

VARIABLES EN M13

ESTUDIO DE V17

(2001-2005)

Francisco A. Violat Bordonau
Teófilo Arranz Heras
Alberto Díez Gago

En este trabajo presentamos curvas de luz y períodos de oscilación de la estrella V17 en base a las mediciones fotométricas que hemos obtenido en el intervalo 2001-2005, las de Osborn y Fuenmayor (1977), las de Kopacki et al. (2001) y otros datos diversos recopilados de NASA ADS y SIMBAD. Encontramos que su amplitud en banda *V* es próxima a 0.33 magnitudes, mientras que el período fundamental de pulsación está en el rango 43-45 días según la campaña estudiada. El análisis de 19 velocidades radiales indica que pulsa con un período muy próximo a 43.1 días.

La estrella V17 (α : 16h 41m 50.93s δ : +36° 28' 54.3", 2000.0), también conocida como L973 (Ludendorff, 1905) o KAD 544 (Kadla, 1966), es un astro que pertenece al cúmulo M13 por su movimiento propio (Kadla, 1966, Cudworth y Monet, 1979); es de tipo espectral K0Ib (Popper, 1947) por lo que visualmente destaca como un brillante astro que por su luminosidad resulta ser una supergigante de menor brillo. La temperatura efectiva $T_{\text{eff}} = 3920$ K (Armoski et al., 1994), su magnitud bolométrica $M_{\text{bol}} = -3.36$ (Shetrone, 1994) mientras que su magnitud absoluta $M_0 = -2.3$ (Pilachowski et al., 1996). Visualmente podemos distinguirla en la zona nordeste del cúmulo, formando parte de una de las curiosas *patas de araña* originada por varias estrellas alineadas.

Medida con magnitud 11.98 en banda *V* e índice de color $B-V = 1.53$ (Osborn, 2000) resulta ser uno de los astros más brillantes del cúmulo (figura 1), apareciendo en el diagrama color-magnitud en la cima de la Rama de las Gigantes Rojas: muy probablemente se trate, como V11, de una estrella AGB con dos zonas de combustión (*double-shell-burning* en la literatura profesional): la más interna de elementos pesados (carbono, nitrógeno, oxígeno, sodio...) y la más externa de hidrógeno.

Pese a que sus amplias oscilaciones de brillo son fáciles de seguir incluso con telescopios pequeños (en torno a 0.4 magnitudes en banda *V* pero hasta 0.6 en banda *B*), fue descubierta como variable bastante recientemente (Rushev, 1973) aunque podría haberse notado, comparando mediciones fotométricas, que realmente era un astro variable: así en el trabajo de Brown (1955) se comparan las magnitudes e índices de color medidos por Shapley en 1915 (12.08 y 1.31) con los determinados por el propio Brown (12.05 y 1.59); en el trabajo de Kadla (1966) aparece con magnitud 12.04 *V* con un índice de color $B-V = 1.58$

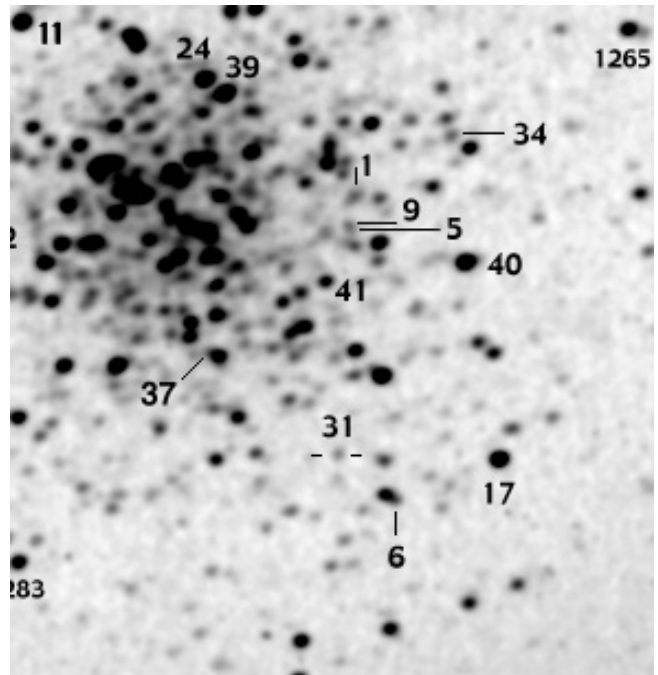


Figura 1. Imagen CCD de M13, en banda *V*, que muestra la situación de V17 y algunas de las estrellas de comparación que hemos empleado en todos nuestros trabajos.

mientras que Cudworth y Monet (1979) la midieron con magnitud 12.04 e índice $B-V = 1.61$; los índices de color mostraban una diferencia máxima de 0.30 magnitudes.

V17 es, como V11, un astro frío fuerte emisor de luz roja e infrarroja: por ello aparece brillante con filtro *V* (verde), más brillante con el *R* (rojo) pero muy destacado con el *I* (infrarrojo); la magnitud determinada por Rushev (en 1974) fue $I = 10.32$ presentando un índice de color $B-V = 1.58$ y $V-I = 1.72$, pero $B-I = 3.30$: brillaba algo más de tres magnitudes menos en luz azul que en infrarrojo y era una de las estrellas más destacadas del cúmulo medida a través del filtro *I*. De estas observaciones dedujo que era un astro variable.

Fuenmayor y Osborn (1974) pudieron confirmar su variabilidad proporcionando un período de oscilación de unos 39 días. Tres años más tarde (Osborn y Fuenmayor, 1977) presentaron un estudio más profundo en el que midieron 59 placas fotográficas tomadas por el reflector astrométrico del USNO en los años 1967, 1968 y 1969 con una combinación de película y filtro cuya transmisión era similar al sistema *B*. El análisis de sus 55 mediciones proporcionó una amplitud máxima de 0.67 magnitudes (similar a la de V11) en el rango 13.12—13.76 *B* y un período de pulsación igual a 39.14 días, mostrando una curva de luz bastante irregular en su forma por lo que podía clasificarse dentro del tipo semirregular.

Rushev y Russeva (1979) analizaron observaciones fotométricas antiguas y más recientes con lo que midieron oscilaciones de 0.45 magnitudes en banda *B* y dedujeron un período de oscilación igual a 43.04 días: 4 días superior al determinado

Figura 2. Curva de luz de V17 obtenida por Osborn y Fuenmayor en 1967 con 27 mediciones en luz azul: tras un mínimo han capturado un máximo de menor brillo, una caída de poca intensidad y una subida hacia un máximo de mayor brillo.

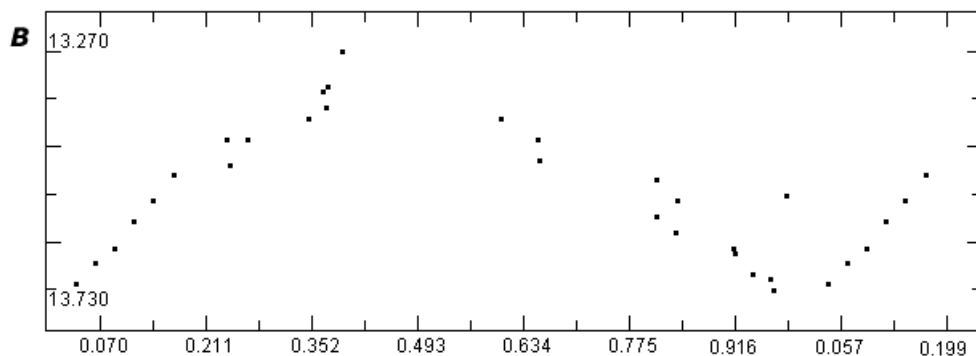
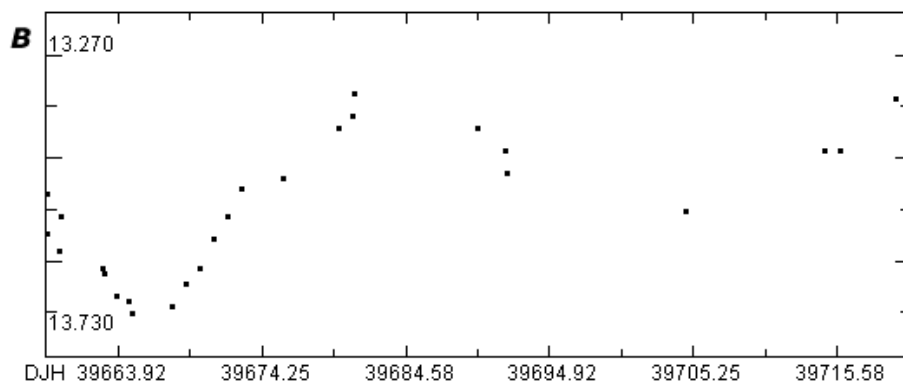


Figura 3. Las mismas 27 mediciones anteriores representadas con un período igual a 39.14 días: excepto un único punto (fase: 0.997) el resto es consistente con dicho período.

con anterioridad por Osborn y Fuenmayor.

Welty (1985) midió 64 placas fotográficas tomadas con un conjunto film + filtro próximo al sistema B y encontró que su amplitud era cercana a 0.3 magnitudes, pulsando con un período que encontró igual a 45.5 días.

Osborn (2000) publicó magnitudes B y V así como posiciones de 104 estrellas del cúmulo; en su estudio la magnitud de esta estrella era igual a 11.98 V y 13.51 B , presentando un índice de color $B-V = 1.53$ con $\sigma_V = 0.05$ y $\sigma_B = 0.13$: de estas dispersiones cabía esperar que su amplitud en banda V fuese igual a 0.15 magnitudes y hasta 0.42 en banda B . Fotoeléctricamente su magnitud medida fue igual a la 12.001 V con índice de color $B-V = 1.496$ y $\sigma_V = 0.042$.

Kopacki et al. (2003) trabajaron con un reflector de 60 cm durante 23 noches en el año 2001 y obtuvieron una curva de luz con 335 mediciones en banda V , en la cual registraron la rama ascendente de la curva de luz rumbo a un máximo, una caída de brillo de poca profundidad, parte de un segundo máximo de menor brillo, la caída de brillo hasta un mínimo de mayor profundidad y la rama ascendente de un nuevo máximo que parecía ser de gran brillo. Según estos investigadores su magnitud media fue igual a 11.976 V con una amplitud de 0.38 magnitudes en banda V (aunque de sus mediciones originales se deduce una amplitud igual a 0.404 magnitudes): osciló entre las magnitudes 11.786 y 12.166 (11.976 ± 0.190).

El trabajo más reciente sobre fotometría de M13 es de 2004 (David, Jaureguiberry y Rondi, 2004): elaborado con el telescopio T60 (600 mm de apertura) de Pic du Midi y con filtros B , V y R ,

la midieron con magnitud 12.03 V e índice de color $B-V = 1.51$ ($B = 13.54$).

Para determinar los posibles períodos y representar las curvas de luz hemos analizado todas las mediciones disponibles, tanto nuestras como de otros observadores, con el programa A.V.E. (Análisis de Variabilidad Estelar) elaborado por Rafael Barberá, miembro del G.E.A. (Grupo de Estudios Astronómicos), empleado con éxito en distintos estudios anteriores.

Al analizar las 27 observaciones de Osborn y Fuenmayor del año 1967 (figura 2) comprobamos que la estrella se comportó casi como V11: estos observadores registraron la caída de brillo hacia un mínimo, una recuperación de magnitud que la llevó hasta un máximo de menor brillo, una caída de intensidad que pareció conducirla a un mínimo de brillo muy débil y finalmente capturaron la rama ascendente, camino de un máximo de mayor intensidad no registrado. El período obtenido por estos investigadores (utilizando 55 mediciones de los años 1967, 1968 y 1969 aquí no representadas) fue igual a 39.14 días: cuando nosotros representamos estas 27 mediciones con este período (figura 3) comprobamos que la curva de luz obtenida es bastante buena y consistente, excepto un único punto situado cerca de la fase 0.997 que es incongruente con los demás; a nuestro juicio no es un error de medición sino que demuestra la no regularidad de V17 de ciclo en ciclo (algo parecido al comportamiento de V11 ya estudiado en un artículo anterior).

La figura 4 presenta las observaciones realizadas durante el año 2001 por dos equipos distintos: la curva superior (fotometría diferencial) corresponde a Kopacki y colaboradores, la inferior a

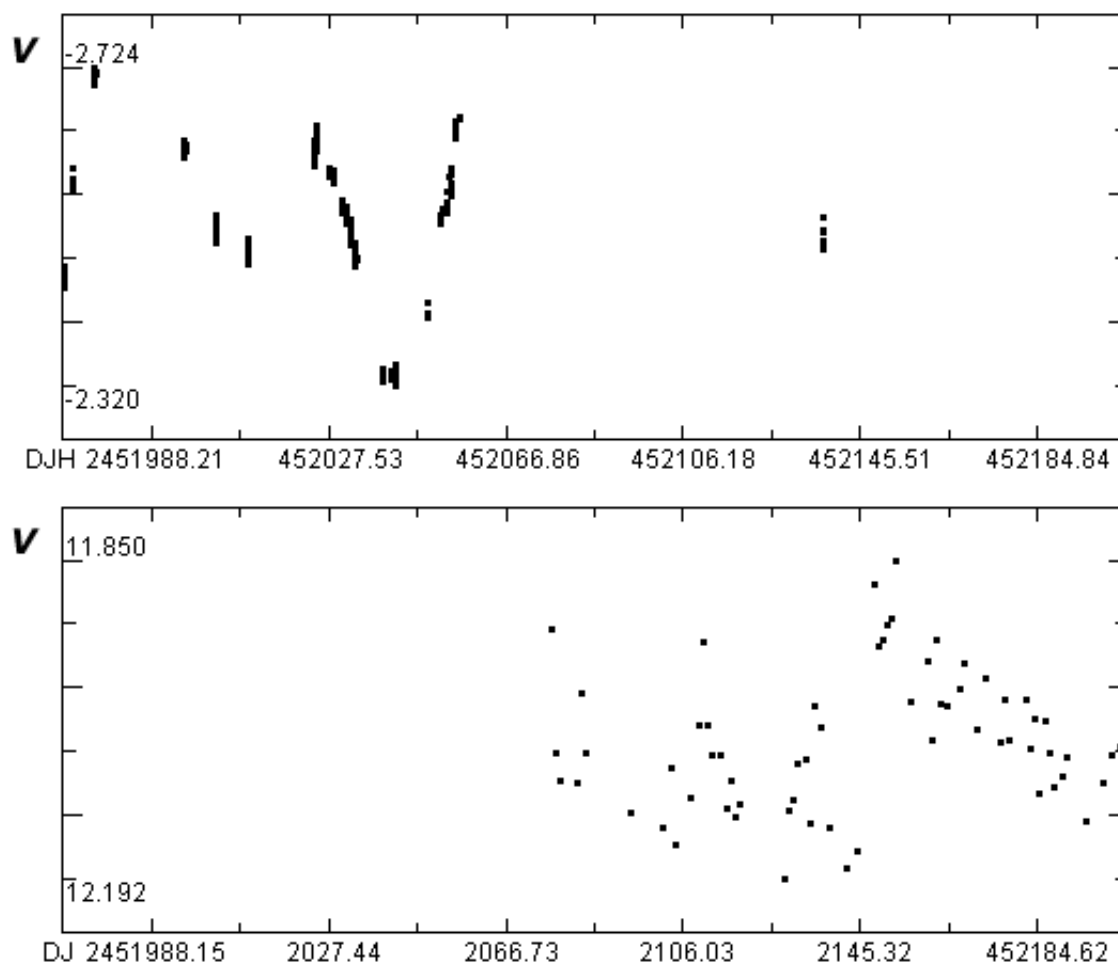


Figura 4. Curvas de luz obtenidas por Kopacki et al. (arriba) y Violat (abajo) en 2001: para poder compararlas han sido representadas en el mismo intervalo temporal (DJH 51968-52204); podemos comprobar que nuestras mediciones se iniciaron al final de la campaña de los observadores polacos. Aunque nuestras magnitudes son instrumentales y las suyas magnitudes diferenciales (ambas en banda V), notamos que las observaciones de su última noche coinciden con las nuestras: ambas muestran el ascenso de brillo rumbo a un nuevo máximo de gran intensidad registrado por nosotros.

Violat. Para que ambas fuesen comparables se han representado entre el DJH 51968 —inicio de la campaña de los astrónomos polacos— y el DJH 52204, que corresponde a la última noche observada por Violat; sólo hay una jornada en común (DJH 52137) por lo que no podemos verificar del todo la exactitud de nuestras observaciones, aunque las mediciones de esa noche apuntan a un incremento en su brillo rumbo a un máximo de gran intensidad registrado por nosotros.

Las mediciones de los astrónomos polacos muestran que durante sus máximos V17 no alcanza el mismo brillo, lo mismo que ocurre durante sus mínimos: si en su primer máximo el brillo fue intenso durante el segundo no alcanzó la misma magnitud pero durante el siguiente (del que vemos buena parte de la rama ascendente) ésta debió de ser nuevamente elevada.

Nuestras primeras observaciones se iniciaron el DJ 2.452.076 (figura 4, abajo) y muestran parte de la rama descendente: aunque no observamos el máximo estas mediciones comienzan apenas unos días después de las observaciones de los polacos, en la que se ve la rama ascendente de un tercer

máximo. La falta de datos impide hablar con seguridad pero creemos que este máximo fue de gran intensidad, ya que nuestras observaciones muestran una caída de brillo seguida de un máximo de menor intensidad el cual es seguido, poco después, por otro máximo de gran brillo y una caída posterior no demasiado profunda: las últimas mediciones apuntan a una recuperación de brillo rumbo a un nuevo máximo no observado.

Las observaciones de Osborn y Fuenmayor, Kopacki y las de Violat son coincidentes: todas ellas muestran que los máximos de mayor brillo siempre están seguidos de máximos de menor brillo y que existen mínimos de diferente profundidad que se van alternando con el tiempo.

Del análisis de las mediciones de Osborn y Fuenmayor obtenemos un período de pulsación igual a 39 días que produce una buena curva de luz; analizadas las 335 mediciones del equipo polaco obtenemos un único período igual a 41.32 días que es apenas 2 días más largo que el anterior: cuando las representamos con el programa A.V.E. obtenemos una curva de luz bastante coherente en la que, como anteriormente, aparecen

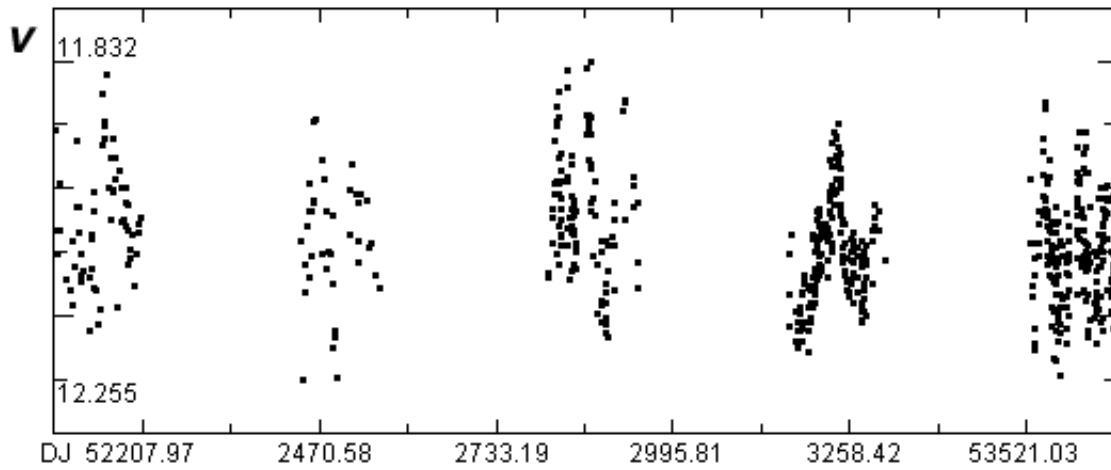


Figura 5. Curva de luz de V17 obtenida de las 629 mediciones de Violat entre los años 2001 (izquierda) y 2005 (derecha): se aprecia claramente que en sus máximos no alcanza el mismo brillo y que la forma va cambiando de año en año. La amplitud instrumental máxima medida ha sido igual a 0.42 magnitudes.

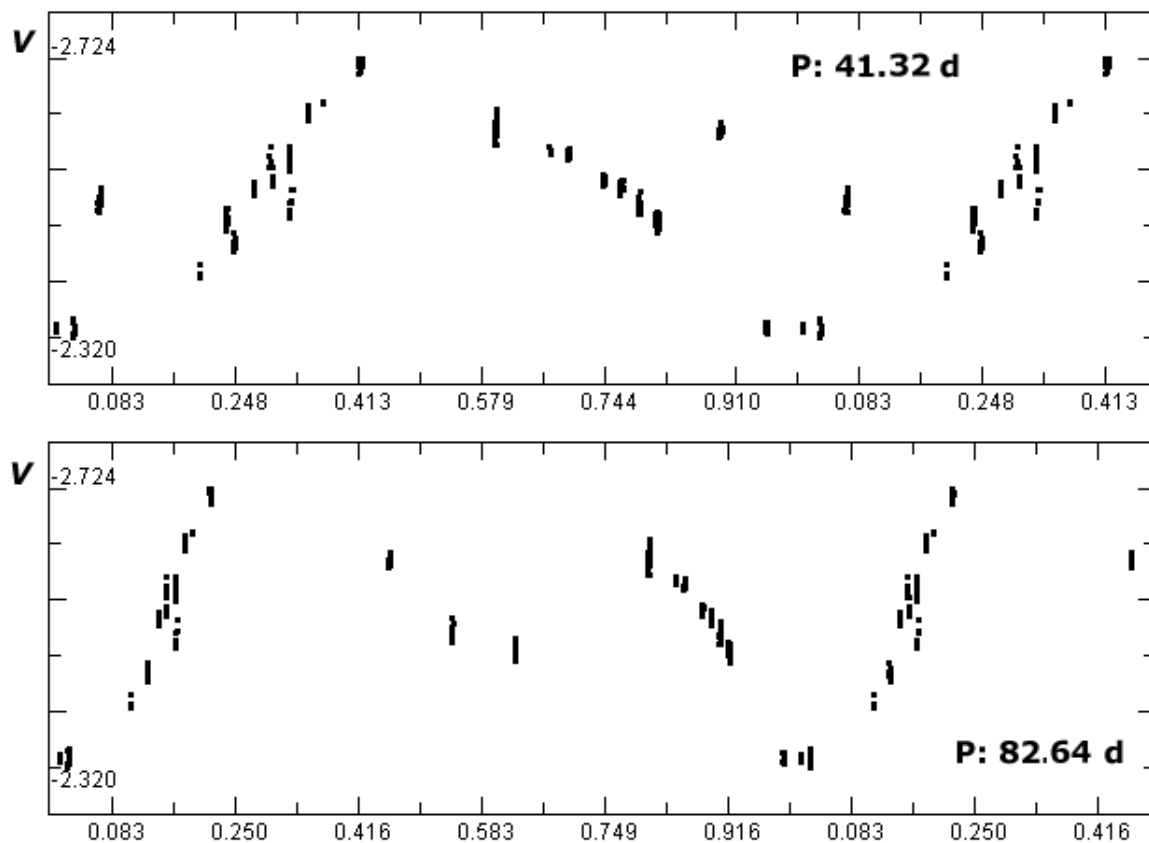


Figura 6. Curva de luz de V17 obtenida empleando las mediciones de Kopacki et al. de 2001 con un período igual a 41.32 días (arriba) y el doble, 82.64 días, abajo. Utilizando el período más corto comprobamos que la curva obtenida es totalmente consistente con el período, aunque un pequeño número de mediciones (correspondientes a dos noches) destacan de las demás como si correspondiesen a un ciclo distinto; empleando el período mayor comprobamos que esto es cierto ya que se distingue la rama descendente de un máximo de menor brillo y corta duración. Tal como sospechábamos V17 presenta un comportamiento muy similar al de V11 en cuanto a su doble ciclo de pulsación.

algunos puntos fuera del lugar esperado que confirman nuestras sospechas: los máximos y mínimos son de desigual profundidad y altura. Sin embargo pensamos que realmente el período de V17 no es tan corto: las mediciones de Osborn parecen mostrar, tímidamente, que el período real es doble del oficial; si esto fuese así las curvas de luz se ajustaría mejor y presentarían una dispersión menor utilizando períodos entre los 76 y 86 días.

En la figura 4, parte inferior, se representa la curva de luz obtenida en nuestra primera campaña fotométrica (2001) mientras que en la figura 5 podemos apreciar la forma de la misma a lo largo de los años 2001, 2002, 2003, 2004 y 2005, tal como ha sido obtenida por Violat con 629 mediciones: podemos ver la cambiante forma de su curva de luz, la alternancia de sus máximos brillantes y menos brillantes (pese al período no observado por su proximidad al Sol o a la meteorología local) así como la diferente longitud de sus pulsaciones. Al no disponer de otro conjunto de datos similar (ningún otro observador ha trabajado durante tanto tiempo: Bennasar obtuvo mediciones en el período 2001-2002, Arranz en 2004-2005 y Díez sólo en 2005) no es posible comparar las curvas de luz obtenidas por más observadores.

La amplitud en banda V que se extrae de estas mediciones (en el período 2001-2005) es igual a 0.423 magnitudes siendo su magnitud media igual a la 12.043; la diferencia con el valor obtenido por el grupo polaco es mínima: apenas 0.076 magnitudes. Sin embargo al analizar los datos de la campaña de 2001, período en el que trabajaron también Kopacki y colaboradores, la magnitud instrumental media es ahora igual a la 12.021 (rango: 11.850—12.192, amplitud: 0.342 magnitudes) y la diferencia igual a 0.045 magnitudes.

La figura 4 presenta las observaciones realizadas por ambos equipos: la curva superior (fotometría diferencial) corresponde a Kopacki y la inferior a Violat. Para que ambas fuesen comparables se han representado entre el DJH 51968 —inicio de la campaña de los astrónomos polacos— y el DJH 52204, que corresponde a la última noche observada por Violat; sólo hay una jornada en común (DJH 52137) por lo cual no podemos verificar del todo la exactitud de nuestras observaciones, aunque parece deducirse que las mediciones de esa noche apuntan a un incremento en su brillo: según nuestros datos la encontramos en un nuevo máximo once días más tarde.

El período obtenido de las mediciones del equipo polaco es igual a 41.32 días (figura 6), mientras que los determinados de las 64 mediciones de Violat son iguales a 47.02 y 70.04 días: representadas las curvas de luz con ambos valores comprobamos que sólo el primero es válido aunque el resultado obtenido no es de buena calidad; la curva obtenida con el período determinado de las mediciones polacas aparece más consistente aunque la dispersión es excesiva en ambos casos.

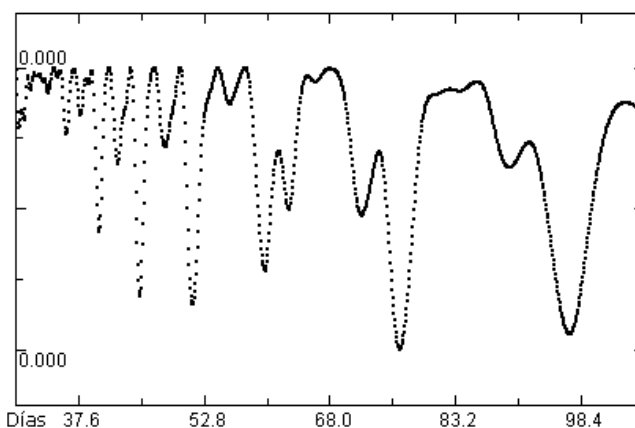


Figura 7. Periodograma de V17 obtenido utilizando las 629 mediciones de Violat trabajando en el intervalo 1-110 días: según el programa A.V.E. los dos períodos más probables son iguales a 76.5 y 97.07 días.

El reducido número de mediciones y la poca precisión de las mismas (debido a que era nuestro primer intento en el campo de la fotometría) nos impide refinar más los resultados con este material.

El análisis conjunto de las 629 mediciones de Violat en el período 2001-2005, cuyo periodograma vemos en la figura 7, ofreció varios posibles períodos siendo los dos más notorios iguales a 76.5 y 97.07 días; representadas las curvas de luz con ambos notamos que los dos producen resultados buenos aunque con algunos puntos dispersos a modo de *ruido*. Como el período oficial es bastante más corto e igual a 43.04 días (Russev y Russeva, 1979), investigamos también en el intervalo 30-60 días: encontramos dos períodos muy marcados iguales a 44.99 y 51.4 días; el primero de ellos era lo suficientemente próximo al oficial para darlo por bueno. Al representar las curvas de luz con ambos los resultados presentaban una dispersión excesiva, incluso mayor que con los otros dos períodos (figura 8): a nuestro juicio, y sin haber analizado más mediciones modernas, el período real parecía ser el doble del oficial; el examen visual de las cuatro curvas de luz obtenidas con los distintos períodos proporcionados por A.V.E. pone de manifiesto que los resultados más coherentes, en los cuales la dispersión de las mediciones es menor, se producen con los dos períodos más largos y más concretamente cuando el valor para $P = 76.5$ días.

La alternancia de máximo brillantes y menos brillantes, así como los mínimos profundos y menos profundos, podría explicarse por la superposición de dos períodos de pulsación distintos debidos a algún fenómeno físico interno, tal como expusimos en el caso de la variable V11.

A inicios del año 2004 se nos unió al estudio del cúmulo Teófilo Arranz Heras, observador que trabajó desde Navas de Oro (Segovia) con un equipo similar al de Cáceres: un catadióptrico de

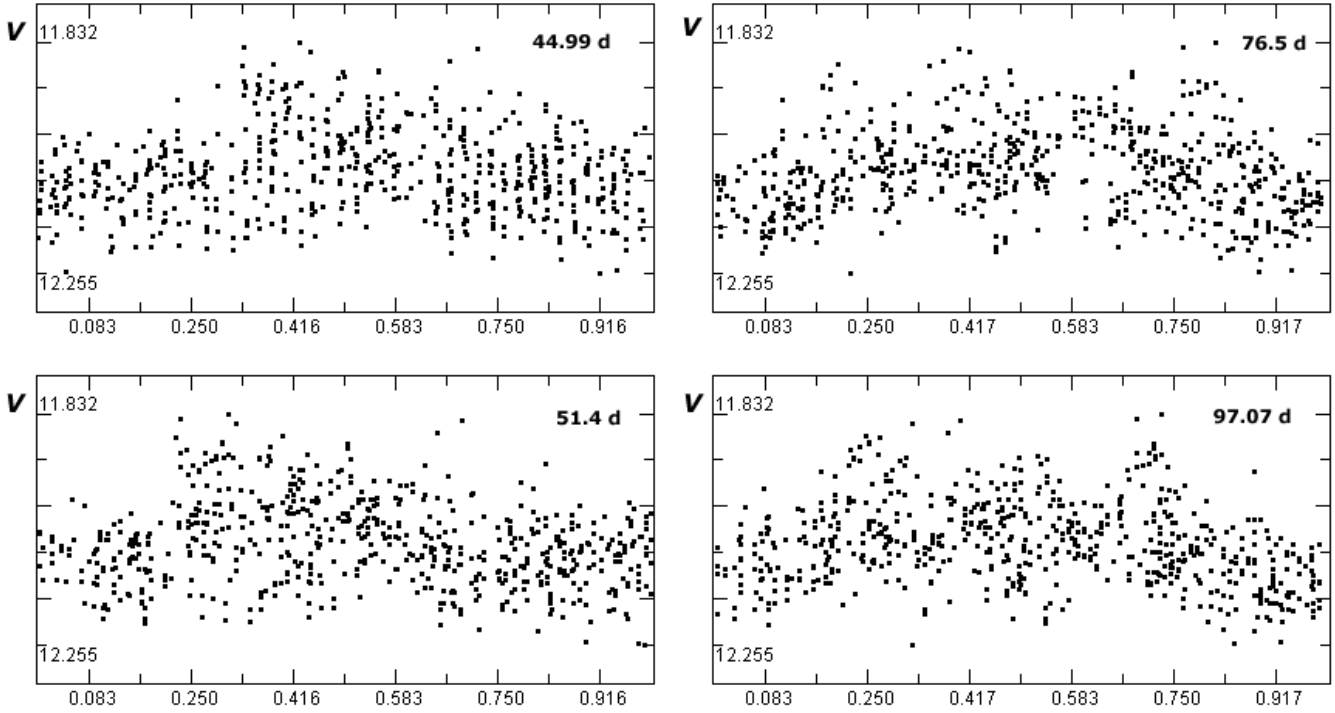


Figura 8. Curvas de luz de V17 obtenidas utilizando las mediciones de Violat entre los años 2001 y 2005 con períodos iguales a 44.99, 51.4, 76.5 y 97.07 días: los resultados son bastante consistentes sólo con los dos períodos más largos, no así con el más corto que es similar al oficial.

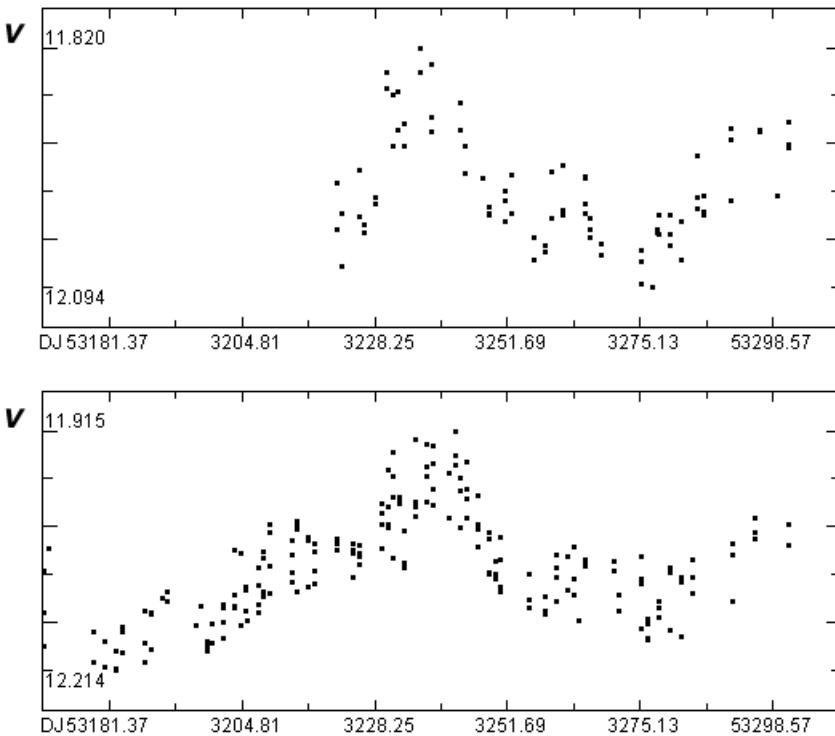


Figura 9. Curvas de luz de V17 obtenidas por Arranz (arriba) y Violat (abajo) durante la campaña fotométrica de 2004: para que sean comparables entre sí ambas comienzan el DJ 53169 y terminan el DJ 53310, inicio y final de la campaña fotométrica por parte de Violat. Su curva muestra el mínimo (magnitud 12.21) al inicio de la campaña, la subida hasta el máximo (magnitud 11.92) y una caída de brillo de menor profundidad (mag. 12.17) tras la cual se registró una recuperación rumbo a un nuevo máximo; en la de Arranz se aprecia parte de la rama ascendente, el máximo (magnitud 11.82) y una caída de brillo que la llevó hasta un mínimo menos profundo de magnitud 12.09, tras el cual registró parte de la rama ascendente en dirección a un nuevo máximo no observado.

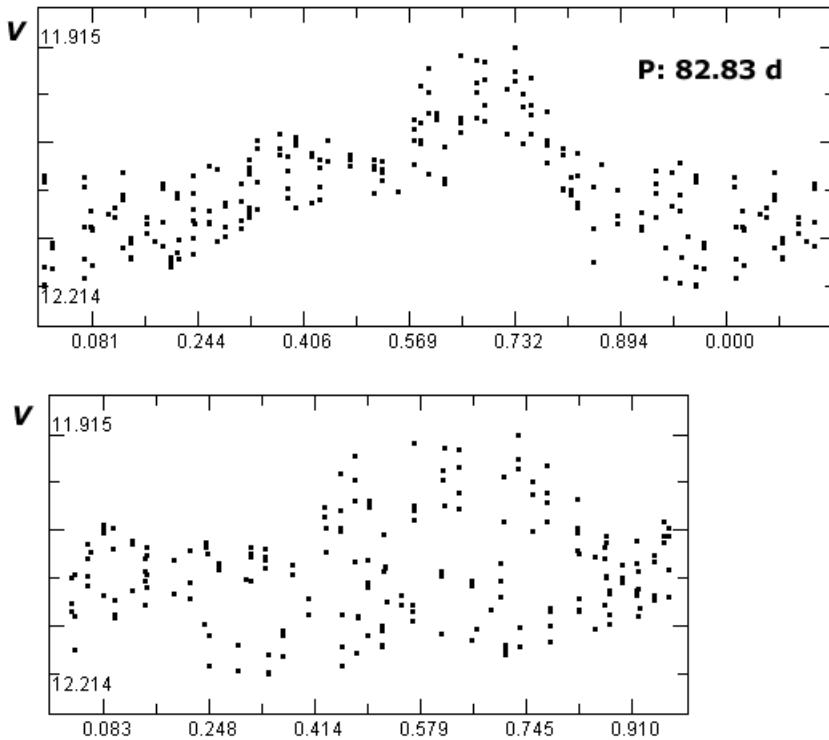


Figura 10. Curvas de luz obtenidas de las mediciones de Violat (año 2004) utilizando un período igual a 82.83 días (arriba) y 43.04 días (abajo). Mientras que la curva superior es perfectamente coherente en todo momento, pese a la dispersión de las mediciones en ciertos momentos (por ejemplo cerca del mínimo), la inferior no lo es: pese a haber sido representada con el período oficial sólo ofrece un conjunto de puntos dispersos que, analizados despacio, representan dos ciclos de pulsación distintos que se cruzan dos veces, instantes en los cuales las mediciones apenas si presentan dispersión.

355 mm, f/10, con una Starlight Xpress y filtro V Jonhson. Al estudiar dos grupos de datos independientes podemos comparar mejor la forma de las curvas de luz, la fecha de los máximos y mínimos registrados así como las amplitudes y períodos determinados de ellas.

En la figura 9 mostramos las curvas obtenidas en 2004 por Arranz con 88 mediciones (arriba) y Violat con 195 medidas (abajo); como en casos anteriores ambas se han representado en el mismo período temporal para que el lector pueda compararlas: las dos comienzan el DJ 53169 y terminan el DJ 53310, inicio y final de la campaña fotométrica por parte de Violat.

Al hacerlo así podemos comprobar que ambos observadores han registrado un único máximo (en torno al DJ 53238) de diferente intensidad (11.82 Arranz y 11.91 Violat), tras el cual se ha producido una caída de brillo no muy profunda en torno al DJ 53275 (magnitudes 12.09 y 12.17 respectivamente) y una posterior recuperación de brillo que la llevaría a un nuevo máximo no registrado. La curva de Violat muestra un mínimo profundo (magnitud 12.21) hacia el DJ 53182: según sus mediciones la amplitud máxima fue igual a 0.30 magnitudes; de los datos de Arranz se puede extraer una amplitud igual a 0.27 mediciones que corresponde al mínimo de menor profundidad: si determinamos la amplitud para este mínimo secundario con los datos de Violat obtenemos un valor que es igual a 0.25 magnitudes y resulta, por tanto, muy similar al de Arranz.

Del mínimo primario (DJ 53182) al máximo (DJ 53238) transcurrieron 56 días; del máximo al mínimo secundario (DJ 53275) otros 37: dichos valores son bastante dispares y explican la asimetría que apreciamos en la curva de luz.

El análisis de las mediciones nos permitió obtener el (o los) períodos de oscilación: en el caso de Violat se obtuvo un valor muy marcado igual a 82.83 días: la curva de brillo obtenida (figura 10, arriba) era asimétrica pero coherente y con una dispersión reducida en todo momento; este período es casi el doble del oficial (43.04 días): al dibujar la curva de luz con dicho período (figura 10, abajo) lo único que se obtiene es una nube de puntos dispersos que, examinada con cuidado, en realidad representa dos ciclos de pulsación distintos que se cruzan, dos veces, en lugares en los que la dispersión de los datos es reducida.

De las mediciones de Arranz se obtuvo un único *período largo* igual a 62.38 días que, como en el caso anterior, dibujaba una buena curva de luz (figura 11, arriba) pero resultaba ser muy distinto del oficial; al dibujar la curva de luz con el mismo (figura 11, abajo) obtuvimos igual resultado: dos curvas distintas que se cruzan en dos lugares con una dispersión reducida.

Es evidente que dos conjuntos de datos distintos no pueden mostrar el mismo resultado salvo que éste haya sido el verdadero comportamiento de la variable: por una parte la distinta profundidad de sus mínimos (sólo registrados bien por Violat, no así por Arranz por falta de mediciones de esa época) y por otra la longitud de sus pulsaciones, han originado un único período que resulta ser casi el doble del oficial.

En la campaña de 2005 fueron tres los telescopios catadióptricos utilizados: el de 355 mm de Navas de Oro (Segovia), el de 203 mm instalado en Cáceres y el de 203 mm perteneciente a Alberto Díez Gago instalado en San Fernando (Cádiz): el equipamiento de los dos primeros fue similar al haber usado cámaras Starlight Xpress, una SBIG

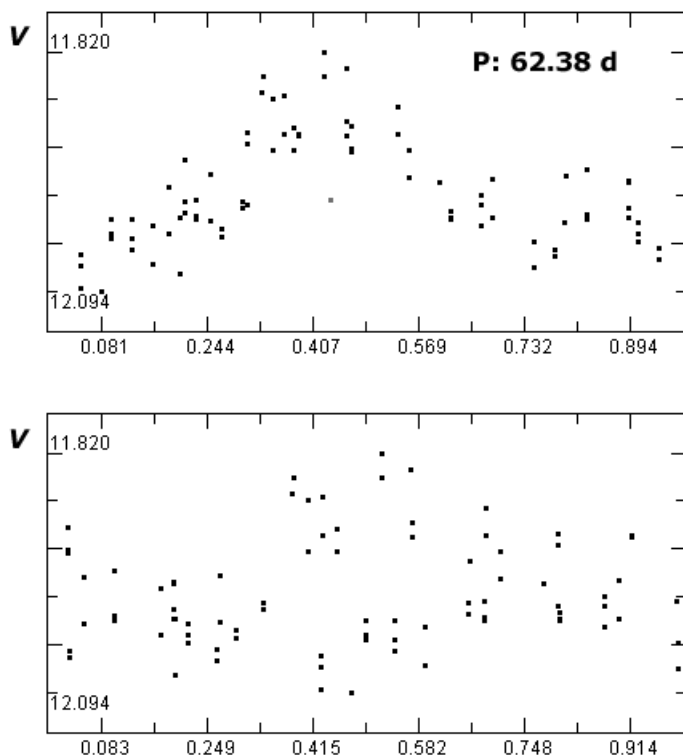


Figura 11. Curvas de luz obtenidas de las mediciones de Arranz (año 2004) utilizando un período igual a 62.38 días (arriba) y el oficial (abajo): mientras que la primera curva es coherente y de baja dispersión la segunda muestra dos curvas (dos ciclos distintos) que se cruzan y se separan, fenómeno ya observado en las mediciones de Violat de la misma campaña (figura 10).

ST-7 en el caso de Díez, siendo los filtros (V Johnson) y el programa de análisis de imagen (*AstroArt*) el mismo; todo esto ha permitido obtener resultados comparables muy similares.

En total se han computado 568 mediciones de brillo desglosadas así: 283 desde Segovia, 218 desde Cáceres y 67 desde Cádiz; en el primer caso se tomaron imágenes entre los Días Julianos 53534 y 53647 (114 noches), en el segundo entre el 53526 y 53652 (127 noches) y en el tercero entre el 533546 y el 53611 (66 noches).

La figura 12 muestra y compara entre sí las tres curvas de luz obtenidas en esa campaña: en esta ocasión hemos asistido a dos máximos registrados perfectamente, uno al inicio y otro hacia la mitad de la campaña, seguido de un ascenso de brillo que indicaba un nuevo máximo fuera ya del período estudiado por nosotros. La mayor dispersión en las mediciones de Violat a partir del segundo mínimo se debió al mal funcionamiento de la montura, en el caso de Díez este fenómeno se originó por la luz parásita reflejada en un muro próximo al telescopio.

La amplitud instrumental (suma de la amplitud real más el error aleatorio) medida por Arranz es igual a 0.28 magnitudes en el rango 11.808—12.089, la medida por Violat es igual a 0.33 magnitudes en el rango 11.886—12.216 y 0.25 magnitudes, en el rango 11.900—12.147, según Díez: en todos los casos la amplitud medida ha sido inferior a las 0.38 magnitudes obtenida por Kopacki y colaboradores en 2001. Pese a que el brillo en su máximo se registró casi con igual intensidad (magnitudes 11.81, 11.89 y 11.90 según el observador) en su mínimo se ha registrado con brillos muy distintos: magnitudes 12.09, 12.22 y 12.15

respectivamente; la magnitud media ha sido igual a 11.95, 12.05 y 12.02 según Arranz, Violat y Díez en este orden.

Una simple inspección visual muestra que durante dicha campaña su comportamiento fue completamente distinto al de la anterior: en vez de registrar un único ciclo de gran duración (casi el doble de largo) se registraron dos —casi tres— de longitud mucho menor que parecen completamente independientes entre sí.

El análisis de los distintos conjuntos de mediciones buscando su período en el intervalo 1-200 días proporcionó los siguientes valores: 50.08 días (Arranz), 45.43 (Violat) y 52.28 días (Díez); sólo el de Violat es bastante similar al oficial aunque los otros dos son no son muy distintos. ¿Es válido este período tan corto?: la respuesta es sí; al representar las curvas de luz con ellos (figura 13) se obtienen dos curvas muy buenas: la superior con los datos de Arranz (usando un período de 50.08 días) y la inferior con los de Violat (con un período igual a 45.43 días); en el caso de Violat la gran dispersión en la rama descendente es debida al fallo de la montura.

Nótese que el período obtenido con las mediciones de Violat (45.43 días) es muy similar al determinando anteriormente utilizando las observaciones conjuntas del período 2001-2005, el cual era igual a 44.99 días y mostramos en la figura 8: la diferencia es igual a 0.44 días. ¿Cómo podemos explicar la diferencia entre los resultados obtenidos con las mediciones del año 2004 y 2005?, ¿es posible que dos conjuntos de datos distintos (Arranz y Violat) estén mal?

El análisis de las mediciones conjuntas de Arranz de los años 2004 y 2005 (369 puntos) pro-

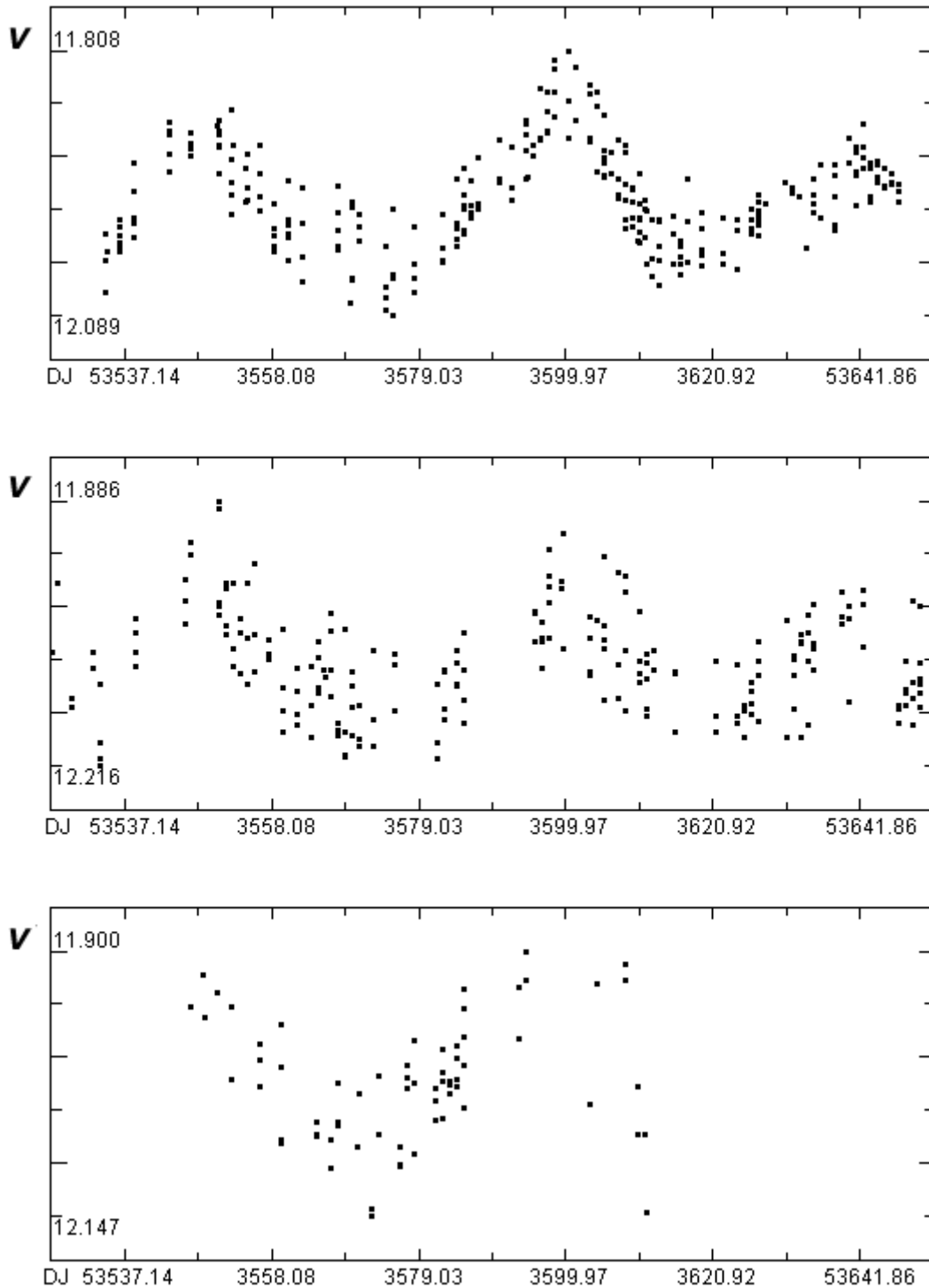


Figura 12. Curvas de luz obtenidas por Arranz (arriba), Violat (centro) y Díez (abajo) en la campaña fotométrica del año 2005: al igual que las anteriores las tres han sido representadas en el mismo intervalo temporal (DJ 53526 al 53652) para poder ser comparadas adecuadamente. La dispersión visible en la parte final de la curva de Violat se debió al mal funcionamiento (y posterior fallo) de la montura, mientras que en el caso de Díez estuvo originada por la presencia de un muro cercano que contaminó las imágenes con su luz dispersa: en los tres casos el mínimo profundo es coincidente.

duce tres períodos: el primero de ellos poco notorio igual a 44.31 días (similar al oficial), el segundo muy marcado igual a 50.91 días y el tercero menos notorio igual a 59.30 días. Además aparecen dos períodos ya menos marcados: el primero igual a 40.34 días y el segundo igual a 71.2 días que no es muy distinto del obtenido por Violat (figura 8). Representadas las curvas de luz con los cinco sólo tres de ellos (los tres primeros, figura 14) producen buenos resultados, siendo los dos

últimos de mucha menor calidad: curiosamente la curva de menor dispersión es aquella cuyo período es igual a 50.91 días, valor que resulta ser bastante mayor que el oficial; recordemos que con sus mediciones del año 2004 se obtenía un período de pulsación de 62.38 días.

Estos resultados tan distintos los unos de los otros (recordemos los valores obtenidos de las mediciones de Osborn o de Kopacki) demuestran

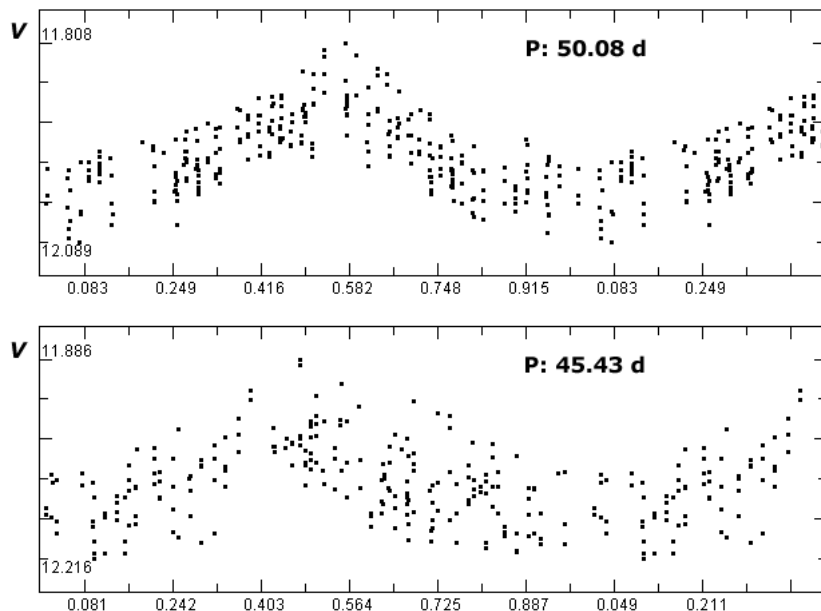


Figura 13. Curvas de luz obtenidas utilizando las mediciones de Arranz (arriba) y Violat (abajo) del año 2005 con un período igual a 50.08 y 45.43 días respectivamente: ambas presentan una dispersión reducida. (La mayor dispersión de las mediciones de Violat en la rama descendente fue ocasionada por el fallo de la montura al final de la campaña.)

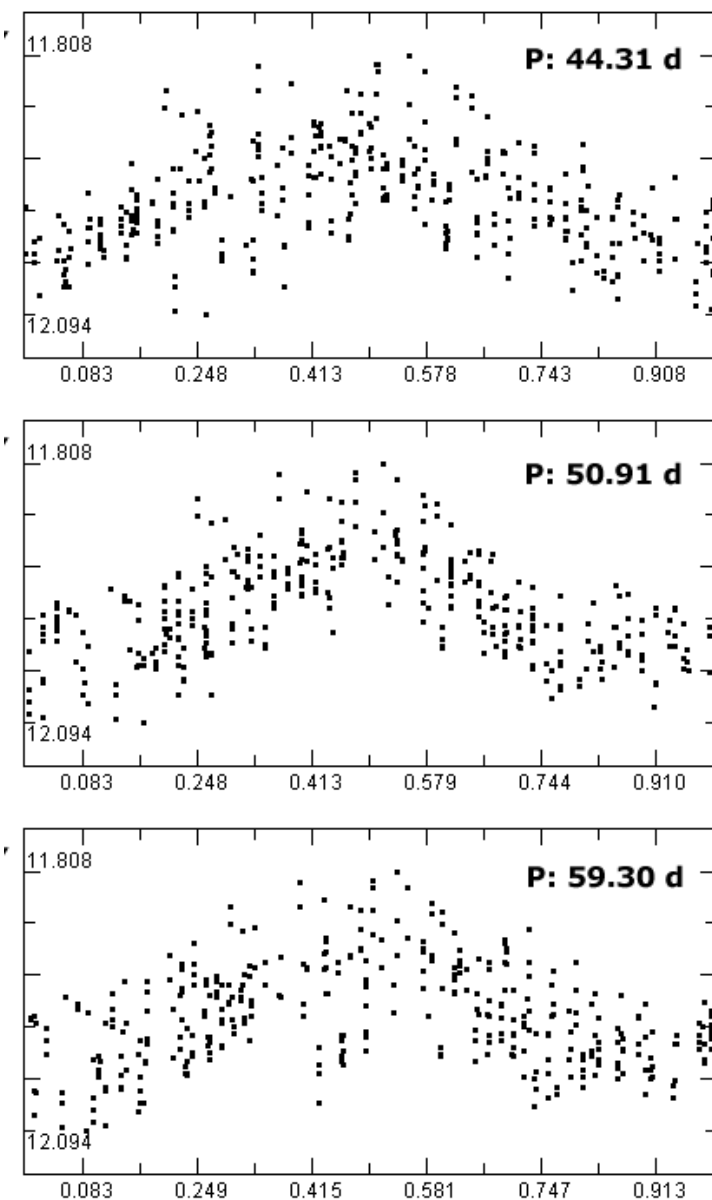


Figura 14. Curvas de luz obtenidas utilizando las mediciones de Arranz de los años 2004 y 2005 representadas con un período igual a 44.31 días (arriba), 50.91 días (centro) y 59.30 días (abajo). Pese a que el primer período no es muy distinto del oficial la curva obtenida con él no parece ser demasiado buena: sólo al emplear un período algo mayor (casi 51 días, centro) su dispersión parece ser algo menor.

que V17 pulsa con períodos distintos en ciclos diferentes y presenta máximos y mínimos de diferente intensidad; en ocasiones las mediciones fotométricas no pueden superponerse cómodamente al utilizar un único período: al hacerlo así la dispersión es grande e incluso aparecen "curvas paralelas" que se cruzan. En otras ocasiones los ciclos de pulsación son tan próximos que se solapan, produciendo una oscilación de brillo con una duración que puede llegar a ser casi doble que su período fundamental.

Para analizar sus velocidades radiales y obtener una curva de velocidades logramos reunir un total de diecinueve mediciones de las cuales una, la única incluida en el trabajo de Webbink (Webbink, 1981), no era válida por discrepar de las demás en casi 30 km s⁻¹ y carecer de fecha y otra, -238 km s⁻¹ (Lyons et al., 1996), era demasiado baja y carecía de fecha fiable al haber sido tomada entre el 7 y el 12 de febrero de 1993; la Tabla I refleja dieciocho mediciones: la de Lyons et al. aparece tabulada pero no ha sido utilizada.

La información contenida es la siguiente: Día Juliano Heliocéntrico de la observación (con fracción de día si está bien determinada en la bibliografía), velocidad radial con el error en la determinación de dicha velocidad y referencia de la que ha sido tomada (a: Lupton et al., 1987; b: Shetrone, 1994; c: Lyons et al., 1996, d: Soderberg et al., 1999 y e: Yon et al., 2006). La última medición, publicada en un artículo de enero de 2006, nos fue facilitada por el propio Yon en correo electrónico de fecha 3 de marzo de 2006.

Mecanizadas y analizadas con el programa A.V.E. al buscar en el intervalo 1-200 días encontramos un período muy marcado igual a 85.84 días que resulta ser casi doble del período oficial ($P/2 = 42.92$ días); dibujada la curva de velocidades radiales con este valor no se obtuvo ningún resultado válido. Al centrar la búsqueda en el intervalo 30-60 días, zona en la que esperábamos obtener éxito, apareció un período muy marcado igual a 33.27 días y otro menos marcado igual a 43.098 días muy similar al período oficial: al representar las curvas de velocidades con ambos períodos (figura 15) comprobamos con sorpresa que la obtenida con el período más corto parecía ser de mayor calidad que con el largo, pese a que éste último era muy próximo al oficial (43.04 días) y debía darse por válido.

En ambas curvas aparecía un único punto (que hemos marcado con un tamaño menor) que discrepaba del resto y que, aunque su precisión era de ± 0.58 km s⁻¹ según los autores, hemos de suponer que es erróneo en algún sentido: salvo este punto anómalo el resto dibujan una buena curva de velocidades radiales.

TABLA I
VELOCIDADES RADIALES DE V17

DJH	VR (km s ⁻¹)	Referencia
2,441,072.	-246.01 \pm 0.80	a
2,441,073.	-245.60 \pm 1.00	a
2,441,103.	-245.80 \pm 0.60	a
2,441,461.	-244.71 \pm 0.68	a
2,442,196.	-240.88 \pm 0.58	a
2,442,968.	-246.35 \pm 0.62	a
2,444,030.	-244.76 \pm 0.49	a
2,444,032.	-245.16 \pm 0.58	a
2,444,416.	-246.42 \pm 0.51	a
2,444,418.	-245.51 \pm 0.50	a
2,448,793.906	-247.3 \pm 0.3	b
2,449,028.	-238.4 \pm 0.9	c
2,449,137.7813	-249.13 \pm 0.34	d
2,449,137.8327	-249.10 \pm 0.34	d
2,449,137.8774	-248.43 \pm 0.34	d
2,449,137.6848	-249.52 \pm 0.34	d
2,449,137.7363	-249.06 \pm 0.34	d
2,453,157.	-251.16 \pm 0.75	e

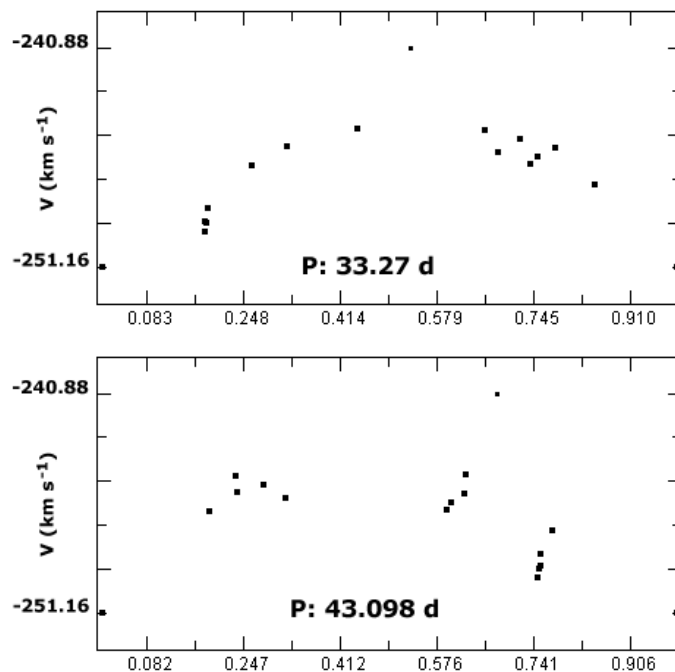


Figura 15. Curvas de velocidades radiales obtenidas utilizando las mediciones tomadas de la Tabla I; tal como podemos ver sólo la superior, obtenida con un período más corto que el oficial, es de buena calidad mientras que la inferior no aparece tan buena. Un único punto, dibujado con un tamaño menor, discrepa en los dos casos.

CONCLUSIONES

Hemos realizado mediciones fotométricas de la variable V17 en el período 2001-2005: uno de los telescopios empleado (Violat, 203 mm de abertura en Cáceres) ha obtenido datos en las cinco campañas de observación; los restantes instrumentos utilizados (Bennasar, 305 mm en Mallorca; Arranz, 355 mm en Segovia y Díez, 203 mm en Cádiz) han obtenido datos durante como máximo dos campañas (2001 y 2002 Bennasar, 2004 y 2005 Arranz) por lo que sólo podemos analizar de modo homogéneo un grupo de mediciones.

El análisis visual de las cinco curvas de luz obtenidas por este observador (2001-2005) pone de manifiesto que sus máximos son de diferente brillo y los mínimos son de dispar profundidad: su forma cambia de aspecto de ciclo en ciclo y la longitud de los mismos es de desigual duración. Este mismo fenómeno se aprecia con mayor claridad y definición en las curvas de Arranz de 2004 (figura 9, arriba) y 2005 (figura 12, arriba), cuya menor dispersión permite observar pequeñas alteraciones y cambios en el seno de las mismas. Es evidente que estamos ante una estrella semirregular afectada por alteraciones en su período de pulsación, tal como le ocurría a V11.

De nuestras mediciones obtenemos un *período largo* entre 62 y 83 días según los datos que se utilicen: este valor no es real y se debe a la suma de dos ciclos de duración menor. El *período corto* (o período fundamental) tiene una duración que está entre los 41 y 45 días, según el observador y la campaña, aunque nuestros mejores valores se aproximan a los 44 días y coinciden, por tanto, con el período oficial.

Al obtener curvas de luz con datos de varias campañas distintas (p. ej. de 2001 a 2005) se obtiene un resultado no muy coherente debido a que los ciclos de pulsación son distintos, no se superponen del todo y originan una gran dispersión.

La amplitud instrumental máxima medida por nosotros en banda V es igual a 0.28 magnitudes (Arranz), 0.25 magnitudes (Díez) y 0.33 magnitudes (Violat), todas ellas en la campaña de 2005; la amplitud real es levemente superior: en torno a 0.38 magnitudes según Kopacki et al.

Al analizar los datos fotométricos de Osborn y Fuenmayor y Kopacki et al. obtenidos en dos épocas muy separadas en el tiempo (1967-1969 y 2001 respectivamente) y con filtros distintos (B y V Johnson respectivamente) se pueden extraer las mismas conclusiones: la estrella presenta máximos de brillo intensos y menos intensos alternos, con ciclos cortos (de 39.1 a 41.32 días) y ciclos largos (~83 días, Kopacki) que interfieren entre sí modulando y modificando la curva de luz.

La magnitud media y amplitud obtenida con mediciones de una única campaña, o con escasos datos mal muestreados, son diferentes según se

capturen máximos brillantes o menos brillantes.

Por otro lado al analizar 19 velocidades radiales obtenemos dos períodos de pulsación distintos iguales a 33.27 y 43.098 días respectivamente; aunque el primero es casi 10 días más corto que el período oficial la curva de velocidades obtenida parece de mejor calidad que la resultante de utilizar el segundo, valor que es casi idéntico al período oficial. El escaso número de mediciones disponibles impide afirmar que esto sea así realmente.

Observatorio Astronómico de Cáceres. Cáceres (España), 24 de abril de 2006.

REFERENCIAS

- Armosky, B. J., Sneden, C., Langer, G. E., Kraft, R. P., 1994, AJ, 108, 1364
- Cudworth, K. M., Monet, D. G., 1979, AJ, 84, 774
- David, B., Jaureguiberry, A., Rondi, S., 2004: <http://www.astrosurf.com/rondi/racalenillor2/hr/hr.htm>
- Fuenmayor, F., Osborn, W., 1974, IBVS 952
- Kadla, Z. I., 1966, Izv. Glav. Astron. Obs., 181, 93
- Kopacki, G., Kolaczowski, Z., Pigulski, A., 2003, A&A 398, 541
- Ludendorff, H., 1905, Public. Astron. Observ. Postdam, vol 15, No. 50
- Lupton, R. H., Gunn, J. E., Griffin, R. F., 1987, AJ, 93, 1114
- Lyons, M. A., Kemp, S. N., Bates, B., Shaw, C. R., 1996, MNRAS, 280, 835
- Osborn, W., Fuenmayor, F., 1977, AJ, 82, 395
- Osborn, W., 2000, AJ, 119, 2902
- Pilachowski, C. A., Sneden, C., Kraft, R. P., Langer, G. E., 1996, AJ, 112, 545
- Popper, D. M., 1974, ApJ, 105, 204
- Russev, R. M., 1973, Peremennye Zvezdy, 19, 181
- Russev, R. M., Russeva, T., 1979, IBVS 1534
- Shetrone, M. D., 1994, PASP, 106, 161
- Soderberg, A. M., Pilachowski, C. A., Barden, S. C., Willmarth, D., Sneden, C., 1999, PASP, 111, 1233
- Webbink, R. F., 1981, ApJS, 45, 259
- Welty, D. E., 1985, AJ, 90, 2555
- Yon, D., Aoki, W., Lambert, D. L., Paulson, D., 2006, ApJ, 639, 918
- Yon, D.: correo electrónico del 3 de marzo de 2006

EN INTERNET

Base de datos astronómicos SIMBAD:

<http://simbad.u-strasbg.fr/Simbad>

Búsqueda de bibliografía en NASA ADS:

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

Identificación de V17 en SIMBAD:

Cl* NGC 6205 SAW V17

Mediciones originales de Kopacki et al:

<http://cdsweb.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR?-source=J/A+A/398/541>