

## EL CÚMULO NGC 2419

Francisco A. Violat Bordonau  
Víctor Violat Martín

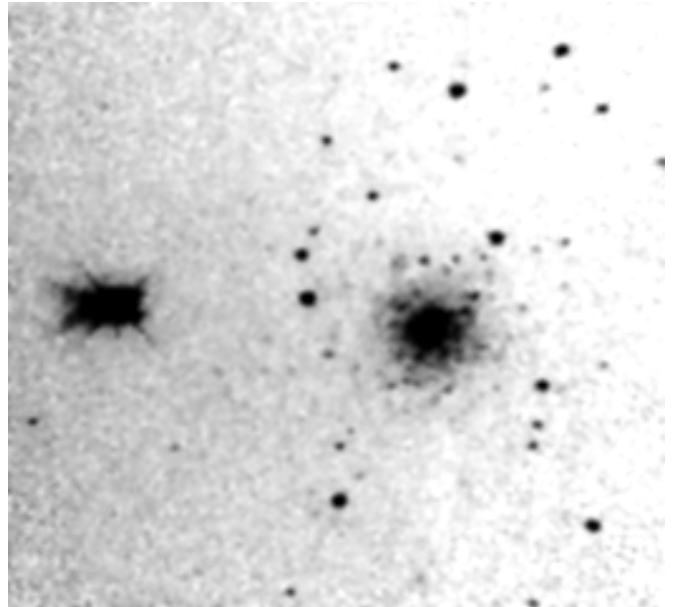
Asesores Astronómicos Cacereños  
Asociación de Variabilistas de España  
fviolat@yahoo.es

El 31 de mayo de 2000 capturamos el pequeño y débil cúmulo globular de Lynx NGC 2419, con la idea de intentar resolver algunas de sus estrellas componentes.

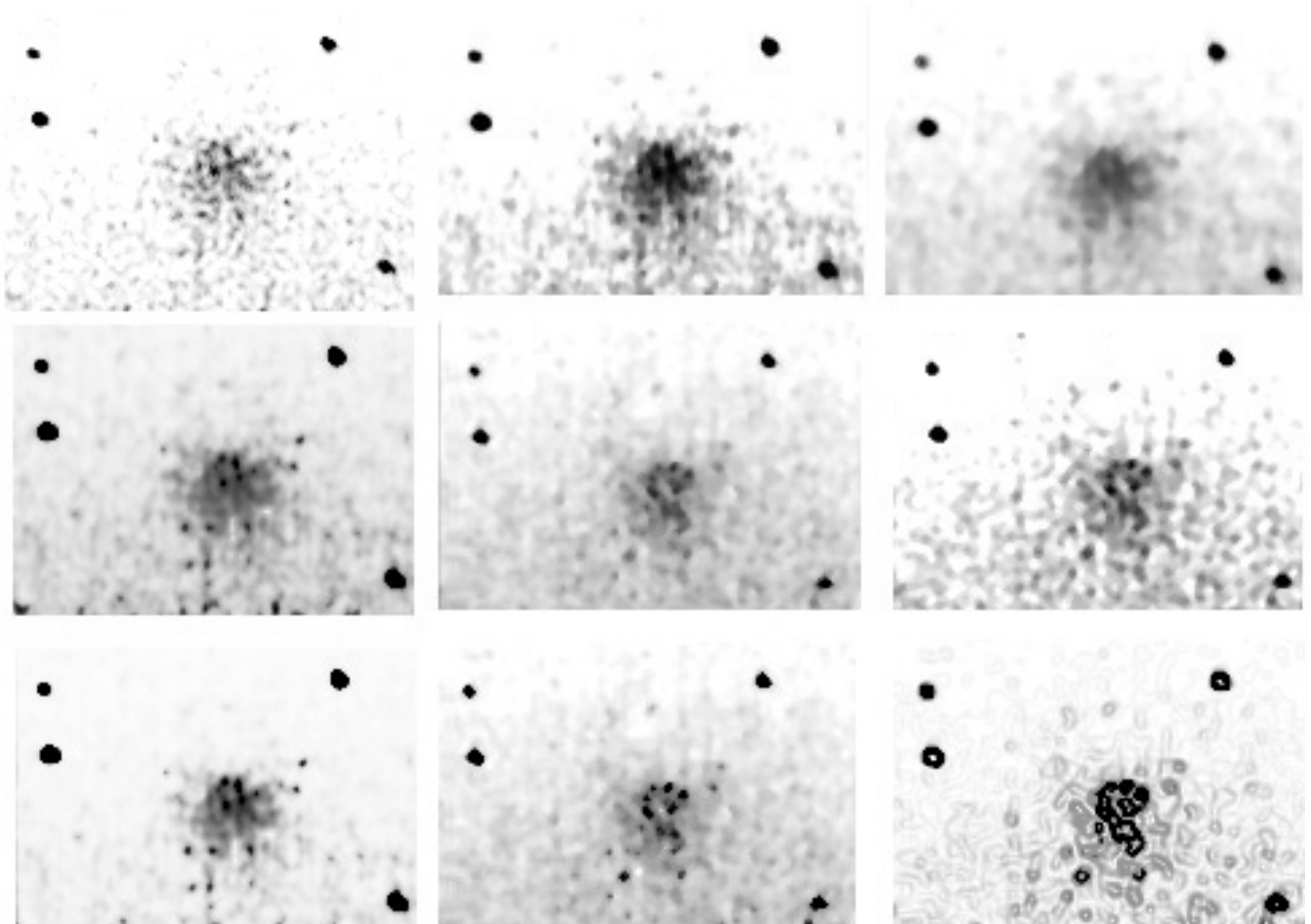
En mayo de 2000 estudiamos por primera vez el pequeño, débil y borroso cúmulo globular NGC 2419 en la constelación Lynx, situado visualmente no lejos de Castor y Polux: esto que a primera vista pudiera parecer carente de interés (cualquiera captura globulares en los tiempos que corren...) no lo es tanto si decimos que se trata posiblemente del globular **más lejano** de nuestra galaxia, situado a unos 93,1 kpc (303.500 años-luz) de la Tierra: fuera ya, por tanto, de la Vía Láctea.

Descubierto en diciembre de 1788 por sir William Herschel, fue estudiado posteriormente por su hijo John sin que pudiese determinar claramente su naturaleza: sería Lord Rosse quien, en 1868, anunciase que se trataba de un cúmulo globular.

Visualmente el objeto presenta un tamaño de



2,1' a 4' según la fuente consultada y el método empleado (7,2' fotográficamente), que corresponde a un tamaño real de aproximadamente 350-380 años-luz; se calcula que su velocidad aparente es de -20 km/s, siendo su brillo total equivalente a 175.000 soles. La magnitud fotográfica conjunta es 10,9<sup>a</sup>, la visual (en luz verde) es 10,37<sup>a</sup>, el índice de color B-V es 0,66 mientras que su espectro conjunto equivale al tipo F5. La *magnitud absoluta* se cifra en la -9,57<sup>a</sup>: si estuviese situado a sólo 10 parsecs (32,6 a.l.) brillaría como un glóbulo amarillo-anaranjado de magnitud -9,57<sup>a</sup>.

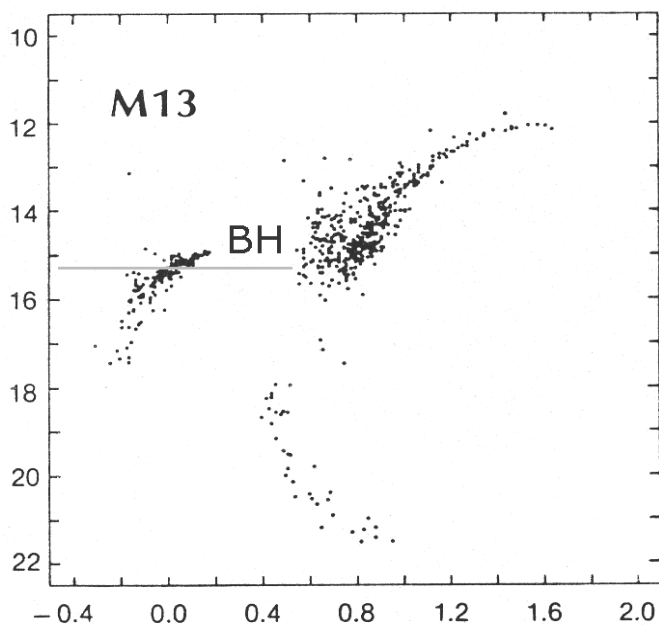


Para que el lector sepa cuál es el aspecto profesional del cúmulo bajamos de Internet una buena imagen del mismo: es la que aparece en la página anterior; junto a una brillante estrella doble bastante cerrada (que en la imagen aparece sobreexpuesta, aunque alargada) podemos distinguir un objeto borroso, difuso, que visualmente es imposible resolver en estrellas: el globular. Esa imagen, capturada también por aficionados, llega a ofrecer los astros periféricos individualizados.

Como es natural las componentes del objeto son muy difíciles de resolver, dada la debilidad de las mismas a causa de la distancia hasta nosotros. ¿Podríamos resolverle con un sencillo catadióptrico de 203 mm de diámetro? En principio cualquiera de nuestras fotografías (en la página anterior, al pie de página, aparecen nada menos que nueve, procesadas con diversos métodos para mostrar sus diferentes aspectos) muestra un astro granuloso, en el cual ¿se ven con claridad algunas componentes individuales? Parece que así es...

Hasta aquí la parte práctica basada en las imágenes: ahora vamos a entrar en la teoría para demostrarlo o desmentirlo.

Las componentes más brillantes de los cúmulos globulares son estrellas del tipo *gigante roja* que pertenecen al denominado *brazo de las gigantes rojas*, una zona del diagrama H-R (junto a estas líneas tenemos el de M13 como ejemplo) situada en la parte superior-derecha, en la cual sólo encontramos astros que han iniciado la combustión del núcleo de helio y, por tanto, han aumentado su tamaño descomunadamente.



Por contra las estrellas que pertenecen a la conocida *secuencia principal* (p. ej. nuestro Sol) están, en este gráfico, en la zona inferior central con astros de la 18ª a la 22ª magnitud...

El brillo aparente de estos astros depende tanto de la **extinción** causada por el polvillo interestelar

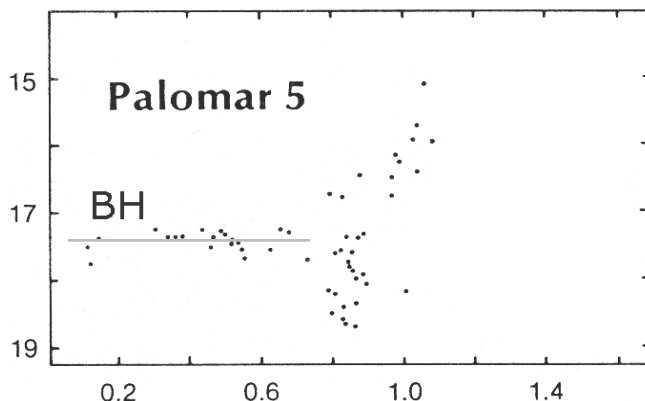


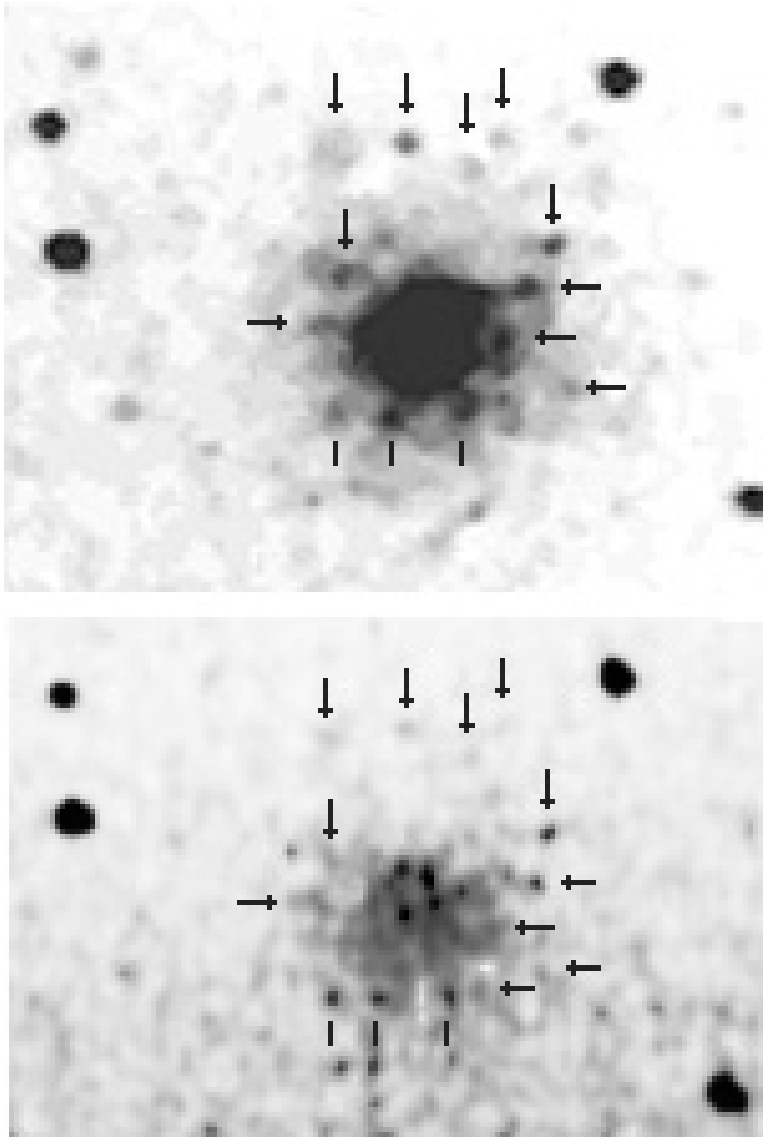
Diagrama H-R del globular Palomar 5: el brazo horizontal es aquí muy nítido así como la zona de las gigantes rojas (15,5ª-16ª magnitud).

(que aquí no tendremos en cuenta), de la **distancia** hasta nosotros y del **brillo real** de las mismas. Por lo general es raro encontrar en los globulares astros más brillantes de la 12ª magnitud y esto sólo ocurre en los más próximos a nosotros; si tomamos 20 de los cúmulos mejor estudiados vemos que al determinar su diagrama H-R (magnitudes visuales en el eje *y* e índices de color en el *x*) lo usual es que los astros más brillantes estén en el rango 12ª-13ª magnitud visual aparente: esto ocurre en M5, M30, 47 Tucanae, M68, M15, NGC 288 o incluso el bien conocido M13. Sin embargo no faltan los objetos que, más distantes, presentan estos mismos astros gigantes en el rango 13ª-15ª: M72, M80, M75, NGC 2298, NGC 6723, NGC 5466, IC 4499, NGC 5897...; pero todavía podemos encontrar globulares que ofrezcan sus astros más brillantes en el rango 15ª-17ª como son NGC 6356, NGC 7006, NGC 5824, M54, Palomar 5 (ver el esquema superior) y algunos otros...

Analizando despacio estos diagramas H-R podemos comprobar que en todos los casos (salvo astros anómalos o aquellos situados delante del cuerpo, más próximos y por tanto **ajenos** ya al mismo) las componentes más brillantes son siempre *gigantes rojas* cuyo índice B-V es 1,2-1,6 llegando en algunos casos extremos (ya bastante raros) a estrellas rojas con un índice B-V de 1,6-1,8 (M75 o IC 4499).

Y ahora vamos al tema que nos incumbe: la captura de sus astros más brillantes y la (aparente) resolución en sus componentes. Tomemos a M13 como ejemplo mental: sus astros más brillantes son de 12ª magnitud y dista 22.820 a.l. (7,0 kpc); si lo colocamos 10 veces más lejano sus astros brillan ahora 100 veces menos, exactamente 5 magnitudes más: por tanto situado con la imaginación a 228.200 a.l. sus astros más brillantes son de la 17ª magnitud... Hagamos lo mismo con M5, situado a 23.000 a.l. y también con astros de la 12ª magnitud: alejado ahora a 230.000 a.l. sus componentes más brillantes quedan en la 17ª magnitud...

El método tradicional para determinar la distancia de modo fiable es emplear el llamado *brazo*



Algunas de las *estrellas* resueltas: aquí aparecen indicadas hasta 14 coincidentes, además de 8 en el seno del cuerpo que no aparecen en la imagen superior (globular sin resolver).

*horizontal* (BH en los diagramas H-R de estas páginas) formado por estrellas con índices de color 0,5 a 0,0 o incluso un poco menor cuyos tipos espectrales son A y F, astros blancos y amarillentos más calientes para, con un nomograma especial (que tiene en cuenta la extinción por el polvillo), determinar la distancia final: así en M13 y M5 este brazo contiene astros de la magnitud 15<sup>a</sup> de donde la distancia ronda los 23.000 a.l.: los datos son concordantes entre sí. Pues bien si M13 y M15 contienen astros de la 12<sup>a</sup> magnitud visual y están a unos 23.000 a.l. de la Tierra, si los alejamos a la verdadera distancia que se calcula para NGC 2419 (303.500 a.l.) entonces estos mismos astros brillarían sólo con magnitud 17,5<sup>a</sup> ¡Fuera de la capacidad máxima de mi CCD!

Ahora se nos plantea una duda antes de seguir y es... ¿hasta qué magnitud estelar podemos llegar?; esto depende del tiempo de integración que empleemos, pues si con tomas de 1 segundo captamos luz (**x**) cuando la ampliamos a 5 segundos la carga acumulada en el chip será 5 veces mayor

(**5x**), subiendo a 10 veces (**10x**) si el tiempo lo alargamos a 10 segundos... siguiendo este razonamiento podemos determinar cuál es la **ganancia**, en magnitudes, dependiendo del tiempo de integración usado.

La escala de magnitud se basa en una base el número **2,51188** (la raíz quinta de 100), que se eleva a un exponente según sea el salto (positivo o negativo) que efectuemos: de este modo un astro de magnitud 3<sup>a</sup> brilla 2,512 veces más que uno de 4<sup>a</sup> ( $2,51188^1$ ) y 6,309 veces más que el de 5<sup>a</sup> ( $2,51188^2$ ), pero 15,84 veces menos que uno de magnitud 0 ( $2,51188^3$ ); el exponente al cual se ha elevado la base ha sido 1 en el primer caso, 2 en el segundo y 3 en el tercero porque la diferencia ha sido 1, 2 y 3 magnitudes respectivamente. También podemos dar pasos intermedios como ahora vamos a ver: en una imagen de M13 de 30 segundos hemos capturado astros de la 15<sup>a</sup> magnitud; si hacemos una toma de 60 segundos (2 veces mayor) llegamos a la magnitud 15,753<sup>a</sup> pues el cálculo dice que:

$$2,51188^{0,753} = 2,000 \text{ veces}$$

de modo que si alargamos el tiempo de exposición a 90 segundos (3 veces más) tenemos entonces:

$$2,51188^{1,193} = 3,000 \text{ veces}$$

y por tanto subimos a 15<sup>a</sup>+1,193 = **16,193<sup>a</sup>**.

Para que podamos llegar a la magnitud 17<sup>a</sup> (2 magnitudes completas por debajo de la magnitud original) necesito alargar la integración exactamente:

$$2,51188^2 = 6,309 \text{ veces}$$

de modo que el tiempo de exposición será:

$$30 \text{ s} \times 6,309 = \mathbf{189,287 \text{ segundos}}$$

es decir, todavía dentro de las posibilidades de la CCD y el equipo si cuento con motor de seguimiento y tengo la montura bien orientada.

Podemos hacer una sencilla tabla de las *veces* que hemos de ampliar el tiempo de exposición en función de la ganancia de magnitud límite que deseemos obtener, que nos queda así:

2,51 veces	=	1 magnitud
6,30 veces	=	2 magnitudes
15,8 veces	=	3 magnitudes
39,7 veces	=	4 magnitudes
100 veces	=	5 magnitudes

Dado el brillo residual del cielo incluso en zonas muy oscuras, la bondad del seguimiento y el ruido de lectura de la CCD por lo general lo máximo a lo que se puede aspirar es a ampliar el tiempo de exposición hasta las 5-10 veces (150-

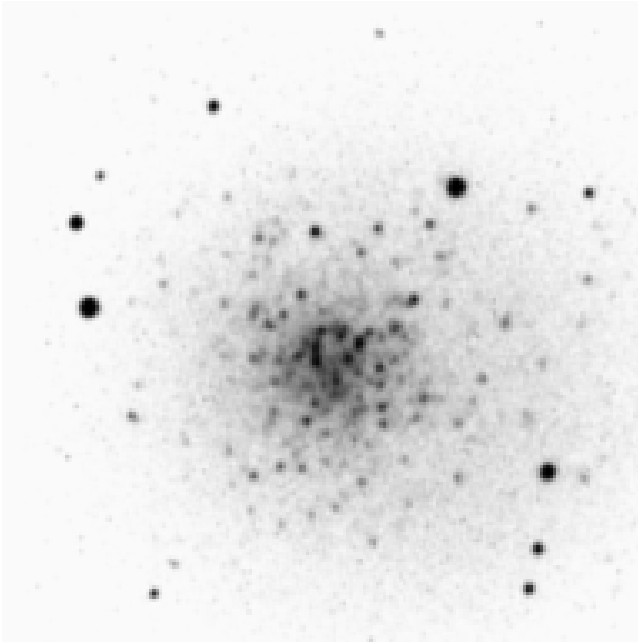
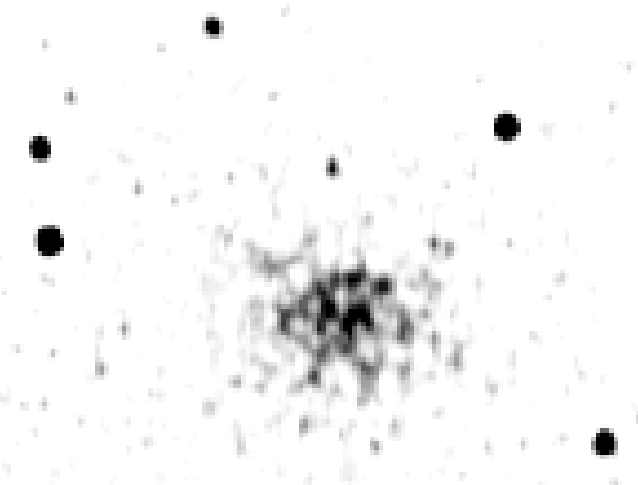


Imagen CCD tomada por el *University of Arizona Astro Club* con un telescopio de 813 mm de abertura.

600 segundos) con lo cual la ganancia será de 1,75 a 2,5 magnitudes. Esto nos lleva ya al rango 16-17,5<sup>a</sup> magnitud y nos permite, por tanto, capturar todas las gigantes rojas, las subgigantes, las estrellas RR Lyr y algunos astro más...

¿Cómo es posible entonces que en las imágenes aparezcan, tan claras como el agua, esas "estrellas"?, y lo que es más grave, ¿cómo es que coinciden con la posición de estrellas capturadas por un equipo profesional? La respuesta es muy sutil: **sí**, son objetos realmente capturados pero **no**, no son estrellas sino **aglomeraciones de estrellas**; *grumos* podríamos llamarlos también... De hecho, si nos fijamos en la imagen más detallada del cúmulo tomada del POSS (arriba a la derecha) aparece una especie de "corona" pentagonal de estrellitas que en nuestra imagen (abajo) aparece como un único astro muy débil. Si nos fijamos en la parte central del globular, en nuestras imágenes procesadas de la página 3 aparecen 6-8



Exposición de 45 segundos en luz integral, con el SC-203 mm de abertura a f/6 (mayo de 2003, Víctor Violat).

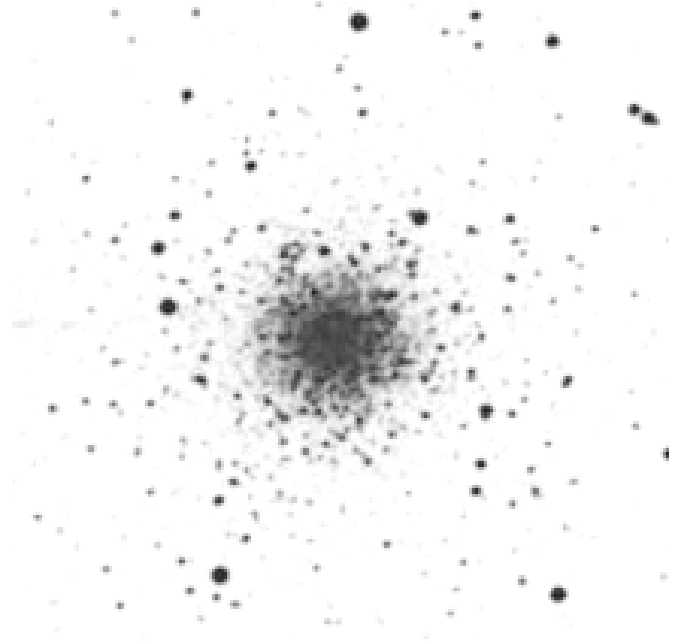


Imagen del globular tomada del POSS (en luz roja), en la cual se aprecian más de doscientas componentes resueltas.

estrellas brillantes que en el POSS no son menos de 8 ó 10 muy apiñaditas...

El *brillo conjunto* de tres, cuatro o más estrellas de magnitud 17,5<sup>a</sup> permite que la CCD capture un astro de la magnitud 15<sup>a</sup>-16<sup>a</sup> o incluso algo más brillante. ¿Y cómo podemos comprobarlo?: pues basándonos en el uso sencillo de la escala de magnitudes ya empleada antes, imaginando que juntamos varias estrellas para que su *luz conjunta* brille como una estrella algo menos débil, así:

2,51 estrellas juntas	= 1 magnitud
6,30 estrellas juntas	= 2 magnitudes
15,8 estrellas juntas	= 3 magnitudes
39,7 estrellas juntas	= 4 magnitudes
100 estrellas juntas	= 5 magnitudes

Lo cual explicamos despacio: si juntamos 3 estrellas de 17,5<sup>a</sup> magnitud tendremos una *estrella virtual* de 16,5<sup>a</sup> magnitud y si juntamos 16 estrellas de la 17,5<sup>a</sup> tendremos un *grumo* de la 14,5<sup>a</sup> magnitud por lo cual sí es posible avistar "algo", aunque ese algo sólo sean aglomeraciones, *grumos*, de estrellas apiñadas imposibles de resolver bajo la turbulencia local del observatorio (2-3" como poco en las mejores ocasiones)...

¿Y en este caso?: las exposiciones fueron de 40-50 segundos, de ahí que la magnitud límite en las imágenes\* ronde la 16,4<sup>a</sup> aproximadamente...

¿Es cierto todo este *cambalache* de números o sólo es un *malabarismo* matemático que, por casualidad, cuadra bien? La respuesta está contestada cuando analizamos muy cuidadosamente una foto del globular tomada con los grandes telescopios: la imagen del mismo es muy borrosa, con

\* Bajo cielos oscuros un reflector de 200 mm de abertura, con una ST-8, ha capturado perfectamente astros de la 16,5<sup>a</sup> magnitud con una integración de sólo 33 segundos.

**grupos** en vez de estrellas individuales... luego los cálculos son plenamente rigurosos y ciertos.

Falta decir que, según los cálculos profesionales (más exactos que los nuestros, claro está...) las gigantes rojas del globular brillan unas 350-360 veces más que el Sol... ¡ahí es nada! además de que sus magnitudes son 5,5-6 veces más altas que las más brillantes de los globulares usuales: esto es, son de 158 a 251 veces más débiles por lo cual deben encontrarse de 12,57 a 15,84 veces más distantes que el *globular promedio*; tomando como ejemplo M13 (a 22.820 a.l.) esta distancia aproximada nos quedaría:

$$22.820 \text{ a.l.} \times 12,57 = 286.847 \text{ a.l.}$$

$$22.820 \text{ a.l.} \times 15,84 = 361.468 \text{ a.l.}$$

cuyo valor medio es 324.158 a.l.: bastante concordante con el resultado profesional (303.500 a.l.).

¿Está tan distante NGC 2419?: parece ser que sí y que el brillo aparente de sus estrellas es tan bajo porque está muy lejano; si tomamos otro globular también presuntamente distante (NGC 7006, en Delphinus, a 40,7 kpc) veremos que sus astros más brillantes son sólo de la 16ª magnitud mientras que los que se encuentran en el brazo horizontal son de la 18,5ª-18,8ª magnitud visual: el nomograma nos dice enseguida que su distancia correcta debe ser de unos 125.000 a.l. al menos, si no más... un modo simple para calcular esta distancia es razonar así: para que las gigantes rojas de M13 brillen con 16ª magnitud (4 magnitudes más) hemos de situarlo 6,30 veces más lejano (para que brillen 39,69 veces menos: 4 magnitudes), por lo cual ya distará aproximadamente:

$$22.280 \text{ a.l.} \times 6,3 = 140.364 \text{ a.l.}$$

valor bastante concordante con el resultado de los profesionales (132.682 a.l.), y que deberían ser idénticos si hubiésemos tenido en cuenta la extinción por el polvillo y hubiésemos efectuado los resultados tomando valores más exactos.

¿No sería más fiable determinar la distancia real en función del *diámetro aparente* que muestra el globular?: no, puesto que no todos tienen el mismo tamaño real habiéndolos pequeños (hasta 100 a.l.), medianos (100-200 a.l.) y grandes (250-350 a.l.) y obteniéndose entonces resultados totalmente equivocados. Como comparación tenemos que M56 y M9 tienen unos 60 a.l., M53 mide 100 a.l., NGC 7006 mide 120 a.l., M13 unos 160 a.l. mientras que NGC 2419 mide 380 a.l.

Ya que hemos comprobado que podemos resolver fácilmente los cúmulos más cercanos en sus principales componentes, nos podemos preguntar entonces: ¿y qué tipos de variables podríamos capturar en ellos?, pues sería muy interesante ampliar nuestros trabajos en esta dirección.

En primer lugar entre las **gigantes rojas** podemos encontrar dos tipos de variables de largo período como son las *mira* y las *semirregulares*: en el primer tipo hallamos astros con períodos de

100 a 1.000 días y oscilaciones de brillo de hasta 10 magnitudes, cuyo prototipo es omicrón Ceti "Mira", bien conocida por todos; entre las segundas tenemos la famosa  $\mu$  Cephei y otras más, con períodos de la docena al centenar de días y oscilaciones de brillo notables.

No perdamos de vista que las estrellas situadas en la zona más alta de las gigantes rojas están en un momento de su vida en el cual se ha iniciado la *ignición del helio* en su núcleo, lo que origina una gran inestabilidad en sus reacciones nucleares y, por tanto, diferencias notables en sus tamaño y brillos aparentes. La mira más brillante de M3 es la estrella nº 95 cuyo rango está entre las magnitudes 13,73ª y 14,42ª en un tiempo de 103,5 días mientras que el caso más típico de las semirregulares es el de **Z Sge** (en M71) cuyo rango de oscilación está entre las magnitudes 13,5ª-14,9ª en un período de 190,95 días. Sin embargo, volviendo al lejanísimo NGC 2419, la más brillante de este tipo es la variable número 10 que pasa de la magnitud 18,19ª a la 18,9ª en 81,30 días...

En segundo lugar, entre las blancoamarillentas del **brazo horizontal**, aparecen lo que son astros del tipo *RR Lyrae*, también llamadas "variables cumulares" por encontrarse en gran cantidad en cúmulos globulares o incluso "cefeidas de período corto", en la literatura astronómica más antigua. Son gigantes de clase espectral A que ocupan, como vemos, un sector muy concreto del diagrama H-R ya que todas ellas poseen una luminosidad casi idéntica: aproximadamente 100 veces la del Sol; sus períodos están en el rango 0,2-1,2 días y son, por tanto, rápidas en sus oscilaciones que llegan a alcanzar casi 1 magnitud. La más brillante de M5, por ejemplo, es la llamada nº 7 que oscila en el rango 14,03ª-15,69ª con un período de 0,494396 días mientras que la más brillante de M4, la llamada nº 21, pasa de la 12,73ª a la 14,10ª en sólo 0,4719831 días.

Finalmente podemos encontrarnos con alguna *cefeida* que pertenecen ya a los tipos espectrales F y G gigantes o supergigantes, aunque de luminosidad inferior a la de las cefeidas clásicas típicas por ser astros muy viejos. La más brillante de M13 (V2) pulsa con un período de 5,110939 días en el rango 12,6ª-13,5ª.

Como hemos visto ya incluso un telescopio tan pequeño como es un catadióptrico de 203 mm de diámetro, equipado con una CCD normalita trabajando en luz integral (sin filtro alguno), puede estudiar estos distantes cuerpos con un mínimo de calidad y profesionalidad, entrando ya de lleno en la astrofísica avanzada...

Para finalizar, hemos de comentar que el programa *SETI@home* ha detectado (hasta mayo de 2003) un total de **41 señales** "candidatas" en este cúmulo (tripletes o pulsos), las cuales deben ser estudiadas en el futuro más despacio para discernir si son de origen natural (pulsares) o no.

Cualquier consulta, sugerencias o comentarios pueden dirigirse a nuestra dirección electrónica:

fviolat@yahoo.es

Observatorio Astronómico de Cáceres (España), 5 de mayo de 2003.

## BIBLIOGRAFÍA

The main sequence of the globular cluster M13. W. Baum, W. Hiltner, H. Johnson y A. Sandage (ApJ **130**, 749, 1959).

3rd. Catalogue of Variable Stars in Globular Clusters. Helen Sawyer-Hogg. Publicaciones del David Dunlap Observatory, Vol. 3, Nº 6 (1973).

Photometry of Variables in Globular Cluster. II. M13. Serge Demers (ApJ **76**, 5, 1976).

On the nature of the variables in M13. C. D. Pike y Caroline J. Meston (MNRAS **180**, 1977).

A photoelectric BVRI sequence in the field of the globular cluster M13. Douglas Forbes y Peter C. Dawson (PASP **98**, 102-103, 1986).

Astrofísica. Manuel Rego y María José Fernández. (EUDEMA Universidad, 1988).

Color Magnitude Diagram for the globular Cluster M13. M. Guarnieri, A. Bragaglia y F. Fusi Pecci (A&AS **102**, 397, 1993).

NGC 2419, M92, and the age gradient in the galactic halo, Harris, William E.; Bell, Roger A. et al., (AJ **114**, 1030, 1997).

Photometry of nearby globular clusters: M3, M5, M13 and M92. Jennifer A. Johnson y Michael Bolte (AJ **115**, 693-707, 1998).

Hubble Space Telescope observations of NGC 2419: constraints on the formation of the Milky Way, Hesser, J. E.; Stetson, P. B.; McLure, R. D. et al. (JRASC **92Q**, 29, 1998).

Catalog of parameters for Milky Way globular clusters. William E. Harris (AJ **112**, 1487, 1999).

Variable Stars in M13, Wayne Osborn (AJ **119**, 2902-2902, 2000).

Variable Stars in Galactic Globular Clusters, Clement, Christine M. et al. (AJ **122**, 2587, 2001).

## EN INTERNET

<http://www.seds.org/messier/xtra/ngc/n2419.html>

<http://simbad.u-strasbg.fr/sim-id.pl?Ident=NGC+2419>

<http://www.seds.org/~spider/spider/MWGC/n2419.html>

[http://www.mporzio.astro.it/~marco/gc/cluster\\_4.php?ggc=NGC+2419](http://www.mporzio.astro.it/~marco/gc/cluster_4.php?ggc=NGC+2419)

<http://setiathome.ssl.berkeley.edu/Candidates/reobs/SAHMB18+13fg/>