

## VARIABLES EN M13

### V24 (2001-2005)

Francisco A. Violat Bordonau  
Teófilo Arranz Heras  
Alberto Díez Gago

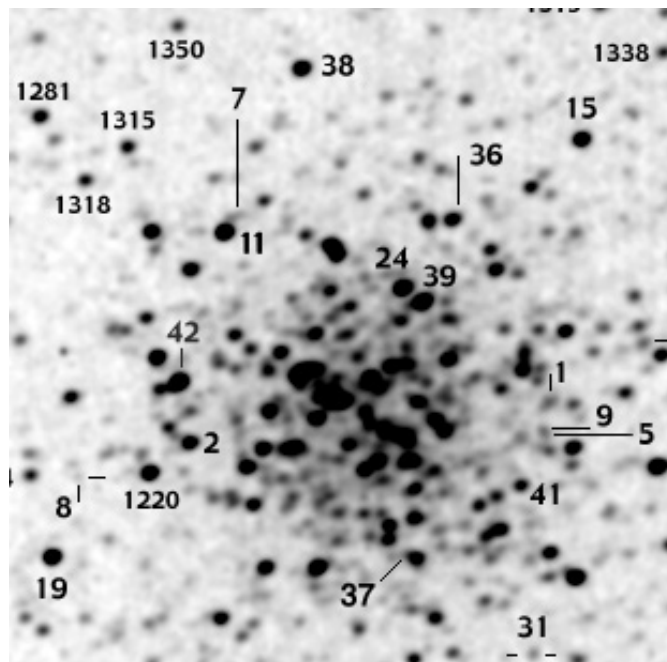
En este nuevo trabajo fotométrico presentamos curvas de luz y períodos de oscilación de la estrella V24 utilizando las mediciones fotométricas que hemos obtenido en el intervalo 2001-2005, las de Kopacki et al. (2001) y otros datos diversos recopilados de NASA ADS y SIMBAD. Encontramos que su amplitud 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. Del análisis de 22 velocidades radiales extraemos dos períodos de pulsación: uno corto (27.58 días) y otro largo (42.83 días) próximo al período fotométrico fundamental (45.34 días).

La estrella V24 ( $\alpha$ : 16h 41m 41.97s  $\delta$ : +36° 26' 51.8", 2000.0), también conocida como L598 (Ludendorff, 1905) y BARN 140 (Barnard, 1931), es un astro que pertenece al cúmulo M13 por su movimiento propio (Cudworth y Monet, 1979). Situado muy próxima a núcleo (figura 1), Popper (1947) no pudo determinar su tipo espectral aunque, fotográficamente, aparece como un brillante astro que por su luminosidad resulta ser una supergigante de menor brillo.

Algunos de sus parámetros físicos son: temperatura efectiva  $T_{\text{eff}} = 3900$  K (Armoski et al., 1994), su magnitud bolométrica  $M_{\text{bol}} = -3.49$  (Shetrone, 1994) con una magnitud absoluta  $M_0 = -2.31$  y magnitud  $V_0 = 11.95$  (Johnson et al., 2005). Visualmente podemos distinguirla en la zona central del cúmulo justo al SW de la variable V39, de la que dista una veintena de segundos de arco.

Medida con magnitud 12.04 en banda *V* e índice de color  $B-V = 1.61$  (Osborn, 2000) es también uno de los astros más brillantes del cúmulo, apareciendo en el diagrama color-magnitud en la cima de la Rama de las Gigantes Rojas. Estos mismos valores (magnitud 12.03 *V* e índice de color  $B-V = 1.61$ ) fueron medidos por Brown en un trabajo muy anterior (1955).

Aunque sus oscilaciones de brillo son medianamente amplias (en torno a 0.25 magnitudes en banda *V*), su proximidad al núcleo y a la brillante estrella L629 (ahora V39) impidió detectarla hasta que Kadla et al. (1976), en un estudio de la zona central de M13, observaron una diferencia entre la magnitud *V* medida por Kadla y Spanova (1972), que entonces encontraron igual a 12.09, y los valores determinados por ellos: magnitud *V* 11.85 e índice de color  $B-V = 1.51$ . La diferencia encontrada era igual a 0.24 magnitudes en banda *V*: sin



**Figura 1.** Imagen CCD de M13, en banda *V*, que muestra la situación de V24, muy próxima a la también variable V39 y ambas cercanas al núcleo del cúmulo.

duda alguna se trataba de una nueva variable.

Cudworth y Monet (1979) la encontraron perteneciente al cúmulo y midieron con magnitud 12.00 e índice  $B-V = 1.64$ ; al comparar este valor con el de Kadla aparece una discrepancia que asciende a 0.15 magnitudes en su brillo y 0.13 magnitudes en su índice de color, pruebas que corroboran de nuevo su carácter de astro variable (aunque con una reducida amplitud).

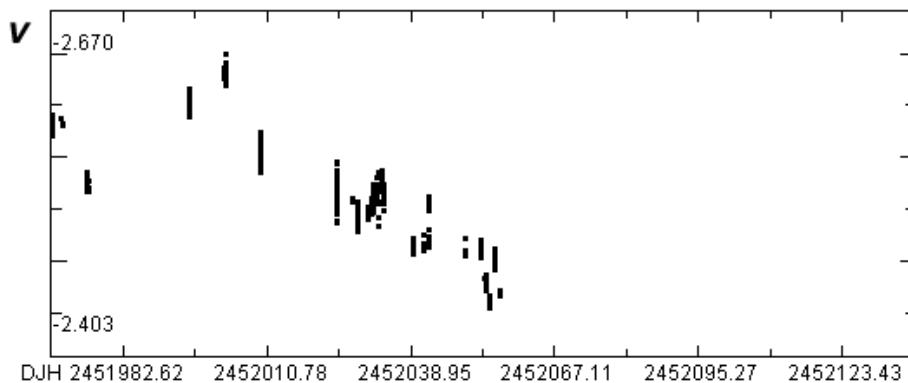
No se produjeron nuevas aportaciones ni avances significativos hasta que apareció el trabajo de Russeva et al. (1982), cuando confirmaron su variabilidad y midieron su período que encontraron igual a 45.34 días.

Welty (1985) midió 64 placas fotográficas del cúmulo pero no menciona esta estrella (no al menos en la edición en papel, la única a la que hemos tenido acceso).

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 12.04 *V* y 13.65 *B*, presentando un índice de color  $B-V = 1.61$  con  $\sigma_V = 0.04$  y  $\sigma_B = 0.08$ : de estas dispersiones cabía esperar que su amplitud en banda *V* fuese igual a 0.12 magnitudes y hasta 0.24 en banda *B*. Al final del trabajo comenta que ve su variabilidad como probable.

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 313 mediciones en banda *V*, en la cual registraron una caída de brillo de poca profundidad, el ascenso hasta un máximo de gran intensidad, la caída de brillo hasta un mínimo de gran profundidad y una única

**Figura 2.** Curva de luz de V24 obtenida por Kopacki et al. en 2001 con 313 mediciones en banda V: tras un mínimo de poca profundidad han capturado un máximo seguido de una caída de gran intensidad y bastante duración; las últimas observaciones la mostraron en otro mínimo.



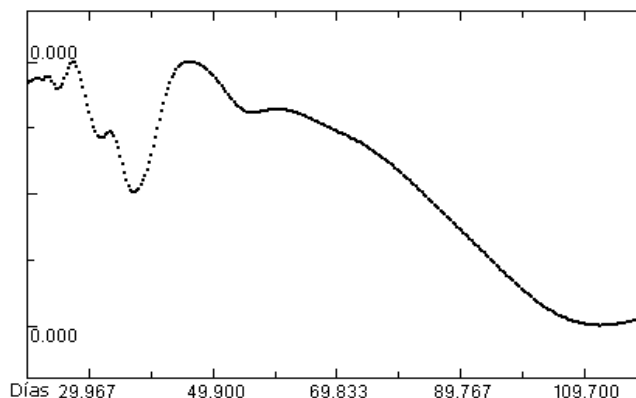
noche de observación que la mostró en lo que parecía ser un nuevo mínimo profundo. Según estos investigadores su magnitud  $V$  media fue igual a la 12.005 con una amplitud de 0.24 magnitudes (aunque de sus mediciones originales se deduce una amplitud igual a 0.267 magnitudes): osciló entre las magnitudes 11.885 y 12.125 (11.976  $\pm$  0.12).

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  $R$ : en dicho trabajo no aparece mencionada, quizá debido a la dificultad para medir su brillo dada su proximidad al núcleo y a V39.

La figura 2 presenta las observaciones realizadas durante el año 2001 por Kopacki y colaboradores en banda  $V$  (fotometría diferencial): podemos ver que registraron un mínimo de poca profundidad (DJH 51975) y un máximo (DJH 52002) seguido por una caída de brillo bastante lenta y continuada hasta la última noche de observación de esa primera serie de datos (DJH 52056); en total la caída duró 54 días. Mediciones de una última noche aislada (DJH 52137) la mostraron de nuevo en un mínimo de similar profundidad al primero.

Al estudiar estos datos se comprueba que del mínimo de poca profundidad al máximo transcurrieron apenas 27 días, mientras que el proceso de pérdida de brillo desde el máximo al mínimo necesitó exactamente el doble de tiempo, 54 días. Al no disponer de más mediciones continuadas no es posible saber cuál fue el comportamiento lumínico posterior: las últimas mediciones parecen mostrarla en un nuevo mínimo; si fuese así éste habría ocurrido en torno a 80 días más tarde que el primero. Un sencillo examen visual de estas mediciones parece indicar que estamos ante una variable de largo período, aunque la presencia de un mínimo de menor profundidad hace pensar en un astro con ciclos cortos de distinta amplitud que, como en V11 o V17, pueden irse solapando de tal manera que la curva de luz resultante quede modulada: el período determinado por Russeva y colaboradores sería, entonces, el fundamental.

Para determinar los posibles períodos y representar las curvas de luz hemos analizado todas las

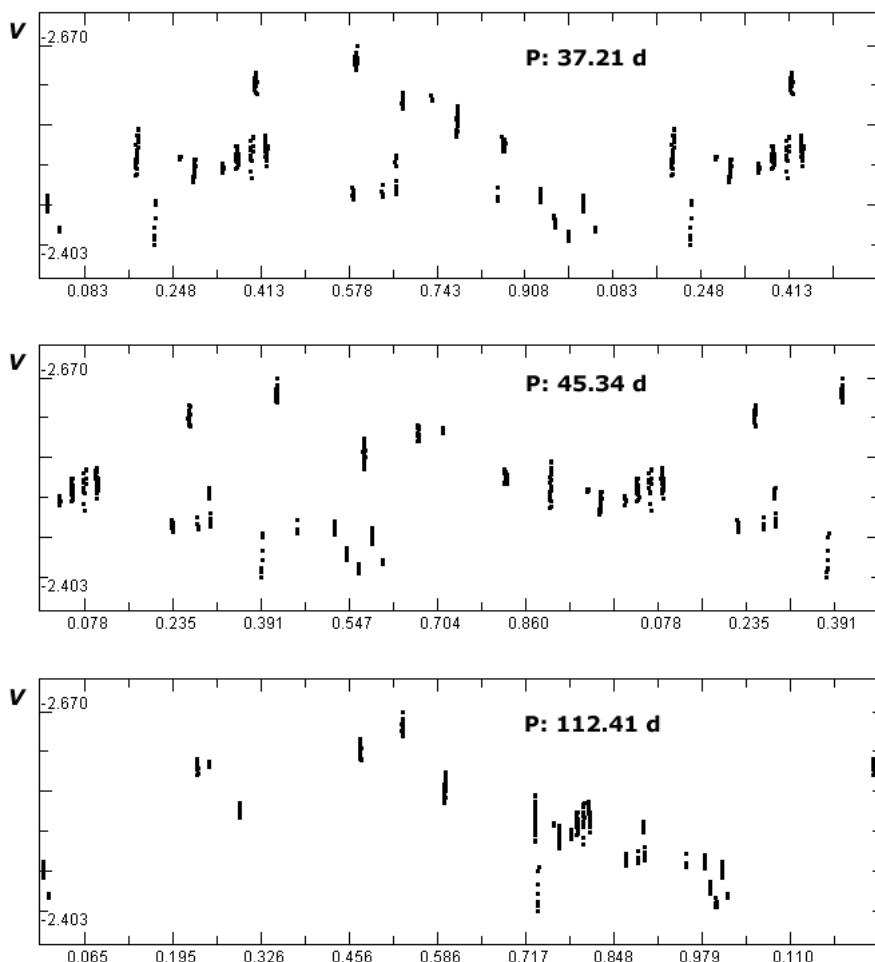


**Figura 3.** Periodograma obtenido de las mediciones de Kopacki et al. trabajando en el período 20-120 días: el período más probable es igual a 112.41 días seguido de lejos por otro, ya menos probable, igual a 37.21 días.

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.

El análisis de estas 313 mediciones en el intervalo 1-200 días produce dos posibles períodos (figura 3): el primero muy marcado igual a 112.41 días y el segundo, poco marcado, igual a 37.21 días; al buscar en el intervalo 20-75 días aparece un tercer período igual a 56.33 días. Curiosamente ninguno de ellos se aproxima al oficial (45.34 días), siendo la diferencia bastante notoria en todos los casos. Al representar las curvas de luz con los tres períodos (figura 4) comprobamos que ninguno de ellos produce un resultado coherente del todo: se obtienen curvas en las cuales las mediciones no se solapan o superponen correctamente de ciclo en ciclo, lo que nos indica que la amplitud es dispar y los ciclos, muy probablemente, sean de diferente longitud. La curva obtenida con el período oficial (centro) es la que, eliminando algunas noches, parece de mejor calidad: excepto las mediciones que están exactamente por debajo del máximo (que pueden corresponder a un segundo ciclo de menor duración), el resto son muy consistentes con dicho período.

Aunque las observaciones de Violat del año 2001 comenzaron el DJ 52.076, la falta de filtro  $V$



**Figura 4.** Curvas de luz de V24 obtenidas utilizando los datos polacos con períodos iguales a 37.21 días (arriba), 45.34 días (centro) y 112.41 días (abajo): sólo dos de ellos (el más corto y el más largo) se obtienen de estas mediciones, siendo el tercero el oficial. El examen visual de las tres curvas de luz pone de manifiesto que la variable pulsa con períodos que ni son idénticos en su duración ni presentan la misma amplitud en cada uno de ellos, con mínimos y máximos muy distintos de ciclo en ciclo.

Johnson, la poca experiencia en el estudio de las variables y su posición en el cúmulo (en una zona muy próxima al núcleo y de gran apiñamiento) le impidió tomar mediciones de la estrella durante esa campaña. En esta ocasión no podemos, como hemos venido haciendo con otras variables, comparar las observaciones de Kopacki y de Violat para estudiar el comportamiento de la estrella durante la campaña de 2001.

Las mejores mediciones homogéneas, realizadas con filtro V y continuadas en el tiempo, corresponden a las obtenidas por Violat entre los años 2003 y 2005; aparte de éstas podemos contar con las precisas mediciones de Arranz de los años 2004 y 2005 así como las de Díez de 2005. Con este conjunto de datos estamos en disposición de comprobar, independientemente de las mediciones del equipo polaco, cuál ha sido el comportamiento fotométrico de la estrella.

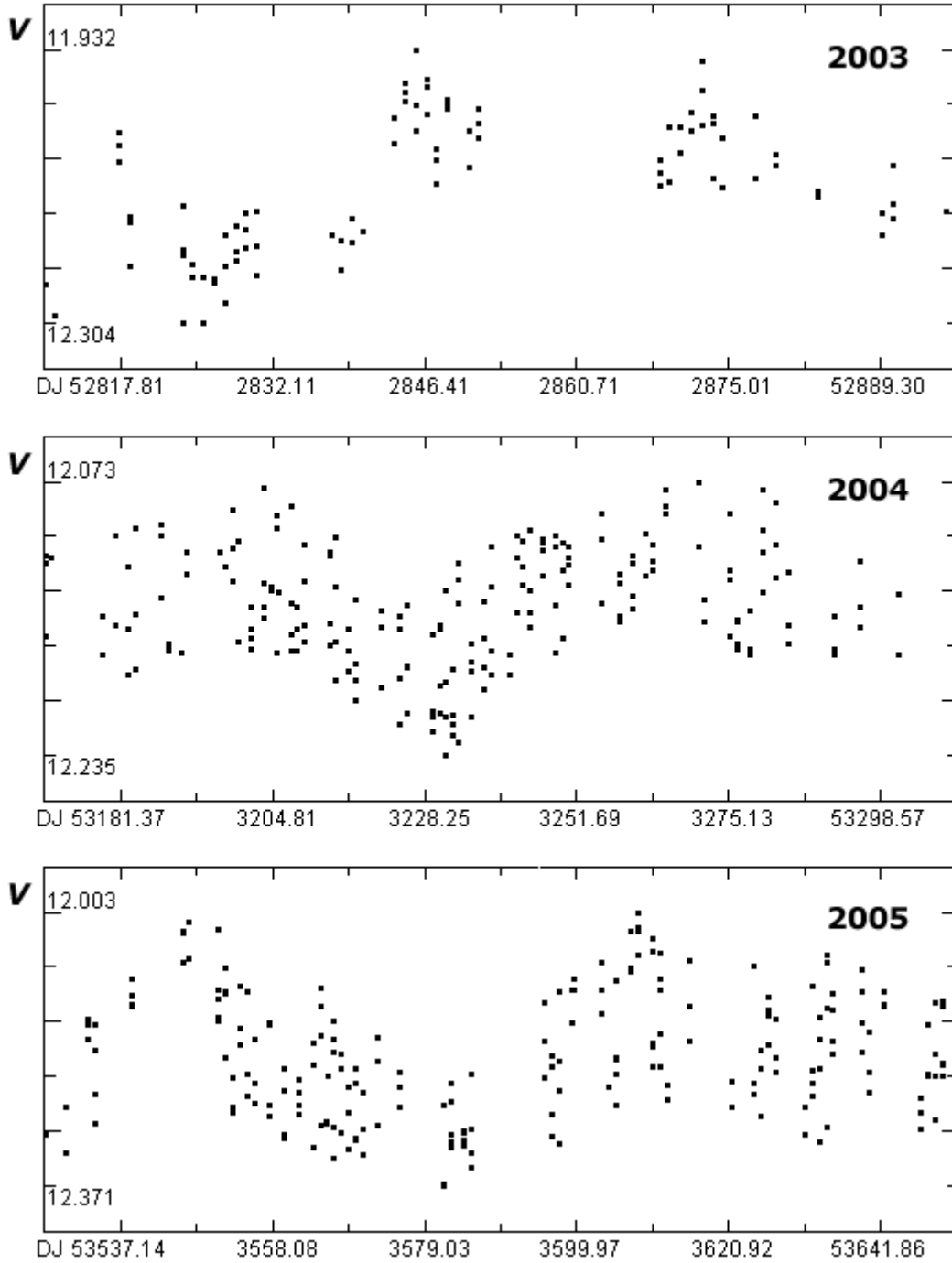
Al analizar las 502 mediciones de Violat obtenidas en período 2003-2005 podemos examinar su comportamiento general: de este modo comprobamos que osciló entre las magnitudes 11.93 y 12.37 como máximo, con una amplitud instrumental (suma de la amplitud real y el error aleatorio) igual a 0.44 magnitudes. La amplitud real es mucho menor y, por lo que podemos extraer de

estos datos, depende de la campaña observada: en 2004, por ejemplo, se mantuvo entre las magnitudes 12.07 y 12.24 lo que proporciona una amplitud instrumental igual a sólo 0.17 magnitudes (magnitud media: 12.15).

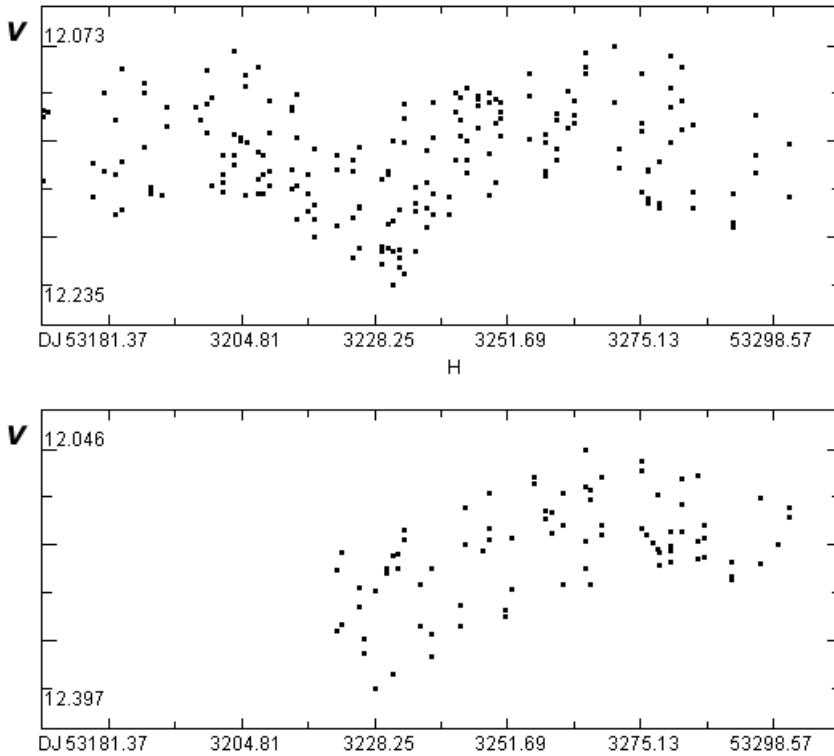
Cuando determinamos su período en el intervalo 1-200 días obtenemos tres posibles resultados: el primero demasiado largo igual a 84.23 días (prácticamente doble del período oficial), el segundo todavía largo igual a 68.48 días y el tercero demasiado corto igual a 30.426 días; el primero dibuja una buena curva de luz con pocos puntos dispersos, el segundo con una calidad bastante menor mientras que el tercero produce una curva de luz de bastante calidad.

Al trabajar en el intervalo 30-50 días, con la intención de forzar la búsqueda de un período similar al oficial (45.34 días) sólo aparece un valor igual a 44.26 días que, una vez utilizado, proporciona una curva de baja calidad y gran dispersión, lo mismo que ocurre si usamos el período oficial: la curva obtenida es de baja calidad.

A la vista de los resultados hemos de pensar que, como sucedió previamente con los datos de Kopacki, la variable no presenta un único período de pulsación bien definido sino que éste está modulado por otros dos, lo que produce curvas de luz



**Figura 5.** Curvas de luz de V24 obtenidas por Violat durante los años 2003, 2004 y 2005: puede comprobarse la dispar profundidad registrada en sus mínimos de los años 2003 con 2004 y 2004 con 2005; es muy evidente también la desigual duración de sus ciclos de pulsación: mientras que el registrado en 2003 es muy largo los medidos en 2004 y 2005 son de menor duración.



**Figura 6.** Curvas de luz de V24 obtenidas por Violat (arriba) y Arranz (abajo) en la campaña de 2004: ambas han sido representadas en el mismo intervalo temporal para poder ser comparadas entre sí. Aunque Arranz comenzó a tomar imágenes a mitad de la campaña, en su curva de luz puede apreciarse la parte final de la rama descendente, el mínimo, la recuperación de brillo del segundo máximo y la rama descendente con parte de la caída de brillo.

con máximos y mínimos de profundidad desigual y longitudes distintas como ocurría tanto en el caso de Kopacki y colaboradores como ahora.

De hecho una simple inspección visual a las tres curvas de luz obtenidas en bruto cada año (figura 5) muestra que las tres son distintas: en 2003 pudimos capturar un único máximo no bien registrado (en realidad pueden ser dos separados por un mínimo de escasa profundidad), en 2004 fueron dos claramente identificados mientras que en 2005 no sólo capturamos otros dos máximos, sino que en el último parece apreciarse (tímidamente) una caída de menor brillo seguida de una aparente recuperación (¿como en la curva de 2003?).

Al no disponer de otro conjunto de datos similar (ya que 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 a lo largo de tres o más años seguidos.

La amplitud máxima en banda V que se extrae de estas mediciones (en el período 2003-2005) es igual a 0.44 magnitudes siendo su magnitud media igual a la 12.15; la diferencia con el valor obtenido por el grupo polaco es notoria: 0.15 magnitudes; pensamos que este error se debe al notable apiñamiento estelar en la zona. Sin embargo al analizar los datos de la campaña de 2003 la magnitud instrumental media es ahora igual a la 12.12 (rango: 11.93—12.30, amplitud: 0.37 magnitudes) y la diferencia igual a 0.12 magnitudes; el error todavía continúa siendo bastante grande.

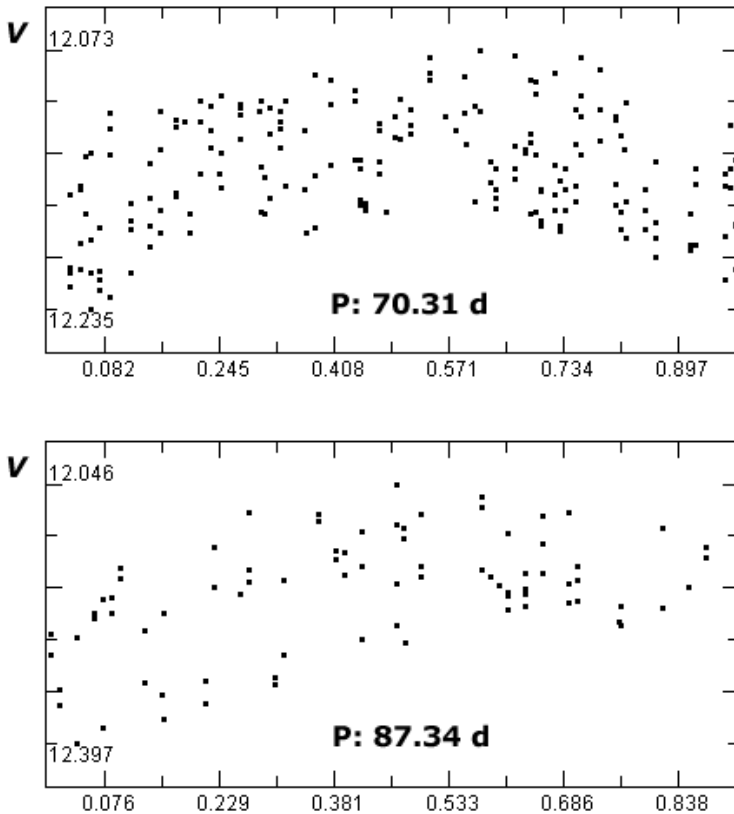
A mediados de la campaña de 2004 se nos unió al estudio del cúmulo Teófilo Arranz Heras, observador que trabajó desde Navas de Oro (Sego-

via) con un equipo similar al de Cáceres: un cata-dióptrico de 355 mm, f/10, con una Starlight Xpress y filtro V Johnson: trabajó 81 noches entre los DJ 53221 y 53301. Al estudiar dos grupos de datos independientes (los suyos y los de Violat) ahora sí podemos comparar la forma de las curvas de luz, la fecha de los máximos y mínimos registrados así como las amplitudes, períodos determinados de ellas y comportamiento lumínico de la estrella en el período estudiado.

Al analizar las observaciones de Arranz, cuya curva de luz aparece en la figura 6 (abajo), comprobamos que la midió entre las magnitudes 12.05 y 12.40 con una amplitud instrumental igual a 0.35 magnitudes; su magnitud media fue igual a la 12.22. Violat (figura 6, arriba) la encontró entre las magnitudes 12.07 y 12.23 con una amplitud instrumental igual a 0.16 magnitudes; su magnitud media fue igual a la 12.15: similar a la obtenida con las mediciones del período 2003-2005 (pero 0.15 magnitudes mayor que la medida por los astrónomos polacos en 2001).

Al estudiar las 86 mediciones de Arranz en el intervalo 1-200 días encontramos un período muy marcado igual a 87.34 días y otro menos evidente igual a 21.98 días (equivalente a 1/4 del período mayor); al centrar la búsqueda en el intervalo 10-60 días, con la idea de localizar algún período similar al oficial, encontramos uno poco marcado y demasiado corto igual a 30.89 días. Al representar las curvas de luz con todos ellos comprobamos que sólo el mayor proporciona un resultado coherente con una dispersión reducida.

Las 194 mediciones de Violat, obtenidas en 142 noches entre los DJ 53169 y DJ 53310, proporcionaron dos períodos: uno de ellos muy mar-



**Figura 7.** Curvas de luz de V24 obtenidas por Violat (arriba) y Arranz (abajo) durante la campaña fotométrica de 2004: en el primer caso se ha utilizado un período igual a 70.31 días, en el segundo un valor igual a 87.34 días. La forma de las mismas es bastante similar demostrando que, al menos en esa campaña, el período de oscilación fue superior a los 70 días: la explicación radica en la superposición de ciclos, cuya duración conjunta moduló la forma de la curva de luz a lo largo de la campaña.

cado pero demasiado largo igual a 70.31 días y otro muy poco evidente y corto igual a 19.74 días; la búsqueda en el intervalo 20-50 días con la intención de localizar algún período similar al oficial fue inútil: no apareció ninguno. Dibujadas las curvas de luz con ambos notamos que sólo el primero proporcionaba un resultado de calidad, no así con el segundo: la curva obtenida con el período oficial mostraba dos curvas superpuestas que se cruzaban a lo largo del tiempo.

El resultado parece claro: tanto las mediciones de Arranz como las de Violat apuntaron hacia un período largo superior a los 70 días (Violat) e igual a 87.34 días (Arranz): este último valor es prácticamente el doble del período oficial (87.34 días : 2 = 43.67 días), siendo la diferencia con éste igual a 1.67 días. Dado que las mediciones conjuntas de Violat (2003-2005) ofrecen un valor similar (84.23 días), que es también prácticamente el doble del oficial (84.23 días : 2 = 42.12 días) con una diferencia de 3.22 días, hemos de pensar que realmente son dos los ciclos de pulsación de la estrella, ambos con valores situados en el intervalo 40-45 días, que modulan la forma de la curva de luz, produce máximos y mínimos de dispar intensidad y brillo a la vez que dificulta la medición del período fundamental que, según Russeva y colaboradores, es igual a 45.34 días.

En la figura 7 mostramos las curvas de luz obtenidas al usar los períodos determinados en 2004 por ambos observadores, Violat arriba y Arranz abajo: en ambos casos el resultado obtenido es bastante similar con una dispersión reducida. Para estar seguros de que realmente estamos ante una

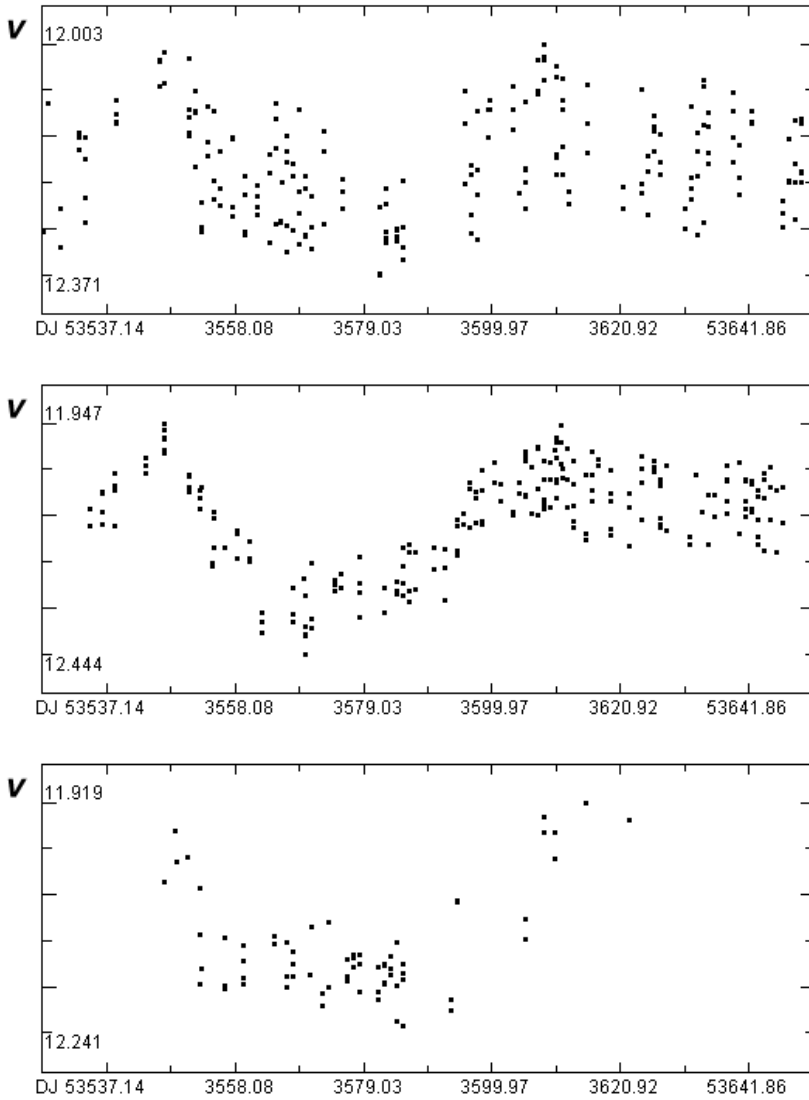
variable con una curva de luz modulada por dos períodos, como V11 o V17, necesitábamos contar con un nuevo grupo de mediciones fotométricas en una campaña posterior: la de 2005.

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 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 520 mediciones de brillo desglosadas así: 231 desde Segovia, 218 desde Cáceres y 71 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 53622 (77 noches).

Las magnitudes máximas han sido 12.00 (Violat), 11.95 (Arranz) y 11.92 (Díez); las magnitudes mínimas 12.37, 12.44 y 12.24 en el mismo orden. La diferencia entre los valores medidos en su máximo es igual a 0.08 magnitudes (Violat-Díez), la diferencia en el mínimo es igual a 0.20 magnitudes (Arranz-Díez).

Al analizar las mediciones mejor muestreadas en el tiempo (Violat) encontramos tres posibles períodos de oscilación: uno muy marcado igual a 92.54 días, otro más corto muy poco notorio igual



**Figura 8.** Curvas de luz de V24 obtenidas por Violat (arriba), Arranz (centro) y Díez (abajo) en la campaña de 2005: todas ellas han sido representadas en el mismo intervalo temporal (DJ 53526 al DJ 53652) para poder compararlas entre sí. Pese a la menor precisión de la curva de Violat —debido al fallo de la montura después del segundo máximo— y a que la curva de Díez no está completa del todo, los tres conjuntos de datos muestran la misma forma y comportamiento, aunque sólo en los de Arranz puede verse la pequeña caída de brillo después del segundo mínimo, casi invisible en los otros datos. El mínimo ha sido capturado perfectamente por los tres observadores en la misma época, aunque con distinta profundidad.

a 58.44 días y un tercero también marcado igual a 29.92 días; al representar las curvas de luz con los tres sólo se obtiene un resultado coherente con el más largo, no así con los demás (aparecen curvas de menor calidad o incluso dos curvas que se superponen). El uso del período oficial no mejora el resultado: aparecen dos curvas que se superponen y avanzan independientemente la una de la otra. Notemos que el período mayor es prácticamente el doble del oficial ( $92.54 \text{ días} : 2 = 46.27 \text{ días}$ ) siendo la diferencia entre ellos igual a 0.93 días; el período más corto, por su parte, es aproximadamente un tercio del período mayor ( $29.92 \text{ días} \times 3 = 89.76 \text{ días}$ ) con una diferencia de sólo 2.78 días.

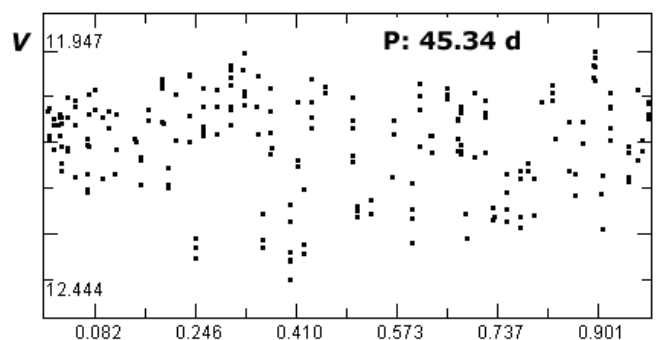
Las mediciones de Arranz la mostraron entre las magnitudes 11.95 y 12.44 lo que proporciona una amplitud igual a 0.50 magnitudes, siendo su magnitud media igual a la 12.20. Violat la midió entre las magnitudes 12.00 y 12.37 con una amplitud igual a 0.37 magnitudes, siendo su magnitud media igual a la 12.19: totalmente concordante con el valor de Arranz.

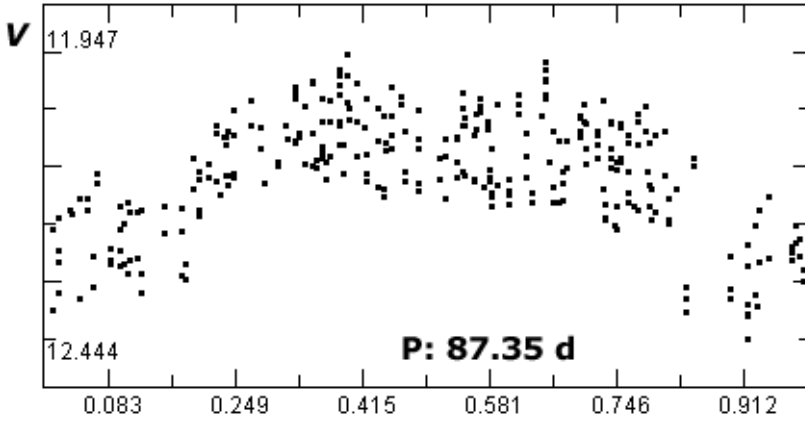
Las 71 mediciones de Díez, una vez analizadas, proporcionaron un período muy destacado igual a 77.19 días; aparecía también otro valor ya

menos marcado igual a 20.55 días. Al forzar la búsqueda en el intervalo 25-40 días, con la intención de centrarnos en el período oficial, apareció un único valor igual a 32.53 días. Cuando representamos las curvas de luz con los tres comprobamos que sólo uno, el más largo, producía un resultado coherente con una baja dispersión.

Con estas medidas vemos que durante el intervalo estudiado (la rama descendente del primer

**Figura 9.** Curva de V24 elaborada con las mediciones de Arranz del año 2005 utilizando el período oficial: podemos ver dos curvas distintas que se entrecruzan.





**Figura 10.** Curva de luz de V24 obtenida utilizando las 310 mediciones de Arranz, de los años 2004 y 2005, con un período igual a 87.35 días: la dispersión es muy reducida y muestra perfectamente su forma, con un mínimo poco profundo entre dos máximos.

máximo, el mínimo y la rama ascendente del segundo máximo) presentó una amplitud igual a 0.32 magnitudes en el intervalo 11.92—12.24; su magnitud media fue igual a la 12.08: un valor discrepante con el de los otros observadores.

En la figura 8 mostramos las curvas obtenidas en 2005 por Violat con 231 mediciones (arriba), Arranz con 195 medidas (centro) y Díez con 71 mediciones (abajo); como en casos anteriores las tres se han representado en el mismo período temporal para que el lector pueda compararlas: comienzan el DJ 53526 y terminan el DJ 53652, inicio y final de la campaña fotométrica más larga (Violat). Al hacerlo así podemos comprobar que los dos primeros observadores han registrado dos máximos: el primero el DJ 53546 y el segundo el DJ 53611 con similar brillo (magnitud 12.00 para Violat, 11.95 para Arranz). Entre ambos transcurrieron exactamente 65 días.

Los tres capturaron un mínimo el DJ 53580-53582, según el observador; del primer máximo al mínimo transcurrieron unos 34-36 días y de este mínimo al segundo máximo podemos contar entre 29 y 31 días: ambos valores son bastante parecidos pero no idénticos; de hecho en la precisa curva de Arranz se nota la asimetría que existe entre la rama descendente (rumbo al mínimo) y la ascendente (en dirección a un segundo máximo).

Tras este segundo máximo la intensidad de la estrella cayó levemente con una pequeña pérdida de magnitud poco notoria aunque no breve, tras la cual ascendió a un máximo de menor brillo y volvió a caer: las observaciones de Violat muestran claramente la rama descendente en los últimos días de observación, sin haber podido asistir a un nuevo mínimo. La curva de luz de Arranz, con menor dispersión, presenta claramente este comportamiento: tras el segundo máximo la estrella tuvo una caída de brillo de poca importancia, una leve recuperación (con un máximo de menor altura que el principal) y una caída de brillo rumbo a un nuevo mínimo. Los dos máximos son de diferente duración y forma: el primero de ellos es breve y aguzado, el segundo es más largo y con un doble máximo dejando entre ellos un atisbo de leve caída de brillo. Este comportamiento es idéntico

al que medimos en V11: en unas campañas existe un único máximo bien definido y de corta duración, en otras existe un máximo con dos "picos" de brillo, de mayor duración, que dejan entre ellos una leve caída y pronta recuperación para continuar con otro mínimo.

Con las observaciones del año 2005 podemos comprobar, de nuevo, que V24 presenta dos períodos de oscilación distintos de similar duración que modulan el comportamiento lumínico de la estrella: lo notamos en las observaciones polacas de 2001, parece apreciarse en las observaciones de 2003 (un máximo de gran duración con dos picos de brillo) y aparece muy claro en el segundo máximo de 2005 bien medido por dos observadores distintos, pero no en el primer máximo.

Es evidente que tres conjuntos de datos distintos, obtenidos con telescopios diferentes, no pueden mostrar el mismo resultado fotométrico salvo que éste haya sido el verdadero comportamiento de la variable a lo largo de la campaña.

Comprobamos la existencia de dos ciclos distintos cuando dibujamos la curva de luz de la variable con las mediciones de Arranz (figura 9); en vez de aparecer una curva coherente con una dispersión reducida, vemos dos conjuntos de datos distintos que se entrecruzan y son casi especulares: así uno de ellos tiene un máximo cuando el otro está en el mínimo.

El análisis de las mediciones conjuntas de Arranz de los años 2004 y 2005 (317 puntos) produce un único período, muy marcado, igual a 87.35 días con el cual se obtiene una excelente curva de luz, con una dispersión muy reducida (figura 10). Al buscar en el intervalo 20-85 días aparecen otros períodos menores, ninguno de los cuales dibuja una curva de buena calidad; empleando el período oficial se obtienen, como en los casos anteriores, dos curvas que se cruzan.

Su amplitud de oscilación en este período fue igual a 0.50 magnitudes en el intervalo 11.95—12.44; la magnitud media fue igual a la 12.20: 0.20 magnitudes por encima del valor determinado por los astrónomos polacos y exactamente 0.05 magnitudes sobre el valor obtenido de las medi-



das de Violat en el período 2003-2005.

Todos estos resultados han de tomarse con mucha prudencia: la estrella está situada en una zona en la cual el apiñamiento, la turbulencia o un leve desenfoque al capturar una imagen pueden afectar notablemente la calidad de las mediciones fotométricas.

Pasemos al estudio de sus velocidades radiales con la intención de comprobar si, con ellas, es posible obtener su período de oscilación.

Al examinar la bibliografía disponible en SIMBAD o NASA ADS comprobamos que, pese a estar situada en una zona de gran apiñamiento estelar, se han realizado gran cantidad de mediciones. Los datos más antiguos, concretamente tres mediciones bastante consistentes entre sí, aparecieron en el trabajo de Stoeckly y Greenstein (1968) pero sin fecha; la siguiente velocidad fue publicada en un trabajo de Cohen (1978) y tampoco tenía fecha. Todas las demás eran mucho más recientes y aparecieron en publicaciones posteriores a 1995 por lo cual deberían de tener más precisión que las otras: al examinar el error comprobamos que casi siempre era así.

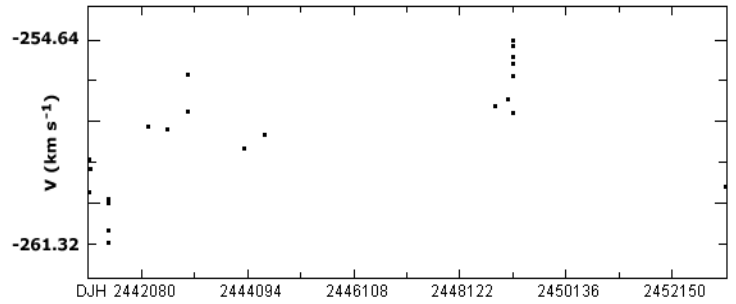
Para intentar obtener una curva de velocidades radiales logramos reunir un total de 25 mediciones de las cuales tres, incluidas en el trabajo de Webbink (Webbink, 1981), no eran válidas por carecer de la fecha y una cuarta ( $-238 \text{ km s}^{-1}$ ), también en el mismo trabajo, por discrepar de las anteriores en  $17 \text{ km s}^{-1}$ .

En el trabajo de Lyons et al. (1996) aparecía una que parecía buena ( $-256.6 \text{ km s}^{-1}$ ) aunque de fecha poco fiable, al haber sido tomada entre el 7 y el 12 de febrero de 1993; la hemos incluido y empleado en nuestro estudio.

La Tabla I muestra las 22 mediciones que hemos dado por buenas y utilizado; 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 (expresada en  $\text{km s}^{-1}$ ) 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.

La figura 11 representa estas 22 mediciones radiales: aunque los datos no están bien muestreados ni repartidos homogéneamente en el tiempo, podemos comprobar que su amplitud máxima es igual a  $6.68 \text{ km s}^{-1}$ , valor bastante notable para una variable de este tipo.

Una vez mecanizadas y analizadas con el programa A.V.E. buscamos los posibles períodos en el intervalo 1-200 días; al hacerlo así encontramos un valor muy marcado igual a 42.82 días que re-



**Figura 11.** Veintidós velocidades radiales obtenidas de la bibliografía y tabuladas en la Tabla I: su amplitud, bastante amplia, es igual a  $6.68 \text{ km s}^{-1}$ .

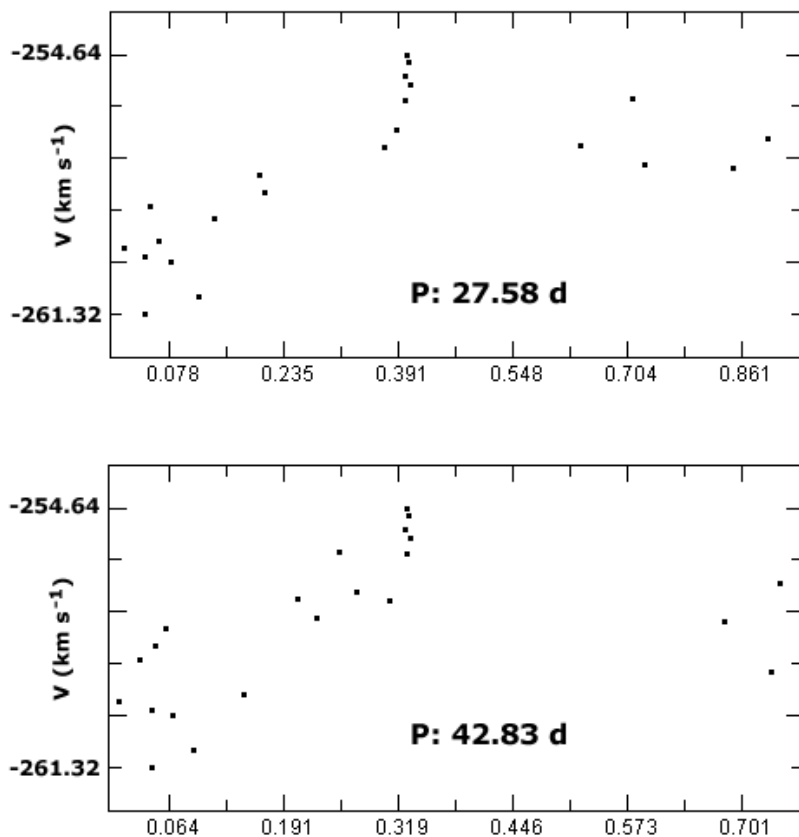
TABLA I  
VELOCIDADES RADIALES DE V24

DJH	VR ( $\text{km s}^{-1}$ )	Referencia
2,441,073.	$-259.62 \pm 0.70$	a
2,441,074.	$-258.58 \pm 0.80$	a
2,441,104.	$-258.89 \pm 0.80$	a
2,441,460.	$-261.32 \pm 0.63$	a
2,441,460.	$-259.89 \pm 0.58$	a
2,441,461.	$-260.00 \pm 0.65$	a
2,441,462.	$-261.32 \pm 0.63$	a
2,442,196.	$-257.47 \pm 0.80$	a
2,442,558.	$-257.56 \pm 0.58$	a
2,442,966.	$-256.98 \pm 0.51$	a
2,442,968.	$-255.80 \pm 0.55$	a
2,444,030.	$-258.21 \pm 0.44$	a
2,444,416.	$-257.74 \pm 0.49$	a
2,448,793.718	$-256.8 \pm 0.3$	b
2,449,028.	$-256.6 \pm 1.4$	c
2,449,137.9412	$-257.06 \pm 0.80$	d
2,449,138.6744	$-255.19 \pm 0.80$	d
2,449,138.7191	$-255.81 \pm 0.80$	d
2,449,138.7705	$-254.64 \pm 0.80$	d
2,449,138.8151	$-254.83 \pm 0.80$	d
2,449,138.8699	$-255.43 \pm 0.80$	d
2,453,157.	$-259.46 \pm 0.75$	e

sulta muy próximo al oficial (sólo discrepa de éste en 2.52 días), así como un segundo período, ya mucho más corto, igual a 27.58 días muy parecido a los *período cortos* obtenido de las mediciones fotométricas de Violat y Arranz.

Al dibujar las curvas de velocidades radiales con ambos valores comprobamos que con los dos se obtienen buenos resultados; la figura 12 muestra las curvas: la superior utilizando el período corto (27.58 días) y la inferior el período largo que, como hemos indicado anteriormente, es bastante próximo al oficial. Ambas curvas son coherentes y presentan una dispersión bastante reducida en todo momento.

Si utilizamos el período oficial con estos datos el resultado es decepcionante: las mediciones no llegan a dibujar una curva de velocidades radiales mínimamente válida, presentando una dispersión muy grande en todo momento.



**Figura 12.** Curvas de velocidades radiales de V24 dibujadas empleando las 22 mediciones de la Tabla I con los dos períodos obtenidos: la superior para  $P = 27.58$  días, la inferior con un valor de  $P = 42.83$  días. En ambos casos se obtienen curvas coherentes bastante buenas, aunque la dispersión es levemente mayor en la que tiene el período más largo.

## CONCLUSIONES

Hemos realizado mediciones fotométricas de la variable V24 en el período 2001-2005: uno de los telescopios empleado (Violat, 203 mm de abertura en Cáceres) ha obtenido datos con filtro V Johnson y de buena calidad en tres campañas de observación (2003-2005); 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.

La amplitud instrumental medida por nosotros en banda V es igual a 0.35 magnitudes (Arranz), 0.32 magnitudes (Díez) y 0.37 magnitudes (Violat); esta amplitud es próxima a 0.27 magnitudes según Kopacki y colaboradores.

El análisis visual de las tres curvas de luz obtenidas por Violat (2003-2005) pone de manifiesto que sus máximos son de diferente brillo y los mínimos son de profundidad desigual: su forma cambia de aspecto de ciclo en ciclo y la longitud de los mismos es de distinta duración. (Este mismo comportamiento lo encontramos en las variables V11 y V17, ya analizados en profundidad en sendos artículos anteriores.)

Estos cambios se aprecian con claridad en las curvas de Violat de 2003 (figura 5, arriba), 2004 (figura 5, centro) y 2005 (figura 5, abajo), cuya mayor cobertura temporal permite ver 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 les ocurría a V11 y V17.

De nuestras mediciones obtenemos un *período largo* entre 84 y 88 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 medio* (o período fundamental) tiene una duración que está entre los 42 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. Sin embargo encontramos todavía otro período más (o *período corto*) con una duración de entre 30 y 37 días: este último valor aparece también en las mediciones de Kopacki et al. (37.21 días).

Sólo se llegan a dibujar buenas curvas de luz con el período largo y el corto, pero nunca con el medio (que es el 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.

Al analizar los datos fotométricos del grupo polaco se puede extraer la misma conclusión: la estrella presenta máximos intensos y menos intensos alternos, con un ciclo corto (de 37.21 días) y uno más largo (112.24 días según sus datos) que no es más que la suma de los cortos (en este caso serían tres). En el caso de Violat o Arranz, con mediciones mejor repartidas en el tiempo, se ob-

tienen ciclos largos en el intervalo 84-87 días: éstos no son más que la suma de dos ciclos cortos de 42 a 44 días.

Por otro lado al analizar 22 velocidades radiales obtenemos dos períodos de pulsación distintos iguales a 27.58 y 42.83 días respectivamente; el primero de ellos es similar al período corto obtenido de las mediciones fotométricas, el segundo es bastante próximo al período fundamental: con ambos se obtienen buenas curvas de velocidades, no así con el valor oficial.

Observatorio Astronómico de Cáceres. Cáceres (España), 19 de junio 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](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)

Identificación de V24 en SIMBAD:

CI\* NGC 6205 SAW V24

Mediciones originales de Kopacki et al:

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

## REFERENCIAS

Armosky, B. J., Sneden, C., Langer, G. E., Kraft, R. P., 1994, AJ, 108, 1364

Barnard, E. E., 1931, Publ. Yerkes Obs., 6, 1

Cohen, J. G., 1978, ApJ, 223, 487

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>

Johnson, C. I., Kraft, R. P., Pilachowski, C. A., Sneden, C., Ivans, I. I., Benman, G., 2005, PASP, 117, 1308

Kadla, Z. I., Spasova, N., 1972, Astron. Zhurnal, 49, 504

Kadla, Z. I., Antal, M., Zdarsky, 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

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., 2000, AJ, 119, 2902

Popper, D. M., 1974, ApJ, 105, 204

Russeva, T., Iliev, L., Russev, R., 1982, IBVS 2223

Shetrone, M. D., 1994, PASP, 106, 161

Soderberg, A. M., Pilachowski, C. A., Barden, S. C., Willmarth, D., Sneden, C., 1999, PASP, 111, 1233

Stoeckly, R., Greenstein, J. L., 1968, ApJ, 154, 909

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