

ESTUDIO FOTOMÉTRICO DE MESSIER 56

V. LA VARIABLE V6

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

Resumen. En este quinto trabajo fotométrico del cúmulo globular Messier 56 (NGC 6779) presentamos la magnitud media, amplitud, período, curva de luz y espectro de la variables V6, estrella de tipo RV Tauri, una de las componentes más brillantes del cúmulo. De nuestras mediciones se deduce que el período durante la campaña de 2017 ha sido igual a 45.0 días, valor que es prácticamente la mitad del oficial (90.0 días), lo que sugiere que de un mínimo al otro transcurren 45 días necesitando por tanto 90 días para cubrir un ciclo completo.

1. INTRODUCCIÓN.

En nuestros últimos trabajos fotométricos presentamos los resultados obtenidos al analizar las imágenes capturadas en 2017 (noviembre y diciembre) de las variables V1 (Violat, 2018a), V2 y V3 (Violat, 2018b) así como V4 y V5 (Violat, 2018c), cuyos principales parámetros se listan en el *Catalogue of Variable Stars in Galactic Globular Clusters* (Clement, 2014); en este caso estudiamos en profundidad la variable V6, un astro de tipo RV Tauri.

2. SITUACIÓN EN EL CÚMULO.

V6 aparece muy pegada al núcleo, en su parte Norte (Figura 1), inmediatamente al Oeste de V2, lo que dificulta obtener mediciones de buena calidad; los círculos fotométricos utilizados por el software para cuantificar el brillo de las variables están centrados en las estrellas, identificadas con sus nombres: V6, V13 (el astro más brillante de una binaria) y K204, también otra binaria de dispar brillo. El círculo interior mide el flujo lumínico de la variable mientras que el exterior cuantifica el del fondo del cielo, valores que se emplean para determinar las magnitudes de las estrellas: en este caso aparecen otras a su alrededor (por fortuna más débiles) por lo que las mediciones se han visto afectadas debido a la luz parásita de estos astros. Es preciso comentar que V6 es, en su máximo, la variable más brillante del cúmulo (magnitud ~ 12.90 V) por lo que la relación señal/ruido minimiza bastante la influencia de las estrellas vecinas.

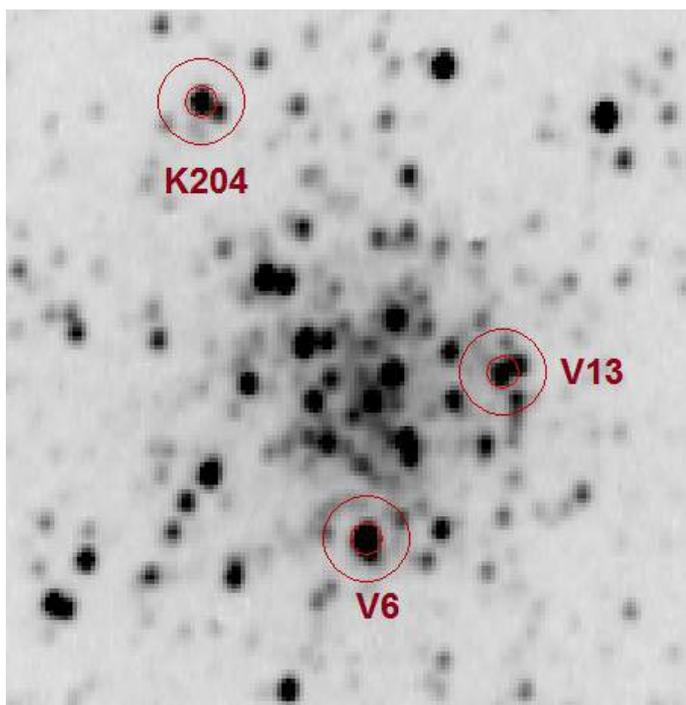


Figura 1. Anillos fotométricos centrados en las variables V6, V13 y la sospechosa de variabilidad K204. Norte abajo y Este a la derecha.

3. LA VARIABLE V6.

Sawyer (1940) analizó 56 placas fotográficas del cúmulo y publicó el descubrimiento de seis nuevas variables (V4 a V9) que identificó sobre una fotografía, facilitó las coordenadas x, y de todas ellas y el rango medido (en magnitudes fotovisuales, próximas al sistema V Johnson): 12.9 a 14.8 en el caso de V6 con una amplitud igual a 1.9 magnitudes; también indicó que esta variable (Küstner 284) formaba un par cerrado con la vecina estrella Küstner 285 (de magnitud 15.7 V , visible como un “alargamiento” hacia el Norte en nuestra figura 1). Rosino (1944) estudió 123 fotografías del cúmulo en el período 1941–1943 y también midió el comportamiento lumínico de V6 (entre otras), la más brillante del cúmulo, encontrándola entre las magnitudes 12.7 y 14.6 V cifrando su período en 45.33 días, indicando que parecía tanto una variable Cefeida de largo período o una RV Tauri, por su mínimo secundario no claramente identificado, aunque no publicó su curva de luz. Su magnitud media fue la 13.65 V . Sawyer (enero de 1949) publicó un trabajo sobre dos estrellas variables de tipo RV Tauri en los cúmulos globulares Messier 2 y Messier 56, esta última la estrella V6: en el mismo se indica que la variable fue descubierta en 1940 y la autora anunció en 1941 que su período era igual a 51 días, aunque Rosino (1944) lo encontró igual a 45.33 días, como acabamos de ver. Publicó una completa curva de luz (Figura 2) empleando 226 observaciones tomadas a lo largo de 174 noches en un intervalo de catorce años, encontrando su período igual a 90.02 días y notando que el mínimo primario y el secundario se habían intercambiado en la campaña del año 1948; midió su magnitud entre la 13.1 y la 14.9 V , con una amplitud igual a 1.8 magnitudes,

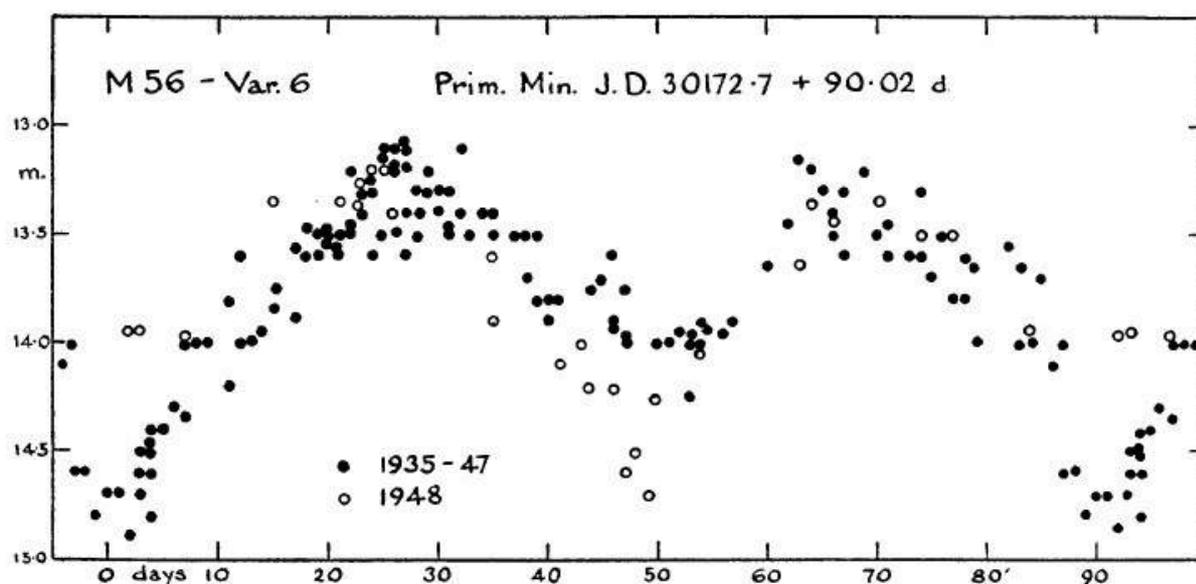


Figura 2. Curva de luz de V6 publicada por Sawyer en 1949: puede apreciarse el doble mínimo de la misma (primario y secundario) así como el cambio del máximo primario por el secundario en el año 1948.

Joy (septiembre de 1949) obtuvo espectros de baja resolución de 35 variables brillantes en catorce cúmulos globulares, una de ellas V6: de los once espectros obtenidos determinó que su tipo espectral (cerca del máximo) oscilaba entre el F6 y el G4, citando el período de 90.02 días obtenido por Sawyer unos meses antes. Rosino (1950), utilizando 237 fotografías capturadas a lo largo de cuatro años (y “de once máximos principales bien medidos”), dedujo que V6 era una variable de tipo RV Tauri cuyo período encontró igual a 90.09 días, prácticamente idéntico al calculado previamente por Sawyer; también confirmó que en el año 1948 los mínimos secundarios y primarios se habían invertido, algo muy visible en las curvas de luz de la Figura 3. La midió en el intervalo 12.9–14.8 V siendo su amplitud de 1.9 magnitudes y su magnitud media igual a la 13.9 V .

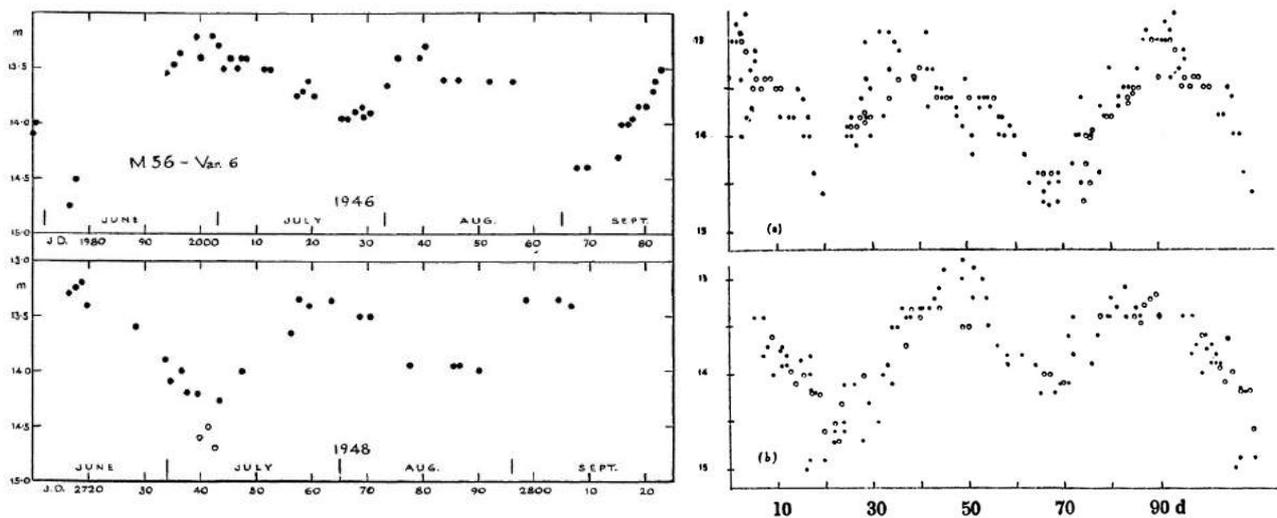


Figura 3. Intercambio de los mínimos primario y secundario en el verano de año 1948 tomados de los trabajos de Sawyer (1949, izquierda) y Rossino (1950, derecha).

Preston *et al.* (1963) estudiaron un grupo de 48 variables clasificadas como semiregulares amarillas y de tipo RV Tauri, una de ellas V6, encontrando su espectro (cerca del máximo) entre los tipos F8 y G0 (en base a las líneas del hidrógeno) pero F0 y F5 utilizando las del Ca II.

Wehlau y Sawyer (1985), utilizando fotografías capturadas entre los años 1935–1975 (364 imágenes en banda *B*) y 1981–1984 (54 en banda *B* y 28 en *V*), publicaron un completo estudio de las variables del cúmulo: determinaron el rango de V6 entre las magnitudes 12.6 y 13.4 *V* siendo su amplitud de sólo 0.8 magnitudes y su magnitud media igual a la 12.9 *V*; las curvas de luz obtenidas, en banda *B*, aparecen en la Figura 4 dibujadas en fase utilizando un período igual a 90.0 días.

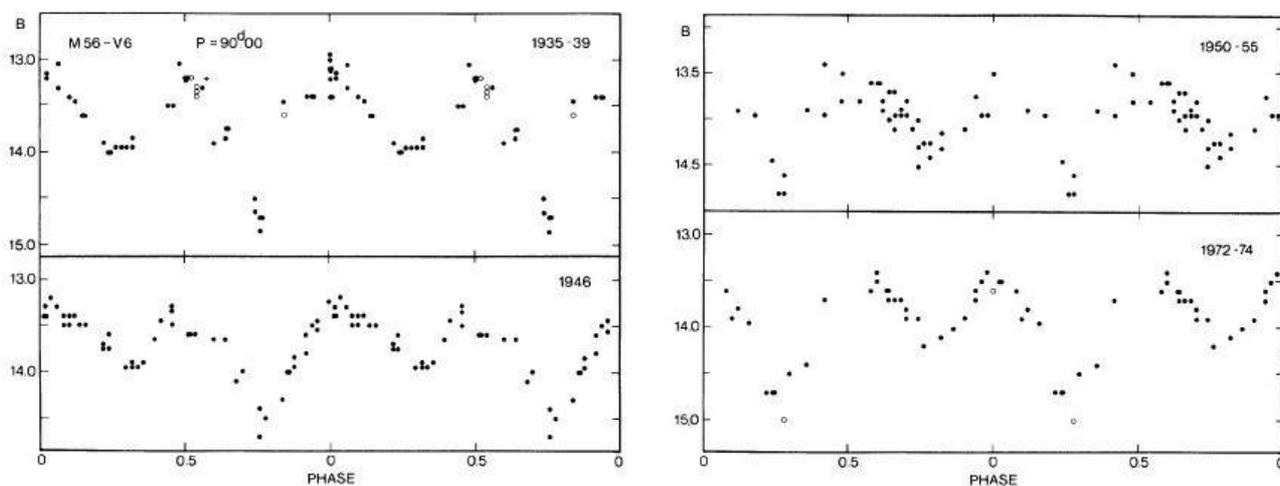
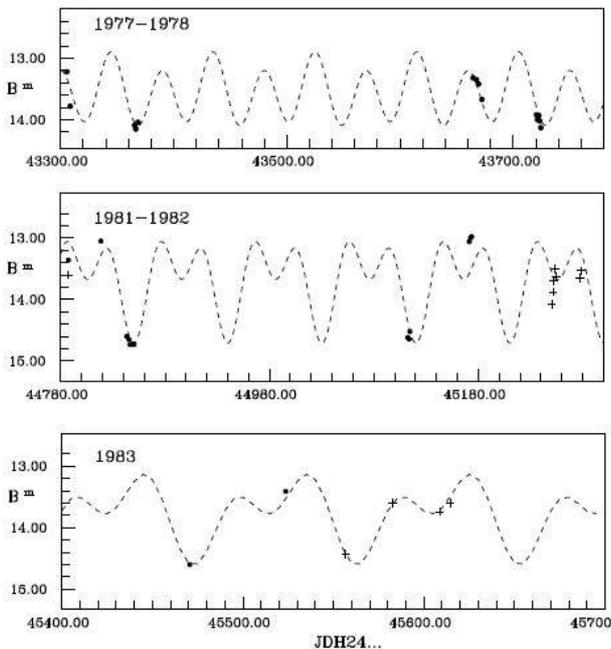


Figura 4. Curvas de luz de V6, en banda *B*, obtenidas por Wehlau y Sawyer entre los años 1935 y 1974: en ellas se puede apreciar el rango medido (entre las magnitudes 12.9 y 14.9 *B*) y el cambio de sus mínimos con el tiempo.

Zsoldos (1988) analizó los datos fotométricos de seis estrellas variables situadas en cúmulos globulares, una de ellas V6 en Messier 56, pero el espectro de potencia obtenido por este autor no soportó la clasificación como estrella de tipo RV Tauri, ya que sólo encontró un pico con $f = 0.022209$ días sin otros armónicos. Russeva (1999) estudió distintas variables del cúmulo empleando 115 placas en banda *B* y 15 en *V* obtenidas entre los años 1977 y 1993 pero,

desafortunadamente, la variable V6 no fue incluida en este estudio; en un trabajo posterior (2000), dedicado por entero a V6, analizó imágenes del cúmulo obtenidas en banda *B* en el intervalo 1977–



1978 (31 observaciones a lo largo de 14 noches) y 1981–1993 (71 observaciones en 25 noches). Analizando un total de 653 mediciones repartidas en el período 1934–1993, muchas de ellas de otros observadores anteriores (p. ej. Wehlau y Sawyer, 1985), dedujo un período de pulsación fundamental P_0 igual a 90.0 días, prácticamente constante, y uno secundario P_1 igual a 45 días que sería el primer sobretono. En la Figura 5 mostramos las curvas de luz teóricas en banda *B* (línea ondulada discontinua) y las observaciones (puntos y cruces) en los años 1977–78 (panel superior), 1981–82 (panel central) y 1983 (panel inferior): pese al escaso número de observaciones puede observarse una buena coincidencia.

Figura 5. Curvas de luz de V6 teóricas (línea discontinua) y observaciones obtenidas (puntos y cruces).

Horne (2005), con un catadióptrico de 25 cm de apertura, obtuvo mediciones *BV* de seis de las doce variables conocidas en esa época incluyendo V6: los datos obtenidos a lo largo de catorce noches, en los veranos de 2003 y 2004, mostraron que oscilaba entre las magnitudes 13.50 y 14.22 *V* con un período igual a 90.0 ± 0.1 días y una amplitud de sólo 0.72 magnitudes (Figura 6).

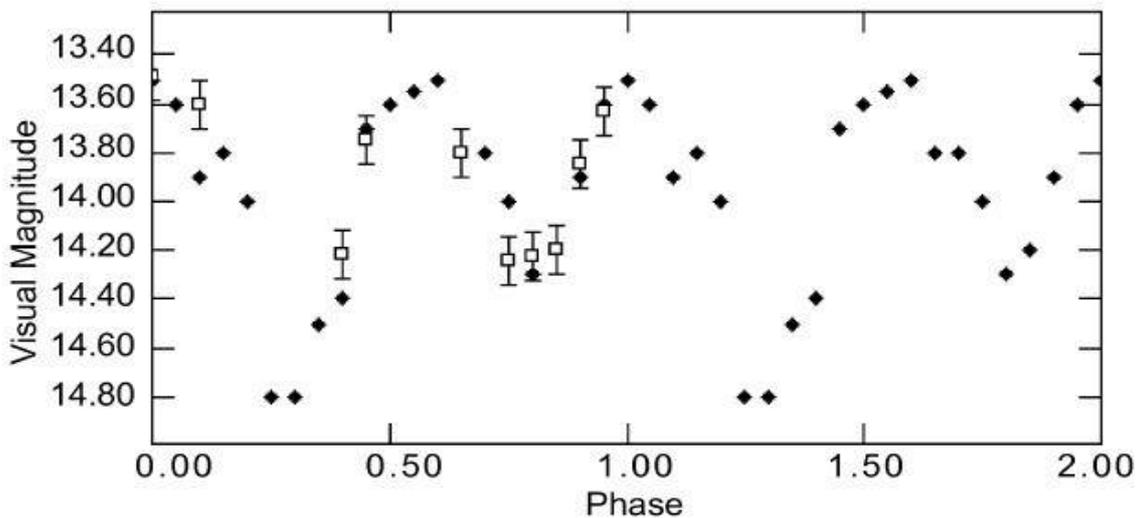


Figura 6. Curva de luz de V6: mediciones de Horne (2003, cuadrados blancos), comparadas con las obtenidas por Wehlau y Sawyer (1985, rombos negros); notamos que este autor observó el mínimo menos profundo.

Pietrukowicz *et al.* (2008) obtuvieron 543 imágenes del cúmulo en luz integral, sin filtros, durante 48 noches entre julio de 2002 y mayo de 2004, por lo que sus mediciones fueron similares a haber trabajado en el sistema R_C . En su trabajo estudiaron siete variables (V1, V3 a V6, V13 y V14) localizadas en un campo de $6.5' \times 6.5'$: de sus datos extrajeron para V6 una magnitud *R* media igual

a la 12.18 con una amplitud (en esta banda) de 1.22 magnitudes y un período igual a 89.70 días levemente más corto que los anteriores. La curva de luz obtenida (Figura 7, panel izquierdo) muestra con toda claridad la alternancia del mínimo profundo y menos profundo.

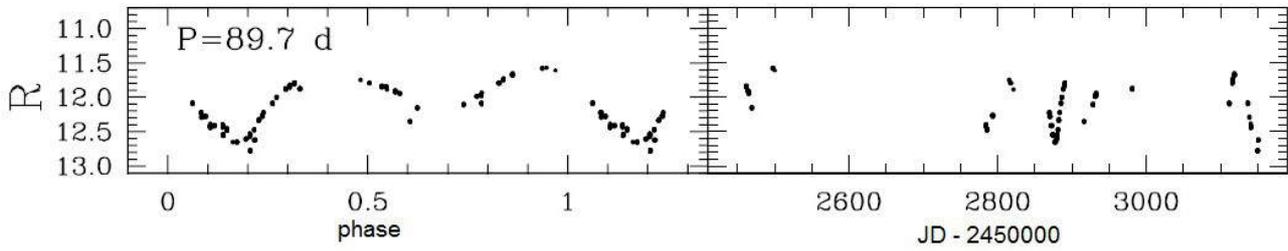


Figura 7. Curva de luz de V6 en fase con un período igual a 89.70 días (panel izquierdo) y observaciones en bruto (panel derecho) tomadas del trabajo de Pietrukowicz *et al.* (2008).

Determinaron el espectro de potencia y encontraron dos picos: uno $f_0 = 0.01115$ ciclos/día que correspondía al período fundamental y otro $f_1 = 0.02236$ c/d que es el primer sobretono; también indicaron haber detectado un decrecimiento en su período $\beta = -0.005 \pm 0.003$ días/año.

4. OBSERVACIONES Y REDUCCIÓN DE DATOS.

En un trabajo anterior (Violat, 2017) hemos descrito el equipo empleado (catadióptrico de 203 mm de apertura y 2000 mm de focal, con reductor de focal $f/6.3$, CCD y filtro fotométrico V Johnson) por lo que no es preciso dar más detalles del mismo. Con él tomamos 267 imágenes entre los días 6 de noviembre (Día Juliano Heliocéntrico 2.458.064) y 20 de diciembre de 2017 (D.J.H. 2.458.108), habiendo podido obtener fotografías durante veintisiete noches a lo largo de 45 días, lo que nos ha garantizado disponer de una buena cobertura temporal. Las imágenes capturadas se han abierto con el programa *FotoDif*, de Julio Castellano, utilizando como estrella de comparación un astro no variable de magnitud 12.41 V e índice de color $B - V$ igual a 0.57 (Violat, 2018a): se trata de una estrella aislada, situada lejos del núcleo del cúmulo, sin otros astros a su alrededor que afecten y perturben con su luz difusa las mediciones obtenidas.

5. LA VARIABLE V6: PERÍODO Y AMPLITUD EN BANDA V .

Según los datos más recientes (Clement *et al.*, 2017) el cúmulo contiene catorce estrellas variables (de V1 a V14) además de algunas sospechosas sin confirmar como K204. Los parámetros de V6 aparecen en la Tabla 1 que incluye la denominación, su posición (J2000), el período oficial, la magnitud media V , la amplitud en dicha banda, el tipo y si es miembro del cúmulo (*mem*) en base a su movimiento propio:

Tabla 1

Variable	Posición	Período	Mag. V	Amplitud	Tipo	Notas
6	19:16:35.78 +30:11:38.8	90.00	12.90	0.70	RV Tau	mem

V6 aparece clasificada como variable de tipo RV Tau con un período igual a 90.00 días y una

amplitud de 0.70 magnitudes en banda V . Es preciso aclarar que las estrellas variable de tipo RV Tau son astros gigantes de tipos espectrales F o G en el máximo y K o M en el mínimo, con períodos de oscilación entre 30 y 150 días, alternando mínimos primarios y secundarios que se pueden cambiar entre ellos: en este sentido V6 es una estrella típica de esta clase.

6. CURVA DE LUZ, PERÍODO Y AMPLITUD.

Al analizar nuestros datos fotométricos podremos extraer de ellos las magnitudes V medias de las distintas variables estudiadas, los rangos medidos en dicha banda, los períodos y dibujar curvas de luz en fase. En la Tabla 2 mostramos los resultados obtenidos en la campaña del año 2017: las distintas columnas presentan el nombre de la variable, el número de puntos obtenidos, las noches en las que hemos podido trabajar, la magnitud media oficial en banda V , el rango que hemos medido en dicha banda, la amplitud y la magnitud promedio V con su error:

Tabla 2

Estrella	Puntos	Noches	V	Rango	Amplitud	Mag. V
V6	267	27	12.90	12.31-13.19	0.88	12.61 ± 0.29

V6 (Küstner 284) formar una pareja cerrada con Küstner 285, de magnitud 15.7 V , astro levemente visible como un “alargamiento” hacia el Norte en la Figura 1: por ello la variable ha aparecido abriantada tanto en el rango observado como en la magnitud media, que encontramos 0.29 magnitudes más brillante que la oficial. La presencia de otras débiles estrellas en la zona falsea su magnitud real encontrándola, por tanto, más brillante de lo debido. La Figura 8 muestra su comportamiento lumínico a lo largo de 27 noches distribuidas entre los meses de noviembre y diciembre de 2017: podemos observar que después de alcanzar un máximo perdió brillo y pasó por un mínimo, recuperándose durante las últimas siete noches de observación de la campaña

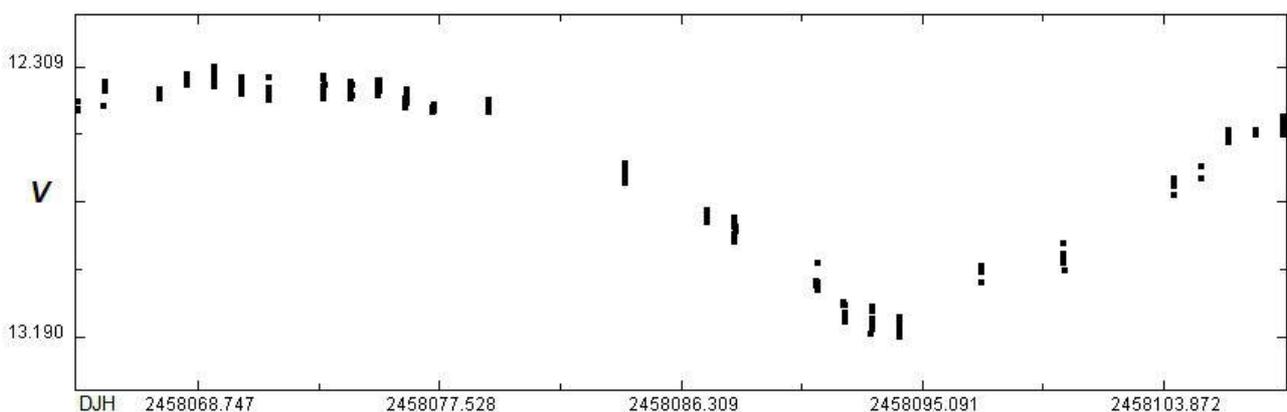
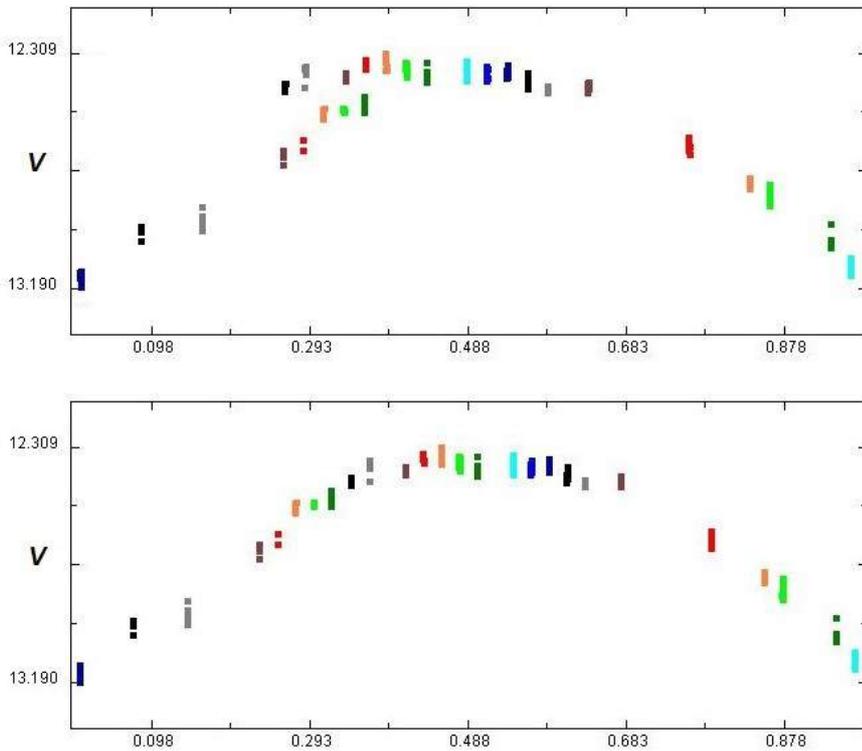


Figura 8. Curva de luz de V6 a lo largo de la campaña: la amplitud medida es levemente superior a 0.88 magnitudes.

Hemos analizado las 267 mediciones con el programa *AVE*, utilizando el periodograma de Scargle (1982), buscando un período de oscilación en el intervalo 1.0–120 días: encontramos un



único período, muy marcado, igual a 45 días que es justo la mitad del período oficial. En la Figura 9 (junto a estas líneas) hemos representado las mediciones de V6 con un período igual a 40 días (panel superior) y 45 días (panel inferior): podemos ver que las mismas no se solapan en el primer caso, lo que sugiere que es demasiado corto, pero lo hacen perfectamente en el segundo llegando a dibujar con toda claridad lo que parece un único ciclo de oscilación, algo que ya parece deducirse a ojo de la Figura 8. Por casualidad 45 días son también los que ha durado la campaña del año 2017.

La estrella, sin embargo, presenta a lo largo de su ciclo (90 días) dos mínimos de distinta profundidad: por desgracia en esta ocasión sólo hemos asistido a uno, con una profundidad igual a 0.88 magnitudes, por lo que sólo podemos determinar su profundidad pero no la de ambos.

Al comparar una imagen obtenida en su máximo (Figura 10, panel izquierdo) con la capturada en su mínimo (Figura 10, panel central) se puede apreciar su caída de brillo; si restamos una imagen a la otra (Figura 10, panel derecho) aparece con toda claridad esta oscilación lumínica sobre el resto de las estrellas, que han permanecido estables o apenas muestran variación en su brillo (como V1, V2 o incluso V3, las tres visibles en la zona capturada).

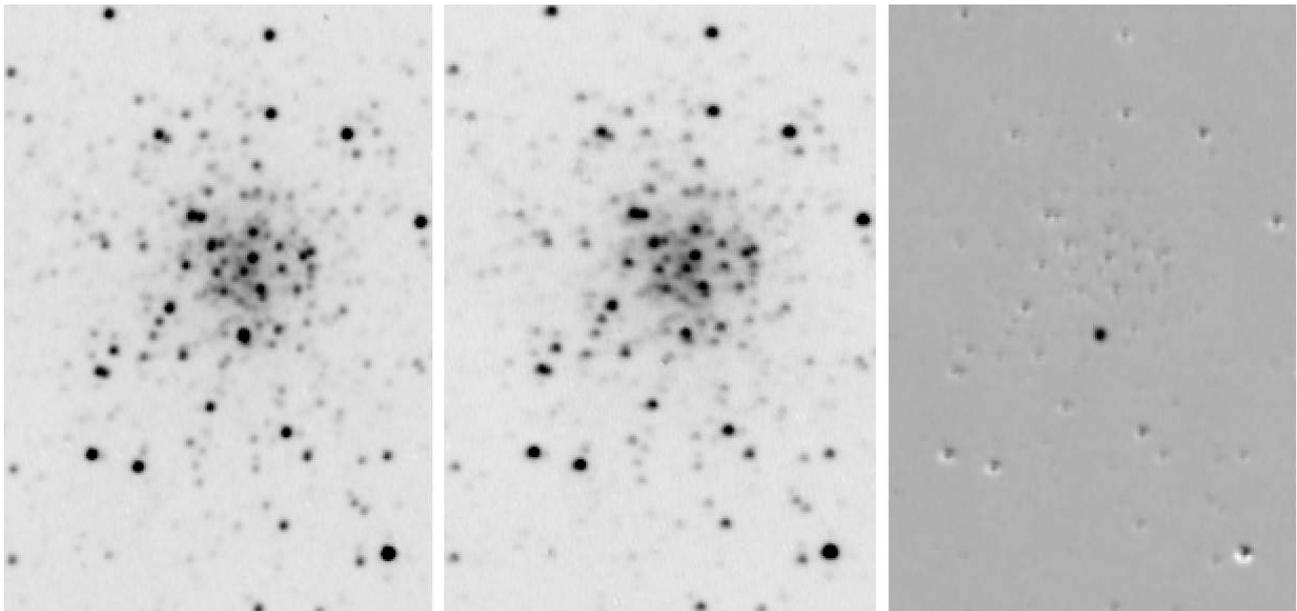


Figura 10. Imagen del núcleo de M56 con V6 en su máximo (panel izquierdo), mínimo (panel central) y la resta de una imagen a la otra (panel derecho): en este último caso la variable destaca sobre las demás estrellas del cúmulo.

La variable alcanzó un máximo a los pocos días de iniciada la campaña (Día Juliano Heliocéntrico 2.458.068), perdió brillo rumbo a un mínimo y tras éste (D.J.H. 2.458.094) recuperó poco a poco su magnitud habitual en dirección a un segundo máximo que no llegamos a capturar entero pero que, a primera vista, parece de menor brillo que el anterior. Examinando las curvas de luz de otros observadores podemos comprobar que, en ocasiones, tras un mínimo poco profundo la variable alcanza un máximo de menor intensidad (Figura 2), aunque esto no es así a lo largo de los años (Figuras 5 y 7): necesitamos obtener más mediciones a lo largo del año 2018 para observar cómo es actualmente la curva de luz de un ciclo completo (90 días) y qué aspecto presenta la alternancia de mínimos profundos y menos profundos.

7. ESPECTRO DE V6.

El día 4 de septiembre de 2015, utilizando una red de difracción de 100 líneas/mm, tomamos tres espectros del cúmulo de baja resolución (2.8 nanómetros/píxel) con tiempos de integración de 60, 60 y 120 segundos: en el primero de ellos la zona de V6 no se apreciaba con claridad y por tanto se ha descartado. Los otros dos se han adicionado para mejorar la relación señal/ruido (Figura 11): nos muestra el cúmulo con su núcleo descentrado y equivale a una única imagen, obtenida a través de la red de difracción, con un tiempo de exposición de 180 s. En la fotografía podemos ver las estrellas más brillantes del núcleo y, a la izquierda de ellas, una “tira” oscura que mide unos 190-200 píxeles de longitud: el espectro de estos astros. Hemos identificado las variables V3 y V6, las dos más brillantes del cúmulo en esa fecha: notemos que a la izquierda de esta última aparece el espectro cuyos extremos ultravioleta (UV) e infrarrojo (IR) cercanos aparecen identificados con abreviaturas. (El espectro de V3 puede verse, más débil, justo debajo del anterior a la misma altura que la variable.)

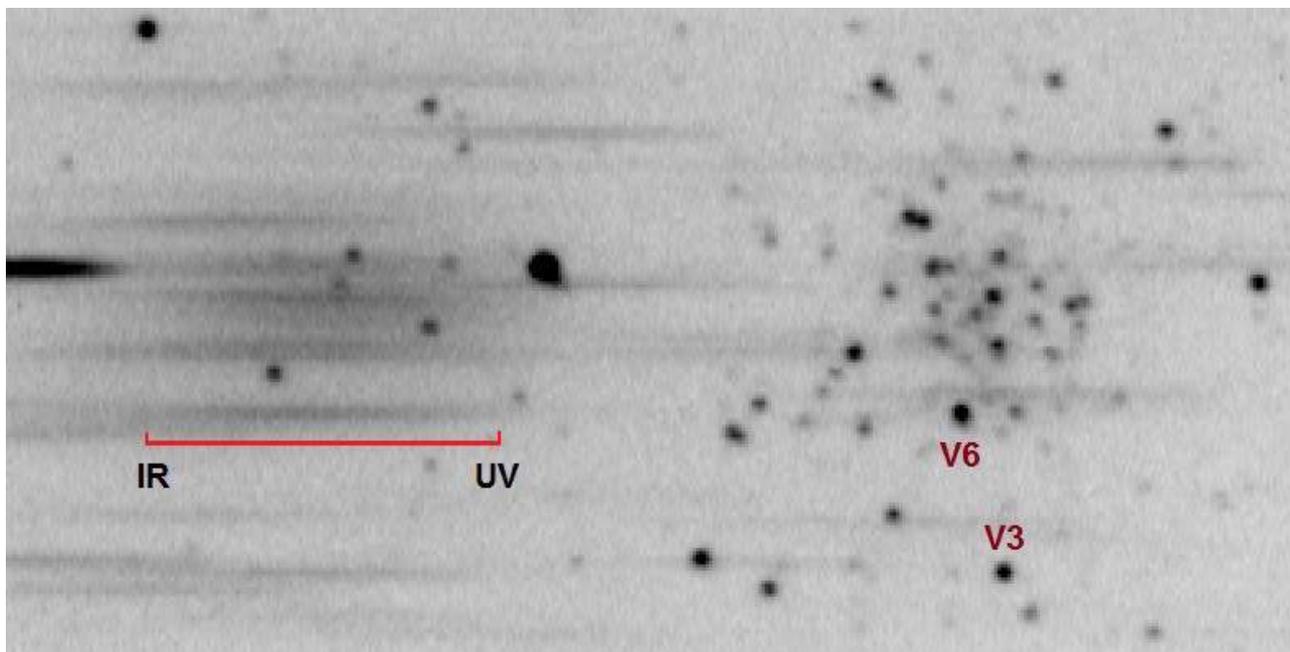


Figura 11. Imagen del cúmulo tomada con la red de difracción: se aprecian las componentes más brillantes así como los espectros de algunas de ellas; hemos identificado las variables V3 y V6 así como el espectro de esta última. Las letras UV e IR identifican los extremos ultravioleta e infrarrojo cercanos en el espectro de la variable V6. El Norte aparece abajo y el Este a la derecha; resolución estelar: 0.90"/píxel, resolución espectral: 2.9 nm/píxel.

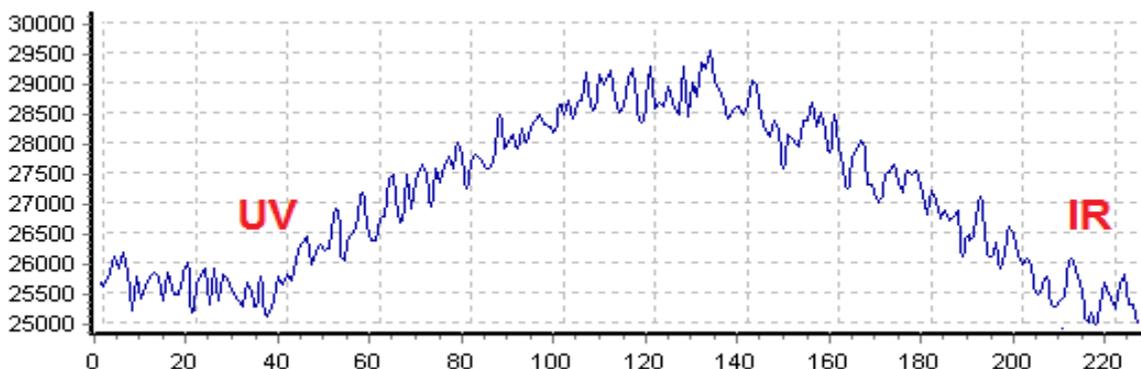


Figura 12. Perfil espectral de la variable V6: la forma del mismo es casi parabólica, simétrica, con el máximo de intensidad en la zona central del mismo (que se corresponde con el color amarillo).

Cuando obtenemos el perfil espectral¹ (Figura 12) comprobamos que el máximo aparece en la zona central (color amarillo), con una clara forma parabólica y simétrica, lo que apunta a un astro de tipo espectral F final o G inicial. En la Figura 13 mostramos los perfiles de las estrellas 36 Leonis (de tipo F0 III) y 35 Leonis (de tipo G2 IV) tomados con el mismo equipo: en ambos casos la zona del ultravioleta cercano aparece a la izquierda (en torno al píxel 10) y el infrarrojo cercano a la derecha (más allá del píxel 200); en 36 Leo notamos la evidente “asimetría” del perfil, típico de una estrella moderadamente caliente, mientras que en 35 Leo el perfil es “acampanado”, propio de un astro algo más frío. La intensidad máxima aparece en la zona azulada del espectro (36 Leo) pero se desplaza a la zona amarillo-anaranjada (35 Leo), como corresponde a dos astros de distintas temperaturas superficiales; en el caso de V6 ocurre algo parecido lo que apunta a que su espectro en la fecha en la cual fue adquirido era F final o G muy inicial, probablemente F8-G0.

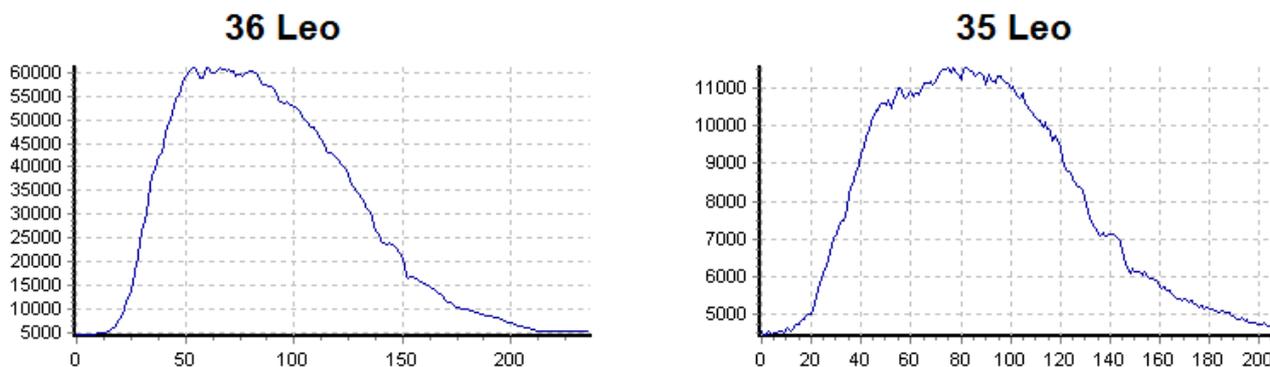


Figura 13. Perfiles espectrales de las estrellas 36 Leonis (izquierda) y 35 Leonis (derecha): se puede apreciar la asimetría de las mismas debidas a la distinta temperatura superficial y tipo espectral.

RESUMEN

Hemos realizado observaciones fotométricas del cúmulo globular Messier 56 durante veintisiete noches entre los días 6 de noviembre y 20 de diciembre de 2017: en este período (cuarenta y cinco días) hemos capturado 267 imágenes CCD filtradas (*V* Johnson) para estudiar doce variables de las catorce que contiene. En este trabajo nos hemos centrado en V6, una estrella variable de tipo RV Tauri que presenta mínimos profundos y menos profundos que se alternan y, con el paso del tiempo, incluso llegan a intercambiarse. En la campaña del año 2017 observamos un máximo, un mínimo (a

¹ Es decir, un “corte” a lo largo de todo el espectro: equivale a la *Distribución Espectral de la Energía* (S.E.D.).

partir de la pérdida de brillo, 0.88 magnitudes en banda V , creemos que es el poco profundo) y un posterior incremento de brillo que la llevaría a un nuevo máximo observado sólo parcialmente: el período determinado de las mediciones es igual a 45 días, exactamente la mitad del oficial. Utilizando tres espectros de baja resolución (2.9 nm/píxel), obtenidos en septiembre de 2015, hemos podido comprobar que en esa fecha aparecía como un astro de tipo F final o G muy inicial, probablemente F8-G0. Esperamos poder comprobar todos estos datos y resultados, ampliarlos y mejorarlos en la campaña de año 2018.

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 *AAVSO Photometric All-Sky Survey* (APASS, DR9), soportado por la "Robert Martin Ayers Sciences Fund", así como el telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura, la cámara CCD y la rueda de filtros fotométricos BVR_{CI} del Observatorio Astronómico *Norba Caesarina*, que se encuentra situado a las afueras de Cáceres (Extremadura, España).

REFERENCIAS

- Aladin Sky Atlas: <http://aladin.u-strasbg.fr/java/nph-aladin.pl>
APASS Data Release 9 (DR9): <https://www.aavso.org/apass>
Benko, J. M., (2003), ASP Conference Ser., Vol. 296: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2003ASPC..296..364B>
Clement, C., (2014, julio), disponible en: <http://www.astro.utoronto.ca/~cclement/cat/C1914p300>
Clement *et al.*, (2017), *Updated Catalog of Variable Stars in Globular Clusters*, disponible en la dirección: <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?-source=V/150>
Horne, J. D., (2005), JAVSO, 34, Vol.1, 61: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2005JAVSO..34..61H>
Parámetros de las variables de M 56 (2014): <http://www.astro.utoronto.ca/~cclement/cat/C1914p300>
Pietrukowicz, P. *et al.*, (2008), AcA, 58, 121: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2008AcA....58..121P>
Preston, G. W., *et al.*, (1963), ApJ, 137, 401: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1963ApJ...137..401P>
Rosino, L., (1944), Mem. Soc. Astr. Italiana, 16, 237: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1944MmSAI..16..237R>
Rosino, L., (1950), Mem. Soc. Astr. Italiana, 21, 55: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1950MmSAI..21...55R>
Russeva, T., (1999), IBVS 4727: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1999IBVS.4727....1R>
Russeva, T., (2000), IBVS 4846: <http://adsabs.harvard.edu/abs/2000IBVS.4846....1R>
Sawyer, H. B., (1940), PDDO, 1, 179: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1940PDDO....1..179S>
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, F., (2017, diciembre), web Casanchi: <http://casanchi.com/ast/m56a01.htm>
Violat Bordonau, F., (2018, enero), web Casanchi: <http://casanchi.com/ast/m56b01.htm>
Violat Bordonau, F., (2018, febrero), web Casanchi: <http://casanchi.com/ast/m56c01.htm>
Violat Bordonau, F., (2018, marzo), web Casanchi: <http://casanchi.com/ast/m56d01.htm>
VizieR Catalogue Service: <http://vizier.u-strasbg.fr/>
Wehlau, A., Sawyer-Hogg, H., (1985), AJ, 90, 2514: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1985AJ....90.2514W>