



# Estudio espectroscópico de dos variables $\beta$ Cephei: CD-46 4639 y HD 117357

A.F. Torres<sup>1,2</sup>, L. Áreas Zavala<sup>3</sup>, L.S. Cidale<sup>1,2</sup>, C. Quiroga<sup>1,2</sup> & M.L. Arias<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina

<sup>2</sup> Departamento de Espectroscopía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina

<sup>3</sup> Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Nicaragua

Contacto / atorres@fcaglp.unlp.edu.ar

**Resumen** / Las variables  $\beta$  Cephei son estrellas con tipos espectrales O y B que exhiben variaciones fotométricas, en velocidad radial y en los perfiles de las líneas producidas por pulsaciones correspondientes a modos de presión y gravedad de bajo orden radial. Estas estrellas, por lo tanto, son excelentes candidatas para realizar estudios astrosismológicos. En este trabajo, presentamos un estudio espectroscópico de dos estrellas muy poco estudiadas: CD-46 4639 y HD 117357. Ambas estrellas presentan variaciones espectrales y anomalías en las intensidades de las líneas de He. La estrella HD 117357 es una estrella Be que presenta dos períodos fotométricos cortos de  $\approx 0.15$  y  $\approx 0.48$  días, y CD-46 4639 es una estrella variable rica en He. Los espectros fueron tomados con el espectrógrafo REOSC en dispersión cruzada, instalado en el telescopio Jorge Sahade del Complejo Astronómico el Leoncito (CASLEO). En este trabajo buscamos variaciones de período medio (de algunos días) de las inhomogeneidades químicas y discutimos si las mismas presentan modulaciones rotacionales o revelan efectos de binaridad.

**Abstract** / The  $\beta$  Cephei variables are OB-type stars that exhibit photometric, radial velocity and line profiles variations originated by pressure and gravity modes of low radial order pulsations. These stars, therefore, are excellent candidates for astroseismological studies. In this work, we present a spectroscopic study of two poorly studied stars: CD-46 4639 and HD 117357. Both stars show spectral variations and intensity anomalies in their He lines. The star HD 117357 is a Be star with two short-term photometric periods of  $\approx 0.15$  and  $\approx 0.48$  days, and CD-46 4639 is a He-rich variable star. The spectra were taken with the REOSC spectrograph attached to the Jorge Sahade telescope at the Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO). In this work, we search for mid-term variations (of a few days) of chemical inhomogeneities and discuss if they are affected by rotational modulation or binarity effects.

**Keywords** / stars: early-type — stars: chemically peculiar — stars: variables: general

## 1. Introducción

Las estrellas variables  $\beta$  Cephei exhiben variaciones fotométricas con amplitudes de 0.01 a 0.03 mag con períodos de 0.1 a 0.6 días. Dichas variaciones son producidas por modos de oscilación de presión y de gravedad de bajo orden radial. Estas estrellas, por lo tanto, son excelentes candidatas para realizar estudios astrosismológicos.

Algunas de estas estrellas fueron clasificadas como ricas en He (*He-rich stars*) por presentar líneas de He muy intensas para su tipo espectral. El enriquecimiento de He en la atmósfera puede ser explicado por un simple proceso de difusión atómica combinado con la pérdida de masa producida por un viento estelar (Vauclair, 1975) o por la presencia de un intenso campo magnético (Bailey et al., 2014). Se ha encontrado que las anomalías químicas se correlacionan con los parámetros estelares; en particular, en las estrellas ricas en He, se observa que tanto el He como el N correlacionan con  $T_{\text{eff}}$ , mientras que el He, C, N y O correlacionan con  $\log g$  (Ghazaryan et al., 2019). Desafortunadamente poco se conoce acerca de cuál es la influencia de la multiplicidad, la rotación y el magnetismo sobre las anomalías químicas observadas

(Budaj, 1999; Hubrig et al., 2006; Quiroga et al., 2010).

Las dos estrellas seleccionadas para este trabajo presentan las líneas de He muy intensas y variables. Se busca entonces detectar variaciones espectrales de período medio (del orden de días) y determinar el origen de dichas variaciones.

- CD-46 4639 (ALS 1169;  $\alpha = 08:49:39.67$ ,  $\delta = -46:50:53.16$ ): Es una estrella variable tipo  $\beta$  Cephei de magnitud  $V = 10.05$ . Groote et al. (1982) reportaron variaciones en las líneas de H y He. El análisis espectroscópico realizado por estos autores revela una sobreabundancia de He y deficiencias de O (en un factor 10), de Si y de Mg. Los parámetros estelares derivados están entre  $T_{\text{eff}} = 22000$  K,  $\log g = 4.52$ ,  $V_{\text{sen } i} = 80 \text{ km s}^{-1}$  (Ghazaryan et al., 2019) y  $T_{\text{eff}} = 26000$  K,  $\log g = 3.95$ ,  $V_{\text{sen } i} = 60 \text{ km s}^{-1}$  (Groote et al., 1982). La estrella tiene un período fotométrico de corta duración de 0.126 d con una amplitud de 0.7 mmag (Labadie-Bartz et al., 2020).
- HD 117357 (ALS 3103;  $\alpha = 13:31:15.49$ ,  $\delta = -61:43:57.43$ ): Es una estrella  $\beta$  Cephei O9.5/B0 (Houk & Cowley, 1975) con una magnitud  $V = 9.1$ . El análisis de los datos ASAS-3 revela dos períodos

de 0.15291 d y 0.48052 d (Pigulski & Pojmański, 2008). Presenta emisiones variables en las líneas de H (Wiegert & Garrison, 1998), polarización circular y un campo magnético medio longitudinal de  $125 \pm 104$  G (Bagnulo et al., 2015).

## 2. Metodología

Los espectros ópticos (3300-5600 Å) de CD-46 4639 y HD 117357 fueron adquiridos entre el 2005 y 2007 con el telescopio Jorge Sahade en el Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO, San Juan, Argentina) utilizando el espectrógrafo REOSC en dispersión cruzada. Empleamos la cámara CCD Tek 1024 × 1024, la red de  $400 \text{ mm}^{-1}$  y fijamos el ancho de la ranura en  $250 \mu\text{m}$ . Los espectros analizados tienen una relación  $S/R = 100$  y el poder resolvente alcanzado en la región azul del espectro es  $R = 12500$ .

Determinamos anchos equivalentes (EWs) y velocidades radiales (VRs) para las líneas de H I, He I y metales, usando los ajustes Gaussianos disponibles en las tareas de IRAF\*. Para la determinación de los períodos se utilizó el método de Lomb-Scargle (Horne & Baliunas, 1986).

## 3. Resultados

CD-46 4639 presenta variaciones de EW y de velocidad radial en las líneas de H I y He I. En la Tabla 1 se lista a modo de ejemplo las velocidades radiales y los anchos equivalentes de algunas de las líneas de He I. En el panel superior de la Fig. 1 se muestra el cambio en forma e intensidad de la línea de He I  $\lambda 4471$ . Los espectros fueron normalizados y desplazados arbitrariamente para una mejor visualización. La Fig. 2 muestra las variaciones en velocidad radial detectadas en las líneas H  $\beta$  y H  $\gamma$  (panel izquierdo) y He I  $\lambda 4144$ ,  $\lambda 4388$  y  $\lambda 4471$  (panel derecho) con la fase. Del análisis de estas observaciones determinamos un período de 3.004 días. Los anchos equivalentes de la mayoría de las líneas de CD-46 4639 varían con el mismo período. Sin embargo, algunas líneas metálicas presentan variaciones con períodos algo diferentes que oscilan entre los 2.5 y 3.5 días.

Las variaciones observadas pueden atribuirse a un movimiento binario. Si consideramos una solución circular y que la semi-amplitud de la curva de velocidad radial es  $22 \text{ km s}^{-1}$  entonces determinamos que la función de masa del sistema es 0.0033 masas solares. Esta función de masa es compatible con una compañera de secuencia principal no visible en el espectro, considerando que la masa estelar de la componente primaria es 3.7 masas solares (Groote et al., 1982). Un período orbital de 3.004 días sugiere una posible sincronización espín-órbita, dado que sería similar al período de rotación de la estrella, como ya se ha observado en algunos sistemas binarios Ap/Am y He-weak (cf. Noels et al., 2004;

\*IRAF is distributed by the National Optical Astronomy Observatory, which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy (AURA) under cooperative agreement with the National Science Foundation.

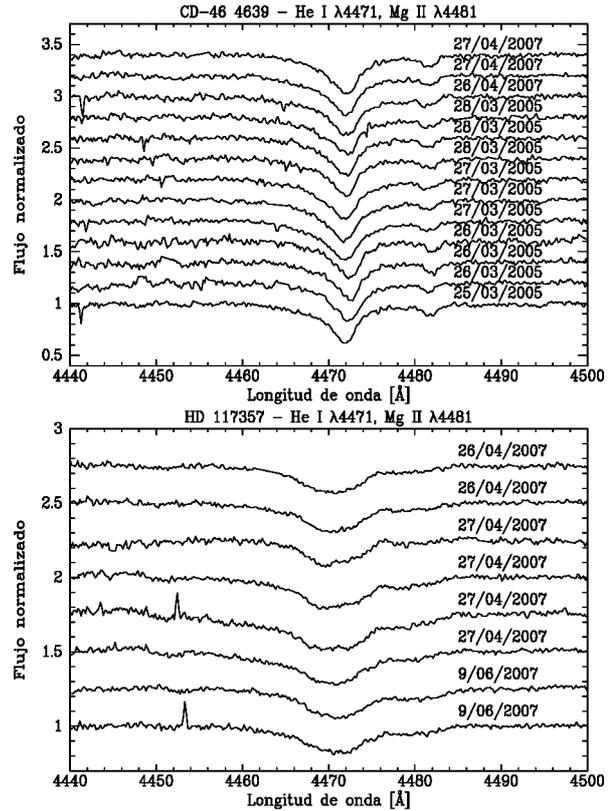


Figura 1: Variaciones espectrales observadas en las líneas de He I y Mg II. *Panel superior:* CD-46 4639. *Panel inferior:* HD 117357.

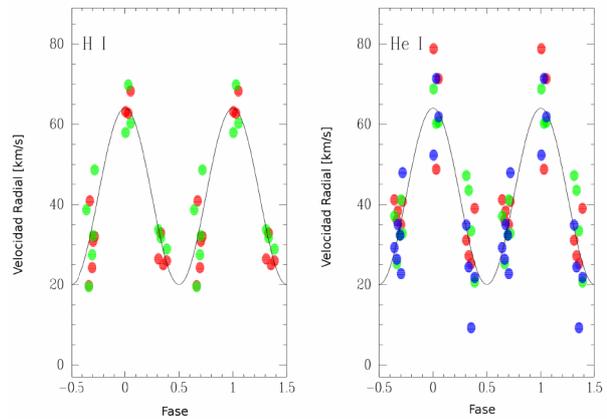


Figura 2: CD-46 4639: Variaciones en velocidad radial en función de la fase. *Panel izquierdo:* para las líneas de H I. Los símbolos rojos y verdes representan las VRs medidas para las líneas H  $\beta$  y H  $\gamma$ , respectivamente. *Panel derecho:* idem para las líneas de He I. Los círculos rojos, verdes y azules indican las VRs medidas para las líneas He I  $\lambda 4144$ ,  $\lambda 4388$  y  $\lambda 4471$ , respectivamente.

Quiroga et al., 2010). Este escenario es también compatible con la presencia de manchas cuya variación está modulada por la rotación. Si las manchas de los diferentes elementos químicos se forman a distintas latitudes

Tabla 1: CD-46 4639: mediciones de velocidades radiales (RVs) y anchos equivalentes (EWs) de las líneas de He I

Fecha	JD 2 450 000 +	He I RVs [km s <sup>-1</sup> ]			He I EWs [Å]		
		λ4144	λ4388	λ4471	λ4144	λ4388	λ4471
2005-03-25	3 455.622	34.9	41.1	22.8	1.04	1.00	1.34
2005-03-26	3 456.529	78.8	68.8	52.3	1.18	0.98	1.23
2005-03-26	3 456.603	48.8	60.3	71.4	0.80	1.00	1.41
2005-03-26	3 456.668	71.4	60.6	61.9	1.00	0.90	1.37
2005-03-27	3 457.510	27.2	43.5	24.4	1.25	1.24	1.66
2005-03-27	3 457.577	25.3	33.4	9.3	1.53	1.74	1.84
2005-03-27	3 457.675	39.0	20.6	21.8	1.20	1.39	1.65
2005-03-28	3 458.535	38.4	–	35.0	1.08	–	1.45
2005-03-28	3 458.599	–	32.4	32.4	–	0.94	1.64
2005-03-28	3 458.669	40.8	32.8	47.9	1.19	0.96	1.62
2007-04-26	4 217.480	31.1	47.2	34.9	0.91	1.01	1.41
2007-04-27	4 218.478	41.2	37.1	29.3	1.06	0.92	2.13
2007-04-27	4 218.547	36.1	25.2	26.3	1.40	1.25	1.82

Tabla 2: HD 117357: mediciones de velocidades radiales (RVs) y anchos equivalentes (EWs) de las líneas de He I λ4471 y Mg II λ4481

Fecha	JD 2 450 000 +	VRs [km s <sup>-1</sup> ]		EWs [Å]	
		He I λ4471	Mg II λ4481	He I λ4471	Mg II λ4481
2007-04-26	4 217.598	-66.07	-76.45	1.53	0.19
2007-04-26	4 217.732	-73.65	-79.32	1.62	0.16
2007-04-26	4 217.797	-70.5	–	1.27	0.21
2007-04-27	4 218.585	-65.70	–	1.92	0.24
2007-04-27	4 218.682	-65.86	-68.87	2.23	0.25
2007-04-27	4 218.775	-88.80	-77.03	1.96	0.09
2007-06-09	4 261.476	-53.63	-43.98	1.65	0.36
2007-06-09	4 261.610	-58.53	-70.96	1.52	0.19

entonces las discrepancias en los períodos medidos para las variaciones de los anchos equivalentes podrían revelar que dichas manchas se mueven con velocidades de rotación diferentes (rotación diferencial).

En el panel inferior de la Fig. 1 se muestran las variaciones de la intensidad que presentan las líneas de He I λ4471 y de Mg II λ4481 en HD 117357. Las líneas están muy ensanchadas por la alta rotación estelar. La Tabla 2 lista los valores de VRs y EWs de estas líneas. Estos valores muestran variaciones entre  $-50 \text{ km s}^{-1}$  y  $-80 \text{ km s}^{-1}$  que contrastan con las velocidades radiales determinadas para la línea Hβ que se encuentra en el rango de  $-25 \text{ km s}^{-1}$  y  $-50 \text{ km s}^{-1}$ . Los datos procesados hasta la fecha no nos permiten inferir el período de variación. Se planea adquirir nuevos datos para completar este estudio.

*Agradecimientos:* LSC agradece el financiamiento otorgado por CONICET (PIP 0177) y FONCyT (PICT 2016-1971). MLA agradece el financiamiento otorgado por la Universidad Nacional de La Plata (11/G160). Este proyecto también ha sido financiado por el Fondo para Proyectos de Investigación (FPI), UNAN-Managua.

## Referencias

- Bagnulo S., et al., 2015, *A&A*, 583, A115  
Bailey J.D., Landstreet J.D., Bagnulo S., 2014, *A&A*, 561, A147  
Budaj J., 1999, *MNRAS*, 310, 419  
Ghazaryan S., Alecian G., Hakobyan A.A., 2019, *MNRAS*, 487, 5922  
Groote D., Kaufmann J.P., Lange A., 1982, *A&AS*, 50, 77  
Horne J.H., Baliunas S.L., 1986, *ApJ*, 302, 757  
Houk N., Cowley A.P., 1975, *University of Michigan Catalogue of two-dimensional spectral types for the HD stars. Volume I. Declinations -90 to -53 degrees*, Ann Arbor: University of Michigan, Department of Astronomy  
Hubrig S., et al., 2006, *MNRAS*, 371, 1953  
Labadie-Bartz J., et al., 2020, *AJ*, 160, 32  
Noels A., Montalbán J., Maceroni C., 2004, J. Zverko, J. Ziznovsky, S.J. Adelman, W.W. Weiss (Eds.), *The A-Star Puzzle*, vol. 224, 47–57  
Pigulski A., Pojmański G., 2008, *A&A*, 477, 917  
Quiroga C., Torres A.F., Cidale L.S., 2010, *A&A*, 521, A75  
Vauclair S., 1975, *A&A*, 45, 233  
Wiegert P., Garrison R.F., 1998, *JRASC*, 92, 134