

ESTUDIO FOTOMÉTRICO DE MESSIER 13

CAMPAÑA DEL AÑO 2013

II. VARIABLES DE CORTO PERÍODO

FRANCISCO VIOLAT BORDONAU

Observatorio Astronómico de Cáceres (M.P.C. Z71)
fviolat@yahoo.es

Resumen. En este nuevo trabajo fotométrico presentamos los resultados obtenidos al estudiar las variables rápidas de M13 (Cefeidas, RR Lyrae y SX Phoenicis) en la campaña del año 2013: observaciones, magnitudes medias, amplitudes, curvas de luz y períodos determinados de las mediciones, los cuales comparamos con los valores profesionales. Debido a la situación de algunas variables, muy próximas al núcleo, no ha sido posible obtener mediciones de calidad: esto es visible en las curvas de luz, períodos y amplitudes de las mismas.

En un trabajo anterior (Violat, 2015) presentamos los resultados fotométricos logrados en la campaña fotométrica del año 2013 aunque sólo centrados en las variables de largo período, todas Gigantes Rojas. En esta ocasión mostramos los obtenidos de las variables de períodos más cortos ($P < 6$ días): Cefeidas (de 1.45 a 5.11 días en este cúmulo), RR Lyraes (de 0.312 a 0.750 días) y una SX Phoenicis, cuyo período es inferior a 0.050 días.

1. OBSERVACIONES Y REDUCCIÓN DE DATOS.

Para capturar imágenes se ha utilizado un telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura y 2000 mm de focal con una cámara CCD de la marca Starlight Xpress, 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.

Tabla 1
Diario de trabajo: fotografías capturadas

Día	Fotografías	Filtro	Día	Fotografías	Filtro
30-06	10	V	26-07	3	B
				7	V
				3	Ic
30-07	5	B	31-07	6	V
05-08	8	V	06-08	2	V
08-08	7	V	09-08	15	V
10-08	6	V	14-08	8	V
15-08	5	sp	16-08	8	sp
18-08	9	V			
	7	sp	25-08	5	V
26-08	4	V	27-08	9	V
29-08	6	V			
	5	Ic	30-08	11	V
01-09	9	B			
	7	V	02-09	9	V
08-09	9	V	10-09	10	B

Tabla 1
(continuación)

Día	Fotografías	Filtro	Día	Fotografías	Filtro
11-09	7	V	13-09	8	V
15-09	7	V	18-09	6	V
20-09	11	V	22-09	8	V
23-09	9	V	03-10	3	Jc
04-10	5	V	06-10	6	V
07-10	5	V			
	5	sp	08-10	6	V
09-10	5	V	11-10	6	V
16-10	6	V	17-10	4	V
27-10	8	V	30-10	7	V

Las imágenes, una de las cuales mostramos en la Figura 1, se han abierto con el programa comercial *Astroart 5.0* (de MSB Software¹) siendo calibradas con doce estrellas muy bien escogidas de una secuencia fotométrica tomada del trabajo de Sandquist y colaboradores (Sandquist *et al.*, 2010): las 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.

Tabla 2
Secuencia fotométrica de Sandquist *et al.*

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

La secuencia cubre un rango de tres magnitudes y nos ha permitido estudiar todas las estrellas del cúmulo desde las variables más más brillantes (en torno a la magnitud ~ 11.95 V en su máximo) hasta las RR Lyrae de la Rama Horizontal (magnitud media en torno a la magnitud 14.80 V); también hemos intentado observar una variable de tipo SX Phe (V37), aunque es muy débil (magnitud media: 17.18 V): en este caso, al situarse muy pegada a otra estrella más brillante, lo que hemos hecho ha sido observar las oscilaciones lumínicas del conjunto y no la misma variable.

En la Figura 1 se identifican tanto las estrellas de calibración como las distintas variables: notemos que dos RR Lyrae (V5 y V9) aparecen muy pegadas, separadas por apenas 2.5", formando un único "astro alargado"; no han podido ser estudiadas individualmente. Las variables V25, V34, V36 y V37 no son las brillantes estrellas identificadas con flechas sino débiles astros (invisibles en la imagen) muy pegados a estas brillantes estrellas: en estos casos se ha tratado de medir la magnitud conjunta de las dos estrellas, magnitud que se verá modificada a medida que las variables oscilan de brillo. Finalmente la proximidad a estrellas brillantes ha impedido obtener datos válidos de V7 (muy pegada a la brillante variable roja V11), V25 (dentro del núcleo del cúmulo) y V34, situada junto a varias estrellas de mayor brillo. En total se han seguido y medido sólo cinco variables: tres Cefeidas (V1, V2 y V3) y dos RR Lyrae (V8 y V31), de tipo RRab y RRc.

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

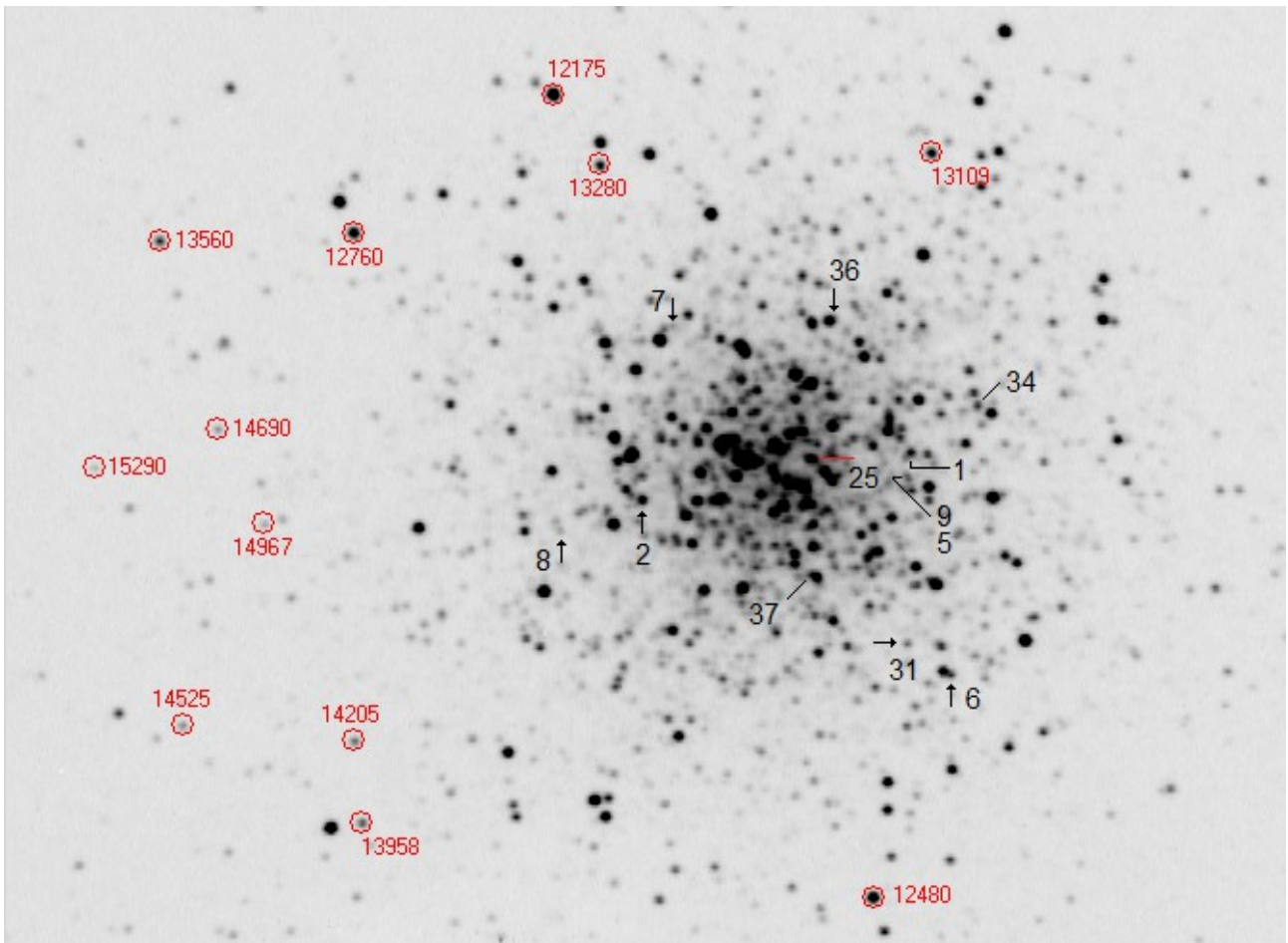


Figura 1. Las doce estrellas de calibración fotométrica y las estrellas variables de corto período: se ha omitido el punto decimal para mayor claridad; V34, V36 y V37 son astros muy débiles pegados a estrellas de mayor brillo. La escala en la imagen es igual a $0.9''$ por píxel; Norte abajo y Este a la derecha. Imagen obtenida en banda V Johnson.

Con la idea de obtener, nuevamente, mediciones fotométricas de calidad se abrieron las mejores imágenes obtenidas en julio y agosto con el programa *FotoDif* (escrito por Julio Castellano)²: este programa es ideal para extraer automática fotometría de una larga serie de imágenes capturadas en la misma sesión (la misma noche), lo cual le hacía muy adecuado para nuestro propósito ya que (como podemos ver en la Tabla 1) se capturaron en cada sesión entre 5 y 15 imágenes. Una ventaja de este programa es que se pueden obtener magnitudes diferenciales y magnitudes absolutas, siempre que se conozca el brillo de las estrellas de calibración fotométrica.

Las noches utilizadas y las mediciones obtenidas aparecen en la Tabla 3:

Tabla 3
Diario de trabajo: *FotoDif*

Día	Fotografías	Día	Fotografías
10-08	5	25-08	5
30-08	7	02-09	4
03-09	9	20-09	6
22-09	4	23-09	7

² Disponible en la dirección: <http://www.astrosurf.com/orodeno/fotodif/>

FotoDif nos ha permitido obtener mediciones fotométricas de siete estrellas distintas que son las siguientes: V1, V2, V6 (Cefeidas), V8, V31, V36 (RR Lyraes) y V37 (SX Phoenicis); se han intentado medir también las RR Lyrae V7, V25 y V34 pero no hemos tenido éxito al encontrarse muy pegadas a estrellas de mayor brillo.

2. RESULTADOS OBTENIDOS.

Al haber trabajado con dos programas distintos hemos obtenido dos conjuntos distintos de datos que analizaremos por separado.

2.1. *ASTROART*.

Se han obtenido datos fotométricos de cinco variables, de las cuales tres son Cefeidas y dos son RR Lyraes, ambas de tipos distintos (una RRab y una RRC) como comprobaremos más adelante; en la Tabla 2 presentamos estos resultados y los comparamos con los de la estrella no variable L536; las columnas son: variable, número de mediciones obtenidas, magnitud media, desviación estándar, amplitud, período calculado con el programa *AVE* y período oficial (en días).

Tabla 3

Variable	Mediciones	Resultados obtenidos				
		Mag. Media	σ	Amplitud	Período (d)	P. Oficial
V1	171	14.353	0.373	1.561	1.460225	1.459033
V2	171	13.264	0.343	1.439	5.133665	5.110818
V6	171	13.988	0.273	1.288	2.116145	2.112918
V8	171	15.132	0.429	1.514	0.749923	0.750316
V31	171	14.691	0.051	0.214	0.319235	0.31930
L526	131	13.821	0.022	0.081	no variable	---

La magnitud media de las dos RR Lyraes es igual a 14.91 V : un valor no muy distinto al obtenido por Kopacki *et al.* de seis RR Lyraes (2003), que resultó ser igual a $14.83 \pm 0.02 V$. Esta es, en una primera aproximación, la magnitud promedio de la Rama Horizontal del cúmulo globular Messier 13 deducido de estos dos valores. (Lo deseable sería haber podido obtener magnitudes medias de dos o tres variables más de este tipo: por desgracia eso no es posible, o es muy difícil, para un equipo de nuestra abertura, poder resolutivo y distancia focal.)

En la Figura 2 presentamos las curvas de luz obtenidas de estas cinco variables a lo largo de la campaña completa: se ha añadido la de una estrella de magnitud parecida (L526), no variable, que nos permite comparar su aspecto con el de las demás estrellas. Notamos dos cosas: la primera es que la amplitud registrada es distinta ya que todas las variables presentan valores superiores a 0.2 magnitudes; la segunda radica en las mediciones: vemos a lo largo de toda la campaña una especie de “estructura” (muy notorias en V2 y V8, por ejemplo) que se manifiesta como mediciones agrupadas cada noche formando unas llamativas líneas verticales, cambiantes de noche en noche, algo que no es visible en la estrella no variable de control: en este caso sólo se aprecia un conjunto de datos prácticamente homogéneo a lo largo de toda la campaña (algo así como un bloque de puntos dispersos, pero sin estructura alguna).

Utilizando los períodos obtenidos de las mediciones hemos representado en la Figura 3 las curvas de luz de las variables.

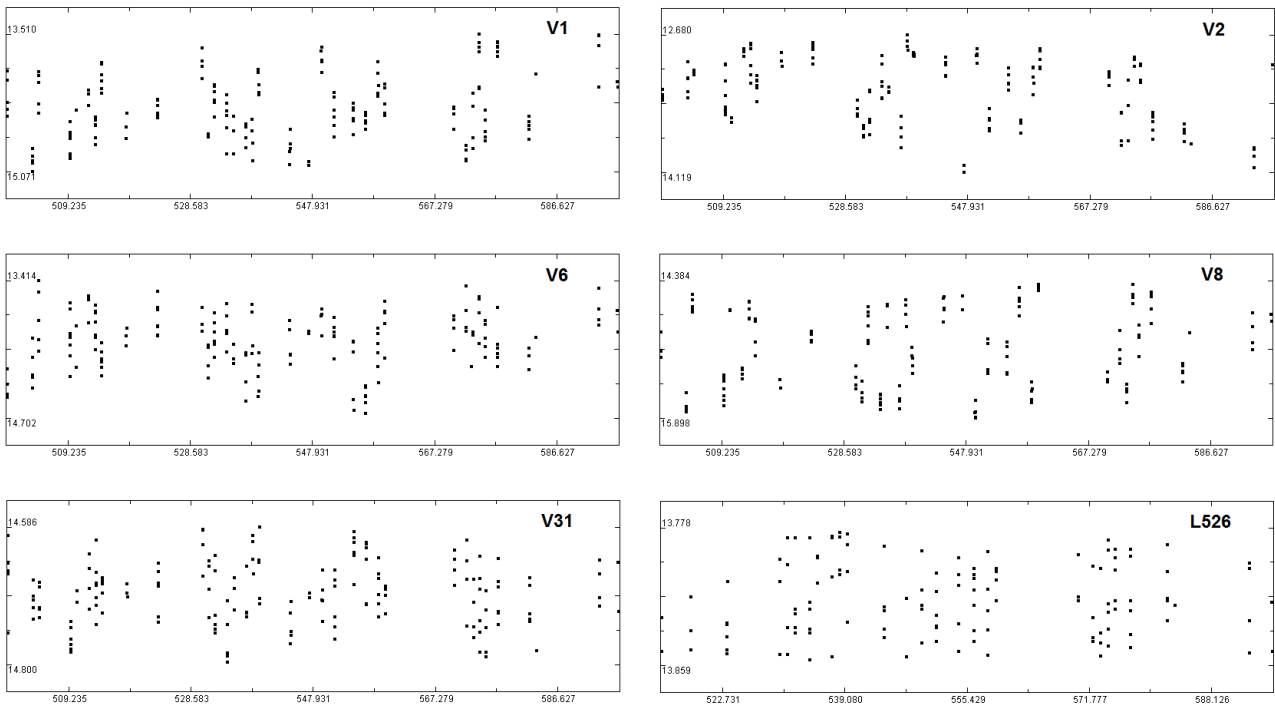
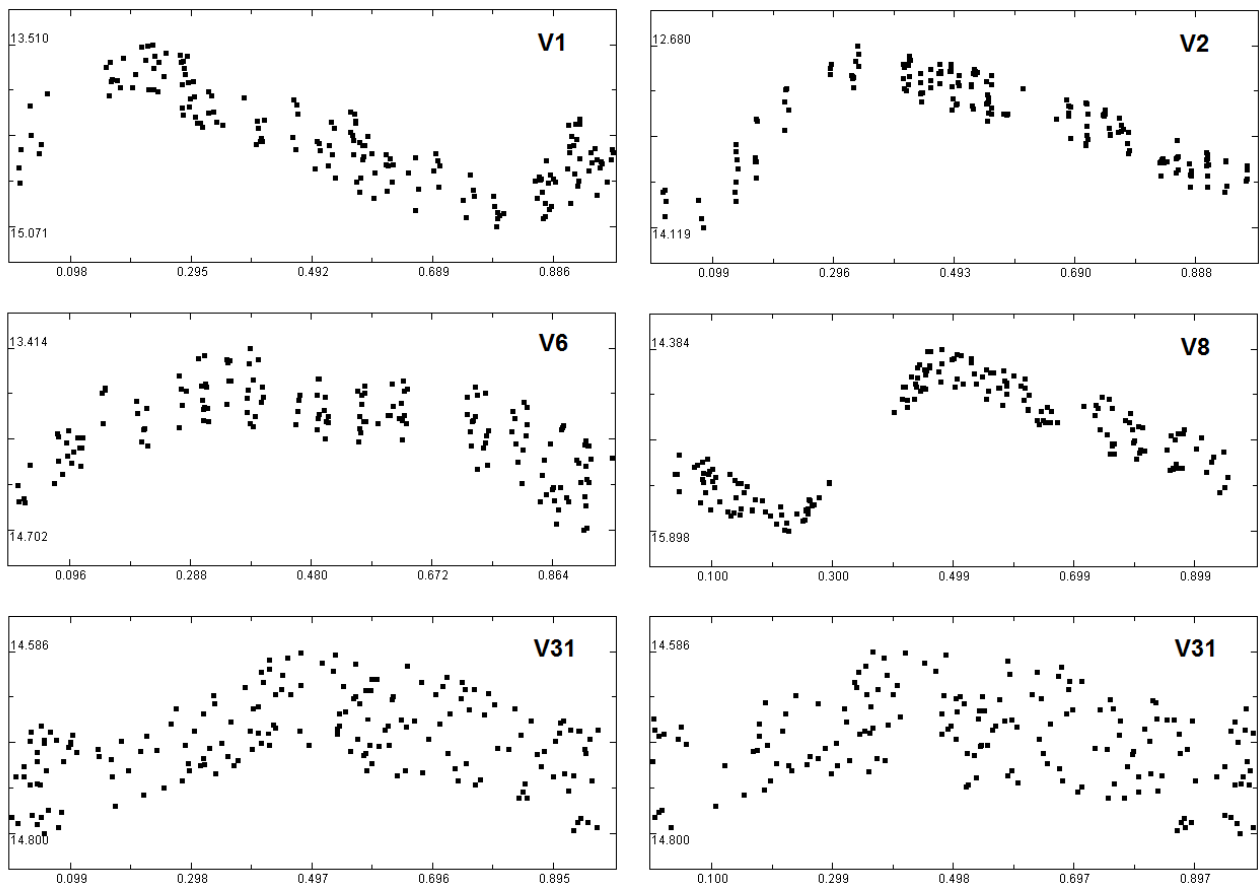


Figura 2. Curvas de luz de las cinco estrellas variables estudiadas en este trabajo: las Cefeidas V1, V2, V6, las RR Lyrae V8 y V31 y la estrella azul no variables L526.

Al representarlas en fase, con los períodos listados en la Tabla 3, obtenemos los resultados que mostramos en la Figura 3 (bajo estas líneas).



En ella vemos seis curvas de luz: cuatro (una por variable) que pertenecen a las estrellas V1, V2, V6 y V8 y dos de V31 (abajo del todo), la del panel izquierdo con el período determinado por nosotros y la del derecho con el período oficial. Vemos en todos los casos que las curvas de luz son coherentes con los períodos determinados, presentando una dispersión tanto más elevada cuanto más difícil es de observar la estrella: de este modo las curvas de V1 y V6 son de peor calidad debido a que en el primer caso la Cefeida se sitúa muy próxima al núcleo, pegada a varias estrellas de menor brillo mientras que la segunda aparece justo al lado de una estrella mucho más brillante. V8 está situada al lado de una estrella de magnitud 14.98 *V* (Osborn, 2000) por lo que no es fácil poder medir sus oscilaciones lumínicas. V31, pese a estar situada en una zona libre de estrellas brillantes, presenta una amplitud muy reducida (0.113 magnitudes, Kopacki *et al.*, 2003) siendo difícil capturar con limpieza y calidad estas oscilaciones lumínicas: el resultado muestra una curva de luz muy *gruesa*.

De las curvas de luz y los períodos podemos deducir que las estrellas V1, V2 y V6 son variables Cefeidas, del tipo BL Herculis, con períodos comprendidos entre 1.46 y 5.12 días: en el caso de V6 se aprecia un *bump* (chichón) en la rama descendente inmediatamente después de su máximo, algo típico en este tipo de variables de Población II. (V1 también presenta un *bump* en su rama ascendente, inmediatamente antes del máximo: es visible en nuestra curva de luz pero no con demasiada claridad al faltar puntos de esa zona.)

La estrella V8 es una variable RR Lyrae de tipo RRab (curva de luz con ascenso rápido y descenso mucho más lento) con un período próximo a los 0.75 días y mínimo cerca de la fase 0.80 mientras que V31 es una RR Lyrae de tipo RRC (curva de luz redondeada, sin máximo pronunciado) cuyo período es próximo a 0.32 días. Como podemos ver las dos RR Lyraes son completamente distintas, no sólo por sus curvas de luz sino por sus períodos tan dispares.

2.2. FOTODIF.

Una manera de determinar la distancia aproximada del cúmulo es obtener la magnitud media de la Rama Horizontal, es decir: calcular la magnitud media de las variables de tipo RR Lyrae. Ya hemos comprobado que con *Astroart* sólo hemos podido obtener estos valores para dos RR Lyrae, las demás no pueden ser medidas con este software³ utilizando nuestro equipo. M13 contiene nueve estrellas RR Lyrae: seis conocidas antes de 2003 (V5, V7, V8, V9, V25 y V31) a las que se suman las dadas a conocer por Kopacki *et al.* ese mismo año: V34, V35 y V36. Si pudiésemos utilizar un software capaz de medir el brillo de estas estrellas podríamos lograr nuestro propósito.

FotoDif ha sido escrito para extraer, automáticamente, mediciones fotométricas de una larga serie de imágenes tomadas en la misma sesión, algo muy útil si se estudian muchas estrellas situadas en una misma imagen y se toman muchas imágenes cada noche: si medimos, por ejemplo, veinte estrellas por imagen (entre variables y estrellas de control) y en una determinada noche hemos capturado quince imágenes obtendremos trescientas mediciones esa noche; si la campaña dura, como en este caso concreto, cuarenta noches veremos que el número de datos obtenidos en la campaña se multiplica enormemente.

El funcionamiento de este software es muy sencillo: al inicio de cada sesión basta con indicar las coordenadas del observatorio y del objeto, marcar las estrellas de comparación, las estrellas variables o presuntas variables, las estrellas de control y el programa extrae de la serie de imágenes las mediciones para cada una de las estrellas; otra ventaja es que nos facilita los datos con Día Juliano Heliocéntrico (leyendo fecha y hora de la cabecera de datos FITS) y relación señal/ruido (además de masa de aire, entre otros datos), lo cual es muy valioso de cara al análisis estadístico de

³ Debido a la proximidad de estrellas que contaminan con su brillo las oscilaciones lumínicas de las variables.

los datos. Si embargo también tiene sus inconvenientes ya que utiliza, por defecto, un radio de apertura de diez píxeles: esto quiere decir que computará toda la luz estelar situada dentro de ese radio; en zonas del cielo con una densidad de estrellas baja podrá medir sin ningún tipo de problemas, pero si trabajamos dentro de cúmulos estelares la densidad de estrellas es mayor (no digamos ya en un cúmulo globular): en este caso es muy fácil que dentro del radio de apertura fotométrica aparezcan dos o más estrellas, lo que produce mediciones erróneas; vamos a verlo en el caso de Messier 13.

En la Figura 4 hemos marcado todas las Cefeidas, RR Lyraes y SX Phoenicis asequibles a nuestro equipo (se omite V35, situada en el corazón del cúmulo y la pareja V5-V9 por ser irresolubles a nuestro sistema óptico): en el panel de la izquierda vemos la ubicación de las distintas variables dentro de un círculo, tal como nos las identifica *FotoDif*.

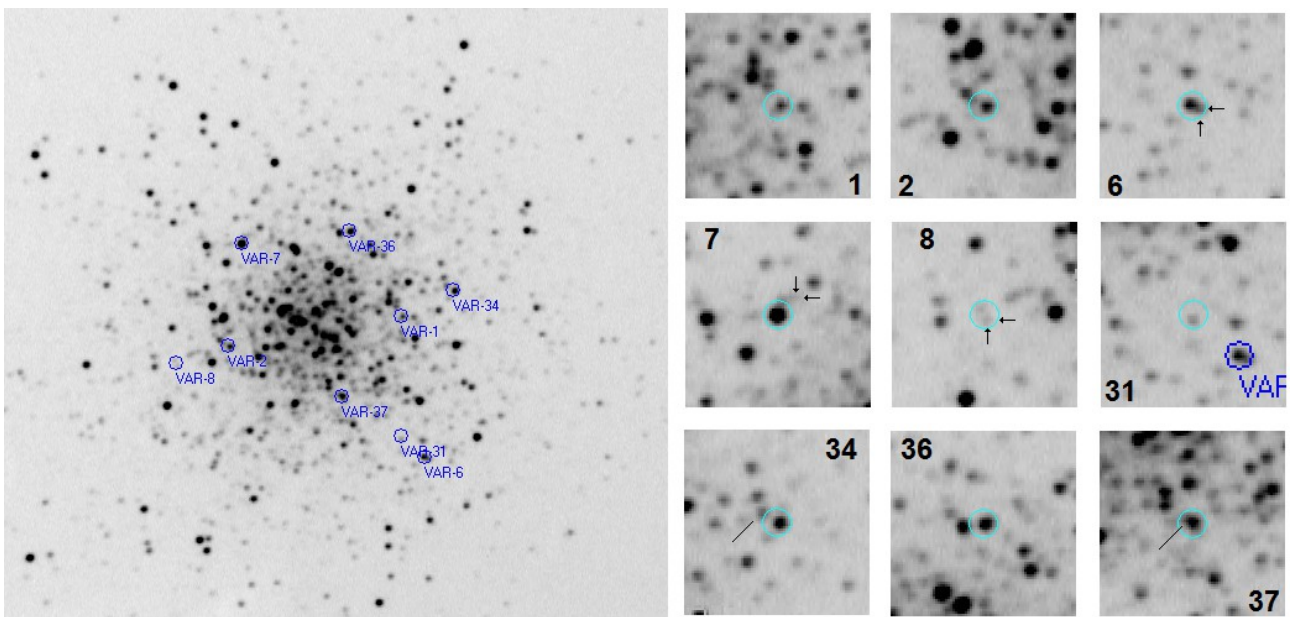


Figura 4. Las nueve variables rápidas de M13 identificadas por *FotoDif* (izquierda): a la derecha aparece la ampliación de estas mismas nueve zonas; en algunos casos es imposible estudiar correctamente las variables (identificadas con flechas), o hemos de medir el brillo conjunto de dos estrellas (como ocurre con V1, V6, V8, etc.).

Sin embargo un examen cuidadoso de dicho panel muestra que en ocasiones el programa mide el brillo conjunto de dos o más estrellas, lo que demostramos con ampliaciones de la zona de las nueve variables (paneles derechos): por ejemplo en el caso de V1, V6, V8, las cuales -aunque aparecen separadas de otras estrellas- realmente quedan dentro del mismo radio fotométrico. En otros casos (p. ej. V7 o V34) es imposible medir y localizar la variable (marcadas con flechas) porque una estrella de mayor brillo “despista” el software, centrando sobre esa estrella el radio fotométrico; finalmente en otros casos (como V36 o V37) la variable aparece muy pegada a una estrella más brillante, de la que no puede ser resuelta con nuestra focal, teniendo que medir el brillo conjunto de ambas: en este caso las oscilaciones de la variable originarán un incremento de brillo de la estrella no variable, reducido (quizá sólo una o dos décimas de magnitud) pero mensurable.

Debido a estas circunstancias no hemos podido medir todas las variables rápidas ya citadas: V7 y V34 quedaban siempre fuera de nuestro alcance debido a la presencia de estrellas más brillantes en las inmediaciones; sólo hemos podido seguir siete astros distintos: tres Cefeidas (V1, V2 y V6), tres RR Lyraes (V8, V31 y V36) y una SX Phoenicis (V37). Naturalmente para obtener

datos precisos de las variables *pegadas* a otras estrellas y muy cercana a ellas es preciso trabajar con imágenes obtenidas en noches de muy baja turbulencia, en la cual la resolución es alta: por ello nos hemos limitado a medir fotografías tomadas en noches de turbulencia excepcionalmente reducida (1" a 2"), las cuales se listaron ya en la Tabla 2; ello nos ha dejado sólo con 47 imágenes distintas repartidas entre ocho noches con una media de seis fotografías por noche.

Una vez abiertas las distintas sesiones de observación y medidas las imágenes hemos obtenido unos resultados fotométricos que mostramos en la Tabla 4 los cuales son: variable, mediciones, magnitud media, desviación estándar, amplitud, período determinado con el programa *A.V.E.* y período oficial (ambos medidos en días):

Tabla 4

Resultados obtenidos						
Variable	Mediciones	Mag. Media	σ	Amplitud	Período (d)	P. Oficial
V1	47	13.710	0.238	0.831	1.466170	1.459033
V2	47	12.589	0.133	0.432	5.412482	5.110818
V3	47	14.764	0.015	0.105	constante	constante
V6	47	12.729	0.067	0.260	2.118371	2.112918
V8	47	14.253	0.245	0.810	0.752070	0.750316
V31	47	14.822	0.143	0.510	0.313311	0.31930
V36	47	12.643	0.036	0.162	0.295253	0.30441 P ₂
					0.322901	0.33497 P ₃
					0.317934	0.31584 P ₁
V37	47	13.821	0.022	0.243	0.047737	0.0494085

Cuando examinamos la tabla comprobamos que las magnitudes medias obtenidas son distintas a la listadas en la Tabla 3 y todas ellas más bajas: esto es debido a la luz parásita de estrellas próximas a las variables; el único valor válido (14.822 *V*) es el de V31, una RR Lyrae situada en una zona libre de molestas estrellas brillantes: su magnitud media es casi idéntica a la obtenida por Kopacki *et al.* (14.83 \pm 0.02 *V*). Vemos también que las amplitudes son menores y en todos los casos aparecen inferiores a 0.85 magnitudes. V3 ha resultado no ser variable, como esperábamos.

Notemos que en el caso de V36 proporcionamos tres períodos distintos, comprendidos entre los 0.295 y los 0.323 días, mientras que los períodos oficiales los denominados P₁, P₂ y P₃: son los períodos facilitados por el equipo polaco para esta variable, ya que se trata de una RR Lyr multiperódica (tipo RRd).

Cuando representamos las curvas de luz en fase con estos períodos (Figura 6) obtenemos resultados bastante coherentes, pese a las dificultades que este software tiene para medir campos apiñados (como antes comentamos): se han representado las variables en fases distintas para apreciar con detalle las ramas ascendentes, máximos, ramas descendentes y mínimos de cada variable. En el caso de V1 no se aprecia el *bump* de la rama ascendente por falta de datos; V2 muestra una curva coherente similar a la obtenida con anterioridad; V6 también es coherente pero en ella no se ve el *bump* situado inmediatamente después del mínimo, también por falta de datos de esa fase. V8 aparece como una RR Lyrae de tipo RRab, V31 como otra RR Lyr pero en este caso de tipo RRc mientras que V37 es una variable muy rápida de tipo SX Phoenicis (sus períodos típicos oscilan entre 0.03 y 0.08 días) con una curva de luz asimétrica: por su situación en el diagrama H-R se trata de una estrella de tipo *blue straggler* (rezagada azul) situada en la *banda de inestabilidad*, como las demás variables rápidas del cúmulo (Cefeidas y RR Lyraes).

Una peculiaridad de V37 es que su mínimo aparece cerca de la fase 0.70, como puede verse en la curva de luz publicada por Kopacki en el año 2005, que mostramos en la Figura 7 (panel izquierdo): la curva que hemos obtenido (panel derecho) muestra este mismo fenómeno.

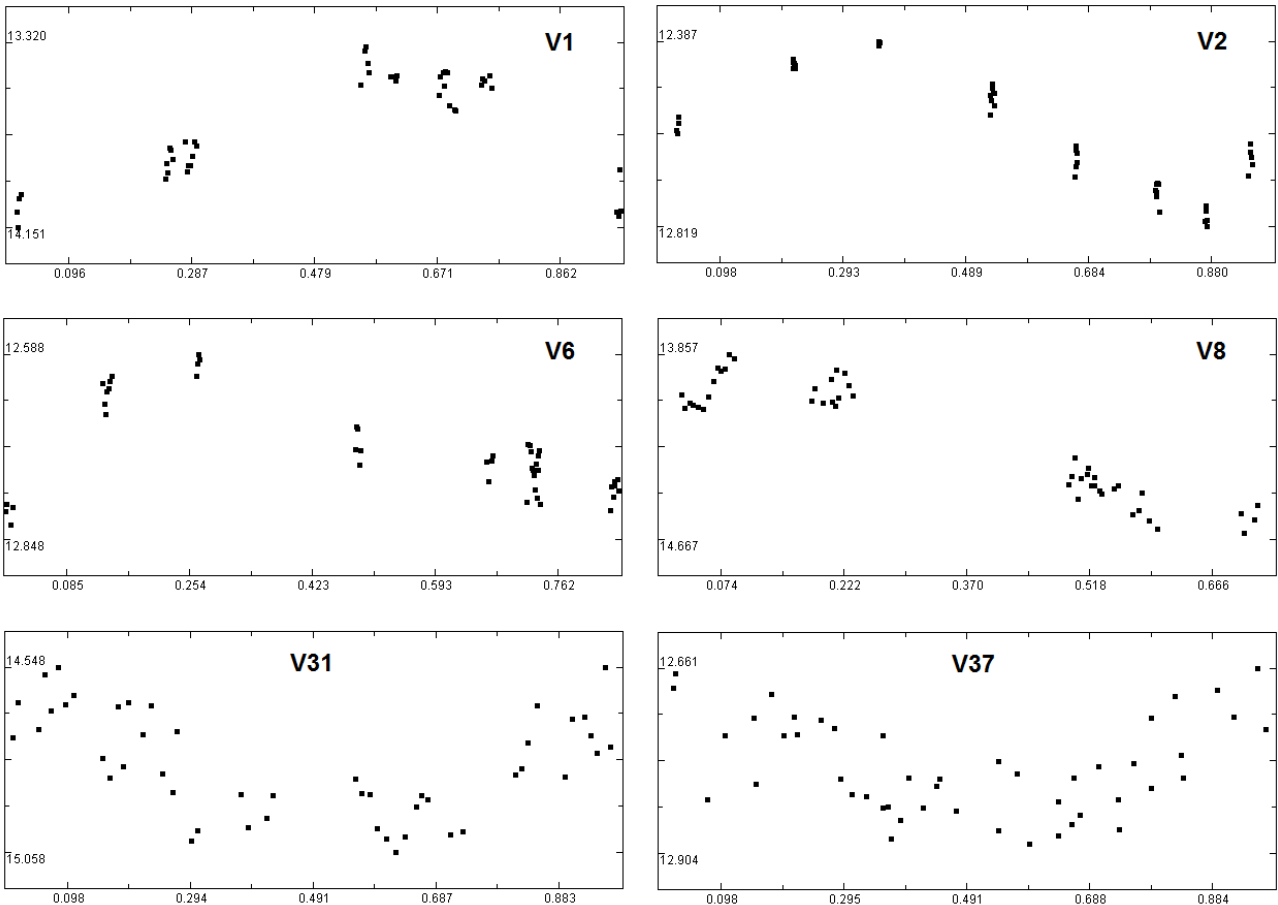


Figura 5. Curvas de luz, en fase, de seis estrellas variables rápidas medidas con *Fotodif* utilizando los períodos que hemos obtenido: en todos los casos se obtienen resultados bastante coherentes; se han representado en fases distintas para apreciar las ramas ascendentes, máximos, ramas descendentes y mínimos de cada variable.

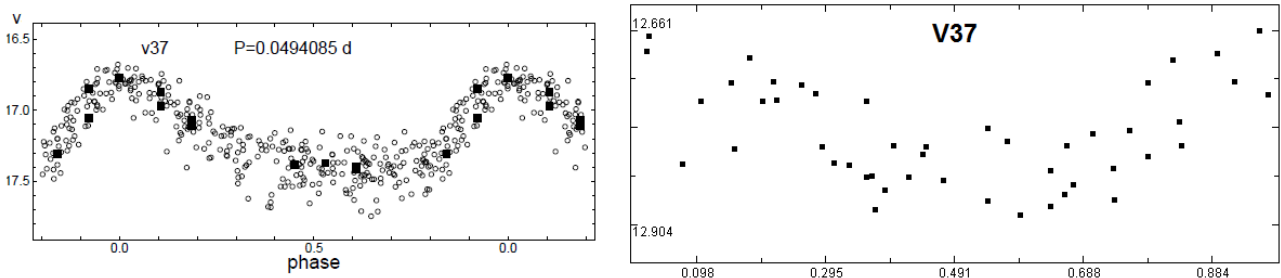


Figura 6. Curvas de luz de la variable V37 en fase: a la izquierda la obtenida por Kopacki (2005), a la derecha la obtenida de nuestras mediciones fotométricas: en ambas se aprecia que el mínimo ocurre cerca de la fase 0.70, con una rama descendente larga, suave y una ascendente corta y pronunciada.

En la curva de Kopacki los cuadrados negros corresponden a mediciones extraídas de imágenes capturadas con el Telescopio Espacial *Hubble*, mientras que los círculos blancos son datos obtenidos por este investigador de sus imágenes CCD. Ambas curvas, la suya y la nuestra son (dentro de la precisión de nuestros datos) bastante parecidas: en su caso registra una amplitud igual a 0.65 magnitudes mientras que nosotros sólo medimos 0.243 magnitudes, incluyendo el error aleatorio inherente al proceso de extracción de la magnitud (no olvidemos que esta variable está a menos de 2'' de una estrella mucho más brillante, ver Figura 4).

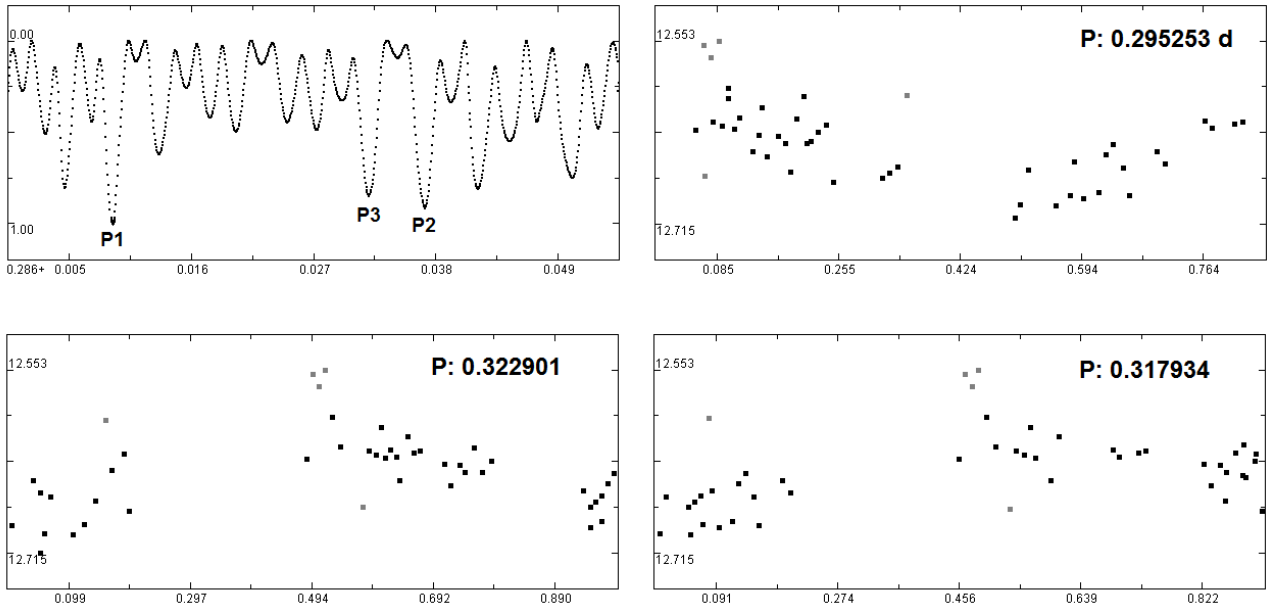


Figura 6. Curvas de luz en fase de la variable multiperiódica V36: en el panel superior, izquierdo, el periodograma con los tres períodos más probables; el resto de los paneles muestran las curvas obtenidas con dichos períodos: se han marcado en color gris cinco puntos discordantes.

En el caso de V36 nos encontramos con una situación parecida a la de V37: se localiza a menos de $2''$ de una estrella más brillante que dificulta enormemente medir sus oscilaciones de brillo para nuestro equipo; en este caso, como en otros ya presentados, es preciso registrar el brillo conjunto de ambas estrellas. De las mediciones extraemos una amplitud reducida, sólo 0.243 magnitudes incluyendo el error aleatorio, lo que indica que realmente es inferior: Kopacki *et al.* miden una amplitud máxima de 0.064 magnitudes. Esta variable es peculiar porque parece pulsar con varios períodos (Tabla 4), por lo que su curva de luz cambia levemente de ciclo en ciclo. Las 47 mediciones que tenemos de esta variable nos permiten determinar tres períodos de pulsación (no muy distintos a los oficiales) con los cuales podemos dibujar tres curvas de luz en fase (Figura 6), las cuales parecen bastante buenas: si eliminamos cinco puntos (en color gris) son coherentes con estos períodos. Necesitamos mediciones de mejor calidad para confirmar todos sus parámetros.

3. MAGNITUD MEDIA DE LA RAMA HORIZONTAL.

Ya comentamos antes que conocer la magnitud media de las variables de tipo RR Lyrae nos permitiría saber cuál es la magnitud de la Rama Horizontal y, de ella, podríamos calcular la distancia aproximada del cúmulo (su módulo de distancia).

En la Tabla 3 proporcionamos dos valores para la magnitud media de estas estrellas determinados con *Astroart*, concretamente para V8 y V31, mientras que en la Tabla 4 proporcionamos tres valores obtenidos con *FotoDif*, en este caso para V8, V31 y V36: por desgracia esta última variable está muy pegada a una estrella de mayor brillo por lo que el valor obtenido no nos sirve. Resumamos todos los valores obtenidos en una nueva tabla, que llamaremos Tabla 5, para compararlos con los oficiales: en ella incluimos las magnitudes medias obtenidas con *Astroart* (AA), *FotoDif* (FD), el valor medio de ambos y el valor obtenido por Kopacki y colaboradores.

Tabla 5

Magnitudes medias RR Lyraes

<u>Variable</u>	<u>Mag. <i>AA</i></u>	<u>Mag. <i>FD</i></u>	<u>Kopacki <i>et. al</i></u>
V8	15.132	14.253	14.850
V31	14.691	14.822	14.432
Mag. Media	14.911	14.538	14.641

Podemos ver que la magnitud promedio de las dos RR Lyr obtenida con *Astroart* (14.911 V) es más alta que la determinada con *FotoDif* (14.538 V), debido a que en este último caso el valor de V8 (situada en una zona de *crowding*) se ve muy afectado por la luz de estrellas vecinas. Si nos quedamos con el primer valor la magnitud media de las RR Lyr de M13 (situadas en la Rama Horizontal) sería igual a la 14.911 V . Cuando omitimos la magnitud promedio de V8 obtenida por *FotoDif*, menos precisa en nuestra opinión, el valor promedio de las tres variables queda ahora igual a la magnitud 14.882 V : similar al de V31 determinado con *FotoDif* (14.822 V). Dado que el valor medio de Kopacki *et al.* al utilizar seis estrellas RR Lyr era igual a la magnitud $14.83 \pm 0.02 V$ comprobamos que nuestro resultado es 0.05 magnitudes más alto.

Suponiendo que la magnitud absoluta de las estrellas de tipo RR Lyrae fuese $M_v \sim 0.600 \pm 0.126$ (Catelan *et al.*, 2008) podemos determinar el módulo de distancia ($m - M$) del cúmulo con nuestros datos, aunque sea de modo aproximado, el cual resulta ser igual a $(m - M) = 14.28$.

Para finalizar queda por citar los valores profesionales que podemos encontrar en Internet: la magnitud media de la Rama Horizontal (variables RR Lyrae) es igual a la 14.90 V mientras que el módulo de distancia es $(m - M) = 14.33$ (Harris, 2010)⁴: dentro de la precisión de nuestro equipo este resultado es más que aceptable.

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, con el equipamiento del Observatorio Astronómico de Cáceres: en este período se han tomado imágenes CCD filtradas para estudiar las variables rápidas del cúmulo (Cefeidas, RR Lyrae y SX Phoenicis). Dado que algunas de estas estrellas se encuentran muy cerca del núcleo, o de otras estrellas más brillantes, se han utilizado dos programas comerciales distintos para medir sus cambios de brillo: *Astroart* y *Fotodif*. Con cada uno de ellos se han determinado magnitudes medias, amplitudes, períodos y dibujado curvas de luz en fase de las variables, la mayoría de ellas coherentes con estos períodos: se encuentran todos estos valores similares a los oficiales, dentro de la precisión del equipo utilizado. Finalmente con la magnitud media de las RR Lyrae estudiadas medimos la magnitud de la Rama Horizontal, que encontramos en el rango 14.88-14.91 V , determinando el módulo de distancia del cúmulo el cual resulta ser igual a $(m - M) = 14.28$: no muy distinto a los valores oficiales (14.90 V y 14.33 respectivamente).

4 Se puede consultar en: <http://physwww.physics.mcmaster.ca/~harris/mwgc.dat>

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>
Catelan, M., Cortés, C. (2008), *ApJ*, 676, 135
Kopacki, G. *et al.* (2003), *A&A*, 398, 541
Kopacki, G. (2005), *Acta Astronomica*, 55, 85
Harris, W. E. (1996), *AJ*, 112, 1487 (última revisión: diciembre de 2010)
Ludendorff, H. (1905), *Publ. Astrophys. Obs. Potsdam*, 15, N° 50
Osborn, W. (2000), *AJ*, 119, 2902
Sandquist, E. L. *et al.* (2010), *AJ*, 139, 2374
SIMBAD Astronomical Database: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
Violat Bordonau, F. A. (2014, febrero) web Casanchi: <http://casanchi.com/ast/secuencias02.htm>
Violat Bordonau, F. A. (2015, julio) web Casanchi: <http://casanchi.com/ast/m13a01.htm>
VizieR Catalogue Service: <http://vizier.u-strasbg.fr/>