

## VARIABLES EN M13

### CAMPAÑA 2004

#### 3. VARIABLES ROJAS (II)

Francisco A. Violat Bordonau  
violat@olanet.net

Este es el último artículo, de una serie de 3, en el que presentamos los resultados obtenidos durante la campaña fotométrica de 2004, tanto en el estudio de las variables bien conocidas como en las confirmadas recientemente por Kopacki *et al.* (2003); en esta ocasión analizamos el comportamiento lumínico de las restantes variables del tipo *gigante roja* presentando sus período actuales y curvas de luz.

En nuestro trabajo anterior\* (diciembre de 2004) expusimos los resultados obtenidos durante la campaña fotométrica del año 2004, concretamente sobre el estudio de siete astros variables del tipo *gigante roja*; dicha campaña se ha extendido entre los Días Julianos Modificados (DJM) 53169 (junio) y 53311 (noviembre) totalizando 143 días; durante este período hemos capturado imágenes válidas en 63 noches distintas.

Todo el trabajo se ha realizado con un telescopio catadióptrico MEADE de 203 mm de abertura y 2 metros de focal, motorizado en A. R., al cual (como en campañas anteriores) se le ha acoplado una cámara CCD de la marca *Starlight Xpress* modelo MX516 -con electrónica de 16 bits- y filtro fotométrico V Johnson. El tratamiento de las imágenes ha sido el habitual: resta de campos oscuros promedios y división entre campos planos promedios (de 5 a 7 *flats* distintos), con lo que se han obtenido buenos resultados; para la calibración de las imágenes se ha utilizado con provecho el programa **AstroArt**, empleando en esta tarea de calibración 8 estrellas no variables de magnitudes bien medidas (Osborn, 2000). A continuación presentamos un listado de dichas estrellas incluyendo su denominación (L de Ludendorff, 1905), la magnitud V Johnson y el índice de color B-V:

Nombre	magnitud	B-V
L169	12.81	1.17
L199	12.21	1.35
L201	13.18	1.07
L222	13.15	-0.18
L261	12.20	1.39
L268	13.50	1.01
L353	12.83	1.16
L848	13.15	1.07

Nuestro estudio se ha extendido a todas las variables rojas bien conocidas incluyendo algunas

de las nuevas variables de Kopacki *et al.* (2003): un par de ellas (V44 y V45) están situadas en la parte más densa del cúmulo y no han podido ser medidas debido al apiñamiento estelar. En total se han seguido 14 estrellas distintas siendo la relación completa la siguiente:

V11	V15	V17
V18	V19	V20
V24	V33	V38
V39	V40	V41
V42	V43	

Dado el enorme volumen de datos obtenidos (aproximadamente 5.000 mediciones de brillo, a un promedio de 4-5 imágenes medidas por sesión de trabajo) y el espacio que es preciso dedicar a cada una de las estrellas estudiadas, en este segundo trabajo sobre las variables rojas analizaremos 6 de ellas (de V33 a V43); V41 es un posible sistema binario conforme a nuestros datos fotométricos (campañas de 2002 y 2003) y por ello será estudiada en un artículo independiente.

#### GIGANTES ROJAS

Las variables del tipo *gigante roja* son, sin excepción, los astros más brillantes de M13: sus magnitudes medias según Kopacki *et al.* (siempre en banda V) están comprendidas entre la 11.928<sup>a</sup> de V11 y la 12.470<sup>a</sup> de V43; V41 —con magnitud media igual a 13.155<sup>a</sup>— no sólo es 0.685 magnitudes más débil que V43, sino que en el diagrama H-R aparece en una zona en donde no hay ninguna variable roja (además su curva de luz es típica de un sistema binario y no de una pulsante roja como lo son las variables anteriores).

Todas estas estrellas son astros que pertenecen realmente al cúmulo por su movimiento propio (Cudworth y Monet, 1979), el cual está situado a poco más de 25.100 años-luz.

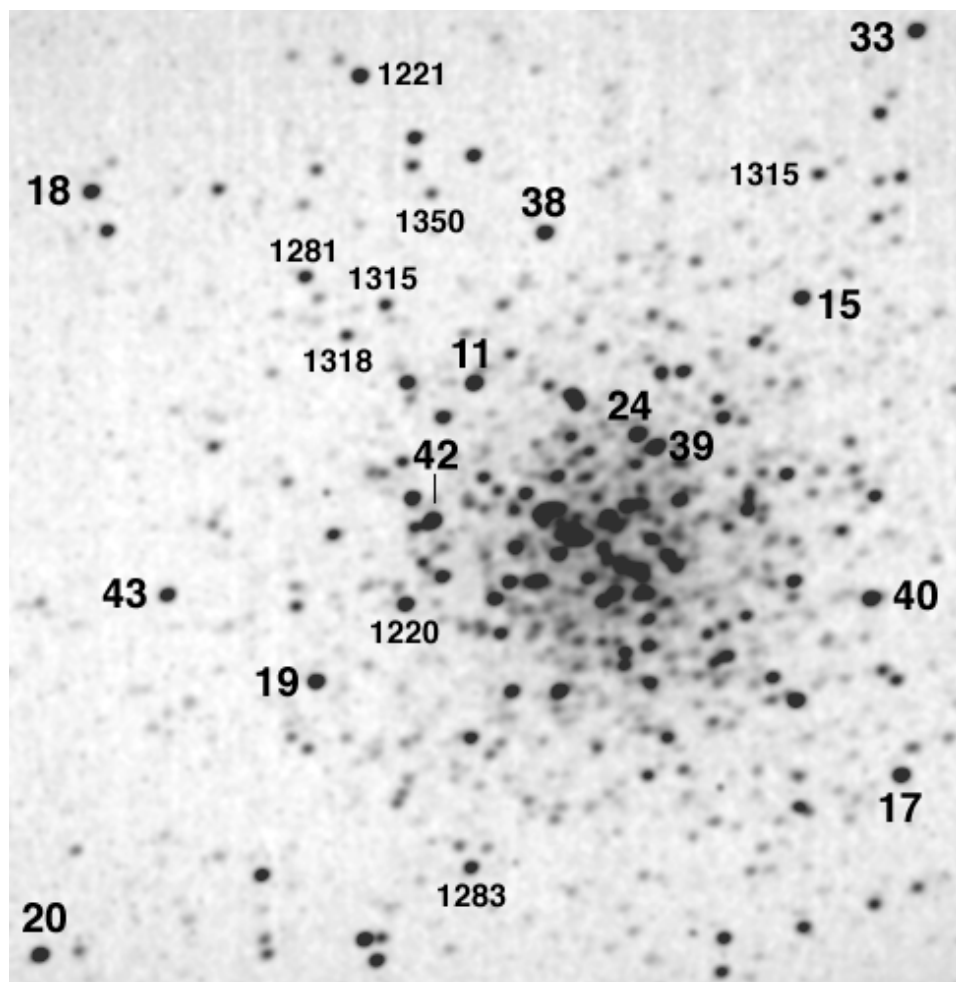
El número de mediciones por estrella ha sido:

Astro	medidas
V33	148
V38	193
V39	192
V40	195
V42	194
V43	195

podemos ver que la mayoría de ellas cuentan con más de 190 mediciones: V33 tiene una declinación extrema y no ha podido ser medida en todas las imágenes al estar muy próxima al borde del chip o incluso totalmente fuera de él.

Para determinar el período más actual y representar sus curvas de luz hemos analizado estas mediciones con el programa **A.V.E.** (Análisis de Variabilidad Estelar) elaborado por Rafael Barbe-

\* Disponible en Internet en la dirección:  
<http://personales.ya.com/casanchi/ast/fotometrica200402.htm>



**Figura 1.** Mapa digital de M13: aparecen marcados los ocho astros de comparación (magnitudes con dos decimales) así como las trece variables rojas estudiadas, cada una de ellas identificadas por su nombre: 18 es V18, 33 es V33, etc. (T. Bennisar).

rá, miembro del bien conocido **G.E.A.** (Grupo de Estudios Astronómicos) así como **PerSea**, del astrónomo polaco Gracjan Maciejewski\*.

Insertamos a continuación una tabla con sus magnitudes **V** según datos tomados de los trabajos de Cudworth y Monet ( $V_c$ , 1979), Osborn ( $V_o$ , 2000) y Kopacki ( $V_k$ , 2003); los índices de color **B-V** son todos de Osborn salvo uno tomado de Cudworth y Monet escrito en cursiva:

Astro	$V_c$	$V_o$	$V_k$	<b>B-V</b>
V33	12.09	12.09	---	1.55
V38	12.14	12.15	12.118	1.45
V39	12.00	12.02	11.980	1.60
V40	12.10	12.10	12.075	1.48
V42	---	---	11.940	-----
V43	12.52	---	12.470	<i>1.27</i>

A la vista de estos valores comprobamos que las variables *rojas* (fotográficamente todas son de color ambarino o incluso amarillo fuerte, pero no rojas) sólo se presentan entre los astros más brillantes cuyos índices de color B-V oscilan entre 1.60 y 1.27. Sin embargo muchos astros del cúmulo de gran brillo e índice de color similares no son variables: L261 (12.20<sup>a</sup> y 1.39) es un ejemplo.

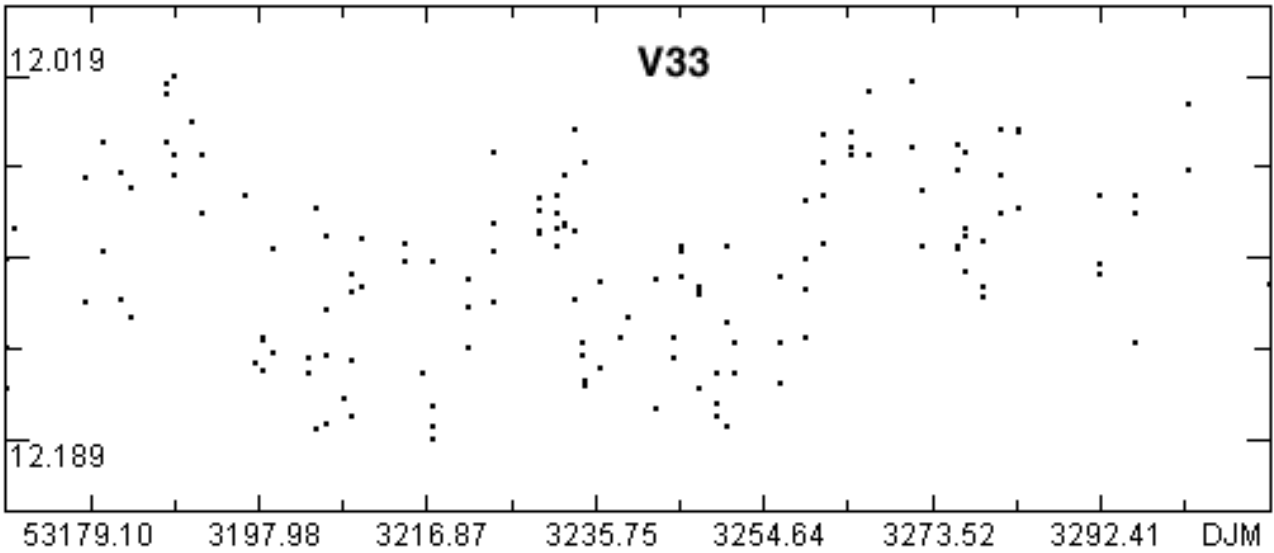
\*Disponible en: [www.lohniger.com/](http://www.lohniger.com/)

Veamos ya, pormenorizadamente, cuál ha sido el comportamiento de cada variable durante el período de tiempo en que las hemos tenido bajo estudio, comparándolos con los que leemos en los artículos de Russev (1973 y 1974), Fuenmayor y Osborn (1974) Kadla *et al.* (1976), Osborn y Fuenmayor (1977), Russev y Russeva (1980), White (1981), Daniel Welty (1985), Osborn (2000) y finalmente Kopacki *et al.* (2003).

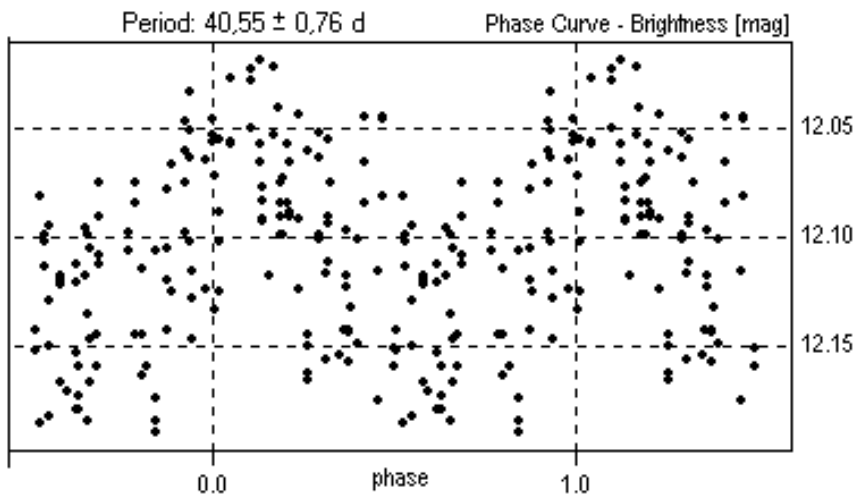
**V33** (L954): Se encuentra situada en la zona sur del cúmulo, muy lejos de su núcleo, por lo que en algunas ocasiones ha quedado fuera del chip: las 148 mediciones válidas no se han visto afectadas por el *crowding* estelar y presentan una baja dispersión. Es muy posible que su posición tan extrema en el cúmulo no haya propiciado los estudios fotométricos a lo largo del tiempo, de tal

manera que no hay noticias sobre su variabilidad hasta el estudio efectuado por Daniel E.

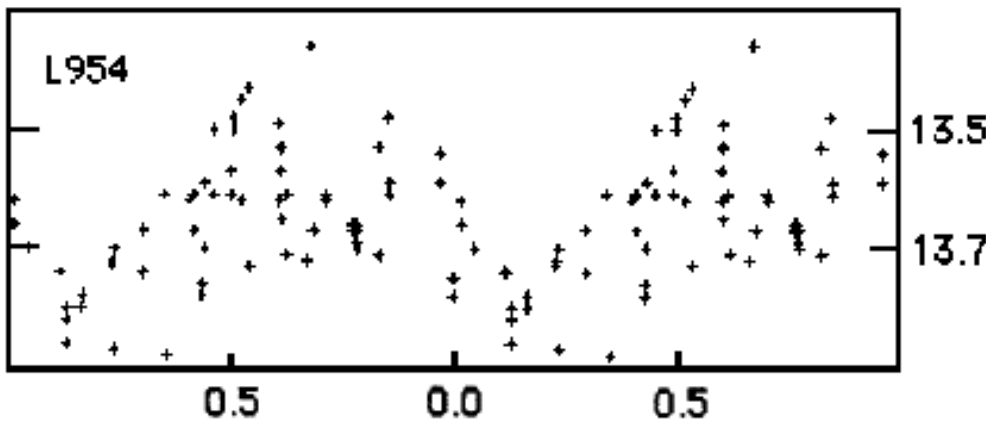
Welty en 1985, para el cual utilizó 64 fotografías centradas en la banda B (filtro azul) repartidas a lo largo de 36 noches pertenecientes a 6 años distintos (la media es de sólo 10 placas por año): encontró una amplitud cercana a 0.2 magnitudes con un período aproximado de 40.37 días, pero con una dispersión algo superior a las 0.25 magnitudes cerca de su máximo. Extrañamente Osborn y Fuenmayor, en su trabajo sobre las variables rojas de M13 (1977), la utilizaron como astro de comparación sin sospechar su variabilidad aunque muy posteriormente el propio Osborn, en su trabajo del año 2000, ya la da por cierta. Nosotros la hemos medido entre las magnitudes 12.019<sup>a</sup> y 12.189<sup>a</sup> lo que arroja una *amplitud ficticia* (esto es: su oscilación verdadera más el error aleatorio) de 0.170 magnitudes en banda V; desgraciadamente Kopacki y equipo no la pudieron estudiar por situarse fuera del campo de su chip. Las 148 mediciones que hemos obtenido han sido analizadas con el programa AVE y obtenemos un período de 40.7 días mientras que usando el software PerSea, con 4 armónicos, este valor se acorta a los 40.55 días con un error de 0.76 días: ambos resultados son idénticos, dentro del error de las mediciones, resultando prácticamente iguales al valor facilitado por Welty en su trabajo clásico. En la figura 2 hemos representado su curva de luz *en*



**Figura 2.** Curva de luz de V33 *en bruto* tal como ha sido obtenida realizando mediciones durante 63 noches distintas.



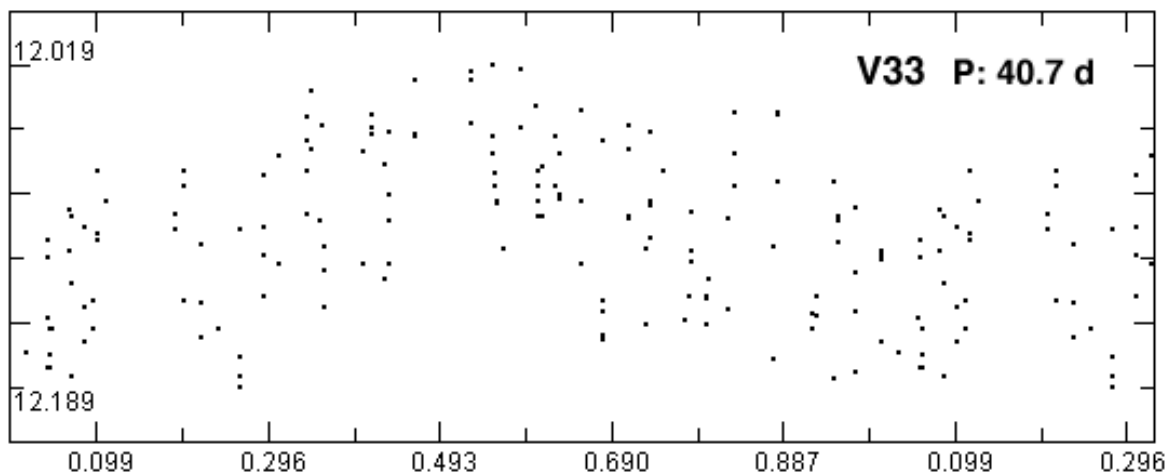
**Figura 3.** Curva de luz de V33 obtenida con el programa **PerSea** empleando un período de 40.55 días: aunque la dispersión es bastante elevada en todo momento (superior a 0.07 magnitudes) podemos ver claramente la forma de la misma.



**Figura 4.** Curva de luz de V33 obtenida por Welty (1985) en banda B usando un período de 40.33 días: se aprecia claramente la similitud entre ellas así como la gran dispersión de sus mediciones.

*bruto* (mediciones de brillo noche a noche tal como han sido obtenidas), mientras que en la figura 3 mostramos esta misma curva de luz utilizando el período facilitado por PerSea. Lo primero que notamos es la gran dispersión de las mediciones a lo largo de todo el ciclo (0.07-0.08 magnitudes como mínimo), dibujándose una curva de brillo excesivamente *gruesa* debido a ello y manteniendo este grosor a lo largo de todo el tiempo: la forma de la misma es típica de una estrella pulsante gigante roja mientras que su pe-

ríodo es similar al de otras variables de M13 de este tipo; podríamos pensar que la calidad de la curva de luz es baja si no fuese porque su amplitud, forma, período y dispersión son muy similares o casi iguales a los que Welty presenta en su estudio de V33 y que mostramos en la figura 4 a modo de comparación. La dispersión de las mediciones no puede achacarse, en este caso, a la influencia de numerosas y débiles estrellitas de fondo (cercanía al núcleo del cúmulo) ni a la presencia de compañeras (apiñamiento o *crowding*), sino que pudiera deberse a irregularidades propias de la estrella: la no repetición de ciclos de pulsación idénticos (amplitudes dispares) es la que podría originar la no coincidencia de los puntos de ciclo en ciclo (figura 2) y la dispersión de las mediciones; este es un dato que podremos dilucidar en la próxima campaña.

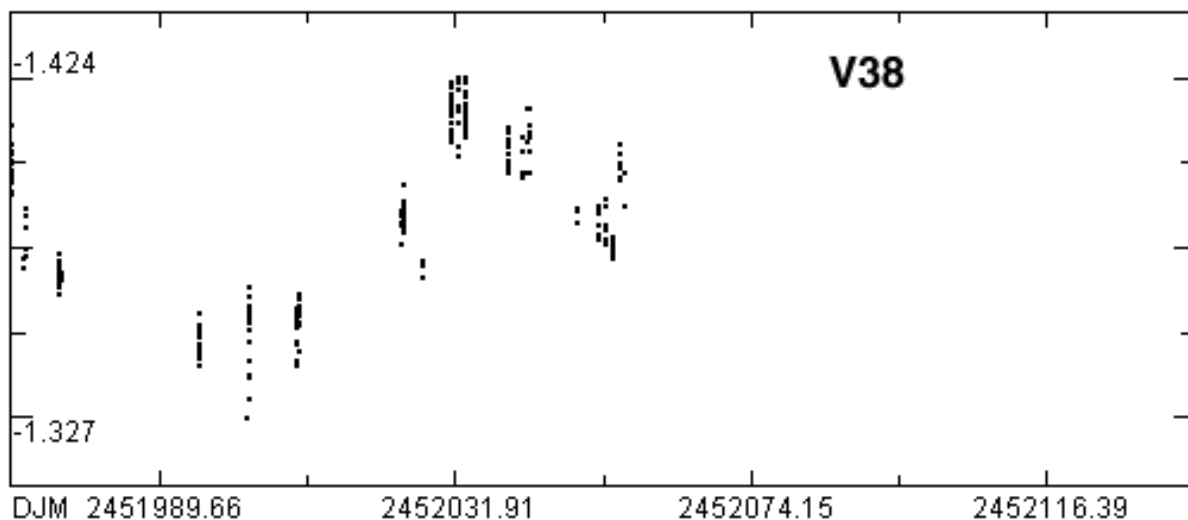


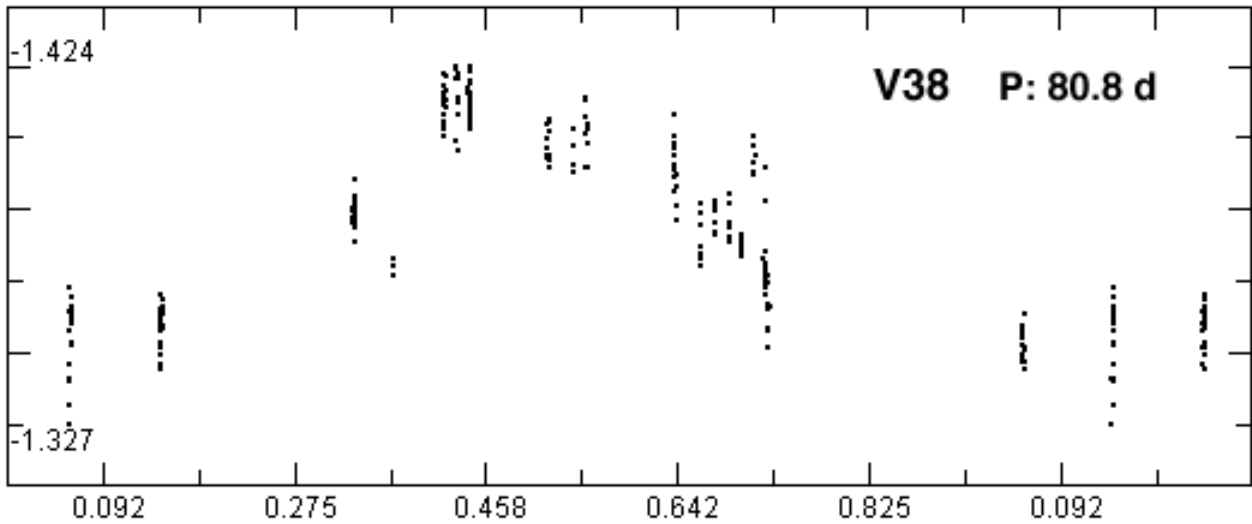
**Figura 5.** Curva de luz de V33 dibujada por el programa AVE empleando un período igual a 40.7 días.

**V38 (L414):** Está situada en el inicio de una de las famosas *patas de araña*, bastante alejada del núcleo y sin demasiadas estrellas próximas que dificulten las mediciones de calidad. La primera mención de su posible variabilidad fue realizada por Russev (1973), volviendo a encontrar indicios de variabilidad en su trabajo del año 1974 pese a que Osborn y Fuenmayor (1974) no detectasen variabilidad alguna hasta su límite de detección; Welty (1985) comenta que no encuentra ninguna variabilidad aunque su desviación estándar (0.073 magnitudes) es similar a la de otras variables de baja amplitud como son V15 o V17: esto demuestra que su amplitud es inferior a su límite superior de detección de variabilidad, que fijó en 0.2 magnitudes en banda B. Osborn (2000) comenta que ve probable su variabilidad aunque sin añadir datos nuevos mientras que Kopacki y equipo (2003) confirman esta variabilidad midiendo una amplitud de 0.08 magnitudes, pero sin poder determinar su período dado el reducido número de noches en los que obtuvieron imágenes: sólo 23 en el intervalo 27 de febrero al 1 de agosto de 2001. Al descargar de Internet sus datos origina-

les (272 mediciones en banda V sin transformar al sistema estándar) hemos logrado determinar, por medio del programa AVE, un primer período de 80.8 días y otro de 113.9 días con una amplitud muy reducida que no podemos cuantificar, dado que la escala utilizada por ellos es arbitraria (figuras 6 y 8): visualmente podemos apreciar que de un máximo (ocurrido poco antes del inicio de sus observaciones) a otro (hacia el DJM 52032) han transcurrido unos 80-82 días. Nuestras 193 mediciones de brillo la sitúan entre las magnitudes 12.022<sup>a</sup> y 12.210<sup>a</sup> con lo cual su magnitud media resulta ser igual 12.116<sup>a</sup>: sabiendo que su magnitud estándar es 12.15<sup>a</sup> (Osborn, 2003) la diferencia entre ambos valores resulta igual a -0.03 magnitudes, cifra que es muy similar a la de campañas fotométricas anteriores. Según nuestros datos presenta una *amplitud ficticia* igual a 0.188 magnitudes que se ve reducida una vez eliminado el error aleatorio: la amplitud real es inferior a 0.1 magnitudes. Estas mediciones han sido analizadas con el programa AVE encontrando un período igual a 45.3 días que produce una curva de luz mediocre con una dispersión bastante alta: sin embargo

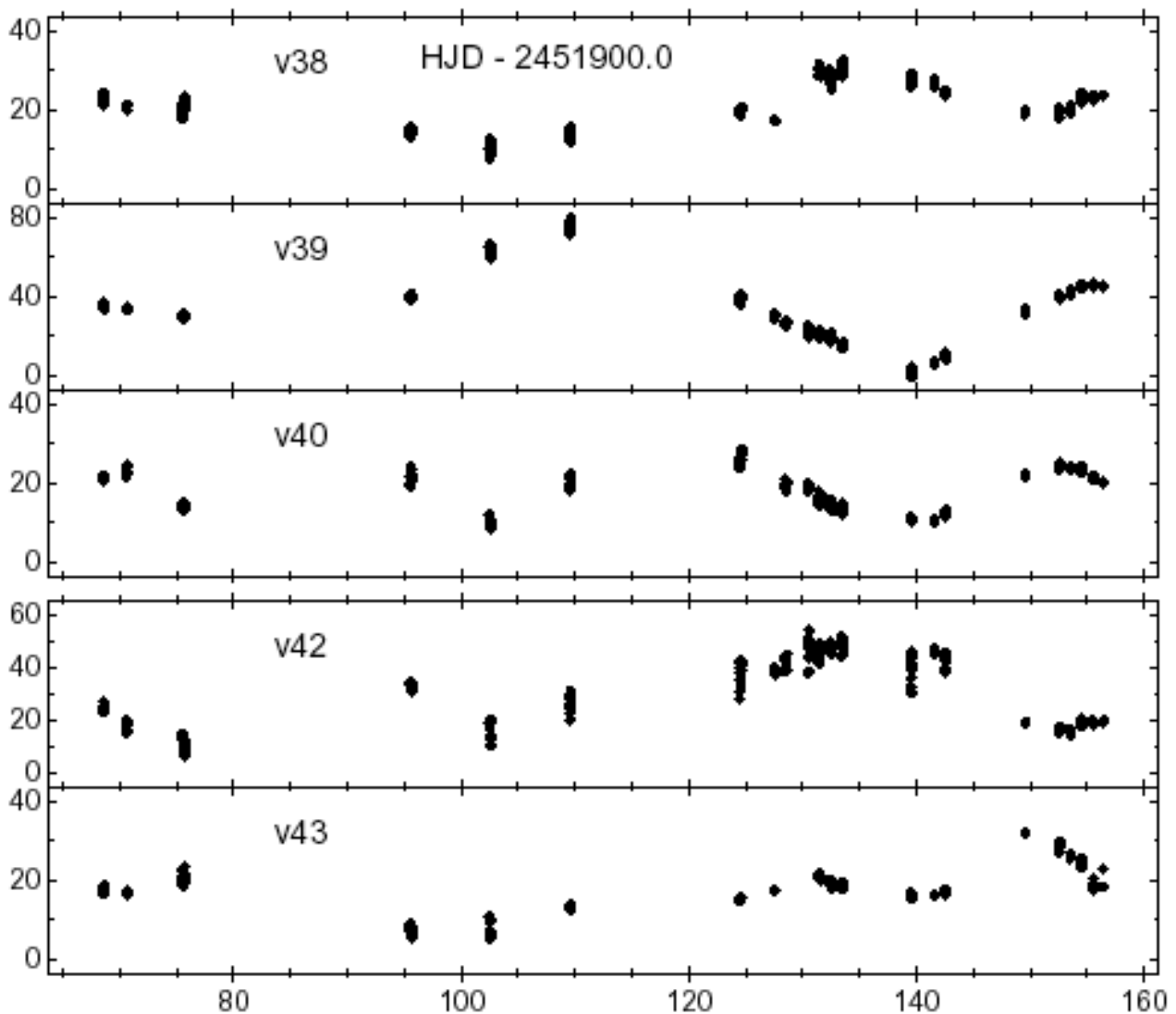
**Figura 6.** Curva de luz de V38, en bruto, obtenida por Kopacki *et al.* con 272 mediciones a lo largo de 23 noches distintas.

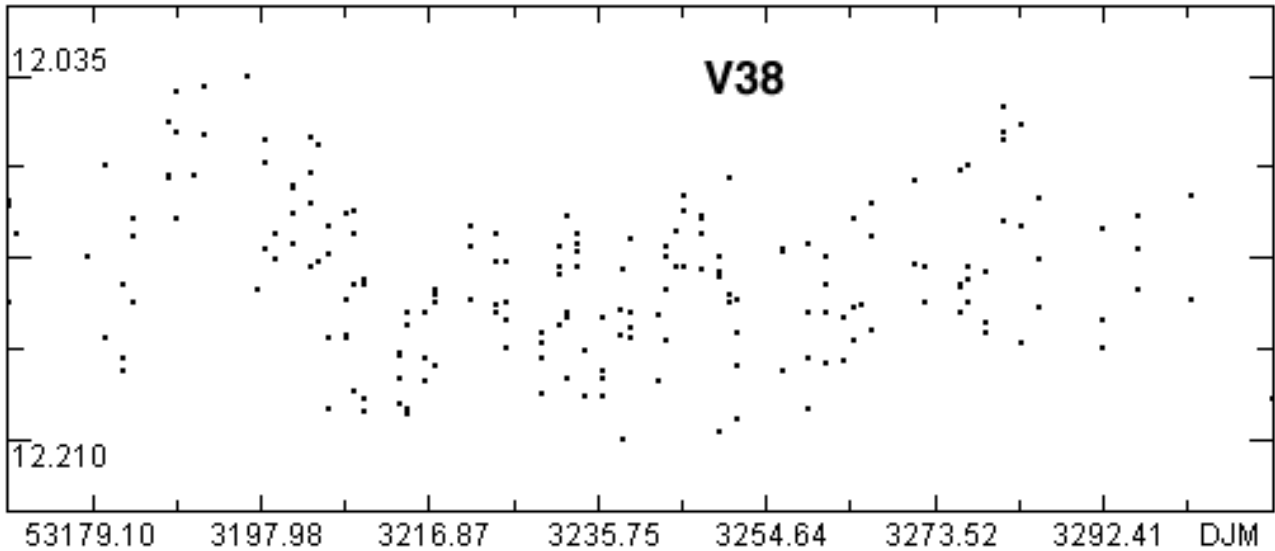




**Figura 7.** Curva de luz de V38: ha sido obtenida utilizando las 272 mediciones de Kopacki y empleando el período de 80.8 días calculado por nosotros con el programa AVE: puede comprobarse la buena coincidencia de las observaciones.

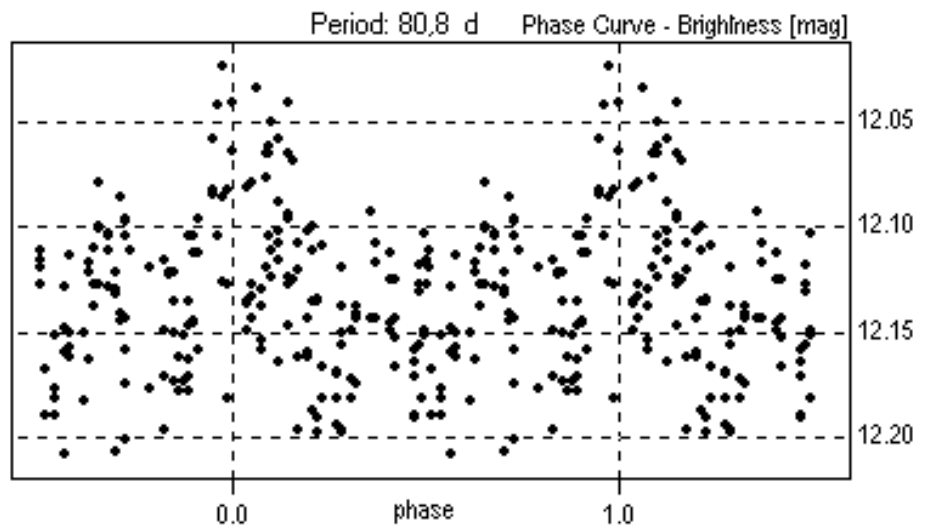
**Figura 8.** Curvas de luz de las variables V38, V39, V40, V42 y V43 —en una escala lumínica arbitraria— tomadas del trabajo de Kopacki *et al.*: la cobertura no ha sido tan completa como la nuestra, ya que sólo obtuvieron fotometría durante 23 noches distintas, pero nos permite apreciar de modo bastante aproximado el comportamiento de cada una de ellas durante el período de tiempo observado por este equipo de investigadores.



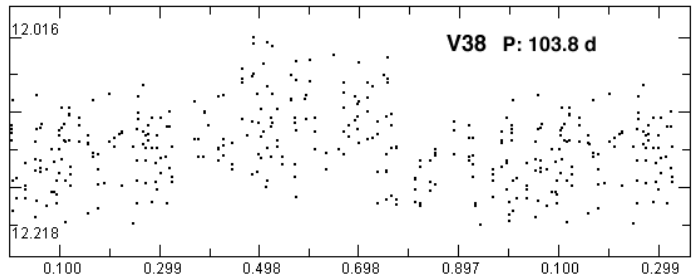


**Figura 9.** Curva de luz de V38 obtenida por nosotros con 193 mediciones de brillo a lo largo de la campaña fotométrica del año 2004.

**Figura 10.** Curva de luz de V38 representada por el programa PerSea utilizando nuestras mediciones con un período de 80.8 días: las medidas de brillo presentan una dispersión próxima a 0.08-0.10 magnitudes, lo que nos impide apreciar la forma de la misma.

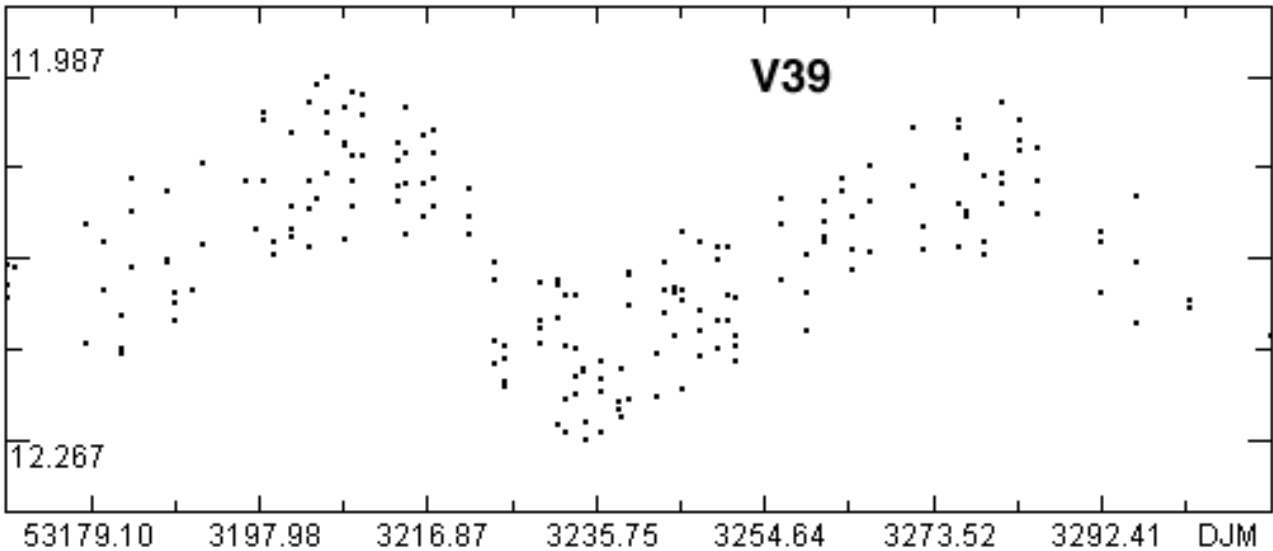


cuando representamos con el programa PerSea la curva de luz con el período determinado de las mediciones del equipo polaco (80.8 días) el resultado es consistente apareciendo una curva de mayor calidad (figura 10); el análisis de estas mismas mediciones con dicho programa arroja un valor de  $78.45 \pm 3.56$  días: dentro del margen de error es idéntico al de Kopacki. Podemos calcular cuál es el período real examinando los máximos de luz medidos hasta la fecha: partimos del máximo medido por nosotros el DJM 53196 (figura 9) y lo restamos del medido por Kopacki (DJH 52032, figura 8) con lo que calculamos el número de días que hay entre ellos (1164 días); al dividir este número de días entre el período determinado (80.8) obtenemos el número 14.40594: este es aproximadamente el número de ciclos que la variable ha cubierto entre ambos máximos de luz; como este número ha de ser un entero tenemos que probar a dividir entre 14 y entre 15 para determinar el período correcto: dividiendo el número de días transcurridos entre 14 obtenemos un valor igual a 83.14 días (2.34 días más largo que el obtenido por AVE), mientras que si lo dividimos entre 15 este valor se reduce a 77.6 días o 3.2 días más corto; el primer valor es lo suficientemente similar al determinado de las mediciones



**Figura 11:** Curva de luz de V38 obtenida con las 284 mediciones conjuntas de los años 2003 y 2004: hemos empleado el período de 103.8 días calculado por AVE.

de Kopacki como para tomarlo por bueno, dentro del margen de error de nuestras propias mediciones y al hecho de haber trabajado en Días Julianos Heliocéntricos (ellos) y Geocéntricos (nosotros), lo que ocasiona un mínimo error que podemos despreciar por ser una variable de largo período. Sin embargo el análisis con AVE de nuestras mediciones conjuntas de los años 2003 y 2004 proporcionan un nuevo período igual a 103.8 días, cuya curva de luz es de mejor calidad y menor dispersión (figura 11): este período es significativamente muy similar al que encontramos analizando los datos de la campaña de 2002 (111.53



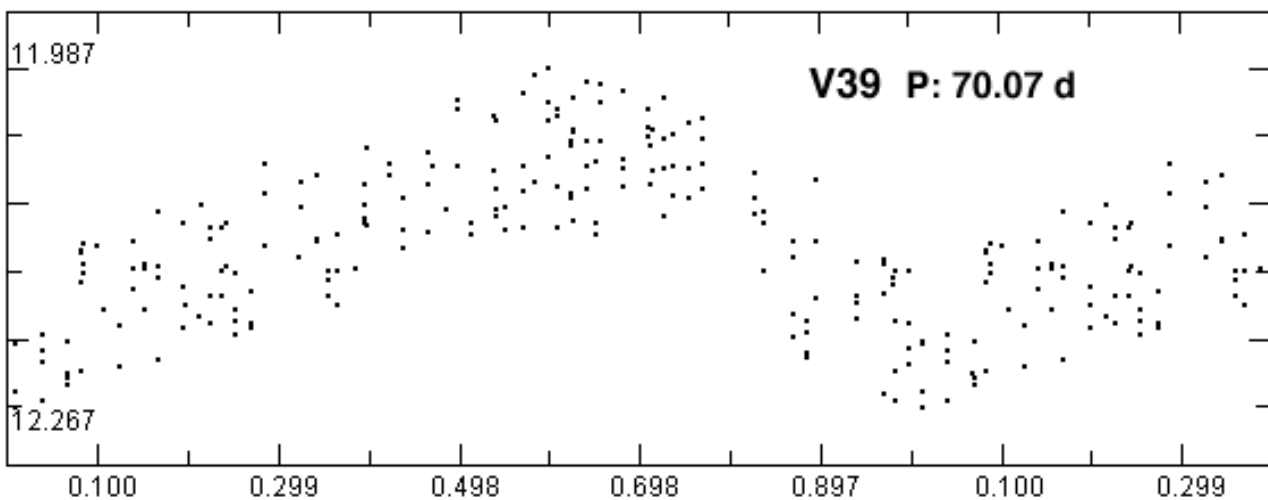
**Figura 12.** Curva de luz de V39, en bruto, formada por las 192 mediciones de brillo que hemos obtenido en esta campaña.

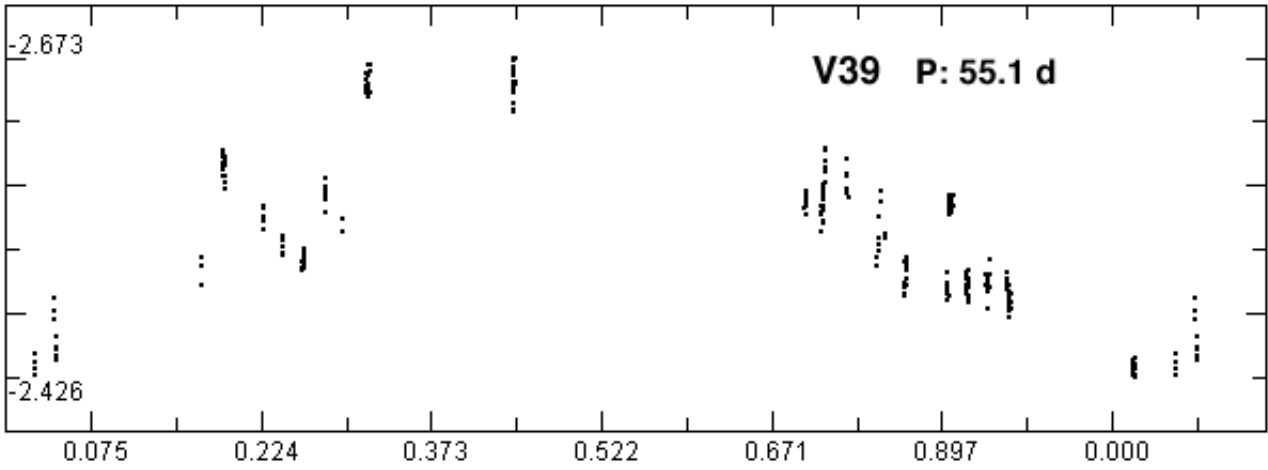
días). La dificultad de medir correctamente una variable de pequeña amplitud (0.08 magnitudes según Kopacki) sin que el error aleatorio influya excesivamente en sus mediciones, nos impide poder determinar correctamente su período: en principio podemos dar por válido el corto pero sin descartar definitivamente el más largo en vista de los resultados obtenidos.

**V39 (L629):** Es una de las estrellas más brillantes del cúmulo ya que aparece con magnitud  $12.00^a$  en el trabajo de Cudworth y Monet (1979) y  $12.02^a$  en el de Osborn (2000), siendo su índice de color B-V igual a 1.6: por ello aparece amarillo-ambarina en las imágenes en color. Está situada justo al lado de V24, apenas a  $9''$  al NE de la misma y muy próxima al núcleo del cúmulo tal como podemos ver en la figura 1, con una débil estrellita justo a su costado SE y otra al NW: esta triple circunstancia tan desfavorable dificulta sus mediciones de brillo (que nunca pueden ser limpias: siempre aparecen contaminadas por el resplandor de otras estrellas), de tal manera que las

primeras noticias de su variabilidad aparecen en el trabajo fotométrico de Osborn (2000), en el cual indica además que su magnitud media es igual a la  $12.02^a$ . Nuestras 192 mediciones la han mostrado entre la magnitud  $11.987^a$  y  $12.267^a$  con lo que su *amplitud ficticia* sería igual a 0.280 magnitudes (figura 12); de nuestros datos se extrae que su magnitud media es la  $12.127^a$ , mientras que su magnitud estándar es la  $12.02^a$ : la diferencia entre ambos valores es de 0.11 magnitudes y se debe, sin duda, al apiñamiento estelar. Kopacki *et al.* obtuvieron una curva de luz bastante buena (figura 8) con una amplitud de 0.22 magnitudes, en la cual se aprecia perfectamente un mínimo y un máximo de luz; la amplitud determinada por ellos en la campaña de 2001 es totalmente consistente con la obtenida por nosotros. Al analizar sus mediciones originales con el programa AVE obtenemos un período de 55.1 días, aunque la curva de luz resultante no es demasiado consistente y presenta una cierta dispersión en los puntos que la forman. Analizando nuestras 192 mediciones el programa AVE determina un período

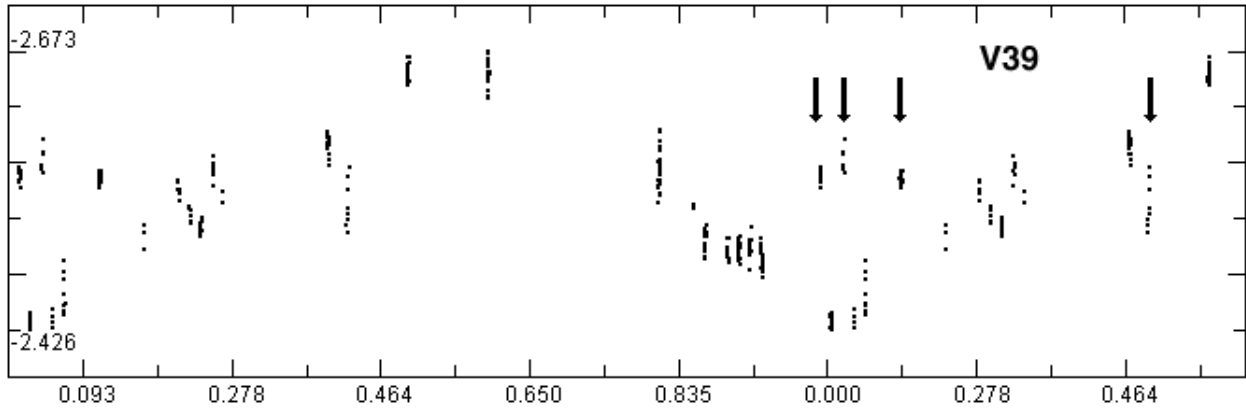
**Figura 13.** Curva de luz de V39 dibujada por AVE utilizando un período de 70.07 días: nótese su gran asimetría.



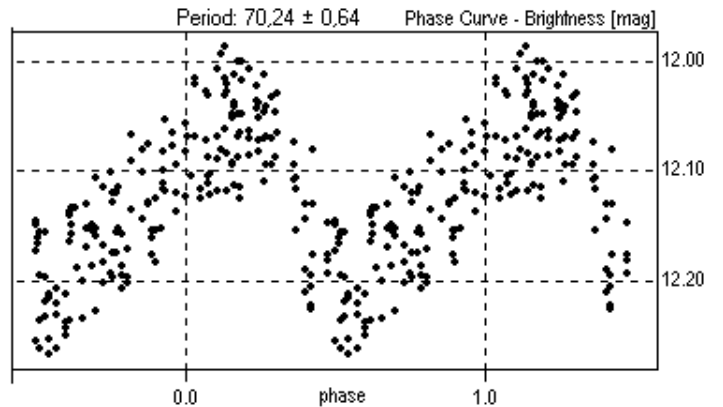


**Figura 14.** Curva de luz de V39 elaborada con las mediciones de Kopacki *et al.* utilizando un período de 55.1 días.

**Figura 15.** Curva de luz de V39 elaborada con las mediciones de Kopacki *et al.* utilizando nuestro período de 70.07 días: excepto las medidas de 4 noches, marcadas con flechas, el resto son totalmente consistentes con dicho período.

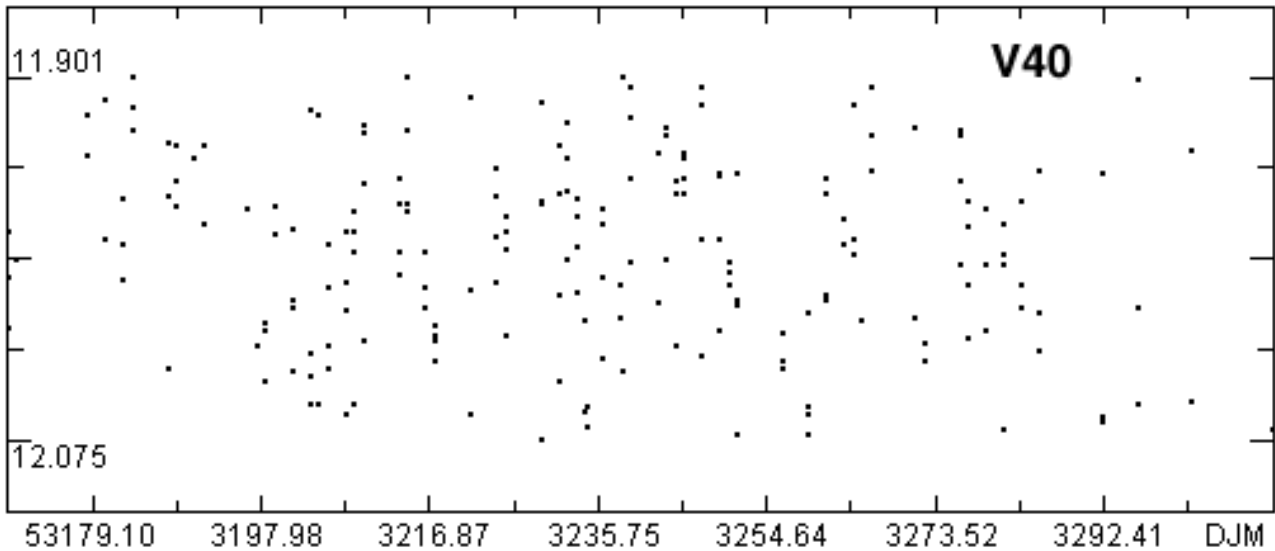


igual a 70.07 días que al utilizarlo produce una buena curva de luz (figura 13), aunque con una dispersión demasiado elevada en todo momento debido tanto a la molesta presencia de la cercana V24 (que contamina las mediciones con su excesivo resplandor) como al débil pero inevitable fondo estelar; resalta de inmediato la notoria asimetría de la misma en cada una de las dos diferentes pulsaciones registradas: la recuperación de brillo es muy lenta (su máximo está situado en la fase 0.6) mientras que la pérdida de magnitud, o vuelta a su estado básico de mínima energía, es mucho más rápida y brusca; el programa PerSea determina un período igual a  $70.24 \pm 0.64$  días cuya curva de luz es similar. Cuando representamos la curva de luz con las mediciones de Kopacki y con su período de 55.1 días (figura 14) notamos que ésta es bastante buena si exceptuando los datos de dos noches distintas situadas en las fases 0.16 y 0.89 respectivamente; al dibujar la curva de luz con estas mismas mediciones pero utilizando ahora nuestro período (70.07 días) notamos que la curva resultante continúa siendo bastante buena, salvo por las mediciones de 4 noches distintas (marcadas con flechas) entre las fases 0.00 y 0.47 que se alejan algo de las demás y destacan por ello: este aparente error puede deberse a las



irregulares pulsaciones de la estrella cuyos máximos brillos no son iguales de uno a otro ciclo, tal como hemos detectado nosotros y se aprecia en los máximos de la figura 12. La asimetría en la curva de luz que nosotros registramos no parece verse utilizando los datos de Kopacki con el período corto (de hecho el máximo brillo no ha sido registrado), pero sí es visible con el período más largo: el máximo de luz aparece ahora en torno a la fase 0.6 como hemos detectado nosotros, mientras que la caída de brillo resulta ya más corta y acentuada. Dado que este mismo hecho es perceptible en dos conjuntos de mediciones obtenidas en épocas distintas (2001 y 2004) tenemos que acep-





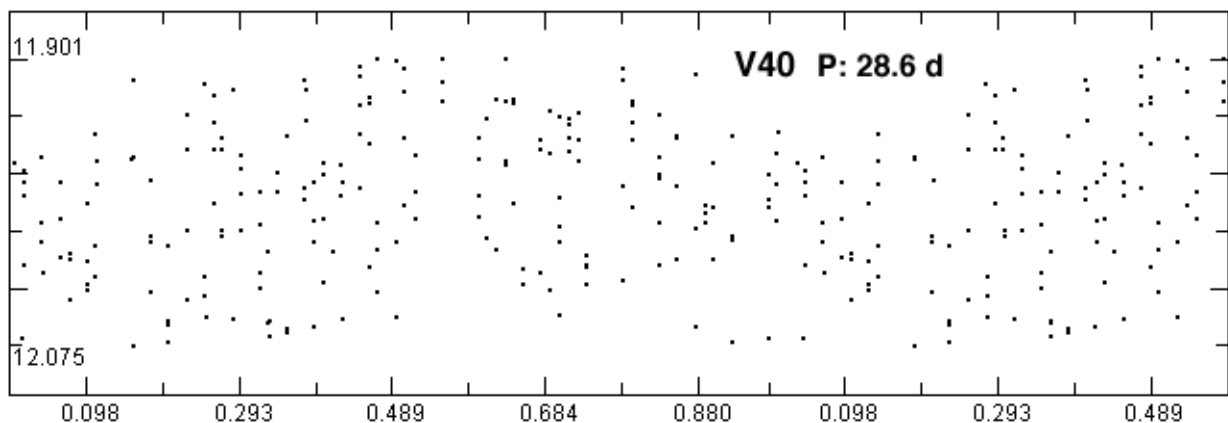
**Figura 16.** Curva de luz de V40: muestra las 195 mediciones obtenidas por nosotros a lo largo de la campaña fotométrica.

tar que es real y no un mero *artefacto* en el procesamiento y análisis de los datos disponibles.

**V40 (L940):** Situada en la parte oriental del núcleo, no lejos de éste (aproximadamente a unos 105"), brilla con magnitud 12.10<sup>a</sup> tanto en la fotometría de Cudworth y Monet (1979) como en la más reciente de Osborn (2000): se da la circunstancia de que está rodeada de 3-4 estrellitas de magnitud alta que influyen levemente con su luz en las mediciones fotométricas, de tal modo que nos aparece siempre levemente más brillante de lo que es en realidad. Al igual que ocurría con V39 no hay noticias de su variabilidad hasta el reciente trabajo de Osborn: este investigador indica que la certeza de ser variable es bastante baja según sus datos, fenómeno que pudo deberse a su baja amplitud (en correo electrónico privado el propio Osborn nos confirmó, en 2002, su variabilidad pero sin aportar información nueva). Kopacki y equipo confirmaron su variabilidad, estimaron su magnitud media en la 12.075<sup>a</sup> y cifraron su amplitud en sólo 0.08 magnitudes; nuestras 195 mediciones la

registran entre las magnitudes 11.901<sup>a</sup> y 12.075<sup>a</sup> con una *amplitud ficticia* de 0.174 magnitudes, por lo que su amplitud real descontado el error aleatorio debe ser inferior a 0.1 magnitudes: en total concordancia tanto con Osborn como con Kopacki. De nuestras mediciones obtenemos su magnitud media que encontramos igual a la 11.988<sup>a</sup>: 0.087 magnitudes más brillante que el valor medio de Kopacki y 0.11 magnitudes más que el encontrado por Osborn, fenómeno que podemos explicar por la molesta presencia de varias *estrellas compañeras* muy próximas. Analizando las 281 mediciones de Kopacki determinamos un único período igual a 51.2 días que produce una curva de luz de baja calidad, quizá debido a que esta variable de baja amplitud es altamente irregular en sus pulsaciones: un vistazo a la curva de luz publicada por este equipo polaco (figura 8) lo confirma. Nuestras 195 mediciones de brillo en bruto, representadas en la curva de luz de la figura 16, al ser analizadas con AVE proporcionan dos períodos distintos: uno corto igual a 28.6 días, que permite obtener una curva de luz medianamente

**Figura 17.** Curva de luz de V40 representada utilizando un período de 28.6 días: la calidad de la misma es baja debido a la dispersión de las mediciones de brillo que hemos obtenido.



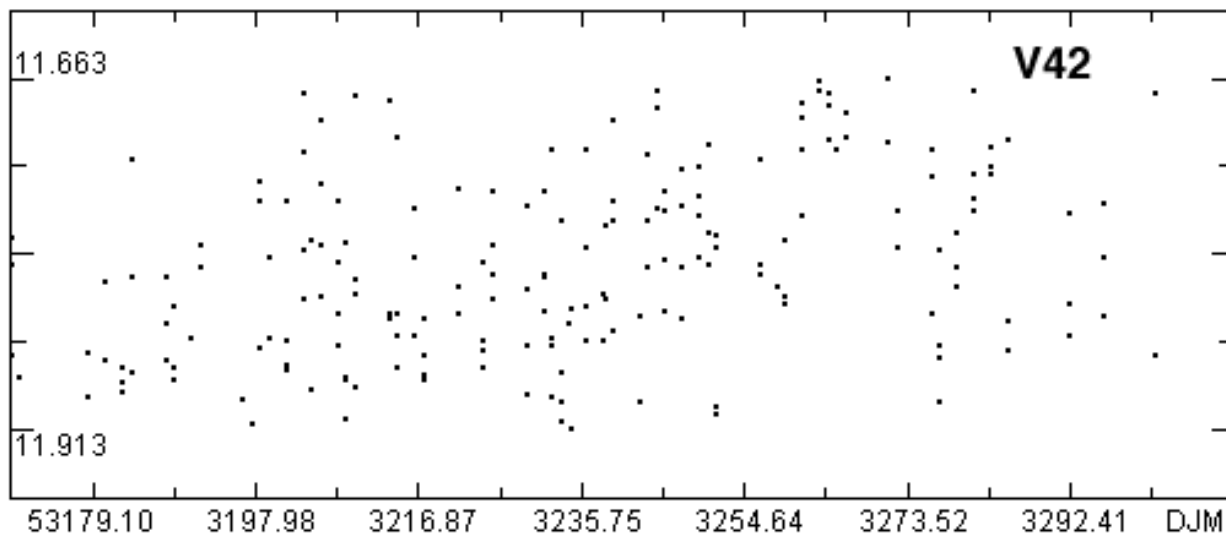


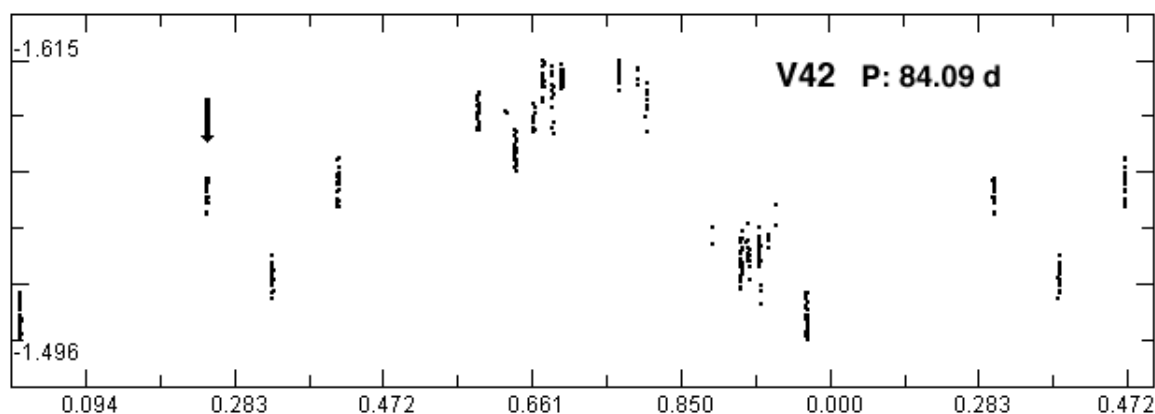
Figura 18. Curva de luz de V42 dibujada representando las 194 mediciones de brillo obtenidas en la campaña de 2004.

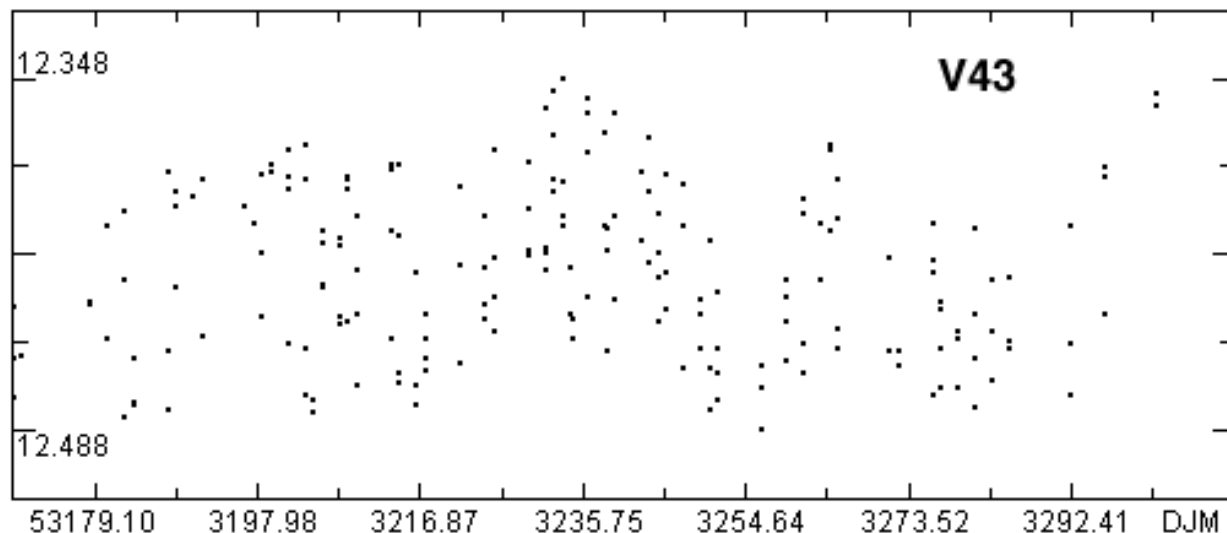
coherente (figura 17), y otro largo igual a 47.3 días que al ser representado no muestra curva alguna: sólo apreciamos una nube de puntos dispersos repartidos a lo largo del tiempo; empleando las mediciones conjuntas de las campañas 2003 + 2004 (307 medidas en total) encontramos dos períodos distintos: el más corto igual a 26.3 días y el más largo igual a 49.0 días, no muy distinto al de Kopacki: sólo el primero de ellos produce una curva de luz medianamente buena. A la vista de los resultados podemos destacar dos hechos distintos: el primero es que su reducida amplitud nos va a impedir registrar sus oscilaciones de brillo, salvo que logremos disminuir nuestro ruido aleatorio alargando la focal del telescopio o empleando instrumentos de mayor abertura y focal; el segundo es que sus pulsaciones parecen ser irregulares, extremo que no podemos confirmar por la baja calidad de nuestras mediciones fotométricas: este fenómeno podría ser el que produce curvas de luz de baja calidad al no ser idénticas las amplitudes de un ciclo al siguiente; según expone Kopacki en su artículo las variables rojas de M13 son semirregulares o irregulares: a la vista de los datos tenemos que pensar que V40 es un astro de este último tipo.

**V42 (L289):** Tal como podemos ver en la figu-

ra 1 está situada a apenas 40-50" del centro del cúmulo en su parte occidental y a poco más de 20" al sur de la cefeida V2; forma una *binaria óptica* cerrada (menos de 5") con otra estrella de brillo algo menor, circunstancia muy desfavorable que dificulta las mediciones de brillo: una tercera estrella de magnitud no muy distinta (alrededor de la 13.2<sup>a</sup>) se sitúa a unos 10" al este de ambas estrellas y afecta con su luz en aquellas jornadas en que la turbulencia es alta. Esta posición tan desfavorable ha impedido descubrir su variabilidad en el pasado, siendo Kopacki quien la confirmase en el verano de 2001 (figura 8): según sus 309 mediciones fotométricas brilla con magnitud media 11.940<sup>a</sup> presentando una amplitud de 0.10 magnitudes; dado el reducido número de noches en las que pudieron trabajar no lograron determinar su período. Nuestras 194 mediciones de brillo (figura 18) la muestran entre las magnitudes 11.663<sup>a</sup> y 11.913<sup>a</sup> (la magnitud media es igual a la 11.788<sup>a</sup>: 0.152 magnitudes más brillante que el valor encontrado por Kopacki y que se debe a la contaminación lumínica de la estrella compañera) con una *amplitud ficticia* de 0.250 magnitudes. Al analizar

Figura 19. Curva de V42 representada por AVE utilizando las mediciones polacas con un período de 84.09 días: excepto los datos de una noche (marcados con una flecha) el resto son bastante consistentes con dicho período.



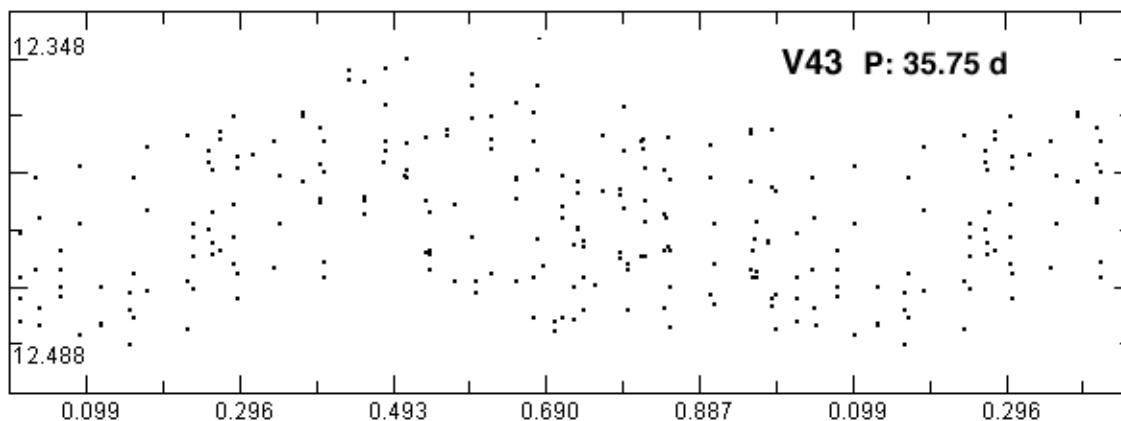


**Figura 20.** Curva de luz de V43 obtenida por el programa AVE utilizando nuestras 195 mediciones fotométricas.

sus mediciones con el programa AVE (309 puntos) obtenemos dos posibles períodos: uno corto de 45.2 días y otro largo igual a 84.09 días; el primero de ellos dibuja una curva de luz poco coherente y homogénea, casi irregular, mientras que el segundo produce una curva de luz más consistente (figura 19), en la cual la dispersión es reducida; la forma de la misma es altamente asimétrica, como la de V39, apareciendo su máximo en la fase 0.66. El análisis exhaustivo de nuestras mediciones con el programa AVE proporciona al menos 4 períodos distintos de muy diferentes longitudes: 8.7, 17.1, 19.2 y 33 días aunque probando con todos ellos no obtenemos ninguna curva de luz válida ni coherente; el análisis realizado con el programa PerSea arroja un único período igual a 35.4 días que no produce curva de luz alguna. La conclusión de este doble fracaso es clara: no hemos llegado a capturar realmente sus oscilaciones de brillo sino únicamente *ruido espúreo*, siendo la estrella compañera la que ha afectado (de modo desigual y aleatorio) su brillo y ha alterado la cantidad de luz recogida en el área del puntero con la que AstroArt calcula la magnitud de las estrellas; sólo el uso de una focal mayor podría separar un poco ambas componentes y mejorar la calidad de las mediciones futuras.

**V43 (L96):** La podemos localizar (figura 1) al oeste del núcleo del cúmulo y aproximadamente a 160" de su zona más densa: alrededor de ella no hay estrellas destacadas ni tampoco está rodeada de astros de menor brillo que molesten con su luz; de magnitud 12.52<sup>a</sup> e índice de color B-V igual a 1.27 (Cudworth y Monet, 1979) no hay noticias de su variabilidad en ningún trabajo anterior al año 2003, salvo en nuestros primeros artículos fotométricos sobre las variables de M13 (2001 y 2002), en la que bajo la denominación de **S4** (*Sospechosa* nº 4) la medimos levemente variable y así lo publicamos en Internet (2002), ofreciendo en un trabajo posterior (subido a Internet en enero de 2003) un período provisional de 53.12 días con una amplitud reducida: 0.09 magnitudes por ajuste matemático. En ese mismo año Kopacki *et al.* anunciaron haber detectado leves oscilaciones de brillo (ya mostradas en la figura 8) con una amplitud máxima igual a 0.07 magnitudes, por encima del límite de Welty (0.2 magnitudes en banda B, 1985) o de Osborn (2000), quien ni siquiera la registra en su listado de astros estudiados por él; los astrónomos polacos determinaron también su

**Figura 21.** Curva de V43 dibujada por AVE utilizando nuestras mediciones con un período de 35.75 días.



magnitud media: 12.470<sup>a</sup>. El análisis de sus 289 mediciones de brillo con AVE proporciona al menos 5 períodos muy dispares entre sí: 7.01, 38.4, 41.2, 97.3 y 115.9 días, ninguno de los cuales llega a producir una curva de luz medianamente buena y coherente. Nuestras 195 mediciones fotométricas nos la han mostrado entre las magnitudes 12.348<sup>a</sup> y 12.488<sup>a</sup> con una *amplitud ficticia* de sólo 0.140 magnitudes, incluyendo el inevitable error aleatorio: la amplitud real es inferior a 0.1 magnitudes; con estos dos valores extremos su magnitud media es igual a la 12.418<sup>a</sup>: exactamente 0.10 magnitudes por encima de su valor estándar aunque sólo 0.052 magnitudes más brillante que el valor publicado por Kopacki *et al.* El análisis de nuestras propias mediciones utilizando el programa AVE proporciona dos períodos también muy distintos: el primero igual a 35.75 días y el segundo próximo a 95.8 días; sólo el primero de ellos dibuja una curva de luz bastante coherente que mostramos en la figura 21: tanto la forma de la misma como su amplitud y período son similares a los de otras variables rojas de M13 por lo que en principio debemos descartar que se deba a un mero *error* de nuestras mediciones. Sin embargo debemos ser cautos a la hora de tomar este período por correcto ya que los datos de Kopacki, aunque no tan bien repartidos en el tiempo como los nuestros, muestran claramente un comportamiento irregular (figura 8): sólo nuevas observaciones fotométricas en la campaña de 2005 podrán aportar algo más de luz en este asunto.

## AMPLITUDES Y PERÍODOS

Tomando los datos fotométricos más modernos y únicos (Kopacki *et al.*, 2003) podemos elaborar una tabla que compare nuestros valores con los suyos, aunque hemos de aclarar que esta comparativa sólo nos servirá como simple orientación: ni los instrumentos utilizados han sido similares (un reflector de 60 cm frente a un reflector catódico de 20 cm) ni el número de noches en que se ha trabajado y medido tampoco (23 ellos y 63 nosotros), además de que entre nuestros respectivos trabajos media un período de **3 años** (febrero-agosto de 2001 ellos y junio-noviembre de 2004 nosotros), con lo cual las fases de las variables observadas son totalmente diferentes y no pueden compararse directamente entre sí.

La tabla así elaborada (Tabla 1) contiene la siguiente información: denominación oficial de la variable, amplitud **A** según Kopacki *et al.*, amplitud **a** obtenida de nuestros resultados, período oficial **P** (sólo para V33: el resto han sido calculados por nosotros de los datos obtenidos por Kopacki) y período **p** según nuestros datos y análisis con los programas AVE y PerSea:

Tabla 1

Astro	A	a	P	p
V33	---	0.170	40.37	40.7
V38	0.07	<0.10	80.8?	81?
V39	0.22	0.280	55.1?	70.0?
V40	0.08	<0.10	51.2?	26.3?
V42	0.10	0.250	84.1?	---
V43	0.07	<0.10	irr.?	35.75

en la tercera columna (nuestra amplitud en banda V) los valores de V38, V40 y V43 son proximos y se han calculado restando el error aleatorio (0.06-0.07 magnitudes) a la *amplitud ficticia* obtenida de las mediciones fotométricas. En cuanto a los períodos **p** obtenidos por nosotros sólo el de V33 es igual al oficial: el de V38 es idéntico al calculado de las mediciones de Kopacki mientras que los restantes son totalmente distintos, siendo uno de ellos (el de V40) prácticamente la mitad del obtenido de sus datos; hemos de tomar estos resultados con cautela ya que las mediciones de este equipo no estaban bien repartidas a lo largo del tiempo, con lo cual los períodos que hemos deducido de ellas son dudosos: buena prueba de esto es que el propio Kopacki no ha derivado de este material período alguno excepto para V41, una posible binaria eclipsante según nuestras mediciones fotométricas (2002, 2003 y 2004) y velocidades radiales profesionales.

## CONCLUSIONES

Hemos estudiado **14 estrellas variables** del tipo *gigante roja* presentando en este artículo los resultados de **6 de ellas** (de V33 a V43 ambas inclusivas), ya que los resultados de las 7 primeras los mostramos en un trabajo anterior. El análisis de las mediciones efectuadas durante **63 noches**, a lo largo de un período de **143 días (DJM 53169 al DJM 53311)**, nos ha permitido obtener curvas de brillo, amplitudes y períodos de todas ellas: **las amplitudes varían entre las 0.280 magnitudes de V39 y algo menos de 0.10 magnitudes de V38, V40 y V43**, mientras que **los períodos están comprendidos entre los 81 días de V38 y los 26.3 días de V40**, quedando todos los demás entre estos dos extremos; **el único período que podemos comparar con el oficial es el de V33 y lo encontramos prácticamente idéntico: las restantes variables no tienen sus períodos determinados todavía por lo que los hemos calculado a partir de las observaciones originales de Kopacki bajadas de Internet, encontrando sólo el de V38 idéntico al determinado de sus datos.**

A la vista de los resultados todas son variables semirregulares cuyas curvas de luz son bastante similares de ciclo en ciclo (aunque no siempre iguales) con una amplitud bastante baja: sorprendentemente **V39 presenta una curva de luz altamente asimétrica encontrándose su máximo en**

**la fase 0.6; este mismo fenómeno aparece en la curva de V42 representada con los datos de Kopacki** aunque nosotros, debido a la contaminación lumínica de las mediciones por su proximidad a otras estrellas brillantes, no podemos confirmarlo; según los datos del equipo polaco **V40 y V43 presentan irregularidades tanto en su amplitud como período no siendo idénticos ambos parámetros de ciclo en ciclo:** sin embargo nosotros obtenemos la curva de luz de V43 y la encontramos no sólo consistente con un período de 35.75 días, sino muy similar en forma y amplitud a la de V33 y otras variables rojas de M13.

Confiamos en que las observaciones fotométricas que obtengamos en la campaña del año 2005, con instrumentos de mayor abertura y focal, ayuden a mejorar estos resultados provisionales.

Observatorio Astronómico de Cáceres, 30 de diciembre de 2004.

## REFERENCIAS

- Barnard, E. E.: 1914, ApJ 40, 173
- Cudworth, K. M., Monet, D. G.: 1979, AJ 84, 774
- Fuenmayor, F., Osborn, W.: 1974, IBVS 952
- Kadla, Z. I., Antal, M., Zhdyarskij, F., Spasova, N.: 1976, Astron. Zhurnal 53, 713
- Kopacki, G., Kolaczowski, Z., Pigulski, A.: 2003, A&A 398, 541
- Ludendorff, H: 1905, Public. Astron. Observ. Postdam, vol 15, No. 50
- Osborn, W.: 1977, AJ 82, 3950
- Osborn, W.: 2000, AJ 119, 2902
- Russev, R. M.: 1973, Peremennye Zvezdy 19, 181
- Russev, R. M.: 1974, Astron. Zhurnal, 51, 122
- Russev, R. M., Russeva, T.: 1979, IBVS 1534
- Russeva, T., Russev, R.: 1980, IBVS 1769
- Russeva, T., Iliev, L., Russev, R. M.: 1982, IBVS 2223
- Welty, D. E.: 1985, AJ 90, 2555
- White, R. E.: 1981, IAU Coll. N° 63: *Astrophysical Parameters for Globular Clusters*