

VARIABLES EN M13

CAMPAÑA 2004

2. VARIABLES ROJAS (I)

Francisco A. Violat Bordonau

violat@olanet.net

Este es el segundo trabajo, 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 variables del tipo *gigante roja* presentando sus período actuales y curvas de luz.

En nuestro trabajo anterior* (noviembre de 2004) expusimos los resultados obtenidos durante la campaña fotométrica del año 2004, concretamente sobre el estudio de cinco astros clasificados como no variables; dicha campaña se ha extendido entre los Días Julianos Modificados (DJM) 53169 (junio) y 53310 (noviembre) totalizando 142 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 magnitud bien medida (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 y equipo: 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 primer trabajo sobre las variables rojas sólo analizaremos 7 de ellas (de V11 a V24 ambas inclusives), dejando el resto para un artículo futuro; V41, posible sistema binario según nuestros datos fotométricos (campañas de 2002 y 2003), 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^a de V11 y la 12.470^a de V43; V41 -con magnitud media igual a 13.155^a- 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
V11	195
V15	191
V17	195
V18	195
V19	193
V20	177
V24	194
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: V20 y V33 tienen decli-

* Disponible en Internet en la dirección:
<http://personales.ya.com/casanchi/ast/fotometrica200401.htm>

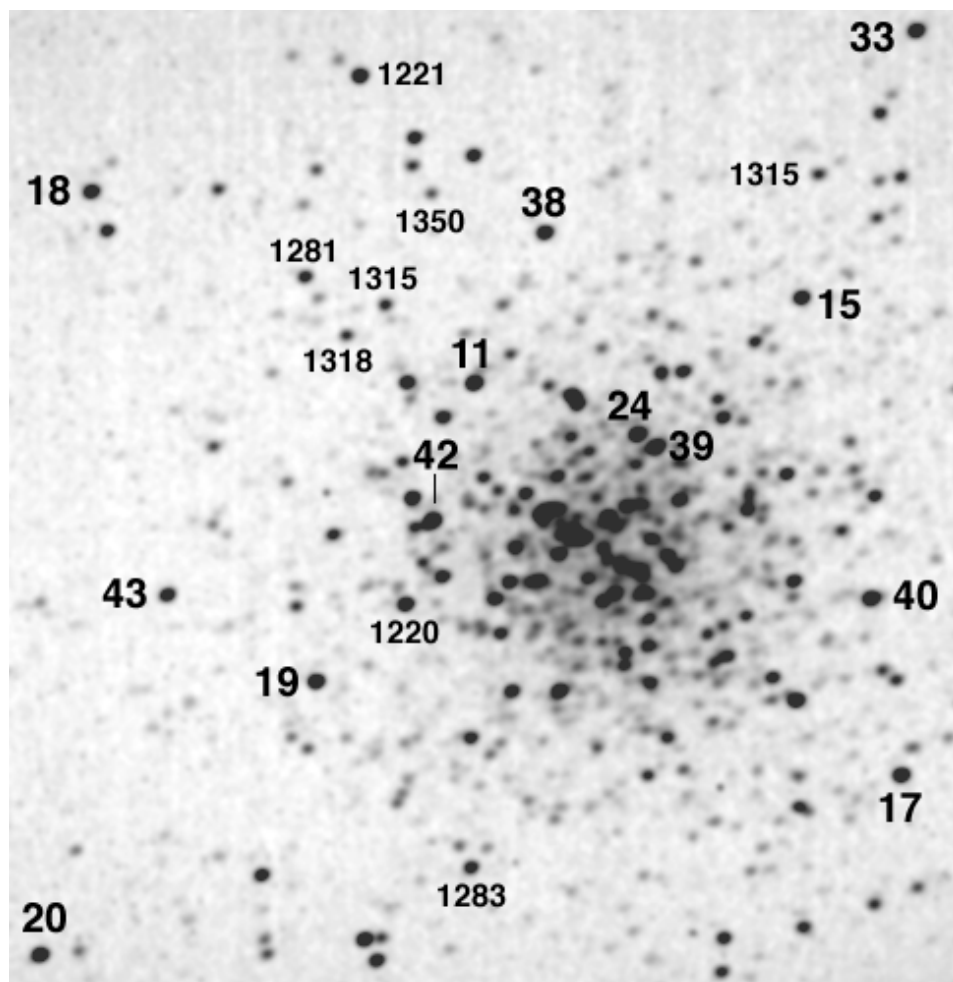


Figura 1. Mapa digital de M13: aparecen marcados los ocho astros de comparación (magnitudes con dos decimales) así como las trece variables rojas estudiadas, cada una de ellas identificadas por su nombre: 18 es V18, 33 es V33, etc. (T. Bennasar).

naciones muy extremas y no han podido ser medidas en todas las imágenes al estar muy próximas 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 Barberá, miembro del bien conocido **G.E.A.** (Grupo de Estudios Astronómicos).

Insertamos a continuación una tabla con sus magnitudes V e índices de color B-V según datos tomados de los trabajos de Osborn (2000), Cudworth y Monet (1979)* o Kopacki (2003)**:

Astro	V	B-V
V11	11.95	1.59
V15	12.18	1.45
V17	11.98	1.53
V18	12.33	1.31
V19	12.10	1.50
V20	12.12	1.59
V24	12.04	1.61
V33*	12.09	1.54
V38	12.15	1.45
V39	12.02	1.60
V40	12.10	1.48
V42**	11.94	----
V43*	12.52	1.27

A la vista de estos valores comprobamos que las variables rojas (fotográficamente notamos que en realidad son de color ambarino) 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 en este tramo no son variables: L261 (12.20^a y 1.39) es un buen ejemplo.

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 expuestos en los artículos y trabajos de Kadla *et al.* (1976), Osborn (1977), Russev y Russeva (1980), Welty (1985), Osborn (2000) y finalmente Kopacki *et al.* (2003).

V11: Se encuentra situada en una zona del cúmulo no demasiado apiñada por lo que sus 195 mediciones presentan una baja dispersión: así la presencia de la débil RR Lyrae

V7 a su costado (inmediatamente al SE) no ha afectado demasiado a la calidad de su curva de luz. La hemos medido en el intervalo 11.869^a-12.139^a lo que nos proporciona una amplitud de 0.270 magnitudes (el resultado obtenido por Kopacki y equipo es de sólo 0.13 magnitudes, mientras que Osborn midió -en 1977- 0.67 magnitudes en banda B); en ocasiones ha sido el astro individual más brillante del cúmulo (en la zona del núcleo hay estrellas levemente más brillantes pero en realidad son dos o más muy apiñadas). La curva de luz (figura 2) nos muestra una caída de brillo que la lleva al mínimo cerca del DJM 53204, una recuperación para llegar al máximo en torno al DJM 53229, una bajada de brillo que la conduce a un mínimo de menor profundidad de apenas una décima de magnitud (DJM 53254), una rápida recuperación que la condujo a un segundo máximo de menor brillo (algo menos de una décima de magnitud con respecto al máximo anterior) en torno al DJM 53269 y una caída de brillo que se mantuvo hasta llevarla cerca del mínimo brillo hacia el DJM 53310 que es la última noche que la hemos podido estudiar; este comportamiento puede compararse con la curva de luz obtenida por Kopacki (figura 7). Las 195 mediciones han sido analizadas con el programa AVE

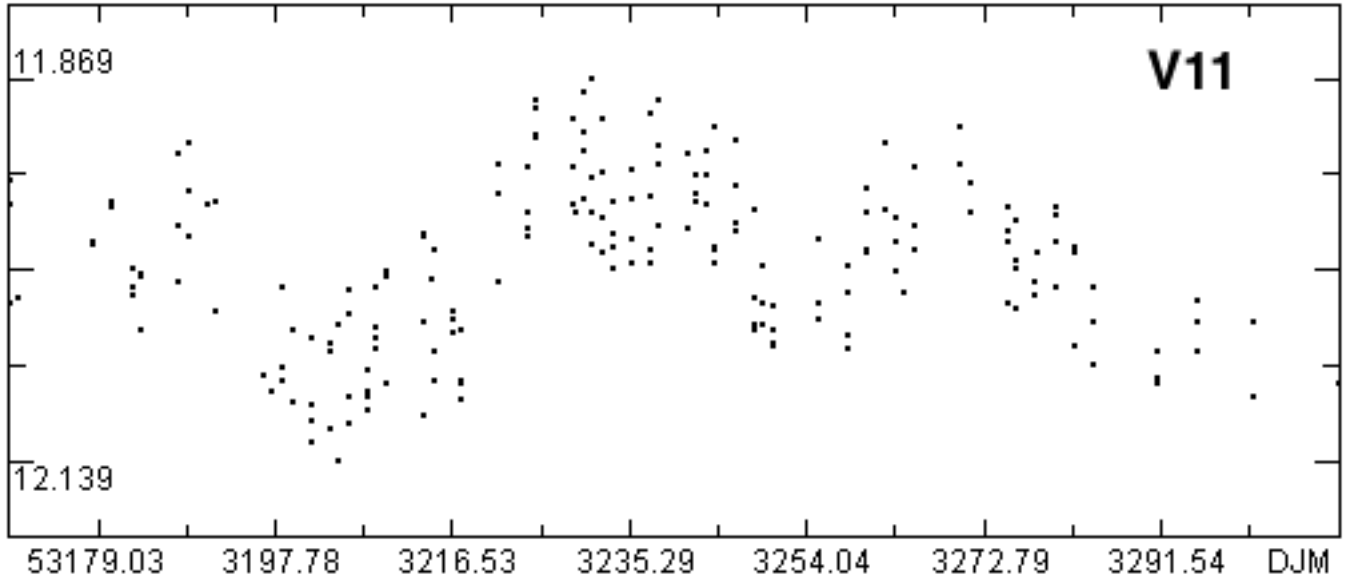


Figura 2. Curva de luz de V11 *en bruto* tal como ha sido obtenida efectuando mediciones durante 63 noches distintas.

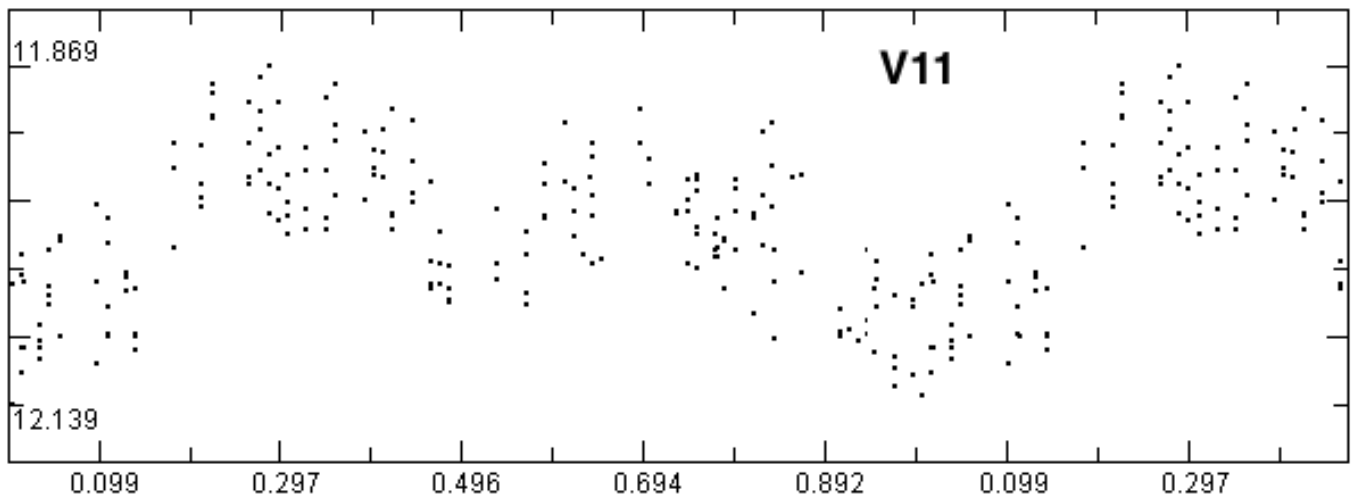


Figura 3. Curva de luz de V11 empleando un período de 95.6 días: podemos comprobar que en la fase 0.5 se ha producido un mínimo secundario de menor profundidad en vez de ocurrir el máximo de brillo.

y obtenemos un período de 95.6 días: 3.83 días más largo que su período oficial (91.77 d) pero sólo 3.18 días más que el estimado por Osborn en 1977 (92.42 d), lo que no se debe a un error de las mediciones o a una mala distribución de estas observaciones (por otro lado bien repartidas a lo largo de todo su ciclo de pulsación), sino a que estamos estudiando una estrella de tipo semirregular con un doble período de oscilación; es precisamente este doble período el que produce una *modulación* en la forma de su curva de luz de tal modo que los máximos de gran brillo y menor brillo se alternan en el tiempo, fenómeno que ya comprobado en las campañas de 2001 y 2003. Observemos que en su curva de luz (figura 3) la fase 0.5 coincide con un mínimo y no con un máximo, como cabría esperar: este comportamiento tan extraño despistó a Welty (1985) quien midió una amplitud en banda B igual a 0.5 magnitudes y, ante la dispersión encontrada con el período que obtuvo (en torno a 90 d), cifró su período en

41.55 d: algo menos de la mitad que el verdadero.

V15: Su alejamiento del centro del cúmulo ha permitido que las 191 mediciones de brillo que hemos tomado no se hayan visto afectada por la presencia de abundantes y débiles estrellitas de fondo, como ocurre en otras variables mal situadas (V24 y V39, por ejemplo). Según nuestros datos en el período observado ha oscilado entre las magnitudes 12.050^a y 12.262^a (figura 4), presentando una *amplitud ficticia* de 0.212 magnitudes incluyendo el error aleatorio: sin embargo este valor queda reducido a sólo 0.09 magnitudes según mediciones de Kopacki, mientras que Osborn (2000) no encontró oscilación alguna hasta el límite de detección de su equipo (aunque utilizó sólo 25 fotografías en banda V) por lo que concluye que es una variable de pequeña amplitud. Utilizando estas 191 mediciones de brillo el programa AVE encuentra dos períodos distintos: 101 días y 31.01 días siendo su período oficial igual a 39.23

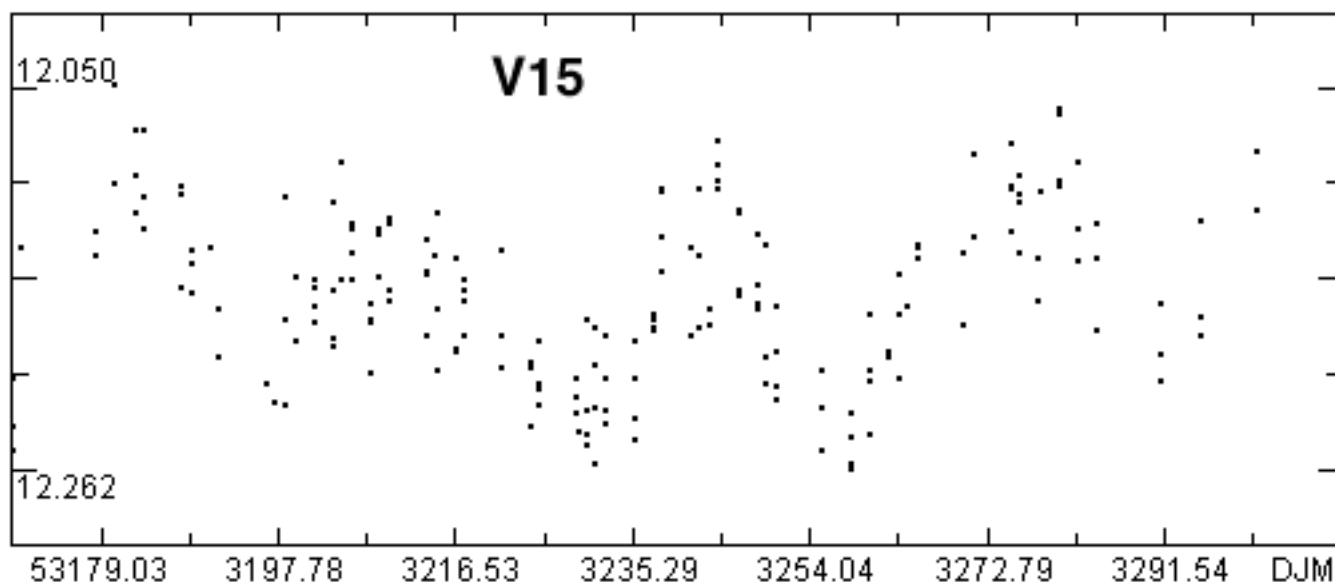


Figura 4. Curva de luz de V15 formada por 191 mediciones repartidas a lo largo de 142 días (63 noches distintas).

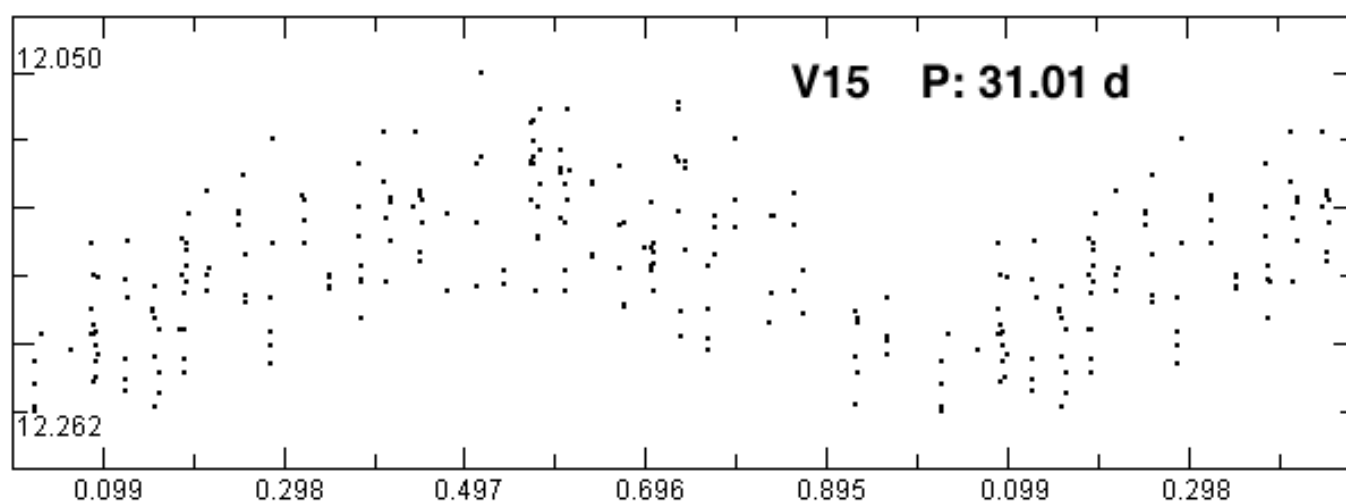


Figura 5. Curva de luz de V15 obtenida utilizando un período de 31.01 días: la dispersión es mayor en el momento en que alcanza su máximo brillo, fenómeno que también se aprecia en los trabajos de Osborn (1977) y Welty (1985).

días; empleando el primero (bastante más corto que los 140.3 días encontrado por Russev en 1973) se obtiene una curva de luz no demasiado mala mientras que con el segundo (figura 5) la curva de luz es plenamente consistente con el período oficial, aunque con una dispersión demasiado elevada cerca de la fase 0.5 (en torno a 0.1-0.15 magnitudes): podemos comparar este comportamiento lumínico y dispersión con los mostrados en la curva de luz obtenida por Kopacki (figura 7). Dado que nuestras mediciones suelen tener un error de 0.070 magnitudes como media (en estrellas bien situadas algo menos), restando este error aleatorio (± 0.070 mag.) a la amplitud ficticia medida (0.212 magnitudes) nos quedaría una amplitud real de sólo 0.072 magnitudes: este dato es consistente tanto con los comentarios de Osborn como con los resultados presentado por Kopacki y equipo. La amplitud en banda B medida por Osborn (1977) fue de 0.22 magnitudes cifrando su

período en 39.23 días; en su trabajo vemos que la dispersión de sus mediciones cerca del máximo es -como en nuestro caso- grande: en torno a 0.1 magnitudes. Por otra parte Welty indica en su estudio que no encuentra variabilidad alguna hasta su límite de detección (0.2 magnitudes en banda B) lo que también corrobora de modo indirecto su baja amplitud en banda V. Con toda seguridad hemos de clasificarla como variable de baja amplitud (< 0.1 magnitudes en banda V) con un período en el intervalo de 32 a 39 días.

V17: En las fotografías en color del cúmulo la podemos encontrar brillando (con un tono ambarino) en la zona más nororiental del mismo en donde forma parte, junto con V40 y L853, de un triángulo isósceles muy regular que contrasta con la pobreza en estrellas brillantes de este sector (por el contrario la parte completamente opuesta del cúmulo, la SW, es rica en alineaciones de es-

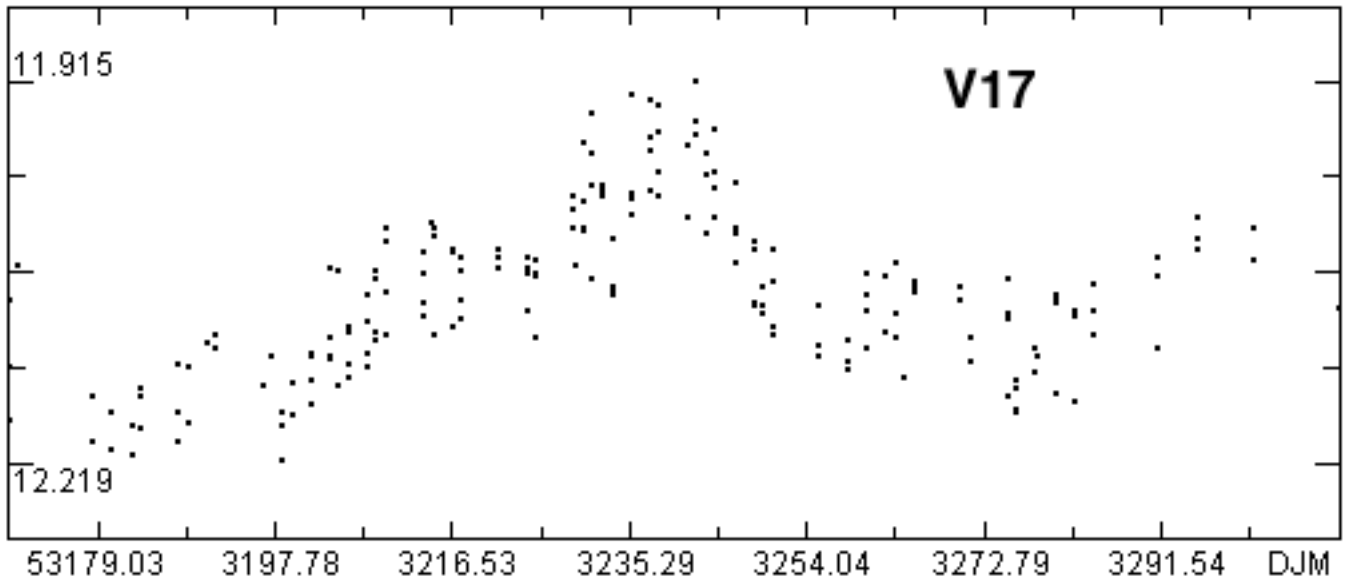
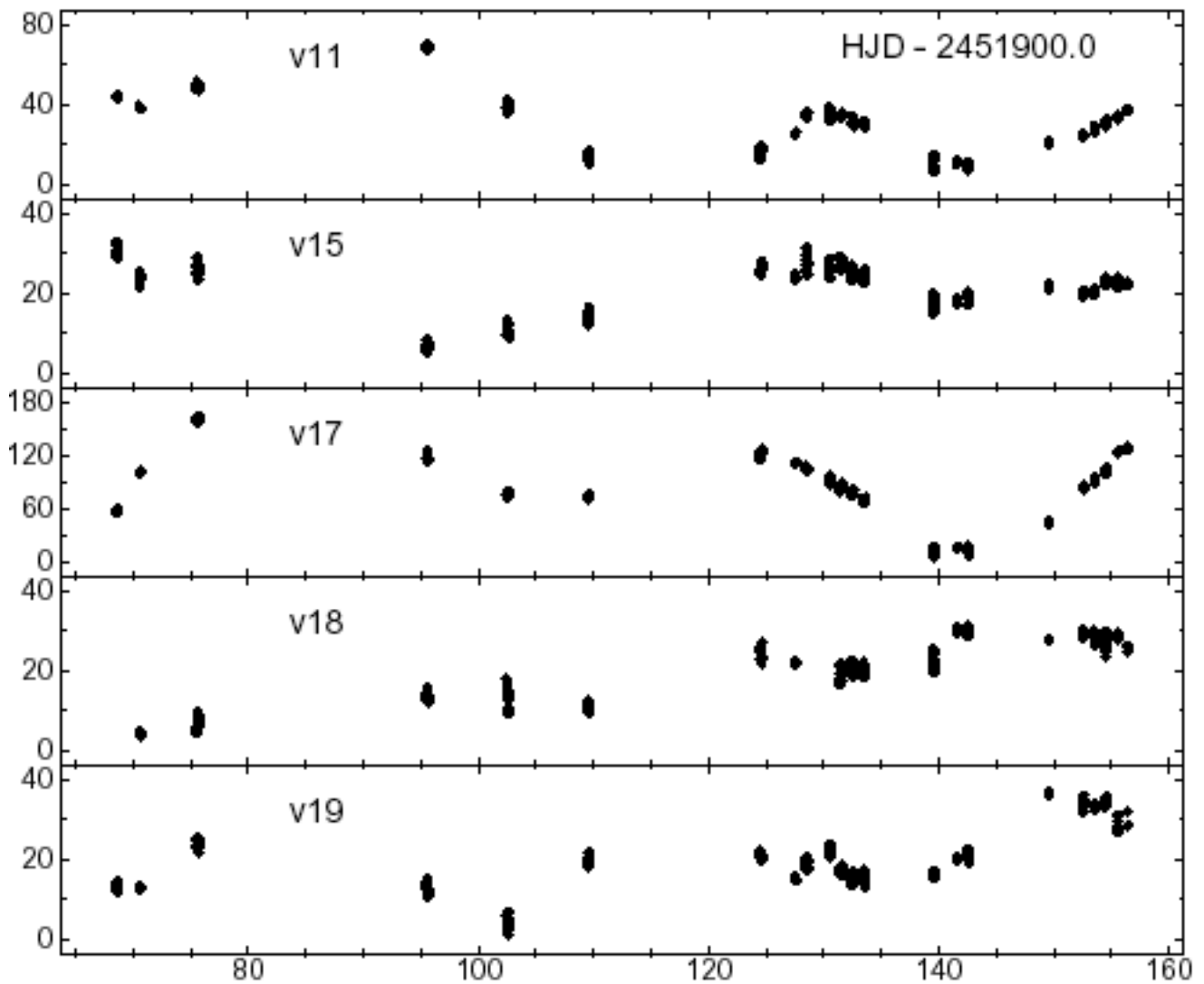


Figura 6. Curva de luz de V17 formada por 195 mediciones repartidas a lo largo de 63 noches: podemos apreciar la no regularidad de sus ascensos y descensos, tal como quedan reflejados también en la curva de luz inferior.

Figura 7. Curvas de luz de las variables V11, V15, V17, V18 y V19 —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 observado por este equipo de investigadores.



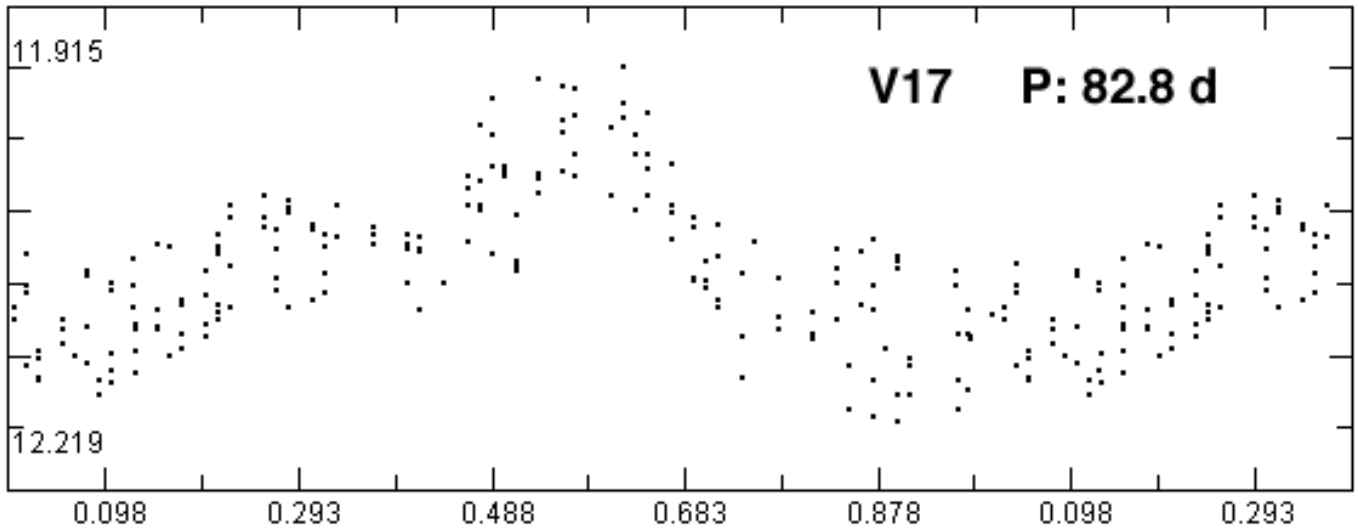


Figura 8. Curva de luz de V17 obtenida empleando un período de 82.8 días: nótese la mayor dispersión en el mínimo.

trellas: son las famosas *patas de araña* visibles con cualquier telescopio pequeño en noches oscuras). Nuestras 195 mediciones de brillo la sitúan entre las magnitudes 11.915^a y 12.219^a (figura 6), por lo que ha presentado una amplitud de 0.304 magnitudes incluyendo el error aleatorio. Osborn (1977) mide una amplitud de 0.63 magnitudes en banda B, Welty la reduce a sólo 0.3 magnitudes en la misma banda mientras que Kopacky cifra su amplitud en banda V en 0.38 magnitudes: nuestro resultado trabajando en la misma banda es totalmente consistente con el del equipo polaco. La curva de luz de la figura 6, que podemos comparar con la de la figura 7, nos la muestra bajando hacia el mínimo al inicio de la campaña, luego durante unos días en el mínimo, más tarde subiendo de brillo, a continuación viene un mantenimiento de brillo durante unos días y luego una subida hasta llegar al máximo en torno al DJM 3233-3236; a continuación vuelve a descender de brillo de modo bastante brusco para desacelerar esta caída y estabilizarse en un mínimo de base redondeada que podemos situar hacia el DJM 3270-3272, iniciando de nuevo una lenta recuperación de brillo y ascendiendo hasta un nuevo máximo, de menor brillo, que ocurre en torno al DJM 3300; las últimas mediciones (el DJM 3310) la muestran bajando de este máximo rumbo a un nuevo mínimo. Osborn (1977) encuentra su período igual a 39.14 días, Russev y Russeva (1979) lo estiman en 43 días mientras que Welty lo cifra en 45.5 días. La búsqueda de su período por parte de AVE pone de manifiesto 3 candidatos muy distintos: 25.29, 31.4 y 82.8 días; una vez representada la curva de luz con todos ellos comprobamos que sólo el último (82.8 días) produce un resultado plenamente consistente, en el que las mediciones presentan no demasiada dispersión en algunos tramos mientras que su comportamiento lumínico es coherente en todo momento: este período resulta ser casi exactamente el doble (41.4 d x 2) del oficial (43.04 días) pero también es el doble del en-

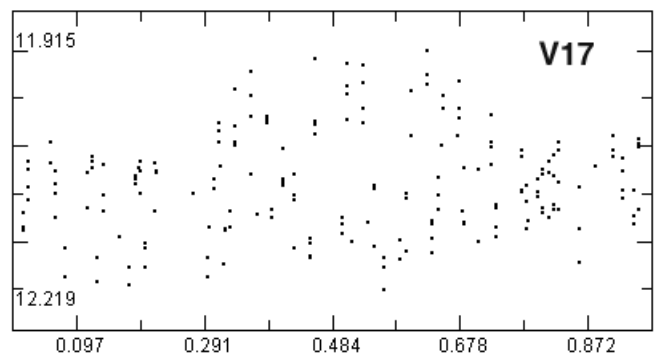


Figura 9. Curva de luz de V17 obtenida usando un período de 41.4 días: se aprecian perfectamente dos curvas distintas que se cruzan en torno a la fase 0.81 y se separan, ganando brillo una de ellas mientras que la otra lo pierde; esto nos demuestra que sus pulsaciones no son idénticas de ciclo en ciclo, algo que ya puede intuirse en la figura 8.

contrado por los demás investigadores; la curva de luz obtenida usando la mitad de nuestro período (figura 8) ofrece con claridad **dos curvas** completamente distintas que presentan comportamientos totalmente desiguales: cuando una alcanza su máximo la otra está casi en su mínimo alternándose con el tiempo y cruzándose dos veces en cada ciclo lumínico.

V18: Forma parte de una de las *patas de araña* mencionada por los astrónomos del siglo XIX, estando situada concretamente en la parte más occidental y austral del cúmulo, al SW del núcleo (sólo V33 es más austral y sólo V20 es más occidental). Con 195 mediciones repartidas a lo largo de 63 noches distintas (figura 10) medimos una amplitud de sólo 0.135 magnitudes, ya que en su máximo ha alcanzado la magnitud 12.269^a mientras que en el mínimo ha bajado hasta la 12.404^a (magnitud media: 12.336^a). Promediando las observaciones de cada noche obtenemos una nueva curva de luz (figura 11) en la cual se mueve entre las magnitudes 12.290^a como máximo y 12.387^a como mínimo: su amplitud se ve reducida ahora a

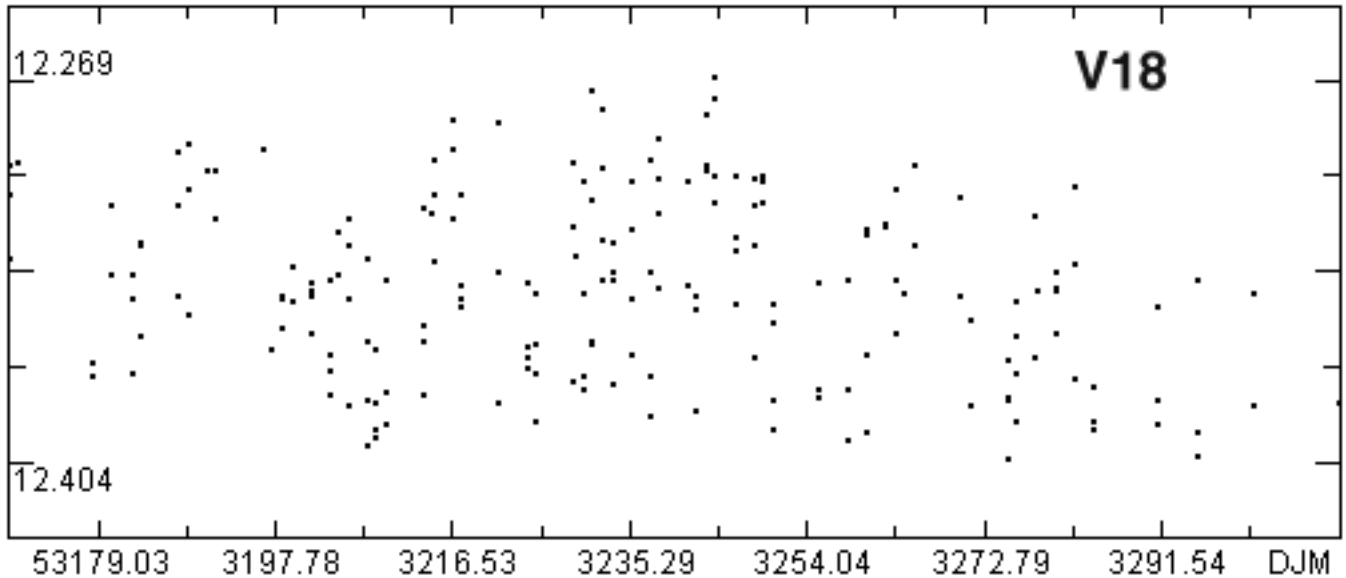


Figura 10. Curva de luz de V18 formada por 195 mediciones distintas: se aprecian leves oscilaciones lumínicas (amplitud máxima: 0.135 magnitudes) a intervalos de casi 25 días así como su comportamiento tendente a la irregularidad.

sólo 0.097 magnitudes. Fue descubierta como variable por Russeva y Russev (1980) quienes estimaron su período en 41.25 días; Welty midió una amplitud en banda B en torno a 0.2 magnitudes y determinó su período que encontró igual a 63.1 días aunque con irregularidades; Osborn (2000) indica en su trabajo que no encuentra evidencias de variabilidad por lo cual debe ser de baja amplitud mientras que Kopacki determina esta amplitud en 0.11 magnitudes en banda V, indicando que su magnitud media es igual a 12.319^a; nuestro resultado (12.336^a) difiere en sólo 0.017 magnitudes. Empleando el conjunto de mediciones encontramos 3 períodos muy distintos: 15.9, 24.7 y 77.2 días; el primero de ellos no produce ninguna curva de luz mientras que la que obtenemos empleando el último es bastante mala: sólo cuando utilizamos el segundo valor (24.7 días) obtenemos una curva de luz medianamente coherente en la cual es posible distinguir el máximo, el mínimo, la caída y la posterior recuperación de brillo (figu-

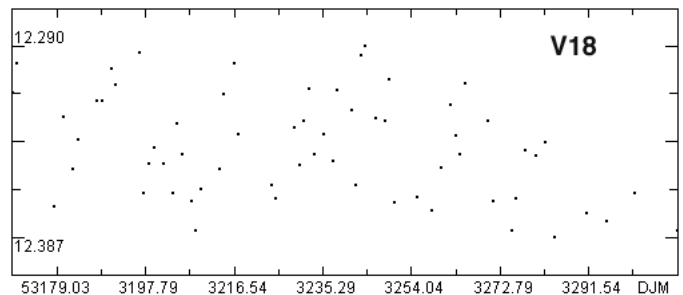
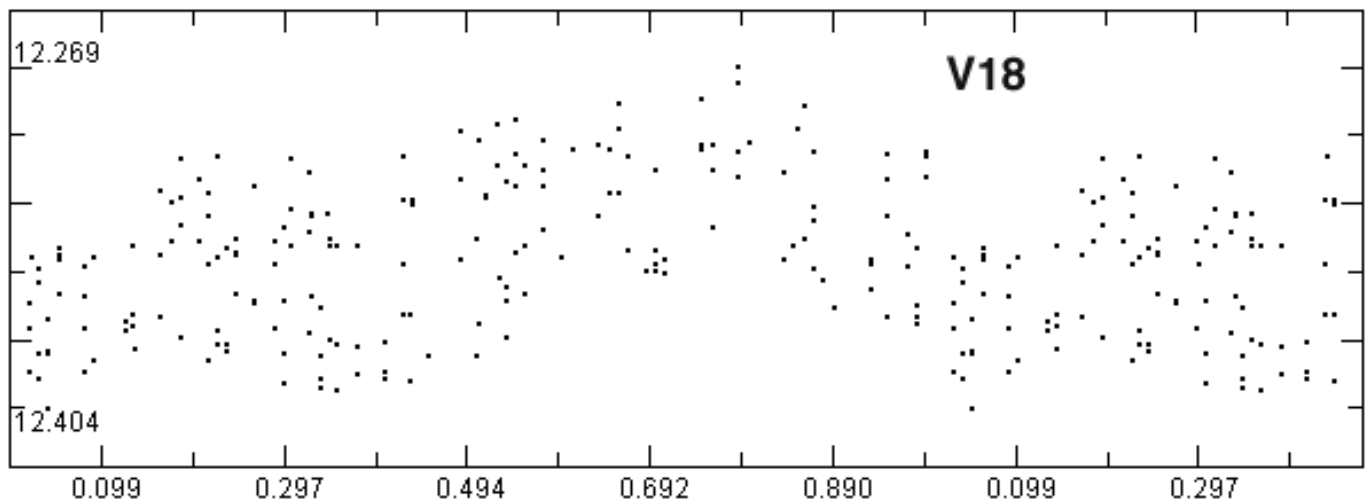


Figura 11. Curva de luz de V18 resultante de promediar las observaciones de las 62 noches distintas en las que ha sido estudiada: parecen observarse leves oscilaciones lumínicas (de sólo 0.097 magnitudes) con un período de 25 días.

ra 12); si empleamos las 62 mediciones promediadas encontramos dos períodos distintos iguales a 25.1 y 76.3 días: sólo el primero de ellos produce una curva de luz bastante aceptable por lo que volvemos a desestimar el más largo. Dado que el período oficial es igual a 41.25 días comprobamos

Figura 12. Curva de luz de V18 empleando un período de 24.7 días: nótese la excesiva dispersión en algunos momentos.



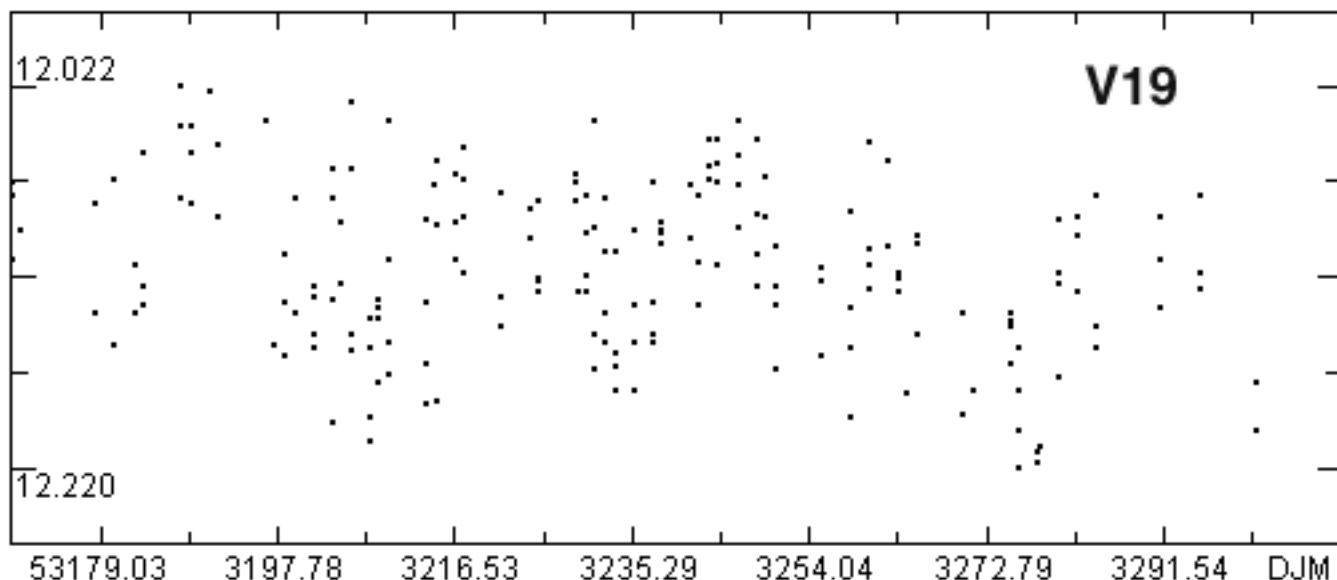


Figura 13. Curva de luz de V19 elaborada con 195 mediciones distintas: las mediciones muestran una amplitud aparente de 0.198 magnitudes, pero no vemos con claridad sus oscilaciones de brillo dado que su amplitud verdadera es muy reducida.

que en esta ocasión nuestro período (24.7 días) es casi la mitad del oficial. La dispersión de nuestras mediciones (en torno a 0.09 magnitudes) no puede compararse con las 0.4 magnitudes en ciertos momentos obtenidas por Welty; esta dispersión es debida no a errores en el proceso de la medición (algo siempre inevitable aunque se puede minimizar), sino a las irregularidades propias de esta estrella: este comportamiento puede comprobarse en la curva de luz obtenida por Kopacki y equipo representada en el figura 7, en la que tras un período en la que apenas oscila sube, cae bruscamente durante unos pocos días y vuelve a subir para descender de nuevo aunque esta vez de modo más sosegado.

V19: La podemos encontrar al NW del centro del cúmulo, no lejos de la brillante y amarillenta L261 (de magnitud 12.20^a) y levemente al N de la también brillante V43, situada algo más al W. El estudio de sus 193 mediciones (figura 13) muestra que aparentemente que ha oscilado entre las magnitudes extremas 12.022^a y 12.220^a con una amplitud de 0.198 magnitudes, pero no se aprecian con claridad estas oscilaciones lumínicas, aparte de algunas caídas aparentes de brillo inconsistentes con los datos anteriores o posteriores. El análisis profundo de estas mediciones con el programa AVE nos proporciona 3 períodos muy distintos: el primero de 24.7 días, el segundo de 32.9 días y el tercero de 58.8 días; una vez representada la curva de luz con los tres comprobamos que ésta se llega a dibujar de un modo deficiente sólo con el período más largo (58.8 días, figura 14), resultando de mucha menor calidad con los otros dos. Su período oficial es de 44.48 días por lo que ninguno de los que nosotros hemos obtenido se aproxima mucho: el segundo es 11.5 días más corto mientras que el tercero es ya 14.32 días más

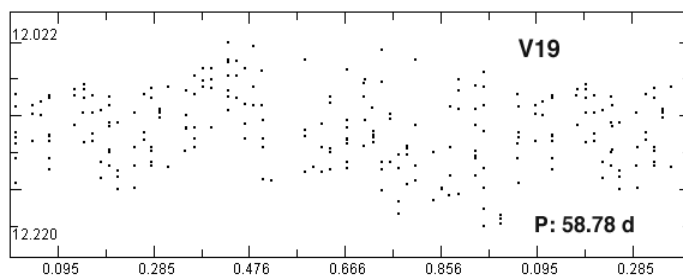


Figura 14. Curva de luz de V19 obtenida empleando un período de 58.78 días: la dispersión es en todo momento excesivamente elevada (sobre todo entre la fase 0.66 y 0.95) como para apreciar con claridad sus oscilaciones lumínicas.

largo; con la curva de luz a la vista y los períodos obtenidos la única conclusión que podemos extraer es que no hemos llegado a detectar realmente sus oscilaciones lumínicas, por lo que conociendo la cuantía del error de nuestras mediciones (0.06-0.08 magnitudes) debemos estimar su amplitud real en algo menos de 0.1 magnitudes pero sin poder precisar mucho más. Welty encontró una amplitud máxima próxima a 0.2 magnitudes en banda B con un período que cifra en 32.95 días (prácticamente idéntico al segundo valor que nosotros obtenemos: 32.9 días), Osborn (2000) comenta que ve posible su variabilidad mientras que Kopacki *et al.* estiman su amplitud en sólo 0.09 magnitudes en banda V; nuestros resultados negativos son plenamente consistentes tanto con la amplitud de Welty (0.2 magnitudes en luz azul, algo menos en la banda visual) como con la bien medida recientemente por Kopacki y equipo: no tenemos más que mirar la curva de luz representada en la figura 7. A la vista de estos resultados hemos de aceptar que sólo la obtención de mediciones mucho más precisas, con un error aleatorio más pequeño, permitiría registrar sus verdaderas

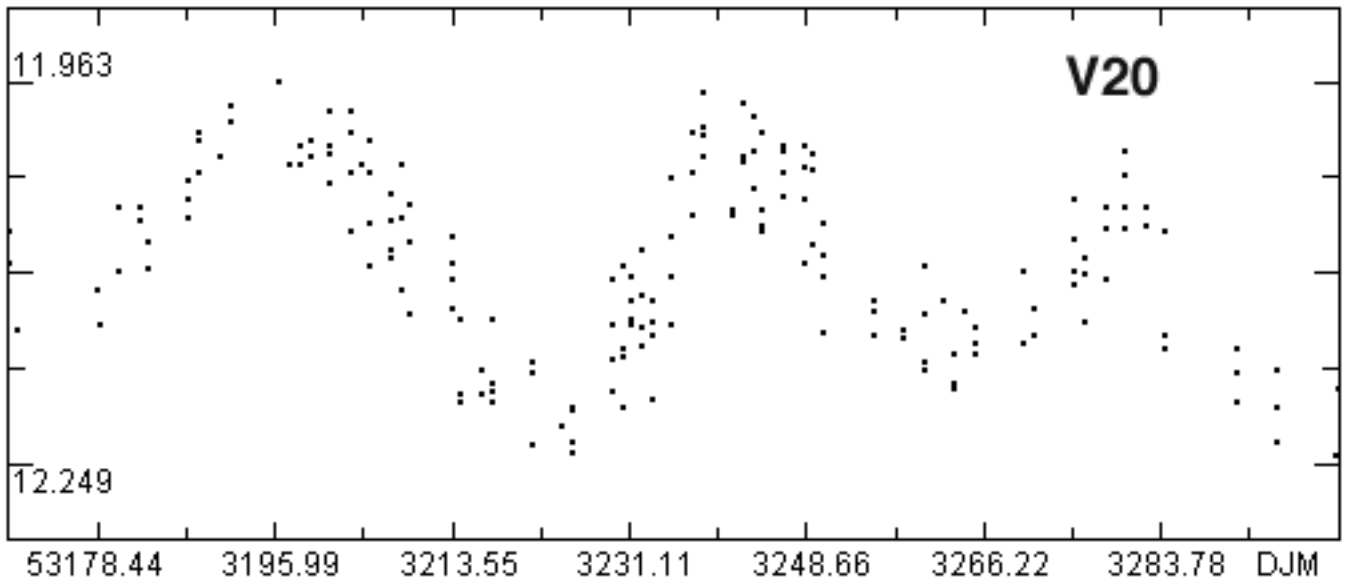


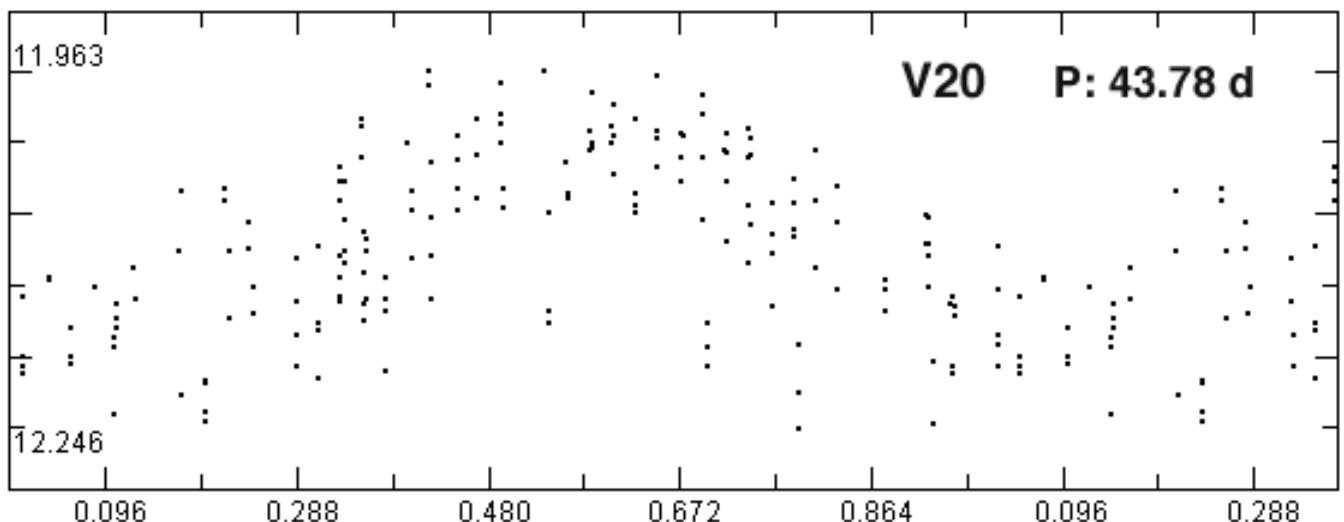
Figura 15. Curva de luz de V20 obtenida con sólo 173 mediciones distintas: vemos con claridad prácticamente tres ciclos completos, aunque el último de ellos ha presentado un mínimo claramente de menor profundidad.

oscilaciones de brillo, medir su período real y dibujar correctamente su curva de luz.

V20: A ser la variable más boreal aparece situada justo al NW del centro del cúmulo, solitaria en la parte oeste, en donde ocupa justo la punta de una de las famosas *patas de araña*, esta posición tan extrema ha ocasionado que en bastantes ocasiones haya quedado fuera del campo aparente del chip (8' x 6') por lo cual sólo poseemos 177 mediciones de brillo. Pese a este incidente podemos medirla en la magnitud 11.963^a como máximo y 12.249^a como mínimo obteniendo una amplitud de 0.286 magnitudes incluyendo, como siempre, el error aleatorio; el estudio visual de estas mediciones (figura 15) nos muestra claramente sus oscilaciones lumínicas: al inicio de la campaña la capturamos subiendo de brillo rumbo al máximo (DJM 53193), cae de brillo rumbo a un mínimo

que alcanza en torno al DJM 53225, sube de nuevo de brillo para situarse de nuevo en el máximo (DJM 53240), baja hasta situarse en un mínimo de menor amplitud (DJM 53263) del que sube lentamente hasta volver a alcanzar un máximo de menor brillo cerca del DJM 53279, fecha en la cual vuelve a perder intensidad para volver a situarse cerca de un mínimo hacia el DJM 53301: en total hemos podido registrar tres pulsaciones completas, aunque las tres han sido de distinta duración y amplitud. El periodograma apunta inequívocamente a un único período que estimamos en 43.78 días con el cual se obtiene una curva de luz bastante buena (figura 16), pero en la que destacan algunos puntos -escasos, por otra parte- que apuntan a irregularidades en su período y amplitud, como se aprecia visualmente en la figura 15. El período oficial es igual a 64.26 días por lo que la diferencia entre ambos valores asciende a nada

Figura 16. Curva de luz de V20 dibujada utilizando un período de 43.78 días: pese a que es bastante consistente presenta al menos una decena de puntos demasiado lejos del lugar que les corresponde, lo que sólo puede deberse a la irregularidad de sus ciclos de pulsación.



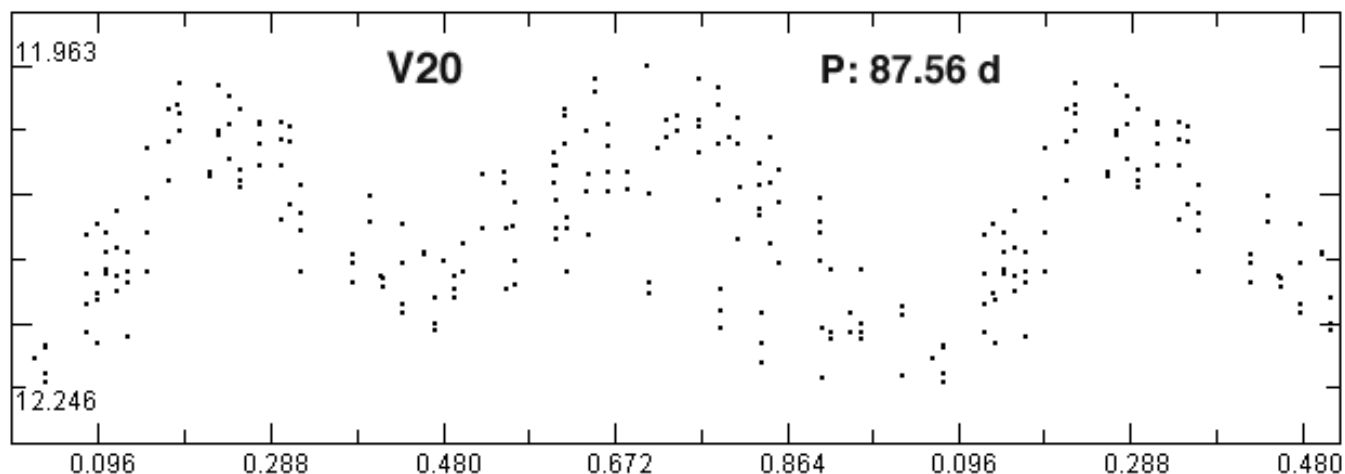


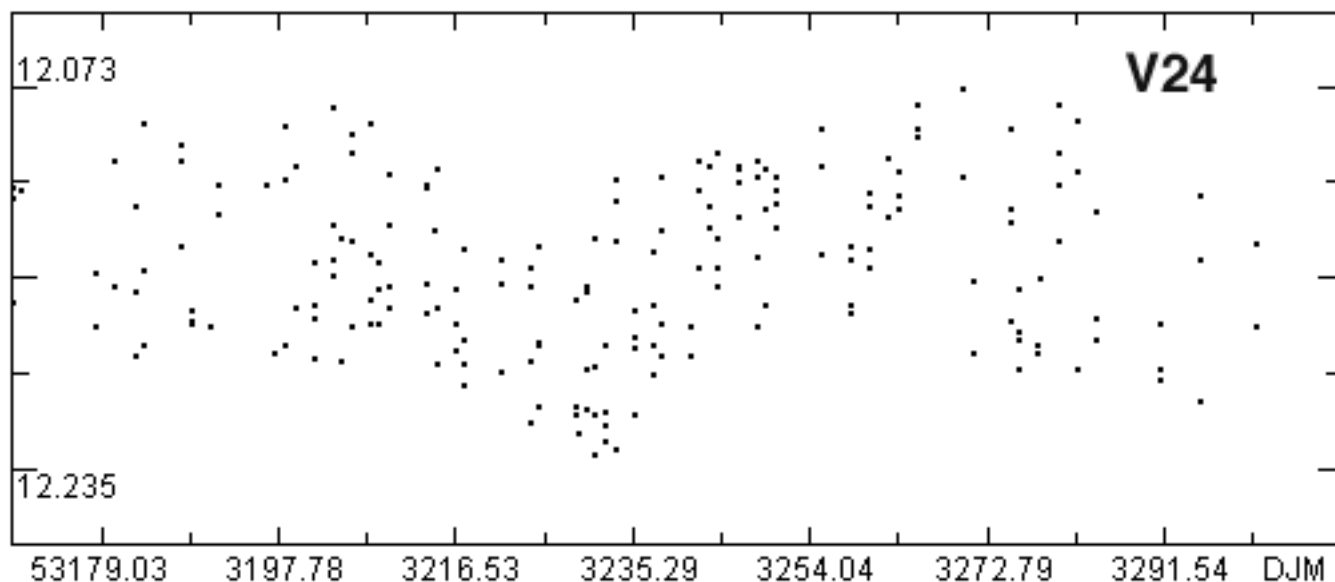
Figura 17. Curva de luz de V20 dibujada utilizando un período doble del anterior: se aprecian algunos puntos mal posicionados en la fase 0.7-0.9 que demuestran la no regularidad de sus ciclos de pulsación.

menos que ¡20.48 días!; dado que la calidad de las mediciones es buena y su amplitud moderadamente grande este error ha de achacarse, por fuerza, a la irregularidad en sus ciclos que han *despisado* por completo al software AVE: visualmente podemos comprobar que del primer mínimo principal (DJM 53225) al siguiente (DJM 53301) han transcurrido aproximadamente 76 días, valor que es sólo 12 días más largo que el período oficial; la conclusión es clara: el período obtenido es exactamente la mitad del real por lo cual éste ha de ser igual a 87.56 días. Los Russev confirmaron su variabilidad en 1980, midieron una amplitud de 0.42 magnitudes (en banda B) y estimaron su período en 64.26 días; Welty, por su parte, cifra su amplitud en torno a sólo 0.2 magnitudes en la misma banda mientras que alarga su período a nada menos que 96.6 días: esta cifra es bastante próxima el doble de la nuestra (es decir, 87.56 días) por lo que podemos dar por válido nuestros resultados; la figura 17 muestra la curva de luz obtenida empleando un período de 87.56 días; excepto ocho puntos situados en una posición que no les corresponde -fase 0.7 a 0.9- el resto de las medi-

ciones de brillo son consistentes con el período.

V24: Un vistazo a la figura 1 pone de manifiesto la doble dificultad que nuestro equipo ha tenido para medirla bien: en primer lugar está situada dentro del núcleo del cúmulo lo que implica un fondo de estrellitas débiles que van a afectar levemente cuando el programa cuantifique su luz; y en segundo lugar está muy pegada a la también variable muy brillante V39, por lo cual el resplandor disperso por la una afecta levemente a la otra (este efecto es más notorio en las noches de elevada turbulencia): pese a todo hemos podido obtener 194 mediciones con las cuales hemos elaborado su curva de luz (figura 18); según nuestros datos ha oscilado entre la magnitud 12.073^a y 12.235^a presentando por tanto una amplitud de 0.162 magnitudes; la magnitud media que obtenemos es igual a la 12.154^a: exactamente 0.11 magnitudes más débil que su valor estándar; este error se debe, como hemos comentado, al apiñamiento estelar de la zona en la que se encuentra y a la luz

Figura 18. Comportamiento de V24 a lo largo de la campaña fotométrica: es notoria su gran dispersión.



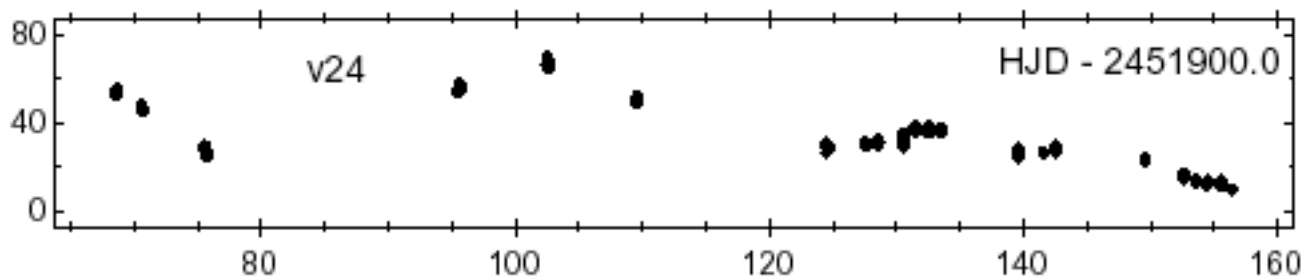


Figura 19. Curva de luz de V24 obtenida por Kopacki *et al.* a lo largo de 26 noches de observación: notamos que tras dos grandes oscilaciones de brillo sucede una tercera de muy baja amplitud.

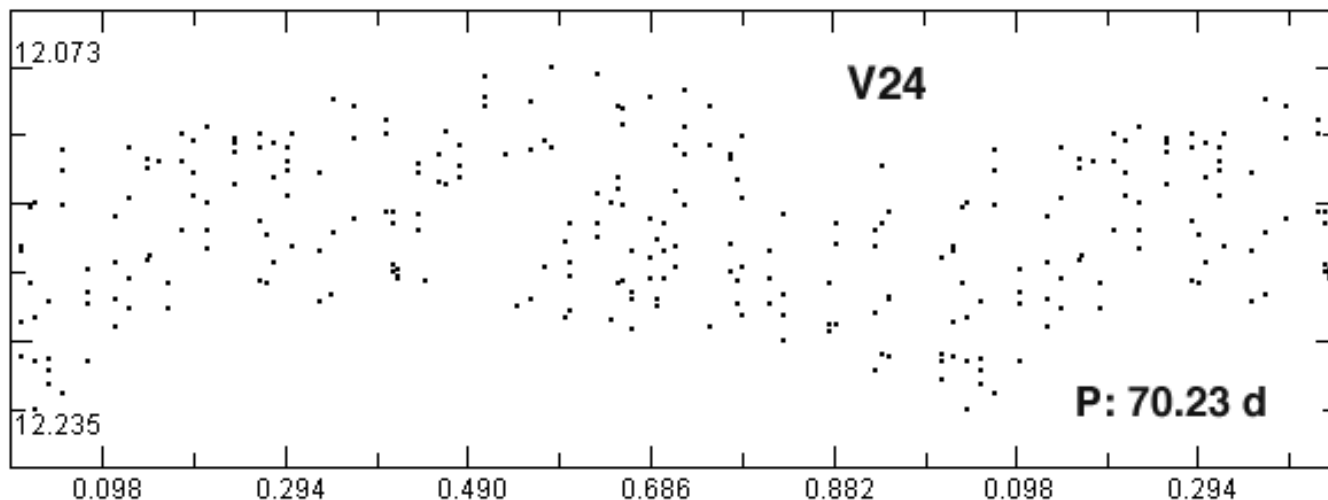


Figura 20. Curva de luz de V24 obtenida utilizando un período de 70.23 días: podemos ver que no es regular del todo, lo que ha provocado una mayor dispersión de las mediciones entre la fase 0.51 y 0.69.

espúrea que ello origina. Un sencillo estudio de su curva de luz, sobre estas líneas, parece indicar que su comportamiento es bastante regular pese a que la dispersión de las mediciones ha sido mayor hacia el final de nuestra campaña. Descubierta como variable por Kadla (1976), Russev y Russeva confirman su variabilidad (1982) mientras que tanto Welty (1985) como Osborn no aportan información nueva: tenemos que esperar al trabajo de Kopacki y equipo (2003) para conocer su amplitud (0.24 magnitudes en banda V) y ver cuál fue el comportamiento a lo largo del período que observaron; tal como podemos ver en su curva de luz (figura 19, arriba del todo) la estrella tuvo dos oscilaciones de brillo de gran amplitud (máximo en torno al día 103, según la numeración utilizada en este gráfico), pero tras un mínimo cuyo comienzo no pudieron registrar (¿en torno al día 118-122?) tiene una levísima recuperación de magnitud que la lleva a un máximo de menor brillo (en torno al día 132) tras el cual pierde intensidad paulatina y constantemente para alcanzar un nuevo mínimo hacia el día 156. Si aceptamos que el primer mínimo ocurre hacia el día 80 y sabemos que el último sucede en torno al día 158-160 podemos determinar su período: bastante próximo a 80 días; dado que el oficial es igual a 45.34 días comprobamos de nuevo que la dispar amplitud de ciclo a ciclo mueve a error, tomando por un ciclo de amplitud doble lo que en realidad son dos ciclos distintos. Utilizando nuestras 194 mediciones

y empleando el programa AVE encontramos dos períodos muy distintos: el primero, demasiado corto, igual a 19.6 días que nos produce una mala curva de luz y el segundo igual a 70.23 días, que ha sido el que hemos utilizado para representar su curva de luz (figura 20); el estudio visual de la misma pone de manifiesto una no regularidad en sus ciclos, tanto por la forma poco regular de la misma como por la excesiva dispersión de las mediciones en todo momento: estos resultados se ven confirmados por la curva de luz obtenida por Kopacki (figura 19) en la cual el último máximo alcanza un brillo mucho menor que en los dos máximos anteriores.

AMPLITUDES Y PERÍODOS

Tomando los datos fotométricos más modernos (Kopacki *et al.*, 2003) podemos intentar elaborar una tabla que compare nuestros valores con los suyos, aunque hemos de apresurarnos a aclarar que esta comparativa sólo nos servirá como mera orientación y nada más: ni los instrumentos utilizados han sido similares (un 60 cm frente a un 20 cm) ni el número de noches en que se ha trabajado tampoco (23 ellos frente 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 entre sí.

La tabla contiene la siguiente información: denominación, amplitud **A** según Kopacki, amplitud **a** según nuestros resultados, período oficial **P** y período **p** según nuestros datos.

Astro	A	a	P	p
V11	0.13	0.27	91.77	95.6
V15	0.09	(0.08)	39.23	31.0
V17	0.38	0.30	43.04	82.8
V18	0.11	0.13	41.25	24.7
V19	0.09	(0.10)	44.48	58.8
V20	----	0.29	64.26	87.6
V24	0.24	0.16	45.34	70.2

en la tercera columna (nuestra amplitud en banda V) los valores encerrados entre paréntesis son sólo aproximados y se han obtenido restando el error estadístico (0.06-0.07 magnitudes) a la amplitud ficticia obtenida. En cuanto a los períodos **p** obtenidos por nosotros sólo dos de ellos (V11 y V15) son lo bastante próximos a los oficiales como para considerarlos correctos; los otros cinco períodos caen en tres grupos distintos: uno es casi la mitad del valor oficial (V18), otro es casi doble (V17) y los tres restantes (V19, V20 y V24) mucho mayores de lo esperado.

CONCLUSIONES

Hemos estudiado **14 estrellas variables** del tipo *gigante roja* presentando en este artículo los resultados de **7 de ellas** (de V11 a V24 ambas inclusivas) y dejando el resto para otro artículo futuro. El análisis de las mediciones efectuadas durante **63 noches**, a lo largo de un período de **142 días (DJM 53169 al DJM 53310)**, nos ha permitido obtener curvas de brillo, amplitudes y períodos de todas ellas; las amplitudes varían entre las 0.304 magnitudes de V17 y algo menos de 0.10 magnitudes de V15 y V19, mientras que los períodos están comprendidos entre los 95.6 días de V11 y 31.01 días de V15 (el oficial es 39.23 días).

La curva de luz de V11 confirma, por cuarto año consecutivo, que esta variable presenta un **doble período de pulsación** de amplitudes y períodos distintos. V17 ha mostrado un máximo de brillo hacia la mitad de la campaña, habiéndose cubierto un ciclo de pulsación completo. Las mediciones de V18 permiten cifrar su amplitud real en algo menos de 0.13 magnitudes, mientras que su curva de luz demuestra que sus ciclos de pulsación no tienen la misma amplitud y período. Las mediciones de V19 muestran que su amplitud es inferior a 0.1 magnitudes, hecho que ha impedido determinar correctamente su período y curva de luz: los resultados obtenidos son de baja calidad.

Las medidas de V24, situada muy próxima al núcleo y a la también variable V39, han quedado muy afectadas por estos motivos de tal manera que su curva de luz presenta una dispersión superior a lo normal y no es muy clara.

Los períodos obtenidos son, en todos los casos, distintos a los oficiales aunque dos de ellos (V11 y V15) difieren muy poco estos valores oficiales; en un caso (V17) el período obtenido es exactamente doble del esperado y en otro (V18) casi la mitad, mientras que los tres restantes son de 14 a 25 días más largos. Esta curiosa circunstancia se debe a las irregularidades de sus ciclos de pulsación que *confunden* al software empleado en la búsqueda de sus períodos, tomando por dos ciclos distintos (y alargando, por consiguiente, el período) lo que en realidad sólo es uno, aunque de dispar amplitud o período con respecto al ciclo anterior.

Todas las variables estudiadas presentan irregularidades tanto en su amplitud como período, no siendo idénticos ambos parámetros de ciclo en ciclo: esto explica y justifica tanto el error a la hora de poder determinar sus períodos como la baja calidad de las curvas de luz obtenidas y la dispersión de las mediciones en las mismas.

Confiamos en que las imágenes capturadas en una futura campaña, en 2005, permitan refinar un poco las amplitudes y períodos aquí presentados.

Observatorio Astronómico de Cáceres, 3 de diciembre de 2004.

REFERENCIAS

- Barnard, E. E.: 1914, ApJ 40, 173
 Cudworth, K. M., Monet, D. G.: 1979, AJ 84, 774
 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., 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