

# VARIABLES EN M13

CAMPAÑA 2006

## 3. GIGANTES ROJAS (II)

Francisco A. Violat Bordonau

Teófilo Arranz Heras

fviolat@yahoo.es

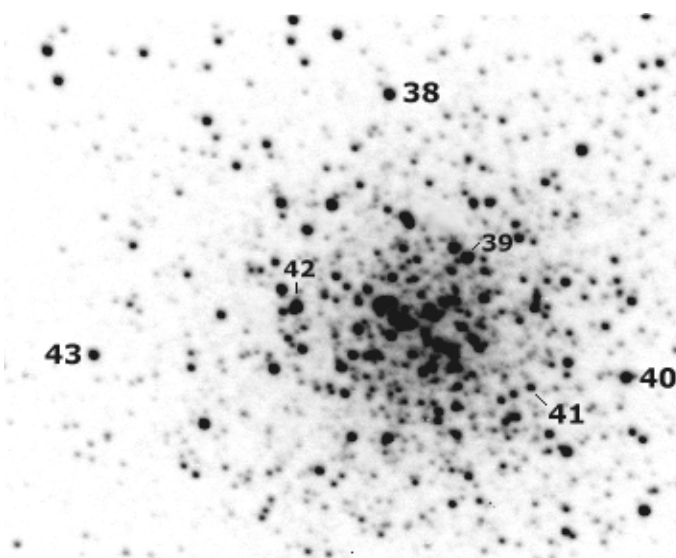
Este es el cuarto artículo de una serie dedicada a presentar los resultados fotométricos obtenidos durante la campaña del año 2006. En el primero mostramos los de las estrellas RR Lyrae V7 y V8, en el segundo los de las también RR Lyrae V31, V34 y V36 y en el tercero las curvas de luz, amplitudes y períodos de siete gigantes rojas de las catorce estudiadas. En esta ocasión presentamos el resto de las estrellas gigantes rojas estudiadas con sus curvas de luz, amplitudes y períodos. Según nuestros datos todas (excepto V41, cuyo período es igual a 42.3 días) presentan oscilaciones lumínicas sin una periodicidad marcada (variables semirregulares) y algunas, como V40 y V43, incluso podrían clasificarse como irregulares o erráticas.

En tres artículos anteriores (Violat y Arranz, 2007a, b y c) hemos presentado los resultados fotométricos obtenidos en el estudio del cúmulo globular M13 en la campaña de 2006 de las variables rápidas de tipo RR Lyrae y lentas de tipo gigante roja. En esta ocasión exponemos los restantes resultados del estudio de estrellas gigantes rojas del cúmulo, ya que dado que han sido catorce las seguidas hemos dividido en dos artículos la presentación de los mismos, conteniendo siete estrellas cada uno para no cargar los trabajos de excesivas curvas de luz (dos por astro, una por cada observatorio) ni hacerlos demasiado extensos.

La abertura de los instrumentos utilizados (catadióptricos de 355 mm en Navas de Oro, Segovia y 203 mm en Cáceres) nos ha permitido medir, con un alto grado de precisión, todos los astros hasta las magnitudes 17 (Segovia) y 15 (Cáceres) a través del filtro V Johnson. El ubicado en Segovia ha trabajado con una cámara CCD Starlight Xpress, modelo MX716, de 376 x 290 píxeles y electrónica de 16 bits; el de Cáceres ha utilizado una cámara Starlight Xpress, modelo MX516, de 520 x 290 píxeles y electrónica de 16 bits

El trabajo fotométrico de Kopacki et al. (2003) añadió ocho nuevas variables rojas (desde V38 a V45) al confirmar algunos astros sospechosos encontrados por Russev (1973) y Osborn (2000), aunque sólo pudieron determinar el período de una (V41), concluyendo que las restantes eran semirregulares sin período alguno.

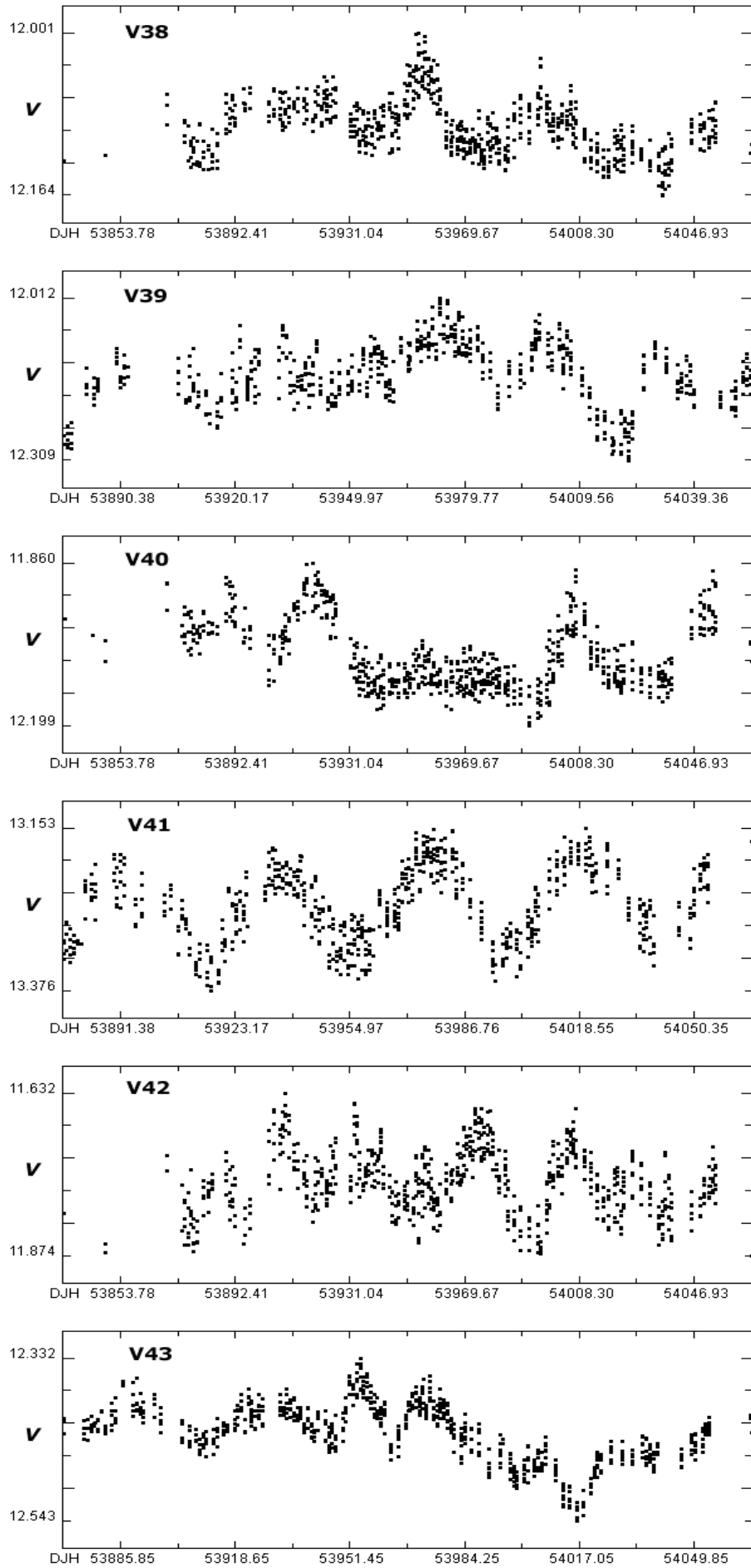
De todas ellas sólo cuatro —V41, V42, V44 y V45— son completamente nuevas (Clement et al., 2001) y nunca habían sido sospechosas de variabilidad: esto se debe a la posición que ocupa muy próxima a otra estrella de brillo similar (V42), dentro del núcleo del cúmulo (V44 y V45) o en una zona cercana a éste (V41). Las restantes son astros que no han podido ser identificados previamente como variables debido a que las mediciones disponibles eran de baja calidad por su excesiva proximidad al núcleo (V39 y V42) o a su reducida amplitud (V38, V40 y V43).



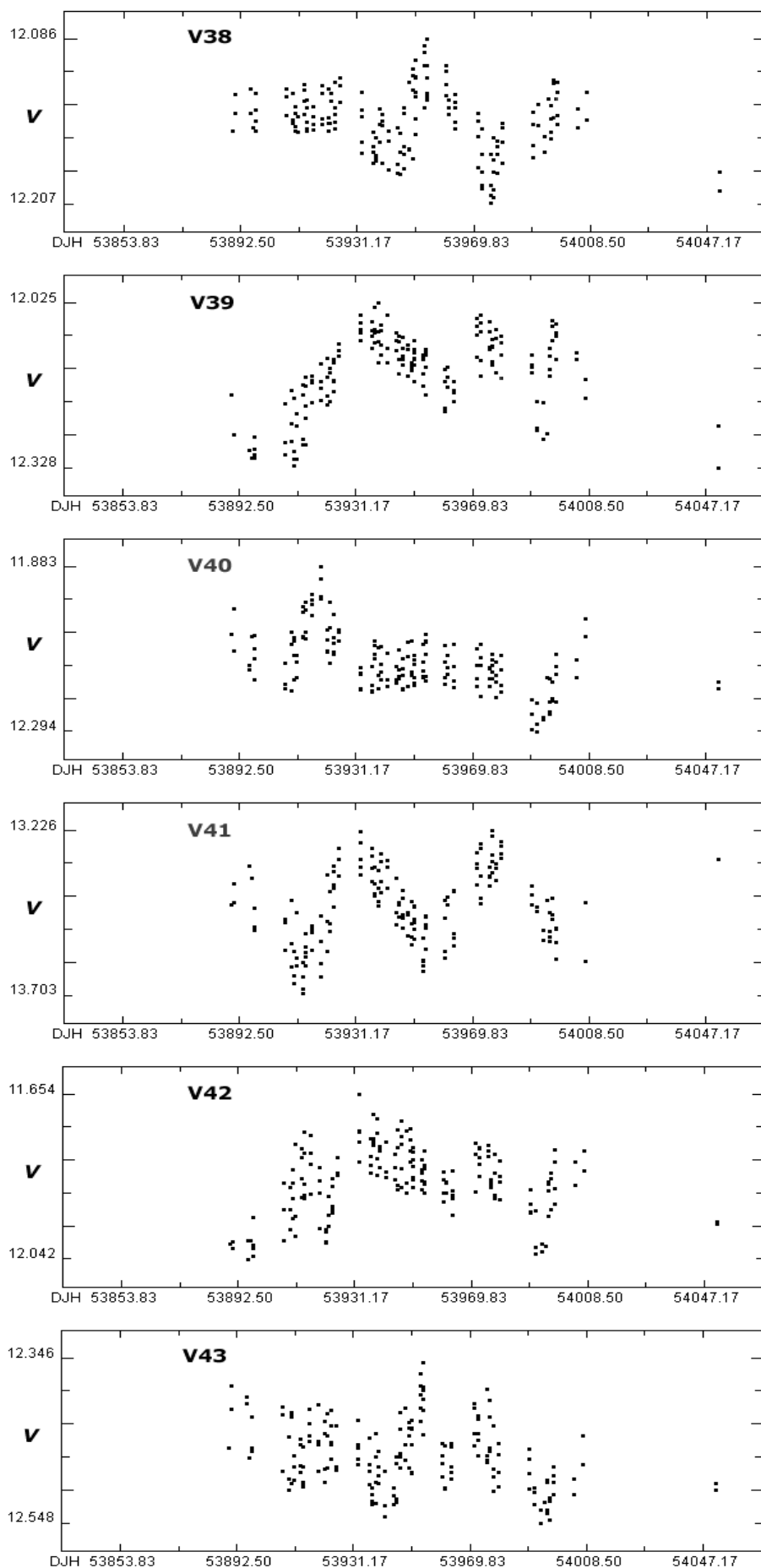
**Figura 1.** Imagen CCD de M13 en la que hemos marcado las posiciones de las distintas variables rojas estudiadas. Norte abajo y este a la derecha (Teófilo Arranz Heras).

Como ya indicamos anteriormente debido a que la campaña fotométrica de Arranz ha sido amplia (DJH 53792 al 54066: 275 días) creemos que estos datos son los más completos y extensos obtenidos de las variables rojas de M13 hasta la fecha, tanto por el número de mediciones disponibles (hasta 797 en el caso de V17) como por el amplio período cubierto y la densidad de mediciones obtenidas en este intervalo: esto nos ha permitido conocer el comportamiento de cada astro con una excelente calidad y resolución temporal.

Violat, por su parte, ha observado durante un período de tiempo más reducido debido a la orientación del observatorio de Cáceres: ha tomado mediciones entre el DJH 53889 y el 54051 (163 días) obteniendo entre 180 y 183 mediciones por estrella. Sus curvas de luz, de inferior calidad debido a la menor abertura, se muestran en la figura 3; para que puedan ser comparadas con las de Arranz sin problemas de escala han sido dibujadas en el mismo intervalo temporal.



**Figura 2.** Curvas de luz, en banda V, de las estrellas variables V38, V39, V40, V41, V42 y V43 obtenidas por Arranz. Puede apreciarse la diferente amplitud de las mismas y su dispar comportamiento a lo largo de la campaña.



**Figura 3.** Curvas de luz, en banda V, tomadas por Violat: para que puedan ser comparadas con las de Arranz están representadas en el mismo período temporal.

Los trabajos profesionales publicados hasta la fecha, el más completo de los cuales es el de Kopacki et al. (2003), cubren períodos de tiempo mucho más reducidos que el que hemos abarcado nosotros: en la figura 4 mostramos sus curvas de luz para las variables V38, V39, V40, V41, V42 y V43 en banda V. (El flujo luminoso -magnitud- está representado en una escala lumínica arbitraria.)

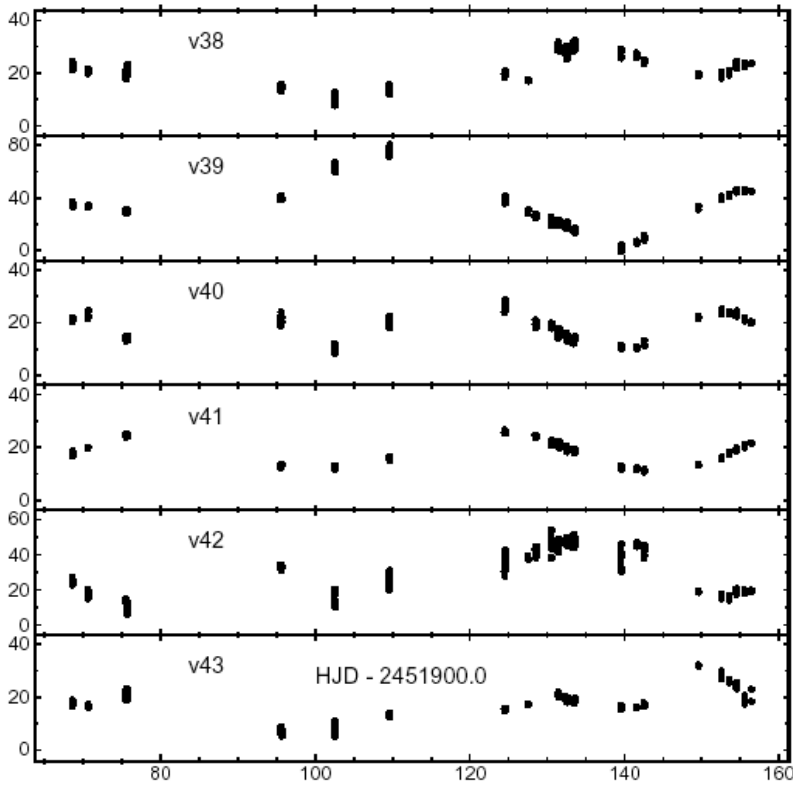
Como durante este período de tiempo tomaron mediciones en 23 noches, obteniendo un total de 342 imágenes CCD, no dispusieron de suficiente información como para apreciar el comportamiento real de las distintas variable rojas estudiadas.

Abundantes mediciones obtenidas en cortos períodos de tiempo (por ejemplo de 30 a 60 días) muestran una parte de su evolución lumínica pero no el desarrollo completo de la misma durante muchos meses y varios ciclos completos: en este caso la amplitud fotométrica medida es distinta a la real mientras que el período determinado es incorrecto.

Por otro lado, como ya hemos puesto de manifiesto en el trabajo anterior, las variables rojas pulsan con al menos dos períodos distintos: es la interacción de ambos la que modula la forma final de la curva de luz originando máximos brillantes y menos brillantes así como mínimos profundos y menos profundos, algunos de los cuales incluso se alternan en el tiempo originando un período (ficticio) que puede ser el doble del oficial.

Sólo podemos especular pero es muy posible que la existencia en estas estrellas de dos zonas de combustión distintas (*burning shells*), a profundidades diferentes, sea la causante de este fenómeno que se registra perfectamente en las curvas de luz que estamos presentando.

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



**Figura 4.** Curvas de luz, en banda V, de las variables V38, V39, V40, V41, V42 y V43 obtenidas por Kopacki et. al. El flujo luminoso está expresado en una escala arbitraria.

### V38

Situada en la posición  $\alpha$ : 16h 41m 38.65s y  $\delta$ : 36° 25' 37.7" (2000.0) aparece en la parte oriental del cúmulo alejada del núcleo, en el arranque de una de las famosas "patas de araña".

Arranz la ha seguido entre el DJH 53834 y 54066 (232 días) obteniendo un total de 763 mediciones y encontrándola en el rango 12.00-12.16, lo que supone una amplitud de 0.16 magnitudes: algo más de dos veces superior a la medida por Kopacki et al. en 2001 (0.07 magnitudes en banda V). Las curvas de luz pueden verse en las figura 2, 3 y 4: como el lector comprobará la dispersión de sus puntos es reducida. Su magnitud media fue la 12.10 V ( $\sigma = 0.03$ ), valor muy similar al obtenido por el equipo polaco (12.118 V).

Éstos no pudieron obtener su período debido al reducido número de días observados (figura 4).

El examen de nuestras curvas de luz pone de manifiesto que la estrella no es regular en absoluto: tras un mínimo al inicio de la campaña se produjo una recuperación que la llevó a un máximo de gran intensidad (magnitud 12.00) tras el cual asistimos a un mínimo, una recuperación de brillo de poca intensidad, otro mínimo más profundo y parte del ascenso de brillo al final de la campaña.

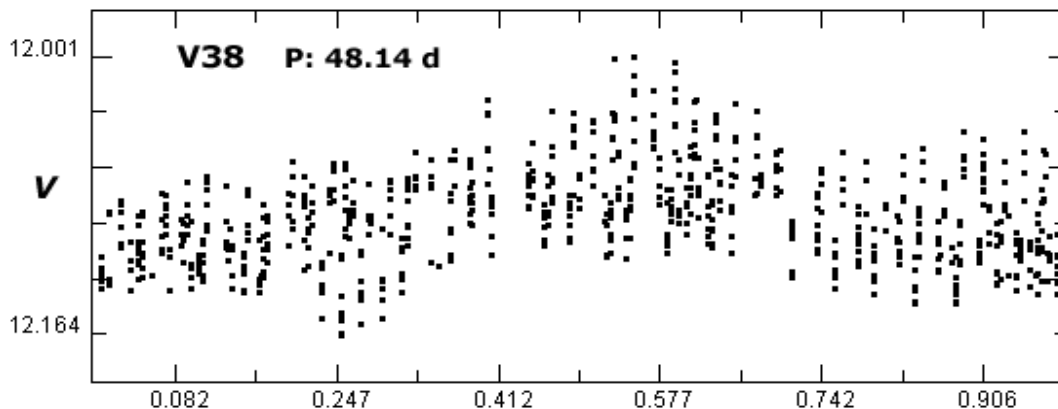
La búsqueda del período en el intervalo 1-300 días por medio del algoritmo de Scargle (usando el programa AVE del G.E.A.) puso de manifiesto tres posibles valores: uno corto poco marcado igual a 33.34 días, uno medio muy marcado igual a 48.14 días y otro muy largo, algo menos marcado, que en este caso era igual a 181.85 días.

Los períodos que presentamos en un artículo anterior (Violat, Arranz y Díez, 2006) eran iguales a 81 días según las mediciones de Arranz, 85.76 días de las de Violat, 80.21 días de las de Osborn (1977), 80.8 días de las de Kopacki et al. y 83 días de las velocidades radiales tomadas de la bibliografía. Como podemos comprobar todos estaban en el intervalo 80-86 días.

Al dibujar la curva de luz con los tres períodos obtenidos en esta campaña comprobamos que sólo el segundo, el más marcado de todos, produce un resultado que perfectamente podemos calificar como mediocre (figura 5): las mediciones apenas coinciden de ciclo en ciclo dibujando, por tanto, una curva de luz con una dispersión demasiado elevada en todo momento.

Sin embargo al utilizar cualquiera de los valores presentados en el trabajo anteriormente citado (de 80 a 86 días) el resultado es todavía peor: ninguno de ellos muestra una curva mínimamente válida. El examen de los mismos parece mostrar, más bien, que dichos valores son la suma de dos ciclos distintos ya que aparecen dos líneas de pun-

**Figura 5.** Curva de luz de V38 obtenida utilizando las mediciones de Arranz con un período igual a 48.14 días: con este valor parece apreciarse una cierta regularidad.



tos que evolucionan independientemente la una de la otra a lo largo de las distintas fases.

No parece casual que la suma de los dos valores cortos obtenidos de los datos de Arranz (33.34 y 48.14) sea igual a 81.48 días, resultado casi idéntico al obtenido de las mediciones del año 2005. En este caso el período presentado en el artículo del año 2006 se originaría por la suma de ambos períodos cortos y no por un único período más largo: en ese sentido esta variables es similar a V11 o V17 en las que pueden apreciarse al menos dos períodos distintos que, al interferir entre ellos, modulan la curva de luz final y "confunden" al programa AVE produciendo un resultado que es casi el doble del período oficial.

La diferencia en las amplitudes medidas por los distintos equipos (0.07 magnitudes Kopacki et al., 0.16 magnitudes Arranz y 0.12 magnitudes Violat) se debe, sin duda, a que ellos no registraron el abrillantamiento súbito e intenso que puede verse en nuestras curvas de luz: en este caso la amplitud registrada es menor que la real. Dado que la que nosotros hemos registrado (desde dos observatorios distintos y con distinto equipamiento) es muy parecida no cabe error alguno y por ello la damos por válida.

### V39

Podemos localizarla en la parte central del cúmulo, al lado de la brillante V24, en la posición  $\alpha$ : 16h 41m 42.51s y  $\delta$ : 36° 26' 56.0" (2000.0), en un sector muy apiñado que dificulta notablemente la obtención de buenas mediciones de brillo; la presencia de V24 origina, en noches de baja estabilidad atmosférica, un halo que se extiende a V39.

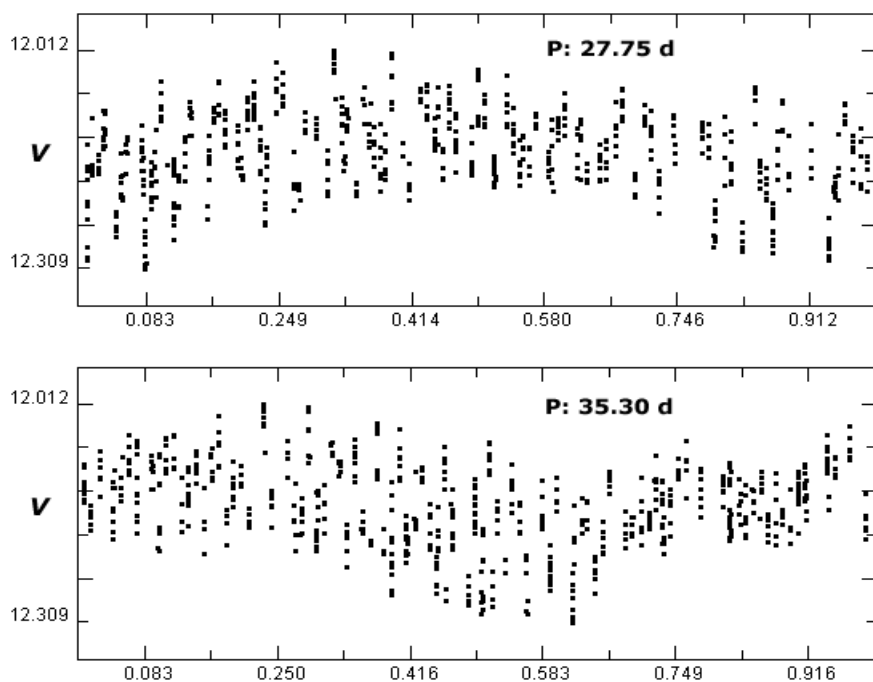
Arranz la ha seguido entre el DJH 53875 y 54054 (180 días) obteniendo un total de 673 mediciones y encontrándola en el rango 12.01-12.31 con una amplitud de 0.30 magnitudes, valor similar al de Violat; la amplitud registrada por el equipo polaco (figura 4) fue igual a 0.22 magnitudes por lo cual nuestros valores son correctos.

La curva de luz de Arranz puede verse en la figura 2 y la de Violat en la figura 3. Su magnitud media fue 12.15 V ( $\sigma = 0.03$ ), valor distinto al obtenido por el equipo polaco (11.980 V) y que puede explicarse por su desfavorable posición.

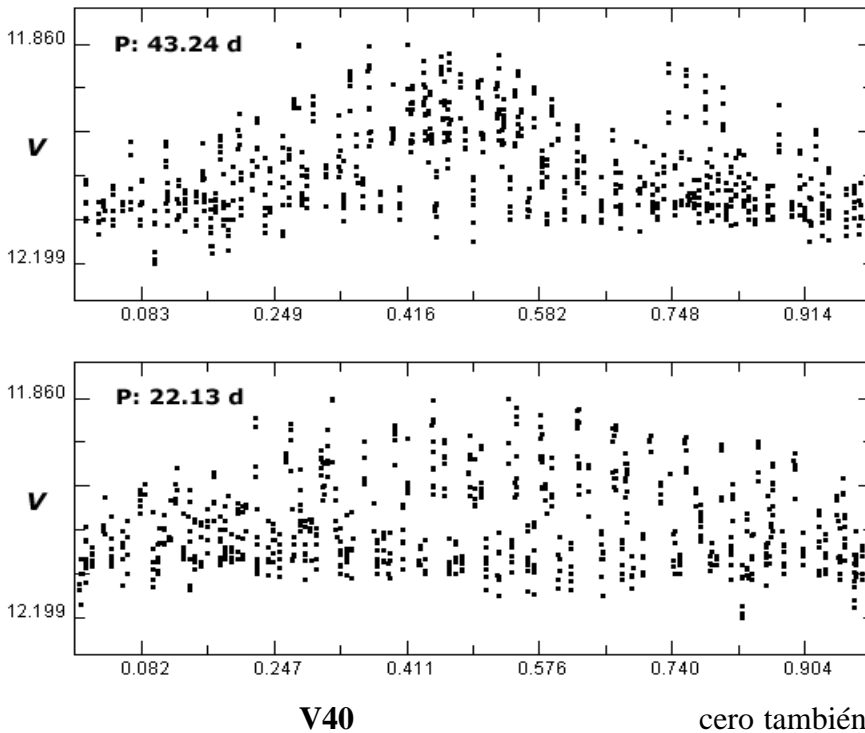
La búsqueda del período en el intervalo 1-300 días nos proporcionó tres valores muy diferentes: el primero, poco marcado, igual a 27.75 días; el segundo, algo más marcado, igual a 35.30 días y el tercero, el más probable de todos, igual a 134.40 días que nos parece demasiado largo.

Cuando utilizamos el primero de ellos (figura 6, arriba) el resultado es mediocre: aparece una curva de luz bastante coherente pese a la alta dispersión de las mediciones en todo momento. Sin embargo al emplear el segundo período obtenido (figura 6, abajo) la curva dibujada presenta una dispersión igual o algo más elevada que tampoco podemos dar por válida: en ella pueden apreciarse al menos dos curvas distintas que se desarrollan de modo parecido pero no idéntico.

Si examinamos las curvas de luz de las figuras 2 y 3 comprobaremos que el comportamiento de la estrella no es demasiado regular al presentar mínimos y máximos poco profundos que, en ocasiones, se ven acompañados de máximos o mínimos de mayor intensidad o profundidad: este fenómeno también es visible en la curva del equipo polaco, lo que nos hace pensar (como en casos anteriores) en la posible existencia de varios períodos distintos superpuestos.



**Figura 6.** Curvas de luz de V39, en banda V, obtenidas utilizando las mediciones fotométricas de Arranz con el primer período (27.75 días, arriba) y con el segundo (35.30 días, abajo). El examen de las mismas muestra que la primera de ellas, pese a la dispersión, parece más consistente que la segunda: en esta última podemos apreciar la superposición de al menos dos ciclos distintos que evolucionan de modo independiente.



**Figura 7.** Curvas de luz, en banda V, de V40 obtenidas utilizando las mediciones fotométricas de Arranz con un período igual a 43.24 días (período más probable, arriba) y con el período más corto (22.13 días, abajo). El examen de ambas pone de manifiesto la existencia de entre dos y tres ciclos cortos que se superponen, ensanchando la curva de luz.

Localizada en la posición  $\alpha$ : 16h 41m 49.66s y  $\delta$ : 36° 27' 48.6" (2000.0) aparece en la parte oriental del cúmulo, lejos del núcleo, aunque se encuentra rodeada de algunas estrellas que dificultan la obtención de mediciones de alta calidad.

Arranz la ha seguido entre el DJH 53834 y 54066 (233 días) obteniendo un total de 771 mediciones y encontrándola en el rango 11.86-12.20, lo que supone una amplitud de 0.14 magnitudes: dado que el valor obtenido por el equipo polaco era igual a sólo 0.08 magnitudes podemos comprobar que éste es casi la mitad del nuestro.

La magnitud media de estos datos fue 12.06 V ( $\sigma = 0.07$ ), valor casi idéntico al obtenido por el equipo polaco (12.075 V).

Nuestras curvas de luz pueden verse en las figuras 2 y 3, la de los polacos en la figura 4: el lector comprobará que, como ocurría en el caso de V11, los mínimos profundos y menos profundos y los máximos brillantes y menos brillantes se alternan en el tiempo; también podemos apreciar una zona muy llana en el mínimo, con una duración superior al mes, tras la cual se produjo un súbito incremento de brillo que la llevó a un máximo de gran intensidad. Las últimas semanas de la campaña mostraron su caída de brillo en un mínimo intenso, aunque de menor duración, seguido de una nueva recuperación que la llevó rumbo a otro máximo parte del cual registramos. Violat, aunque con menor calidad debido a su posición, registró un desarrollo similar a lo largo del período estudiado confirmando la existencia del mínimo prolongado de brillo constante (*o fondo plano*).

Al buscar su período encontramos nada menos que cuatro posibles valores: uno corto igual a 22.13 días, otro medio igual a 32.08 días, un ter-

cero también medio igual a 43.24 días y el último muy largo igual a 173.9 días. Podemos comprobar, como en otras variables rojas, que el valor más largo es similar al período estudiado en la campaña. De todos ellos el más destacado fue el cuarto seguido del tercero y del segundo.

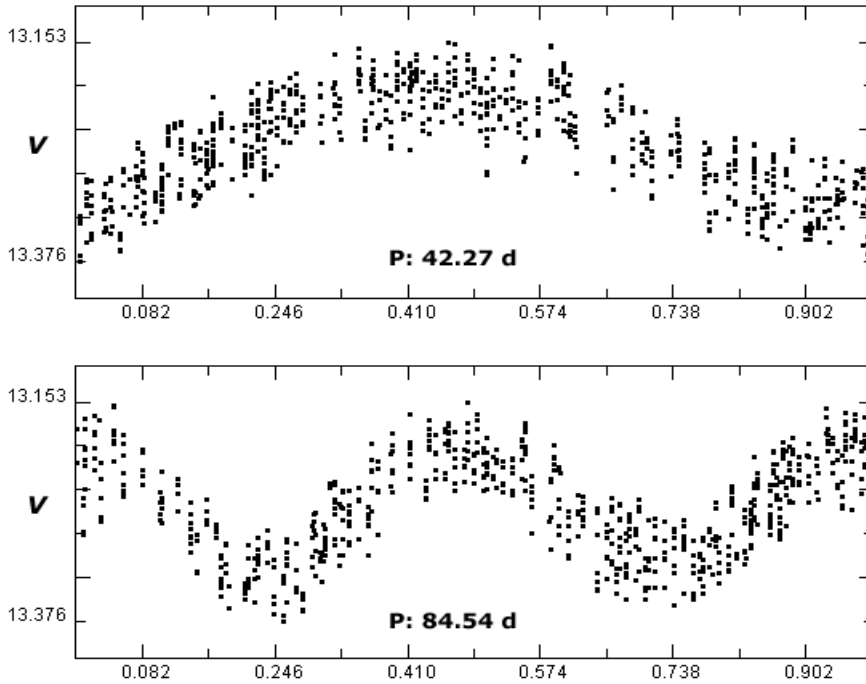
Cuando representamos las curvas de luz con todos comprobamos que ninguno de ellos proporcionaba un resultado óptimo, aunque el período medio (43.24 días, figura 7 arriba) y el corto (22.13 días, figura 7 abajo) producían curvas en las cuales podían apreciarse claramente la superposición de entre dos y tres ciclos distintos.

La impresión que se obtiene con estos datos es que la variable pulsa con, al menos, dos períodos distintos (como otras ya estudiadas) aunque los mismos no son idénticos ni se repiten del mismo modo: existe una modulación en la curva de luz.

## V41

Situada en la posición  $\alpha$ : 16h 41m 45.67s y  $\delta$ : 36° 27' 57.4" (2000.0) podemos localizarla al oeste de V40 y al SW de L835, las cuales pueden servirnos de jalones para identificarla: como está próxima al núcleo el apiñamiento estelar impide seguirla con cierta comodidad, lo que explica que no haya sido identificada hasta el año 2001.

Arranz la ha seguido entre el DJH 53875 y 54066 (192 días) obteniendo un total de 722 mediciones y encontrándola en el rango 13.15-13.38 V lo que nos daría una amplitud de 0.23 magnitudes; su magnitud media es 13.26 V ( $\sigma = 0.05$ ). Kopacki et al. indicaron que su magnitud media era 13.155 V con una amplitud de 0.11 magnitudes. La amplitud registrada por Arranz es doble de la medida por el equipo polaco, lo que se ha debido



**Figura 8.** Curvas de luz de V41 dibujadas utilizando las mediciones fotométricas de Arranz con el período obtenido por nosotros (42.27 días, arriba) y con el doble de este valor (84.54 días, abajo); la primera de ellas es típica de las gigantes rojas pulsantes mientras que la segunda es idéntica a la de una binaria eclipsante: podemos ver los mínimos primario y secundario, éste de menor profundidad.

al apiñamiento estelar (el valor registrado por Violat es todavía mayor, 0.47 magnitudes, debido también al apiñamiento estelar de la zona para su focal y abertura más reducidas).

Su magnitud media fue 13.26  $V$  ( $\sigma = 0.05$ ), valor distinto al obtenido por el equipo polaco (13.155  $V$ ) y que se debe al apiñamiento estelar.

Si examinamos las curvas de luz que mostramos en las figuras 2, 3 y 4 comprobaremos que su comportamiento es muy regular para tratarse de una estrella gigante roja (aunque no es tan brillante como las demás): después de registrar un mínimo de gran profundidad capturamos otro, de menor intensidad, seguido de un tercero (no bien registrado) de mayor profundidad tras el cual el cuarto y último fue menos profundo. Esta alternancia de mínimos profundos y menos profundos fue observada por nosotros ya en 2001, aunque en las siguientes campañas fotométricas se ha comprobado nuevamente tanto con datos de baja calidad (Violat o Díez: 2001-2006) como con los más precisos de Arranz en los últimos años.

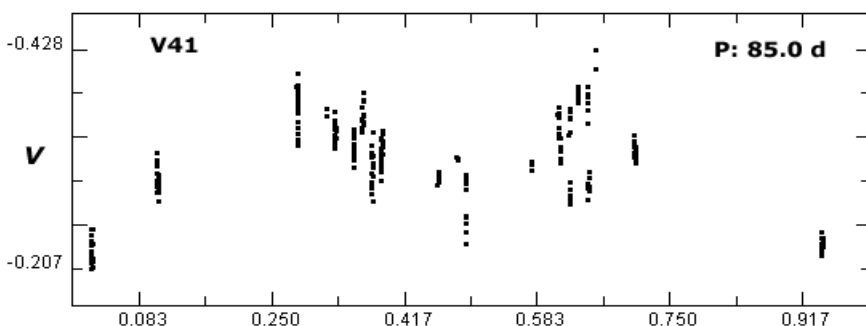
El período oficial, curiosamente el único determinado por el equipo polaco en este tipo de astros, es igual a 42.5 días. Nosotros hemos querido verificarlo utilizando sus datos (316 puntos): con el algoritmo Bloomfield obtuvimos un valor igual a 40.05 días mientras que con el algoritmo Scar-

gle este valor se reducía a 39.28 días; en ninguno de los casos era igual al oficial.

La búsqueda del período con nuestros propios datos nos proporcionó un único valor, muy marcado, igual a 42.27 días que es apenas 0.23 días (5.5 horas) más corto que el oficial.

Cuando dibujamos su curva de luz con dicho período obtenemos un resultado completamente satisfactorio que mostramos en la parte superior de la figura 8: la curva resultante es típica de las gigantes rojas pulsantes al ser suavemente redondeada y con una dispersión de sus puntos muy similar a lo largo de todas sus fases. Sin embargo cuando, como en años anteriores, la representamos con un período doble del obtenido el resultado (figura 8, abajo) es sumamente curioso: la curva es muy similar a la de un sistema binario eclipsante, no sólo por el aspecto de la misma sino porque los mínimos son alternativamente profundos y menos profundos. Este hecho sería sólo una anécdota sin importancia si no fuese porque durante todas las campañas realizadas (2001-2006) se ha observado idéntico comportamiento.

En este caso la estrella, si no lo es, imita muy bien el comportamiento de un sistema binario cuyo período fuese muy próximo o igual a 85 días. De hecho al representar los datos originales del equipo polaco con este período (figura 9) el



**Figura 9.** Curva de luz de V41 dibujada utilizando las mediciones fotométricas de Kopacki et al. con el doble de su período oficial: el resultado obtenido es idéntico al de una binaria eclipsante ya que podemos apreciar la diferente profundidad de sus mínimos.

resultado es idéntico al nuestro: los mínimos son de distinta profundidad incluso contando con un cierto margen de error en las mediciones.

Todos los profesionales consultados sobre este tema han emitido el mismo juicio: probablemente no es un sistema binario eclipsante pese a que las distintas curvas de luz, con mayor o menor precisión, apunten en esta dirección.

Carecemos de velocidades radiales en las cuales apoyarnos para comprobar este hecho: sólo se han publicado dos (Lupton et al., 1987) que son iguales a 2.79 y -18.92 kms<sup>-1</sup>: la amplitud es, como mínimo, igual a 21.71 kms<sup>-1</sup> y resulta más de tres veces superior a las medidas en V38 (5.84 kms<sup>-1</sup>) o V18 (5.69 kms<sup>-1</sup>), las cuales son las dos variables rojas de M13 con mayores amplitudes en sus velocidades radiales.

Es preciso continuar obteniendo mediciones fotométricas, con igual o mayor calidad, para comprobar si su aparente regularidad es cierta o, por el contrario, en cualquiera de sus ciclos futuros ocurre algún fenómeno anómalo que nos dé más pistas sobre su tipología y comportamiento. También es necesario registrar sus mínimos con todo el detalle posible para comprobar si realmente éstos son de diferente profundidad.

## V42

Podemos localizarla en la parte occidental del cúmulo en la posición  $\alpha$ : 16h 41m 35.49s y  $\delta$ : 36° 27' 27.2" (2000.0) a un lado del núcleo: dado que forma parte de un sistema triple óptico muy cerrado, siendo la componente más brillante, es muy difícil obtener buenas mediciones salvo para instrumentos con focales y aberturas amplias.

Arranz la ha seguido entre el DJH 53834 y

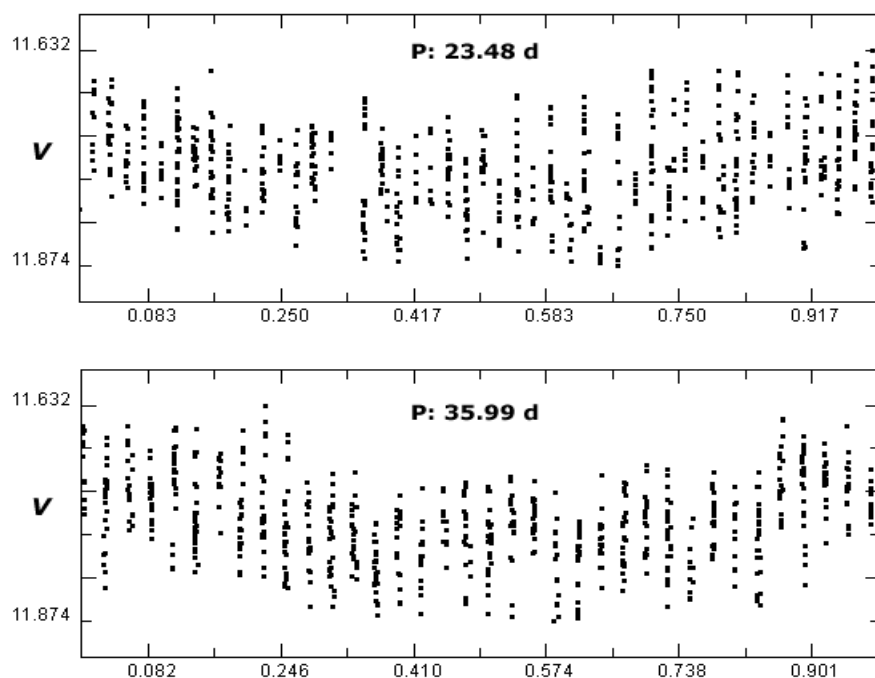
54066 (233 días) obteniendo un total de 735 mediciones y encontrándola en el rango 11.63-11.87 con una amplitud de 0.14 magnitudes: dado que la amplitud registrada por Kopacki et al. era igual a 0.10 magnitudes el valor determinado de nuestros datos es válido. Las curvas de luz pueden verse en las figuras 2 y 3 (nosotros) y 4 (equipo polaco).

Su magnitud media fue 11.76 V ( $\sigma = 0.05$ ), valor distinto al obtenido por el equipo polaco (11.940 V) originado por el apiñamiento estelar.

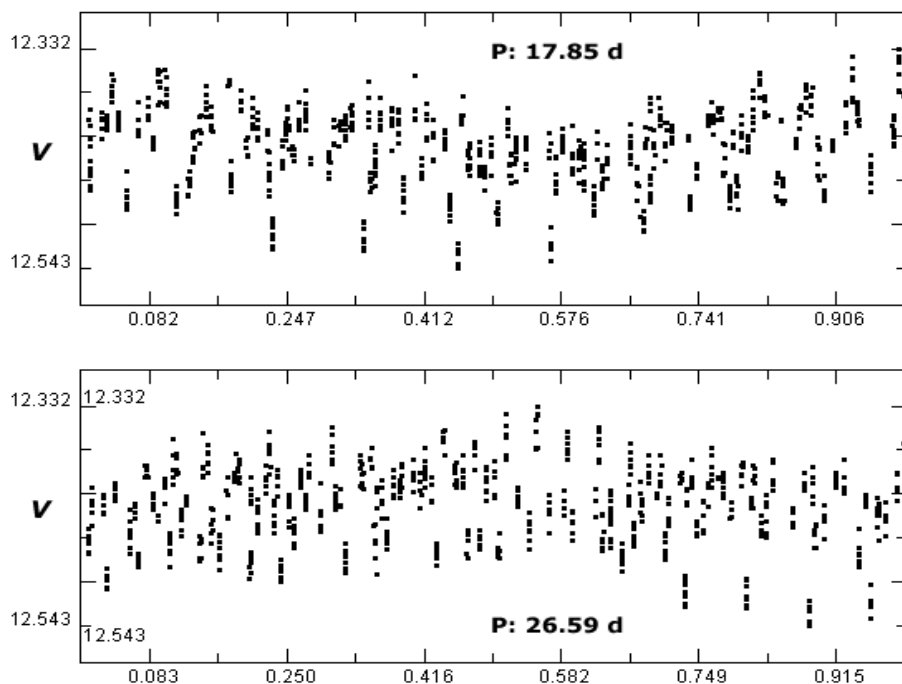
Un examen de estas curvas de luz pone de manifiesto que presenta oscilaciones de brillo con una periodicidad corta, aunque la forma de las miamas muestra que los mínimos y máximos no tienen la misma duración ni amplitud comprobándose la existencia de máximos de gran intensidad entre los cuales se intercalan máximos algo menos brillantes, así como mínimos profundos y menos profundos. La visión conjunta de la curva de luz parece mostrar una cierta modulación en la misma, lo que indica la posible existencia de al menos dos períodos diferentes como ya hemos apuntado en otras variables rojas similares.

La búsqueda de los mismos nos proporcionó tres valores diferentes: el primero igual a 23.48 días medianamente marcado, el segundo igual a 35.99 días más notorio y el tercero, poco destacado, igual a 51.04 días.

Cuando representamos la curva de luz con los tres comprobamos que sólo los dos más cortos producen resultados válidos (figura 10), aunque éstos no son de buena calidad en ningún caso. El empleo del período corto (23.48 días, arriba) origina una curva de luz típica de las gigantes rojas pulsantes aunque con bastante dispersión en sus puntos; el uso del período medio (35.99 días, abajo) produce otra curva de luz en la cual los puntos aparecen menos dispersos (pero no inferiores a 0.15 magnitudes) y dibujan un resultado



**Figura 10.** Curvas de luz de V42 obtenidas utilizando las mediciones fotométricas de Arranz con el período corto (23.48 días, arriba) y con el período medio obtenido de nuestros datos (35.99 días, abajo): aunque con ninguno de ellos se obtiene un resultado de calidad la dibujada con el último valor parece mejor, pese a que se aprecia la existencia de dos ciclos superpuestos (aunque bastante coincidentes).



**Figura 11.** Curvas de luz de V43 dibujadas con las mediciones de Arranz utilizando el período corto (17.85 días, arriba) y medio (26.59 días, debajo): en ambos casos se aprecia la existencia de hasta tres ciclos que evolucionan de modo independiente.

algo más coherente, aunque es posible comprobar la no coincidencia de sus diferentes ciclos.

Esta estrella, como las anteriores, también parece pulsar con períodos de distinta duración y amplitud que se superponen con el tiempo.

### V43

Situada en la posición  $\alpha$ : 16h 41m 27.08s y  $\delta$ : 36° 28' 00.2" (2000.0) podemos encontrarla en la parte occidental del cúmulo, lejos del núcleo, en una zona libre de otras estrellas brillantes: debido a esto es fácil obtener mediciones de brillo de buena calidad.

Arranz la ha seguido entre el DJH 53869 y 54066 (198 días) obteniendo un total de 774 mediciones y encontrándola en el rango 12.33-12.54, lo que supone una amplitud de 0.21 magnitudes: como Kopacki et al. midieron un valor igual a 0.07 magnitudes comprobamos que el nuestro es prácticamente el triple del suyo: al igual que ocurría con otras estrellas ya analizadas esta diferencia no puede achacarse de ninguna manera a errores aleatorios, ya que es fácil medirla al no tener otras estrellas próximas.

Su magnitud media fue 12.43 V ( $\sigma = 0.04$ ), valor muy parecido al obtenido por el equipo polaco (12.470 V). Dentro de la precisión de las mediciones ambos son similares.

El examen de las curvas de luz obtenidas (figuras 2, 3 y 4) explica el por qué de esta aparente discrepancia en su amplitud: los datos de Arranz muestran que durante la primera parte de la campaña la estrella presentó distintos máximos y mínimos que se alternaban en el tiempo hasta que, tras el cuarto máximo, el astro cayó de brillo al-

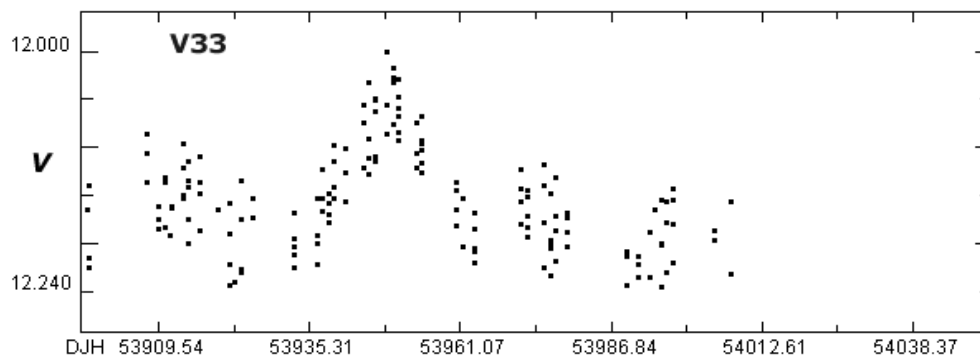
canzando un mínimo de gran profundidad; a partir de ese instante la estrella comenzó a recuperar su brillo hasta terminar la campaña ascendiendo de magnitud rumbo a otro máximo, del que hemos registrado sólo parte del inicio.

La curva de Kopacki y colaboradores, por su parte, la mostró oscilando de brillo con un mínimo de bastante intensidad hacia el mitad de la campaña hasta que, casi al final de la misma, la estrella apareció en un máximo de menor brillo seguido de un mínimo poco profundo y, en los últimos días, pasó por un máximo de mayor brillo tras el cual su brillo se desplomó bruscamente. Dado que el período cubierto por estas observaciones es mucho más corto que el nuestro está claro que no llegaron a registrar un mínimo profundo, limitándose a observar oscilaciones de brillo con mínimos algo menos profundos.

La búsqueda del período en el intervalo 1-300 días nos proporcionó tres valores diferentes: el primero un período corto, bastante marcado, igual a 17.85 días, el segundo más largo pero menos destacado igual a 26.59 días y el tercero, muy marcado, igual a 180.4 días; este último era, como en otros casos anteriores, bastante próximo a la duración de la campaña anual.

Sin embargo cuando dibujamos la curva de luz con cualquiera de estos valores, tanto los dos cortos como el largo, el resultado era de muy baja calidad: con los dos cortos (figura 11) podía apreciarse la existencia de, al menos, dos ciclos distintos que se extendían de modo independiente por todas las fases cruzándose a veces.

Como ocurría en otras variables ya analizadas parece posible la existencia de varios ciclos de diferentes períodos, aunque también cabe la posibilidad de que sea irregular o errática.



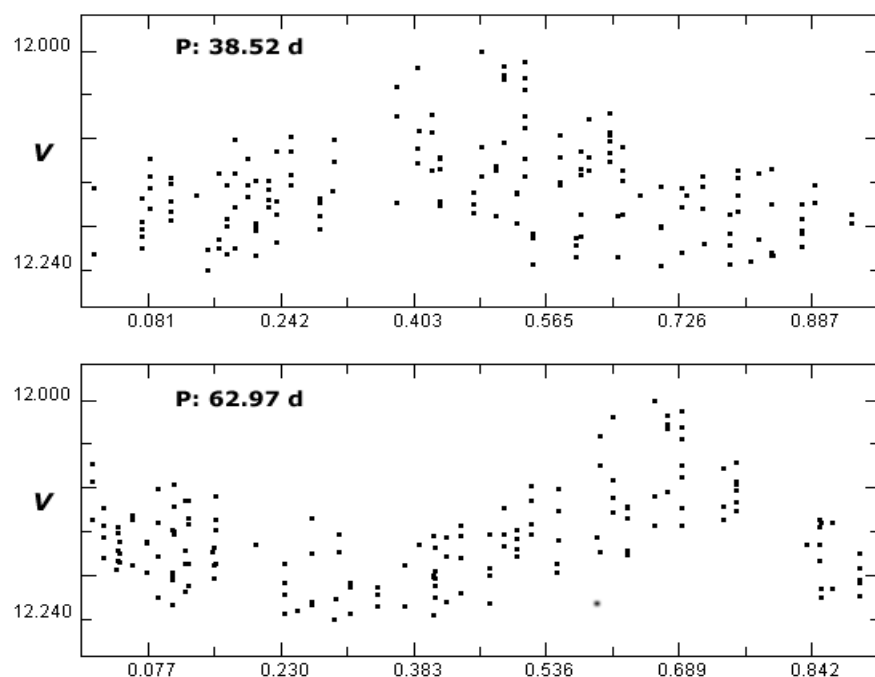
V33

Localizada en la posición  $\alpha$ : 16h 41m 50.32s y  $\delta$ : 36° 24' 15.6" (2000.0) es la variable más meridional del cúmulo: aparece muy lejos del núcleo, al sur de V15, en una zona libre de estrellas brillantes que dificulten su estudio y seguimiento.

Debido a su lejanía del centro sólo ha sido estudiada por Violat entre el DJH 53896 y 54051 (156 días), habiendo obtenido un total de 167 mediciones y encontrándola en el rango 12.00-12.24, lo que supone una amplitud de 0.24 magnitudes en banda V; su magnitud media fue 12.15 V ( $\sigma = 0.05$ ). La presentada por Osborn (2000) fue 12.09 con  $\sigma = 0.05$ : el resultado es prácticamente idéntico, dentro de la precisión de los datos obtenidos con un telescopio pequeño.

La curva de luz, representada en la figura 12, la mostró subiendo de brillo en un máximo de poca intensidad, pasó por un mínimo poco profundo y rápidamente subió de brillo hasta alcanzar un máximo intenso; tras éste perdió brillo nuevamente para mantener este comportamiento hasta el final de la campaña.

El período oficial, determinado de modo aproximado por Welty (1985), es igual a 40.37 días.



Asesores Astronómicos Cacerreños — Agrupación Astronómica de Cádiz

**Figura 12.** Curva de luz de V33 obtenida por Violat a lo largo de la campaña. Podemos comprobar que tras un máximo de poco brillo la estrella alcanzó un mínimo y subió hasta un máximo de gran intensidad, tras el cual perdió brillo de nuevo hasta el final de la campaña.

La búsqueda del período en el intervalo 1-300 días nos proporcionó dos valores muy diferentes: el primero, poco marcado, era igual a 38.52 días mientras que el segundo, muy destacado, era igual a 62.97 días. Notemos que el primero de ellos es apenas 1.85 días más corto que el oficial.

Al dibujar las curvas de luz con ambos, que mostramos en la figura 13, comprobamos que los resultados no son demasiado buenos: con el período corto (muy próximo al oficial) la curva resultante es típica de las gigantes rojas pero ofrece una dispersión alta a lo largo de todas las fases. La obtenida con el período largo, por el contrario, tiene una dispersión más reducida a lo largo de toda su extensión excepto un único punto, que hemos dibujado difuso para identificarlo.

El resultado es ambiguo: el examen de la curva de luz obtenida por Violat no aclara si posee dos períodos (como la mayoría de las gigantes rojas que hemos analizado) o sólo uno, ya que la escasez de datos al final de la campaña no nos permite comprobar si los máximos se repiten al cabo de casi 40 días (período oficial y período corto) o más bien cerca de los 60-65 (período largo).

Está claro que se necesitan nuevas mediciones, durante la campaña del año 2007, para confirmar estos datos y mejorarlos si es posible.

**Figura 13.** Curvas de luz de V33 dibujadas utilizando las mediciones fotométricas de Violat con los períodos obtenidos de nuestros datos: con el valor corto (38.52 días, arriba) y con el largo largo (62.97 días, abajo): aunque con ninguno de ellos se obtiene un resultado de calidad la dibujada con el último valor parece algo mejor al tener una dispersión más reducida (excepto un único punto que hemos dibujado más difuso).

## 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 de casi todas las gigantes rojas variables se ha realizado por medio de un telescopio catadióptrico de 355 mm de abertura instalado en Navas de Oro (Segovia) y otro de 203 mm en Cáceres, ambos equipados con sendas cámaras CCD Starlight Xpress y filtros 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 fotométrico del año 2000.

El análisis de las curvas de luz pone de manifiesto el carácter irregular o poco regular de todas las estrellas seguidas: al dibujarlas con los períodos calculados por el programa A.V.E. se obtienen dos e incluso tres líneas de puntos (*ciclos* de pulsación) que se cruzan y evolucionan independientemente a lo largo del tiempo, impidiendo la obtención de resultados de calidad ya que la dispersión es elevada en todas las fases. Algunas de las variables incluso parecen irregulares o erráticas, dato ya apuntado por Kopacki et al. (2003).

Los períodos que habíamos determinado previamente en campañas anteriores no han podido ser confirmados más que en dos casos: para V41, un astro muy regular cuyo período encontramos igual a 42.3 días (42.5 días es el valor oficial) y para V33 (observada sólo por Violat), en la que encontramos un período igual a 38.52 días que es apenas 1.85 días más corto que el oficial.

V41, como hemos comprobado en cinco campañas anteriores (2001 a 2005), presenta mínimos profundos y menos profundos que se alternan con el tiempo: al dibujar la curva de luz con un período doble del oficial el resultado imita el comportamiento fotométrico de una estrella binaria eclipsante (este mismo resultado se obtiene al trabajar con los datos originales de Kopacki et al. obtenidos en 2001). Sin embargo todos los profesionales consultados coinciden: V41 no es un sistema binario eclipsante sino una estrella pulsante roja.

A la vista de los excelentes resultados obtenidos deseamos realizar nuevas mediciones, en la campaña fotométrica de 2007, para corroborar y mejorar los valores aquí expuestos especialmente en el caso de la variable V41.

Observatorio Astronómico de Cáceres. Cáceres (España), 13 de julio de 2007.

## REFERENCIAS

- Clement, C. M., Muzzin, A., Dufton, Q. et al., 2001, AJ, 122, 1587.
- Kopacki, G., Kolaczowski, Z., Pigulski, A., 2003, A&A, 398, 541.
- Lupton, R. H., Gunn, J. E., Griffin, R. F., 1987, AJ, 93, 1114.
- Osborn, W., 2000, AJ, 119, 2902.
- Violat Bordonau, F. A., Arranz Heras, T., Díez Gago, A., 2006, Open European Journal on Variable Stars, vol. 19, página 1.
- Violat Bordonau, F. A., Arranz Heras, T., 2007, abril, web Casanchi.
- Violat Bordonau, F. A., Arranz Heras, T., 2007, mayo, web Casanchi.
- Violat Bordonau, F. A., Arranz Heras, T., 2007, junio, web Casanchi.
- Welty, D. E., 1985, AJ, 90, 2555.