



Atmospheric Abundance Analysis of the Red Giant Star HD 62968

Ramón Eveiro Molina **Hender Rivera**
Universidad Nacional Experimental del Táchira

Received: July 15, 2014

Accepted: December 11, 2014

Pag. 95-108

Abstract

A detailed analysis of chemical abundances in the atmosphere of the star HD 62968 is reported. The star has infrared excess reported in the PASTEL catalogue. The high-resolution spectra ($R \sim 42\,000$) were obtained from the ELODIE (OHP) library. Initial values of effective temperature, surface gravity, microturbulence velocity were estimated and used for the calculation of atmospheric abundances using an updated version of the MOOG code. It is concluded that HD 62968 has experienced the first dredge-up and it is evolving towards the red giant phase.

Keywords: Atmospheric parameters, abundances, red giant stars.

Análisis de las abundancias atmosféricas en la estrella gigante roja HD 62968

Resumen

Se reporta un análisis detallado de las abundancias químicas en la atmósfera de la estrella HD 62968 que fue seleccionada en el catálogo PASTEL¹ por su exceso infrarrojo. Se emplean espectros de alta resolución ($R \sim 42\,000$) obtenidos de la librería ELODIE² (OHP). Se estimaron los valores iniciales de temperatura efectiva, la gravedad superficial, la velocidad de microturbulencia y con una versión actualizada del código MOOG³ se efectuó el cálculo de las abundancias atmosféricas. De su perfil químico podemos deducir que HD 62968 ha experimentado el primer dragado y se encuentra evolucionando hacia la rama de las gigantes rojas.

Palabras clave: parámetros atmosféricos, abundancias, estrella gigante roja.

¹<http://pastel.obs.u-bordeaux1.fr/>

²<http://atlas.obs-hp.fr/elodie/>

³<http://www.as.utexas.edu/chris/moog.html>

1 Introducción

Las estrellas enanas y gigantes han sido ampliamente utilizadas como indicadores de la evolución química en nuestra galaxia, debido a los cambios que han sufrido a partir de los procesos de nucleosíntesis a lo largo del tiempo y su interrelación con el material interestelar que las rodea. Numerosos estudios se han hecho sobre grandes muestras de estrellas enanas y gigantes, logrando discriminar estadísticamente la homogeneidad de las distintas clases de elementos químicos presentes, como también separarlas a partir de la edad, la metalicidad y el movimiento espacial [1, 2, 3, 4, 5].

Se ha observado que las estrellas jóvenes y evolucionadas tales como: enanas, gigantes rojas, AGB (rama asintótica de las gigantes) y post-AGB (rama asintótica posterior de las gigantes) presentan fuertes pérdida de masa que rodea a su estrella central y la obscurecen. El material circunestelar constituido principalmente de gas y polvo hace que la estrella central emita radiación en la región infrarroja del espectro electromagnético. Algunas misiones satelitales de fuentes infrarrojas como IRAS⁴ (acrónimo en inglés de InfraRed Astronomical Satellite) [6] y AKARI (que significa “luz” en Japonés) [7], han podido medir el flujo de fuentes puntuales (o estrellas individuales) en diferentes longitudes de onda para la región del infrarrojo.

En consecuencia, a partir de estos flujos se han podido discriminar las estrellas jóvenes de las estrellas evolucionadas, siendo una de las principales herramientas de discriminación el diagrama de dos colores IRAS ([12]-[25] versus [25]-[60]) [8, 9]. Sin embargo, la fuerte pérdida de masa en estrellas jóvenes y evolucionadas hace que el exceso infrarrojo en ambas estrellas sea grande llegando a solaparse en este tipo de diagrama y, por lo tanto se requiere de un análisis de las abundancias de la fotosfera estelar para confirmar el estado evolutivo de las estrellas en estudio.

En la determinación de las abundancias químicas se requieren de medidas precisas de los parámetros atmosféricos tales como: la temperatura efectiva (T_{eff}), la gravedad superficial ($\log g$), la velocidad de microturbulencia (χ_t) y la metalicidad ($[Fe/H]$); tal que permita definir empíricamente la estructura de la atmósfera estelar. En este sentido, el catálogo PASTEL [10] contiene una recopilación bibliográfica de los parámetros atmosféricos para un gran número de estrellas (enanas, gigantes, supergigantes, etc.) basadas en datos espectroscópicos de alta resolución y de alta señal-ruido (S/N).

El propósito del presente trabajo tiene como finalidad realizar un análisis espectroscópico de las abundancias químicas para la atmósfera de la estrella HD 62968, tal que nos permita deducir su estado evolutivo. Los resultados obtenidos a partir del análisis podrían ser reafirmados comparando nuestras abundancias con aquellas obtenidas por diferentes autores para un grupos de estrellas enanas y gigantes pertenecientes al disco (delgado + grueso) galáctico y, a su vez, con la posición de la estrella en el Diagrama Hertzsprung-Russell (DHR) estimada su temperatura y su luminosidad.

⁴<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/W3Browse/iras/iraspsc.html>

2 Observaciones

2.1 Selección de la muestra

La estrella HD 62968 en este estudio ha sido seleccionada del catálogo PASTEL debido a su exceso infrarrojo (IR), de hecho HD 62968 se encuentra catalogada en la fuente de objetos puntuales IRAS con la etiqueta IRAS 07439 + 0415. Los flujos infrarrojos medidos en las bandas de 12, 25, 60 y 100 μm se representan en la Tabla 1.

Tabla 1: *Flujos infrarrojos obtenidos de la fuente puntual IRAS.*

No. HD	F ₁₂ (Jy)	F ₂₅ (Jy)	F ₆₀ (Jy)	F ₁₀₀ (Jy)	Ref.
62968	0.22	0.27	0.40	1.17	[6]

A partir de los flujos infrarrojos se derivan los colores IRAS ($[12] - [25] = +0.22$ y $[25] - [60] = +0.42$) para HD 62968. En la Figura 1 se muestran las distintas regiones construidas por [8] y [9] que señalan las diferentes propiedades de las estrellas con excesos infrarrojos. La línea central representa las distintas temperaturas que tendría una estrella asumiendo que ésta radia como un cuerpo negro. Se observa que la estrella cae dentro de la región VIb en el Diagrama de dos colores IRAS [8]. De acuerdo con estos autores, la región VIb contiene estrellas variables con polvo caliente cercano a la estrella y polvo frío alejado de ésta.

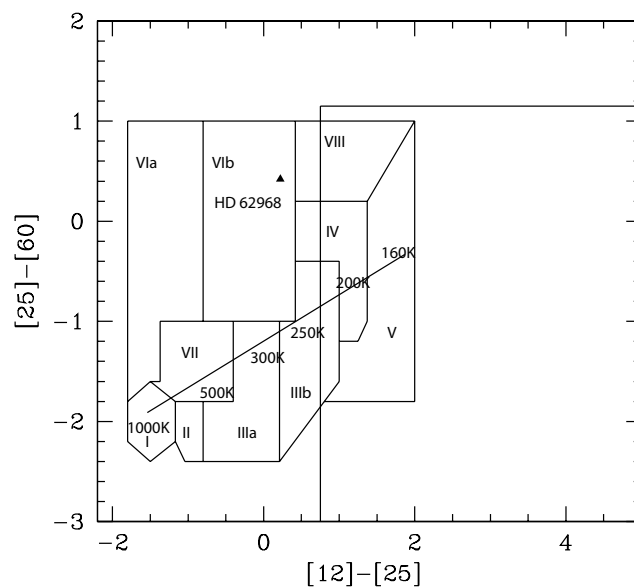


Figura 1: *Se muestra la ubicación de la estrella HD 62968 en el Diagrama IRAS de dos colores. La línea punteada representa la región limitada por [9]. Las diferentes regiones representadas con números romanos fueron definidas por [8].*

Las estrellas de masas bajas e intermedias muy evolucionadas como las post-AGB y las nebulosas planetarias (NP) caen comúnmente en las regiones IV, V y VIII en [8] y en la región punteada en [9]. Sin embargo, algunas estrellas candidatas a ser post-AGB pueden estar fuera de estas regiones, este es el caso por ejemplo de la estrella HD 53300 estudiada por [11] la cual cae en la región VIa. Por lo tanto se hace imprescindible un análisis de abundancias fotosféricas de su atmósfera estelar en HD 62968 para verificar su estado evolutivo. Una revisión bibliográfica en la base de datos astronómica SIMBAD no muestra un análisis previo de las abundancias químicas para HD 62968. El monitoreo fotométrico en la banda visual V llevado a cabo desde el año 2000 hasta el 2009 por la fuente fotométrica ASAS-3⁵ (acrónimo en inglés de All Sky Automated Survey) tampoco muestra variabilidad para esta estrella.

Para realizar el análisis de abundancias es necesario de disponer de espectros de alta resolución, en este sentido la librería ELODIE dispone en su base de datos un espectro para HD 62968 (elodie 20000126 0033.fits). La librería ha sido publicada originalmente por [12] y actualizada en sus versión 3.1 por [13]. Los espectros estelares que contiene dicha librería fueron obtenidos con el espectrógrafo echelle ELODIE, colocado en el telescopio de 1.93m ubicado en el Observatorio Haute-Provence (OHP). Además, los espectros cubren un intervalo de longitud de onda entre 4000 y 6800 Å y poseen un poder de resolución de $R = 42\,000$. El espectro para HD 62968 ha sido observado el 26 de Enero de 2000 y cuenta con una señal-ruido de aproximadamente $S/N \sim 114$.

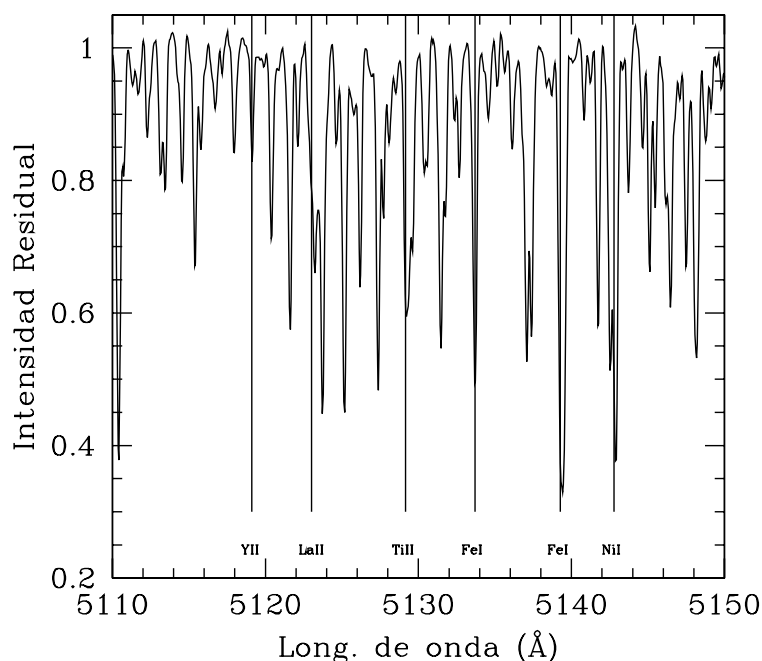


Figura 2: Región espectral seleccionada de ~ 50 Å alrededor de 5140-50 Å donde están presente distintas líneas de absorción como Y II, La II, Ti II, Fe I y Ni I.

⁵<http://www.astrouw.edu.pl/asas/?page=main>

La Figura 2 representa una porción del espectro que cubre un intervalo de $\sim 50 \text{ \AA}$ para HD 61968. El proceso para convertir la imagen (*.fits) del rango espectral seleccionado en texto (*.txt), se realiza a través de subrutina *listpixels* del procesador de imágenes astronómica IRAF⁶ (acrónimo en inglés de Image Reduction and Analysis Facility). Una corrección por velocidad radial a partir del efecto Doppler permitió la identificación de los elementos en el espectro estelar. Las líneas verticales punteadas representan las posiciones de algunas líneas de absorción de elementos como Y II, La II, Ti II, Fe I y Ni I presentes en la región espectral seleccionada. Los parámetros básicos para la estrella HD 62968 vienen dados en la Tabla 2. Esta tabla contiene el número HD, el tipo espectral, la magnitud aparente visual, la latitud galáctica, la velocidad radial heliocéntrica y las coordenadas ecuatoriales para la época del 2000. Estos datos fueron obtenidos de la base SIMBAD⁷.

Tabla 2: *Parámetros básicos de las estrellas en estudio.*

No. HD	T.E.	V (mag)	b ($^{\circ}$)	π (msa)	V_r (km s $^{-1}$)	α (h m s)	δ ($^{\circ}$ ' ")
62968	F 5	7.85	+14.14	2.27 \pm 1.69	+41.20	07 46 35	+04 07 50

3 Parámetros atmosféricos

En la obtención de los parámetros atmosféricos se procedió de dos maneras. En primer lugar se parte de la recopilación de datos provenientes de la literatura cuyos valores han sido derivados a través de calibraciones fotométricas o espectroscópicas. Los valores de la temperatura efectiva, la gravedad superficial y la metalicidad recopilados pueden ser vistos en la Tabla 3. Se puede observar que solo tres trabajos han conducido a deducir empíricamente los parámetros atmosféricos de HD 62968.

Tabla 3: *Parámetros atmosféricos obtenidos a partir de la literatura.*

No. HD	T_{eff} (K)	$\log g$	[Fe/H]	Ref.
	4758	2.58	+0.07	[15]
62968	5088	3.01	-0.08	[16]
	4863			[17]

En segundo lugar usando un conjunto de modelos atmosféricos en combinación con un código de síntesis espectral. Partiendo de los valores conocidos de temperatura y gravedad dado en la Tabla 3, se seleccionan los modelos atmosféricos [14] dentro de un intervalo efectivo de temperatura y gravedad con los que se

⁶<http://iraf.noao.edu/>

⁷<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

obtendrán espectroscópicamente los parámetros atmosféricos deducidos a partir del equilibrio de ionización entre el hierro neutro (Fe I) y el hierro ionizado (Fe II). Los modelos atmosféricos están construidos bajo una geometría plana-paralela, en equilibrio hidrostático y en equilibrio termodinámico local.

Por otra parte, también se requiere de medidas precisas de los anchos equivalentes (EWs) para las líneas de absorción de los distintos elementos químicos identificados y de los datos atómicos como el potencial bajo de excitación χ (eV) y el logaritmo de la intensidad del oscilador $\log(gf)$ donde f es llamado la intensidad del oscilador y g es un peso denominado el factor de Gaunt.

Partiendo de la información recopilada y ordenada para cada elemento químico, los parámetros atmosféricos se derivaron a partir de la versión actualizada 2010 del código MOOG [18] bajo la suposición equilibrio termodinámico local (ETL). Se realizaron pruebas de ensayo y error empleando los modelos seleccionados y finalmente se escogió aquel modelo que se ajusta mejor a la fotosfera de la estrella estudiada.

La temperatura efectiva se deriva obligando a que las abundancias calculadas para la línea de Fe I fueran independientes del potencial bajo de excitación. Se escogió el Fe I debido a que es el elemento de mayor representación en la muestra (o el más numeroso), abarcando un amplio intervalo entre el potencial bajo de excitación (1.0 – 4.8 eV). La gravedad por el contrario, se determinó forzando a que las abundancias del Fe I fueran similares a las abundancias para el Fe II, es decir $\log\epsilon(\text{Fe I}) = \log\epsilon(\text{Fe II})$. Finalmente, la velocidad de microturbulencia se obtuvo imponiendo a que las abundancias de Fe I fueran independientes de los anchos equivalentes reducidos ($\log \text{EW}/\lambda$). En la Figura 3 se representan las abundancias derivadas para el hierro neutro $\log\epsilon(\text{Fe I})$ como función del potencial bajo de excitación χ (eV) y de los anchos equivalentes reducidos $\log(\text{EW}/\lambda)$. La línea azul casi constante representa la independencia existente entre el potencial bajo de excitación y los anchos equivalentes reducidos con las abundancias de hierro neutro.

Las incertidumbres en los parámetros atmosféricos derivados de los modelos atmosféricos alcanzaron valores de ± 250 K en temperatura efectiva, de ± 0.5 en gravedad superficial y de ± 0.2 km s^{-1} en velocidad de microturbulencia. Los valores adoptados de los parámetros atmosféricos para HD 62968 pueden ser vistos en la Tabla 4.

Tabla 4: *Parámetros atmosféricos adoptados para HD 62968.*

No. HD	T_{eff} (K)	$\log g$	ξ_t (km s^{-1})	[Fe/H]
62968	5000 ± 250	2.5 ± 0.5	1.5 ± 0.2	-0.07

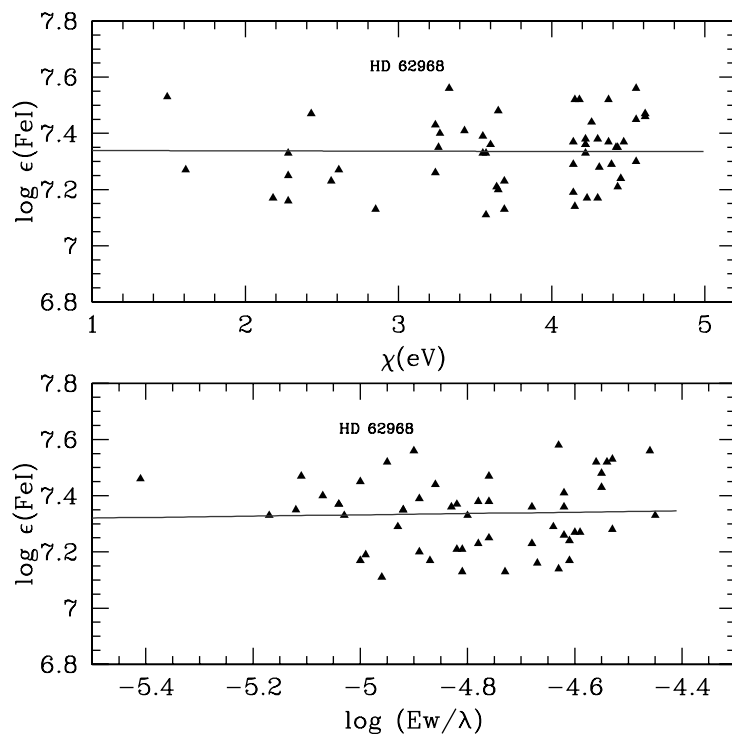


Figura 3: Se representan las abundancias derivadas para el hierro neutro $\log \epsilon(\text{Fe I})$ como función del potencial bajo de excitación χ (eV) y de los anchos equivalentes reducidos $\log(EW/\lambda)$.

4 Determinación de las abundancias químicas

Para la determinación de la mayoría de las abundancias químicas se construyó una lista de entrada al código MOOG que contiene la longitud de onda del laboratorio, un código que represente el elemento identificado, el potencial bajo de excitación, la intensidad del oscilador y el valor del ancho equivalente para cada elemento todo esto junto al modelo atmosférico adoptado. Se utilizó un total de 193 líneas de absorción identificadas con perfiles gaussiano bien definidos (sin mezclas entre ellos). Se empleó la subrutina *ABFIND* del código MOOG para derivar las abundancias en HD 62968.

Para aquellas líneas cuyos perfiles no muestran una estructura bien definida como es el caso del doblete de litio y la banda molecular de cianógeno CN (5,1), las abundancias se determinaron a partir de síntesis espectral. Para este fin se utilizó la subrutina *SYNTH* del código MOOG (ver Figura 5). Las abundancias químicas presentes en la estrella HD 62968 pueden ser vistas en la Tabla 5. Esta tabla contiene los elementos químicos presentes en la fotosfera, las abundancias químicas derivadas para el Sol [19], el cociente de las abundancias relativo al hidrógeno, la incertidumbre total en la determinación de las abundancias debido a los errores sistemáticos y aleatorios, el número de líneas identificadas para cada elemento y el cociente de las abundancias relativo al hierro. Las abundancias representadas en la Tabla 5 se encuentran en una escala logarítmica con respecto al hidrógeno, esto

es: $\log\epsilon(X) = \log [N(X)/N(H)] + 12.0$. Las abundancias relativas al hidrógeno y al hierro se expresan como: $[X/H] = \log\epsilon(X)_{estrella} - \log\epsilon(X)_{sol}$ y $[X/Fe] = [X/H] - [Fe/H]$, donde X es elemento identificado.

4.1 Incertidumbres en las abundancias químicas

Se calcularon los efectos sobre las abundancias químicas debido a los errores presentes en los EWs, los datos atómicos y las incertidumbres en $\Delta T_{eff}, \Delta \log g$ y $\Delta \chi_t$. Los errores debido a los EWs son aleatorios puesto que depende de varios factores como la posición del continuo, el cociente S/N y el tipo espectral de la estrella. Los EWs han sido medidos a partir de la tarea *SPLIT* del programa IRAF. El tamaño de los EWs se restringe entre 10 y 200 mÅ, siendo el error en su medida entre 8% y 10%. Se descartaron las líneas mezcladas. La restricción en el tamaño de los EWs se debió principalmente a que líneas menores a 10 mÅ podrían confundirse con el ruido y las líneas mayores a 200 mÅ están sujeta a los efectos de no equilibrio termodinámicos local (NETL).

Los errores en los datos atómicos son sistemáticos y varían de elemento en elemento dependiendo de la calidad experimental. Para el Fe I y Fe II los errores pueden variar entre un 5% y 10%, para los elementos del grupo de hierro su precisión cambia entre 10% y 25%, mientras que para los elementos formados por captura de neutrones su precisión puede alcanzar un 10% (para mayor información ver [11] y sus referencias internas). Al igual que en los datos atómicos los errores en los parámetros atmosféricos son sistemáticos puesto que depende de la precisión en la construcción de los modelos.

Finalmente, el error total σ_{tot} para cada elemento viene dado por la raíz cuadrada de la suma cuadrática de los errores aleatorios (σ_{alea}) y sistemáticos (σ_{sist}). Este error viene representado en la columna 4 de la Tabla 5.

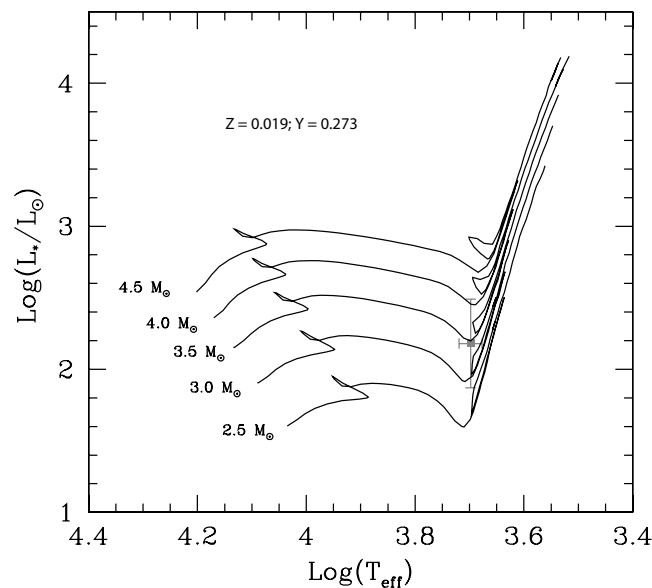


Figura 4: El diagrama HR y las distintas trayectorias evolutivas para metalicidad solar. El punto rojo representa la posición de la estrella HD 62968 con su respectiva incertidumbre.

5 Discusión individual de las abundancias en HD 62968

HD 62968 es una estrella clasificada con tipo espectral F5 y posee flujos IR. La estrella se encuentra en el catálogo de fuentes puntuales IRAS utilizado para la búsqueda de objetos evolucionados. [20] clasifica esta estrella usando redes neuronales artificiales con tipo espectral G1 y luminosidad I. Sin embargo, HD 62968 posee una masa intermedia dentro de su rango más bajo ($2.2 < M_{\odot} < 7.0$) y una masa relativamente baja y una luminosidad característica de una estrella gigante. Una probable consecuencia de esta discrepancia pudo haber sido una selección inadecuada de los patrones de entrenamiento de la red neuronal.

La velocidad radial ha sido medida en diferentes épocas alcanzando valores similares $+41.2 \pm 0.9$ y $+41.24$ km s⁻¹ ([21], [15]). Los parámetros atmosféricos T_{eff} , $\log g$ y $[Fe/H]$ fueron derivados fotométricamente y espectroscópicamente por distintos autores y pueden ser observados en la Tabla 3. [16] determinan estos parámetros a partir de la línea del doblete de Na ID (5880-90Å).

La magnitud absoluta $M_V = -0.45 \pm 0.77$ mag ha sido derivada del paralaje de Hipparcos (ver Tabla 1). El exceso de color $E(B-V) = 0.025$ es obtenido de la base de datos NED⁸ (Nasa Extragalactic Database). Se determina una luminosidad de $\log(L_*/L_{\odot}) = 2.18 \pm 0.31$ empleando una corrección bolométrica de $BC = -0.26$ derivada a partir de las calibraciones de [17] y adoptando una magnitud bolométrica solar de 4.75 ([22]). Una masa de $\sim 3.5 M_{\odot}$ para HD 62968 es obtenida de las trayectorias evolutivas construidas por [23] con metalicidad solar ($Z = 0.019$, $Y = 0.273$). Esta estrella se encuentra evolutivamente sobre la base para ascender por primera vez al brazo de las gigantes rojas (ver Figura 4).

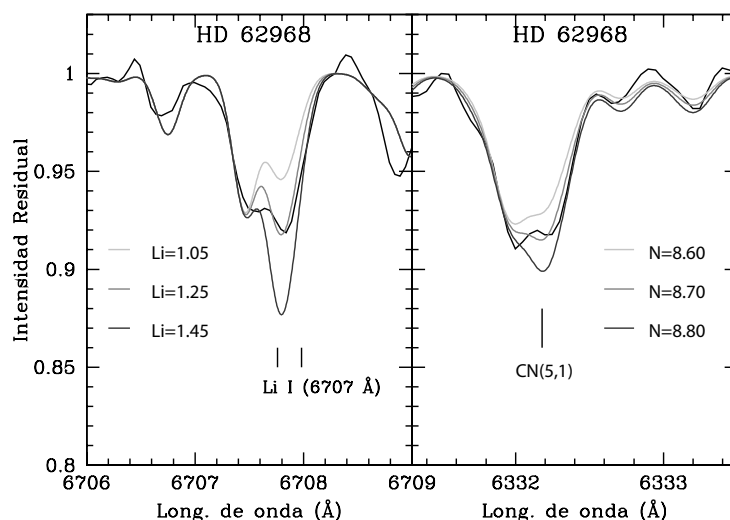


Figura 5: Síntesis espectral realizadas para el doblete de Li I (6707 Å) y para la banda molecular de CN (6332 Å). Los distintos colores corresponden a diferentes valores de las abundancias para el elemento en estudio.

⁸<https://ned.ipac.caltech.edu/>

Las abundancias de los elementos químicos para HD 62968 pueden ser vistas en la Tabla 5. Para los elementos ligeros como el carbono, nitrógeno y oxígeno (CNO), la abundancia del carbono se calculó a partir del EWs de la línea de C I en 5380 Å, alcanzando un valor de 7.94 dex. La abundancia de nitrógeno se derivó de la banda molecular de CN (5,1) ubicada en 6332 Å a partir de síntesis espectral y donde se alcanzó un valor de 8.75 dex (ver Figura 5). El oxígeno se determinó de las líneas prohibidas [O I] en 6300 Å y 6363 Å. Se observa que la abundancia de O I permaneció inalterada y su valor es prácticamente solar. De la Tabla 5 se puede observar que la estrella muestra una deficiencia de carbono (C) y un enriquecimiento en la abundancia de nitrógeno (N), lo cual significa que en la estrella HD 62968 pudo haber operado el ciclo CN. El cociente $C/O = 0.19$ señala que la estrella es rica en oxígeno. Este proceso que altera las abundancias superficiales de C y N sugiere que la estrella ha sufrido un evento previo de mezclado llamado el primer dragado. El cociente $[N/C] = +1.37$ dex confirma este hecho, aunque su valor parece ser más eficiente que el predicho para el primer dragado bajo el modelo estándar de evolución estelar calculado con masa entre 2 y 15 M_{\odot} , esto es $[N/C] = +0.60$ dex ([24]). El valor de la abundancia $(C + N + O) = 9.01$ es similar al valor solar de 8.88.

La abundancia de litio (Li) se determinó sintetizando el doblete en 6707 Å y su valor de 1.25 dex fue menor que el esperado para el primer dragado en estrellas gigantes ($\log\epsilon(\text{Li}) = +1.5$ dex [25, 26]). La síntesis puede ser observada en la Figura 5.

La abundancia de sodio de $[Na/Fe] = +0.22$ dex se obtuvo a partir de siete líneas (4497, 4668, 4982, 5682, 5688, 6154, 6160 Å) y presentó un moderado enriquecimiento causado probablemente por la captura de protones del ^{22}Ne durante la combustión del hidrógeno. Este moderado enriquecimiento en la abundancia de Na ha sido visto por [4] en estrellas gigantes. Los elementos alfa (Mg, Si, Ca, Ti) mostraron deficiencia con respecto al Fe, salvo la abundancia de silicio $[Si/Fe] = +0.13$ dex cuyo valor es solar. El cociente $[\alpha/Fe] = -0.13$ dex es típico para estrellas pertenecientes al disco delgado de la galaxia [27]. La abundancia de aluminio $[Al/Fe] = +0.07$ dex concuerda con los valores obtenidos para estrellas enanas y gigantes del disco delgado ([2, 3, 5]).

Las abundancias del grupo de Fe (Sc, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn) mostraron una tendencia consistente con las abundancias de las estrellas del disco delgado de la galaxia ([28, 29, 3]). Estas abundancias relativa al hierro $[X/Fe]$ varían desde -0.25 hasta $+0.22$ dex. Finalmente, las abundancias de los elementos del proceso lento (Y, Zr, Ba, La, Ce, Nd) y del proceso rápido (Sm, Eu) de captura de neutrones fueron consistentes con las abundancias de estrellas gigantes del disco delgado estudiadas por [5] y [29]. Sus abundancias relativas al hierro $[X/Fe]$ varían desde -0.07 hasta $+0.32$ dex. Dentro de este grupo se observa que las abundancias de bario y europio mostraron un moderado enriquecimiento, $[Ba/Fe] = +0.32$ y $[Eu/Fe] = +0.22$ dex respectivamente.

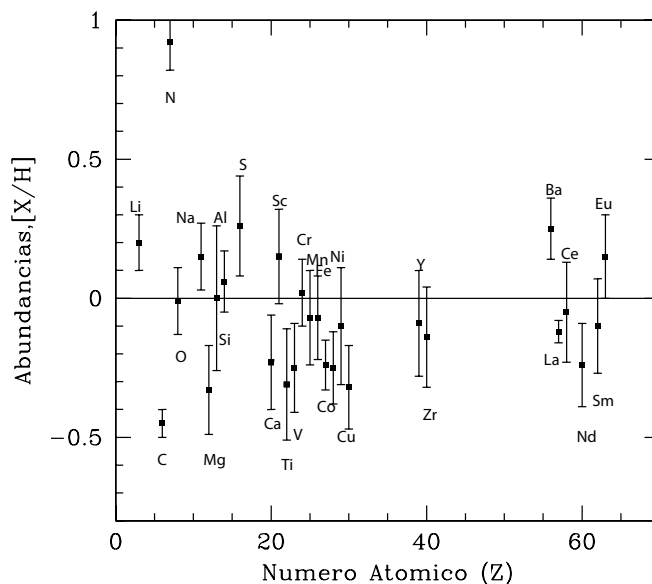


Figura 6: Abundancias relativa al hidrógeno $[X/H]$ versus el número atómico para los 28 elementos químicos identificados. Cada elemento posee su etiqueta y su barra de error respectiva.

En la Figura 6 se representan las abundancias relativas al hidrógeno $[X/H]$ como función del número atómico N para el total de elementos identificados en la Tabla 5. Las barras de error en cada punto corresponden a la incertidumbre de las abundancias de acuerdo al número de líneas por elemento. Cada elemento posee su respectiva etiqueta.

6 Conclusiones

Se presenta por primera vez los resultados de un análisis detallado de las abundancias para la estrella HD 62968. Los resultados fueron obtenidos a partir de un espectro de alta resolución y de un total de 28 elementos químicos identificados. Las abundancias se derivaron a partir de los EWs para la mayoría de los elementos y usando síntesis espectral para el Li y el N.

El análisis de las abundancias permitió concluir que:

a) Las abundancias de C, N y O señalan que la estrella HD 62968 ha experimentado el primer dragado.

b) La moderada velocidad radial ($+42.24 \text{ km s}^{-1}$), la ligera deficiencia en el cociente de los elementos alfa $[\alpha/\text{Fe}]$ (-0.13 dex) y su metalicidad cercana al valor solar (-0.07 dex) parece indicar que la estrella pertenece al disco delgado de la galaxia.

c) Las abundancias de los elementos de captura de neutrones no mostraron signo de enriquecimiento, reafirmando que la estrella HD 62968 presenta signos tempranos de su evolución.

d) De acuerdo a los valores de las abundancias registradas en la Tabla 5, a su posición en el DHR y su incertidumbre, la evolución de la estrella HD 62968 parece encontrarse no más allá del brazo asintótico de las gigantes.

e) Estos resultados demuestran la importancia que cumple el análisis de abundancias en la discriminación de objetos jóvenes y evolucionados superando claramente a los criterios de selección empleados por la fotometría infrarroja.

Agradecimiento

Expresamos nuestro agradecimiento a la base de espectros estelares ELODIE y a las fuentes de datos astronómicos PASTEL, SIMBAD, NED y ASAS por permitirnos hacer uso de sus registros para la culminación satisfactoria de este trabajo. Así mismo, nuestro especial agradecimiento al árbitro anónimo por sus valiosos comentarios los cuales han contribuido al mejoramiento del texto.

Referencias bibliográficas

- [1] Edvardsson, B.; Andersen, J.; Gustafsson, B.; Lambert, D. L., Nissen, P.E. and Tomkin, J. (1993). *A&A*, 275, 101.
- [2] Reddy, B. E.; Lambert, D. L. and Allende Prieto, C. (2006). *MNRAS*, 367, 1329.
- [3] Reddy, B.,E.; Tomkin, J.; Lambert, D. L. and Allende Prieto, C. (2003). *MNRAS*, 340, 304.
- [4] Mishenina, T. V.; Bienayme, O.; Gorbaneva, T. I.; Charbonnel, C. ;Soubiran, C.; Korotin, S. A.; Kovtyukh, V. V. (2006). *A&A*, 456, 1109.
- [5] Wang, L.; Liu, Y.; Zhao, G.; Sato, B. (2011). *PASJ*, 63, 1035.
- [6] Beichmann, C. A.; Helou, G. and D. W. Walter. *Infrared Astronomical Satellite (IRAS). Catalog and Atlases*. NASA, Washington, 1988.
- [7] Itay et al. (2010) *Astron. Astrophys.*, vol. 514, A2.
- [8] van der Veen, W. E. C. J. and Habing, H. J. (1988) *A&A*, 194, 125.
- [9] García-Lario, P.; Machado P.; Pych, W. and Pottasch, S.R. (1997). *Astron. Astrophys.*, Suppl. Ser. vol. 126, p. 479.
- [10] Soubiran, C.; Le Campion, J. F.; Cayrel de Strobel G. and Caillo A., *A&A*, 515, 111.
- [11] Giridhar, S.; Molina, R.; Arellano Ferro, A. and Selvakumar G. (2010). *MNRAS*, 406, 290.
- [12] Moultaqa, J.; Ilovaisky, S. A.; Prugniel, P. and Soubiran C. (2001). *PASP*, 116, 693.

- [13] Prugniel, P.; Soubiran, C.; Koleva, M. and Le Borgne, D. (2007). ELODIE library V3.1, VizieR On-line Data Catalog: III/251. Originally published in: astro-ph/0703658.
- [14] Castelli, F. and Kurucz, R. L. (2003), Modelling of Stellar Atmospheres, Poster Contributions. Proceedings of the 210th Symposium of the International Astronomical Union held at Uppsala University, Uppsala, Sweden, 17-21 June, 2002. Edited by N. Piskunov, W.W. Weiss, and D.F. Gray. Published on behalf of the IAU by the Astronomical Society of the Pacific, 2003., p.A20.
- [15] Prugniel, P. and Soubiran, C. (2001). *A&A*, 369, 1048.
- [16] Molina, R. and Stock, J.; (2004) *RMA&A*, 40, 181.
- [17] Alonso, A.; Arribas S. and Martínez-Roger, C. (1999). *A&AS*, 140, 261.
- [18] Sneden, C. (1973). PhD. Thesis, Austin-Texas.
- [19] Asplund, M.; Grevesse, N.; Sauval, A. J. (2005). *ASPC*, 336, 25
- [20] Madhi, B. (2008). *Bull. Astron. Soc. India*, 36, 1.
- [21] Gontcharov, G. A. (2006). *Astron. Lett*, 32, 759.
- [22] Cram, L. (1999). *Trans. IAU XXIII B*, 141, ed. J. Andersen.
- [23] Girardi, L.; Bressan, A.; Bertelli, G. and Chiosi, C. (2000). *A&AS*, 141, 371.
- [24] Schaller, G.; Schaerer, D.; Meynet, G. and Maeder, M. (1992). *A&AS*, 96, 269.
- [25] Iben, I. Jr. (1967). *Astrophys J.* vol. 147, p.624.
- [26] Iben, I. Jr. (1967). *Astrophys J.* vol. 147, p.650,
- [27] Alves-Brito, A.; Meléndez, J.; Asplund, M.; Ramirez, I. and Yong D. (2010). *Astron. Astrophys*, vol. 513, p.35.
- [28] Bensby, T.; Alves-Brito A.; Oey, M. S.; Yong, D. and Meléndez, J. (2010). *A&A*, 516, 13.
- [29] Takeda, Y.; Sato, B. and Murata D. (2008). *PASJ*, 60, 781.

Dirección de los autores

Ramon Molina

Laboratorio de Física Aplicada y Computacional, Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristobal - Venezuela
 rmolina@unet.edu.ve

Hender Rivera

Laboratorio de Física Aplicada y Computacional, Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristobal - Venezuela
 hrivera@unet.edu.ve

Tabla 5: *Abundancias químicas para HD 62968.*

Elementos	$\log \epsilon_{\odot}$	[X/H]	HD 62968		
			σ_{tot}	N	[X/Fe]
Li I	1.05	+0.20		syn	+0.27
C I	8.39	-0.45		1	-0.38
N(CN)	7.78	+0.92		syn	+0.99
O I	8.66	-0.01	± 0.02	2	+0.06
Na I	6.17	+0.15	± 0.13	7	+0.22
Mg I	7.53	-0.33	± 0.16	5	-0.26
Al I	6.37	0.00	± 0.26	2	+0.07
Si I	7.51	+0.06	± 0.11	14	+0.13
S I	7.14	+0.26	± 0.18	3	+0.33
Ca I	6.31	-0.23	± 0.17	14	-0.16
Sc II	3.05	+0.15	± 0.17	10	+0.22
Ti I	4.90	-0.37	± 0.20	15	-0.30
Ti II	4.90	-0.25	± 0.21	15	-0.18
V I	4.00	-0.25	± 0.16	10	-0.18
Cr I	5.64	+0.07	± 0.19	11	+0.14
Cr II	5.64	-0.03	± 0.12	7	+0.04
Mn I	5.39	-0.07	± 0.17	10	0.00
Fe I	7.45	-0.08	± 0.23	76	
Fe II	7.45	-0.06	± 0.15	18	
Co I	4.92	-0.24	± 0.09	4	-0.17
Ni I	6.23	-0.25	± 0.13	21	-0.18
Cu I	4.21	-0.10	± 0.21	2	-0.03
Zn I	4.60	-0.32	± 0.15	2	-0.25
Y II	2.21	-0.09	± 0.19	7	-0.02
Zr II	2.59	-0.14	± 0.18	4	-0.07
Ba II	2.17	+0.25	± 0.11	2	+0.32
La II	1.13	-0.12	± 0.04	2	-0.05
Ce II	1.58	-0.05	± 0.18	11	+0.02
Nd II	1.13	-0.15	± 0.24	4	-0.08
Sm II	1.01	-0.10	± 0.17	4	-0.03
Eu II	0.52	+0.15	± 0.15	2	+0.22