

VARIABLES EN M13

PERÍODO DE V38

Francisco A. Violat Bordonau
Teófilo Arranz Heras
Alberto Díez Gago

Desde el año 2001, cuando iniciamos las observaciones fotométricas de M13, hemos tenido entre manos un *puzzle* que hasta la fecha no habíamos podido resolver por falta de una base observacional lo suficientemente amplia: determinar el período exacto de V38. En un artículo anterior (publicado en el año 2002) ofrecimos el período provisional de la estrella (111.5 días) que ahora refinamos en base a las mediciones fotométricas de Osborn (1967-1969), Kopacki *et al.* (2001) y las nuestras en el período 2001-2005.

V38, también L414 (Ludendorff, 1905), es una estrella perteneciente al cúmulo por su movimiento propio (Cudworth y Monet, 1979) de tipo espectral G8Ib (Popper, 1947): un astro amarillento que por su luminosidad, Ib, es del tipo "supergigante de menor brillo".

Su temperatura efectiva se cifra en 4100° K siendo su luminosidad igual a poco más de 1200 veces la solar ($\log L/L_{\odot} = 3.08$); su magnitud absoluta es igual a -1.94: situada a 10 pc brillaría más que Sirio pero con fuerte color dorado.

Con magnitud V 12.15^a e índice de color B-V igual a 1.44 (Osborn-Fuenmayor, 1977) y 1.45 (Osborn, 2000) resulta ser uno de los astros más brillantes del cúmulo (Figura 1), apareciendo en el diagrama H-R en la cima de la "Rama de las Gigantes Rojas": es en este lugar concreto donde se localizan las variables pulsantes del tipo "gigante roja", de las que se conocen casi una docena en M13 (V11, V15, V17, V18, V20, V24, V39, V40, etc.); cabía esperar que fuese variable.

Sospechosa de variabilidad en los trabajos de Russev (1973 y 1974) fue estudiada por Osborn y Fuenmayor en 1974 sin encontrar variabilidad alguna, y más tarde en profundidad en 1977: para ello midieron 59 placas fotográficas tomadas por el reflector astrométrico de 1.5 metros del USNO en los años 1967, 1968 y 1969 con una combinación de película y filtro cuya transmisión era similar al **sistema B** (es decir, casi equivalente a haber trabajado con el filtro azul **B Johnson**). El análisis de sus mediciones proporcionó una amplitud máxima de 0.26 magnitudes con una desviación estándar (σ) igual a 0.058 magnitudes: de ello dedujeron que, hasta la precisión de sus datos, no era variable o que lo era pero de baja amplitud (sin embargo en su trabajo ofrecen un posible período igual a 105 días). La curva de luz que presentaron mostraba, sin lugar a dudas, las típicas oscilaciones de reducida amplitud y largo período de las demás variables rojas del cúmulo.

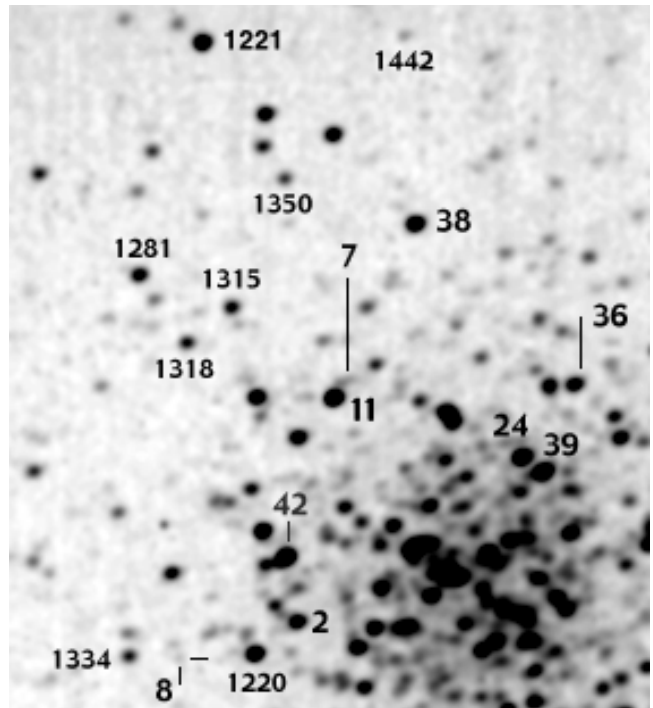


Figura 1. Imagen digital de M13 mostrando la situación de V38, así como algunas de las estrellas de comparación que hemos empleado en nuestros trabajos fotométricos.

Welty (1985) midió el cúmulo en 64 placas fotográficas tomadas con un conjunto film + filtro también próximo al sistema B utilizando el reflector de 1 metro del Observatorio Yerkes: en su trabajo comentó que no encontró ninguna variabilidad, aunque su desviación estándar (0.073 magnitudes) era similar a la de otras variables de baja amplitud: su rango fue inferior a su límite superior de detección de variabilidad (0.2 magnitudes en banda B), dato consistente con el valor determinado previamente por Osborn; este límite le impidió detectar y medir las oscilaciones lumínicas de la variable V15.

Osborn (2000) publicó magnitudes B y V así como posiciones de 104 estrellas del cúmulo, una de ellas L414, empleando fotografías tomadas en el Observatorio Lowell en los años 1983 (19 noches) y 1991 (4 noches) con telescopios de 78.7 a 182.9 centímetros. En su fotometría fotoeléctrica la magnitud de esta estrella es igual a la 12.159^a, la desviación estándar fue de 0.064 magnitudes en banda V mientras que este valor deducido de sus magnitudes fotográficas (7 imágenes en 1976 y 18 en 1983, todas capturadas con el reflector astrométrico de 1.5 metros del USNO) fue igual a 0.05 magnitudes en banda V y 0.06 magnitudes en banda B. Al final de su trabajo comentó que veía cierta la variabilidad de L414, aunque sin añadir nada más salvo que no encontró evidencias de variabilidad de V15 ($\sigma = 0.03$).

Finalmente Kopacki *et al.* (2003), trabajando con un reflector de 60 cm durante 23 noches en el año 2001, demostraron que realmente era una variable de baja amplitud (0.11 magnitudes en

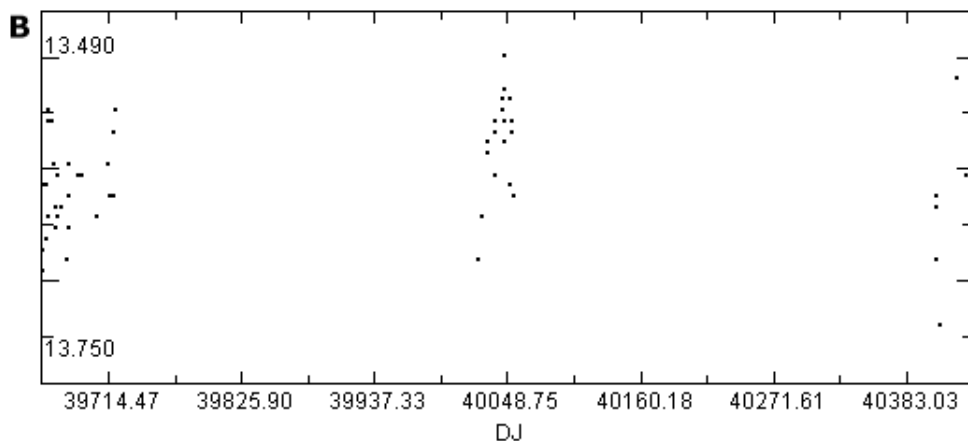


Figura 2. Representación de las 55 observaciones obtenidas por Osborn, en banda B, a lo largo de los años 1967, 1968 y 1969: puede observarse que la cobertura anual es excesivamente reducida y que sólo en 1969 hay datos suficientes como para cubrir apenas un ciclo completo.

banda V) aunque sin llegar a determinar su período debido a su reducida cobertura temporal; por ello no resulta tan extraño que después de 30 años (1973-2003) todavía no se hubiese podido determinar su período de oscilación...

Cuando iniciamos, en mayo de 2001, nuestro estudio fotométrico de las variables de M13 reparamos en un hecho evidente: la desviación estándar obtenida de las mediciones antiguas de Osborn (0.058 en 1969) o Welty (0.073 en 1985), ambas en banda B, eran muy similares a las de otras variables reconocidas como V15 (0.058) o V17 (0.082) por lo que, desde nuestro punto de vista, debía ser una variable de muy baja amplitud no demasiado fácil para nuestros equipos y técnicas observacionales. Esto podía comprobarse en las medidas fotoeléctricas y fotográficas de Osborn (2000), en donde este valor ascendía a 0.064 y 0.05 magnitudes en banda V respectivamente.

En nuestros trabajos fotométricos realizados en estos cinco años (2001-2005) hemos comprobado que la desviación estándar puede servir de guía para calcular, *a priori*, cuál puede ser la amplitud máxima esperada para una variable: nosotros calculamos de modo aproximado esta amplitud A por la fórmula empírica $A = \sigma \times 3$; en el caso de V38 cabría esperar que su máxima amplitud en banda B fuese próxima **0.174 magnitudes** (0.058×3) según los datos de Osborn y **0.219 magnitudes** (0.073×3) según los de Welty. En ambos casos esta amplitud debería ser algo más reducida

en banda V, en la cual nosotros obtenemos todas las mediciones de brillo, por lo que no serían fáciles de cuantificar o medir. De los datos más modernos de Osborn cabía deducir una amplitud en banda V de **0.192 a 0.15 magnitudes**: reducida pero posible para nuestros equipos. (En diciembre de 2003 hemos comprobado con nuestras mediciones que para estrellas no variables del cúmulo este valor σ osciló entre 0.029 y 0.061 magnitudes, según el brillo de las estrellas.)

En un trabajo anterior sobre V38 (Violat y Bannasar, 2002b) determinamos el período de esta variable basándonos en análisis de nuestras propias mediciones fotométricas; dicho período, 111.5 días, resultaba consistente con dichas mediciones y dibujaba una curva de luz de reducida amplitud que ciframos en 0.13-0.14 magnitudes como máximo (incluyendo el error aleatorio).

Al publicarse en Internet el trabajo de Kopacki hemos dispuesto de un conjunto de mediciones mucho más amplio que cubren, ahora sí, bastantes ciclos distintos: el grupo polaco logró medir un máximo de luz hacia el DJ 52032 mientras que Osborn-Fuenmayor habían hecho lo mismo en torno al DJ 40045.

Para determinar cuál es el comportamiento de V38 comenzamos por mecanizar las 59 mediciones de Osborn, ya que aunque no hubiesen sido efectuadas con el mismo filtro que empleamos nosotros o Kopacki (el **V Jonhson**, de color verde) no por ello perdían validez: de ellas lo que

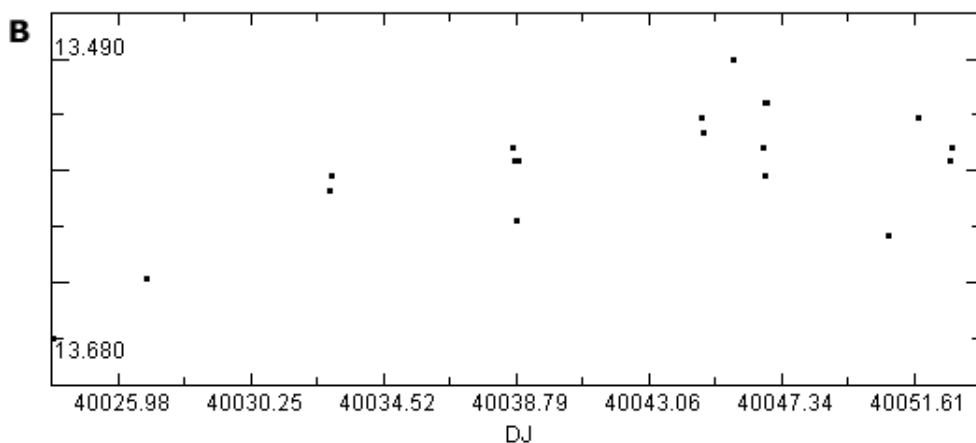


Figura 3. Curva de luz, en banda B, elaborada con las 20 observaciones obtenidas por Osborn en la campaña del año 1968: podemos apreciar claramente la rama ascendente, el máximo y el inicio de la rama descendente; de estos datos se extrae que la estrella no sólo es variable, sino que su período es medianamente largo (superior a 50-60 días).

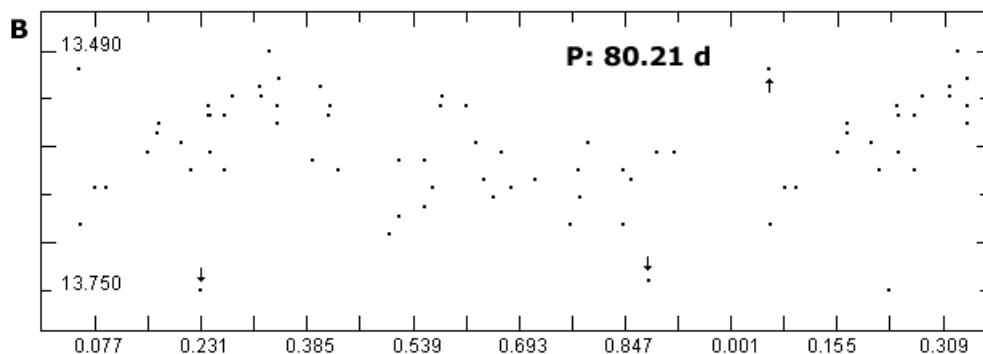


Figura 4. Curva de luz, en banda B, obtenida empleando las 55 mediciones de Obsborn y utilizando un período de 80.21 días: con la excepción de tres puntos, marcados con flechas, el resto de las mediciones son consistentes con este período.

más nos interesaban eran las fechas de los máximos, aunque la forma de las mismas podrían darnos algunas "pistas" sobre el extraño comportamiento observado por nosotros durante estos cinco años. Al copiarlas comprobamos que 4 de ellas eran erróneas (estadísticamente eran anómalas con respecto a las restantes) por lo que las rechazamos; el conjunto final constaba de 55 mediciones de brillo (figura 2).

Para determinar los períodos 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 **G.E.A.** (Grupo de Estudios Astronómicos). Con este programa se han utilizado distintos algoritmos como el de Bloomfield (1972), basado en el análisis de Fourier.

Al trabajar en el rango 10-200 días obtuvimos cinco posibles períodos: **29.07**, **55.71**, **66.17**, **80.21** y **102.59 días**; un examen de los mismo nos permitió comprobar que el último era bastante próximo al que habíamos determinado en nuestro trabajo, por lo que pensamos que confirmaba plenamente nuestro resultado y era válido. Sin embargo al representar las curvas de luz con todos ellos comprobamos que sólo los cuatro más cortos (29.07, 55.71, 66.17 y 80.21 días) producían resultados coherentes, siendo ya de menor calidad el último. Se daba la circunstancia de que los autores indicaban que, hasta la precisión de sus mediciones, este astro no variaba pese a que ofrecían un posible período dudoso: **105 días**; este valor, junto con la representación de las curvas de luz, nos hace sospechar que ya sabían que realmente era variable, aunque pecaron de prudentes al no arriesgarse a equivocarse ofreciendo un período

que podría ser erróneo... Sin embargo de las observaciones del año 1968 (figura 3), bastante bien muestreadas, sí que podían haber deducido un período aproximado en torno a 60-70 días o algo mayor: la curva de luz muestra un inconfundible aumento de brillo, un máximo y un debilitamiento días después.

Al representar sus mediciones con un período de 80.21 días (figura 4) obtenemos una curva de luz coherente, a excepción de tres puntos que hemos señalado con flechas: la forma de la misma es similar a las de las demás variables gigantes rojas del cúmulo; eliminando los puntos erróneos la amplitud se reduce ahora a menos de 0.19 magnitudes en banda B: este valor es consistente con el resultado obtenido por Welty.

El segundo conjunto de datos analizados ha sido el de Kopacki *et al.*, descargado de Internet; consta de un total de 272 mediciones en banda V dadas en una escala lumínica arbitraria (figura 5), lo cual tampoco ha sido obstáculo para determinar la fecha del máximo: el DJ 52032.6025. Al estudiar estas mediciones con el programa AVE en el mismo rango (10-200 días) encontramos cuatro posibles períodos: uno corto igual a **23.54 días**, dos medios igual a **56.76** y **80.8 días** y uno largo que subía a **113.98 días**; como en el caso anterior el período más largo era similar al que nosotros determinamos en nuestro artículo, por lo cual volvimos a pensar que corroboraba nuestro trabajo. Nótese que tres de estos períodos (23.54, 56.76 y 80.8 días) son muy similares a los obtenidos de las mediciones de Osborn (29.07, 55.71 y 80.21 días respectivamente) por lo cual ambos datos, y los resultados que de ellos obtenemos, hemos de darlos por buenos. De todos modos una inspec-

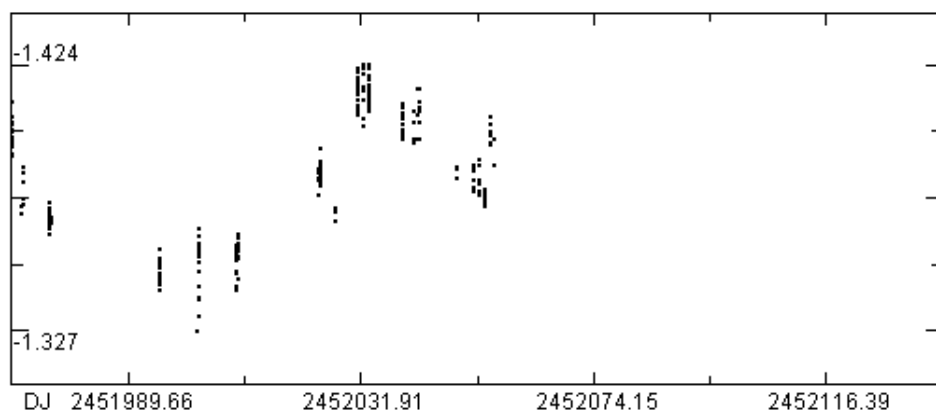


Figura 5. Curva de luz de V38, en bruto, obtenida por Kopacki *et al.* con 272 mediciones a lo largo de 23 noches distintas; entre las mediciones de la segunda noche (rama descendente) y la penúltima (también de la rama descendente y con la misma magnitud) hay una diferencia igual a 82 días: está claro que este debe ser, por fuerza, el período de variación.

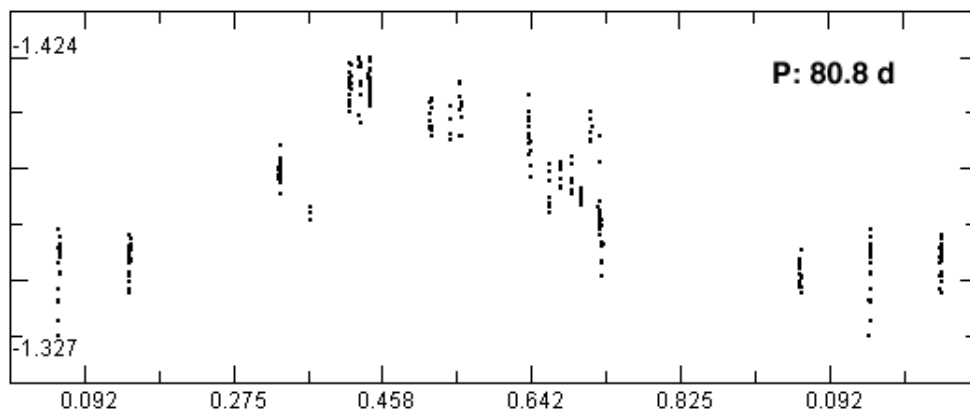


Figura 6. Curva de luz de V38: ha sido obtenida utilizando las 272 mediciones de Kopacki y empleando el período de 80.8 días calculado por nosotros con el programa AVE; puede comprobarse la buena coincidencia de las observaciones a excepción de los datos de una noche, en torno a la fase 0.72.

ción visual de su curva de luz (figura 5) pone de manifiesto que entre las mediciones de la segunda noche (en la rama descendente) y la antepenúltima (en el centro de la figura, al lado de la noche de elevada dispersión, con la misma magnitud que la segunda noche) han transcurrido casi exactamente 82 días: dato nuevamente corroborado.

Sin embargo al representar dichas mediciones con AVE comprobamos que los dos primeros períodos proporcionaban sendas curvas de luz de baja calidad, el segundo (figura 6) era totalmente consistente mientras que el tercero ofrecía un aspecto mediocre: de nuevo el período más largo era erróneo. (Kopacki, igual que antes que él Osborn, tampoco quiso arriesgarse publicando ningún período pese a que pudieron hacerlo.)

En vista de los resultados tuvimos que aceptar la realidad: el período determinado por nosotros, aunque similar al obtenido de las mediciones de Osborn-Fuenmayor o Kopacki, no era más que un error basado en un número insuficiente de mediciones de brillo... Dicho lo cual sólo nos restaba determinar el período correcto con estos tres conjuntos de datos: Osborn, Kopacki y los que podríamos determinar de nuestras imágenes.

De las escasas 91 mediciones de Violat del año 2003 podíamos extraer dos períodos marcados iguales a **24.06** y **31.19 días** y uno poco significativo de **43.92 días**: la curva de luz sólo era medianamente buena con el más corto, aunque también era consistente con los 81 días de Kopacki.

Las mediciones conjuntas de los años 2003 y 2004 (284 puntos en total) fueron analizadas con el mismo software encontrando dos períodos cortos significativos: el primero igual a **25.33 días** y el segundo igual a **80.58 días**, aunque aparecían también dos períodos mayores (**103.87** y **143.84 días**); la curva de luz obtenida con el más corto era medianamente buena mientras que la que se obtenía con el segundo (casi idéntico a los de Osborn y Kopacki) era plenamente consistente.

A inicios del año 2004 se nos unió en la campaña Teófilo Arranz Heras; este observador, situado en Navas de Oro (Segovia), trabajó con un equipo similar al de Cáceres aunque de mayor abertura y focal: un catadióptrico de 355 mm (f/

10) con una cámara CCD de la marca Starlight Xpress y filtro V Johnson. Gracias a su elevada focal y abertura las mediciones obtenidas habrían de ser, forzosamente, de mucha mayor calidad a la vez que al tener dos grupos de datos independientes (obtenidos prácticamente en las mismas fechas que los capturados en Cáceres) podríamos comprobar los resultados, amplitudes, períodos y formas de las curvas de luz resultantes.

En la campaña de 2005, recién finalizada, han sido tres los telescopios utilizados: el catadióptrico de 203 mm instalado en Cáceres, el de 355 mm de Navas de Oro (Segovia) y el catadióptrico de 203 mm perteneciente a Alberto Díez Gago, instalado en San Fernando (Cádiz): el equipamiento de los dos primeros es muy similar al haber trabajado con 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: esto ha permitido obtener imágenes y resultados muy similares entre sí. En total se han computado **469 mediciones de brillo** desglosadas así: **217** desde Cáceres, **173** desde Segovia y **79** desde Cádiz; en el primer caso se tomaron imágenes entre los Días Julianos 53526 y 53652 (127 noches), en el segundo entre el 53534 y 53647 (114 noches) y en el tercero entre el 53546 y el 53622 (77 noches).

La *amplitud instrumental* (suma de la amplitud real más el error aleatorio) medida por Violat es igual a **0.221 magnitudes en el rango 11.994^a-12.215^a**, es igual a **0.160 magnitudes en el rango 11.963^a-12.123^a** según las observaciones obtenidas por Arranz y **0.222 magnitudes, en el rango 11.994^a-12.216^a**, según Díez: podemos comprobar que el instrumento de mayor abertura se aproxima más a la amplitud real (0.11 magnitudes según el equipo polaco) mientras que los dos telescopios menores registran valores prácticamente idénticos, tanto en la amplitud como en el rango.

Al igual que en campañas anteriores las mediciones realizadas desde Cáceres se han tomado como "modelo" del comportamiento de la estrella, para dar continuidad a las observaciones que se iniciaron en el año 2001, con respecto a las cuales se analizan y comparan las demás pese a que (al tener una menor abertura y focal) el error aleato-

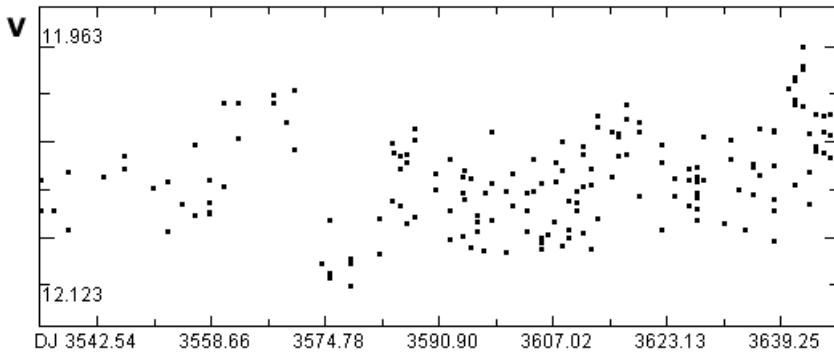


Figura 7. Curva de luz, en bruto, creada utilizando las 173 mediciones capturadas por Arranz: la amplitud máxima medida, incluyendo el error aleatorio, es igual a 0.160 magnitudes; es perfectamente visible una microoscilación que tiene lugar entre los días 3582 y 3617.

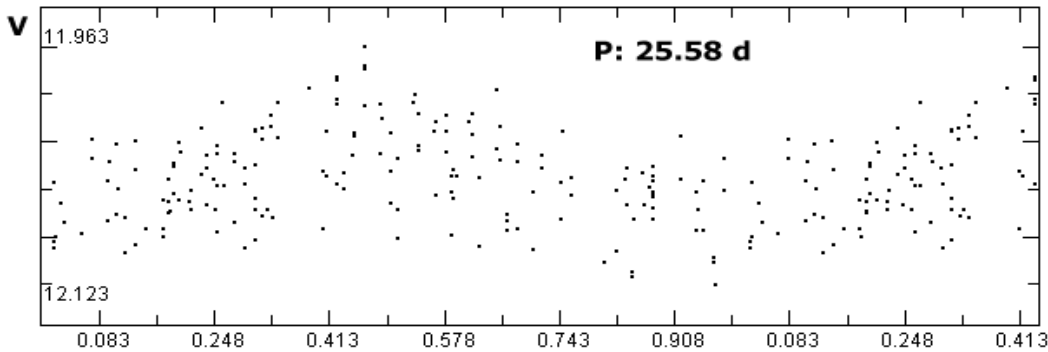


Figura 8. Curva de luz obtenida utilizando las 173 mediciones de Arranz con el período de 25.58 días obtenido por AVE: la curva aparece plenamente consistente aunque la dispersión es algo elevado en todo momento.

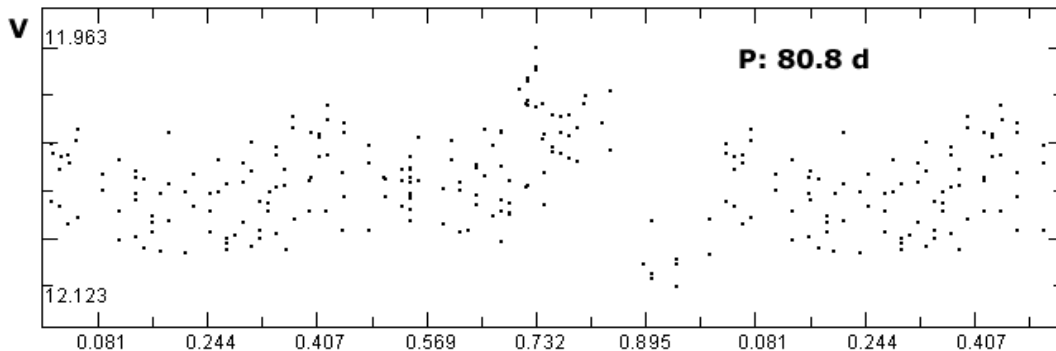


Figura 9. Curva de luz dibujada utilizando las mismas mediciones pero usando en este caso el período calculado a partir de los datos de Kopacki: la forma de la misma es menos regular pero la dispersión es ya menor; pueden notarse los pequeños incrementos y decrementos de brillo (*microoscilaciones*) que se producen a intervalos de 25 días aproximadamente.

rio es mayor y la calidad menor: el telescopio de Segovia se ha usado como *test* independiente con el cual comprobar la calidad de las medidas de los instrumentos más pequeños. Este procedimiento permite verificar que el comportamiento aparentemente *errático* de algunas variables (microoscilaciones de brillo de baja amplitud sin aparente periodicidad) ha sido real y no se ha debido a errores aleatorios durante el proceso de calibración, medición o a la dispar climatología de los demás observatorios y equipos utilizados.

El siguiente paso consistió en analizar las 193 mediciones de brillo tomadas por Violat en la campaña de 2004; como en los casos anteriores el conjunto fue introducido en el programa AVE el cual nos facilitó los siguientes períodos: **27.08**, **45.73** y **93.9 días**; sólo el primero era bastante parecido a los anteriores (29.07 y 23.54 días) aunque

el último se aproximaba, con un margen de error de 14 días, a los de Osborn y Kopacki.

Sin embargo al utilizar los períodos obtenidos de los datos de otros investigadores comprobamos que algunos de ellos sí producían buenas curvas de luz, entre ellos los siguientes: 80.2, 80.8, 102.6 y 113.9 días. El examen de los mismos pone de manifiesto que los dos primeros son prácticamente idénticos lo cual nos alertó: si dos conjuntos de datos muy distintos, y muy separados en el tiempo, coincidían en un mismo valor (en torno a 80-81 días) era porque el período real seguramente estaría a medio camino de ambos o incluso podría ser correcto, si esta variable era del tipo semirregular SRd como las demás gigantes rojas.

Otro paso intermedio fue analizar las 47 mediciones de Arranz obtenidas ese mismo año: aun-

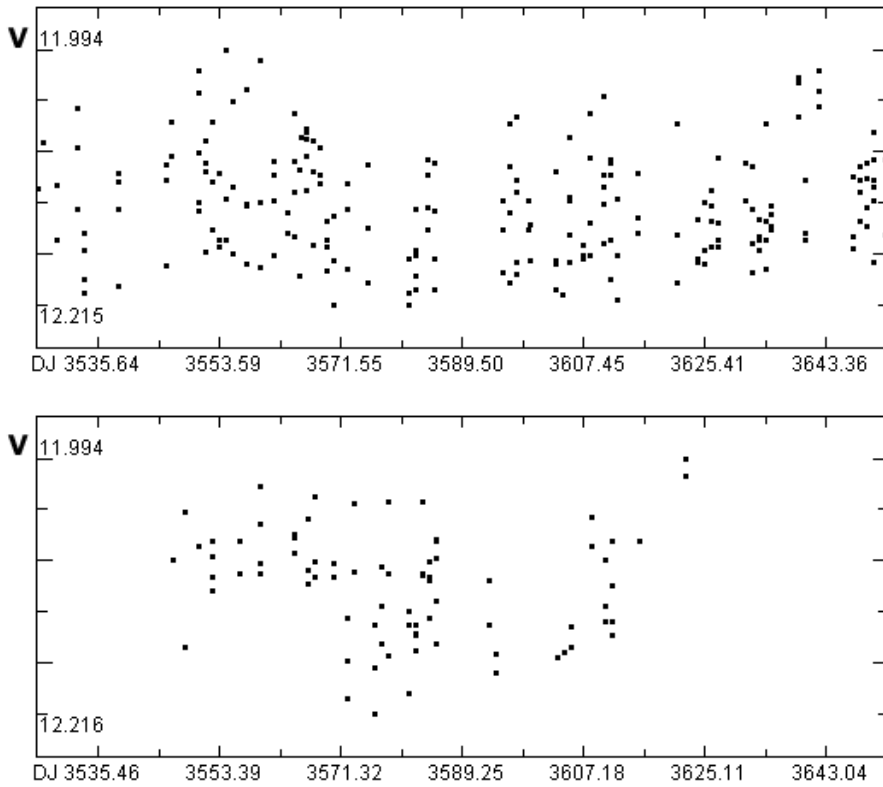


Figura 10. Curvas de luz, en bruto, obtenidas por Violat (arriba) y Díez (abajo); para que ambas sean comparables entre sí se han representado con el mismo período temporal: entre los Días Julianos 53546 al 53622; la *amplitud ficticia* (suma de la amplitud real y el error aleatorio) medida por ambos observadores, usando telescopios de la misma abertura y distancia focal, es prácticamente idéntica (0.221 y 0.222 magnitudes respectivamente). Los dos equipos han registrado el máximo en torno al DJ 3553, la caída de brillo de la rama descendente (enmascarada en la curva de Díez por 4 puntos discordantes alineados) y un suave ascenso de brillo (rama ascendente) entre los DJs 3575 y 3610.

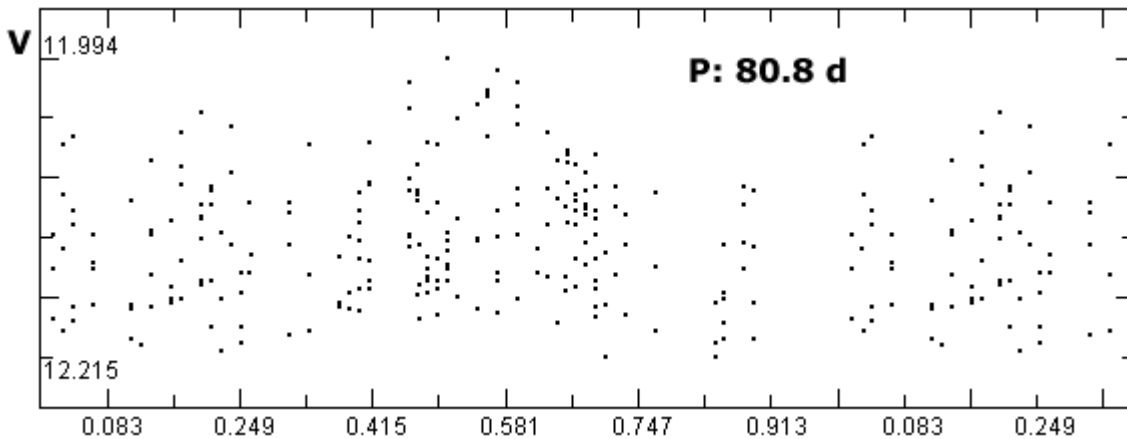


Figura 11. Curva de luz obtenida empleando las mediciones de Violat con un período igual a 80.8 días: aunque la dispersión es excesiva en algunos momentos la curva es consistente con dicho período, mostrando la rama ascendente, el máximo y la rama descendente (compárese con la obtenida por Arranz, figura 9).

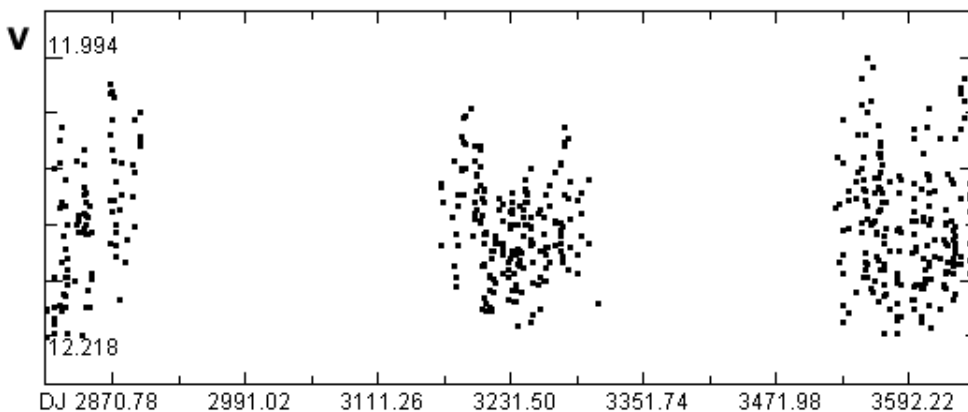


Figura 12. Curvas de luz, en bruto, obtenidas por Violat (con 501 mediciones de brillo) en los años 2003, 2004 y 2005; puede verse que su período de oscilación es medianamente largo; la *amplitud instrumental* máxima fue de 0.224 magnitudes en el rango 11.994^a-12.218^a, valores muy similares a los obtenido en 2005 por los dos telescopios de 203 mm de abertura.

que la serie era reducida y la cobertura un poco menor los períodos obtenidos fueron iguales a **34.23** y **85.0 días**; este último valor era, de nuevo, similar a los anteriores lo que nos indicaba que debíamos darlo por correcto.

Finalmente nos quedaban las recientes mediciones de la campaña de 2005 ya mencionadas: 217 de Violat, 173 de Arranz y 79 de Díez. Las primeras proporcionaron cuatro períodos distintos: **23.5**, **28.4**, **42.4** (casi 1/2 de 85) y **127.7 días** de los cuales se obtenían curvas medianamente buenas con los dos primeros, mientras que eran de mejor calidad con los dos más largos. (Sin embargo la curva de luz era de alta calidad usando un período igual a 81 días.) Las segundas nos dieron como resultado tres valores: **25.58**, **39.39** y **153.2 días**; representadas las curvas de luz con todos ellos sólo se obtuvo un excelente resultado con el primero, siendo de menor calidad las obtenidas con los otros dos: curiosamente, como en todos los casos anteriores, usando un período igual a 80.8 días la curva de luz aparecía plenamente consistente.

Aunque las mediciones de Violat eran de menor calidad, con una mayor dispersión, probamos a unir ambos conjuntos en un único grupo para determinar los períodos: el resultado arrojó dos únicos valores iguales a **25.39** y **44.15 días**; el primero de ellos era, nuevamente, sospechosamente similar al encontrado en los distintos conjuntos de mediciones mientras que el segundo es casi la mitad del más largo (81-82 días). Representadas las curvas de luz con los dos pudimos comprobar que con el primero era de buena calidad, no así con el segundo: como era de esperar el uso del período de 80.8 días obtenido por el equipo polaco nos proporcionó nuevamente una buena curva de luz bastante coherente.

Las mediciones de Díez, por su parte, proporcionaron dos únicos períodos: el primero igual a **29.33 días** y el segundo igual a **69.10 días**; sólo el primero de ellos produjo una curva de luz medianamente buena, aunque las mediciones se ajustaban bastante bien a los 81 días de Osborn y Kopacki. Como en los casos anteriores es notorio que el período más corto sea igual a los obtenidos por los demás equipos en épocas distintas: en este caso equivale casi a 1/3 de 87 días.

Analizamos también el conjunto completo 2004-2005: el único valor facilitado por AVE es igual a **89.36 días** que es, de nuevo, próximo a los anteriores. La representación de las mediciones con los más notorios dio el siguiente resultado: 79.4 días (mala), 80.8 días (mala), 89.36 días (excelente) y 119.8 días (regular). En este caso ninguno de los dos valores obtenidos de las mediciones profesionales producían buenas curvas de luz; esto sólo podía explicarse de dos modos: suponiendo que habíamos medido rematadamente mal, lo cual no era muy probable, o que el período se había alargado en realidad levemente.

Finalmente tomamos las mediciones de Violat en el período 2003-2005: al haber sido obtenidas con el mismo instrumental necesariamente tendrían que ser homogéneas entre sí resultando adecuadas para el análisis. El conjunto final (figura 12) constaba de 501 mediciones de brillo que sometidas al programa AVE dieron como resultado ocho períodos; al dibujar las curvas de luz se obtuvieron resultados buenos, regulares o malos que mostramos en la Tabla 1:

Tabla 1

Período	Curva
27.70	buena
29.94	buena
44.80	regular
76.60	mala
85.76	buena
96.20	mala
111.8	buena
128.9	mala

Comprobamos, una vez más, la existencia de un período corto (27-30 días) y uno largo (80-85 días) con los cuales las mediciones dibujaban buenas curvas de luz; dos períodos muy largos (96.2 y 111.8 días) también permitían obtener curvas de luz, pero no eran más que valores ficticios originados por la longitud de los períodos anuales de observación y el uso de tres conjuntos de datos de tres campañas seguidas: sólo uno de ellos (111.8 días), curiosamente similar al valor propuesto por Osborn en su artículo (105 días), originaba una curva bastante buena. Nuestros datos cubrían también tres campañas seguidas y habían producido casi el mismo resultado, ya que los valores obtenidos de los datos de Osborn eran, recordemóslas, 29.07, 80.21 y 102.59 días.

Dejamos el análisis estadístico de AVE para obtener dichos períodos por medio del análisis de los máximos medidos hasta la fecha. Contábamos con el de Osborn-Fuenmayor (DJ 40045.7827), el de Kopacki (DJ 52032.6025) y tres nuestros (DJs 53196.16, 53281.37 y 53564.30), un conjunto de datos lo suficientemente amplio como para obtener una buena aproximación y comprobar, de paso, el comportamiento de la estrella.

Utilizamos una hoja de cálculos para determinar que entre los dos primeros habían transcurrido un total de 11986.8198 días mientras que para nuestros máximos estos valores eran 13150.3773, 13235.5873 y 13518.5173 días respectivamente. Tomando el máximo de Osborn-Fuenmayor como origen y conociendo el valor aproximado del período (80 días) podíamos determinar cuándo debían haber ocurrido los máximos en la época en que observamos los demás investigadores; la fórmula utilizada para ello es la siguiente:

$$40045.7827 + (P \times E)$$

en donde **P** es el período y **E** (de época) el número de ciclos que la estrella ha cubierto.

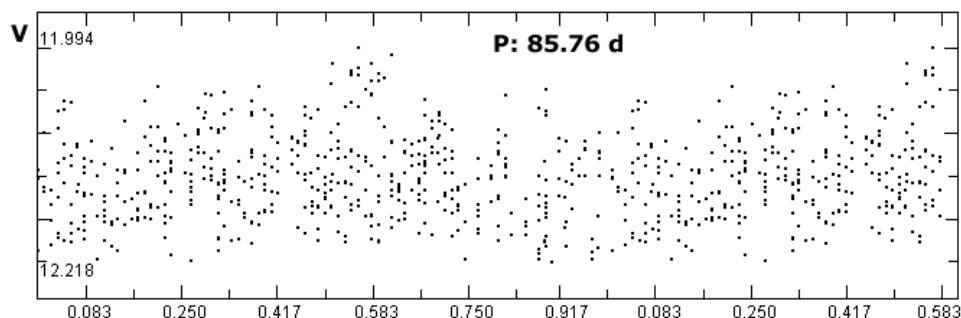


Figura 13. Curva de luz obtenida con las 501 mediciones tomadas por Violat, entre los años 2003 y 2005, utilizando un período de 85.76 días: aunque la dispersión es elevada en todo momento las mediciones son consistentes con dicho período.

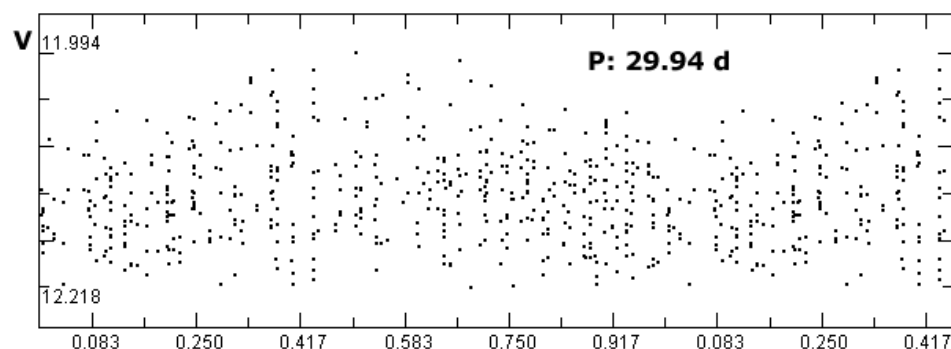


Figura 14. Empleando las mismas mediciones pero utilizando ahora un período igual a 29.94 días se obtiene una nueva curva de luz, de bastante calidad, que muestra las microoscilaciones también registradas por Arranz (figura 8).

Tomando por bueno un período igual a 81 días y suponiendo que la estrella hubiese cubierto 147 ciclos completos el máximo habría ocurrido el DJ 52033,7827: la diferencia entre el máximo observado por los astrónomos polacos (O) y el calculado (C), o valor O-C, ascendía a -1.1802 días. El resultado era bastante bueno.

Quisimos saber qué valor de **P** convertía en mínimo el valor O-C: dicho con otras palabras, qué período habría debido tener V38 para que la diferencia entre el cálculo y la observación fuese nulo... nuestros cálculos indican que usando un período **P= 80.992 días** el error es de 0.0038 días.

Sin embargo este aparente éxito resultó no ser tanto: al hacer lo mismo con nuestros máximos usando **P= 80.992** días la diferencia O-C subía a 29.6733, 33.8913 y 73.8453 días respectivamente; una de dos: o nuestros tres máximos estaban mal medidos (¡con un error de 30-34 días en el primer caso y casi 74 en el segundo!, algo improbable) o el período utilizado no era válido.

Efectuamos varios tanteos en torno al valor original y comprobamos que con **P= 81.175 días** la diferencia O-C en nuestro primer máximo se reducía a 0.0273 días; sin embargo los errores en los otros dos eran 4.0623 y 43.4673 días respectivamente, lo cual parecía apuntar hacia un alargamiento del período. De nuevo buscamos cuál era el período **P** que convertía en mínimo el error para el segundo máximo medido; encontramos que **P= 81.200 días** satisfacía este criterio con un error de 0.00034 días; ya puestos a calcular volvimos a hacer lo mismo para el último valor; el período **P= 81.4368 días** originaba una diferencia de sólo 0.0085 días en el caso del último máximo.

Un examen de los números obtenidos para **P** por el método O-C indica que éste ha tenido los siguientes valores: 80.992, 81.175, 81.200 y

81.437 días respectivamente; la serie numérica es creciente lo que apunta, de nuevo, a un leve incremento del período con los años: este crecimiento anual lo podemos estimar entre 0.069 y 0.053 días/día en el intervalo 2001-2005.

Si comparamos los períodos determinados con AVE comprobaremos nuevamente que éstos parecen haber ido creciendo con el tiempo: desde los 80.21 días de Osborn y 80.8 de Kopacki hasta los aproximadamente 80-82 determinados de las mediciones de 2004 y 2005. El resultado apunta, de nuevo, hacia un incremento del período en función del tiempo. Este resultado ha de ser tomado con mucha precaución, no sólo debido a que nuestra base observacional es todavía demasiado pequeña si no a que estamos trabajando al límite de nuestra precisión: no olvidemos que la amplitud de esta estrella es inferior a 0.12 magnitudes y sólo el equipo de mayor abertura es capaz de obtener mediciones de gran precisión.

Cuando confrontamos todos los períodos determinados por los diferentes grupos de datos comprobamos que hay dos que se repiten: el primero corto en torno a **25-29 días** (equivalente a 1/3 del período largo) y el segundo largo, en torno a los **79-82 días**; todas las mediciones disponibles dibujan curvas de luz buenas o bastante buenas con los dos, no así con los restantes, por lo que ambos se han de tomar por buenos.

Aunque las mediciones de alta calidad facilitadas por Arranz son todavía pocas (sólo las del año de 2005), parece claro que V38 oscila con un período largo en torno a los 80-82 días dentro del cual presenta microoscilaciones de reducida amplitud que se repiten a intervalos más cortos que están en torno a los 25-28 días. Estos dos valores son consistentes con todos los grupos de mediciones: Osborn (1967-1969), Kopacki (2001) y los

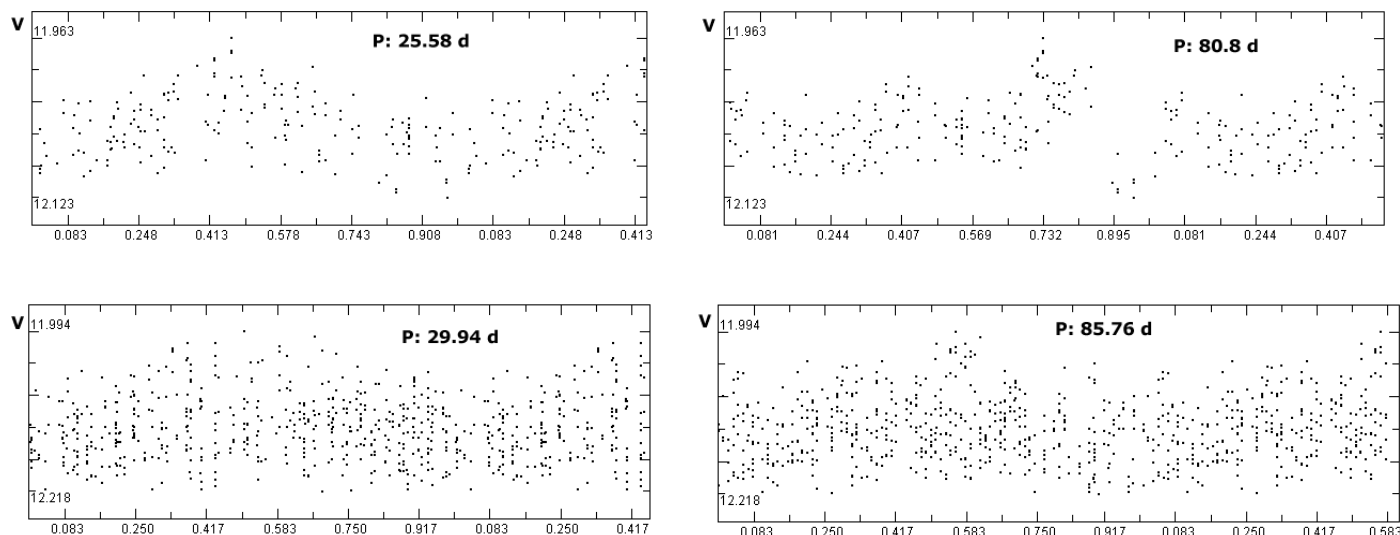


Figura 15. Curvas de luz obtenidas por Arranz (arriba) y Violat (abajo): puede verse que, aunque los períodos no son exactamente iguales (la diferencia entre ellos es prácticamente igual a 4 días), en ambos casos se generan curvas de luz que (dentro de la dispersión inherente a una variable de muy baja amplitud) son totalmente consistentes con ellos y entre sí.

nuestros en el período 2001-2005, especialmente con las observaciones de alta calidad de Arranz de 2004 y 2005.

La hipótesis de las microoscilaciones no es tan descabellada como pudiera parecer: aunque no son apreciables en los datos de Osborn sí parecen verse en los de Kopaci en forma de "dispersión" o ruido en la figura 6, cerca de la fase 0.7: puede comprobarse que las mediciones no concuerdan perfectamente entre sí; también son muy visibles en los datos de Arranz y, ya con menor claridad, en los de Violat y Díez.

¿Qué fenómeno puedo producirlas?; cuatro son las causas que, a nuestro juicio, podría ocasionar estas leves oscilaciones de brillo: pulsaciones u oscilaciones radiales, rotación estelar (grupos de manchas oscuras), eclipse por un cuerpo orbital de menor brillo y oscilaciones no radiales.

Las estrellas variables gigantes rojas de M13 pulsan con períodos comprendidos entre los 39.23 días (V15) y los 92 días (V11), aunque Kopacki *et al.* han comprobado que las nuevas variables (V42, V43, V44 o V45) presentan oscilaciones de baja amplitud (como máximo 0.10 magnitudes) que parecen irregulares o erráticas*.

La primera y la segunda las descartamos: el enorme tamaño de este tipo de estrellas (15-20 radios solares como mínimo, con mayor probabilidad de 30 a 35) no fomenta las pulsaciones radiales tan breves ni una rotación tan rápida, incluso más rápida que la del Sol en su ecuador.

Por otro lado tampoco vemos demasiado probable (aunque no es imposible) la hipótesis de un "cuerpo oscuro" (estrella enana de bajo brillo) que la orbite en sólo 25-30 días y cuyos tránsitos oca-

sionen estas leves oscilaciones de brillo; dado que la masa de V38 es próxima a 0.86 masas solares sería fácil detectar el desplazamiento Doppler de sus líneas espectrales a medida que se mueve en su órbita en torno al baricentro común: las mediciones de Lupton *et al.* (1987) mostraron 8 valores distintos (en el intervalo 1971-1980) comprendidos entre los 3.79 y 9.63 km/s, con cambios en la velocidad de una noche a la siguiente de 1.77 km/s (26 y 27 de junio de 1980) y -1.64 km/s en un intervalo de dos noches (6 y 8 de junio de 1979). Sin embargo de las mediciones de su velocidad radial con el doblete del Sodio y de la asimetría del perfil de ciertas líneas (H α) Lyons *et al.* dedujeron el movimiento de masas de gas en su atmósfera, pero no desplazamientos orbitales que hiciesen pensar en una binaria.

Shetrone (1996) anunció, en un apéndice de su trabajo, el carácter de binaria espectroscópica que presentaba V19 basándose en el estudio de sus líneas espectrales: es muy posible que no sea la única binaria por descubrir en el cúmulo.

La última hipótesis podría ser la correcta: 27 días corresponden exactamente a 1/3 del período largo que deducimos de las mediciones profesionales (81 días), por lo que pensar que V38 presenta oscilaciones no radiales en forma de masas de gas que suben, estallan y aumentan levemente el brillo general de la estrella no parece descabellado, sobre todo en una estrella gigante roja caracterizada por la inestabilidad de su núcleo.

Antes de dar por cierto este curioso comportamiento es necesario disponer de nuevas mediciones que lo corroboren: confiamos en que las que obtengamos en la futura campaña del año 2006 sirvan para este propósito.

*Todavía no hemos analizado en profundidad las observaciones de 2005 de estas estrellas ni buscado sus períodos.

CONCLUSIONES

Del análisis de las mediciones fotométricas obtenidas por Osborn y Kopacki (en dos épocas muy separadas en el tiempo y con filtros distintos: B y V Johnson respectivamente) podemos deducir que **la variable V38 tiene un período próximo a los 81 días** (80.2 Osborn, 80.8 Kopacki); este dato se ve corroborado por nuestras mediciones obtenidas en los años 2001, 2002, 2003, 2004 y 2005 de las cuales **extraemos un período de entre 80 y 85 días según la campaña**. Por otro lado **de las observaciones de Osborn y Kopacki se obtiene un segundo período más corto (29.07 y 23.54 días) que corresponden a microoscilaciones de baja amplitud**: dichas oscilaciones no son visibles en los datos de Osborn y apenas en los de Kopacki, pero se aprecian claramente en las mediciones de Arranz (2005) y tímidamente en las de Violat (2004 y 2005). Las curvas de luz de ambos observadores son consistentes tanto con los períodos largos como con los cortos; creemos que estas microoscilaciones de brillo podrían corresponder a modos de pulsación no radial.

Por otro lado del análisis de los máximos de luz (valores O-C) se obtienen períodos largos idénticos a los determinados con el programa AVE en todos los conjuntos de mediciones, aunque según estos resultados el período es levemente mayor de año en año: esto impide que las curvas de luz obtenidas con los datos conjuntos de varias campañas (2003 a 2005) sean de calidad y presenten una dispersión reducida.

Ambas conclusiones (microoscilaciones con un período próximo a 25 días y alargamiento del período) han de ser tomadas con mucha cautela, en espera de un nuevo conjunto de mediciones en la campaña de 2006 que las corroboren, refinando los períodos, o las descarten por completo.

Por su espectro, amplitud y período **V38 se puede clasificar en el tipo SRd**: estrellas variables supergigantes de los tipos espectrales F, G y K con amplitudes de 0.1 a 4 magnitudes y períodos de 30 a 1100 días; ejemplos son las variables V225 de M3 (89.59 días), V4 de M4 (60 días), V6 de M56 (90 días) o V4 de 47 Tuc (82 días).

Observatorio Astronómico de Cáceres. Cáceres (España), 5 de diciembre de 2005.

E-mail: fviolat@yahoo.es

REFERENCIAS

- Bloomfield, P., 1976, "Fourier analysis of time series: an introduction", publicado en "Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics", New York.
- Cudworth, K. M., Monet, D. G., 1979, AJ 84, 774
- Fuenmayor, F., Osborn, W., 1974, IBVS 952
- 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
- Popper, D. M., 1974, Ap. J. 105, 204
- Russev, R. M., 1973, Peremennye Zvezdy 19, 181
- Russev, R. M., 1974, Astron. Zhurnal 51, 122
- Shetrone, M. D., 1996, AJ 112, 2639
- Violat Bordonau, F. A., Bennasar Andreu, T., 2002, abril
- Violat Bordonau, F. A., Bennasar Andreu, T., 2002, novbre.
- Welty, D. E.: 1985, AJ 90, 2555

EN INTERNET

- Fotometría CCD de L414 en M13* (2002, abril)
<http://personales.ya.com/casanchi/ast/L414.pdf>
- L414, una nueva variable* (2002, noviembre)
<http://personales.ya.com/casanchi/ast/l41401.htm>