



Propiedades fotométricas de las estrellas variables Bn

L. Areas Zavala¹ & L. Cidale^{2,3}

¹ Área del Conocimiento de Ciencias Básicas y Tecnología, UNAN-Managua, Nicaragua.

² Departamento de Espectroscopía, Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP, Argentina.

³ Instituto de Astrofísica de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina.

Received: 15 November 2025 / Accepted: 13 January 2026

©The Authors 2026

Resumen / El propósito de este estudio es detectar variabilidad en las curvas de luz de una muestra seleccionada de estrellas Bn. Se analizaron sus propiedades fotométricas a partir de las curvas de luz obtenidas por el Satélite *TESS* (*Transiting Exoplanet Survey Satellite*). Además, se estudiaron las variaciones de brillo para identificar tipos de variabilidad, incluyendo estrellas binarias eclipsantes, pulsantes y modulación por rotación. Se presenta un análisis preliminar para HD 560, HD 21364, HD 26676, HD 26793 y HD 183537, discutiendo las frecuencias dominantes y los parámetros fotométricos asociados. En particular, se discute la incidencia de la rotación estelar sobre la forma de la curva de luz y su posible relación con la formación de discos circunestelares no detectados. Asimismo, se reflexiona sobre la relación evolutiva entre las estrellas Bn y Be y su posible transición a través de mecanismos como pulsaciones, interacción binaria o la evolución rotacional.

Abstract / The purpose of this study is to detect variability in the light curves of a selected sample of Bn stars. The photometric properties are analyzed based on their light curves obtained from observations made by the Transiting Exoplanet Survey Satellite (*TESS*). In addition, brightness variations over time are examined to identify different types of variability, including eclipsing binary stars, pulsating stars, and rotational modulation. Preliminary analyses are presented for HD 560, HD 21364, HD 26676, HD 26793, and HD 183537, discussing dominant frequencies and associated photometric parameters. In particular, the influence of stellar rotation on the shape of the light curve and its possible connection to the formation of undetected circumstellar disks is discussed. Furthermore, the evolutionary relationship between Bn and Be stars is considered, as well as their possible transition through mechanisms such as pulsations, binary interaction, or rotational evolution.

Keywords / stars: early-type — stars: variables: general — stars: individual (HD 560, HD 21364, HD 26676, HD 26793, HD 183537)

1. Introducción

Las estrellas B son estrellas calientes con temperaturas superficiales entre 10 000 K y 30 000 K. Entre estas estrellas, tenemos las estrellas Be. Estas estrellas se caracterizan por su rápida rotación y por la presencia de líneas en emisión, principalmente H α , originadas en un disco circunestelar de decreción (ver Porter & Rivinius, 2003; Rivinius et al., 2013). Se acepta generalmente que dicho disco está formado por material eyectado desde la superficie estelar a través de una combinación de procesos rotacionales, pulsacionales y radiativos. Este disco, esencialmente en rotación Kepleriana contribuye a la variabilidad fotométrica y espectroscópica característica de las estrellas Be.

Entre los rotadores rápidos del tipo espectral B también se encuentran las estrellas Bn y Bnn (Adams & Joy, 1923). Estas estrellas, de tipos espectrales más tardíos que B7 (Cochetti et al., 2020), muestran líneas de absorción notablemente ensanchadas y poco profundas (tipo "nebular"), resultado de una rotación extremadamente alta, cercana a la velocidad crítica. Dicho ensanchamiento rotacional es más marcado en las estrellas Bnn produciendo perfiles de líneas aún más borrosos y muy poco profundos. A diferencia de las estrellas

Be, las Bn/Bnn no presentan líneas de emisión. Una explicación posible es que, debido a su menor temperatura superficial, el gas circundante permanece mayoritariamente neutro, lo que reduce significativamente la probabilidad de producir líneas de emisión por procesos de recombinación (Cochetti et al., 2015). Las estrellas Bn pueden exhibir una segunda discontinuidad de Balmer en absorción, similar a la observada en las estrellas Be de tipos espectrales más tardíos. La primera discontinuidad de Balmer refleja los procesos ligado-libre propios de la fotosfera. En cambio, la segunda discontinuidad, desplazada hacia el azul, se origina en una región de menor presión de gas (Barbier & Chalonge, 1941; Divan, 1979; Aidelman et al., 2012). Esta segunda discontinuidad suele asociarse en las estrellas B a la presencia de una envoltura circunestelar de baja densidad, aún en ausencia de líneas de emisión claramente detectables (Cochetti et al., 2020; Aidelman et al., 2018).

Las estrellas de tipo espectral B muestran, además, variabilidad fotométrica y espectroscópica asociada a distintos tipos de pulsaciones no radiales. Dependiendo de su masa, temperatura efectiva y ubicación en el diagrama HR, estas estrellas pueden presentar pulsaciones de modo *p* (presión) o modo *g* (gravedad), o bien una combinación de ambas (Saio, 1993). En particular, en

las estrellas Be y Bn, las pulsaciones pueden interactuar con los efectos centrífugos y de mezcla inducida por rotación, dando lugar a patrones de variabilidad más complejos y a un espectro más rico de modos de oscilación. En algunos casos, las pulsaciones pueden incluso desempeñar un papel fundamental en la eyección de masa.

Entre los principales grupos de estrella B pulsantes se encuentran las β Cephei, caracterizadas por modos p excitados por el mecanismo κ en la zona de ionización parcial del hierro, y las SPB (Slowly Pulsating B-stars), que presentan modos g de baja frecuencia originados por el mismo mecanismo de opacidad (Gautschi & Saio, 1993). Estas últimas son estrellas de la secuencia principal, con temperaturas efectivas entre 22000 K y 11000 K y tipos espectrales entre B2 y B9. Presentan variaciones con períodos que varían entre 0.3 y 5.0 días siendo pulsadores multiperiodicos (De Cat, 2007). Aunque se han identificado estrellas SPB de rotación rápida, la mayoría muestra velocidades de rotación moderadas, también existen casos de rotadores extremadamente lentos, como KIC 10526294, con período de rotación de alrededor de ≈ 188 días (Pápics et al., 2014). Esta característica es interesante, debido a que las estrellas B típicamente presentan velocidades proyectadas ($v \sin i$) superiores a 100 km s^{-1} , lo cual favorece fenómenos de circulación meridional y pérdida de masa (Abt et al., 2002; Dolginov & Urpin, 1983).

El satélite *Transiting Exoplanet Survey Satellite* (TESS) es un observatorio espacial de la NASA lanzado en 2018 para descubrir exoplanetas. Tiene un desplazamiento orbital muy excéntrico alrededor de la Tierra que dura aproximadamente 13.7 días. Recoge la luz de las estrellas en un campo de $24^\circ \times 24^\circ$. Realiza exposiciones de 2 minutos de cadencia para estrellas brillantes y de 30 minutos para estrellas más débiles.

2. Metodología

Se seleccionó una muestra de estrellas Bn del trabajo de Cochetti et al. (2020). Para el estudio de la variabilidad fotométrica se emplearon las curvas de luz provistas por la misión TESS. Para ello, se utilizaron datos PDCSAP (*Presearch Data Conditioning Simple Aperture Photometry*), que corresponden a la fotometría corregida por tendencias instrumentales y sistemáticas. Los datos fueron previamente convertidos a magnitudes. El análisis de las curvas de luz se llevó a cabo utilizando el software PERIOD04 (Lenz & Breger, 2005), que permite el ajuste simultáneo de múltiples frecuencias de series temporales. Se calculó primero el espectro de amplitud mediante un análisis de Fourier discreto para identificar las frecuencias dominantes. Posteriormente, se aplicó un proceso iterativo de *prewhitening*, ajustando y sustrayendo las diferentes frecuencias. Este procedimiento se repitió hasta que no se identificaron picos significativos por encima del nivel de ruido. El ajuste final se realizó mediante un análisis multifrecuencial por mínimos cuadrados empleando todas las frecuencias detectadas. La significancia estadística de cada frecuencia se evaluó adoptando como umbral el criterio clásico de señal/ruido, i.e., $S/N > 4$, para garantizar detecciones

Table 1. Parámetros estelares y períodos detectados.

ID	$T.E$	m_v [mag]	D [pc]	P [d]	Amp [mmag]
HD 560	B9 V	5.5	90.0	2.059	1.93
HD 21364	B9 V	3.7	59.5	7.146	70.00
HD 26676	B8 Vn	6.2	144.2	2.123	1.30
HD 26793	B9 Vn	5.2	130.2	0.533	0.15
HD 183537	B5 Vn	6.3	279.3	7.441	0.15

confiables.

3. Resultados

En este trabajo se analizaron 5 estrellas Bn de la muestra de Cochetti et al. (2020). Los parámetros de cada estrella, tipo espectral ($T.E$), magnitud visual (m_v) y distancia (d) se presentan en la Tabla 1, junto con los períodos detectados en este trabajo.

HD 560 (34 Psc) es usada como calibrador de datos interferométricos. Del análisis de la curva de luz de TESS (Fig. 1, *panel superior*) se detecta un modo de oscilación con un período $P_1 = 2.059 \text{ d}$ ($f_1 = 0.488 \text{ d}^{-1}$) y una amplitud de 1.93 mmag (según muestra el periodograma de la Fig. 1, *panel inferior*), y su segundo armónico. Este resultado es consistente con pulsaciones no radiales por ondas de gravedad (modo g) observadas típicamente en estrellas SPB.

HD 21364 (Xi Tau) es una binaria eclipsante en un sistema cuádruple jerárquico (Nemravová et al., 2013). El periodograma revela una frecuencia dominante en $f_1 = 0.560 \text{ c/día}$ que se corresponde con un submúltiplo del período orbital, $P_{\text{orb}} = 7.146 \text{ días}$ ($f_{\text{orb}} = 0.140 \text{ c/día}$). En el análisis aparece otra oscilación con $P = 0.708 \text{ días}$ ($f = 1.412 \text{ c/día}$), que modula la oscilación de baja amplitud presente en la Fig. 2 que podría estar asociada con pulsaciones de modo p .

HD 26676 está situada a una distancia de $d \approx 140 \text{ pc}$, inmersa en una nebulosa de reflexión. El análisis fotométrico revela oscilaciones periódicas de 2.123 d ($f_1 = 0.471 \text{ d}^{-1}$), consistentes con pulsaciones de modo g . La curva de luz muestra variaciones con una amplitud de 1.3 mmag, indicativas de pulsaciones no radiales del tipo SPB (ver Fig. 3). Se detecta otro período de 0.327 d ($f_2 = 3.043 \text{ d}^{-1}$), de menor amplitud, posiblemente asociado a pulsaciones no radiales de tipo p (modo de presión).

HD 26793 presenta una segunda discontinuidad de Balmer (Cochetti et al., 2020). Esta estrella muestra variaciones de luz con una amplitud de 0.15 mmag. Se detecta un período $P_1 = 0.533 \text{ d}$ ($f_1 = 1.876 \text{ d}^{-1}$) y su segundo armónico, vinculado a pulsaciones no radiales de modo p (ondas de presión, Fig. 4). Clasificamos a la estrella como una variable de tipo SPB.

HD 183537 (7 Vul). Es un sistema estelar binario SB1 que presenta una estrella Be. Su compañera es una

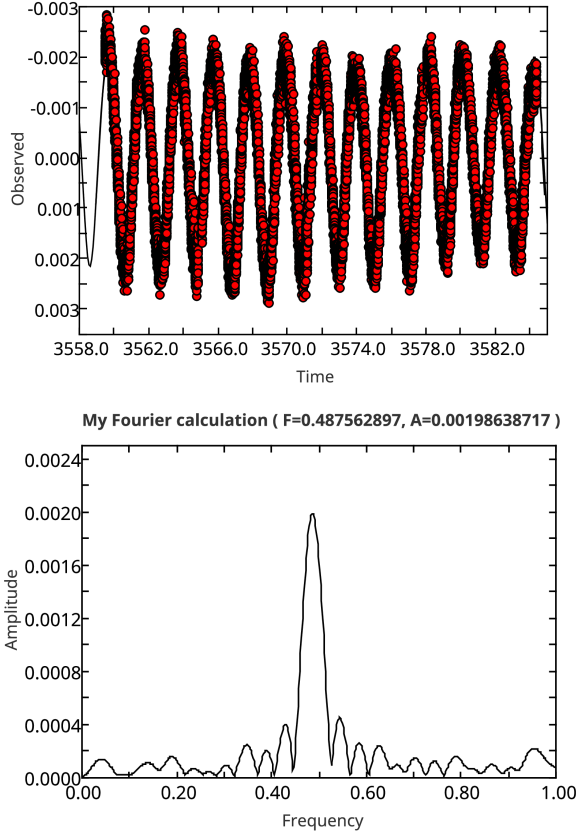


Fig. 1. Análisis fotométrico de HD 560. *Panel superior:* Curva de luz observada por TESS (en rojo) y ajuste teórico correspondiente (en gris). *Panel inferior:* Periodograma que muestra el primer armónico detectado.

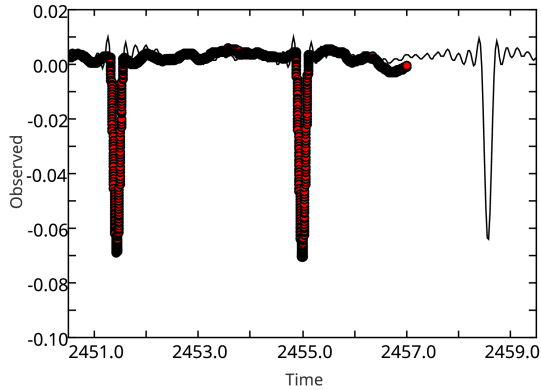


Fig. 2. HD 21364: curva de luz de TESS (en rojo) y ajuste teórico correspondiente (en gris).

subenana caliente con un período orbital de 69.4 d (Harmanec et al., 2020). El objeto muestra también evidencia de una segunda discontinuidad de Balmer (Cochetti et al., 2020). El análisis del periodograma revela una frecuencia dominante de $f_1 = 0.134 \text{ d}^{-1}$ ($P = 7.441 \text{ d}$). El sistema tiene una velocidad radial de -38 km/s . Se observa un fenómeno de batido.

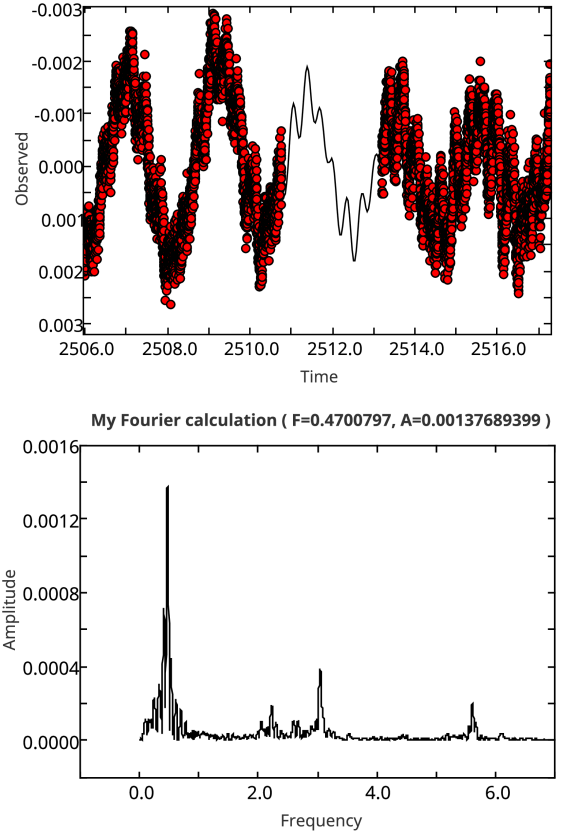


Fig. 3. Análisis fotométrico de HD 26676. *Panel superior:* curva de luz de TESS (en rojo) y ajuste teórico correspondiente (en gris). *Panel inferior:* Periodograma.

4. Conclusiones

Estos resultados preliminares evidencian una diversidad en los patrones de variabilidad de las estrellas Bn. Encontramos que, en general, las estrellas pulsan con modos de gravedad (excepto HD 26793) y presentan curvas de luz tipo SPB. Asimismo, aquellas que muestran una segunda discontinuidad de Balmer, indicativa de la presencia de una envoltura circunestelar, son las que presentan la menor amplitud de variación fotométrica. La muestra analizada presenta un sistema binario eclipsante (HD 21364) que pesenta una pulsación de modo p.

Este estudio contribuirá a comprender mejor la relación entre las estrellas Bn y Be, así como el papel de la rápida rotación y la binaridad en la formación de estructuras circunestelares.

Acknowledgements: Este proyecto está financiado por la Unión Europea (Proyecto 101183150 - OCEANS). L.A-Z agradece a la FCAG-UNLP y al Programa de Doctorado en Astronomía por el apoyo institucional.

References

- Abt H.A., Levato H., Grosso M., 2002, ApJ, 573, 359
- Adams W.S., Joy A.H., 1923, PASP, 35, 120
- Aidelman Y., et al., 2012, A&A, 544, A64

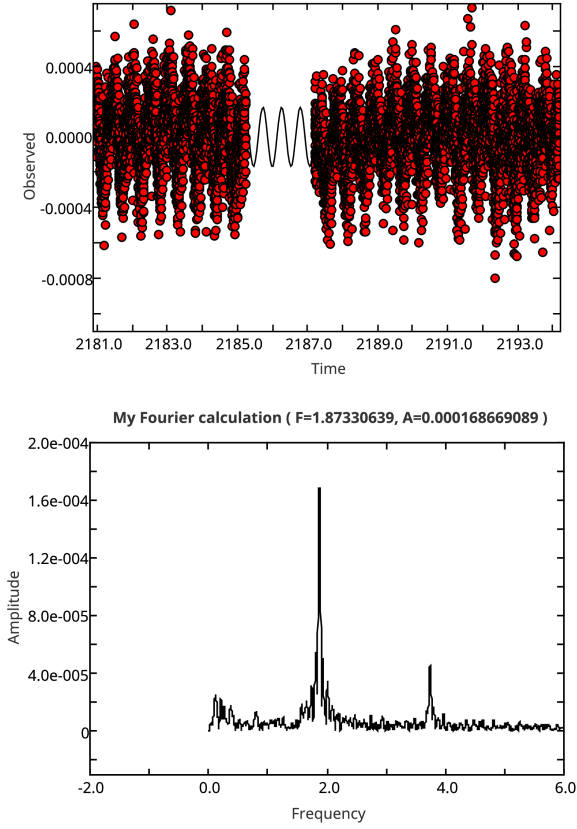


Fig. 4. Análisis fotométrico de HD 26793. *Panel superior:* curva de luz de *TESS* (en rojo) y ajuste teórico correspondiente (en gris). *Panel inferior:* Periodograma de la frecuencia fundamental.

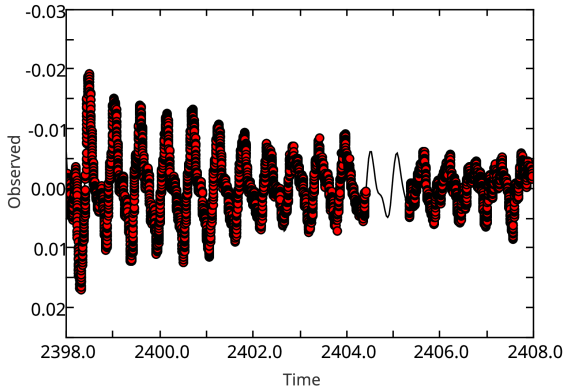


Fig. 5. HD 183537: curva de luz de *TESS* (en rojo) y ajuste teórico correspondiente (en gris).

- Aidelman Y., et al., 2018, A&A, 610, A30
 Barbier D., Chalonge D., 1941, Annales d'Astrophysique, 4, 30
 Cochetti Y.R., et al., 2015, Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía La Plata Argentina, 57, 108
 Cochetti Y.R., et al., 2020, A&A, 634, A18
 De Cat P., 2007, Communications in Asteroseismology, 150, 167
 Divan L., 1979, M.F. McCarthy, A.G.D. Philip, G.V. Coyne (Eds.), *IAU Colloquium 47: Spectral Classification of the Future*, vol. 9, 247
 Dolginov A.Z., Urpin V.A., 1983, Ap&SS, 95, 1
 Gautschi A., Saio H., 1993, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 262, 213
 Harmanec P., et al., 2020, A&A, 639, A32
 Lenz P., Breger M., 2005, Communications in Asteroseismology, 146, 53
 Nemravová J.A., et al., 2013, Central European Astrophysical Bulletin, 37, 207
 Pápics P.I., et al., 2014, A&A, 570, A8
 Porter J.M., Rivinius T., 2003, PASP, 115, 1153
 Rivinius T., Carciofi A.C., Martayan C., 2013, A&A Rv, 21, 69
 Saio H., 1993, Ap&SS, 210, 61