

26a

CONVENCIÓN DE ASTRONOMÍA



SABADELL
14, 15, 16 MARZO
2025

Más allá de la observación, promoviendo la colaboración PRO-AM

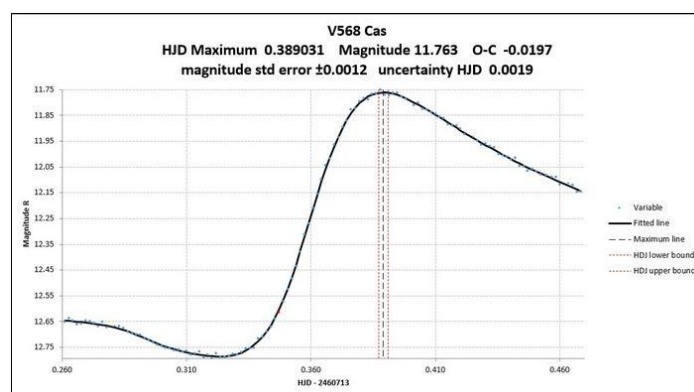
Las RRLyrae, un paso más allá de la curva de luz

Josep M. Vilalta



La observación de estrellas variables pulsantes tiene una evolución lógica. Normalmente, el proceso comienza aprendiendo a obtener imágenes de calidad. La segunda etapa consiste en calcular la fotometría y generar la curva de luz, la cual puede enviarse a centros especializados que almacenan estos resultados en sus bases de datos. Posteriormente, surge la siguiente fase: calcular el punto máximo en el caso de las estrellas RR Lyrae. Para ello, hace ya tiempo realizamos un trabajo muy interesante aplicando una técnica matemática de *splines*, basándonos en un artículo de un autor austríaco que fue publicado en la revista * Numerische Mathematik *. Presentamos este estudio en una convención celebrada en el auditorio del Observatorio de Sabadell.

Hasta este punto, solo se requieren reglas básicas, aunque siempre surgen dificultades. Por ejemplo, la primera vez que observas una curva y aparece una "joroba" en el tramo ascendente, piensas: "¡Lo he hecho mal!" Pero al consultar, te explican que algunas estrellas presentan estas características sin ser un error.

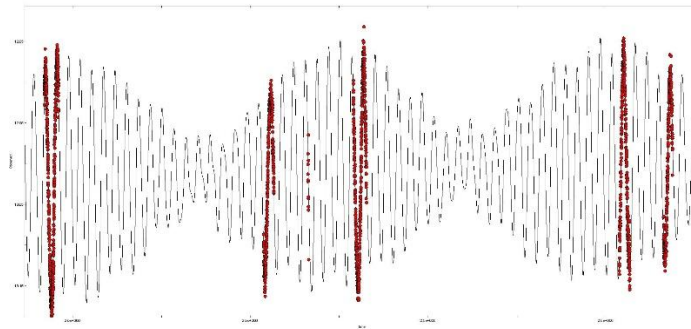


Curva de luz y cálculo del máximo de una estrella RR Lyrae

La siguiente etapa es realizar el análisis de frecuencias aplicando la transformada de Fourier clásica. Esto genera diagramas de frecuencias que, sin entrar en detalles ahora, complican el proceso. Ahora, vamos a analizar un caso concreto que ilustra cómo avanzamos más allá de la curva de luz. Este ejemplo es especialmente relevante porque el resultado final fue sorprendente. Todo comenzó cuando nuestra compañera Mercè estaba revisando el catálogo ASAS (creo recordar que buscaba estrellas Delta Scuti de amplitud pequeña). Al encontrarse

con esta estrella, catalogada inicialmente como RR de tipo C —que suelen tener curvas muy sinusoidales—, algo le llamó la atención y decidió observarla.

Con su telescopio, obtuvo 3.619 puntos en 11 noches. Nuestro colega Matteo Monelli, del Instituto de Astrofísica de Canarias (IAC), usando el telescopio IAC 80, añadió 146 puntos en dos noches más. Tras este primer análisis, aplicamos la transformada de Fourier utilizando el programa *Período 04*. Este software, aunque árido de manejar proporciona datos valiosos para análisis profundos.



Ajuste Fourier

	c/d	amplitude	phase	snr	
f0	3.760854534	0.09128077	0.12533634	152.6	(0.26589701 d/c)
f1	3.926499311	0.05046696	0.60477926	86.5	
f2	0.032560503	0.01016672	0.62206268	12.1	
f3	7.520493591	0.00734914	0.94936243	13.8	2f0
f4	1.012833219	0.01030217	0.19623352	12.7	

Análisis de frecuencias

Al iniciarse en el análisis de frecuencias, lo habitual es fijarse en la frecuencia principal, su amplitud (coeficiente que multiplica la función seno) y la relación señal-ruido (SNR). Normalmente, el SNR disminuye rápidamente, y existe una regla empírica no demostrable: cuando el SNR está entre 4 y 5, las frecuencias subsiguientes carecen de valor significativo. En este caso, paramos aquí porque la amplitud era casi diez veces menor que la frecuencia fundamental (la que define el período).

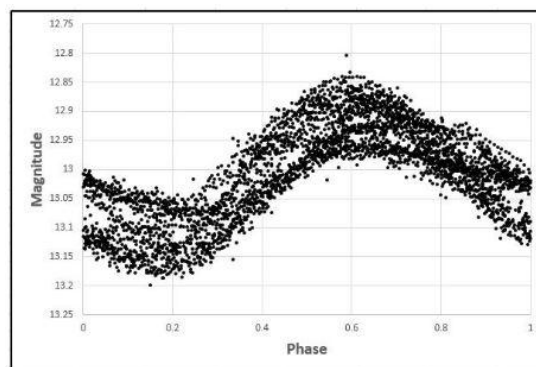


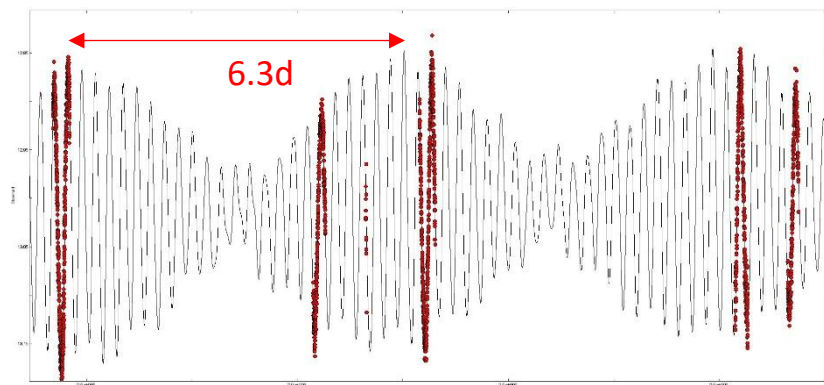
Diagrama de fase

Al representar el diagrama de fase usando esta frecuencia fundamental (f_0), se aprecia claramente que la estrella es multiperódica o presenta modulación de frecuencia. Además, al graficar solo una parte de las observaciones con la curva sinusoidal ajustada, se nota que no es una simple repetición de senos: hay una contracción y variación en la amplitud, lo que indica algo inusual.

Al profundizar, descubrimos una segunda frecuencia muy cercana a la primera (un "doblete"). La separación entre frecuencias correspondía a un período de aproximadamente seis días.

$$f_1 - f_0 = 0.165645 \quad (6.037015 \text{ d/c})$$

Al medir la diferencia entre puntos máximos en la gráfica, obtuvimos 6.3 días, confirmando la presencia de este período adicional.



Vista parcial del ajuste Fourier mostrando el segundo período

Para validarlo, Mercedes calculó las diferencias "Observado-Calculado" (O-C) de cada máximo. Al graficar estas diferencias usando el período de seis días, apareció una variación senoidal clara, confirmando la importancia de este segundo período.

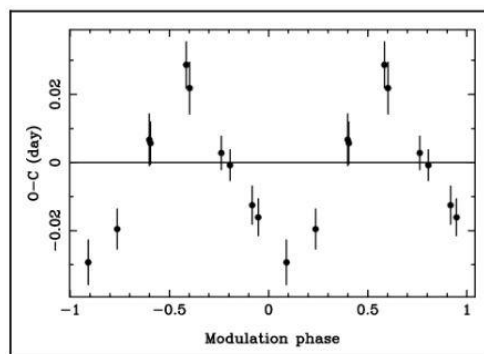
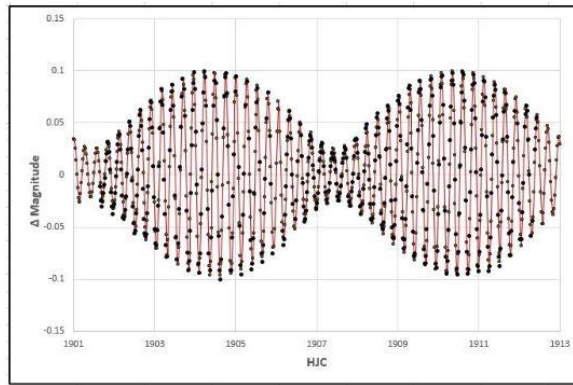


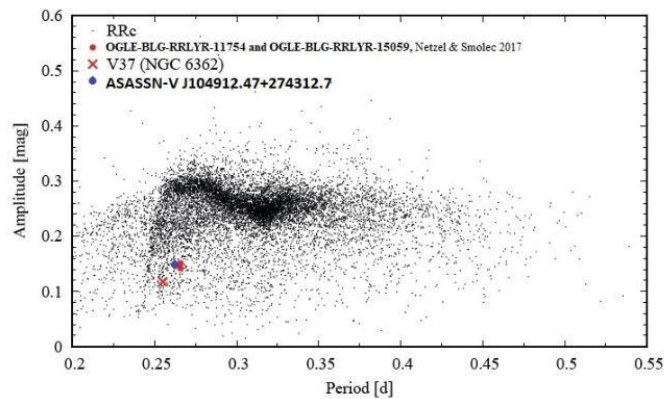
Diagrama de fase O-C

Para refinar el análisis, recurrimos a datos del telescopio TESS, que proporciona observaciones casi continuas (sin brechas por día/noche o nubes). Con solo 897 puntos de TESS, obtuvimos más información que con los 4,000 puntos previos. El análisis mostró frecuencias armónicas y combinaciones como $f_0 + f_1$, $f_0 - f_1$, etc., con una relación de períodos (P_1/P_0) de 0.9578, muy distinta de las RRC típicas (0.61–0.68) o las RRD (0.75).

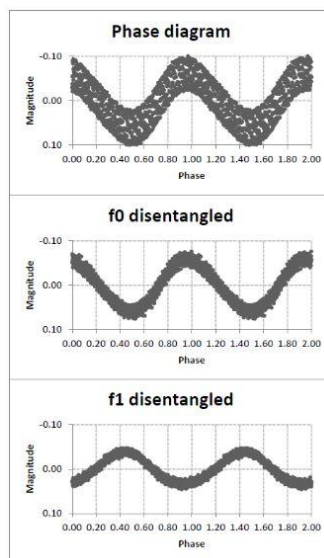


Ajuste Fourier con los datos de TESS

Consultamos al grupo GEOS, y Ennio Poretti, experto en variables pulsantes, sugirió que habíamos hallado una estrella similar a otras tres identificadas recientemente, con relaciones de período atípicas que podrían indicar una nueva subclase de RRC. Al ubicar nuestra estrella en un gráfico con estrellas tipo RRc, coincidió con estas excepciones (puntos rojos, nuestra estrella punto azul), respaldando la hipótesis.



Finalmente, al aislar las frecuencias f_0 y f_1 , vimos que f_0 producía una curva sinusoidal típica de RRC, mientras f_1 mostraba una ligera asimetría (subida más lenta que la bajada).



Diagramas de fase con los datos de TESS

La interacción entre ambas frecuencias generaba un “beating” (pulsación), donde la amplitud variaba al interferir las ondas (sin ser una modulación clásica).

El resumen del proceso es el siguiente:

1. Obtención de imágenes
2. Obtención de la curva de luz
3. Cálculo de máximos, O-C, diagrama de fase
4. Espectro de frecuencias, período fundamental
5. Análisis de las interacciones entre frecuencias
6. Cuantificación de modificaciones de la curva de luz

¿Cuál será el próximo paso? Ya veremos, os lo contaré en la próxima convención.