

VARIABLES EN NGC 2419

FRANCISCO VIOLAT BORDONAU

Asesores Astronómicos Cacereños
Observatorio *Norba Caesarina* (MPC Z71)
fviolat@yahoo.es

Resumen. Hemos realizado un estudio del lejano cúmulo globular NGC 2419, situado a casi 270.000 años luz de la Tierra, para comprobar si era posible observar algunas de sus estrellas variables. El resultado inicial (en el lejano año 2000), repetido en 2013 y 2016, muestra que no sólo es posible obtener las curvas de luz y determinar los periodos de las siete u ocho más brillantes (hasta la magnitud ~ 18.5 *V*) si no que, con cielos oscuros y exposiciones prolongadas, es factible distinguir en él estrellas de hasta la magnitud ~ 20.5 -21.0 *V*.

1. INTRODUCCIÓN.

El cúmulo globular NGC 2419, conocido en la literatura profesional como C 0734+390 y GCL 12, es un conjunto de astros muy viejos situado en la constelación Linx a una distancia de unos 82.6 kiloparsecs (Harris, 2010): en torno a 269.300 años luz; sus coordenadas son: α : 18h 54m y δ : +36° 49' (2000.0). Según datos de SIMBAD se aproxima a la Tierra a una velocidad de 21.60 kms⁻¹ debido al movimiento del Sol alrededor del centro galáctico. Descubierta en diciembre de 1788 por sir William Herschel, fue estudiado posteriormente por su hijo sin que pudiese determinar su verdadera naturaleza: sería William Parsons (Lord Rosse) quien, en 1878, anunciase que es un cúmulo globular de reducido tamaño y bajo brillo aparente.

En mayo del año 2000 realizamos un sencillo estudio capturando algunas imágenes, las primeras (para nosotros) de este tipo de objetos: la idea era iniciar un ambicioso trabajo fotométrico de estrellas variables situadas en cúmulos globulares (y más tarde abiertos), por lo cual no publicamos los resultados enseguida (Violat, 2003); en el ínterin observamos y capturamos otros globulares como Messier 13, Messier 3 o Messier 92, resolviéndolos en sus débiles componentes y localizando (con esfuerzo, a falta de cartas oficiales) sus distintas estrellas variables: de hecho en la primavera de 2001 iniciamos el estudio fotométrico de las variables de Messier 13 publicando, poco después, los primeros resultados y confirmando y/o descubriendo algunas nuevas variables rojas.

El razonamiento era el siguiente: si podíamos observar débiles estrellas en este globular, uno de los más lejanos asequibles a instrumentos de aficionados, seríamos capaces de capturar y estudiar variables en cúmulos más próximos (como Messier 13, Messier 3, Messier 4 o Messier 92 entre otros). Con los resultados obtenidos en la primavera de 2001 iniciamos un estudio fotométrico de Messier 13 que se ha extendido hasta el año 2016.

2. EQUIPO UTILIZADO.

En la campaña del año 2000 empleamos una cámara CCD Starlight Xpress modelo MX-5, de 16 bits, utilizando un telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura y 2000 mm de focal; en las posteriores se han capturado imágenes con una Starlight Xpress, modelo SXVF-M7, de 752 x 580 píxeles de 8.6 micras de lado y 16 bits, acoplada al foco primario del mismo telescopio (focal real: 1947.4 mm); el campo cubierto ha sido de 11.4' x 8.5' con una escala igual a 0.90"/píxel. Dicho telescopio dispone de una montura EQ6*Pro* con un telescopio-guía de 75 mm de diámetro y 500 mm de focal, utilizando una CCD modelo QHY 5-II para el guiado automático.

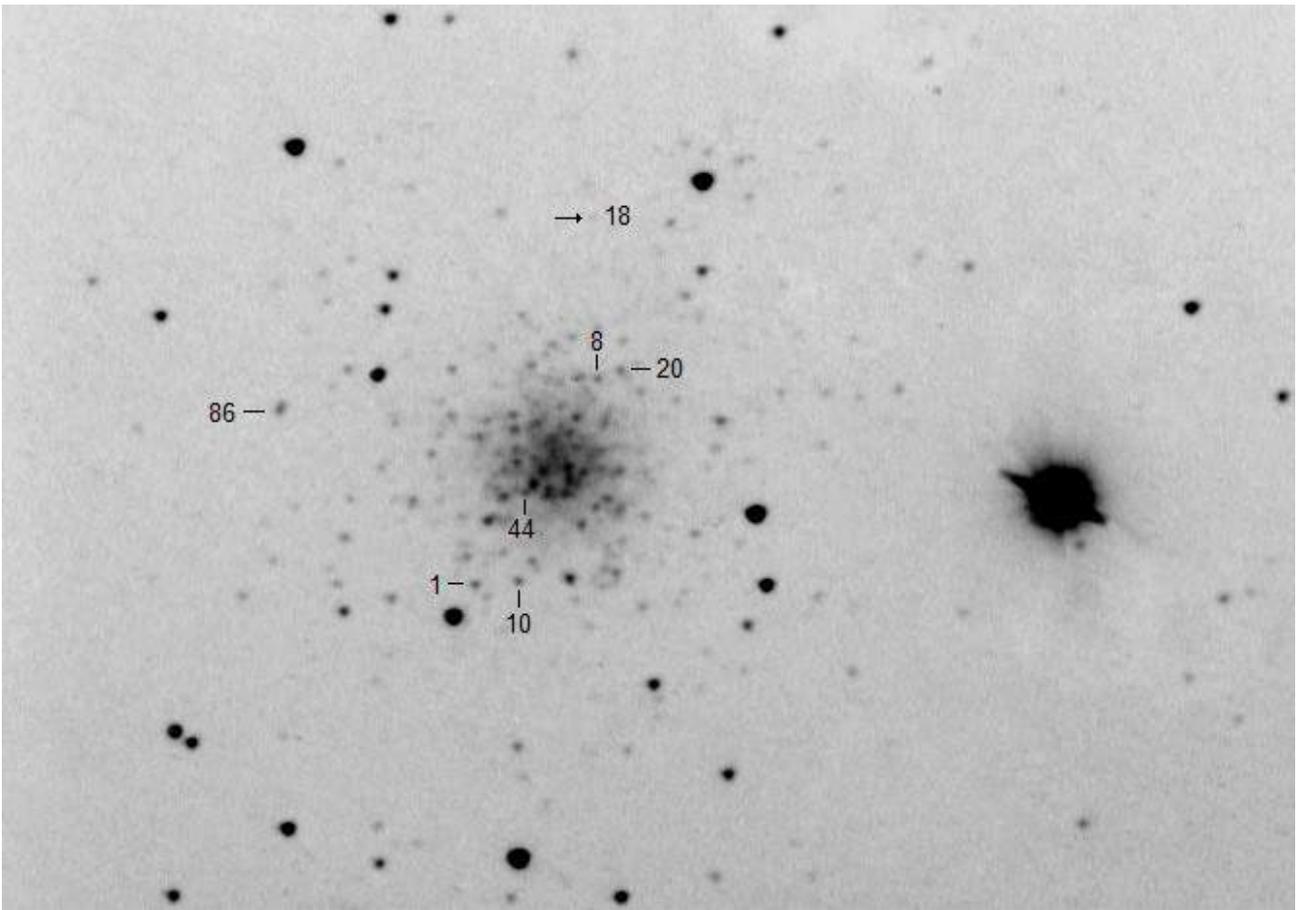


Figura 1. Siete estrellas variables identificadas en una de nuestras imágenes: V86 es la componente más brillante de una binaria muy cerrada; el resto de las mismas son ya muy débiles (por encima de la magnitud 18.5 V) o se localizan fuera del campo capturado con nuestro equipo. Norte arriba y este a la izquierda; tiempo de exposición: 1800 s en luz integral.

3. RESULTADOS.

En la Figura 1 hemos identificado hasta siete variables sobre una de nuestras imágenes más profundas (30 minutos de exposición, en luz integral) mientras que en la Tabla I aparecen los principales datos de las mismas tomados de Clement (2011), ordenadas por la magnitud en su máximo (en banda V): entre ellas están las primeras seis variables más brillantes (de tipo L o LB: variables rojas lentas, irregulares) así como la Cefeida V18 (de tipo CWA: Cefeida de clase W Vir). V44, finalmente, es de tipo desconocido pero de reducida amplitud.

Tabla I
Variables en NGC 2419

Nº	α	δ	Período	Mag V	Amplitud	Tipo
10	07:38:09.89	+38:52:01.1	19.050	17.123	0.344	LB
08	07:38:06.84	+38:53:34.1	13.00	17.362	0.118	LB
20	07:38:05.96	+38:53:38.2	52.950	17.386	-----	L
44	07:38:09.67	+38:52:41.3	0.8758	17.393	0.174	?
01	07:38:11.61	+38:51:59.0	198.00	17.437	-----	LB
86	07:38:19.62	+38:53:15.7	49.60	17.466	0.289	LB
18	07:38:07.17	+38:54:46.8	1.5787	18.873	0.750	CWA

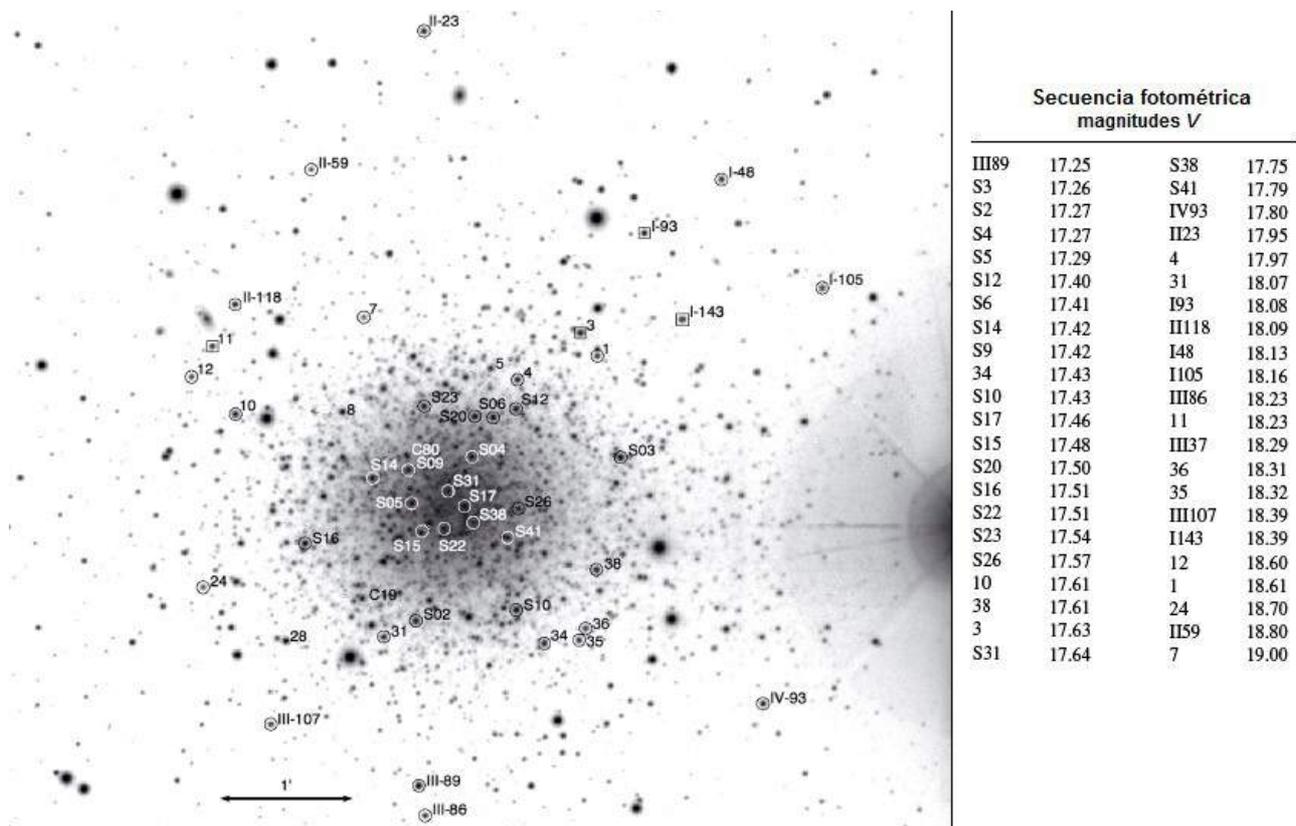


Figura 2. Completa secuencia fotométrica, en banda V , tomada del trabajo de Baumgardt *et al.* (2009): identifica cuarenta y cuatro estrellas entre las magnitudes 17.25 y 19.00 V .

Los tiempos de exposición han oscilado entre los 180-300 s y los 900-1860 s en luz integral: en el primer caso todas las imágenes han mostrado el núcleo, perfectamente resuelto en sus distintos astros componentes, mientras que en el segundo (imágenes profundas) se han podido distinguir estrellas en el límite de nuestro equipo (~ 20.5 - $21.0 V$); vamos a analizarlo con detalle.

En la Figura 2 presentamos, en dos paneles, una completa secuencia fotométrica formada por cuarenta y cuatro estrellas entre las magnitudes 17.25 y 19.00 V (panel derecho), tomada del trabajo de Baumgardt *et al.* (2009), y estas mismas estrellas identificadas sobre una imagen del cúmulo obtenida por los autores del citado trabajo (panel izquierdo).

La Figura 3, por su parte, presenta también dos paneles: en el derecho aparece una ampliación de la zona oriental del cúmulo mostrando tres débiles y distantes galaxias (rotuladas A, B y C) así como la variable V86, que es la componente sur de una estrella binaria cerrada. El panel izquierdo, ampliación de una de nuestras imágenes profundas (1860 s), muestra las tres mismas galaxias pero, en este caso, hemos añadido una secuencia fotométrica entre las magnitudes 17.51 y 19.00 V , tomada del trabajo recién citado: en dicha imagen se aprecia con claridad la estrella de magnitud 19.00 V lo que indicaría, en una primera aproximación, que este es el límite de nuestro equipo.

Podemos intentar obtener imágenes muy profundas alargando los tiempos de integración hasta los 25-35 minutos, o incluso más si lo permite la oscuridad del cielo y el seguimiento: la ganancia no es mucha, pero se pueden arañar unas décimas haciendo retroceder el límite hasta la magnitud 19.5-20.0 V ; en este caso no es fácil identificar las estrellas más débiles del ruido de fondo, salvo si realizamos un procesamiento digital *brutal* modificando brillo, contraste y empleando una máscara de enfoque que las realcen adecuadamente.

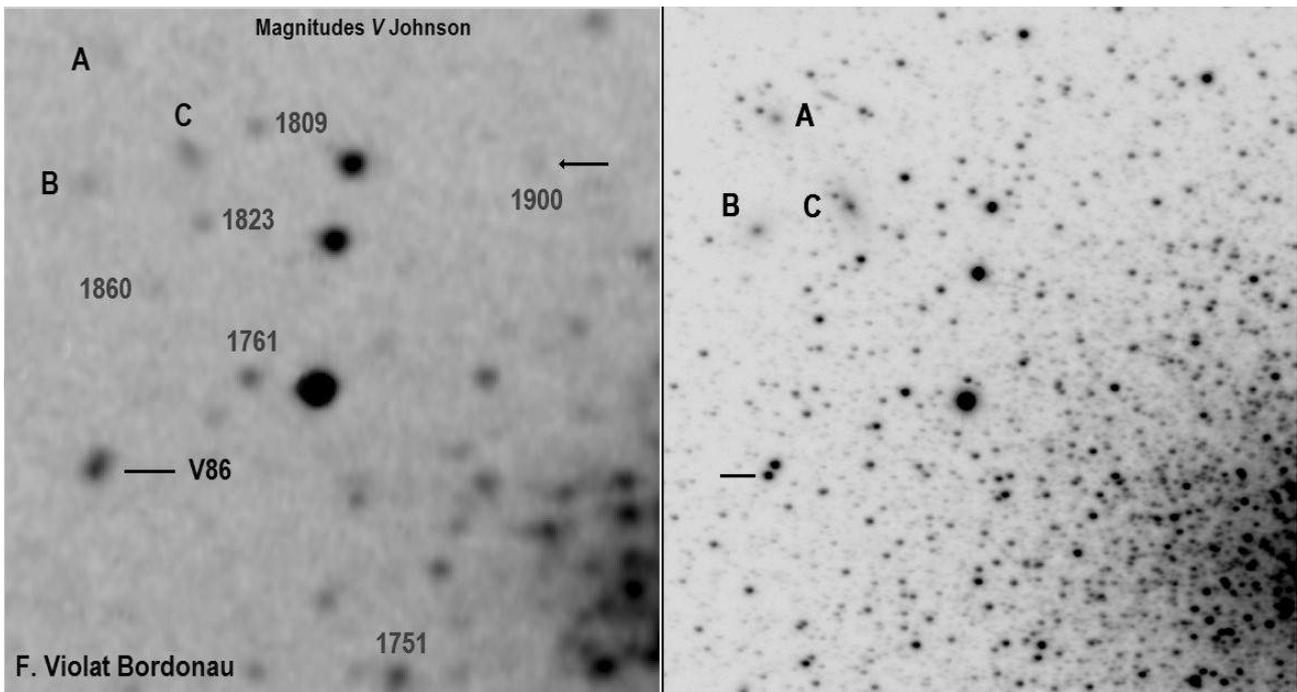


Figura 3. Ampliación en negativo del sector Este del cúmulo. Sobre la imagen profesional (derecha) se han marcado tres lejanas galaxias así como la variable V86; en nuestra imagen (izquierda) hemos rotulado la magnitud V de algunas estrellas de referencia, la variable y las mismas tres galaxias.

En la Figura 3, por ejemplo, podemos apreciar fácilmente astros desde la magnitud 17.51 a la 18.23 V , pero ya es más difícil distinguir la estrella de magnitud 18.60 V ; la de 19.00 V no es fácil en absoluto, salvo que conozcamos su posición o la comparemos con la carta que presentamos. El problema de los astros más débiles es su baja relación señal/ruido, destacando con dificultad del fondo del cielo: de hecho esta imagen no muestra dicho fondo blanco (negro, en la fotografía original) sino gris; un tratamiento más agresivo del brillo y el contraste pone de manifiesto de inmediato estrellas por encima de la magnitud 19.5 V , como veremos a continuación.

El mayor problema que encontramos a la hora de medir la magnitud límite de nuestro equipo no es capturar imágenes profundas (de 30-40 minutos de exposición), sino poder identificar en ellas estrellas muy débiles. Una vez obtenidas y procesadas dichas imágenes profundas necesitamos consultar trabajos profesionales que cumplan, a la vez, estos dos requisitos:

- a) disponer de una buena secuencia fotométrica, con astros de magnitudes elevadas y
- b) presentar una o varias cartas en las cuales se identifiquen adecuadamente dichas estrellas.

En el caso del cúmulo que nos ocupa existen trabajos fotométricos, algunos de ellos muy recientes, pero no todos cumplen ambos puntos a la vez: elaborar a mano una carta, a base de consultar coordenadas celestes proporcionadas en el trabajo, y dibujar sobre ella una secuencia fotométrica adecuada en ocasiones es una auténtica tortura. Lo ideal es disponer de algún trabajo fotométrico en el cual la tarea se nos facilite o ya esté hecha: es preciso rebuscar entre los numerosos *papers* publicados, aunque sean antiguos; por fortuna encontramos uno firmado por Racine y Harris (1975) que nos aligeró el trabajo: el resultado se muestra en la Figura 4.

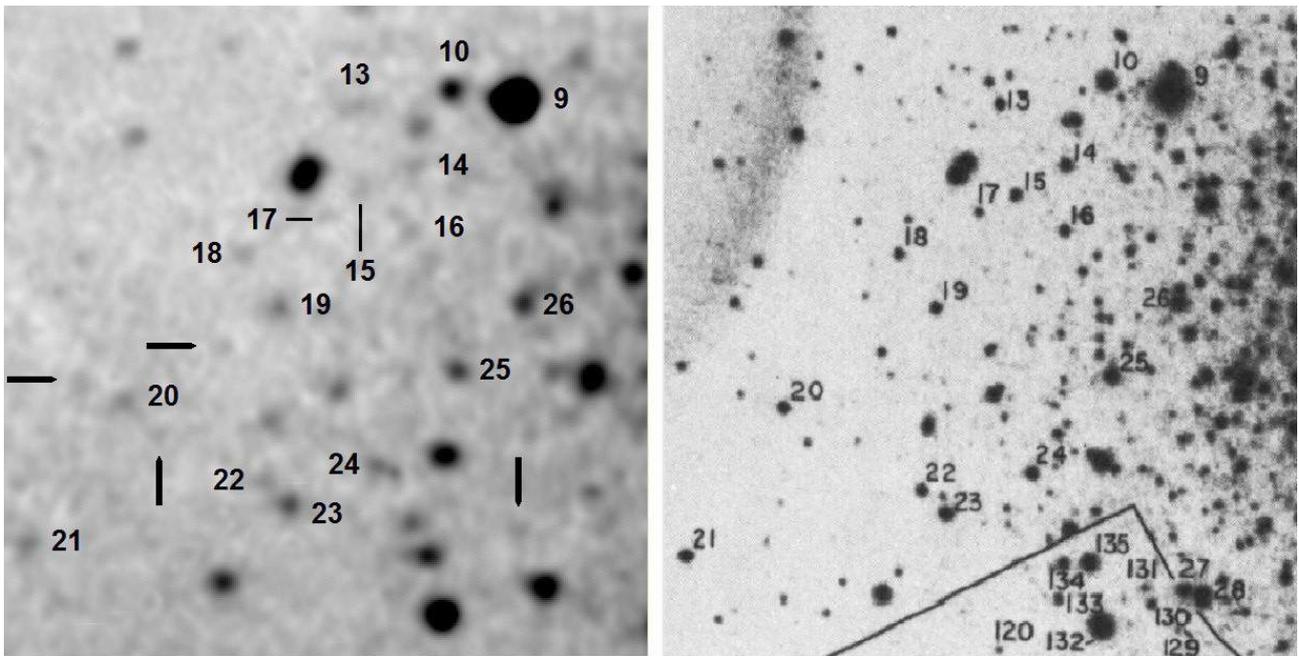


Figura 4. Sector Este del cúmulo: a la derecha imagen tomada del trabajo de Racine y Harris (1975), a la izquierda ampliación de una de nuestras imágenes profundas (1860 s); la secuencia fotométrica de estos autores ha sido representada sobre nuestra imagen para determinar el límite de magnitud. Las flechas señalan cuatro astros que parecen ser más débiles que la estrella número 17 (de magnitud 20.0 *V*).

El trabajo fotométrico de Racine y Harris, aunque antiguo, tiene la ventaja de presentar una completa secuencia fotométrica hasta la magnitud 22.5 *V*: sobrada para nuestros propósitos; además cumple los puntos a) y b) ya que no sólo dispone de una amplia secuencia (desde la magnitud 13.45 a la 22.47 *V*) sino que identifica todos estos astros sobre dos imágenes del cúmulo.

En la Figura 4 mostramos, en dos paneles, el mismo sector del cúmulo: corresponde a la zona oriental en donde se sitúa la variable V86 (la brillante estrella binaria situada junto al astro número 17); el panel derecho ha sido tomado del citado trabajo mientras que el izquierdo es una ampliación de una de nuestras imágenes más profundas: en ella hemos identificado y rotulado las mismas estrellas que aparecen listadas y marcadas en el *paper*, lo que nos permite determinar cuál es la más débil que podemos reconocer todavía empleando la secuencia fotométrica, que mostramos en la Tabla II (situada bajo estas líneas).

Cuando estudiamos la imagen notamos que podemos identificar con toda claridad la estrella nº 25 (magnitud 18.05 *V*), la 21 (18.64), la 19 (18.99) y la 18 (19.48). La que marca el límite de magnitud en nuestra imagen es la número 17 (20.00 *V*). Si aguzamos la vista un poco llegamos a distinguir cuatro astros (marcados con flechas) que parecen ser más débiles que dicha estrella y podrían situarse en torno a la magnitud 20.5-21.0 *V*: no está nada mal para un telescopio de 20 cm de abertura que ha trabajado en la periferia de una ciudad como Cáceres, con cielos bastante oscuros y limpios pero que en ningún caso es completamente negro (como el rural)...

NGC 2419 - PROGRAM STARS					INNER REGION			
1	18.35	1.05	13	19.33	0.93	25	18.05	1.08
2	18.70	1.04	14	18.93	1.00	26	17.81	1.11
3	17.54	1.36	15	19.28	0.80	27	18.62	0.76
4	17.76	1.21	16	19.23	0.88	28	17.30	1.38
5	17.68	1.23	17	20.00	0.53	29	13.85	1.00
6	19.14	1.01	18	19.48	0.77	31	17.78	1.22
7	18.84	1.03	19	18.99	0.92	33	18.32	1.03
8	17.43	1.40	20	18.64	1.07	34	17.45	1.11
9	14.50	0.59	21	18.64	0.96	35	18.25	1.06
10	17.59	1.28	22	18.92	0.94	36	18.14	1.13
11	18.25	1.09	23	18.14	0.54	37	18.16	1.13
12	18.63	0.99	24	18.63	0.91	38	17.43	1.33
						39	13.45	0.79

RESUMEN

Hemos obtenido imágenes CCD del lejano cúmulo globular NGC 2419 en los años 2000 (mayo), 2013 (mayo) y 2016 (abril). En dichas imágenes hemos podido identificar hasta siete estrellas variables, de distintos tipos, cuyas magnitudes oscilan entre la 17.123 (V_{10}) y la 18.873 V (la Cefeida V_8). En las fotografías más profundas (1860 segundos de exposición) se han localizado distintas estrellas, de magnitud V bien determinada, utilizando para ellos dos trabajos fotométricos: el de Baumgardt *et al.* (2009) y el de Racine y Harris (1975); en el primer caso se han observado astros de magnitud 19.00 V , en el segundo estrellas de hasta la magnitud 20.00 V aunque con cuatro identificaciones, algo menos fiables, que nos llevarían ya a la magnitud 20.5-21.0 V . Con estos datos comprobamos que la magnitud límite de nuestro equipo ronda, al menos, la 20.0 V trabajando bajo cielos suburbanos. Esperamos poder repetir y mejorar estos resultados durante la futura campaña fotométrica del año 2017.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación ha sido realizado utilizando los catálogos y bancos de datos de VizieR y SIMBAD (Centro de Datos Estelares CDS, Strasbourg, France), Aladin Sky Atlas, NASA's Astrophysics Data System así como el telescopio catadióptrico de 203 mm de abertura y la cámara CCD del Observatorio *Norba Caesarina* (MPC Z71), situado a las afueras de Cáceres.

REFERENCIAS

- Aladin Sky Atlas: <http://aladin.u-strasbg.fr/java/nph-aladin.pl>
Baumgardt *et al.* (2009), MNRAS 396, 2051: <http://cdsads.u-strasbg.fr/abs/2009MNRAS.396.2051B>
Clement, C., (2011), JRASC, 84, 434: <http://www.astro.utoronto.ca/~cclement/cat/C0734p390>
Harris, W. E. (2010), *Cat. Param. Milky Way Globular Clusters*: <http://physwww.mcmaster.ca/~harris/mwgc.dat>
Parsons, W., Lord Rosse (1878): *Scientific Trans. Royal Dublin Society*, Ser. II, 2, 60
Racine y Harris (1975), ApJ 196, 413: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1975ApJ...196..413R>
SIMBAD Astronomical Database: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
Violat Bordonau, F. A. (2003, mayo), web Casanchi: <http://casanchi.com/ast/2419.pdf>
VizieR Catalogue Service: <http://vizier.u-strasbg.fr/>