estrellas variables y en gris las de brillo constante; si observamos el panel izquierdo comprobamos que las variables presentan valores de  $\sigma > 0.030$  con dos únicas excepciones, que corresponden a variables de baja amplitud ( $A < 0.10$  magnitudes en banda  $V$ ). El panel derecho, por su parte, muestra siete estrellas con valores de  $\sigma$  entre 0.02 y 0.04: este último caso ( $\sigma = 0.039$ ) corresponde a la brillante estrella azul L222, de tipo *blue straggler* (rezagada azul), situada muy pegada a una estrellita de brillo inferior; en ella el valor es moderadamente alto debido al *crowding* (apiñamiento estelar) y no a una verdadera variabilidad: lo mismo le sucede a la brillante estrella L261 ( $\sigma = 0.034$ ), situada muy cerca del núcleo del cúmulo y rodeada por cuatro o cinco débiles estrellas, lo que dificulta medir su brillo debido a la turbulencia de la noche<sup>3</sup>.

Las dos únicas y llamativas excepciones son las estrellas L993 y L723, ambas por encima de la magnitud 13.93  $V$ , que destacan en el gráfico por tener para  $\sigma$  valores elevados: dado que distan de la cima de la Rama de las Gigantes Rojas casi dos magnitudes ninguna de ellas debería ser variable, no al menos de tipo pulsante semirregular como las que hemos estudiado en este trabajo, sin embargo ambas han resultado ser nuevas estrellas variables de período corto (Servillat *et al.*, 2011).

En un trabajo futuro presentaremos los resultados de ambas: magnitudes medias, amplitudes, desviación estándar, curvas de luz y posibles períodos de oscilación.

---

3 La turbulencia emborrona las imágenes y difunde la luz estelar sobre el chip, modificando muy levemente el brillo que deseamos medir: si una estrella está rodeada por otras dos o tres más débiles su magnitud se ve alterada por este fenómeno.