

## Determinación de la velocidad radial de dos estrellas supergigantes (HR 4912 y HD 74180)

Edgar Guzmán R<sup>1</sup>, Patricia Rosenzweig<sup>1\*</sup>, Angeli Castillo<sup>1</sup>, Richard Rodríguez<sup>1</sup>,  
John Hearnshaw<sup>2</sup> y Daniel Pooley<sup>2</sup>

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

Recibido: 06-09-07 Aceptado: 23-06-08

### Resumen

Se analizaron un par de espectros de alta resolución de las estrellas supergigantes HR 4912 y HD 74180, obtenidos en el año 2001 y 2003, respectivamente. Dichos espectros se obtuvieron con un CCD incorporado al espectrógrafo HERCULES, acoplado al telescopio reflector de 1-m del Observatorio Mt. John de la Universidad de Canterbury (Nueva Zelanda). El espectro de HR 4912 cubre la región de  $\lambda \sim 4550 - 7150 \text{ \AA}$ , con un poder de resolución  $R = 41000$  y una dispersión de  $\sim 2 \text{ \AA/mm}$ . Por otro lado, el espectro de HD 74180 cubre una región de  $\lambda \sim 4300 - 7100 \text{ \AA}$ , con un poder de resolución  $R = 82000$  y una misma dispersión de  $\sim 2 \text{ \AA/mm}$ . En el espectro de HR 4912 se identificaron 439 líneas fotosféricas, de las cuales se escogieron 347 líneas para derivar su velocidad radial, cuyo valor es  $\sim -24,5 \pm 0,1 \text{ km s}^{-1}$ . Por otra parte, se identificaron las líneas  $H_{\alpha}$  y  $H_{\beta}$ , cuyas velocidades radiales son  $-28,4 \text{ km s}^{-1}$  y  $-20,7 \text{ km s}^{-1}$ , respectivamente. Dichos valores son comparables al resultado obtenido de la velocidad radial de las líneas fotosféricas, determinadas también en este trabajo. Estas líneas presentan un ensanchamiento que indica la existencia de movimientos turbulentos en la atmósfera de HR 4912. En cuanto al espectro de HD 74180, se identificaron 390 líneas fotosféricas, de las cuales se escogieron 208 para derivar su velocidad radial. De esta manera, se obtuvo un valor de  $\sim 26,2 \pm 0,1 \text{ km s}^{-1}$ . Entre las observaciones llevadas a cabo durante 100 años de esta estrella, el valor obtenido en este trabajo se encuentra en el rango de variabilidad determinado por otros autores. Por otro lado, solo se identificó la línea  $H_{\beta}$ , cuya velocidad radial es  $45,3 \text{ km s}^{-1}$ . Este valor indica que la cromosfera no está ligada en velocidad con la fotosfera de HD 74180.

**Palabras claves:** estrellas supergigantes, atmósfera estelar, líneas fotosféricas, velocidad radial.

## Determination of the Radial Velocity of two Supergiant Stars (HR 4912 and HD 74180)

### Abstract

Two high resolution spectra of the supergiant stars HR 4912 and HD 74180, obtained in 2001 and 2003, respectively, have been analyzed. These spectra were obtained with a CCD

\* Autor para la correspondencia. E-mail: patricia@ula.ve

coupled to the HERCULES spectrograph, attached to the 1-m reflector telescope of the University of Canterbury, New Zealand. The spectrum of HR 4912, covers the region  $\lambda\lambda \sim 4550\text{-}7150 \text{ \AA}$ , with a resolving power of 41000 and a dispersion of  $\sim 2 \text{ \AA/mm}$ . On the other hand, the spectrum of HD 74180 covers the region  $\lambda\lambda \sim 4300\text{-}7100 \text{ \AA}$ , with a resolving power of  $R = 82000$  and a dispersion of  $\sim 2 \text{ \AA/mm}$ . A total of 439 photospheric lines have been identified in the spectrum of HR 4912, but only 347 were selected to derive its radial velocity, whose value is  $\sim -24,5 \pm 0, \text{ km s}^{-1}$ . Also,  $H_{\alpha}$  and  $H_{\beta}$  were identified with a radial velocity of  $-28,4 \text{ km s}^{-1}$  and  $-20,7 \text{ km s}^{-1}$ , respectively. These values are comparable with the result obtained for the rest of the photospheric lines derived in the present work. With respect to the spectrum of HD 74180, a total of 390 photospheric lines were identified, but only 208 were selected to derive its radial velocity. From these, a value of  $\sim 26,2 \pm 0,1 \text{ km s}^{-1}$  was obtained for the radial velocity. Among the observations performed for this star during 100 years, the result obtained in this work is within the variability range obtained by other authors. Also, the  $H_{\beta}$  line was identified and its radial velocity is  $45,3 \text{ km s}^{-1}$ . This value indica que la cromosfera no está ligada en velocidad con la fotosfera de HD 74180.

**Key words:** supergiant stars, stellar atmospheres, photospheric lines, radial velocity.

## Introducción

Las estrellas supergigantes se caracterizan por tener movimientos de flujos gaseosos que forman bucles, arcos y nudos, los cuales se mueven a diferentes velocidades y en diferentes direcciones. Este fenómeno se puede cuantificar a través de la velocidad radial, la cual no es más que la componente del movimiento de una estrella medida a lo largo de la línea Visual que la une con la Tierra. Las velocidades radiales, medidas a través de los espectros, muestran con cuánta rapidez los arcos y nudos se alejan o se acercan de la estrella. Además, tanto las variaciones fotométricas como las variaciones de la velocidad radial pueden indicar las pulsaciones que ocurren a pequeñas escalas.

A continuación, se hará una breve descripción.

HR 4912 ( $\alpha(2000)$ :  $12^{\text{h}} 56^{\text{m}} 30^{\text{s}}, 1307$ ;  $\delta(2000)$ :  $-26^{\circ} 27' 37'', 047$ ) es una estrella luminosa, que presenta variabilidad en su brillo, con un período que oscila entre 44 y 68 días (1, 2, 3, 4). En cuanto a su clasificación espectral, a la misma se le han asignado diferentes tipos, tales como: G0, cF6, F3Ia,

F3Ib (1, 2, 3). De acuerdo con el índice de metalicidad reportado para esta estrella (4, 5), ésta posee un contenido de hierro moderadamente bajo, lo que implica que pertenece a la población del disco viejo; es decir, pertenece a la población II.

Desde el punto de vista evolutivo (1), HR 4912 es considerada como una estrella representativa de la Rama Asintótica de las Gigantes (RAG). Además, poco se conoce sobre el valor de su velocidad radial ( $V_r$ ), ya que hasta el presente, solo tres autores han reportado su valor:  $V_r = -22 \text{ km s}^{-1}$  (1),  $V_r = -23,5 \text{ km s}^{-1}$  (6) y  $V_r = -34 \text{ km s}^{-1}$  (7). En términos generales, sólo se sabe que (1) identificó 369 líneas fotosféricas, cubriendo un rango espectral  $\lambda\lambda \sim 4918 - 8741 \text{ \AA}$ ; mientras que (7), utilizando placas fotográficas tipo Ila-O y 103a-O (Kodak), midió 203 líneas fotosféricas, en el rango espectral  $\lambda\lambda \sim 3500 - 4900 \text{ \AA}$ . En cuanto a (6), lo único que reporta es el valor de  $V_r$  mencionado arriba. En conclusión, lo que se puede inferir de dichos valores, es que HR 4912 es una estrella variable respecto a este parámetro. En el presente trabajo, se cuenta con un espectro de HR 4912 de alta resolución obtenido con CCD, lo cual garantiza un valor más preciso de la velocidad radial a derivar.

Por su parte, HD 74180 ( $\alpha(2000)$ :  $08^{\text{h}} 40^{\text{m}} 37^{\text{s}},5699$ ;  $\delta(2000)$ :  $-46^{\circ} 38' 55,480''$ ) muestra ciertas peculiaridades, entre las que se encuentran, un exceso de radiación infrarroja debido a una capa circunstelar de polvo, producida por la eyección de material proveniente de la superficie atmosférica estelar y ocasionada por la turbulencia en las pulsaciones de la estrella (8, 9). Según (10 y 11), dicha estrella presenta un espectro semejante al de una estrella luminosa, cuyo tipo espectral es F0 Ia. No obstante, (12) le asigna un tipo espectral F2 Ia. Desde el punto de vista evolutivo, HD 74180 ha completado la fase de supergigante roja y está evolucionando hacia la región azul del diagrama HR, en vías a convertirse en una estrella Wolf-Rayet (13).

De acuerdo con las observaciones llevadas a cabo para esta estrella ( $\sim 100$  años), las velocidades radiales reportadas se muestran en la Tabla 1 (14, 15, 16). Dichos valores fueron derivados de espectros tomados con placas fotográficas. Aún así, dicha estrella muestra cierta variabilidad en cuanto a su velocidad radial. Para esta estrella, al igual que la anterior, se cuenta con un espectro de alta resolución obtenido con CCD, lo cual garantiza, sin duda alguna, un valor más preciso de la velocidad radial de HD 74180 a derivar.

Un hecho resaltante observado en la Tabla 1 es que las medidas de la  $V_r$  obtenidas tanto en 1988 (16), como en 1996 (16), son las únicas que muestran el valor de la desviación estándar.

Tabla 1  
Velocidad radial de HD 74180 derivada en estudios previos

Fecha de observación (Gregoriano)	Fecha de observación en días julianos (2400000+)	$V_r$ (km.s <sup>-1</sup> ) (ref.)
18/11/1903	16436,81	29,3 (14)
27/01/1904	16506,63	28 (14)
20/01/1905	16865,68	25,4 (14)
08/03/1905	16912,69	25,3 (14)
25/04/1905	16960,58	32,0 (14)
06/01/1906	17216,74	30,2 (14)
24/03/1910	18754,58	28,4(14)
26/01/1911	19062,76	19,0 (14)
05/02/1911	19072,72	18,2 (15)
17/04/1914	20240	21,6 (15)
03/05/1915	20621	20,3 (15)
04/05/1915	20622	23,6 (15)
20/03/1988	47240,55	$23 \pm 1$ (16)
12/12/1996	50430,22	$32 \pm 2$ (16)
12/12/1996	50430,28	$31 \pm 1$ (16)

## Material observacional

**HR 4912.** El espectro de esta estrella fue obtenido el 30 de junio de 2001, utilizando un CCD, acoplado al espectrógrafo HERCULES (High Efficiency and Resolution Canterbury University Large Echelle Spectrograph), en el telescopio reflector de 1-m del Observatorio Mt John (Nueva Zelanda), cubriendo un rango  $\lambda \sim 4550 - 7150 \text{ \AA}$ , con un poder de resolución  $R = 41000$  y con una dispersión de  $\sim 2 \text{ \AA/mm}$ , fraccionado en 46 órdenes, que van desde 10, 20, hasta 40  $\text{\AA}$ , entre cada orden. Este espectro fue reducido con las sub-rutinas STARLINK y HERCULES. Se utilizó el espectro de comparación Th-Ar, para la calibración de la longitud de onda y, de acuerdo con las características del instrumento utilizado, el error de precisión es  $\pm 10 \text{ m s}^{-1}$ .

**HD 74180.** Esta estrella fue observada el 27 de enero de 2003 con el telescopio reflector McLellan de 1-m, del observatorio Mt John (Nueva Zelanda). Su espectro se obtuvo utilizando el CCD acoplado al espectrógrafo de alta resolución HERCULES, cubriendo una región  $\lambda \sim 4300 - 7100 \text{ \AA}$ , distribuida en 46 órdenes, con un poder de resolución  $R = 82000$  y con una dispersión de  $\sim 2 \text{ \AA/mm}$ . Utilizando las sub-rutinas del

software FIGARO, se redujo el espectro de HD 74180. Para ello, se obtuvo la curva de dispersión originada por el espectro de comparación dada por la lámpara de Th-Ar.

## Análisis y resultados

### Caso de HR 4912

De acuerdo al análisis detallado de los 46 órdenes que comprenden el espectro de HR 4912, se identificaron un total de 439 líneas (en absorción). La mayoría de ellas corresponden a especies atómicas tales como: Ba II, Ca I, Ce II, Cu I, Cr I, Cr II, Fe I, Fe II, Mg I, Mn I, Na I, Ni I, Si I, Si II, Sc II, Ti I, Ti II, V II, Y II y Zn I; de las cuales, Fe I representa el 46% de todas las líneas. En la figura 1, se muestran algunas líneas ya identificadas, con sus respectivas especies atómicas.

Siguiendo los criterios estándares de selección, se escogieron 347 líneas fotosféricas. Seguidamente, se derivó la velocidad radial para cada una de las líneas, aplicando el efecto Doppler-Fizeau. A cada una de ellas se le sumó algebraicamente la corrección bariocéntrica de  $-27,0 \text{ km s}^{-1}$ . Posteriormente, se obtuvo la velocidad radial promedio, así como también la desviación estándar. A partir de todo este proceso, la velocidad radial

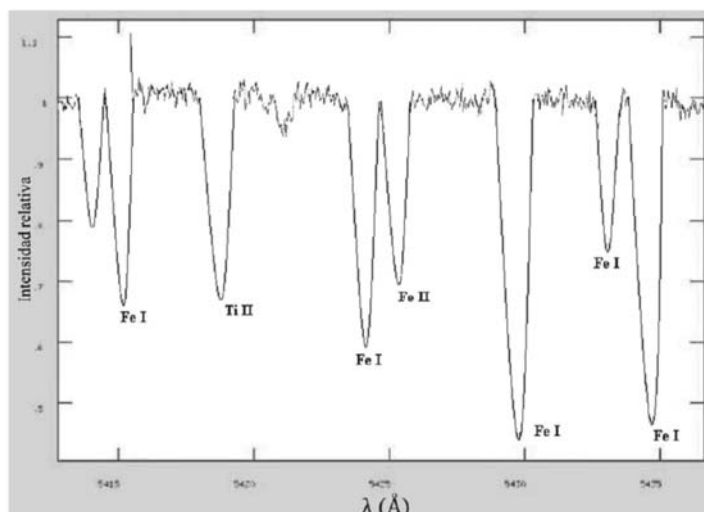


Figura 1. Líneas fotosféricas de absorción identificadas en el espectro de HR 4912 analizado en el presente trabajo.

obtenida para la estrella supergigante HR 4912 es  $-24, 5 \pm 0,1 \text{ km s}^{-1}$ .

En cuanto a las líneas de Balmer, en el presente trabajo se observaron solamente las líneas  $H_\alpha$  y  $H_\beta$ .

**Línea  $H_\alpha$ .** De acuerdo con (1), el espectro de HR 4912 presenta una notable peculiaridad, como lo es la presencia de una fuerte emisión de  $H_\alpha$ . Dicha emisión es una característica de las supergigantes pobres en metales, que pertenecen a la población del halo galáctico o estrellas de la población II (1). En la figura 2, se muestra el perfil de  $H_\alpha$ , donde se nota la presencia de desplazamientos hacia el azul y hacia el rojo, a los costados de la absorción central de dicha línea.

Por otro lado, de acuerdo con (17), la presencia de la línea en emisión de  $H_\alpha$ , es indicador de un material circunestelar alrededor de HR 4912. Es muy probable que el enrojecimiento que muestra HR 4912, pudiera tener origen en dicho material.

De acuerdo con el análisis de pérdida de masa de esta estrella, el perfil de  $H_\alpha$  sugiere una concha característica, consistiendo de una componente en emisión con una absorción central. Al parecer, la presencia de  $H_\alpha$  en

emisión, es común en las estrellas post-AGB que presentan material (polvo caliente) alrededor de ellas, como consecuencia de la pérdida de masa en dicha fase. Esto parece ser un fenómeno común en estrellas en transición entre la brecha asintótica de las gigantes y el estado de nebulosa planetaria. En la figura 3, se muestra el perfil  $H_\alpha$  de HR 4912 analizado por (17). En el presente trabajo, también es visible la línea de emisión de  $H_\alpha$ , corroborando la presencia de material circunestelar alrededor de HR 4912 (figura 4).

La comparación de los perfiles de la línea  $H_\alpha$ , que se muestran en las figuras 2, 3 y 4, conllevan al siguiente análisis:

a) La persistencia de dos emisiones a ambos lados del perfil de la línea  $H_\alpha$ , es un indicativo de una atmósfera inestable.

b) Las líneas muestran una variación, al parecer, de una manera cíclica. Esta peculiaridad hace sospechar que el comportamiento variable de esta línea es periódico y causado, posiblemente, por un dragado del material mas interno en la atmósfera de la estrella, como parte de su comportamiento evolutivo.

Línea  $H_\beta$ . En este trabajo, también se muestra y analiza el perfil de  $H_\beta$ , el cual aparece en absorción (figura 5). En cuanto a los

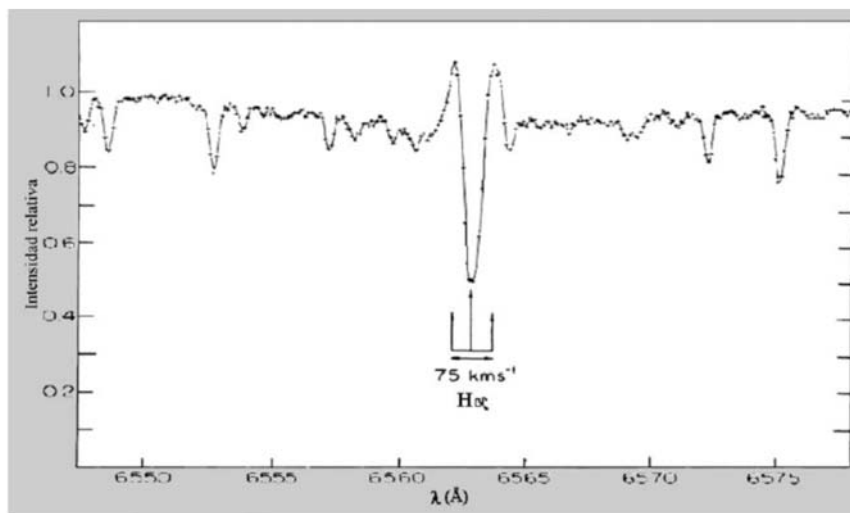


Figura 2. Porción del espectro de HR 4912, donde se muestra el perfil  $H_\alpha$  (1).

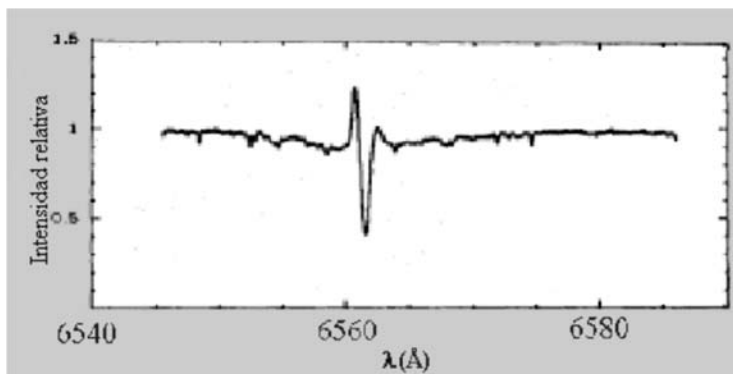


Figura 3. Perfil  $H\alpha$  de HR 4912 en el espectro obtenido por (17).

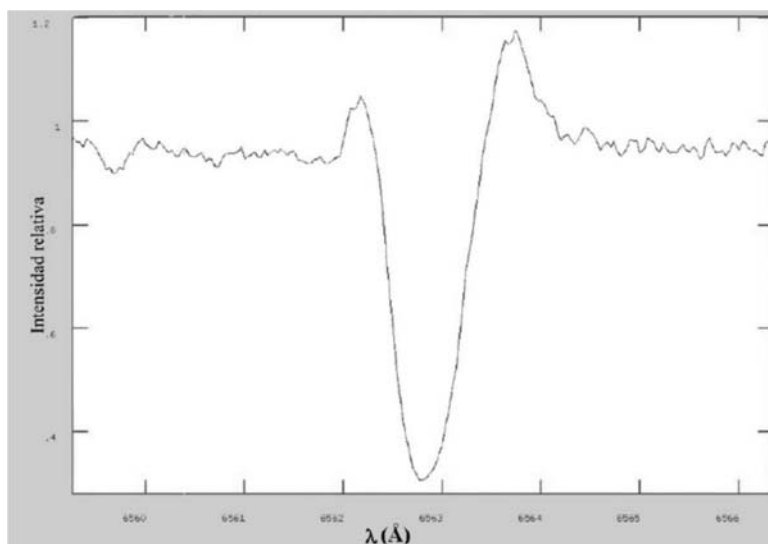


Figura 4. Perfil  $H\alpha$  de HR 4912 en el espectro analizado en el presente trabajo.

valores de las velocidades radiales de las líneas de Balmer ( $H_\alpha$  y  $H_\beta$ ), determinadas en este trabajo, son  $-28,4 \text{ km s}^{-1}$  y  $-20,7 \text{ km s}^{-1}$ , respectivamente. Dichos valores son comparables al resultado obtenido de la velocidad radial de las líneas fotosféricas, determinadas también en este trabajo. Las líneas  $H_\alpha$  y  $H_\beta$  se forman en la parte más externa de la atmósfera. Esto sugiere que deberían tener velocidades radiales relativamente diferentes a las líneas fotosféricas, en el caso que la cromosfera no esté ligada en velocidad con la fotosfera, causado por movimientos violentos en la atmósfera. Dado que no

existe tanta diferencia entre ambos valores (Balmer y fotosféricas), se puede inferir que la turbulencia no es significativa. No obstante, el ensanchamiento de las líneas  $H_\alpha$  y  $H_\beta$ , y las persistentes emisiones a ambos lados de la línea  $H_\alpha$ , sin duda alguna, indican que existen movimientos turbulentos en la atmósfera de HR 4912.

Por último, lamentablemente, es imposible establecer una periodicidad o una estimación del periodo de variabilidad ni de las velocidades derivadas de las líneas fotosféricas ni de las líneas de Balmer, ya que no



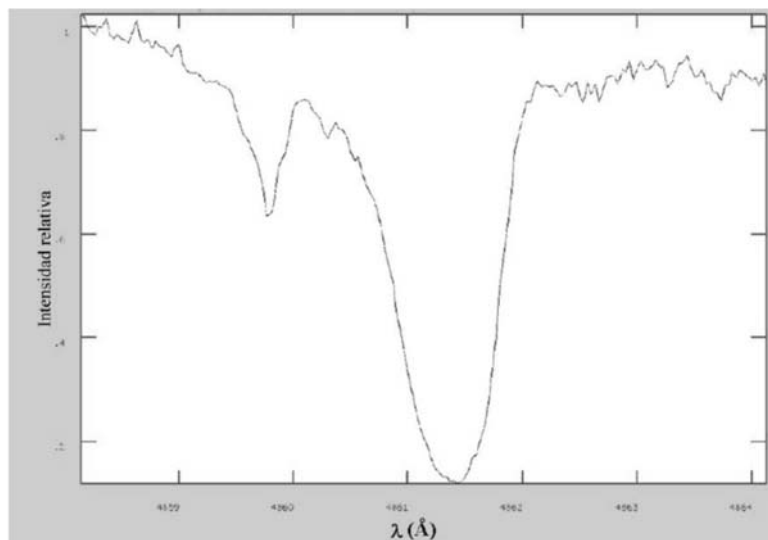


Figura 5. Perfil  $H_{\beta}$  de HR 4912 en el espectro analizado en el presente trabajo.

existe una secuencia sistemática de observaciones de HR 4912.

#### Caso de HD 74180

La estrella supergigante HD 74180 ha sido estudiada en un lapso de 100 años; sin embargo, estos estudios no han sido sistemáticos. Los valores de la velocidad radial determinados durante este lapso (tabla 1), hacen notar que HD 74180 es una estrella variable respecto a este parámetro. Cabe destacar que dichos valores fueron derivados de espectros tomados con placas fotográficas. En el presente trabajo, se cuenta con un espectro de HD 74180 de alta resolución obtenido con CCD, lo cual garantiza una mejor precisión en la obtención de la velocidad radial.

De acuerdo con el análisis detallado de los 46 órdenes que comprenden el espectro de HD 74180, se identificaron 390 líneas espectrales (en absorción), en su mayoría correspondientes a los elementos: Fe I, Fe II, Ti I, Ti II, Cr I, Cr II, Ni I, Mg I, Sc II. Con los criterios estándares de selección, se escogieron un total de 208 líneas con la finalidad de calcular la velocidad radial de dicha estrella. A cada una de estas líneas se le aplicó una corrección ba-

ricéntrica de  $+7,02 \text{ km s}^{-1}$ . Aplicando el efecto Doppler-Fizeau en cada línea, se derivó la  $V_r$  de cada una de ellas. Posteriormente, se determinó la velocidad radial promedio de HD 74180 cuyo valor es  $26,2 \pm 0,1 \text{ km s}^{-1}$ .

En cuanto a las líneas de la serie de Balmer, se reporta por primera vez el perfil de  $H_{\beta}$  (figura 6). Dicho perfil, no presenta componentes de emisión. Según (18), este hecho sería un indicador que  $H_{\beta}$  se estuviese formando en el viento estelar; en consecuencia, existiría una pérdida de masa ó habría una concentración de densidad en el viento estelar.

El valor de la velocidad radial de esta línea es  $45,3 \text{ km s}^{-1}$ . Como se nota, este valor es aproximadamente el doble de la velocidad radial promedio de las líneas fotosféricas. De acuerdo con (19), se puede inferir que  $H_{\beta}$  se forma en la región exterior de la atmósfera de HD 74180; y, su ensanchamiento se debe, probablemente, a la dispersión como consecuencia de los electrones libres en el viento estelar. Este valor indica que la cromosfera no está ligada en velocidad con la fotosfera de la estrella. Con respecto a las líneas  $H_{\alpha}$  y  $H_{\gamma}$ , ambas han sido analizadas por (20) y (21), respectivamente. Según (20), el perfil de  $H_{\alpha}$  es ligeramente asimétrico; y, por su

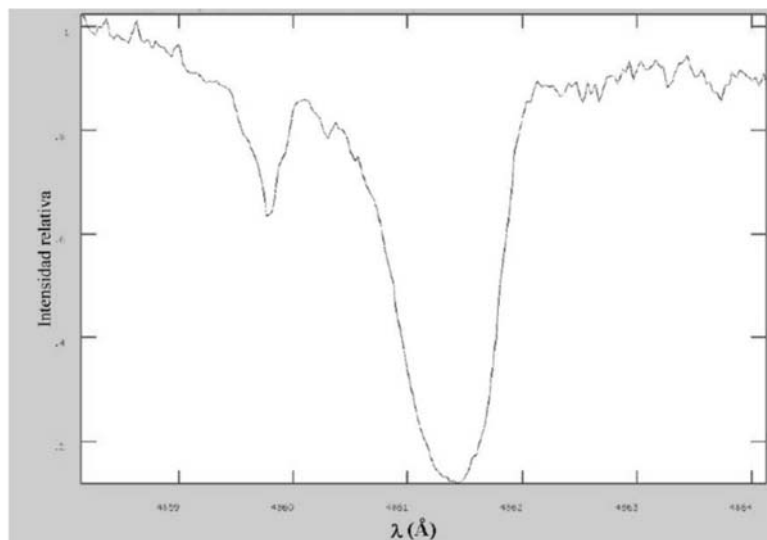


Figura 6. Perfil de la línea  $H_{\beta}$  de HD 74180 analizado en el presente trabajo.

parte (21) solo analiza la línea  $H_{\gamma}$  con baja resolución.

A pesar que HD 74180 ha sido observada a lo largo de 100 años, no se puede derivar el período de variabilidad de la velocidad radial de dicha estrella, ya que existen enormes brechas entre las fechas de observaciones. En otras palabras, no hay una correspondencia sistemática de observaciones, que permita determinar con cierto grado de precisión, un periodo de variabilidad de la velocidad radial de HD 74180.

### Conclusiones

1. En el rango del espectro estudiado de la estrella HR 4912 no se observaron perfiles P-Cygni. Solo se observó líneas de emisión en el perfil de  $H_{\alpha}$ . En cuanto al rango espectral analizado de HD 74180, no se observaron líneas de emisión ni líneas con perfil P-Cygni. Estos hechos sugieren que hay ausencia de vientos estelares en ambas estrellas, al menos en la época en la cual se obtuvieron los espectros (2001 y 2003, respectivamente).

2. El valor de la velocidad radial de HR 4912 obtenido en este trabajo, se aproxima al valor reportado por (6), y muy cercano al

publicado por (1). Sin embargo, es diferente al resultado dado por (7), lo que haría pensar que posiblemente HR 4912 es una estrella variable con respecto a dicho parámetro. No obstante, es evidente que se necesitan observaciones espectroscópicas sistemáticas de HR 4912, con el fin de verificar la variabilidad de este importante parámetro físico y, de esta manera, establecer o determinar con precisión el periodo de variabilidad del mismo.

3. A pesar de haber analizado solo dos líneas de Balmer ( $H_{\alpha}$  y  $H_{\beta}$ ), en el espectro de HR 4912, los perfiles de dichas líneas indican que existen movimientos turbulentos en su atmósfera. No obstante, los valores de la velocidad radial de estas líneas, las cuales se forman en la parte externa de la atmósfera, indican que dichos movimientos nos son tan fuertes en la atmósfera de la estrella HR 4912. Es necesario que las futuras observaciones espectroscópicas de HR 4912 abarquen rangos de longitud de onda, donde se puedan observar las líneas de Balmer, con el fin de analizar y corroborar, tanto el grado de turbulencia de la atmósfera de HR 4912, como la presencia y comportamiento del material circunestelar alrededor de la misma.



4. El valor de la velocidad radial de HD 74180, obtenido en el presente trabajo, está en el rango de variabilidad determinado por otros autores (14, 15, 16). Además, fue calculado haciendo el promedio de las velocidades radiales de 208 líneas fotosféricas, lo cual es estadísticamente representativo en comparación con estudios previos, conllevando así a un resultado más preciso que los obtenidos anteriormente. No obstante, es necesario obtener observaciones espectroscópicas sistemáticas de esta estrella, con el fin de determinar con mayor precisión, tanto el valor de la velocidad radial como su período de variabilidad.

5. Tanto el valor de la velocidad radial de la línea  $H_{\beta}$  de HD 74180, como su ensanchamiento, indican que existen movimientos turbulentos en la atmósfera de esta estrella supergigante, ya que dicha línea se forma en la parte externa de la atmósfera y, por tanto, es susceptible a cualquier turbulencia que exista en ella. Sin embargo, al igual que HR 4912, es necesario que las futuras observaciones espectroscópicas de HD 74180, también deben abarcar rangos de longitud de onda donde aparezcan otras líneas de Balmer, con el fin de analizar y corroborar el grado de turbulencia de la atmósfera de dicha estrella.

### Nota

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 baricéntrica), tanto para HR 4912 como HD 74180, se encuentran a la disposición de los interesados a través de una solicitud a uno de los autores (\*).

### Agradecimientos

Los autores PR, AC y RR, agradecen al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes (ULA), por las subvenciones aportadas para la realización de este

trabajo, bajo los proyectos C-1401-06-05-F y C-1420-06-05-F.

Igualmente, los autores quieren hacer extensivo el agradecimiento a los árbitros anónimos del presente trabajo quienes aportaron excelentes comentarios..

### Referencias Bibliográficas

- LUCK R.; LAMBERT D.; BOND H. *PASP*, 95, 413, 1983.
- ARELLANO A. *PASP*, 93, 351, 1981.
- ARELLANO A.; GIRIDHAR S.; GOSWAMI A. *MNRAS*, 250, 1, 1991.
- SASSELOV D.; KOLEV D. *Ap&SS*, 123, 363, 1986.
- BÖHM E.; PROFFIT C. *PASP*, 96, 897, 1984.
- EVANS D. *IAUS*, 30, 57, 1979.
- SASSELOV D. *Ap&SS*, 102, 161, 1984.
- STENCEL R.E.; PESCE J.E.; BAUER W.H. *AJ*, 97, 1120, 1989.
- STEEMERS W. J. G; VAN GENDEREN A. M. *AAp*, 154, 308, 1986.
- BIDELMAN W.P. *ApJ*, 113, 304, 1951.
- FORBES D.; SHORT S. *AJ*, 108, 594, 1994.
- MOFFAT A.F.J.; FITZGERALD M.P. *A&A*, 54, 263, 1977.
- JONES T.J.; HUMPHREYS R.M.; GEHRZ R.D. et al. *ApJ*, 411, 323, 1993.
- CAMPBELL W.W. *LOB*, 16, 1, 1928.
- LUNT J. *ApJ*, 48, 261, 1918.
- PARDES G.; ROSENZWEIG P.; NARANJO O.; STOCK J. *Commissions 27 and 42 of the IAU, Information Bulletin on Variable Stars*, N° 4607, 1998.
- TRAMS N.; WATERS L.; WAEKENS C.; LAMERS H.; VEEN W. *A&A*, 218, L1, 1989.
- HENRICHS H. *O stars and Wolf-Rayet Stars*, NASA SP-497, 199, 1988.
- BAKKER E.J.; LAMERS H.J.; WATERS L.B.; WAEKENS C.; TRAMS N. *A&A*, 307, 869, 1996.
- SOWELL J.R. *AJ*, 100, 834, 1990.
- AZZOPARDI M. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 69, 421, 1987.