

ESTUDIO FOTOMÉTRICO DE MESSIER 13 CAMPAÑAS DE LOS AÑOS 2019 Y 2020 (III) LAS VARIABLES V11, V15 Y V17

FRANCISCO VIOLAT BORDONAU

Observatorio Astronómico *Norba Caesarina*, MPC Z71
E-mail: fviolat@yahoo.es

Resumen. En este tercer trabajo fotométrico dedicado al estudio del cúmulo globular Messier 13 (NGC 6205) presentamos un completo análisis de tres variables de tipo Gigante Roja: V11, V15 y V17. A partir de las mediciones fotométricas obtenidas en las campañas de 2019 y 2020 hemos determinado las amplitudes en banda V , sus magnitudes medias, períodos y dibujado sus curvas de luz a lo largo de ambas campañas.

1. ANTECEDENTES.

En dos trabajos anteriores (Violat Bordonau, 2021a y b) ya hemos explicado en detalle cuándo comenzó nuestro interés por el cúmulo Messier 13, qué estrellas variables estamos observando y de qué tipo son (Gigantes Rojas, Cefeidas y RR Lyraes), qué técnicas empleamos para la captura de imágenes CCD filtradas (en banda B y V Johnson), qué programas utilizamos para la calibración de las imágenes y extracción de datos, cuáles para el análisis de las mediciones fotométricas y hemos expuesto ya algunos de los resultados obtenidos en el estudio de sus Cefeidas; todavía nos queda mucho por analizar, dado que el número de imágenes CCD obtenidas durante los dos últimos años (2019 y 2020) son muy numerosas y de buena calidad, pero mientras vamos publicando trabajos más interesantes y delicados aprovechamos para mostrar los resultados obtenidos con sus estrellas de tipo Gigante Roja, los astros más brillantes del cúmulo cuyas magnitudes en sus máximos, si son variables (p. ej. V11), oscilan entre la 11.85 y la 12.25 en banda V Johnson.

En trabajos publicados hace algunos años expusimos muchos parámetros de las mismas (tipos espectrales, temperaturas efectivas, velocidades radiales, etc.) de manera que sería repetitivo volver a mostrarlos: nos limitaremos a dirigir la atención de los interesados hacia estos estudios, que están disponibles en la Web Casanchi salvo un par de ellos publicados en el *Open European Journal on Variable Stars*: p. ej. un completo estudio de V38 (Violat Bordonau *et al.*, 2006).

En esta ocasión centraremos nuestra atención en las estrellas variables V11 (L324¹ o V1554 Her), V15 (L835 o también V1578 Her) y V17 (L973 y V1584 Her), tres de los astros más brillantes del cúmulo cuyas oscilaciones de brillo son pronunciadas, no tienen una periodicidad tan marcada como el de las tres Cefeidas que contiene el cúmulo y a lo largo de los años muestran amplitudes y formas muy distintas debidas, probablemente, a la modulación producida en ellas por dos o más períodos distintos. En la Figura 1, obtenida con nuestro equipo a través de un filtro V Johnson (con una exposición de 120 s), podemos ver el cúmulo y sus estrellas más brillantes (hasta la magnitud ~ 17 V): en ella hemos marcado con la letra L cinco estrellas Ludendorff –no variables– de magnitudes B , V e índices de color $B - V$ bien determinados (Stetson *et al.*, 2019), que desde el año 2000 (aunque sin conocer sus magnitudes en aquella época, naturalmente) utilizamos como astros de comparación y chequeo fotométrico, así como las variables que estudiamos en este trabajo identificadas con sus número de orden dentro del *Catalogue of Variable Stars in Galactic Globular Clusters* (Clement *et al.*, 2001).

1 La letra L hace referencia al monumental trabajo de Hans Ludendorff publicado en el año 1905

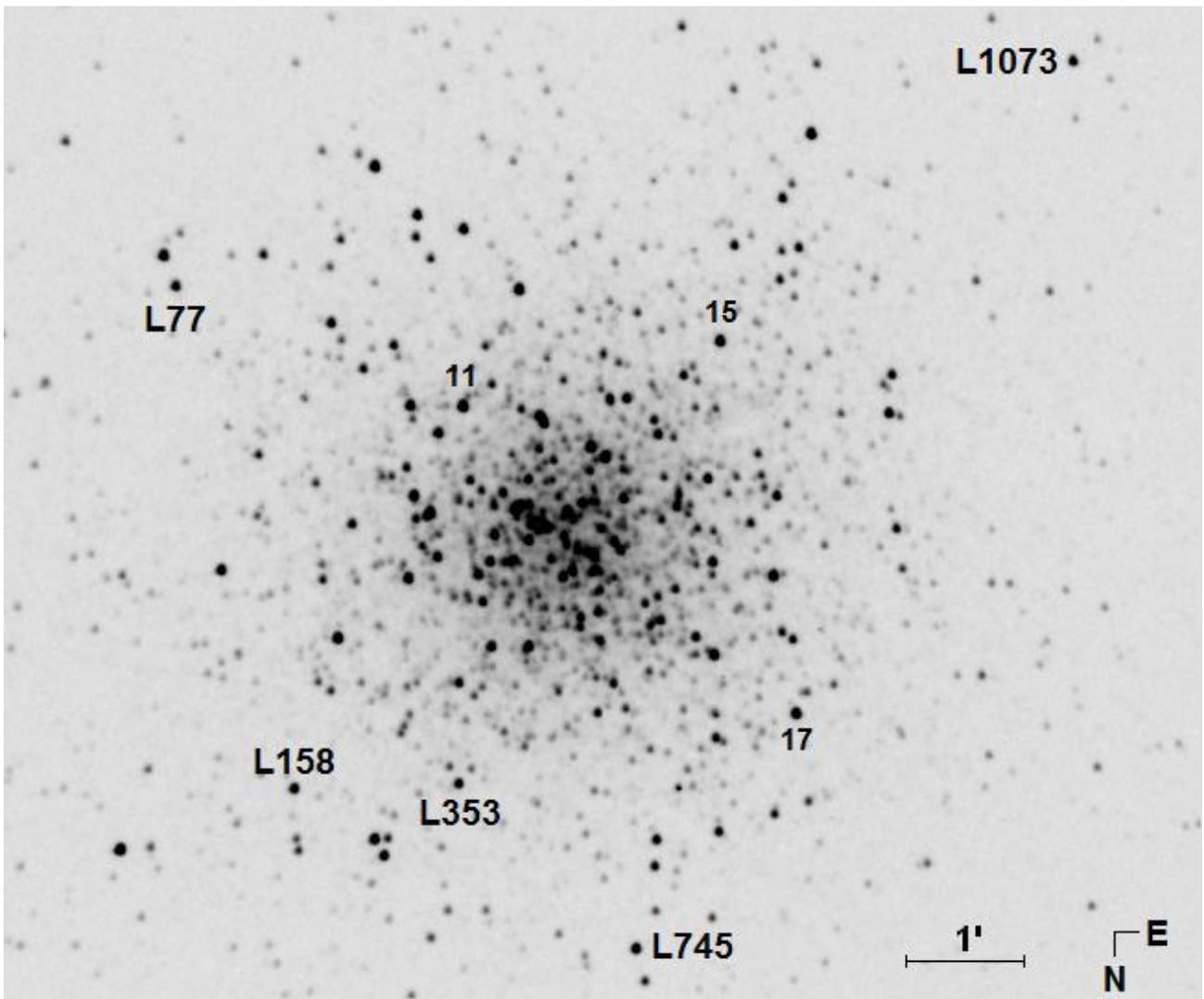


Figura 1. Fotografía de Messier 13 tomada a través del filtro V Johnson: se han identificado en ella cinco estrellas de comparación y/o chequeo fotométrico así como las variables V11, V15 y V17. Norte abajo, Este a la derecha.

En la Tabla 1 presentamos el Diario de Observación que nos ofrece información sobre las dos últimas campañas fotométricas: el inicio de cada una (en formato Día Juliano Heliocéntrico), el final de la misma, los días que duró así como el número de fotografías CCD capturadas.

Tabla 1

<u>Año</u>	<u>D.J.H. Inicio</u>	<u>D.J.H. Final</u>	<u>Días</u>	<u>Imágenes</u>
2019	2458670.581	2458767.330	98	517
2020	2459003.670	2459136.336	134	741

La Tabla 2, por su parte, ofrece los datos de las estrellas identificadas en la Figura 1: número Ludendorff, denominación oficial en SIMBAD, Ascensión Recta y Declinación (2000.0) tomadas de SIMBAD, magnitud V , índice de color $B - V$ e índices de variabilidad (I.V.) tomados del trabajo de Stetson *et al.*, (2019) que nos indican la *probabilidad* de que una estrella sea variable: son bajos en las estrellas no variables y más altos en las que realmente lo son².

² Excepto en el caso de V15, que es inusualmente bajo probablemente debido a su reducida amplitud: en torno a 0,09 magnitudes a través del filtro V Johnson.

Tabla 2

Astro	ID	A.R.	DEC	<i>V</i>	<i>B – V</i>	I.V.
L745	2MASS J16414486+3630514	16:41:44,85	+36:30:51,37	12,490	1,293	1,011
L158	2MASS J16413053+3629434	16:41:30,52	+36:29:43,44	12,675	1,144	0,940
L77	2MASS J16412464+3625449	16:41:24,63	+36:25:45,11	12,735	1,141	1,339
L353	2MASS J16413725+3629368	16:41:37,24	+36:29:36,77	12,809	1,138	0,935
L1073	2MASS J16420085+3623338	16:42:00,84	+36:23:33,67	12,859	1,087	0,647
L324	V11 = V1554 Her	16:41:36,63	+36:26:35,47	<i>11,902</i>	<i>1,575</i>	3,394
L835	V15 = V1578 Her	16:41:47,02	+36:25:57,51	<i>12,127</i>	<i>1,419</i>	0,885
L973	V17 = V1584 Her	16:41:50,92	+36:28:54,35	<i>11,972</i>	<i>1,675</i>	5,950

Notemos que las magnitudes de las tres variables las hemos escrito con letra cursiva: eso se debe a que cambian constantemente a lo largo del tiempo, lo mismo que les ocurre a sus índices de color $B - V$. Llama la atención que el índice de variabilidad de V15 (0,885) sea inferior al de casi todas las estrellas de comparación y chequeo: creemos que esto es debido a que su amplitud en banda V es muy reducida. Examinando los índices de variabilidad comprobaremos que ninguna de las tres estrellas de chequeo que utilizamos para calibrar las imágenes (L745, L158 y L77) presenta variabilidad alguna (al menos hasta el momento de escribir estas líneas, enero de 2021), algo que sucede también con las estrellas de chequeo fotométrico (L353 y L1073): esto se pone de manifiesto al dibujar las curvas de luz de las distintas variables que hemos estudiado, las cuales no presentan ninguna anomalía (p. ej. *oscilaciones y/o ondulaciones* inesperadas, sospechosas o del todo inexplicables) que se deberían a la variabilidad de alguna de las estrellas de comparación.

2. RESULTADOS.

En la página cinco mostramos la Figura 2 y en ella, en tres pares de paneles situados en vertical, podemos ver las curvas de luz a lo largo de cada una de las campañas de las estrellas V11 (de los años 2019 y 2020, parte superior), V15 (ídem, parte central) y V17 (lo mismo, en la parte inferior): un examen atento de las mismas pone de manifiesto el comportamiento propio de cada una de ellas, sus distintas amplitudes, cambios de brillo y subidas/bajadas no idénticas a lo largo de las semanas que duraron ambas campañas y que –sin duda alguna– se producen debido a que poseen más de un período (de dos a tres, al menos) que alteran y modulan constantemente las curvas de luz. Las variables V11 y V17 son las que han ofrecido mayores amplitudes (oficialmente son iguales a 0,30 y 0.35 respectivamente) mientras que V15, fiel a su reducido índice de variabilidad ya mencionado, ha mostrado amplitudes no muy elevadas en ambas campañas (su valor oficial es igual a 0,10 magnitudes). En la Tabla 3 mostramos la información que hemos extraído de las mediciones fotométricas obtenidas a partir de nuestras imágenes filtradas: la misma tabula su nombre clásico, la campaña en la que ha sido estudiada, el número de mediciones obtenidas durante la misma, la magnitud media en banda V y el error (debido a la relación Señal/Ruido), la amplitud en dicha banda así como el rango medido.

Tabla 3

Astro	Campaña	Puntos	Mag. V	Amplitud	Rango
V11	2019	517	11,948 \pm 0,078	0,329	11,768-12,097
V11	2020	741	11,928 \pm 0,106	0,404	11,724-12,128
V15	2019	517	12,125 \pm 0,027	0,132	12,057-12,189
V15	2020	741	12,133 \pm 0,039	0,164	12,044-12,208
V17	2019	507	11,964 \pm 0,068	0,275	11,865-12,140
V17	2020	731	12,033 \pm 0,138	0,457	11,831-12,288

El lector más detallista notará que el número de mediciones de cada una de las variables en cada campaña no es idéntico: esto se debe a algún defecto de la imagen (p. ej. algún píxel ruidoso o algún rayo cósmico casualmente mal situado sobre o muy próximo a la estrella) que ha impedido obtener mediciones válidas de esa variable en ciertas noches.

3. DETERMINACIÓN DE LOS PERÍODOS.

Los seis ficheros que contienen las mediciones fotométricas obtenidas se han abierto con el programa *A.V.E.* y analizado con el periodograma de Scargle (1982) para determinar el o los períodos de cada una de las variables: en todos los casos la búsqueda se ha realizado en el período 1–95 días; los resultados se muestran en la Tabla 4 la cual incluye el nombre de la variable, la campaña y los períodos P1 (el principal y más destacado) y P2 (menos marcado):

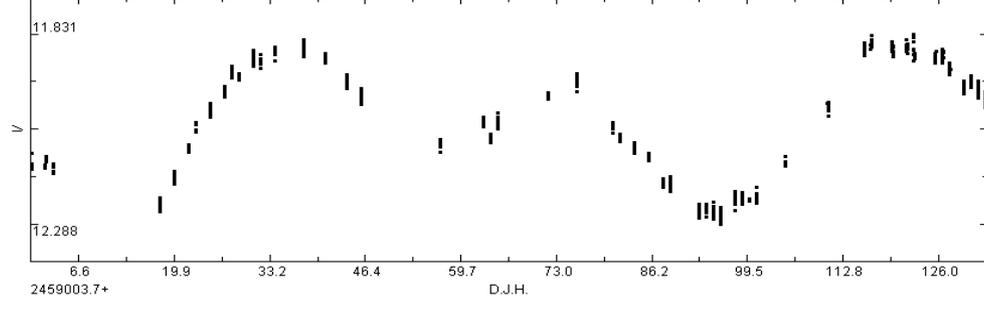
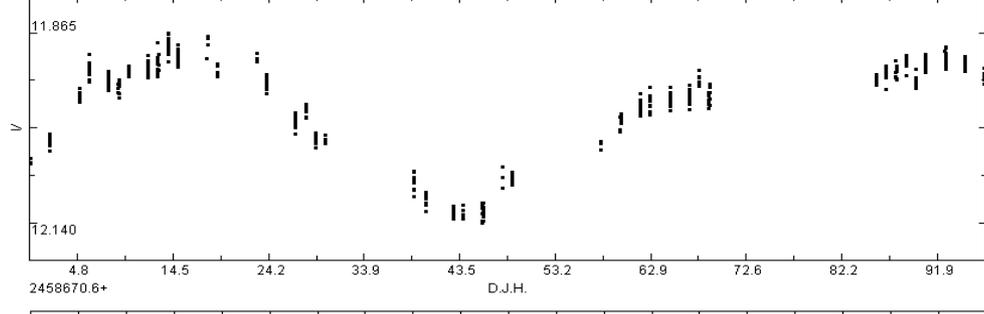
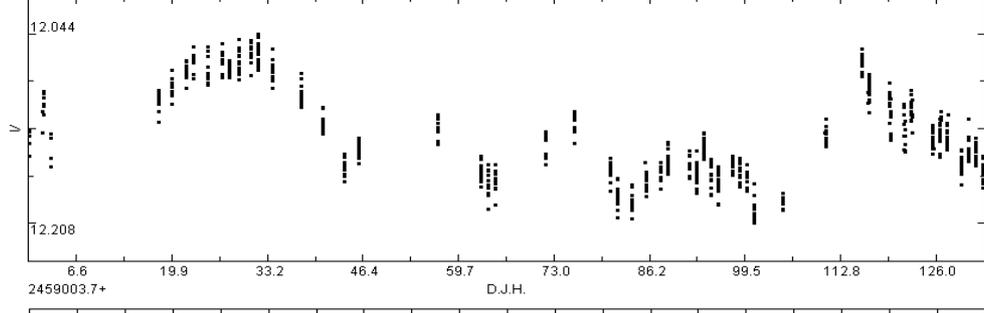
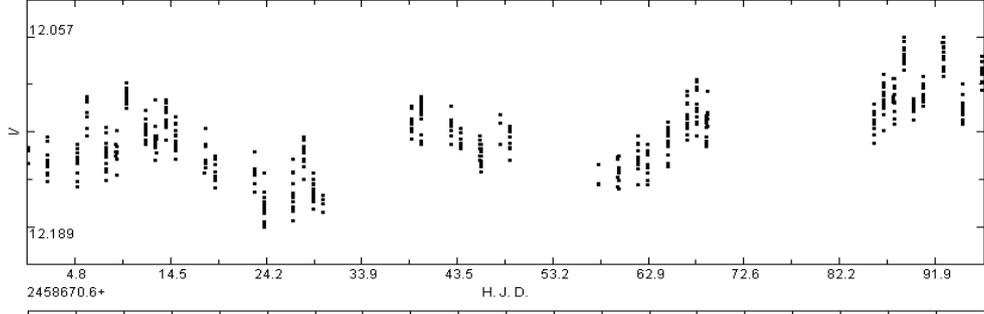
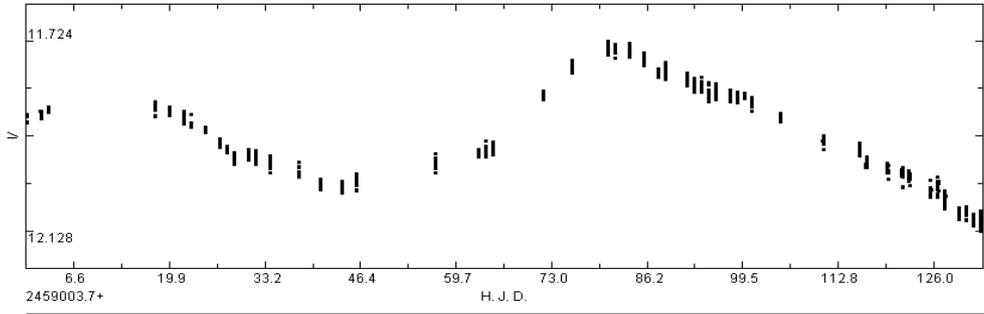
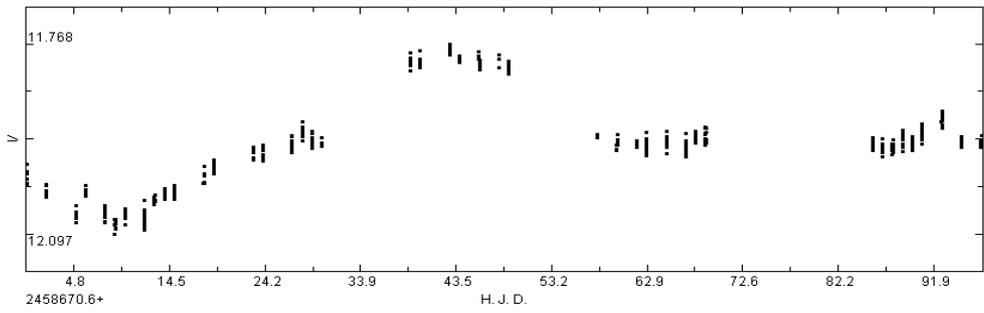
Tabla 4

Astro	Campaña	Período 1	Período 2
V11	2019	64,7	47,1
V11	2020	83,6	30,5
V15	2019	44,6	18,7
V15	2020	43,4	29,6
V17	2019	70,3	39,5
V17	2020	43,2	86,5

Los períodos oficiales más recientes, tomados del *Catalogue of Variable Stars in Galactic Globular Clusters*³ (actualizado en febrero de 2020), son los siguientes: V11 = 92,0 días, V15 = 30 días y V17 = 43,0 días; notemos que el único que se aproxima al oficial es el de V17 durante la campaña del año 2020: el resto son levemente distintos (p. ej. V11 en 2020) o incluso casi quince días más largo de lo esperado (es el caso de V15 en ambas campañas). ¿Qué quiere decir esto? ¿Son erróneos nuestros resultados? La respuesta más corta es no: todas estas estrellas, Gigantes Rojas de Población II, pulsan con dos o más períodos que se superponen y modulan lentamente sus curvas de luz, modifican sus amplitudes y sus períodos reales de manera que de ciclo en ciclo notamos cambios muy notorios e impredecibles.

Si intentamos dibujar las curvas de luz con los períodos oficiales obtendremos resultados de poca calidad; incluso empleando los períodos que hemos obtenidos y mostrado en la Tabla 4 las curvas no son demasiado coherentes ni de buena calidad, como mostraremos en la Sección 5.

³ La ficha de Messier 13 se puede consultar aquí: <http://www.astro.utoronto.ca/~cclement/cat/C1639p365>



4. POSICIONES DE LAS VARIABLES.

En un trabajo anterior (Violat Bordonau, 2021b) tabulamos y mostramos las posiciones de quince estrellas de Messier 13: fueron obtenidas utilizando cinco imágenes filtradas (en banda *B* Johnson, para reducir el brillo de las estrellas Gigantes Rojas) capturadas con un reflector de 51 cm de apertura y 4100 mm de focal; las fotografías fueron abiertas y calibradas con el programa *Astroart* utilizando el catálogo UCAC4: se registraron en ellas algo más de 3.200 estrellas en cada imagen de todas las cuales hemos podido obtener sus coordenadas (equinoccio 2000,0), aunque para este trabajo sólo nos interesan las de tres estrellas. Presentamos en la Tabla 5 las posiciones de las variables V11, V15 y V17 determinadas con este procedimiento: las columnas muestran el nombre de la variable, las posiciones determinadas por nosotros en 2020, las tabuladas por Osborn (2000) y las de Kopacki *et al.* (2003) para comparar nuestros resultados con los de otros investigadores:

Tabla 5

<u>Astro</u>	<u>2020</u>		<u>2000</u>		<u>2003</u>	
V11	16 41 36,61	36 26 35,3	16 41 36,66	36 26 35,5	16 41 36,61	36 26 35,3
V15	16 41 46,98	36 25 57,3	16 41 47,04	36 25 57,6	16 41 46,98	36 25 57,3
V17	16 41 50,89	36 28 54,2	16 41 50,93	36 28 54,3	16 41 50,89	36 28 54,2

notemos que las Ascensiones Rectas difieren de 0,04 a 0,06s y de 0,1 a 0,3” las Declinaciones si las comparamos con las tabuladas por Osborn: probablemente se debe a que este astrónomo utilizó el Catálogo USNO-A2.0 para calibrar sus fotografías; no existen diferencias apreciables entre nuestras posiciones y las tabuladas por Kopacki *et al.* quienes utilizaron 200 estrellas del HST Guide Star Catalog versión 2.2.01. Esperamos publicar un trabajo, en el futuro, en el cual expliquemos con más detalle este proceso de calibración astrométrica y tabulemos las posiciones de todas las variables del cúmulo determinadas con los programas *Astroart* y *Astrometrica*.

5. CURVAS DE LUZ.

Utilizando las mediciones fotométricas de la campaña de 2020, la más amplia de ambas, y los períodos principales (P1) listados en la Tabla 4 hemos procedido a dibujar las curvas de luz de las tres variables (Figura 3): como podemos ver sólo la de V11 (panel superior), dibujada con $P = 83,6$ días, es moderadamente coherente ya que muestra dos ciclos superpuestos entre las fases 0,45 y 0,85; en el caso de V15, dibujada con $P = 43,4$ días, notamos con claridad dos ciclos superpuestos sin que el resultado sea demasiado coherente. En el caso de V17 hemos empleado también el período principal: con $P = 43,2$ días el lector podrá observar también dos ciclos superpuestos que tampoco dibujan una curva de luz demasiado coherente excepto en la rama ascendente (entre las fases 0,10 y el máximo, en la fase 0,5), apreciándose después del máximo claramente dos ciclos –de dispar brillo– que siguen caminos casi paralelos hasta prácticamente el final de la curva. Esto nos demuestra de modo contundente, una vez más, la existencia de al menos dos (o quizá incluso más) períodos de pulsación de distinta duración y modos en las variables de tipo Gigante Roja del cúmulo, como ya expusimos hace unos años (Violat Bordonau, 2015) en un completo trabajo fotométrico: Osborn y colaboradores llegan a similar conclusión en su trabajo del año 2017.

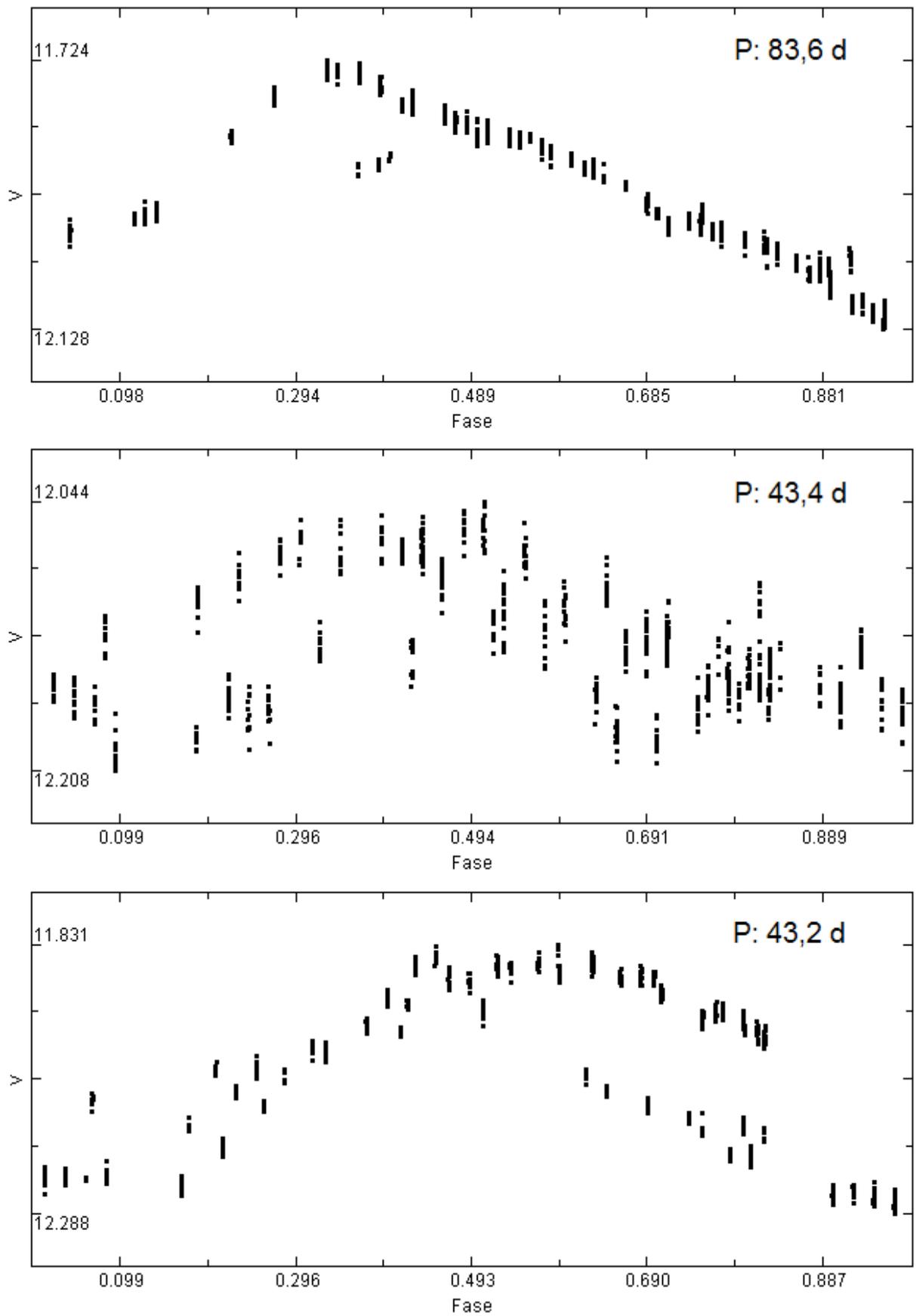


Figura 3. Curvas de luz, en fase, de las estrellas V11 (panel superior), V15 (panel central) y V17 (panel inferior) dibujadas a partir de las mediciones del año 2020 con el periodo principal de la Tabla 4.

RESUMEN

Presentamos en este trabajo las magnitudes máximas, mínimas, medias, amplitudes (en banda V), períodos y posiciones (2000,0) de las variables de tipo Gigante Roja V11 (V1554 Her), V15 (V1578 Her) y V17 (V1584 Her), situadas en el cúmulo globular Messier 13, determinadas a partir de las imágenes adquiridas durante las campañas de los años 2019 y 2020. Los períodos obtenidos son distintos a los oficiales (excepto para V17 en la campaña de 2020), lo que sugiere que estas estrellas gigantes pulsan con al menos dos períodos –de dispar longitud– y modos que modulan y modifican de año en año tanto la forma como la amplitud de sus 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 así como los diversos telescopios, las cámaras CCD y rueda de filtros fotométricos (BVR_c) del Observatorio Astronómico *Norba Caesarina* de Cáceres (España).

REFERENCIAS

- Astroart*: <http://www.msb-astroart.com/>
- Clement *et al.* (2001), AJ, 122, 2587: [2001AJ....122.2587C](#)
- Deras D., *et al.* (2019), MNRAS, 486, 2791: [2019MNRAS.486.2791D](#)
- FotoDif*: <http://www.astrosurf.com/orodeno/fotodif/>
- Kopacki, G. *et al.* (2003), A&A, 398, 541: [2003A&A...398..541K](#)
- Ludendorff, H. (1905), *Publ. Astrophys. Obs. Potsdam*, Vol. 15, N° 50: [1905POPot..50....1L](#)
- NASA/ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/classic-form>
- Osborn, W. (2000), AJ, 119, 2902: [2000AJ....119.2902O](#)
- Osborn, W. *et al.* (2017), Acta Astronomica, 67, 131: [2017AcA....67..131O](#)
- Sandquist, E. L. *et al.* (2010), AJ, 139, 2374: [2010AJ....139.2374S](#)
- Scargle, J. D. (1982), ApJ, 263, 835: [1982ApJ...263..835S](#)
- SIMBAD Astronomical Database: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- Stetson, P. B. *et al.*, 2019, MNRAS, 485, 3042: [2019MNRAS.485.3042S](#)
- Violat Bordonau, F. *et al.* (2006), OEJVS, vol. 19, p.1: [2006OEJV...19....1V](#)
- Violat Bordonau, F. (2015, julio), web Casanchi: <http://casanchi.org/ast/m13a01.pdf>
- Violat Bordonau, F. (2021, febrero), web Casanchi: <http://casanchi.org/ast/fotometria2019202001.htm>
- Violat Bordonau, F. (2021, marzo), web Casanchi: <http://casanchi.org/ast/fotometria2019202002.htm>
- VizieR Catalogue Service: <https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>