

VARIABLES EN CÚMULOS GLOBULARES

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

El "matrimonio" entre la astronomía óptica y la electrónica dio nacimiento, en los años 70, a la cámara CCD; con ella los aficionados estamos en disposición de estudiar estrellas de magnitudes muy superiores a las conseguidas por la observación a simple vista o incluso fotográfica, por medio de largas y cuidadosas exposiciones: algo ideal para estudiar estrellas variables en cúmulos globulares.

Un telescopio pequeño como es mi catadióptrico de 203 mm de abertura, bajo cielos oscuros y limpios, me permitió ver astros de la 15ª magnitud (en la zona de R CrB) hace unos años, lo que me sirvió de excusa para publicar varios artículos en la revista *Tribuna de Astronomía* que tratasen sobre la "magnitud límite" capturada por los aficionados. Pues bien, al trabajar con una cámara CCD acoplada a cualquier telescopio mediano (de 150-200 mm de abertura) noto que logro alcanzar magnitudes límites que están en el rango 16ª-18ª y, por tanto, estudiar un buen número de las variables más brillantes en cúmulos globulares.

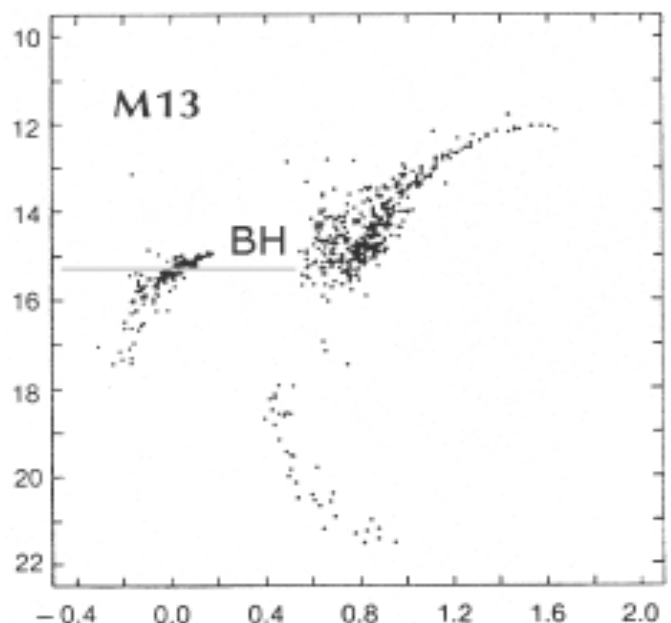
Definimos un *cúmulo globular* como un cuerpo celeste formado por un conjunto muy abundante de estrellas (varios millares, en ocasiones más de medio millón de masas solares) unidas por la gravitación mutua, caracterizado por su larga vida (varios miles de millones de años) y porque telescópicamente parecen "bolas de nieve" (los más débiles semejan la "coma" de un cometa de poco brillo). Otro rasgo típico es que, a diferencia de los cúmulos abiertos, se sitúan dispersos en un halo esférico alrededor de la Galaxia a gran distancia del centro; sin embargo la característica física más evidente es la gran antigüedad de sus estrellas: prácticamente todas ellas son astros muy viejos, con edades similares al origen del Universo (10-15.000 millones de años). Un estudio espectroscópico de sus componentes pone de manifiesto que todas ellas son estrellas *pobres en metales*: esto significa que son muy antiguas puesto que carecen de los elementos químicos complejos (*metales* en el argot técnico) característicos de las estrellas de segunda o posterior generación como es nuestro Sol.

Dado que los globulares están ligados gravitacionalmente al núcleo de la Galaxia, y giran en órbitas de gran período alrededor de éste, las dis-

tancias hasta nosotros son mucho más elevadas que las de los cúmulos abiertos: gracias a su enorme luminosidad pueden ser divisados incluso a más de 100.000 años-luz, no siendo raros los que se sitúan incluso a dos o tres veces esta distancia (es el caso de NGC 2419, en Lynx). Y como el Sol (y la Tierra) están en uno de los brazos externos de la Galaxia, por lo general todos caen bastante lejos pues nosotros también distamos bastante del centro galáctico (unos 10.000 pc, cerca de 32.600 años-luz). Así raro es el globular que está más cerca de los 10.000 años-luz, aunque algunos de ellos (como M4) se sitúan en torno a los 6.000 años-luz y son, por tanto, cuerpos bastante bien estudiados fáciles de resolver incluso con instrumentos de aficionado. Sin embargo por lo general son distantes, entre los 10.000 y 100.000 años-luz, lo que impide que sus componentes individuales sean tan brillantes como para observarlas con telescopios pequeños.

Bien pero, ¿de qué tipo son sus componentes?; un estudio físico de las mismas, por medio de la espectroscopía, demuestra que las estrellas más brillantes de los globulares son, sin excepción, rojas o muy rojas: siendo tan distantes estos astros por fuerza han de ser del tipo *gigante roja*, una fase de la evolución estelar caracterizada por el gran hinchamiento de la estrella causado por el déficit de combustible en su núcleo (hidrógeno) y uso del helio como nuevo combustible.

¿Cuál es la distribución, por clases, de las estrellas que componen un globular?; el estudio espectroscópico permite trazar un diagrama H-R en el cual en el eje *x* podemos poner el **índice de color** (es decir, la temperatura superficial) mientras que en el eje *y* vamos marcando la **magnitud aparente**. Al hacer esta clasificación notamos enseguida que el diagrama H-R de un globular es to-



talmente diferente al de un cúmulo abierto, pues en él no aparece la *secuencia principal* como en aquéllos, sino que encontramos una figura parecida a una cabeza con un "capirote" inclinado hacia atrás: un claro ejemplo es el diagrama H-R del globular M13 mostrado en la página anterior. Ahora vamos a estudiarle más despacio para constatar a la pregunta anterior.

Lo primero que notamos es que las estrellas más brillantes (que rondan la 12^a-13^a magnitud) tienen un índice de color en el rango 1,0-1,6 lo cual indican que son anaranjado-rojizas: si son tan rojas y brillan mucho no pueden ser más que del tipo *gigante roja*, como antes adelanté.

Si continuamos bajando el listón de la magnitud visual veremos que el siguiente escalón de brillo está en torno a la 13^a-15^a magnitud, en el cual aparecen gran cantidad de estrellas con índices 0,5-1,0 que pertenecen al color amarillo-anaranjado casi rojo y son del tipo *subgigantes*. Curiosamente en ese mismo rango (en torno a la 15^a) aparece un grupo de estrellas que, separado del cuerpo principal, parece dibujar una zona aplastada, casi horizontal, que corre paralela hacia los índices de color más bajos: es el denominado **brazo horizontal (HB** en la literatura profesional, *Horizontal Branch*, BH en mi gráfico), 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.

Si continuamos bajando de magnitud notaremos que, finalmente, existe un grupo disperso de estrellas en el rango 17^a-22^a (o incluso más débiles todavía) que se parecen al arranque de la *secuencia principal* de un cúmulo abierto y que, precisamente, realmente pertenecen y forman parte de la *secuencia principal* del globular; todas son astros blancos o amarillentos con un índice cromático 0,4-0,9 casi del tipo solar y realmente tan brillantes como nuestro Sol si se colocase a esa enorme distancia de la Tierra...

En resumen, encontramos cuatro tipos principales de estrellas:

- a) gigantes rojas
- b) subgigantes
- c) estrellas blancoamarillentas
- d) estrellas de la *secuencia principal*.

Y ahora nos hacemos la pregunta del millón, ¿qué tipos de variables podemos encontrar en estos grupos de estrellas? Vamos a verlo.

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 (nunca tanto en los globulares), cuyo prototipo es omicrón Ceti "Mira", bien conocida por todos; entre las semirregulares tenemos la famosa μ Cephei y otras, con períodos de la docena al centenar de días y oscilaciones de brillo notables (tampoco muy alta debido a la gran lejanía). No perdamos de vista que las estrellas situadas en la zona más alta de las gigantes rojas están en el sector en el cual se ha iniciado la ignición del helio en su núcleo, lo que origina inestabilidad en sus reacciones nucleares y, por tanto, diferencias notables en su tamaño y brillo aparente.

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, muy rápidas con oscilaciones de brillo de casi 1 magnitud.

Finalmente podemos encontrarnos con alguna *cefeida* de corto período (pocos días) que pertenecen a los tipos espectrales F y G gigantes o supergigantes, aunque de luminosidad inferior a la de las *cefeidas* clásicas típicas por ser astros viejos.

Segunda pregunta del millón: ¿cuál de estos tipos es el que mejor podemos estudiar?; la respuesta depende de dos factores diferentes, a saber:

- a) la magnitud límite de nuestro equipo
- b) la magnitud aparente de las variables.

El primero está supeditado a la **abertura** del instrumento: un reflector de 100 mm de diámetro captura **4 veces** menos luz que uno de 200 mm y **9 veces** menos que el de 300 mm: hablando en lenguaje de magnitudes esto serían **1,5** y **2,3** magnitudes menos que los instrumentos de 200 y 300 mm respectivamente; por tanto se intentará, dentro de lo posible, emplear instrumentos de apertura amplia. Como suponemos que al telescopio se le ha acoplado una CCD habría que tener en cuenta el ruido térmico de la misma, la respuesta espectral a los diferentes colores (máxima en el color rojo la *SBIG* modelo ST-4, en el verde la *Starlight Xpress* MX5) y el tiempo máximo de integración que podamos emplear, pero los vamos a dejar aparte por el momento.

El segundo depende del **tipo espectral** de la variable que estudiaremos; si volvemos la vista al diagrama H-R notaremos que los astros más bri-

llantes (en torno a la 12^a magnitud en la mayoría de los globulares cercanos) son siempre *gigantes rojas*, de ahí que sean las miras y semirregulares las que podremos seguir con más facilidad. ¿Y las conocidas y típicas estrellas RR Lyrae propias de los globulares?: como se sitúan en el *brazo horizontal* son ya bastante más débiles, quedando en M13 (ejemplo que estamos estudiando como modelo) en torno a la 14,7-14,9^a magnitud: sólo instrumentos de más de 200 mm de abertura podrían intentar seguirlas; esto quiere decir que no sería nada fácil estudiarlas y sólo en los más cercanos (como por ejemplo M4 o M13) podríamos seguirlas durante todo su ciclo de variación.

El *brazo horizontal* se suele utilizar como marcador normalizado para calcular la distancia de los globulares, dado que las estrellas que lo forman poseen la misma **magnitud absoluta**; por ello podemos decir, a la inversa, que dependiendo de la distancia el brillo aparente de las estrellas RR Lyrae será mayor o menor: así las de M5 y M13 (a unos 23.000 años-luz) brillarán con 14,7^a magnitud, las de M80 lo hacen con 16^a magnitud, las de M72 y M75 están en torno a la 17^a y las de M54 no llegan a superar la 18^a. De todos modos el que visualmente aparezcan más débiles o más brillantes tampoco es una indicación absoluta de su distancia, pues en ciertos casos existe una *atenuación* en el brillo debido al polvillo interestelar que se encuentra entre el cuerpo y nosotros; en ciertos casos esta extinción puede llegar incluso a 1 magnitud, sobre todo si el cúmulo está cercano al plano galáctico y dista considerablemente.

CASOS PRÁCTICOS

Ya tenemos el telescopio listo (tomemos como modelo un reflector de 200 mm de diámetro), la CCD dispuesta (cualquiera sirve) y disponemos de buenas cartas estelares con las cuales buscar los globulares más interesantes. Elegimos como sujeto el bien conocido M13, situado en Hércules a unos 22.800 años-luz y, con su diagrama H-R delante de la vista, vamos a tratar de comprender qué podemos hacer en este cuerpo.

En primer lugar notamos que los astros más brillantes (rojos) son de la 12^a magnitud, por lo cual nuestro equipo está más que preparado para capturar, y resolver, todas las estrellas rojas.

Ahora se nos plantea una duda antes de seguir y es... ¿hasta qué magnitud estelar llegamos?; esto depende del *tiempo de integración* que empleemos, pues si con tomas de 1 segundo captamos luz cuando la ampliamos a 5 segundos la carga acumulado en el chip será **5 veces mayor**, subiendo a **10 veces** si el tiempo lo alargamos a 10 se-

gundos... siguiendo este razonamiento podemos determinar cuál es la ganancia, en magnitudes, dependiendo del tiempo de integración.

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^a brilla 2,512 veces más que uno de 4^a ($2,51188^1$) y 6,309 veces más que uno de 5^a ($2,51188^2$), 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 se pueden dar pasos intermedios como ahora vamos a ver: en una imagen de M5 de 30 segundos he capturado astros de la 15^a magnitud; si obtengo una toma de 60 segundos (2 veces mayor) llego a la magnitud 15,753^a pues

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

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

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

y por tanto llego ahora a la $15^a + 1,193 = 16,193^a$.

Para que pueda llegar a la magnitud 17^a (2 magnitudes completas por debajo de la límite original) necesito alargar la integración exactamente

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

de modo que el tiempo de exposición será

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

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, la cual nos queda así:

$$2,51 \text{ veces} = 1 \text{ magnitud}$$

$$6,30 \text{ veces} = 2 \text{ magnitudes}$$

$$15,8 \text{ veces} = 3 \text{ magnitudes}$$

$$39,7 \text{ veces} = 4 \text{ magnitudes}$$

$$100 \text{ veces} = 5 \text{ magnitudes}$$

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 (150-600 segundos) con lo cual la ganancia será de 1,75 a 2,5 magnitudes. Esto nos lleva ya al rango 16-17,5^a magnitud y nos permite, por tanto, capturar todas las gigantes rojas, las subgigantes, las estrellas RR Lyr y algunas más perdidas...

Sin embargo hemos hablado de *magnitud límite*, esto es: un astro que con un cuidadoso procesamiento digital aparece **levemente** sobre el ruido de fondo; por ello no podremos estudiar las variables de tipo *mira* que en su máximo rocen la 17^a magnitud, dado que durante una buena parte de su ciclo no las veríamos... dejando un tramo de 0,5-0,8 magnitudes sobre el fondo estelar, para que las medidas tengan un mínimo de precisión pese al ruido de fondo, el límite práctico puede reducirse a la 16,5^a magnitud sin muchos reparos y en él me quedaré el resto del trabajo; como es natural los poseedores de instrumentos de 250-400 mm de abertura me dirán que de eso nada, que ellos pueden bajar todavía más: conforme, pero los que trabajamos con reflectores de 200 mm nos conformamos con esta cifra más conservadora.

PROBLEMAS

A la hora de empezar a trabajar ya sabemos cuáles son nuestros límites: astros de la 12^a magnitud como poco en los globulares más usuales (la 10^a en los más próximos, como M4) y astros de la 16,5^a como límite práctico: esto nos deja un rango de 4 a 4,5 magnitudes para trabajar.

Ahora bien, ¿cuál es la precisión en la determinación de brillos con imágenes CCD?, esto es: ¿cuál es la oscilación de brillo más pequeña que capturaremos? Empleando imágenes no demasiado malas con astros bien muestreados, la precisión puede ser de **0,05 magnitudes** en cuerpos más o menos brillantes; en el caso de cúmulos globulares, con astros poco brillantes y un campo estelar cubierto de estrellitas débiles, podemos bajar este límite a 0,1 magnitudes.

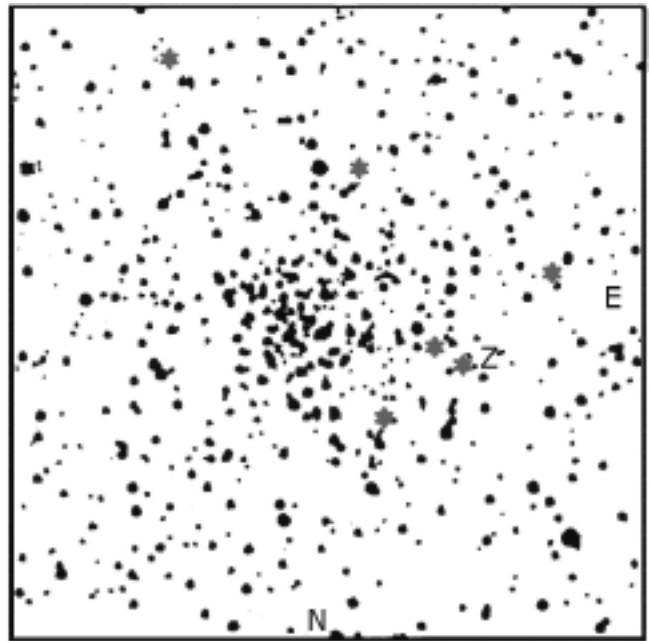
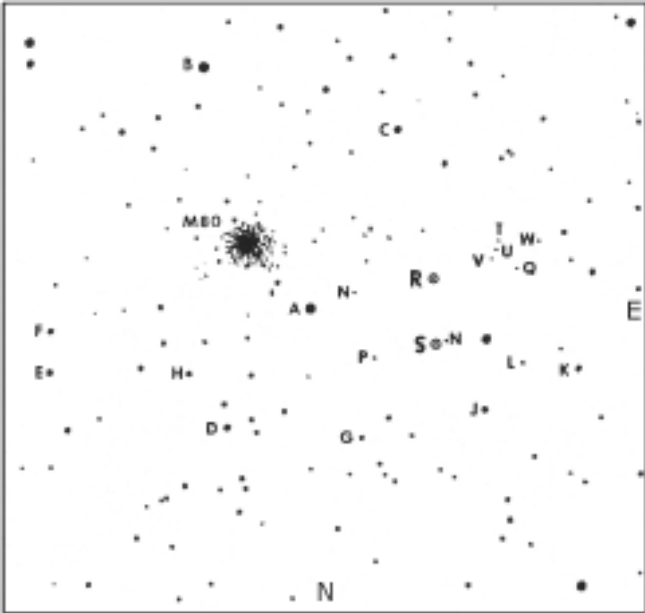
Vamos a la materia práctica, a la escala utilizada y al tipo de detector. Para focales grandes (de 2 a 4 m) se necesitan chips con el **píxel grande**, de tal modo que la escala óptima sea la mitad de la resolución del *seeing* local: así para lugares con una resolución de 4-5" lo ideal sería tener una escala de 2"/píxel; esto en un catadióptrico de 203 mm de abertura y 2 m de focal como el mío se consigue cuando el píxel mide 19,5 micras; el empleo de un chip con píxeles menores no nos ofrece más información espacial.

Otro punto a tener en cuenta es el tamaño de las estrellas sobre el chip: para hacer mediciones fotométricas de precisión se necesitan imágenes estelares *bien muestreadas*, es decir, que las estrellas cubran al menos de 4 a 9 píxeles. Esto es así porque el método más usual para la determinación del brillo, el denominado *fotometría de síntesis de apertura*, está basado en **sumar** toda la luz que llega del objeto (la variable en este caso) y **restar**

la luz del fondo celeste: para ello se determina matemáticamente el centro de la imagen estelar (el *fotocentro*) por medios estadísticos y una vez realizado sumamos toda la luz recibida a su alrededor en un radio determinado; luego se toma un lugar cercano libre de estrellas y se resta esta luz: la diferencia es la luz recibida sólo por el astro a estudiar. La abertura elegida está en función de la magnitud del astro a medir: así en astros brillantes se suele tomar una abertura que es 3-5 veces el tamaño aparente de la estrella, mientras que en astros más débiles se suele tomar un tamaño menor.

Sin embargo existe otro método menos utilizado que, en este caso, se muestra más exacto: la *fotometría de ajuste de perfil*; es el preferido cuando medimos el brillo de una estrella que aparece en un campo estelar muy poblado (como en el globular) y se basa en suponer que todas las imágenes estelares capturadas en el campo son **idénticas** puesto que se han visto afectadas por la misma turbulencia o los mismos errores ópticos: el diferente aspecto de las estrellas estará producido sólo por el factor de escala; en este caso podemos definir el aspecto estelar final por una función denominada **PSF** que representa el perfil de una estrella puntual después de haber pasado por la atmósfera y con las aberraciones del sistema óptico **telescopio + CCD**. En este caso la fotometría se basa en ajustar la función a las estrellas capturadas en la imagen, de tal modo que podamos determinar qué factor de escala es el adecuado para cada estrella. Probablemente los aficionados se sientan tentados de emplear el primero, que es el que mejor conocen y mejor manejan los programas astronómicos que ellos emplean.

Sí, todo muy bonito y muy teórico pero, ¿cuál es realmente la precisión conseguida?: con una sencilla ST-4 y un reflector de 150 mm de abertura se puede llegar a medir cambios de brillo, y con ellos trazar después las curvas, con una *dispersión* de 0,1 magnitud; y estamos hablando de emplear sólo 256 niveles de gris en un aparato pequeño: sin embargo cuando trabajamos con cámaras como la MX5 (4.096 niveles) o modelos ya superiores (ST-7) es factible bajar esta precisión a 0,05 magnitudes, no faltando los autores que cifran en **0,01 magnitudes** la precisión de una CCD de aficionado cuando se trabaja escrupulosamente en buenas condiciones. Nosotros nos conformamos con algo menos, pues además de trabajar con astros débiles (desde la 12^a magnitud) prácticamente nunca tenemos el campo estelar vacío de astros como para que la fotometría por síntesis de abertura sea eficaz al 100%, además de que el propio ruido de fondo y el instrumental puede afectar bastante en las tomas.



CASOS PRÁCTICOS

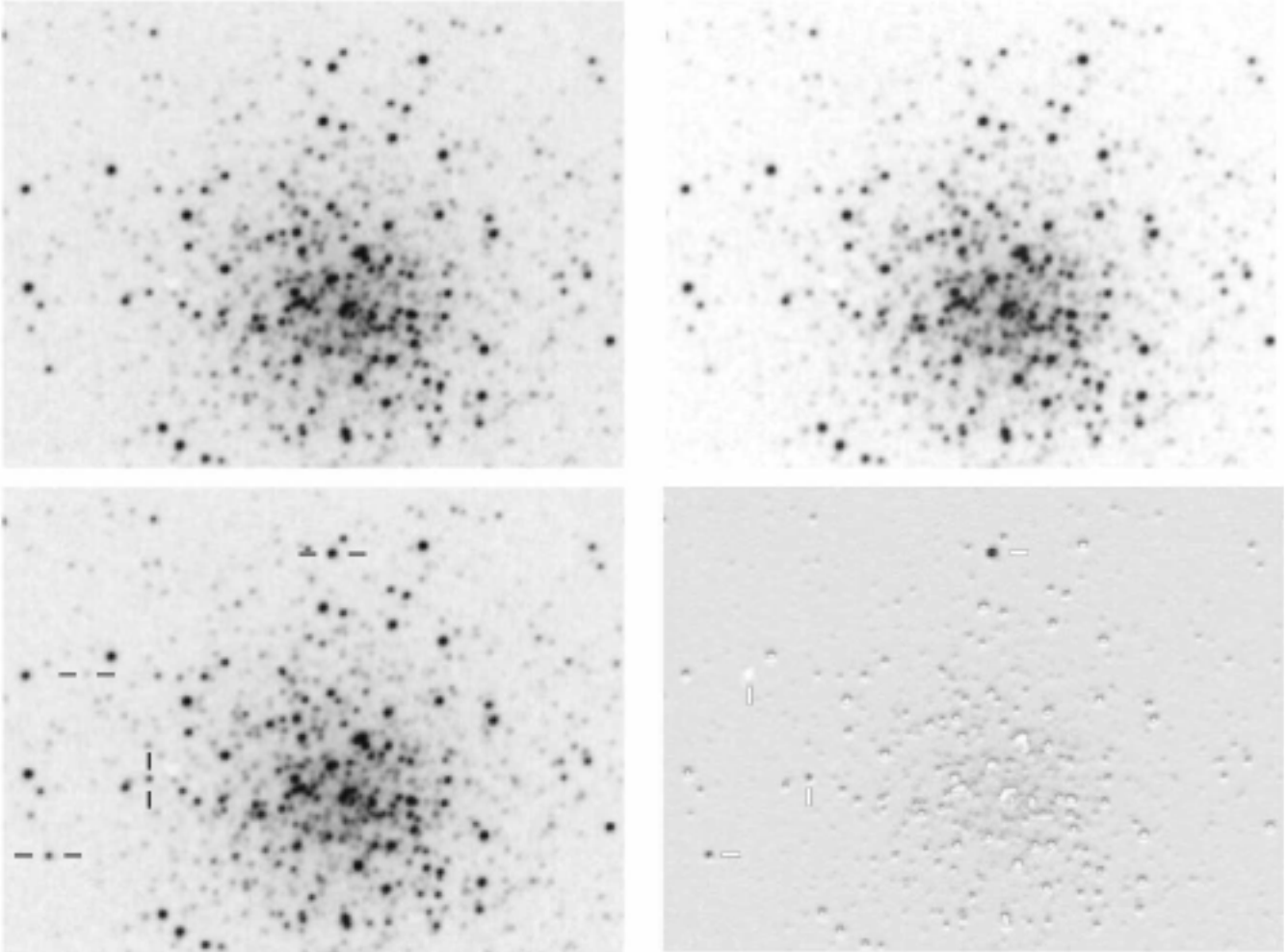
Ya que sabemos un poquito más del tema que nos ocupa vamos a los casos prácticos, que son precisamente los que nos interesan a todos. Analizando tipo a tipo nos queda entonces:

Estrellas semirregulares y miras. Aunque en la literatura profesional se mencionan algunos cúmulos que contienen semirregulares y *miras*, el caso mejor documentado y fácil lo tenemos en **M80**, globular situado en Escorpión. La carta adjunta (tomada del *Burnham's Celestial Handbook*) presenta el cúmulo y las estrellas de fondo en un campo de 30': dos de ellas, **R** y **S Sco**, situadas respectivamente a 9 y 10' al E y ENE del centro del cuerpo corresponden a sendas *miras* cuyos períodos son de 223 y 117 días respectivamente, presentando un rango de la 9,8^a a la 15,5^a magnitud como límites. En este caso la distancia aparente al globular facilita el seguimiento y medición, aunque sólo cuando empleamos un sistema óptico que nos proporcione un campo de 10' al menos: lamentablemente mi SC-203 mm no me sirve sin el reductor de focal. Incluso con telescopios de 150-200 mm de apertura es factible seguirlas durante todo su ciclo, al quedar su brillo dentro de la magnitud límite del aparato. Sin embargo el cercano **M4**, situado sólo a unos 6.200 años-luz, es relativamente pobre en estrellas de este tipo: una verdadera pena pues sus astros más brillantes rondan la 8^a magnitud (en luz roja) mientras que los que ocupan el BH (las RR Lyr por ejemplo) son de la 11^a magnitud: fáciles de capturar y seguir durante todo su ciclo (13^a-16^a magnitud). Más fortuna tenemos en **M71** pues pese a que dista 18.000 años-luz (esto es, casi 6 veces más) contie-

ne una gigante roja irregular denominada **Z Sge**, cuya oscilación está en el rango 12,5^a-15^a magnitud visual, así como 5 *miras* marcadas con asteriscos grises en la carta. En el caso del bien conocido **M13** nos encontramos nada menos que con 10 variables rojizas (y 8 más sospechosas), todas en el rango 11,9-13,5^a en sus máximos fáciles en todo momento; lástima que no sean mencionadas nunca en ninguna obra para aficionados...

Estrellas RR Lyr. La literatura profesional puede decirnos qué cúmulos globulares las contienen, aunque en las publicaciones más conocidas sobre objetos de *cielo profundo* he encontrado pocas facilidades para conocer sus períodos o magnitudes y ninguna carta de comparación. El objeto más interesante, por cercano, es **M4** cuyo brazo horizontal (donde están las RR Lyr) presenta astros de la 13,5^a magnitud (filtro R, algo menos con filtro V) mientras que **M22** muestra estos mismos astros en la 14^a magnitud; **M13** presenta los suyos en la 14,7^a-14,9^a mientras que en **M5** son de la 14,9^a magnitud con períodos cercanos a 0,5 días; el más distante **M15** contiene también gran cantidad aunque todas próximas a la 16^a magnitud fotográfica. Como vemos cuanto más dista el cúmulo más débiles son sus componentes: fijando nuestro límite en la 16^a magnitud podríamos estudiar globulares hasta los 35.000-39.000 años-luz. Sus períodos son siempre muy cortos: por ejemplo de 0,31 a 0,75 días (7,44 a 18 horas) las que se han estudiado en M13.

Cefeidas. No son muchos los globulares en los cuales se indique en libros para aficionados (por ejemplo el archiconocido *Burnham's*) la existencia de este tipo de astros, pese a que existen y los



Identificación de 4 estrellas sospechosas de variabilidad en el globular M3: las dos imágenes superiores son las originales de partida, la inferior izquierda muestra las presuntas variables identificadas y la inferior derecha es una *resta* de las dos primeras: de este modo aparecen *negras* las que han **bajado** de brillo mientras que la que ha *subido* de brillo aparece **blanca**.

profesionales los estudian: en el caso de **M5** esta obra cita dos de ellas, de la 11^a-12^a magnitud máxima, con períodos de 25,74 y 26,42 días respectivamente. En el caso del bien estudiado **M13** se han reconocido la existencia de 3-4 cefeidas (del tipo BL Herculis) en el rango 13,1^a-14,1^a magnitud en su máximo con períodos de 1,46 a 5,11 días (mencionadas de pasada sin indicar datos), mientras que en el notable **M22** no se citan de ningún modo... una verdadera pena al ser fáciles de capturar con telescopios medianos y CCDs.

Sin buenas cartas de identificación, salvo en el caso de las miras de M80 o M71, sin datos técnicos solventes en los que basarse o sin listados para localizarlas poco es lo que el aficionado podría hacer en el seguimiento de variables en globulares; sin embargo el que no tengamos cartas de las RR Lyr, cefeidas o miras no quiere decir que no podamos buscarlas e identificarlas. Creo que una buena imagen de cualquier globular, en el cual se aprecien perfectamente las estrellas componentes nos permitirá, por comparación, detectar aquellos cambios más notorios en ellas. Para esto es ideal tomar cada noche imágenes bien calibradas de luz para evitar saturación central, a interva-

los de 30 minutos: comparando una serie de imágenes de una misma noche (tomadas a lo largo de, digamos, 3-4 horas) podremos apreciar los posibles cambios de sus estrellas entre la primera y la última toma, ya que 3-4 horas representan una fracción apreciable en el período de una RR Lyr (en el rango de 0,2 a 1,2 días).

Esto mismo se puede aplicar en el caso de las cefeidas, pues imágenes tomadas durante una semana ponen de manifiesto aquellos astros que oscilen de brillo en este período o, al menos, orientarnos sobre los posibles candidatos.

Las miras y semirregulares necesitan observaciones continuadas a lo largo de 3-4 meses a intervalos de, digamos, dos o tres fotos cada semana: al compararlas podremos apreciar las que han cambiado espectacularmente de brillo cubriendo, de paso, varios ciclos completos.

Al final nosotros mismos, con bastante trabajo, podremos ir haciendo un completo *atlas digital* de los cúmulos globulares más interesantes y, en ellos, de las candidatas a variables; más difícil es determinar su magnitud y su período, lo cual necesita de períodos amplios de trabajo (en el caso

de las miras) y bastantes imágenes (en el caso de las RR Lyr), pero puede hacerse si se dispone de paciencia y ganas de trabajar.

¿Cuál es la técnica propuesta por el autor?, es bien sencilla: con el mismo instrumento, CCD y focal se toman imágenes diarias del globular (si ello es posible) empleando el **mismo tiempo** de integración y mismo procesado digital; la idea no es la de capturar una imagen muy bonita o estética llena de miles de astros, con el centro tan saturado que no se reconozcan las componentes, sino la de *individualizar* el mayor número posible de estrellas y que éstas no aparezcan saturadas.

Las imágenes de M3 de la página anterior (manipuladas digitalmente por el autor *inventando* variables donde no las había) nos lo pueden mostrar gráficamente como ejemplo: en las dos tomas superiores vemos el globular y un muy minucioso examen comparando ambas nos muestra la presencia de, al menos, 4 candidatas a variables que han sido marcadas en la imagen inferior derecha. Cuando sumamos la primera imagen (positiva) a la segunda (negativa) nos queda una toma gris (al cancelarse casi totalmente sus componentes), en la cual destacan tres astros negros que han bajado de brillo y uno blanco que ha subido levemente... si el orden de suma de las imágenes fuese el contrario los astros serían blancos (los que bajan de brillo) y negro el que ha subido de brillo. Utilizando esta sencilla técnica con imágenes propias del globular podemos detectar las presuntas variables: imágenes posteriores tomadas a intervalos determinados (diarias para las RR Lyr y Cefeidas, semanales para las miras y semirregulares) pondrán de manifiesto sin las candidatas a variables lo son o no, llegando a determinar el rango de oscilación y el período de cada una.

Ideal sería el empleo de filtros de color del tipo Johnson a la hora de tomar imágenes: al menos necesitaremos el **B** (azul) y el **V** (verde), con los cuales podríamos determinar rutinariamente el índice de color **B-V** de las estrellas más brillantes: aquellas más rojizas (frías) son candidatas ideales a miras y semirregulares, las amarillas son candidatas a cefeidas y las blancas (más calientes) a estrellas del tipo RR Lyr o incluso *errantes azules*...

La captura de imágenes de globulares **sin** filtro de color puede llegar a falsear el aspecto de sus componentes, sobre todo si se trabaja con un chip más sensible al rojo que al verde como es el caso de la ST-4: intercalando siempre el filtro **V** delante del chip *normalizamos* la luz recibida pudiendo empezar a efectuar mediciones o estudios; aquellos astros más rojizos aparecerán más débiles en tanto que los astros más blancos aparecen algo más brillantes. Cualquier medición fotométrica de

brillo sería habrá de hacerse, necesariamente, con filtros: es preciso, por tanto, el empleo de al menos un filtro de color; yo aconsejo el **V**, ya que en la literatura profesional se suelen indicar todas las magnitudes en este color aunque, si es factible, se pueden hacer también mediciones con filtros azules o rojos. Con las medidas de brillo así obtenidas podemos, empleando el programa adecuado, elaborar una curva de brillo provisional que nos ofrezca tanto el período aproximado como el rango de oscilación de brillo.

¿Podemos identificar las variables, o presuntas variables, por su índice de color B-V?: sí, pues las más rojizas ($B-V > 1$) son candidatas seguras a miras y semirregulares; las cefeidas, por su parte, tienen índices B-V comprendidas en el rango 0,4-0,7 (a veces incluso 0,8-0,9) en tanto que las RR Lyr andan en el rango 0,2-0,4 aproximadamente, ocupando el *brazo horizontal*. Incluso cabe la posibilidad de localizar también alguna estrella del tipo *errante azul*, cuyos índices B-V son muy reducidos (menor que 0,2) o incluso negativos (por ejemplo -0,18 en el caso de la estrella **Barnard 29**, situada en M13, un astro fuertemente emisor de luz violeta y ultravioleta); en este último caso esta estrella aparece muy débil con el filtro rojo mientras que con el azul es más brillante: un sencillo examen superficial de nuestras tomas pone de manifiesto que es muy azulada.

Como puede verse aquí tenemos un nuevo y prometedor campo de trabajo con el cual entretenemos meses enteros o incluso puede ser todo un reto para el observador de variables cansado, o aburrido ya, de seguir habitualmente las más fáciles... Es también una inmejorable oportunidad para ayudar a los profesionales y corroborar o ampliar sus estudios: así centrándome sólo en el bien conocido M13 puedo decir que en junio del 2000 había nada menos que **6** presuntas variables azuladas catalogadas, una de ellas Barnard 29 y otras **10** rojizas, todas sin confirmar ni desmentir aún... como están en el rango 11,95-16,26^a magnitud están sin duda alguna dentro de nuestras posibilidades instrumentales.

Cualquier consulta, sugerencias, comentarios o dudas sobre el tema puede dirigirse a mi dirección electrónica: VIOLAT@olanet.net

Observatorio de Aldea Moret.

Cáceres, mayo 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, Nº 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).

NGC 2419. Francisco A. Violat Bordonau. (Publicado en ALCOR, Boletín del club 'Asesores Astronómicos Cacereños', abril de 2001.)

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).

The main sequence of the globular cluster M13. W. Baum, W. Hiltner, H. Johnson y A. Sandage (ApJ nº 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).