

Análisis de observaciones espectroscópicas de dos estrellas supergigantes (HD 161471 y HD 54605): determinación de la velocidad radial

Patricia Rosenzweig^{1*}, Gabriela García Lugo¹, Leidy Peña¹, José Burgos¹
y John Hearnshaw²

¹Grupo de Astrofísica Teórica (GAT), Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. ²Department of Physics and Astronomy, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

Recibido: 09-04-2012 Aceptado: 30-10-2012

Resumen

Se analizaron dos espectros de alta resolución, de las estrellas supergigantes HD 161471 y HD 54605, obtenidos en el año 2003, utilizando un CCD incorporado al espectrógrafo HERCULES, acoplado al telescopio reflector de 1-m del Observatorio Mt. John de la Universidad de Canterbury (Nueva Zelanda); cubriendo la región $\lambda\lambda \sim 3764 - 8549 \text{ \AA}$ distribuida en 46 órdenes, con $R = 41.000$ y una dispersión de $\sim 2 \text{ \AA/mm}$, utilizando una lámpara de Th-Ar. Los mismos fueron reducidos con las sub-rutinas de Starlink y Hercules Reduction Software Package (HRSP), desarrollados en el Departamento de Física y Astronomía, de la Universidad de Canterbury. Con un total de 237 líneas fotosféricas para HD 161471 y 115 para HD 54605, los valores de la velocidad radial promedio derivados son $(-27,1 \pm 0,1) \text{ km/s}$, para la primera estrella, y $(34,3 \pm 0,2) \text{ km/s}$, para la segunda. Respecto a HD 161471, los valores de las velocidades radiales de las líneas de la serie de Balmer son $-14,9 \text{ km/s}$ y $-23,1 \text{ km/s}$, para $H\alpha$ y $H\beta$, respectivamente. Mientras que, para HD 54605, la velocidad radial de la línea $H\beta$ es $38,1 \text{ km/s}$.

Palabras clave: estrellas supergigantes, velocidad radial, líneas fotosféricas, espectroscopia.

Analysis of spectroscopy observation of two supergiants stars (HD 161471 and HD 54605): determination of their radial velocity

Abstract

Two high resolution spectra of the supergiants stars HD 161471 and HD 54605 are analyzed. These spectra were obtained in 2003, using the 1 m reflector telescope of Mt. John Observatory, University of Canterbury (New Zealand). The telescope was equipped with a CCD incorporated in the HERCULES spectrograph. The spectra of both stars cover the region $\lambda\lambda \sim 3764 - 8549 \text{ \AA}$, distributed in 46 orders, with $R = 41,000$, and a dispersion of $\sim 2 \text{ \AA/mm}$, with a Th-Ar lamp. They were reduced with the Starlink sub-routines and Hercules Reduction Soft-

* Autor para la correspondencia: patricia@ula.ve

ware Package (HSRP), developed in the Department of Physics and Astronomy, University of Canterbury. With a total of 237 photospheric lines for HD 161471 and 115 for HD 54605, the mean radial velocity derived are (-27.1 ± 0.1) km/s, for the first star, and (34.3 ± 0.2) km/s, for the second. With respect HD 161471, the radial velocities of the Balmer series are -14.9 km/s and -23.1 km/s, for $H\alpha$ y $H\beta$, respectively. Whereas, for HD 54605, the radial velocity of the $H\beta$ line is 38.1 km/s.

Key words: supergiants stars, radial velocity, photospheric lines, spectroscopy.

1. Introducción

Las estrellas supergigantes se caracterizan por poseer una atmósfera extensa como consecuencia de gravedades superficiales muy bajas y lo que, a su vez, conduce a grandes movimientos turbulentos en sus atmósferas. Tanto la convección, como la radiación, comienzan a ser importantes mecanismos de transporte de energía. Además, debido a su estado evolutivo tardío, presentan inestabilidades. Estas características hacen que estas estrellas presenten variabilidades que se ponen de manifiesto en sus parámetros estelares básicos; entre los cuales se encuentra la velocidad radial. Como parte de un extenso estudio de dicho parámetro (1, 2), en este trabajo se analizan los espectros de alta resolución de HD 161471 y HD 54605.

1.1. Caso HD 161471

Entre las características generales de HD 161471 [$\alpha(2000)$: $17^{\text{h}} 47^{\text{m}} 35^{\text{s}},082$; $\delta(2000)$: $-40^{\circ} 07' 37''$, 19], se puede citar que es una supergigante ubicada en la constelación del Escorpión; por ello, tiene el nombre de ι Scorpii. Se encuentra a una distancia $d \sim 1800$ años luz. Algunos de sus parámetros físicos fundamentales son: $V = +3,01$ (3) y tipo espectral F2Ia (3, 4). Además, hay pocos registros de las líneas de la serie de Balmer; sin embargo, Sowell (5) reporta, no sólo a la línea $H\alpha$, sino también a $H\beta$, ambas con un perfil simétrico.

Para esta estrella, la velocidad radial ha sido reportada en varias ocasiones, a partir de espectros obtenidos con placas fotográficas. Los valores conocidos para la ve-

locidad radial de esta estrella se muestran en la tabla 1; sin embargo, en el Catálogo General de Velocidades Radiales (GCRV, por sus siglas en inglés), se reporta como valor promedio adoptado una velocidad radial de $-27,6$ km/s (6).

Como puede observarse en la tabla 1, los valores registrados de la velocidad radial de HD 161471 son diferentes; probablemente, causado por la baja resolución de las observaciones, por tratarse de placas fotográficas. Sin embargo, cabe la posibilidad de que esta estrella presente variabilidad en su velocidad radial como lo señala Moore (7).

Tabla 1
Valores previos de la velocidad radial de HD 161471.

Vr (km/s)	Referencia
- 27,7	(12)
- 27,8	(15)
- 27,4	(13)
- 30,7	(13)
- 31,7	(13)
- 25,6	(13)
- 25,8	(16)
- $30,8 \pm 1,0$	(14)
- $21,9 \pm 1,7$	(26)

1.2. Caso HD 54605

Se ha determinado que, HD 54605 [$\alpha(2000)$: $07^{\text{h}} 08^{\text{m}} 23^{\text{s}},4$; $\delta(2000)$: $26^{\circ} 23' 35''$, 52] es una estrella variable que se en-

cuentra ubicada en el cúmulo abierto Cr 121 (8), perteneciente a la constelación del Perro Mayor. De acuerdo a su estado evolutivo, es considerada representativa de la RGA y es clasificada como una estrella muy luminosa. Algunos de sus parámetros físicos fundamentales son: $V = + 1,84$; $M_V = - 7,23$ y su tipo espectral F8Ia (9).

Esta estrella también ha sido objeto de varias investigaciones que arrojaron diversos valores para su velocidad radial (6, 10 - 22); sin embargo, en el GCRV se reporta como valor promedio adoptado una velocidad radial de $+ 34,3$ km/s (6). Según algunos estudios previos (13, 23), esta estrella fue clasificada inicialmente como un sistema binario ya que presentaba ciertas variaciones en su velocidad radial y con un período de variabilidad de nueve meses (13). Sin embargo, Buscombe y Morris (17), clasifican a HD 54605 dentro de un grupo de estrellas con velocidad radial constante.

En la Sec. 2 se describe el material observacional analizado en el presente estudio. La Sec. 3 explica los criterios utilizados en la selección de las líneas espectrales y el valor de la velocidad radial promedio de ambas estrellas; así como un análisis de los resultados. Finalmente, en la Sec. 4 se dan las conclusiones del presente estudio.

2. Material Observacional

Se analizó un espectro de HD 161471, que fue obtenido el 8 de agosto de 2003; por su parte, HD 54605 fue observada el 24 de abril de 2003. Ambos espectros fueron obtenidos utilizando un CCD con un arreglo de 1024×1024 píxeles de 23 micrones, acoplado al espectrógrafo HERCULES (High Efficiency and Resolution Canterbury University Large Echelle Spectrograph) (24) de la Universidad de Canterbury, en el telescopio reflector de 1-m Mclellan de tipo Cassegrain y óptica Dall-Kirkham, del Observatorio Mt John (Nueva Zelanda), cubriendo el ran-

go $\lambda \sim 3764 - 8549 \text{ \AA}$, distribuido en 46 órdenes, con $R = 41.000$ y una dispersión de $\sim 2 \text{ \AA/mm}$. Los espectros fueron reducidos utilizando las sub-rutinas de Starlink y Hercules Reduction Software Package (HRSP); desarrollado en el Departamento de Física y Astronomía de la Universidad de Canterbury. Se utilizó una lámpara de Th-Ar para la calibración de la longitud de onda.

3. Resultados y análisis

En los dos espectros analizados, el proceso de selección de las líneas fotosféricas se realizó considerando criterios estándares como el hecho de que la profundidad del centro de la línea debe ser, por lo menos, el 10% del continuo local para que dicha línea no sea catalogada como ruido; y, que la línea debe tener un perfil aproximadamente simétrico.

Más aun, mediante sub-rutinas del Software IRAF (Image Reduction and Analysis Facility), se obtuvo la longitud de onda asociada a cada línea espectral, haciendo una aproximación gaussiana a la línea. Luego, con las longitudes de onda así obtenidas, se identificaron los elementos químicos por medio de la Tabla de Multipletes de Moore (25) y en otras bases de datos en internet tales como los catálogos provistos por el servicio VizieR.** Luego, aplicando el efecto Doppler a cada una de las líneas medidas de los dos espectros, se determinó la velocidad radial para cada una de ellas y se sumó algebraicamente, de manera individual, la corrección heliocéntrica. Posteriormente, se obtuvo la velocidad radial promedio, así como la desviación estándar.

3.1. Caso HD 161471

Luego de un análisis minucioso de los 46 órdenes que comprenden el espectro de HD 161471 y siguiendo los mismos criterios estándares de selección de las líneas fotosféricas, se identificó un total de 237, siendo los elementos más abundantes: FeI, FeII,

** <http://vizier.cfa.harvard.edu/>

TiI, TiII, CrI, CrII, CaI, ScII, YII, VI y VII; de los cuales, el Fe I representa aproximadamente el 26%.

Velocidad radial derivada en el presente estudio

A partir de la velocidad radial calculada para cada una de las 237 líneas fotosféricas identificadas, y luego de aplicar la corrección heliocéntrica a cada una de ellas, se obtuvo la velocidad radial promedio, V_r , así como la desviación estándar: $(-27,1 \pm 0,1)$ km/s. Para el cálculo de V_r , no se incluyeron las líneas $H\alpha$ y $H\beta$ de la serie de Balmer, las cuales fueron tratadas por separado, por cuanto son líneas de resonancia. Este valor de la velocidad radial de HD 161471, se encuentra en el rango de valores obtenidos en los estudios previos (12 - 16, 26).

Líneas $H\alpha$ y $H\beta$ de la serie de Balmer. En las figuras 1 y 2, respectivamente, se observan los perfiles de las líneas $H\alpha$ y $H\beta$ de la estrella HD 161471 en completa absorción y con cierta asimetría. Las velocidades radiales derivadas son $-14,9$ km/s y $-23,1$ km/s, respectivamente, las cuales difieren un poco del valor promedio de la velocidad radial obtenido para las líneas fotosféricas, sugiriendo que en la atmósfera de HD 161471 existen movimientos turbulentos.

Doblete de Na I: Es de hacer notar que, las líneas del doblete de Na I (figura 3) son muy profundas; por lo que, probablemente, son de origen interestelar, lo cual es normal para estrellas distantes de tipo temprano. Debido a esto, puede inferirse que la velocidad radial del medio interestelar involucrado, es diferente a la velocidad radial de la estrella; por ello, no se han calculado las velocidades radiales del doblete de Na I para el análisis de la velocidad radial de HD 161471.

3.2. Caso HD 54605

Con los criterios estándares de selección de líneas fotosféricas anteriormente mencio-

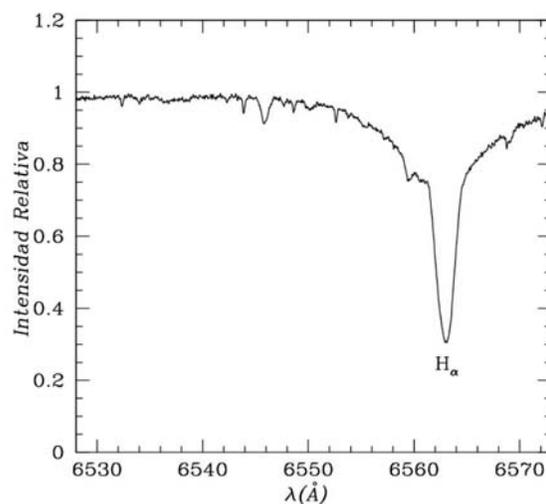


Figura 1. Línea $H\alpha$ de la serie de Balmer observada en el espectro bajo estudio de HD 161471.

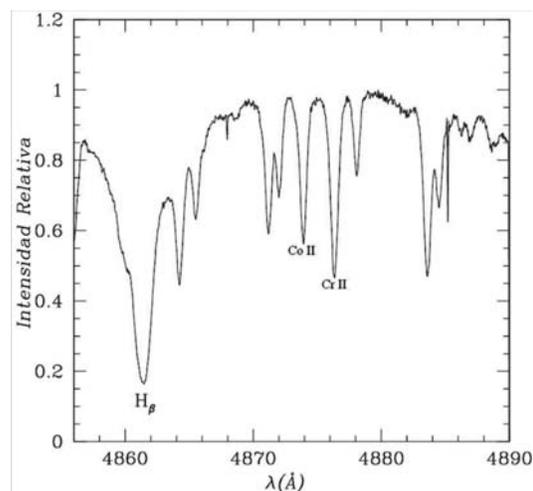


Figura 2. Parte del espectro analizado de HD 161471, donde se observa la línea $H\beta$, junto con las líneas de Co II y Cr II.

nados, se identificó un total de 115 líneas. Las especies atómicas seleccionadas fueron las siguientes: Cr I, Ti I, Sm II, Fe I, Fe II, Ca I, Ce II, Si I, S I, Ni I, Nd II, V I, La II, C I, Zn I, Y I, Y II, Zr II, Cu I, Co I, Sc II; de las cuales, el Fe I representa aproximadamente el 42%.

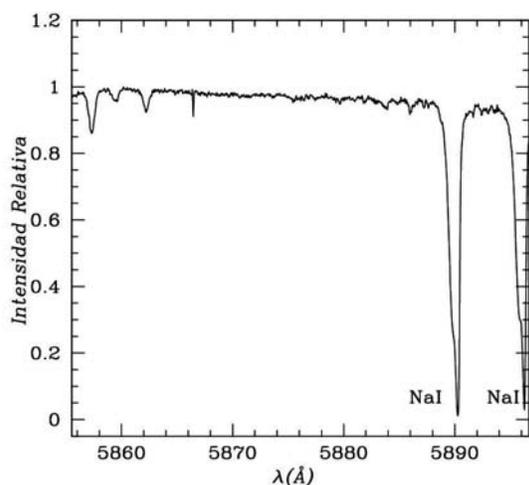


Figura 3. Líneas del doblete de Na I presentes en el espectro de la estrella HD 161471. Por su profundidad, probablemente son de origen interestelar.

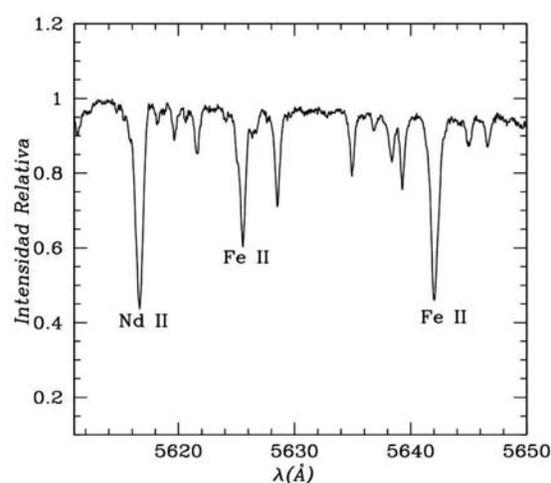


Figura 4. Algunas líneas fotosféricas en absorción, identificadas en el espectro de HD 54605 analizado en el presente trabajo.

3.3. Velocidad radial derivada en el presente estudio

Luego de aplicar la corrección heliocéntrica a cada una de las 115 líneas, se derivó la V_r a través del efecto Doppler, de allí se obtuvo la velocidad radial promedio y la desviación estándar. A partir de todo este proceso, la velocidad radial obtenida para la estrella supergigante HD 54605 es $(34,3 \pm 0,2)$ km/s. Cabe destacar que el valor de V_r obtenido en este trabajo, entra en el rango de valores derivados por otros autores (6, 10 - 22). De igual forma que para la estrella anterior, no se incluyó la línea $H\beta$ de la serie de Balmer para el cálculo de V_r , la cual fue tratada por separado. En la figura 4 se muestran algunas líneas identificadas, con sus respectivas especies atómicas.

Línea $H\beta$ de la serie de Balmer. En el espectro bajo estudio sólo se observó la línea $H\beta$, en completa absorción, sin presentar un perfil P-Cygni (figura 5). La velocidad radial calculada para esta línea 38,1 km/s.

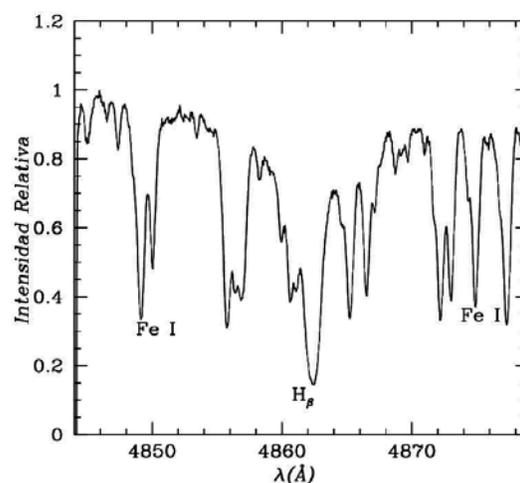


Figura 5. Porción del espectro de HD 54605 donde se observa la línea $H\beta$ de la serie de Balmer.

4. Conclusiones

- Con un número de líneas fotosféricas mucho más significativo en comparación con estudios previos, como lo es un

total de 237 líneas, la velocidad radial promedio de HD 161471 obtenida en este trabajo es $(-27,1 \pm 0,1)$ km/s. Dicho valor se encuentra dentro del rango de valores reportados por Wright (12), Campbell (15), Lunt (13), Campbell (16), Jones (14) y Adams y col. (26). Hay que resaltar que estos estudios previos no son tan precisos por cuanto el material observacional utilizado fueron placas fotográficas (baja resolución), contrario al utilizado en el presente estudio. Sin embargo, parece evidente que la estrella presenta una variabilidad en velocidad radial, tal como lo sugiere Moore (7), por lo que es necesario hacer observaciones espectroscópicas sistemáticas de HD 161471, con el fin de verificar la variabilidad de este importante parámetro físico y así, poder establecer, con precisión, el periodo de variabilidad del mismo.

- Las velocidades radiales de las líneas de $H\alpha$ y $H\beta$ de la Serie de Balmer para HD 161471, arrojan valores de $-14,9$ km/s y $-23,1$ km/s, respectivamente. Esta diferencia de valores, comparada con la V_r promedio de las líneas fotosféricas, indica movimientos turbulentos en la atmósfera de HD 161471, típico en este tipo de estrellas; sin embargo, la ausencia de líneas de emisión y perfiles P-Cygni nos indica que todavía estos movimientos no son tan violentos.
- La velocidad radial promedio obtenida para HD 54605 es $(34,3 \pm 0,2)$ km/s. Dicho valor, está en el rango de variabilidad determinado por otros autores (6, 10 - 22). Este promedio proviene de las velocidades radiales de 115 líneas fotosféricas que, aunado a la calidad de los espectros bajo estudio, implica un valor más preciso del obtenido en estudios previos.
- El presente trabajo representa un aporte valioso a la base de datos de las velocidades radiales de las estrellas super-

gigantes HD 161471 y HD 54605, ya que estas estrellas son escasas y difíciles de estudiar por sus peculiaridades.

Es importante mencionar que, las listas de las líneas fotosféricas seleccionadas, con su respectiva longitud de onda (en reposo), la especie atómica identificada, el multiplete y la velocidad radial de cada una de ellas, con su corrección heliocéntrica, tanto para HD 161471 como para HD 54605, se encuentran a la disposición de los interesados a través de una solicitud a uno de los autores.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico, Tecnológico y de las Artes (CDCHTA) de la Universidad de Los Andes (ULA), por la ayuda financiera aportada para la realización de este trabajo, a través de los proyectos C-1632-08-05-F y C-1672-09-F. Finalmente, agradecemos las observaciones realizadas por los árbitros.

Referencias bibliográficas

1. GARCIA G., DÍAZ F., ROSENZWEIG P., GUZMÁN E., PORRAS L., BARILLAS O., HEARNshaw J., POOLEY D., STEINHAUER A. *RMF* 49(3): 73-75, 2003.
2. GUZMÁN E., ROSENZWEIG P., CASTILLO A., RODRIGUEZ R., HEARNshaw J., POOLEY D. *Ciencia* 16(2): 186-194. 2008.
3. HUMPHREYS R. *AJ* 75: 602-623. 1970.
4. HOUK N. *University of Michigan Catalogue of Two - Dimensional Spectral Types for the HD Stars* Volume II, 1978.
5. SOWELL J.R. *AJ* 100: 834-848. 1990.
6. WILSON R.E. *General Catalogue of Stellar Radial Velocities* Carnegie Institution of Washington D.C. Publ. 601, 1953.
7. MOORE J. *A General Catalogue of the Radial Velocities of Stars, Nebulae and Clusters* Observatory Lick, University of California. 1932.
8. HARRIS G. *ApJ* 30: 451-490. 1976.

9. FEINSTEIN A. *ApJ* 149: 107-115. 1967.
10. WRIGHT W.H. *Lick Obs Bull* 5: 176-177. 1909.
11. HOUGH S.S. *Annals of the Cape Observatory* 10(1): 1-145. 1911.
12. WRIGHT W.H. *Publ Lick Obs* 9: 7-343. 1911.
13. LUNT J. *APJ* 48(L): 261-278. 1918.
14. JONES S. *Annals of the Cape Observatory* Vol. 10, part 8, 1928.
15. CAMPBELL W.W. *Lick Obs Bull* 7: 113-128. 1913.
16. CAMPBELL W.W. *Publ.Lick Obs* 16: 1-346. 1928.
17. BUSCOMBE W., MORRIS P.M. *MNRAS* 123: 233-243. 1961.
18. EVANS D.S. *IAU Symposium* No 30: 205-209. 1967.
19. BEAVERS W.I., EITTER J.J. *ApJS* 62: 147-228. 1986.
20. SNOW T., LAMERS H., LINDHOLM D.M., ODELL A.P. *ApJS* 95: 163-299. 1994.
21. WIELEN R., SCHWAN H., DETTBARN C., LENHARDT H., JAHREBERG H., JÄHRLING R. *VeARI* No 35, 1-209. 1999.
22. MERMILLIOD J.C., MAYOR M., UDRY S. *A&A* 485: 303-314. 2008.
23. ABT H.A. *ApJ* 126: 138-151. 1957.
24. HEARNshaw J.B., BARNES S.I., KERSHAW G.M., FROST N., GRAHAM G., RITCHIE R., NANKIVELL G.R. *Experimental Astron* 13: 59-76. 2002.
25. MOORE C. *A Multiplet Table of Astrophysical Interest* Revised Edition. Washington: NSRDS. 1972.
26. ADAMS W.S., JOY A.H., SANFORD R.F., STROMBERG G. *ApJ* 70: 207-236. 1929.