

M67

Francisco A. Violat Bordonau
fviolat@yahoo.es

Con la intención de probar la nueva montura ecuatorial instalada en el Observatorio Astronómico de Cáceres, he dedicado unos días al estudio fotométrico del cúmulo abierto M67 y de algunas de sus variables más brillantes. Aunque sólo he podido trabajar durante seis noches y el resultado no ha sido demasiado bueno, las imágenes capturadas demuestran la posibilidad de estudiar sus variables con amplitudes iguales o superiores a 0.07 magnitudes en banda V.

El pequeño cúmulo abierto M67 (α : 08h 51m 18s, δ : +11° 48.0', 2000.0) es un conjunto de estrellas dispersas situadas en la constelación Cáncer; su magnitud conjunta en banda B es igual a la 7.6 mientras que este valor en banda V es igual a 6.9 siendo su índice de color B-V igual a 0.7. De su diagrama H-R se ha calculado que tiene una edad en torno a cuatro mil millones de años.

En los programas astronómicos y bases de datos (como SIMBAD) aparece con otras denominaciones como NGC 2682 o C 0847+120; su movimiento propio lo aleja de la Tierra a 32.30 km/s (116 280 km/h); esta enorme velocidad se debe a la combinación de su movimiento propio unido al desplazamiento orbital del Sol.

Al haber recibido la nueva montura ecuatorial EQ-6 Pro en febrero fue necesario proceder a su correcta orientación: teniendo en cuenta que desde el Observatorio Astronómico de Cáceres no puede verse la estrella Polar esta operación debe realizarse por otros medios, efectuando pequeños ajustes, pruebas y comprobando (por medio de la captura de imágenes CCD con integraciones largas) si los nuevos cambios han sido suficientes o es preciso volver a efectuar más correcciones.

A finales del mes de mayo comencé a tomar imágenes digitales del cúmulo con la idea de terminar de ajustar la montura: también podría, de paso, efectuar mediciones fotométricas de algunas de sus estrellas variables para ver si merecía la pena organizar un estudio (en una próxima campaña) con algo más de tiempo y experiencia.

En M67 hay un buen número de estrellas variables del tipo binaria eclipsante y binaria espectroscópica muy interesantes: AG Cnc (magnitud 13.77, período 2.82 días), S 1112 (mag. 13.77, per. 2.7 d), S 1077 (mag. 12.61, per. 1.35 d), NSV 1063 (mag. 13.79, per. 17-18 d) o ES Cnc (mag. 11.19, per. 1.06 d). Por desgracia la mayoría de ellas presentan magnitudes demasiado altas: con la montura mal orientada sería muy difícil determinar sus períodos y obtener resultados fotométricos que fuesen mínimamente aprovechables.

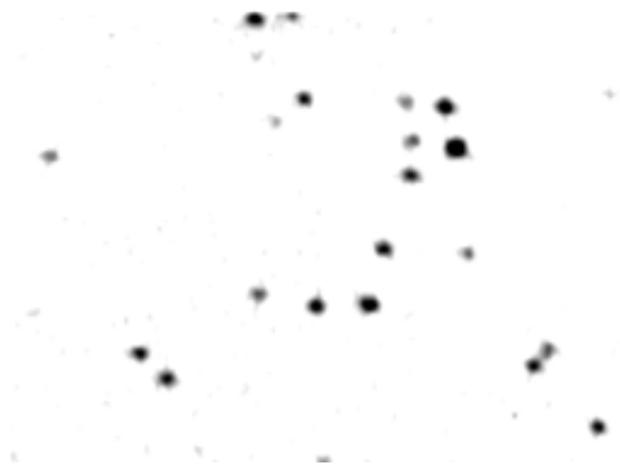


Figura 1. Imagen CCD de la zona del *Dipper* tomada por el autor: S 999 aparece en la parte inferior, concretamente en el centro de un alineamiento de tres estrellas.

cos que fuesen mínimamente aprovechables.

Aunque la meteorología no fue adversa tampoco favoreció especialmente: pude tomar las primeras imágenes en la noche de Día Juliano 53879 finalizando la campaña, cuando el cúmulo aparecía ya muy próximo al ocaso, la noche del D.J. 53889: en total han sido once noches, de las cuales sólo seis de ellas han sido apropiadas para realizar fotometría de calidad.

Para trabajar con un mayor campo recurrí al reductor de focal f/ 6.3 con el cual la focal del telescopio Meade de 203 mm quedó igual a 1260 mm: el campo aparente de la cámara CCD utilizada (Starlight Xpress MX516, de 16 bits) fue igual a 13.69' x 9.82': así pude capturar en la misma imagen las variable y las diversas (y abundantes) estrellas de calibración fotométrica que utilizaría en el estudio; en este caso utilicé el programa *AstroArt*, ya mencionado y empleado provechosamente en diversos estudios anteriores.

Como sus astros componentes son bastante brillantes (entre las magnitudes 10 y 14) no fue preciso utilizar exposiciones prolongadas usando el filtro V: debido a que la nueva montura no estaba correctamente orientada no pude pasar de los 45 segundos en las integraciones más largas; aunque la mayor parte de sus estrellas componentes tendrían una relación señal/ruido bastante alta no ocurriría así con las variables, por encima de la magnitud 12.50: es evidente que no todas podrían ser estudiadas en buenas condiciones.

En el campo capturado por el chip aparecían bastantes variables: ES, EW, AH, EX, EV, NSV 4274, S 999 y S 1070 entre otras; debido al escaso tiempo disponible antes de que el cúmulo se aproximase al Sol, en esta ocasión centré mis esfuerzos en tres variables que podrían resultar más interesantes por su amplitud (≥ 0.07 magnitudes) y períodos: AH Cnc, EV Cnc y S 999.

Para calibrar las tomas y poder efectuar las mediciones he utilizado quince estrellas de brillo

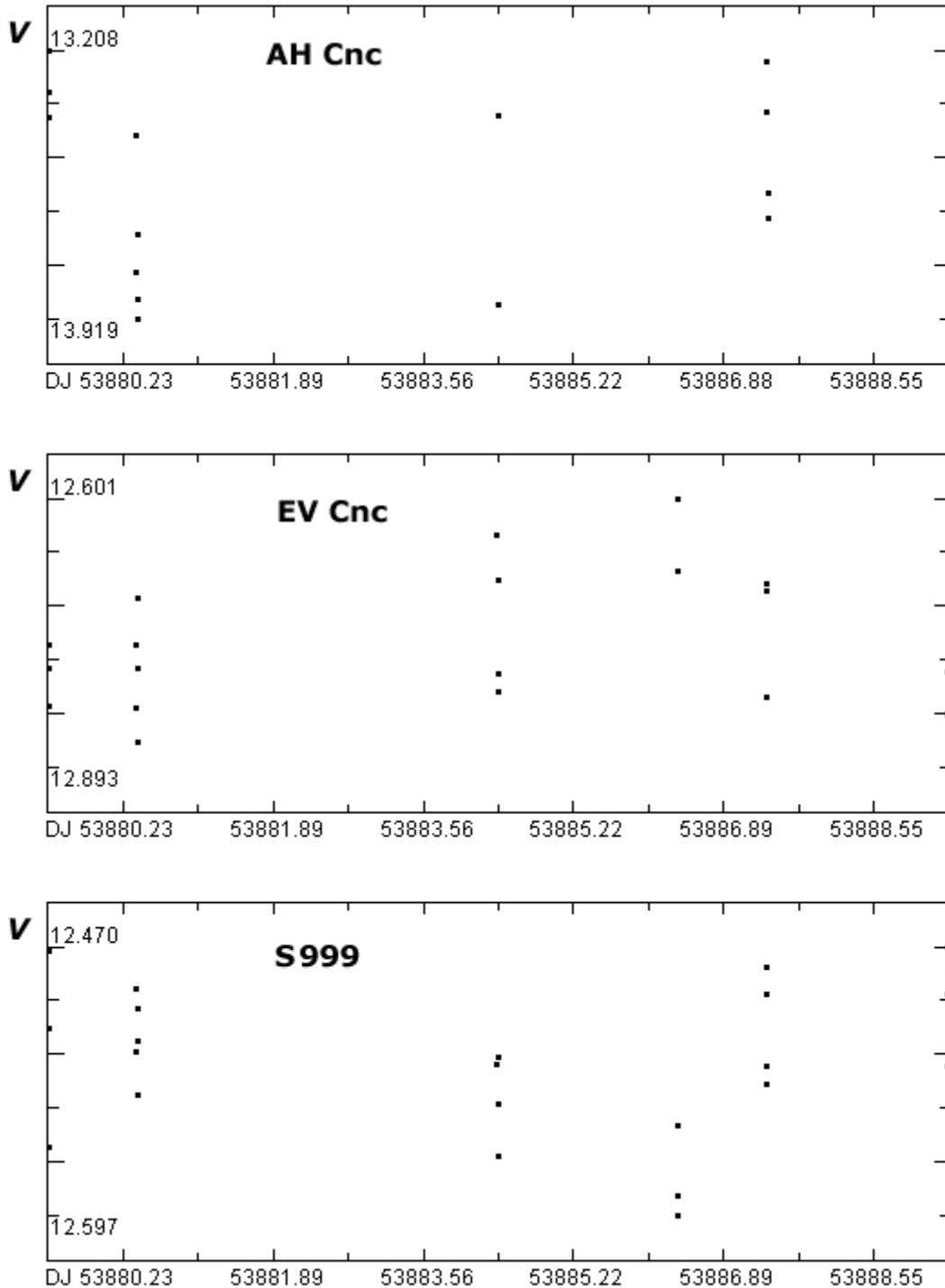


Figura 3. Curvas de luz, en bruto, de las variables AH Cnc, EV Cnc y S 999 en banda V: como puede comprobarse tanto el número de mediciones obtenidas como la amplitud instrumental es distinta, dependiendo de la estrella y su brillo.

muy bien medido (con una precisión de 4 decimales) obtenido del trabajo de Sanquist (2004), mostradas en la carta de la figura 2; puesto que en dicho trabajo estas estrellas presentan 4 decimales el último dígito ha sido redondeado.

Debido a que en el trabajo de Sanquist las estrellas aparecen identificadas con el número de Sanders, he tenido que recurrir al propio trabajo de Sanders (1977) para identificar en mis imágenes, una a una, las distintas estrellas; después de un laborioso trabajo detectivesco (recurriendo a

SIMBAD cuando no localizaba alguna estrella) pude elaborar dos cartas: una en la que las estrellas de la zona central de M67 aparecen identificadas con el número Sanders (por ejemplo S 1036) y otra en la cual las mismas estrellas aparecen identificadas con las magnitudes (tres decimales) en banda V (figura 2). En este último caso las estrellas variables aparecen marcadas con una flecha junto a su denominación o nombre actual (por ejemplo AH Cnc en vez de S 1282).

Una vez procesadas las imágenes de bias (pro-

medio de once), campos oscuros (promedio de once) y campos planos (promedio de once tomados con el reductor de focal) fueron abiertas y medidas con *AstroArt*, almacenando las mediciones en sendos documentos de texto que posteriormente serían analizados: para ello he utilizado el programa *Análisis de Variabilidad Estelar* (A.V.E.) elaborado por Rafael Barberá, miembro del G.E.A. (Grupo de Estudios Astronómicos), empleado con éxito en distintos estudios anteriores. He usado el algoritmo de Bloomfield para la búsqueda de los posibles períodos.

La dispersión en las mediciones se debió tanto a la orientación de la montura, que producía una leve deriva de los astros en las imágenes con integraciones prolongadas, como a la baja altura del cúmulo sobre el horizonte local y al pequeño tamaño de las estrellas sobre el chip (las imágenes estelares no estaban bien muestreadas).

Veamos ya cada una de las estrellas individualmente y los resultados obtenidos en la campaña.

AH Cnc (S 1282). Situada en la parte central del cúmulo (α : 08h 51m 37.89s, δ : +11° 50' 57.3", 2000.0), al este de la también variable EX, su debilidad me ha impedido efectuar mediciones de calidad. Es una binaria eclipsante de tipo W UMa descubierta en 1960 por Kurochkin; aparece en SIMBAD con magnitud 13.80 en banda *B*, 13.31 en banda *V* e un índice de color *B-V* igual a 0.49. Otra denominación: SAND 1282 (también Sanders 1282 o S 1282). Su amplitud en banda *V* es próxima a 0.40 magnitudes por lo que fácilmente podría capturar su curva de luz; el período es igual a 0.360452 días de modo que no me sería difícil obtener parte de la misma.

Debido a que las exposiciones no han podido ser muy largas y a que es de reducido brillo, la relación señal/ruido ha sido baja y la precisión al determinar su brillo bastante reducida; he podido obtener un total de 15 mediciones (figura 3, arriba) encontrándola en el rango 13.21—13.92 *V*, lo que daría una amplitud instrumental igual a 0.71 magnitudes; su magnitud media resulta ser igual a la 13.56: la diferencia con la magnitud estándar (13.33 según Van den Berg) es igual a 0.23 magnitudes.

Al representar mis quince mediciones con el período oficial (0.360452 días) obtengo una curva de luz incompleta (figura 4, abajo), en la que apenas si puede verse un mínimo y un máximo faltando los segundos mínimos y máximos muy visibles en la curva profesional (figura 4, arriba); es muy notoria su gran amplitud (casi 0.4 magnitudes), los mínimos profundos y menos profundos alternos así como la forma redondeada en todo momento. Es evidente que se necesitan muchas mediciones de calidad, bien repartidas a lo largo de varios días, para poder obtener un resultado mejor y llegar a dibujar completa y mejor definida la curva de luz.

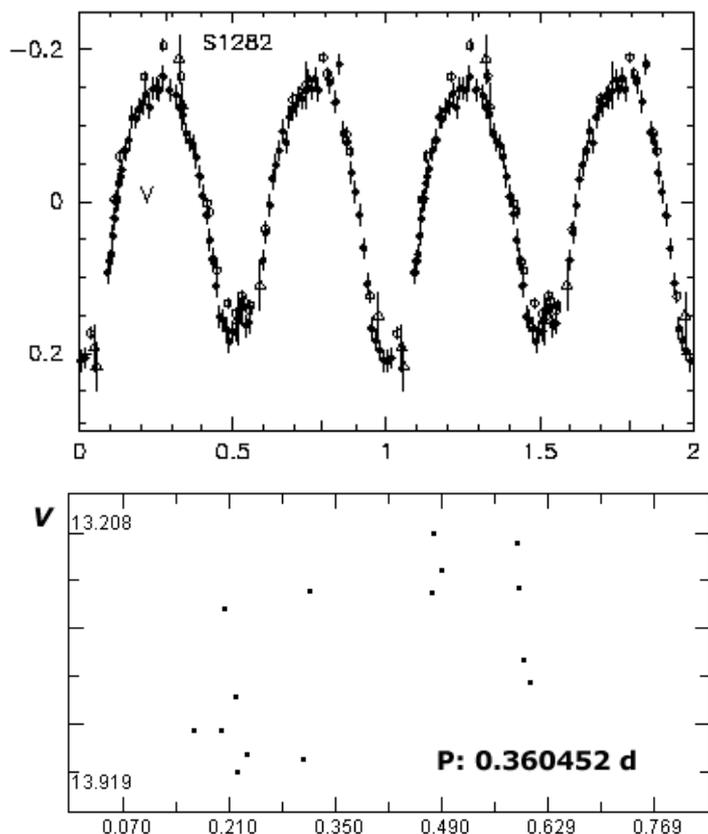


Figura 4. Curvas de luz de AH Cnc obtenidas por Van den Berg et al. (arriba) y Violat (abajo): en la primer caso las magnitudes (en banda *V*) son diferenciales, en el segundo magnitudes estándar. En la superior se puede apreciar el mínimo primario y secundario (menos profundo: aproximadamente 0.05 magnitudes), su enorme amplitud (casi 0.4 magnitudes) así como la forma redondeada de la misma. En mi curva, muy incompleta, sólo se aprecia un mínimo y un máximo, sin poder precisar cuáles de ellos son; es evidente que se necesitan muchas mediciones para poder dibujar por completo su forma.

EV Cnc (S 1036). Aparece en la parte central del cúmulo (α : 08h 51m 28.17s, δ : +11° 49' 27.8", 2000.0), al NE de la variable EW Cnc. Es una binaria eclipsante de contacto de tipo W UMa descubierta por Gilliland et al. en 1991; aparece en SIMBAD con magnitud 13.35 en banda *B*, 12.89 en banda *V* e un índice de color *B-V* igual a 0.46. Otra denominación: SAND 1036 (también Sanders 1036 o S 1036).

Debido a que su amplitud es igual a 0.18 magnitudes en banda *V* y es bastante brillante en teoría no debería tener problemas para capturarla con mi equipo; su período es igual a 0.44144 días.

La forma de su curva de luz es bastante curiosa ya que presenta mínimos de muy distinta profundidad (en torno a 0.05 y 0.10 magnitudes el secundario y el primario, respectivamente) igual que sus máximos, muy levemente desiguales (en torno a 0.01 magnitudes); mientras que el mínimo secundario es redondeado y suave el mínimo primario es muy agudo.

He podido obtener un total de 21 mediciones (figura 3, centro) encontrándola en el rango

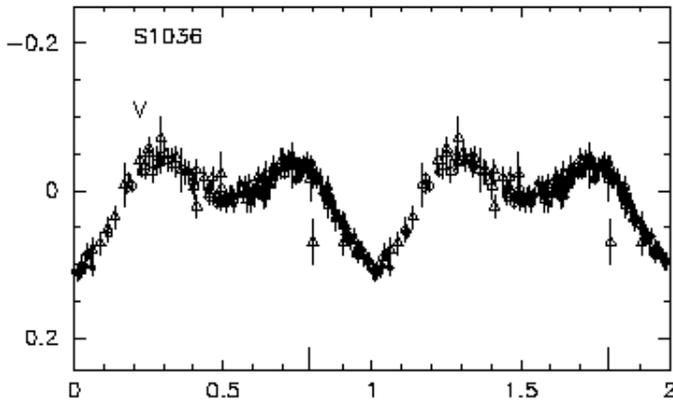
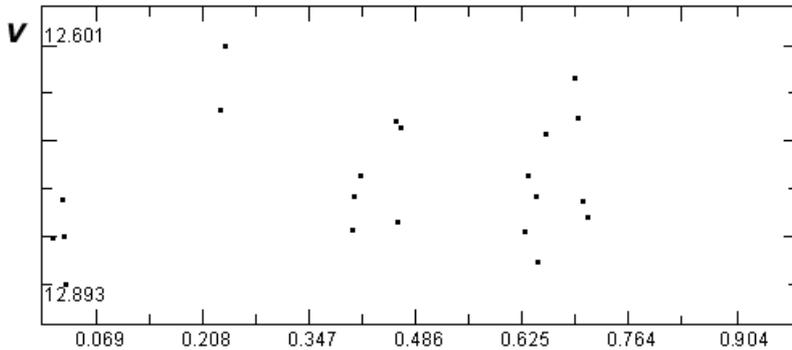


Figura 5. Curvas de luz de EV Cnc obtenidas por Van den Berg et al. (arriba) y Violat (abajo) en banda V: en el primer caso las magnitudes son diferenciales, en el segundo magnitudes estándar. Podemos ver la curiosa forma de la curva de luz con agudos mínimos profundos y menos profundos, redondeados, que se van alternando; los máximos, por su parte, son muy levemente distintos. En mi curva de luz aparece claramente el mínimo primario, el máximo primario, el mínimo secundario y el máximo secundario aunque falta una parte de la misma.



12.60—12.89 V, lo que daría una amplitud instrumental igual a 0.29 magnitudes; su magnitud media resulta ser igual a la 12.75: la diferencia con la magnitud estándar (12.78 según Van den Berg) es igual a sólo 0.03 magnitudes. Esta pequeña diferencia se ha debido a que, al ser más brillante, la relación señal/ruido fue mayor y la precisión al medir ha sido algo mejor.

En la figura 5 podemos ver las curvas de brillo de esta variable: la superior corresponde a la obtenida por Van de Berg, la inferior es la mía. Aunque el número de mediciones es escaso y están mal repartidas en el tiempo es posible apreciar el mínimo primario, el máximo primario, el mínimo secundario (menos profundo) y el máximo secundario (que según mis datos es de menor intensidad), aunque falta buena parte de la misma.

A la vista de los resultados compruebo que se necesita un número mayor de mediciones de mejor calidad, bien repartidas a lo largo de varias noches, para llegar a completar y dibujar correctamente la curva de luz.

S 999: es una binaria espectroscópica localizada en la parte sur del cúmulo (α : 08h 51m 18.71s, δ : +11° 47' 0.3", 2000.0); en SIMBAD aparece con magnitud 13.38 en banda B, 12.61 en banda V e un índice de color B-V igual a 0.77; otras magnitudes son: 12.04 R y 11.60 I. Está situada en el *Dipper*, un pequeño agrupamiento de estrellitas de brillo mediano que por su forma y aspecto nos puede recordar a las Pléyades: forma parte de un alineamiento de tres estrellas formada por S 998 (al oeste) y S 997 (al este).

Al parecer es una de las 25 fuentes emisoras de rayos X del cúmulo: el período orbital es igual a 10.05525 días (Belloni et al., 1998); al ser un sistema binario de corto período probablemente es del tipo RS CVn: sistemas estelares con actividad coronal magnética muy intensa.

Entre 1988 y 2006 se han realizado un total de 44 estudios de la estrella, aunque no todos son fotométricos; el más antiguo en el que aparece es del año 1957. Gilliland et al. (1991) encontraron su período igual 9.79 días con una amplitud de sólo 0.013 magnitudes en banda V. Van den Berg et al. (2004) encontraron su período igual a 4.6 días pero con él no se obtenía una buena curva de luz (probablemente era un armónico); al emplear un período igual a 9.2 días (el doble del valor anterior) la curva de luz era correcta, con una amplitud próxima a 0.07 magnitudes en banda B (figura 6, arriba).

Las 23 observaciones obtenidas a lo largo de seis noches distintas aparecen en la parte inferior de la figura 3: podemos ver que la estrella ha presentado una amplitud instrumental igual a 0.13 magnitudes en el rango 12.47—12.60 V; restando el error aleatorio comprobamos que su amplitud real está por debajo de las 0.10 magnitudes.

Aunque estas mediciones son demasiado escasas como para obtener un buen resultado, he buscado su período en el intervalo 1-20 días: al hacerlo así encuentro un período corto igual a 4.82 días (similar al encontrado por Van den Berg et al.: 4.6 ± 1.0 días) y otro más marcado igual a 7.26 días, bastante similar al período observado.

Cuando se representa la curva de luz con el primero el resultado no es bueno: tal como el propio Van den Berg indica probablemente no es más que un armónico del período real (en este caso este valor sería P/2). Cuando utilizo el período mayor se obtiene una curva de luz bastante consistente; el uso del período oficial (9.2 días) produce una curva de luz (figura 6, abajo) bastante buena aunque muy incompleta: indudablemente se necesitan más mediciones en una campaña futura para obtener un resultado de mayor calidad.

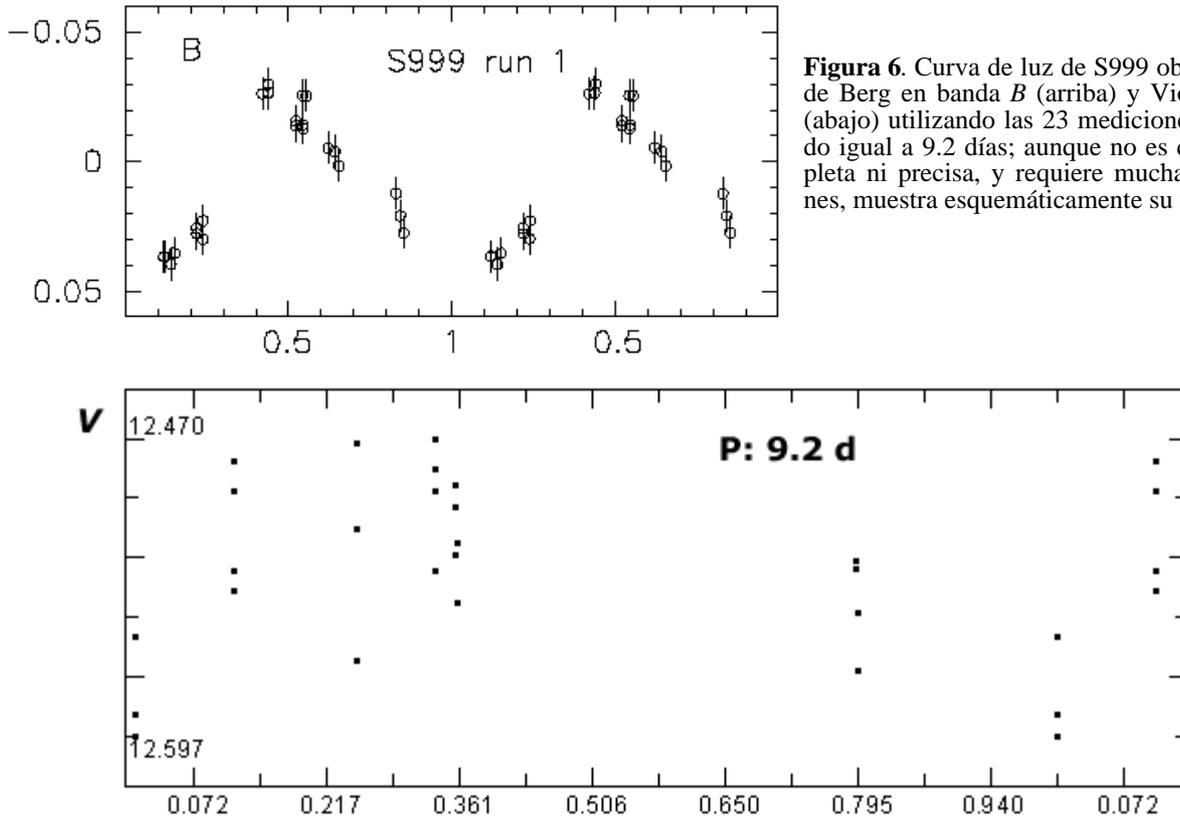


Figura 6. Curva de luz de S999 obtenidas por Van de Berg en banda *B* (arriba) y Violat en banda *V* (abajo) utilizando las 23 mediciones con un período igual a 9.2 días; aunque no es demasiado completa ni precisa, y requiere muchas más mediciones, muestra esquemáticamente su forma.

CONCLUSIONES

He obtenido imágenes CCD del cúmulo abierto M67 entre los Días Julianos Geocéntricos 53879 y 53889, empleando un telescopio catadióptrico *Meade* de 203 mm de apertura y 2 m de focal equipado con una cámara CCD de la marca *Starlight Xpress*, modelo MX516 (16 bits), con filtro *V Johnson*. Para lograr un campo más amplio he utilizado el reductor de focal $f/6.3$: el campo aparente estudiado ha sido igual a $13.69' \times 9.82'$.

La calibración fotométrica de las tomas y posteriores mediciones de magnitud se han realizado con el programa *AstroArt*.

La campaña ha durado 11 días aunque debido a la meteorología adversa sólo he podido obtener mediciones durante 6 noches; dentro de cada sesión de trabajo he capturado imágenes en un intervalo de 30 a 45 minutos, dependiendo de la altura del cúmulo sobre el horizonte local y las condiciones atmosféricas de la noche. Debido a que la montura ecuatorial todavía no estaba bien orientada las integraciones más largas han sido de 30 a 35 segundos; con estos tiempos de exposición la magnitud límite ha rondado la 14^a , aunque sólo podía realizar una buena fotometría de astros de magnitud 13.5^a como máximo.

De entre las numerosas variables del cúmulo capturadas en el campo de chip me he centrado sólo en tres, medianamente brillantes (magnitudes 12.60 a 13.33), con amplitud ≥ 0.07 magnitudes en banda *V*: AH Cnc, EV Cnc y Sanders 999.

Debido al reducido número de mediciones ob-

tenidas las curvas de AH Cnc y EV Cnc han quedado pobremente representadas, siendo imposible determinar sus períodos: en ellas apenas pueden reconocerse los mínimos y máximos. Por el contrario la curva de luz de S 999 (período: 9.2 días), aunque sólo ha sido cubierta al 65%, muestra bastante bien su forma y amplitud con una dispersión no demasiado elevada.

El experimento demuestra que se necesitan numerosas mediciones de calidad, durante al menos 10 días seguidos, para mostrar la forma de las mismas y poder determinar correctamente sus períodos y amplitudes.

Observatorio Astronómico de Cáceres. Cáceres (España), 5 de julio de 2006.

REFERENCIAS

- Belloni, T., Verbunt, F. Mathieu, R. D., 1998. *A&A*, 339, 431
- Gilliland, R. L., Brown, T. M., Duncan, D. K., Suntzeff, N. B., et al., 1991, *AJ*, 101, 541
- Kurochkin, N. E., 1960, *Astron. Circular USSR*, 212, 9
- Sanders, W. L., 1977, *A&AS*, 27, 89
- Sandquist, E. L., 2003, *MNRAS*, 347, 101
- Van den Berg, M., Stassun, K. Verbunt, F., Mathieu, R. D., 2002, *A&A*, 382, 888

EN INTERNET

Base de datos astronómicos SIMBAD:

<http://simbad.u-strasbg.fr/sim-fid.pl>

Búsqueda de bibliografía en NASA ADS:

http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html

Identificación de AH Cnc en SIMBAD:

V* AH Cnc

Identificación de EV Cnc en SIMBAD:

V* EV Cnc

Identificación de S 999 Aur en SIMBAD:

CI* NGC 2682 SAND 999