

ESTUDIO FOTOMÉTRICO DE MESSIER 13 CAMPAÑAS DE LOS AÑOS 2019 Y 2020 (VIII) ESTUDIO DE V38

FRANCISCO VIOLAT BORDONAU

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

Resumen. En este octavo trabajo fotométrico dedicado al estudio del cúmulo globular Messier 13 (NGC 6205) presentamos un análisis de la variables V38, de tipo Gigante Roja. A partir de las mediciones fotométricas obtenidas en las campañas de 2019, 2020 y 2021 hemos determinado su amplitud en banda V , su magnitud media, períodos y dibujado sus curvas de luz; también se incluyen mediciones del año 2013 así como del equipo ASAS-SN para comprobar su comportamiento en los últimos años.

1. ANTECEDENTES.

En mayo de 1998 realizamos un estudio fotométrico del cúmulo Messier 13 (NGC 6205) que consistió en la toma de cinco a siete imágenes filtradas¹ cada noche a lo largo de dieciséis días consecutivos: nuestro objetivo era proporcionar experiencia instrumental y conocimientos prácticos de fotometría multibanda B , V (procesamiento de las imágenes y análisis de las mismas con posterior extracción de mediciones fotométricas) a varios grupos de alumnos universitarios, de educación secundaria y aficionados a la astronomía; durante este estudio detectamos leves cambios en la magnitud en algunas de las componentes más brillantes del cúmulo que, dos años más tarde y con más experiencia, identificamos como las variables V11, V17, V20, V24, V38, V40, V43 y algunas otras. Al carecer de estrellas de calibración y experiencia en el estudio de M13 no publicamos esos resultados en revistas o medios profesionales y dejamos aparcados temporalmente ese tipo de trabajos. En 1999 y 2000 volvimos a repetir estas prácticas fotométricas con estudiantes universitarios, obteniendo de nuevo resultados similares, dándolos a conocer en varias ponencias, conferencias, campamentos de verano y alguna *star party*: no sería hasta la primavera de 2001, tras elaborar una carta de Messier 13 que identificaba con toda claridad sus diferentes estrellas variables, sospechosas de variabilidad (como V38 o V40) y estrellas de calibración (partiendo de la robusta fotometría de Osborn, 2000), cuando comenzamos a publicar los primeros resultados en revistas científicas como *Tribuna de Astronomía* o sitios web profesionales como la Web Casanchi y otras del mismo estilo y contenido científico.

V38 (L414² o V1556 Her) es un astro que debido a su relativa lejanía del núcleo del cúmulo no fue descubierto como variable hasta hace pocos años (Kopacki *et al.*, 2003) pese a que Russev (1974) anunció su variabilidad y sus oscilaciones de brillo (en banda B Johnson) son perfectamente apreciables en la fotometría de Osborn y Fuenmayor (1977), como luego mostraremos³, aunque tres años antes (1974) indicasen que no pudieron apreciar variabilidad alguna en las 56 fotografías obtenidas en un período de tres años. Es una estrella gigante de fuerte color ambarino perteneciente al cúmulo cuyo radio es igual a 87,2 veces el solar, su temperatura efectiva es igual a 4000 K y su luminosidad 1.845 veces la de nuestra estrella (Mészáros, *et al.*, 2009).

1 Con filtros Kodak Wrattten de color azul y verde intenso, no con filtros fotométricos profesionales.

2 La letra L hace referencia al extenso trabajo de Hans Ludendorff sobre Messier 13 publicado en el año 1905.

3 De hecho incluso publicaron un posible período de oscilación: 105 días.

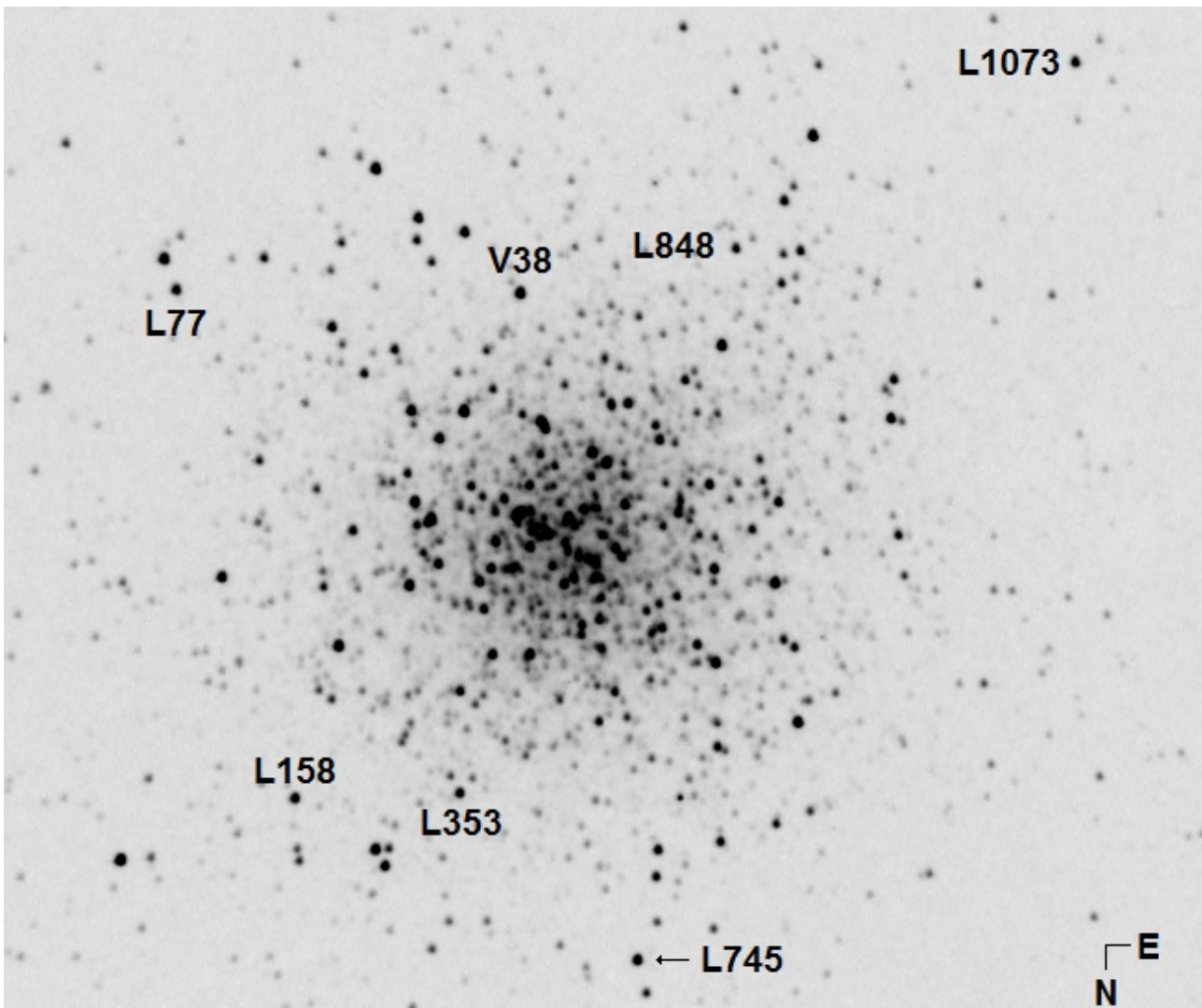


Figura 1. Fotografía de Messier 13 tomada a través del filtro V Johnson: se han identificado en ella seis estrellas de comparación y chequeo fotométrico así como la variables V38. El Norte está situado abajo y el Este a la derecha.

Aparece listada en el trabajo de Arp (1955) con la denominación III-56: este investigador la midió con magnitudes $13,48_{pg}$ (fotográfica, banda B) y $11,97_{pv}$ (fotovisual, banda V) con índice de color $pg - pv = 1,51$. En el trabajo de Kadla (1966) aparece con el número 444 como un astro de magnitud $12,14_V$ e índice de color $B - V$ igual a $1,47$ que pertenece al cúmulo por su reducido movimiento propio. Su magnitud V e índice de color $B - V$ es similar al de las demás variables Gigantes Rojas del cúmulo lo que debería haber alertado a los investigadores sobre su variabilidad fotométrica. Osborn y Fuenmayor (1977) realizaron un estudio de las variables rojas del cúmulo midiendo 59 placas fotográficas, obtenidas con el reflector de 1,5 metros de abertura del Observatorio Naval en el período 1967-1969, y pudieron comprobar los cambios de brillo de V2, V11, V15, V17 y L414 aunque sin llegar a reconocerla como variable pese a que mostraba una amplitud igual a 0,26 magnitudes (en banda B) que era incluso superior a la de V15 (0,22 magnitudes) y similar a la de L261 (0,21 magnitudes). De hecho en sus curvas de luz (Figura 2) se aprecia su variabilidad: la amplitud máxima en el período 1967-1969 fue igual a 0,26 magnitudes en banda B (panel superior) pero sólo 0,15 magnitudes en 1967 y 0,19 en 1968. En el panel inferior (año 1968) se aprecia con toda claridad un mínimo inicial, un máximo el día 22,4 y una pérdida de brillo rumbo a otro mínimo que tendría lugar más allá de las últimas observaciones realizadas.

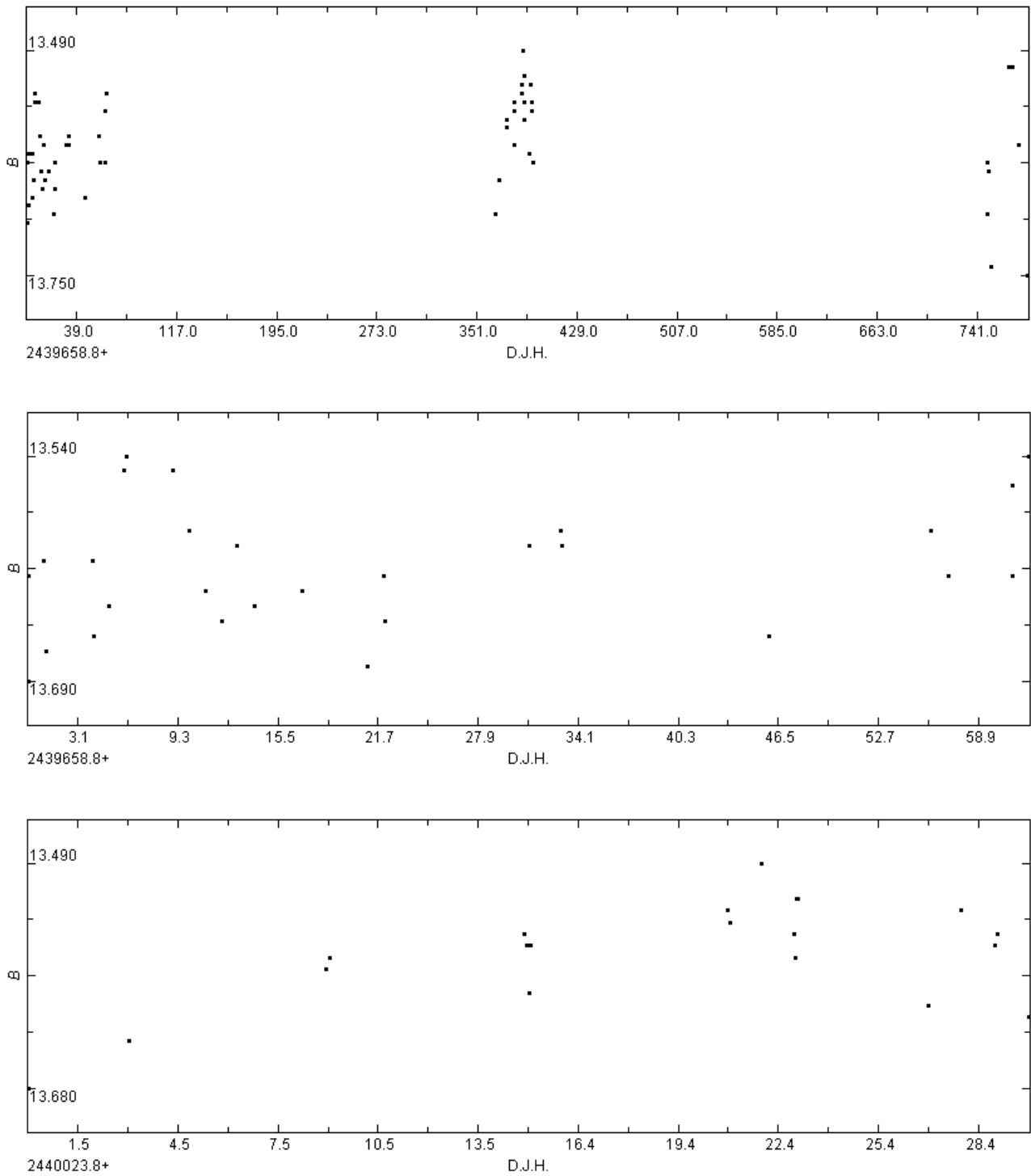


Figura 2. Curvas de luz, en banda *B*, dibujadas por el autor empleando las mediciones fotométricas de Osborn y Fuenmayor (1977): en el panel superior aparecen los datos de las tres campañas, en el central las mediciones del año 1967 y en el inferior las del año 1968. La variabilidad de la estrellas es muy evidente, especialmente en el último panel.

La estrella alcanzó mínimos casi idénticos (magnitudes 13,69 y 13,68 *B*) en las dos primeras campañas con amplitudes muy similares, como ya hemos indicado, lo cual no es algo casual: estos observadores registraron cambios de magnitud de una estrella variable a lo largo de dos meses (1967) y un mes entero (1968) sin reconocerla como tal. ¿Por qué? No lo sabemos: en su trabajo indican que el error de una única observación aislada de cualquiera de las cuatro estrellas de control

(L250, L261, L370 y L845) fue igual a ± 0.05 magnitudes; basta dar un vistazo a la Figura 1 de su trabajo para apreciar, sin duda alguna, la variabilidad de L414. Al analizar sus mediciones obtenemos una magnitud B media igual a la $13,60 \pm 0,06$: la desviación estándar es igual a $0,057$ magnitudes ($0,058$ según los autores) lo que es un indicio claro de su variabilidad; este valor es idéntico al que obtienen para la variable V15 ($0,058$) cuya amplitud encontraron igual a $0,22$ magnitudes en banda B : L414 presentó una amplitud levemente mayor por tanto, sin duda alguna, era variable. Un último dato a favor de esta conclusión: estos investigadores buscaron un posible período de variación en el intervalo 30-200 días y encontraron un valor igual a 105 días. Pese a todas estas claras evidencias indicaron que no era variable hasta su límite de detección... aunque inmediatamente comentaron que podría ser una variable de baja amplitud.

Cudworth y Monet (1979) la encontraron de magnitud $12,14 V$ e índice de color $B - V$ igual a $1,47$: por su movimiento propio era un astro que pertenecía al cúmulo. Welty (1985), utilizando 64 placas fotográficas tomadas en banda B en 36 noches a lo largo de seis años, no encontró ninguna variabilidad en L414 pese a que la desviación estándar σ fue igual a $0,073$ magnitudes. La reducida precisión de sus datos impidió que descubriese la variabilidad de L199 (V63) con σ igual a $0,071$ magnitudes y de L240 (V59) con $\sigma = 0,070$; lo mismo cabe decir de algunas sospechosas de variabilidad como L250 ($\sigma = 0,117$) o L261 ($\sigma = 0,094$). Para otras estrellas estos valores fueron: L252 ($\sigma = 0,060$) y L877 ($\sigma = 0,071$): hablaremos de todas ellas en trabajos futuros...

En el *paper* de Lupton *et al.* (1987), que presenta velocidades radiales de 147 estrellas del cúmulo, no se aprecia la variabilidad de L199 (V63) ya que la probabilidad de serlo (χ^2) era igual a $1,46$ –con tres velocidades distintas– pero sí la de L240 (V59) que llega a $10,89$ con cinco velocidades radiales y la de L414 (V38) que sube a $110,52$ con ocho velocidades. Otras estrellas muy interesantes son: L250 ($16,03$), L252 ($9,24$), L261 ($3,40$), L481 ($20,41$) y L877 ($3,02$). En el trabajo fotométrico de Osborn (2000) se la lista con magnitudes $13,60 B$ ($\sigma = 0,06$) y $12,15 V$ ($\sigma = 0,05$): el autor indica que encuentra probable su variabilidad (de nuevo) sin más comentarios.

Finalmente Kopacki y colaboradores (2003), empleando un reflector de 60 cm durante 23 noches entre los días 27 de febrero y 1 de agosto de 2001, capturan 324 imágenes en banda V a partir de las cuales confirman la variabilidad de la estrella L414 a la que bautizan con el nombre de V38: según estos autores es un astro cuya magnitud media es igual a la $12,118 V$ con una amplitud de $0,07$ magnitud en la misma banda: esto explica que ni Osborn ni Welty detectasen su variabilidad o, caso de hacerlo (Osborn), se atreviesen a anunciarla con su material. La curva de luz de la misma, no demasiado completa ni bien muestreada, aparece en la Figura 5 de su trabajo: a partir de la misma estos autores la clasifican como semirregular o irregular sin determinar su período. En esa misma época (primavera de 2001) nosotros trabajábamos también en el estudio de las variables del cúmulo con nuestra propia carta, elaborada a partir de la fotometría de Osborn, en la cual reflejábamos la posición de todas las variables y sospechosas de variabilidad conocida: aunque confirmamos la variabilidad de casi todas ellas (incluyendo la de V38) y obtuvimos curvas de luz no publicamos estos resultados en revistas profesionales de modo que no se reconoció oficialmente nuestro co-descubrimiento (sí lo hizo el propio Kopacki en comunicación privada).

A partir de nuestros datos fotométricos, obtenidos entre el verano de 2000 (Violat Bordonau, 2005) y el otoño de 2005 con telescopios de 35 a 20 cm de apertura repartidos por la geografía española, en enero de 2006 Violat *et al.* publicamos un trabajo sobre la variable en el *European Open Journal on Variable Stars*: en el mismo presentamos curvas de luz, en banda V , de la estrella confirmando su variabilidad, su período (81 días) y su amplitud ($\sim 0,08$ magnitudes en dicha banda); también determinamos este período a partir de catorce velocidades radiales publicadas en revistas profesionales encontrándolo igual a 83 días. A partir de 351 imágenes CCD obtenidas entre los años 2001 y 2002 determinamos su período (115,5 días) muy parecido al determinado por Osborn en su trabajo del año 1977 (105 días) que, pensamos, era demasiado largo y se debía al efecto estacional y no era el verdadero período de la variable. Con las mediciones fotométricas de los años 2003, 2004

(obtenidas con dos telescopios trabajando simultáneamente: uno de 35,5 cm en Segovia y otro de 20,3 cm en Cáceres) y 2005 (con tres telescopios trabajando en las mismas fechas: uno de 35,5 cm en Segovia y dos de 20,3 cm situados en Cáceres y Cádiz, respectivamente) determinamos que su período era próximo a los 81 días con una amplitud de hasta 0,16 magnitudes. Analizando las mediciones de Osborn determinamos su período encontrándolo igual a 80,2 días: al hacer lo mismo con las mediciones de Kopacki comprobamos que este valor era igual a 80,8 días, publicando (Figuras 8 y 9 de nuestro trabajo) sendas curvas de luz, en fase, de buena calidad. Unos meses más tarde (Violat Bordonau *et al.*, 2007) dimos a la luz un completo estudio fotométrico de algunas variables rojas incluyendo V38: en él presentamos excelentes curvas de luz obtenidas por ambos autores (Violat y Arranz desde Cáceres y Segovia, respectivamente) así como magnitudes medias, períodos y amplitudes en banda V obtenidas a partir de nuestras mediciones.

Servillat *et al.* (2011) observaron un campo de $4,7' \times 4,7'$ centrado en el cúmulo en diez noches entre los días 18 de febrero y 5 de mayo de 2005 (más una noche aislada: 12 de marzo de 2006); trabajaron en varias bandas (U , B , V , R , i , $H\alpha$ y $OIII$) aunque en su trabajo se centraron en las mediciones obtenidas en banda U presentando curvas de luz de algunas variables, una de ellas V38 (con datos de sólo seis noches), así como tres nuevas candidatas a variables –en dicha banda– a las que denominan #2, #4 y #7 que es la estrella llamada c por Meinunger (1978) y Kopacki encuentra de brillo constante tanto en bandas V como I_C . Con sus escasas mediciones no pudieron determinar el período aunque confirmaron que es de reducida amplitud. En su trabajo sobre variables rojas Osborn y colaboradores (2017) listan sus parámetros en la Tabla 7 los cuales resumimos aquí: magnitud $12,11 V$, magnitud absoluta $M_V -2,22$, índice de color $B - V$ igual a 1,47 con amplitudes en bandas B y V iguales a 0,23 y 0,13 respectivamente; estos autores indican que es una variable de tipo SR cuyo período es cercano a 32 días aunque citando otros valores (44 días, 53 días, 72 días y 80 días): concluyen diciendo que puede ser multiperódica (algo que ya comentamos en nuestro trabajo del año 2007) aunque se necesitan nuevas mediciones para asegurarlo. Podemos demostrar que el período oficial es erróneo utilizando las mediciones de Kopacki publicadas en 2003 y representándolas con distintos períodos⁴: el panel izquierdo presenta sus datos originales, el panel central es la curva de luz en fase para $P = 32$ días mientras que el derecho ha sido dibujado para $P = 80,8$ días, el período que determinamos en nuestro trabajo del año 2007. La última curva de luz obtenida es de bastante buena calidad lo que corrobora nuestra afirmación.

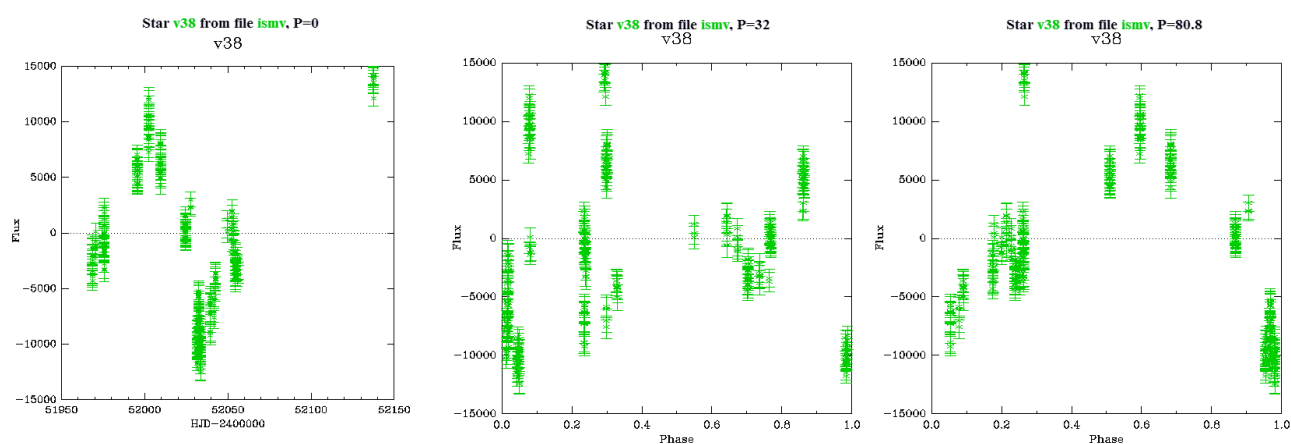


Figura 3. Mediciones originales de Kopacki *et al.* (panel izquierdo), los mismos datos representados con un período $P = 32$ días (panel central) y con $P = 80,8$ días (panel derecho): sólo en este último caso la curva de luz es coherente.

⁴ Esto se puede realizar a través de VizieR: para ello el lector puede acceder a las mediciones fotométricas originales (ver Bibliografía) y escribir en la herramienta digital que utiliza y dibuja estos datos cualquier valor numérico.

En el año 2019 Deras y colaboradores la estudiaron durante seis noches (en dos campañas: del 7 al 9 de junio la primera y del 3 al 5 de agosto de 2014 la segunda) utilizando un chip capaz de capturar un campo de 10,1' x 10,1' unido al telescopio de dos metros del Indian Astronomical Observatory: según estos investigadores es un astro de magnitud media 12,13 V con una amplitud superior a 0,16 magnitudes en banda V . Al disponer de escasos datos no pudieron determinar su período conformándose con citar los ~ 32 días anunciados por Osborn *et al.* previamente.

El *AAVSO International Variable Star Index VSX* (Watson *et al.*, 2014) la incluye como una variable de tipo SR (semirregular) de magnitudes 12,030 V en el máximo y 12,220 V en el mínimo (amplitud en dicha banda: 0,190 magnitudes) con un período igual a 32 días. En el *General Catalogue of Variable Stars* (Samus *et al.*, 2017) aparece listada como V1556 Her, una variable de tipo SR cuyo período es igual a 32 días y de magnitud 12,030 V en el máximo mientras que el *Updated Catalogue of Variable Stars in Globular Clusters* (Clement *et al.*, 2017) la incluye indicando que su magnitud media es igual a la 12,110 V , su amplitud igual a 0,130 magnitudes siendo un astro de tipo SR con un período igual a 32 días determinado por Osborn *et al.* (2017). Finalmente en el monumental trabajo de Stetson *et al.* (2019) aparece con magnitudes 13,559 B y 12,102 V con un índice de variabilidad igual a 2,313.

En la Figura 1, obtenida con una exposición de 120 s y filtro V Johnson con un catadióptrico de 203 mm de apertura y 2.000 mm de focal desde Cáceres (Observatorio *Norba Caesarina*, M.P.C. Z71), podemos ver una imagen digital del cúmulo y sus componentes hasta la magnitud ~ 17 V : en ella hemos rotulado con la letra L seis estrellas Ludendorff no variables, de magnitudes B y V muy bien determinados por Stetson y colaboradores, que empleamos habitualmente como astros de comparación y chequeo fotométrico; también identificamos en la fotografía a la variable V38 que aparece situada en la parte sur del cúmulo en el inicio de una de las famosas *patas de araña* (que comienza precisamente en ella y finaliza en la nueva variable V63). La Tabla 1 presenta el Diario de Observación de ambas campañas a las que hemos unido la del año 2013 y la de 2021 (hasta inicios de octubre, cuando escribimos estas líneas) para comparar los resultados a lo largo del tiempo: ofrece información muy útil e interesante como el inicio de cada una de ellas (en formato Día Juliano Heliocéntrico), el final de la misma, las noches en las que trabajamos así como el número de fotografías CCD obtenidas en cada campaña:

Tabla 1

<u>Año</u>	<u>D.J.H. Inicio</u>	<u>D.J.H. Final</u>	<u>Noches</u>	<u>Imágenes</u>
2013	2456473,674	2456596,311	124	233
2019	2458672,575	2458770,339	99	492
2020	2459005,665	2459136,336	132	691
2021	2459369,667	2459498,344	(130)	(1.186)

La Tabla 2, por su parte, presenta los datos de las estrellas que hemos identificado en la Figura 1 y son los siguientes: su número dentro del Catálogo de Ludendorff, la denominación oficial en SIMBAD, Ascensión Recta y Declinación (2000.0) tomadas de SIMBAD, magnitudes V , índices de color $B - V$ e índices de variabilidad (I.V.)⁵ tomados del trabajo fotométrico de Stetson *et al.*:

⁵ Nos indican la *probabilidad* de que una estrella concreta sea variable: son muy reducidos en las no variables (p. ej. 0,444 para L848) y más altos en las que realmente lo son (p. ej. 3,217 en V20) o en las estrellas que aparecen muy pegadas a otros astros más brillantes (como en el caso de L77).

Tabla 2

Astro	ID	A.R.	DEC.	V	$B - V$	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
L848	2MASS J16414739+3625111	16:41:47,39	+36:25:11,12	13,110	1,087	0,444
L414	V38 = V1556 Her	16:41:38,69	+36:25:37,90	<i>12,102</i>	<i>1,457</i>	2,313

notemos que la magnitud V y el índice de color $B - V$ de V38 están escritos en cursiva ya que cambian a lo largo del tiempo. Examinando los índices de variabilidad comprobaremos que ninguna de las tres estrellas de comparación que utilizamos para calibrar las imágenes (L745, L158 y L77) presenta variabilidad alguna, lo mismo que sucede con las de chequeo fotométrico (L353, L1073 y L848): esto se pone de manifiesto al dibujar las curvas de luz de las variables, las cuales no presentan anomalías debidas a la variabilidad de alguna de las citadas estrellas de comparación.

2. RESULTADOS.

En la Figura 4 de la página siguiente mostramos las curvas de luz obtenidas⁶ en las campañas de los años 2013 (arriba), 2019 (en el centro), 2020 (debajo de la anterior) y 2021 hasta el día 10 de octubre (abajo del todo): si bien la primera no posee una cobertura tan amplia como las tres restantes, debido a la mala meteorología del año 2013, nos permite observar el comportamiento de la estrella a lo largo de los algo más de cuatro meses que la observamos. Es evidente que cuantas más noches se observen, y más mediciones se obtengan de la variable, mejor podemos observar sus cambios de brillo y con más precisión podremos determinar el período o los períodos que posee: obtener una treintena o dos de fotografías a lo largo de unas pocas noches sirve de poco, o muy poco, sobre todo en variables como son las Gigantes Rojas de M13 (por fortuna la meteorología española es benigna y, en algunas campañas, hemos podido trabajar un gran número de noches a lo largo de seis meses). Como puede verse en las curvas de luz que incluimos nosotros presentamos una “película” –que muestra con toda claridad su comportamiento a lo largo de varios meses– mientras que otros observadores (con telescopios de mayor diámetro y CCDs de mejor calidad pero trabajando bajo una meteorología poco favorable) sólo presentan unas pocas “fotos fijas” con las cuales es difícil seguir en detalle las variaciones de brillo, los distintos ciclos y incluso determinar sus períodos con un mínimo de precisión, seguridad y calidad.

En la Tabla 3 mostramos la información que hemos extraído de las mediciones fotométricas analizadas con el programa *FotoDif* a partir de nuestras imágenes: tabula la campaña en la que ha sido estudiada, el número de mediciones (puntos) obtenidas durante la misma, la magnitud media en banda V y la dispersión de las mediciones debido a la variabilidad de la misma (σ), la amplitud en dicha banda así como el rango en la que se ha encontrado y medido.

⁶ Con el mismo telescopio, CCD y filtro fotométrico (V Johnson en este caso): esto representa una enorme ventaja sobre otros observadores los cuales, al no disponer de telescopios propios, han de utilizar distintos equipos (de dispares aberturas y focales) durante unas pocas noches en cada campaña fotométrica.

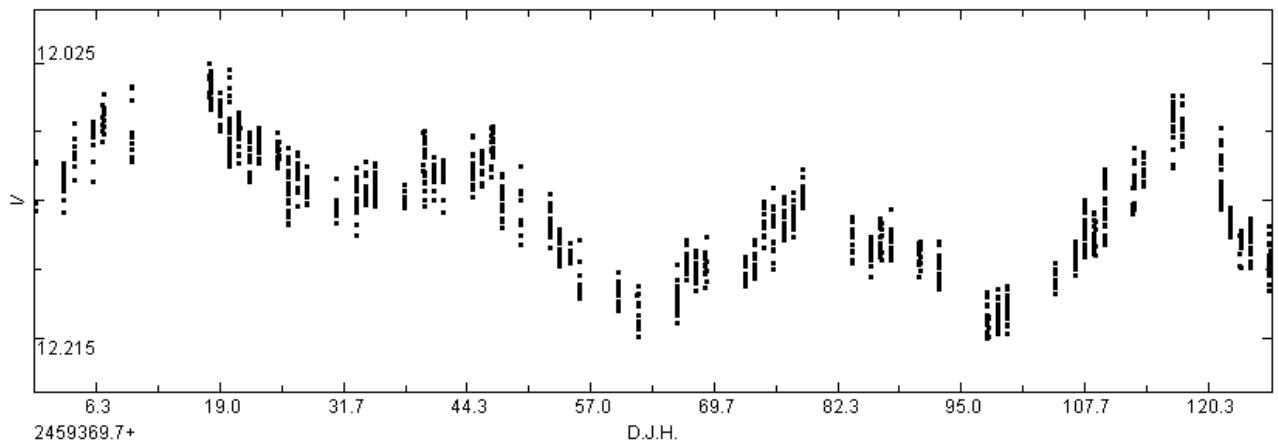
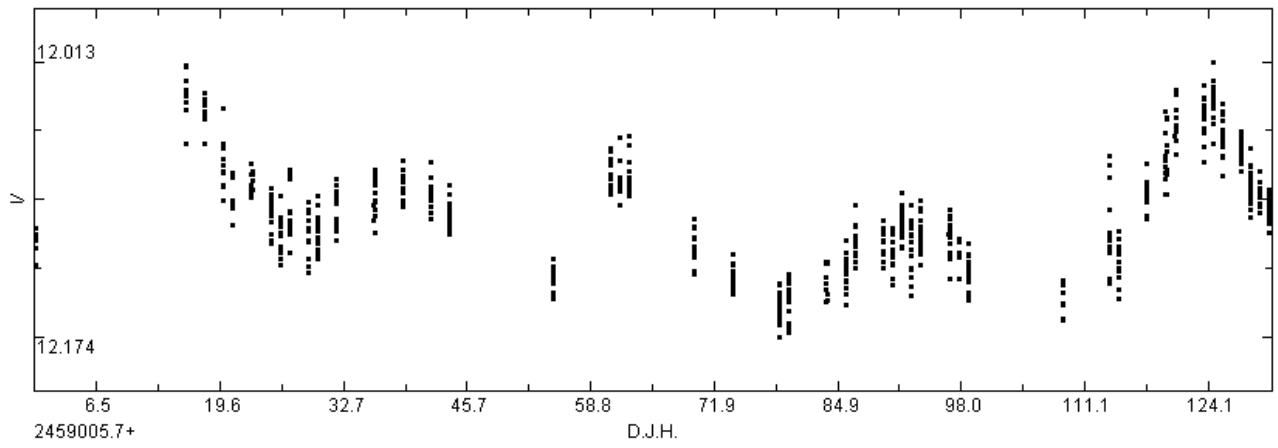
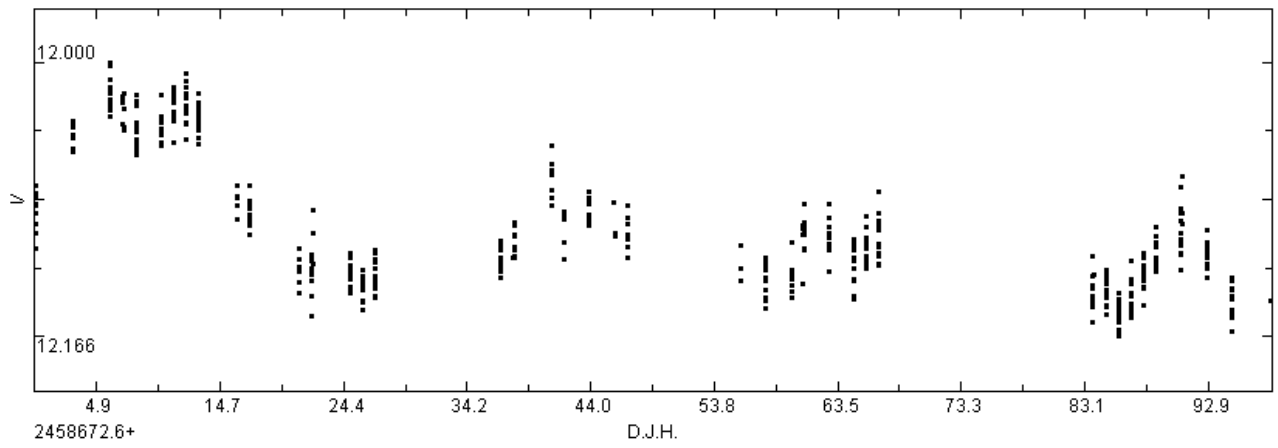
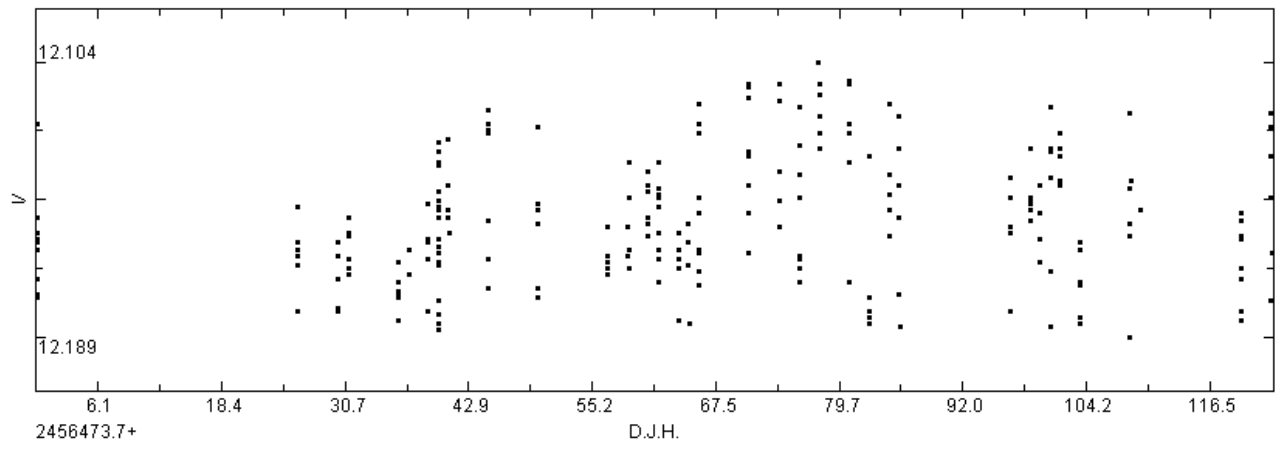


Tabla 3

Campaña	Puntos	Mag. V	Amplitud	Rango
2013	233	12,153 \pm 0,020	0,085	12,104-12,189
2019	492	12,099 \pm 0,040	0,166	12,000-12,166
2020	691	12,101 \pm 0,033	0,161	12,013-12,174
2021	1.186	12,127 \pm 0,040	0,190	12,025-12,215

Un rápido vistazo a la Tabla nos muestra que en las últimas tres campañas (2019-2021) su magnitud V media ha descendido mientras que su amplitud se ha incrementado levemente en 2021: cuando analicemos las mediciones ASAS-SN obtenidas en el mismo intervalo temporal veremos que es un hecho real y también se aprecia bastante bien en ellas.

3. DETERMINACIÓN DE SU PERÍODO.

Los ficheros que contienen las mediciones fotométricas obtenidas en las distintas campañas se han abierto, examinado con el programa *A.V.E.* (Análisis de Variabilidad Estelar) y analizado con el periodograma de Scargle (1982) para determinar el o los posibles períodos: en todos los casos la búsqueda se ha realizado en el intervalo 10–175 días; los resultados se muestran en la Tabla 4 la cual incluye la campaña y los períodos obtenidos: P1 (el principal y más destacado de todos), P2 (secundario, algo menos importante), P3 y P4 siendo estos últimos menos destacados:

Campaña	Tabla 4			
	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
2013	28,26	111,78	---	---
2019	32,08	48,46	161,25	22,13
2020	135,99	27,23	54,88	21,32
2021	138,34	33,39	23,27	18,81

el período oficial, tomado del *Catalogue of Variable Stars in Galactic Globular Clusters*, es igual a 32 días y corresponde al publicado por Osborn y colaboradores en su trabajo del año 2017. Al examinar las curvas de luz primero, y enseguida la Tabla 4, notamos que esta variable no presenta un único *período largo* destacado, como ocurre por ejemplo en V11, sino que tiene al menos dos períodos cortos (de 20 a 35 días) que parecen interferir entre ellos –sumándose en ocasiones– formando un *pseudo período* algo más largo de duración dispar: de hecho cualquier curva de luz (especialmente las tres últimas) pueden descomponerse en pequeños “arcos” (pulsaciones de la estrella) cuya duración está comprendida entre estos límites; el *período medio* (de 48 a 55 días) e incluso el *período largo* pueden, de este modo, dividirse en pulsaciones, ciclos o cambios de brillo mucho más cortos unidos total o parcialmente. Este fenómeno es muy visible en la curva de luz del año 2021 la cual parece presentar un ciclo de duración media (algo más de sesenta días) y dos cortos cuando, en realidad, está formada por cuatro *ciclos cortos*. En la Figura 5 de la página siguiente mostramos los periodogramas obtenidos a partir de nuestras mediciones: en 2013 el período más destacado era corto (28 días), se alargó un poco en 2019 (32 días) ganando fuerza (aparentemente) los *largos* en las dos campañas siguientes en detrimento de los *cortos*: 136 días en 2020 y 138 días en 2021. Es un fenómeno muy curioso pero sin duda real: V38 no tiene un *período largo* sino varios *períodos cortos* superpuestos o parcialmente fundidos entre ellos.

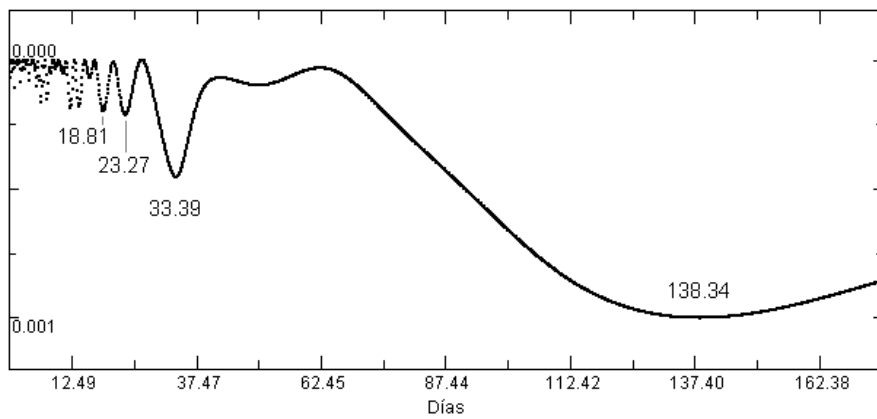
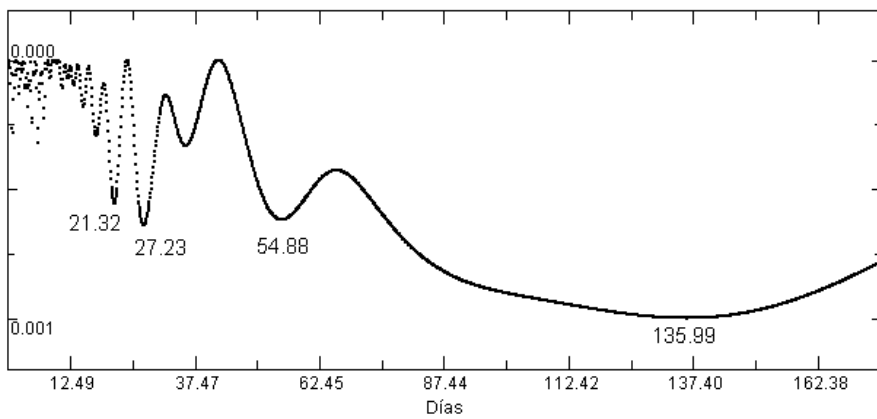
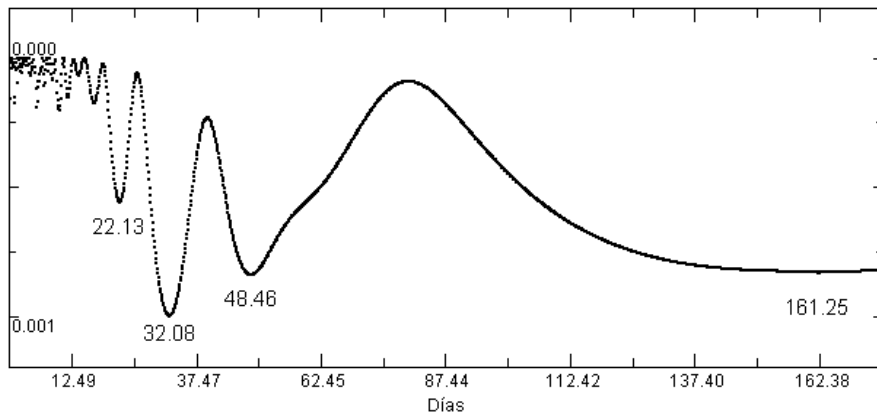
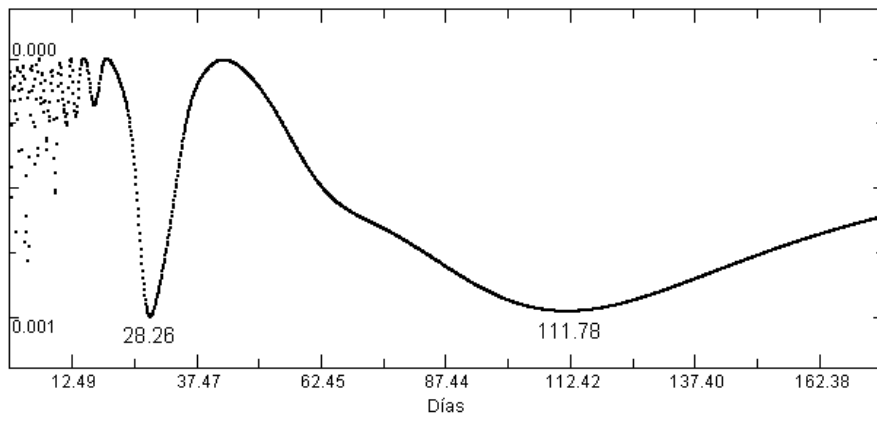


Figura 5. Periodogramas de las distintas campañas: de arriba a abajo son de los años 2013, 2019, 2020 y 2021.

Esta hipótesis tan arriesgada y novedosa se confirma plenamente cuando dibujamos las curvas de luz de los años 2019 a 2021 empleando las mediciones ASAS-SN en banda g , lo que hacemos en la Figura 6 (bajo estas líneas): el lector puede comprobar que tanto en la curva del año 2019 (panel superior) como en la de 2020 (panel central) y en la de 2021 (panel inferior) se aprecian con claridad estos *ciclos cortos* mencionados en el párrafo anterior; también, como ya indicamos con anterioridad, su amplitud en los últimos años es levemente mayor: los dos mínimos con los que finaliza la campaña de 2021 son más profundos que cualquiera de los dos o tres anteriores.

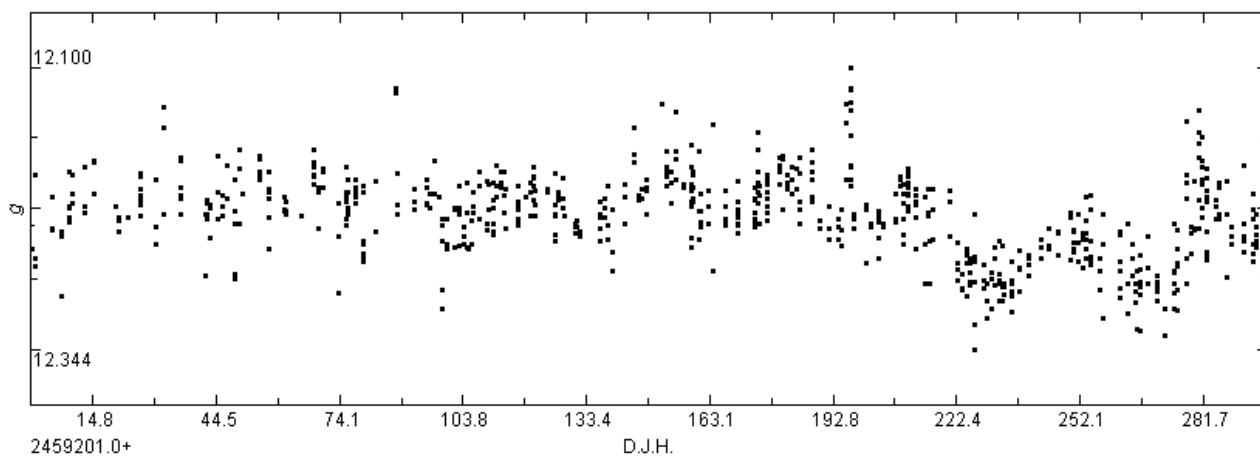
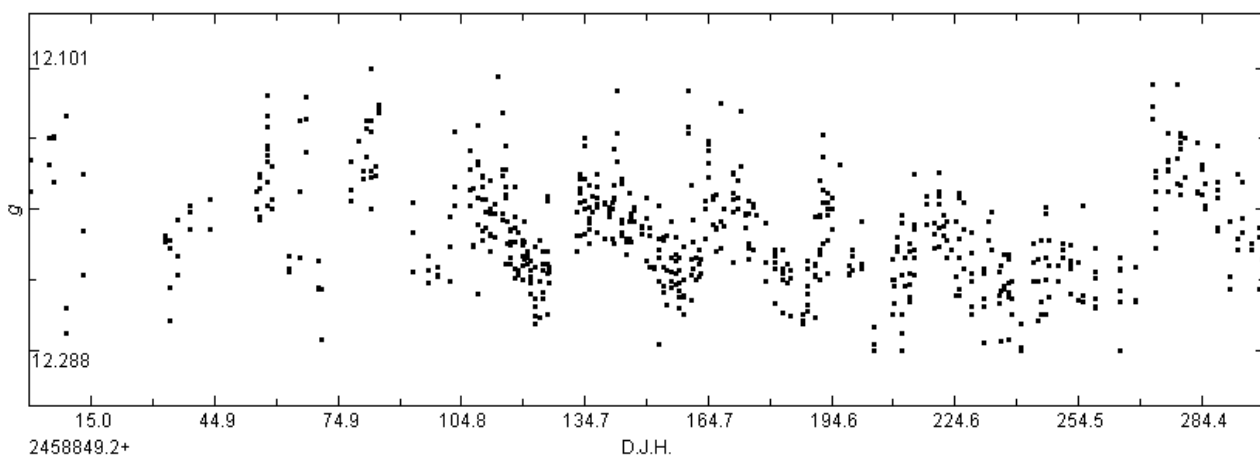
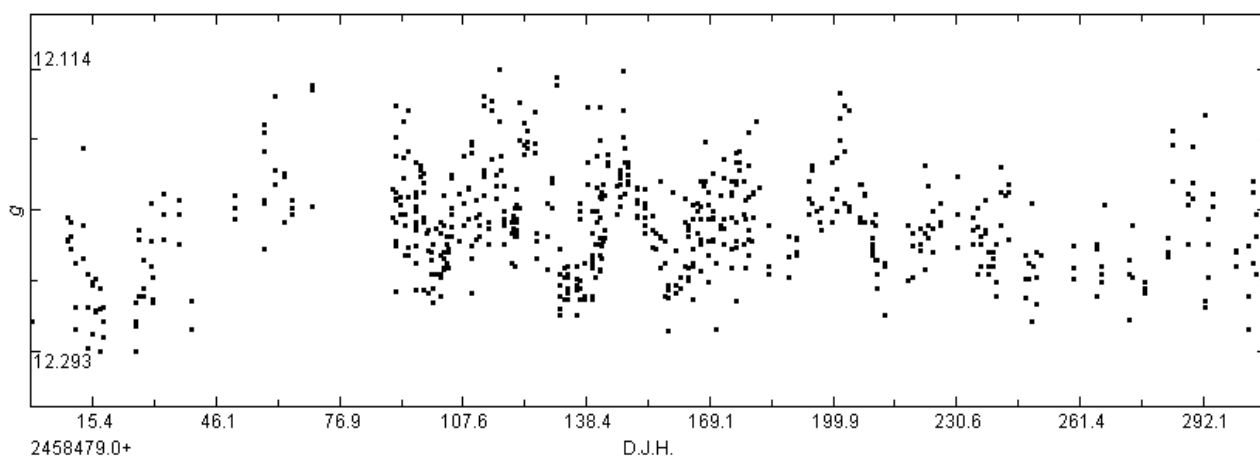
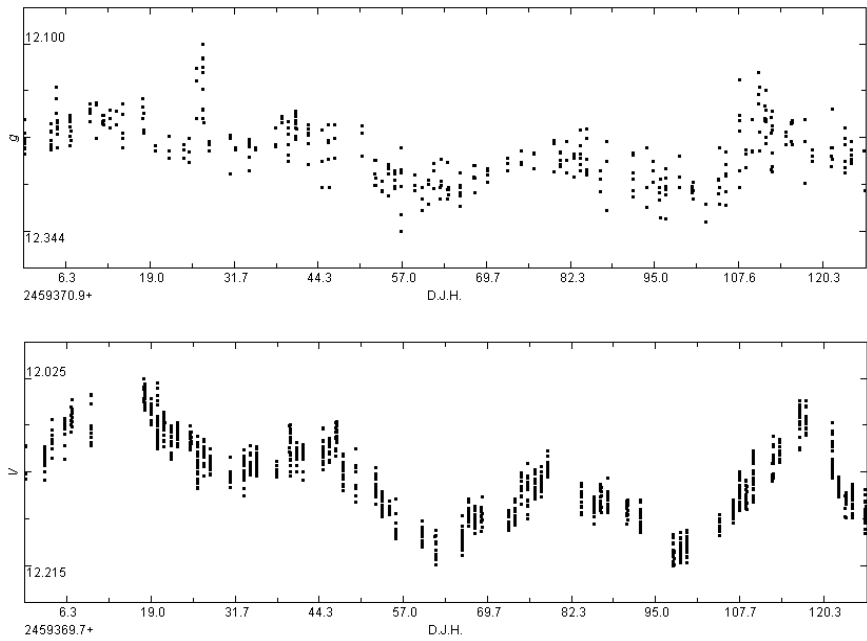


Figura 7. Comportamiento lumínico de la estrella V38 entre finales de mayo e inicios de octubre de 2021 utilizando los datos fotométricos del sistema de telescopios ASAS-SN en banda *g* (el panel superior) y los obtenidos por nosotros en el mismo período en banda *V* (panel inferior). Aunque nuestros datos son mucho más abundantes (1.186 mediciones contra sólo 385) y presentan una dispersión menor en ambas curvas se aprecian con toda claridad los cuatro *ciclos cortos* ya mencionados con anterioridad: los dos primeros parecen dibujar en la curva ASAS-SN un ciclo que dura en torno a 60 días pero que en nuestra curva se divide con claridad en dos, más cortos, que no alcanzan el mismo brillo en los máximos.



Estamos a tiempo para reconocer nuestro error pero matizando: el período de V38 no es *largo* (como indicamos en nuestro trabajo del año 2005 y luego el de 2007, cuando lo ciframos en unos 80-83 días según empleásemos datos fotométricos o velocidades radiales) aunque lo puede parecer si se disponen de pocas mediciones: de hecho Osborn y Fuenmayor lo encontraron en torno a unos 105 días. Cuando se poseen abundantes mediciones de calidad (tres o cuatro campañas seguidas, por ejemplo) se comprueba que esta variable pulsa con varios períodos cortos –de 20 a 35 días– que, al interactuar entre ellos, originan “pseudo-períodos” más dilatados fruto de este fenómeno: el período oficial (32 días) no es correcto dado que son varios los períodos cortos existentes.

4. POSICIÓN DE V38.

En varios trabajos anteriores (p. ej. Violat Bordonau, 2021) determinamos y tabulamos las posiciones de algunas variables de Messier 13: fueron obtenidas utilizando cinco imágenes filtradas (en banda *B* Johnson) capturadas con un reflector de 51 cm de abertura y 4100 mm de focal; las fotografías fueron abiertas y calibradas con el programa *Astroart* utilizando el catálogo UCAC4: registramos en ellas algo más de 3.200 estrellas en cada imagen de todas las cuales hemos obtenido sus coordenadas (equinoccio 2000,0). Presentamos en la Tabla 5 los datos de V38 determinados con este procedimiento: los mismos son la posición determinada por nosotros, la determinada por Osborn (2000), la tabulada por SIMBAD y la de Kopacki *et al.* (2003):

Tabla 5

<u>Violat Bordonau</u>	<u>Osborn</u>	<u>SIMBAD</u>	<u>Kopacki</u>
16 41 38,66 36 25 37,7	16 41 38,71 36 25 38,0	16 41 38,69 36 25 37,9	16 41 38,65 36 25 37,7

al examinar la tabla comprobamos que las diferencias entre las posiciones son muy reducidas.

5. ÍNDICE DE COLOR $B - V$.

En un trabajo anterior (Violat Bordonau, 2021) presentamos en su Tabla 4 las magnitudes B y V medias e índices de color $B - V$ de algunas estrellas y variables del cúmulo a partir de los cuales elaboramos un diagrama color-magnitud (Figura 3 de dicho trabajo): para ello utilizamos catorce imágenes filtradas, siete con el filtro B y otras tantas con el V , obtenidas en la noche del 10 de septiembre de 2020 con un catadióptrico de 203 mm de abertura y 2000 de focal; las fotografías se abrieron con el programa *FotoDif* y calibrado utilizando la estrella no variable L158 de magnitudes 13,874 B y 12,674 V según Stetson *et al.* (2019). En la Tabla 6 presentamos los valores obtenidos para V38; las distintas columnas muestran el Día Juliano Heliocéntrico en el que se adquirieron las imágenes, las magnitudes en banda B , el error y la relación señal/ruido en esta banda así como idénticos elementos (fecha, banda, error, etc.) en banda V :

Tabla 6

D.J.H.	B	\pm	S/R	D.J.H.	V	\pm	S/R
2459103.40505	13,633	0,015	74	2459103.39257	12,140	0,007	165
2459103.40678	13,642	0,017	64	2459103.39434	12,128	0,007	165
2459103.40837	13,639	0,015	73	2459103.39595	12,117	0,007	165
2459103.40997	13,613	0,014	75	2459103.39758	12,119	0,007	165
2459103.41155	13,656	0,015	73	2459103.39920	12,118	0,007	161
2459103.41323	13,642	0,015	74	2459103.40091	12,125	0,007	160
2459103.41484	13,625	0,014	75	2459103.40249	12,125	0,007	161

las magnitudes medias son iguales a $13,636 \pm 0,014 B$ y $12,125 \pm 0,008 V$ de donde el índice de color $B - V$ (esa noche) era igual a 1,511; Stetson la tabula con magnitudes 13,559 B y 12,102 V con un índice de color $B - V$ igual a 1,457: la diferencia entre ambos valores es de sólo 0,054 magnitudes y se debe a la variabilidad de la estrella.

RESUMEN

Presentamos en este trabajo un estudio fotométrico de la estrella variable V38 (V1556 Her), situada en el cúmulo globular Messier 13, realizado a partir de las imágenes CCD adquiridas en las campañas de los años 2019 y 2020 a las que unimos las capturadas en 2013 y las obtenidas hasta inicios de octubre de 2021; también hemos analizado las mediciones ASAS-SN en banda g obtenidas entre los años 2019 y 2021 (hasta inicios del mismo mes). El análisis de nuestras mediciones fotométricas ha mostrado en todas las campañas al menos dos períodos cortos (de 20 a 35 días) que parecen interferir entre ellos modulando la curva de luz de la variable y produciendo períodos largos falsos (de ~ 45 a ~ 160 días, según la campaña). Su amplitud es muy reducida (0,26 magnitudes en banda B pero de 0,09 a 0,16 en banda V según la campaña y el investigador) que encontramos en el rango 0,09-0,16 V dependiendo de la campaña estudiada; la fotometría ASAS-SN de los años 2019 a 2021 muestra una amplitud de 0,18 a 0,24 magnitudes en banda g según la campaña: estas mediciones confirman la existencia en su curva de luz de pequeños “arcos” (o pulsaciones de la estrella) cuya duración está comprendida entre los límites antes indicados. Todo nos sugiere que esta variable posee al menos dos períodos cortos, de dispar longitud, que modulan y modifican de año en año la forma y amplitud de su curva de luz produciendo máximos y mínimos de distinto brillo y profundidad según la campaña. Se presenta también su posición (2000.0) e índice de color $B - V$ medido en la noche del 10 de septiembre de 2020.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido realizado utilizando los catálogos y bancos de datos de SIMBAD y VizieR (Centro de Datos Estelares CDS de Estrasburgo, Francia), ASAS-SN, NASA's Astrophysics Data System así como los diversos telescopios, las cámaras CCD y rueda de filtros fotométricos (BVR_cI_c) del Observatorio Astronómico *Norba Caesarina* de Cáceres (España).

REFERENCIAS

- Arp, H., 1955, *Astronomical Journal*, 60, 317: [1955AJ.....60..317A](#)
- ASAS-SN, Ohio State University, Dep. Astronomy: <https://asas-sn.osu.edu/>
- Astroart*: <http://www.msb-astroart.com/>
- Clement, C. M., 2017, *VizieR On-line Data Catalog*: [2017yCat.5150....0C](#)
- Cudworth, K. M., Monet, D., 1979, *Astronomical Journal*, 84, 774: [1979AJ.....84..774C](#)
- Deras, D. *et al.*, 2019, *MNRAS*, 486, 2791: [2019MNRAS.486.2791D](#)
- FotoDif*: <http://www.astrosurf.com/orodeno/fotodif/>
- Kadla, Z. I., 1966, *Izvestiia Glavnoi Pulkove*, 24, 93: [1966IzPul..24...93K](#)
- 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](#)
- Meinunger, I., 1979, *Mitt. Verand. Sterne*, Vol. 8, p. 69: [1978MitVS...8...69M](#)
- Mészáros, Sz. *et al.*, 2009, *Astronomical Journal*, 137, 5, 4282: [2009AJ....137.4282M](#)
- NASA/ADS: <https://ui.adsabs.harvard.edu/classic-form>
- Osborn, W., Fuenmayor, F., 1977, *Astronomical Journal*, 82, 395: [1977AJ.....82..395O](#)
- Osborn, W., 2000, *Astronomical Journal*, 119, 2902: [2000AJ....119.2902O](#)
- Osborn, W. *et al.*, 2017, *Acta Astronomica*, 67, 131: [2017AcA....67..131O](#)
- Rusev, R. M., 1974, *Soviet Astronomy*, Vol. 18, p.71: [1974SvA....18...71R](#)
- Samus, N. N. *et al.*, 2017, *Astronomy Reports*, Vol. 61, pp.80-88: [2017ARep...61...80S](#)
- Scargle, J. D., 1982, *Astrophysical Journal*, 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](#)
- Viola Bordonau, F., 2005 (enero), web Casanchi: : <http://casanchi.org/ast/fotometrica200402b.htm>
- Viola Bordonau, F. *et al.*, 2007 (julio), web Casanchi: <http://casanchi.org/ast/rojas02.htm>
- Viola Bordonau, F., 2015 (julio), web Casanchi: <http://casanchi.org/ast/m13a01.pdf>
- Viola Bordonau, F., 2021 (febrero), web Casanchi: <http://casanchi.org/ast/fotometria2019202001.pdf>
- Watson, C. *et al.*, 2014, *VizieR On-line Data Catalog*: [2014yCat....102027W](#)
- Welty, D. E., 1985, *Astronomical Journal*, 90, 2555: [1985AJ.....90.2555W](#)
- VizieR Catalogue Service: <https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>
- VizieR. Mediciones de Kopacki *et al.* y herramienta digital para dibujar la curva de luz en función del período): <http://cdsarc.u-strasbg.fr/viz-bin/vizExec/Vgraph?J/A%2bA/398/541/ismv&Saw=v38>

APÉNDICE

CURVAS DE LUZ OBTENIDAS EN LA CAMPAÑA DE 2021

Presentamos en el panel superior de la Figura 8 la curva de luz de V38, en fase, dibujada a partir de las 1.186 mediciones fotométricas obtenidas en la campaña de 2021 en banda V Johnson, utilizando un período igual a 33,39 días mostrado en la Figura 5; aunque el mínimo –por claridad– ha sido representado en la fase 0,500 el lector puede observar que las mediciones dibujan bastante bien una curva (con los máximos en ambos extremos) a partir de las distintas pulsaciones de esta variable. Se aprecian perfectamente de tres a cuatro “ciclos” que, aunque en general siguen la misma trayectoria, no coinciden del todo debido a que no se alcanza la misma intensidad lumínica en cada uno de ellos, no tienen exactamente el mismo período y a la interacción que existe entre los mismos. En el panel inferior hemos dibujado la curva de luz, en fase, utilizando todas las mediciones ASAS-SN obtenidas durante el año 2021 (734 en banda g) empleando para ello un período igual a 32,75 días: pese a la dispersión de estas mediciones el resultado es similar.

