

ESTUDIO FOTOMÉTRICO DE MESSIER 37

IV. LAS VARIABLES V6, V8 Y V11

FRANCISCO VIOLAT BORDONAU
Observatorio Norba Caesaria (MPC Z71)
Asesores Astronómicos Cacereños, fviolat@yahoo.es

Resumen. En este cuarto trabajo fotométrico del cúmulo presentamos los resultados obtenidos al estudiar las variables V6, V8 y V11, de tipo Delta Scuti, durante las campañas de los años 2016 y 2017: curvas de luz, magnitudes medias y amplitudes en banda V , así como sus períodos. Los resultados son muy similares a los oficiales, dentro de la precisión de nuestro equipo.

1. INTRODUCCIÓN.

En trabajos anteriores (Violat, 2017 a y b) hemos estudiado variables situadas en el cúmulo de tipo binarias eclipsantes (V1, V2 y V3); en este caso nos centramos en tres variables de tipo δ Scu: V6, V8 (KV 1) y V11 (KV 4), dos de las cuales (las primeras) no son fáciles para nuestro equipo. La variabilidad de V6 fue descubierta durante la campaña fotométrica de los años 1999-2000 por Kiss *et al.* (Kiss, 2001): utilizando 658 mediciones en banda R , obtenidas en siete noches entre los días 27 de diciembre de 1999 y 2 de febrero de 2001, estos investigadores pudieron determinar sus principales parámetros. Obtuvieron también tres mediciones en banda B , y otras tres en V , que utilizaron para determinar los índices de color $B - V$ de las estrellas detectadas: unas 3000 en cada *frame*. De su corto período y de la forma de la curva de luz la clasificaron como una variable pulsante de tipo Delta Scuti, con una amplitud ΔR de 0.45 magnitudes (pero 0.52 magnitudes en banda V). V8 (KV 1) y V11 (KV 4) fueron descubiertas por Kang *et al.* (2007) y son del mismo tipo: pulsantes Delta Scuti; los principales parámetros de las mismas quedan descritos en la Tabla 1, extraídos del estudio de estos últimos investigadores, los cuales son: denominación, posición Alfa y Delta (2000.0), magnitud promedio en banda V , índice de color $B - V$, período (en días) amplitud en banda V y número de frecuencias (periódos) encontradas por Chang *et al.* (2015).

TABLA 1

Astro	α	δ	V	$B - V$	P	ΔV	N
V6	05 51 50.52	+32 32 34.81	16.177	0.691	0.10983967	0.521	8
V8	05 52 34.32	+32 32 18.74	12.498	0.427	0.11950000	0.011	1
V11	05 52 03.38	+32 35 13.72	15.419	0.390	0.11867118	0.108 ¹	14

Como podemos comprobar la más débil de las tres es V6 seguida de V8 y finalmente V11, que es un astro muy brillante; si las ordenamos por amplitudes el orden sería V6, V11 y V8: la que presenta una mayor amplitud es la más débil mientras que la más brillante tiene la menor amplitud. Debido al apiñamiento estelar (o *crowding*) la capacidad de nuestro equipo para capturar estas oscilaciones de brillo dependió no sólo de la intensidad de las propias oscilaciones, si no de la presencia de otras estrellas próximas (o incluso “pegadas”) a las propias variables.

¹ Las amplitudes -en banda r - presentadas por Chang *et al.* (2015), en su Tabla 5, son iguales a 0.343 magnitudes en el caso de V6 y a 0.079 magnitudes en el de V8.

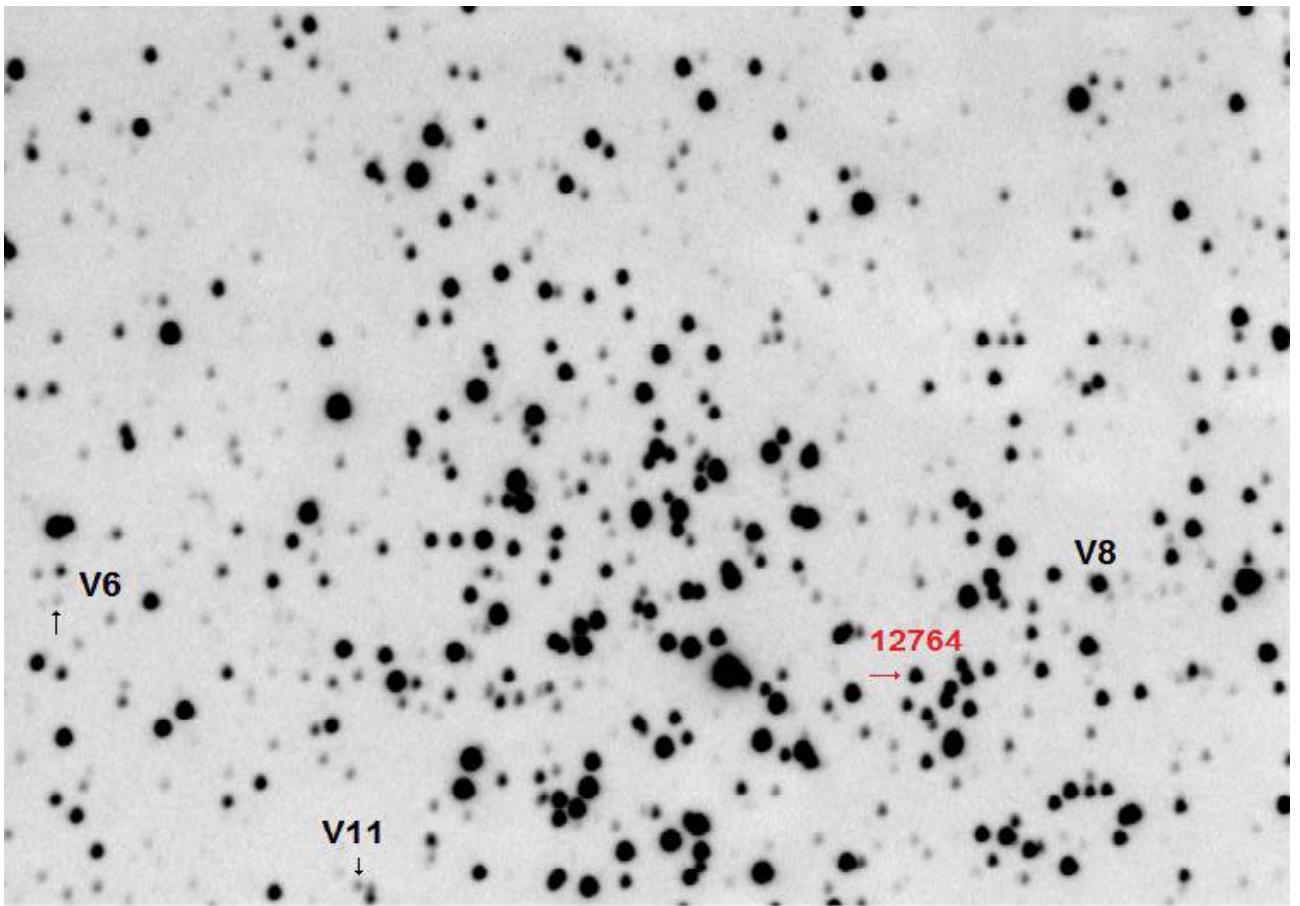


Figura 1. Imagen del cúmulo en banda V que identifica las variables estudiadas. Situada en la parte occidental del mismo tenemos a V6; en la zona norte, no lejos de V6, aparece V11 mientras que la brillante variable V8 se localiza en la parte oriental del cúmulo; hemos identificado también el astro de comparación (magnitud 12.764 V). La escala de la imagen es igual a 0.9'' por píxel y el campo cubierto 11.4' x 8.5'; Norte abajo y Este a la derecha.

2. OBSERVACIONES Y REDUCCIÓN DE DATOS.

Debido al reducido brillo de dos de las variables estudiadas (V6 y V11) ha sido preciso capturar imágenes de 120 segundos de exposición con filtro V Johnson, utilizando un telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura y 2000 de focal con una cámara CCD, de 752 x 580 píxeles de 8.6 micras de lado y electrónica de 16 bits, acoplada al foco primario; el campo cubierto en las imágenes ha sido de 11.4' x 8.5' con una escala igual a 0.90''/píxel: en todas ellas el Norte aparece abajo y el Este a la derecha (imagen invertida).

Hemos estudiado el cúmulo en dos campañas fotométricas consecutivas: entre los días 19 de febrero y 25 de marzo de 2016, totalizando 19 noches distintas, y entre los días 19 de marzo y 23 de abril de 2017 sumando otras 14 noches. Para extraer de las imágenes las mediciones fotométricas hemos empleado el programa *FotoDif*, de Julio Castellano, utilizando como astro de comparación una estrella no variable de magnitud 12.764 V (identificada también en la Figura 1). En la Tabla 2 mostramos los datos extraídos de las mismas con el programa *Análisis de Variabilidad Estelar A.V.E.* (del Grupo de Estudios Astronómicos, GEA) y que son los siguientes: la variable, el número de mediciones obtenidas en 2016, el rango observado, la magnitud media V con el error (desviación estándar σ) y su amplitud en banda V , así como los mismos datos pero de la campaña del año 2017.

TABLA 2

Variable	2016	Rango	Mag. <i>V</i>	ΔV	2017	Rango	Mag. <i>V</i>	ΔV
V6	35	15.824-16.198	16.033 ± 0.106	0.374	34	16.062-16.394	16.226 ± 0.103	0.332
V8	213	12.232-12.305	12.272 ± 0.016	0.073	161	12.280-12.354	12.314 ± 0.017	0.074
V11	0	---	---	---	150	15.114-15.296	15.189 ± 0.043	0.182

Las magnitudes medias determinadas de nuestros datos aparecen levemente distintas a las oficiales debido a la presencia de estrellas muy próximas a las variables: en la Tabla 3 comparamos los datos oficiales con los obtenidos por nosotros; las diferentes columnas ofrecen los siguientes datos: la variable, su magnitud estándar, su amplitud estándar, nuestra magnitud *V* media, la amplitud medida por nosotros, la diferencia entre la magnitudes estándar y las registrada y la diferencia entre la amplitud estándar y la medida por nosotros; dado que disponemos de datos de dos campañas estos valores aparecen dos veces por cada variable: los de 2016 en la primera fila y los de 2017 en la segunda.

TABLA 3

Variable	<i>V</i>	ΔV	<i>V</i>	ΔV	Dif. <i>V</i>	Dif. ΔV
6	16.177	0.520	16.033	0.370	0.144	0.150
6			16.226	0.330	-0.049	0.190
8	12.498	0.011	12.272	0.073	0.226	-0.062
8			12.314	0.074	0.184	-0.063
11	15.419	0.108	---	---	---	---
11			15.189	0.182	0.230	-0.074

Notemos que existen diferencias de hasta 0.23magnitudes entre las magnitudes estándar y las medidas por nosotros y hasta 0.19 magnitudes entre las amplitudes oficiales y las que nosotros registramos: esto se explica por su debilidad (en el caso de V6 y V11) o por su proximidad a otras estrellas (en el caso de V8 y V11) que alteran levemente los valores obtenidos.

3. PERÍODOS Y CURVAS DE LUZ EN FASE.

El análisis de los datos fotométricos, empleando para ello el algoritmo de Scargle (Scargle, 1982), nos ha permitido obtener los períodos de cada variable -en el caso de V11 varios, ya que es multiperiódica- de manera que podemos mostrarlos en la Tabla 4 que incluye los siguientes datos: variable, período oficial (Hartmann *et al.*, 2008), período calculado a partir de nuestros datos y diferencia entre ambos valores (medida en días).

TABLA 4

Variable	Período	Calculado	Diferencia
V6	0.10983967	0.10983280	0.00000687
V8	0.11950000	0.11688400	0.00261600
V11	0.11867118	0.11853100	0.00014018

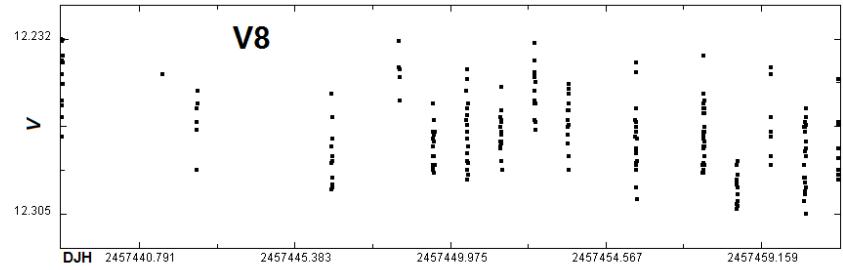


Figura 2. Cambios en la magnitud de V8 (panel superior y central) y V11 (panel inferior): corresponden a los datos, en bruto, de los años 2016 y 2017 (en el caso de V8) y del año 2017 (en el de V11). No se dibujan los datos de V6 ya que ha sido observada tres o cuatro noches en cada campaña.

En el caso de la variable V6 el período calculado difiere del oficial en apenas siete millonésimas de día, todo un éxito teniendo en cuenta la debilidad de la estrella: de hecho al representar la curva de luz en fase empleando este valor el resultado es bueno (Figura 3) mostrando una rama ascendente corta, en la cual el incremento de brillo es rápido, y una rama descendente larga (desde la fase 0.00 a 0.65, aproximadamente) en la cual la pérdida de brillo es mucho más lenta. El mínimo tiene lugar muy próximo a la fase 0.65.

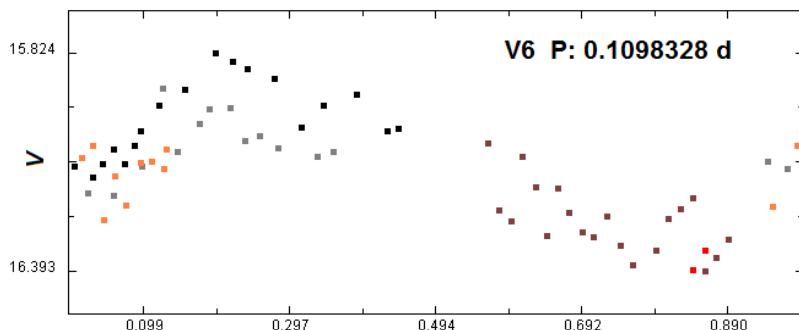
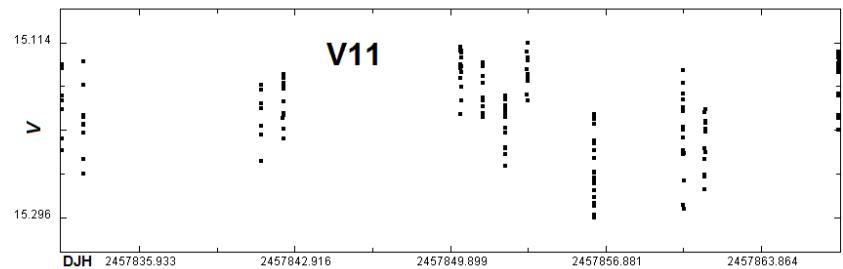


Figura 3. Curva de luz, en fase, de la variable V6 dibujada utilizando el período obtenido de nuestros datos fotométricos: vemos que corresponde a una estrella de tipo Delta Scuti con una rama ascendente rápida, corta, y una rama descendente larga con una pérdida de brillo más lenta.

Para la variable V8 obtenemos al menos tres períodos distintos (Figura 4), marcados con flechas, todos ellos en el intervalo 0.100-0.125 días y que son: $P_1 = 0.110821$ días, $P_2 = 0.116884$ días y $P_3 = 0.124674$ días, siendo el primero de ellos el más notorio; ninguno coincide con el oficial que es $P = 0.11950$ días: en el primer caso la diferencia es levemente superior a 0.0026 días mientras que en segundo la diferencia es casi doble. Curiosamente en nuestro periodograma el período oficial apenas es visible perdido entre otros más largos; cuando representamos nuestras mediciones con los dos períodos P_1 y P_2 se obtienen curvas de luz bastante coherentes (Figura 5).

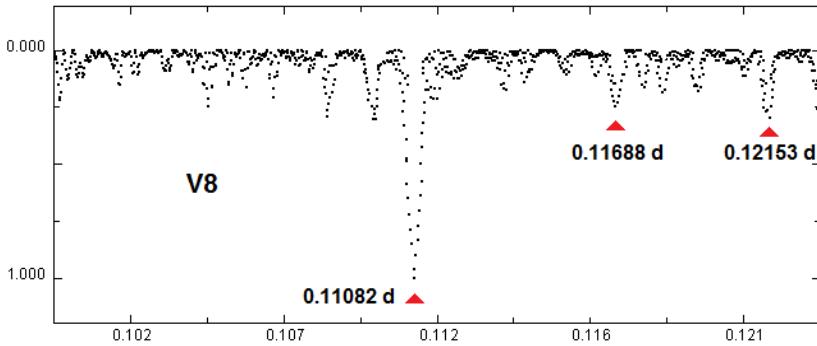


Figura 4. Periodograma de V8: el pico de mayor intensidad corresponde a un período $P_1 = 0.11082$ días con el cual se obtiene una buena curva de luz, aunque lo mismo ocurre con el de 0.116884 días (el oficial, por el contrario, apenas es visible a la izquierda de $P_2 = 0.12153$ d).

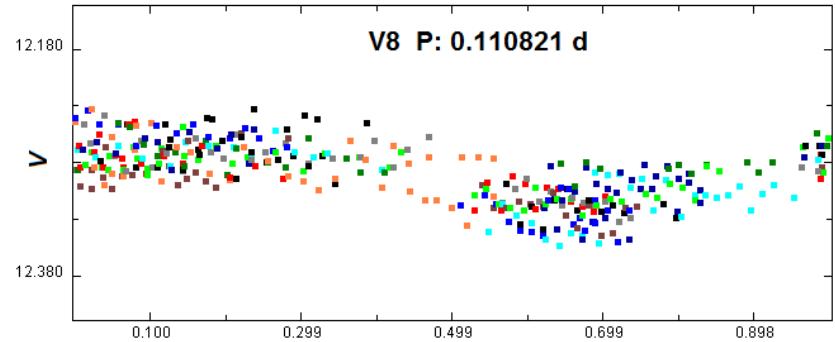
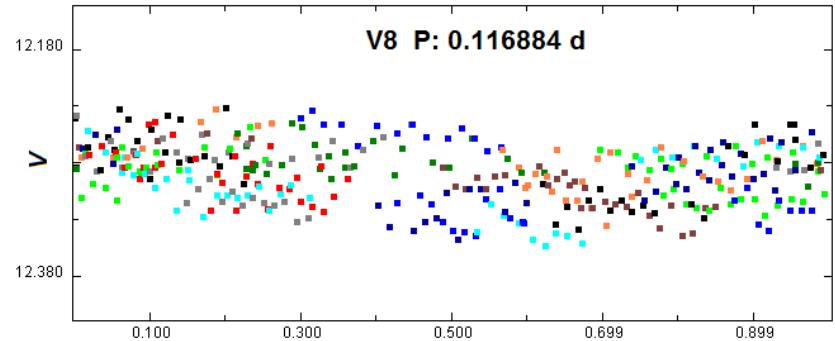
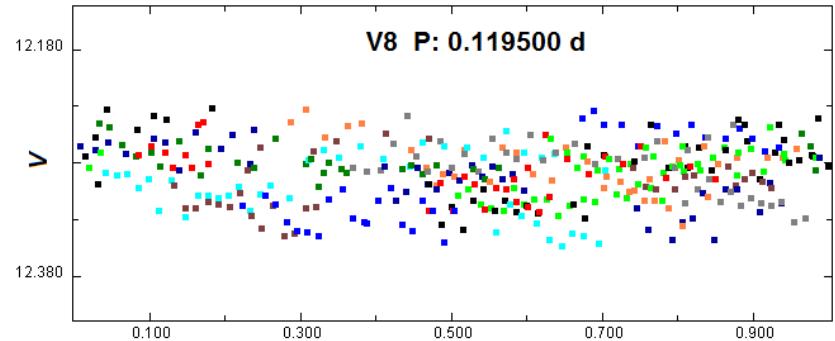


Figura 5. Curvas de luz dibujadas con los períodos P_1 (panel superior), P_2 (panel central) y el período oficial (panel inferior); las elaboradas con los más cortos parecen más coherentes, con una amplitud más reducida, ya que en el último caso el mínimo apenas si se aprecia (mientras que la dispersión de los puntos es máxima).



La que parece de calidad, con una dispersión reducida, es la dibujada con P_1 seguida por la representada con P_2 : al emplear el período oficial el resultado es de peor calidad y apenas se aprecia su cambio de brillo del máximo al mínimo, siendo la dispersión de los puntos mayor.



En el caso de V11 nos encontramos con una variable multiperiódica cuya curva de luz se ve afectada por este hecho, cambiando de aspecto, amplitud y forma de ciclo en ciclo: en nuestro periodograma (Figura 6) se aprecian casi una docena de posibles períodos entre los 0.050 y los 0.135 días, siendo el más notorio uno próximo a los 0.080 días (rotulado como “1”). Hemos marcado con flechas los seis períodos encontrados por Kang *et al.*: el que presenta la mayor amplitud (0.0521 magnitudes) es el rotulado “a” seguido del “b” (0.0120 magnitudes), “c” (0.0083 magnitudes), “d” (0.0044 magnitudes), “e” (0.0041 magnitudes) y “f” (0.0039 magnitudes). Un examen más atento muestra que sólo “d” coincide con uno que, según nuestro análisis, es poco notorio: cuatro de ellos (“b”, “c”, “e” y “f”) son bastante intensos mientras que el oficial, “a”, es notorio pero no es precisamente el más destacado de todos.

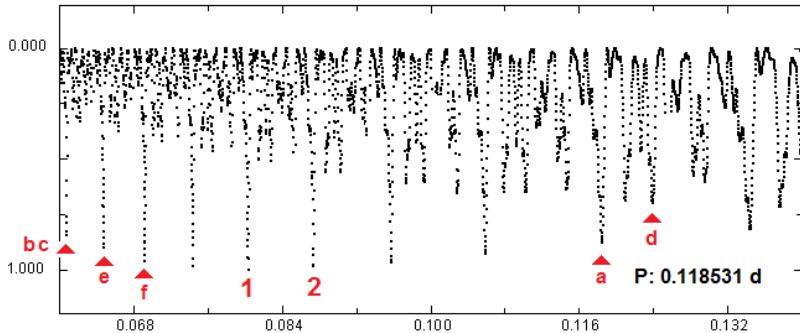


Figura 6. Periodograma de V11: hemos marcado con flechas los seis períodos encontrados por Kang *et al.* El principal (“a”, con $P = 0.11867118$ días), no siendo de los más destacados, coincide con el nuestro ($P = 0.118531$ días).

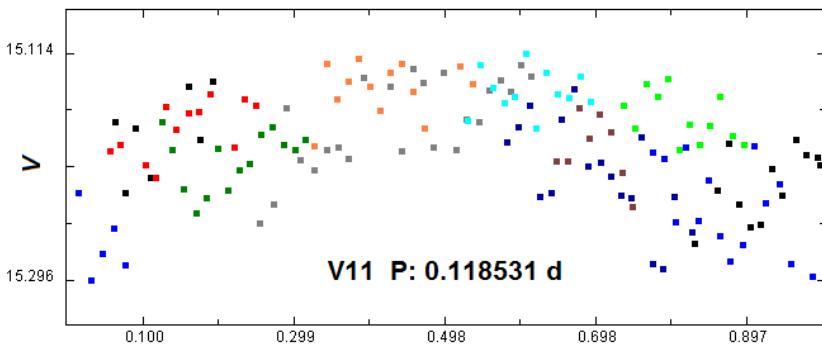
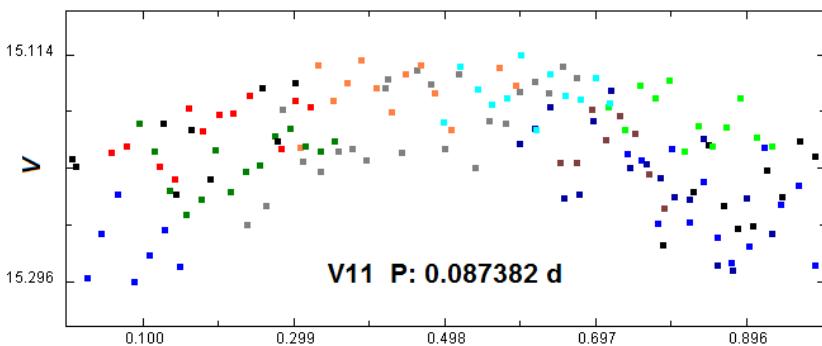
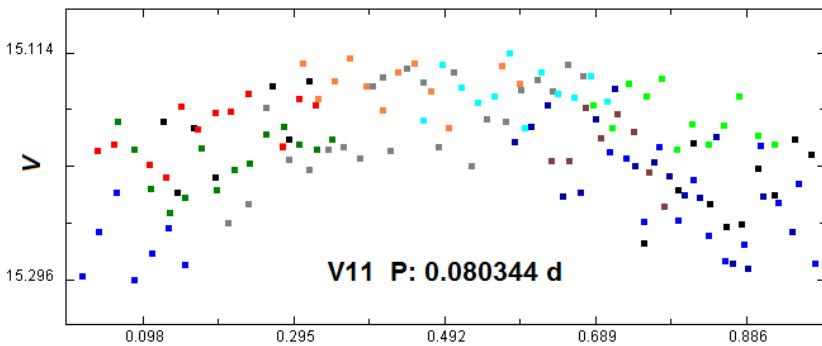


Figura 7. Curvas de luz dibujadas con el período encontrado por nosotros (panel superior) y los rotulados como “1” y “2” en nuestro periodograma, los dos más intensos en la Figura 6.



Hemos utilizado nuestras mediciones con el período más probable calculado de nuestros datos: obtenemos así una curva de luz bastante buena (Figura 7, panel superior) aunque no se parece a la de una variable de tipo δ Scu; pero si hacemos lo mismo con los dos períodos más notorios (rotulados como “1” y “2” en la Figura 6) se obtienen curvas de luz buenas, bastante consistentes, aunque tampoco se parecen a las esperadas en este tipo de variables rápidas: la explicación radica en que es multiperiodica y que (como veremos en la Sección 4) la forma y amplitud de su curva de luz cambia de ciclo en ciclo. Si

determinamos su período más probable (el cual encontramos muy próximo al oficial) y dibujamos la curva de luz el resultado, como acabamos de ver, es una curva “gruesa”, de mediana calidad, formada por la superposición de varios períodos distintos cuya amplitud es igual a 0.182 magnitudes en banda V : al no disponer de datos de dos campañas no podemos poner a prueba esta afirmación. (No obstante en la Sección siguiente comprobaremos que este hecho se aprecia también en las curvas de luz obtenidas por otros investigadores.)

4. CURVAS DE LUZ PROFESIONALES.

Kiss *et al.* obtuvieron la curva de luz de V6 (en banda R_C) en el año 2001, seguidos por Kang *et al.* (2007); en el trabajo de estos últimos, en su Figura 2, aparece la curva de luz que mostramos en el panel izquierdo de nuestra Figura 8: en él se compara el resultado obtenido por el primer equipo (curva formada por triángulos en banda R_C , escala del eje vertical derecho) comparada con la del segundo equipo, formada por círculos en banda V . El panel derecho, por su parte, muestra la obtenida por Hartman *et al.* (2008), en banda V , sobre la que se ha superpuesto la de Kiss *et al.* (puntos grises); se incluye en ella, además, el período con ocho decimales.

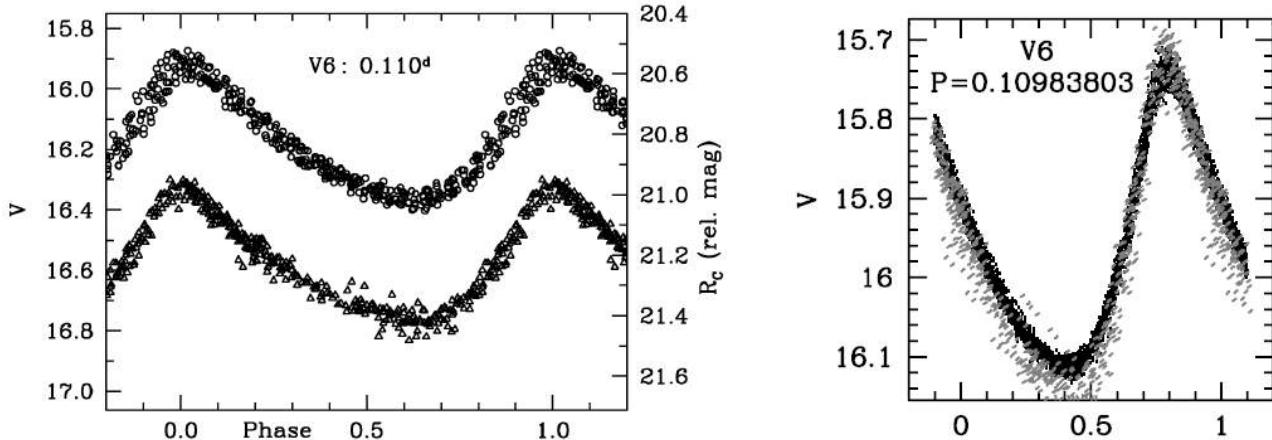


Figura 8. Curvas de luz, en fase, de la variable V6 publicadas por Kang *et al.* (panel izquierdo) y Hartman *et al.* (panel derecho): en ambos casos se puede ver que corresponde a una estrella variable de tipo δ Scu.

En el panel izquierdo podemos comprobar que el mínimo ocurre muy próximo a la fase 0.65, un fenómeno que ya mencionamos anteriormente y se aprecia con claridad en nuestra Figura 3.

En el caso de V8 sólo un equipo ha publicado sus resultados: se trata de Kang *et al.* (2007), sus descubridores, y la mostramos en la Figura 9. Con una amplitud de sólo 0.011 magnitudes en banda V , su forma nos recuerda a la de una variable de tipo RRc con máximos y mínimos redondeados: la curva de luz publicada por estos autores sugiere que su amplitud es más bien próxima a 0.04-0.05 magnitudes y no al reducido valor antes citado.

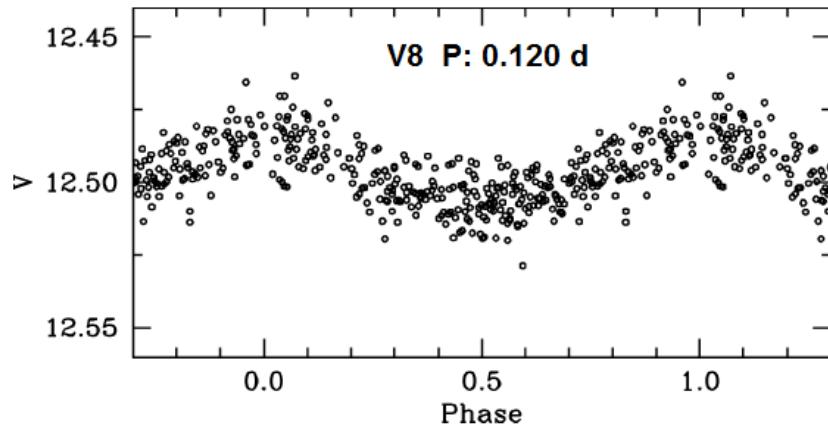


Figura 9. Curva de luz, en fase, de la variable V8 publicada por Kang *et al.* (2007): de reducida amplitud y forma redondeada es bastante similar a la de una variable de tipo RRc.

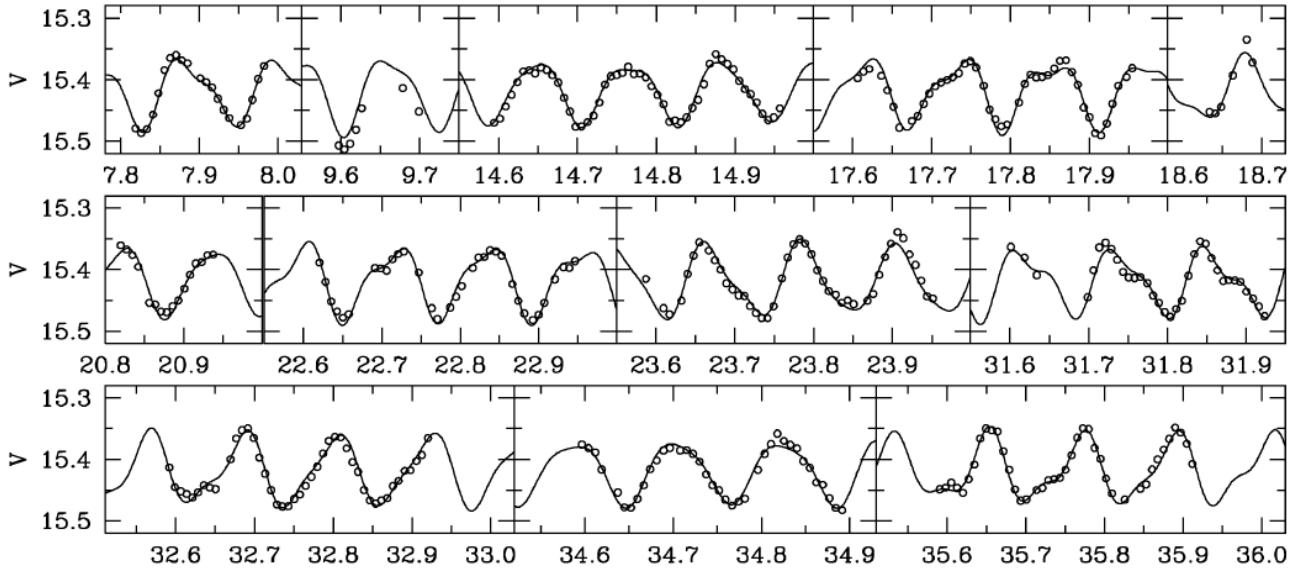


Figura 10. Curva de luz, en fase, de V11 publicada por Kang *et al.* (2007): debido a que es multiperiodica su forma y aspecto cambia de ciclo en ciclo, pasando de ser asimétrica (como la de una variable RRab o una Cefeida) a ser redondeada, como si se tratase de una variable de tipo RRc.

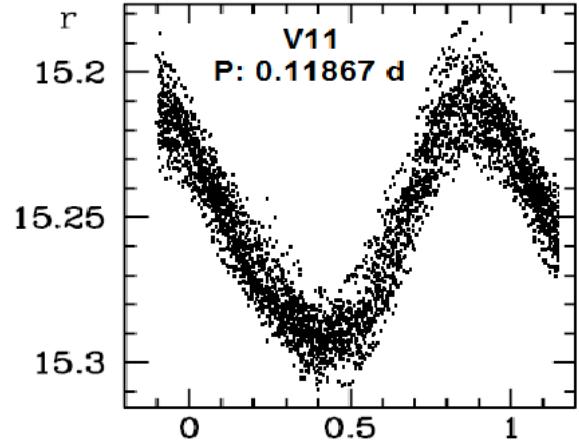


Figura 11. Curva de luz en banda r , en fase, de la variable V11 obtenida por Hartman *et al.* (2008) y extraída de su Figura 11: debido a su multiperiodicidad los puntos que la forman aparecen dispersos, sobre todo en los máximos y mínimos. La amplitud registrada es próxima a 0.13 magnitudes.

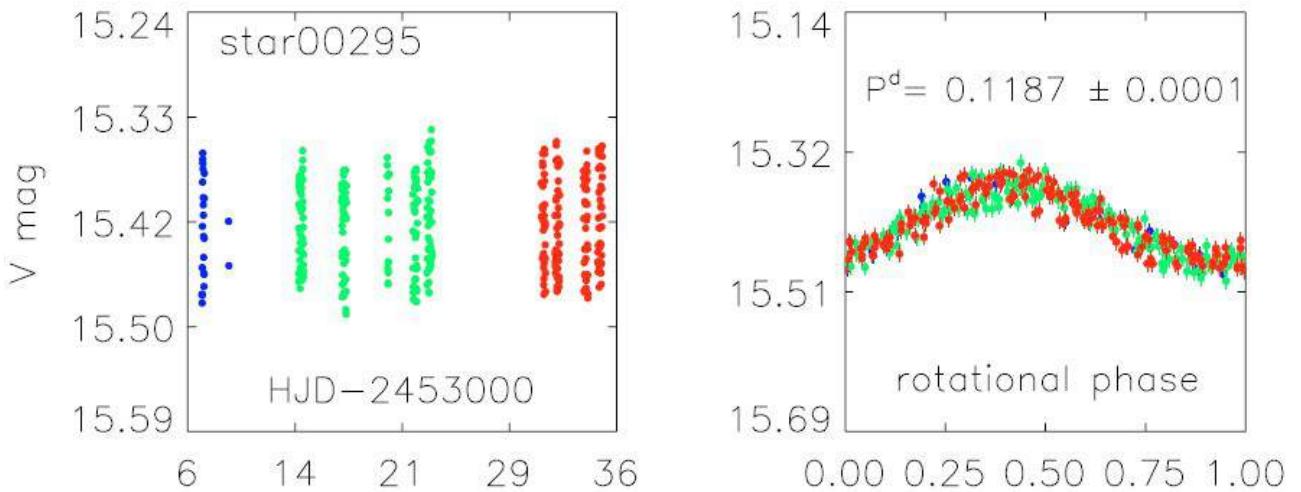


Figura 12. Curva de luz de V11 obtenida por Messina *et al.* (2008) representada en el panel derecho: en el izquierdo se muestran las observaciones, en bruto, obtenidas durante once noches distintas. Los datos de este equipo apuntan a una amplitud próxima a 0.11 magnitudes en banda V , muy similar a la que nosotros medimos (0.18 magnitudes).

La variable V11 merece también unos comentarios: al ser multiperiodica la forma de su curva de luz cambia constantemente de ciclo en ciclo, algo que es notorio en las curvas de Kang pero que no se aprecia ni en la de Hartman, ni en la de Messina ni en la nuestra, ya que en los tres últimos casos aparece redondeada como si se tratase de una variable de tipo RRc y no de una δ Scu. Por otro lado la amplitud oficial (0.079 magnitudes en banda V según Chang *et al.*, 2015) no se corresponde con la registrada por Hartman (\sim 0.12 magnitudes en banda r , Figura 11), la listada por Messina (0.108 magnitudes en banda V en su Tabla 2, estrella ID 295, KV 4) ni la capturada por nosotros dibujada en la Figura 8: nuestra curva de luz muestra la misma forma y amplitud (0.182 magnitudes en banda V) que las publicadas por estos dos equipos, lo que indica que nuestros resultados son correctos.

RESUMEN

Hemos realizado observaciones fotométricas del cúmulo abierto Messier 37 entre los días 19 de febrero y 25 de marzo de 2016, totalizando 19 noches distintas, y entre los días 19 de marzo y 23 de abril de 2017 sumando otras 14 noches: en este período hemos tomado imágenes CCD filtradas (V Johnson) para estudiar las variables V6, V8 y V11, todas de tipo δ Scu. Las magnitudes medias registradas por nosotros son similares a las oficiales: encontramos una diferencia máxima de 0.144 magnitudes en el caso de V6, la variable más débil, situada en una zona de apiñamiento estelar; en las dos variables restantes estas diferencias son similares: 0.226 magnitudes para V8 y 0.230 magnitudes para V11. Estas discrepancias se deben a la presencia de estrellas muy próximas que afectan nuestros resultados. Los períodos son también muy próximos a los oficiales encontrando diferencias inferiores a 0.00015 días (V6 y V11): en el caso de V8 este valor asciende a 0.0026 días. En cuanto a las amplitudes registramos diferencias de 0.15 magnitudes (campaña de 2016) y 0.19 magnitudes (campaña de 2017) en el caso de V6: al trabajar con las mediciones conjuntas este valor se reduce a sólo 0.05 magnitudes; para V8 y V11 las diferencias son similares: 0.06 y 0.07 magnitudes respectivamente. Confiamos en poder obtener mejores resultados en una tercera campaña fotométrica, a lo largo del año 2018, que nos permita refinar las magnitudes medias, los períodos, amplitudes y elaborar buenas curvas de luz.

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 software *FotoDif* (escrito por Julio Castellano), el software *Análisis de Variabilidad Estelar* (del Grupo de Estudios Astronómicos GEA) así como el telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura, la cámara CCD y la rueda de filtros fotométricos *BVRcIc* del Observatorio Astronómico *Norba Caesarina*.

REFERENCIAS

- Aladin Sky Atlas: <http://aladin.u-strasbg.fr/java/nph-aladin.pl>
Chan *et al.* (2015), AJ, 150, 27: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-6256/150/1/27/pdf>
FotoDif, software fotométrico de Julio Castellano: <http://www.astrosurf.com/orodeno/fotodif/>
Grupo de Estudios Astronómicos y *A.V.E.*: <http://astrogea.org/soft/ave/introave.htm>
Hartman *et al.* (2008), ApJ, 675, 1254: <http://iopscience.iop.org/article/10.1086/527460/pdf>
Kang *et al.* (2007), PASP, 119, 239: <http://iopscience.iop.org/article/10.1086/513883/pdf>
Kiss *et al.* (2001), A&A, 376, 561: <http://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2001/35/aah2757.pdf>
Messina *et al.* (2008), A&A, 483, 253: <https://www.aanda.org/articles/aa/pdf/2008/19/aa9216-07.pdf>
Parámetros de las variables de M37 (online en Chan *et al.*, 2015): <http://stardb.yonsei.ac.kr/>
SAO NASA ADS: http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html
Scargle, J. D., (1982), ApJ, 263, 835: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1982ApJ...263..835S>
SIMBAD Astronomical Database: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
Violat Bordonau, Francisco (2017a): <http://casanchi.com/ast/m37a01.htm>
Violat Bordonau, Francisco (2017b): <http://casanchi.com/ast/m37b01.htm>
VizieR Catalogue Service: <http://vizier.u-strasbg.fr/>