

VARIABLES EN M13

CAMPAÑA 2006

2. LAS RR LYRAE V31, V34 Y V36

Francisco A. Violat Bordonau
Teófilo Arranz Heras
fviolat@yahoo.es

Este es el segundo artículo de una serie dedicada a presentar los resultados fotométricos obtenidos durante la campaña del año 2006; si en el primero mostramos los obtenidos de las estrellas RR Lyrae V7 y V8 en esta ocasión presentamos las curvas de luz, amplitudes y períodos de otras tres variables rápidas, las RR Lyrae V31, V34 y V36, todas ellas de tipo RRc.

En un artículo anterior (Violat y Arranz, 2007) iniciamos la exposición de los resultados fotométricos obtenidos en el estudio del cúmulo globular M13 en la campaña del año 2006.

La abertura de los instrumentos utilizados (cadiópticos de 203 mm en Cáceres y 355 mm en Navas de Oro, Segovia) nos ha permitido medir, con un alto grado de precisión, todos los astros hasta las magnitudes 15 (Cáceres) y 17 (Segovia) a través del filtro V Johnson: dejando aparte las estrellas más brillantes (gigantes rojas y cefeidas), nuestro interés se ha centrado también en las mucho más débiles RR Lyrae.

Todas las mediciones que presentamos en este trabajo fueron obtenidas por este último equipo utilizando una cámara CCD Starlight Xpress, modelo MX716, de 376 x 290 píxeles y electrónica de 16 bits.

Como ya comentamos anteriormente la última actualización del *Catalogue of Variable Stars in Globular Clusters* (CVSGC, Clement et al., 2001) lista 33 variables de las cuales sólo cuatro (V5, V7, V8 y V9) son de tipo RR Lyrae. El trabajo de Kopacki et al. (2003) añadió otras cinco (V25, V31, V34, V35 y V36) al confirmar dos de las variables sospechosas descubiertas por Kadla et al. (1980) y descubrir tres nuevas (V34 a V36).

Una cuestión que quedó abierta en este trabajo fue la determinación del período de V36: según estos investigadores la variable puede pulsar con tres períodos distintos (0.31584, 0.30441 y 0.33497 días) sin que quedase muy claro cuál de ellos era el correcto. Por este hecho la clasificaron entre las variables RR Lyrae multiperiódicas.

En el anterior trabajo comentamos que el mayor problema que el observador encuentra al estudiar este cúmulo globular no es la debilidad de sus distintas estrellas componentes, sino el apiñamiento de los astros: una variable puede aparecer tan próxima a otra estrella de brillo más elevado que sus cambios de magnitud resultan muy difíciles de medir. En esta ocasión este hecho su-

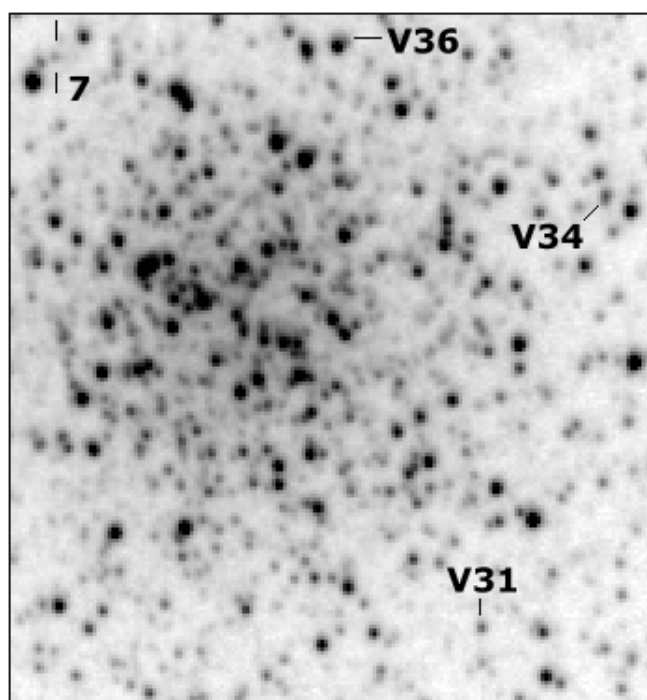


Figura 1. Ampliación de una imagen CCD de M13 en la que hemos marcado las posiciones de las variables V31, V34 y V36: para apreciar la dificultad a la hora de estudiar las dos últimas hemos señalado la posición de la variable V7. Norte abajo y este a la derecha (Teófilo Arranz Heras).

cede en dos de las variables estudiadas (V34 y V36), lo que explica que no hayan sido descubiertas con anterioridad pese a la gran cantidad de estudios fotométricos que se han realizado del cúmulo (Arp, 1955; Kadla, 1966; Russeva y Russev, 1969; Osborn, 2000) y a que no son excesivamente débiles. V31 se encuentra en la parte norte de M13, concretamente no lejos de la cefeida V6, V34 aparece en el sector oriental mientras que V36 se localiza exactamente al sur del cúmulo.

V31 (L807) fue descubierta por Kadla (1980) en un estudio fotográfico de la zona central del cúmulo en el que creyó haber encontrado hasta diez nuevas variables; debido a sus parámetros fo-

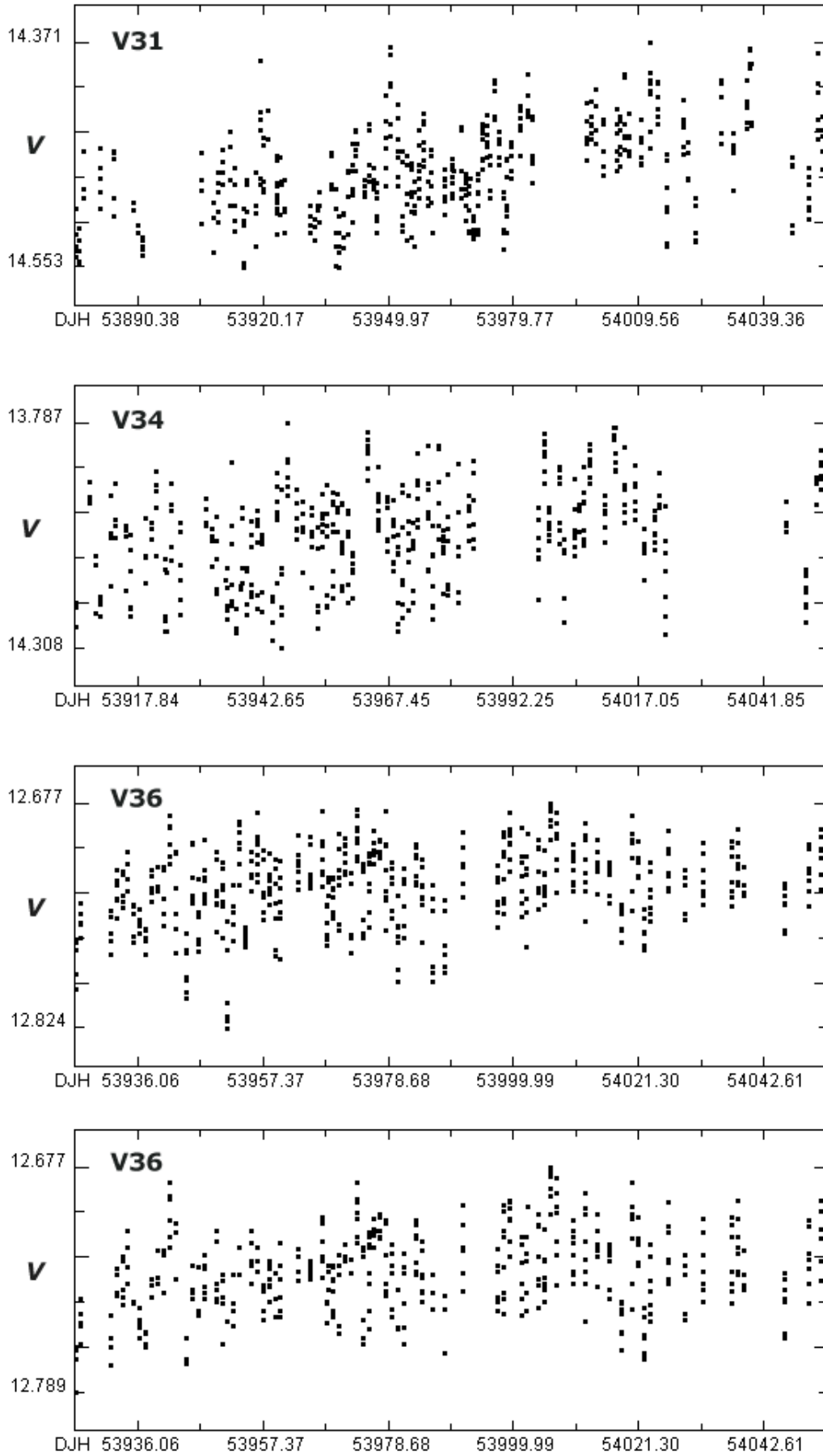


Figura 2. Curvas de luz, en banda V, de las estrellas variables V31, V34 y V36 obtenidas por Arranz a lo largo de la campaña. En el caso de V36 aparecen dos curvas distintas: la superior con todas las mediciones obtenidas, la inferior con las mediciones promediadas de cada noche.

tométricos fue clasificada en el tipo RR Lyr y como tal aparece en la última edición del CVSGC aunque sin período alguno ni amplitud.

V34 (L918) y V36 (sin número Ludendorff) serían descubiertas en el estudio CCD que efectuaron, en el año 2001, Kopacki et al. (2003); por sus períodos y curvas de luz serían clasificadas en el tipo RR Lyr subtipo RRc.

Las tres presentan sus curvas de luz muy redondeadas y suaves, siendo típicas de este tipo de variables rápidas; sin embargo cuando las mediciones se representan tal como han sido obtenidas noche a noche, como aparecen en la figura 2, no se aprecia en ellas indicio alguno de periodicidad excepto una mayor o menor amplitud.

Pasemos ya a examinar individualmente los resultados obtenidos en cada una de ellas.

V31

Situada en la posición α : 16h 41m 46.25s y δ : 36° 28' 55.2" (2000.0), a 26" al SW de la cefeida V6, aparece en una zona libre de molestos astros brillantes: en un radio de 12" apenas encontramos algunas estrellitas de la magnitud 16-17 V lo que supone una gran ventaja a la hora de medir su brillo. En la figura 3 mostramos una ampliación de una imagen CCD tomada por Arranz: V31 aparece centrada en la toma en una zona del cúmulo en donde no abundan las estrellas; por el contrario la cefeida V6 aparece muy próxima a una brillante estrella que dificulta su estudio y seguimiento.

Pese a que fue descubierta en 1980 durante muchos años no se han publicado estudios sobre su amplitud, período ni curva de luz; esto es paradójico ya que, según el trabajo fotométrico de Kopacki et al., es la RR Lyrae más brillante del cúmulo al presentar una magnitud media igual a la 14.433 V. Dado que el brillo medio de las demás estrellas de este tipo es igual a la magnitud 14.83 ± 0.02 según estos investigadores, la diferencia de 0.4 magnitudes sólo se explica por la presencia de una débil compañera, irresoluble salvo para muy grandes instrumentos.

También indicaron en su estudio que su magni-

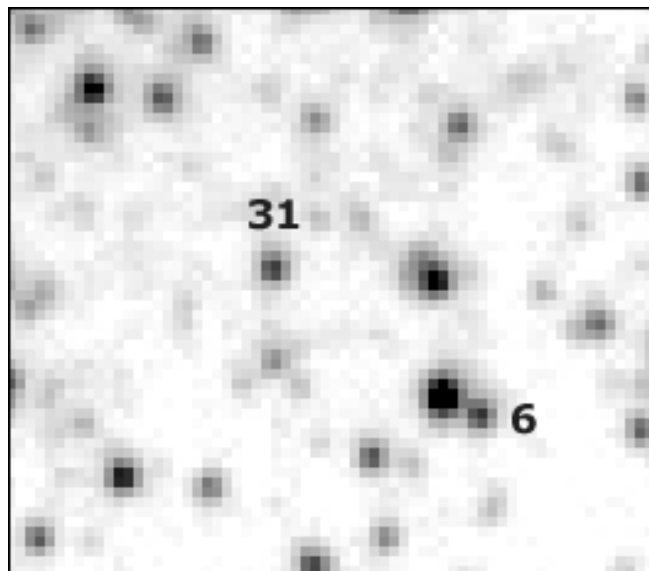


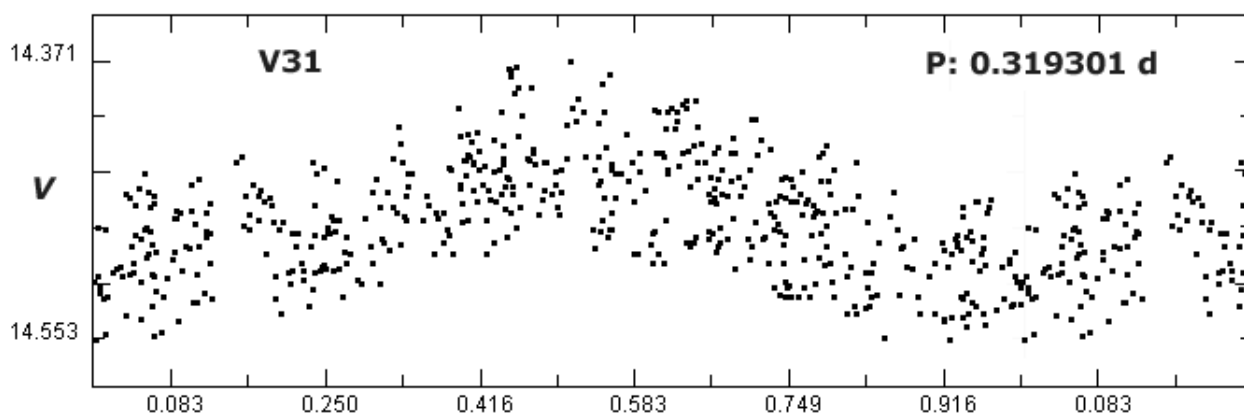
Figura 3. Ampliación de una imagen de Arranz en la que hemos marcado las posiciones de las variables V31 y V6: la presencia de un astro de mayor brillo dificulta la obtención de buenas mediciones en el segundo caso.

tud media era igual a la 14.433 V con una amplitud de 0.113 magnitudes, lo que la mostraría entonces en el rango 14.376—14.489 V.

Arranz la ha seguido entre los DJH 53875.481 y 54054.254 (180 días) obteniendo 512 mediciones de brillo representadas en la parte superior de la figura 2: la ha registrado entre las magnitudes 14.37 y 14.55 V lo que nos da una amplitud igual a 0.18 magnitudes; su magnitud media resultó ser igual a la 14.474 V ($\sigma = 0.037$ magnitudes). La diferencia con el valor del equipo polaco en el sentido Kopacki *menos* Arranz es igual a -0.041 magnitudes. Por otro lado la amplitud medida por ellos fue igual a 0.113 magnitudes mientras que la determinada por nosotros es apenas 0.067 magnitudes superior: ambos resultados son buenos.

Al analizar los datos obtenidos por medio del programa A.V.E., del Grupo de Estudios Astronómicos, usando el algoritmo de Scargle, la encontramos en el rango 14.37—14.55 V y obtuvimos

Figura 4. Curva de luz de V31 obtenida empleando nuestras mediciones con un período igual a 0.319301 días.



un período igual a 0.319301 días: teniendo en cuenta que el valor obtenido por Kopacki con sus datos fue igual a 0.3192959 días podemos ver que la diferencia entre ellos, en el sentido Arranz *menos* Kopacki, es igual a 0.0000051 días: 0.44 segundos más corto que el obtenido por el equipo polaco. Un resultado que consideramos excelente.

Utilizando este valor hemos dibujamos la curva de luz que mostramos en la figura 4: podemos apreciar la forma redondeada típica de los astros RRC así como la dispersión de los puntos que la forman en todo momento.

V34

Está situada en la parte oriental del cúmulo y más concretamente en la posición α : 16h 41m 49.06s y δ : 36° 27' 07.7" (2000.0): es fácil identificar la zona al ser parte de una cadena arqueada de cuatro estrellas, la más brillante de las cuales está en la parte norte. En la figura 5 mostramos una imagen CCD de Arranz en la que marcamos la posición de la variable; en la ampliación podemos ver nuevamente su posición muy pegada a una estrellita de brillo parecido (distan en torno a 2") pero rodeada también de otros astros: todo esto dificulta la obtención de mediciones de calidad ya que la compañera, muy pegada, contamina siempre los resultados fotométricos. Incluso en las mejores imágenes obtenidas ambas estrellas sólo llegan a desdoblarse "en ocho", mientras que las variables V5 y V9 aparecen claramente separadas pese a que entre ellas hay apenas tres segundos de arco. En este caso las mediciones de brillo incluyen la luz de la variable y la de la compañera: como ésta permanece estable en todo momento los cambios que se registran se deben únicamente a la variable; por desgracia este exceso de luz falsea el brillo real apareciendo algo más brillante de lo que realmente es.

Arranz la ha seguido entre los DJH 53905.443 y 54054.254 (150 días) obteniendo 490 mediciones fotométricas que mostramos en la figura 2: según sus datos ha oscilado entre las magnitudes 13.79 y 14.31 V lo que nos da una amplitud igual a 0.52 magnitudes; su brillo medio fue igual a la

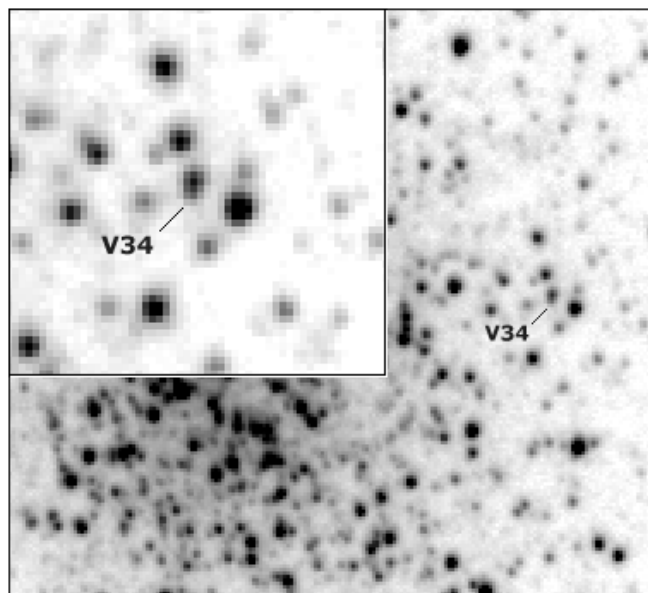


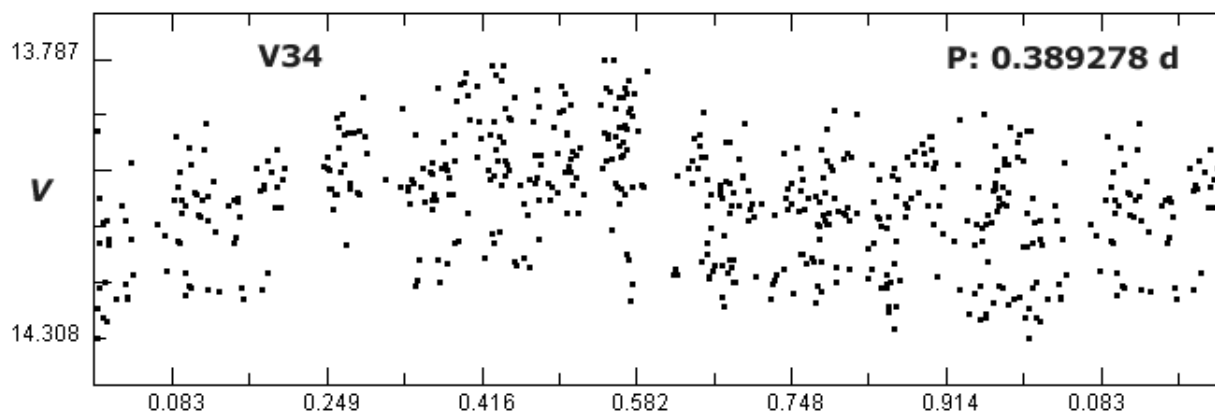
Figura 5. Imagen CCD de Arranz, y ampliación de parte de la misma, en la que hemos marcado las posiciones de la variable V34: como está situada junto a una estrellita de brillo muy parecido no es fácil obtener mediciones de calidad.

magnitud 14.045 V ($\sigma = 0.110$ magnitudes). Kopacki et al. determinaron su magnitud media y la encontraron igual a la 14.834 V con una amplitud de 0.320 magnitudes: la diferencia entre ambos valores se debe a la extraordinaria dificultad que encontramos a la hora de separar sus oscilaciones de brillo de la luz parásita de su compañera.

El análisis de los datos obtenidos produjo un período igual a 0.389278 días: el valor determinado por el equipo polaco es igual a 0.38933 días siendo la diferencia entre ambos, en el sentido Kopacki *menos* Arranz, igual a 0.000052 días (4.49 segundos). Teniendo en cuenta la dificultad en medirla creemos que es un resultado excelente.

Al dibujar la curva de luz con nuestro período, mostrada en la figura 6, obtuvimos un resultado

Figura 6. Curva de luz de V34 obtenida empleando nuestras mediciones con un período igual a 0.389278 días; aunque comprobamos que es una estrella de tipo RRC, aparece una *segunda línea* de mediciones aproximadamente 0.1 magnitudes por debajo de la curva principal.



algo distinto al esperado: por un lado podemos comprobar satisfechos que la misma corresponde a una variable de tipo RRC, redondeada y suave en todo momento, pero por otro vemos que aparece una segunda línea de mediciones paralela a la primera de origen desconocido. Dado que esta segunda línea se aprecia prácticamente a lo largo de toda la curva de luz y en cualquier fase, suponemos que ha sido producida por la presencia de la estrella compañera. (Estas mediciones paralelas pueden apreciarse también en la curva de luz del equipo polaco mostrada en nuestra figura 11.)

V36

Está situada en la parte sur del cúmulo en la posición α : 16h 41m 43.45s y δ : 36° 26' 26.0" (2000.0) apenas a 3" de una estrella más brillante.

La figura 7, ampliación de una buena imagen de Arranz, muestra la zona en la cual podemos encontrarla: hemos marcado con líneas la posición que ocupa, al lado de un astro de mayor brillo del cual no es fácil separarla. En estas condiciones cualquier medición fotométrica que se intente realizar estará, como en el caso de V34, completamente afectada por la presencia de su vecina: afortunadamente como ésta no es variable las oscilaciones lumínicas que detectemos sólo pueden ser debidas a V36.

Al igual que V34 fue descubierta en el estudio fotométrico que Kopacki et al. efectuaron del cúmulo en el año 2001: sólo el empleo de nuevas técnicas digitales (como la determinación de brillos por medio del ajuste de perfil) ha permitido detectarlas, no tanto por su debilidad sino por aparecer muy pegadas a otros astros más brillantes, habiendo escapado a distintos estudios anteriores (por ejemplo el de Osborn del año 2000).

Arranz la ha seguido entre los DJH 53925.399 y 54053.264 (129 días) obteniendo 546 mediciones fotométricas, que mostramos en la figura 2: según sus datos ha oscilado entre las magnitudes 12.68 y 12.82 V lo que nos da una amplitud igual a 0.14 magnitudes; su brillo medio fue igual a la magnitud 12.73 V ($\sigma = 0.024$ magnitudes).

Un segundo conjunto de datos, 445 puntos en total, fue obtenido al promediar las mediciones de cada noche: en este caso fue medida en el rango 12.68—12.79 V presentando una amplitud de sólo 0.11 magnitudes; su brillo medio fue igual a la magnitud 12.73 V ($\sigma = 0.020$ magnitudes). Al eliminar un único punto erróneo la amplitud quedó en el intervalo 12.68—12.77: este conjunto depurado es el que hemos utilizado posteriormente.

Kopacki et al. comunicaron que su magnitud media era igual a la 14.810 V con una amplitud máxima de 0.064 magnitudes, lo que la mostraría en el rango 14.778—14.842 V. Sin embargo en-

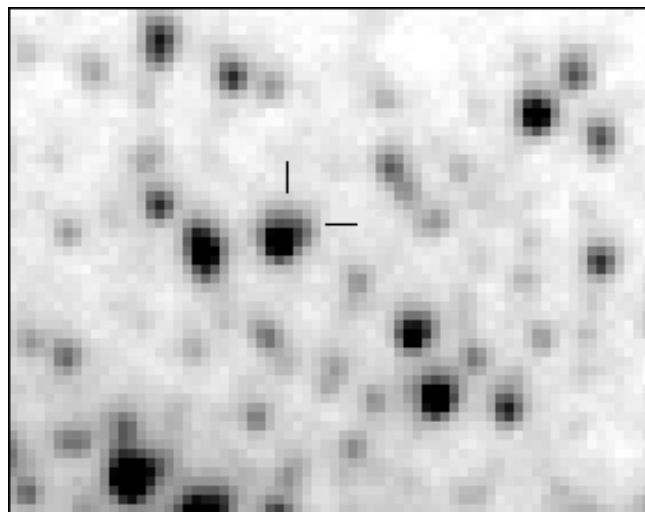


Figura 7. Ampliación de una buena imagen CCD de Arranz en la que hemos marcado la posición de la variable V36: puesto que está muy pegada a una estrella de mayor brillo resulta muy difícil estudiarla.

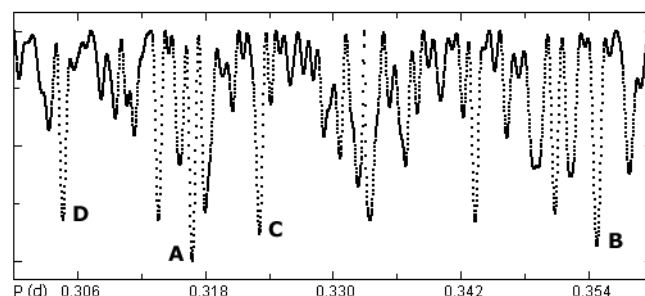


Figura 8. Periodograma de la estrella V36 en el intervalo 0.30-0.36 días: los principales períodos han sido marcados con letras de la A a la D, según la importancia.

contraron que su período no era fácil de determinar ya que al parecer presenta una modulación en su amplitud con un período de pocos días; los tres valores encontrados por ellos fueron 0.31584 días (P_1), 0.30441 días (P_2) y 0.33497 días (P_3). Las amplitudes con cada uno de ellos fueron iguales a 0.056, 0.064 y 0.024 magnitudes respectivamente.

El análisis de nuestras 546 mediciones nos permitió encontrar varios períodos de los cuales los tres más destacadas eran iguales a 0.30459, 0.33345 y 0.31799 días por orden de importancia: bastante parecidos a los del equipo polaco pero no exactamente iguales.

Al utilizar los datos promediados y depurados en el intervalo 0.30—0.36 días, para confirmar o no los resultados determinados por ellos, encontramos varios períodos que mostramos en la figura 8: hemos marcado con letras los más importantes. El más destacado (A) era igual a 0.316773 días seguido de otro más largo (B) igual a 0.354805 días; el tercero (C) era igual a 0.323104 días mientras que el cuarto (D) tenía una duración de 0.30462 días: los cuatro restantes eran ya menor marcados.

Lo primero que comprobamos era que el período más notorio era próximo a 0.316 días: muy si-

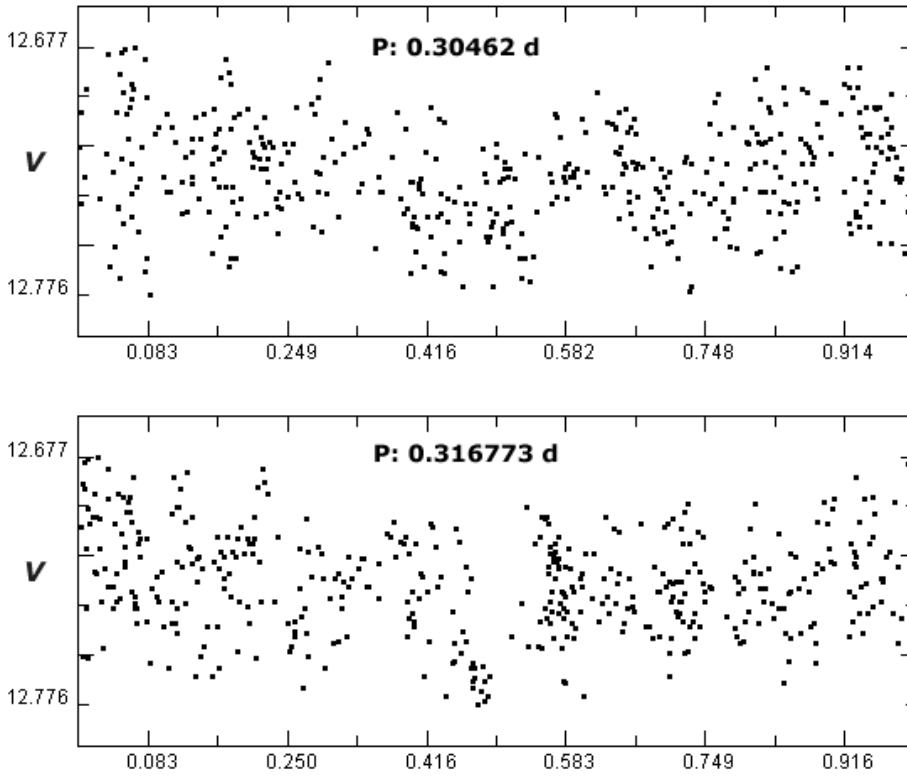


Figura 9. Curvas de luz de V36 obtenidas empleando nuestros datos depurados con un período igual a 0.30462 días (arriba) y 0.316773 días (abajo). En ambos casos podemos apreciar que se obtiene la curva de luz de una estrella variable de tipo RRc, aunque con bastante dispersión en todo momento; puede notarse, de la misma manera, que la amplitud a lo largo de las distintas fases cambia como si existiesen mediciones erróneas: este fenómeno ya fue observado por Kopacki et al. en su trabajo del año 2003.

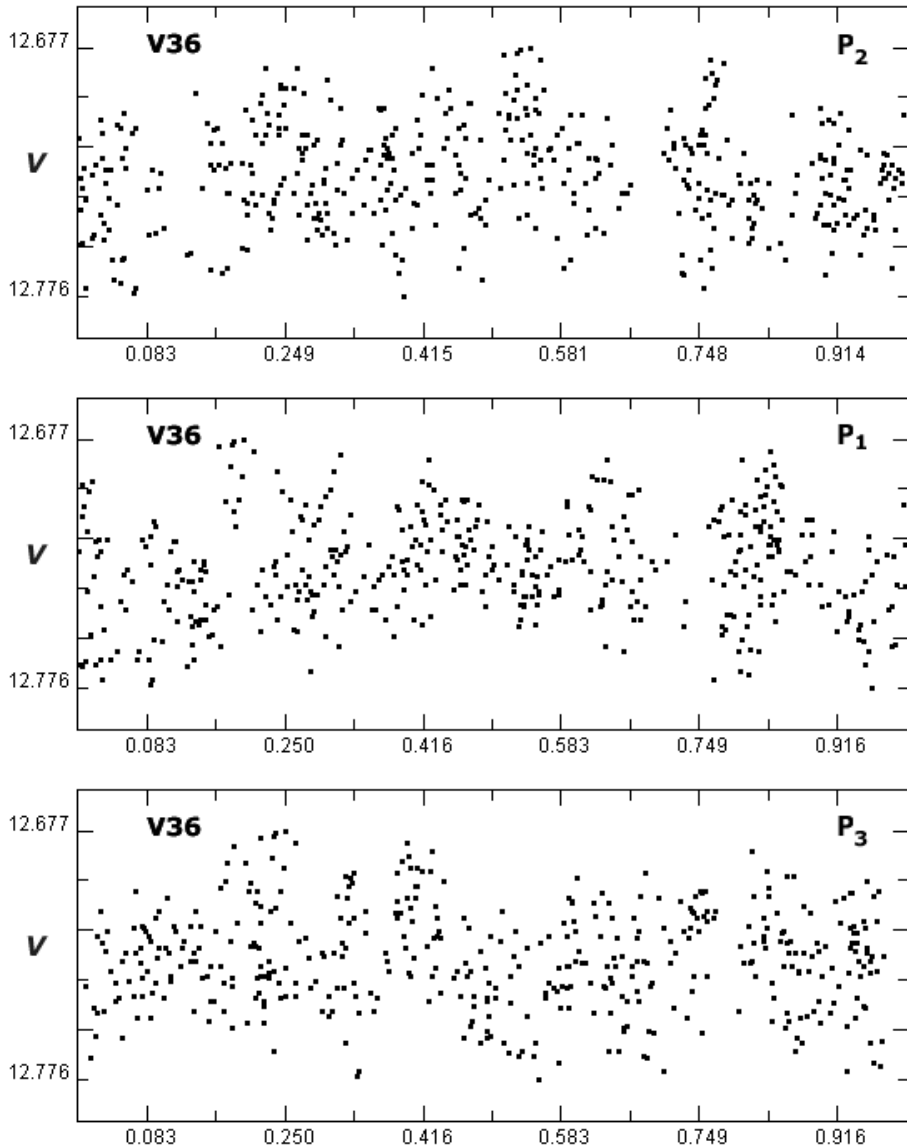


Figura 10. Curvas de luz de V36 obtenidas empleando nuestros datos depurados con los distintos períodos facilitados por el equipo polaco: 0.30441 días (P₂), 0.31584 días (P₁) y 0.33497 días (P₃). Tal como podemos apreciar la dispersión de los datos parece algo menor con el valor P₂ que con P₁, fenómeno similar al notado por estos investigadores; de la misma manera que ocurría en su estudio el valor más largo, P₃, produce una dispersión mayor y una curva de luz en la que apenas si se reconoce periodicidad alguna.

milar al de los polacos aunque no exactamente igual; además destaca un segundo período más largo (0.354805 días) no obtenido por ellos mientras que el tercer puesto lo ocupa un período intermedio (0.323104 días) no mencionado tampoco por estos observadores. Es preciso moverse hasta el cuarto lugar para encontrar un período muy similar al tercero suyo (0.30462 días).

Al utilizar nuestros dos valores más parecidos a los suyos, 0.30462 días y 0.316773 días, pudimos dibujar sendas curvas de luz que mostramos en la figura 9: ambas corresponden a una variable del tipo RRC aunque es muy notoria la dispersión de los puntos a lo largo de todas sus fases, como si las mediciones fuesen de muy baja calidad o la amplitud y/o período de la estrella no fuesen idénticos de ciclo en ciclo. Este fenómeno fue explicado por los investigadores polacos suponiendo que la estrella es una variable multiperiodica, de las que hasta la fecha sólo se conocen nueve casos en cinco cúmulos distintos.

Cuando sobre este mismo conjunto de datos empleamos los tres valores que ellos facilitaron obtuvimos tres nuevas curvas de luz mostradas en la figura 10; los períodos empleados son: 0.30441 días (P_2), 0.31584 días (P_1) y 0.33497 días (P_3).

Un estudio detallado de las mismas pone de manifiesto que la dispersión de los datos es alta en todo momento, aparecen "picos" de puntos agrupados a lo largo de ellas y las tres son de distinta calidad: la que parece mejor se obtiene con P_1 (0.31584 días) seguida de la dibujada con P_2 (0.30441 días) mientras que para el valor P_3 el resultado es ya de baja calidad.

Curiosamente los polacos encontraron que las amplitudes con estos períodos eran distintas: 0.056 magnitudes para P_1 , 0.064 magnitudes para P_2 pero sólo 0.024 magnitudes para P_3 : un resultado muy parecido al que nosotros hemos comprobado especialmente para este último valor.

A la vista de nuestros resultados, mostrados en la figura 10, podemos decir que las mejores curvas, dentro de la gran dispersión de todas ellas, se obtienen con los valores P_1 y P_2 pero sin que esté muy claro cuál de los dos es mejor (pese a que la obtenida con P_2 parece de menor dispersión). Sin duda alguna el peor resultado se obtiene con P_3 , tal como ellos indicaron en su trabajo, dado que la amplitud es menor (0.024 magnitudes) y la curva de luz es de pésima calidad.

Al comparar entre sí los resultados mostrados en las figuras 9 y 10 podemos decir ya, sin duda alguna, que las mejores curvas de luz se obtienen con un período muy próximo a los 0.316 días (P_1): así ocurre con la dibujada utilizando nuestro período (0.316773 días) y la trazada usando el período P_1 de ellos (0.31584 días).

Un resultado de mayor calidad no es fácil de obtener, aunque podemos intentarlo en una nueva

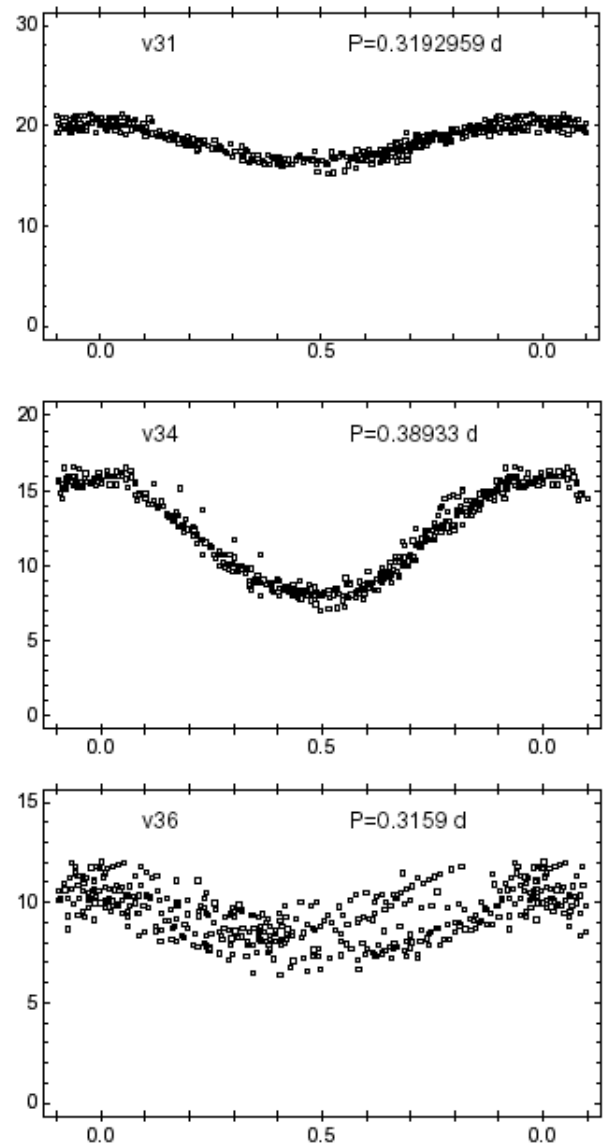


Figura 11. Curvas de luz, en banda V, obtenidas por Kopacki et al. de las variables V31 (arriba), V34 (centro) y V36 (abajo): todas muestran el flujo luminoso medido en una escala arbitraria. Podemos comparar la forma y amplitud de las mismas con las nuestras y comprobaremos que, pese a la diferencia de aberturas empleadas, son muy similares: incluso las dispersiones son parecidas.

campana fotométrica durante el año 2007.

Nuestras curvas de luz de las variables V31, V34 y V36 pueden ser comparadas con las obtenidas por el equipo de Kopacki que mostramos en la figura 11: en la parte superior la de V31, en la central la de V34 y en la inferior la de V36. Pese a que las escalas empleadas son distintas (banda V en nuestro caso, flujo expresado en una escala arbitraria en el suyo) la forma de las mismas es muy similar; es preciso hacer notar, para terminar, que los instrumentos empleados han sido muy distintos: un reflector de 60 cm en su trabajo, un cata-dióptrico de 35.5 cm en el nuestro.

Notemos que la dispersión en el caso de V36 es muy elevada, por la razón ya expuesta: la presencia de al menos tres períodos distintos.

CONCLUSIONES

Al igual que en campañas anteriores durante el año 2006 hemos efectuado un estudio fotométrico del cúmulo globular M13 y las distintas estrellas variables conocidas hasta la fecha.

El seguimiento fotométrico de tres estrellas de tipo RR Lyrae subtipo RRc, las variables V31, V34 y V36, se ha realizado por medio de un telescopio catadióptrico de 355 mm de abertura equipado con una cámara CCD Starlight Xpress MX716 a través del filtro V Johnson. La calibración de las tomas y la medición de las distintas magnitudes en cada una de ellas se ha efectuado con el programa comercial *AstroArt*, empleando para ello una secuencia de astros no variables de magnitudes bien determinadas por Osborn en su trabajo del año 2000.

El análisis posterior de estos datos con el programa A.V.E. nos ha permitido obtener un período igual a 0.319301 días para V31, 0.389278 días para V34 mientras que en el caso de V36 son tres los períodos encontrados: 0.316773, 0.30462 y 0.33345 días. Los valores determinados por Kopacki et al. son estos: 0.3192959 días para V31, 0.38933 días para V34 mientras que V36 presenta tres posibles períodos iguales a 0.31584 días (P_1), 0.30441 días (P_2) y 0.33497 días (P_3).

Las diferencias existentes entre nuestros resultados y los suyos son iguales a 0.0000051 días (0.44 segundos) para V31, y 0.000052 días (4.49 segundos) para V34 mientras que el caso de V36 son mayores: 0.000933 días (80.61 segundos) para P_1 , 0.00021 días (18.14 segundos) para P_2 y 0.00152 días (131.33 segundos) para P_3 que es, precisamente, el de menor amplitud.

Las curvas de luz obtenidas al usar nuestros períodos, por su parte, muestran que todos estos astros son del tipo RRc al aparecer suaves y redondeadas en todo momento. No hay diferencias notables entre los resultados obtenidos por Kopacki et al. y los nuestros (aparte de la distinta magnitud media o amplitud para V34 y V36 originados por la presencia de una compañera más brillante), por lo que consideramos que merece la pena investigar este tipo de astros en el futuro: en este sentido es interesante obtener nuevas mediciones en la campaña fotométrica de 2007 para corroborar y mejorar los valores aquí expuestos.

Observatorio Astronómico de Cáceres. Cáceres (España), 18 de mayo de 2007.

REFERENCIAS

- Arp, H. C., 1955, AJ, 60, 317.
 Clement, C. M., Muzzin, A., Dufton, Q. et al., 2001, AJ, 122, 1587.
 Kadla, Z. I., 1966, Iz. Pulkova Observ. 24, 93.
 Kadla, Z. I., Gerashchenko, A. N., Yablokova, N. V., 1980, Astron. Tsirkular, 1136, 5.
 Kopacki, G., Kolaczowski, Z., Pigulski, A., 2003, A&A, 398, 541.
 Osborn, W., 2000, AJ, 119, 2902.
 Russeva, T., Russev, R., 1983, Peremennye Zvezdy, 22, 49.
 Violat Bordonau, F. A., Arranz Heras, T., 2007, abril, web Casanchi.