

VARIABLES EN CÚMULOS GLOBULARES

ESTUDIO DE M13

Francisco A. Violat Bordonau
 Asociación de Variabilistas de España
 Asesores Astronómicos Cacereños
 violat@olanet.net

Una vez mostrado al aficionado los distintos tipos de variables visibles en un cúmulo globular, el método de trabajo a seguir y los límites que podemos conseguir es hora ya de pasar a la práctica, centrándonos para ello en el estudio y seguimiento de las variables de M13.

El estudio de los cúmulos globulares, la resolución de sus componentes y la captura de sus principales estrellas está supeditado, como mostré en un artículo anterior, a la **abertura** del instrumento empleado y al **tiempo de integración** de la CCD. Sin embargo no mencioné en él que la **focal** del telescopio también es muy importante, pues de poco va a servir utilizar uno de 200 mm de diámetro con una focal de 1.200 mm, dado que la imagen del globular será siempre más pequeña que cuando trabajamos con un telescopio con focales de 2 a 4 metros. ¿Por qué?: pues porque del tamaño final de la imagen en el monitor dependen los buenos resultados; lo que buscamos, en esencia, es disponer de una imagen del cúmulo lo más grande posible, en la cual las componentes no aparezcan apiñadas unas junto a otras sino resueltas y bien separadas; esto no sólo permite identificar claramente las estrellas candidatas a variables, sino determinar fotométricamente sus brillos.

Un punto importante es obtener imágenes del globular que no estén sobreexpuestas: por lo general la mayoría de las obras astronómicas que hablan de estos cuerpos ofrecen imágenes repletas de astros, algunas de ellas en color pero casi todas, lamentablemente, sobreexponiendo tanto el núcleo y su periferia inmediata que sólo vemos un manchón. En este caso la imagen carece de valor para nosotros, ya que buscamos individualizar sus astros y no capturar una imagen muy hermosa, estéticamente valiosa por su belleza pero científicamente inútil...

Desde mi particular punto de vista una imagen válida ha de cumplir estos cuatro requisitos:

- una escala amplia
- astros fácilmente individualizables
- el núcleo bien resuelto
- orientación adecuada.

A: Escala amplia. En numerosas imágenes de globulares obtenidas por aficionados (sobre todo las que se pueden bajar de Internet) he comproba-



Imagen profesional de M13 tomada por el Observatorio Lowell con un reflector de 610 mm: es llamativo el apiñamiento central y la sobreexposición de sus astros componentes.

do hasta la saciedad que sólo llegaba a resolver en ellas sus componentes perfectamente cuando el instrumento empleado (independientemente de su apertura) presentaba una focal superior o igual a los 1.500 mm, preferiblemente rozando los 2.000 mm; ¿por qué?: pues porque dependiendo de la focal se obtiene un poder resolutivo mayor o menor en la imagen, el cual permite individualizar mejor sus diferentes componentes. Es por ello que, dentro de lo posible, sea preferible trabajar con focales superiores a 2 metros.

B: Astros bien individualizados. De nada sirve haber obtenido una imagen grande, con una buena escala (por ejemplo 1"/píxel) si resulta que luego, para que ésta aparezca *bonita*, alargamos tanto la exposición que los astros quedan sobreexpuestos... lo que ganamos por un lado lo perdemos por otro pues de este modo las estrellas aparecen hinchadas, sobreexpuestas, no sólo unidas unas a otras sino haciendo poco menos que imposible una buena calibración y medición fotométricas de sus distintas componentes. Es preferible acortar las exposiciones y dejar nuestra imagen *pobre* en astros débiles (menos *bella*) pero disponer de una resolución lo más alta posible, individualizando así cada una de sus estrellas.

C: Núcleo bien resuelto. Siempre, dentro de lo factible, trataremos de obtener imágenes del globular con el núcleo lo más resuelto posible: esto nunca puede hacerse si sobreexponemos la imagen. ¿Por qué ese afán por no pasarnos en el tiempo de integración?: en este caso para poder determinar el centro del globular, pues en los catálogos de variables éstas se localizan según el eje *x* (dirección este-oeste) y el eje *y* (dirección norte-

sur) indicando la distancia, medida en segundos de arco, con respecto al núcleo y que será positiva si es hacia el norte o el oeste y negativa si lo es hacia el sur o el oeste; es ya más raro encontrar las coordenadas Alfa y Delta de las diferentes estrellas componentes y de comparación.

D: Orientación adecuada. Si hemos de localizar las variables en función de los puntos cardinales (o sus coordenadas Alfa y Delta), lo más lógico es tener la imagen correctamente orientada, dejando el **norte** abajo y el **este** a la derecha. ¿Y cómo se hace esto?, pues siguiendo estos pasos: buscar el globular, centrarle en el campo del chip y hacer una integración de 10-15 s con el motor *desconectado*; así se capturan los astros movidos en dirección **este-oeste**. Si los rastros estelares no son paralelos a los ojos, sino que aparecen inclinados, hemos de girar el cabezal del chip hasta que al hacer una exposición sin motor logremos que las estrellas aparezcan movidas paralelas a los ojos (o al borde del monitor); en el momento en que aparezcan las estrellas así el campo está correctamente orientado.

El autor emplea en todos sus trabajos un instrumento catadióptrico de 203 mm de abertura y 2 metros de focal (a veces con duplicador x2), junto con una CCD modelo Starlight Xpress **MX5** de 12 bits: la escala obtenida a foco primario ronda el segundo de arco por píxel; la turbulencia local nunca permite llegar a valores más reducidos y rara vez baja de los 2-3", pero en principio es suficiente para nuestros primeros trabajos.

A la hora de capturar globulares es esencial que se trabaje con exposiciones cortas (10-30 segundos) y rara vez más (salvo que empleemos filtros de color en cuyo caso los tiempos se alargan proporcionalmente): de este modo se capturan las estrellas sin saturarlas ni, desde luego, sobreexponer el núcleo que nos va a servir, precisamente, para buscar a partir de él las variables.

Bien, reflexionemos un momento sobre todo lo dicho: para empezar a trabajar necesitamos tener el telescopio bien orientado, un motor de seguimiento, la CCD conectada y es preciso que, a la hora de capturar imágenes de globulares, orientemos siempre el campo aparente por medio de los *rastros estelares*; luego, al empezar a tomar imágenes, es necesario hacer fotos con tiempos de integración cortos (de 10 a 30 segundos) para que no aparezcan sobresaturados ni el núcleo ni las componentes del globular.

Ahora, una vez que conocemos las técnicas de trabajo y tenemos ya el equipo listo, necesitamos centrarnos en uno determinado, el que más nos guste o (para mi parecer) el que mejor pueda ser estudiado desde nuestras latitudes. Y digo esto porque a todos nos gustaría capturar Omega Centauri, pero ello no es fácil desde Cáceres, Badajoz o Madrid aunque sí desde Canarias. Cuanto más negativa sea la declinación del cuerpo menos alto

aparece sobre el cielo -en el instante del tránsito por el meridiano- y más afectado quedará por la turbulencia local, el polvillo y la contaminación urbana; es por ello que yo estudio preferentemente aquellos cuerpos que, desde Cáceres, puedan aparecer altos en el cielo.

Tampoco tiene mucho sentido dedicar el tiempo a los globulares más distantes, salvo para intentar identificar algunas de sus componentes más brillantes (como hice yo con **NGC 2419**); es más fácil estudiar globulares cercanos que distantes, dado que sus variables aparecen más brillantes y nuestro equipo no sólo puede capturarlas, sino llegar a medir sus oscilaciones de brillo. Es por ello que en este trabajo, para iniciar a los curiosos en las técnicas a emplear, me haya decantado por **M13**: no sólo es un cuerpo fácil de identificar (junto a dos estrellas de brillo alto, en Hércules) sino que está bastante cerca (a unos 22.800 años-luz), puede encontrarse alto en el cielo peninsular y sus componentes más brillantes son de la 12^a-13^a magnitud; creo que es el ideal para iniciarse.

Tomando los globulares Messier más cercanos he hecho una clasificación de los mismos en función de su **distancia** a nosotros (medida en kiloparsecs) y su **declinación**, ya que de ella depende directamente su altura máxima sobre el horizonte local; tomando en consideración estos dos datos los he ordenado según la **facilidad** con que podemos estudiar sus variables; la lista queda así:

Messier	distancia	declinac.	puesto
M4	2,1	-26° 32'	
M22	3,1	-23° 54'	
M71	4,0	18° 47'	1°
M10	4,4	-04° 06'	2°
M55	5,2	-30° 58'	
M12	5,5	-01° 57'	3°
M107	5,9	-13° 03'	4°
M62	6,0	-30° 07'	
M28	6,1	-24° 52'	
M9	6,9	-18° 31'	
M13	7,2	36° 28'	5°
M5	7,6	02° 05'	6°
M92	7,8	43° 08'	7°
M30	8,2	-23° 11'	
M80	8,3	-22° 59'	
M15	9,4	12° 10'	8°
M56	9,5	30° 11'	9°
M68	9,9	-26° 45'	
M3	9,9	28° 23'	10°

Podemos ver que con esta peculiar clasificación (aplicable a un observador peninsular, no a uno canario) el cercano M4 no es de los más fáciles y por tanto yo no lo recomiendo para empezar a trabajar: creo que es mejor estudiar M71 porque, aunque está a doble distancia de la Tierra, aparece mucho más alto en el cielo local; les siguen en facilidad M10, M12 y M107 mientras que más distantes aparecen M13, M5 y M92.

A continuación, una vez elegido el más interesante para nosotros, necesitamos conocer las va-

riables que contiene y todos los parámetros de las mismas (tipo, rango de oscilación, período, índice de color B-V...); lo primero que se nos puede ocurrir es visitar las páginas web de asociaciones tan conocidas y serias como son la AAVSO norteamericana o la AFOEV francesa: lamentablemente no nos acompaña la suerte, pues ninguna de estas dos asociaciones tienen en estudio variables en cúmulos globulares (el por qué se me escapa dado que son bastante fáciles para el aficionado).

La siguiente vía es buscar en Internet bajo el concepto "Variables en globulares" (en español) o bien "Variable stars in globulars" (en inglés): enseguida notaremos que no hallamos demasiada información por este medio. Sin embargo aquellos que puedan acceder a publicaciones profesionales podrán encontrar una buena cantidad de artículos sobre el tema: por ejemplo en "Astrophysical Journal" (abreviada ApJ), "Astronomical Journal" (AJ), "Astrophysical Journal Supplements" (ApJS), "Nature", "Astronomy & Astrophysics Supplements" (A&AS), "Astronomy & Astrophysics Abstracts" (A&AA) y otros... Como lo usual es que en nuestra biblioteca no tengamos esas revistas el último recurso es acudir de nuevo a Internet, pero esta vez al NASA Astrophysics Data System, en donde podremos acceder al buscador general de información: allí podemos acotar el período de búsqueda (como artículos aparecidos entre 1990 y el 2001), su autor, palabras clave, etc... y tendremos a nuestra disposición buena cantidad de material (en inglés, naturalmente).

Mi primera fuente de información fue el monumental *Catalogue of Variable Stars in Globular Clusters*, actualización del *Helen Sawyer Hogg's Third Catalogue de Variable Stars in Globular Clusters* publicado en el año 1973 en las "David Dunlap Observatory Publications", Volumen 3,

Número 6. Está basado en el uso de tarjetas de referencia preparadas por Helen Sawyer Hogg de los artículos aparecidos entre los años 1973 y 1988, aunque en el caso de material editado después se han consultado los *Astronomy and Astrophysics Abstracts* (publicados por Astronomisches Rechen-Institut by Springer-Verlag) y el *NASA Astrophysics Data System*.

La información ofrecida sobre M13 (al pie de esta página) aunque del año 1973 es muy interesante ya que contiene el número de la variable, la posición *x-y* en segundos de arco (positivo si es al norte o al este, negativo al sur o al oeste), magnitud máxima y mínima, época de las mediciones (Día Juliano y fracción), el período si está bien determinado y notas tales como si es miembro del cúmulo (*mem*, member), si es una variable presunta (*var?*), si no es miembro del globular (*mem?*), otro período de oscilación propuesto (*alt P: 41.55*) y referencias (p. ej. *L72, R&R, Kadla et alt...*). Estas últimas fueron las que me dieron más problemas pues sin una traducción me era imposible saber qué quería decir L72 o qué podía ser R&R... más adelante, estudiando diverso material disperso en Internet, supe que las variables de M13 fueron catalogadas en 1905 por el astrónomo alemán H. Ludendorff, por lo cual casi todas llevan su nombre: de este modo L72 es la estrella número 72 de su catálogo. Lamentablemente este material fue publicado en el Observatorio de Potsdam a principios de siglo, siendo imposible localizarle por Internet... R&R hace referencia a los artículos publicados por el matrimonio de astrónomos húngaros Ruscho Russev y Tatiana Russeva (del Konkoly Observatory), etc...

Si analizamos despacio el listado veremos que la variable más brillante (la n° 2) es una cefeida con un período de 5.110818 días que roza la 12.8^a

Messier 13 C1639+365

R.A. 16h 39.9m Dec +36° 33'

Nº	x"	y"	Máx.	Mín.	Época (D.J.)	Período	Notas
1	+73.06	-24.86	13.67	14.88	38222.443	1.459033	Sp A-F, V, mem
2	-54.10	-3.04	12.80	14.12	38241.098	5.110818	+, Sp,V, mem
3	-127.70	+16.52	15.58	15.79			var?
4	-47.34	+58.18	14.94	15.61	37790.391	0.298827	
5	+72.28	-12.80	14.58	15.22	38243.389	0.3817598	
6	+92.68	+76.60	14.00	14.95	38179.365	2.112918	+, Sp F, V, mem
7	-39.78	-82.72	14.76	15.12	38236.416	0.3126635	mem?
8	-93.02	+11.29	14.62	15.62	38902.462	0.750316	mem
9	+70.90	-14.84	14.68	15.18	38236.480	0.3926661	
10	-5.40	-70.73	13.10	14.0	39670.0	35.62	Sp, V, mem, var?
11	-45.37	-75.88	12.90	13.8	38232.06	91.77	Sp, V, mem, alt P: 41.55
12	-105.88	+53.46	15.16	15.70	38225.391	5.21753	
13	-45.37	-31.30	14.26	14.50			var?
14	+3.18	+207.64	16.16	16.45			var?
15	+79.03	-115.34	13.49	13.70	41061.50	39.23	SR
16	+349.40	+207.90					var?
17	+127	+80			41069.6	43.04	L973, R&R
18	-196	-118			42315.9	41.25	L72, R&R
19	-99	+58			37810.8	44.48	L194, R&R
20	-200	+166			42324.0	64.26	L70, alt P: 96.6
21	-84.50	-39.40					L216, Kadla et al

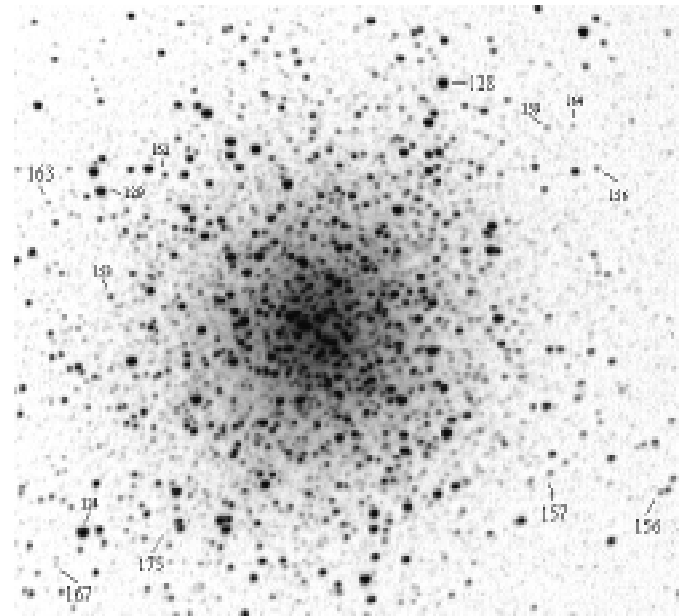
magnitud en su máximo. También aparecen algunas del tipo RR Lyr de corto período (0.29 a 0.75 días), pocas cefeidas (como la nº 12, de 5.21753 días), semirregulares (la nº 15), semirregulares de 35 a 92 días, estrellas sospechosas de variabilidad (como V13 y V14) y algunas sin determinar todavía (la nº 21, L216)....

Un estudio algo más detallado nos muestra que todas, sin excepción, están en un radio máximo de 350" del núcleo quedando la mayoría dentro de los 50-120" como mucho... esto demuestra que si sobreexponemos la toma enseguida nos veremos en serias dificultades no sólo para estudiarlas o medirlas, sino incluso para buscarlas en nuestras mejores imágenes.

Perfecto: ya tenemos el instrumento preparado, orientado el campo aparente, el listado de variables en la mano y tenemos M13 a tiro... ¿Cómo actuamos ahora?... Lo ideal sería tomar una buena carta de M13 en la cual buscaríamos las variables más interesantes (o todas, si nuestro sistema óptico es capaz de alcanzar magnitudes altas), empezando a tomar imágenes de inmediato para identificarlas en ellas... lamentablemente absolutamente todos mis intentos en esta dirección han sido vanos: **no existen** cartas de identificación de variables en M13; en los trabajos profesionales que he leído se hace mención de las variables (p. ej. V15, V20, V17...) sin decir para nada dónde están o cómo localizarlas, ya que **se supone** que el lector las conoce de sobra y sabe dónde están... en algunos trabajos el autor se toma la molestia de ponerlo fácil al lector (imagino que piensa en otro profesional), identificando la variable o sospechosa en el listado de Ludendorff diciendo, por ejemplo, que **V20** es conocida también con el nombre de **L70**. Esto ya es algo aunque, lamentablemente, a nosotros no nos sirva de nada...

Buscando en Internet por todas partes, por todos los medios y utilizando todas las palabras "clave" imaginables (*variables, globulares, variables cumulares, M13, cefeidas, RR Lyr...*) descubrí desilusionado que **no existe** ninguna carta de M13 en la cual, claramente, aparezcan indicadas las variables y estrellas de referencia (¡ni siquiera en la AAVSO o la AFOEV!), así que al final pensé que lo mejor era elaborarme mi propia carta: para ello se me ocurrió utilizar toda la potencia de *SkyMap Pro 7.0* a la hora de representar estrellas; por desgracia la zona central en un radio de 200-300", en donde precisamente están las variables, aparecía **vacía de estrellas**... sorprendentemente lo mismo ocurrió al utilizar *Guide 6.0*, *SkyChart*, *Voyager II* y otros programas similares, en donde la zona central no aparece representada (imagino que porque al digitalizar las fotos del POSS ésta queda saturada) ni tampoco hay estrellas individuales en ella... fin del intento.

Tomé una de mis mejores fotos, en ella identifiqué el centro como pude y, suponiendo que cada píxel equivalía a 1" (más o menos lo que me pro-



Estrellas de comparación en M13 en una imagen de Patrice Poyet. Capturada el 21-IV-1996 con una abertura 600 mm y focal 2.707 mm, CCD ST6 a -30° y adición de 9 imágenes de 60 s cada una (540 s) en total.

porciona mi sistema óptico), intenté localizar las variables más brillantes empleando el listado de Sawyer Hogg: el resultado me permitió situar, *grosso modo*, las más brillantes y al comparar sus posiciones con las imágenes del globular obtenidas por mi en 1999-2000 no aprecié diferencia alguna pese a todos mis intentos, lo que me demostraba que no era tan fácil identificarlas como yo había pensado... al ser un globular un cuerpo con numerosas estrellas (más de dos centenares se podían apreciar en cualquiera de mis fotos) era posible que tomase por variable cualquiera que no lo fuese. Fin del experimento y nuevo desengaño.

Navegando sin rumbo logré encontrar, por fin, unas páginas llamadas "Poyet's Celestial Hyper-Book" en las cuales, entre otros, aparecían imágenes digitales de M13 con algunas estrellas de referencia. Dado que en ninguna de las dos imágenes del globular aparecían marcadas las variables me atreví a enviar un e-mail a la autora preguntando por este tema; su respuesta por la misma vía fue muy clara y contundente en toda su amplitud:

Apart from specific papers published in the literature and dealing on a case by case basis with variables in specific clusters (e.g. S & T Lab exercises in astronomy, variables in M15), I would suggest getting in contact with the classical international associations of variable stars observers. The other approach is to "calibrate" yourself your images (taking the cluster and reference stars by using an appropriate method), knowing that a 400 mm scope will be the minimum and will not enable the investigation of all clusters. I've never tried using long focus ratios, e.g. F/30 for such work but it could be valuable.

Best wishes and clear skies.

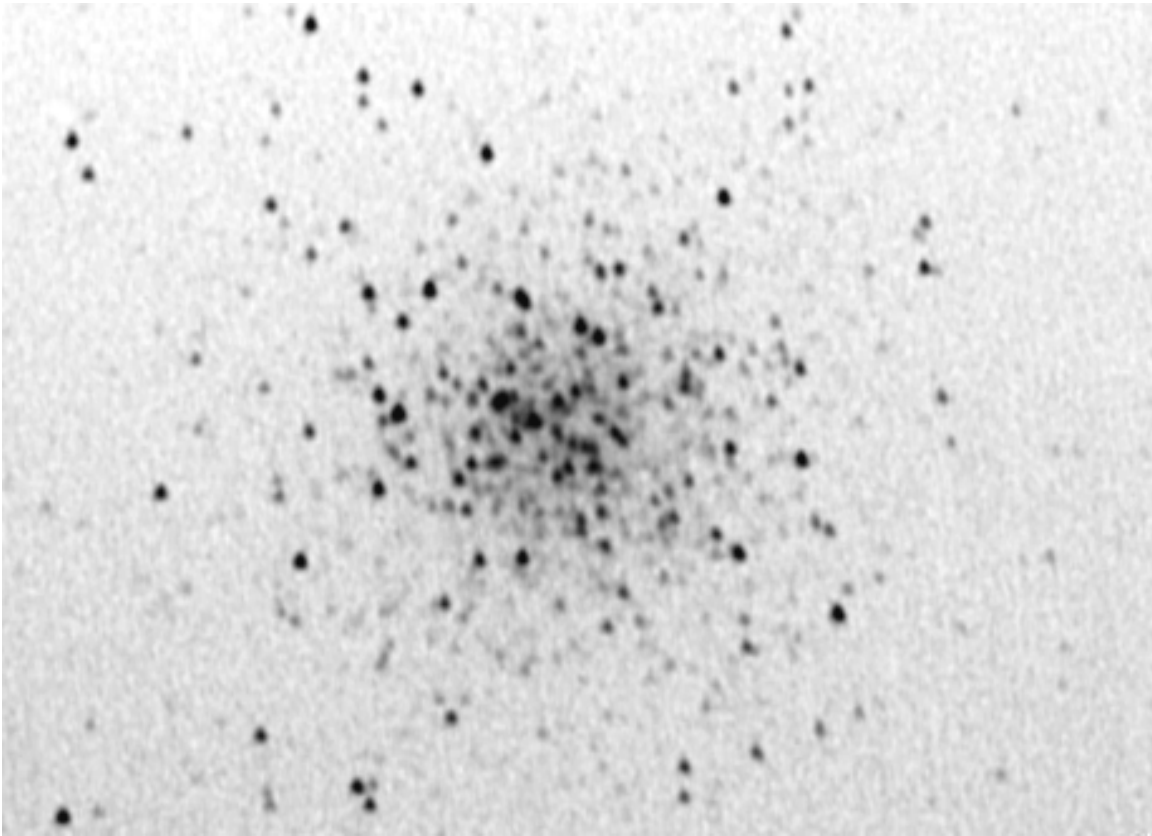


Imagen CCD de M13 obtenida por el autor: exposición de 15 segundos a través de un catadióptrico de 203 mm de diámetro y 2.000 mm de focal, en luz integral; el norte está situado en la parte inferior y el este a la derecha. El astro más débil visible, sin procesar la toma ni adicionar más imágenes, roza ya la 15ª magnitud.

Patrice.

Lo cual me dejó como al principio: no sólo no había cartas de identificación, sino que me aconsejaba fabricármelas yo mismo tomando imágenes con un buen instrumento (¡un 400 mm nada menos!) y calibrarlas cuidadosamente; sin embargo una cualquiera de mis tomas de 20 segundos podía ofrecerme, con facilidad, astros de magnitud 15ª... No contento con esta respuesta, y sospechando que yo era una nulidad buscando en Internet este material, contacté vía e-mail con el Dr. Gerardo Milesi, de Argentina, a quien le pregunté por la posibilidad de encontrar cartas de variables en M13. De inmediato recibí su respuesta:

*Con respecto a su pregunta, quiero aclararle que **no existe** (por lo menos que yo tenga conocimiento) ningún set de cartas de ubicación de variables en cúmulos globulares. Las respectivas cartas se encuentran dispersas en distintas publicaciones astronómicas, y en muchos casos los autores identifican las variables **en forma numérica** pero sin reproducir la carta de ubicación, para lo cual generalmente remiten al paper original que daba cuenta del descubrimiento.*

Sin embargo, hay 3 catálogos de estrellas variables en cúmulos globulares, el último de los cuales es de 1973, que tienen mucha información útil y que a pesar de no tener cartas dan cuenta

de la bibliografía en la cual es posible encontrarlas. Estos catálogos son:

1) 1st. Catalogue of Variable Stars in Globular Clusters. Helen Sawyer-Hogg. Publications David Dunlap Observatory Vol. 1, N° 4 (1939).

2) 2nd. Catalogue of Variable Stars in Globular Clusters. Helen Sawyer-Hogg. Publications David Dunlap Observatory Vol. 2, N° 2 (1955).

3) 3rd. Catalogue of Variable Stars in Globular Clusters. Helen Sawyer-Hogg. Publications David Dunlap Observatory Vol. 3, N° 6 (1973).

A partir de la última fecha no se realizaron recopilaciones sistemáticas ni catálogos genéricos por lo cual, y debido a los descubrimientos posteriores, especialmente en los últimos años, pueden existir yuxtaposiciones en la identificación de las variables.

De todos modos, a partir del año 1969 cualquier rastreo en la bibliografía puede hacerse en los Astronomy and Astrophysics Abstracts publicados anualmente por la editorial Springer-Verlag.

Una recomendación que le daría antes de "acometer la tarea" es que se pongan en contacto con la AAVSO (American Association of Variable Stars Observers). Ellos publican cartas de ubicación de variables de campo, pero es muy factible que tengan cartas para variables de cúmulos de uso reservado que les puedan facilitar, y quizás

puedan coordinar algún plan de observación de variables recomendadas para el hemisferio norte.

Esperando que mi respuesta le haya sido de utilidad, lo saludo atentamente.

Licenciado Gerardo E. Milesi.

Volví a recibir la misma respuesta: **no hay** cartas de las variables de M13 ni, probablemente, de la mayoría de los globulares. Mis indagaciones en Internet acabaron como al principio: existían algunos trabajos sobre el tema, se había publicado bastante sobre variables, sospechosas, actualizaciones de períodos, nuevas sospechosas, confirmación de variabilidad en las sospechosas pero ni una sola carta útil... Un callejón sin salida.

Al final, ya casi desesperado, recibí en un largo e-mail enviado por mi compañero de la A.V.E. Miguel Regalado Querol algunos artículos (en formato PDF) que me apresuré a abrir: eran excelentes, eran más actuales y uno de ellos incluso contenía una imagen digital del globular; lamentablemente había sido tomada con filtro ultravioleta de modo que todos mis intentos por correlacionar estrellas fue inútil. Sin embargo el último artículo (*Variable Stars in M13. Positions and UBVR photometry for variables, suspected variables and comparison stars*), firmado por Wayne Osborn y publicado en *Astronomical Journal* 119, en junio del 2000, me iluminó el camino y fue el que, al final, me permitió no sólo elaborar una carta preliminar (¡la primera de este género elaborada por un aficionado!) sino localizar **todas** las variables, sospechosas y estrellas de comparación que aparecían en mis imágenes.

Tomé la mejor de mis fotografías (capturada en 30 s con el catadióptrico de 203 mm de abertura y la MX5) y en ella señalé las estrellas más brillantes (presuntas variables) que me parecieron mejor identificadas; marqué en el borde las coordenadas de Osborn (2000.0) para estas variables, elaborando poco a poco y con mucho trabajo una red completa; las tres primeras variables identificadas (V18, V20 y V33) me permitieron situar seis puntos conocidos, con los cuales (por cálculo matemático sencillo) deduje algunos más. De este modo pude localizar la brillante variable V17, la cual me permitió disponer de dos coordenadas más las cuales, a su vez, refinaron mi escala; con esta nueva escala encontré enseguida las brillantes V19 y V11, las cuales me facilitaron otras cuatro coordenadas más. Sin embargo a medida que refinaba mis números notaba que el ajuste no era perfecto del todo, salvo dentro de un inaceptable margen de error de 10-15" en algunos casos.

Cuando, varios días después de abandonado el intento, volví a la tarea noté que el ajuste en declinación era correcto para las estrellas más cercanas el centro de la carta, pero más y más inexacto a medida que me alejaba del mismo; algo similar ocurría con las ascensiones rectas, exactísimas en

algunos casos pero algo más "holgadas" en otros. Había un error que se me escapaba: la escala era correcta, dado que había una coincidencia total en algunas variables brillantes (es decir, alrededor de ellas no había ningún astro que se acercase al brillo esperado) pero en otros casos el error era notorio e inaceptable del todo.

Al examinar imágenes profesionales de M13 reparé en varios puntos: el primero era que, salvo excepciones, las fotografías del globular estaban "al revés" habiendo reproducido el clisé invertido; la segunda era que las estrellas del núcleo rara vez aparecían resueltas y la tercera que una cadena de estrellas (con forma de *pistola*) que en mi imagen aparecía horizontal presentaba una leve inclinación hacia el sur, como si estuviese girada. El origen del error me vino en un destello: ¡no había orientado adecuadamente el campo estelar, tomando mi imagen original por buena! De modo que en las mejores fotos profesionales del globular tomé algunas estrellas como referencia, comprobé que tenían prácticamente la misma declinación (esto es, que sus centros podían ser unidos por una misma línea horizontal) y traté de hacer lo mismo con mi imagen; imposible: era preciso girar mi fotografía 5° en sentido contrario al de las agujas del reloj para que mis tomas se pareciesen del todo a las imágenes profesionales.

Con esta imagen *corregida* volví a la tarea: imprimí en papel la toma, comencé a marcar en el borde las coordenadas de las variables ya conocidas y comprobé asombrado, casi incrédulo, que estas brillantes variables coincidían una a una, proporcionándome así nuevas coordenadas que me permitían encontrar otras variables las cuales, a su vez, me facilitaban más coordenadas. Al final representé en mi carta 32 posiciones en declinación y otras 25 en ascensión recta: bastaban para comprobar que todas y cada una de las variables, sospechosas y estrellas de referencia podían ser localizadas sin ningún problema. Cuando sobre la carta impresa las variables eran demasiado débiles (o dudosas) acudía a mi imagen original, procesándola un poco (aumentando el contraste) si era preciso: de este modo no sólo pude situar todas las variables de la 11-13^a magnitud sino algunas de la 14^a encontrando en el límite incluso estrellas de referencia de la 14.20^a y 14.98 magnitud visual. ¡Era increíble ver lo fácil que había sido! (como todo una vez que se ha realizado...)

Acabada la carta recopilé todavía más información, releí todo el material bajado de Internet y me puse al día; con todo ello puedo presentar ya un listado (elaborado y actualizado por el autor) que ofrece al lector los datos más recientes y completos que he conseguido de las variables y sospechosas conocidas en M13: en negrita aparece la denominación clásica o número Ludendorff por la cual se le conoce, la magnitud **V** máxima y mínima, el año de la medición más reciente, su índice **B-V** (que nos orienta sobre su tipo espectral), el

Nº	Cat.	Tipo	Máx.	Mín.	Año	B-V	Período	Notas
1	L816	Cefeida	13.62	14.54	2000	0.45	1.459252	Período bien determinado, tipo BL Her
2	L306	Cefeida	12.74	13.16	2000	0.57	5.110939	Período bien determinado, tipo BL Her
3	L135	¿Cefeida?	15.34		2000	0.76		Datos y referencias escasas
4	L322	RR Lyr	15.69		2000	0.09	0.298827	Período incierto
5	L806b	RR Lyr	14.46	14.81	2000	0.24	0.381724	Período bien determinado
6	L872	Cefeida	13.87	14.30	2000	0.54	2.112867	Cefeida del tipo BL Her
7	L344	RR Lyr	14.87	15.13	2000		0.312663	Medida por Russev y Russeva en 1978.
8	L206	RR Lyr	14.44	15.04	2000	0.35	0.750375	
9	L806a	RR Lyr	14.51	14.85	2000	0.30	0.392607	
10	L487	Gig roja	12.47	12.65	2000	1.29	35.62	Descubierta por Russev y Russeva en 1980
11	L324	Gig roja	11.88	12.63	2000	1.59	91.77	Medida por Russev y Russeva en 1980.
12	L187	Cefeida	15.21		2000	0.10	5.217530	Período incierto
13	L327		13.78		2000	0.85		Presunta variable, apiñamiento en la zona
14	L527	¿RR Lyr?	16.26		2000	0.45		
15	L835	Gig roja	12.18	12.36	2000	1.45	39.23	Descubierta por Russev y Russeva en 1980
17	L973	Gig roja	11.98	12.43	2000	1.53	43.27	Espectro K0Ib (1978)
18	L72	Gig roja	12.33	12.75	2000	1.31	41.25	
19	L194	Gig roja	12.10	12.42	2000	1.50	44.48	
20	L70	Gig roja	12.03	12.51	2000	1.58	64.26	
24	L598	Gig roja	12.04	12.61	2000	1.61	45.34	
32	L66	Gig roja	14.64	15.12	1982		21.165	Kadla 306, descubierta por R&R (1982)
33	L954	Gig roja	12.09		2000	1.55	40.37	Período incierto
	L222	Azul	13.15		2000	-0.18		Del tipo <i>errante azul</i> , emisor ultravioleta
	L414	Gig roja	12.50		2000	1.45		Presunta variable
	L240	Gig roja	12.34		2000	1.36		Presunta variable
	L258	Gig roja	13.53		2000	1.01		Presunta variable
	L261	Gig roja	12.20		2000	1.39		Presunta variable
	L773	Gig roja	13.16		2000	1.03		Presunta variable

período de oscilación y algunas notas de interés.

Podemos ver que ahora la variable más brillante ya no es la cefeida V2 sino la gigante roja **V11**, que roza la magnitud 11.9^a en su máximo, seguida de otras diez estrellas rojas de brillo muy similar (12-12.5^a magnitud) todas ellas aseguibles a un reflector de 150-200 mm de abertura...

Con la experiencia acumulada ya puedo indicar ahora cuáles son los pasos que se han de dar para tomar imágenes de M13, y para que éstas sean válidas: lo primero es centrar el globular en el campo del chip tomando cortas imágenes para lograrlo; luego he de orientar el campo empleando el método de los rastros estelares, ya indicado en mi anterior artículo; a continuación he de conseguir un enfoque óptimo empleando la *máscara de enfoque* para ello. Cuando las imágenes del globular proporcionen astros casi puntuales y, al detener el motor, éstos dejen rastros paralelos en el monitor podemos empezar a trabajar en serio.

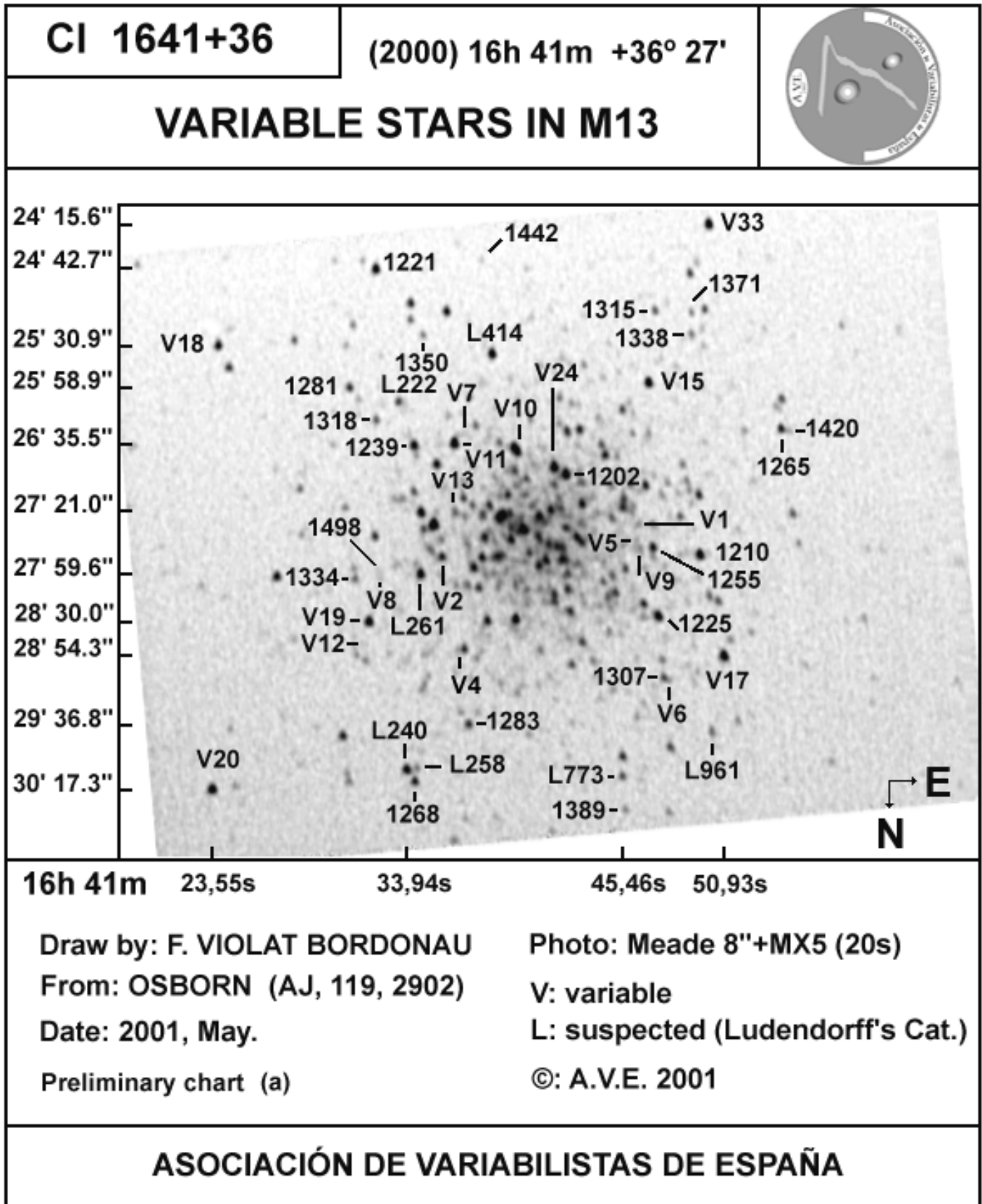
Para ello necesito tomar imágenes con tiempos de integración de 10 a 30 segundos, dependiendo de la focal del instrumento, la abertura y el filtro empleado; las exposiciones más breves nos irán orientando para alargar las siguientes exposiciones hasta que notemos que, en las de mayor tiempo, las estrellas del núcleo empiezan a aparecer sobreexpuestas. Lo ideal es que las toman sean tan cortas como para que las estrellas no salgan sobreexpuestas y tan largas como para que podamos llegar a la 13-16^a magnitud límite... en mi caso (con un telescopio de 203 mm de diámetro a

f/10) esto se logra con tiempos de 10 a 30 segundos en luz integral. Cada lector deberá hacer sus pruebas hasta que sepa cuándo se queda corto y cuándo se pasa de luz: lo bueno es individualizar incluso las estrellas del núcleo, algo bastante fácil en M13 dado el alto brillo de sus componentes.

Todas mis fotografías fueron tomadas en luz integral, sin filtro alguno: para reconocer con claridad las variables y medir sus oscilaciones de brillo hemos de recurrir, al menos, al filtro **V**. Antes de empezar a medir magnitudes y variaciones de magnitud podemos tomar imágenes con el filtro **B** (azul) y el **R** (rojo): al compararlas entre sí notaremos que las estrellas más rojas aparecen débiles con el filtro azul pero brillantes con el rojo, mientras que los astros blancos aparecen más brillantes con el azul que a través del rojo.

Al tomar una imagen con filtros de color veremos que hay una estrella que cambia espectacularmente de brillo según se tome con el B o el R: se trata de **Barnard 29** (también Ludendorff 222), un astro del tipo *errante azul* cuyo índice de color B-V es nada menos que -0.18: ello es debido a que es una estrella caliente que emite fuertemente en luz violeta y ultravioleta; aparece como sospechosa de variabilidad en el trabajo de Osborn con magnitud V 13.15^a. Es fácil identificarla porque ocupa el vértice oriental de un triangulito muy evidente: los otros dos astros son de magnitud 12.81^a y 13.18^a respectivamente; en mis imágenes aparece algo más brillante que esta última.

Para estudiar estas variables es preciso tomar



Carta de M13: en ella aparecen las variables (rotuladas V), estrellas sospechosas (L) así como astros de comparación. Es la primera en su género, ya que ha sido elaborada por un aficionado para ser utilizada por otros aficionados (F. A. Violat).

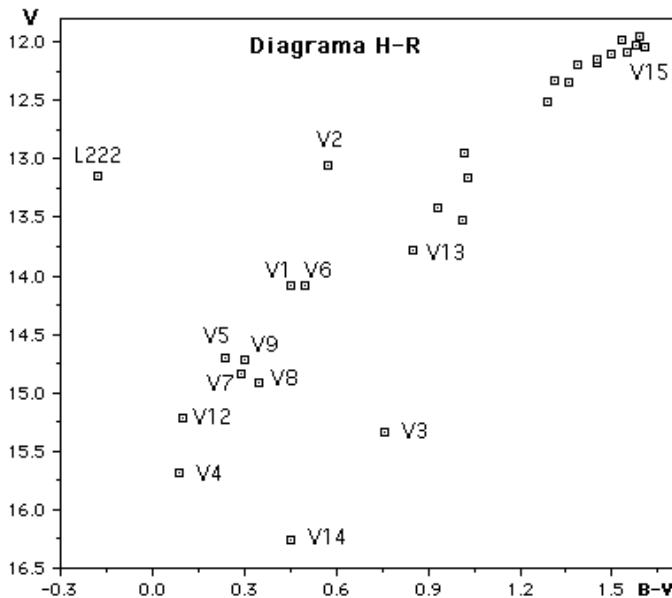


Diagrama H-R de las variables (con números) y sospechosas de variabilidad: se ve claramente el brazo de las gigantes rojas y el brazo horizontal con las cefeidas y RR Lyr.

imágenes noche a noche (incluso dos o tres en la misma noche si pretendemos estudiar las RR Lyr) para determinar no sólo el rango de variación de cada estrella, sino su período aproximado. En el caso de las semirregulares y de largo período necesitaremos al menos 3 meses, mientras que las cefeidas se conforman con dos-tres semanas (para cubrir varios ciclos completos); las RR Lyr del globular tienen ciclos tan cortos (0.29 a 0.75 días es decir, 6.96 a 18 horas) que en una misma noche podremos, a lo largo de 2-3 horas, capturar una fracción apreciable de su período (de 1/2 a 1/6 aproximadamente), de modo que en noches sucesivas iremos cubriendo poco a poco todo su ciclo.

Como hemos podido ver a lo largo del artículo todavía hay mucho trabajo por hacer: ¡no podemos llegar a aburrirnos!

Desde estas páginas aprovecho para hacer un firme llamamiento a todos los aficionados interesados en variables, que dispongan de telescopios a partir de los 150 mm de apertura y CCD, para que se unan al autor en una campaña seria que localice, catalogue, siga y mida de modo sistemático las variables más brillantes en los cúmulos globulares más cercanos del hemisferio norte (de momento M13 y M71): es una tarea que no sólo está por hacer, sino que nos permitirá refinar nuestras técnicas, divertirnos en un campo que nos gusta y, encima, ayudar a los profesionales en sus trabajos astrofísicos más punteros.

En un próximo trabajo me centraré plenamente en las variables de M13, sus tipos, rangos de oscilación y períodos, así como en las técnicas utilizadas por el autor para estudiarlas; presentaré también los primeros resultados obtenidos con mi modesto equipo al poner en práctica los consejos y técnicas ya comentados en estas páginas.

Cualquier consulta, sugerencia, nuevas ideas o dudas sobre el tema pueden dirigirse a mi dirección electrónica: VIOLAT@olanet.net

Observatorio de Aldea Moret
Cáceres, 30 de julio de 2001.

BIBLIOGRAFÍA

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

3rd. Catalogue of Variable Stars in Globular Clusters. Helen Sawyer-Hogg (Publicaciones del David Dunlap Observatory, Vol. 3, N° 6, 1973).

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

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

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

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

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

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

How Far Is the Galactic Center? Alan Hershfeld (Sky&Telescope, 1984 December).

Ultraviolet imaging telescope observations of the Horizontal Branch in M13. R. Parise, R. Bohlin, S. Neff et. al. (ApJ, 501, L67, 1998 July).

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

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

Concerning variable star V7 in M13. Walter Bisard y Wayne Osborn (Information Bulletin on Variable Stars n° 1475, 1978 September).

Red variable star L973 (V17) in M13. Tatiana Russeva y Ruscho Russev (Information Bulletin on Variable Stars n° 1534, 1979 January).

Semi-regular variable star V11 in M13. Tatiana Russeva y Ruscho Russev (Information Bulletin on Variable Stars n° 1624, 1979 June).

Three new red variable stars in M13 (L72, L194 y L70). Tatiana Russeva y Ruscho Russev (Information Bulletin on Variable Stars n° 1769, 1980 April).