

Departamento de Astrofísica de la UCM

Trabajo Académicamente Dirigido Curso 2011-2012

Identificación de líneas espectrales para el cálculo de abundancias

Tutor: David Montes, M. José Fernández Figueroa

Alumno: Laura Sanchez Menguiano

Índice

Introducción.....	2
Parámetros estelares y abundancias químicas.....	3
Identificación de líneas a través de Spectroweb.....	5
Identificación de líneas a través de Iraf.....	18
Conclusiones	32
Bibliografía	34

Introducción

En este proyecto se ha trabajado con espectros de alta resolución de estrellas frías previamente realizados y reducidos por el grupo de Astrofísica Estelar del Dpto. de Astrofísica de la UCM. Los espectros han sido realizados con varios espectrógrafos con resoluciones espectrales del orden de 40000 a 80000 cubriendo el rango de tipos espectrales de la estrellas frías (de F a M). Además, se ha hecho uso de otros espectros disponibles en la red, el Observatorio Virtual o archivos de observatorios astronómicos.

Un primer paso ha sido familiarizarme con todo el proceso de análisis de este tipo de espectros estelares. Una vez familiarizada, procedo a realizar una identificación y selección de líneas espectrales adecuadas para poder determinar anchuras equivalentes y así poder calcular parámetros estelares y abundancias. Para la realización del trabajo se han utilizado diferentes herramientas informáticas y bases de datos:

- IRAF¹ para el tratamiento de los espectros.
- SpectroWeb² para la identificación de líneas.

¹ IRAF es distribuido por el NOAO (National Optical Astronomy Observatory), que es dirigido por AURA (Association of Universities for Research in Astronomy Inc.), bajo contrato con la NSF (National Science Foundation).

² URL: <http://spectra.freeshell.org/spectroweb.html>

Parámetros estelares y abundancias químicas

La determinación de abundancias de diversos elementos químicos aplicado a estrellas de tipo solar requiere la caracterización a priori de las estrellas. Conocidos los parámetros atmosféricos es posible determinar la composición química de cada elemento químico a estudiar.

La caracterización de estas estrellas se centra en la obtención de los siguientes parámetros atmosféricos: temperatura efectiva (T_{eff}), gravedad superficial ($\log g$), metalicidad ($[\text{Fe}/\text{H}]$) y velocidad de microturbulencia (ξ).

Los investigadores del grupo de estrellas frías del Dpto. de Astrofísica y CC Atmósfera (Tabernero et al. 2012a, b) han desarrollado un código llamado *StePar* cuya finalidad es obtener los parámetros atmosféricos de estrellas. Este método se basa en la sensibilidad de dichos parámetros a las anchuras equivalentes (EW) de líneas espectrales de hierro neutro (Fe I) y hierro ionizado (Fe II). Por tanto, es importante partir de unas líneas bien definidas y libres de contaminación (producida por la superposición con líneas de otros elementos) y así obtener unas anchuras equivalentes lo mas precisas posible.

StePar ha sido usado para determinar parámetros estelares para algunos estudios (Tabernero et al. 2012a, b, Wisniewski et al. 2012 y González Hernández et al. 2012). Además actualmente se está utilizando para obtener parámetros de estrellas FGK de la exploración *Gaia*-ESO (Gilmore et al. 2012).

Las anchuras equivalentes de las líneas de hierro se obtienen a partir de espectros *echelle* de alta resolución. Esta metodología se apoya en redes de modelos de atmósfera (Kurucz 1993, Gustaffson et al. 2008) y un programa de tratamiento de abundancias químicas que utiliza estas redes de modelos (MOOG: Sneden 1973, TURBOSPECTRUM: Álvarez & Plez 1998).

StePar es un código que permite obtener los parámetros atmosféricos mencionados anteriormente de una manera automática. Se parte de una lista de líneas espectrales de Fe I y Fe II y utilizando el código ARES (Sousa et al. 2007) se determina la anchura equivalente de estas líneas. Con estos datos y con la ayuda de redes de modelos de atmósferas obtenemos una solución que proporciona los parámetros atmosféricos de la estrella en estudio mediante un proceso iterativo que finaliza cuando se satisface la condición de equilibrio de excitación e imponiendo además un equilibrio de ionización:

- **Equilibrio de excitación:** las pendientes de χ vs. $\log \epsilon(\text{Fe I})$ y $\log(EW/\lambda)$ vs. $\log \epsilon(\text{Fe I})$ son cero.
- **Equilibrio de ionización:** $\log \epsilon(\text{Fe I}) = \log \epsilon(\text{Fe II})$.

La solución obtenida para una estrella dada es independiente del conjunto inicial de parámetros empleados, por lo que se usan los parámetros solares como valores iniciales en el proceso iterativo ($T_{\text{eff}}=5777$ K, $\log g=4.44$ dex, $\xi=1$ km s⁻¹).

Una vez determinados los parámetros atmosféricos es posible calcular la abundancia química de los elementos a partir de las anchuras equivalentes (obtenidas de nuevo utilizando el código ARES) de sus líneas espectrales. Una vez que las EWs han sido medidas, el análisis se lleva a cabo con el programa MOOG usando el modelo de atmósfera que corresponde a los parámetros atmosféricos derivados.

Este trabajo consiste en la optimización de la lista de líneas para el cálculo de parámetros atmosféricos y las abundancias químicas de las estrellas. Se parte de las listas de líneas utilizadas por otros autores (Sousa et al. 2008; Neves et al. 2009; González Hernández et al. 2010; Taberner et al. 2012) y se estudia en detalle cada línea para comprobar que no sufre solapamientos con otras líneas próximas, estudiando además la posible dependencia con el tipo espectral y clase de luminosidad. La lista final de líneas seleccionadas permitirá utilizar el código *StePar* y determinar los parámetros y abundancias con mayor precisión.

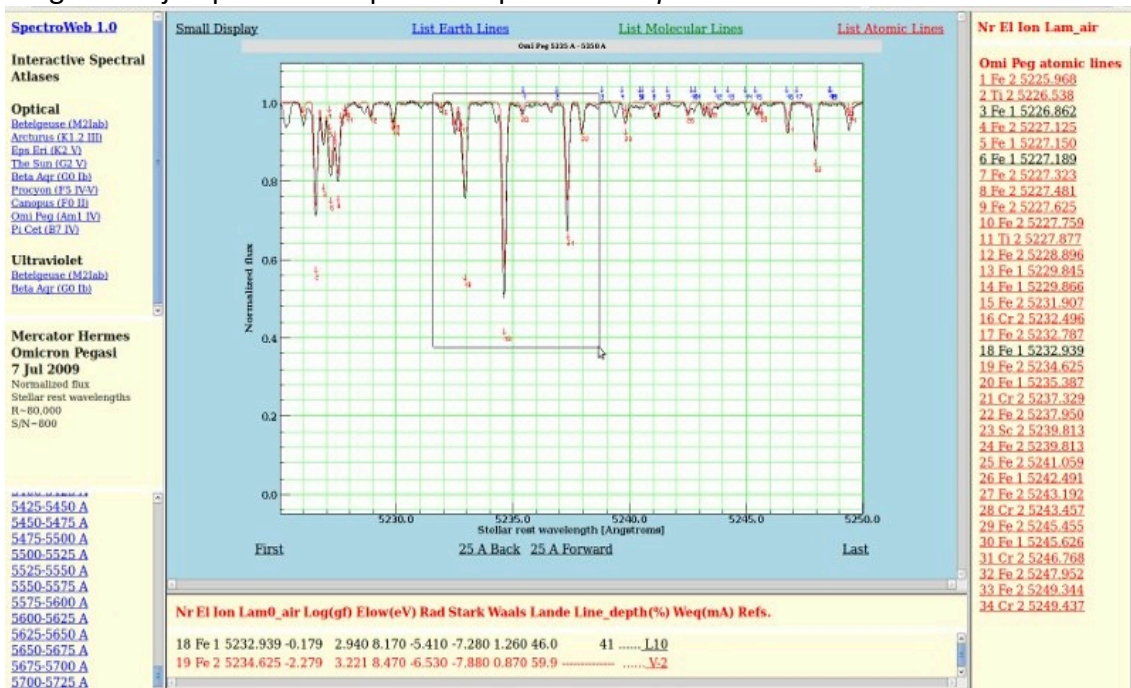
Identificación de líneas a través de Spectroweb

La base de datos *SpectroWeb* es un almacén *online* de líneas espectrales identificadas y características observadas en estrellas de referencia con espectros estándar. Está constantemente actualizándose y mejorándose, actualmente proporciona espectros de alta resolución de seis estrellas brillantes (frías) seleccionadas como principales objetos espectroscópicos de referencia: Betelgeuse (α Ori; M2 lab), Arcturus (α Boo; K1 III), Epsilon Eri (K2 V), el Sol (G2 V), β Aqr (G0 Ib), Procyon (α CMi A; F5 IV-V) y Canopus (α Car; F0 II). *SpectroWeb* es accesible (de forma gratuita) *online* en spectra.freeshell.org.

El espectro de alta-resolución del Sol ha sido obtenido en el NSO (US National Solar Observatory). Los espectros de Procyon, Betelgeuse, Arcturus, and Canopus se obtuvieron con el UVES (Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph) de la ESO (European Southern Observatory), mientras que el de β Aqr proviene del archivo Elodie del OHP (Observatoire de Haute Provence).

Los espectros disponibles en la base de datos *Spectroweb* se muestran de la forma que se observa en la *Figura 1*. La línea continua roja representa el espectro observado y la negra es el teórico. El espectro observado está desplazado en longitud de onda teniendo en cuenta la velocidad radial de la estrella para facilitar una comparación fiel y exacta con el espectro teórico. A la izquierda se puede encontrar una lista con diferentes franjas de longitud de onda en las que se divide el espectro y a la derecha se puede encontrar una lista con las líneas identificadas en el mismo y al pinchar en una, se obtiene información de ésta, como la profundidad de la línea (en %), el flujo (en eV) y la anchura equivalente *EW*.

Figura 1: Ejemplo de un espectro disponible en *Spectroweb*.



Utilizando el programa *Spectroweb* he llevado a cabo la identificación de líneas espectrales de elementos cuyo número atómico se encuentra entre el sodio ($Z=11$) y el níquel ($Z=28$) en el espectro de una estrella de la secuencia principal (Epsilon Eri, K2 V) y de una gigante (Arcturus, K1.5 III). De esta forma he realizado una selección de líneas que son adecuadas para poder determinar anchuras equivalentes (y así calcular abundancias), descartando aquellas que están contaminadas por la presencia de líneas de otros elementos.

A partir de dos listas (Sousa et al. 2008; Neves et al. 2009; González Hernández et al. 2010; Taberero et al. 2012) proporcionadas por el profesor, realicé la identificación y selección de líneas espectrales. Una de ellas contenía 299 líneas de hierro (Fe I y Fe II) entre 4500 y 6900 Å y la otra presentaba 168 líneas, de nuevo entre 4500 y 6900 Å, de los elementos con $Z = 11-28$ (a excepción del hierro, que como he señalado antes, se encontraba en una lista aparte).

Las tablas I y II que aparecen a continuación muestran las líneas, tanto las válidas como las descartadas, en la estrella de la secuencia principal y la gigante. En ellas se indica la longitud de onda de cada línea (columna 1), el elemento del que procede (columna 2), si está contaminada o no (columna 3) y el elemento que la contamina (columna 4) para el caso de la estrella de la secuencia principal, y lo mismo para la gigante (columnas 5 y 6). Como se usa en la nomenclatura general, I indica que el elemento se encuentra en estado neutro y II indica que está una vez ionizado.

Se ha procedido al descarte de algunas líneas (las que se indica en la tabla que están contaminadas) debido a que al estar superpuestas con otras líneas, no se puede medir bien la anchura equivalente (EW) y no sirven para el cálculo de abundancias, tanto si están contaminadas por elementos diferentes como por el mismo elemento.

Tabla I: Líneas espectrales con Z=11-28 (excepto Fe).

Longitud de onda (Å)	Elemento	Epsilon Eri (K2 V)		Arcturus (K1.5 III)	
		Contaminada sí o no	Elemento que la contamina	Contaminada si o no	Elemento que la contamina
4502.21	Mn I	No		No	
4512.99	Ni I	No		No	
4555.49	Ti I	No		Sí	Cr I
4562.63	Ti I	No		No	
4575.11	Cr I	No		Sí	CN
4583.41	Ti II	No		No	
4588.20	Cr II	No		No	
4592.05	Cr II	Sí	Fe I	Sí	Fe I
4594.63	Co I	No		No	
4626.18	Cr I	No		Sí	Fe I
4633.25	Cr I	No		No	
4636.33	Ti II	No		Sí	Sm II
4645.19	Ti I	No		Sí	La II, Tb II
4656.47	Ti I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
4657.20	Ti II	No		No	
4675.11	Ti I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
4700.61	Cr I	No		No	
4708.02	Cr I	No		Sí	Pr II
4708.67	Ti II	No		No	
4722.61	Ti I	No		No	
4730.04	Mg I	No		Sí	Mg I
4730.72	Cr I	No		No	
4739.11	Mn I	No		Sí	Ce II
4743.82	Sc I	No		No	
4761.51	Mn I	No		No	
4767.86	Cr I	No		No	
4792.86	Co I	No		No	
4801.03	Cr I	No		No	
4811.99	Ni I	Sí	Sr I	Sí	Sr I
4813.48	Co I	No		No	
4814.60	Ni I	No		Sí	Fe II
4820.41	Ti I	No		Sí	Nd II
4884.61	Cr II	No		No	
4911.20	Ti II	No		No	
4913.62	Ti I	No		No	
4913.98	Ni I	No		No	
4936.34	Cr I	No		No	
4946.04	Ni I	No		No	
4952.29	Ni I	No		No	
4976.33	Ni I	No		No	
4995.66	Ni I	Sí	MgH	No	
4997.10	Ti I	No		No	

5010.94	Ni I	No		No	
5064.06	Ti I	No		No	
5071.49	Ti I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
5081.11	Ni I	No		No	
5094.41	Ni I	Sí	MgH	Sí	MgH
5113.44	Ti I	Sí	MgH	Sí	MgH
5145.47	Ti I	No		No	
5211.54	Ti II	No		No	
5214.14	Cr I	No		No	
5219.70	Ti I	No		No	
5238.97	Cr I	No		No	
5247.57	Cr I	No		Sí	Th II
5261.71	Ca I	Sí	Cr I	Sí	Cr I
5287.18	Cr I	No		Sí	Nd II
5301.05	Co I	Sí	Co I	Sí	Co I
5342.71	Co I	No		No	
5348.33	Cr I	Sí	Mn I	Sí	Mn I
5352.05	Co I	No		No	
5359.20	Co I	No		No	
5377.62	Mn I	No		No	
5381.03	Ti II	No		Sí	La II, Co I
5392.33	Ni I	No		No	
5418.77	Ti II	No		No	
5435.86	Ni I	No		No	
5462.50	Ni I	No		No	
5480.51	Cr I	No		No	
5490.16	Ti I	No		No	
5512.98	Ca I	No		No	
5517.54	Si I	No		No	
5520.50	Sc I	No		No	
5587.87	Ni I	No		No	
5589.36	Ni I	No		No	
5625.32	Ni I	No		No	
5628.35	Ni I	No		No	
5638.75	Ni I	No		Sí	Pr II
5641.88	Ni I	No		No	
5643.08	Ni I	No		Sí	Co I
5645.61	Si I	No		No	
5647.24	Co I	No		No	
5648.57	Ti I	No		No	
5657.88	Sc II	No		Sí	Fe II
5662.16	Ti I	No		No	
5667.14	Sc II	No		No	
5670.85	V I	No		No	
5671.82	Sc I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
5684.19	Sc II	No		No	
5684.49	Si I	No		No	

5694.99	Ni I	No	No	
5701.11	Si I	No	No	
5727.05	V I	No	Sí	Nd II
5739.48	Ti I	No	No	
5748.36	Ni I	No	No	
5753.64	Si I	No	Sí	Nd II, Si I
5766.33	Ti I	No	No	
5772.15	Si I	No	No	
5781.18	Cr I	No	No	
5783.07	Cr I	No	No	
5787.92	Cr I	No	No	
5805.22	Ni I	No	No	
5847.00	Ni I	No	Sí	Ti I
5867.56	Ca I	No	No	
5948.54	Si I	No	No	
5965.84	Ti I	No	Sí	Fe I
5978.55	Ti I	No	No	
5996.73	Ni I	No	No	
6013.49	Mn I	No	Sí	Ti I
6039.73	V I	No	No	
6064.63	Ti I	No	No	
6081.45	V I	No	No	
6086.29	Ni I	No	No	
6090.21	V I	No	No	
6091.18	Ti I	No	No	
6108.12	Ni I	No	No	
6111.08	Ni I	No	No	
6119.76	Ni I	No	No	
6125.02	Si I	No	No	
6126.22	Ti I	No	No	
6128.98	Ni I	No	Sí	Co I
6130.14	Ni I	No	No	
6142.49	Si I	No	No	
6145.02	Si I	No	No	
6154.23	Na I	No	No	
6156.02	Ca I	No	No	
6160.75	Na I	No	No	
6161.29	Ca I	No	No	
6166.44	Ca I	No	No	
6169.04	Ca I	No	No	
6175.37	Ni I	No	No	
6176.82	Ni I	No	No	
6177.25	Ni I	No	No	
6186.72	Ni I	No	No	
6195.46	Si I	No	No	
6204.61	Ni I	No	No	
6223.99	Ni I	No	No	

6230.10	Ni I	No		No	
6243.11	V I	No		No	
6243.82	Si I	No		No	
6244.48	Si I	No		No	
6245.62	Sc II	No		No	
6251.83	V I	No		No	
6258.11	Ti I	No		No	
6261.10	Ti I	Sí	V I	Sí	V I
6319.24	Mg I	No		No	
6320.84	Sc II	No		No	
6322.17	Ni I	No		No	
6327.60	Ni I	No		No	
6360.81	Ni I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
6378.26	Ni I	No		No	
6455.60	Ca I	No		No	
6471.67	Ca I	No		No	
6499.65	Ca I	No		No	
6527.21	Si I	Sí	Ba I	Sí	Ba I
6598.60	Ni I	No		No	
6599.12	Ti I	No		No	
6635.13	Ni I	No		No	
6696.03	Al I	No		No	
6698.67	Al I	No		No	
6767.78	Ni I	No		No	
6772.32	Ni I	No		No	

Tabla II: Líneas espectrales de Fe.

Longitud de onda (Å)	Elemento	Epsilon Eri (K2 V)		Arcturus (K1.5 III)	
		Contaminada sí o no	Elemento que la contamina	Contaminada sí o no	Elemento que la contamina
4508.28	Fe II	Sí	Ti I	Sí	Ti I
4520.22	Fe II	No		Sí	V I, Fe I
4523.40	Fe I	No		Sí	Nb I
4531.62	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I, Ti I
4534.17	Fe II	No		Sí	Pr II, Ce II
4537.67	Fe I	No		Sí	V I
4541.52	Fe II	Sí	Cr I	Sí	Cr I
4551.65	Fe I	No		No	
4554.46	Fe I	Sí	Ru I	Sí	Sm II, Ru I
4556.93	Fe I	No		Sí	Cr I
4561.41	Fe I	Sí	Mg I, Fe I	Sí	Mg I, Fe I
4566.52	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Co I, Fe I
4574.22	Fe I	No		No	
4574.72	Fe I	No		No	
4576.34	Fe II	No		No	
4579.33	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I, Nd II
4582.84	Fe II	Sí	Fe I	Sí	Fe I
4593.53	Fe I	No		Sí	Sm II
4596.41	Fe I	Sí	Ni I	Sí	Ni I
4602.00	Fe I	No		No	
4602.95	Fe I	No		Sí	Fe II, V I
4607.65	Fe I	No		Sí	Mn I
4620.51	Fe II	No		No	
4625.05	Fe I	No		Sí	Ce II
4629.34	Fe II	Sí	Co I, Ti I	Sí	Co I, Ti I
4630.12	Fe I	No		Sí	Sm II
4631.49	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
4635.85	Fe I	No		No	
4656.98	Fe II	No		No	
4661.54	Fe I	No		No	
4670.17	Fe II	No		Sí	Ce II
4690.14	Fe I	No		No	
4741.53	Fe I	No		Sí	Ce II
4749.95	Fe I	No		No	
4757.58	Fe I	Sí	Cr I	Sí	Cr I, V I
4772.82	Fe I	Sí	Fe I, Ni I	Sí	Fe I, Ni I
4779.44	Fe I	Sí	Sc I	Sí	Sc I
4780.81	Fe I	Sí	Fe I, MgH	Sí	Fe I
4787.83	Fe I	No		No	
4788.76	Fe I	No		Sí	Zr I, Fe I
4789.65	Fe I	No		Sí	Ti I
4793.97	Fe I	No		Sí	Os II

4794.36	Fe I	No		No	
4799.41	Fe I	No		Sí	Ni I, Nd II
4802.52	Fe I	Sí	Cr I	Sí	Cr I
4802.88	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
4808.15	Fe I	No		No	
4809.94	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
4811.05	Fe I	Sí	Ti I	Sí	Ti I
4885.43	Fe I	No		No	
4905.14	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
4923.93	Fe II	Sí	Fe I	Sí	Fe I
4924.77	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I, Fe II
4946.39	Fe I	No		Sí	Fe I, La II
4952.65	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
4961.92	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Sm II, Fe I
4962.58	Fe I	No		No	
4967.90	Fe I	No		No	
4993.70	Fe I	No		Sí	Fe I
4994.14	Fe I	No		Sí	Fe I, Mn I
5044.22	Fe I	No		Sí	Ce II
5049.82	Fe I	No		Sí	MgH
5054.65	Fe I	Sí	MgH	Sí	W I, MgH
5067.15	Fe I	No		No	
5068.77	Fe I	No		Sí	Ni I
5072.68	Fe I	No		No	
5074.76	Fe I	Sí	Mn I	Sí	Mn I
5083.34	Fe I	No		No	
5088.15	Fe I	No		No	
5090.78	Fe I	No		Sí	MgH
5107.45	Fe I	Sí	MgH	Sí	Nd II
5107.65	Fe I	No		Sí	MgH
5109.65	Fe I	Sí	MgH	Sí	MgH
5127.36	Fe I	No		No	
5129.63	Fe I	No		Sí	Cr I
5132.67	Fe II	Sí	MgH	Sí	C ₂ , MgH
5141.74	Fe I	No		Sí	MgH
5143.73	Fe I	No		Sí	Ni I
5151.91	Fe I	Sí	MgH	Sí	Cr I
5159.06	Fe I	No		No	
5180.06	Fe I	No		Sí	Co I
5187.91	Fe I	Sí	MgH	Sí	Ni I
5194.95	Fe I	No		Sí	VI
5195.48	Fe I	No		Sí	VI
5196.06	Fe I	No		No	
5197.57	Fe II	No		No	
5197.94	Fe I	No		No	
5198.72	Fe I	Sí	MgH	No	
5217.40	Fe I	No		No	

5223.19	Fe I	No		No	
5225.53	Fe I	No		Sí	V I
5228.38	Fe I	No		Sí	Nd II
5229.86	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
5234.63	Fe II	No		Sí	Co I
5242.50	Fe I	No		No	
5243.78	Fe I	No		Sí	Ti I, Ni I
5247.06	Fe I	No		No	
5250.21	Fe I	No		No	
5253.02	Fe I	No		No	
5253.47	Fe I	No		No	
5256.94	Fe II	Sí	Sr I, V I	Sí	V I, Sr I
5263.31	Fe I	Sí	Ti I	Sí	Ti I
5264.81	Fe II	No		No	
5284.11	Fe II	No		No	
5288.53	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
5293.96	Fe I	No		No	
5294.55	Fe I	No		No	
5295.32	Fe I	No		No	
5361.62	Fe I	No		Sí	Ti I
5373.71	Fe I	No		No	
5376.83	Fe I	No		No	
5379.58	Fe I	No		No	
5386.34	Fe I	No		No	
5389.48	Fe I	No		No	
5395.22	Fe I	No		No	
5398.28	Fe I	No		No	
5401.27	Fe I	Sí	Ti I	Sí	Ti I
5406.78	Fe I	No		No	
5409.14	Fe I	No		Sí	Ce II
5414.07	Fe II	No		No	
5417.04	Fe I	No		No	
5425.25	Fe II	No		No	
5427.81	Fe II	No		No	
5432.95	Fe I	No		Sí	Fe II
5436.30	Fe I	No		No	
5436.59	Fe I	No		Sí	Ti I
5441.34	Fe I	No		No	
5461.55	Fe I	No		No	
5464.28	Fe I	No		No	
5466.99	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
5473.17	Fe I	No		No	
5481.25	Fe I	No		No	
5491.83	Fe I	No		No	
5522.45	Fe I	No		No	
5525.12	Fe II	No		No	
5534.66	Fe I	No		No	

5534.85	Fe II	No		No	
5538.52	Fe I	No		No	
5543.94	Fe I	No		No	
5546.51	Fe I	No		No	
5547.00	Fe I	Sí	V I	Sí	V I
5553.58	Fe I	Sí	Ni I	Sí	Ni I
5560.22	Fe I	No		No	
5567.40	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
5577.03	Fe I	No		No	
5584.77	Fe I	No		No	
5587.58	Fe I	No		No	
5594.66	Fe I	No		No	
5618.64	Fe I	No		No	
5619.60	Fe I	No		No	
5633.95	Fe I	No		No	
5635.83	Fe I	No		No	
5636.70	Fe I	No		No	
5638.27	Fe I	No		No	
5641.44	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
5649.99	Fe I	No		No	
5651.47	Fe I	No		No	
5652.32	Fe I	No		No	
5653.87	Fe I	No		No	
5661.35	Fe I	No		No	
5662.52	Fe I	No		No	
5667.52	Fe I	No		No	
5679.03	Fe I	No		No	
5680.24	Fe I	No		Sí	Ce II
5701.55	Fe I	No		Sí	Fe I
5715.09	Fe I	Sí	Ni I	Sí	Ni I
5720.90	Fe I	No		No	
5731.77	Fe I	No		No	
5738.24	Fe I	Sí	Mn I	Sí	Mn I
5741.85	Fe I	No		No	
5752.04	Fe I	No		No	
5775.08	Fe I	No		No	
5778.46	Fe I	No		No	
5793.92	Fe I	No		No	
5806.73	Fe I	No		No	
5809.22	Fe I	Sí	Ca I	Sí	Ca I
5811.92	Fe I	No		No	
5814.81	Fe I	No		No	
5815.22	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I, Pr II
5827.88	Fe I	No		Sí	CN
5852.22	Fe I	Sí	Cr I	No	
5853.15	Fe I	No		No	
5855.08	Fe I	No		No	

5856.09	Fe I	No		No	
5862.36	Fe I	No		Sí	Si I
5902.48	Fe I	No		No	
5905.68	Fe I	No		No	
5916.26	Fe I	No		No	
5927.79	Fe I	No		No	
5929.68	Fe I	No		No	
5930.19	Fe I	No		No	
5934.66	Fe I	No		Sí	Nd II
5956.70	Fe I	No		No	
5983.69	Fe I	No		No	
5984.82	Fe I	No		No	
5987.07	Fe I	No		No	
5991.38	Fe II	No		Sí	CN
6005.55	Fe I	No		Sí	Fe I
6024.06	Fe I	No		No	
6027.06	Fe I	No		No	
6034.04	Fe I	No		No	
6035.34	Fe I	No		No	
6054.08	Fe I	No		No	
6056.01	Fe I	No		No	
6065.49	Fe I	No		No	
6078.49	Fe I	No		No	
6079.01	Fe I	No		No	
6082.72	Fe I	No		No	
6084.11	Fe II	No		No	
6094.38	Fe I	No		No	
6096.67	Fe I	No		No	
6098.25	Fe I	No		Sí	Ce II
6113.32	Fe II	No		No	
6120.25	Fe I	No		No	
6127.91	Fe I	No		No	
6149.25	Fe II	No		No	
6151.62	Fe I	No		No	
6157.73	Fe I	No		Sí	Nd II
6159.38	Fe I	Sí	Cr I	No	
6165.36	Fe I	No		No	
6173.34	Fe I	No		No	
6180.21	Fe I	No		Sí	Ni I
6187.99	Fe I	No		No	
6200.32	Fe I	No		No	
6213.44	Fe I	No		No	
6219.29	Fe I	No		No	
6220.79	Fe I	No		No	
6226.74	Fe I	No		No	
6229.24	Fe I	No		Sí	Fe II
6232.65	Fe I	No		No	

6238.39	Fe II	Sí	Si I	Sí	Si I
6239.94	Fe II	No		Sí	VI
6240.65	Fe I	No		No	
6247.56	Fe II	No		No	
6265.14	Fe I	No		No	
6270.23	Fe I	No		No	
6290.98	Fe I	No		No	
6297.80	Fe I	No		No	
6303.46	Fe I	No		Sí	Eu II
6315.81	Fe I	No		No	
6322.69	Fe I	No		No	
6335.34	Fe I	No		No	
6336.83	Fe I	No		No	
6358.68	Fe I	Sí	Fe I	Sí	Fe I
6369.46	Fe II	No		No	
6380.75	Fe I	No		Sí	CN
6385.72	Fe I	No		No	
6392.54	Fe I	No		No	
6407.29	Fe II	Sí	Si I	Sí	Si I
6416.93	Fe II	Sí	Fe I	Sí	Fe I
6430.85	Fe I	No		No	
6432.69	Fe II	No		No	
6442.97	Fe II	No aparece		No	
6456.39	Fe II	No		No	
6481.88	Fe I	No		No	
6498.94	Fe I	No		No	
6516.09	Fe II	No		No	
6581.21	Fe I	No		No	
6593.88	Fe I	No		No	
6608.03	Fe I	No		No	
6609.12	Fe I	No		No	
6625.02	Fe I	No		No	
6627.55	Fe I	No		No	
6646.94	Fe I	No		No	
6653.86	Fe I	No		No	
6699.15	Fe I	No		No	
6703.57	Fe I	No		No	
6705.11	Fe I	No		No	
6710.32	Fe I	No		No	
6713.05	Fe I	No		Sí	Fe I
6713.20	Fe I	No		Sí	Fe I
6713.74	Fe I	No		No	
6725.36	Fe I	No		No	
6726.67	Fe I	No		No	
6732.07	Fe I	No		No	
6733.15	Fe I	No		Sí	CN
6739.52	Fe I	No		No	

6745.11	Fe I	No	No
6745.97	Fe I	No	No
6750.16	Fe I	No	No
6752.71	Fe I	No	No
6786.86	Fe I	No	No
6793.26	Fe I	No	No

Identificación de líneas a través de IRAF

IRAF es un paquete público de *software* para la reducción y análisis de imágenes astronómicas (*Image Reduction and Analysis Facility*). El paquete IRAF proporciona una buena selección de programas para procesamiento general de imágenes y aplicaciones gráficas, además de una gran selección de programas para la reducción y análisis de datos astronómicos en el óptico. El sistema también ofrece un completo y avanzado entorno de programación científica, haciendo sencillo para las instituciones que usan IRAF añadir su propio *software* al sistema.

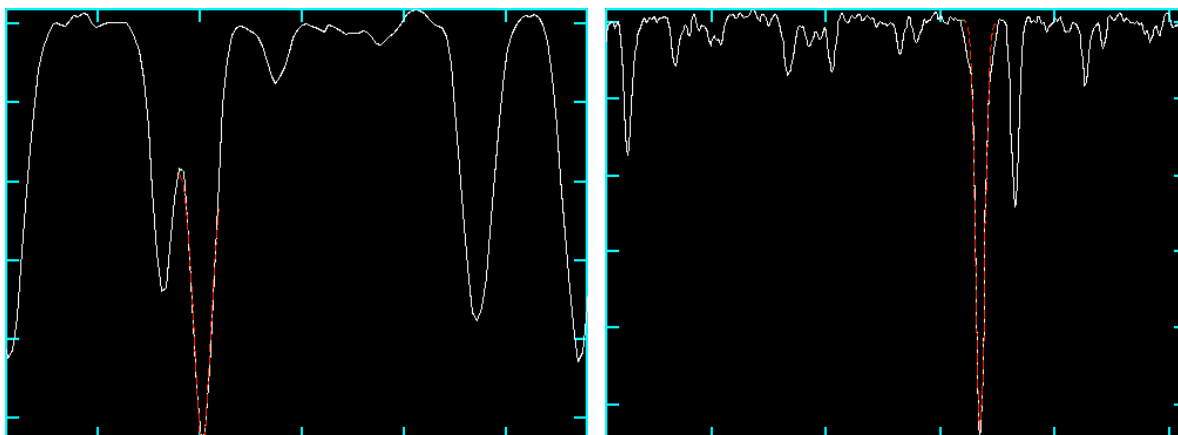
Fue desarrollado a mediados de los años 80 por el Observatorio Astronómico Nacional de los Estados Unidos (NOAO) y en los últimos años se ha convertido en el más usado por la comunidad científica.

Para llevar a cabo mi trabajo se me proporcionó los espectros de tres gigantes (HD 223252, HD 100696 y HD 5848) de tipos G8 III, K0 III y K2 III respectivamente, obtenidos en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma) con HERMES, un espectrógrafo *echelle* de alta resolución. Estos espectros fueron reducidos con el procesamiento automático para HERMES y posteriormente normalizados con IRAF (Tabernero et al. 2012). Además hay que aplicarles la corrección Doppler por velocidad radial calculando el desplazamiento de las líneas (utilizando líneas intensas bien conocidas como H_{α} , etc., ver Montes et al. 1997).

En este apartado se trata de nuevo de, a partir de las líneas identificadas en los espectros de *Spectroweb*, comprobar si las que estaban aisladas siguen manteniéndose así en estas gigantes e igualmente con las que fueron descartadas por hallarse contaminadas de alguna forma que impidiera la medida de su *EW*.

En las tablas III y IV que aparecen a continuación se presenta un estudio detallado de las líneas espectrales. En la columna 3 se indica si la línea está contaminada o no, especificándose dos casos particulares de contaminación (* y **). En la *Figura 2* se muestra un ejemplo de lo que ocurre en ambas situaciones.

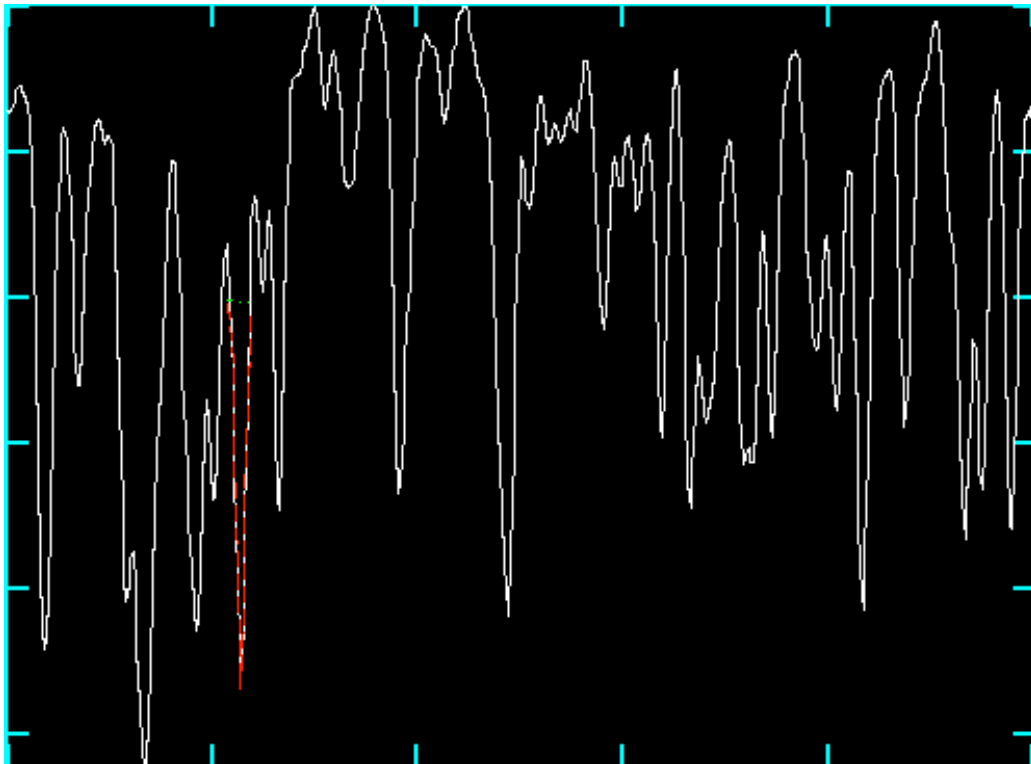
Figura 2. Caso * (izquierda) y caso ** (derecha) indicados en la columna 3 de las tablas III y IV.



En el caso (*) no está definido uno de los bordes, y para medir bien la anchura equivalente es necesario hacer un ajuste a dos gaussianas que no siempre sale bien. En el caso (**) se da otro tipo de contaminación parcial (muy pequeña), pero que también afecta a la medida de la EW.

Además, en el caso de la gigante HD5848 (K2 III), no es posible realizar un estudio de las líneas espectrales hasta no llegar a la de 5200 Å, debido a que en toda esa primera zona del espectro el continuo no está bien definido (ver *Figura 3*).

Figura 3. Problema del continuo en HD5848 (K2 III).



A continuación se presenta en la *Figura 4* un ejemplo de una región del espectro de las tres estrellas donde se aprecia una línea contaminada (superposición de las líneas de Fe I de 6713.05 Å y 6713.20 Å) y otra línea libre de contaminación (línea de Fe I de 6713.74 Å).

Figura 4. Región del espectro en la G8 III (izquierda), K0 III (centro) y K2 III (derecha).

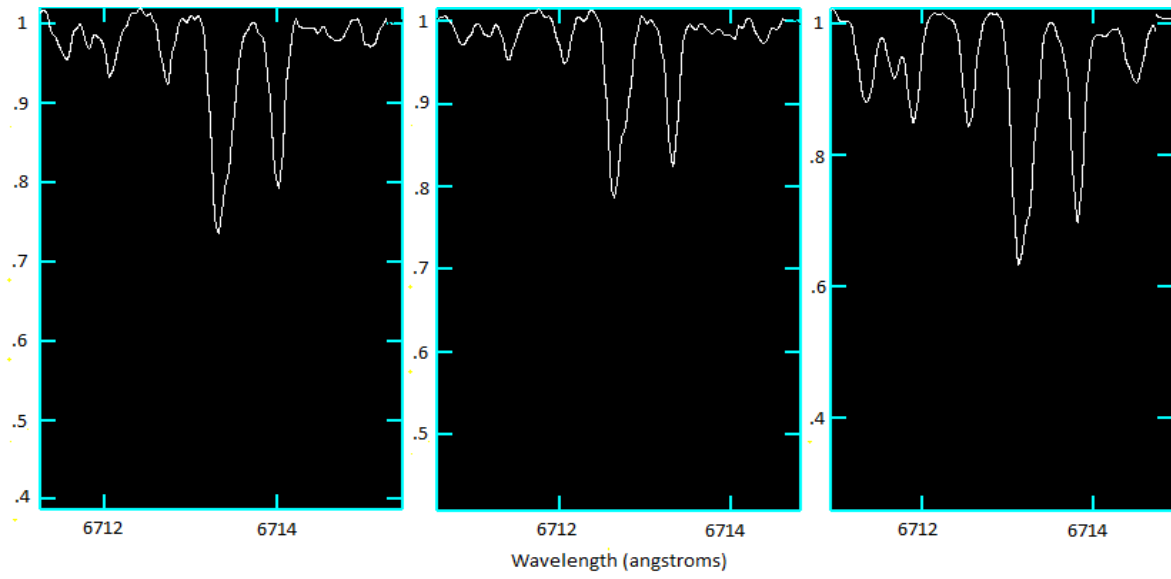


Tabla III. Líneas espectrales con Z=11-28 (excepto Fe).

Longitud de onda (Å)	Elemento	HD223252	HD100696	HD5848
		(G8 III)	(K0 III)	(K2 III)
		Contaminada sí o no	Contaminada sí o no	Contaminada sí o no
4502.21	Mn I	No	No	Indefinido
4512.99	Ni I	No	No	Indefinido
4555.49	Ti I	No	No	Indefinido
4562.63	Ti I	Sí (*)	No	Indefinido
4575.11	Cr I	Sí (*)	No	Indefinido
4583.41	Ti II	No	No	Indefinido
4588.20	Cr II	Sí (**)	No	Indefinido
4592.05	Cr II	Sí (**)	No	Indefinido
4594.63	Co I	No	No	Indefinido
4626.18	Cr I	No	No	Indefinido
4633.25	Cr I	No	No	Indefinido
4636.33	Ti II	No	No	Indefinido
4645.19	Ti I	No	No	Indefinido
4656.47	Ti I	No	No	Indefinido
4657.20	Ti II	Sí (*)	No	Indefinido
4675.11	Ti I	No	No	Indefinido
4700.61	Cr I	Sí (*)	No	Indefinido
4708.02	Cr I	No	No	Indefinido
4708.67	Ti II	No	No	Indefinido
4722.61	Ti I	Sí (*)	No	Indefinido
4730.04	Mg I	No	No	Indefinido
4730.72	Cr I	No	No	Indefinido
4739.11	Mn I	Sí	Sí	Indefinido
4743.82	Sc I	No	No	Indefinido
4761.51	Mn I	No	No	Indefinido
4767.86	Cr I	Sí (*)	No	Indefinido
4792.86	Co I	No	No	Indefinido
4801.03	Cr I	No	No	Indefinido
4811.99	Ni I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4813.48	Co I	No	No	Indefinido
4814.60	Ni I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4820.41	Ti I	No	Sí (**)	Indefinido
4884.61	Cr II	No	No	Indefinido
4911.20	Ti II	Sí (*)	No	Indefinido
4913.62	Ti I	No	No	Indefinido
4913.98	Ni I	No	No	Indefinido
4936.34	Cr I	No	No	Indefinido
4946.04	Ni I	No	No	Indefinido
4952.29	Ni I	Sí (*)	No	Indefinido
4976.33	Ni I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4995.66	Ni I	No	No	Indefinido
4997.10	Ti I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido

5010.94	Ni I	No	No	Indefinido
5064.06	Ti I	No	No	Indefinido
5071.49	Ti I	No	No	Indefinido
5081.11	Ni I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5094.41	Ni I	No	No	Indefinido
5113.44	Ti I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5145.47	Ti I	No	No	Indefinido
5211.54	Ti II	No	No	Sí
5214.14	Cr I	No	No	Indefinido
5219.70	Ti I	No	No	No
5238.97	Cr I	No	No	No
5247.57	Cr I	No	No	Sí
5261.71	Ca I	Sí	Sí	Sí
5287.18	Cr I	No	No	No
5301.05	Co I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5342.71	Co I	No	No	Sí (*)
5348.33	Cr I	No	No	Sí (*)
5352.05	Co I	No	No	Sí
5359.20	Co I	No	No	Sí (*)
5377.62	Mn I	Sí (**)	Sí (**)	Sí
5381.03	Ti II	Sí (**)	Sí (**)	Sí
5392.33	Ni I	No	No	Sí (*)
5418.77	Ti II	No	No	Indefinido
5435.86	Ni I	No	No	No
5462.50	Ni I	No	No	No
5480.51	Cr I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5490.16	Ti I	No	No	Indefinido
5512.98	Ca I	No	No	Indefinido
5517.54	Si I	No	No	Indefinido
5520.50	Sc I	No	No	No
5587.87	Ni I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5589.36	Ni I	No	No	No
5625.32	Ni I	No	No	Indefinido
5628.35	Ni I	No	No	Indefinido
5638.75	Ni I	No	No	No
5641.88	Ni I	No	No	Indefinido
5643.08	Ni I	No	No	No
5645.61	Si I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5647.24	Co I	No	No	No
5648.57	Ti I	No	No	Indefinido
5657.88	Sc II	No	No	No
5662.16	Ti I	Sí	Sí	Sí
5667.14	Sc II	No	No	Indefinido
5670.85	V I	No	No	No
5671.82	Sc I	Sí	Sí	Sí
5684.19	Sc II	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5684.49	Si I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)

5694.99	Ni I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5701.11	Si I	No	No	Indefinido
5727.05	V I	Sí	Sí	Sí
5739.48	Ti I	No	No	No
5748.36	Ni I	No	No	Indefinido
5753.64	Si I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5766.33	Ti I	Sí (**)	Sí (**)	No
5772.15	Si I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5781.18	Cr I	No	Sí (**)	Indefinido
5783.07	Cr I	No	No	Sí (*)
5787.92	Cr I	No	No	No
5797.87	Si I	Sí	Sí	Sí
5805.22	Ni I	No	No	No
5847.00	Ni I	No	No	No
5867.56	Ca I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5948.54	Si I	Sí	Sí	Sí
5965.84	Ti I	No	Sí (**)	Sí (*)
5978.55	Ti I	No	No	Indefinido
5996.73	Ni I	No	Sí (**)	No
6013.49	Mn I	No	No	Sí (**)
6039.73	V I	No	No	Indefinido
6064.63	Ti I	Sí (**)	Sí (**)	Sí (**)
6081.45	V I	Sí (**)	Sí (**)	Sí
6086.29	Ni I	No	No	No
6090.21	V I	No	No	No
6091.18	Ti I	No	No	No
6108.12	Ni I	No	No	No
6111.08	Ni I	No	No	No
6119.76	Ni I	Sí	Sí	Sí
6125.02	Si I	No	No	Sí
6126.22	Ti I	No	No	No
6128.98	Ni I	Sí (**)	Sí (**)	Sí (**)
6130.14	Ni I	No	No	Sí (*)
6142.49	Si I	No	No	No
6145.02	Si I	No	No	Sí (*)
6154.23	Na I	No	No	Sí (**)
6156.02	Ca I	No	No	Indefinido
6160.75	Na I	No	No	No
6161.29	Ca I	No	No	No
6166.44	Ca I	Sí (**)	No	No
6169.04	Ca I	No	No	Sí (*)
6175.37	Ni I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6176.82	Ni I	No	No	Sí (*)
6177.25	Ni I	No	No	No
6186.72	Ni I	No	No	Sí (**)
6195.46	Si I	No	No	No
6204.61	Ni I	No	No	Sí (**)

6223.99	Ni I	No	No	No
6230.10	Ni I	Sí (**)	Sí (**)	Sí (**)
6237.33	Si I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6243.11	V I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6243.82	Si I	No	Sí (*)	Indefinido
6244.48	Si I	No	No	No
6245.62	Sc II	No	No	Sí (*)
6251.83	V I	No	No	No
6258.11	Ti I	No	No	Sí (*)
6261.10	Ti I	No	No	No
6319.24	Mg I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6320.84	Sc II	No	No	No
6322.17	Ni I	No	No	Sí (**)
6327.60	Ni I	No	No	Sí (*)
6360.81	Ni I	Sí (*)	Sí (**)	Sí (*)
6378.26	Ni I	Sí (**)	Sí (**)	Sí (**)
6455.60	Ca I	No	No	No
6471.67	Ca I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6499.65	Ca I	No	No	No
6527.21	Si I	Sí	Sí (*)	Sí
6598.60	Ni I	Sí (**)	No	Sí (**)
6599.12	Ti I	No	No	No
6635.13	Ni I	Sí (**)	No	Sí (**)
6696.03	Al I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6698.67	Al I	No	No	No
6721.85	Si I	No	No	No
6741.63	Si I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6767.78	Ni I	No	No	No
6772.32	Ni I	No	No	Sí (**)

Tabla IV. Líneas espectrales de Fe.

Longitud de onda (Å)	Elemento	HD223252	HD100696	HD5848
		(G8 III)	(K0 III)	(K2 III)
		Contaminada sí o no	Contaminada sí o no	Contaminada sí o no
4508.28	Fe II	Sí	Sí	Indefinido
4520.22	Fe II	Sí (*)	No	Indefinido
4523.40	Fe I	No	Indefinido	Indefinido
4531.62	Fe I	Sí	Sí	Indefinido
4534.17	Fe II	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4537.67	Fe I	Sí (*)	No	Indefinido
4541.52	Fe II	Sí	Sí	Indefinido
4551.65	Fe I	Sí (*)	No	Indefinido
4554.46	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4556.93	Fe I	Sí (*)	No	Indefinido
4561.41	Fe I	Sí	Sí	Indefinido
4566.52	Fe I	Sí (*)	No	Indefinido
4574.22	Fe I	No	No	Indefinido
4574.72	Fe I	Sí	Sí	Indefinido
4576.34	Fe II	Sí	Sí	Indefinido
4579.33	Fe I	Sí	Sí	Indefinido
4582.84	Fe II	Sí (*)	Sí	Indefinido
4593.53	Fe I	No	No	Indefinido
4596.41	Fe I	Sí	Sí	Indefinido
4602.00	Fe I	No	No	Indefinido
4602.95	Fe I	Sí	No	Indefinido
4607.65	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4620.51	Fe II	Sí	Sí (**)	Indefinido
4625.05	Fe I	Sí	Sí	Indefinido
4629.34	Fe II	Sí	Sí	Indefinido
4630.12	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4631.49	Fe I	No	No	Indefinido
4635.85	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4656.98	Fe II	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4661.54	Fe I	No	No	Indefinido
4670.17	Fe II	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4690.14	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4741.53	Fe I	No	No	Indefinido
4749.95	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4757.58	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4772.82	Fe I	No	No	Indefinido
4779.44	Fe I	No	No	Indefinido
4780.81	Fe I	No	No	Indefinido
4787.83	Fe I	No	No	Indefinido
4788.76	Fe I	No	No	Indefinido
4789.65	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4793.97	Fe I	No	No	Indefinido

4794.36	Fe I	No	No	Indefinido
4799.41	Fe I	No	No	Indefinido
4802.52	Fe I	No	No	Indefinido
4802.88	Fe I	No	No	Indefinido
4808.15	Fe I	No	No	Indefinido
4809.94	Fe I	No	No	Indefinido
4811.05	Fe I	No	No	Indefinido
4885.43	Fe I	No	No	Indefinido
4905.14	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Indefinido
4923.93	Fe II	Sí	Sí	Indefinido
4924.77	Fe I	No	Sí (**)	Indefinido
4946.39	Fe I	No	No	Indefinido
4952.65	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
4961.92	Fe I	No	No	Indefinido
4962.58	Fe I	No	No	Indefinido
4967.90	Fe I	No	No	Indefinido
4993.70	Fe I	No	No	Indefinido
4994.14	Fe I	No	No	Indefinido
5044.22	Fe I	Sí	Sí	Indefinido
5049.82	Fe I	Sí (*)	Sí	Indefinido
5054.65	Fe I	No	No	Indefinido
5067.15	Fe I	Sí (*)	No	Indefinido
5068.77	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5072.68	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5074.76	Fe I	No	No	Indefinido
5083.34	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5088.15	Fe I	No	Sí (**)	Indefinido
5090.78	Fe I	No	No	Indefinido
5107.45	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5107.65	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5109.65	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5127.36	Fe I	No	No	Indefinido
5129.63	Fe I	Sí	Sí	Indefinido
5132.67	Fe II	No	No	Indefinido
5141.74	Fe I	No	No	Indefinido
5143.73	Fe I	Sí	Sí	Indefinido
5151.91	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5159.06	Fe I	Sí	Sí	Indefinido
5180.06	Fe I	No	No	Indefinido
5187.91	Fe I	No	No	Indefinido
5194.95	Fe I	No	Sí (*)	Indefinido
5195.48	Fe I	No	Sí	Indefinido
5196.06	Fe I	No	No	Indefinido
5197.57	Fe II	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5197.94	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5198.72	Fe I	No	No	Indefinido
5217.40	Fe I	No	No	No

5223.19	Fe I	No	No	No
5225.53	Fe I	Sí	Sí	Sí
5228.38	Fe I	Sí	Sí	Indefinido
5229.86	Fe I	No	Sí (*)	Sí (*)
5234.63	Fe II	No	No	No
5242.50	Fe I	No	No	No
5243.78	Fe I	No	Sí (**)	Sí (*)
5247.06	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Indefinido
5250.21	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Indefinido
5253.02	Fe I	No	No	Sí
5253.47	Fe I	No	No	Sí
5256.94	Fe II	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5263.31	Fe I	No	No	Sí
5264.81	Fe II	No	No	No
5284.11	Fe II	Sí	Sí	Sí
5288.53	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Sí
5293.96	Fe I	No	No	No
5294.55	Fe I	No	Sí (**)	Sí (**)
5295.32	Fe I	No	No	Sí (**)
5361.62	Fe I	Sí	Sí	Sí
5373.71	Fe I	No	No	No
5376.83	Fe I	Sí	Sí (**)	Indefinida
5379.58	Fe I	No	No	No
5386.34	Fe I	No	No	No
5389.48	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5395.22	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Sí (*)
5398.28	Fe I	No	No	No
5401.27	Fe I	No	No	No
5406.78	Fe I	No	No	No
5409.14	Fe I	Sí	Sí	Sí
5414.07	Fe II	No	No	No
5417.04	Fe I	No	No	Sí (**)
5425.25	Fe II	No	No	No
5427.81	Fe II	No	No	Sí
5432.95	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Sí
5436.30	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5436.59	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5441.34	Fe I	No	No	No
5461.55	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Sí (**)
5464.28	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5466.99	Fe I	No	No	No
5473.17	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí
5481.25	Fe I	Sí	Sí	Sí
5491.83	Fe I	Sí	Sí	Sí
5522.45	Fe I	No	No	Sí
5525.12	Fe II	Sí	Sí (**)	Sí
5534.66	Fe I	Sí	Sí	Sí

5534.85	Fe II	Sí	Sí	Sí
5538.52	Fe I	No	No	No
5543.94	Fe I	No	No	No
5546.51	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí
5547.00	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí
5553.58	Fe I	No	No	No
5560.22	Fe I	No	No	No
5567.40	Fe I	Sí (*)	Sí	Sí (*)
5577.03	Fe I	No	No	No
5584.77	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí
5587.58	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5594.66	Fe I	Sí	Sí (*)	Sí
5618.64	Fe I	No	No	Sí (*)
5619.60	Fe I	No	No	Sí (*)
5633.95	Fe I	No	Sí (*)	Sí
5635.83	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5636.70	Fe I	No	No	Sí (*)
5638.27	Fe I	No	No	No
5641.44	Fe I	Sí	Sí	Sí
5649.99	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5651.47	Fe I	Sí (**)	No	Sí (**)
5652.32	Fe I	No	No	No
5653.87	Fe I	No	No	Sí (*)
5661.35	Fe I	No	No	Sí (*)
5662.52	Fe I	Sí	Sí	Sí
5667.52	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5679.03	Fe I	No	No	No
5680.24	Fe I	Sí (*)	Sí	Sí (*)
5701.55	Fe I	No	No	Sí (*)
5715.09	Fe I	No	No	Sí (*)
5720.90	Fe I	Sí (**)	Sí	No
5731.77	Fe I	No	No	Sí (*)
5738.24	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5741.85	Fe I	No	No	Sí (*)
5752.04	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Sí (*)
5775.08	Fe I	No	No	No
5778.46	Fe I	No	No	No
5793.92	Fe I	Sí	Sí (**)	Sí
5806.73	Fe I	No	No	No
5809.22	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Sí (**)
5811.92	Fe I	No	No	No
5814.81	Fe I	No	No	No
5815.22	Fe I	No	No	No
5827.88	Fe I	Sí	Sí	Sí
5852.22	Fe I	No	No	No
5853.15	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5855.08	Fe I	No	No	No

5856.09	Fe I	No	Sí (**)	Sí
5862.36	Fe I	Sí	Sí	Sí
5902.48	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5905.68	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5916.26	Fe I	Sí	Sí	Sí
5927.79	Fe I	No	No	No
5929.68	Fe I	No	No	No
5930.19	Fe I	No	No	Sí (**)
5934.66	Fe I	Sí	Sí	Sí
5956.70	Fe I	No	No	No
5983.69	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí
5984.82	Fe I	Sí	Sí (*)	Sí
5987.07	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
5991.38	Fe II	No	No	Sí (*)
6005.55	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Sí (**)
6024.06	Fe I	No	Sí (**)	Sí
6027.06	Fe I	No	No	No
6034.04	Fe I	Sí	Sí	Sí
6035.34	Fe I	Sí	Sí	Sí
6054.08	Fe I	No	No	No
6056.01	Fe I	No	No	No
6065.49	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Sí
6078.49	Fe I	No	No	No
6079.01	Fe I	No	No	Sí (**)
6082.72	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6084.11	Fe II	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6089.57	Fe I	No	No	No
6094.38	Fe I	No	No	No
6096.67	Fe I	No	Sí (*)	No
6098.25	Fe I	Sí (*)	Sí	Sí (*)
6113.32	Fe II	Sí (*)	Sí (*)	Sí
6120.25	Fe I	No	No	No
6127.91	Fe I	Sí (**)	Sí	Sí (*)
6149.25	Fe II	No	No	No
6151.62	Fe I	No	No	No
6157.73	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí
6159.38	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6165.36	Fe I	No	No	No
6173.34	Fe I	No	No	Sí (**)
6180.21	Fe I	Sí	Sí	Sí
6187.99	Fe I	No	No	No
6200.32	Fe I	No	No	Sí (**)
6213.44	Fe I	No	No	Sí
6219.29	Fe I	No	No	No
6220.79	Fe I	Sí	Sí	Sí
6226.74	Fe I	No	No	No
6229.24	Fe I	No	No	No

6232.65	Fe I	No	No	No
6238.39	Fe II	Sí (**)	Sí (**)	Sí
6239.94	Fe II	Sí	Sí	Sí
6240.65	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6247.56	Fe II	Sí (**)	Sí (**)	Sí
6265.14	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Sí (*)
6270.23	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6290.98	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6297.80	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí
6303.46	Fe I	Sí	Sí	Sí
6315.81	Fe I	No	No	No
6322.69	Fe I	No	No	No
6335.34	Fe I	No	No	Sí
6336.83	Fe I	No	No	Sí
6358.68	Fe I	No	No	No
6369.46	Fe II	No	No	No
6380.75	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6385.72	Fe I	No	No	No
6392.54	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6407.29	Fe II	Sí (**)	Sí (**)	Sí
6416.93	Fe II	No	No	No
6430.85	Fe I	No	Sí (**)	Sí
6432.69	Fe II	No	No	No
6442.97	Fe II	No	No	No
6456.39	Fe II	Sí (*)	Sí (*)	Sí
6481.88	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6498.94	Fe I	No	No	No
6516.09	Fe II	Sí	Sí	Sí
6581.21	Fe I	Sí	Sí	Sí
6593.88	Fe I	No	No	Sí (**)
6608.03	Fe I	No	No	Sí
6609.12	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6625.02	Fe I	Sí	Sí	Sí
6627.55	Fe I	No	No	No
6646.94	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Sí (**)
6653.86	Fe I	No	No	Sí (*)
6699.15	Fe I	No	No	No
6703.57	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí (*)
6705.11	Fe I	No	No	No
6710.32	Fe I	Sí (**)	Sí (**)	Sí
6713.05	Fe I	Sí	Sí	Sí
6713.20	Fe I	Sí	Sí	Sí
6713.74	Fe I	No	No	No
6725.36	Fe I	No	No	No
6726.67	Fe I	No	No	No
6732.07	Fe I	Sí	Sí	Sí (*)
6733.15	Fe I	No	No	No

6739.52	Fe I	No	No	Sí (*)
6745.11	Fe I	No	No	No
6745.97	Fe I	No	No	No
6750.16	Fe I	No	No	No
6752.71	Fe I	Sí	Sí	Sí
6786.86	Fe I	Sí (**)	Sí (*)	Sí (**)
6793.26	Fe I	Sí (*)	Sí (*)	Sí

Conclusiones

Durante el trabajo desarrollado, he llevado a cabo la identificación de un total de 465 líneas espectrales de hierro (Fe I y Fe II) y diferentes elementos químicos con número atómico entre 11 y 28 a través de dos programas: *Spectroweb*, base de datos disponible en la red, y IRAF, software público de reducción de imágenes astronómicas. El objetivo del trabajo era hacer una selección de líneas que fueran adecuadas para obtener los parámetros atmosféricos y, con ellos, calcular las abundancias químicas de una estrella.

En *Spectroweb* realicé la identificación de las líneas en el espectro de una estrella de la secuencia principal (Epsilon Eri, K2 V) y una gigante (Arcturus, K1.5 III). Respecto a la perteneciente a la secuencia principal, de todas las líneas 67 fueron descartadas por hallarse contaminadas por la presencia de otras líneas, de forma que fueron 376 las líneas espectrales seleccionadas en esta estrella. En cuanto a la gigante, se encontraron 140 líneas contaminadas, dejando 304 líneas espectrales adecuadas para el propósito antes mencionado.

Se puede ver que la estrella gigante presenta más líneas contaminadas que la estrella de la secuencia principal. Debido a que son del mismo tipo espectral (K), ambas estrellas presentan la misma T_{eff} y masa pero la gigante tiene un radio sustancialmente mayor que la estrella de la secuencia principal, por lo que la gravedad es muy diferente. Esta diferencia en la gravedad hace que cambien las condiciones de presión en la estrella y se manifiesta en la intensidad y en la forma de las líneas espectrales, que resultan más estrechas e intensas. Debido a esto, se observan más líneas que en la estrella de la secuencia principal no se ven (lo que hace que muchas líneas se superpongan y resulten contaminadas). Prueba de esto es que todas las líneas contaminadas de Epsilon Eri (a excepción de unas pocas) también están contaminadas en el espectro de Arcturus, y las nuevas líneas que aparecen como contaminadas se deben, como ya he dicho antes, al aumento en la intensidad de muchas líneas que comienzan a superponerse.

En IRAF llevé a cabo la identificación de las líneas en los espectros de tres gigantes de diferentes tipos espectrales: una G8, una K0 y una K2. En el espectro de la G8 descarté 192 líneas por contaminación (de entre ellas, 100 se enmarcan dentro del caso (*) y 33 en el caso (**)) y me quedé con 257 líneas espectrales que consideré libres de contaminación. En el espectro de la K0, fueron 189 las líneas descartadas (89 por el caso (*) y 38 por el caso (**)) y seleccioné 261 líneas. Tengo que mencionar que una línea fue descartada por no hallarse bien definido el continuo. Por último, en el caso de la gigante K2, se consideraron contaminadas 178 líneas del espectro (de ellas 77 debido al caso (*) y 26 al caso (**)), 159 se tomaron como indefinidas (lo que hace que el número de líneas contaminadas pueda ser mucho mayor) por problemas con el continuo (ya mencionado antes) y, por tanto, fueron sólo 112 las líneas seleccionadas en este espectro.

Aunque no se puede apreciar bien debido al problema del continuo que hace que haya muchas líneas indefinidas, el comportamiento de las líneas contaminadas con la T_{eff} es que cuanto más fría es la estrella, mayor es el número de líneas metálicas en el espectro y por tanto mayor es el solapamiento entre las líneas y, como consecuencia, la contaminación. De hecho esa indefinición del continuo mencionada anteriormente es debida en gran parte al gran número de líneas que se superponen y que hacen que el continuo no quede bien definido por el solapamiento de las alas de dichas líneas. Si nos fijamos en las tablas III y IV, en general a medida que nos desplazamos hacia la derecha en las columnas (las estrellas son más frías), identificamos las mismas líneas contaminadas que en columnas anteriores y se van sumando nuevas líneas contaminadas que surgen debido al solapamiento con líneas que tienen mayor intensidad que en las estrellas más calientes y que comienzan a producir contaminación.

De esta forma se proporciona una lista de líneas optimizada para el cálculo de abundancias.

Bibliografía

- Alvarez, R., & Plez, B. 1998, A&A, 330, 1109.
- Gilmore, G., Randich, S., Asplund, M., et al. 2012, The Messenger, 147, 25.
- González Hernández, J. I., Israelian, G., Santos, N. C. et al. 2010, ApJ, 720, 1592
- González Hernández J.I., Ruiz-Lapuente P., Tabernero H.M., Montes D., Canal R., Méndez J., Bedin L. 2012, "No surviving evolved companions to the progenitor of supernova SN 1006", Nature, Volume 489.
- Gustafsson, B., Edvardsson, B., Eriksson, K., et al. 2008, A&A, 486, 951.
- Kurucz, R. L. 1993, "ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km s⁻¹ grid". Kurucz CD-ROM No. 13. Cambridge, Mass.: Smithsonian Astrophysical Observatory, 13.
- Lobel, A. 2008, "SpectroWeb: Oscillator Strength Measurements of Atomic Absorption Lines in the Sun and Procyon", 9th Int. Coll. on Atomic Spectra and Oscillator Strengths for Astrophysical and Laboratory Plasmas at Lund, Sweden. Journal of Physics: Conference Series, Volume 130, Issue 1, pp. 012015.
- Montes, D. et al. 1997, "Library of high and mid-resolution spectra in the Call H&K, H, H, and NaI D1, D2, and HeI D3 lines regions of F, G, K and M field stars". Astronomy & Astrophysics Supplement series, Vol. 123, Jun II 1997, 473-485.
- Neves, V., Santos, N. C., Sousa, S. G., Correia, A. C. M., & Israelian, G. 2009, A&A, 497, 563.
- Sneden, C. A. 1973. Ph.D. Thesis, The University of Texas.
- Sousa, S. G., Santos, N. C., Israelian, G., Mayor, M., & Monteiro, M. J. P. F. G. 2007, A&A, 469, 783.
- Sousa, S. G., Santos, N. C., Mayor, M., et al. 2008, A&A, 487, 373.
- Tody, D. 1986. "The IRAF Data Reduction and Analysis System". Proc. SPIE Instrumentation in Astronomy VI, ed. D.L. Crawford, 627, 733.
- Tabernero, H.M. Montes D., González Hernández, J. I. 2012. "Chemically tagging the Hyades Supercluster: A homogeneous sample of F6-K4 kinematically-selected northern stars". Astronomy & Astrophysics, A&A, in press.
- Tabernero, H.M. González Hernández, J.I. Montes, D. 2012. "StePar: an automatic code for stellar parameter determination". Proceedings of the X Reunión Científica de la SEA, Sociedad Española de Astronomía (9 - 13 Julio 2012, Valencia, Spain).
- Wisniewski, J. P., Ge, J., Crepp, J.R., et al. 2012, AJ, 143, 107.