

Curso 1994/95
CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS

ÁNGEL ALONSO SÁNCHEZ

**La escala de temperaturas efectivas
de las estrellas de la baja secuencia principal
(tipos espectrales F0-K5)**

Directores
SANTIAGO ARRIBAS MOCOROA
CARLOS MARTÍNEZ ROGER



SOPORTES AUDIOVISUALES E INFORMÁTICOS
Serie Tesis Doctorales

A mis padres

Agradecimientos

En primer lugar, gracias a los españoles que pagan sus impuestos desinteresadamente para financiar investigaciones científicas a fondo perdido, gracias a los responsables políticos que aprueban los presupuestos del IAC, y gracias a los administradores y a todo el equipo de apoyo que hace que el Instituto funcione.

Gracias también, a los profesores y compañeros de la Facultad de Ciencias de Salamanca que me ayudaron a entrar en el *negocio* de la Física.

Gracias *borondonianos*. Han sido cuatro años compartiendo trabajo, fiestas, tartas, otras fiestas, excursiones, carnavales y más fiestas, sin olvidar claro las comilonas y las fiestas.

Gracias Alex y Gaspar, por haber soportado con resignación los experimentos sobre la segunda ley de la termodinámica que he realizado en nuestro despacho.

Gracias Inma, Isa, Ana, Carme, Peña, Sole, Panchi y todas las **gordas** del instituto, por dejarme hacer mis comentarios favoritos.

Gracias Luis Manadé y Luis Chinarro, sin vuestra ayuda al pie del telescopio este trabajo habría sido menos divertido.

Gracias Elena, Lari, Juana y Luci por llenar mi vida de bubangos ¹, y por dejarme el puesto de pinche de la *organishsashion*.

Gracias Miquel y Xavi por vuestra amistad, y por todas las locuras que hemos hecho.

Dejo para el final lo más importante. Cuando entré en el IAC como estudiante, tuve la fortuna de caer en las manos de Santiago y Carlos. Siempre estaré en deuda con vosotros por vuestra ayuda constante, vuestras buenas ideas, y sobre todo por vuestra infinita paciencia. Si al final he conseguido que se me *pegue* algo de vuestro talante y vuestros métodos, todo el tiempo que hemos trabajado juntos habrá merecido más que la pena. Gracias Tee, por soportar con paciencia las horas que nos ha robado este maldito libro, por ayudarme con un buen monton de estrellas, y por los cuentos *y todo eso*. Gracias Bea y Cristina por no apropiaros de mi cama, aunque nunca os perdonare que me hayais expropiado el armario. Gracias papá y mamá por vuestro apoyo y vuestro cariño, que es lo más importante de todo.

¹calabacitas cilíndricas de corteza verde y carne blanca. (N. del E.)

Resumen

En esta memoria se describen los resultados de un programa de investigación mediante el cual se han determinado empíricamente las relaciones $T_{ef} - color - [Fe/H]$ para las estrellas de la secuencia principal de tipos espectrales F0-K5. Se han desarrollado una serie de programas específicos dedicados a superar algunos de los inconvenientes principales de los trabajos previos sobre este mismo tema.

En primer lugar, se presentan los resultados de una campaña de observaciones que ha servido para obtener la fotometría JHK de 360 estrellas que forman parte de la muestra global considerada en el trabajo. En un estudio complementario, se ha establecido la calibración absoluta del flujo IR de Vega en las longitudes de onda efectivas de las bandas fotométricas consideradas, empleando un método semiempírico basado en las medidas directas de los diámetros angulares de algunas estrellas. Estos dos puntos han servido para determinar los flujos monocromáticos infrarrojos de las estrellas del programa.

Se ha revisado el efecto de la metalicidad sobre los flujos bolométricos de las estrellas enanas y subenanas de tipos F, G y K. Los resultados de esta revisión han servido para determinar los flujos bolométricos de las estrellas de la muestra.

El Método del Flujo Infrarrojo se ha utilizado para determinar las temperaturas de unas 500 estrellas, utilizando una red homogénea de modelos de atmósferas que incluyen nuevas opacidades asociadas a las líneas metálicas débiles.

Las relaciones $T_{ef} - color - [Fe/H]$ derivadas finalmente, se han empleado para ilustrar su aplicación en el análisis de algunos problemas importantes en el campo de la Astrofísica, como son la comprobación de los modelos de atmósferas estelares, y el estudio de los diagramas HR de sistemas estelares y su relación con la historia evolutiva de nuestra galaxia.

Códigos de la UNESCO: 2101.10, 2101.11, 2101.12, 2101.02

Summary

This document describes the results of a research programme by means of which the empirical relations $T_{ef} - colour - [Fe/H]$ have been determined for main sequence stars ranging spectral types [F0-K5]. A series of specific programmes has been developed in order to reduce the main drawbacks of the previous works on the same topic.

As a preliminary step, the results of the observational campaign carried out to obtain JHK photometry for 360 stars of the overall sample, are presented and discussed. The absolute flux calibration for Vega in the aforementioned infrared bands has been established by applying a new semiempirical method based on direct measurements of stellar angular diameters. Both points have been jointly used to derive infrared monochromatic fluxes for the stars of the programme.

The effect of metallicity on the bolometric fluxes of F,G and K dwarfs and subdwarfs has been revised in order to assign bolometric fluxes to the stars of the programme.

The InfraRed Flux Method has been used to determine the effective temperatures of the 500 stars in the sample, using a homogeneous grid of stellar atmosphere models which include recently calculated opacities associated to weak metallic lines.

The $T_{ef} - color - [Fe/H]$ relations finally derived have been used to show their application in the analysis of two important problems in the field of Astrophysics: the test of the stellar atmospheres models, and the study of HR diagrams of stellar systems and its relation to the evolutionary history of our Galaxy.

UNESCO codes: 2101.10, 2101.11, 2101.12, 2101.02

Indice

	ii
Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Summary	v
1 Introducción	1
1.1 La observación frente a la experimentación directa	4
1.1.1 Los parámetros estelares	5
1.2 Medida y determinación de g y $[M/H]$	7
1.2.1 Las gravedades superficiales	7
1.2.2 La determinación de las abundancias químicas	9
1.3 Medida y determinación de las temperaturas efectivas	11
1.3.1 Los métodos directos	12
1.3.2 Los métodos indirectos	15
1.4 El Método de Flujo Infrarrojo	16
1.4.1 Cálculo de los factores $R_{\text{teo}}(\lambda)$: los modelos	17
1.4.2 Cálculo de los factores $R_{\text{obs}}(\lambda)$	17
1.4.3 La calibración absoluta del flujo infrarrojo	21
1.4.4 La fotometría IR	21
1.4.5 La corrección de enrojecimiento interestelar	22
1.5 La calibración fotométrica de la T_{ef}	22
1.5.1 Las calibraciones teóricas	23
1.5.2 Las calibraciones empíricas	24
1.5.3 La aplicación de las calibraciones empíricas	25
1.6 El programa general de estudio	27
2 Las observaciones	29
2.1 Introducción	30
2.2 La selección de las estrellas	30
2.3 Las observaciones	35

2.3.1	El procedimiento de reducción	36
2.4	El sistema fotométrico del TCS	40
2.4.1	Los filtros y la respuesta de las bandas	42
2.4.2	Las transformaciones fotométricas	42
2.5	Análisis de los diagramas de color:color	48
2.5.1	Los diagramas IR	48
2.5.2	Los diagramas visible:IR	57
3	La calibración absoluta del flujo IR	59
3.1	Introducción	60
3.2	Descripción del método de calibración	61
3.3	La selección de la muestra	64
3.4	Las observaciones del programa de diámetros estelares	67
3.5	Comprobación del sistema instrumental y de los flujos IR teóricos	72
3.6	La aplicación del método	74
3.7	Discusión: la CAFIR propuesta	78
4	Los flujos bolométricos	88
4.1	Introducción	88
4.2	El método	90
4.2.1	Descripción general	90
4.2.2	La síntesis de los colores	94
4.2.3	Los factores de corrección $C(T_{ef}, [Fe/H])$	100
4.3	La aplicación del método	103
4.3.1	La selección de la muestra	103
4.3.2	La calibración absoluta de los flujos	104
4.3.3	El procedimiento iterativo: los resultados	105
4.3.4	La calibración fotométrica del flujo integrado	109
4.4	La comparación con otras determinaciones	112
4.4.1	Blackwell y Petford (1991)	112
4.4.2	Carney y Aaronson (1979) y Carney (1983)	115
4.4.3	Otros trabajos	115
5	La aplicación del MFI: las temperaturas	119
5.1	Introducción	119
5.2	La implementación del MFI	120
5.3	Los elementos teóricos del MFI	123

5.3.1	Descripción de los modelos de atmósferas y de las distribuciones de flujos	123
5.3.2	Los factores $q(\lambda_{IR})$	124
5.3.3	Los factores $R(\lambda)$ teóricos	129
5.4	Los observables del MFI	131
5.4.1	Los flujos monocromáticos en el IR	131
5.4.2	Los flujos bolométricos	131
5.4.3	La corrección de extinción interestelar	132
5.4.4	Los parámetros atmosféricos secundarios	135
5.5	La determinación de las temperaturas	139
5.5.1	Análisis de los errores accidentales	140
5.5.2	Análisis de los errores sistemáticos	142
5.5.3	Análisis de los resultados	144
6	La escala empírica de temperaturas	151
6.1	Introducción	151
6.2	Relaciones $T_{ef}, (B-V), [Fe/H]$	153
6.3	Relaciones $T_{ef}, (V-K), [Fe/H]$	164
6.4	Relaciones $T_{ef}, \text{Strömgen}, [Fe/H]$	168
6.5	Relaciones $T_{ef}, \beta, [Fe/H]$	174
6.6	Los colores intrínsecos de la baja S.P.	182
7	Aplicación de las relaciones T_{ef}-[Fe/H]-Color	184
7.1	Introducción	184
7.2	Análisis de los modelos de atmósferas y opacidades	187
7.3	La transformación del diagrama HR	191
7.3.1	Propiedades de las isócronas de $z = z_{\odot}$	191
7.3.2	Propiedades de las isócronas de $z < z_{\odot}$	195
7.3.3	Ajuste de isócronas a cúmulos globulares	201
7.3.4	Datación relativa de las estrellas del halo	203
8	Conclusiones	207
	Apéndice 1	210
	Apéndice 2	222

Apéndice 3	228
Apéndice 4	238
Apéndice 5	253
Referencias y Bibliografía	267

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se introduce el concepto de parámetro estelar y se destaca su importancia en el análisis de los modelos teóricos desarrollados en el campo de la física estelar. Se revisan los métodos usualmente empleados para determinar algunos parámetros estelares básicos (gravedad superficial, metalicidad y temperatura efectiva), al tiempo que se establece la importancia de las calibraciones de estos parámetros en relación con la Teoría de Atmósferas Estelares y la Teoría de Evolución Estelar. Se muestra que los métodos directos no son sistemáticamente aplicables a la determinación de la temperatura efectiva de las estrellas enanas y subenanas. Se presenta el Método del Flujo infrarrojo, método indirecto muy ventajoso para el estudio de dicho problema, y se comentan los puntos esenciales para su aplicación. Por último, se describen las calibraciones empíricas $T_{ef} = f(\text{color}, [Fe/H], \log(g))$ más relevantes de la baja secuencia principal, y se propone la necesidad de ampliarlas y mejorarlas.

El continuo progreso que ha experimentado la tecnología en las últimas décadas ha influido de forma notable sobre la Astrofísica experimental. Las nuevas generaciones de detectores de estado sólido son cada vez más eficientes en los intervalos espectrales de mayor interés astronómico. El descubrimiento de materiales cerámicos livianos y la aplicación de técnicas de óptica activa, han permitido la fabricación de telescopios de gran apertura. El aumento en la escala de integración de circuitos electrónicos ha dado lugar a ordenadores con enorme potencia de cálculo. Y hay múltiples observatorios espaciales tomando datos, o a punto de ser lanzados al espacio. El resultado global de todos estos factores ha sido la transformación, en mayor o menor medida, de numerosos aspectos de la imagen que tenemos del Universo. La simplicidad inicial en casi todas las áreas de la Astronomía va enriqueciéndose con detalles a medida que se acumulan las observaciones. Empiezan a publicarse

los primeros resultados de algunos experimentos diseñados para medir observables fósiles de las épocas tempranas del Universo, que acotan parámetros fundamentales de los modelos cosmológicos. Hay un catálogo creciente de quásares, blázares, púlsares, MACHOs y otros objetos exóticos cuya naturaleza no se comprende de forma demasiado precisa. Por otro lado, los grandes aceleradores de partículas se aproximan cada vez más a las energías necesarias para recrear algunos procesos físicos sólo posibles en los primeros instantes después del *Big Bang*. También la física de plasmas comienza a reproducir de forma controlada condiciones físicas semejantes a las que dominan en los núcleos estelares. Mientras tanto, las ramas más tradicionales de la Astrofísica siguen ocupándose principalmente del estudio de las estrellas. La acumulación de datos y observaciones estelares de todo tipo aumenta sin cesar, de tal manera que gran parte de los esfuerzos de la Astrofísica siguen concentrándose en el análisis de las estrellas. Desde un punto de vista general y simplificado, las estrellas son masas aproximadamente esféricas de hidrógeno y helio, con algunas impurezas de elementos más pesados, sometidas a su propia interacción gravitatoria. En sus núcleos, se produce energía mediante reacciones nucleares que en parte compensa la tendencia al colapso, y en parte se emite al espacio. Las atmósferas, capas externas transparentes para los fotones, determinan la forma característica del espectro de la energía electromagnética que abandona las estrellas. El estudio sistemático de las propiedades físicas de las estrellas por medio de la fotometría, no solo es un banco de pruebas necesario para la comprensión de los avances de modelos de atmósferas o de estructura estelar sino que, como veremos, puede ser la clave indirecta para llegar a entender otras cuestiones fundamentales, como por ejemplo el análisis cronológico de las diferentes etapas por las que ha pasado nuestra Galaxia.

Entre las propiedades físicas que caracterizan a las estrellas, ocupa un lugar importante la temperatura efectiva, que es una forma útil de medir el flujo de energía que emiten. Ya desde las primeras determinaciones, por ajustes de gradientes de flujos observados a las predicciones de la primitiva teoría de atmósferas estelares (Pannekoek 1936), los resultados fueron empleados para obtener calibraciones empíricas frente a los colores fotométricos observados. En 1938, Kuiper publica en el *Astrophysical Journal* un trabajo sobre la escala de temperaturas efectivas en el cual "*Directions are given for*

the calibration of temperatures derived from [...] color indices [...] to effective temperatures". Desde estos primeros trabajos, la escala de temperaturas ha sido el objetivo continuo de múltiples estudios fotométricos que han explorado todas las regiones del espacio $\log(g) - [Fe/H]$, con mayor o menor precisión. Pueden señalarse como representativos los siguientes: Johnson 1966, Saxner y Hammarbäck 1985, Arribas y Martínez-Roger 1988, Bell y Gustaffson 1989, Blackwell et al. 1990.

En esta memoria se presentan los resultados de un análisis de los efectos de la metalicidad sobre la escala de temperaturas efectivas de las estrellas de la baja secuencia principal¹. El trabajo se basa en el estudio de una muestra de estrellas enanas y subenanas más completa y numerosa que ninguna de las utilizadas anteriormente.

Además de las aplicaciones clásicas, es decir la comprobación de la teoría de atmósferas estelares y la transformación del diagrama HR, que serán tratados de forma directa en el capítulo 7, los resultados de este trabajo tienen influencia sobre otros problemas no menos importantes. La espectroscopía es el instrumento fundamental que nos permite analizar la composición química de las estrellas. Si dejamos a un lado el problema de la determinación de las fuerzas del oscilador, que recibe constante atención por parte de numerosos laboratorios, la temperatura efectiva es el parámetro que tiene un mayor peso en los análisis espectroscópicos. Las relaciones T_{ef} -colores-[Fe/H] que se derivan en este trabajo tienen importancia en la determinación de abundancias químicas. Además, hay problemas más básicos que permanecen abiertos: la incertidumbre en la escala de temperaturas crece hacia los tipos espectrales más tardíos. Hay diferencias de hasta 500K en la escala empírica de temperaturas efectivas para las enanas M. Este trabajo contribuirá a limitar, en parte, estos problemas.

Antes de comenzar la descripción del trabajo realizado, es necesario introducir algunos conceptos básicos, y situarlo en un contexto adecuado. Dedicaremos el resto del capítulo a este propósito. Hemos de tener en cuenta que, debido al carácter propio de los problemas que ocupan a la física estelar, en la mayor parte de las ocasiones no se comprueba la validez de una hipótesis aislada. Normalmente se pone a prueba un modelo complejo que conlleva

¹En lo sucesivo, se entenderá por baja secuencia principal la formada por las estrellas de masa inferior a $2M_{\odot}$.

numerosas hipótesis básicas. La separación de éstas no es una tarea sencilla debido a los límites que impone la observación como método de trabajo. La interpretación de las observaciones a partir de la teoría se realiza mediante un proceso indirecto cuyas suposiciones, implícitas o explícitas, limitan en algunos casos el alcance de las deducciones. Por ejemplo, cuando se sintetizan colores utilizando modelos de atmósferas estelares y los resultados se contrastan con las medidas fotométricas ¿estamos comprobando la fiabilidad de los modelos, o la fiabilidad de la descripción teórica del sistema instrumental con que se realizaron las observaciones? Necesariamente, la validez de las conclusiones de cualquier trabajo dependerá sensiblemente del método empleado para estudiar cada problema específico. En primer lugar, han de acotarse los posibles errores sistemáticos y aleatorios que pueden afectar al procedimiento de estudio adoptado; en segundo, han de elegirse magnitudes observables relacionadas con los elementos de la teoría de forma directa y elemental. En la siguiente sección, se discute como afectan las particularidades del método de trabajo de la Astrofísica al presente estudio.

1.1 La observación frente a la experimentación directa

Es conveniente, en primer lugar, recordar que el mecanismo propio de una ciencia experimental se basa en la confrontación de las predicciones teóricas con los resultados experimentales (nótese sin embargo que el acuerdo entre las predicciones de los modelos y las observaciones o los resultados empíricos es una condición necesaria, pero no suficiente, para dar validez a una teoría). De este modo, las teorías científicas solamente serán útiles si algunas de sus predicciones son comparables con ciertos resultados mensurables de la experiencia. La forma en que se obtienen los datos empíricos que servirán para verificar una teoría, nos permite establecer una primera clasificación de las ciencias experimentales:

Por un lado, podemos reunir las ciencias que se basan en la *experimentación directa*. Formarían parte de este grupo la Química, la Óptica, el Electromagnetismo, la Termodinámica, etc. Todas ellas tienen en común un rasgo esencial: pueden reproducir en un laboratorio los fenómenos que estudian. Para estas ciencias, la experimentación es una herramienta precisa, que permite aislar un aspecto concreto de la naturaleza para analizar su funcionamiento.

Por otro lado podemos reunir aquellas ciencias que se apoyan fundamentalmente en la *observación*. Formarían parte de este grupo ciencias como la Meteorología, la Geología, la Astrofísica y, en particular dentro de esta última, la física estelar. Todas ellas tienen un rasgo en común: los sistemas que estudian son de acceso difícil; Resultaría complicado colocar un detector en el núcleo de una estrella, o en su atmósfera. Sin embargo, eso es lo que hacemos, de una manera indirecta y menos fundamental, cuando ajustamos una isócrona al diagrama color-magnitud de un cúmulo estelar, o cuando comparamos con las observaciones los colores sintetizados a partir de espectros estelares teóricos. A esta dificultad, se añade la limitación para reproducir en el laboratorio la mayor parte de los fenómenos y procesos que tienen lugar en estos sistemas. La razón es simple, sus escalas de energía y de tiempo superan en varios órdenes de magnitud a las que podemos alcanzar con nuestros medios, por lo tanto la experimentación directa queda bastante limitada. En algunos casos, la observación puede substituir sin desventajas a la experimentación directa. Siempre, claro está, que la naturaleza haga los experimentos oportunos en nuestro lugar. En algunas ocasiones, habremos de conformarnos con determinaciones indirectas de algunas magnitudes físicas, que implican un mayor o menor grado de elaboración de la teoría, en lugar de sus medidas directas. El análisis detenido de las peculiaridades y restricciones que la observación impone sobre el método de la Astrofísica nos lleva directamente a un concepto básico: el de *parámetros estelares*.

1.1.1 Los parámetros estelares

Si queremos describir el funcionamiento de un determinado sistema físico lo que hacemos en primer lugar, basándonos en nuestra experiencia previa, es elaborar un modelo matemático que incorpore, de forma tratable y consistente, las magnitudes físicas relevantes del sistema y las leyes que gobiernan estas magnitudes. Es de una importancia básica, en este esquema, el concepto de parámetro físico. Dentro de los posibles modelos matemáticos que describen los grupos genéricos de sistemas físicos, los parámetros son las variables asociadas de forma natural a las magnitudes fundamentales de un sistema determinado, que una vez fijadas (preferiblemente a través de la observación) permiten el estudio de un sistema particular. El modelo será más o menos complejo, según el nivel de profundidad que deseemos alcanzar en

la descripción del sistema, pero en cualquier caso, después de fijar los valores de los parámetros, podremos obtener una serie de predicciones teóricas (asociadas a magnitudes observables), que comparadas con los resultados experimentales (magnitudes observadas) nos permitirán verificar la validez del modelo. Este mecanismo describe de forma simplificada las características esenciales del método de las ciencias experimentales. Parece razonable suponer entonces, que si un modelo supera con éxito la comparación con los resultados de la observación, es correcto. No todo es tan sencillo, porque en ocasiones las observaciones no son concluyentes. ¿Dónde está el problema? El procedimiento descrito está limitado tanto por los errores de medida en las observaciones, como por la precisión que puede alcanzarse con los modelos matemáticos, determinada por las restricciones de las hipótesis adoptadas. Con estas consideraciones, resulta evidente la necesidad de conocer los errores e incertidumbres asociados a los valores de los parámetros del sistema físico, porque esto tiene una influencia determinante en el proceso de comparación de la observación con la teoría.

Nuestro conocimiento del interior de una estrella, con la excepción obvia del Sol, procede de la información que recibimos por medio de los fotones que consiguen abandonar la estrella a través de su atmósfera, formada por las capas más externas de gas y plasma. La atmósfera determina las propiedades del flujo de energía que la estrella libera desde su núcleo al espacio. Aunque, en principio, podrían considerarse como una parte de la estrella tomada globalmente, resulta ventajoso y mucho más práctico el estudio aislado de las atmósferas como sistemas individuales. En este caso, se describen como una masa de gas con una geometría y composición química características, sometida al campo de radiación que emerge del interior estelar en sus capas profundas, y bajo el efecto del campo gravitatorio creado por la masa total de la estrella. De este modo, en el esquema físico más elemental (aquel en que se desprecian los efectos de la rotación, los campos magnéticos...), una atmósfera queda formalmente definida si conocemos su gravedad superficial ($g = GM_*/R_*$), el flujo de radiación que emite (σT_{ef}^4) y la composición química del gas que la forma ($[M/H]$ donde M representa de forma genérica a todos los elementos de número atómico mayor que 2). Para describir su estado físico impondremos, como hipótesis de trabajo, la validez de una serie de leyes físicas descritas a través de un conjunto de ecuaciones (ecuación del equilibrio hidrostático, ecuación de conservación de la energía,

ecuación de estado de la materia...). Por lo tanto, podemos decir que lo que caracteriza a una atmósfera estelar es un conjunto de parámetros fundamentales: $\log(g)$, T_{ef} y $[M/H]$ que denominaremos *parámetros estelares*. Es necesario reseñar que, a veces, se añaden a este grupo parámetros tales como la microturbulencia o la longitud de mezcla. Sin embargo, éstos no parecen tener un fundamento físico tan elemental, y son más bien un requerimiento adicional de los modelos, como consecuencia de su incapacidad para tratar de forma rigurosa algunos procesos físicos. Bajo este esquema conceptual, resulta evidente la importancia de la determinación de T_{ef} , $\log(g)$ y $[M/H]$ (preferiblemente sin el apoyo de los propios modelos), tanto para definir físicamente una atmósfera específica, como para comprobar la validez de los modelos comparando, una vez fijados estos parámetros, con otras magnitudes observables tales como la anchura e intensidad de las líneas del espectro.

Por otra parte, en un contexto más general, la determinación de estos parámetros tiene gran interés en los estudios de la evolución estelar. Aunque ahora, el modelo global de la estrella queda definido por otro conjunto de parámetros. Por ejemplo, el teorema de Vogt-Russell establece que bajo ciertas hipótesis la estructura de una estrella está determinada de forma única por su masa y su composición química. Estos y otros parámetros (L , T_{ef} ...), desempeñan un importante papel en la comparación de los modelos evolutivos con las observaciones. De hecho, el marco clásico de comprobación de la teoría de la evolución estelar es el diagrama HR que, en su representación teórica, tiene por ejes la luminosidad y la temperatura efectiva.

Ahora podemos preguntarnos: ¿mediante qué métodos, y con qué precisión es posible medir los parámetros estelares? En las siguientes secciones exponemos una revisión extensa de este problema, aunque debe señalarse que en ningún caso es exhaustiva, y que en diferentes tipos de estrellas puede tener características particulares.

1.2 Medida y determinación de g y $[M/H]$

1.2.1 Las gravedades superficiales

La gravedad superficial, a través de la ecuación del equilibrio hidrostático, es una de las magnitudes básicas que determinan las condiciones físicas de la atmósfera de una estrella. Es importante entonces, conocer los métodos que se pueden emplear para la medida o la determinación de esta magnitud, y

los errores o las incertidumbres a que se hallan sujetos. Fundamentalmente, disponemos de tres métodos: (a) el estudio de sistemas estelares binarios, (b) la interpretación de las características espectrofotométricas de las estrellas y, (c) otras técnicas específicas basadas en modelos de estructura estelar. Podemos analizar brevemente las ventajas y limitaciones de cada uno de estos métodos:

Sistemas binarios: Una medida directa de g

La aplicación directa de las leyes de la mecánica clásica y el estudio de las curvas de luz o velocidad permiten determinar, respectivamente, los radios y las masas de las estrellas de un sistema doble. Para el estudio de las estrellas de la Secuencia Principal solo son adecuados los sistemas eclipsantes y espectroscópicos separados. En las revisiones de Popper (1980), y Andersen (1991), se presentan, respectivamente, una panorámica general del tema, y los resultados más recientes. La lista total contiene 43 sistemas binarios de la SP cuyos tipos espectrales se hallan irregularmente distribuidos el intervalo [O9-M1] (especialmente abundan estrellas A y F debido a su mayor luminosidad a igual distancia). La mayor parte de los errores en la masa, obtenidos a partir de los ajustes numéricos de los datos fotométricos o espectroscópicos, son inferiores al 5 %. Sin embargo, una estimación más realista establece el error interno en una cota del 15 %. Por otra parte, para los radios los errores son siempre inferiores al 10 %. Esto conduce a errores en g comprendidos entre el 15 % y el 35 %, que para estrellas de la SP significa 0.05-0.20 dex en $\log(g)$. Como es obvio, el inconveniente de este método es que no se puede aplicar a estrellas aisladas.

Métodos espectroscópicos

Además de la relación de la fuerza de la discontinuidad de Balmer con g , también son sensibles a la gravedad los perfiles de algunas líneas espectrales, aunque aquí la influencia cruzada de la temperatura efectiva puede llevar a valores erróneos. Son especialmente útiles las líneas del hidrógeno y del helio, en el caso de estrellas calientes, donde la T_{ef} parece tener una influencia menor (Kudritzki y Hummer 1990). Los errores típicos son de 0.15 dex, lo cual supone una indeterminación de aproximadamente el 30 % en g . No ocurre lo mismo para estrellas más frías, en las cuales, la T_{ef} y la abundancia de metales en la atmósfera tienen tal influencia sobre el espectro, que los

efectos de la gravedad son muy difíciles de analizar. En este caso, el método más apropiado para determinar la gravedad, es el estudio del ensanchamiento de algunas líneas metálicas (Fe y Ca) por efecto de la presión (Arribas y Crivellari 1989), con una incertidumbre para $\log(g)$ de 0.15 dex, en el mejor de los casos.

Métodos fotométricos

Los sistemas fotométricos de banda ancha, por su propia naturaleza, son muy poco sensibles a los detalles del espectro estelar, y por ello es muy difícil encontrar una correlación entre este tipo de fotometría y la gravedad. Este inconveniente se elimina en parte con los sistemas fotométricos de banda media o estrecha. En particular podemos destacar el sistema de Strömgren, cuyo índice c_1 fue concebido específicamente para medir la fuerza de la discontinuidad de Balmer. La discontinuidad de Balmer es probablemente la característica más sensible a la gravedad del continuo del espectro de una estrella. Este índice es bastante apropiado para estrellas de tipos (A-F). Sin embargo para las estrellas de los tipos espectrales más tardíos (G,K,M), en las cuales el ion H^- domina la opacidad del continuo, la discontinuidad de Balmer no solo refleja la dependencia de g , sino que además se vuelve muy sensible a los efectos de la metalicidad y la T_{ef} . Las incertidumbres de estos métodos se sitúan en torno a 0.20-0.30 dex (Olsen 1984, Laird 1985). En cualquier caso, el diagrama $(b-y) - c_1$ proporciona una separación aproximada de estrellas enanas y subgigantes de otras clases de luminosidad (Croswell et al. 1990).

En resumen, la gravedad superficial es un parámetro estelar cuyo valor está afectado por una gran incertidumbre, tal y como se desprende de los apartados previos. No obstante su efecto sobre la escala de temperaturas de la SP es marginal y, por lo que concierne a los objetivos de nuestro trabajo, bastará con poder distinguir estrellas gigantes de enanas y subenanas.

1.2.2 La determinación de las abundancias químicas

La determinación de las abundancias químicas tiene un interés evidente para el análisis de los modelos de atmósferas estelares, y además puede proporcionar importantes claves para la mejor comprensión de los modelos de interiores. ¿Con qué precisión es posible determinar las abundancias químicas

de las atmósferas estelares? Si examinamos la última edición del Catálogo de Abundancias Espectroscópicas (Cayrel de Strobel et al. 1992) no es raro encontrar medidas independientes para una misma estrella que difieren en valores superiores a 0.5 dex, que rebasan claramente el límite permitido por la precisión interna de las diferentes determinaciones. Podemos separar dos causas principales. Las debidas a las limitaciones propias de los modelos que se utilizan en el análisis espectroscópico, y las debidas a las limitaciones experimentales, y de la observación. Entre estas últimas destacamos:

1. El valor de la relación S/R es fundamental en la precisión con que se puede determinar la posición del continuo y así las anchuras equivalentes de las líneas.
2. Las imprecisiones en la determinación de los parámetros de la atmósfera. En la mayor parte de los casos, la temperatura efectiva es el parámetro crítico en los análisis espectroscópicos, en menor grado influyen la gravedad superficial y la velocidad de microturbulencia.
3. Imprecisiones en el conocimiento de los parámetros atómicos.

El primer problema es puramente técnico y no vamos a tratarlo aquí.

Con relación al segundo, se debe evitar, si es posible, determinar simultáneamente todos los parámetros físicos de la atmósfera con los modelos. Dado que éstos no permiten analizar de forma independiente los efectos de la gravedad y la temperatura efectiva por una parte, y las abundancias químicas por otra, se corre el riesgo de obtener una temperatura efectiva "etiqueta" que depende fuertemente del modelo empleado (Gustafsson y Graae-Jørgensen 1984). La mejor manera de evitar este problema consiste en obtener el valor de la temperatura efectiva por algún método independiente, y ajustar el resto de los parámetros de forma iterativa.

Por último, también importante es el problema de la precisión de los valores de los parámetros atómicos relacionados con las anchuras equivalentes de las líneas. Principalmente nos interesan las fuerzas del oscilador puesto que también influyen sobre la determinación de la microturbulencia, y en menor medida las constantes de amortiguamiento colisional. Hay que destacar los múltiples trabajos de Blackwell y sus colaboradores dirigidos a determinar las fuerzas del oscilador en diversas líneas metálicas con precisiones internas del 1% (véase Blackwell et al. 1986). Sin embargo, el análisis de algunos

trabajos recientes de precisión comparable (Heise y Kock (1990) y Kroll y Kock (1987)), permite observar, al cruzar los resultados, que los errores reales son superiores, y así, son habituales diferencias de 0.5 dex en los valores de $\log(gf)$.

En el presente trabajo necesitamos determinar las metalicidades de una muestra de estrellas muy numerosa (≈ 400). No es posible emplear siempre métodos espectroscópicos, por razones obvias. Las calibraciones fotométricas (Carney 1979 y Schuster y Nissen 1989a) resuelven este problema de forma aceptable, y además presentan la ventaja de que pueden aplicarse a estrellas débiles, y requieren menos tiempo de observación y reducción de datos. Como referencia, la incertidumbre de los análisis espectroscópicos detallados está en torno a 0.1-0.2 dex, las calibraciones basadas en fotometría de Strömgren tienen un nivel de precisión de 0.15-0.25 dex, y las basadas en fotometría de banda ancha 0.20-0.40 dex. En el capítulo 5 se explica, en detalle, como se ha tratado el problema de la asignación de metalicidades a las estrellas de la muestra.

1.3 Medida y determinación de las temperaturas efectivas

La cantidad de energía que una estrella emite a una frecuencia determinada por unidad de superficie, es una magnitud observable característica del estado físico de la atmósfera estelar. La temperatura efectiva se relaciona con la integral de esta densidad espectral. Por definición es la temperatura equivalente de un cuerpo negro que emitiera el mismo flujo de energía, es decir

$$T_{ef} = \left(\frac{1}{\sigma} \int_0^{\infty} F(\nu) d\nu \right)^{1/4} \quad (1)$$

donde $F(\nu)$ es la distribución espectral del flujo estelar en la superficie de la estrella, y σ es la constante de Stefan-Boltzmann.

Sin embargo, una estrella emite energía al espacio precisamente porque su materia no se halla en equilibrio termodinámico con la radiación electromagnética, y por tanto su densidad espectral de flujo, aunque semejante, no es la de un cuerpo negro. En consecuencia, su temperatura efectiva no tiene una relación inmediata con el estado microscópico de la atmósfera. Para

describir éste, nos veremos obligados a definir diversas temperaturas locales: la temperatura electrónica, la temperatura de excitación y la temperatura de ionización. La T_{ef} no es más que una medida del flujo de energía que atraviesa la superficie de una estrella, y será una magnitud fundamental para caracterizar su atmósfera (implícitamente estamos suponiendo que es válida la aproximación de geometría plana para garantizar la conservación del flujo de energía. Esta hipótesis deberá ser corregida para atmósferas extensas). Hemos de tener en cuenta la forma en que se ha definido la T_{ef} a la hora de elegir los observables, y buscar aquellos que estén directamente relacionados con el flujo estelar, en lugar de otros, relacionados con las temperaturas "termodinámicas", ligadas a la temperatura efectiva de una forma menos fundamental.

Desde un punto de vista práctico, nos interesa ahora analizar el grado de precisión con que podemos obtener la T_{ef} de una estrella. Una definición equivalente de la T_{ef} que se obtiene considerando en (1) la conservación del flujo de energía, en ausencia de extinción interestelar:

$$T_{ef} = \left(\frac{4}{\sigma}\right)^{\frac{1}{2}} \theta^{-\frac{1}{2}} F_T^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

donde θ es el diámetro angular de la estrella y F_T su flujo de energía integrado en la superficie de la tierra. Si fuéramos capaces de medir estas magnitudes sin necesidad de los modelos, tendríamos una medida directa de la T_{ef} . También hay, por otro lado, métodos indirectos para determinar la T_{ef} con ayuda de los modelos de atmósferas. Vamos ahora a examinar los diferentes métodos posibles tanto directos como indirectos:

1.3.1 Los métodos directos

Rigurosamente hablando, sólo se puede medir de forma directa la temperatura efectiva del Sol, ya que para el resto de las estrellas, el obscurecimiento hacia el borde y la parte del espectro correspondiente al continuo de Lyman (absorbida por el hidrógeno interestelar) han de ser calculados mediante modelos. Sin embargo, estas correcciones pueden considerarse de orden menor, en comparación con la participación de los modelos que requieren otros métodos. Teniendo en cuenta esta matización, podemos estimar el error relativo asociado a los métodos directos mediante:

$$\langle \epsilon(T_{ef}) \rangle^2 = \langle \frac{1}{2} \epsilon(\theta) \rangle^2 + \langle \frac{1}{4} \epsilon(F_T) \rangle^2 \quad (3)$$

donde $\epsilon(\theta)$ es el error relativo en la medida del diámetro angular, y $\epsilon(F_T)$ es el error relativo de la medida del flujo integrado en la superficie terrestre. Obsérvese, que debido a su dependencia funcional, bastan estimaciones poco precisas de θ y F_T para lograr un error pequeño en la T_{ef} . Analizaremos, en los siguientes apartados, el estado de cosas en la medida de estas tres magnitudes.

La medida de los diámetros angulares de las estrellas

Los métodos más importantes para la medida directa de diámetros estelares son: La Interferometría de Michelson (p.ej. Michelson y Pease 1921), la Interferometría de Intensidad (Hanbury-Brown et al. 1974), las Ocultaciones Lunares (p.ej. White y Feierman 1987), la Interferometría de Speckle (p.ej. Labeyrie 1970), y el análisis de los sistemas de estrellas binarias (p.ej. Popper 1980). Este último método, está restringido a sistemas estelares dobles, y requiere el conocimiento adicional de la paralaje, por tanto su utilidad es limitada. En lo que respecta a los métodos ópticos, la tabla 11 del capítulo 3 muestra un resumen de la precisión que permiten en la medida de los diámetros angulares. Debe señalarse el reducido número de estrellas de la SP, que además son de población I y tipos espectrales más tempranos que F6.

Medida del flujo bolométrico

El flujo integrado de una estrella, medido en la superficie de la tierra, es una magnitud fundamental relacionada con la calibración de la escala de temperaturas efectivas. En principio es directamente mensurable. Sin embargo, sólo los flujos de un bajo número de estrellas se han determinado de forma directa por comparación con una fuente terrestre de emisión conocida. El dispositivo experimental necesario para determinar flujos absolutos no es fácil de implementar para su aplicación en serie. Por un lado, los requerimientos de estabilidad mecánica y electrónica son difíciles de mantener. Por otro lado, son necesarios largos tiempos de observación para estrellas débiles (véase p.ej. Hayes y Latham 1975). Afortunadamente, la medida relativa de los flujos de una estrella, frente a otra cuyo flujo se haya calibrado de forma absoluta, permite superar estos problemas. También hay que tener en cuenta dos limitaciones prácticas. En primer lugar, las absorciones producidas por el medio interestelar y la atmósfera terrestre limitan el conocimiento del flujo

Tabla 1: Errores típicos en la calibración absoluta en diferentes zonas del espectro. Las líneas 2 y 3 muestran casos particulares para una estrella azul y otra roja.

Errores en la medida del F_T				
λ nm	0 - 370	370 - 950	950 - ∞	Total
Cal. Abs.	5-10 %	1 %	3 %	-
Legget B3V	45 %	6 %	10 %	47 %
Legget M0.5III	20 %	3 %	8 %	6 %

estelar en algunas zonas del espectro. En términos generales, las estrellas más calientes (que emiten la mayor parte de su energía en la región visible o ultravioleta del espectro), y las estrellas más lejanas (que se hallan más afectadas por la absorción interestelar) serán más sensibles a estos efectos. En la tabla 1, se resumen los errores típicos en la calibración absoluta por intervalos espectrales (Arribas 1987 y referencias allí), así como los errores particulares de un trabajo concreto (Legget et al. 1986), donde ya se considera la absorción interestelar, la extinción atmosférica y otras fuentes de error posibles. Puede verse aquí que la mayor incertidumbre en la medida del flujo corresponde, precisamente, a las estrellas más calientes, que emiten la mayor parte de su energía en la parte UV.

En el capítulo 4 se propone un método para determinar los flujos bolométricos a partir de fotometría de banda ancha, donde todos estos problemas reciben una atención específica.

Medidas directas de la T_{ef}

Entre los trabajos basados en métodos directos podemos destacar aquellos de Code et al. (1976) y Ridgway et al. (1980), usualmente estos dos trabajos son considerados como referencia fundamental para la escala de temperaturas de las estrellas de población I. Code et al. (1976) presentan un estudio basado en los diámetros medidos mediante interferometría de intensidad por Hanbury-Brown et al. (1974). El error de esta técnica oscila entre el 2 y el 10 %. Los errores estimados en la medida del flujo oscilan entre el 4 y el 7 % y esto supone errores en la T_{ef} entre el 2 y el 7 %. En total la muestra

consiste en 32 estrellas divididas por clases de luminosidad como sigue: 9 estrellas de SP (O9.5-A3), 7 estrellas subgigantes (B0.5-F5) y 14 estrellas gigantes y supergigantes (O9.5-A5). Ridgway et al. (1980) han determinado la temperatura efectiva de 31 estrellas gigantes (K0-M6). Sus diámetros se han medido mediante ocultaciones lunares, y los errores, que oscilan entre el 2 y el 20 % son muy superiores a los correspondientes al flujo bolométrico. Esto conduce a errores en la T_{ef} que oscilan entre el 1 y el 10 % . Como ejemplo de un trabajo reciente podemos destacar el de Di Benedetto y Rabbia (1987), en el que se determina la temperatura de 11 estrellas gigantes (K0-M5). Los diámetros angulares se han medido mediante interferometría de Michelson (en el infrarrojo) con errores internos inferiores al 5 %, y conducen a errores en la T_{ef} del orden del 2 % .

1.3.2 Los métodos indirectos

En la sección anterior se han analizado las dificultades que se presentan en la medida de θ . Esto es especialmente cierto para las estrellas de la baja secuencia principal, que cuentan con dos únicas medidas (Proción F6IV-V y el Sol G2V). Esto nos lleva al empleo de métodos indirectos. En Böhm-Vitense (1981) encontramos un resumen bastante completo de los diversos métodos indirectos. Brevemente podemos examinar algunos de ellos:

Análisis de líneas espectrales

Están basados en la dependencia de las anchuras equivalentes, correspondientes a elementos en distintos estados de ionización, de la T_{ef} . Son sensibles a efectos de No-ETL y desde el punto de vista de la observación, requieren espectros de alta relación S/R. Esto último hace que sean de difícil aplicación a las estrellas de población II, al menos de forma sistemática. Ejemplos de esta técnica son Gehren (1981) y Bohannon et al. (1986).

Análisis de la distribución del flujo

Se basa en el empleo de modelos para ajustar la distribución de la energía en diferentes regiones del espectro. Un trabajo representativo de este método, dedicado a estrellas de población II, es el de Peterson y Carney (1979), basado en la comparación de observaciones espectrofotométricas en 11 longitudes de

onda entre 5000 y 8400 Å, con los flujos superficiales de un atlas de modelos. En cuanto a estrellas de población I, puede señalarse dentro de este grupo, el trabajo de Malagnini et al. (1986).

El Método del Flujo Infrarrojo (MFI)

Se basa en la medida del flujo relativo en algunos puntos de la región IR. Es un método de aplicación general (Blackwell 1990). Por su importancia para nuestro trabajo este método se describe, a grandes rasgos, en la siguiente sección, haciendo hincapié en sus puntos fundamentales. El capítulo 5 está dedicado a la aplicación práctica de este método. Allí se analizará detalladamente.

1.4 El Método de Flujo Infrarrojo

Desde un punto de vista muy general el método del flujo infrarrojo se basa, como la mayoría de los métodos indirectos, en la comparación de distribuciones de energía observadas con las predichas por los modelos. Sin embargo, a diferencia de otros métodos con la misma base general, los cocientes considerados ($F_{Bol}/F_{IR}(\lambda)$) tienen una mayor relación con la definición de temperatura efectiva. El MFI (Blackwell et al. 1990) emplea como indicador de la T_{ef} el cociente entre el flujo bolométrico de una estrella (F_{Bol}) y el flujo monocromático en un punto del continuo de la parte infrarroja del espectro ($F(\lambda_{IR})$), medidos ambos en tierra:

$$R(\lambda_{IR}, T_{ef}, [Fe/H], g) = \frac{F_{Bol}}{F(\lambda_{IR})} = \frac{\sigma T_{ef}^4}{F_{mod}(\lambda_{IR})} \quad (4)$$

donde $F_{mod}(\lambda_{IR})$ representa el flujo monocromático del modelo en la superficie de la estrella. Estos factores $R(\lambda)$ se calculan, por un lado, a partir de los modelos variando los parámetros (T_{ef} , g , λ y $[Fe/H]$) y por otro, se pueden determinar experimentalmente para cada estrella. En este caso, con $R_{obs}(\lambda)$ y fijando además g y $[Fe/H]$, podemos obtener automáticamente $T_{ef}(\lambda)$. A partir de este valor se puede obtener el diámetro angular (θ_{MFI}) a través de la fórmula (2) de este mismo capítulo. Podemos señalar algunas de las ventajas que presenta el MFI:

1. $R(\lambda)$ depende esencialmente de la T_{ef} y, en menor grado de la gravedad y la metalicidad. Si aceptamos en primera aproximación que la distribución de la densidad espectral de la energía en la región infrarroja, sigue una ley de Rayleigh-Jeans ($R(\lambda) \propto T_{ef}^3$), esto supone que los errores experimentales al determinar R afectan a la temperatura efectiva divididos por un factor 3 aproximadamente.
2. Depende muy poco de los modelos, porque estos predicen aceptablemente el flujo monocromático en las regiones del continuo infrarrojo.

Por lo tanto, desde el punto de vista práctico, la aplicación del MFI requiere conocer: (a) Los factores $R(\lambda)$ teóricos a partir de los modelos de atmósferas, y (b) los factores $R(\lambda)$ observados, que se obtienen a partir de las medidas de los flujos bolométricos y monocromáticos. En las siguientes secciones se describen estos dos puntos con mayor detalle.

1.4.1 Cálculo de los factores $R_{teo}(\lambda)$: los modelos

Hasta ahora los modelos empleados usualmente para obtener los factores $R(\lambda)$ son los de Gustafsson et al. (1975) y Kurucz (1979). Desde la creación de estos modelos, la potencia de cálculo de los ordenadores, y la comprensión de la física de las atmósferas estelares ha variado apreciablemente. En este trabajo se emplearán los nuevos modelos de Kurucz (1991,1993) que incluyen nuevas opacidades y algunos refinamientos tal y como se describe en el capítulo 5.

1.4.2 Cálculo de los factores $R_{obs}(\lambda)$

Los factores R observados se definen mediante la Ec. (4) desarrollando la expresión correspondiente al flujo monocromático.

$$R_{obs}(\lambda_{IR}, [Fe/H], g) = \frac{F_{Bol}}{q(\lambda_{IR})F_{cal}(\lambda_{IR})10^{-0.4(m-m_{cal})}} \quad (5)$$

donde m y m_{cal} son, respectivamente, la magnitud de la estrella problema y de la estrella de calibración, $F_{cal}(\lambda_{IR})$ es el flujo absoluto de la estrella de calibración, F_{Bol} es el flujo bolométrico de la estrella problema medido en tierra, y $q(\lambda_{IR})$ ² es un factor adimensional de corrección necesario cuando se

²No se considera explícitamente la dependencia de q respecto a T_{ef} , $\log(g)$ y $[Fe/H]$ para aligerar la notación.

Tabla 2: Proporción del flujo estelar correspondiente a diversos intervalos espectrales según Petford et al. (1988)

Intervalo μm	Contribución %				
	F0	F8	G8	K3	M2
0.00 - 0.35	9.4	4.9	2.6	0.5	0.0
0.35 - 0.38	3.6	2.8	1.7	0.3	0.0
0.38 - 0.90	63.5	62.0	55.7	42.5	24.6
0.90 - 1.24	12.7	15.5	18.4	21.7	22.2
1.24 - 3.78	10.2	13.9	20.2	32.5	49.1
3.78 - 12.43	0.6	0.9	1.4	2.4	3.8
12.43 - ∞	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1

emplea fotometría de banda ancha para derivar el flujo monocromático. En esta expresión están recogidos todos los elementos que, junto con la corrección de la extinción interestelar, intervienen en el cálculo de los factores R_{obs} : los flujos bolométricos por un lado, y por otro, los factores q , la fotometría IR y la calibración absoluta del flujo IR que determinan los flujos monocromáticos. En los siguientes apartados de esta sección, comentaremos brevemente cada uno de ellos, y la corrección de la absorción interestelar.

Los flujos bolométricos

En el capítulo 4 se presenta el método que se ha desarrollado en este trabajo para determinar el flujo bolométrico. Si estudiamos con detenimiento la tabla (2), resulta fácil deducir que la contribución básica al flujo integrado de una estrella de tipo F-M proviene de la región (0.38-3.78 nm).

Tendremos, por lo tanto, que ser especialmente cuidadosos al deducir el flujo integrado en la región del visible y del IR cercano, si queremos obtener una buena estimación de los flujos bolométricos.

La contribución al flujo en la región UV sólo será importante para las estrellas más tempranas de la secuencia principal. Cuando no sea posible emplear datos fotométricos de satélites (*IUE*, *TDI*...), la estimación deberá hacerse mediante calibraciones, o mediante modelos de atmósfera. En cualquier

Tabla 3: Diferencias medias obtenidas al comparar el flujo integrado a partir de observaciones fotométricas y espectros de baja resolución (Petford et al. 1988). $\bar{\Delta}$ es el promedio de la diferencia, $\sigma(\Delta)$ es la dispersión y Δ_{max} es la diferencia máxima

Fotometría	$\bar{\Delta}$	$\sigma(\Delta)$	Δ_{max}
13-colores	0.11 %	0.55 %	1.5 %
UBVRI	0.80 %	2.40 %	8.0 %

caso, la imprecisión en la calibración absoluta y los errores fotométricos hacen que la incertidumbre en el flujo de la zona UV se sitúe en torno al 25 %.

Petford et al. (1988) han comprobado, trabajando con espectros de baja resolución, que el flujo integrado en la región visible del espectro puede obtenerse a partir de datos fotométricos, bien a partir de la fotometría UBVRI, bien a partir de la fotometría de 13 colores (Johnson y Mitchell 1975). El método consiste en interpolar una curva sobre los flujos monocromáticos correspondientes a la longitud de onda efectiva de cada filtro, y después integrar la superficie bajo esta curva para determinar el flujo total en el intervalo considerado. En la tabla 3 podemos ver la fiabilidad de este procedimiento para la región (380-900 nm). Se comparan los resultados de integrar los espectros con los basados en interpolaciones fotométricas.

En el intervalo $(2.2\mu m, \infty)$, puede emplearse indistintamente el flujo integrado de un cuerpo negro o el de algún modelo de la temperatura adecuada. La contribución relativa al flujo bolométrico va a ser tan baja que el error será, en general, poco importante. En el intervalo $(1.2\mu m, 2.2\mu m)$ pueden interpolarse los flujos monocromáticos derivados de la fotometría infrarroja, para obtener el flujo integrado en esta región.

Los factores $q(\lambda_{IR}, T_{ef}, [Fc/H], g)$

Representan el cociente entre los flujos normalizados en la ventana del filtro, y corrigen el efecto de la diferente distribución del flujo entre la estrella patrón

y la estrella problema.

$$q(\lambda_{IR}) = \frac{\int_0^\infty \overline{F}_c^{\lambda_{IR}}(\lambda) T(\lambda) d\lambda}{\int_0^\infty \overline{F}_*^{\lambda_{IR}}(\lambda) T(\lambda) d\lambda} \quad (6)$$

donde $\overline{F}_c^{\lambda_{IR}}$ y $\overline{F}_*^{\lambda_{IR}}$ son los flujos normalizados y $T(\lambda)$ es la función de transmisión del filtro; $q(\lambda_{IR})$ es más próximo a la unidad cuanto más estrecho sea el filtro (en el caso ideal de un filtro interferencial $T(\lambda) \propto \delta(\lambda - \lambda_0)$, $q(\lambda_0) = 1$). Por otro lado su influencia será realmente importante cuando la estrella problema tenga una temperatura muy distinta a la de la estrella de calibración, o bien λ_{IR} sea muy distinta de la λ_{ef} del filtro. Es decir, la corrección de $q(\lambda_{IR}, T_{ef})$ será quizá importante en el caso de las estrellas más frías si tomamos a Vega ($T_{ef} \approx 10000K$) como estrella patrón. A falta de suficientes datos espectroscópicos IR los modelos permiten estimar su valor de forma aproximada.

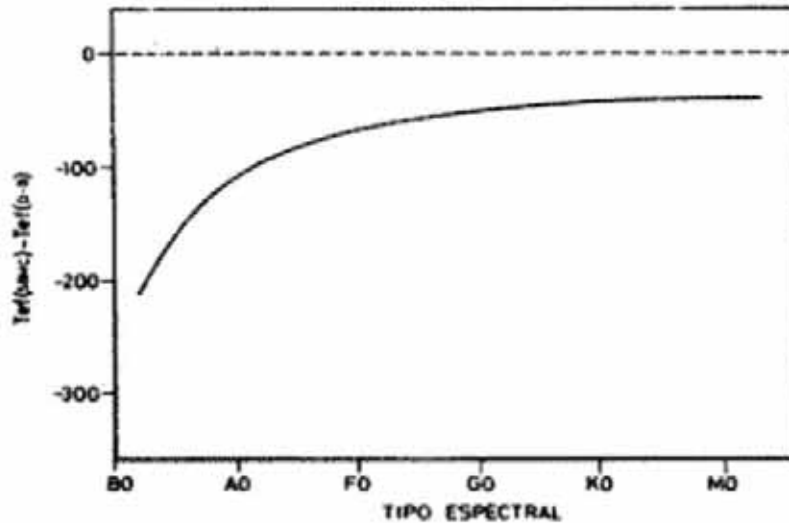


Figura 1: Diferencias entre las temperaturas obtenidas, para estrellas de población I, a partir de la calibración de Mountain et al. (1985) ($T_{ef}(SBMC)$) y la de Dreiling y Bell (1980) ($T_{ef}(D-B)$), en función del tipo espectral. (Figura 4.7 de Arribas 1987).

1.4.3 La calibración absoluta del flujo infrarrojo

Es fundamental para determinar el flujo monocromático fijar, de forma suficientemente precisa, la calibración absoluta en el infrarrojo, porque la elección de una u otra puede modificar apreciablemente la escala de temperaturas y llevarnos a errores en el análisis de los modelos de atmósferas. Puede verse en la figura 1 el efecto que tiene sobre la T_{ef} el considerar dos calibraciones absolutas del flujo distintas.

Hay diversas posibilidades, entre ellas podemos destacar las siguientes: calibración empírica (Mountain et al. 1985), calibración teórica (semiempírica) (Dreiling y Bell 1980), calibración autoconsistente basada en el MFI (Blackwell et al. 1991). A priori, no tenemos razones definitivas para preferir una u otra calibración. Parece conveniente, en principio, adoptar una calibración absolutamente empírica, porque así podemos garantizar la independencia de los resultados respecto a los modelos (hay que tener en cuenta, sin embargo, que están sujetas a grandes errores experimentales, especialmente en las longitudes de onda más largas ($\lambda > 3\mu m$). Este punto ha sido objeto de estudio pormenorizado en el capítulo 3, donde se ha desarrollado un método para fijar la calibración absoluta en el IR, ligándola a la escala directa de diámetros y temperaturas estelares.

1.4.4 La fotometría IR

En principio, sería aconsejable disponer de datos fotométricos tomados con filtros de banda estrecha (p.ej. Selby et al. 1988). Sin embargo, no hay inconveniente en emplear filtros de banda ancha, si han sido diseñados para evitar las bandas de absorción atmosféricas en lo posible. Para mantener los errores de las temperaturas derivadas mediante el MFI en un margen del 2-4 %, la precisión de la fotometría IR ha de ser del orden de 0.01-0.03 mag. Es necesario, además, conocer las transmisiones instrumentales en cada banda para calcular los factores q , y la calibración absoluta del flujo IR, que permiten transformar los flujos medios en cada banda a flujos monocromáticos en la longitud de onda efectiva correspondiente. En el capítulo 2, se presenta el programa de observaciones IR, que ha permitido caracterizar el sistema del TCS (es decir, relaciones de transformación a otros sistemas fotométricos, y medida de los perfiles instrumentales).

1.4.5 La corrección de enrojecimiento interestelar

El espacio interestelar contiene moléculas, átomos, iones, pequeños granos de grafito, silicatos, partículas de hielo y metales. Por esta razón la radiación que atraviesa el medio interestelar es absorbida y dispersada en parte. El resultado de esto, es que la distribución espectral del flujo de una estrella como la registramos con nuestros instrumentos es diferente de la que tenía al abandonar la superficie estelar. Recientemente (Schuster y Nissen 1989a) han elaborado una calibración del enrojecimiento basada en el sistema fotométrico $H_\beta - uvby$, muy apropiada para estrellas alejadas de la vecindad solar. Con ayuda de este tipo de calibraciones es posible corregir el enrojecimiento.

1.5 La calibración fotométrica de la T_{ef}

Es fácil comprobar que el color $(B - V)_0$ en el sistema fotométrico de Johnson es sensible a la temperatura efectiva (esta afirmación es cierta en mayor o menor grado, para cualquier color de un sistema fotométrico). Igualmente, se pueden diseñar sistemas fotométricos que nos permitan obtener información de otras magnitudes estelares (por ejemplo el índice c_1 del sistema de Strömngren es sensible a la gravedad superficial). Entonces, resulta evidente la utilidad de las calibraciones fotométricas para determinar algunas magnitudes físicas de las estrellas, en particular aquellas que son difíciles de obtener por medio de otras técnicas. Por otra parte, estas calibraciones sirven para derivar comportamientos generales que pueden ser contrastados con las predicciones teóricas de los modelos de atmósferas. También tienen gran importancia para los estudios evolutivos, especialmente para el análisis del diagrama HR. La forma más útil de este diagrama en el análisis de los problemas evolutivos es aquella en que se representa $\log(L/L_\odot)$ frente a la T_{ef} , es decir la energía total radiada por la estrella en unidades solares frente a su temperatura efectiva; se conoce como diagrama HR teórico porque estas dos magnitudes se obtienen a partir de los modelos sin transformaciones intermedias. Por otro lado, la forma directa de este diagrama a partir de las observaciones, es aquella en la que se representa un índice de color frente a una magnitud fotométrica (por ejemplo $(B-V)$ frente a V); se conoce como diagrama HR observado por razones evidentes. Ambos diagramas, el observado y el teórico son equivalentes desde el punto de vista formal, sin embargo

para poder efectuar una comparación es necesario conocer las relaciones precisas que ligan la temperatura efectiva con los índices de color, así como la corrección bolométrica adecuada a cada tipo espectral. En la actualidad, algunos autores señalan el problema de la transformación entre el plano de la teoría y el de la observación como un punto de importancia comparable a la de otros problemas básicos de la teoría de estructura estelar (Demarque et al. 1992). Hay dos formas para intentar resolver este problema:

1. Empleo de calibraciones teóricas, obtenidas a partir de los modelos de atmósferas.
2. Empleo de calibraciones empíricas o semiempíricas, que se combinan observaciones y modelos.

1.5.1 Las calibraciones teóricas

A partir de cualquier modelo de atmósfera estelar, siempre es posible obtener la relación $T_{ef} - (\text{colores sintéticos}) - [\text{Fe}/\text{H}]$. Evidentemente, este procedimiento está afectado por las limitaciones de los modelos, y además requiere la obtención de colores sintéticos. Este segundo paso introduce incertidumbres nada despreciables, si tenemos en cuenta la forma en que se calculan:

$$m_{i*} = -2.5 \log \left(\int_{-\infty}^{\infty} F^*(\lambda) S_i(\lambda) T(\lambda) d\lambda \right) + c_i \quad (7)$$

La principal dificultad consiste en determinar las funciones de transmisión del sistema de detección $S_i(\lambda)$ y del medio interestelar, junto con la atmósfera terrestre $T(\lambda)$. Podemos confiar en reproducir un sistema fotométrico mediante colores sintéticos (p.ej. Buser 1978). Sin embargo, a veces es necesario modificar las transmisiones de los filtros, respecto a su valor medido en el laboratorio, para obtener ajustes dentro de unos límites de error tolerables. Otro punto importante es el establecimiento del punto cero de la escala. Este es un problema intrínseco de la mayoría de los modelos de atmósferas, que no permiten un ajuste simultáneo de los colores de las estrellas patrón cuando sus tipos espectrales son muy diferentes. Aunque no es un objetivo básico de este trabajo, en el capítulo 4 se han generado colores sintéticos a partir de los modelos de Kurucz (1991, 1993), y los resultados se han comparado, en el capítulo 7, con las calibraciones empíricas obtenidas capítulo 6. Puede extraerse allí una mejor idea de estos problemas.

Tabla 4: Principales calibraciones de $T_{ef} - (B - V) - [Fe/H]$ para estrellas de la SP.

Calibraciones T_{ef} - índices fotométricos			
Trabajo	No. de \star 's	$\Delta[Fe/H]$	ΔT_{ef}
Cameron 1985	210	(-2.0,0.10)	(4500,9500)
Saxner y Hammarbäck 1985	31	(-0.45,0.20)	(5800,6800)
Magain 1987	31+11	(-3.00,-1.2)	(5300,7000)
Bell y Gustafsson 1989	17	(-0.25,0.30)	(4200,5800)
Martínez-Roger et al. 1992	77	(-2.15,0.50)	(5000,7000)
Carney et al. 1994	87	(-3.15,0.50)	(5000,7000)

Las calibraciones teóricas tienen, a pesar de los inconvenientes descritos, una gran ventaja: permiten muestrear amplios intervalos de T_{ef} , $[Fe/H]$ y $\log(g)$.

1.5.2 Las calibraciones empíricas

El requerimiento básico para realizar una calibración (semi)empírica es conocer los parámetros físicos, en este caso la temperatura, determinados, obviamente, mediante un procedimiento (semi)empírico, y los colores fotométricos de una muestra de estrellas suficientemente representativa. La ventaja de este procedimiento es que elimina (o reduce) la dependencia de los modelos teóricos. Su principal inconveniente es la dificultad para cubrir un intervalo suficientemente extenso de metalicidad y temperatura. En la tabla 4 se recoge una muestra de algunas calibraciones empíricas de la T_{ef} realizadas por diversos autores. Sólo se consideran aquellas que tienen en cuenta los posibles efectos de la metalicidad. Si analizamos estos trabajos, observamos las siguientes características. En general, el número de estrellas es demasiado bajo para confiar en que las temperaturas, las gravedades y las metalicidades estén muestreadas de forma adecuada. En particular los efectos de la metalicidad no han sido tratados de forma fiable por ninguno de los trabajos precedentes (considérese como caso extremo la calibración de Magain (1987) que está basada en 11 estrellas de población II en un intervalo de 2000 K). En algún caso (Cameron 1985), la fuente de la que se obtienen las temperaturas son determinaciones espectroscópicas, que pueden dar lugar, como ya se ha advertido, a temperaturas "etiqueta". Al igual que la T_{ef} se calibra

usualmente teniendo en cuenta las diferentes clases de luminosidad, algunos problemas (que se mencionarán en la siguiente sección) sugieren la necesidad de calibrar los efectos de metalicidad, y este punto como se desprende de este apartado, no ha sido convenientemente estudiado con una muestra que cubra adecuadamente el espacio de parámetros. Superar este inconveniente, es uno de los objetivos del presente trabajo.

1.5.3 La aplicación de las calibraciones empíricas

Una utilidad básica de las calibraciones de la T_{ef} para el análisis de los modelos de atmósferas es que permiten comparar la teoría con las observaciones de forma directa y sencilla. Un ejemplo de este tipo de aplicaciones puede encontrarse en Arribas y Martínez-Roger (1988). Allí se observa que, en el intervalo espectral F-K, los modelos de Kurucz (1979) dan lugar a colores demasiado azules para las estrellas más frías, y demasiado rojos para las estrellas más calientes. La posible explicación es que se estuviera subestimando la influencia sobre la opacidad de algunas líneas metálicas débiles (Magain 1987). Esta hipótesis (el denominado problema de la *opacidad perdida*) se ha puesto a prueba, recientemente, con el empleo de nuevos modelos que incluyen en la función de opacidades el efecto de millones de nuevas líneas metálicas (Kurucz 1991,1992). Las calibraciones empíricas obtenidas en el presente programa de investigación han permitido un estudio preliminar de los progresos, que parece sugerir ahora una sobreestimación de la opacidad (véase el capítulo 7).

Otro punto importante, para el cual las calibraciones son de gran utilidad, es la transformación de las isócronas sobre el diagrama HR, desde el plano teórico de los modelos evolutivos (T_{ef} -Luminosidad) al plano de la observación (color-magnitud). La importancia de considerar los efectos de la metalicidad en las transformaciones empíricas del diagrama HR, se debe a la gran influencia que tienen en el estudio de los Cúmulos Globulares (Arribas y Martínez-Roger 1989), y a la incertidumbre que presenta la aplicación de calibraciones teóricas, como se deduce de la sección anterior. En la figura 2 puede apreciarse la diferencia que existe entre las transformaciones empíricas y teóricas de las isócronas en el diagrama HR. En general, las calibraciones empíricas consiguen un acuerdo de las isócronas con el comportamiento observado en los cúmulos abiertos bastante mejor que la calibraciones teóricas. Sin embargo, aunque mejoran los ajustes para los cúmulos globulares, aún

parecen persistir algunos problemas que podrían estar asociados a las insuficiencias en la comprensión de los efectos de la metalicidad sobre la escala de temperaturas. Este punto se tratará con algún detalle en el capítulo 7.

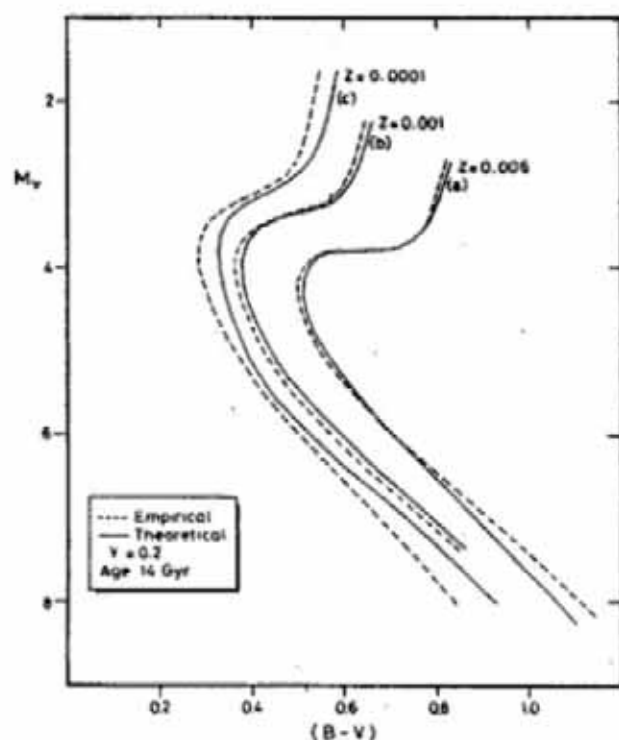


Figura 2: Tres isócronas (VandenBerg y Bell 1985) de la misma edad (14 Gigaños) y contenido de helio ($Y = 0.20$). Sus metalicidades cubren el intervalo de abundancia del sistema de Cúmulos Globulares. Las líneas continuas representan las isócronas teóricas, las líneas a trazos representan las isócronas empíricas. Obsérvese la gran diferencia en la baja secuencia principal y en la zona del Turn-off, especialmente para bajas metalicidades. (Figura 8 de Arribas y Martínez-Roger 1988).

1.6 El programa general de estudio

En este trabajo, presentamos los resultados de un programa de investigación dedicado al estudio de los efectos de metalicidad sobre la escala de temperaturas de las estrellas de la baja secuencia principal (F0-K5), en el que se han superado o reducido las limitaciones más importantes de los trabajos previos. Para ello hemos reunido una muestra de aproximadamente 500 estrellas con datos fotométricos publicados en las bandas UBVR(I) y $ubvy - \beta$, que forman parte de los catálogos de Schuster y Nissen (1988), Sandage y Kowal (1986), Carney y Latham (1987), y Cayrel et al. (1992). El notable aumento del número de estrellas ha permitido cubrir adecuadamente los intervalos de metalicidad y temperatura, aumentando de forma considerable la confianza de las calibraciones T_{ef} -[Fe/H]-color finales. La aplicación del MFI para derivar las temperaturas efectivas de las estrellas de la muestra ha exigido llevar a cabo una campaña de observaciones, en el curso de la cual se obtuvo fotometría JHK con una precisión media de 0.02 mag para las estrellas de la muestra que carecían de ella. Los resultados del programa de observaciones se describen en el capítulo 2. En el capítulo 3, se presenta un método semiempírico desarrollado para fijar la calibración absoluta del flujo de Vega en el IR, punto esencial para la aplicación precisa del MFI. Esta calibración pone en la misma escala las temperaturas efectivas derivadas mediante el MFI y las temperaturas efectivas directas que se obtienen de la medida de los diámetros estelares por métodos interferométricos. En el capítulo 4 se ha revisado el efecto de la metalicidad sobre la corrección bolométrica, resultado que ha servido para determinar el flujo bolométrico de todas las estrellas enanas de la muestra dentro de los intervalos $4000K \leq T_{ef} \leq 8000K$, $3.5 \leq \log g \leq 5.00$, $+0.5 \leq [Fe/H] \leq -3.00$. En el capítulo 5 se han empleado los nuevos modelos de Kurucz (1991,1993) para aplicar el MFI a las estrellas de la muestra con una precisión interna del 1.5-2 %. Los resultados han servido para derivar, en el capítulo 6 las relaciones $T_{ef} = f(\text{colores}, [Fe/H], \log(g))$, que verifican las estrellas de la baja secuencia principal desde tipos espectrales F0 a K5. En el capítulo 7, con carácter ilustrativo, se han aplicado las relaciones obtenidas a la comprobación de los modelos de atmósferas mediante el análisis de la fotometría sintética UBVRJHK generada con los propios modelos empleados en este trabajo. También se ha realizado un estudio preliminar de los resultados transformación empírica del diagrama HR teórico al plano de las observaciones,

que ha permitido observar apreciables diferencias respecto a las transformaciones teóricas. Por último, se ha discutido, con un ejemplo sencillo, la utilización de este tipo de relaciones en el estudio de la historia inicial de la Galaxia.

En este capítulo se ha revisado la situación actual en lo que respecta a la determinación de los parámetros estelares básicos. Se ha presentado el MFI, que será empleado para determinar la temperatura efectiva de una muestra completa de estrellas de la baja secuencia principal. Se han descrito diversas calibraciones empíricas de la escala de temperaturas efectivas para estrellas de este tipo y se ha visto la necesidad de realizar un programa general dedicado a extender los resultados de trabajos previos tanto en metalicidad, como en temperatura. Ese es precisamente el objetivo de este trabajo.

Capítulo 2

Las observaciones

La aplicación del MFI para derivar la temperatura efectiva de una estrella, requiere la determinación de su flujo monocromático en longitudes de onda del IR cercano. Con este propósito se ha llevado a cabo un programa de observaciones fotométricas en las bandas JHK con el Telescopio Carlos Sánchez (TCS) del Observatorio del Teide, para una muestra de 360 estrellas principalmente enanas y subenanas de tipos espectrales tardíos. Los resultados se describen en el presente capítulo. El error medio de las medidas en la banda J es de 0.03 mag, y de 0.02 mag en las bandas H y K, lo cual permitirá derivar temperaturas medias con una precisión interna del 1.5-2 %. La comparación con otros sistemas fotométricos empleados usualmente en el IR cercano ha servido para derivar las ecuaciones de transformación mutuas para colores y magnitudes. Se presenta la calibración en flujo de la fotometría, las transmisiones instrumentales, las longitudes de onda efectiva de las bandas fotométricas, y las relaciones que ligan a los coeficientes de extinción atmosférica en las diferentes bandas. Como resultado el sistema del TCS queda caracterizado con una precisión razonable.

Para completar el estudio, se han añadido a la muestra estrellas con medidas JHK de calidad comparable, tomadas de otros trabajos previamente publicados. De este modo, la muestra final consta de unas 500 estrellas bien caracterizadas para poder derivar sus temperaturas mediante el MFI. A partir del análisis de los diagramas color:color puede deducirse que el intervalo F0-K0 está muestreado de forma completa para $0.1 > [Fe/H] > -3.0$. En el intervalo K0-M4, no se pueden asignar metalicidades con calibraciones fotométricas, y las determinaciones espectroscópicas son escasas. Sin embargo las propiedades cinemáticas de las estrellas elegidas en este intervalo permiten esperar que las poblaciones estelares estén bien representadas.

Los efectos de la metalicidad sobre los diagramas de color:color ópticos e IR se discuten brevemente.

2.1 Introducción

Estas observaciones se han llevado a cabo como paso inicial del programa general, descrito en el capítulo 1, cuyo objetivo final es proporcionar una mejor comprensión de los efectos de la metalicidad sobre la escala de temperaturas de las estrellas enanas de población II, reduciendo en la medida de lo posible los inconvenientes de los trabajos previos. El programa de observaciones incluye como parte fundamental la medida de las magnitudes JHK. También, se ha realizado la compilación y transformación de las bases de datos previamente publicadas, concernientes a las estrellas de la muestra. Las magnitudes IR, junto con la calibración absoluta del flujo que se propone en el capítulo 3, nos permitirán calcular los flujos monocromáticos, necesarios para la aplicación del MFI.

El capítulo presente está estructurado de la siguiente forma: En la sección 2.2, se plantean los criterios adoptados para reunir la muestra de estrellas empleada en el programa general. Las observaciones se describen en la sección 2.3, donde se presentan las medidas fotométricas en las bandas JHK. En la sección 2.4, se caracteriza el sistema fotométrico del Observatorio del Teide a través de las longitudes de onda efectivas, las funciones de respuesta de las bandas, y las transformaciones a otros sistemas corrientemente utilizados. En la sección 2.5, se proporcionan comparaciones con algunas relaciones publicadas de los colores intrínsecos de las estrellas de la baja secuencia principal, y se discuten los efectos de la metalicidad en los diagramas color:color.

2.2 La selección de las estrellas

Las estrellas de la muestra se han extraído principalmente de tres fuentes independientes: Schuster y Nissen (1988; SN), Sandage y Kowal (1986; SK) y, Carney y Latham (1987; CL). Estos trabajos están dirigidos al estudio de diferentes propiedades de las estrellas de campo del halo galáctico y aportan fotometría visible para sus respectivas muestras. De estos catálogos, hemos seleccionado un conjunto de estrellas que cubren completamente el dominio de temperatura y metalicidad observado en las secuencias principales de los cúmulos globulares y del disco de la Galaxia (es decir, últimos tipos espectrales de las clases de luminosidad V y VI). Las figuras 3 y 4 muestran,

respectivamente, la distribución de las estrellas del programa de acuerdo con su metalicidad, y el diagrama (B-V):(U-B). La metalicidad se ha asignado siguiendo una triple vía: en primer lugar, hay un cierto número de estrellas, incluidas en el Catálogo de Abundancias Químicas (Cayrel et al. 1992), para las cuales existen determinaciones de la metalicidad basadas en el análisis de espectros de alta resolución. En segundo lugar hemos aplicado, siempre que ha sido posible, la calibración de Schuster y Nissen (1989a) basada en fotometría de Strömgen. Y en último lugar, para el resto de la muestra se ha aplicado la calibración de Carney (1979) basada en el índice $\delta_{0.6}(U - B)$, ampliándola hasta el límite permitido por los vectores de *deblanketing* proporcionados por Sandage (1969). Las calibraciones fotométricas han sido comprobadas y revisadas usando abundancias espectroscópicas como se explica en el capítulo 5. La precisión en la determinación de la metalicidad puede cifrarse en 0.3 dex en promedio. El efecto de la extinción interestelar ha sido convenientemente tratado en ese mismo capítulo¹. Nótese que el enrojecimiento puede alterar la estimación fotométrica de la metalicidad, punto importante para este trabajo. Aunque este problema puede tener una influencia notable sobre algunas estrellas particulares, la corrección del enrojecimiento no ha producido cambios substanciales sobre los colores de la muestra considerada de forma global. Esto era esperable, puesto que la mayor parte de las estrellas de la muestra están contenidas en una esfera imaginaria de 150 pcs de radio con centro en el sistema solar, y distribuidas en latitudes lejanas al disco de la Galaxia. En principio, las figuras 3 y 4 reflejan de forma general las propiedades de la muestra reunida que la hacen adecuada para el presente estudio. En la figura 4, se han dibujado los puntos de *turnoff* de una muestra representativa de cúmulos globulares (Buonanno et al. 1989), sobre la región cubierta por la muestra. A partir de esta figura podemos deducir dos características principales de las estrellas del programa. Primero: cubren prácticamente el intervalo de colores y metalicidades de la secuencia principal de los cúmulos globulares. Segundo: la contaminación causada por efectos evolutivos (es decir estrellas subgigantes) estaría restringida a las estrellas más azules ($(B - V) < 0.4 - 0.6$) ya que este es el intervalo cubierto por los *turnoffs* de los cúmulos más viejos de la Galaxia. Las temperaturas de las subgigantes no identificadas introducirían

¹El efecto de la absorción interestelar no se ha corregido en las figuras 3 y 4

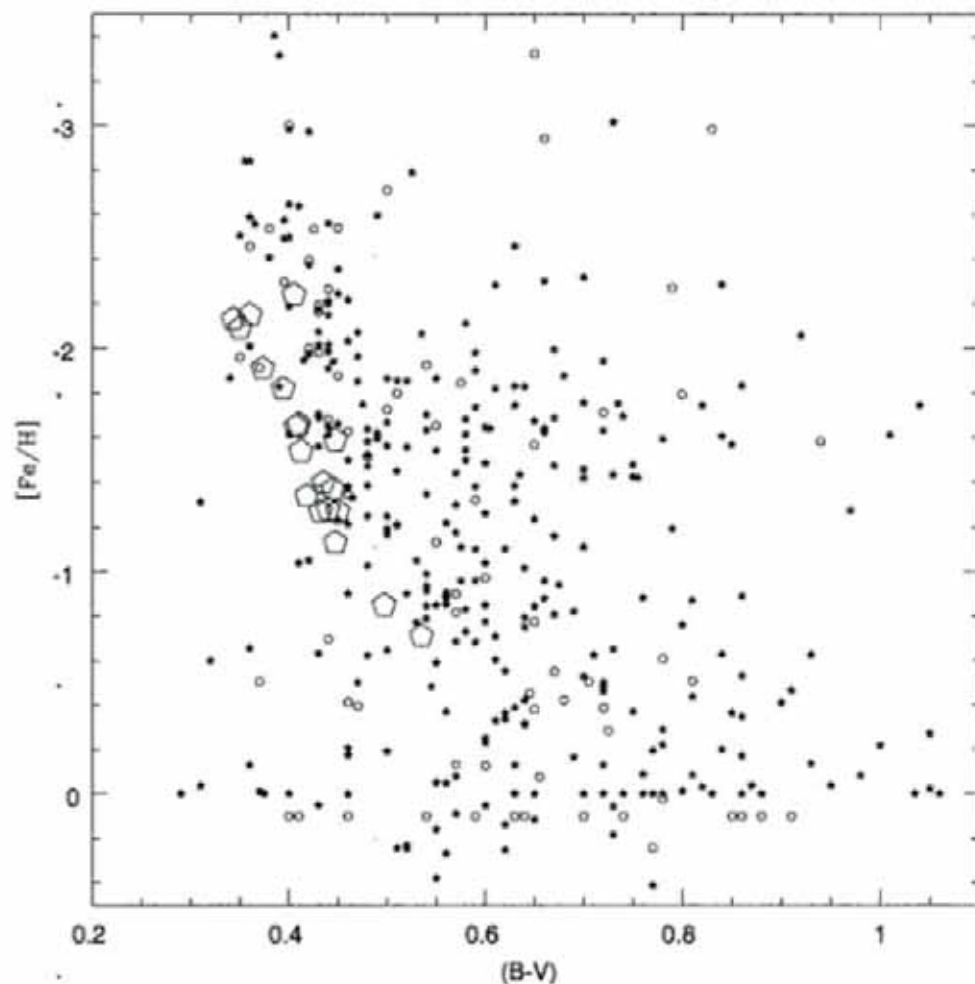


Figura 3: Diagrama color-metalicidad. Este diagrama refleja las características de la muestra en el intervalo [F0-K5]. Los puntos negros corresponden a las estrellas medidas en el programa de fotometría IR realizado en el Observatorio del Teide. Los puntos blancos corresponden a estrellas seleccionadas de Carney (1983). Los pentágonos corresponden a los puntos de *turnoff* de una muestra representativa de cúmulos globulares de nuestra Galaxia (Buonnano et al 1989). Resulta evidente a partir del dibujo que esta muestra proporciona una sólida extensión a la base de datos IR existente en lo que respecta al intervalo de metalicidad cubierto.

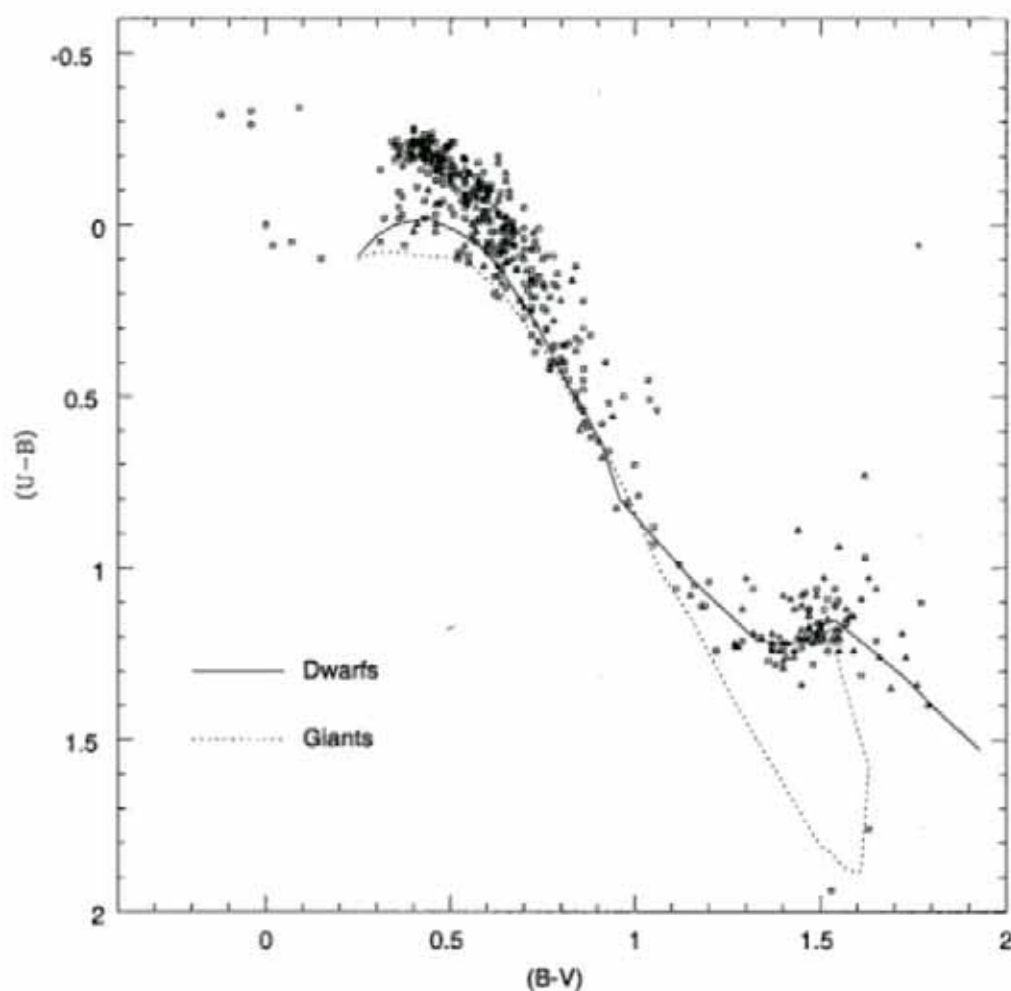


Figura 4: Diagrama (B-V):(U-B) de las estrellas de la muestra. Los cuadrados corresponden a estrellas medidas en el presente programa de observaciones, los triángulos a estrellas con fotometría de otros trabajos, Carney(1983) y Legget (1992), tomadas para completar la muestra. Las líneas intrínsecas de Población I para estrellas enanas (línea continua) y gigantes (línea de trazos) se han dibujado como referencia (extraídas de la compilación de Landolt-Börnstein 1982b).

en los datos un ruido poco considerable, como se verá en el capítulo 5 al estudiar el efecto de la gravedad sobre la temperatura. Los criterios cinemáticos y fotométricos seguidos por SN, SK y CL son, un tanto ineficaces a la hora de separar de forma clara las estrellas enanas y subenanas de otras clases de luminosidad. Por este motivo nuestra muestra puede contener un cierto número de errantes azules (*blue stragglers*), estrellas de la rama horizontal, estrellas binarias, e incluso gigantes. Este punto, en lugar de ser un inconveniente, nos permitirá en un futuro explorar el potencial completo del MFI. La muestra contiene un subgrupo de estrellas pobres en metales con paralajes trigonométricas bien determinadas (Sandage 1983, Laird et al. 1987), que podrían servir para reanalizar las relaciones $M_V = f(T_{ef}, [Fe/H])$ necesarias para calibrar las isócronas. Este punto tiene una estrecha relación con el problema de la calibración de los modelos de estructura estelar. Incidentalmente, hay que señalar que muchas de las estrellas de esta muestra forman parte del catálogo de entrada del satélite Hipparcos, que ha completado recientemente su misión de medida de paralajes trigonométricas, con lo cual cabe esperar que podrán ser empleadas en el futuro próximo para el estudio del problema citado. Otro de los subgrupos de la muestra contiene a la mayor parte de las estrellas enanas del Catálogo de Abundancias Químicas de Cayrel et al. (1992), con $[Fe/H] < -0.0$, que se pueden observar desde el Observatorio del Teide ($66^\circ > \delta > -28^\circ$). Estas estrellas sirven para comprobar los valores de metalicidad asignados al resto de las estrellas del programa. Siempre que ha sido posible, se han incluido en la muestra estrellas con datos de fotometría Strömberg, ya que este sistema fotométrico ha demostrado ser un instrumento muy útil para el análisis de la metalicidad, el enrojecimiento y los efectos evolutivos de las estrellas.

En resumen, la muestra puede considerarse completamente caracterizada para la aplicación de MFI desde estrellas F0V a K5V. Desde K5V a M4V, aunque es esperable que la muestra cubra un intervalo extenso de metalicidades, es muy difícil asignar una estimación fiable a cada estrella. No obstante, se puede asignar una especie de metalicidad estadística tomando como base consideraciones cinemáticas (Legget 1992).

Después del estudio de las transformaciones fotométricas (sección 2.4 de este mismo capítulo), y dado el excelente acuerdo con el sistema del CIT, se decidió la incorporación a la muestra de todas las estrellas enanas de Carney

(1983) que no habían sido medidas en el programa de observaciones, con el objeto de hacer más denso el muestreo en el intervalo (F4V-K0V), y también las estrellas de Legget (1992) con $(H - K) < 0.20$ (aproximadamente las de tipo espectral más temprano que M4). Como veremos, será muy difícil aplicar el MFI a éstas últimas a causa de las limitaciones de los modelos de atmósferas en este intervalo de temperaturas frías donde las opacidades de las especies moleculares comienzan a tener un peso fundamental (Kurucz 1992), al margen de la dificultad añadida en la asignación de la metalicidad, mencionada previamente. Sin embargo, este primer estudio puede proporcionar algunos resultados interesantes concernientes a la escala de temperaturas de la parte más baja de la secuencia principal. Asimismo se han incorporado las estrellas enanas de la lista de calibración del sistema del TCS que no se midieron durante el programa de observaciones (Kidger 1992), y algunas estrellas brillantes de los trabajos de Saxner y Hammarbäck (1985), y Bell y Gustafsson (1989), con el objeto de comparar las temperaturas resultantes en el capítulo 5. Con estas incorporaciones, la muestra final consta de unas 500 estrellas. Este número es un orden de magnitud mayor que los empleados en trabajos previos dedicados a esta clase de estudios, y por lo tanto permitirá llevar a cabo un análisis fiable de las relaciones entre colores, temperaturas y metalicidades medias.

2.3 Las observaciones

Las observaciones se realizaron durante nueve diferentes períodos, distribuidos entre los años 1991/1992, con el telescopio Carlos Sánchez (TCS colector de flujo de 1.54 m)². El sistema de medida está compuesto por un fotómetro monocanal equipado con un detector estándar de InSb refrigerado con un criostato alimentado por nitrógeno líquido. El fotómetro está acoplado a un *chopper* en el plano focal. La apertura normalmente empleada fué de 20". Ocasionalmente, cuando la mayoría de estrellas que iban a medirse en una noche eran débiles, se utilizó una apertura de 15". Durante toda la campaña de observaciones se empleó la técnica convencional de *chopping* (imprescindible para obtener fotometría de calidad en el IR). Las aperturas estaban orientadas en la dirección Este-Oeste, separadas aproximadamente 25-30 segundos de arco. Al principio de cada noche, se realizaban barridos

²A partir de este momento las referencias al sistema IR del Teide se harán como TCS

ortogonales de la apertura a través del plano focal en ascensión recta y declinación, enfocando una estrella brillante. El perfil era independiente del filtro empleado y aproximadamente plano en la región central, con una bajada muy pronunciada en los bordes. En ocasiones se podía observar una pequeña protuberancia cercana a un borde, probablemente causada por efectos de difracción debidos a ligeros desalineamientos del sistema óptico del detector. En cualquier caso, esto implicaría a lo sumo un error de 0.01 mag en la fotometría. Para el guiado se empleaba una cámara de TV situada en el eje óptico del telescopio que, además de un seguimiento fácil, permitía discernir la posible contaminación por compañeras próximas a la estrella observada. En la tabla del apéndice 1 se presentan las magnitudes JHK de las 360 estrellas del programa junto con los errores estimados (aproximadamente 1300 medidas sin contar las calibraciones). Para asegurar una precisión del 1 % en las magnitudes instrumentales se impuso un límite inferior de 100 a la relación señal-ruido de las medidas. Este nivel se sobrepasaba ampliamente en el caso de las estrellas del programa brillantes o moderadamente débiles, mientras que el mismo objetivo para las estrellas débiles requería tiempos de integración desmesurados. Con el objeto de evitar este inconveniente y optimizar los períodos de observación, se impuso un límite en el tiempo de integración para las estrellas con $J, H, K \geq 10.00$ mag que, naturalmente, proporcionaba una relación S/R más baja. Estas estrellas eran medidas repetidamente y de forma alternada durante la misma noche, y el resultado era después promediado. Este método no proporciona el mismo nivel de precisión, pero según nuestra experiencia es el más adecuado, cuando se está midiendo cerca del límite de detección del sistema. Los errores de la tabla del apéndice 1 corresponden a la desviación típica de las medidas realizadas en diferentes noches.

2.3.1 El procedimiento de reducción

Durante toda la campaña de observaciones se empleó un conjunto de 18 estrellas estándares de la lista de estrellas de calibración del TCS (Kidger 1992) que cubrían el intervalo de color de las estrellas del programa (Tabla 5). Varios pares de estrellas, una ascendiendo y otra descendiendo, se seguían a lo largo de cada noche. De este modo, la extinción atmosférica se medía cada noche en todos los filtros. Además, este procedimiento sistemático permitía comprobar la ausencia de desplazamientos temporales del punto cero, debidos

a posibles cambios en el tiempo atmosférico o en las condiciones del sistema instrumental.

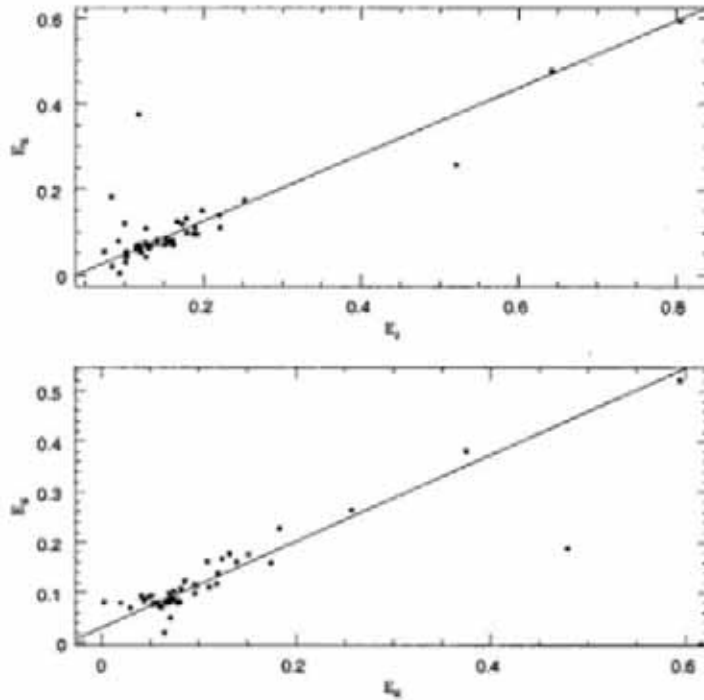


Figura 5: La correlación entre los coeficientes de extinción en las diferentes bandas fotométricas del sistema del TCS. Nótese la consistencia para las noches con polvo. Esto asegura la fiabilidad de los colores medidos en condiciones de alta extinción.

Para reducir los datos, se ha empleado una copia del programa RED (Bouchet et al. 1991), adaptada a los requerimientos específicos del sistema del TCS. Básicamente, el procedimiento de reducción consiste en la aplicación iterada de la siguiente ecuación, al conjunto de estrellas de calibración:

$$m_\lambda = m_{I\lambda} - E_\lambda z - D_\lambda UT + ZP_\lambda, \quad (8)$$

donde m_λ es la magnitud de la estrella de calibración, $m_{I\lambda}$ es la magnitud instrumental, E_λ es el coeficiente de extinción de primer orden, z es la masa de aire, D_λ es el coeficiente de deriva temporal, UT es el tiempo universal, y

Tabla 5: Las magnitudes fotométricas infrarrojas de las estrellas de calibración, con sus desviaciones típicas, medidas en el Observatorio del Teide (TCS) durante el programa de observaciones. Columna 8: número de medidas en J,H y K. (p): Estrella de calibración primaria del TCS, (s): Estrella de calibración secundaria del TCS.

No. BS	J	$\sigma(J)$	H	$\sigma(H)$	K	$\sigma(K)$	#	Sp. Type
0660	3.618	0.013	3.290	0.015	3.225	0.009	10(s)	G0V
1140	5.449	0.022	5.488	0.022	5.502	0.022	47(p)	B7IV
1925	4.718	0.015	4.335	0.015	4.273	0.006	3(s)	K1V
3176	4.127	0.019	3.853	0.021	3.801	0.014	91(p)	G1Vb
4039	4.755	0.016	4.507	0.011	4.465	0.013	13(s)	F8Vbw
4883	3.688	0.015	3.397	0.012	3.331	0.012	150(p)	G0IIIp
5384	5.027	0.014	4.711	0.019	4.660	0.019	56(p)	G1V
5634	4.092	—	3.905	—	3.865	—	1(s)	F5V
5914	3.448	0.017	3.154	0.015	3.100	0.023	14(p)	F8V
5968	4.244	0.018	3.945	0.016	3.886	0.016	6(s)	G2V
5986	3.004	0.013	2.784	0.010	2.726	0.010	14(p)	F8V
6136	2.837	0.010	2.173	0.010	2.002	0.010	2(s)	K4IIIp
7260 ¹	4.813	0.027	4.508	0.015	4.442	0.019	13(s)	G5V
8455	4.818	0.020	4.460	0.018	4.392	0.016	4(s)	G0V
8541	4.262	0.016	4.232	0.006	4.216	0.015	4(p)	B9I
8551 ²	2.910	0.020	2.367	0.018	2.280	0.020	5(p)	K0III
8710 ³	4.083	0.025	3.480	0.051	3.327	0.021	3(s)	K3III
8905	3.321	0.013	3.057	0.026	3.005	0.029	22(p)	F8III

(1) El valor de J para esta estrella es, según Kidger (1992), 4.839 ± 0.018 con 8 medidas.

(2) El valor de K para esta estrella es, según Kidger (1992), 2.252 ± 0.009 con 26 medidas.

(3) Los valores de J,H y K para esta estrella son respectivamente, según Kidger (1992), 4.043 ± 0.013 , 3.432 ± 0.013 and 3.303 ± 0.013 con 15 medidas.

ZP_λ es el punto cero del sistema instrumental. La deriva temporal observada fué, en general, despreciable (milésimas de magnitud en una noche completa) y por lo tanto se descartó en el proceso de reducción. En la tabla 6 se recogen

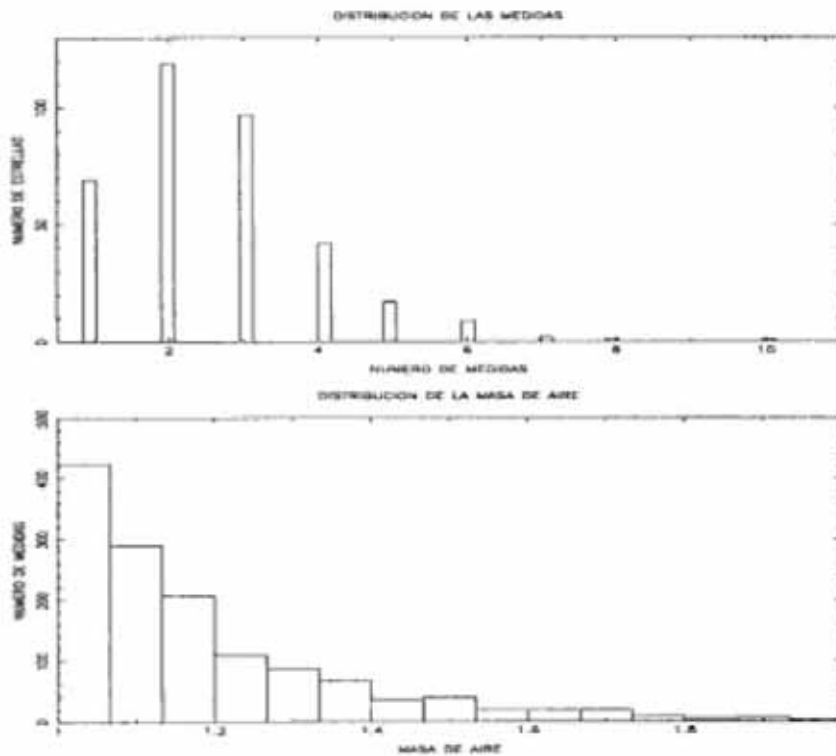


Figura 6: Arriba: Histograma de la distribución de las medidas. El 75% de las estrellas de la muestra se midieron al menos dos veces, y el 50 % se midieron tres o más. Abajo: Histograma de la distribución de la masa de aire de las medidas. El 90 % de las medidas se hicieron en masas de aire menores que 1.4.

los valores de los coeficientes de extinción promediados cada noche. Estos valores se encuentran dentro del intervalo acotado para otros observatorios similares en sus características al del Teide. Los valores más altos de la extinción corresponden a los días de calima en los que los vientos del sur que soplan desde el Sahara hacen llegar grandes nubes de polvo del desierto sobre el observatorio. Este fenómeno se produce ocasionalmente en primavera y verano. En la Figura 5, se muestran las correlaciones entre los coeficientes de

extinción en las bandas JHK, que corresponden a las siguientes ecuaciones:

$$E_H = 0.78E_J - 0.03 \quad (\sigma = 0.02, \text{ noches} = 43), \quad (9)$$

$$E_K = 0.86E_H + 0.03 \quad (\sigma = 0.02, \text{ noches} = 45), \quad (10)$$

Las estrellas del programa se midieron, siempre que fue posible, durante el tránsito por el meridiano, con el objeto de minimizar el error asociado a la extinción (parte inferior de la figura 6). Sin embargo, algunas observaciones se hicieron con masas de aire mayores debido a la declinación de las estrellas, o al hecho de que algunas estrellas se medían al orto o al ocaso para solapar medidas en diferentes períodos. Más de dos tercios de las estrellas de la muestra se observaron al menos dos veces, y usualmente las diferencias eran menores de 0.02 mag para H y K y menores de 0.03 mag para J. La dispersión ligeramente más alta de J, puede deberse a la presencia de bandas de absorción de vapor de agua que flanquean a esta ventana atmosférica y también a la menor sensibilidad del detector de InSb en este intervalo espectral. Incidentalmente señalaremos que un número de estrellas débiles se ha medido repetidamente y las medidas muestran una consistencia interna de 0.02 mag, de tal modo que pueden utilizarse como estrellas de calibración débiles para el sistema IR del TCS. La parte superior de la figura 6 muestra el histograma de la distribución del número de medidas por estrella. Nótese que el 75 % de las estrellas de la muestra se midieron al menos dos veces, y el 50 % tres o más veces.

2.4 El sistema fotométrico del TCS

El Telescopio Carlos Sánchez ha alcanzado recientemente 20 años de observaciones. Originalmente fue diseñado y gestionado bajo los auspicios del British Science Research Council. En el año 1983 su control se transfirió al Instituto de Astrofísica de Canarias. Inicialmente estaba equipado con un fotómetro JHKLM monocanal. La caracterización del sistema fotométrico correspondiente, puede encontrarse en Arribas y Martínez-Roger (1987b). En 1988 este fotómetro se reemplazó por un nuevo instrumento que, a los filtros en el IR cercano, añadía dos Filtros Circulares Variables (CVF). Las observaciones que aquí presentamos, se han realizado con este nuevo fotómetro.

Tabla 6: Los coeficientes de extinción en el IR, medidos en el observatorio del Teide (TCS). Claves: f:noche entera, m:media noche, p:menos de media noche, h:humedad variable, d:polvo.

Día	E_J	E_H	E_K	Comentarios
02ab91	0.127	0.041	0.093	f
03ab91	0.129	0.070	0.098	f
04ab91	0.198	0.151	0.176	f
05ab91	0.121	0.052	0.093	p
06ab91	0.101	0.047	0.091	m
07ab91	0.103	0.044	0.083	f
09ab91	0.101	0.030	0.069	f
10ab91	0.642	0.479	0.188	p,d
12ab91	0.074	0.054	0.078	m
21ab91	0.084	0.020	0.079	f
24ab91	0.094	0.003	0.081	p
25ab91	0.115	0.058	0.081	f
26ab91	0.092	0.079	0.079	m
10no91	0.178	0.132	0.177	f
13no91	0.133	0.066	0.079	f
15no91	0.220	0.139	0.161	f,h
17no91	0.100	0.120	0.139	f
20no91	0.127	0.109	0.162	f
22no91	0.167	0.124	0.167	f
12en92	0.141	0.082	0.108	m
19fe92	0.154	0.074	0.087	m
20fe92	0.141	0.075	0.103	p
22fe92	0.161	0.081	0.081	f
24fe92	0.221	0.111	0.110	f
25fe92	0.159	0.078	0.084	f
26fe92	0.130	0.062	0.070	f
30ab92	0.252	0.174	0.159	m
01ma92	0.115	0.065	0.020	f
06ma92	0.083	0.183	0.228	p
07ma92	0.150	0.071	0.050	f
08ma92	0.118	0.069	0.083	f
10ma92	0.153	0.086	0.123	m
12ma92	0.189	0.111	0.112	m
14ma92	0.102	0.053	0.077	f
15ma92	0.150	0.080	0.095	f
19ma92	0.117	0.375	0.381	m,d
20ma92	0.173	0.119	0.117	m
21ma92	0.192	0.096	0.116	m
22ma92	0.162	0.070	0.079	m
22ju92	0.805	0.594	0.522	f,d
23ju92	0.521	0.257	0.264	f,d
24ju92	0.179	0.098	0.113	f
25ju92	0.187	0.096	0.098	f
03di92	0.120	0.060	0.073	f
04di92	0.115	0.067	0.079	f
05di92	0.126	0.075	0.083	f

2.4.1 Los filtros y la respuesta de las bandas

Las transmisiones de los filtros del sistema del TCS se midieron en el Laboratorio de Óptica del IAC. Para ello, se empleó un cuerpo negro a 854 K, cuya radiación, modulada a una frecuencia de 10.3 Hz con un *chopper*, era dispersada por un monocromador de un solo canal. La resolución espectral proporcionaba un muestreo adecuado de los filtros de banda ancha. Para obtener la respuesta de los filtros más el detector del fotómetro se empleó un detector bolométrico con una respuesta espectral casi constante ($\pm 4\%$). La temperatura de operación del fotómetro se fijó en 77 K, igual a la empleada en las observaciones. La tabla 7 contiene los resultados del análisis de las medidas realizadas. La calibración absoluta del sistema se ha ligado a Vega siguiendo el método que se describirá en detalle en el capítulo 3, para las bandas JHK del TCS. La tabla 8 contiene el flujo absoluto determinado en cada banda junto con la magnitud fotométrica de Vega.

2.4.2 Las transformaciones fotométricas

Mientras que las transformaciones entre sistemas fotométricos del visible están generalmente bien determinadas, este no es el caso para los sistemas del IR. La diferente transmisión de la atmósfera sobre cada observatorio, y la ausencia de un conjunto único de filtros, dan lugar a efectos de color sistemáticos. En consecuencia, cualquier conjunto de datos fotométricos en el IR debe ir acompañado de ecuaciones de transformación a otros sistemas que permitan su correcta interpretación. En este trabajo, se han obtenido las transformaciones a los sistemas más empleados en el hemisferio norte: (Johnson et al. 1966, Lee 1970), y CIT (Frogel et al. 1978 y Elías et al. 1982, y Carney 1983). También se ha realizado la comparación con las estrellas comunes de Selby et al. (1988), con el objeto de analizar la consistencia interna del sistema fotométrico del TCS. El número de estrellas en común con estos sistemas es suficientemente grande, como para proporcionar relaciones precisas en todo el intervalo de color cubierto por las estrellas de nuestro programa. Por razones de completitud, se han derivado las transformaciones a un sistema del hemisferio sur: el sistema revisado del ESO (Bouchet et al. 1991). Aunque el número de estrellas comunes es bajo, todas son estrellas de calibración de ambos sistemas. Las estrellas de calibración del TCS se han extraído de dos fuentes Kidger (1992) y el capítulo 3.

Tabla 7: El sistema fotométrico infrarrojo del sistema del Observatorio del Teide (TCS). Las transmisiones normalizadas de los filtros incluyen la respuesta espectral del detector de InSb.

Banda J				Banda H			Banda K		
λ (nm)	$T(\lambda)$	λ (nm)	$T(\lambda)$	λ (nm)	$T(\lambda)$	λ (nm)	$T(\lambda)$	λ (nm)	$T(\lambda)$
985.00	0.0000	1257.50	0.5353	1342.50	0.0000	1675.00	0.8466	1855.00	0.0000
987.00	0.0001	1262.50	0.5534	1347.50	0.0004	1685.00	0.8275	1865.00	0.0020
989.00	0.0002	1267.50	0.5778	1352.50	0.0005	1695.00	0.7951	1875.00	0.0054
991.00	0.0003	1272.50	0.6030	1357.50	0.0007	1705.00	0.8020	1885.00	0.0105
993.00	0.0004	1277.50	0.6289	1362.50	0.0008	1715.00	0.8387	1895.00	0.0150
995.00	0.0005	1282.50	0.6558	1367.50	0.0011	1725.00	0.8846	1905.00	0.0306
997.00	0.0007	1287.50	0.6836	1372.50	0.0014	1735.00	0.9433	1915.00	0.0678
999.00	0.0009	1292.50	0.7115	1377.50	0.0018	1745.00	0.9854	1925.00	0.1278
1002.50	0.0010	1297.50	0.7421	1382.50	0.0026	1755.00	1.0000	1935.00	0.2086
1007.50	0.0013	1302.50	0.7840	1387.50	0.0036	1765.00	0.9543	1945.00	0.2969
1012.50	0.0014	1307.50	0.8299	1392.50	0.0046	1775.00	0.8618	1955.00	0.3987
1017.50	0.0015	1312.50	0.8513	1397.50	0.0057	1785.00	0.7145	1965.00	0.5027
1022.50	0.0021	1317.50	0.8559	1402.50	0.0075	1795.00	0.5363	1975.00	0.5921
1027.50	0.0031	1322.50	0.8750	1407.50	0.0100	1805.00	0.3825	1985.00	0.6548
1032.50	0.0045	1327.50	0.9084	1412.50	0.0130	1815.00	0.2487	1995.00	0.6863
1037.50	0.0068	1332.50	0.9542	1417.50	0.0175	1825.00	0.1458	2005.00	0.6981
1042.50	0.0118	1337.50	1.0000	1422.50	0.0275	1835.00	0.0771	2015.00	0.7029
1047.50	0.0186	1342.50	0.9970	1427.50	0.0429	1845.00	0.0328	2025.00	0.7093
1052.50	0.0252	1347.50	0.9580	1432.50	0.0627	1855.00	0.0151	2035.00	0.7218
1057.50	0.0315	1352.50	0.9282	1437.50	0.0875	1865.00	0.0061	2045.00	0.7341
1062.50	0.0375	1357.50	0.8940	1442.50	0.1199	1875.00	0.0043	2055.00	0.7512
1067.50	0.0434	1362.50	0.8104	1447.50	0.1583	1885.00	0.0033	2065.00	0.7755
1072.50	0.0511	1367.50	0.6811	1452.50	0.1951	1895.00	0.0030	2075.00	0.7946
1077.50	0.0598	1372.50	0.5375	1457.50	0.2261	1905.00	0.0024	2085.00	0.8199
1082.50	0.0674	1377.50	0.3920	1462.00	0.2539	1915.00	0.0014	2095.00	0.8571
1087.50	0.0741	1382.50	0.2754	1467.50	0.2777	1925.00	0.0012	2105.00	0.8947
1092.50	0.0804	1387.50	0.1827	1472.50	0.3003	1935.00	0.0005	2115.00	0.8955
1097.50	0.0875	1392.50	0.1010	1477.50	0.3241	1945.00	0.0000	2125.00	0.8507
1102.50	0.0984	1397.50	0.0378	1482.50	0.3486			2135.00	0.8030
1107.50	0.1114	1402.50	0.0054	1487.50	0.3737			2145.00	0.7562
1112.50	0.1221	1407.50	0.0033	1492.50	0.3980			2155.00	0.7160
1117.50	0.1311	1412.50	0.0018	1497.50	0.4208			2165.00	0.6972
1122.50	0.1410	1417.50	0.0010	1502.50	0.4393			2175.00	0.6990
1127.50	0.1514	1422.50	0.0007	1507.50	0.4537			2185.00	0.7126
1132.50	0.1611	1427.50	0.0003	1512.50	0.4684			2195.00	0.7327
1137.50	0.1703	1432.50	0.0000	1517.50	0.4828			2205.00	0.7753
1142.50	0.1793			1522.50	0.4955			2215.00	0.8404
1147.50	0.1880			1527.50	0.5067			2225.00	0.9025
1152.50	0.1966			1532.50	0.5187			2235.00	0.9460
1157.50	0.2060			1537.50	0.5317			2245.00	0.9770
1162.50	0.2185			1542.50	0.5473			2255.00	1.0000
1167.50	0.2328			1547.50	0.5616			2265.00	0.9980
1172.50	0.2460			1552.50	0.5750			2275.00	0.9890
1177.50	0.2583			1557.50	0.5831			2285.00	0.9891
1182.50	0.2712			1562.50	0.5879			2295.00	0.9939
1187.50	0.2831			1567.50	0.5918			2305.00	0.9834
1192.50	0.2909			1572.50	0.5952			2315.00	0.9692
1197.50	0.2963			1577.50	0.6053			2325.00	0.9505
1202.50	0.3044			1582.50	0.6198			2335.00	0.8961
1207.50	0.3146			1587.50	0.6353			2345.00	0.7898
1212.50	0.3259			1592.50	0.6514			2355.00	0.6575
1217.50	0.3411			1597.50	0.6635			2365.00	0.5251
1222.50	0.3679			1605.00	0.6776			2375.00	0.3653
1227.50	0.4021			1615.00	0.7015			2385.00	0.2336
1232.50	0.4287			1625.00	0.7259			2395.00	0.1439
1237.50	0.4507			1635.00	0.7489			2405.00	0.0834
1242.50	0.4782			1645.00	0.7680			2415.00	0.0464
1247.50	0.5074			1655.00	0.7925			2425.00	0.0256
1252.50	0.5249			1665.00	0.8305			2435.00	0.0120

Tabla 8: Longitudes de onda efectivas de los filtros del TCS, y la calibración absoluta del flujo de Vega en $10^{-10} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$, junto con sus magnitudes en este sistema. Las longitudes de onda efectivas se han determinado considerando la transmisión de la atmósfera de cada banda según los trabajos de Manduca y Bell (1979), y Glass (1985).

Banda	$\lambda_{ef}(nm)$	$F_o^{Vega}(\lambda_{ef})$	m_{Vega}
J	1279.0	29.12	-0.013
H	1638.3	11.92	-0.005
K	2186.9	4.26	-0.029

Johnson vs. TCS

Históricamente las primeras medidas fotométricas en el IR cercano se realizaron en el sistema de Johnson (Johnson et al. 1966, Johnson 1966, Lee 1970). El mayor inconveniente de este sistema es que los filtros están sobredimensionados para las ventanas atmosféricas. Este hecho provoca una fluctuación de la longitud de onda efectiva según varía la humedad atmosférica, y por tanto se incrementa la dispersión en las medidas. De todas formas, aunque algo obsoleto, es un buen sistema con el que compararse considerando el extraordinario número de medidas de algunas de sus estrellas de calibración. Las ecuaciones que se han obtenido para transformar magnitudes y colores del sistema de Johnson (subíndice J) al TCS o viceversa, son las siguientes:

$$K_{TCS} = K_J - 0.043 + 0.013(J - K)_J \quad (\sigma = 0.029) \quad (n = 62), \quad (11)$$

$$(J - K)_{TCS} = 0.010 + 0.907(J - K)_J \quad (\sigma = 0.036) \quad (n = 63), \quad (12)$$

$$(J - H)_{TCS} = -0.003 + 0.923(J - H)_J \quad (\sigma = 0.037) \quad (n = 28), \quad (13)$$

$$(H - K)_{TCS} = 0.018 + 0.760(H - K)_J \quad (\sigma = 0.032) \quad (n = 28), \quad (14)$$

$$(V - K)_{TCS} = 0.050 + 0.994(V - K)_J \quad (\sigma = 0.033) \quad (n = 63), \quad (15)$$

La aplicación de estas transformaciones está restringida a los siguientes intervalos de color: $-0.20 < (J - K)_{TCS} < 1.25$, $0.00 < (J - H)_{TCS} < 0.90$, $0.05 < (H - K)_{TCS} < 0.27$, $-0.60 < (V - K)_{TCS} < 6.00$. Los términos de color aunque notables, no son inusuales. Pueden justificarse fácilmente, si

se tiene en cuenta que los filtros del TCS se han diseñado para quedar completamente dentro de las ventanas de la atmósfera, y también el progreso en la sensibilidad de los detectores infrarrojos.

CIT vs. TCS

El sistema del CIT se describe en Elias et al. (1982) y Frogel et al. (1978). Carney (1983), y Legget (1992) proporcionan también un buen número de medidas en este sistema. La Figura 7 muestra la comparación entre un conjunto de estrellas comunes al CIT y al TCS. Los pequeños términos de color y la baja dispersión de los puntos demuestra que ambos sistemas comparten características muy similares. En particular, es notable el buen acuerdo con los datos de Carney (1983). La dispersión ligeramente más alta de este conjunto de datos respecto a los de Elias et al. (1982) y Frogel et al. (1978), se debe al hecho de que estas estrellas son en general más débiles, y se midieron en el sistema KPNO/CIT (es decir estrellas de calibración del CIT y sistema fotométrico de Kitt Peak). Los datos de Legget (1992) se han considerado con un menor peso al derivar las transformaciones, ya que proceden de fuentes inhomogéneas, o son ellos mismos el resultado de transformaciones.

Las siguientes ecuaciones se han derivado para las magnitudes:

$$J_{TCS} = J_{CIT} - 0.032 + 0.022(J - K)_{CIT} \quad (\sigma = 0.025) \quad (n = 86), \quad (16)$$

$$H_{TCS} = H_{CIT} - 0.024 + 0.037(J - K)_{CIT} \quad (\sigma = 0.020) \quad (n = 89), \quad (17)$$

$$K_{TCS} = K_{CIT} - 0.021 - 0.012(J - K)_{CIT} \quad (\sigma = 0.019) \quad (n = 89), \quad (18)$$

Y las correspondientes transformaciones de los colores:

$$(J - K)_{TCS} = -0.011 + 1.012(J - K)_{CIT} \quad (\sigma = 0.021) \quad (n = 91), \quad (19)$$

$$(J - H)_{TCS} = -0.005 + 0.983(J - H)_{CIT} \quad (\sigma = 0.020) \quad (n = 91), \quad (20)$$

$$(H - K)_{TCS} = -0.002 + (H - K)_{CIT} + 0.021(J - K)_{CIT} \quad (\sigma = 0.018) \quad (n = 97), \quad (21)$$

$$(V - K)_{TCS} = 0.022 + 0.996(V - K)_{CIT} \quad (\sigma = 0.021) \quad (n = 91), \quad (22)$$

La aplicación de estas transformaciones está limitada a los siguientes intervalos de color: $-0.15 < (J - K)_{TCS} < 1.10$, $-0.08 < (J - H)_{TCS} < 0.85$, $-0.04 < (H - K)_{TCS} < 0.26$, $-1.50 < (V - K)_{TCS} < 6.00$. Las transformaciones al sistema del CIT son excelentes; En particular, cuando

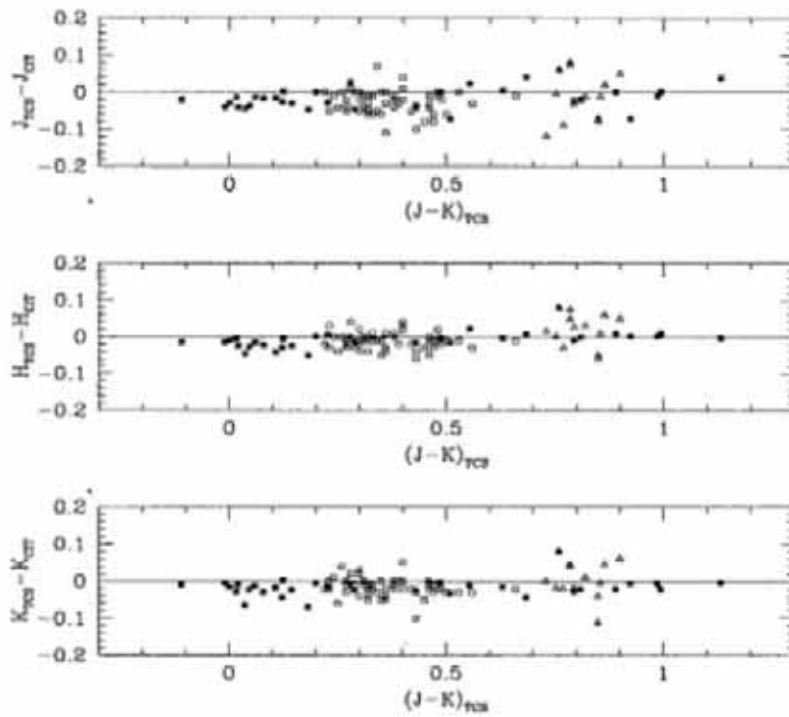


Figura 7: La comparación entre los sistemas del CIT y del TCS. Cuadrados negros: estrellas comunes con Elias et al. (1982). Cuadrados blancos: estrellas comunes con Carney (1983). Triángulos: estrellas M comunes con Legget (1992).

se compara la dispersión de los datos de Carney, el resultado es mejor que el esperado de la convolución de los errores internos estimados de los dos trabajos.

Fotometría de banda estrecha vs. TCS

En Selby et al. (1988) se proporciona una lista de estrellas brillantes medidas con un conjunto de filtros de banda estrecha especialmente diseñados para evitar los bordes de las bandas de absorción del vapor de agua de la atmósfera. Considerando las estrellas comunes de ambos sistemas se han derivado transformaciones cuya dispersión puede reflejar el nivel de precisión del sistema de estrellas patrón del TCS.

$$J_{TCS} = J_S - 0.037 + 0.013(J - K)_S \quad (\sigma = 0.022) \quad (n = 21), \quad (23)$$

$$K_{TCS} = K_S - 0.035 + 0.071(J - K)_S \quad (\sigma = 0.021) \quad (n = 21), \quad (24)$$

Estas transformaciones se aplican en el intervalo $-0.15 < (J - K)_{TCS} < 1.05$.

ESO vs. TCS

Bouchet et al. (1991) han redefinido el sistema del ESO después del cambio instrumental llevado a cabo en La Silla. En aquel trabajo se proporciona una lista de 199 estrellas de calibración en un nivel de precisión de 0.02 magnitudes. Por desgracia, sólo 14 estrellas son comunes al sistema del TCS. Por lo tanto las relaciones tendrán un menor nivel de confianza, no obstante hay que señalar que son bastante limpias. Es notable el efecto de color encontrado para la banda J. Este punto es consistente (cuando se hace una comparación circular) con el fuerte término de color que Bouchet et al. (1991) describen respecto al sistema de Johnson.

$$J_{TCS} = J_{ESO} - 0.032 + 0.152(J - K)_{ESO} \quad (\sigma = 0.029) \quad (n = 14), \quad (25)$$

$$H_{TCS} = H_{ESO} - 0.048 - 0.051(J - K)_{ESO} \quad (\sigma = 0.034) \quad (n = 14), \quad (26)$$

$$K_{TCS} = K_{ESO} - 0.024 - 0.049(J - K)_{ESO} \quad (\sigma = 0.035) \quad (n = 14), \quad (27)$$

La aplicación de estas transformaciones está limitada a los siguientes intervalos de color: $-0.15 < (J - K)_{TCS} < 0.70$, $-0.10 < (J - H)_{TCS} < 0.60$, $-0.06 < (H - K)_{TCS} < 0.14$.

En conclusión, estas transformaciones establecen de forma adecuada el sistema del TCS y aseguran una correcta transformación de los datos a otros sistemas o viceversa.

Las ecuaciones que se han derivado permiten añadir a la muestra un cierto número de estrellas con datos de la literatura. En cualquier caso, se ha restringido esta incorporación a datos de calidad comparable a los obtenidos en estas observaciones: estrellas M de Legget (1992) y estrellas subenanas de Carney (1983), que permiten ampliar el intervalo de temperaturas cubierto, al mismo tiempo que se hace más denso el muestreo en metalicidades.

2.5 Análisis de los diagramas de color:color

2.5.1 Los diagramas IR

Las figuras 8, 9, 10 y 11 contienen los diagramas de color:color infrarrojos, elaborados a partir de las observaciones fotométricas llevadas a cabo en el TCS (tabla del apéndice 1). En cualquier caso, no hay diferencias, salvo en el número, cuando se añaden el resto de las estrellas a los diagramas. Las relaciones intrínsecas para los colores del IR deducidas por Bessel y Brett (1988) se han transformado mediante las ecuaciones (12), (13) y (14) al sistema del TCS (hemos preferido utilizar las relaciones entre el sistema de Johnson y del TCS en esta transformación; aunque el error es más alto la homogeneización de Bessel y Brett está basada en el sistema de Johnson-Glass). Las estrellas de la muestra siguen la línea intrínseca de forma muy aproximada. También se han transformado las relaciones intrínsecas de Frogel et al. (1978) mediante las Ecs. (19), (20) y (21). La consistencia interna de los datos se puede apreciar directamente a partir de los diagramas color:color. La dispersión de los datos en torno a las líneas medias, descartando unos pocos puntos, es comparable a la del trabajo de Bessel y Brett (1988). Esto confirma los errores de la tabla del apéndice 1, y también la ausencia de efectos espurios evidentes.

A partir de una sencilla consideración teórica, deberíamos esperar una cierta dependencia de la metalicidad para los colores IR de las estrellas enanas en el intervalo de tipos espectrales F4-K0. Como la fuente que domina la opacidad del continuo, en el IR cercano, está determinada principalmente por el ion H^- , los colores deberían ser sensibles a la proporción de electrones libres cedidos por las especies metálicas. El efecto esperado

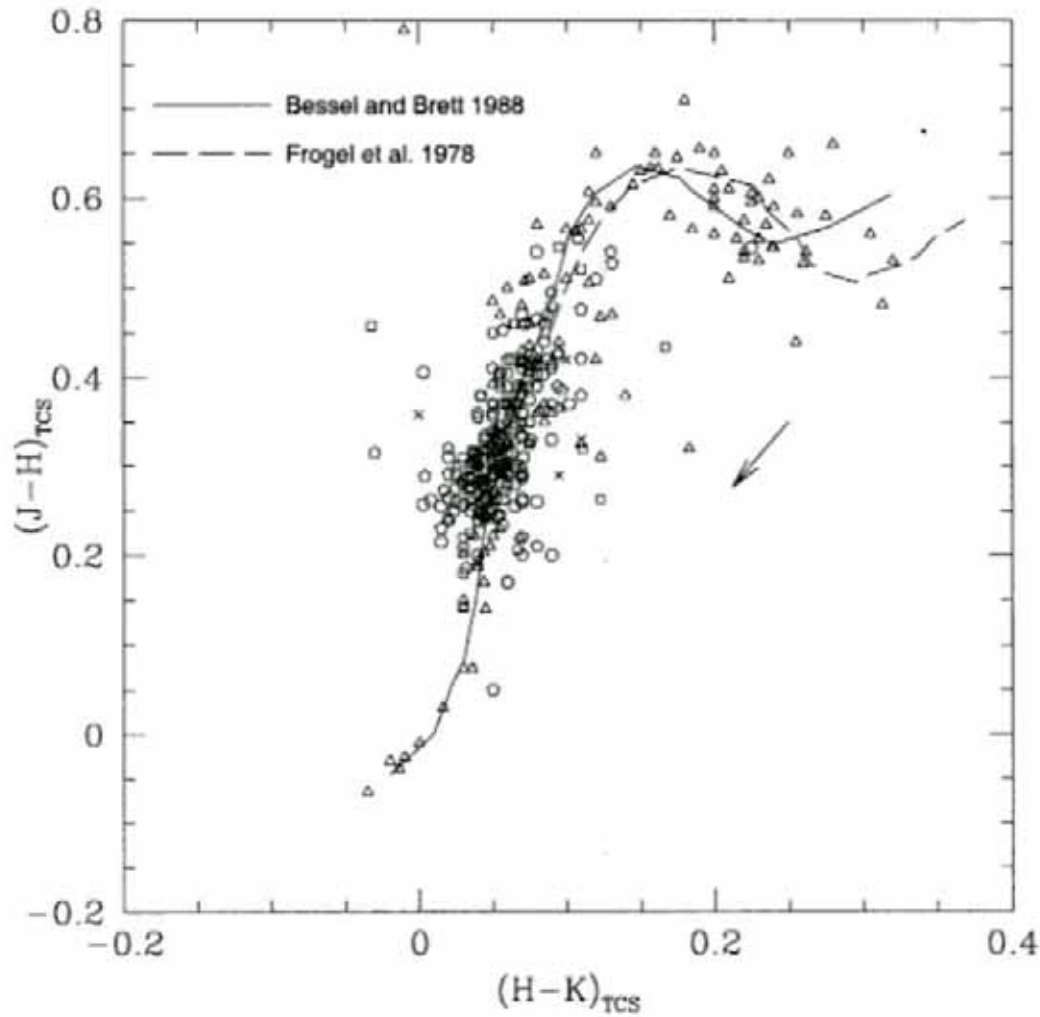


Figura 8: Diagrama $(H-K):(J-H)$ para las estrellas medidas en el TCS. Cruces: estrellas de metalicidad desconocida, triángulos: $[Fe/H] \geq -0.5$, cuadrados: $-0.5 > [Fe/H] \geq -1.0$, pentágonos: $-1.0 > [Fe/H] \geq -2.0$, círculos: $-2.0 > [Fe/H]$. Las líneas superpuestas corresponden a las relaciones intrínsecas extraídas de la literatura y transformadas al sistema del TCS. La flecha corresponde a un vector de desenrojecimiento para $E(B-V)=0.2$ mag.

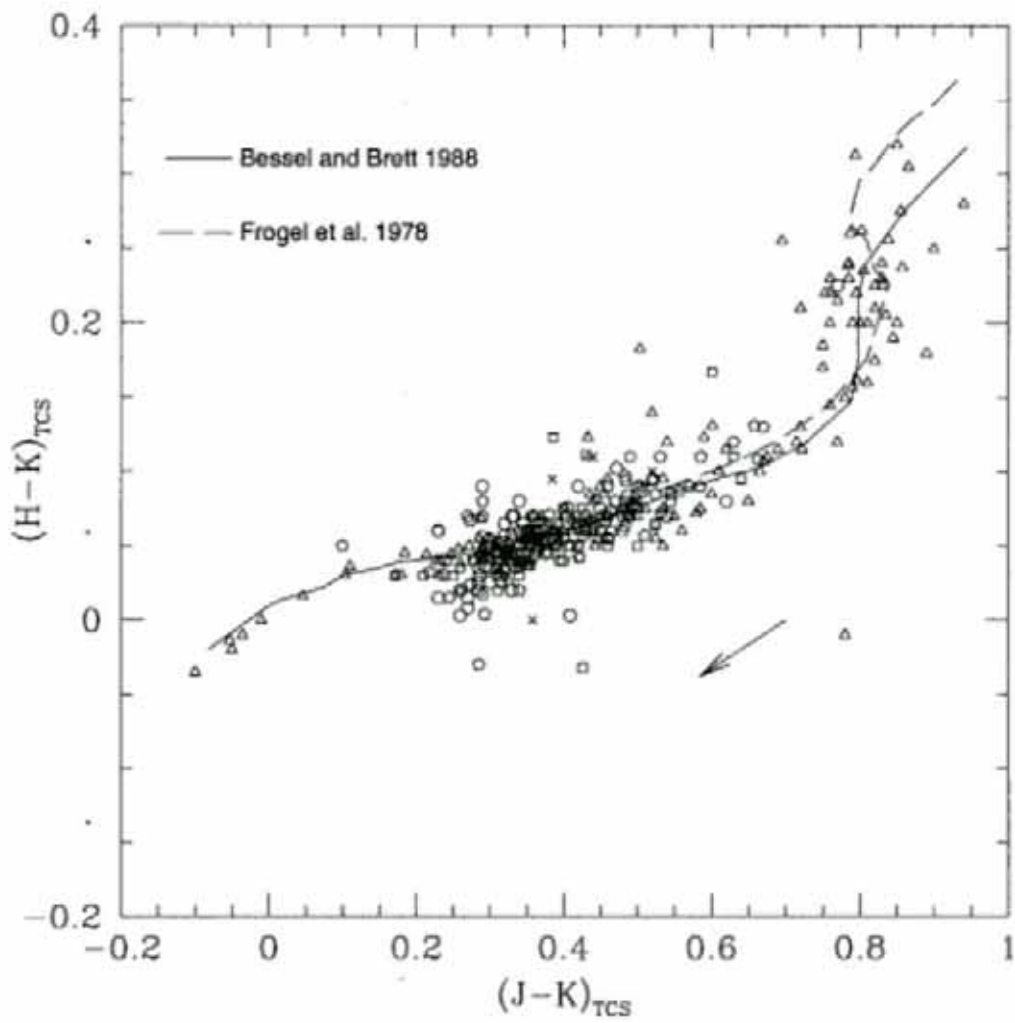


Figura 9: Igual que en la figura 8 para el diagrama $(J-K):(H-K)$.

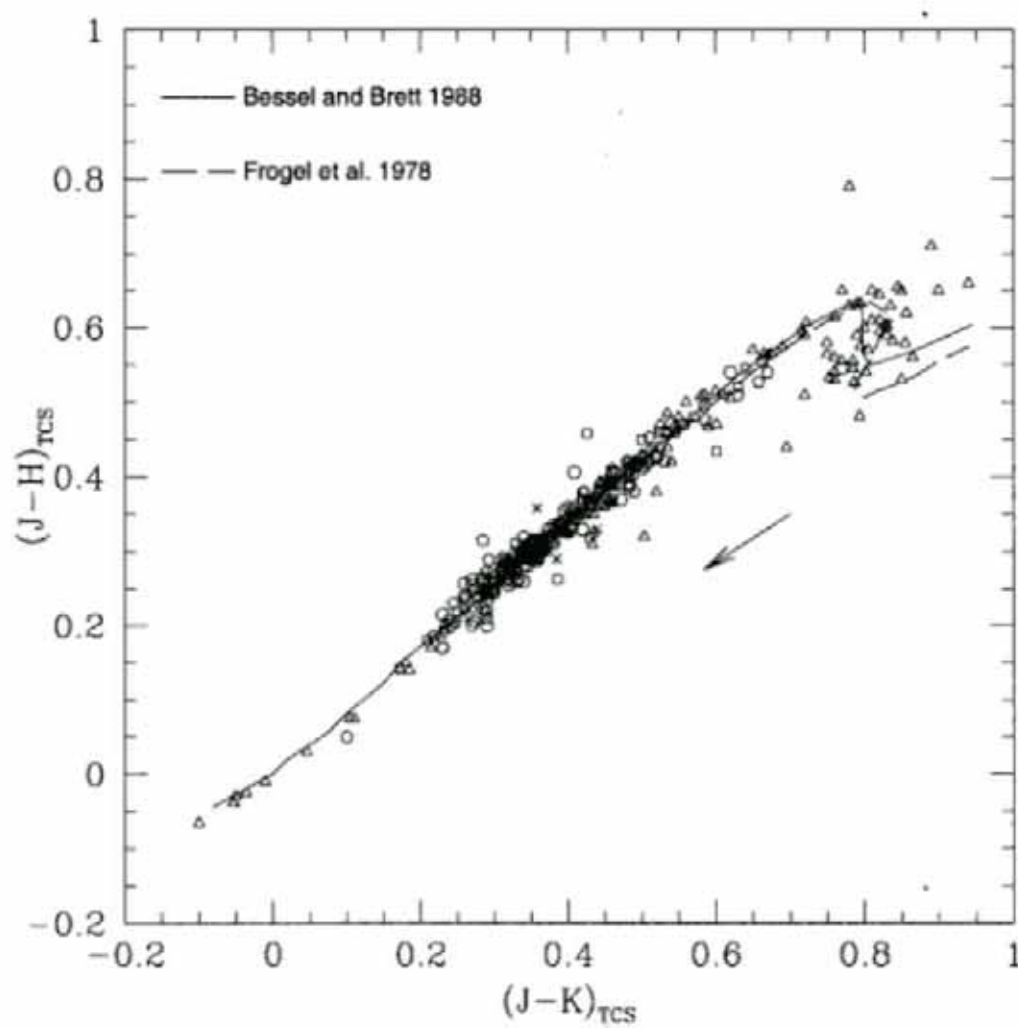


Figura 10: Igual que en la figura 8 para el diagrama $(J-K):(J-H)$.

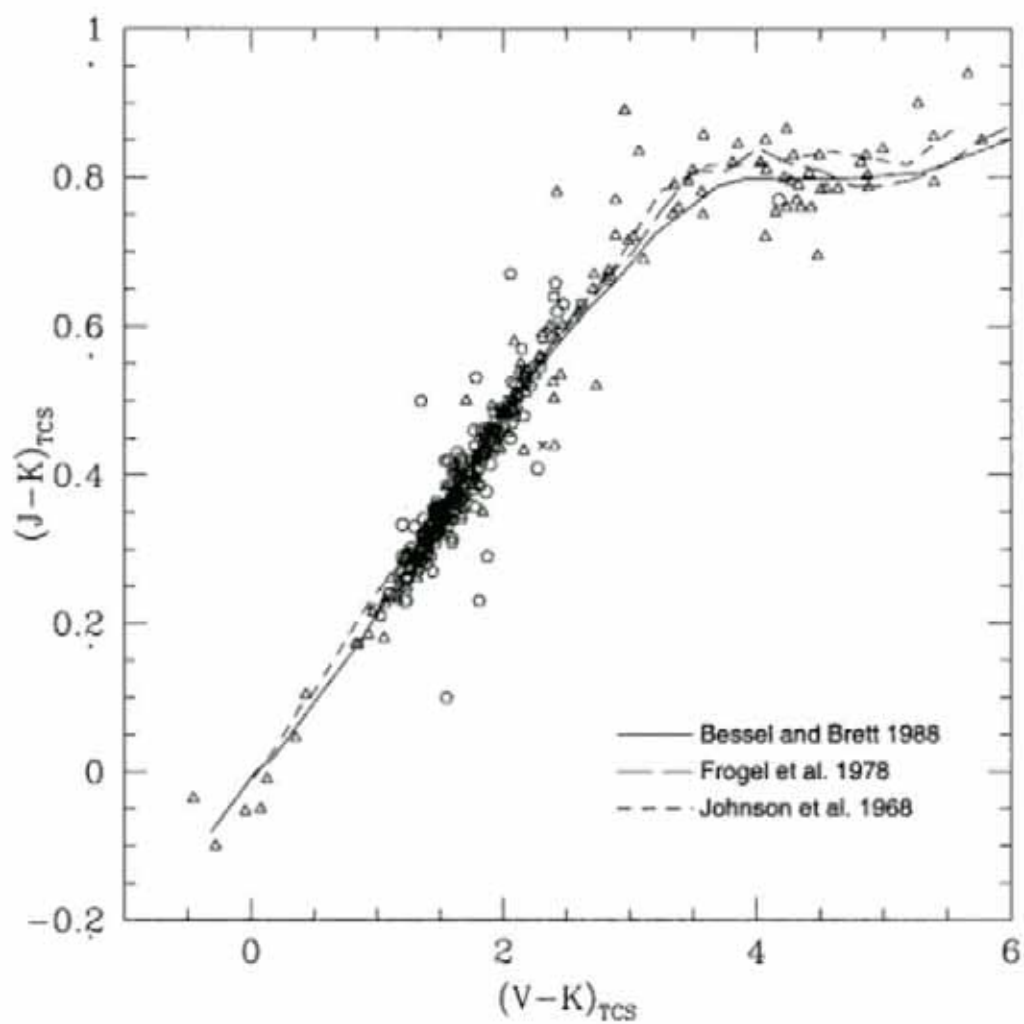


Figura 11: Igual que en la figura 8 para el diagrama $(V-K):(J-K)$.

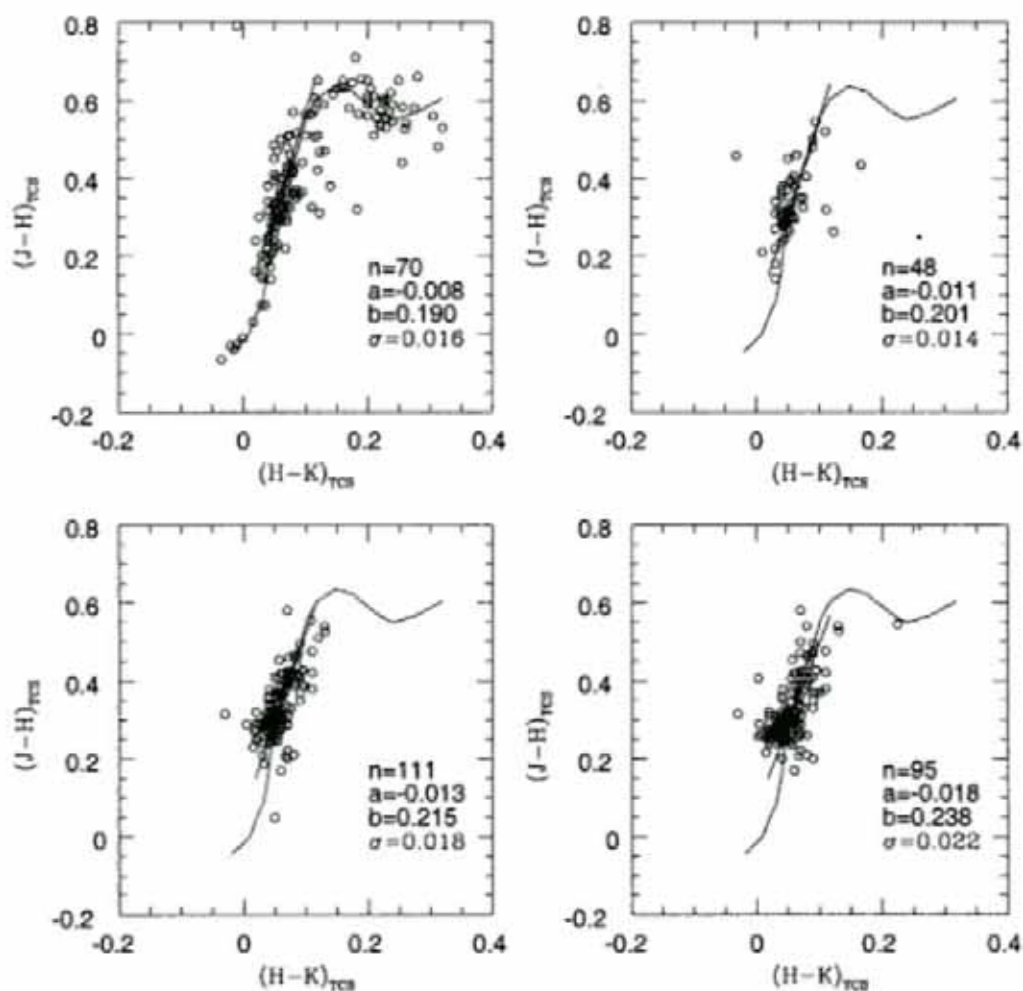


Figura 12: Las estrellas de la muestra se han separado en cuatro grupos de metalicidad. De arriba a abajo y de izquierda a derecha: $(0, -0.5)$, $(-0.5, -1.0)$, $(-1.0, -2.0)$, $(-1.5, -3.5)$. Los datos en el intervalo F0-K0 se han ajustado a líneas de la forma $(J - H) = a + b(H - K)$. Se indica el número de estrellas (n) y la desviación típica del ajuste por mínimos cuadrados. Por razones de consistencia, sólo se emplearon las estrellas medidas en este trabajo para obtener las relaciones. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas cuando las estrellas de Carney (1983) se incluyeron, por esta razón se muestran en los diagramas. La relación intrínseca de Bessel y Brett (1988) se ha dibujado como referencia.

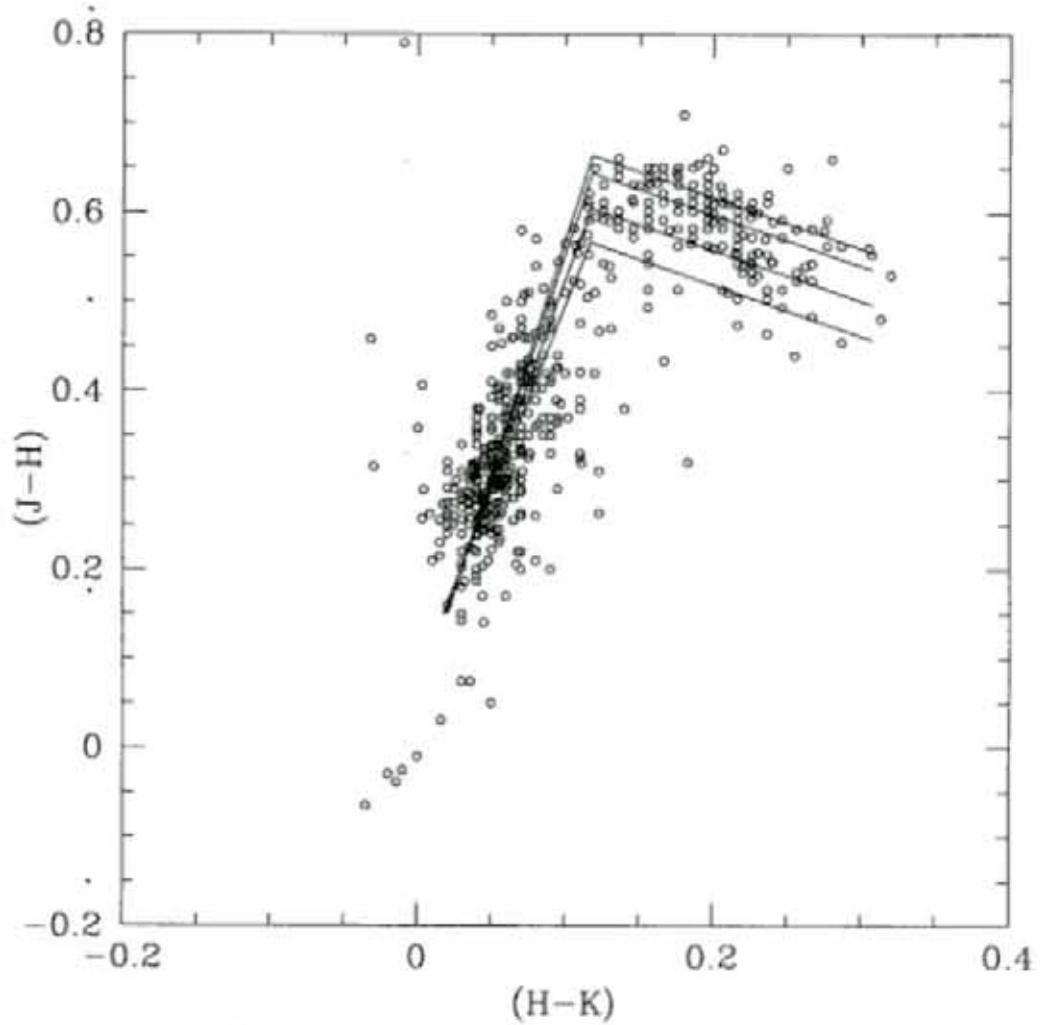


Figura 13: Las líneas medias obtenidas para diferentes grupos de metalicidad se han dibujado sobre las estrellas de la muestra. Estas líneas se han unido con las líneas correspondientes derivadas por Legget (1992) para enanas M, basándose en criterios cinemáticos para asignar metalicidades. Estrellas del Disco: $[Fe/H] \geq -0.5$, transición del disco joven al disco viejo: $-0.5 > [Fe/H] \geq -1.0$, transición del disco viejo al halo: $-1.0 > [Fe/H] \geq -2.0$, halo: $-2.0 > [Fe/H]$

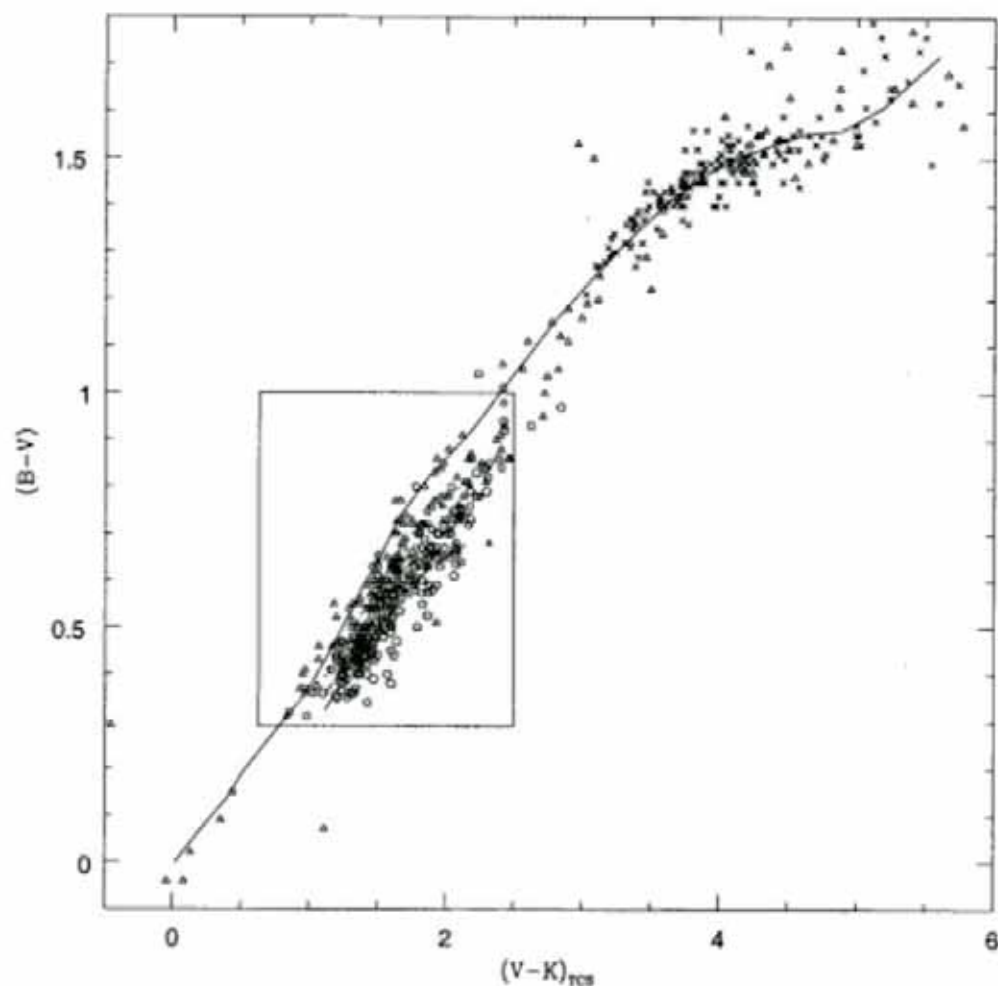


Figura 14: Diagrama de color óptico:IR para la muestra total. El eje (V-K) representa la extensión en temperaturas de las estrellas de la muestra. El eje (B-V) es sensible a los efectos del *blanketing* debidos a la deficiencia metálica. La línea continua representa la relación intrínseca derivada por Johnson (1966) para estrellas de Población I. Cruces: metalicidad desconocida, triángulos: $[Fe/H] > -0.5$, cuadrados: $-0.5 > [Fe/H] \geq -1.0$, pentágonos: $-1.0 > [Fe/H] \geq -2.0$, círculos: $-2.0 > [Fe/H]$. La caja se ha detallado en la figura 15.

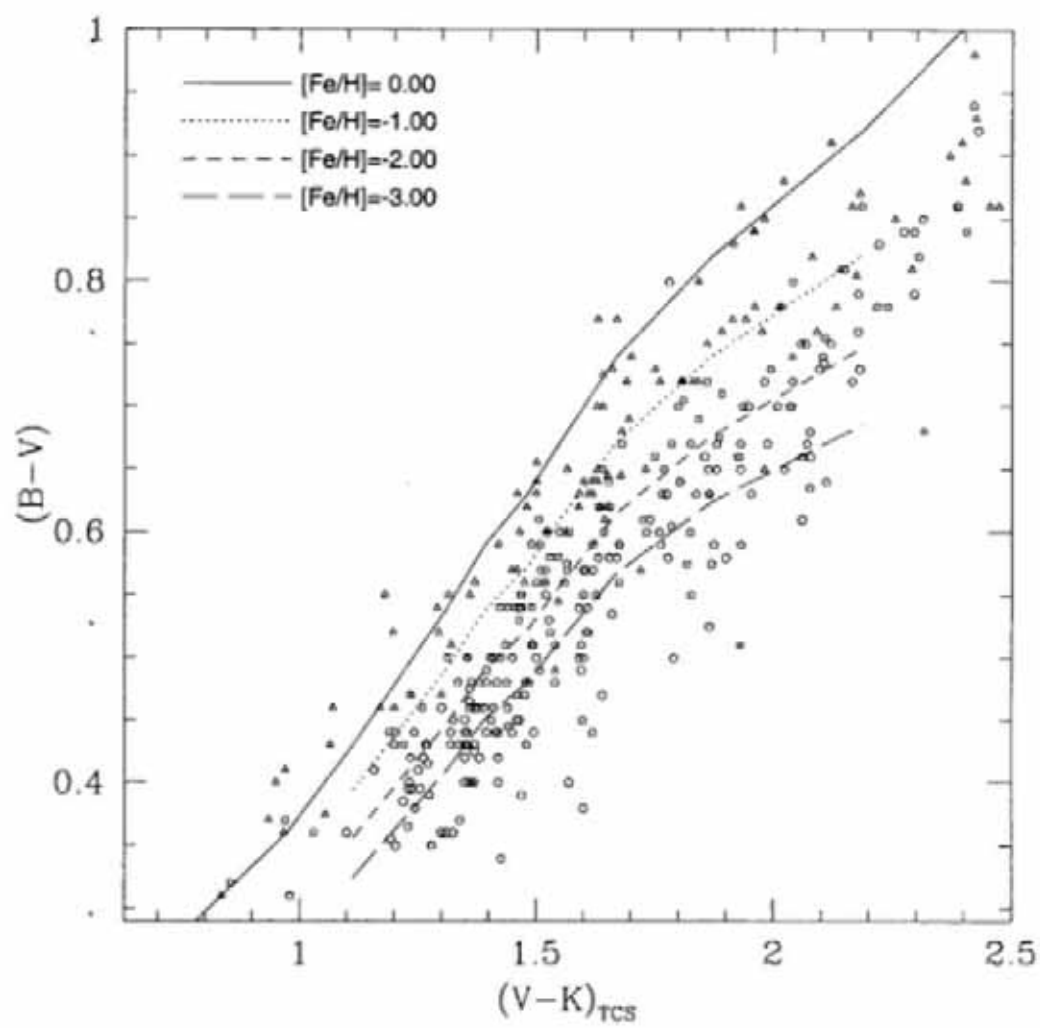


Figura 15: Detalle de la figura 14. Las líneas corresponden a los colores intrínsecos derivados en Arribas y Martínez-Roger (1988).

debería afectar especialmente a la banda H ya que en esta región la opacidad del H^- alcanza un mínimo. Además debería mostrar dependencia de la temperatura, incrementándose desde los tipos más tempranos (F0) hacia los tipos más tardíos (K0). El diagrama (H-K):(J-H) es el instrumento más adecuado para el estudio de este efecto, ya que las estrellas pobres en metales serían más azules en el color (J-H) y más rojas en el color (H-K). En la figura 12 las estrellas se han distribuido en cuatro grupos de metalicidad ($[Fe/H] = (0, -0.5), (-0.5, -1.0), (-1.0, -2.0), (-1.5, -3.5)$). Las estrellas en el intervalo F4-K0 de estos grupos se han ajustado a líneas rectas por el método de mínimos cuadrados. Se encuentra una variación significativa de las pendientes de las líneas medias con la metalicidad. En la figura 13 se presenta el diagrama (H-K):(J-H) para la muestra completa, donde las líneas medias derivadas para los diferentes grupos se han unido en la región del *turn-over* a las líneas derivadas sobre bases cinemáticas por Legget (1992). La magnitud del efecto es pequeña para las estrellas más calientes de la muestra, y alcanza su máxima amplitud en la región de las estrellas K tempranas (0.013 mag/dex). El mismo efecto se observa en los diagramas (V-K):(J-H), (V-K):(H-K), (J-K):(H-K). Por el contrario, cuando se estudia el diagrama (V-K):(J-K) las líneas correspondientes a los diferentes grupos de metalicidad no muestran ninguna tendencia organizada, de tal manera que estos colores parecen libres del efecto del *em blanketing* al nivel de precisión de la fotometría de este trabajo. Este punto confirma que (V-K) y (J-K) son colores adecuados para calibrar la temperatura efectiva.

2.5.2 Los diagramas visible:IR

La figura 14 muestra el diagrama (V-K):(B-V), que es muy adecuado para estudiar los efectos de metalicidad sobre la escala de temperaturas. Nótese que la relación (V-K): T_{ef} se ha demostrado poco dependiente de la metalicidad, mientras que (B-V) es muy sensible al contenido metálico de las estrellas. Aunque (B-V) pudiera estar afectado residualmente por el enrojecimiento interestelar, la gran dispersión que se observa bajo la línea intrínseca de población I es debida, principalmente, al efecto de la metalicidad. Para ilustrar este punto se han dibujado en la figura 15 las relaciones empíricas obtenidas por Arribas y Martínez-Roger (1988) para las metalicidades -1.0, -2.0 y -3.0. Resulta claro, que la muestra seleccionada amplía considerablemente el dominio previamente estudiado, tanto en metalicidad

como en temperaturas. Tomando las calibraciones de Martínez-Roger et al. (1992) como referencia, cabe esperar que las estrellas de la muestra cubran los siguientes intervalos aproximados en el espacio de parámetros: $[Fe/H]=0.0$ $8000K > T_{ef} > 3900K$, $[Fe/H]=-1.0$ $6550K > T_{ef} > 4500K$, $[Fe/H]=-2.0$ $6400K > T_{ef} > 4400K$, $[Fe/H]=-3.0$ $6350K > T_{ef} > 4350K$. En consecuencia, los datos presentes corresponden a una muestra estadísticamente representativa que cubre las diferentes poblaciones de enanas del halo y el disco de la Galaxia.

En este capítulo se ha presentado el resultado de un programa de observaciones de fotometría IR JHK, en el cual se han medido 360 estrellas enanas y subenanas entre los tipos espectrales F0-M4. La precisión media de la fotometría se cifra en 0.02 mag para los tres filtros. Se ha caracterizado el sistema fotométrico del observatorio del Teide mediante las respuestas espectrales de cada banda, y se han fijado adecuadamente las relaciones con otros sistemas en uso. Esto ha permitido homogeneizar datos fotométricos IR previamente publicados en trabajos de calidad semejante a éste, con el objeto de reunir una muestra de 500 estrellas listas para la aplicación del MFI. Los parámetros estelares de esta muestra cubren de forma bastante uniforme los dominios de las diferentes poblaciones de las estrellas de la baja secuencia principal de nuestra galaxia. Los efectos de la metalicidad sobre los diagramas de color:color se han discutido e interpretado brevemente.

Capítulo 3

La calibración absoluta del flujo IR

Para transformar las medidas fotométricas en flujos monocromáticos es necesario calibrar de forma absoluta el flujo de una estrella patrón del sistema fotométrico en las bandas correspondientes. En este capítulo, se propone un nuevo método semiempírico para determinar el flujo de Vega en algunas longitudes de onda del IR cercano. El método consiste en la aplicación del MFI a una muestra de estrellas con medidas directas de sus diámetros angulares. La calibración absoluta se ha obtenido minimizando la diferencia ($\theta(MFI) - \theta(directo)$). Para limitar el error en la determinación de los flujos monocromáticos, se ha realizado un programa de observaciones fotométricas en las bandas JHKL' que abarca a las estrellas de la muestra visibles desde el hemisferio norte. La comprobación de los perfiles del sistema instrumental y los flujos IR de los modelos se ha llevado a cabo comparando los colores IR observados con los colores sintéticos generados usando los modelos de Kurucz (1991).

Al aplicar el método por separado a las estrellas frías y a las calientes, las calibraciones obtenidas difieren en un 8% en todas las bandas. Esto es consecuencia de la relación sistemática con la temperatura, que se observa para la diferencia ($T_{ef}(MFI) - T_{ef}(directa)$) una vez fijada la calibración absoluta del flujo. Estos resultados pueden interpretarse de dos maneras diferentes que pueden actuar por separado o bien de forma combinada: (a) Los modelos subestiman (sobrestiman) los flujos infrarrojos para las estrellas calientes (frías), y (b) Los métodos ópticos para medir diámetros angulares están afectados por un efecto sistemático dependiente de la temperatura efectiva.

La calibración media adoptada en este trabajo conduce a una escala de temperaturas compatible con las escasas medidas directas entre 4000K y 8000K. Difiere de la calibración empírica de Mountain et al. (1985; M85) aproximadamente por los siguientes valores: +0.2 % para la banda J, -1.5 % para la banda H, -4.0 % para la banda K, -6.1 % para la banda L y -7.0 % para la banda L'. Estas diferencias son compatibles con los errores experimentales, aunque

la clara tendencia encontrada con la longitud de onda parece significativa.

3.1 Introducción

En la práctica, la principal limitación del MFI (si excluimos su carácter de método indirecto) es su dependencia de la Calibración Absoluta del Flujo Infrarrojo (CAFIR), que aún es poco precisa. La calibración del flujo IR de Vega (u otra estrella patrón) es necesaria para convertir las magnitudes fotométricas en densidades de flujo monocromático. Desde un punto de vista práctico, este es el primer paso para llevar a cabo un análisis correcto de la radiación que procede de las estrellas, y en particular es un punto clave, que afecta a la determinación de las temperaturas efectivas mediante la aplicación del MFI. Existen varios procedimientos aplicables para fijar la calibración absoluta del flujo en el IR cercano (véase p.ej. Campins et al. 1985). Podemos clasificarlos, *grosso modo*, en tres grupos principales:

1. Las calibraciones teóricas basadas, fundamentalmente, en modelos de atmósferas (p.ej. Dreiling y Bell 1980).
2. Las medidas empíricas por comparación directa con una fuente de radiación terrestre de flujo de energía conocido (p.ej. Blackwell et al. 1983, Mountain et al. 1985).
3. Los métodos semiempíricos que combinan, en cierta medida, información teórica y observaciones (como p. ej. el denominado método de las estrellas análogas al Sol descrito en Wamsteker 1981, y Campins et al. 1985).

En este capítulo se describe una nueva CAFIR semiempírica basada en la aplicación del MFI a una muestra de estrellas cuyos diámetros angulares están medidos con una buena precisión. En la sección 3.2 se explican los fundamentos teóricos del método adoptado para la calibración. En la sección 3.3 se describen los criterios que han guiado la selección de la muestra de estrellas. Esa misma sección incluye las tablas con los parámetros físicos necesarios para la aplicación del método. En la sección 3.4 se presenta nueva fotometría JHKL', para la mayor parte de las estrellas de la muestra observables desde el Observatorio del Teide. Para realizar una comprobación preliminar y simple de los modelos de Kurucz, de las respuestas espectrales

de las bandas fotométricas y de los datos, se han comparado los colores IR observados y los sintéticos. Esto se hace en la sección 3.5. En las secciones 3.6 y 3.7, se presentan y discuten, respectivamente, los resultados. Y por último, en la sección 3.8 se resumen las principales conclusiones.

3.2 Descripción del método de calibración

La base del procedimiento que proponemos para obtener la CAFIR se apoya en la comparación entre los diámetros angulares medidos y aquellos derivados mediante el MFI.

La ecuación básica del MFI es, como ya se explicó en el capítulo 1, $R_{obs}(\lambda_{IR}) = R_{teo}(\lambda_{IR}, T_{ef})$. El factor observado $R_{obs}(\lambda_{IR})$ se define mediante el cociente

$$R_{obs}(\lambda_{IR}) = \frac{F_{Bol}}{F(\nu_{IR})}, \quad (28)$$

donde F_{Bol} es el flujo total integrado y $F(\nu_{IR})$ es la densidad de flujo monocromático, ambos medidos en la superficie terrestre. Nótese, que así definido, las unidades del factor R son Hz . La conversión en unidades de $longitud^{-1}$, se puede derivar de la relación $F(\nu)d\nu = F(\lambda)d\lambda$. El valor explícito de $F(\nu_{IR})$ es

$$F(\nu_{IR}) = \frac{\lambda^2}{c} F_{cal}(\lambda_{IR}) q(\lambda, T_{ef}, \log(g), z) 10^{-0.4(m-m_{cal})}, \quad (29)$$

donde c es la velocidad de la luz, $F_{cal}(\lambda_{IR})$ es la densidad de flujo monocromático absoluto de la estrella de calibración, m y m_{cal} son, respectivamente, las magnitudes fotométricas de la estrella de calibración y de la estrella problema, y $q(\lambda_{IR}, T_{ef}, \log(g), z)$ es un factor de corrección adimensional, cuyo significado se describe en el Capítulo 5. La contrapartida teórica de los factores $R_{obs}(\lambda)$, se obtiene eliminando el factor de dilución geométrica de la siguiente forma

$$R_{teo}(\lambda, T_{ef}, \log(g), z) = \frac{4\pi(\theta/2)^2 \Phi_{Bol}}{4\pi(\theta/2)^2 \Phi(\nu_{IR})} = \frac{\sigma T_{ef}^4}{\Phi(\nu_{IR})}, \quad (30)$$

donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann, Φ_{Bol} y $\Phi(\nu_{IR})$ son, respectivamente, los flujos integrado y monocromático medidos en la superficie de la

estrella, y θ es el diámetro angular de la estrella. Este factor teórico se puede calcular directamente de los modelos de atmósferas.

La dependencia de R y q de la metalicidad y la gravedad superficial es pequeña para el tipo de estrellas que estamos considerando por lo tanto, la dependencia respecto a $\log(g)$ y z no será considerada de forma explícita de aquí en adelante.

Igualando la expresión (28) a (30), y tomando el logaritmo decimal obtenemos la ecuación de calibración:

$$\begin{aligned} \log(F_{cal}(\lambda_{IR})) = & \log(F_{Bol}) + 0.4(m - m_{cal}) - \log(q[\lambda_{IR}, T_{ef}]) \\ & - \log(R_{teo}[\lambda_{IR}, T_{ef}]) + \log\left(\frac{c}{\lambda_{IR}^2}\right). \end{aligned} \quad (31)$$

Como la temperatura efectiva de la estrella viene fijada por F_{Bol} y θ , a través de la definición formal $F_{Bol} \equiv \left(\frac{\theta}{2}\right)^2 \sigma T_{ef}^4$, la parte derecha de la ecuación (31) depende explícitamente de F_{Bol} , θ y la magnitud fotométrica de la estrella considerada relativa a la estrella de calibración (i.e. $F_{cal}(\lambda_{IR}) = f(F_{Bol}, \theta, m)$).

En sentido estricto, la Ec. (31) debería aplicarse de forma iterativa, ya que F_{Bol} depende de los $F_{cal}(\lambda_{IR})$ en la región del IR cercano. Sin embargo, en la práctica, una modificación de la CAFIR por un pequeño porcentaje implica correcciones menores del F_{Bol} , parcialmente compensadas con las variaciones de $R_{teo}[\lambda_{IR}, T_{ef}]$ y $q[\lambda_{IR}, T_{ef}]$ (véase la tabla 9). Por tanto, las correcciones pudieran ser solamente importantes para las estrellas más frías en la banda J, pero incluso en este caso una iteración, o equivalentemente una corrección con los factores de la tabla 9, será suficiente.

La aplicación de la Ec. (31) a una estrella cuyo diámetro angular se conozca, proporciona la calibración absoluta de flujo para la cual el MFI proporciona un diámetro angular igual al medido. En consecuencia, se puede inferir una calibración absoluta del flujo en puntos del continuo del IR, considerando una muestra apropiada de estrellas con determinaciones precisas de θ . Aunque ésta no será una calibración directa o fundamental, puesto que depende de los modelos, emplea información experimental y observaciones, y debería ser, en principio, la calibración adecuada para aplicar el MFI usando los modelos de Kurucz (1991). La tabla 10 contiene la transmisión de los errores en θ , F_{Bol} , la fotometría y la gravedad superficial al $F_{cal}(\lambda)$. Resulta evidente que la medida de θ y la de las magnitudes fotométricas son las mayores fuentes de error. La dependencia de la T_{ef} , que los errores en θ y F_{Bol} muestran en

Tabla 9: Variación porcentual del F_{Bol} inducida por cambios de un 2 % en la calibración inicial del flujo IR de las diferentes bandas. El cálculo se ha realizado con los modelos de Kurucz (1991) de metalicidad solar.

T_{ef}	J	K	L
3500	0.600	0.2600	0.1600
6000	0.400	0.0800	0.0400
8000	0.200	0.0300	0.0140
10000	0.120	0.0140	0.0080
30000	0.006	0.0006	0.0002

Tabla 10: Errores medios inducidos por la variación de los parámetros de la ecuación 31. En la banda J los errores inducidos dependen de T_{ef} , El primer valor recogido se refiere a las estrellas frías ($T_{ef} < 5000K$), el segundo a las estrellas calientes ($T_{ef} > 6000K$).

parámetro	variación	$\Delta(F_o^{cal}(J))$	$\Delta(F_o^{cal}(K))$	$\Delta(F_o^{cal}(L))$
F_{Bol}	2 %	1.5-0.5 %	0.5 %	0.5 %
θ	2 %	0.8-2.5 %	2.7 %	2.8 %
$\log(g)$	0.25 dex	± 0.6 %	± 0.4 %	± 0.2 %
fotometría	0.03 mag	2.7 %	2.7 %	2.7 %

la banda J, refleja la menor sensibilidad del MFI, en esta banda, para las estrellas frías.

Otro punto relevante del método es la suposición implícita de que los diámetros angulares derivados por medio del MFI y aquellos medidos con técnicas de interferometría son comparables. Baschek et al. (1991) compilan varias definiciones diferentes de radio estelar corrientemente empleadas en Astrofísica. Siguiendo ese trabajo, resulta claro que para estrellas con atmósferas compactas el radio medido (radio de intensidad R_I) es equivalente al radio de Rosseland ($R_{\tau=2/3}$), que es el radio relacionado con el diámetro angular que proporciona el MFI. En el caso de estrellas con atmósferas extensas (p.ej. las gigantes rojas) R_I es igual o ligeramente mayor que $R_{\tau=2/3}$. Esto implicaría que los diámetros angulares determinados por el MFI son

iguales o ligeramente más pequeños que los medidos directamente, aunque las diferencias esperadas son despreciables. Sin embargo, hay que señalar que las correcciones debidas al obscurecimiento hacia el borde podrían ser una fuente importante de errores sistemáticos en el análisis de los datos interferométricos (en la sección 3.6 se volverá sobre este punto).

3.3 La selección de la muestra

Los cuatro métodos experimentales aplicados con éxito a la medida de diámetros estelares con resolución espacial de milisegundos de arco y precisión interna de unos tantos por ciento son:

- (a) Análisis de los patrones de difracción registrados durante las ocultaciones lunares (LO). (White y Feierman 1987 y referencias).
- (b) Interferometría de Intensidad (II). (Hanbury-Brown et al. 1974).
- (c) Interferometría de Michelson (MI). (Hutter et al. 1989, Di Benedetto y Rabbia 1987, Mozurkewich et al. 1991).
- (d) Interferometría de Speckle (SI). (Welter y Borden 1980, Gezari et al. 1972).

De estas fuentes hemos extraído una muestra de 32 estrellas con al menos una medida de su diámetro con precisión superior al 5 %. La precisión alcanzable mediante cada uno de los diferentes métodos se resume en la tabla 11 (una versión revisada de la tabla 4 de Mozurkewich et al. 1991). El corte adoptado en tipos espectrales (estrellas más tempranas que M4) está determinado por el límite inferior en temperaturas de los modelos de Kurucz ($T_{ef} = 3500K$). En la tabla 12 están reunidas las estrellas de la muestra (excepto el Sol, cuyo diámetro, naturalmente, tiene la mejor medida). Nótese que el número de estrellas seleccionadas correspondientes a la técnica LO no concuerda con el de la tabla 11, la razón es que la compilación de White y Feiermann (1987) (WF87) contiene un conjunto de datos muy inhomogéneo y la mayor parte de las medidas recogidas allí corresponden a modelos de disco uniforme. Por tanto, hemos considerado un solo trabajo basado en técnicas de LO (Ridgway et al. 1980), y algunas entradas de WF87. Tres estrellas de la muestra han sido medidas con, al menos, dos métodos diferentes (a saber HR1457,

Tabla 11: Número de estrellas con θ medido por métodos directos, y errores experimentales por debajo del 5 %. (LO: Ocultaciones lunares; MI: Interferometría de Michelson; II: Interferometría de Intensidad; SI: Interferometría de Speckle).

Método	N. de estrellas	Número de estrellas más tempranas que M4		
		$\sigma < 5 \%$	$\sigma < 3 \%$	$\sigma < 2 \%$
LO	33	18	7	4
MI	21	20	18	16
II	11	11	3	0
SI	3	2	1	0

HR2286 y HR2943). La concordancia es mejor del 4 %, y puede indicar el nivel de confianza de las medidas de la tabla 12.

La aplicación de la Ec. (31) requiere, además de θ , el conocimiento de los flujos bolométricos, las magnitudes IR y los parámetros físicos de las atmósferas de las estrellas. Estos datos básicos están recogidos en la tabla 13. Las metalicidades se han extraído del Catálogo de Abundancias Espectroscópicas (Cayrel de Strobel et al. 1992), y en general son valores solares. Para las estrellas que carecen de determinación espectroscópica hemos supuesto $[\text{Fe}/\text{H}]=0.00$. Esta hipótesis es bastante probable, ya que no se observan separaciones significativas de la línea intrínseca de las estrellas de Población I en el diagrama (B-V)-(U-B). Aunque no se puede descartar de forma definitiva la presencia de estrellas pobres o ricas en metales en la muestra (p.ej. Arturo, HR2491 y HR7776 tienen z ligeramente distinto de z_{\odot}), su influencia en los resultados finales sería un ligero incremento de la dispersión, de acuerdo con la pequeña dependencia del MFI con la metalicidad (Arribas y Martínez-Roger 1987, Blackwell et al. 1990). Las gravedades superficiales se han asignado siguiendo la calibración tipo espectral- $\log(g)$ recopilada por Landolt-Börnstein's (1982a), que resulta suficientemente precisa para nuestros propósitos.

La fotometría infrarroja de la tabla 13 se obtuvo de la literatura y se presenta en el sistema de Johnson, para lo cual se han empleado en caso necesario las transformaciones de Bessel y Brett (1988). Los valores promediados se listan en la tabla 13. Como los errores fotométricos podrían ser una de las fuentes

Tabla 12: Las estrellas de la muestra. Las columnas 2 y 3 contienen los diámetros de disco uniforme y corregido de obscurecimiento al borde respectivamente (en milisegundos de arco). Las referencias son HB74 (Hanbury-Brown et al. 1974), R80 (Ridgway et al. 1980), DBR87 (Di Benedetto y Rabbia 1987), H89 (Hutter et al. 1989), M91 (Mozurkevich et al. 1991) y WF87 (White & Feiermann 1987).

Número BS	$\theta \pm \Delta\theta(\text{UD})$	$\theta \pm \Delta\theta(\text{LD})$	Método	Tipo espectral	Referencias
165	3.927 ± 0.038	4.12 ± 0.04	MI	K3III	M91
168	5.297 ± 0.053	5.64 ± 0.05	MI	K0IIIa	M91
284	—	3.16 ± 0.16	LO	M2.4III	R80
337	13.85 ± 0.18	14.35 ± 0.19	MI	M0III	DBR87
"	12.783 ± 0.128	13.81 ± 0.16	MI	M0IIIa	M91
"	13.0 ± 0.2	13.9 ± 0.2	MI	M0III	H89
472	1.85 ± 0.07	1.92 ± 0.07	II	B3Vp	HB74
603	7.28 ± 0.35	7.50 ± 0.36	MI	K3II	DBR87
"	7.328 ± 0.073	7.84 ± 0.10	MI	K3IIb	M91
617	6.412 ± 0.064	6.85 ± 0.06	MI	K2IIab	M91
911	12.254 ± 0.158	13.23 ± 0.20	MI	M1.5IIIa	M91
921	15.02 ± 0.16	15.53 ± 0.17	MI	M4II	DBR87
1457	19.60 ± 0.29	20.21 ± 0.30	MI	K5III	DBR87
"	19.689 ± 0.196	21.205 ± 0.21	MI	K5III	M91
"	—	20.08 ± 1.00	LO	K5III	WF87
1713	2.43 ± 0.05	2.55 ± 0.05	II	B8Ia	HB74
2286	13.50 ± 0.15	13.97 ± 0.16	MI	M3III	DBR87
"	—	13.7 ± 0.3	LO	M3.3IIIab	R80
"	—	14.2 ± 0.6	LO	M3.3III	WF87
2491	5.60 ± 0.15	5.89 ± 0.16	II	A1V	HB74
2943	5.10 ± 0.16	5.50 ± 0.17	II	F5IV-V	HB74
"	5.261 ± 0.053	5.508 ± 0.05	MI	F5IV-V	M91
2990	7.70 ± 0.31	7.90 ± 0.31	MI	K0III	DBR87
"	7.545 ± 0.075	8.035 ± 0.08	MI	K0IIIb	M91
3685	1.51 ± 0.07	1.59 ± 0.07	II	A1IV	HB74
3705	7.71 ± 0.31	7.98 ± 0.31	MI	K7III	DBR87
"	8.4 ± 0.2	8.9 ± 0.2	MI	K7III	H89
3982	1.32 ± 0.06	1.37 ± 0.06	II	B7V	HB74
4853	0.702 ± 0.022	0.722 ± 0.023	II	B0.5III	HB74
4902	—	5.85 ± 0.18	LO	M2.7IIIa	R80
5056	0.85 ± 0.04	0.87 ± 0.04	II	B1IV	HB74
5301	—	3.97 ± 0.017	LO	M1.5III	R80
5340	20.36 ± 0.20	20.95 ± 0.20	MI	K1+III	DBF86
6705	9.82 ± 0.23	10.13 ± 0.24	MI	K5III	DBR87
"	9.6 ± 0.2	10.2 ± 0.2	MI	K5III	H89
6879	1.37 ± 0.06	1.44 ± 0.06	II	A0V	HB74
7001	3.08 ± 0.07	3.24 ± 0.07	II	A0V	HB74
7557	2.78 ± 0.13	2.98 ± 0.14	II	A7IV-V	HB74
7635	6.9 ± 0.2	7.4 ± 0.2	MI	M0III	H89
7776	—	3.18 ± 0.15	LO	K0II-III	R80
7949	4.340 ± 0.037	4.62 ± 0.04	MI	K0III	M91
8775	16.19 ± 0.23	16.75 ± 0.24	MI	M2.5II-III	DBR87
"	16.618 ± 0.059	17.981 ± 0.18	MI	M2.5II-III	M91
"	17.2 ± 0.5	18.4 ± 0.6	MI	M2II	H89
HD29051	—	3.01 ± 0.15	LO	M2II	R80

de error más importantes en este trabajo, hemos realizado un programa de observaciones para las estrellas de la muestra visibles desde el hemisferio norte, que nos ha permitido comprobar la calidad de los datos previamente publicados. Los resultados de las observaciones se presentan en la sección 3.4.

El Sol es la única estrella suficientemente próxima a la Tierra, como para determinar su perfil de intensidad, necesario para definir el tamaño del disco. Por lo tanto, desde un punto de vista riguroso, la única medida directa de un diámetro estelar es la del Sol. De acuerdo a los valores publicados (Landolt-Börnstein 1982b) $\theta_{\odot} = 0.00930484 \text{ rad}$. Su flujo bolométrico también está bien determinado ($F_B = 1.37 \times 10^6 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$). La tabla 13 contiene las magnitudes IR del Sol deducidas empleando el promedio de colores de las estrellas análogas al Sol (Wamsteker et al. 1981, Campins et al. 1985). Aunque los resultados de estos trabajos coinciden a un nivel de 0.01 mag, hemos preferido combinar los colores promedio de Campins et al. (1985) ya que consideran un mayor número de estrellas solares, y V_{\odot} de Wamsteker (1981), que se basa en medidas empíricas (última línea de la tabla 13).

3.4 Las observaciones del programa de diámetros estelares

Las observaciones se realizaron en tres períodos distintos (17-19 de Julio, 5-8 de Noviembre y 10 de Diciembre de 1992), con el telescopio Carlos Sánchez de 1.54 m del Observatorio del Teide. Este sistema fotométrico para las bandas JHK se describió con detalle en el Capítulo 2. La calidad del cielo en estas noches fue buena, con extinciones medias de $E_J = 0.154$, $E_H = 0.087$, $E_K = 0.097$ y $E_{L'} = 0.168$ magnitudes por masa de aire. Las medidas de J,H,K y L' se listan en la tabla 14 junto con los errores estimados y el número de medidas. Para las estrellas medidas más de dos veces, los errores dados corresponden a la desviación típica de la serie de observaciones. La diferencia en el número de medidas de L'_{TCS} comparado con J_{TCS} , H_{TCS} y K_{TCS} se debe al hecho de que este filtro sólo estuvo disponible durante el período de Noviembre. Los datos de las tablas 13 y 14, junto con la tabla de estrellas de calibración del TCS (Kidger 1992) se han empleado para derivar

Tabla 13: Flujos bolométricos, magnitudes fotométricas en el sistema de Johnson y parámetros físicos obtenidos a partir de la literatura. Las referencias de los datos fotométricos y los F_{Bol} son (0) Ridgway et al. 1980,(1) Blackwell et al. 1990, (2) Code et al. 1976, (3) Di Benedetto y Rabbia 1987, (4) Johnson y Mitchell 1975, (5) Bell y Gustaffson 1989, (6) Johnson et al. 1966, (7) Lee et al. 1970, (8) Glass et al. 1974, (9) Malagnini et al. 1986, (10) Leggett et al. 1986.

ID	F_{Bol} ($10^{-8} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$)	$[Fe/H]$ (dex)	$\log(g)$ (dex)	V (mag)	J (mag)	H (mag)	K (mag)	L (mag)	Referencias
165	210.5	0.02	1.93	3.28	1.24	—	0.48	0.30	1,6
168	433.5 ± 17.3	-0.10	2.13	2.23	0.42	—	-0.25	-0.46	4,6
284	48.5	—	0.63	6.11	2.60	1.76	1.57	1.38	0
337	1279 ± 52	0.00	1.33	2.05	-0.81	-1.63	-1.84	-2.07	1,3,6,7
472	5440 ± 43	—	3.43	0.47	0.81	0.86	0.80	0.94	2,8
603	691 ± 28	-0.23	1.03	2.26	0.02	—	-0.81	-0.88	3,6
617	652	-0.21	2.50	2.00	0.10	-0.49	-0.63	-0.745	3,6,7
911	1021	—	1.23	2.53	-0.595	-1.42	-1.07	-1.82	1,6,7,8
921	1170 ± 47	0.05	0.00	3.39	-0.78	—	-1.93	-2.14	1,6
1457	3582 ± 135	-0.035	1.74	0.86	-1.84	-2.59	-2.81	-2.985	1,3,6,7
1713	3850 ± 17	—	2.43	0.12	0.22	—	0.20	0.17	2,6
2286	1167 ± 47	0.11	1.14	2.87	-0.80	-1.65	-1.86	-2.02	3,6,7
2491	11430 ± 440	0.32	4.00	-1.47	-1.33	-1.34	-1.33	-1.34	2,6,8
2943	1808 ± 76	-0.045	4.34	0.37	-0.39	-0.62	-0.65	-0.70	2,5,6,7
2990	1183 ± 40	-0.01	2.50	1.14	-0.49	-0.97	-1.09	-1.19	1,3,5,6,7
3685	614 ± 22	—	4.00	1.70	1.58	1.54	1.54	1.51	2,8,9
3705	438 ± 18	—	1.53	3.13	0.39	—	-0.61	-0.74	3,6
3982	1304 ± 80	—	4.00	1.35	1.57	1.58	1.63	1.60	2,6,8,9
4852	10070 ± 149	—	3.33	1.20	1.80	1.90	2.01	2.05	2,8
4902	200	-0.30	0.73	4.79	1.24	0.37	0.15	-0.02	0
5056	8260 ± 86	—	3.93	0.98	1.50	—	1.88	1.67	2,6
5301	152	—	0.92	4.91	1.62	0.76	0.55	0.41	0
5340	4984 ± 100	-0.50	1.80	-0.04	-2.10	-2.81	-2.99	-3.13	1,3,5,6,7
6705	863 ± 34	-0.23	1.50	2.23	-0.39	—	-1.34	-1.50	1,3,5,6,10
6879	553 ± 32	—	4.00	1.80	1.78	1.77	1.76	1.69	2,8
7001	2983 ± 120	-0.25	3.95	0.03	0.02	0.02	0.02	-0.02	2,6,10
7557	1217 ± 46	0.30	4.31	0.77	0.39	—	0.26	0.21	2,6,9
7635	2912 ± 12	—	1.33	3.47	0.79	—	-0.16	-0.26	4,6
7776	188	0.62	1.53	3.08	1.49	0.98	0.89	0.81	0
7949	360	-0.06	2.13	2.50	0.77	0.20	0.11	0.00	1,6,7
8775	1560 ± 62	-0.25	0.23	2.42	-1.06	-1.95	-2.21	-2.405	1,3,6,7
HD229051	55.1	—	1.13	7.10	3.00	2.98	1.84	1.70	0
Sol C85	—	—	—	-26.762	-27.878	-28.188	-28.248	-28.302	—
Sol W81	—	—	—	-26.75	-27.859	-28.189	-28.233	-28.307	—
Sol	—	—	—	-26.75	-27.866	-28.176	-28.236	-28.310	—

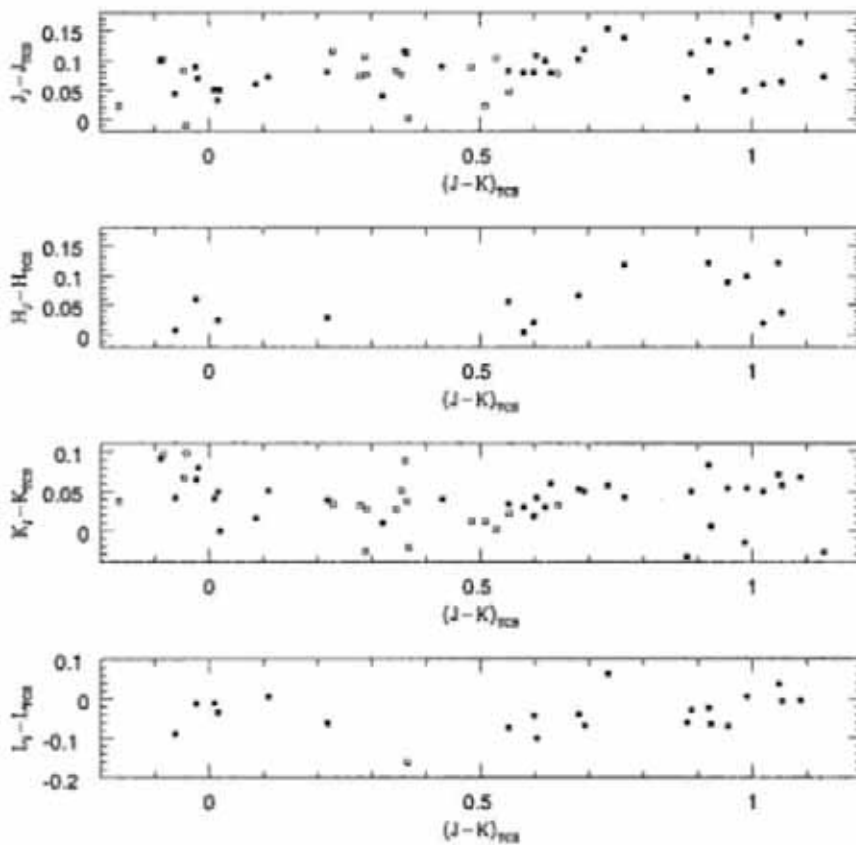


Figura 16: Comparación entre los sistemas de Johnson y del TCS. Los cuadrados rellenos representan las estrellas medidas para este programa, los cuadrados vacíos representan las estrellas de calibración del TCS no medidas en este programa.

las siguientes ecuaciones de transformación:

$$J_J = K_{TCS} + 0.031 + 1.084(J - K)_{TCS} (\sigma = 0.031) (n = 50) \quad (32)$$

$$\dot{H}_J = H_{TCS} + 0.025 + 0.054(J - K)_{TCS} (\sigma = 0.036) (n = 15) \quad (33)$$

$$K_J = K_{TCS} + 0.048 + 0.014(J - K)_{TCS} (\sigma = 0.028) (n = 50) \quad (34)$$

$$L_J = L'_{TCS} - 0.055 + 0.027(J - K)_{TCS} (\sigma = 0.047) (n = 22) \quad (35)$$

Las ecuaciones (32), (33) y (34) se derivaron imponiendo la ligadura de que Vega se transformara a sus colores en el sistema de Johnson. La figura 16 muestra las diferencias entre las magnitudes en el sistema de Johnson y del TCS para las estrellas comunes. La dispersión, algo alta, puede deberse al hecho de que la mayor parte de estas estrellas tienen notas de variabilidad en el Catálogo de Estrellas Brillantes (Hoffleit y Jaschek 1992) y en algunos casos la relativamente escasa calidad de la fotometría de Johnson. Sin embargo, demuestra que la consistencia interna de los datos presentados es mejor que 0.03 mag como se deduce de la tabla 14, por lo menos para las bandas J, H y K. La dispersión ligeramente más alta en la transformación de H puede explicarse porque este filtro no fué inicialmente definido por Johnson y por tanto es difícil homogeneizar la fotometría de la banda H. La dispersión de L' se debe a la baja sensibilidad del fotómetro en esa banda, a la transmisión variable de la atmósfera y también a la diferencia entre las longitudes de onda efectivas entre el filtro L' del TCS y el filtro L de Johnson. Todas las estrellas de la muestra se hallan en la vecindad del Sol y podemos suponer con confianza que la absorción interestelar es despreciable, de tal modo que estas magnitudes, o equivalentemente aquellas derivadas mediante las ecuaciones de transformación, se pueden usar directamente en la Ec. (31). Para las estrellas observadas adoptaremos, en el análisis siguiente, los valores transformados de J, H y K, los valores de L de la tabla 13, y los valores de L' de la tabla 14. Para las estrellas del sur adoptaremos los valores compilados en la tabla 13. Por razones de claridad, la fotometría finalmente empleada en la calibración se recoge en la tabla 17.

Tabla 14: Las magnitudes Infrarrojas medidas en el Observatorio del Teide (TCS), y sus errores. Columna 8: número de medidas en las bandas J,H y K. Columna 11: número de medidas en la banda L'.

No. BS	J	ΔJ	H	ΔH	K	ΔK	#	L'	$\Delta L'$	#
0165	1.121	0.019	0.551	0.012	0.431	0.010	16	0.366	0.012	9
0168	0.322	0.023	-0.191	0.016	-0.290	0.015	14	-0.361	0.015	10
0284	2.540	—	1.740	—	1.520	—	1	—	—	0
0337	-0.938	0.015	-1.721	0.006	-1.892	0.014	17	-1.997	0.012	10
0509	2.070	—	1.720	—	1.640	—	1	—	—	0
0603	-0.130	0.009	-0.730	0.008	-0.869	0.006	8	-0.944	0.008	7
0617	-0.002	0.012	-0.555	0.014	-0.684	0.005	10	-0.705	0.005	8
0911	-0.734	0.017	-1.516	0.015	-1.725	0.011	12	-1.824	0.013	9
0921	-0.910	0.008	-1.755	0.006	-1.998	0.010	4	-2.135	0.007	2
1457	-1.973	0.010	-2.710	0.013	-2.893	0.009	22	-2.961	0.010	18
1713	0.174	0.022	0.172	0.014	0.161	0.016	8	0.168	0.019	6
1791	1.872	0.011	1.934	0.009	1.957	0.009	26	2.047	0.018	20
2286	-0.862	0.013	-1.686	0.014	-1.915	0.015	19	-2.010	0.026	16
2491	-1.420	0.019	-1.400	0.012	-1.395	0.012	10	-1.330	0.013	7
2943	-0.465	0.017	-0.645	0.011	-0.688	0.009	15	-0.636	0.009	13
2990	-0.557	0.024	-1.022	0.016	-1.116	0.016	14	-1.112	0.016	12
3705	0.325	0.023	-0.450	0.020	-0.608	0.020	11	-0.668	0.020	9
3982	1.536	0.021	1.571	0.004	1.594	0.013	7	1.688	0.008	5
5340	-2.282	0.033	-2.942	0.033	-3.040	0.016	4	—	—	0
5879	1.033	0.023	0.223	0.017	0.046	0.011	7	—	—	0
6556	1.725	0.014	1.650	0.009	1.635	0.005	8	—	—	0
6603	0.820	—	0.310	—	0.200	—	1	—	—	0
6705	-0.435	0.020	-1.156	0.020	-1.311	0.011	8	-1.440	0.020	1
7001	-0.013	0.028	-0.005	0.019	-0.029	0.017	24	0.015	0.019	24
7157	-0.932	0.004	-1.802	0.004	-2.063	0.005	6	—	—	0
7236	3.570	—	3.580	—	3.590	—	1	—	—	0
7557	0.318	0.024	0.218	0.017	0.204	0.017	11	0.208	0.011	5
7635	0.684	0.020	-0.042	0.015	-0.207	0.016	11	-0.325	0.015	6
7776	1.460	—	0.975	0.007	0.880	—	2	—	—	0
7949	0.691	0.023	0.177	0.017	0.095	0.015	16	0.044	0.012	8
8316	-0.670	0.051	-1.450	0.043	-1.767	0.020	3	—	—	0
8541	4.260	—	4.240	—	4.240	—	1	—	—	0
8551	2.910	0.020	2.367	0.015	2.280	0.017	3	—	—	0
8775	-1.225	0.035	-2.063	0.023	-2.277	0.016	10	-2.428	0.037	5
8905	3.330	—	3.060	—	3.010	—	1	—	—	0

3.5 · Comprobación del sistema instrumental y de los flujos IR teóricos

Con el objeto de realizar una comprobación preliminar de los modelos empleados, de los parámetros físicos de la muestra y del sistema fotométrico hemos comparado los colores observados con los sintéticos. La red de colores IR sintéticos se generó usando los modelos de Kurucz (1991), las transmisiones de los filtros de Johnson tabuladas por Landolt-Börnstein (1982a) y la transmisión de la atmósfera calculada por Manduca (1979), Glass (1985), y Mountain et al. (1983). El punto cero se fijó con Vega ($T_{ef} = 9610K$, $\log(g) = 3.95$, $(J - K) = 0.00$, $(J - H) = 0.00$, $(J - L) = 0.04$). La temperatura se ha calculado empleando los valores del F_{Bol} y θ contenidos respectivamente en las tablas 12 y 13, la gravedad es el promedio del valor dado por Dreiling y Bell (1980) y el valor para una estrella A0V citado por Landolt-Börnstein (1982a), los colores se han extraído de Johnson et al. (1966)). La diferencia entre los colores sintéticos y los observados frente a la temperatura efectiva se muestra en la figura 17.

Para (J-K), (J-L) y (K-L), los modelos reproducen el comportamiento observado dentro de los errores experimentales, al menos para $T_{ef} > 3800K$ (los valores medios de las diferencias se apartan de cero marginalmente). Sólo para HR284, HR5301 y HR7635, las diferencias son superiores a lo esperable (por encima de 0.15 mag). Para HR284 y HR7635 la fotometría proporcionada por Johnson concuerda con la obtenida en este trabajo, por lo tanto un posible error en sus diámetros angulares, o cualquier peculiaridad fotométrica (binaridad, conchas de polvo, etc) podría ser la causa de la discrepancias. Para HR5301 la fotometría IR se extrajo de la literatura y no podemos indicar ninguna razón que explique el desacuerdo. En cualquier caso, estas estrellas no serán consideradas en los pasos siguientes del análisis. Además, parece que hay una ligera diferencia sistemática entre los colores para las estrellas más frías de la muestra ($T_{ef} < 3800K$). Esta diferencia podría explicarse si las $T_{ef}(directa)$ están subestimadas (o equivalentemente los $\theta(directos)$ sobreestimados), o si los modelos predicen incorrectamente los flujos IR en este intervalo de temperaturas. Estos puntos serán analizados con mayor detenimiento en la discusión general de la sección 3.7.

En lo que respecta al color (J-H), el acuerdo para las estrellas calientes ($T_{ef} > 5000K$) es bueno, mientras que para las estrellas frías ($T_{ef} < 5000K$)

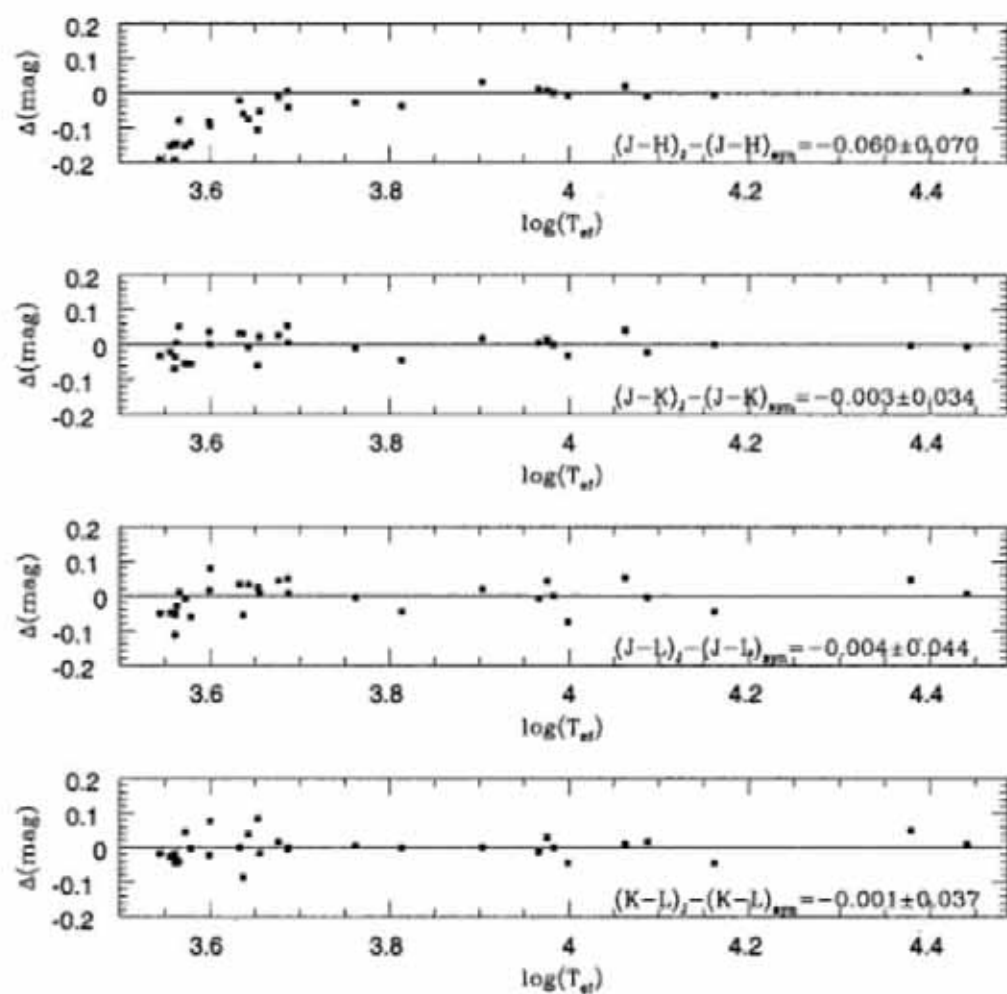


Figura 17: Diferencias entre los colores observados y los sintéticos. HR284, HR5301 y HR7635 se han descartado en esta figura (véase el texto para más detalles).

(J-H) sintético muestra una diferencia sistemática respecto a los colores observados. Múltiples causas podrían dar cuenta de este efecto: por un lado hay probablemente diferentes longitudes de onda mezcladas en los datos fotométricos, ya que el filtro H no fué originalmente diseñado por Johnson (esto explicaría la dispersión). Por otro lado, la opacidad asociada al ion H^- alcanza un mínimo en esta banda, de tal forma que el flujo de los modelos tiene un máximo local más acentuado para las estrellas frías. Esta característica no se observa en los espectros obtenidos por Lançon y Rocca-Volmerange (1992) para estrellas de metalicidad solar. Por tanto, la incorrecta predicción de la opacidad del continuo en esta banda puede ser la causa más probable del comportamiento observado. Por este motivo y también teniendo en cuenta que la banda H sólo se emplea para aplicar el MFI a estrellas calientes, debido a la escasa sensibilidad del factor R_H a la temperatura, para estrellas frías, los resultados para esta banda no serán considerados en la discusión general aunque se presentarán en las tablas y diagramas.

3.6 · La aplicación del método

La ecuación de calibración (Eq. 31) se ha aplicado a las estrellas de la muestra empleando los diámetros angulares, los flujos bolométricos y las magnitudes IR que se han discutido en las secciones precedentes, y listado respectivamente en las tablas (12), (13) y (17).

La aplicación normal del MFI requiere el uso de flujos monocromáticos del continuo del modelo para calcular los factores R_{teo} . Esta aproximación implica que los flujos monocromáticos derivados a partir de la fotometría han de ser corregidos del posible efecto del *blanketing*. Esta corrección no es fácil de llevar a cabo debido a la escasez de una base suficientemente amplia de observaciones espectroscópicas en el IR. Sin embargo, este inconveniente puede evitarse usando los flujos de los propios modelos que incluyen el efecto de la opacidad. Así se ha hecho, empleando modelos de metalicidad solar (Kurucz 1991) para calcular los factores R_{teo} y q . Para facilitar los cálculos se han seleccionado longitudes de onda muestradas en los propios modelos próximas a las longitudes de onda efectiva de las bandas fotométricas ($\lambda_J = 1252.5$ nm, $\lambda_H = 1655$ nm, $\lambda_K = 2205$ nm y $\lambda_L = 3510$ nm), adicionalmente se ha considerado $\lambda_{L'} = 3690$ nm próxima al máximo de la transmisión de la banda

L' del TCS. Para todas las longitudes de onda se comprobó que los flujos estelares en esos puntos estaban dominados principalmente por la opacidad del continuo, y no por opacidades de líneas o bandas moleculares. De hecho, la proporción entre el flujo emitido frente al flujo del continuo del modelo de Vega, se acerca mucho a la unidad para las longitudes de onda seleccionadas (0.9989, 0.9914, 0.9995, 0.9901 y 0.9815). Las tablas 15 y 16 presentan los factores $\log(R_{\text{tco}})$ y $q(\lambda)$ derivados para cada estrella de la muestra en las bandas fotométricas consideradas.

Los resultados individuales de la CAFIR, después de aplicar la Eq. (31), se listan en la tabla 17. No se ha aplicado ni iteración, ni se han corregido los resultados según los valores de la tabla 9. Considerando el conjunto, bastante inhomogéneo, de CAFIR iniciales empleadas por los diferentes autores para determinar los flujos bolométricos, el error esperable inducido por esta omisión es prácticamente despreciable. La dispersión media teniendo en cuenta la muestra completa es del 10 %, mucho más grande de lo justificable a partir de las incertidumbres experimentales: F_{Bol} (3-4 %), θ (5%) y fotometría (3 %). Sin embargo, como discutiremos a partir de este punto, existe una tendencia evidente de la CAFIR con la temperatura, y por tanto la dispersión real de los resultados deberá ser analizada con mayor cuidado. En la tabla 18, se presentan los valores promediados del flujo absoluto en cada banda, considerando diferentes submuestras de acuerdo con la temperatura y el método de medida del diámetro angular. 12 estrellas de la muestra son binarias espectroscópicas (HR165, 603, 617, 1457, 1713, 2491, 2943, 3982, 4853, 5056, 7776, 7949). Hemos llevado a cabo un análisis particular de este subgrupo (submuestra SB), y no se han encontrado diferencias respecto al resto de la muestra globalmente considerada. La Submuestra A se seleccionó con el objeto de minimizar la contribución a la dispersión de las medidas menos fiables de los diámetros angulares: para ello extrajimos las estrellas de la muestra con diámetros mayores de 10 milisegundos de arco (337, 911, 921, 1457, 2286, 5340, 6705, 8775 y el Sol), junto con Vega y HR2943. Excepto el Sol y HR911, todas las estrellas se pueden considerar como patrones fotométricos (Engelke 1992). Para esta submuestra se ha considerado un promedio ponderado con el objeto de compensar el mayor número de estrellas frías. La dispersión obtenida, como era previsible, es claramente menor (2-5%). Los valores de $F_{\text{cat}}(\lambda_{\text{IR}})$ derivados con el Sol se presentan de forma

Tabla 15: $\log[R_{\text{teo}}(\lambda)]$ calculados para las estrellas de la muestra empleando los modelos de Kurucz (1991). Las unidades son H_z .

BS	1252.5	1655.0	2205.0	3510.0	3690.0
165	14.5912	14.5019	14.6877	15.0204	15.0641
168	14.6015	14.5294	14.7158	15.0499	15.0940
284	14.5160	14.2372	14.4156	14.7298	14.7809
337	14.5397	14.3165	14.4995	14.8203	14.8630
472	15.7824	15.9806	16.2052	16.5786	16.6218
603	14.5831	14.4880	14.6709	15.0030	15.0461
617	14.6054	14.5343	14.7218	15.0563	15.1001
911	14.5304	14.2859	14.4680	14.7864	14.8278
921	14.5156	14.2418	14.4171	14.7307	14.7830
1457	14.5555	14.3742	14.5592	14.8839	14.9401
1713	15.5027	15.6880	15.9076	16.2745	16.3188
2286	14.5320	14.2904	14.4722	14.7912	14.8328
2491	15.3346	15.5125	15.7268	16.0878	16.1318
2943	14.8670	14.9643	15.1609	15.5127	15.5569
2990	14.6421	14.6228	14.8100	15.1475	15.1916
3685	15.2399	15.4125	15.6261	15.9850	16.0280
3705	14.5441	14.3322	14.5161	14.8378	14.8805
3982	15.5749	15.7651	15.9868	16.3555	16.3990
4853	16.5416	16.7690	17.0194	17.4320	17.4728
4902	14.5318	14.2881	14.4684	14.7874	14.8290
5056	16.3907	16.6095	16.8462	17.2365	17.2814
5301	14.5614	14.4290	14.6114	14.9412	14.9851
5340	14.5837	14.4760	14.6621	14.9934	15.0368
6705	14.5590	14.3876	14.5726	14.8984	14.9422
6879	15.2685	15.4432	15.6573	16.0168	16.0599
7001	15.2889	15.4644	15.6791	16.0390	16.0821
7557	15.0730	15.2249	15.4315	15.7880	15.8345
7635	14.5211	14.2602	14.4420	14.7575	14.7988
7776	14.6373	14.6237	14.8093	15.1458	15.1899
7949	14.6273	14.5928	14.7796	15.1162	15.1603
8775	14.5271	14.2780	14.4556	14.7728	14.8147
HD29051	14.5343	14.2978	14.4797	14.7995	14.8412
Sol	14.7690	14.8219	15.0184	15.3658	14.4086

Tabla 16: Factores $q(\lambda)$ calculados para las estrellas de la muestra empleando los modelos de Kurucz (1991).

BS	1252.5	1655.0	2205.0	3510.0	3690.0
165	1.0370	1.0826	1.0366	1.0027	0.9993
168	1.0360	1.0789	1.0291	1.0024	0.9996
284	1.0397	1.1136	1.0518	1.0038	1.0019
337	1.0381	1.1045	1.0470	1.0036	1.0008
472	0.9897	0.9855	0.9962	0.9963	0.9992
603	1.0370	1.0846	1.0388	1.0031	0.9990
617	1.0354	1.0779	1.0239	1.0020	0.9994
911	1.0387	1.1078	1.0468	1.0033	1.0015
921	1.0400	1.1145	1.0559	1.0044	1.0014
1457	1.0375	1.0970	1.0386	1.0029	1.0006
1713	0.9931	0.9896	0.9972	0.9963	0.9975
2286	1.0385	1.1072	1.0456	1.0032	1.0015
2491	0.9992	0.9981	0.9997	0.9999	0.9953
2943	1.0224	1.0391	0.9998	1.0015	1.0012
2990	1.0344	1.0692	1.0223	1.0018	0.9995
3685	1.0025	1.0035	1.0004	1.0007	0.9948
3705	1.0374	1.1011	1.0375	1.0026	1.0017
3982	0.9923	0.9884	0.9971	0.9962	0.9979
4853	0.9815	0.9756	0.9937	0.9970	1.0023
4902	1.0392	1.1088	1.0516	1.0040	1.0010
5056	0.9827	0.9775	0.9942	0.9963	1.0012
5301	1.0388	1.0924	1.0497	1.0042	0.9985
5340	1.0363	1.0848	1.0298	1.0023	0.9995
6705	1.0375	1.0955	1.0382	1.0029	0.9994
6879	1.0013	1.0016	1.0002	1.0005	0.9950
7001	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
7557	1.0100	1.0176	0.9998	1.0007	0.9992
7635	1.0392	1.1109	1.0487	1.0033	1.0019
7776	1.0345	1.0694	1.0242	1.0019	0.9993
7949	1.0351	1.0723	1.0250	1.0020	0.9995
8775	1.0401	1.1116	1.0575	1.0047	1.0006
HD29051	1.0384	1.1063	1.0453	1.0032	1.0014
Sol	1.0281	1.0501	1.0001	1.0012	1.0015

individual, y también se presentan en las líneas finales de la tabla 18 algunas calibraciones previamente publicadas para Vega (Mountain et al. 1985, Dreiling y Bell 1980, Strecker et al. 1979, Wamsteker 1981, Campins et al. 1985, Blackwell et al. 1991, y Walker y Cohen (1992).)

3.7 Discusión: la CAFIR propuesta

Al analizar los datos presentados en la tabla 18 surgen de forma inmediata dos cuestiones. En primer lugar, hay una diferencia significativa entre los resultados obtenidos para las estrellas frías ($T_{ef} < 5000K$) y calientes ($T_{ef} > 6000K$). De hecho, la figura 18 muestra la suave tendencia con la temperatura que siguen los $F_{cal}^{Vega}(\lambda_{IR})$ derivados en todas las bandas fotométricas: cuanto más caliente es la estrella menor es el flujo absoluto que se deduce de la Ec. (31). En segundo lugar, cuando se compara con la calibración experimental de Mountain et al. (1985), aparece una tendencia sistemática con la longitud de onda, sea cual sea la submuestra considerada. Las diferencias en la CAFIR para las bandas J,K,L y L' respecto a M85 se disponen en líneas aproximadamente rectas con pendientes similares (figura 19). Estas dos cuestiones están relacionadas y se analizarán ahora.

A priori, deberíamos esperar que los puntos de la figura 18 se dispusieran en torno a un valor constante sin ninguna dependencia de T_{ef} . En lugar de esto, hay una tendencia suave pero clara. En principio, este efecto puede deberse a diferentes causas

- (i) Una descripción inadecuada de los filtros del sistema de Johnson: si la transmisión real de los filtros del sistema de Johnson fuera distinta de la que se lista en Landolt-Börnstein (1982a), la respuesta espectral del detector no fuera plana con λ (especialmente en la banda J), o la extinción de la atmósfera estuviera incorrectamente predicha, entonces los factores $q(\lambda, T_{ef})$ se habrían calculado de forma inadecuada. Esto podría dar lugar a cambios en el cero de la escala en el caso de que las longitudes de onda efectivas estuvieran desplazadas. O a un efecto de color si los perfiles de los filtros fueran de otra forma. Sin embargo, dado que se observa la misma tendencia en todas las bandas, esta posibilidad es bastante improbable. Además, el valor de los factores q para las

Tabla 17: Las magnitudes IR adoptadas para el cálculo final, y los valores de $F_{cal}^{Vega}(\lambda)$ derivados mediante la Ec. 31 en las longitudes de onda efectivas de los filtros del sistema de Johnson, y L' del sistema del TCS (las unidades son $10^{-10} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$). Los valores contenidos entre paréntesis se han descartado en los promedios. HR284, HR5301 y HR7635 se descartaron tras la comparación entre los colores observados y los sintéticos. HR472 se descartó por su tipo espectral B3Vp. HD29051 es la estrella más débil de la muestra y probablemente su diámetro es erróneo. El resto de estrellas descartadas se apartan más de 2σ del valor medio en alguno de los promedios considerados en el subsecuente análisis de los resultados.

BS	J	$F_{cal}^{Vega}(J)$ (1252.5nm)	H	$F_{cal}^{Vega}(H)$ (1645.0nm)	K	$F_{cal}^{Vega}(K)$ (2205.0nm)	L	$F_{cal}^{Vega}(L)$ (3510.0nm)	L'	$F_{cal}^{Vega}(L')$ (3690.0nm)
165	1.211	29.790	0.614	11.583	0.477	3.917	0.300	0.6547	0.366	0.5536
168	0.394	28.259	-0.133	11.293	-0.245	3.917	-0.460	0.6258	-0.361	0.5446
284	2.657	(30.833)	1.819	(14.481)	1.567	(4.541)	1.380	(0.7956)	—	—
337	-0.828	31.128	-1.643	13.225	-1.847	4.274	-2.070	0.7102	-1.997	0.6038
472	0.810	(30.904)	0.660	13.701	0.900	(4.723)	0.940	(0.8490)	—	—
603	-0.040	31.480	-0.663	12.090	-0.821	4.035	-0.880	0.7541	-0.944	0.5664
617	0.086	31.750	-0.495	12.044	-0.636	4.074	-0.745	0.7136	-0.705	0.5873
911	-0.620	30.731	-1.442	13.590	-1.677	4.291	-1.820	0.7720	-1.824	0.6131
921	-0.788	31.171	-1.672	13.863	-1.951	4.258	-2.140	0.7480	-2.135	0.5855
1457	-1.865	30.315	-2.637	12.242	-2.888	3.925	-2.985	0.6932	-2.981	0.5513
1713	0.201	27.512	0.196	10.264	0.206	2.488	0.170	0.5944	0.168	0.4754
2286	-0.745	31.195	-1.607	13.214	-1.871	4.067	-2.020	0.7258	-2.010	0.5826
2491	-1.390	27.620	-1.376	10.849	-1.348	3.753	-1.340	0.6741	-1.330	0.5420
2943	-0.422	30.585	-0.612	11.555	-0.642	4.185	-0.700	0.7215	-0.536	0.6040
2990	-0.495	31.041	-0.972	11.589	-1.077	4.028	-1.190	0.6973	-1.112	0.5911
3685	1.560	27.836	1.540	10.508	1.540	3.633	1.510	0.6327	—	—
3705	0.416	(33.211)	-0.383	13.984	-0.569	(4.012)	-0.740	(0.7959)	-0.668	(0.6711)
3982	1.552	29.304	1.583	11.292	1.635	3.935	1.600	0.6680	1.688	0.5737
4853	1.800	29.363	1.900	11.063	2.010	3.891	2.050	0.6628	—	—
4902	1.240	33.259	0.370	14.042	0.150	(4.497)	-0.020	0.7911	—	—
5056	1.500	(25.543)	—	—	1.680	(3.369)	1.670	(0.5553)	—	—
5301	1.620	(33.524)	0.760	(11.215)	0.550	(3.561)	0.410	(0.6269)	—	—
5340	-2.173	31.813	-2.860	11.846	-2.986	4.079	-3.130	0.7007	—	—
6705	-0.322	32.051	-1.077	12.871	-1.260	4.222	-1.500	0.6776	-1.440	0.5691
6879	1.780	28.776	1.770	10.919	1.760	3.728	1.690	0.6253	—	—
7001	0.020	29.320	0.020	11.212	0.020	3.852	-0.020	0.6638	0.015	0.5439
7557	0.358	(26.583)	0.254	(9.677)	0.256	3.455	0.210	0.5961	0.208	(0.4678)
7635	0.784	(32.669)	0.024	(15.852)	-0.163	(5.239)	-0.360	(0.9044)	-0.325	(0.7410)
7776	1.540	32.478	1.031	11.618	0.927	4.049	0.810	0.7014	—	—
7949	0.772	31.333	0.235	11.438	0.138	4.010	0.000	0.6813	0.044	0.5624
8775	-1.114	29.976	-1.990	12.721	-2.234	3.998	-2.405	0.7090	-2.428	0.5474
HD29051	3.000	(46.117)	2.080	(18.317)	1.840	(5.760)	1.700	(1.0343)	—	—
Sol	-27.866	30.388	-28.176	11.339	-28.236	4.037	-28.510	0.6930	—	—

Tabla 18: Los valores promedio (y sus desviaciones típicas) del flujo absoluto de $F_{cal}^{Vega}(\lambda)$ (las unidades son $10^{-10} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$). Las estrellas se han separado en diferentes grupos según sus temperaturas, o el diferente método de medida de su diámetro. Esta tabla contiene, también, los valores obtenidos para el Sol y para el modelo individual de Vega propuesto por Kurucz, K91, ($T_{ef} = 9400 \text{ K}$ $\log(g) = 3.95$ $[Fe/H] = 0.0$, $V_{turb} = 2 \text{ Km/s}$). Con el objeto de comparar, los valores de otras calibraciones previas se han incluido en la tabla según las siguientes claves: Dreiling y Bell 1980 (DB80), Wamsteker 1981 (W81), Campins et al. 1985 (C85) Blackwell et al 1991 (B91), Walker y Cohen (1992) (WC92). Los valores de las longitudes de onda consideradas en estos trabajos se detallan al pie de la tabla.

	Banda J 1252.5 nm	Banda H 1655.0 nm	Banda K 2205.0 nm	Banda L 3510.0 nm	Banda L' 3690.0 nm
Muestra Total	30.33 ± 1.47	12.17 ± 1.31	4.062 ± 0.339	0.6892 ± 0.047	0.5665 ± 0.03
Submuestra A	30.44 ± 0.76	12.15 ± 0.97	4.064 ± 0.157	0.7057 ± 0.0315	0.5723 ± 0.02
Submuestra SB	30.14 ± 1.62	11.44 ± 0.61	3.933 ± 0.186	0.6836 ± 0.0410	0.5573 ± 0.03
$T_{ef} < 5000 \text{ K}$	31.40 ± 1.29	12.57 ± 1.05	4.124 ± 0.251	0.7144 ± 0.0516	0.5737 ± 0.02
Sol	30.39	11.34	4.037	0.6930	—
$T_{ef} > 6000 \text{ K}$	28.79 ± 1.06	10.93 ± 0.43	3.769 ± 0.229	0.6487 ± 0.0406	0.5345 ± 0.04
II	28.24 ± 1.50	10.79 ± 0.58	3.729 ± 0.250	0.6394 ± 0.0483	0.5345 ± 0.05
IM	31.17 ± 0.86	12.45 ± 0.91	4.085 ± 0.130	0.7056 ± 0.0377	0.5759 ± 0.02
LO	31.93 ± 1.33	12.80 ± 1.32	4.106 ± 0.368	0.7223 ± 0.0640	0.5669 ± 0.02
K91	31.211	11.989	4.134	0.713	0.582
M85	29.563	11.149	4.035	0.712	0.589
DB80	29.860	10.985	3.922	0.6663	0.5494
B91 ⁽¹⁾	29.96	—	3.840	—	0.4973
WC92 ⁽²⁾	29.765	11.430	3.958	0.6865	0.5602
W81 ⁽³⁾	31.216 ± 1.076	11.585 ± 0.3926	4.094 ± 0.120	0.635 ± 0.032	—
C85 ⁽⁴⁾	30.65 ± 0.92	12.35 ± 0.37	3.917 ± 0.121	0.6674 ± 0.0191	—
Adoptado	29.62 ± 1.30	10.93 ± 0.43	3.879 ± 0.250	0.671 ± 0.040	0.550 ± 0.040

(1) $\lambda_J = 1246.7 \text{ nm}$, $\lambda_K = 2213.5 \text{ nm}$, $\lambda_{L'} = 3782.5 \text{ nm}$

(2) Los valores de los flujos monocromáticos se han interpolado de la tabla B1 de Walker y Cohen 1992.

(3) $\lambda_J = 1250 \text{ nm}$, $\lambda_H = 1650 \text{ nm}$, $\lambda_K = 2200 \text{ nm}$, $\lambda_L = 3600 \text{ nm}$

(4) $\lambda_J = 1260 \text{ nm}$, $\lambda_H = 1600 \text{ nm}$, $\lambda_K = 2220 \text{ nm}$, $\lambda_L = 3540 \text{ nm}$

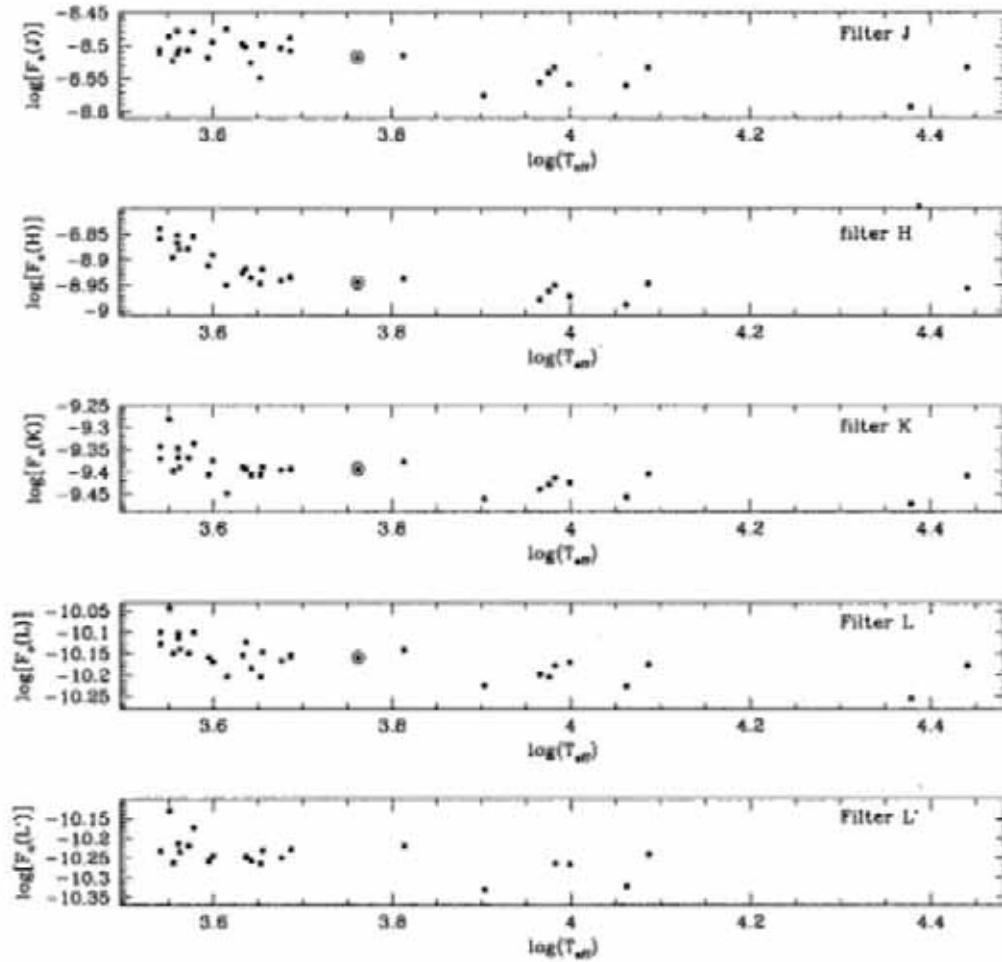


Figura 18: Calibración absoluta del flujo $F_{cal}^{Vcgs}(\lambda_{IR})$ obtenida al aplicar la Ec. (31) a la muestra de estrellas, frente a la temperatura efectiva. Las longitudes de onda consideradas en cada banda son: J(1252.5nm), H(1655.0nm), K(2205.0nm), L(3510.0nm) y L'(3690.0nm). HR472 y HD29051 se han omitido en este dibujo (HR472 es una estrella peculiar (B3Vp) y HD29051 es la estrella más débil de la muestra y su diámetro probablemente es erróneo). El punto en el interior del círculo corresponde al Sol.

bandas L y L' es casi constante en todo el intervalo de temperaturas cubierto, y próximo a la unidad (1.007-0.995). Por tanto, parece difícil modificar la transmisión de los perfiles de manera razonable en cualquiera de las bandas, de forma que se consiga eliminar la tendencia observada con la temperatura. Por otra parte, el buen acuerdo entre los colores observados y los sintéticos apoya la idea de que el sistema fotométrico está representado adecuadamente dentro de la precisión de las observaciones.

- (ii) Este efecto se puede explicar si los modelos de Kurucz predicen incorrectamente los flujos IR. En cuyo caso, para dar cuenta del efecto observado, los modelos estarían subestimándolos para las estrellas calientes y/o sobrestimándolos para las estrellas frías. La dificultad que entraña modelar las fuentes de opacidad, en especial para las estrellas frías, podría ser la causa probable del defecto. En particular, hay que notar, que la opacidad del ion H^- en la banda H está afectada por algunas incertidumbres (véase la discusión de Blackwell et al. 1991). Al margen de esto, los errores en los flujos de los modelos podrían deberse a la simplificación excesiva que se introduce con algunas hipótesis relacionadas con el tratamiento de la convección, la geometría, Equilibrio Termodinámico Local (LTE), etc. Una discusión general sobre las limitaciones de los modelos de atmósferas al uso se puede encontrar, por ejemplo, en Edvarsson et al. (1993).

Por otro lado, en contra de que este motivo sea el responsable único del efecto encontrado, está de nuevo el buen acuerdo que se encuentra entre los colores sintéticos y los observados en la mayor parte del intervalo de temperaturas considerado. Este hecho exigiría que los modelos predijesen un déficit (exceso) de flujo IR similar en todas las bandas, punto que resulta difícil de justificar.

- (iii) Un efecto sistemático en las medidas de los diámetros estelares obtenidos mediante los diferentes métodos podría explicar la tendencia observada si MI y LO proporcionasen diámetros mayores que II. Dos medidas independientes de HR2943, basadas en II y MI, muestran un excelente acuerdo, pero su tipo espectral y su clase de luminosidad (F5IV-V) es bastante diferente del resto de las estrellas de la muestra. El punto correspondiente al Sol cae justamente entre las estrellas frías y calientes ajustándose perfectamente a la tendencia observada con

la T_{ef} (figura 18). Este hecho es resaltable porque el diámetro solar se determina directamente de su perfil de intensidad sin necesidad de elaborar un modelo para la corrección del obscurecimiento hacia el borde y, en consecuencia, esta medida es la más fiable de toda la muestra. Además de la incertidumbre inducida por la corrección del efecto de obscurecimiento hacia el borde, los métodos aplicados a la medida de los diámetros estelares para estrellas frías pueden estar sistemáticamente sesgados por diferentes razones. Las posibles conchas de polvo circumestelares pueden absorber parte de la energía radiada por la estrella, dando lugar a colores enrojecidos y diámetros aparentes mayores. Además, las estrellas frías podrían tener atmósferas extensas. En principio los cálculos teóricos no predicen diferencias significativas entre R_r y R_l (Bascheck et al. 1992), aunque no se puede descartar un efecto en el sentido observado. Para aclarar este punto, se ha analizado separadamente el comportamiento de las clases de luminosidad I y II. Los flujos determinados con las estrellas supergigantes rojas de la muestra (HR603, 617, 921 y 8775) son, en promedio, ligeramente más altos que los que se obtienen con las estrellas gigantes (clase III) de la misma temperatura efectiva. Por el contrario, el flujo determinado con la única supergigante azul HR1713 (B8Ia) es menor que el obtenido para las estrellas subgigantes y enanas azules. No parece sencillo llegar a una conclusión definitiva ya que las barras de error son grandes y el número de estrellas pequeño.

Por lo tanto, aunque la causa de la tendencia observada en las figuras 18 y 19 no está del todo clara, es evidente la existencia de errores sistemáticos que afectan a la medida directa de diámetros angulares (o quizá al diseño de los métodos experimentales de medida) y/o la incorrecta predicción de los flujos IR por parte de los modelos de atmósferas. Los puntos (ii) y (iii) combinados podrían dar cuenta del efecto observado. Por desgracia es difícil separar la contribución individual de cada punto ya que tienen el mismo efecto sobre el método de calibración.

Las consideraciones precedentes conducen a una importante conclusión de este trabajo: hay diferencias sistemáticas entre los métodos directos de medida de diámetros angulares cuando se comparan mediante el MFI, o en otras palabras, no es posible establecer el mismo punto cero en la escala para $\theta(LO, MI)$ (estrellas de $T_{ef} < 5000K$), $\theta(II)$ (estrellas de $T_{ef} > 6000K$) y $\theta(IRFM)$. Richichi et al. (1992) encuentran $\theta(IRFM) < \theta(directo)$ cuando

comparan sus diámetros medidos mediante el método de LO con los que se derivan a partir del MFI (Blackwell 1990,1991). Para HR2473 (G8Ib) las diferencias oscilan entre 2-4%, y para HR224 (K5III) entre el 4-6%. Ellos concluyen que las diferencias puede deberse a '...alguna forma de dependencia de θ respecto a la longitud de onda...' o alternativamente a un sesgo sistemático en la aplicación del MFI. En particular, sugieren que la calibración absoluta en el IR podría ser la razón de tal discrepancia, pero de acuerdo con nuestros resultados si la CAFIR se modifica para ajustar el cero de $\theta(IRFM)$ a $\theta(LO, MI)$, entonces $\theta(II)$ quedará desplazado, y viceversa.

Resulta también interesante confrontar los resultados de la tabla 18 con aquellos de la única calibración experimental publicados hasta el presente momento (resumida por Mountain et al. 1985). La precisión de esta calibración oscila entre el 3 % en 1200 nm y el 6 % en 5000 nm. Esto parece representar un valor realista para las longitudes de onda más cortas, pero puede estar un tanto subestimada en las longitudes de onda más lejanas de acuerdo con las barras de error de su figura 2. En la figura (19), se han representado los cocientes entre los resultados del método aplicado aquí y M85 en las bandas J,K,L y L', donde se han considerado diferentes grupos de estrellas (estrellas frías: $T_{ef} < 5000K$, el Sol, estrellas calientes: $T_{ef} > 6000K$). Además de la separación entre estrellas frías y calientes mencionado previamente, resulta significativo que la pendiente es virtualmente idéntica para cualquiera de los grupos considerados. El hecho de que los modelos teóricos aplican una física diferente para las estrellas frías y las calientes (es decir, el tratamiento de la convección, la opacidad, etc) parece indicar que los modelos no son responsables de la pendiente encontrada. Hemos dibujado en la figura 19 otras calibraciones determinadas por procedimientos de diferente clase: los puntos de la espectrofotometría absoluta de Strecker et al. (1979) correspondientes a las longitudes de onda de la tabla 1 de Mountain et al. (1985); la calibración teórica de Dreiling y Bell (1980), así como la reciente calibración de Walker y Cohen (1992) basada en un recentísimo modelo de Vega especialmente confeccionado por Kurucz ($T_{ef} = 9400 K$ $\log(g) = 3.90$ $[Fe/H] = -0.50$, $V_{turb} = 0$ Km/s , nótese que estos parámetros son ligeramente distintos que los del modelo de Vega empleado en este trabajo); aquellos basados en estrellas análogas al Sol (Campins et al. 1985 y Wamsteker 1981); y la "calibración autoconsistente" propuesta por Blackwell et al. (1991). La precisión de todos estos

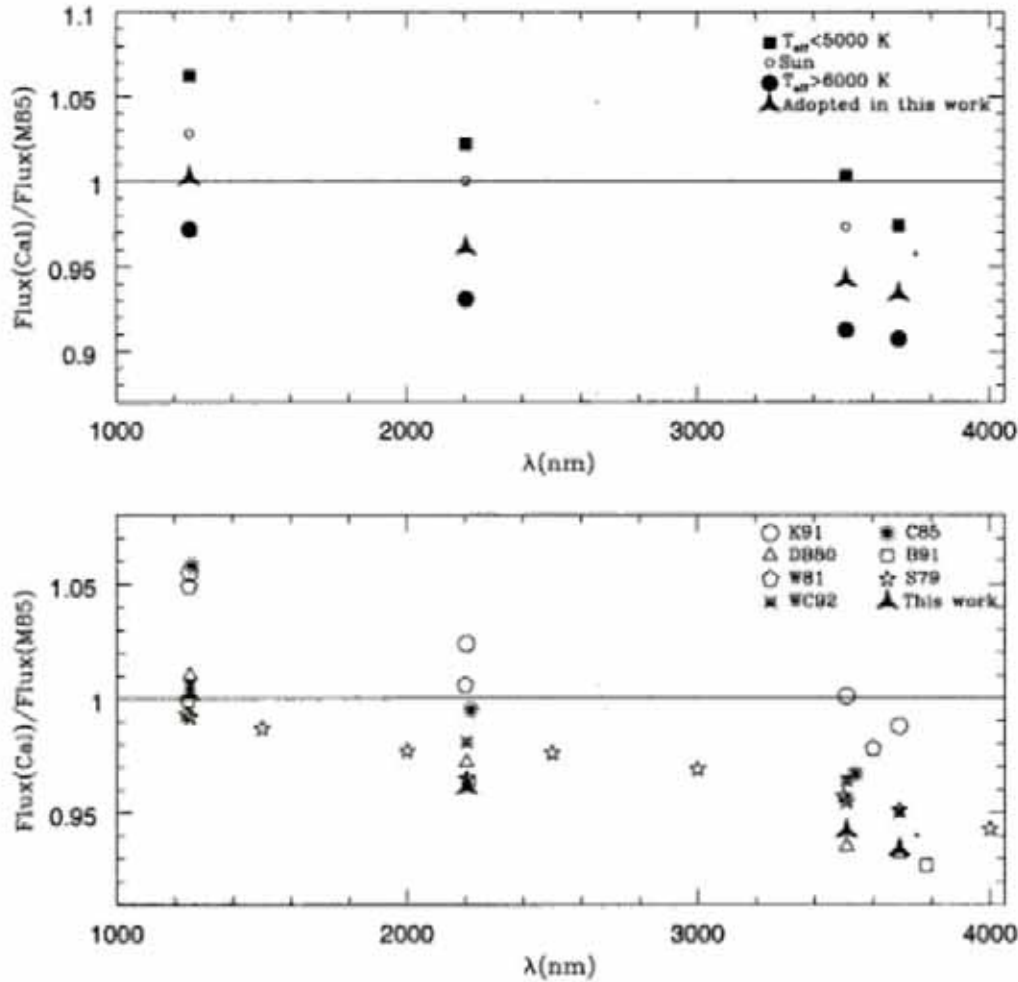


Figura 19: Cociente entre algunas calibraciones absolutas en el IR y la calibración empírica de Mountain et al. 1985. Las etiquetas se refieren a las diferentes submuestras seleccionadas o publicadas previamente, de acuerdo con el siguiente código: Dreiling y Bell (1980;DB80), Wamsteker (1981;W81), Campins et al. (1985;C85), Blackwell et al. (1991;B91), y Walker y Cohen (1992;WC92). Las pequeñas diferencias en las longitudes de onda consideradas en estos trabajos se han tratado adecuadamente. También se muestran los puntos correspondientes al modelo de Vega adoptado por Kurucz (1991;K91) ($T_{eff} = 9400 K$ $\log(g) = 3.95$ $[Fe/H] = 0.0$, $V_{\mu turb} = 2 Km/s$), y los valores de la espectrofotometría absoluta de Strecker et al. (1979) (S79) que caen dentro del intervalo de longitudes de onda considerado.

tipos de calibraciones, en particular la de las teóricas, es difícil de evaluar debido principalmente a posibles efectos sistemáticos incontrolados. Strecker et al. (1979) fijan la precisión de sus flujos absolutos en torno al 10 %. Wamsteker (1981) cita una precisión mejor del 4 %, y Campins et al. 1985 3-5 % de J a M. Todos estos trabajos muestran desviaciones comparables respecto a M85. Esto podría explicarse si los colores de Vega medidos por Johnson et al. (1966) fueran erróneos (quizá debido a efectos de no linealidad en el sistema fotométrico). En este caso los excesos de colores requeridos serían $E(J - K) \approx -0.04$ y $E(J - L) \approx -0.07$, pero estos valores parecen claramente incompatibles con los errores de la observación. Otra explicación obvia es que M85 sobreestima el flujo de Vega en las longitudes de onda más lejanas: 1.5 % (H), 4% (K), 6% (L) y 7 % (L'). Esta cantidades están dentro del alcance de las barras de error, pero la tendencia con la longitud de onda parece significativa.

Teniendo en cuenta las consideraciones previas, proponemos la siguiente calibración para Vega en 5 puntos del IR cercano: $F_{\circ}^{Vega}(1252.5) = 29.62$, $F_{\circ}^{Vega}(1655.0) = 10.93$, $F_{\circ}^{Vega}(2205.0) = 3.879$, $F_{\circ}^{Vega}(3510.0) = 0.671$, $F_{\circ}^{Vega}(3690.0) = 0.550$, (donde las unidades son $10^{-10} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$). Se han establecido calculando la media pesada de los datos de la tabla 17, donde a las estrellas calientes se les ha asignado un peso de 2.0 y a las estrellas frías un peso de 1.0 (para la banda H sólo se han considerado las estrellas calientes). Esta elección tiene dos ventajas: Primeramente, el valor para la banda J es muy próximo al de M85 (que a su vez coincide con la extrapolación de la calibración absoluta determinada por Hayes y Latham (1975), y es sin duda el punto mas fiable de ese trabajo), y en segundo lugar, la calibración que resulta tiene la pendiente media que se observa en la figura 19. Es obvio que esta calibración elimina la dependencia de los diámetros derivados mediante el MFI usando diferentes filtros respecto de la longitud de onda. Además, y punto más importante, esta calibración coloca la escala de las temperaturas derivadas mediante el MFI en concordancia con la escala directa que se obtiene promediando los resultados de la medida de diámetros angulares mediante métodos interferométricos.

En este capítulo, se ha descrito un nuevo procedimiento semiempírico para realizar la calibración absoluta del flujo en el IR cercano, empleando medidas precisas de diámetros angulares en combinación con el MFI. Aparte de la propia calibración, hay dos resultados interesantes que se derivan de la ejecución del método.

No es posible fijar el mismo punto cero para la escala de diámetros angulares medidos por medio de Interferometría de Michelson y Ocultaciones Lunares, los medidos mediante Interferometría de Intensidad y los determinados aplicando el MFI. La causa no es del todo clara, una posible explicación es que $\theta(MI, LO)$ y $\theta(II)$ no esten en la misma escala, y consecuentemente esto implicaría que las escalas de temperaturas directas para las estrellas frías y calientes tienen diferentes puntos de cero. Otra posibilidad es que los modelos sobreestimen los flujos IR de las estrellas frías, e infraestimen los de las estrellas calientes.

La comparación de nuestros resultados con los de la calibración empírica de Mountain et al. (1985) permite comprobar la existencia de diferencias sistemáticas que dependen de la longitud de onda, tanto para estrellas frías como calientes. La misma tendencia se observa cuando se comparan calibraciones previamente publicadas con M85. Estos resultados sugieren que la calibración del flujo IR de Mountain et al. (1985) adolece de un efecto sistemático con la longitud de onda. Probablemente la causa estriba en los grandes errores experimentales de la comparación directa con una fuente de radiación terrestre. Nosotros proponemos la siguiente calibración semiempírica que tiene en consideración todos los trabajos previos: $F_o^{Vega}(1252.5) = 29.62$, $F_o^{Vega}(1655.0) = 10.93$, $F_o^{Vega}(2205.0) = 3.879$, $F_o^{Vega}(3510.0) = 0.671$, $F_o^{Vega}(3690.0) = 0.550 \cdot 10^{-10} \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ nm}^{-1}$, (Las magnitudes consideradas para Vega en el sistema de Johnson son: $J=0.02$, $H=0.02$, $K=0.02$, $L=-0.02$ y $L'=0.015$). Esta calibración situa la escala de temperaturas del MFI en el promedio de las escalas directas de temperaturas.

Capítulo 4

Los flujos bolométricos

La determinación de los flujos bolométricos de las estrellas de la muestra es necesaria para la aplicación del MFL. En el presente capítulo, se derivan los flujos bolométricos de 118 estrellas enanas y subenanas con temperaturas comprendidas en el intervalo $4000K < T_{ef} < 7000K$ y metalicidades en $+0.5 < [Fe/H] < -3.50$, mediante la integración de fotometría UBVRIJHK. Las estrellas consideradas (típicas de las secuencias principales de los cúmulos globulares) emiten, por lo menos, el 80 % de su energía en estas bandas fotométricas. Para corregir el flujo UV e IR perdido fuera de dichas bandas se ha utilizado una red de distribuciones de flujos estelares obtenida a partir de modelos de atmósferas que incluyen el efecto de opacidad de nuevas líneas recientemente calculadas y no consideradas en modelos anteriores (Kurucz 1991, 1993). El método seguido, basado en el empleo de magnitudes sintéticas, proporciona los flujos bolométricos con una incertidumbre del orden del 2 %. Los resultados obtenidos se han utilizado para calibrar el flujo bolométrico frente a K, (V-K) y [Fe/H], en fórmulas de aplicación general. Un producto adicional de este estudio es la corrección bolométrica para las estrellas de la baja secuencia principal, que se ha tabulado para diferentes metalicidades. Finalmente, se presentan y discuten las comparaciones de los resultados con aquellos obtenidos previamente por otros autores.

4.1 Introducción

Como se vió en el capítulo 1, la determinación precisa de los flujos bolométricos estelares (F_{Bol}) es una cuestión de gran importancia para derivar temperaturas efectivas. Los métodos directos para determinar temperaturas requieren el conocimiento del flujo bolométrico y el diámetro angular como parámetros de entrada básicos (p. ej. Code 1976 y Ridgway et al. 1980). Por otra parte, la mayoría de los métodos indirectos (vease Böhm-Vitense 1981), que se basan tanto en las observaciones como en los modelos teóricos, también requieren el conocimiento de F_{Bol} . El Método del Flujo Infrarrojo

es característico de esta última clase, y actualmente se emplea de manera usual en el intervalo de tipos espectrales A-K.

En principio, F_{Bol} es una magnitud directamente mensurable. Sin embargo, en la práctica las observaciones obtenidas con telescopios terrestres han de ser corregidas, por causa de la fuerte absorción de la atmósfera en ciertos intervalos del espectro estelar. Además, en la mayoría de los casos, también se hace necesaria una corrección de la extinción interestelar. Obviamente la determinación del F_{Bol} de una estrella cualquiera, depende de la calibración absoluta de una estrella patrón primaria, que aún es muy imprecisa en algunos intervalos del espectro (especialmente en el UV). Los problemas anteriores se reducen substancialmente si restringimos nuestro análisis a estrellas cercanas con tipos espectrales en el intervalo F-K, ya que se hallan libres de la absorción interestelar y emiten la mayor parte de su energía en longitudes de onda del visible e IR cercano (400-2000 nm). En este caso, varias aproximaciones prácticas para derivar el F_{Bol} proporcionan la precisión que se requiere para determinar temperaturas efectivas. Como ejemplo, Petford et al. (1988) han probado que la fotometría UBVRI se puede emplear con seguridad para determinar el F_{Bol} con precisiones en torno al 2 %. Por desgracia, la comparación directa de los resultados obtenidos por diferentes autores revela discrepancias mucho mayores, incluso para estrellas brillantes y no enrojecidas. Por ejemplo Blackwell y Petford (1991; BP91) encuentran un desplazamiento medio del 5.4% entre sus flujos y los de Bell y Gustafsson (1989; BG89). Las diferencias en la calibración absoluta adoptada en las distintas bandas fotométricas, así como los métodos de integración aplicados, son en la mayor parte de los casos, las fuentes más probables de las discrepancias.

Múltiples determinaciones de la corrección bolométrica basadas en modelos de atmósferas muestran la influencia de la metalicidad (p. ej. Buser y Kurucz 1992). Sin embargo los trabajos empíricos dedicados al estudio de los flujos bolométricos (o equivalentemente a las correcciones bolométricas), se restringen, en general, a las estrellas de población I (p. ej. Saxner y Hammarbäck (1985), Malagnini et al. (1986), BG89 y BP91). Quizá, el primer y más extenso estudio que incluye una muestra representativa de estrellas subenanas es el de Carney y Aaronson (1979), extendido por Carney (1983) (a partir de este punto ambos trabajos se denotarán por CA&C). Este está basado en una muestra de 75 estrellas de secuencia principal con metalicidades comprendidas en el intervalo (-0.5,-3.5), complementadas con unas 60

estrellas de población I, y combina modelos y fotometría de banda ancha para derivar la corrección bolométrica. El avance en la comprensión de los mecanismos físicos que actúan en las atmósferas estelares, el progreso en el cálculo de opacidades atómicas y moleculares, así como las mejoras en la calibración absoluta de los sistemas fotométricos, hacen una revisión de este punto, al mismo tiempo posible y necesaria. Este es el propósito del presente capítulo.

En la sección 4.2 se describe un método para determinar F_{Bol} basado en el uso de fotometría de banda ancha UBVRIJHK y nuevos modelos de atmósferas desarrollados por Kurucz (1991, 1993). El método ha sido aplicado a una muestra de 118 estrellas enanas y subenanas en la sección 4.3. Allí se explican convenientemente los detalles concernientes a la implementación del método, también se derivan fórmulas de aplicación general para determinar el F_{Bol} , y se proporciona una tabla con la corrección bolométrica que tiene en cuenta el efecto de la metalicidad. En la sección 4.4, se presentan y discuten las comparaciones con los trabajos de otros autores.

4.2 El método

4.2.1 Descripción general

Como se señaló en la sección 4.1, una fracción notable del flujo total emitido por la mayoría de las estrellas puede medirse directamente con detectores situados en la superficie de la tierra. Naturalmente, la determinación sistemática de los flujos bolométricos para muestras muy extensas de estrellas requiere el empleo de procedimientos prácticos basados en datos fáciles de obtener. En el estudio presente, hemos seleccionado la fotometría UBVRIJHK como información empírica básica para derivar los flujos bolométricos. El porcentaje del F_{Bol} medido en estas bandas oscila entre el 93% y el 85% para estrellas de temperaturas comprendidas entre 4000 K y 7000 K. La fracción de energía que queda fuera del intervalo de longitudes de onda cubierto por estos filtros ha sido calculada empleando distribuciones teóricas de flujos derivadas a partir de los modelos de atmósferas desarrollados por Kurucz (1991, 1993). Con el objeto de minimizar los errores inducidos en este paso, hemos procedido según el siguiente esquema de trabajo:

- (a) Para el cálculo numérico de las magnitudes y los colores sintéticos

se ha utilizado una red de distribuciones de flujos estelares obtenidos con modelos de atmósferas, y las funciones de respuesta espectral del sistema fotométrico UBVRIJHK. Las funciones de respuesta adoptadas para reproducir el sistema fotométrico observado se extrajeron de la literatura (UBVRI), o fueron medidas en el laboratorio (JHK). Los colores sintéticos se calibraron comparando con los colores observados del Sol, de Vega y de Prócion. Los detalles del procedimiento se describen en la sección 2.2.

(b) Las magnitudes sintéticas se transformaron en su flujo equivalente en las longitudes de onda efectivas de los filtros. Para cada modelo de la red, se empleó una regla trapezoidal simple con el objeto de calcular la proporción de flujo emitido en las bandas U-K ($\mathcal{F}_{U-K}(\text{modelo})$), y de esta forma se derivaron los denominados factores de corrección (factores C) como función de los parámetros de los modelos:

$$C(T_{ef}, \log(g), [Fe/H]) = \frac{\mathcal{F}_{U-K}(\text{modelo})}{\mathcal{F}_{Bol}(\text{modelo})} \quad (36)$$

(c) Las magnitudes UBVRIJHK observadas se emplearon para obtener los flujos integrados ($F_{U-K}(\text{tierra})$) para cada estrella de la muestra, siguiendo el mismo procedimiento aplicado para obtener $\mathcal{F}_{U-K}(\text{modelo})$.

(d) Con valores estimativos de la temperatura efectiva, la gravedad superficial y la metalicidad, los flujos bolométricos observados ($F_{Bol}(\text{tierra})$) se derivaron a partir de la siguiente expresión:

$$F_{Bol}(\text{tierra}) = \frac{F_{U-K}(\text{tierra})}{C(T_{ef}, \log(g), [Fe/H])} \quad (37)$$

Las incertidumbres típicas en los valores de T_{ef} , $\log(g)$ y $[Fe/H]$ adoptados tienen una influencia menor sobre la determinación del flujo bolométrico, como se discutirá en la sección 4.2.3. En cualquier caso, el MFI (Blackwell et al. 1990) puede aplicarse para mejorar el valor estimativo inicial de la T_{ef} (como efectivamente se ha hecho). La T_{ef} así obtenida puede ser utilizada en la Ec. (37) para derivar el F_{Bol} . Este valor, a su vez, puede emplearse para derivar una nueva T_{ef} , y así sucesivamente. Este procedimiento iterativo converge rápidamente hacia un valor final de $F(Bol)$ (véase la sección 4.3.3).

Nótese que el método propuesto para determinar $F_{Bol}(\text{tierra})$ depende tanto de la información de las observaciones como de las predicciones teóricas

para las atmósferas estelares. La importancia relativa de cada uno de estos puntos depende fuertemente del tipo espectral de la estrella. Dado que el presente estudio está limitado a estrellas de la baja secuencia principal, que emiten la mayor parte de su energía en el intervalo de longitudes de onda cubierto por las bandas fotométricas consideradas, el método es sólo ligeramente dependiente de los modelos.

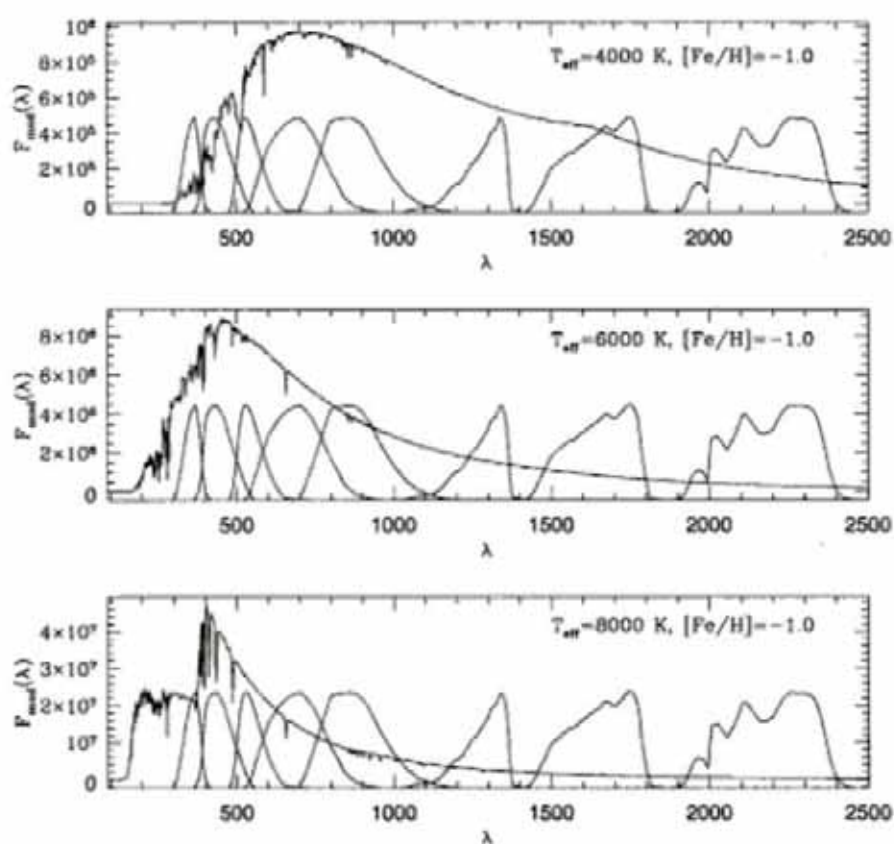


Figura 20: Funciones de transmisión de los filtros UBVRIJHK dibujadas sobre tres distribuciones de flujo teóricas obtenidas con los modelos y opacidades de Kurucz (1993).

Tabla 19: Longitudes de onda efectivas adoptadas, y la calibración absoluta de Vega en cada banda fotométrica empleada en este trabajo.

Banda	λ_{ef} <i>nm</i>	$F(\lambda)$ <i>erg cm⁻² s⁻¹ nm⁻¹</i>	Refs.	$H_{modelo}(\nu)$ unidades del modelo
U	359.0	3.14e-8	(1)	0.1821e-4
B	439.0	6.84e-8	(1)	0.5700e-4
V	549.0	3.59e-8	(1)	0.4733e-4
R	699.0	1.72e-8	(1)	0.3651e-4
I	899.0	7.31e-9	(1)	0.2986e-4
J	1272.5	29.15e-10	(2)	0.1917e-4
H	1635.0	11.94e-10	(2)	0.1300e-4
K	2175.0	4.267e-10	(2)	0.8115e-5

(1) Tüg et al. (1977)

(2) Alonso et al. (1994a, capítulos 2 y 5)

Tabla 20: Colores observados para las estrellas de referencia empleadas para calibrar los colores sintéticos. Las magnitudes IR están en el sistema del TCS.

Estrella	V	(V-U)	(V-B)	(V-R)	(V-I)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	Referencias
Sol	-26.75	-0.78	-0.65	0.52	0.81	1.178	1.461	1.524	(1),(2)
Proción	0.38	-0.44	-0.42	0.43	0.66	0.845	1.025	1.068	(3),(2)
Vega	0.03	0.00	0.00	-0.04	-0.07	0.043	0.035	0.059	(3),(2)

(1) Allen (1973)

(2) Capítulo 3

(3) Johnson et al. (1966)

Tabla 21: Parámetros físicos adoptados para las estrellas de referencia empleadas para calibrar los colores sintéticos.

Estrella	T_{ef}	$\log(g)$	$[Fe/H]$	$F_{Bol}(tierra)$	Referencias
	K	dex	dex	$erg\ cm^{-2}\ s^{-1}$	
Sol	5780	4.43	0.00	1.37×10^6	(1)
Proción	6510	4.34	0.05	1.808×10^{-5}	(2)
Vega	9610	3.95	-0.25	2.983×10^{-5}	(2)

(1) Landolt-Börnstein (1982c)

(2) Code et al. (1976)

4.2.2 La síntesis de los colores

La red de los colores sintéticos que se requiere para implementar el método descrito previamente, se ha calculado usando los flujos de los modelos recientemente generados por Kurucz (1991, 1993). Las funciones de respuesta adoptadas se tomaron, bien de tablas publicadas (UBVRI, sistema de Johnson descrito en Landolt-Börnstein 1982b, y Buser y Kurucz 1978), o bien fueron medidas en el laboratorio (JHK sistema del TCS, capítulo 2). La tabla 19 contiene las longitudes de onda efectivas de los filtros adoptados con las referencias bibliográficas oportunas. La figura 20 muestra el perfil de los filtros superpuesto sobre tres modelos representativos del intervalo de temperatura considerado en el presente trabajo. Las funciones de respuesta de los filtros han sido empleadas para calcular las magnitudes sintéticas aplicando la siguiente expresión:

$$m_a = -2.5 \log \left(\frac{\int_{\lambda_{ia}}^{\lambda_{fa}} F_{mod}(\lambda) T_a(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{ia}}^{\lambda_{fa}} T_a(\lambda) d\lambda} \right) + ZP_a \quad (38)$$

donde $F_{mod}(\lambda)$ es la densidad de flujo por unidad de longitud de onda del modelo, $T_a(\lambda)$ es la transmisión del sistema óptico, $(\lambda_{ia}, \lambda_{fa})$ es el intervalo donde la transmisión es no nula y ZP_a es la constante del punto cero. La integral se ha evaluado aplicando una regla trapezoidal simple empleando el muestreo de los modelos en longitudes de onda, con el objeto de evitar interpolaciones innecesarias. La precisión de este algoritmo se ha comprobado mediante la comparación del flujo total integrado del modelo con su valor

teórico $\mathcal{F}_{Bol} = \sigma T_{ef}^4$. Las diferencias siempre fueron menores del $\pm 0.5\%$. Las constantes del punto cero han sido establecidas con Vega, Proción y el Sol, ajustando los colores sintéticos obtenidos a partir de los modelos generados con sus parámetros físicos (tabla 21) con los colores observados (tabla 20). Para este propósito se podría haber empleado exclusivamente Vega; sin embargo su temperatura es más alta que la del resto de estrellas en la muestra. Por esta razón los modelos de Proción y el Sol (que además pertenecen a la muestra) se emplearon para reducir los posibles efectos sistemáticos de los modelos, y las incertidumbres de la observación. En general, los colores sintéticos se ajustan bastante bien al lugar medio de los datos observados, excepto para los colores que contienen I y R. Para estas bandas, las transmisiones consideradas corresponden a sensibilidades de filtros y detectores que obviamente no son las del sistema con que se realizaron las observaciones. Este punto ya ha sido señalado por varios autores (véase Bell y Gustafsson 1989). Debido a este problema, las magnitudes sintéticas R e I hubieron de ser *recalibradas* haciendo uso de las siguientes transformaciones lineales, que se determinaron ajustando las tendencias medias de los colores sintéticos y los observados.

$$\langle R_{sin} \rangle \longrightarrow \langle R_{sin} \rangle - 0.04 - 0.055(\langle (V - K)_{sin} \rangle - 1.524) \quad (39)$$

$$\langle I_{sin} \rangle \longrightarrow \langle I_{sin} \rangle - 0.07 - 0.085(\langle (V - K)_{sin} \rangle - 1.524) \quad (40)$$

donde 1.524 es el valor de $(V - K)_{\odot}$ en el sistema fotométrico adoptado (TCS; Alonso et al. 1994a). El apéndice 2 contiene la tabla con los colores sintetizados. Las figuras 21a-f muestran las líneas sintéticas en diagramas color:color, junto con los puntos observados correspondientes a las estrellas de la muestra seleccionada. $(V - K)$ se ha tomado como referencia, ya que la precisión de este color es especialmente buena, y además es muy sensible a la temperatura. Cierta número de estrellas de tipos espectrales tempranos han sido incluidas en los gráficos con el fin de mostrar la calidad del ajuste para temperaturas elevadas no representadas por las estrellas de la muestra.

En la tabla 22, se proporciona una lista con las magnitudes sintéticas V y K ordenadas según la temperatura, la metalicidad y la gravedad de los modelos. También se incluyen en esta tabla las correcciones bolométricas calculadas directamente a partir de los flujos de los propios modelos, es decir:

$$CB_{sin}(V) = -2.5 \log(T_{ef}^4/T_{\odot}^4) + V_{sin} + ZP_V \quad (41)$$

$$CB_{sin}(K) = -2.5 \log(T_{ef}^4/T_{\odot}^4) + K_{sin} + ZP_K \quad (42)$$

para cuyos cálculos se tomó $CB_{\odot}(V) = -0.12$ (o lo que es equivalente $CB_{\odot}(K) = 1.404$).

Tabla 22: Magnitudes sintéticas calculadas empleando las transmisiones espectrales de las bandas V (Sistema de Johnson), y K (Sistema TCS). Correcciones bolométricas a V y K, y factores de corrección para los modelos que cubren las temperaturas, metalicidades y gravedades consideradas en este estudio.

T_{ef}	$\log(g)$	$[Fe/H]$	V_{sin}	K_{sin}	$CB(V)$	$CB(K)$	$C(T_{ef}, [Fe/H])$ (%)
4000.	4.0	0.50	-24.132	-27.788	-1.149	2.527	90.7
4000.	4.0	0.00	-24.190	-27.767	-1.091	2.505	91.0
4000.	4.0	-1.00	-24.294	-27.687	-0.987	2.426	91.2
4000.	4.0	-2.00	-24.372	-27.623	-0.910	2.361	91.0
4000.	4.0	-3.00	-24.408	-27.586	-0.873	2.325	91.0
4000.	4.0	-4.00	-24.416	-27.561	-0.865	2.299	91.0
4000.	5.0	0.50	-24.145	-27.742	-1.137	2.480	90.5
4000.	5.0	0.00	-24.249	-27.676	-1.033	2.414	91.1
4000.	5.0	-1.00	-24.331	-27.615	-0.950	2.354	91.2
4000.	5.0	-2.00	-24.372	-27.594	-0.910	2.333	91.0
4250.	4.0	0.50	-24.689	-27.874	-0.855	2.349	92.5
4250.	4.0	0.00	-24.717	-27.865	-0.827	2.340	92.4
4250.	4.0	-1.00	-24.775	-27.833	-0.769	2.308	92.1
4250.	4.0	-2.00	-24.834	-27.767	-0.710	2.242	91.9
4250.	4.0	-3.00	-24.864	-27.714	-0.680	2.189	91.8
4250.	4.0	-4.00	-24.904	-27.690	-0.641	2.165	93.2
4250.	5.0	0.50	-24.663	-27.864	-0.882	2.340	92.3
4250.	5.0	0.00	-24.711	-27.831	-0.833	2.307	92.3
4250.	5.0	-1.00	-24.789	-27.768	-0.755	2.244	92.1
4250.	5.0	-2.00	-24.837	-27.724	-0.707	2.200	91.8
4250.	5.0	-3.00	-24.860	-27.694	-0.685	2.169	91.5
4500.	4.0	0.50	-25.157	-27.952	-0.636	2.179	93.5
4500.	4.0	0.00	-25.176	-27.945	-0.617	2.173	93.1
4500.	4.0	-1.00	-25.216	-27.923	-0.576	2.150	92.6
4500.	4.0	-2.00	-25.244	-27.880	-0.549	2.107	92.2
4500.	4.0	-3.00	-25.248	-27.823	-0.545	2.051	91.8
4500.	4.0	-4.00	-25.239	-27.806	-0.554	2.033	91.4

Tabla 22 (continuación)

T_{ef}	$\log(g)$	$[Fe/H]$	V_{min}	K_{min}	$CB(V)$	$CB(K)$	$C(T_{\text{ef}}, [Fe/H])$ (%)
4500.	5.0	0.50	-25.121	-27.962	-0.672	2.189	93.4
4500.	5.0	0.00	-25.148	-27.948	-0.645	2.175	93.0
4500.	5.0	-1.00	-25.204	-27.903	-0.588	2.130	92.7
4500.	5.0	-2.00	-25.244	-27.841	-0.549	2.069	92.2
4500.	5.0	-3.00	-25.255	-27.798	-0.538	2.025	91.8
4500.	5.0	-4.00	-25.242	-27.777	-0.551	2.004	91.0
4750.	4.0	0.50	-25.563	-28.026	-0.465	2.018	93.9
4750.	4.0	0.00	-25.573	-28.020	-0.455	2.012	93.3
4750.	4.0	-1.00	-25.594	-27.998	-0.434	1.991	92.6
4750.	4.0	-2.00	-25.598	-27.960	-0.430	1.952	92.1
4750.	4.0	-3.00	-25.583	-27.928	-0.445	1.921	91.3
4750.	4.0	-4.00	-25.569	-27.920	-0.458	1.912	90.8
4750.	5.0	0.50	-25.531	-28.040	-0.497	2.032	93.9
4750.	5.0	0.00	-25.546	-28.029	-0.482	2.022	93.2
4750.	5.0	-1.00	-25.582	-27.998	-0.445	1.991	92.7
4750.	5.0	-2.00	-25.599	-27.940	-0.429	1.933	92.1
4750.	5.0	-3.00	-25.589	-27.903	-0.438	1.895	91.3
4750.	5.0	-4.00	-25.576	-27.891	-0.451	1.883	90.7
5000.	4.0	0.50	-25.916	-28.096	-0.334	1.866	94.0
5000.	4.0	0.00	-25.918	-28.091	-0.332	1.860	93.2
5000.	4.0	-1.00	-25.917	-28.067	-0.333	1.836	92.2
5000.	4.0	-2.00	-25.902	-28.034	-0.349	1.804	91.2
5000.	4.0	-3.00	-25.878	-28.016	-0.373	1.785	90.2
5000.	4.0	-4.00	-25.866	-28.010	-0.385	1.779	89.7
5000.	5.0	0.50	-25.893	-28.109	-0.358	1.878	94.0
5000.	5.0	0.00	-25.898	-28.099	-0.353	1.869	93.2
5000.	5.0	-1.00	-25.914	-28.070	-0.337	1.839	92.5
5000.	5.0	-2.00	-25.907	-28.026	-0.343	1.795	91.4
5000.	5.0	-3.00	-25.886	-27.998	-0.365	1.767	90.3
5000.	5.0	-4.00	-25.871	-27.991	-0.379	1.761	89.7
5250.	4.0	0.50	-26.225	-28.164	-0.237	1.722	93.7
5250.	4.0	0.00	-26.219	-28.157	-0.243	1.715	92.8
5250.	4.0	-1.00	-26.198	-28.130	-0.265	1.688	91.3
5250.	4.0	-2.00	-26.167	-28.105	-0.295	1.663	89.9
5250.	4.0	-3.00	-26.141	-28.091	-0.321	1.649	88.7
5250.	4.0	-4.00	-26.131	-28.088	-0.331	1.645	88.2
5250.	5.0	0.50	-26.210	-28.175	-0.252	1.732	93.7
5250.	5.0	0.00	-26.206	-28.164	-0.256	1.722	92.7
5250.	5.0	-1.00	-26.200	-28.134	-0.262	1.692	91.5
5250.	5.0	-2.00	-26.175	-28.100	-0.288	1.658	90.1
5250.	5.0	-3.00	-26.146	-28.083	-0.316	1.640	88.8
5250.	5.0	-4.00	-26.138	-28.076	-0.325	1.633	88.4
5500.	4.0	0.50	-26.500	-28.227	-0.165	1.583	93.2
5500.	4.0	0.00	-26.485	-28.219	-0.179	1.575	92.2
5500.	4.0	-1.00	-26.447	-28.190	-0.218	1.545	90.1
5500.	4.0	-2.00	-26.406	-28.168	-0.258	1.524	88.2
5500.	4.0	-3.00	-26.383	-28.160	-0.282	1.515	87.1
5500.	4.0	-4.00	-26.374	-28.153	-0.290	1.509	86.6

Tabla 22 (continuación)

T_{eff}	$\log(g)$	$[Fe/H]$	V_{sin}	K_{sin}	$CB(V)$	$CB(K)$	$C(T_{eff}, [Fe/H])$ (%)
5500.	5.0	0.50	-26.490	-28.237	-0.175	1.592	93.2
5500.	5.0	0.00	-26.477	-28.225	-0.187	1.581	92.0
5500.	5.0	-1.00	-26.450	-28.193	-0.214	1.548	90.2
5500.	5.0	-2.00	-26.411	-28.166	-0.253	1.521	88.3
5500.	5.0	-3.00	-26.384	-28.154	-0.280	1.509	87.1
5500.	5.0	-4.00	-26.375	-28.147	-0.290	1.502	86.6
5750.	4.0	0.50	-26.746	-28.287	-0.111	1.450	92.5
5750.	4.0	0.00	-26.725	-28.277	-0.133	1.439	91.7
5750.	4.0	-1.00	-26.672	-28.251	-0.186	1.413	88.6
5750.	4.0	-2.00	-26.628	-28.230	-0.230	1.393	86.5
5750.	4.0	-3.00	-26.606	-28.219	-0.251	1.382	85.4
5750.	4.0	-4.00	-26.598	-28.216	-0.259	1.379	85.0
5750.	5.0	0.50	-26.739	-28.294	-0.119	1.457	92.4
5750.	5.0	0.00	-26.718	-28.282	-0.139	1.445	91.1
5750.	5.0	-1.00	-26.672	-28.254	-0.185	1.416	88.6
5750.	5.0	-2.00	-26.627	-28.228	-0.231	1.390	86.4
5750.	5.0	-3.00	-26.602	-28.215	-0.256	1.378	85.2
5750.	5.0	-4.00	-26.593	-28.212	-0.264	1.375	84.7
6000.	4.0	0.50	-26.971	-28.343	-0.071	1.321	91.6
6000.	4.0	0.00	-26.943	-28.332	-0.100	1.309	90.1
6000.	4.0	-1.00	-26.879	-28.306	-0.163	1.284	86.9
6000.	4.0	-2.00	-26.834	-28.288	-0.208	1.266	84.7
6000.	4.0	-3.00	-26.816	-28.278	-0.227	1.256	83.8
6000.	4.0	-4.00	-26.807	-28.276	-0.235	1.253	83.3
6000.	5.0	0.50	-26.963	-28.350	-0.079	1.328	91.4
6000.	5.0	0.00	-26.935	-28.337	-0.107	1.314	89.8
6000.	5.0	-1.00	-26.874	-28.307	-0.168	1.285	86.7
6000.	5.0	-2.00	-26.826	-28.286	-0.216	1.264	84.4
6000.	5.0	-3.00	-26.805	-28.275	-0.237	1.252	83.3
6000.	5.0	-4.00	-26.795	-28.272	-0.247	1.250	82.8
6250.	4.0	0.50	-27.178	-28.396	-0.041	1.197	90.5
6250.	4.0	0.00	-27.144	-28.386	-0.076	1.187	88.8
6250.	4.0	-1.00	-27.074	-28.358	-0.146	1.159	85.3
6250.	4.0	-2.00	-27.031	-28.339	-0.188	1.140	83.2
6250.	4.0	-3.00	-27.013	-28.333	-0.206	1.133	82.2
6250.	4.0	-4.00	-27.006	-28.331	-0.214	1.131	81.8
6250.	5.0	0.50	-27.169	-28.402	-0.051	1.203	90.3
6250.	5.0	0.00	-27.134	-28.391	-0.086	1.192	88.4
6250.	5.0	-1.00	-27.061	-28.360	-0.159	1.160	84.7
6250.	5.0	-2.00	-27.013	-28.337	-0.206	1.138	82.3
6250.	5.0	-3.00	-26.994	-28.330	-0.226	1.131	81.3
6250.	5.0	-4.00	-26.985	-28.328	-0.234	1.128	80.9
6500.	4.0	0.50	-27.370	-28.449	-0.019	1.079	89.3
6500.	4.0	0.00	-27.331	-28.435	-0.059	1.065	87.4
6500.	4.0	-1.00	-27.260	-28.408	-0.130	1.039	83.8
6500.	4.0	-2.00	-27.219	-28.391	-0.170	1.021	81.7
6500.	4.0	-3.00	-27.202	-28.385	-0.188	1.015	80.8
6500.	4.0	-4.00	-27.195	-28.383	-0.195	1.013	80.5

Tabla 22 (continuación)

T_{eff}	$\log(g)$	$[Fe/H]$	V_{sin}	K_{sin}	$CB(V)$	$CB(K)$	$C(T_{\text{eff}}, [Fe/H])$ (%)
6500.	5.0	0.50	-27.358	-28.456	-0.032	1.086	88.9
6500.	5.0	0.00	-27.316	-28.440	-0.074	1.071	86.8
6500.	5.0	-1.00	-27.237	-28.410	-0.153	1.040	82.8
6500.	5.0	-2.00	-27.191	-28.389	-0.199	1.019	80.4
6500.	5.0	-3.00	-27.173	-28.383	-0.217	1.013	79.5
6500.	5.0	-4.00	-27.165	-28.381	-0.225	1.011	79.1
6750.	4.0	0.50	-27.549	-28.496	-0.004	0.962	88.1
6750.	4.0	0.00	-27.507	-28.482	-0.047	0.948	86.0
6750.	4.0	-1.00	-27.438	-28.456	-0.116	0.923	82.4
6750.	4.0	-2.00	-27.400	-28.440	-0.154	0.906	80.4
6750.	4.0	-3.00	-27.384	-28.435	-0.170	0.901	79.6
6750.	4.0	-4.00	-27.377	-28.433	-0.176	0.900	79.2
6750.	5.0	0.50	-27.532	-28.503	-0.022	0.969	87.4
6750.	5.0	0.00	-27.485	-28.487	-0.069	0.953	85.1
6750.	5.0	-1.00	-27.406	-28.453	-0.148	0.919	80.9
6750.	5.0	-2.00	-27.362	-28.438	-0.192	0.904	78.7
6750.	5.0	-3.00	-27.344	-28.432	-0.209	0.899	77.8
6750.	5.0	-4.00	-27.337	-28.430	-0.216	0.896	77.4
7000.	4.0	0.50	-27.718	-28.540	0.007	0.848	86.7
7000.	4.0	0.00	-27.675	-28.526	-0.037	0.834	84.6
7000.	4.0	-1.00	-27.609	-28.498	-0.103	0.807	81.1
7000.	4.0	-2.00	-27.573	-28.487	-0.138	0.795	79.2
7000.	4.0	-3.00	-27.558	-28.484	-0.154	0.792	78.5
7000.	4.0	-4.00	-27.552	-28.482	-0.160	0.790	78.2
7000.	5.0	0.50	-27.697	-28.548	-0.015	0.857	85.9
7000.	5.0	0.00	-27.647	-28.532	-0.065	0.840	83.3
7000.	5.0	-1.00	-27.568	-28.499	-0.144	0.807	79.2
7000.	5.0	-2.00	-27.526	-28.485	-0.185	0.794	77.1
7000.	5.0	-3.00	-27.510	-28.482	-0.202	0.790	76.2
7000.	5.0	-4.00	-27.503	-28.480	-0.208	0.788	75.9
7250.	4.0	0.50	-27.880	-28.581	0.016	0.737	85.4
7250.	4.0	0.00	-27.835	-28.567	-0.029	0.723	83.2
7250.	4.0	-1.00	-27.772	-28.541	-0.092	0.697	79.8
7250.	4.0	-2.00	-27.740	-28.531	-0.125	0.687	78.1
7250.	4.0	-3.00	-27.725	-28.529	-0.139	0.684	77.4
7250.	4.0	-4.00	-27.720	-28.527	-0.144	0.683	77.1
7250.	5.0	0.50	-27.852	-28.591	-0.012	0.747	84.2
7250.	5.0	0.00	-27.801	-28.574	-0.063	0.730	81.6
7250.	5.0	-1.00	-27.724	-28.543	-0.140	0.699	77.6
7250.	5.0	-2.00	-27.685	-28.532	-0.179	0.688	75.6
7250.	5.0	-3.00	-27.669	-28.527	-0.195	0.683	74.8
7250.	5.0	-4.00	-27.664	-28.526	-0.200	0.682	74.5

4.2.3 Los factores de corrección $C(T_{ef}, [Fe/H])$

Las magnitudes sintéticas derivadas en la sección 4.2.2 se han empleado en el cálculo de los factores C [sección 4.2.1, punto (b)] para cada uno de los modelos de la red. Los resultados se muestran en la última columna de la tabla 22, y también se presentan en la Fig. 22a como el porcentaje del flujo estelar medido en la región de integración (bandas U a K) respecto al flujo total.

El punto cero de la fotometría sintética se fijó empleando el promedio de puntos cero de Vega, Prócion y el Sol. La figura 22b. muestra las diferencias entre los factores C calculados usando cada punto cero fotométrico individualmente (Vega, Prócion y el Sol), y el punto cero adoptado (promedio de los tres anteriores). Puede verse que el punto cero adoptado en la fotometría sintética introduce una incertidumbre en el factor C calculado inferior al 1%. El efecto del punto cero sobre la dependencia de la metalicidad de los factores C es también despreciable, no superando las diferencias un 0.4 % por encima de los 4500 K. Este punto es importante para el presente trabajo, ya que implica que el punto cero adoptado no afecta a la dependencia de la metalicidad en el F_{Bol} de forma variable con la T_{ef} .

En el método aquí empleado, la elección de un factor C adecuado requiere una estimación inicial en los valores de $\log(g)$, $[Fe/H]$ y T_{ef} para cada una de las estrellas [sección 2.1 punto (d)]. La figura 22a permite examinar la sensibilidad de los factores C a los errores en los valores de la gravedad superficial, la metalicidad y la temperatura inicialmente considerados para una cierta estrella.

Los errores en la gravedad sólo serían relevantes para las temperaturas más elevadas. A 6000 K un error de 0.5 dex implicaría una diferencia aproximada del 0.1 % en el factor C . Este efecto se incrementa para las temperaturas más altas alcanzando un valor del 1 % para una estrella de 7000 K (el peor de los casos para la muestra que consideraremos).

Para el análisis de las incertidumbres debidas a los errores en la metalicidad, necesitamos tener en cuenta la dependencia variable, respecto a la metalicidad, de los factores C a lo largo del eje de temperaturas. En el caso de $T_{ef} = 5000$ K, un error de 0.3 dex en la metalicidad implica una diferencia aproximada del 0.3 % en el factor C para todo el intervalo de metalicidades. Estas diferencias disminuyen incluso para temperaturas más bajas, llegando a desaparecer a 4000 K. Sin embargo, los errores son más importantes para

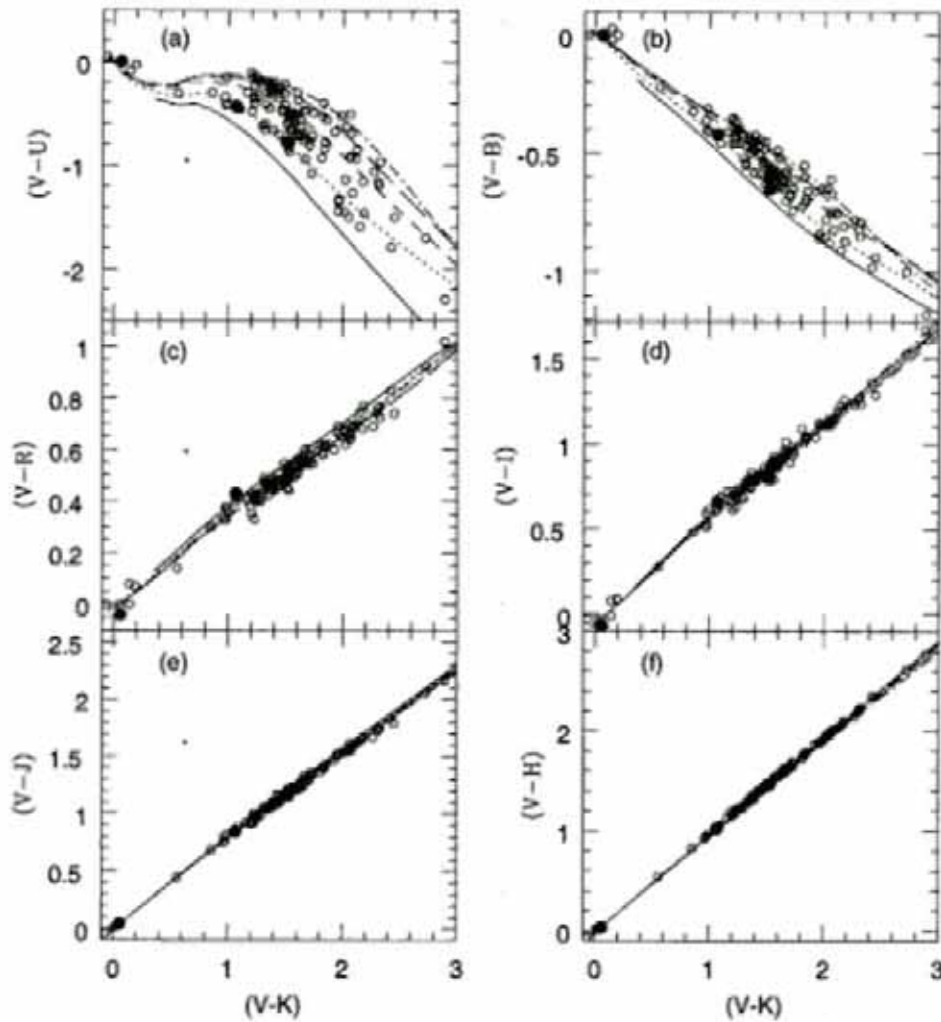


Figura 21: Colores sintéticos calculados a partir de las distribuciones de flujo de los modelos de Kurucz (1991, 1993) en diagramas $(V-K)$ -color, según diferentes metalicidades $+0.5$ (línea continua), 0.0 (línea de punto), -1.0 (línea de trazos cortos), -2.0 (línea de trazos largos) y -3.0 (línea de trazos y puntos), y $\log(g)=4.0$. Los círculos corresponden a los colores observados para la muestra seleccionada. Los puntos negros representan de izqda. a drcha. Vega, Proción y el Sol. Los colores $(V-I)_{sin}$ y $(V-R)_{sin}$ se han recalibrado para llevarlos al comportamiento observado (véase el texto para un mayor detalle sobre esta cuestión).

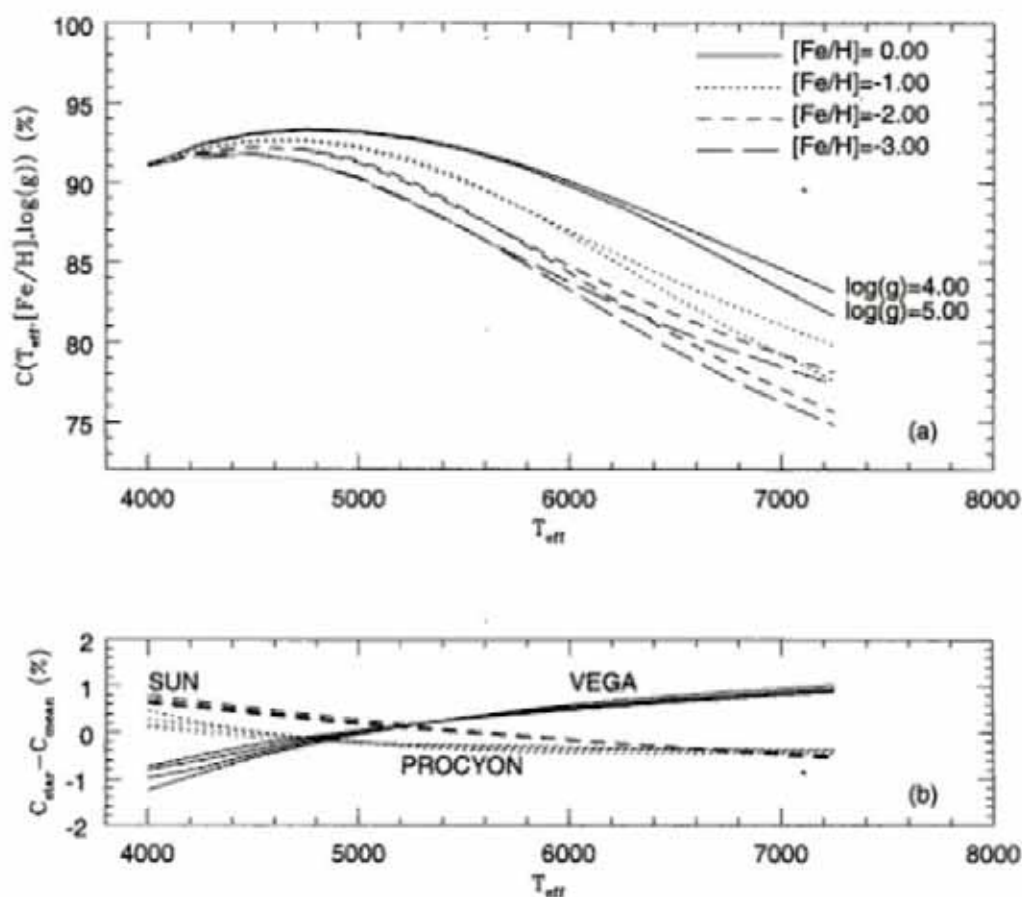


Figura 22: (a) Factores C calculados, usando una ley de integración trapezoidal a partir de los flujos monocromáticos derivados con la fotometría UBVRIJHK (Ec. 36), como función de la temperatura efectiva. Se consideran diferentes metalicidades y gravedades superficiales. (b) Diferencias porcentuales entre los factores C calculados usando como punto cero tres estrellas (Vega, Proción y el sol), respecto a la corrección adoptada (factores C promediados). La notación para el tipo de líneas es la misma que en la figura (a).

las estrellas calientes. En el caso de una estrella de 7000 K, un error de 0.3 dex en la metalicidad significará una diferencia aproximada del 1 % para $0 > [Fe/H] > -1$, del 0.6% para $-1 > [Fe/H] > -2$, y del 0.2% para $-2 > [Fe/H] > -3$. Nótese, sin embargo que no hay estrellas en la muestra con metalicidades menores de -1.5 y más calientes de 6500 K. Así, en la práctica, un error típico en la estimación de metalicidad tiene una influencia despreciable sobre el factor C obtenido para una estrella.

Finalmente, el efecto de la incertidumbre en el valor de la temperatura inicialmente adoptada es sólo importante para las estrellas más calientes. En el caso de un error de 200 K en una estrella de 7000 K, el factor C resulta alterado en un 1%. En cualquier caso, como se señaló en la sección 4.2.1, el método será iterado variando el valor de la temperatura, con el objeto de minimizar posibles errores en la estimación inicial.

De la discusión precedente, podemos concluir con certeza que una estimación razonable de los parámetros físicos de la estrella transmite solamente errores menores en el cálculo de los factores C.

4.3 La aplicación del método

4.3.1 La selección de la muestra

La muestra seleccionada para el estudio de la corrección bolométrica, constituye un subconjunto de la muestra formada para el programa general que se describe en el capítulo 2. De este programa general se extrajeron todas las estrellas con fotometría UBVRJHK, imponiendo además los siguientes criterios adicionales: (a) tipos espectrales en el intervalo [F0-K5] ($0.8 < (V - K) < 3.0$), y (b) clases de luminosidad V-VI ($4 < \log(g) < 5$, y $0.5 < [Fe/H] < -3.5$). Las estrellas seleccionadas, se analizaron posteriormente en los diagramas color-color, para eliminar aquellas con peculiaridades fotométricas (es decir, binarias, variables, clasificaciones erróneas...) La identificación de estrellas enrojecidas es un punto de particular preocupación para el presente estudio. Por un lado, la extinción interestelar tiene un efecto similar al de la metalicidad sobre los colores fotométricos, y además lleva a subestimar el flujo bolométrico. Sin embargo, dado que la mayor parte de las estrellas consideradas son brillantes, en general están próximas al Sol y cabe esperar que se encuentren libres de enrojecimiento. Además, las estrellas seleccionadas emiten sólo una pequeña fracción de su flujo en el UV, donde la

absorción interestelar es más intensa. $E(B-V)$ se determinó para cada estrella aplicando la calibración de Schuster y Nissen (1989), siempre que se dispuso de fotometría $ubvy - \beta$ (para lo cual se consideró la siguiente equivalencia: $-0.025 < E(b-y) < 0.025$ equivalente a $E(B-V)=0.0$, en el resto de los casos $E(B-V)=1.37E(b-y)$), o se tomó de trabajos basados en mapas de enrojecimiento (Laird et al. 1987, Beers et al. 1990). Como ley de enrojecimiento se adoptó la siguiente: $A_V = 3.1E(B - V)$, $A_U = 1.58A_V$, $A_B = 1.31A_V$, $A_R = 0.73A_V$, $A_I = 0.52A_V$, $A_J = 0.30A_V$, $A_H = 0.24A_V$, $A_K = 0.15A_V$, tomada de la compilación de Landolt-Börnstein (1982c). Como resultado la fotometría de cinco estrellas (HR6755, HD87140, HD149414, HD161770 y HD163810) se corrigió de acuerdo con la ley de enrojecimiento especificada.

La tabla 23 contiene la muestra seleccionada junto con las gravedades y metalicidades estimadas, los enrojecimientos y los datos fotométricos. La asignación de la metalicidad se describe convenientemente en el capítulo 5. Las gravedades superficiales se asignaron de acuerdo con la clase de luminosidad y la temperatura efectiva. La incertidumbre esperable se sitúa en torno a ± 0.3 dex. Los datos fotométricos necesarios para la aplicación del método proceden de diversas fuentes. La fotometría UBVRI se tomó de los trabajos de CA&C, Sandage y Kowall (1986) y Johnson et al. (1966). La mayor parte de los datos JHK fueron medidos directamente para este programa (capítulo 2), el resto se extrajeron de Carney (1983) y Johnson et al. (1966).

4.3.2 La calibración absoluta de los flujos

La calibración absoluta del flujo en la región del visible se ha establecido con buena precisión a partir de los trabajos independientes de Hayes y Latham (1975) (HL75), y Tüg et al. (1977) (TWL77) que han medido el flujo de Vega. Aunque ambas calibraciones coinciden en un margen del 2 % desde 3000 Å a 10000 Å, hemos preferido la calibración de TWL77 por dos razones: (1) Queda a medio camino entre HL75 y la calibración de referencia que proporciona la compilación de Landolt-Börnstein (1982b) para el sistema UBVRI de Johnson, y (2) El muestreo y la resolución espectral encajan mejor con los métodos y propósitos de nuestro trabajo. En TWL77 el flujo de Vega se muestrea en pasos de 50-100 Å empleando un filtro plano de 10-20 Å de anchura, que es ligeramente menos denso que el muestreo de los modelos (20 Å en la misma región). En lo que concierne a la calibración del flujo IR, se ha aplicado el método descrito en el capítulo 3, basado en las

determinaciones directas de los diámetros angulares de algunas estrellas. Las longitudes de onda consideradas en las bandas JHK fueron aquellas de los modelos de Kurucz más próximas a las longitudes de onda efectivas con el objeto de evitar interpolaciones innecesarias en el cálculo del flujo integrado $F_{V-K}(tierra)$. (Consúltense los capítulos 3 y 5 para una explicación más detallada de dicha calibración).

4.3.3 El procedimiento iterativo: los resultados

Mediante la asignación de una temperatura de prueba para cada estrella de la muestra (a partir de la calibración multiparamétrica descrita en Martínez-Roger et al. 1992), se obtuvo un primer valor estimativo del factor C tal y como se definió en la Ec. (36). Una vez hecho esto, se aplicó el MFI para obtener una nueva aproximación a la temperatura efectiva, empleando los flujos derivados a partir del método descrito en la sección 2. Este procedimiento proporcionaba convergencia tras tres o cuatro iteraciones. Es interesante señalar que, para la mayoría de las estrellas, las diferencias entre los flujos obtenidos en la aproximación inicial y el resultado final son pequeñas (del orden de algunos tantos por ciento), como consecuencia de la relativamente baja sensibilidad de los factores C a la T_{ef} . La estabilidad del procedimiento fue comprobada modificando el valor de la temperatura inicial de prueba en ± 200 K, y verificando que, al cabo de algunas iteraciones, se alcanzaban los mismos valores finales del $F_{Bol}(tierra)$. Los valores del flujo bolométrico y de los factores C obtenidos en la última iteración se presenta en las columnas 6 y 9 de la tabla 23. También se presentan en la columna 3 las temperaturas efectivas derivadas mediante el MFI.

En este punto es interesante analizar la influencia de los errores fotométricos sobre los resultados finales de la aplicación del método. Se simuló la influencia de ruido Gaussiano con una amplitud de ± 0.03 magnitudes en cada una de las bandas fotométricas, el cambio medio de los flujos bolométricos fue casi nulo, y el único efecto apreciable fue un aumento de la dispersión del $\pm 0.9\%$. Este resultado apoya la idea de que los errores en los datos fotométricos para las diferentes bandas prácticamente cancelan sus efectos sobre el flujo integrado de forma cruzada.

Tabla 23: Las temperaturas efectivas (col. 3), los flujos bolométricos (col. 6), la corrección bolométrica y los flujos reducidos a la magnitud K (cols. 7 y 8), obtenidos para las estrellas de la muestra. Las unidades para los flujos son $\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. Las estrellas corregidas de enrojecimiento están marcadas con un asterisco.

Estrella	$[F_c/H]$	T_{eff}	$(V - K)$	K	$F_{\text{bol}}(\text{tierra})$	$CB(K) \cdot \Phi((V - K), [F_c/H])$	C (%)	
HR321	-0.67	5317	1.804	3.364	0.2545e-08	1.569	0.5630e-04	91.5
HR493	-0.20	5180	1.922	3.317	0.2439e-08	1.662	0.5170e-04	92.7
HR509	-0.46	5403	1.771	1.727	0.1176e-07	1.545	0.5760e-04	91.5
HR753	-0.08	4717	2.385	3.435	0.1687e-08	1.943	0.3990e-04	93.4
HR1925	-0.20	5190	1.919	4.310	0.9790e-09	1.660	0.5180e-04	92.7
HR3775	-0.01	6325	1.157	2.009	0.1408e-07	1.066	0.8950e-04	87.7
HR4039	-0.19	6043	1.313	4.504	0.1264e-08	1.188	0.8000e-04	88.8
HR4540	0.21	6088	1.273	2.334	0.9408e-08	1.178	0.8070e-04	90.0
HR4550	-1.42	4989	2.029	4.419	0.8345e-09	1.725	0.4880e-04	91.6
HR4623	-0.60	6998	0.810	3.206	0.6436e-08	0.721	0.1230e-03	81.8
HR5384	0.00	5628	1.570	4.698	0.8580e-09	1.415	0.6490e-04	91.4
HR5634	0.05	6551	1.021	3.905	0.2737e-08	0.948	0.9980e-04	86.7
HR5830	-0.13	6741	0.923	4.823	0.1277e-08	0.862	0.1080e-03	84.9
HR5914	-0.37	5739	1.479	3.138	0.3848e-08	1.345	0.6920e-04	90.1
HR5986	0.23	6089	1.252	2.755	0.6327e-08	1.188	0.8000e-04	90.1
HR6806	-0.25	4967	2.144	4.255	0.9143e-09	1.789	0.4600e-04	93.1
HR8085	-0.05	4366	2.857	2.353	0.3720e-08	2.173	0.3230e-04	92.8
G012-021	-1.40	5975	1.363	8.794	0.2434e-10	1.187	0.8010e-04	86.5
G090-025	-1.82	5410	1.700	6.552	0.1470e-09	1.477	0.6130e-04	89.4
HD21543	-0.55	5586	1.593	6.665	0.1406e-09	1.412	0.6510e-04	90.5
HD26965	-0.17	5029	2.042	2.386	0.5290e-08	1.752	0.4760e-04	93.1
HR3064	0.00	5760	1.489	3.668	0.2359e-08	1.347	0.6910e-04	90.7
HR4983	0.10	5967	1.345	2.912	0.5242e-08	1.237	0.7650e-04	89.8
G064-037	-2.50	6362	1.160	9.936	0.1016e-10	0.992	0.9580e-04	81.9
G014-045	-0.21	4481	2.686	8.174	0.1866e-10	2.095	0.3470e-04	93.0
G043-003	-2.49	6307	1.195	7.116	0.1348e-09	1.007	0.9450e-04	81.7
HD88725	-0.78	5640	1.529	6.198	0.2240e-09	1.372	0.6750e-04	89.8
G065-047	-0.29	5623	1.560	4.708	0.8555e-09	1.408	0.6530e-04	90.8
G017-021	-0.75	5849	1.422	5.855	0.3385e-09	1.267	0.7440e-04	88.7
G125-004	-0.42	4936	2.136	6.723	0.9259e-10	1.808	0.4520e-04	92.9
HD184499	-0.69	5745	1.489	5.138	0.6186e-09	1.330	0.7020e-04	89.4
HD201891	-1.22	5904	1.394	5.973	0.3149e-09	1.228	0.7710e-04	87.4
G126-062	-1.80	5920	1.401	8.061	0.4658e-10	1.215	0.7800e-04	86.1
HD216777	-0.42	5587	1.590	6.418	0.1748e-09	1.423	0.6440e-04	90.8
HD219617	-1.63	6038	1.353	6.809	0.1557e-09	1.157	0.8230e-04	84.3
HR7603	0.14	5693	1.477	4.470	0.1082e-08	1.390	0.6640e-04	91.4
HD7504	0.08	5661	1.488	4.709	0.8564e-09	1.407	0.6540e-04	91.4
HD114095	-1.60	4539	2.414	5.935	0.1611e-09	1.993	0.3810e-04	92.1
BD+20 3603	-2.20	6274	1.182	8.574	0.3420e-10	1.037	0.9190e-04	82.3
HD163810	-1.50	5573	1.630	7.998	0.4242e-10	1.379	0.6710e-04	89.0
HD163810*	-1.50	5645	1.580	7.988	0.4400e-10	1.339	0.6960e-04	88.5
Sol	0.00	5780 ¹	1.483	-28.236	0.1340e+05	1.366	0.6790e-04	90.7
HR2943	0.05	6510 ¹	1.014	-0.648	0.1835e-06	0.935	0.1010e-03	87.0

Tabla 23 (continuación)

Estrella	[Fe/H]	T_{eff}	(V - K)	K	$F_{bol}(tierra)$	CB(K)	$\Phi((V - K), [Fe/H])$	C (%)
G064-012	-2.85	6407	1.150	10.271	0.7773e-11	0.949	0.9970e-04	80.8
HD3567	-1.30	5883	1.394	7.854	0.5636e-10	1.215	0.7800e-04	87.3
HD188510	-1.70	5570	1.615	7.232	0.8506e-10	1.390	0.6640e-04	88.7
HD194598	-1.24	6026	1.338	6.999	0.1293e-09	1.169	0.8140e-04	85.7
HD161770	-2.30	4997	2.022	7.657	0.4415e-10	1.679	0.5090e-04	90.8
HD161770*	-2.30	5162	1.894	7.635	0.4894e-10	1.587	0.5540e-04	90.0
HD132475	-1.85	5636	1.565	6.982	0.1102e-09	1.358	0.6840e-04	88.0
HD134169	-0.85	5833	1.426	6.251	0.2323e-09	1.280	0.7350e-04	88.6
HD87140	-1.67	5050	1.985	6.993	0.8122e-10	1.679	0.5090e-04	91.2
HD87140*	-1.67	5208	1.856	6.972	0.8996e-10	1.591	0.5520e-04	90.6
HD45282	-1.60	5154	1.887	6.142	0.1880e-09	1.621	0.5370e-04	90.9
HD97916	-1.04	6445	1.115	8.082	0.5789e-10	0.959	0.9880e-04	83.7
G074-005	-1.10	5705	1.524	7.248	0.8858e-10	1.330	0.7020e-04	88.9
G100-054	-1.26	5333	1.786	7.512	0.5748e-10	1.535	0.5810e-04	90.6
G098-058	-1.87	5323	1.788	7.130	0.8301e-10	1.519	0.5900e-04	89.8
G009-016	-4.31	6797	0.936	8.380	0.5108e-10	0.794	0.1150e-03	80.9
G114-026	-1.50	5810	1.444	8.204	0.3923e-10	1.259	0.7490e-04	87.5
G048-029	-2.55	6337	1.187	9.280	0.1891e-10	0.975	0.9730e-04	81.5
G012-021	-1.23	5984	1.363	8.794	0.2435e-10	1.187	0.8010e-04	86.8
HD4657	-0.78	6218	1.218	4.889	0.9775e-09	1.082	0.8820e-04	85.8
G019-027	-0.60	5424	1.690	6.453	0.1584e-09	1.495	0.6030e-04	91.2
G182-019	-0.71	5732	1.464	6.903	0.1221e-09	1.327	0.7040e-04	89.4
HD338529	-2.58	6311	1.213	8.139	0.5247e-10	1.008	0.9440e-04	81.6
G190-015	-3.23	5111	1.942	9.097	0.1240e-10	1.617	0.5390e-04	89.4
HD140283	-2.37	5647	1.555	5.663	0.3794e-09	1.336	0.6980e-04	87.1
HD19445	-2.22	6105	1.328	6.729	0.1760e-09	1.104	0.8640e-04	83.3
HD90508	-0.23	5653	1.521	4.916	0.7137e-09	1.397	0.6600e-04	90.8
HD25329	-1.64	4735	2.269	6.235	0.1374e-09	1.867	0.4280e-04	92.0
HD94028	-1.50	6044	1.336	6.891	0.1463e-09	1.143	0.8340e-04	85.0
HD101606	-0.82	6287	1.177	4.550	0.1390e-08	1.040	0.9170e-04	85.2
HD103095	-1.35	5022	2.019	4.429	0.8339e-09	1.716	0.4920e-04	91.6
HD106516	-0.78	6217	1.218	4.889	0.9774e-09	1.082	0.8820e-04	85.8
HD132142	-0.55	5097	1.978	5.820	0.2347e-09	1.700	0.4990e-04	92.4
HD134439	-1.52	4964	2.070	7.019	0.7479e-10	1.743	0.4800e-04	91.6
HD134440	-1.57	4755	2.277	7.182	0.5690e-10	1.877	0.4240e-04	92.0
HD149414	-1.34	4984	2.083	7.546	0.4609e-10	1.743	0.4800e-04	91.7
HD149414*	-1.34	5039	2.032	7.536	0.4789e-10	1.711	0.4940e-04	91.6
HD201889	-1.10	5608	1.580	6.467	0.1707e-09	1.398	0.6590e-04	89.4
HD6755	-4.32	5040	2.032	5.686	0.2616e-09	1.718	0.4910e-04	91.6
HD6755*	-1.32	5188	1.904	5.664	0.2891e-09	1.631	0.5320e-04	91.1
HD22879	-0.71	5804	1.440	5.228	0.5899e-09	1.292	0.7270e-04	89.0
HD114606	-0.34	5591	1.609	7.118	0.9046e-10	1.437	0.6360e-04	90.9
HD157089	-0.58	5710	1.524	5.473	0.4485e-09	1.344	0.6030e-04	89.8

Tabla 23 (continuación)

Estrella	[Fe/H]	T_{eff}	(V - K)	K	$F_{bol}(tierra)$	CB(K)	$\Phi((V - K), [Fe/H])$	C (%)
HD13403	-0.38	5576	1.616	5.381	0.4455e-09	1.444	0.6320e-04	90.9
HD13783	-0.55	5495	1.667	6.640	0.1352e-09	1.479	0.6120e-04	91.0
HD4307	-0.13	5737	1.504	4.653	0.9360e-09	1.366	0.6790e-04	90.6
BD-01 306	-0.80	5759	1.504	7.573	0.6565e-10	1.331	0.7010e-04	89.1
BD+66 268	-2.90	5255	1.816	8.092	0.3366e-10	1.537	0.5800e-04	88.9
BD+21 607	-1.90	6145	1.308	7.919	0.5878e-10	1.104	0.8640e-04	83.6
HD68017	-0.40	5456	1.666	5.141	0.5250e-09	1.506	0.5970e-04	91.4
BD+54 1216	-1.50	6026	1.318	8.369	0.3720e-10	1.151	0.8280e-04	85.1
HD70958	-0.40	6275	1.181	4.425	0.1519e-08	1.067	0.8940e-04	86.6
HD80218	-0.40	6110	1.282	5.355	0.5996e-09	1.147	0.8310e-04	87.6
BD+36 2165	-1.40	6201	1.252	8.505	0.3505e-10	1.080	0.8840e-04	84.3
HD108177	-2.00	6139	1.303	8.364	0.3934e-10	1.096	0.8710e-04	83.5
HD108754	-0.50	5334	1.797	7.221	0.7270e-10	1.571	0.5620e-04	91.7
BD+73 566	-1.00	5645	1.555	7.743	0.5416e-10	1.369	0.6770e-04	89.4
BD+34 2476	-2.30	6296	1.212	8.835	0.2752e-10	1.012	0.9410e-04	82.0
HD123710	-1.32	5730	1.474	6.733	0.1453e-09	1.308	0.7160e-04	88.3
BD+26 2606	-2.54	6043	1.353	8.364	0.3797e-10	1.135	0.8400e-04	83.3
BD+42 2667	-1.63	6059	1.343	8.513	0.3266e-10	1.148	0.8300e-04	84.7
HD144515	-0.60	4842	2.232	6.047	0.1621e-09	1.875	0.4250e-04	92.8
BD+02 3375	-2.55	5874	1.444	8.503	0.3079e-10	1.222	0.7750e-04	85.2
HD181007	-2.30	4633	2.287	7.307	0.5034e-10	1.885	0.4210e-04	91.7
BD+04 4674	-0.90	5738	1.495	7.001	0.1104e-09	1.338	0.6970e-04	89.0
HD221950	-0.70	6325	1.172	4.514	0.1436e-08	1.040	0.9170e-04	85.4
HD74000	-2.00	6207	1.245	8.392	0.3933e-10	1.069	0.8930e-04	83.0
vB 17	0.10	5543	1.625	6.833	0.1140e-09	1.472	0.6160e-04	92.0
vA 60	0.10	5757	1.484	6.574	0.1623e-09	1.347	0.6910e-04	91.0
vA 79	0.10	6733	0.929	5.388	0.7594e-09	0.862	0.1080e-03	85.8
vA 215	0.10	6684	0.949	5.658	0.5826e-09	0.872	0.1070e-03	86.1
vA 49	0.10	5874	1.403	6.835	0.1358e-09	1.280	0.7350e-04	90.3
vA 315	0.10	6505	1.051	5.916	0.4222e-09	0.967	0.9810e-04	87.1
vA 560	0.10	5176	1.918	7.171	0.6942e-10	1.672	0.5120e-04	93.2
vA 625	0.10	6093	1.272	6.505	0.2036e-09	1.169	0.8140e-04	89.5
vA 692	0.10	5488	1.686	6.971	0.9674e-10	1.511	0.5940e-04	92.2
vA 712	0.10	5080	2.009	7.389	0.5338e-10	1.740	0.4810e-04	93.4
vA 747	0.10	5002	2.110	7.579	0.4268e-10	1.794	0.4580e-04	93.5
vA 748	0.10	5830	1.444	6.494	0.1807e-09	1.310	0.7150e-04	90.6
vA 778	0.10	5118	1.969	7.409	0.5365e-10	1.714	0.4930e-04	93.3

(1) Las temperaturas consideradas para el Sol y Prócion son las de

la tabla 22. El MFI proporciona 5763 K para el Sol y 6580K para Prócion.

4.3.4 La calibración fotométrica del flujo integrado

Blackwell y Petford (1991) presentan una relación empírica del flujo estelar integrado para estrellas de población I con el color (V-K) y la magnitud K. Una representación de esta forma es especialmente útil para el propósito del presente trabajo, ya que (V-K) es un color disponible para un gran número de estrellas (en particular para todas las de la muestra descrita en el capítulo 2), y es además muy sensible a la temperatura. Sin embargo, la presente calibración ha de dar cuenta de los efectos de la metalicidad, y por tanto hemos buscado una relación empírica de la forma:

$$F_{Bol}(tierra) = 10^{-0.4K} \Phi((V - K), [Fe/H], \log(g)) \quad (43)$$

donde K es la magnitud fotométrica relativa en la banda K ¹, y la función Φ es el así denominado "flujo reducido", que depende tanto de la temperatura como de la metalicidad. Hemos preferido reducir el flujo bolométrico con K (en lugar de V como se hace en BP91), ya que, para la muestra estudiada, esta magnitud se ha obtenido de forma más homogénea y precisa. Para aligerar la notación, y puesto que el trabajo está restringido al estudio de estrellas enanas y subenanas, la dependencia explícita de la gravedad superficial será omitida en lo sucesivo. La función $\Phi((V - K), [Fe/H])$ se ha calculado empleando los valores del F_{Bol} obtenidos al aplicar el método descrito anteriormente a las estrellas de la muestra, y las magnitudes K dadas en la tabla 23. El resultado se ha expresado como una función polinómica de tercer orden en (V-K) y primer orden en [Fe/H]. Tras cierto número de pruebas, el mejor ajuste, obtenido con el método de los mínimos cuadrados, fué el siguiente:

$$\begin{aligned} \Phi((V - K), [Fe/H]) = & 2.38619 \times 10^{-4} - 1.93659 \times 10^{-4}(V - K) \\ & + 6.52621 \times 10^{-5}(V - K)^2 - 7.95862 \times 10^{-6}(V - K)^3 \\ & - 1.01449 \times 10^{-5}[Fe/H] + 8.17345 \times 10^{-6}(V - K)[Fe/H] \\ & - 2.87876 \times 10^{-6}(V - K)^2[Fe/H] + 5.40944 \times 10^{-7}(V - K)^3[Fe/H] \end{aligned} \quad (44)$$

en el intervalo $0.9 < (V - K) \leq 1.7$. La desviación típica de los residuos fue 9.2×10^{-7} (equivalente al 1% para (V-K)=1.0 y 1.5% para (V-K)=1.7). Cinco

¹Por motivos de utilidad, a partir de este punto K y (V-K) serán dados en el sistema de Johnson que es el de uso más extendido en el hemisferio norte. Las transformaciones desde los sistemas del TCS, CIT y ESO se han estudiado en el capítulo 2.

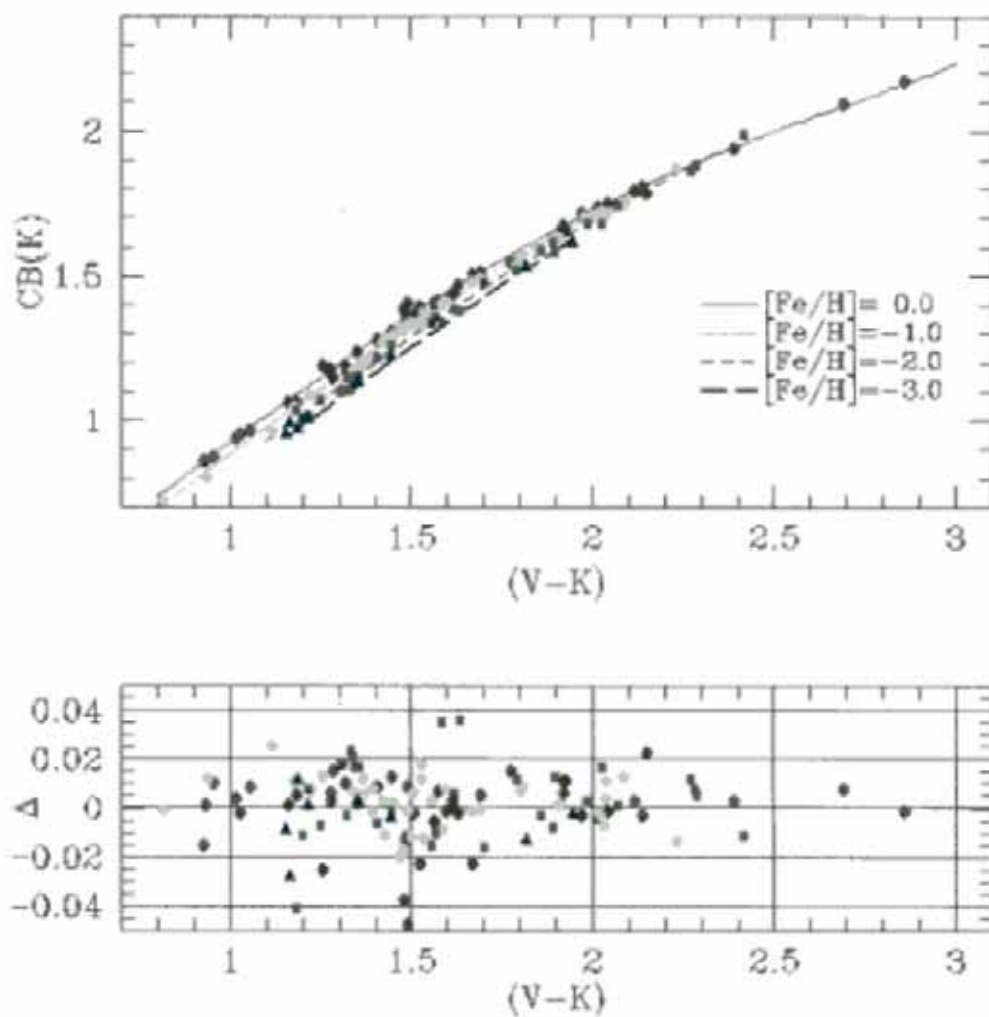


Figura 23: Arriba: La corrección bolométrica a K derivada a partir de la Ec. 47 (líneas). Los puntos corresponden a las correcciones bolométricas individuales de las estrellas de la muestra; círculos: $0.2 < [Fe/H] < -0.5$, pentágonos: $-0.5 < [Fe/H] < -1.5$, cuadrados: $-1.5 < [Fe/H] < -2.5$, triángulos: $[Fe/H] < -2.5$. La parte inferior corresponde a los residuos del ajuste en magnitudes (Δ) separados de acuerdo con la metalicidad.

estrellas mostraron diferencias superiores a 2σ del ajuste medio: BD+20 3603 (3.7%), HR7003 (3.4%), HR7004 (3.8%), HR5986 (2.6%), and G064-037 (2.7%).

$$\begin{aligned} \Phi((V-K), [Fe/H]) = & 2.23403 \times 10^{-4} - 1.71897 \times 10^{-4}(V-K) \\ & + 5.51085 \times 10^{-5}(V-K)^2 - 6.41071 \times 10^{-6}(V-K)^3 \\ & - 3.71945 \times 10^{-5}[Fe/H] + 4.99847 \times 10^{-5}(V-K)[Fe/H] \\ & - 2.41517 \times 10^{-5}(V-K)^2[Fe/H] + 4.10655 \times 10^{-6}(V-K)^3[Fe/H] \end{aligned} \quad (45)$$

en el intervalo $1.7 < (V-K) \leq 2.9$. La desviación típica de los residuos es 6.9×10^{-7} (1.0% for $(V-K)=1.7$ and 2% for $(V-K)=3.0$). Es notable la pequeña dispersión de los puntos observados en torno al ajuste medio, que reproduce los flujos observados con una precisión mejor del 2%. Puede apreciarse que el efecto de la metalicidad disminuye hacia las temperaturas más frías, y desaparece en torno a $(V-K) \approx 2.5$. Las fórmulas derivadas son aplicables en los siguientes intervalos de color y metalicidad: $0.8 < (V-K) < 3.0$ si $+0.2 > [Fe/H] > -0.5$; $0.9 < (V-K) < 2.6$ si $-0.5 > [Fe/H] > -1.5$; $1.1 < (V-K) < 2.3$ si $-1.5 > [Fe/H] > -2.5$; y $1.2 < (V-K) < 2.0$ si $-2.5 > [Fe/H] > -3.0$.

El flujo reducido puede convertirse en corrección bolométrica a la magnitud K o V simplemente aplicando las siguientes definiciones

$$CB(V) = -2.5 \log\left(\frac{\Phi((V-K), [Fe/H])}{\Phi_{\odot}}\right) + CB_{\odot}(V) \quad (46)$$

$$CB(K) = -2.5 \log\left(\frac{\Phi((V-K), [Fe/H])}{\Phi_{\odot}}\right) + CB_{\odot}(K) \quad (47)$$

El punto cero empírico se ha establecido con el Sol, para el cual se adoptaron los siguientes valores en el sistema de Johnson: $(V-K)_{\odot} = 1.486$, $CB_{\odot}(V) = -0.12$ y $CB_{\odot}(K) = 1.366$. Se consideró además un desplazamiento adicional del cero por valor de 0.012 mag, para dar cuenta de la diferencia entre el flujo predicho para el Sol por la Ec. (44) ($1.355 \times 10^6 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$) y su valor experimentalmente medido ($1.370 \times 10^6 \text{ erg s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$). La tabla 24 contiene la corrección bolométrica a las magnitudes K y V de acuerdo con este cálculo. La parte superior de la figura 23 muestra las líneas empíricas derivadas a partir de la expresión (47) dibujadas sobre los puntos individuales correspondientes a las estrellas de la muestra. La parte inferior de la

figura 23 muestra los residuos del ajuste en cuatro intervalos de metalicidad. Aparentemente no hay efectos sistemáticos remanentes en el ajuste. Los límites de aplicación en color y metalicidad pueden leerse fácilmente de la propia figura.

4.4 La comparación con otras determinaciones

4.4.1 Blackwell y Petford (1991)

Los flujos determinados para las estrellas de la muestra se han comparado con los que se derivan a partir de la calibración de Blackwell y Petford (1991). Los flujos bolométricos de BP91 están basados en datos espectrofotométricos de gran calidad para una muestra de 114 estrellas de población I, y constituyen una buena referencia para la comparación. La Fig. 24a muestra el cociente entre los flujos obtenidos aplicando la fórmula de BP91, y los flujos calculados a través de las Ecs. 44 y 45. Dado que la muestra seleccionada por BP91 no contiene estrellas de población II, se puede observar una clara diferencia con la metalicidad variable según el color (Fig. 24a). Sin embargo ha de resaltarse el buen acuerdo encontrado para las estrellas de población I. En la Fig. 24a se han empleado diferentes clases de símbolos para separar diversos grupos de metalicidades. Los puntos de igual metalicidad se agrupan en torno a líneas rectas de pendiente variable con la metalicidad. Otro punto destacable de la comparación, es el hecho de que no parecen existir efectos relacionados con la clase de luminosidad en la escala de flujos bolométricos, dado que la mayor parte de las estrellas en la muestra de BP91 son gigantes. Se ha derivado una corrección a la fórmula de BP91 para incluir los efectos de la metalicidad, que tiene la forma de función polinómica de primer orden en $(V-K)$ y $[Fe/H]$:

$$F_{Bol}((V-K), [Fe/H]) = (1.015 - 1.162 \times 10^{-3}(V-K) - 7.968 \times 10^{-2}[Fe/H] + 3.007 \times 10^{-2}(V-K)[Fe/H])F_{Bol}(BP91) \quad (48)$$

la desviación típica de los residuos es del 1.2%. Seis estrellas tienen diferencias del promedio superiores a 2σ : HD68017 (2.4%), G182-019 (2.4%), HD90508 (2.7%), G064-037 (3.1%), HD114095 (3.4%) and BD+20 3603 (4.2%). En la Fig. 24a, las líneas de la relación (48) correspondientes a $[Fe/H] =$

Tabla 24: Corrección bolométrica a la magnitud K para metalicidades 0, -1, -2 and -3, según la ecuación 47. Los datos entre paréntesis se han extrapolado ligeramente.

$(V - K)$	CB(K)			
	$[Fe/H] = 0.00$	$[Fe/H] = -1.0$	$[Fe/H] = -2.0$	$[Fe/H] = -3.0$
0.800	0.738	—	—	—
0.825	0.762	—	—	—
0.850	0.785	0.740	—	—
0.875	0.808	0.763	—	—
0.900	0.831	0.786	—	—
0.925	0.855	0.810	—	—
0.950	0.878	0.833	—	—
0.975	0.901	0.856	—	—
1.000	0.924	0.879	—	—
1.025	0.947	0.903	—	—
1.050	0.970	0.926	—	—
1.075	0.993	0.949	—	—
1.100	1.016	0.972	(0.929)	—
1.125	1.039	0.995	(0.952)	—
1.150	1.062	1.018	0.975	(0.934)
1.175	1.084	1.040	0.998	(0.958)
1.200	1.107	1.063	1.021	0.981
1.225	1.129	1.086	1.044	1.004
1.250	1.151	1.108	1.066	1.026
1.275	1.173	1.130	1.089	1.049
1.300	1.195	1.153	1.112	1.072
1.325	1.217	1.175	1.134	1.095
1.350	1.239	1.197	1.156	1.117
1.375	1.260	1.219	1.178	1.140
1.400	1.282	1.240	1.200	1.162
1.425	1.303	1.262	1.222	1.184
1.450	1.324	1.283	1.244	1.206
1.475	1.345	1.305	1.266	1.229
1.500	1.366	1.326	1.288	1.251
1.525	1.386	1.347	1.309	1.272
1.550	1.406	1.368	1.330	1.294
1.575	1.426	1.388	1.351	1.316
1.600	1.446	1.409	1.372	1.337
1.625	1.466	1.429	1.393	1.359
1.650	1.485	1.449	1.414	1.380
1.675	1.504	1.469	1.435	1.401
1.700	1.522	1.489	1.457	1.425
1.725	1.541	1.508	1.477	1.446
1.750	1.559	1.527	1.497	1.467
1.775	1.577	1.546	1.517	1.488
1.800	1.595	1.565	1.536	1.508
1.825	1.612	1.584	1.556	1.528
1.850	1.629	1.602	1.575	1.548

Tabla 24 (continuación)

$(V - K)$	$[Fe/H] = 0.00$	$[Fe/H] = -1.0$	$[Fe/H] = -2.0$	$[Fe/H] = -3.0$
1.875	1.647	1.620	1.594	1.568
1.900	1.663	1.638	1.612	1.588
1.925	1.680	1.655	1.631	1.607
1.950	1.696	1.673	1.649	1.627
1.975	1.713	1.690	1.668	1.646
2.000	1.728	1.707	1.686	1.665
2.025	1.744	1.724	1.704	—
2.050	1.760	1.740	1.722	—
2.075	1.775	1.757	1.739	—
2.100	1.790	1.773	1.757	—
2.125	1.805	1.790	1.775	—
2.150	1.819	1.806	1.793	—
2.175	1.833	1.822	1.810	—
2.200	1.848	1.838	1.828	—
2.225	1.861	1.854	1.846	—
2.250	1.875	1.869	1.864	—
2.275	1.889	1.885	1.882	—
2.300	1.902	1.901	1.900	—
2.325	1.915	1.917	1.919	—
2.350	1.928	1.933	1.938	—
2.375	1.940	1.949	1.957	—
2.400	1.953	1.965	1.976	—
2.425	1.965	1.981	1.996	—
2.450	1.977	1.997	2.017	—
2.475	1.989	2.013	—	—
2.500	2.001	(2.030)	—	—
2.525	2.013	—	—	—
2.550	2.025	—	—	—
2.575	2.036	—	—	—
2.600	2.048	—	—	—
2.625	2.059	—	—	—
2.650	2.071	—	—	—
2.675	2.082	—	—	—
2.700	2.093	—	—	—
2.725	2.105	—	—	—
2.750	2.116	—	—	—
2.775	2.127	—	—	—
2.800	2.139	—	—	—
2.825	2.150	—	—	—
2.850	2.162	—	—	—
2.875	2.173	—	—	—
2.900	2.185	—	—	—
2.925	2.197	—	—	—
2.950	2.209	—	—	—
2.975	2.222	—	—	—
3.000	(2.234)	—	—	—

0, -1, -2, -3 se han dibujado sobre los puntos calculados. Los flujos determinados en la sección 3 tienen un desplazamiento constante respecto a los de BP91 del orden de 1.4% en todo el intervalo de color. Esto tiene su explicación, si tenemos en cuenta que la calibración absoluta del flujo en las bandas UBVR_I adoptada por BP91 (a saber HL75) está sistemáticamente desplazada en un 1-2 % de la que hemos adoptado en este trabajo (a saber TWL77). Estas diferencias, aunque sistemáticas, están dentro del margen de error experimental de la calibración absoluta del flujo. Podemos resumir este apartado señalando que el presente trabajo concuerda con BP91 para las estrellas de población I, y que la Ec. (48) permite incluir en la fórmula BP91 el efecto de la metalicidad que ésta no consideraba.

4.4.2 Carney y Aaronson (1979) y Carney (1983)

CA&C derivan la corrección bolométrica a V para 129 estrellas enanas y subenanas. Para las 100 estrellas comunes con nuestra muestra, estos valores han sido transformados a flujos adoptando los siguientes parámetros para el Sol: $L_{\odot} = 1.370 \cdot 10^6 \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $CB_{\odot}(V) = -0.12$, y $V_{\odot} = -26.75$. En la Fig. 24b se comparan los flujos obtenidos de esta forma con los de la tabla 23. A partir de esta figura se puede observar una tendencia de aumento de los cocientes con la temperatura (en torno al 7% en el intervalo completo de color (V-K)). Las diferencias sistemáticas entre las calibraciones absolutas adoptadas en las bandas del visible y del IR pueden dar cuenta de esta tendencia. De hecho, es interesante señalar que la calibración absoluta empleada por CA&C difiere de la adoptada en este trabajo según los siguientes valores: +13% (U), +2% (B), +6% (V), -5% (R), +2% (I), -4% (J), -3% (H) y -4% (K). Si se consideran los cocientes frente a la metalicidad, eliminando la tendencia con el color, no existe ninguna diferencia destacable. Por tanto, parece que CA&C y el presente trabajo predicen un comportamiento similar de la corrección bolométrica para las estrellas subenanas. La principal ventaja del presente trabajo respecto a CA&C estriba en el empleo de calibraciones absolutas revisadas y nuevos modelos de atmósferas, más perfeccionados.

4.4.3 Otros trabajos

Respecto a otros trabajos donde los flujos estelares se han derivado de forma extensiva, hemos considerado aquellos desarrollados por Saxner y Hammarbäck

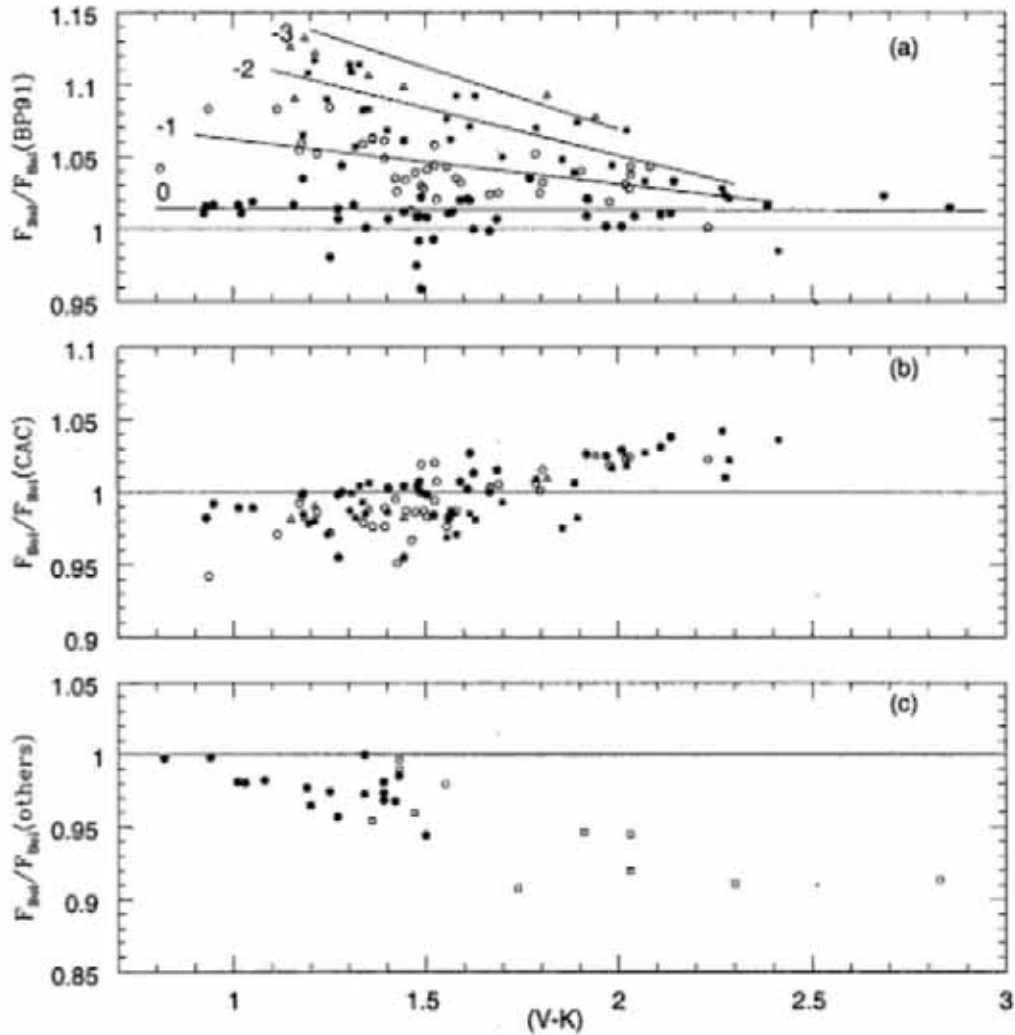


Figura 24: (a) Cocientes entre los flujos presentados en este trabajo y los obtenidos por BP91, frente a $(V-K)$. Las estrellas se han separado de acuerdo con la metalicidad. Círculos: $-0.5 < [Fe/H] < -0.2$, pentágonos: $-1.5 < [Fe/H] < -0.5$, cuadrados: $-2.5 < [Fe/H] < -1.5$, triángulos: $[Fe/H] < -2.5$. Las líneas de metalicidad 0.0, -1.0, -2.0, -3.0 según la Ec. 48 se muestran para ilustrar el efecto de la metalicidad sobre la escala de flujos. (b) Cocientes entre los flujos presentados en este trabajo y los obtenidos por CA&C (vease el texto para más detalles). Los símbolos tienen el mismo significado que en (a). (c) Cocientes entre los flujos presentados en este trabajo y los obtenidos por Bell y Gustafson (1989), y Saxner y Hammarbäck (1985). En este caso, todas las estrellas consideradas están en el intervalo $[Fe/H] < -0.5$. Círculos: BG89, cuadrados: SH85.

(1985, SH85), y Bell y Gustafson (1989, BG89). Ambos trabajos se basan en métodos similares al que se aplica aquí, empleando fotometría de 13-colores (Johnson y Mitchell 1975), medidas de flujo en el UV y fotometría IR de banda ancha. Con el objeto de realizar la comparación, se han utilizado los datos fotométricos proporcionados en estos trabajos para obtener los flujos bolométricos mediante las expresiones (44) y (45). El análisis de los resultados permite extraer dos conclusiones principales: Hay una notable diferencia en los puntos de cero, así como también apreciables efectos sistemáticos con la temperatura como puede verse en la Fig. 24c. Probablemente ambos puntos están relacionados con las diferentes calibraciones absolutas adoptadas. En las bandas del visible la calibración del sistema de 13-colores difiere de la calibración aquí adoptada según los siguientes valores: -3% (filtro 35 cercano a la λ_{ef} de la banda U), -7% (filtro 45 cercano a la λ_{ef} de la banda B), +1% (filtro 52 cercano a la λ_{ef} de la banda V), -2% (filtro 72 cercano a la λ_{ef} de la banda R) y +5% (filtro 86 cercano a la λ_{ef} de la banda I). En las bandas del IR, las diferencias en la calibración absoluta son +5% (J) y +3% (K). La principal limitación de estos trabajos es el pequeño número de estrellas pobres en metales consideradas. De hecho, prácticamente están restringidos a estrellas de población I.

En este capítulo se presenta un método para derivar los flujos bolométricos de las estrellas F-K de la Secuencia Principal, a partir de datos fotométricos de banda ancha UBVRJHK, que considera el efecto de la metalicidad. La principal ventaja de este método es su aplicabilidad general, ya que simplemente requiere el empleo de fotometría de banda ancha y modelos de flujos estelares. Desde el punto de vista teórico, presenta la dificultad de los posibles efectos sistemáticos introducidos por errores de los modelos. Pero a pesar del uso de modelos (restringido tanto como ha sido posible) el método propuesto es una aproximación práctica al problema de determinar flujos bolométricos para una muestra extensa de estrellas débiles pobres en metales.

El método se ha aplicado a una muestra de 118 estrellas enanas y subenanas representativas de las diferentes poblaciones de la Galaxia. Los resultados se han empleado para obtener una fórmula de aplicación general que permite

derivar el flujo bolométrico a partir de K , $(V-K)$ y $[Fe/H]$, así como la correspondiente corrección bolométrica.

Para las estrellas de población I las relaciones obtenidas concuerdan perfectamente con el amplio trabajo de BP91, basado en una extensa base de datos de espectrofotometría UV, óptica e IR, para más de 100 estrellas de población I. El efecto de la metalicidad sobre la escala de flujos con la temperatura es semejante al que se describe en CA&C. Sin embargo, cuando se comparan los resultados con CA&C, SH85 y BG89 se encuentran diferencias sistemáticas a lo largo del eje de temperaturas. Estas diferencias se deben probablemente a las calibraciones absolutas del flujo consideradas en las diversas bandas fotométricas. Las principales ventajas del presente estudio son el empleo de calibraciones absolutas revisadas, los nuevos modelos de atmósferas y una muestra de estrellas que cubre un intervalo mayor de metalicidades.

Capítulo 5

La aplicación del MFI: las temperaturas

En este capítulo se presenta la aplicación del MFI a la muestra de estrellas descrita en el capítulo 2. Los pasos que conducen al cálculo final de las temperaturas efectivas y diámetros angulares se analizan detalladamente. La calibración absoluta del flujo en el IR que se ha adoptado es la que se describe en el capítulo 3, ligada a la medida directa de diámetros estelares. Los flujos bolométricos se han derivado a partir de los resultados del capítulo 4. Se han revisado algunas calibraciones fotométricas para derivar metalicidades y gravedades superficiales, sin embargo se han adoptado determinaciones espectroscópicas de la literatura siempre que ha sido posible. El error medio estimado para los parámetros atmosféricos secundarios es $\Delta[Fe/H] = \pm 0.25 \text{ dex}$ y $\Delta \log(g) = \pm 0.25 \text{ dex}$. En caso necesario se ha adoptado una corrección de enrojecimiento. Se ha estudiado, desde un punto de vista teórico, la influencia de los errores en los parámetros de entrada sobre las temperaturas deducidas a partir del MFI. Para ello se ha considerado una red de distribuciones de flujo generadas con los modelos de atmósferas de Kurucz (1991,1993), en los intervalos $3500K \leq T_{eff} \leq 10000K$, $3.5 \leq \log g \leq 5.00$, y $+0.5 \leq [Fe/H] \leq -4.00$. La consistencia interna de las temperaturas derivadas en las diferentes bandas es $\Delta T_J = \pm 120K$, $\Delta T_H = \pm 80K$, y $\Delta T_K = \pm 65K$.

El orden de la precisión de las temperaturas medias, considerando todas las fuentes de error, puede establecerse en torno al 1.5 %.

5.1 Introducción

En este capítulo, se describe la aplicación del Método del Flujo Infrarrojo para determinar las temperaturas efectivas de las estrellas F0-K5 de la secuencia principal que componen la muestra descrita en el capítulo 2. Entre los métodos indirectos, el MFI es especialmente adecuado para este propósito,

como se vió en el capítulo 1, ya que está basado en magnitudes observables directamente ligadas a la temperatura efectiva. El flujo bolométrico es proporcional a $(T_{ef}^4 \theta^2)$ y los flujos monocromáticos a $(T_{ef} \theta^2)$, por lo tanto el cociente de ambas magnitudes (factor R) es aproximadamente proporcional a T_{ef}^3 . A diferencia de otros métodos indirectos, basados también en la calibración en temperaturas de algunos cocientes de flujos, el MFI tiene la ventaja de que su única exigencia a los modelos es que reproduzcan de forma fiable los flujos monocromáticos del continuo IR. En este sentido, las fuentes de opacidad en las bandas y el continuo IR se comprenden relativamente mejor que las de otros intervalos espectrales. La opacidad del continuo infrarrojo está dominada por las transiciones libre-libre y ligado-libre del ion H^- cuyo cálculo es considerablemente más sencillo que el de algunos mecanismos que operan en otras partes del espectro, al menos para estrellas de tipos espectrales más tempranos que M. Los requerimientos del MFI a la teoría son más fáciles de satisfacer que la correcta predicción de las anchuras equivalentes de las líneas, lo que es necesaria para la aplicación de los métodos espectroscópicos. Otra de las ventajas de este método, como veremos en el desarrollo de este capítulo, es su menor dependencia de los parámetros físicos secundarios de la atmósfera (la gravedad y la metalicidad). De este modo, la influencia de sus errores sobre la precisión de las temperaturas derivadas es de orden menor que la de los errores en los flujos bolométricos y monocromáticos.

En lo que concierne a este trabajo, una de sus ventajas principales frente a los realizados previamente es el empleo de los nuevos modelos de Kurucz, que representan un avance substancial en el cálculo de las opacidades debidas a líneas metálicas débiles. Esto no sólo afecta a la mejora de los modelos en el UV, sino que por efecto de la redistribución de flujo puede tener consecuencias en el IR cercano. Por otra parte, se aplica, por primera vez, el MFI con una red homogénea de modelos a una muestra que cubre un amplio intervalo de metalicidades de la baja secuencia principal.

5.2 La implementación del MFI

El MFI se basa en la ecuación $R_{teo} = R_{obs}$, que fue introducida en el capítulo 1. Es inmediato comprobar que los factores R corresponden, esencialmente, a la corrección bolométrica en la banda del IR considerada. Por lo tanto,

las bases del MFI descansan en la confianza de que los modelos reproducen dicha corrección de forma fiable en las bandas observables del IR cercano. Desde el punto de vista experimental, el paso inicial del método consiste en obtener para cada estrella el cociente:

$$R_{obs} = \frac{F_{Bol}}{F(\lambda_{IR})} \quad (49)$$

donde F_{bol} es el flujo total integrado y $F(\lambda_{IR})$ es la densidad de flujo monocromático en algún punto del IR, medidas ambas magnitudes en tierra. La contrapartida teórica de este cociente se obtiene de forma inmediata a partir de los modelos:

$$R_{teo} = \frac{\sigma T_{ef}^4}{F_{mod}(\lambda_{IR})} \quad (50)$$

donde $F_{mod}(\lambda_{IR})$ es el flujo monocromático en la superficie estelar predicho por el modelo. En este trabajo, los flujos monocromáticos se derivan a partir de fotometría de banda ancha, a través de la expresión:

$$F(\lambda_{IR}) = q(\lambda_{IR}, T_{ef}, [Fe/H], \log(g)) [F_{cal}(\lambda_{IR}) 10^{-0.4(m-m_{cal})}] \quad (51)$$

donde el subíndice *cal* hace referencia a la estrella de calibración, m corresponde a la magnitud aparente de la estrella problema en la banda fotométrica considerada de longitud de onda efectiva λ_{IR} , y $F_{cal}(\lambda_{IR})$ es el flujo absoluto de la estrella patrón. Si los flujos monocromáticos se derivan a partir de medidas con filtros de banda estrecha o a partir de datos espectrofotométricos, basta con aplicar la parte entre corchetes de la Ec. (51), que simplemente describe la relación entre las señales de la estrella problema y la de calibración, medidas ambas con el fotómetro. Frente a esto, la utilización de fotometría de banda ancha requiere la introducción de los llamados factores $q(\lambda_{IR})$, que también dependen de la temperatura efectiva, de la metalicidad y de la gravedad de la estrella problema, pero en lo sucesivo, y para aligerar la notación, esto se supondrá implícitamente.

Igualando las ecuaciones 49 y 50, y substituyendo la expresión 51 se obtiene la ecuación desarrollada del MFI, a saber

$$q(\lambda_{IR}, T_{ef}, [Fe/H], \log(g)) R_{teo}(\lambda_{IR}, T_{ef}, [Fe/H], \log(g)) = \frac{F_{Bol}}{F_{cal}(\lambda_{IR}) 10^{-0.4(m-m_{cal})}} \quad (52)$$

En esta ecuación aparecen explícitamente todos los elementos necesarios para derivar la temperatura efectiva según la aplicación del MFI que se desarrolla en el presente trabajo. Se han agrupado en la parte izquierda los términos en cuyo cálculo intervienen los modelos ¹, y en la parte derecha los términos que proceden directamente de la observación. Esta separación es adecuada para analizar la influencia de la incertidumbre en los parámetros de entrada sobre los errores de las temperaturas finales.

En la Sec. 5.3 del presente capítulo, se analizan los diferentes elementos teóricos del MFI. Se derivan los factores R obtenidos con los modelos de Kurucz en las longitudes de onda efectivas de las bandas JHK y L' del sistema del TCS. Asimismo se derivan los factores q correspondientes a dichas bandas. El resultado de esto es la calibración, en función de la temperatura efectiva, de los factores q y R

$$T_{ef} = F(q(\lambda_{IR}), R_{teo}, [Fe/H], \log(g)) \quad (53)$$

Esta relación se ha tabulado en el apéndice 3 para las longitudes de onda empleadas.

En la sección 5.4 se comenta individualmente, de forma breve, cada uno de los observables necesarios para la aplicación del MFI. El resultado de las observaciones infrarrojas que determinan la cantidad $(m - m_{cal})$, se presentó en el capítulo 2. En el capítulo 3, se llevó a cabo una revisión de la calibración absoluta del flujo de Vega en el IR ($F_{cal}(\lambda_{IR})$). Estos dos puntos, junto con los factores $q(\lambda_{IR})$ han servido para obtener los flujos monocromáticos. En el capítulo 4, se trató el problema de los flujos bolométricos (F_{Bol}) de las estrellas subenanas. En el presente capítulo se describe la asignación de metalicidades y gravedades superficiales, así como la corrección del enrojecimiento.

En definitiva, la Ec. (52), permite obtener la temperatura para cada estrella utilizando como entrada sus parámetros atmosféricos secundarios ($[Fe/H], \log(g)$), su flujo bolométrico y su flujo monocromático. En la sección 5.5, se describe el cálculo de las temperaturas efectivas con su correspondiente análisis de errores individuales, se estudia la consistencia interna del

¹ Hay que hacer dos salvedades respecto al carácter teórico de los factores q tal como se emplean en este trabajo. (1) La transmisión instrumental, necesaria para su cálculo, se ha medido en el laboratorio. (2) Idealmente, debería calcularse haciendo uso una red de espectros IR empíricos, en lugar de las distribuciones de flujo de los modelos.

método y se comparan las temperaturas obtenidas en las diferentes bandas.

5.3 Los elementos teóricos del MFI

5.3.1 Descripción de los modelos de atmósferas y de las distribuciones de flujos

Las distribuciones de densidades de flujos empleadas en este trabajo para aplicar el MFI, se obtuvieron empleando los nuevos modelos de atmósfera y la opacidades de Kurucz (1991,1993), que ya se han empleado (Blackwell y Lynas-Gray 1994) para derivar temperaturas de estrellas de población I. Estos modelos se describen con detalle en Kurucz (1991). En esta sección resumiremos brevemente sus características principales, haciendo un especial hincapié en aquellas que conciernen a los objetivos del presente programa de investigación:

1. Las opacidades calculadas toman en consideración el efecto de unos 58 millones de líneas, tanto atómicas como moleculares. Entre las moléculas diatómicas consideradas se incluyen: H₂, SiO, CH, NH, OH, MgH, SiH, C₂, TiO, CN y CO. Lamentablemente los efectos de moléculas triatómicas como el vapor de agua no son considerados debido a las dificultades que representa su cálculo. En el intervalo 1.75-2.1 μm la contribución a la opacidad de las bandas de esta molécula tienen gran influencia en el flujo IR, especialmente para abundancias solares. Este hecho supone un límite inferior en temperaturas para la utilización de los modelos en la aplicación del MFI. Este límite se sitúa en torno a 4000 K, correspondiente a estrellas K tardías, donde la opacidad del vapor de agua alcanzaría su máximo. La principal diferencia respecto a modelos anteriores es el uso de nuevas líneas atómicas de los elementos del grupo del hierro, una mejora necesaria para solucionar, o al menos reducir, el problema de la *opacidad perdida* en el UV, como sugieren Magain (1987) y Buser y Kurucz (1992).
2. El tratamiento práctico de los mecanismos teóricos que se emplean para describir los modelos de atmósfera es esencialmente el mismo que en los antiguos modelos de Kurucz (véase Kurucz 1979), ya que se ha prestado atención casi exclusivamente al problema de las opacidades. No obstante los modelos revisados contienen algunos refinamientos en el

tratamiento de la convección, que incluyen un *overshooting* aproximado. La razón adoptada entre la longitud de mezcla y el factor de escala de altura (α/H) es 1.25. Las abundancias solares son las derivadas por Anders y Grevesse(1989). La velocidad de microturbulencia adoptada es de 2 km/s.

3. Una de las ventajas operativas de los nuevos modelos es el mejor muestreo de los parámetros físicos: Las abundancias químicas están muestreadas en pasos desde 0.1 dex de $[Fe/H]=1.00$ a $[Fe/H]=-0.5$, y en pasos de 0.5 dex desde $[Fe/H]=-0.5$ a $[Fe/H]=-4.0$. Las gravedades están muestreadas en pasos de 0.5 dex y las temperaturas en pasos de 250 K para las estrellas por debajo de 8000 K.
4. También es substancial la mejora en el muestreo de los flujos: 1221 puntos desde 9 a 160000 nm. La resolución del muestreo oscila entre 1 nm en la zona del UV, 2 nm en la zona del visible hasta la banda J, 5 nm en la banda H, hasta 10 nm en la banda K. Puede observarse que el muestreo en el IR implica un notable esfuerzo respecto a los modelos previos. Esto permite seleccionar longitudes de onda de los modelos para aplicar el MFI, evitando así las posibles incertidumbres de las interpolaciones necesarias con los antiguos modelos.

5.3.2 Los factores $q(\lambda_{IR})$

Cuando se emplea fotometría de banda ancha para derivar flujos monocromáticos, se presenta el problema de extraer información sobre el flujo en un punto a partir de la medida del flujo integrado en la banda. La figura 25 muestra los flujos normalizados de una estrella de calibración (Vega) y una estrella problema ($T_{ef} = 4000K$) sobre la transmisión instrumental de la banda K empleada en este trabajo. Puede observarse la diferencia entre los detalles del espectro IR de la estrella de calibración (Vega) y la estrella problema. La utilización exclusiva de los flujos medios a través de la expresión

$$F(\lambda_{IR}) = F_{cal}(\lambda_{IR}) \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F(\lambda)T(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F_{cal}(\lambda)T(\lambda)d\lambda} = [F_{cal}(\lambda_{IR})10^{-0.4(m-m_{cal})}] \quad (54)$$

conduce obviamente a un valor erróneo de los flujos monocromáticos, ya que los flujos normalizados de la estrella de calibración y la estrella problema,

son sistemáticamente diferentes. Los factores q representan una corrección de este efecto, y su definición es

$$q(\lambda_{IR}) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} K_{cal}(\lambda, \lambda_{IR})T(\lambda)d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} K(\lambda, \lambda_{IR})T(\lambda)d\lambda} \quad (55)$$

donde $T(\lambda)$ representa la transmisión del sistema instrumental, que incluye el detector, el sistema óptico del telescopio y la absorción de la atmósfera. $K(\lambda, \lambda_{IR})$ es la densidad de flujo estelar normalizada al valor del flujo en λ_{IR} , y (λ_1, λ_2) es el intervalo del espectro donde la transmisión instrumental es distinta de cero. En general los factores q tienen un valor próximo a la unidad, las diferencias respecto de este valor representan la magnitud de las desviaciones entre el flujo normalizado de la estrella problema y la estrella de calibración a lo largo de la banda fotométrica. En general, cuanto mayor sea la asimetría del filtro mayores diferencias cabe esperar. Sea cual sea la aproximación, cuando se emplea fotometría de banda ancha es necesario tener en cuenta esta corrección (véase por ejemplo Saxner y Hammarbäck 1985). Idealmente los factores q deberían determinarse a partir de datos espectroscópicos considerando datos de un grupo de estrellas homogéneamente distribuidas en un dominio adecuado de los parámetros físicos ($T_{ef}, \log(g), [Fe/H]$). Por desgracia las observaciones acumuladas hasta este momento son insuficientes y los modelos (en la confianza de que reproducen de forma aceptable los flujos medios en el IR) constituyen la única alternativa viable para el cálculo de la corrección.

Los factores q se han calculado para las longitudes de onda efectivas seleccionadas en las bandas J,H,K y L'. La estrella de calibración considerada ha sido Vega con los siguientes parámetros físicos $T_{ef} = 9610K$ $[Fe/H] = -0.25$ and $\log(g) = 3.95$. La distribución espectral de flujo que representa a Vega se obtuvo interpolando en la misma red de flujos teóricos que se utiliza para la implementación del MFI. Este flujo se ha comparado con el obtenido recientemente para diversos modelos individuales de Vega desarrollados por Castelli y Kurucz (1994). Estos modelos han sido especialmente diseñados para la síntesis de colores y el cálculo de abundancias. No se apreciaron diferencias significativas en el IR, de tal manera que por razones de consistencia hemos mantenido el modelo de Vega interpolado de la misma red empleada para el resto de las estrellas de la muestra. Un análisis sencillo revela algunas de las características de los factores q :

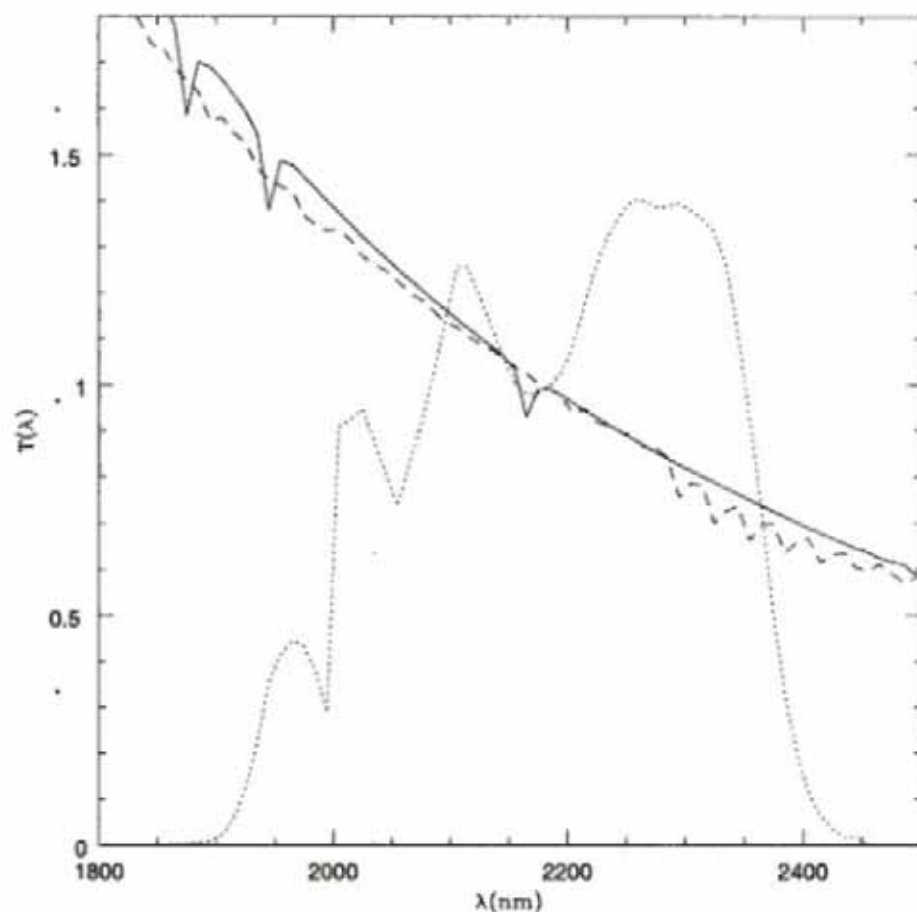


Figura 25: Perfil de la transmisión de la banda K en el sistema del TCS (incluye el detector y la atmósfera). Los flujos obtenidos con los modelos de Kurucz, normalizados en $\lambda_{ef}(K)$, se han sobreimpresionado. Vega (línea continua), $T_{ef} = 4000K$ (línea de trazos). Salvo en la zona 2200-2300 nm hay diferencias apreciables entre las dos distribuciones. Obsérvese, por otro lado, el efecto de las bandas de agua de la atmósfera terrestre sobre la transmisión de esta banda.

(1) Características generales

Los factores q de las estrellas frías son muy diferentes de la unidad, debido a que los detalles del espectro en las bandas del IR consideradas difieren de forma sistemática respecto al de la estrella de calibración (Vega). La causa de estas diferencias está en las bandas de absorción causadas por las diversas especies moleculares que dominan sobre el continuo.

Los factores q correspondientes a metalicidades bajas son más próximos a la unidad debido a que los espectros son más uniformes en el IR. A medida que decrece el contenido de metales la disminución del *blanketing* en el UV hace que las consecuencias de la redistribución del flujo en el IR se atenuen.

Del análisis de las tablas del apéndice 3, puede deducirse que la variación de los factores q con la metalicidad sólo es apreciable en las bandas H y K. En la banda H la variación máxima es del 0.6 % por cada 0.5 dex a 4000, y del 0.15 % por cada 0.5 dex a 5000. En la banda K la variación máxima es del 0.3 % por cada 0.5 dex a 4000, y del 0.15 % por cada 0.5 dex a 5000. Por encima de 5000 K las variaciones son de orden despreciable en ambas bandas.

Puede observarse como los factores se aproximan a la unidad a medida que las temperaturas se acercan a la de Vega y, por tanto la curvatura y los detalles del espectro son progresivamente más parecidos.

(2) Características particulares

Los factores de J son aproximadamente 1, debido a que el filtro del TCS es estrecho. Esto es así por su propio diseño para evitar las bandas de absorción de vapor de agua que flanquean a esta ventana atmosférica. Como puede observarse en la figura 7 del capítulo 4, el filtro presenta un máximo pronunciado muy cercano a la longitud de onda efectiva. Su efecto es semejante al de utilizar una distribución delta de Dirac como transmisión instrumental en la Ec. (55), que reduce el factor q a la unidad.

En la banda H la opacidad del ion H^- alcanza un mínimo, y para las estrellas más frías se produce un máximo local en las distribuciones del flujo. Esto unido a los detalles del espectro debidos a las bandas de CN, hace que los factores sean notablemente distintos de la unidad. Esto desaconseja el uso de este filtro para aplicar el MFI por debajo de 4500-5000 K.

En el caso de K, la zona más sensible de la transmisión instrumental coincide con la presencia de las bandas de CO que causan notables diferencias respecto al flujo normalizado de Vega especialmente para la estrellas frías.

Por otra parte, la absorción de la atmósfera, que hace que el filtro efectivo tenga una estructura muy asimétrica, multiplica este efecto.

Aunque no se empleará en el cálculo de las temperaturas, los factores q de L' resultan ilustrativos. Su valor es aproximadamente 1 porque la distribución de los flujos es muy suave en esa zona del espectro y las diferencias respecto a Vega son pequeñas.

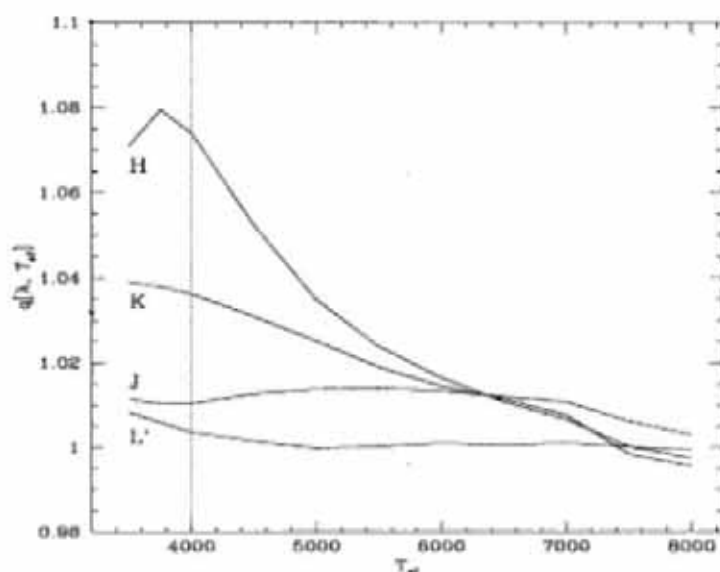


Figura 26: Factores q obtenidos para modelos de metalicidad solar y $\log(g) = 4$, en las longitudes de onda efectivas de las bandas J,H,K y L' del TCS.

La figura 26 muestra los factores q para las estrellas de metalicidad solar, para el resto de metalicidades y gravedades puede consultarse en las tablas del apéndice 3. Nótese, que la variación relativa para K (que es el filtro más limpio para determinar temperaturas por medio del MFI) es del orden de 0.1 % cada 100 K. En el caso de H 0.18 % cada 100 K. Y una variación virtualmente nula para J y L' . Esto hace que prácticamente la variación de la función qR , que se emplea para analizar la transmisión de los errores, sea la misma que la de la función R .

5.3.3 Los factores $R(\lambda)$ teóricos

Los valores teóricos de los factores R se han determinado para tres longitudes de onda en las bandas J, H y K empleadas en este trabajo: $\lambda_J = 1272.5 \text{ nm}$, $\lambda_H = 1635.0 \text{ nm}$ y $\lambda_{ef} = 2175.0 \text{ nm}$, que son aquellas de los modelos de Kurucz más próximas a las longitudes de onda efectivas de las funciones de transmisión de las bandas del sistema fotométrico del TCS. Las longitudes de onda efectivas se calcularon considerando el perfil instrumental y la transparencia atmosférica (véase el capítulo 3). Los resultados se presentan en las tablas del apéndice 3, ordenados por temperatura, gravedad y metalicidad. Se han considerado todos los modelos necesarios para abarcar el intervalo de parámetros físicos cubierto por la muestra de estrellas seleccionada. Para obtener una visión más general en el análisis, se calcularon factores R en otras bandas fotométricas. En particular, se empleó la banda R de Johnson ($\lambda_R = 799.0 \text{ nm}$), la banda L' del TCS ($\lambda_{L'} = 3690.0 \text{ nm}$) y un punto del IR lejano $\lambda_{ef} = 10004.0 \text{ nm}$. El gradiente $\Delta(R_{mod})/\Delta(T_{ef})$ refleja la sensibilidad del MFI en las diferentes bandas. Es obvia, a partir de la figura 27, la correlación de dicho gradiente con la longitud de onda, es decir la sensibilidad de los factores R a la temperatura es tanto mayor cuanto mayor es la longitud de onda.

El límite inferior en λ para aplicar el MFI, en el intervalo de temperaturas considerado en este trabajo, se sitúa en la banda J. Puede observarse que al utilizar un punto del IR muy cercano como es la banda R se produce una bivaluación de la función $R(\lambda)$ con la temperatura. Lo ideal sería emplear la banda L', o incluso una banda en el IR lejano. A pesar de que el intervalo de temperaturas considerado es muy frío para satisfacer la ley de Rayleigh-Jeans, $\log(R(\lambda))$ tiene un comportamiento aproximadamente lineal con T_{ef} por encima de 6000 K. Con objeto de comparar, se han calculado los factores R correspondientes a cuerpos negros en las mismas longitudes de onda de los modelos. En la figura 27 pueden apreciarse las diferencias para metalicidad solar. Ha de señalarse, sin embargo, que los factores R de las estrellas pobres en metales son más parecidos a los de los cuerpos negros debido a que el menor bloqueo por líneas metálicas en la zona azul y ultravioleta atenúa los efectos de la redistribución del flujo hacia longitudes de onda más largas.

De las tres bandas que se emplean en este trabajo, la banda J es la menos sensible a la temperatura. De hecho, parece poco conveniente emplearla

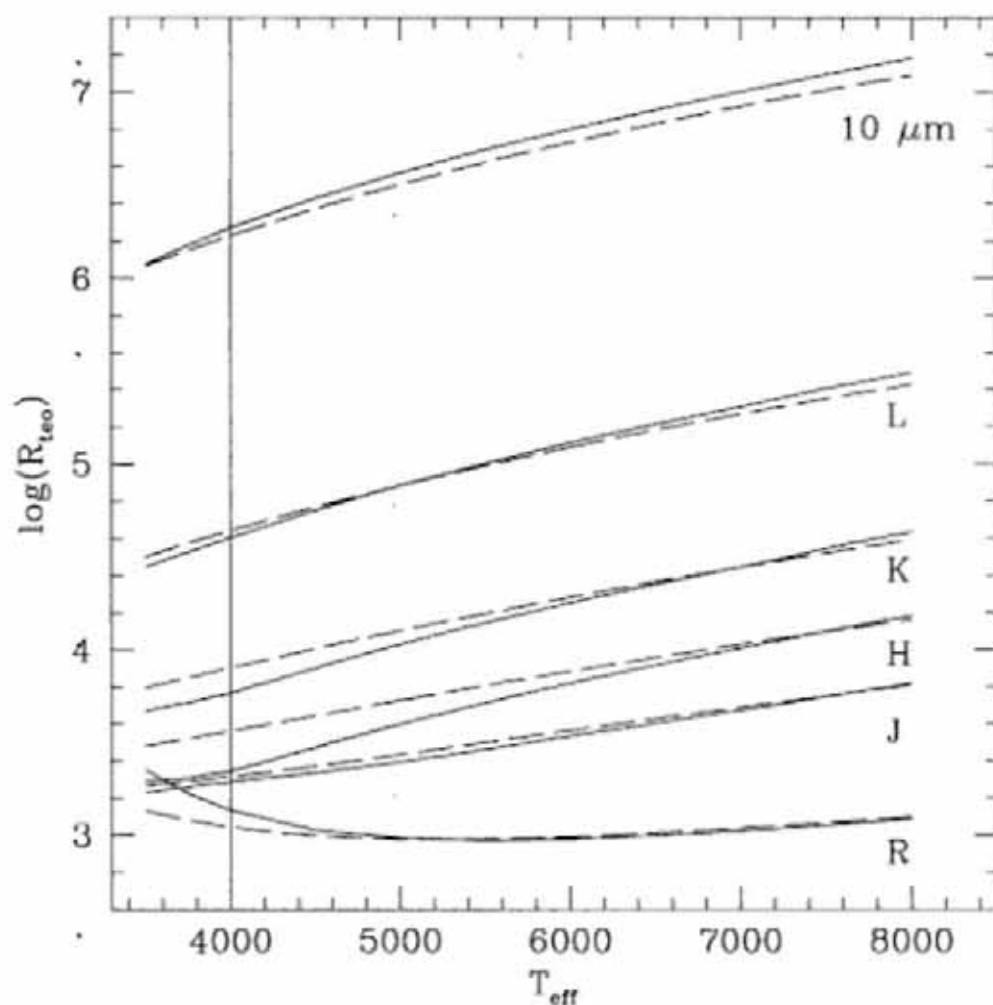


Figura 27: Factores R_{te0} calculados con los modelos de Kurucz (1991-1993) para el presente trabajo. Las longitudes de onda consideradas son aquellas del sistema fotométrico del TCS (JHKL'), la banda R de Johnson (1966) y un punto del IR lejano en $10 \mu m$. Las líneas discontinuas representan los factores R_{te0} obtenidos a partir de cuerpos negros.

por debajo de 5000 K. La sensibilidad de H y K es comparable, aunque como veremos al analizar los factores q , las temperaturas obtenidas con el filtro H por debajo de 4500 K tienen un menor peso en el promedio final. Del análisis de las tablas del apéndice 3, puede comprobarse que los efectos de metalicidad y gravedad son sólo importantes por debajo de 4200 K. En particular la variación de los factores R con la gravedad para estrellas enanas ($\log(g) = 4 - 5$) es prácticamente despreciable. Por este motivo, se ha empleado una asignación de la gravedad un tanto elemental, que satisface perfectamente los requerimientos de precisión del MFI.

5.4 Los observables del MFI

5.4.1 Los flujos monocromáticos en el IR

Para determinar el flujo monocromático de una estrella en una determinada longitud de onda (Ec. 51), es necesario conocer su fotometría respecto a una estrella patrón, la calibración absoluta del flujo de dicha estrella en la longitud de onda de que se trate, y el valor de su factor q . En el capítulo 2, se describe el programa de observaciones fotométricas en el IR cercano que ha conducido a la caracterización del sistema del TCS. En el capítulo 3 se propuso un método para fijar la calibración absoluta del flujo de Vega en el IR (la tabla 19 contiene la calibración para las bandas J,H y K del TCS). Recordemos brevemente que la base de este método consiste en la combinación de medidas directas de diámetros estelares y de flujos bolométricos. Por la concepción del método, esta calibración absoluta pone en la misma escala las temperaturas derivadas mediante la aplicación del MFI y las temperaturas directas en el intervalo 4000-8000 K, que es muy próximo al valor que se obtiene cuando se aplica el método utilizando los diámetros y flujos bolométricos de Prócion y el Sol.

La tabla del apéndice 4 contiene los flujos monocromáticos determinados para cada estrella de la muestra en las tres bandas del IR consideradas.

5.4.2 Los flujos bolométricos

La mayor parte de las estrellas de la muestra carecen de fotometría en los filtros R e I. En consecuencia, el método empleado en el capítulo 4 para determinar los flujos bolométricos, es decir, la integración de los flujos

monocromáticos derivados a partir de fotometría UBVR_IJHK, no se puede aplicar a la muestra completa de estrellas. En previsión de este inconveniente, se llevó a cabo una calibración fotométrica de la forma

$$F_{Bol}(tierra) = 10^{-0.4K} \Phi((V - K), [Fe/H]) \quad (56)$$

Como se demostró en el capítulo 4, esta aproximación es suficientemente fiable, y garantiza un nivel de precisión del 2-3 % que encaja perfectamente con el objetivo de precisión global de las temperaturas que se persigue en este trabajo. Para $(V - K) > 3$ y $(V - K) < 0.8$ se empleó la relación derivada por Blackwell y Petford (1991) corregida según el resultado de la sección 4.4.1. De cualquier modo, este último caso sólo afecta a estrellas A y M.

5.4.3 La corrección de extinción interestelar

Un paso fundamental en cualquier estudio que requiera el uso extensivo de datos fotométricos, es la corrección de los efectos de la absorción interestelar, que alteran los colores de las estrellas. En este trabajo, esta corrección es doblemente importante. Los datos fotométricos se emplean para derivar los parámetros físicos de las estrellas ($T_{ef}, [Fe/H]$) en un primer paso, y después se calibrarán estos parámetros frente a los propios colores. Podemos destacar los efectos más importantes del enrojecimiento. En la aplicación del MFI, nos llevaría a subestimar el flujo bolométrico y los flujos monocromáticos en el IR. Los factores R_{obs} tendrían un valor inferior al real, dando lugar a una temperatura subestimada. En la tabla 26 se ha calculado el efecto de un enrojecimiento de 0.05 mag sobre el intervalo de temperaturas considerado en este trabajo. Para ello se han derivado factores R_{teo} enrojecidos empleando la ley de extinción $A_\lambda = f(A_v, \lambda)$ descrita en Landolt-Börnstein (1982c), y se ha calculado la diferencia en temperaturas que esto supone. Por otro lado el enrojecimiento afecta a la determinación fotométrica de la metalicidad. Si consideramos el sistema de Strömgren, el enrojecimiento aumenta el valor observado de $(b-y)$ y disminuye el de m_1 , el resultado hace que la calibración de Schuster y Nissen (1989) proporcione metalicidades inferiores a las reales. En el caso de las calibraciones basadas en el índice $\delta_{0.6}(U - B)$, el efecto del enrojecimiento es más complejo ya que el signo y la magnitud de la variación de $[Fe/H]$ depende del color intrínseco de la estrella. Para las estrellas por encima de 6000K, da lugar a una sobreestimación. El efecto para las estrellas

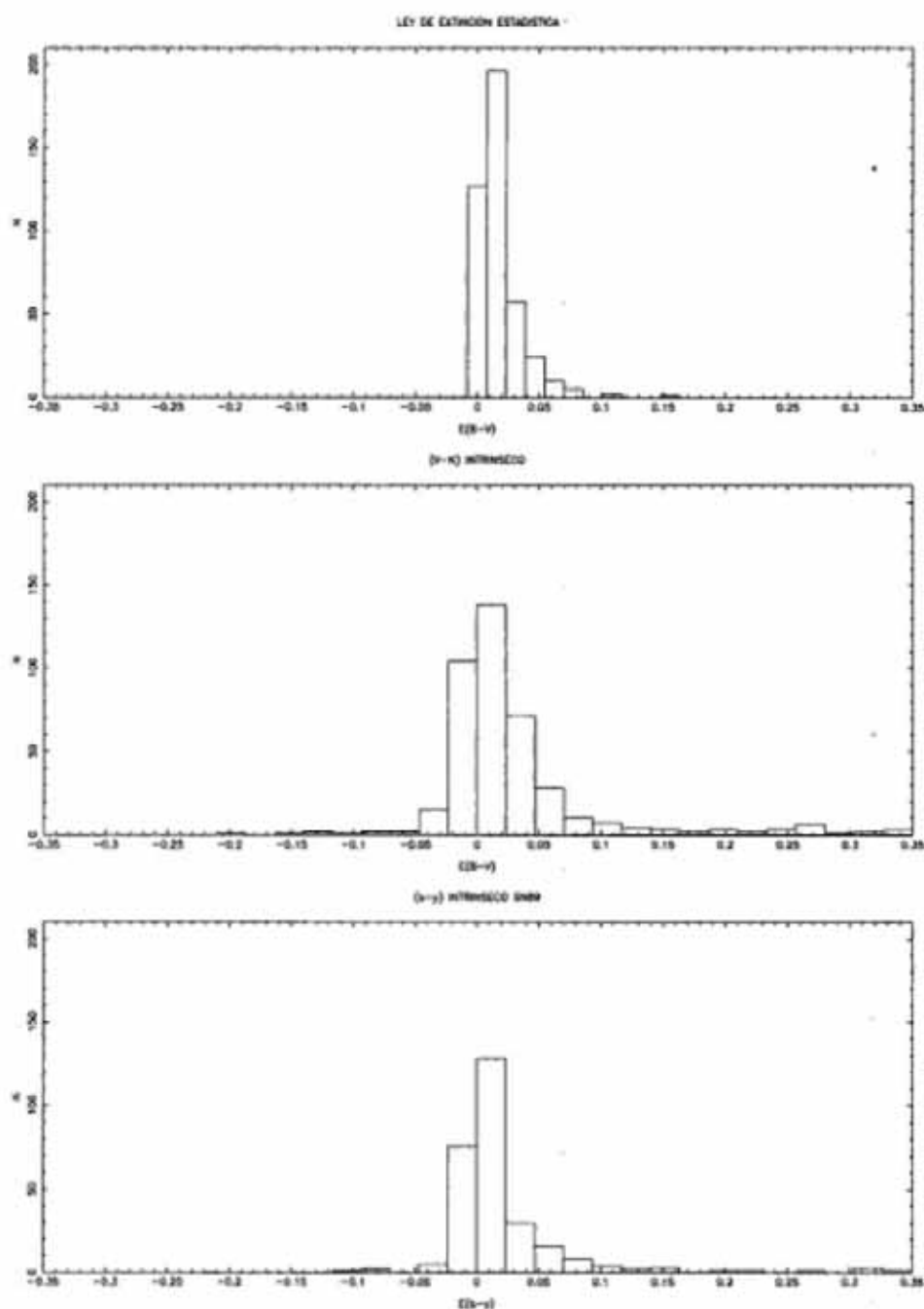


Figura 28: Arriba: Histograma de la extinción, según el método basado en una ley estadística. Centro: Histograma de la extinción de las estrellas de la muestra, según el método basado en el color (V-K) intrínseco. Abajo: Histograma de la extinción según el método de SN89.

más frías es justamente el contrario.

En esta sección se describen los métodos que se han aplicado para corregir la extinción interestelar.

Hay dos grupos de métodos empleados para corregir el enrojecimiento, los métodos estadísticos, y los métodos individuales. Los primeros se basan en la suposición de una ley de extinción diferencial promedio, y una distribución homogénea del polvo en la galaxia, y sirven principalmente para analizar el enrojecimiento promedio de muestras grandes de estrellas distribuidas aleatoriamente. Los segundos, se basan en características espectrofotométricas no afectadas por el enrojecimiento que permiten establecer los colores intrínsecos de cada estrella de forma individual. En nuestro estudio vamos a tratar con una muestra de aproximadamente 500 estrellas, parece pues adecuado emplear un método estadístico, para estudiar el comportamiento promedio. Se ha considerado en este caso una ley de extinción simple dependiente de la distancia (véase Arribas 1987), de la forma:

$$\begin{aligned} A_V &= 0 \text{ mag} & \text{si } 210^\circ < l < 255^\circ \\ A_V &= 0.8 r \text{ mag} & \text{si } 210^\circ > l > 255^\circ \end{aligned} \quad (57)$$

donde r es la distancia a la estrella en Kpc y $A_V = 3.1E(B - V)$. Para la determinación de la distancia se han empleado las calibraciones fotométricas de la distancia ($M_V = f((b - y), \delta_{0.6})$) de Laird et al. (1987). Obviamente, el medio interestelar en la vecindad de Sol no es tan homogéneo. Sin embargo, este método sólo tiene valor estimativo para conocer el enrojecimiento medio de la muestra. En la parte superior de la figura 28 se muestra el resultado de aplicar la ley de extinción (57) a las estrellas de la muestra. Puede observarse que, tal como se explicaba en el capítulo 2, por la distribución en distancias de las estrellas de la muestra no cabe esperar grandes enrojecimientos salvo para algunas estrellas aisladas.

Como métodos individuales para determinar el enrojecimiento se ha empleado uno basado en fotometría IR de banda ancha y otro basado en fotometría de Strömgren. El primero hace uso de las relaciones intrínsecas entre (V-K) y (J-K) determinadas por Carney (1983) para derivar $E(V-K)$ (que se ha considerado equivalente a $2.72E(B - V)$). El resultado se muestra en la parte central de la figura 28. El segundo, está basado en el índice β libre de los efectos de la extinción estelar. Schuster y Nissen (1989a) han elaborado una calibración de $E(b-y)$ basada en este índice con una precisión

de 0.015 mag. Además, un cierto número de estrellas de la muestra tienen determinado su enrojecimiento por otros autores (Laird et al. 1987, Beers et al. 1990), que han empleado los mapas de extinción de Burnstein y Heiles (1982).

La correlación entre los diferentes métodos es aceptable para valores bajos del enrojecimiento, $E(B-V) < 0.1$ mag, sin embargo pierde consistencia por encima de este punto. Las estrellas con valores altos de la extinción habrán de ser consideradas con un menor peso en las calibraciones de la temperatura. El método preferido para corregir de enrojecimiento ha sido el basado en la fotometría $ubvy - \beta$, sin duda el procedimiento más fiable en este momento. Se ha considerado $E(B-V)=0$ para $E(b-y)<0.025$, y $E(B-V)=1.37 E(b-y)$ en el resto de los casos. Los valores tomados de la literatura, y los determinados mediante las relaciones intrínsecas (V-K)-(J-K) se han considerado cuando no se disponía de determinación basada en el método de Schuster y Nissen (1989a). En la tabla del apéndice 4 se presenta el enrojecimiento asignado a cada estrella de la muestra.

5.4.4 Los parámetros atmosféricos secundarios

Las gravedades superficiales

La influencia de este parámetro en la aplicación del MFI, tiene un peso menor que el de otros observables. En la discusión posterior, se determinan las incertidumbres achacables a las indeterminaciones esperadas en el valor de la gravedad (0.5 dex en el intervalo $3.5 \text{ dex} < \log(g) < 5.0 \text{ dex}$), y se observa que son despreciables respecto a la incertidumbre introducida por el resto de parámetros. Por lo tanto, basta con tomar una gravedad media $\log(g) = 4.5$ para las estrellas subenanas de la muestra. Con esta elección y considerando una barra de error de 0.5 dex quedan prácticamente cubiertas todas las gravedades de la baja secuencia principal. No obstante a las estrellas más frías se les ha asignado una gravedad $\log(g) = 5$, y gravedad $\log(g) = 4$ a las estrellas de población I. A las estrellas contenidas en el catálogo de Cayrel et. al (1992), se les ha asignado el valor medio de los valores publicados. Los valores asignados son compatibles con las recopilaciones de Popper (1980) y Andersen (1990) basadas en el estudio de sistemas binarios separados.

Las metalicidades

En este trabajo, la determinación de la metalicidad tiene una doble importancia. Por una parte, es necesaria para poder aplicar el MFI a las estrellas de la muestra. Por otra, los valores de la metalicidad se emplearán para calibrar las relaciones de temperatura-color de estas estrellas. Por lo tanto se ha prestado una especial atención a su determinación. Hemos seleccionado para el programa de fotometría prácticamente todas las estrellas enanas del catálogo de Cayrel visibles desde el Observatorio del Teide. De este modo, aproximadamente el 25 % de las estrellas de la muestra cuentan con alguna determinación de su abundancia metálica a partir del análisis de espectros de alta resolución. Por desgracia, esto es imposible para el resto de estrellas del programa ya que requeriría el empleo de grandes telescopios durante meses de observaciones. El empleo de métodos alternativos permite sortear esta dificultad al precio de perder un poco de precisión. Afortunadamente hay numerosos trabajos descritos en la literatura cuyo objetivo ha sido el desarrollo de métodos para determinar la metalicidad a través de calibraciones basadas en diferentes sistemas fotométricos. Aquí se ha adoptado un método basado en el índice $\delta_{0.6}(U - B)$ (Carney 1979, Cameron 1985), y un método basado en la fotometría de Strömngren (Schuster y Nissen 1989a). La precisión de ambas calibraciones se ha comprobado mediante su aplicación a 252 estrellas enanas extraídas del Catálogo de Determinaciones de $[Fe/H]$ (Cayrel de Ströbel et al. 1992). Las abundancias de esta fuente se han promediado dando mayor peso a las determinaciones recientes basadas en medidas con detectores de estado sólido. Además se consideraron 45 estrellas de Beers et al. (1990). En el análisis se obtuvieron las siguientes correcciones:

Calibración de Schuster y Nissen 1989a: 238 estrellas con determinación espectroscópica de la abundancia quedan dentro de los límites de aplicación de la calibración de Schuster y Nissen (1989). Al comparar, se observa una ligera diferencia entre la calibración para las estrellas F y las estrellas G-K. Se aplicaron las siguientes correcciones independientes.

$$[Fe/H]_{tot}^F = 0.82[Fe/H]_{espec} - 0.08, \quad \sigma = 0.18 \text{ dex}, \quad n = 150 \quad (58)$$

$$[Fe/H]_{tot}^G = 0.93[Fe/H]_{espec} - 0.01, \quad \sigma = 0.21 \text{ dex}, \quad n = 105 \quad (59)$$

Puede observarse que la corrección del punto cero es prácticamente despreciable, mientras que la corrección de la pendiente puede llegar a alcanzar 0.3-0.5 dex en el caso más extremo. Es interesante mencionar que si consideramos ambas calibraciones a un tiempo, la corrección sería

$$[Fe/H]_{tot} = 0.85[Fe/H]_{espec} - 0.04, \quad \sigma = 0.22 dex, \quad n = 238 \quad (60)$$

Este resultado apoya la conclusión del trabajo de SN89, que sugiere una posible corrección para que su calibración se ajuste mejor a los valores espectroscópicos de otros trabajos (ellos proponen un factor de corrección multiplicativo de 1.15 para la $[Fe/H]_{tot}$, que coincide plenamente con la revisión aquí realizada).

Fotometría UBV: $\delta_{0.6}(U - B)$ (Carney 1979): 259 estrellas con determinación espectroscópica de la abundancia quedan dentro de los límites de aplicación de la calibración de Carney (1979) basada en el índice $\delta_{0.6}(U - B)$. Esta calibración se ha extendido hasta el límite permitido por los vectores de *deblanketing* proporcionados por Sandage (1969). Igual que en el anterior apartado la corrección necesaria depende del color

$$[Fe/H]_{tot} = 0.83[Fe/H]_{espec} - 0.02, \quad \sigma = 0.28 dex, \quad (61)$$

$$n = 212, \quad (0.35 < (B - V) \leq 0.7)$$

$$[Fe/H]_{tot} = 1.03[Fe/H]_{espec} + 0.10, \quad \sigma = 0.25 dex, \quad (62)$$

$$n = 48, \quad (0.7 \geq (B - V) < 1.1)$$

También se consideró en este caso la calibración de Cameron (1985) basada en este mismo índice; Sin embargo, dada la mayor dispersión encontrada al comparar los resultados de ésta con los datos espectroscópicos se descartó su uso.

La figura 29 muestra la comparación, tras las correcciones, de los valores espectroscópicos de la abundancia y los valores obtenidos con las calibraciones fotométricas que se emplearán en este trabajo. Nótese que aunque ambas calibraciones pierden sensibilidad a medida que la metalicidad es más baja, sin embargo puede asegurarse una precisión media de 0.3 dex.

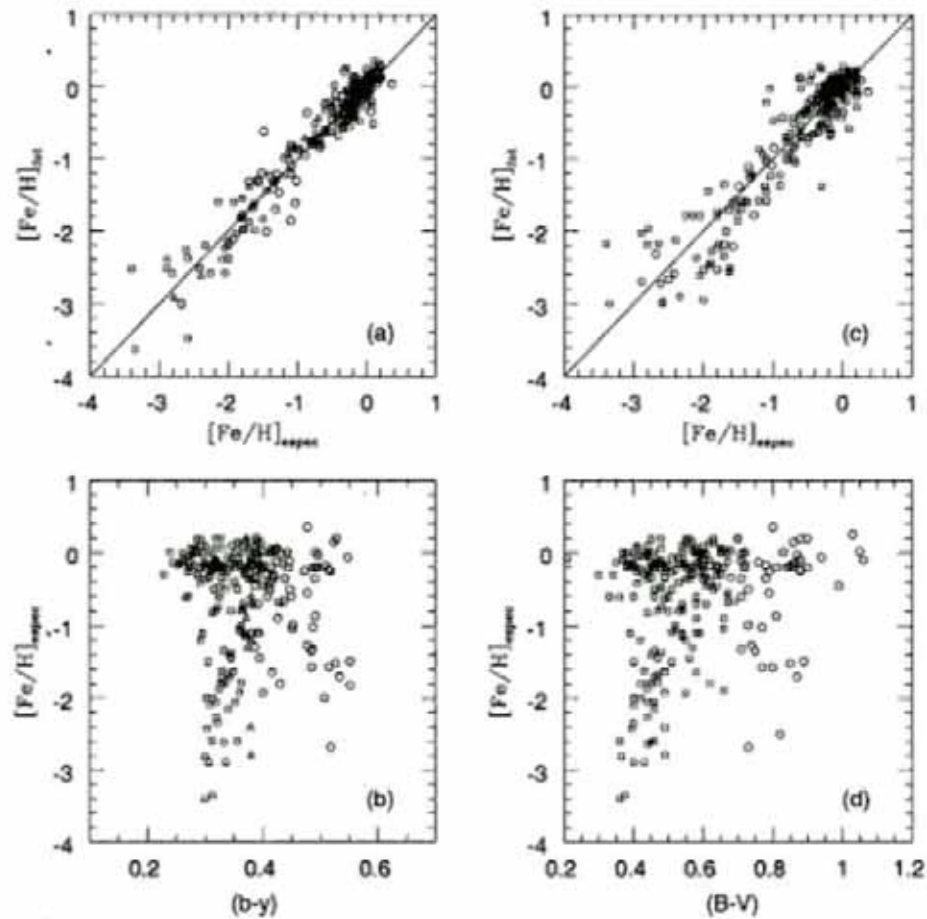


Figura 29: (a) Valores fotométricos de la metalicidad frente a los valores espectroscópicos según la calibración revisada de Schuster y Nissen (1989). Círculos: calibración de estrellas F, cuadrados: calibración de estrellas G, triángulos: solapamiento entre las dos calibraciones. (b) Extensión en color de la calibración revisada de SN89. (c) Valores fotométricos de la metalicidad frente a los valores espectroscópicos según la calibración revisada de Carney (1979). Cuadrados: $(B-V) < 0.7$, círculos $(B-V) > 0.7$. (d) Extensión en color de la calibración revisada de C79.

En definitiva la metalicidad se ha asignado por una triple vía:

(a) En primer lugar, a las estrellas con determinación espectroscópica de su metalicidad (Catálogo de Cayrel et al. 1992), que se incluyeron en la muestra para revisar las calibraciones fotométricas de este parámetro, se les ha asignado el valor medio de las determinaciones espectroscópicas publicadas, pesando más los valores recientes obtenidos con detectores de estado sólido. El error de estas determinaciones se puede estimar en 0.10-0.15 dex.

(b) A las estrellas de la muestra con fotometría de Strömgen, y dentro del intervalo de aplicación de la calibración fotométrica de Schuster y Nissen (1989), se les ha asignado el valor obtenido con la revisión de dicha calibración (expresiones 58 y 59). El error de estas determinaciones puede cifrarse en 0.20-0.30 dex.

(c) Por último, al resto de estrellas se les ha aplicado la calibración basada en el índice $\delta_{0.6}$ de Carney (1979), también revisada (expresiones 61 y 62). La incertidumbre de esta calibración puede establecerse en 0.25-0.35 dex.

Además, a las enanas M de Legget (1992) se les ha asignado la metalicidad según su clasificación cinemática: $[\text{Fe}/\text{H}]=0$ para las estrellas del disco joven, $[\text{Fe}/\text{H}]=-1.0$ para las estrellas de la transición entre el disco joven y el disco viejo, y $[\text{Fe}/\text{H}]=-1.5$ para las estrellas del disco viejo. Dada la incertidumbre de dicha asignación, estas estrellas no serán empleadas en las calibraciones del capítulo 6, sin embargo es interesante la aplicación del MFI con los modelos de temperaturas más bajas

5.5 La determinación de las temperaturas

Los resultados resumidos en las secciones precedentes se han utilizado para derivar las temperaturas efectivas aplicando el MFI en las tres longitudes de onda consideradas: T_J , T_H y T_K . Los valores individuales, que incluyen los errores calculados para la temperatura de cada banda, se presentan en la tabla del apéndice 4. Esta tabla contiene también los valores de la gravedad, la metalicidad y el enrojecimiento adoptados para cada estrella. En las secciones siguientes se analizan los errores accidentales, la influencia de los posibles

errores sistemáticos, y se estudia la consistencia de las temperaturas en las diferentes bandas.

5.5.1 Análisis de los errores accidentales

La forma de reagrupar los términos teóricos por un lado, y los términos observables por otro, en la ecuación básica del MFI (Ec. 52), ayuda a analizar, de una forma sencilla, la transmisión de errores. Con ayuda de los modelos se ha derivado la relación exacta $T_{ef} = q(\lambda_{IR})R_{teo}(\lambda_{IR})$ (tablas del apéndice 3), que permite estudiar adecuadamente la incertidumbre que inducen sobre la temperatura las diferentes variables que intervienen en el cálculo: el cociente entre el flujo bolométrico y el monocromático, la gravedad superficial y la metalicidad.

En la figura 30 se ha representado el error en temperaturas que implica un

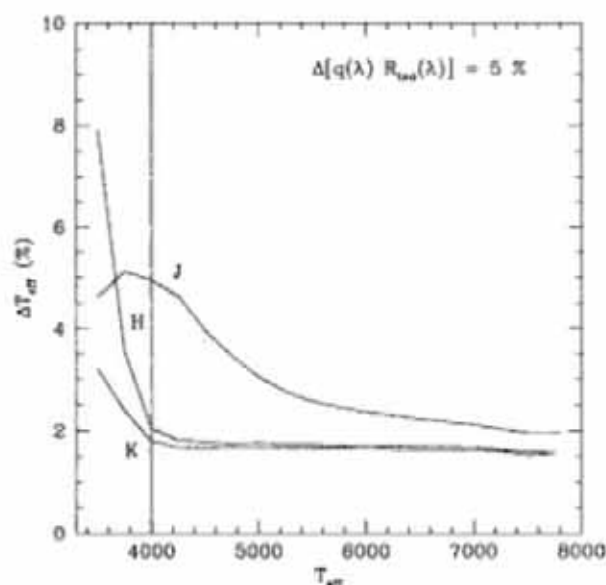


Figura 30: Incertidumbre sobre la temperatura derivada mediante el MFI, que introduce un error del 5 % en el cociente $\frac{F_{bol}}{F_{cal}(\lambda_{IR})10^{-0.4(m-m_{cal})}}$.

aumento del 5% en el factor qR teórico (que equivale a un error de la misma magnitud en el cociente del flujo bolométrico y monocromático). Como puede observarse la variación en temperaturas que induce este error es aproximadamente constante por encima de 4000 K. 1.5 % para K y 2-1.5 % para H. Para el filtro J oscila entre el 5 % a 4000K y el 2 % a 8000 K, por este motivo el filtro J es el peor indicador de temperatura para el MFI, y sólo se empleará por encima de 5000 K.

En la figura 31 se ha representado la influencia que tiene un error de 0.5 dex en metalicidad, sobre la temperatura determinada a partir del factor qR del filtro K. Por encima de 4200 K el error medio es inferior al 0.25 %.

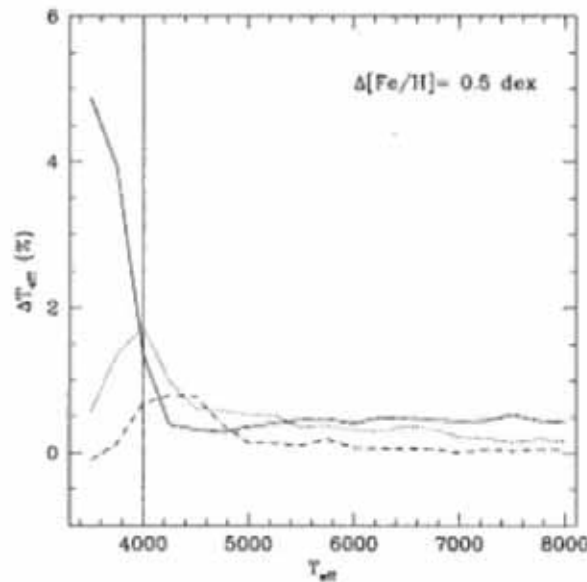


Figura 31: Incertidumbre sobre la temperatura derivada mediante el MFI, que introduce un error de 0.5 dex en la metalicidad. Línea continua: (0.0 \rightarrow -0.5), línea de puntos: (-1.0 \rightarrow -1.5) y línea de trazos: (-2.5 \rightarrow -3.0).

En la figura 32 se ha representado la influencia que tiene un error de 0.5 dex en $\log(g)$, sobre la temperatura determinada a partir del factor qR del filtro K. Es prácticamente nula entre 4200 y 7500 K. Entre 4000 y 4200 oscila

entre un 1-2 %. Por encima de 7500 K puede llegar al -0.5 %.

La indeterminación en la medida de los perfiles de los filtros y en la longitud de onda efectiva introduce una incertidumbre que puede considerarse despreciable ya que los filtros han sido medidos con suficiente precisión, y por otro lado los posibles errores tienden a compensarse a lo largo de toda la banda fotométrica. La influencia de la calibración absoluta y del enrojecimiento, será estudiada de forma detallada e independiente, ya que puede introducir errores sistemáticos en la escala de temperaturas. En las tablas 25 y 26 se presentan los errores típicos esperables, considerando las incertidumbres asociadas a los diferentes parámetros de entrada del MFI.

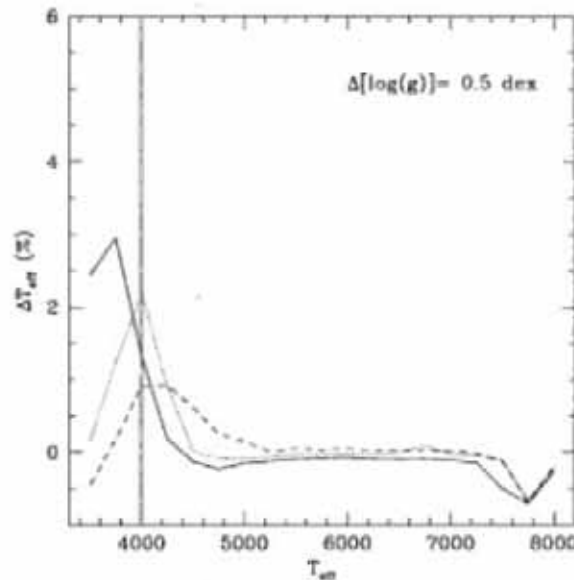


Figura 32: Incertidumbre sobre la temperatura derivada mediante el MFI, que introduce un error de 0.5 dex en la gravedad. Línea continua: $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.00$, línea de puntos: $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ y línea de trazos: $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.0$.

Tabla 25: Errores accidentales medios en temperatura obtenidos al aplicar el MFI en la banda K.

Error parámetros		Error en T_{ef} (%)				
Error		3500	4000	5000	6000	7500
qR_{teo}	5	3	1.5	1.5	1.5	1.5
$\log(g)$	0.5 dex	2	1.5	0.1	0.1	0.1
$[Fe/H]$	0.3 dex	1	0.75	0.15	0.15	0.15
Total		3.3	2	1.5	1.5	1.5

5.5.2 Análisis de los errores sistemáticos

Mientras que la influencia de los errores accidentales tiende a cancelarse al considerar un número grande de estrellas, no ocurre lo mismo con los errores sistemáticos. El efecto global de los primeros no alterará las relaciones medias T_{ef} - $[Fe/H]$ -colores que resulten de este trabajo. Sin embargo los errores sistemáticos, introducidos principalmente por el enrojecimiento interestelar y la incertidumbre de la calibración absoluta, si podrían modificar la forma de la escala de temperaturas.

La tabla 26 muestra el efecto global que tendría un enrojecimiento de 0.05 mag, sobre la escala de temperaturas obtenida mediante el MFI. Como es fácil deducir, afecta en mayor medida a las estrellas calientes que emiten la mayor parte de su flujo en la zona visible del espectro, donde la extinción interestelar es más fuerte. Dejar de corregir este efecto puede modificar de forma notable las temperaturas derivadas mediante el MFI. Por este motivo, el enrojecimiento ha sido tratado de forma individual para las estrellas de la muestra. De esta forma, los errores introducidos por el enrojecimiento pasan a ser accidentales, y de orden comparable al resto de las fuentes de error que afectan al MFI. La influencia de este problema queda así reducida a las temperaturas de unas pocas estrellas.

Los errores en la calibración absoluta del flujo infrarrojo tienen un efecto diferente sobre las temperaturas derivadas mediante el MFI, que depende de las bandas fotométricas. Los errores más probables en la calibración absoluta se evaluaron apropiadamente en el capítulo 3: 3% en la banda J, 4% en las bandas H y K. Afortunadamente, por encima de 4000 K el efecto del error en la Calibración Absoluta es un desplazamiento del punto cero de la

Tabla 26: Influencia de posibles errores sistemáticos sobre la temperatura obtenidos al aplicar el MFI. Los valores están ligeramente sobreestimados, ya que solo se ha tenido en cuenta la variación de los flujos monocromáticos. Los errores considerados para la calibración absoluta son los del capítulo 3.

Error parámetros		Error en T_{ef} (%)				
	Error	3500	4000	5000	6000	7500
E(B-V)	0.05 mag	2.1	1.6	2.6	3.6	4.5
C.A. J [Fe/H]=0.0	3	2.75	3	2	1.4	1.2
C.A. J [Fe/H]=-3.0	3	3.25	2.75	2	1.4	1.2
C.A. H [Fe/H]=0.0	4	6	1.6	1.4	1.2	1.2
C.A. H [Fe/H]=-3.0	4	1.75	2	1.75	1.2	1.2
C.A. K [Fe/H]=0.0	4	2.4	1.4	1.4	1.2	1.2
C.A. K [Fe/H]=-3.0	4	1.6	1.6	1.4	1.2	1.2
C.A. medio	—	2.0	1.7	1.6	1.25	1.2

escala para las temperaturas T_H y T_K . En el peor de los casos, es decir, la correlación positiva o negativa de los errores en la calibración absoluta de las tres bandas el desplazamiento del cero de la escala sería del orden de 1.2-1.7 % por encima de 4000K. Por contra, si como es el caso más probable, los errores están descorrelacionados, cabe esperar un desplazamiento del cero de la escala del orden de 0.4-0.9 %. Esta incertidumbre en el cero de la escala, es una desventaja que afecta, no solo al MFI sino, a muchos métodos para determinar temperaturas. Sin embargo, téngase en cuenta, que el procedimiento para determinar la calibración absoluta del flujo IR se ha ideado para reducir este error en lo posible.

5.5.3 Análisis de los resultados

En los diagramas 33 y 34, se presentan las comparaciones entre las temperaturas obtenidas mediante el MFI en las tres bandas, tomando T_K como referencia. Las barras de error individuales permiten apreciar que la dispersión es compatible con los errores estimativos derivados de las incertidumbres asociadas a cada uno de los observables de entrada necesarios para derivar la temperatura efectiva. Como era de esperar, la dispersión es mayor en las temperaturas obtenidas en J, debido tanto a la menor sensibilidad del MFI

en esta banda, como al mayor error fotométrico en la medida de la magnitud J . Para obtener la temperatura final de cada estrella se adoptó el promedio de T_J , T_H y T_K pesado con el inverso de los errores individuales.

$$\overline{T_{MFI}} = \frac{\frac{T_J}{(\Delta T_J)} + \frac{T_H}{(\Delta T_H)} + \frac{T_K}{(\Delta T_K)}}{\left[\frac{1}{\Delta T_J} + \frac{1}{\Delta T_H} + \frac{1}{\Delta T_K}\right]} \quad (63)$$

Para determinar el error de la temperatura media, y teniendo en cuenta que las temperaturas derivadas en cada banda no son totalmente independientes, se considero una transmisión lineal de los errores:

$$\Delta T_{MFI} = \frac{3}{\left[\frac{1}{\Delta T_J} + \frac{1}{\Delta T_H} + \frac{1}{\Delta T_K}\right]} \quad (64)$$

donde el error en la temperatura de cada banda viene definido por la expresión

$$\begin{aligned} (\Delta T_{ef})^2 = & \left[\frac{\Delta T_{ef}}{\Delta[q(\lambda_{IR})R(\lambda_{IR})]} \right]^2 (\Delta[q(\lambda_{IR})R(\lambda_{IR})])^2 \\ & + \left[\frac{\Delta T_{ef}}{\Delta[F_e/H]} \right]^2 (\Delta[F_e/H])^2 \\ & + \left[\frac{\Delta T_{ef}}{\Delta \log(g)} \right]^2 (\Delta \log(g))^2 \end{aligned} \quad (65)$$

Dado que las tres temperaturas no tienen la misma precisión, debido a la diferente sensibilidad de los factores R en cada filtro, y a la diferente calidad de la fotometría IR. Esta forma de asignar pesos a las temperaturas individuales obtenidas con cada filtro tiene la ventaja de que considera automáticamente el efecto de la distinta sensibilidad del MFI en las bandas J , H y K , así como las incertidumbres individuales en las medidas de los flujos monocromáticos y los parámetros secundarios. En general, por encima de 5000 K las temperaturas de las tres bandas entran con pesos semejantes en el promedio. Por debajo de 5000 K sólo se han considerado T_H y T_K en el promedio, a causa de la pérdida de sensibilidad del factor $R_{\text{teo}}(J)$. Por debajo de 4000 K sólo se ha considerado T_K . El error medio de las temperaturas derivadas se halla en torno al 1-2 %. Los residuos de las temperaturas en cada filtro siguen una distribución aproximadamente normal, tanto al representarlos frente a la temperatura, como frente a la metalicidad como puede apreciarse en las figuras 35 y 36.

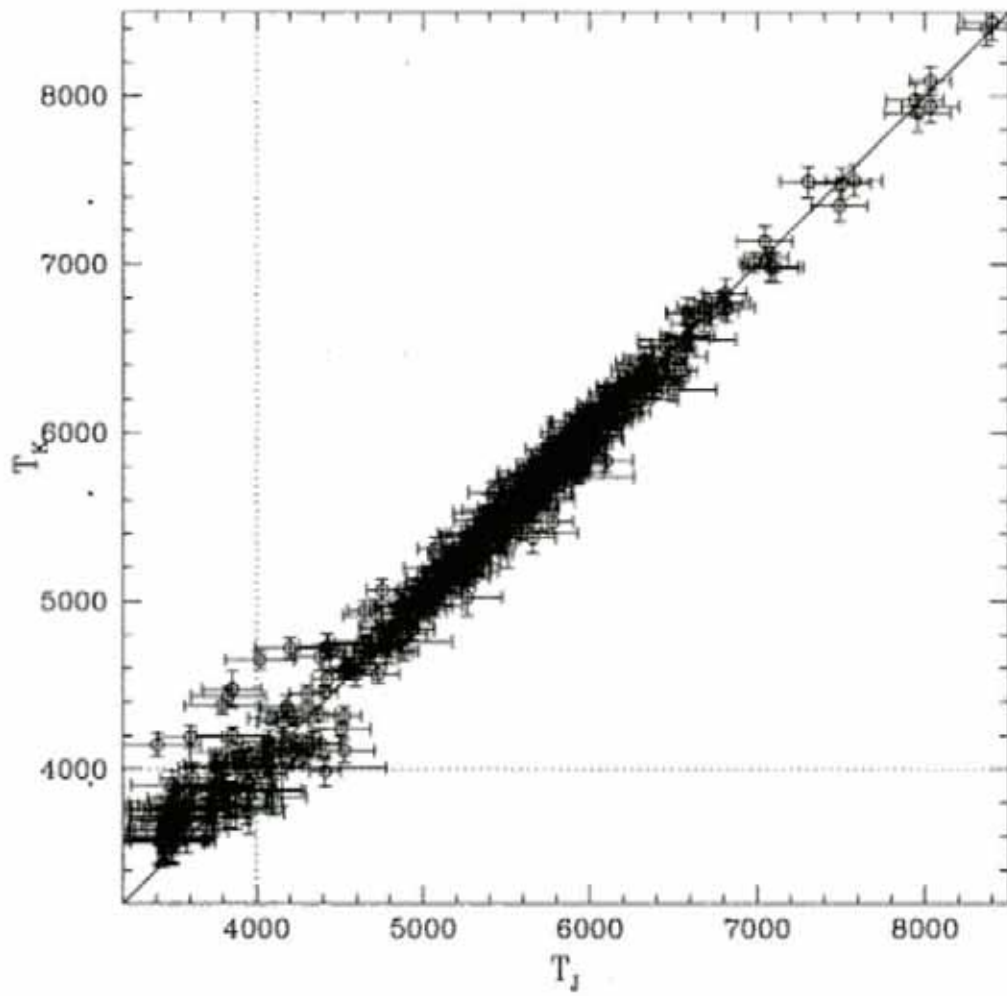


Figura 33: Diagrama $T_J : T_K$, obsérvese como las estrellas más frías se apartan progresivamente de la diagonal.

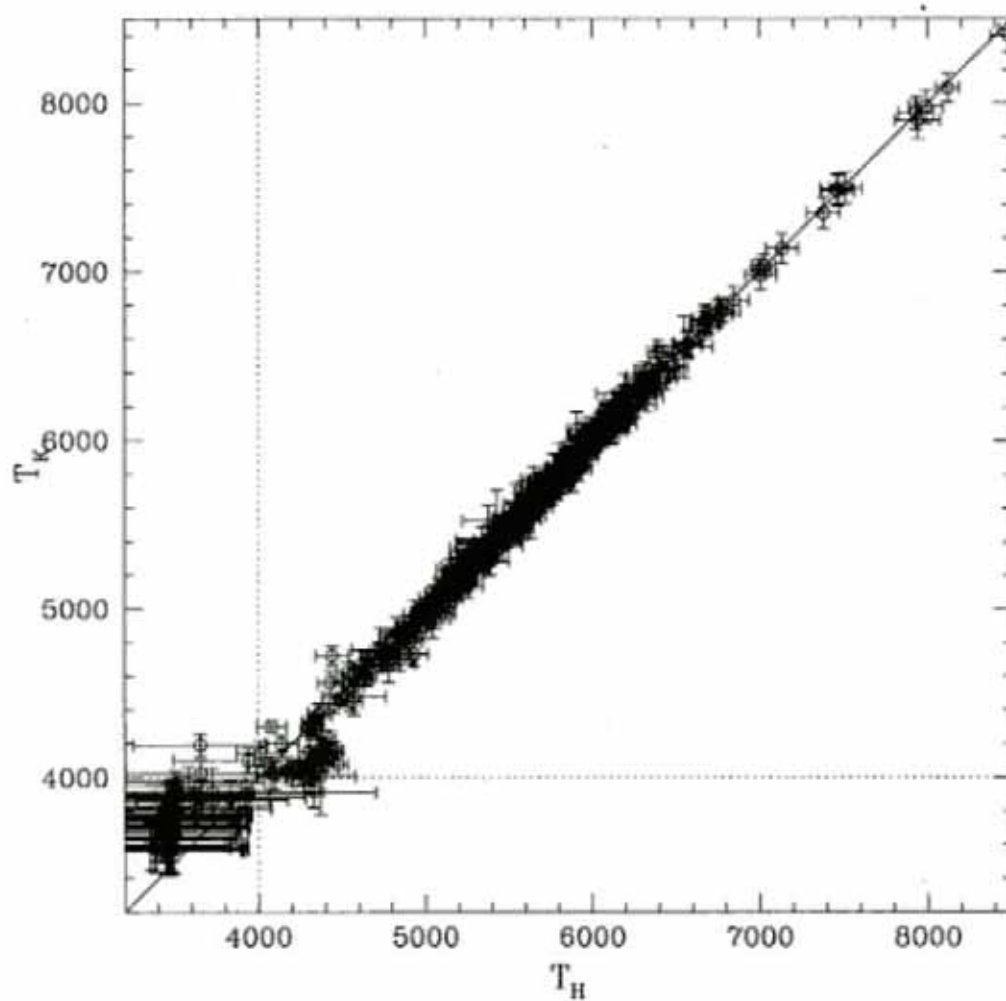


Figura 34: Diagrama $T_H : T_K$, obsérvese como la dispersión en torno a la diagonal es compatible con los errores individuales salvo casos excepcionales. Son notables las discrepancias por debajo de 4500 K.

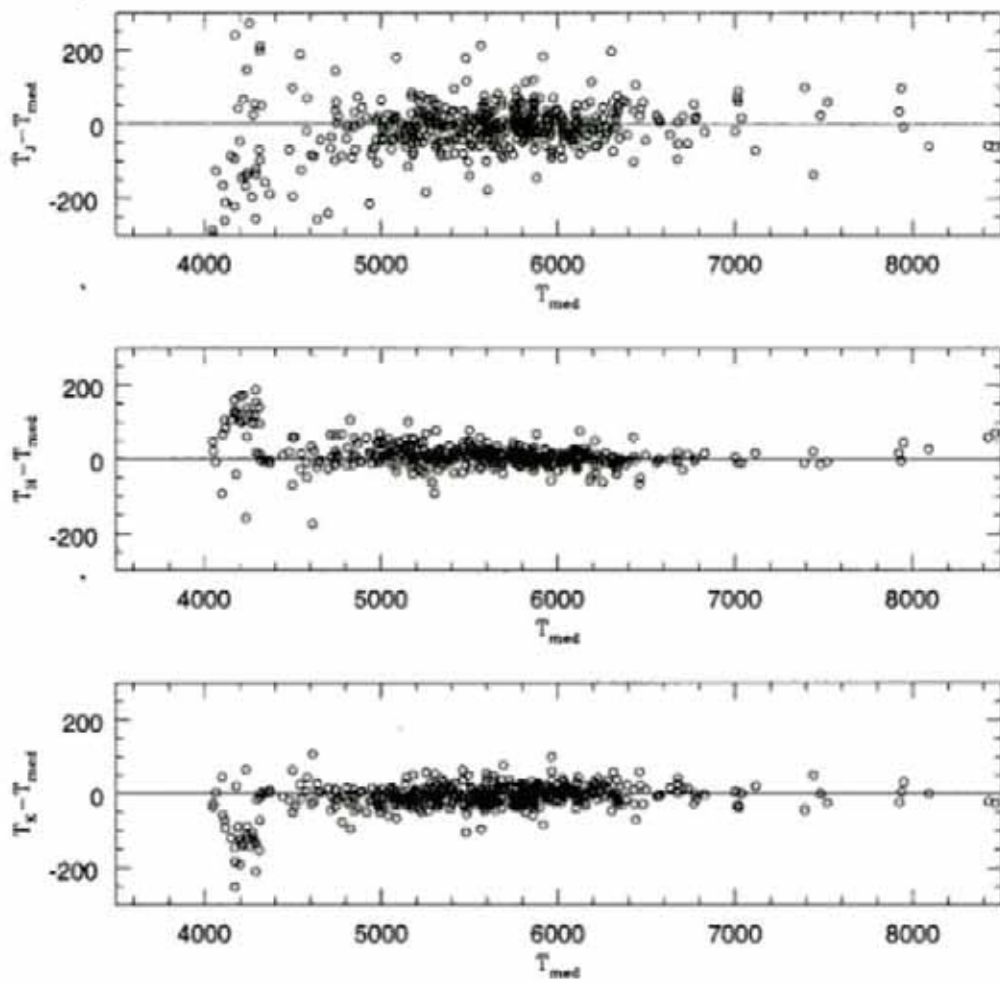


Figura 35: Residuos de las temperaturas en los tres filtros respecto a la temperatura promedio para $T_{med} > 4000K$.

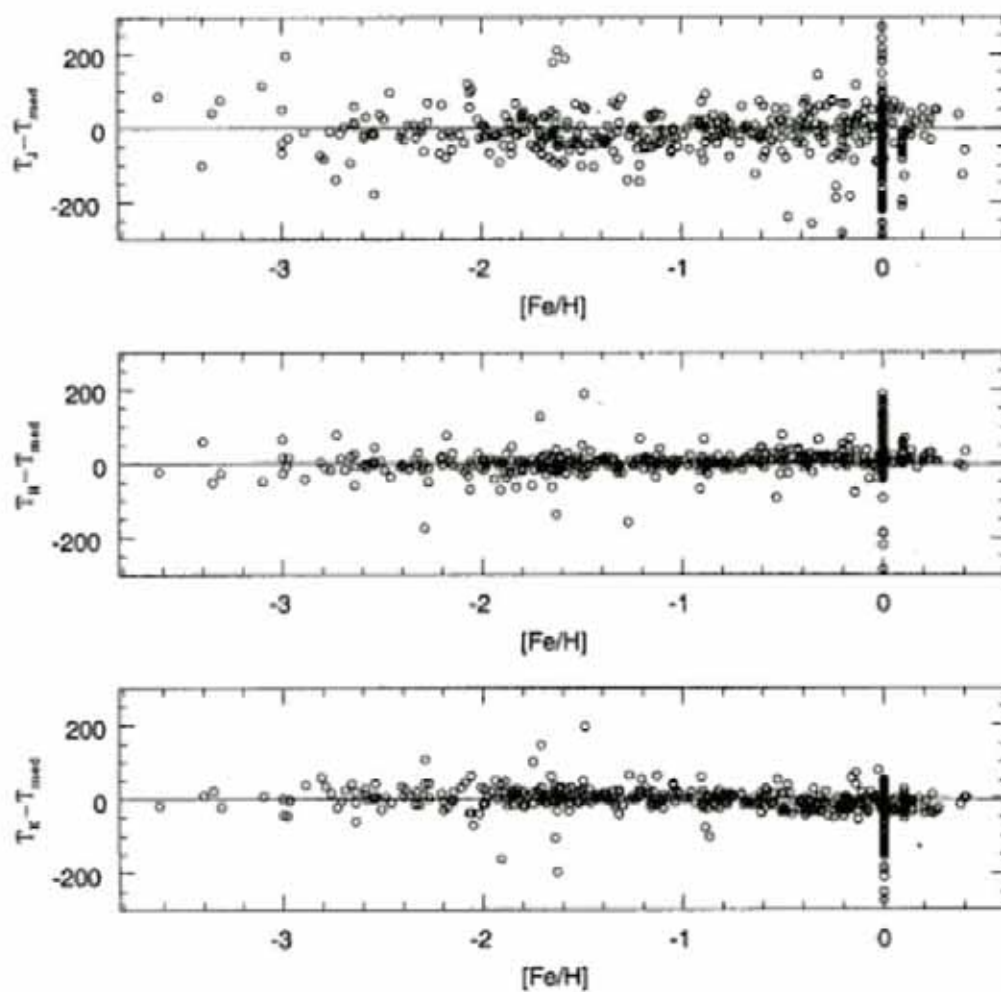


Figura 36: Residuos de las temperaturas en los tres filtros respecto a la metalicidad para $T_{med} > 4000K$.

El Sol y Prócion, estrellas de la baja S.P. cuyos diámetros han sido medidos de forma directa, se han incluido en la muestra. El acuerdo entre las temperaturas directas y las derivadas mediante el MFI es excelente. Este hecho, considerado de forma aislada, no dice demasiado sobre la precisión del presente trabajo puesto que la calibración absoluta fue establecida sobre la base empírica de medidas directas de diámetros estelares. Sin embargo, puede observarse que el promedio de las temperaturas de las estrellas análogas al Sol (tipos G0/2V) es razonablemente próximo al valor solar ($5743 \pm 100 K$ frente a $5780 K$) y lo mismo ocurre con las estrellas de tipo F3/5V análogas a Prócyon (6588 ± 150 frente a $6510 K$). En el capítulo 6 se comparan las relaciones medias obtenidas con estas temperaturas con los resultados de trabajos previos.

En este capítulo se han obtenido, mediante la aplicación del MFI, las temperaturas efectivas de unas 500 estrellas de la baja secuencia principal, que cubren el intervalo de metalicidades $0.5 > [Fe/H] > -3.5$. Se han calculado las incertidumbres asociadas a cada uno de los parámetros de entrada del MFI, y los errores que introducen en las temperaturas determinadas con cada uno de los filtros. La comparación de las temperaturas determinadas en las bandas J, H y K da lugar a resultados muy consistentes por encima de $4000 K$. La temperatura final adoptada para cada estrella se ha obtenido considerando una media de T_J , T_H y T_K , ponderada con sus correspondientes errores. Por debajo de $4000 K$ se ha considerado solamente la temperatura en la banda K. Del análisis de los errores sistemáticos se ha deducido que la indeterminación más probable del punto cero de la escala de temperaturas, asociada a la incertidumbre de la calibración absoluta del flujo IR, puede oscilar entre 0.4-1.7 %. Considerando la influencia conjunta de los errores sistemáticos y accidentales, la precisión media estimada para las temperaturas finales es del orden de 1.5 %.

Capítulo 6

La escala empírica de temperaturas

En este capítulo se han derivado las relaciones que ligan la temperatura efectiva y la metalicidad con los colores (B-V), (V-K) y la fotometría *ubvy- β* para las estrellas de la baja secuencia principal. Se han ajustado expresiones polinómicas de la forma $T_{ef} = P(\text{color}, [\text{Fe}/\text{H}])$ mediante el método de mínimos cuadrados, seleccionando los términos significativos por ensayo y error. La precisión de los ajustes oscila entre 26 K para (V-K) y 141 K para el índice β . Los resultados se han comparado con algunas calibraciones previas de la escala de temperaturas, tanto teóricas como empíricas. También se presentan los colores empíricos intrínsecos UBVJHK en los intervalos $4000 \text{ K} < T_{ef} < 7000 \text{ K}$ y $0 > [\text{Fe}/\text{H}] > -2.5$.

6.1 Introducción

Las relaciones precisas entre los parámetros físicos que describen la atmósfera de una estrella (T_{ef} , $\log(g)$ y $[\text{Fe}/\text{H}]$) y sus colores, índices fotométricos o características espectrales, constituyen un elemento necesario para analizar diversos resultados de la observación mediante el empleo de modelos teóricos. En primer lugar, su uso proporciona una buena base para eliminar algunas incertidumbres en la determinación de abundancias químicas a partir de datos espectroscópicos, ya que permite fijar la temperatura de forma independiente de la gravedad superficial, la velocidad de microturbulencia, y del resto de los parámetros físicos que intervienen en el análisis de los espectros observados. Por otro lado, proporcionan un apoyo imprescindible para comprobar los avances en el desarrollo de modelos de atmósferas, principalmente a través del estudio de los colores sintéticos. En último lugar, y quizás, su aplicación más importante es aquella relacionada con la interpretación de los resultados de la teoría de la Evolución Estelar. El análisis de los modelos evolutivos exige la transformación de las isócronas generadas desde el diagrama HR

teórico (T_{ef} -Luminosidad) al plano observacional (Color-Magnitud). Al estudio de la escala empírica de temperaturas de las estrellas de Población I se han dedicado considerables esfuerzos (puede consultarse la revisión de este tema realizada por Böhm-Vitense 1980). Por el contrario, los trabajos previos relacionados con la escala de temperaturas de las estrellas pobres en metales son insuficientes e incompletos como se mostró en el capítulo 1. Podemos señalar dos inconvenientes principales: En primer lugar, el número de estrellas estudiadas es demasiado pequeño como para reducir la influencia negativa de los errores en la medida de colores y en la determinación de la temperatura y la metalicidad. En segundo lugar el espacio (T_{eff} , $[Fe/H]$, *color*) no ha sido muestreado de forma suficiente y homogénea. El propósito de este trabajo era precisamente eliminar estos inconvenientes, y se culmina en este capítulo con la obtención de las relaciones que ligan la temperatura, la metalicidad y diferentes colores e índices fotométricos usualmente empleados. Con la ayuda de estas relaciones, el problema del análisis de los modelos de atmósferas estelares a través de la fotometría sintética, y la transformación del diagrama HR serán tratados en el capítulo 7, aunque no de forma exhaustiva.

Como resultado del programa descrito en los capítulos precedentes, hemos reunido una muestra de estrellas que cubren las temperaturas baja secuencia principal desde F0 hasta K5, y cuyas metalicidades son representativas de las poblaciones estelares de nuestra Galaxia. Para todas ellas se ha determinado la temperatura efectiva mediante el Método del Flujo Infrarrojo, según se explicó en el capítulo anterior. La asignación de la metalicidad se ha realizado bien mediante relaciones fotométricas, bien a partir de análisis espectroscópicos recogidos en catálogos publicados (véase la sección 5.4.4). Asimismo se han compilado sus medidas fotométricas en las bandas UBVR(I) del sistema de Johnson, en las bandas JHK del sistema del TCS, en las bandas *ubvy* del sistema de Strömgen y la línea H_{β} . Estos sistemas fotométricos han sido diseñados para extraer de forma directa la información que, sobre los diferentes parámetros atmosféricos, está *codificada* en el espectro estelar. El objetivo de este capítulo es calibrar las relaciones que ligan a la temperatura efectiva y la metalicidad con los colores e índices fotométricos (implícitamente también la gravedad está incluida en las calibraciones, puesto que las estrellas de la secuencia principal cubren un intervalo pequeño).

Antes de obtener las relaciones mencionadas, de analizarlas y de discutir sus consecuencias en detalle, hemos de señalar que algunas estrellas se han excluido de la muestra por diferentes motivos justificables. La selección se ha llevado a cabo mediante el análisis de los diagramas color:color cruzando fotometrías independientes. Como resultado se identificaron algunas estrellas gigantes y subgigantes incluidas en la muestra a pesar de los criterios de selección impuestos. Se encontraron algunos casos de identificaciones incorrectas. También se localizaron las estrellas con algún tipo de peculiaridad fotométrica: binarias espectroscópicas, *blue-stragglers*, variables, estrellas cuyas medidas estaban contaminadas por la presencia en la apertura de alguna compañera demasiado próxima, o estrellas muy enrojecidas. Además, todas las estrellas con $(B - V) > 1.50$ han sido eliminadas. Este límite en el color viene determinado por el corte en temperaturas de los modelos empleados, como se explicó en el capítulo precedente. Asimismo se han eliminado las estrellas más azules $(B - V) < 0.20$ por el límite de las relaciones empleadas para obtener el flujo bolométrico.

Desde un punto de vista práctico, las correlaciones se han obtenido realizando ajustes polinómicos de la forma $\theta_{ef} = P(\text{color}, [Fe/H])$ mediante el método de mínimos cuadrados. Esta manera de expresar la temperatura efectiva ($\theta_{ef} = 5040/T_{ef}$) tiene su origen en los análisis de los espectroscopistas. Su uso permanece por su utilidad para analizar las relaciones temperatura-color, ya que proporciona ajustes mejores que los que se obtienen al considerar T_{ef} . El orden y número de los términos empleados se ha determinado mediante ensayo y error, añadiéndolos progresivamente y verificando si contribuían a una reducción significativa de la dispersión del ajuste. El espacio de las variables ($T_{ef}, \text{color}, [Fe/H]$) no está muestreado de forma homogénea en todos los casos, y esto podría originar problemas al ajustar por mínimos cuadrados, es decir, las zonas sobremuestreadas distorsionan la tendencia general de los ajustes. Esto se ha tenido en cuenta, comprobando la ausencia de efectos sistemáticos en los residuos de los ajustes, tanto respecto al color o índices fotométricos, como respecto a la metalicidad.

6.2 Relaciones $T_{ef},(B-V),[Fe/H]$

Bien es cierto que $(B-V)$ no es el indicador fotométrico más sensible a la temperatura. Sin embargo, por motivos prácticos es el color más importante

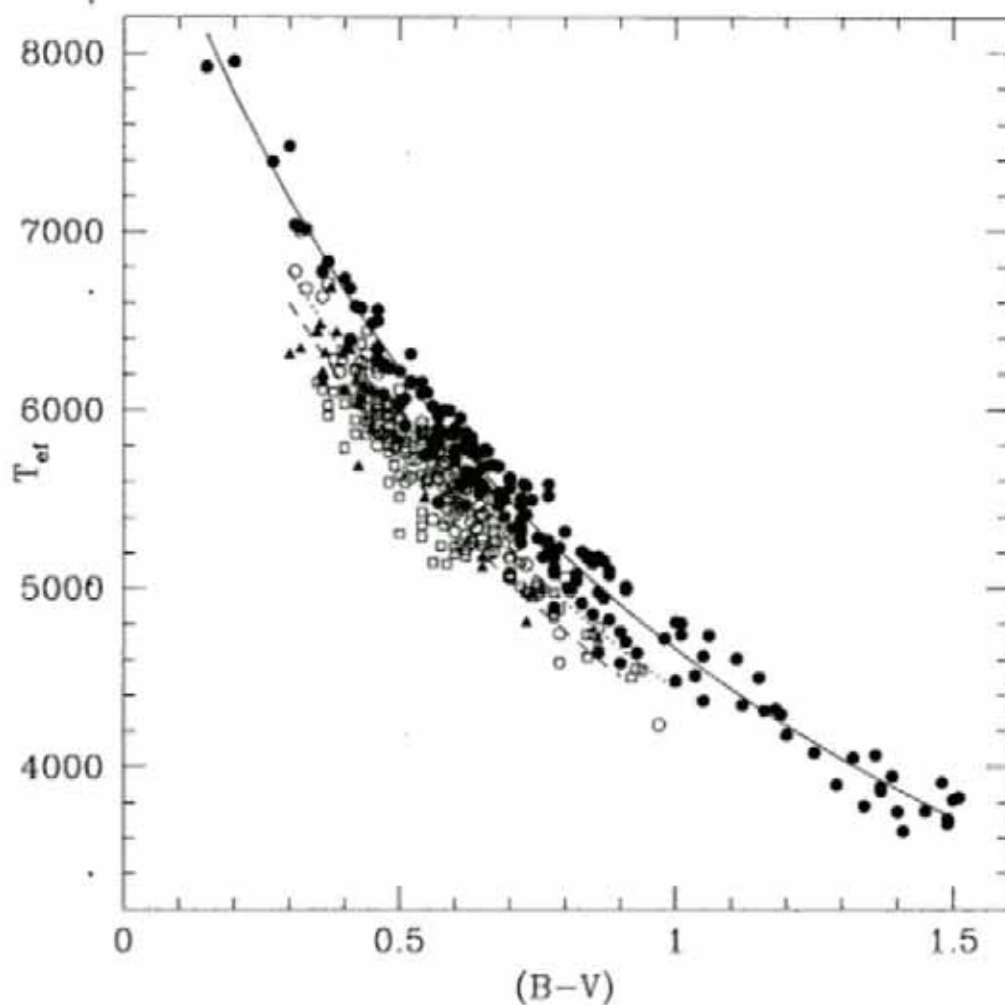


Figura 37: Diagrama $T_{ef} : (B - V)$. Las líneas corresponden al ajuste obtenido (Ec. 66) para $[Fe/H]=0.0$ (continua), $[Fe/H]=-1.5$ (puntos) y $[Fe/H]=-3.0$ (trazos). Círculos: $0.5 \geq [Fe/H] > -0.5$, circunferencias: $-0.5 \geq [Fe/H] > -1.5$, cuadrados: $-1.5 \geq [Fe/H] > -2.5$, triángulos: $-2.5 \geq [Fe/H]$.

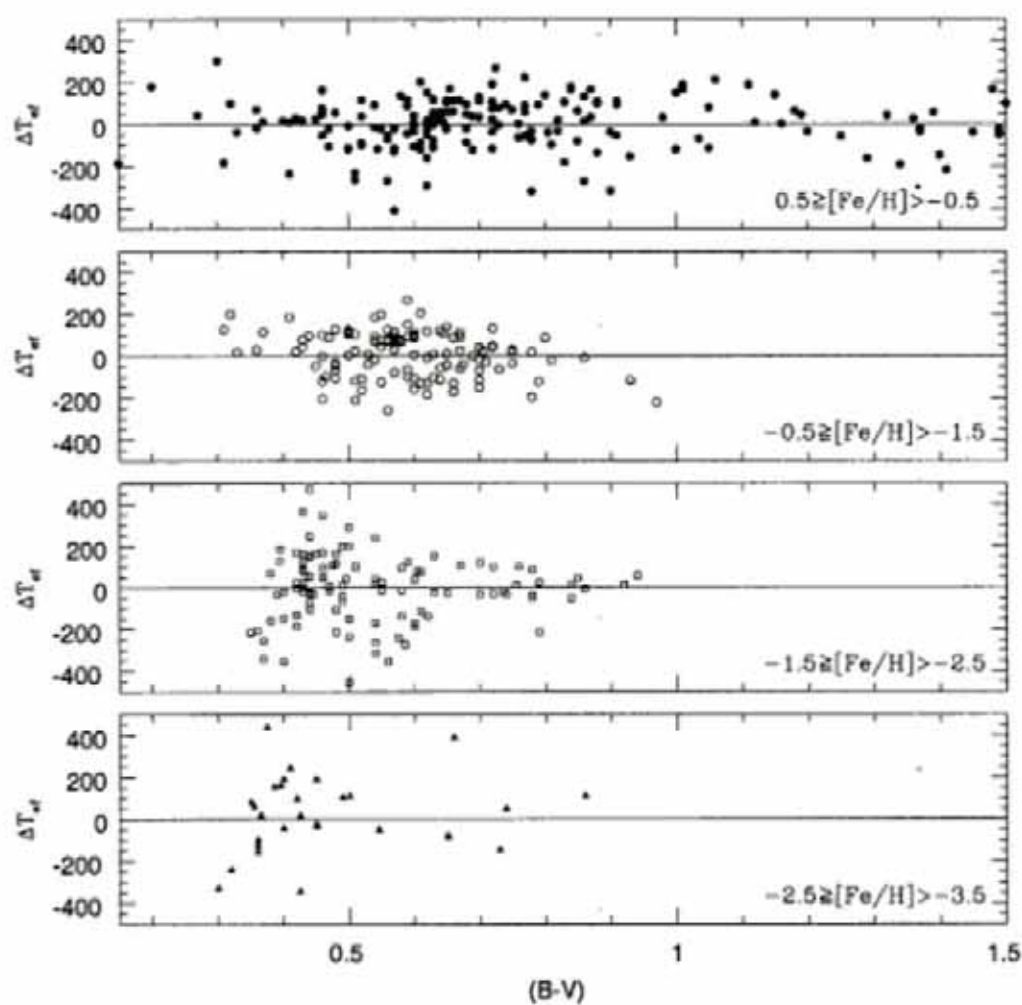


Figura 38: Residuos del ajuste $T_{ef} = f((B-V), [Fe/H])$ separados en cuatro grupos de metalicidad.

para el estudio de los cúmulos globulares, ya que una gran parte de la energía que emiten las estrellas de la Secuencia Principal y del *Turnoff* se recoge en las bandas B y V. Por este motivo, y por la mejor capacidad de los filtros de banda ancha para medir estrellas débiles, una gran parte de la base de datos de diagramas color:magnitud corresponde al tipo (B-V):V. Por otro lado, este color contiene información de los efectos de redistribución causados por el *blanketing* de las líneas metálicas con lo cual es un buen banco de pruebas para comprobar los colores sintéticos obtenidos a partir de los modelos de atmósferas.

El análisis del diagrama $(B - V) - [Fe/H] - \theta_{ef}$ (o equivalentemente T_{ef} , como en la figura 37) muestra que, para una metalicidad constante, la dependencia respecto al color y a la metalicidad ha de ser al menos cuadrática. En el ajuste se descartaron algunas estrellas debido a identificación incorrecta en el programa de fotometría IR, colores anómalos, binarias, gigantes, o por apartarse de la tendencia media debido a causas desconocidas. En la tabla del apéndice 5 se han señalado las estrellas descartadas.

Inicialmente se intentó ajustar un polinomio lineal en el color y la metalicidad con un término cruzado, esto daba como resultado una gran dispersión y no permitía eliminar las tendencias de los residuos frente a ambas variables. Al final, se llegó a un polinomio de segundo orden de la siguiente forma:

$$\theta_{ef} = 0.55437 + 0.49111(B - V) + 0.03827(B - V)^2 - 0.02258(B - V)[Fe/H] - 0.04591[Fe/H] - 0.01140[Fe/H]^2, \quad \sigma(\theta_{ef}) = 0.023 \quad (66)$$

En el cálculo de la relación se consideraron los colores, las metalicidades y las temperaturas de 430 estrellas. La desviación cuadrática media respecto del ajuste equivale a 138 K en la T_{ef} , lo que significa una precisión del 3.5 % a 4000 K y del 1.9 % a 7500 K. Las siguientes estrellas se apartaron del ajuste por un valor superior al doble de la desviación típica:

G005-036 (339K), G014-024 (304K), G020-015 (342K), G037-037 (326K), G051-010 (316K), G090-003 (355K), G096-038 (319K), G101-034 (315K), G180-024 (-289K), G183-011 (-473K), HD161770 (355K), HD83769 (-438K), HR6136 (331K), HD101177 (411K), BD-6 4455 (-559K), BD+80 245 (453K), BD+20 3603 (-365K), HD105601 (-301K), HD9107 (292K).

En la figura 38 se puede observar que la dispersión de las estrellas respecto de los ajustes medios es compatible con las incertidumbres típicas asociadas a la determinación de la temperatura, la metalicidad, y a la medida de $(B-V)$ para las estrellas de la muestra. De cualquier manera, la inspección visual de la figura 37 permite apreciar que no se conseguiría una mejora añadiendo términos al ajuste. Aunque el valor de la dispersión es ligeramente superior al que se recoge en otros trabajos realizados con muestras más restringidas, este hecho queda compensado con el aumento en la cantidad de estrellas consideradas en todo el intervalo de color y metalicidad. Las relaciones son especialmente fiables entre las temperaturas 4500 y 6500 K donde la densidad de muestreo en el espacio $(B-V):[Fe/H]$ es más alta. Esta calibración proporciona para el Sol ($[Fe/H]=0.0, (B-V)_{\odot} = 0.63^1$) una temperatura de 5734 K que es inferior en un 0.8 % a su temperatura directa (5780 K), y 6502 K para Procyon ($(B-V)=0.43, [Fe/H]=-0.05$) que es a efectos prácticos su temperatura directa (6506 K). Esto garantiza que la línea media del ajuste para las estrellas de población I es compatible dentro de los errores experimentales con la escala directa de temperaturas, al menos para las estrellas de tipos espectrales F y G. Esto es consecuencia directa de haber adoptado en la aplicación del MFI, la calibración absoluta del flujo IR descrita en el capítulo 3, ligada a la escala directa de temperaturas efectivas.

La variación media $\Delta T_{ef}/\Delta(B-V)$ es de unos 40 K por cada 0.01 mag para $(B-V) > 0.6$ y de unos 50 K para $(B-V) < 0.6$. El gradiente con la metalicidad no es constante y depende ligeramente del color (término cruzado del ajuste). En $(B-V)=0.6$ la temperatura varía 300K entre $[Fe/H]=0$ y -1 , y 150 K entre $[Fe/H]=-1$ y -2 . Puede apreciarse un efecto de saturación con la metalicidad. Es decir, la variación de la T_{ef} va disminuyendo progresivamente a medida que disminuye el contenido en metales (para $(B-V)$ constante).

Un error típico de 0.03 mag en $(B-V)$ significa un error medio del 3% en la temperatura, un error de 0.3 dex en $[Fe/H]$ significa un error medio de 1.3 %.

Para obtener la relación $(B-V) - T_{ef} - [Fe/H]$ puede invertirse numéricamente la Ec. 66. Sin embargo, por su utilidad para los análisis del capítulo 7 se ha determinado el ajuste polinómico del color $(B-V)$.

¹Este color es el que se obtiene considerando las estrellas de la muestra análogas al Sol, es decir $T_{ef} = 5780 \pm 50K$ y $[Fe/H] \approx 0.00$

$$\begin{aligned}
 (B - V) = & -0.9837 + 1.8652\theta_{ef} - 0.03241\theta_{ef}^2 + 0.1293\theta_{ef}[Fe/H] \\
 & - 0.0085[Fe/H] + 0.0199[Fe/H]^2 \\
 \sigma(B - V) = & 0.039 \text{ mag} \quad (67)
 \end{aligned}$$

Las siguientes estrellas se apartaron más de 2σ respecto al ajuste medio: G005-036 (0.09), G008-050 (-0.09), G014-006 (0.08), G014-024 (0.10), G020-015 (0.08), G021-006 (-0.09), G029-047 (0.10), G037-037 (0.08), G051-010 (0.12), G063-006 (0.08), G066-018 (0.10), G090-003 (0.09), G096-038 (0.11), G101-034 (0.08), G103-050 (-0.10), G171-039 (-0.11), G183-011 (-0.09), HD161770 (0.09), HD95735 (-0.12), HR5568 (-0.09), HD101177 (0.11), HD7424 (-0.08), BD+80 245 (0.12), HD9107 (0.08).

Nuevamente esta relación proporciona buenos colores para el Sol ($T_{ef} = 5780K \Rightarrow (B - V) = 0.62$) y Procyon ($T_{ef} = 6506K \Rightarrow (B - V) = 0.44$).

En las figuras 39 y 40, se muestra la comparación de la calibración empírica obtenida, frente a varias calibraciones empíricas y teóricas independientes representadas para $\log(g) = 4.5$ y metalicidades 0, -1 y -2. En los siguientes puntos se discuten los resultados de la comparación de forma detallada.

Calibraciones para población I : La figura 39a contiene los resultados para las estrellas enanas de población I. En particular hay que notar, como ya se ha mencionado previamente, el excelente acuerdo con la línea determinada por Code et al. (1979) basada en medidas de diámetros estelares mediante interferometría de intensidad (Hanbury-Brown et al. 1974). La pendiente es muy semejante para el intervalo $0.35 < (B - V) < 0.65$ y la diferencia media entre la calibración obtenida y la directa es de -20 K. A partir de $(B - V) = 0.35$ las dos líneas se separan hasta alcanzar una diferencia de -200 K en $(B - V) = 0.2$, que supone un 2.5 %. Las diferencias respecto a la calibración de Böhm-Vitense son más notables, oscilan entre -200 K en $(B - V) = 0.4$ y +200 K a $(B - V) = 1.5$, y en consecuencia la pendiente y la forma global son muy distintas.

Cameron (1985) : La calibración de Cameron (1985, C85) está basada en 218 estrellas con determinación espectroscópica de su temperatura que proceden de diversos trabajos. En la figura 39b, pueden observarse las características de esta calibración. Para todas las metalicidades, la pendiente de C85 es mayor que la del presente trabajo en el intervalo $0.2 < (B - V) < 0.5$. Las diferencias de la temperatura oscilan entre -150 K y 150 K. En el intervalo $0.5 < (B - V) < 1.5$ la tendencia es justamente la inversa, con una menor pendiente y diferencias en temperatura del mismo orden de magnitud. En la zona central la variación con la metalicidad es notablemente discrepante. Para C85 la variación de la temperatura entre $[Fe/H]=0$ y $[Fe/H]=-1$ es de 370 K, y de 130 K entre $[Fe/H]=-1$ y $[Fe/H]=-2$. Estos valores son notablemente diferentes de los que se obtienen en el presente trabajo, 300 K y 150 K respectivamente.

Magain (1987) : Las diferencias respecto a la calibración de Magain (1987, M87) son bastante apreciables dentro del intervalo de aplicación común a ambas (figura 39c). La calibración de temperaturas de M87 satisface una relación lineal en el color probablemente debido al pequeño intervalo de tipos espectrales que cubre. Para metalicidad solar las pendientes son ligeramente distintas. En el punto más azul, $(B - V) = 0.4$, se separan +100 K y en el punto más rojo, $(B - V) = 0.63$, -100 K. Ambas relaciones coinciden en $(B - V) = 0.45$ para metalicidad solar. Son, sin embargo, muy parecidas para metalicidad -1. Por otro lado, la calibración de M87 implica una saturación muy rápida de la variación de temperatura con la metalicidad (detalle que puede apreciarse observando que la línea de metalicidad -2 de M87 queda entre 100 y 200 K por encima de la derivada en este trabajo). De hecho, M87 proporciona un cambio de 50 K entre $[Fe/H]=-1$ y $[Fe/H]=-2$, para $(B - V) = 0.6$, valor notablemente distinto del que resulta del presente trabajo (150 K). Este es, probablemente, un efecto efecto espurio debido al bajo número de estrellas pobres en metales que se han empleado para obtener la relación M87 (está basada en 11 estrellas de población II además de las estrellas del trabajo de SH85).

Martínez-Roger et al. (1992) : De todas las calibraciones empíricas previas, la que tiene un mayor grado de acuerdo con la presente, es la de Martínez-Roger et al. (1992, MAA92). La pendiente con el color, y la tendencia con la metalicidad son muy parecidas (Fig 39d). Sin embargo,

se notan diferencias en los extremos del intervalo de aplicación en color. MAA92 se aparta sistemáticamente hacia temperaturas más elevadas en la parte fría de la escala, alcanzando 200 K de diferencia en $(B - V) = 1.0$ para la línea de metalicidad solar, 75 K en $(B - V) = 0.7$ para $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$. La línea de $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.0$ es prácticamente idéntica en el intervalo común de ambas calibraciones. La variación de temperatura con la metalicidad en $(B - V) = 0.6$ es de 295 K entre $[\text{Fe}/\text{H}] = 0$ y $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$, y de 175 K entre $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ y $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.0$. Estos valores son muy semejantes a los de la calibración del presente trabajo, 300 K y 150 K respectivamente.

Carney et al. (1994) : Carney et al. (1994, CLLA94) proponen una calibración basada en el índice $\delta(U - B)_{0.6}$ obtenida con 87 estrellas. La base de esta escala de temperaturas es la comparación de datos espectrofotométricos del continuo de Paschen con las distribuciones de flujo superficiales asociadas a los propios modelos de atmósfera empleados para generar los espectros sintéticos con los que se analizaron los datos (Paterson y Carney 1979, y Carney 1983). El índice $\delta(U - B)_{0.6}$ (Sandage 1969) ha sido calibrado por Carney (1979) frente a la metalicidad. Siguiendo este trabajo se han considerado los siguientes valores, para realizar la comparación de una forma adecuada: $\delta(U - B)_{0.6} = 0.04 \text{ mag} \sim [\text{Fe}/\text{H}] = 0.0$, $\delta(U - B)_{0.6} = 0.175 \text{ mag} \sim [\text{Fe}/\text{H}] = -1.0$ y $\delta(U - B)_{0.6} = 0.27 \text{ mag} \sim [\text{Fe}/\text{H}] = -2.0$. Los resultados se presentan en la figura 40a. La pendiente de CLLA94 es ligeramente menor que la del presente trabajo para todas las metalicidades. La línea de metalicidad solar es 100 K más fría en $(B - V) = 0.2$, y se va progresivamente aproximando hasta coincidir en $(B - V) = 1.5$. La línea de metalicidad -1 es 40 K más fría en $(B - V) = 0.4$ y 40 K más caliente en $(B - V) = 0.9$. La línea de metalicidad -2 es 100 K más fría en $(B - V) = 0.4$ y 40 K más caliente en $(B - V) = 0.8$. En $(B - V) = 0.6$ la temperatura varía 255 K entre $[\text{Fe}/\text{H}] = 0$ y $[\text{Fe}/\text{H}] = -1$ (mientras que en el presente trabajo esta variación es de 300 K), y 150 K entre $[\text{Fe}/\text{H}] = -1$ y $[\text{Fe}/\text{H}] = -2$, valor idéntico al que se obtiene en el presente trabajo.

Calibraciones teóricas : Una característica común de las calibraciones teóricas, es que predicen una saturación del efecto de la metalicidad sobre la temperatura, es decir, fijado el color la tasa de variación de la temperatura disminuye de forma progresiva hacia las metalicidades menores. Esto significa simplemente que, por debajo de una cierta proporción de metales en la

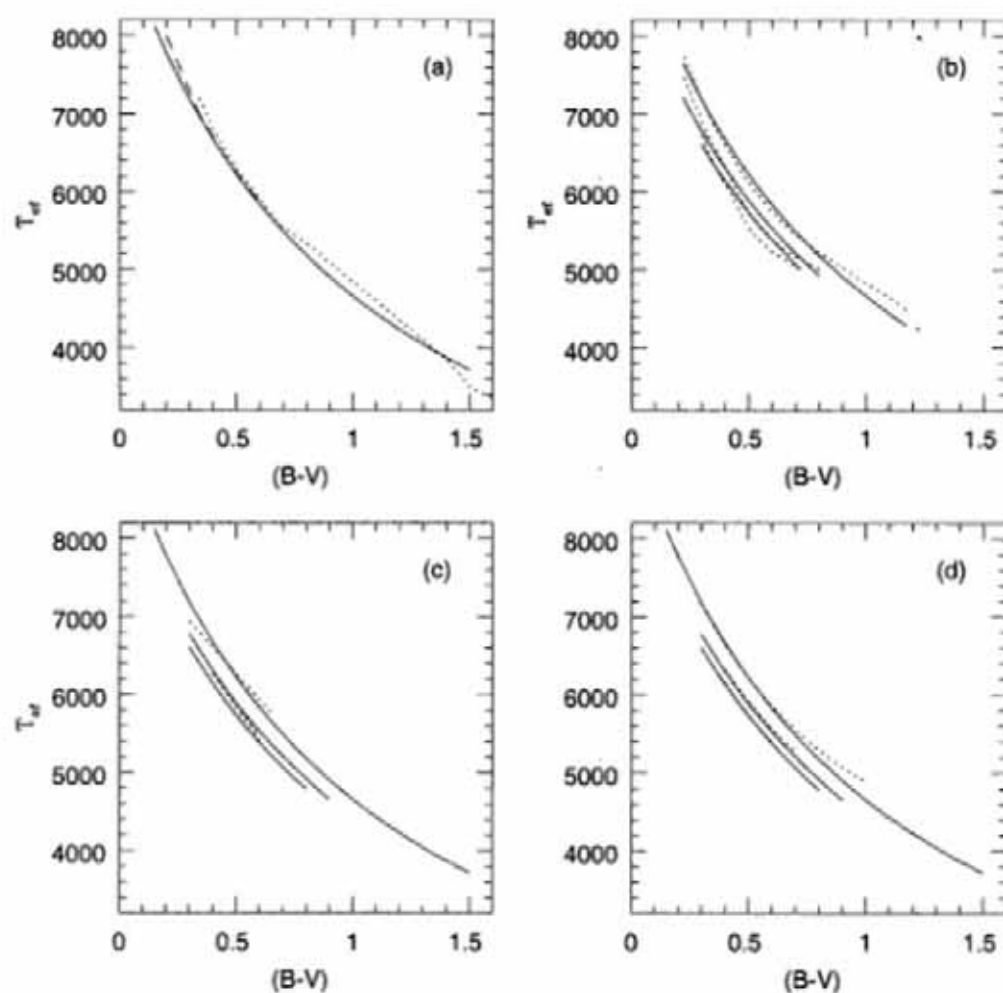


Figura 39: Comparación de la relación empírica obtenida (línea continua) para $[Fe/H]=0, -1$ y -2 (Eq. 1) con las calibraciones de (a) población I: Code et al. 1976 (línea de trazos), Böhmer-Vitense 1981 (línea de puntos), (b) Cameron 1985 (línea de puntos), (c) Magain 1987 (línea de puntos), (d) Martínez-Roger et al. 1992 (línea de puntos).

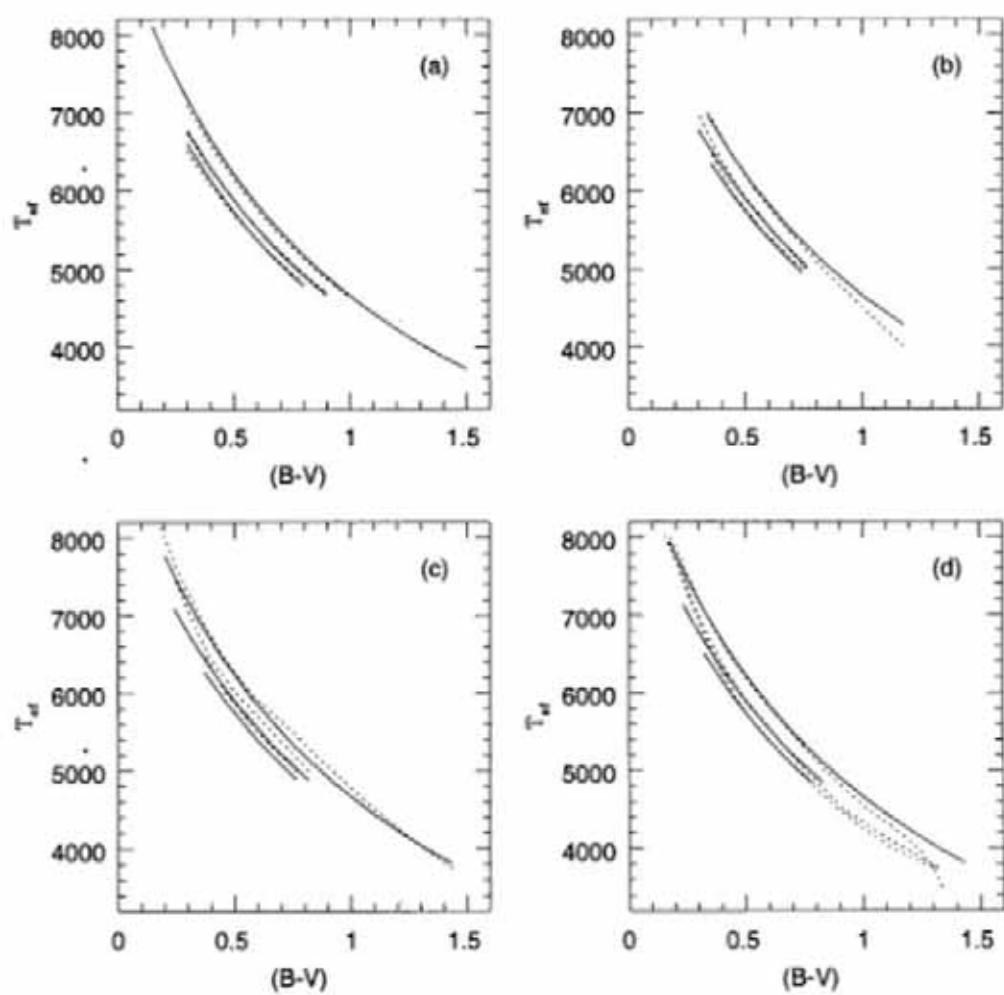


Figura 40: Comparación con las calibraciones de (a) Carney et al. 1994 (b) Vandenberg 1985, (c) Colores de Yale y (d) Kurucz 1993.

atmósfera estelar, el bloqueo de fotones por las líneas metálicas es de orden despreciable, y en consecuencia los efectos del *blanketing* desaparecen. La calibración empírica refleja, efectivamente, esta propiedad. La saturación se alcanza entre $-3.0 > [Fe/H] > -3.5$, sin embargo hay discrepancias cuantitativas y cualitativas respecto a las calibraciones teóricas. Para las estrellas más azules ($(B - V) < 0.4$) y las más rojas ($(B - V) > 0.65$), las calibraciones teóricas predicen una tasa de variación de la temperatura que parece ser menor que la que se deduciría extrapolando la calibración empírica. El acuerdo de las tendencias en la zona intermedia es bueno, aunque la dependencia con la metalicidad es ligeramente distinta.

VandenBerg y Bell (1985) : La figura 40b muestra los colores de la calibración de VandenBerg (1985, VB85). Puede apreciarse la diferencia entre las pendientes para abundancia solar, que coinciden en $(B - V) = 0.5$ para separarse 275 K en $(B - V) = 1.2$. En la zona central ($0.4 < (B - V) < 0.6$) las pendientes son idénticas, para estrellas de $z < z_{\odot}$, aunque desplazadas 25 K respecto a la calibración empírica. En $(B-V)=0.6$ la temperatura varía 245 K entre $[Fe/H]=0$ y $[Fe/H]=-1$, y 140 K entre $[Fe/H]=-1$ y $[Fe/H]=-2$.

Los colores de Yale : Las transformaciones de Yale (figura 40c) aparecen completamente desplazadas respecto a las relaciones empíricas debido, probablemente, a la elección del punto cero (una variación de -0.02 mag en $(B-V)$ llevaría a un mejor acuerdo medio). Al margen de este problema, las pendientes son notablemente distintas en todo el intervalo de temperaturas y metalicidades. Las diferencias relativas, si descartamos el efecto del punto cero, tienen una amplitud de variación de ± 100 K. En $(B-V)=0.6$ la temperatura varía 220 K entre $[Fe/H]=0$ y $[Fe/H]=-1$, y 200 K entre $[Fe/H]=-1$ y $[Fe/H]=-2$.

Kurucz (1993) : El apéndice 2 contiene los colores sintéticos generados con los modelos de Kurucz (1991,1993). En la figura 40d se presenta la comparación de las relaciones empíricas con la calibración de los modelos para $\log(g) = 4.5$, en general el acuerdo es bueno.

Puede observarse que para estrellas de metalicidad solar las líneas coinciden entre $(B - V) = 0.4$ y $(B - V) = 0.7$, fuera de este intervalo las líneas se

separan, en $(B - V) = 0.3$ las temperaturas de los modelos son 100 K más calientes, y en $(B - V) = 1.5$ son 300 K más frías.

En cuanto a las líneas de $z < z_{\odot}$ hay coincidencia en la parte central y diferencias apreciables en los extremos. En $(B-V)=0.6$ el cambio de la temperatura es de 275 K entre $[Fe/H]=0$ y $[Fe/H]=-1$, y 165 K entre $[Fe/H]=-1$ y $[Fe/H]=-2$, valores comparables a los que se obtienen en el presente trabajo. Esta cuestión se analizará desde un punto de vista global en el capítulo 7, al estudiar la fotometría sintética generada con los modelos de Kurucz.

6.3 Relaciones T_{ef} , $(V-K)$, $[Fe/H]$

$(V-K)$ es sin duda uno de los colores fotométricos más sensibles como indicador de temperatura, además tiene la ventaja de estar marginalmente afectado por los efectos del *blanketing* y la gravedad superficial. Puede observarse, en la figura 41, el comportamiento suave y regular de los puntos empíricos en el plano $T_{ef} - (V - K)$ y la pequeña dispersión en torno a la línea media del ajuste. En un paso inicial, se descartaron las siguientes estrellas: HD45281 por color incorrecto, y G091-011, G121-045, G171-039, G216-037, HD227638 y SB501 porque su comportamiento se apartaba de la tendencia media sin razón conocida que justificase la discrepancia. En total se consideraron 430 estrellas en el intervalo $0.4 < (V - K) < 4.1$ divididas en dos grupos, que dieron lugar a la siguiente relaciones para θ_{ef} : En el intervalo $0.4 < (V - K) < 1.8$ con 310 estrellas,

$$\theta_{ef} = 0.555 + 0.195(V - K) + 0.0131(V - K)^2 - 0.0082(V - K)[Fe/H] + 0.0093[Fe/H] - 0.0020[Fe/H]^2, \quad \sigma(\theta_{ef}) = 0.006 \quad (68)$$

Esta desviación típica equivale a 23 K. En el intervalo $1.6 < (V - K) < 4.2$ con 195 estrellas,

$$\theta_{ef} = 0.566 + 0.217(V - K) - 0.0035(V - K)^2 - 0.0242(V - K)[Fe/H] + 0.0365[Fe/H] - 0.0019[Fe/H]^2, \quad \sigma(\theta_{ef}) = 0.008 \quad (69)$$

Esta desviación típica equivale a 29 K. Los valores de la dispersión, si los comparamos con los del ajuste $T_{ef} - (B - V)$, son consistentes con el aumento de sensibilidad de $(V-K)$ respecto a $(B-V)$ (Obsérvese que, en el mismo

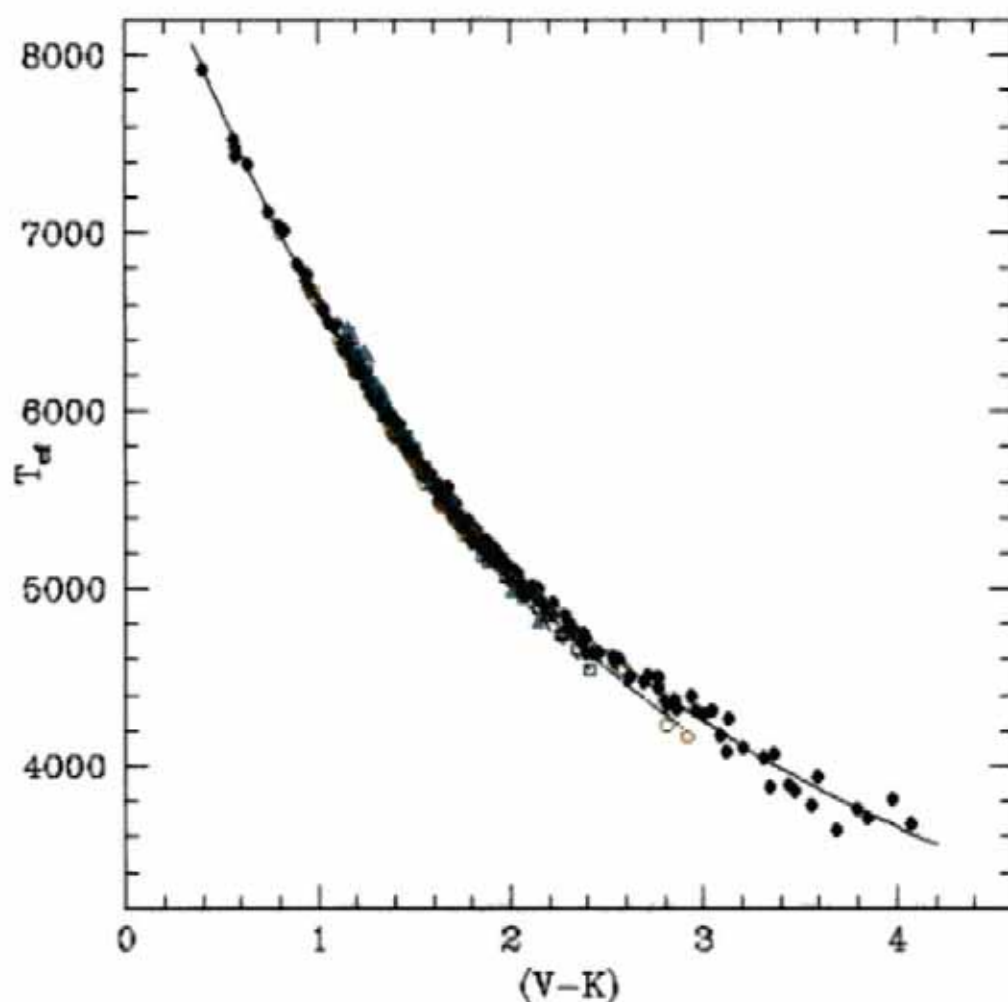


Figura 41: Diagrama $T_{ef} : (V - K)$. Las líneas corresponden al ajuste obtenido (Ecs. 68 y 69) para $[Fe/H]=0.0$ (continua), $[Fe/H]=-1.5$ (puntos) y $[Fe/H]=-3.0$ (trazos). Círculos: $0.5 \geq [Fe/H] > -0.5$, circunferencias: $-0.5 \geq [Fe/H] > -1.5$, cuadrados: $-1.5 \geq [Fe/H] > -2.5$, triángulos: $-2.5 \geq [Fe/H]$.

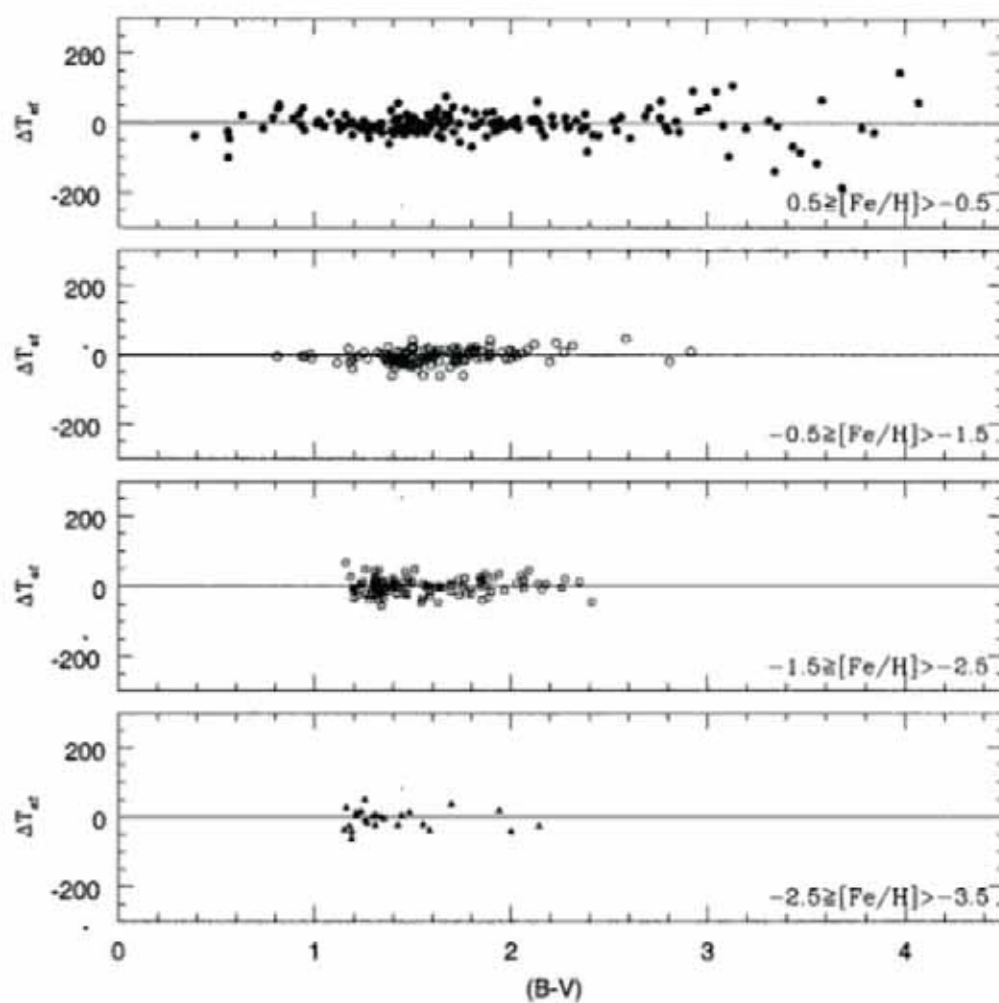


Figura 42: Residuos del ajuste $T_{\text{eff}} = f((V-K), [Fe/H])$ separados en cuatro grupos de metalicidad.

intervalo de temperatura, $(V-K)$ abarca 4.2 mag en el eje del color mientras que $(B-V)$ sólo se extiende 1.2 mag).

Las siguientes estrellas quedan a más de 2σ respecto al ajuste medio de la relación 68 correspondiente a las estrellas calientes:

G005-036 (54K), G012-023 (65K), G022-009 (49K), G037-037 (-49K),
G048-029 (64K), G183-011 (-68K), G214-001 (-47K), HD163810 (50K),
HD179626 (59K), HR7373 (47K), HR8455 (54K), LTT6059 (-70K),
LTT2437 (-55K), HD106965 (100K), HR483 (61K), HR2085 (-50K),
HR2852 (-46K), HR4496 (50K).

Las siguientes estrellas quedan a más de 2σ respecto al ajuste medio de la relación 69 correspondiente a las estrellas frías:

G029-047 (117K), G063-006 (69K), G167-011 (84K), G187-009 (-106K),
G218-017 (-64K), G243-052 (-91K), HR159 (70K), HR6136 (87K),
HR6136 (87K), HR6228 (-91K), HR8455 (60K), LTT6059 (-79K),
vA548 (-62K).

El intervalo de aplicación puede leerse fácilmente en las figuras 41 y 42. Esta calibración proporciona para el Sol ($[Fe/H]=0$ y $(V-K)_J=1.486$) 5768 K, un 0.2 % menor que su temperatura directa. Para Prócion ($[Fe/H]=-0.05$ y $(V-K)_J=1.012$) 6582 K, un 1.1 % mayor que su temperatura directa. La variación media $\Delta T_{ef}/\Delta(V-K)$ es de 15 K por cada 0.01 mag para $(V-K) < 2$ y de 7 K por 0.01 mag para $(V-K) > 2$, valores comparables a los de otros trabajos publicados. Aparece, sin embargo, una dependencia con la metalicidad más acusada que la descrita en ningún trabajo previo, y de carácter completamente distinto. Para las estrellas con $(V-K) < 1.57$ la temperatura aumenta con la metalicidad, mientras que disminuye en el caso contrario. Esta dependencia se observa en las zonas donde se ha producido una extensión de los intervalos muestreados. En $(V-K) = 1.0$ la variación de temperatura es de +20 K/dex, y en $(V-K) = 2.4$ la variación es de -30 K/dex.

En la figura 43 se presenta la comparación de la calibración obtenida en este trabajo frente a diversas calibraciones para estrellas de población I. El acuerdo global entre todos los trabajos es bueno en la parte caliente de la baja secuencia principal. Además, el solapamiento con la relación hallada por Ridgway et al. 1980, es notable, a pesar de que ese trabajo está dedicado a estrellas gigantes rojas. Hay un buen acuerdo entre $2 < (V-K) < 3.2$, punto a partir del cual las dos líneas se separan hasta alcanzar una diferencia

de 200 K (más caliente la calibración de Ridgway et al. 1980) en $(V-K)=4.2$. Este resultado parece confirmar nuevamente que $(V-K)$ es un indicador de temperatura poco sensible a efectos de gravedad (Téngase en cuenta que en esta zona de temperaturas la diferencia en gravedad entre estrellas enanas y gigantes puede superar los 3 dex).

En la figura 44 se muestra la comparación con otras relaciones empíricas que también contemplan el efecto de la metalicidad MAA92 y CLLA94, y con las calibraciones teóricas de Bell y Gustafson (1989), y la obtenida en el capítulo 4 con los colores sintetizados a partir de los modelos de Kurucz (1993, K93).

Las tendencias son completamente diferentes a las de las calibraciones empíricas previas en ambos casos, hecho que puede deberse al aumento del número de estrellas consideradas en el presente trabajo que muestrean de forma más completa el espacio $T_{ef} - (V - K) - [Fe/H]$. Recordemos que MAA92 se ha obtenido con 63 estrellas, y CLLA94 con 80 estrellas. En MAA92, el efecto de la metalicidad descrito es muy pequeño (8 K/dex en $(V-K)=1.5$) con lo cual las líneas de metalicidad solar y población II prácticamente se superponen (figura 44a). Por el contrario, CLLA94 sugiere un efecto mucho más fuerte (40 K/dex en $(V-K)=2.0$) en el sentido de aumento de la temperatura para metalicidades más bajas (figura 44b). En lo que concierne a las calibraciones teóricas efecto que se observa es comparable al descrito por BG89, aunque existe una gran diferencia en el punto cero, y también en las pendientes (figura 44c). El acuerdo con la calibración teórica obtenida a partir de los propios modelos de Kurucz (1993) es globalmente bueno, aunque hay diferencias sistemáticas del orden de 50 K en los dos extremos del intervalo de temperaturas cubierto por el presente trabajo. En el capítulo 7, se estudiarán las calibraciones teóricas generadas con estos modelos de forma global.

6.4 Relaciones T_{ef} , Strömrgren, $[Fe/H]$

El sistema de Stromgrén es un sistema de banda intermedia especialmente diseñado para medir ciertos detalles del espectro relacionados con las propiedades físicas de la atmósfera estelar. El índice m_1 es sensible a los efectos de *blanketing*. El índice c_1 está específicamente concebido para medir la fuerza de la discontinuidad de Balmer. El índice $(b-y)$, por su parte, es un indicador

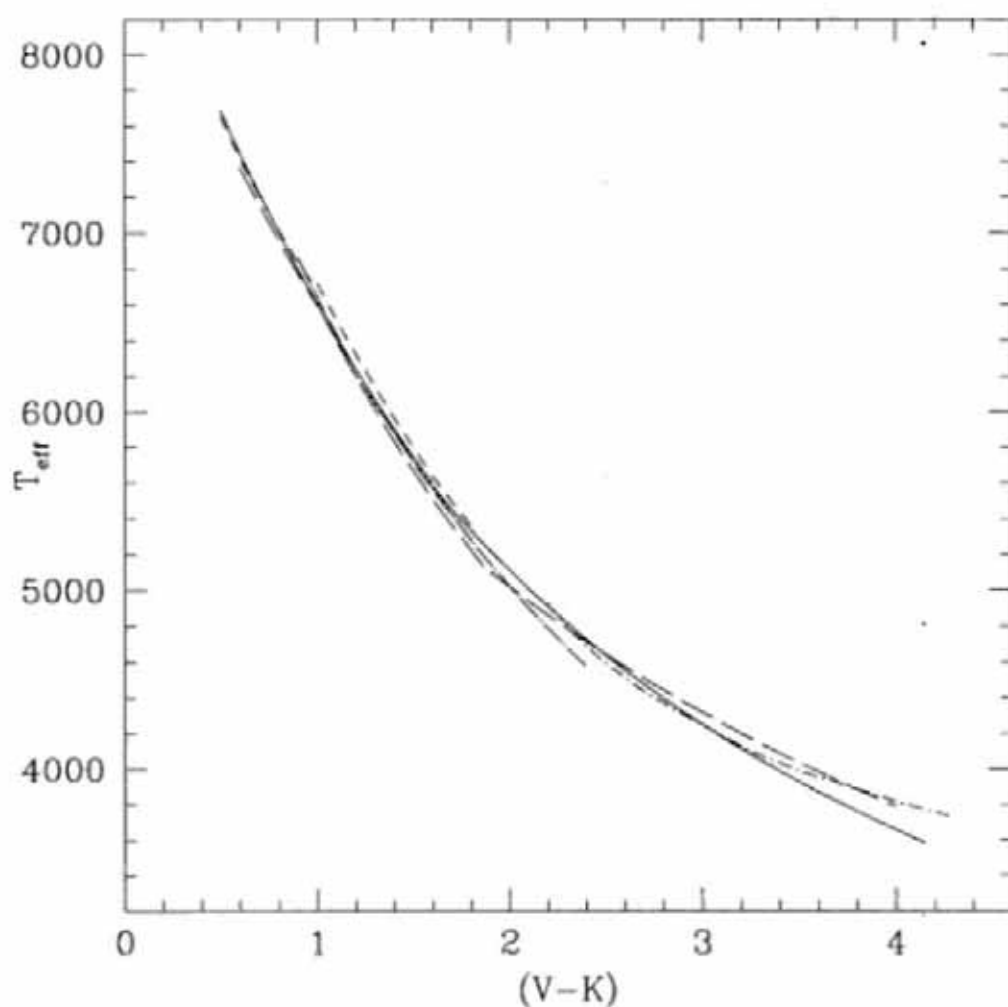


Figura 43: Comparación de diversas calibraciones $T_{ef} : (V - K)$ para estrellas de población I frente a la obtenida en este trabajo (línea continua). Línea de puntos: Magain (1987), línea de trazos: Blackwell et al. (1990), línea de punto y trazo: Ridgway et al. (1980), línea de trazos largos: Arribas y Martínez-Roger (1988,1989), línea de trazos largos y puntos: Carney (1983).

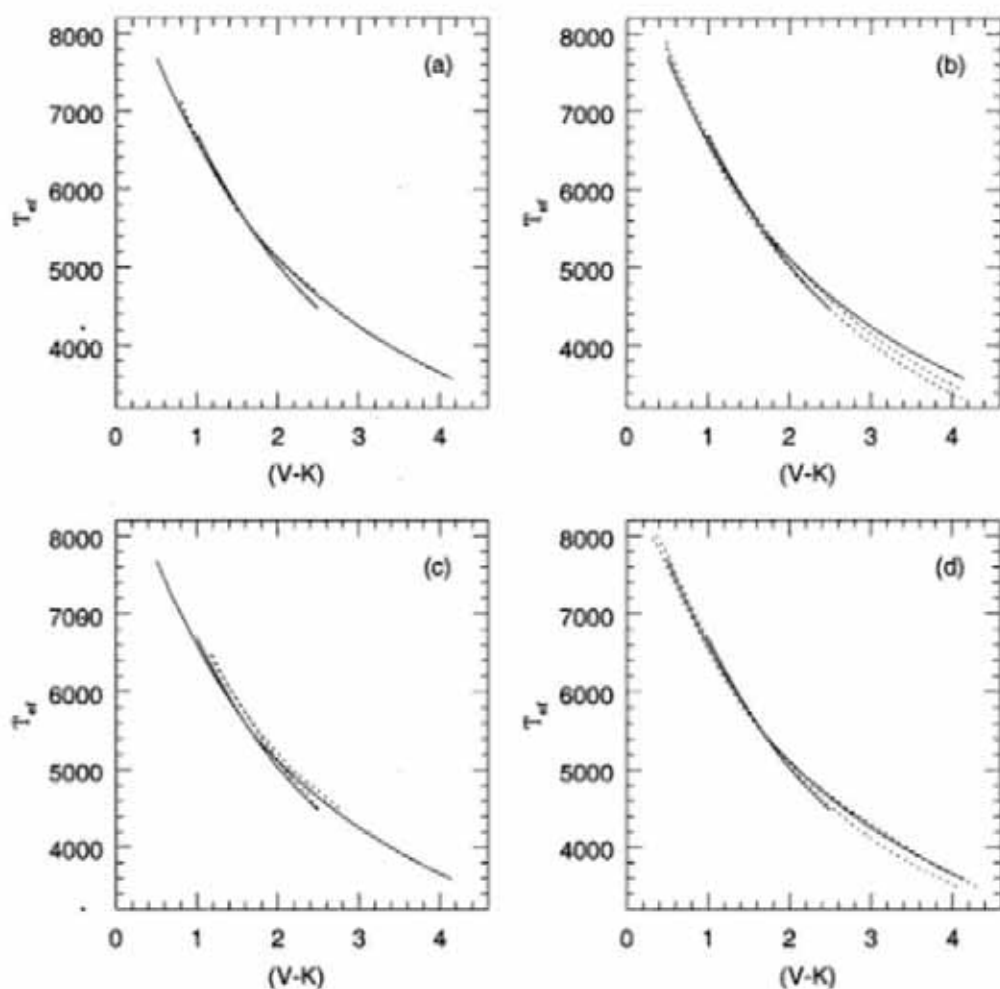


Figura 44: Comparación entre la calibración $T_{\text{eff}} : (V - K)$ obtenida en este trabajo (línea continua) para metalicidades 0 y -2, y otras calibraciones (línea de puntos). (a) MAA92, (b) CLLA94, (c) BG89, (d) K93.

de la temperatura mejor que (B-V). En consecuencia el diagrama (b-y)- c_1 de este sistema fotométrico (equivalente al diagrama HR) es un instrumento muy adecuado para estudiar efectos evolutivos. Ya comienza a ser empleado en el estudio de cúmulos abiertos con resultados prometedores, y en el estudio de edad de estrellas individuales (Schuster y Nissen 1989, Knude 1992).

De la muestra global, un total de 375 tienen fotometría de Strömgen. En el recuadro de la Fig 45 se muestra el intervalo de color con un mejor muestreo de la metalicidad, que fue considerado para el ajuste. 25 estrellas de la submuestra con fotometría de Strömgen se descartaron en el ajuste (tabla del Apéndice 5). El ajuste obtenido fue

$$\theta_{ef} = 0.537 + 0.854(b-y) + 0.196(b-y)^2 - 0.198(b-y)c_1 - 0.0263(b-y)[Fe/H] - 0.0138[Fe/H] - 0.0085[Fe/H]^2 \quad \sigma(\theta_{ef}) = 0.016 \quad (70)$$

Esta desviación típica corresponde a 95 K. Tres estrellas tienen residuos superiores a 2.5σ respecto de la temperatura del ajuste final: G015-013 (-251 K), G115-049 (-251 K) y HD83769 (-249 K). Esta relación proporciona para Procyon ($(b-y) = 0.272, c_1 = 0.532, [Fe/H] = -0.05$) una temperatura de 6665K, un 2.5% por encima de su medida directa. Esta discrepancia es grande a pesar de que no es incompatible con las incertidumbres combinadas de la medida del diámetro y de la calibración. Adoptando para el Sol los colores promedio de las análogas solares contenidas en la muestra ($(b-y)_{\odot} = 0.396, c_{1\odot} = 0.347$) se obtiene una temperatura de 5736K. Dado que las líneas de diferentes metalicidades no se pueden representar de forma directa en el plano $T_{ef} - (b-y)$, en la figura 46 se proporcionan las diferencias obtenidas entre la relación derivada, y las temperaturas adoptadas a partir del MFI frente a las diferentes variables. A partir de esta figura pueden establecerse fácilmente los límites de aplicación de la relación (70). Las diversas calibraciones no se pueden comparar de forma directa, puesto que hay tres variables independientes en la relación (70). Para sortear esta dificultad, se procuran en los diagramas de la figura 47 las diferencias en temperatura que se obtienen al aplicar las calibraciones de otros autores y la presente, a las estrellas de la muestra.

Magain 1987 proporciona una relación aplicable en los límites $0.3 < (b-y) < 0.45$ y $0.1 > [Fe/H] > -2.2$. La figura 47a permite apreciar que las diferencias siguen una tendencia aproximadamente parabólica que es debida a la forma lineal del ajuste de M87. La relación de M87 para z_{\odot} es, en promedio,

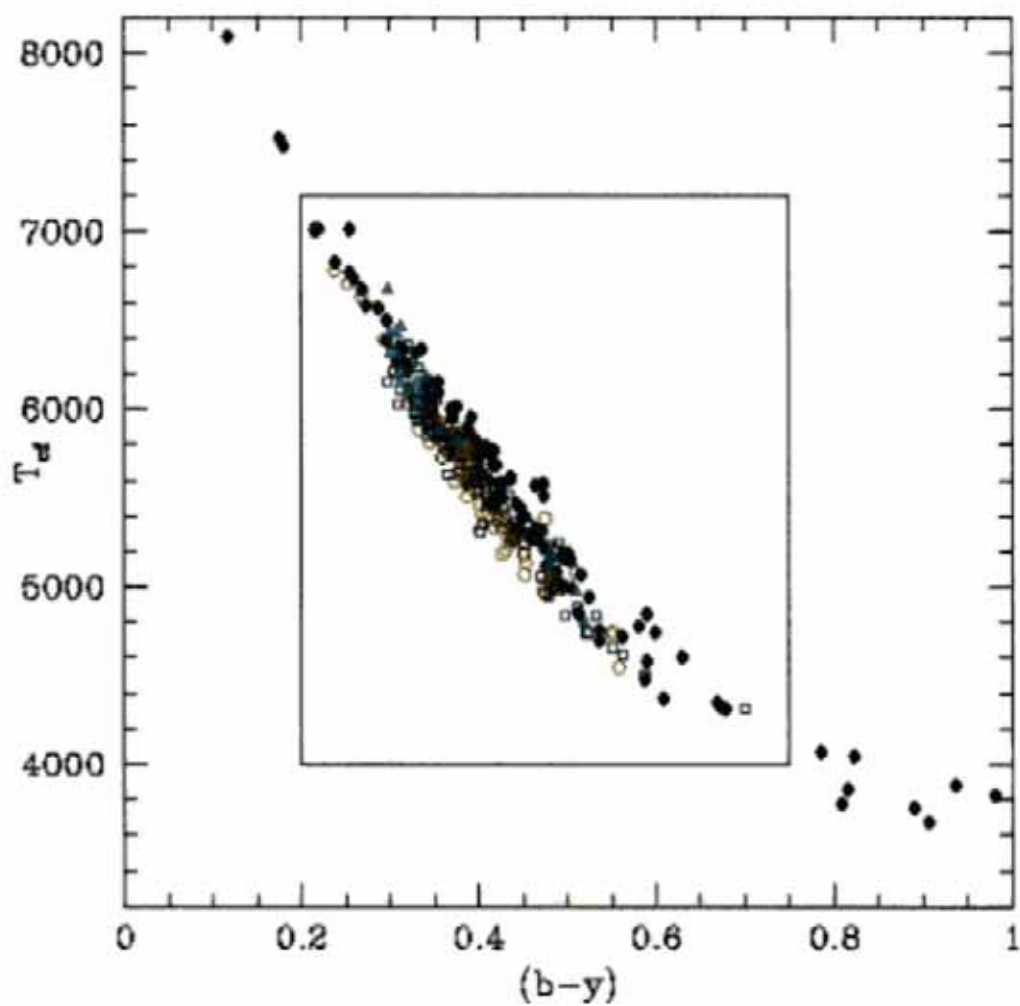


Figura 45: Diagrama $T_{ef} : (b - y)$. El recuadro contiene las estrellas consideradas en el ajuste. Círculos: $0.5 \geq [Fe/H] > -0.5$, circunferencias: $-0.5 \geq [Fe/H] > -1.5$, cuadrados: $-1.5 \geq [Fe/H] > -2.5$, triángulos: $-2.5 \geq [Fe/H]$.

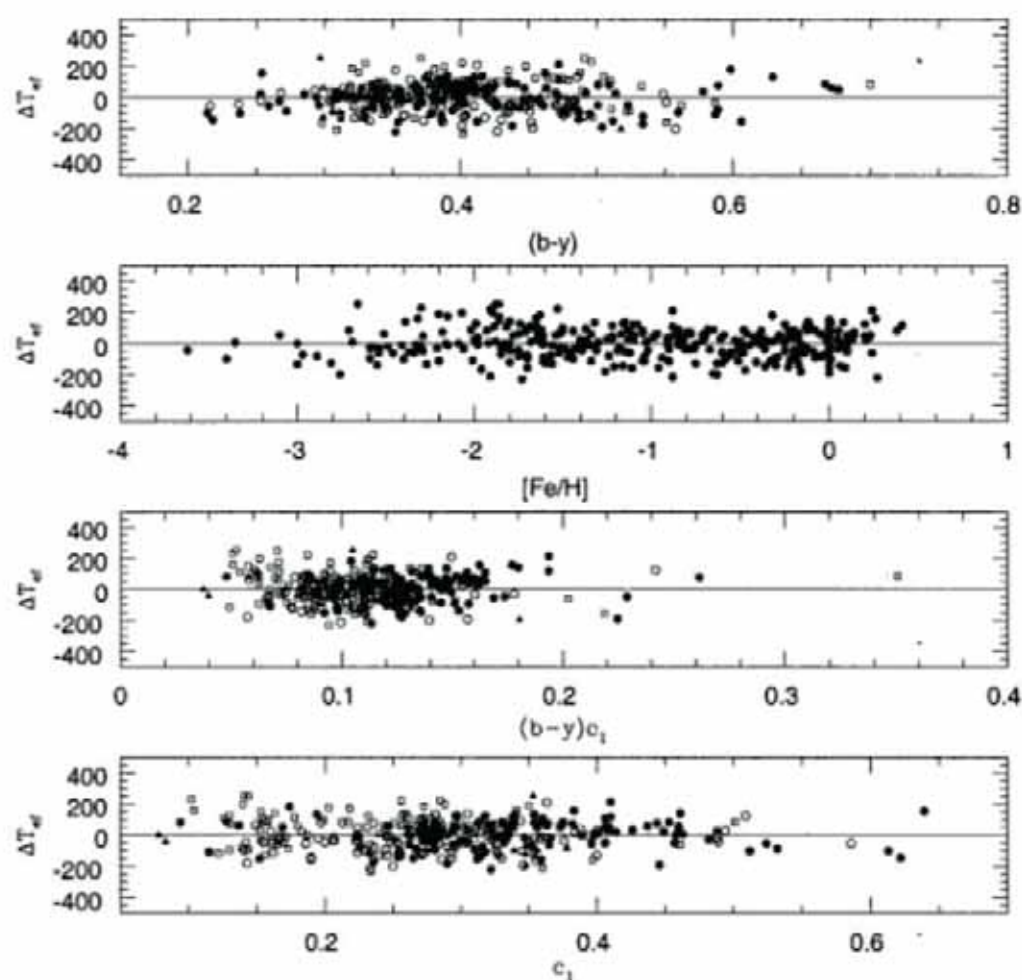


Figura 46: Residuos del ajuste $T_{ef} : (b-y)$ (Ec.7.3). círculos: $[Fe/H] > 0.5$, círculos con punto: $-0.5 \geq [Fe/H] > -1.5$, cuadrados: $-1.5 \geq [Fe/H] > -2.5$, y triángulos: $[Fe/H] \leq -2.5$.

150 K más caliente, y es notable la gran dispersión de las diferencias. El acuerdo para las estrellas con $z < z_{\odot}$ es muy bueno en la zona central del intervalo de aplicación, pero a medida que se avanza hacia los extremos se produce una divergencia progresiva, que llega a alcanzar 50 K.

Las diferencias respecto a la calibración MAA92 (figura 47b) son especialmente notables en la línea de metalicidad solar, en $(b-y) = 0.2$ el valor es de 100 K y -100 K en $(b-y) = 0.6$. En la zona central del intervalo de color el acuerdo es bastante bueno para todas las metalicidades con una dispersión menor de 50 K. Hacia las temperaturas más frías, las diferencias aumentan para las estrellas con $z < z_{\odot}$, probablemente debido a que estas estrellas están representadas de forma insuficiente en la calibración de MAA92.

Carney (1983) proporciona dos relaciones independientes, una para estrellas de población I ($[Fe/H] > -0.4$), y otra para estrellas de población II ($[Fe/H] < -1.3$). La diferencia entre la calibración presente y estas relaciones se muestra en la figura 47c. Para estrellas de población I la diferencia media varía con el color entre 150K en $(b-y) = 0.2$ y -50K en $(b-y) = 0.6$. Para las estrellas de población II en el intervalo $-1 > [Fe/H] > -2$ hay una diferencia constante de 50 K que no depende del color, en el intervalo $-2 > [Fe/H] > -3$ la diferencia aumenta hasta 200K.

6.5 Relaciones T_{ef} , β , $[Fe/H]$

La calibración de temperatura frente a este índice fotométrico tiene interés, porque es insensible a los efectos de enrojecimiento. Aunque su utilidad como indicador de temperatura es un poco más limitada que la de otros colores que se han estudiado, puede servir, sin embargo, para identificar estrellas enrojecidas mediante el cruce de las diferentes relaciones empíricas derivadas. Las 300 estrellas de la muestra marcadas en la tabla del apéndice 5 dieron lugar al siguiente ajuste:

$$\begin{aligned} \theta_{ef} = & 47.748 - 34.051\beta + 6.1625\beta^2 - 0.1016\beta[Fe/H] \\ & + 0.3055[Fe/H] + 0.0083[Fe/H]^2, \quad \sigma(\theta_{ef}) = 0.024 \end{aligned} \quad (71)$$

Esta desviación típica corresponde a 141 K. Las siguientes estrellas quedan a más de 2σ respecto al ajuste medio de la relación 71 correspondiente a las estrellas frías:

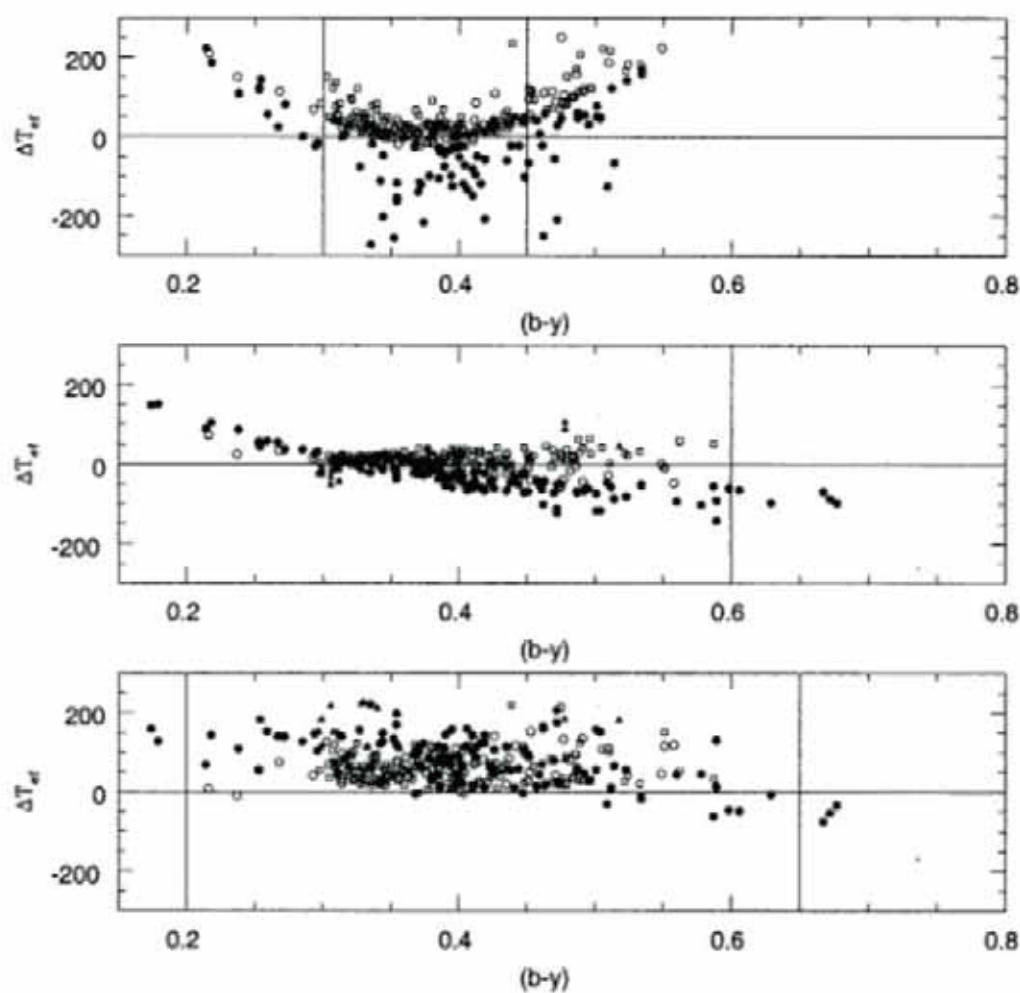


Figura 47: Comparación con otras calibraciones previas. Arriba: Magain 1987. Centro: Martínez-Roger et al. 1992. Abajo: Carney 1983. Círculos: $[Fe/H] > 0.5$, circunferencias: $-0.5 \geq [Fe/H] > -1.5$, cuadrados: $-1.5 \geq [Fe/H] > -2.5$, y triángulos: $[Fe/H] \leq -2.5$. Las barras verticales indican los intervalos de validez de dichas calibraciones.

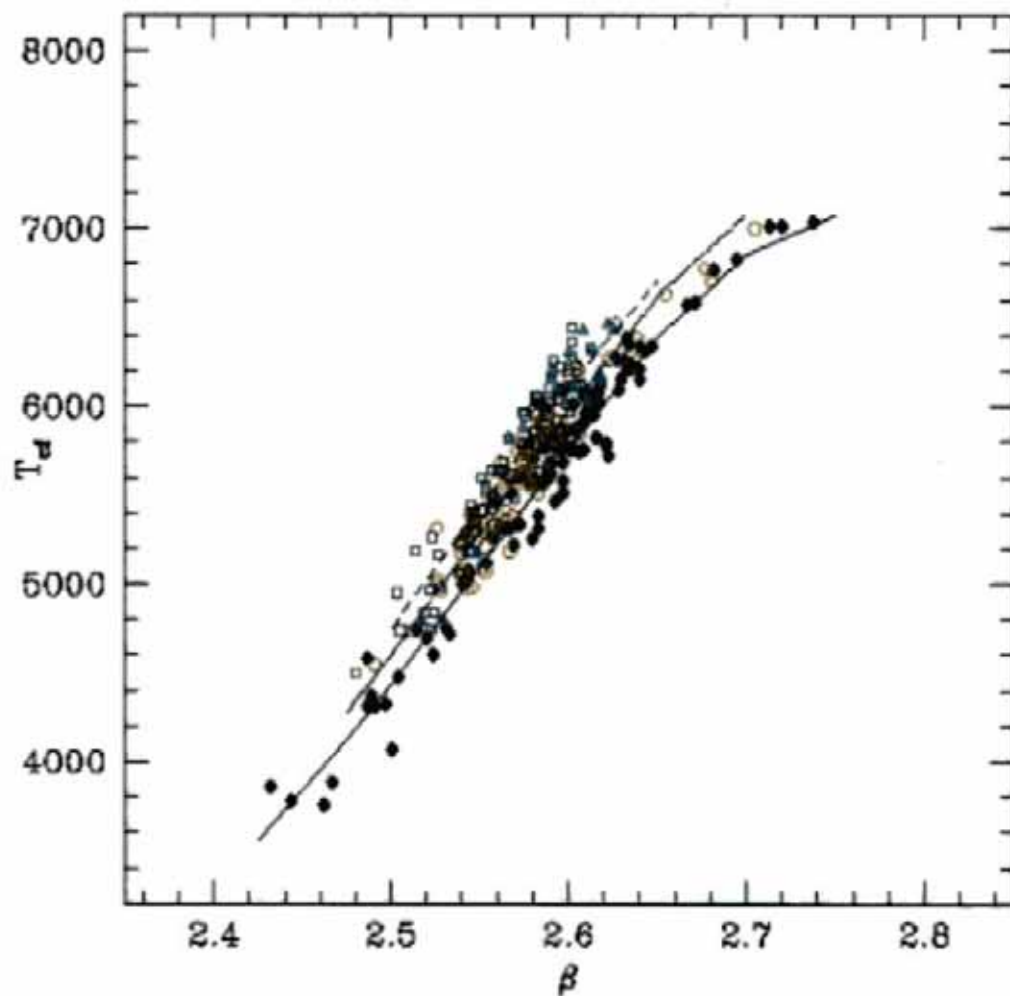


Figura 48: Diagrama $T_{\text{eff}} : \beta$. Las líneas corresponden a $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.0$ (continua), $[\text{Fe}/\text{H}] = -1.5$ (puntos) y $[\text{Fe}/\text{H}] = -3.0$ (trazos). Círculos: $0.5 \geq [\text{Fe}/\text{H}] > -0.5$, circunferencias: $-0.5 \geq [\text{Fe}/\text{H}] > -1.5$, cuadrados: $-1.5 \geq [\text{Fe}/\text{H}] > -2.5$, triángulos: $-2.5 \geq [\text{Fe}/\text{H}]$.

G051-010 (-312K), G076-022 (297K), G087-047 (320K), G100-054 (-322K), G115-058 (-289K), G183-011 (-308K), G190-015 (337K), HD4306 (346K), HR5534 (-287K), HR509 (323K), HR3064 (318K), HR8455 (-379K).

La figura 48 muestra el diagrama $T_{ef} - \beta$. Aunque la dispersión de los puntos es notable (un reflejo de la precisión de la fotometría de la línea H_{β} para estrellas débiles como las de la presente muestra), se observa una clara distribución de los puntos según la metalicidad. La variación media de la temperatura con la metalicidad es de unos 100 K/dex a β constante. Trabajos previos (Saxner y Hammarbäck 1985) sugerían que el índice β no era sensible a los efectos del *blanketing*, probablemente esta conclusión se deba al pequeño intervalo de color metalicidad muestreado, insuficiente para apreciar el efecto encontrado ahora.

Tabla 27: Colores intrínsecos (U-B) para las metalicidades 0, -1, -2 and -2.5. Los datos entre paréntesis merecen menor confianza.

T_{ef}	(U-B)			
	$[Fe/H] = 0.00$	$[Fe/H] = -1.0$	$[Fe/H] = -2.0$	$[Fe/H] = -2.5$
4000	1.185	—	—	—
4250	1.140	(0.755)	(1.140)	(0.755)
4500	0.980	(0.500)	(0.980)	(0.500)
4750	0.710	0.325	0.710	0.325
5000	0.505	0.190	0.505	0.190
5250	0.360	0.085	0.360	0.085
5500	0.255	0.000	0.255	0.000
5750	0.165	-0.070	0.165	-0.070
6000	0.095	-0.130	0.095	-0.130
6250	0.030	-0.110	0.030	-0.110
6500	0.004	-0.080	0.004	-0.080
6750	-0.030	-0.065	-0.030	-0.065
7000	-0.020	-0.060	(-0.020)	(-0.060)
7250	-0.040	(-0.080)	(-0.040)	(-0.080)
7500	0.010	—	—	—
7750	0.030	—	—	—
8000	(0.055)	—	—	—

Tabla 28: Colores intrínsecos (B-V) para las metalicidades 0, -1, -2 and -2.5. Los datos entre paréntesis merecen menor confianza.

T_{eff}	(B-V)			
	$[Fe/H] = 0.00$	$[Fe/H] = -1.0$	$[Fe/H] = -2.0$	$[Fe/H] = -2.5$
4000	1.325	(1.215)	(1.325)	(1.215)
4250	1.190	(1.085)	(1.190)	(1.085)
4500	1.070	0.970	(1.070)	(0.970)
4750	0.960	0.865	0.960	0.865
5000	0.865	0.770	0.865	0.770
5250	0.780	0.685	0.780	0.685
5500	0.695	0.610	0.695	0.610
5750	0.625	0.540	0.625	0.540
6000	0.555	0.470	0.555	0.470
6250	0.490	0.410	0.490	0.410
6500	0.436	0.360	0.436	0.360
6750	0.380	0.305	0.380	0.305
7000	0.330	0.260	0.330	0.260
7250	0.290	0.210	0.290	0.210
7500	0.240	0.170	0.240	0.170
7750	0.210	(0.130)	(0.210)	(0.130)
8000	(0.165)	(0.095)	(0.165)	(0.095)

Tabla 29: Colores intrínsecos (V-K) (Sistema de Johnson) para las metalicidades 0, -1, -2 and -2.5. Los datos entre paréntesis merecen menor confianza.

T_{eff}	(V-K)			
	$[Fe/H] = 0.00$	$[Fe/H] = -1.0$	$[Fe/H] = -2.0$	$[Fe/H] = -2.5$
4000	1.325	(1.215)	(1.325)	(1.215)
4250	1.190	(1.085)	(1.190)	(1.085)
4500	1.070	0.970	(1.070)	(0.970)
4750	0.960	0.865	0.960	0.865
5000	0.865	0.770	0.865	0.770
5250	0.780	0.685	0.780	0.685
5500	0.695	0.610	0.695	0.610
5750	0.625	0.540	0.625	0.540
6000	0.555	0.470	0.555	0.470
6250	0.490	0.410	0.490	0.410
6500	0.436	0.360	0.436	0.360
6750	0.380	0.305	0.380	0.305
7000	0.330	0.260	0.330	0.260
7250	0.290	0.210	0.290	0.210
7500	0.240	0.170	0.240	0.170
7750	0.210	(0.130)	(0.210)	(0.130)
8000	(0.165)	(0.095)	(0.165)	(0.095)

Tabla 30: Colores intrínsecos (J-K) (Sistema del TCS) para las metalicidades 0, -1, -2 and -2.5. Los datos entre paréntesis merecen menor confianza.

T_{ef}	(J-K)			
	$[Fe/H] = 0.00$	$[Fe/H] = -1.0$	$[Fe/H] = -2.0$	$[Fe/H] = -2.5$
4000	0.790	—	—	—
4250	0.705	(0.710)	(0.705)	(0.710)
4500	0.630	0.640	0.630	0.640
4750	0.570	0.570	0.570	0.570
5000	0.510	0.510	0.510	0.510
5250	0.450	0.450	0.450	0.450
5500	0.400	0.400	0.400	0.400
5750	0.350	0.360	0.350	0.360
6000	0.310	0.310	0.310	0.310
6250	0.270	0.270	0.270	0.270
6500	0.235	0.240	0.235	0.240
6750	0.200	0.200	0.200	0.200
7000	0.170	0.165	0.170	0.165
7250	0.140	0.135	0.140	0.135
7500	0.110	0.110	0.110	0.110
7750	0.090	(0.080)	(0.090)	(0.080)
8000	0.060	—	—	—

Tabla 31: Colores intrínsecos (J-H) (Sistema del TCS) para las metalicidades 0, -1, -2 and -2.5. Los datos entre paréntesis merecen menor confianza.

T_{ef}	(J-H)			
	$[Fe/H] = 0.00$	$[Fe/H] = -1.0$	$[Fe/H] = -2.0$	$[Fe/H] = -2.5$
4000	0.635	—	—	—
4250	0.570	(0.590)	(0.570)	(0.590)
4500	0.515	(0.530)	(0.515)	(0.530)
4750	0.465	0.480	0.465	0.480
5000	0.415	0.430	0.415	0.430
5250	0.375	0.385	0.375	0.385
5500	0.330	0.340	0.330	0.340
5750	0.295	0.300	0.295	0.300
6000	0.260	0.265	0.260	0.265
6250	0.225	0.230	0.225	0.230
6500	0.195	0.200	0.195	0.200
6750	0.165	0.170	0.165	0.170
7000	0.140	0.140	0.140	0.140
7250	0.115	0.115	0.115	0.115
7500	0.090	0.090	0.090	0.090
7750	0.070	(0.065)	(0.070)	(0.065)
8000	0.050	—	—	—

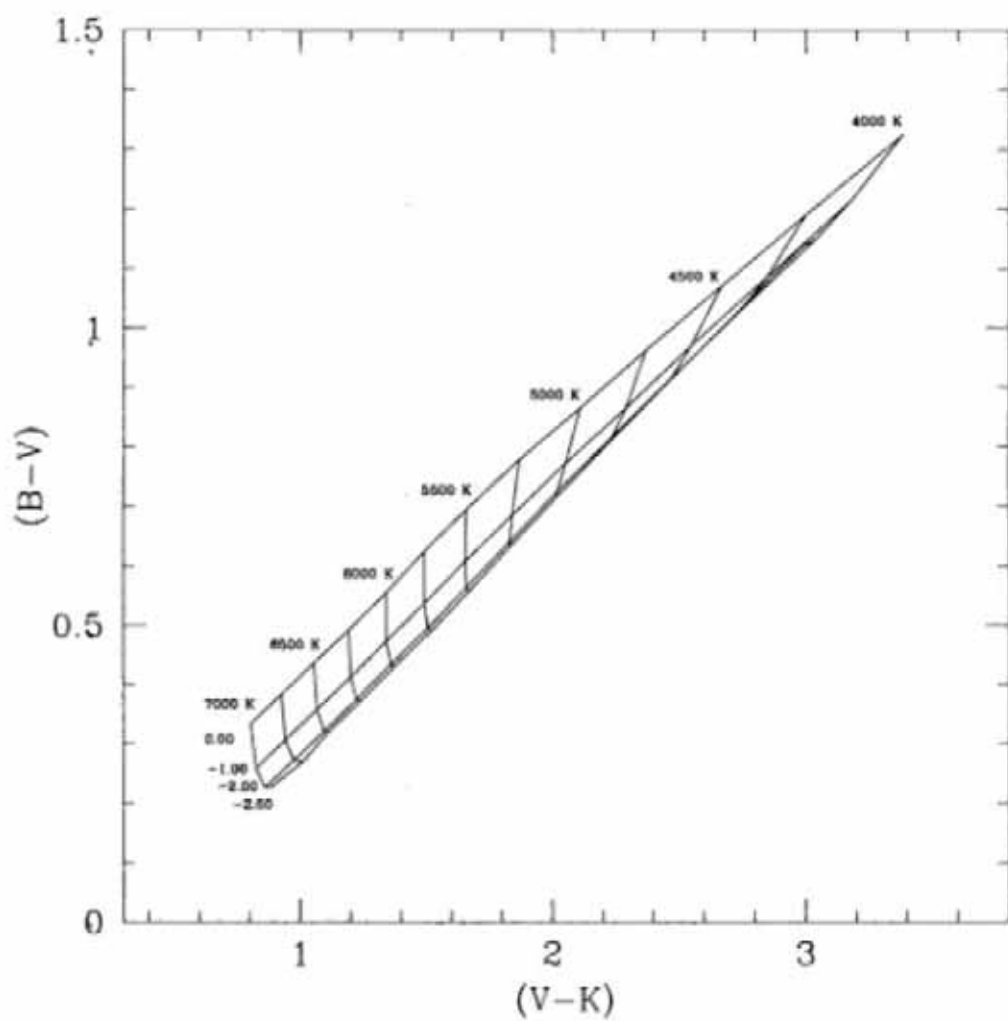


Figura 49: Colores intrínsecos $(V - K)_J:(B-V)$, para las metalicidades 0, -1, -2 y -2.5. Se muestran las líneas de igual temperatura.

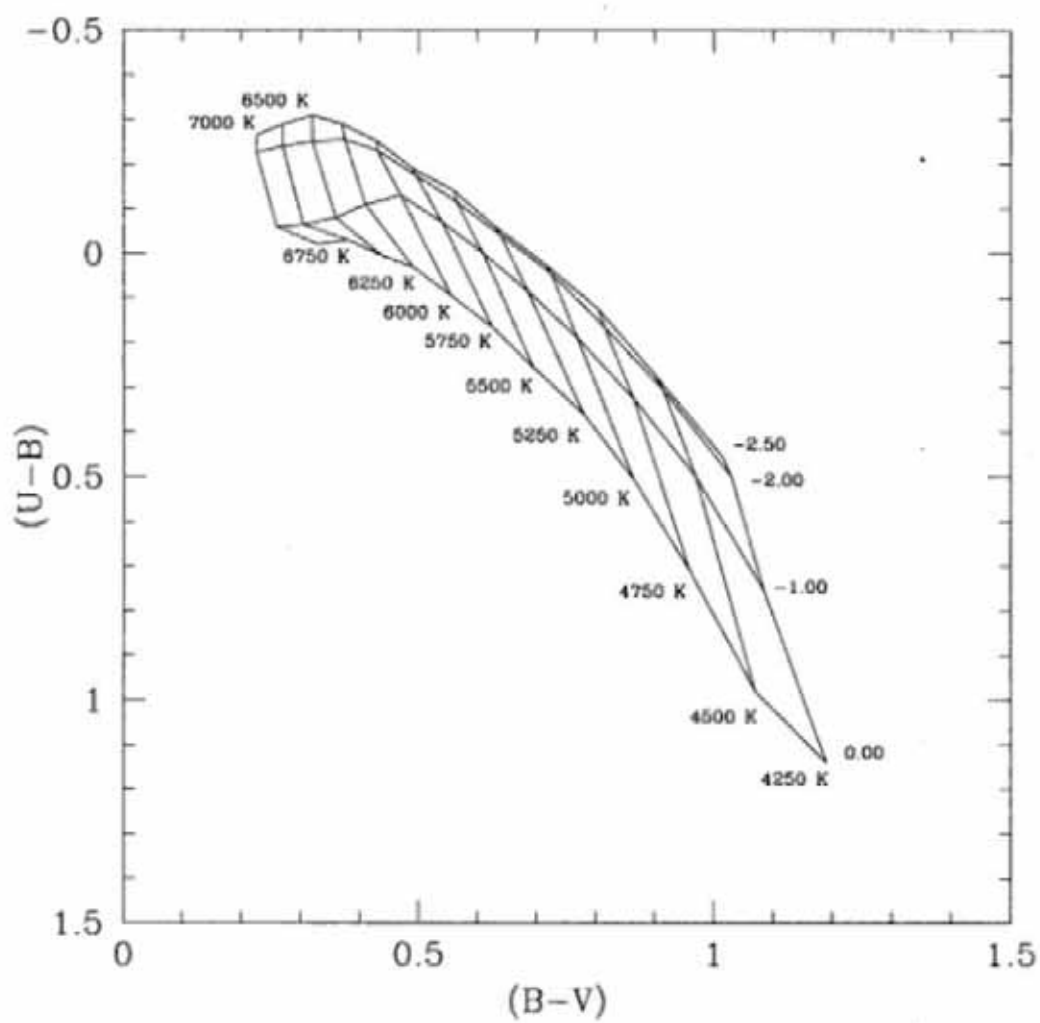


Figura 50: Colores intrínsecos $(B-V):(U-B)$, para las metalicidades 0, -1, -2 y -2.5. Se muestran las líneas de igual temperatura.

6.6 . Los colores intrínsecos de la baja S.P.

Los resultados de las secciones precedentes se han empleado para derivar los colores intrínsecos (U-B), (B-V), (V-K), de las estrellas de la baja S.P. teniendo en cuenta el efecto de la metalicidad. Asimismo se han considerado las relaciones T_{eJ} -[Fe/H]- $(J-H)_{TCS}$ y $(J-K)_{TCS}$, aunque no se incluyen en esta memoria. Se ha comprobado, haciendo uso de las estrellas de la muestra con datos de diversas fotometrías, que los cocientes entre las temperaturas derivadas con los distintos ajustes derivados son consistentes dentro de los límites de precisión del presente trabajo. Las relaciones se han utilizado para deducir las líneas de los colores intrínsecos (U-B), (B-V), (V-K), $(J-H)_{TCS}$, $(J-K)_{TCS}$ correspondientes a metalicidades 0, -1, -2 y -2.5 y $4000 < T_{eJ} < 7000$. Los resultados se recogen en las tablas 27, 28, 29, 30 y 31. Con ayuda de estas tablas se han construido las redes intrínsecas de colores (V-K):(B-V) y (B-V):(U-B), que se muestran en las figuras 49 y 50. Estos resultados son útiles, entre otras cosas, para la síntesis de colores integrados de sistemas estelares, y para el estudio de los modelos de atmósferas estelares, a través del análisis de la fotometría sintética. En el capítulo 7 se presentará una ejemplo ilustrativo de este segundo tipo de aplicaciones.

Las temperaturas efectivas que se han derivado en el capítulo 5 han conducido, en este capítulo, a una calibración de la escala de temperaturas de las estrellas de la baja secuencia principal frente a distintos colores e índices fotométricos, que considera los efectos de la metalicidad. Para la calibración con el color (B-V) se han considerado 430 estrellas, y la dispersión de las temperaturas es de 138 K. Para la calibración con el color (V-K) se han considerado 430 estrellas, y la dispersión de las temperaturas es de 26 K. Para la calibración con el color (b-y) y c_1 se han considerado 350 estrellas, y la dispersión de las temperaturas es de 95 K. Para la calibración con el índice β se han considerado 300 estrellas, y la dispersión de las temperaturas es de 141 K. Los resultados más destacables del análisis de estas relaciones son los siguientes:

Persisten las diferencias entre la escala empírica y la escala teórica de temperaturas para el color (B-V), esto implica diferencias en la transformación del diagrama HR, que serán analizadas en el capítulo 7.

En lo que concierne al color (V-K), se confirma nuevamente que este color

es, con gran diferencia, el mejor indicador de temperatura. Como novedad, aparece una pequeña, pero clara, tendencia con la metalicidad distinta a la que se encontraba en las calibraciones empíricas previas.

Los colores e índices de la fotometría de Strömngren aparecen como buenos indicadores de la temperatura, con una precisión a medio camino entre las que se hallan para las relaciones $T_{ef} : (V - K)$ y $T_{ef} : (B - V)$.

Al calibrar la temperatura efectiva frente al índice β , aparece una ligera tendencia con la metalicidad. Dada la insensibilidad de β al enrojecimiento, esta relación puede ser de gran utilidad para determinar temperaturas de estrellas enrojecidas.

También se han tabulado las redes de colores intrínsecos empíricos (U-B), (B-V), (V-K), $(J - H)_{TCS}$, $(J - K)_{TCS}$ correspondientes a metalicidades 0, -1, -2 y -2.5 y $4000 < T_{ef} < 7000$.

Capítulo 7

Aplicación de las relaciones T_{ef} -[Fe/H]-Color

En este capítulo se presentan los resultados preliminares que resultan de aplicar las calibraciones obtenidas al estudio de dos problemas concretos y aún abiertos de la física estelar : (1) Comprobación de opacidades y modelos de atmósferas, y (2) Transformación del diagrama HR.

En el Capítulo 2 se calcularon los colores sintéticos UBVRJHK a partir de una red de flujos obtenidos con los modelos de atmósferas y las nuevas opacidades de líneas metálicas calculadas por Kurucz (1991,1993). La red de colores sintéticos UBVRJHK se compara aquí con los colores intrínsecos, mediante la calibración obtenida en el presente trabajo.

Las relaciones $T_{ef} : (B-V) : (V-K)$ y la corrección bolométrica que se derivaron en el capítulo 6 y el capítulo 4, respectivamente, se han aplicado a la transformación de una red de isócronas teóricas. Los resultados se comparan con las mismas isócronas transformadas mediante relaciones teóricas, y con resultados de observaciones extraídos de la literatura.

7.1 Introducción

Las calibraciones empíricas T_{ef} -color-[Fe/H] tienen dos utilidades básicas, por un lado sirven como elemento de diagnóstico en la revisión de los modelos de atmósferas estelares (p.ej. Böhm-Vitense 1981), y por otro son imprescindibles para contrastar los resultados de la teoría de evolución estelar frente a las observaciones, en el marco de estudio del diagrama HR (p.ej. Arribas y Martínez-Roger 1988).

Respecto al análisis de la teoría de atmósferas, son de sobra conocidos los problemas de los modelos para predecir de forma adecuada los efectos del *blanketing* en el UV (p.ej. Edvardsson et al. 1993), y las notables discrepancias de los colores sintéticos frente a los colores observados en la zona de estrellas frías K-M (Legget 1992). Ambos problemas están relacionados

con las fuentes de opacidad que predominan en los diferentes intervalos del espectro. Los modelos (p.ej. Vandenberg y Bell (1985) o Buser y Kurucz (1992)) predicen en general distribuciones de flujo demasiado azules para estrellas de la baja secuencia principal. Magain (1987), sobre la base de que este efecto es más acusado para las estrellas de población I, sugiere que esta discrepancia puede deberse a la falta de opacidad asociada a líneas metálicas débiles no consideradas en los cálculos. Por otra parte, en la zona fría de la escala de temperaturas (por debajo de 4500 K), la opacidad asociada a las bandas de diferentes especies moleculares es suficientemente importante como para determinar de forma característica los colores infrarrojos. En el capítulo 3, se discutieron las discrepancias encontradas entre el color (J-H) sintético generado para estrellas gigantes rojas con los nuevos modelos de Kurucz, y el (J-H) intrínseco (probablemente asociadas a las dificultades en el cálculo de la opacidad debida al ion H^- , las bandas de CN y vapor de agua). Estas discrepancias también se observan para las estrellas de la secuencia principal. En la sección 7.2 se presenta una comparación global de la fotometría sintética generada en el capítulo 4 y los colores intrínsecos tabulados en el capítulo 6.

Respecto al problema de la transformación del diagrama HR, a medida que parámetros como la proporción de Helio, o la longitud de mezcla se acotan con menores incertidumbres, y el cálculo de opacidades y la medida de los ritmos de las reacciones nucleares se refinan de forma progresiva, la interpretación de los diagramas HR observados depende cada vez más de la calibración de la escala de temperaturas y, en menor medida, de la corrección bolométrica. Este punto afecta a la comprensión de las propiedades estructurales de las estrellas. La relación luminosidad-magnitud visual se establece mediante la corrección bolométrica (CB). Hasta el presente, la transformación del eje de luminosidad se ha realizando mediante la CB obtenida a partir de modelos de atmósferas, ya que los datos empíricos eran insuficientes. En el Cap. 4, se ha derivado una CB semiempírica, que tiene en cuenta los efectos de la metalicidad. El acuerdo con las predicciones teóricas es bueno, y por tanto no son esperables diferencias radicales respecto a los resultados previos en la transformación del eje de luminosidad a magnitudes fotométricas. Por el contrario, los modelos no proporcionan de forma totalmente satisfactoria la transformación del otro eje del diagrama HR (es decir, el que se obtiene a partir de la relación T_{ef} -Color). Esta relación presenta una fuerte dependencia de la metalicidad, cuyo tratamiento incorrecto puede provocar grandes

diferencias en la forma de las isócronas al transformarlas al plano de la observación. En el futuro, el desarrollo de telescopios de gran apertura permitirán establecer con mayor precisión las líneas de la secuencia principal y la zona del TO de los cúmulos estelares. En este contexto, la calibración de la T_{ef} frente a colores e índices fotométricos desempeñará un papel aún más importante en el análisis de los diagramas Color-Magnitud. De hecho, esta cuestión empieza a adquirir un interés comparable al de otros problemas tradicionalmente relevantes en la datación de cúmulos abiertos, tales como la elección de la proporción de elementos alfa, o la determinación de la longitud de mezcla para los modelos de estructura estelar. En la sección 7.3, se presenta un estudio comparativo de la transformación de la misma red de modelos evolutivos con unas relaciones teóricas (VandenBerg y Bell 1985) y con las relaciones empíricas derivadas en el presente trabajo.

La conexión de los dos problemas discutidos arriba con el estudio de la historia de nuestra galaxia, aunque indirecta, es importante, por cuanto que la escala de temperaturas aparece, de forma explícita o implícita, en las diferentes fases de análisis de programas dirigidos al estudio global de la evolución nuestra galaxia. En el momento presente, hay varios trabajos en curso dedicados al estudio de este problema (estrellas del halo: Schuster y Nissen 1989b, Carney y Latham 1987), y estrellas del disco grueso: Knude 1993). Estos trabajos, basados en observaciones fotométricas de muestras extensas de estrellas, toman el relevo del estudio pionero en este campo (Eggen, Lynden-Bell y Sandage 1962) mejorándolo en dos aspectos esenciales. En primer lugar el problema de los efectos de selección recibe un tratamiento más adecuado, y en segundo lugar proporcionan fotometría en el sistema de Strömgren, que es un indicador mucho más sensible para el análisis de las propiedades estructurales y atmosféricas de las estrellas. En algunas partes de estos trabajos se emplean calibraciones fotométricas como las que se derivaron en el capítulo 6. En la sección 7.3.4. se presenta un ejemplo de este punto.

En otro orden de cosas, el análisis para determinar abundancias de elementos químicos basados en datos espectroscópicos de alta calidad, requiere en ocasiones una determinación independiente de la temperatura efectiva, para eliminar incertidumbres (Rebolo 1986).

De esta forma resulta, que el análisis de problemas como la edad de la galaxia y su evolución temporal, o la síntesis primordial de algunos elementos ligeros están asociados a la escala de temperaturas. Una ilustración general

del impacto de las nuevas calibraciones que hemos derivado sobre estos puntos es lo que se propone en las siguientes secciones. Los resultados no deben ser considerados como definitivos, ya que su estudio se sigue desarrollando como complemento del presente trabajo.

7.2 Análisis de los modelos de atmósferas y opacidades

Como se ha mencionado en numerosas ocasiones a lo largo de este estudio, una de las aplicaciones más relevantes de las calibraciones empíricas obtenidas es la posibilidad de comparar los colores y las distribuciones de flujos estelares observados, con las predicciones de los modelos de atmósferas. De este modo, se puede comprobar indirectamente el comportamiento general y la validez de algunas hipótesis de los mismos. Esto es posible, ya que las calibraciones empíricas, relacionan magnitudes observables (colores) con los parámetros físicos (T_{ef} , $[Fe/H]$) que determinan una distribución de flujo teórica. La influencia de la gravedad superficial queda minimizada, en nuestro caso, al restringir el estudio a estrellas contenidas en un dominio limitado de tipos espectrales y clases de luminosidad. En otras palabras, cuando queremos comparar las distribuciones de flujo de una estrella particular (colores) con las predicciones teóricas, necesitamos conocer los parámetros físicos de la estrella, para seleccionar el modelo adecuado. Las relaciones $T_{ef} - color - [Fe/H]$ permiten hacer dicha comparación no sólo de forma individual sino también globalmente puesto que relacionan los colores medios con los parámetros correspondientes.

En el marco del presente trabajo, vamos únicamente a ilustrar las posibilidades que las nuevas calibraciones ofrecen al respecto, con un análisis preliminar pero indicativo de los procedimientos, y de los resultados esperables. Para ello se comparan los colores empíricos medios, para unos valores específicos de T_{ef} y $[Fe/H]$ que cubren la mayor parte del espacio de parámetros físicos muestreado en este trabajo, con los correspondientes colores sintéticos que se obtuvieron, en el Capítulo 4, como paso necesario para estudiar el efecto de la metalicidad sobre la corrección bolométrica. Las temperaturas seleccionadas son: 4000, 4500, 5000, 6000, y 7000 K; los valores de $[Fe/H]$, 0, -1, -2; y los colores (U-V), (B-V), (V-K), (V-H) y (V-K).

Con el fin de que la comparación pueda hacerse considerando los flujos medios

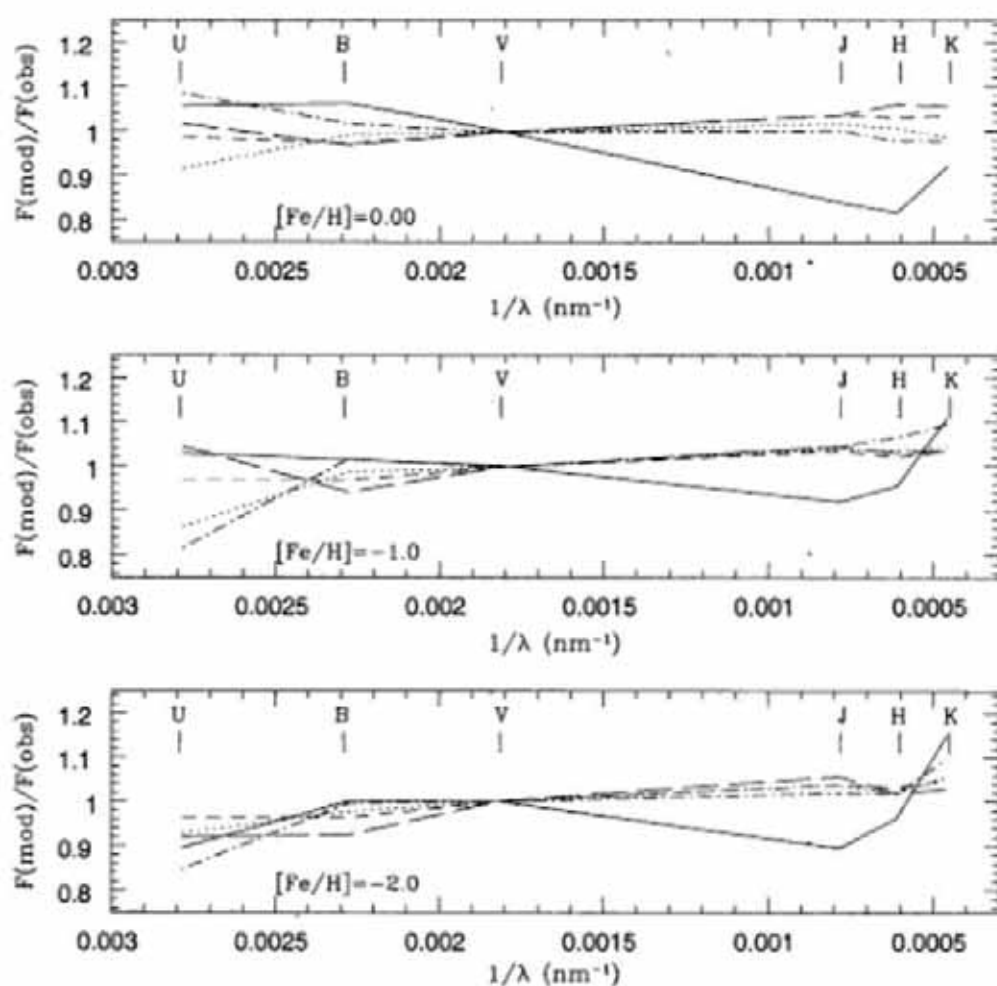


Figura 51: Diferencias entre los flujos medios de los modelos de Kurucz (1991,1993), y los colores intrínsecos determinados en este trabajo. Línea continua: 4000K, línea de trazos y puntos: 4500, línea de puntos: 5000K, línea de trazos cortos: 6000K, y línea de trazos largos 7000K. Nótese que las relaciones empíricas para 4000 K y $[Fe/H]=-2$ se han extrapolado, y por tanto la línea de este modelo sólo se presenta a título ilustrativo.

de energía en la superficie de la estrella para cada banda fotométrica, se han normalizado los colores sintéticos y los empíricos a la magnitud V (en lo que sigue, y para aligerar la nomenclatura hablaremos de flujos en lugar de flujos normalizados a V). De esta manera estamos implícitamente suponiendo que la magnitud V está sintetizada correctamente. Aunque esta hipótesis, por supuesto, no tiene por que ser cierta podremos obtener información comparativa entre las diferentes zonas espectrales. En la figura 51, se representan los cocientes de flujos teóricos y empíricos en las bandas fotométricas UBVJHK para las temperaturas y metalicidades consideradas.

El primer hecho destacable es el comportamiento claramente anómalo de los modelos de 4000 K en la zona de metalicidad donde las calibraciones empíricas son válidas (0,-1). En efecto, estos modelos muestran serias discrepancias con el comportamiento observado en, prácticamente, todas las bandas fotométricas, especialmente en la zona infrarroja. Sobrestiman los flujos medios en la parte azul del espectro, mientras infraestiman los correspondientes flujos en el infrarrojo. La interpretación de las deficiencias descritas, en la parte infrarroja del espectro, puede estar asociada al cálculo incorrecto de las opacidades de algunas especies moleculares TiO, VO, H₂O y del ión H⁻ (las fuentes de opacidad en el IR son sensibles especialmente a la abundancia). Tampoco se puede descartar la influencia de posibles errores en este trabajo que pueden tener su origen en la dificultad de los procedimientos de cálculo de las temperaturas en la parte fría de la escala. En esa zona, los gradientes $R_{\text{ext}}/\Delta T_{\text{ef}}$ son pequeños y por tanto la imprecisión en las temperaturas determinadas mediante el MFI es más alta. Asimismo los colores medios de las estrellas frías tienen una mayor dispersión intrínseca. En cuanto a la parte azul, hay que hacer notar la menor precisión de las relaciones intrínsecas $T_{\text{ef}}-(U-B)$, así como la dificultad, ya señalada, que los modelos tienen para reproducir el efecto del *blanketing*. La conclusión más razonable a la vista de estos resultados, es que el límite inferior de aplicabilidad de los modelos se sitúa en 4000-4250 K.

Por encima de 4500, el comportamiento de los modelos parece más ajustado a los resultados empíricos. Las diferencias entre la fotometría sintética y las observaciones se mantienen en valores de unas pocas centésimas de magnitud. Sin embargo, aparece una serie de tendencias sistemáticas apreciables. En efecto, los flujos teóricos correspondientes a los filtros U y B son

sistemáticamente inferiores los observados, a costa de los flujos en el infrarrojo, que son superiores (para conservar constante el flujo bolométrico). En el capítulo 3, como consecuencia del análisis que se llevó a cabo para derivar la calibración absoluta del flujo IR, ya se hizo mención de la posibilidad de que estos mismos modelos sobreestimaran el flujo IR para las estrellas frías de $z = z_{\odot}$ en el intervalo de bajas gravedades correspondientes a estrellas gigantes y supergigantes. Es necesario mencionar, que el resultado complementario, es decir, la infraestimación de los flujos en el UV en los nuevos modelos de Kurucz(1991,1993), ha sido también encontrado por Malagnini et al. (1992) y Morossi et al. (1993), que analizan las distribuciones de flujo en el intervalo [2550-6000]Å, de 16 estrellas, principalmente gigantes, de tipos G8-K5 (3900 a 5100 K).

Este efecto es interesante pues tiene justamente una tendencia opuesta a la que se encontraba con los antiguos modelos de Kurucz (1979), y que dió origen al llamado problema de la "opacidad perdida" (Magain, 1987). La interpretación más evidente de los nuevos resultados, consiste en suponer que se han sobrestimado las opacidades debidas a las líneas metálicas en estos nuevos modelos. El hecho de que el efecto sea más notable para las estrellas ricas en metales apoya dicha interpretación.

La forma más adecuada de llevar a cabo el tipo de análisis que acabamos de describir, consiste en la comparación directa de espectros calibrados absolutamente con las distribuciones de flujo de los modelos. Ya que así se eliminan las incertidumbres debidas a la síntesis de colores (o las debidas a la conversión de magnitudes a flujos absolutos). No obstante, los resultados previos dan una idea del tipo de resultados que cabe esperar en un futuro análisis detallado de estos modelos.

En conclusión, es notable la mejoría de los modelos, que ahora permiten la síntesis satisfactoria de colores hasta 4250-4500 K sin embargo aun se observan problemas en la parte mas fría que pueden ser achacados, bien al insuficiente conocimiento de las atmósferas frías, bien al cálculo incorrecto de algunas fuentes de opacidad, sin descartar las incertidumbres más altas en esta parte de la escala de temperaturas.

7.3 La transformación del diagrama HR

Las relaciones empíricas tienen un interés fundamental para el análisis de los modelos evolutivos. Hasta este momento se venían empleando colores teóricos para transformar isócronas, debido fundamentalmente a la limitación de los trabajos empíricos, que no cubrían de forma adecuada todos los intervalos de temperatura y metalicidad necesarios para el estudio de los Cúmulos Globulares. Este inconveniente ha quedado claramente superado con el presente trabajo. En esta sección se proporciona un estudio comparativo de las isócronas transformadas con las nuevas relaciones de color-temperatura obtenidas frente a las mismas isócronas transformadas con las relaciones teóricas derivadas por Vandenberg y Bell (1985). De esta forma se ve la influencia de las transformaciones del plano $T_{eff} - L$ al plano $(B - V) - M_V$, sin la interferencia de los problemas añadidos por los modelos de estructura estelar considerados por los diferentes códigos evolutivos. Las isócronas consideradas aquí serán las de Straniero y Chieffi (1991). El análisis se llevará a cabo en dos partes. Primeramente se estudiarán las características generales de un grupo de isócronas en un intervalo representativo de edades y metalicidades. El efecto de las nuevas transformaciones sobre las isócronas de metalicidad solar ($z = z_{\odot}$) se estudiará por comparación directa con los datos, ya que los detalles más significativos de su morfología se encuentran fuera de los límites de la presente calibración. En el caso de las isócronas pobres en metales ($z < z_{\odot}$) se estudiarán las siguientes características globales, que determinan su morfología:

- Color (B-V) de la secuencia principal en $M_V=6$
- Color (B-V) del *turnoff*
- Magnitud visual del *turnoff* ($M_V(TO)$)

En segundo lugar, se analizarán algunos ejemplos de ajustes a las observaciones de algunos cúmulos globulares típicos, y se analizará un problema de datación relativa de una muestra de estrellas del halo.

7.3.1 Propiedades de las isócronas de $z = z_{\odot}$

Los cúmulos galácticos más cercanos al sistema solar constituyen un banco de pruebas muy útil para contrastar las predicciones de los modelos de evolución

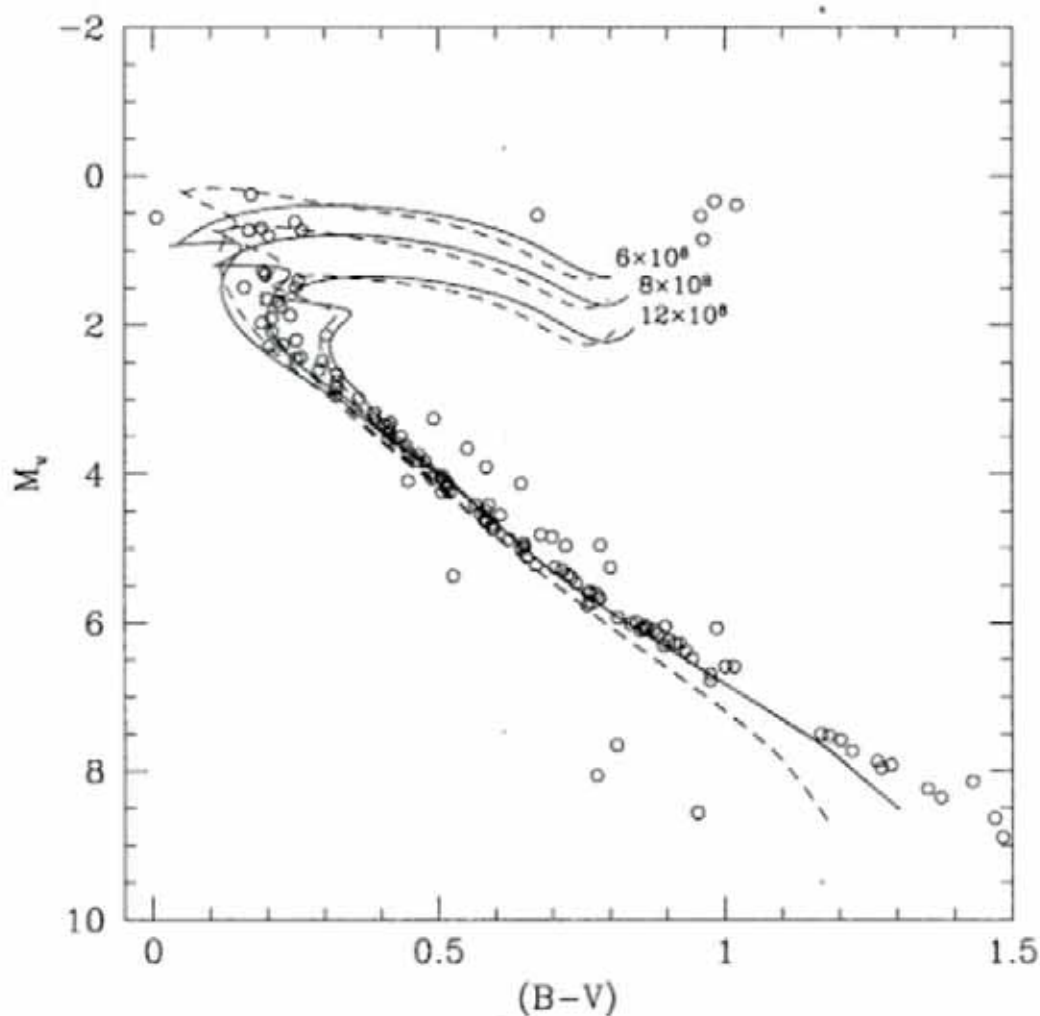


Figura 52: Isócronas de 0.6, 0.8 y 1.2 Gigaños, $Y=0.27$ y metalicidad solar transformadas con la calibración teórica de Vandenberg y Bell (1985) —línea de trazos—, y con la calibración empírica derivada en este trabajo —línea continua—. Se han superpuesto los datos del cúmulo abierto del Pesebre (Praesepe) tomados de Johnson (1952), para los cuales se ha considerado $E(B-V)=0.00$ y $(m-M)=6.05$.

estelar. Los diagramas Color-Magnitud observados, en general, muestran un mejor nivel de precisión y concordancia con la teoría, debido a la proximidad de estos sistemas. Por otro la composición química de las estrellas de población I puede establecerse de forma fiable mediante el estudio del Sol. En la figura 52 se muestra el efecto de las transformación teórica de VB85 y la transformación empírica derivada en este trabajo sobre isócronas de Straniero y Chieffi (1991) de metalicidad solar y fracción de helio $Y=0.27$, como referencia se ha tomado el cúmulo del Pesebre, para el cual se ha considerado $E(B-V)=0.00$ y $(m-M)_0 = 6.05$. Se ha elegido este cúmulo porque la línea de la secuencia principal observada es particularmente limpia, por lo demás no se advierte ninguna diferencia respecto a otros cúmulos galácticos jóvenes (Hiades, Pleyades, etc.) en su tendencia general. En la normalización de las isócronas empíricas se ha considerado para el Sol $M_{bol} = 4.64$ y $CB_{\odot} = -0.12$, con lo cual $M_{V\odot} = 4.76$, y $T_{ef} = 5780$ K, con lo cual $(B-V)_{\odot} = 0.63 \pm 0.04$. Con esta normalización, el punto del Sol queda sobre la Secuencia Principal de Edad Cero de las estrellas de metalicidad solar ($z=0.02$) (En la figura 58, se ha marcado este punto, y se ha dibujado como referencia la isócrona de 4.5 Gigaños, que corresponde aproximadamente a la edad del sistema solar determinada mediante análisis geológicos).

Hay que señalar que el límite en el azul para las transformaciones de este trabajo, es $(B-V)=0.2$. Por este motivo, mientras las relaciones de color no se extiendan hasta 10000K para cubrir las zonas de los *turnoffs*, es imposible discernir, con las isócronas empíricas, la edad por debajo de 1 Giga-año. Puede apreciarse que las isócronas empíricamente transformadas son ligeramente más luminosas (0.10 mag). Salvo esa diferencia, que por otra parte puede quedar perfectamente explicada por el cero de la escala de la corrección bolométrica, prácticamente se solapan con las teóricas en el intervalo $0.3 < (B-V) < 0.8$, punto donde comienzan a separarse de forma sistemática. La semejanza de las pendientes de la Secuencia Principal de Edad Cero transformada, refleja sencillamente el acuerdo aproximado de las calibraciones de temperatura entre 5000 y 7000 K para la estrellas de $z = z_{\odot}$. En $M_V = 8$ las isócronas empíricas son 0.1 mag más rojas que las teóricas, o equivalentemente en $(B-V) = 1.2$ son 0.8 mag más luminosas. En cuanto al acuerdo global con los datos observados, es muy notable el ajuste de los dos juegos de isócronas en la parte azul¹, a partir de $(B-V) = 0.8$ tanto

¹Nótese que en la figura 52, las isócronas teóricas no se han desplazado en el eje de luminosidad para poder establecer la comparación, pero modificando el módulo de distancia

las isócronas empíricas como las teóricas son sistemáticamente menos luminosas (o equivalentemente más azules) que los datos. Puede observarse un ajuste aproximado de la isocrona empírica hasta $(B-V)=1.2$ que corresponde aproximadamente a tipos espectrales K5V, sin embargo a partir de este punto la línea se separa sistemáticamente de la línea observada alcanzando en $(B-V)=1.3$ una diferencia de 0.7 mag en luminosidad (o equivalente una diferencia de color de 0.1 mag en $M_V = 8.5$). En la zona más roja, las calibraciones teóricas son incluso peores. Hay que hacer notar, sin embargo, que la CB tiene una variación muy fuerte en esta zona de luminosidad y algún posible efecto sistemático en ésta, o en la escala empírica de temperaturas derivadas en este trabajo podría dar cuenta perfectamente del efecto observado.

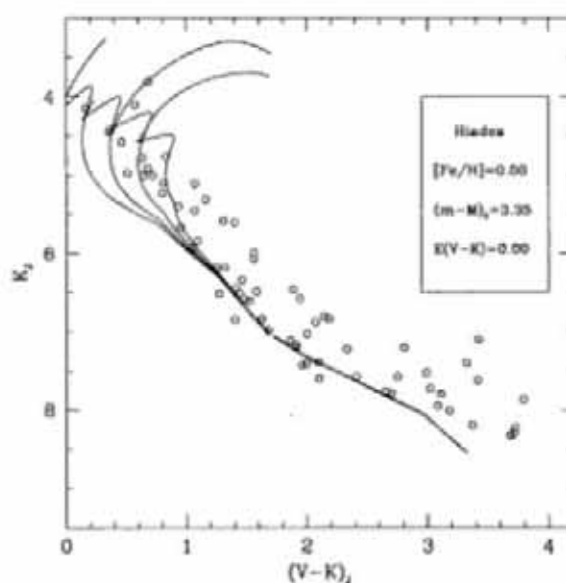


Figura 53: Diagrama color-magnitud IR del cúmulo galáctico de las Híades. Los datos corresponden al trabajo de Carney 1982. Se han superpuesto las isócronas de $Z=0.02$, $Y=0.27$, y edades 0.5, 0.7, 1.0 y 1.4 Giga-años transformadas empíricamente.

con el desplazamiento citado anteriormente (0.10 mag), se ajustan bien a la envolvente inferior de los datos hasta $(B-V) = 0.8$

Sin embargo, la discrepancia en la parte baja de la secuencia principal persiste en el caso del análisis del diagrama HR infrarrojo del cúmulo de las Híades (figura 53). Las relaciones $T_{ef} : (V - K)$, y la corrección bolométrica de K son las más precisas. Aunque las diferencias son compatibles con los errores de las calibraciones, no debería descartarse, la posible existencia de algún tipo de problema en los modelos de estructura para las estrellas de masas inferiores a $0.6-0.7 M_{\odot}$.

7.3.2 Propiedades de las isócronas de $z < z_{\odot}$

La figura 54 muestra las isócronas de SC92 correspondientes a metalicidades bajas ($z=0.006-0.0001$) y fracción de helio $Y=0.23$ transformadas con relaciones empíricas y teóricas. En cuanto a la forma global, dentro del intervalo de color y luminosidad cubierto por el presente trabajo, hay diferencias notables y sistemáticas en tres zonas de las isócronas muy importantes para el ajuste de los puntos observados en los diagramas Color-Magnitud, cuya morfología puede modificar de forma significativa las edades, los enrojecimientos, y las distancias que se deduzcan para los cúmulos estelares, y son: la rama de subgigantes, el *turnoff* y la parte baja de la secuencia principal. Se han marcado sobre la figura algunas características relevantes de las isócronas que serán objeto de una comparación más detallada.

En las figuras 54 y 57 puede verse el color del *turnoff* de las isócronas SC92 transformadas según una calibración teórica (VB85) y la presente calibración empírica. Merece destacarse una coincidencia bastante aproximada, habida cuenta de que en este intervalo de color todas las relaciones $T_{ef} - (B - V) - [Fe/H]$, tanto empíricas como teóricas, son muy semejantes. Sin embargo se pueden apreciar divergencias significativas en los extremos del intervalo de metalicidades y edades cubierto (es decir las isócronas más viejas y pobres en metales) donde las diferencias pueden llegar a alcanzar 0.03 mag, con la evidente influencia sobre el enrojecimiento que se determine mediante los ajustes. Como resultado, las transformaciones empíricas expanden en 0.04 mag el intervalo de color de los puntos del *turnoff*, respecto a las transformaciones teóricas. En términos de edades, esto significa que las transformaciones empíricas llevarían a una ligera homogeneización de las edades del sistema de los cúmulos globulares (Es decir edades un poco mayores para los cúmulos más ricos en metales y un poco menores para los cúmulos más pobres)

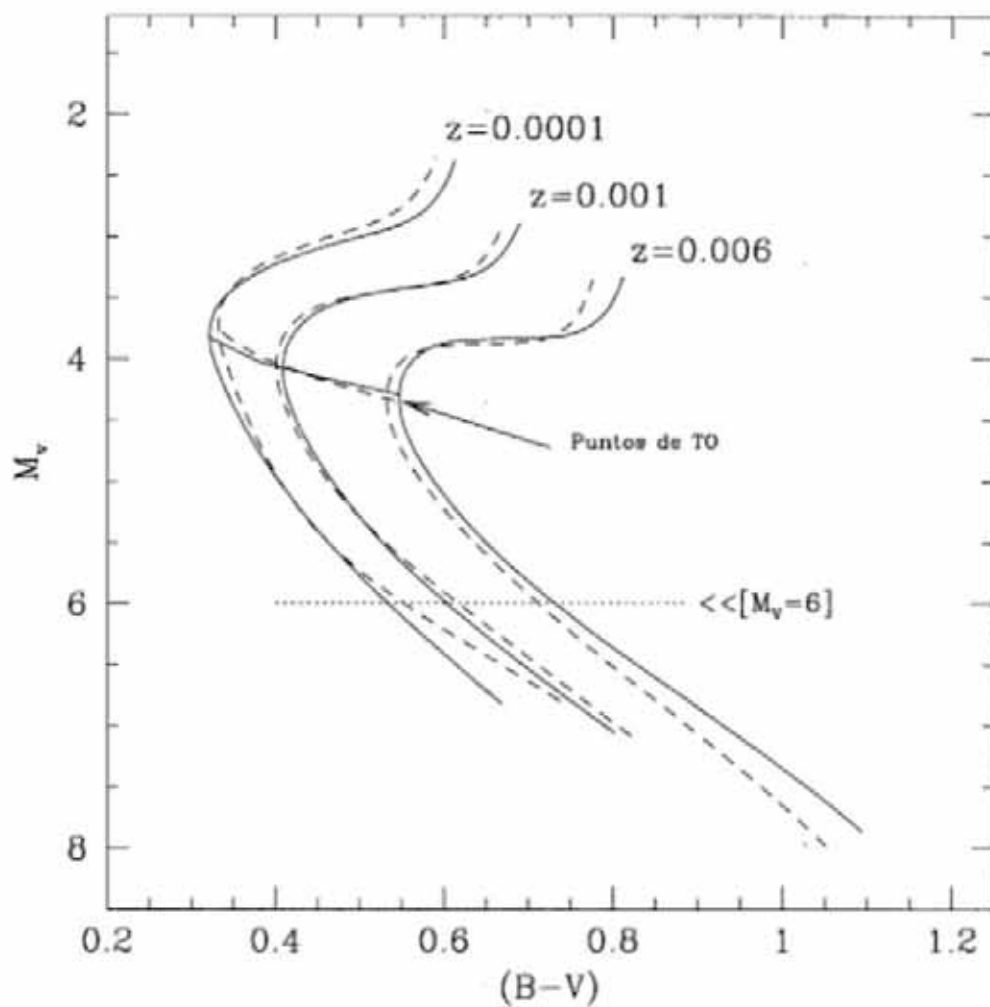


Figura 54: Isocronas de 14 Giga-años, $Y=0.23$ y diversas metalicidades transformadas con la calibración teórica de Vandenberg y Bell (1985) –línea de trazos–, y con la calibración empírica derivada en este trabajo –línea continua–.

Por otro lado, en la figura 55 puede verse la diferencia de color de las isócronas en $M_V = 6$. Las isócronas transformadas con las nuevas relaciones son sistemáticamente más azules que las transformadas con los colores de VB85 en el intervalo de metalicidad (-0.8, -3.0), llegando a alcanzar la diferencia 0.02 mag. En el intervalo (-0.8, -0.5) son más rojas con una diferencia extrema de 0.01 mag. Estas diferencias se reflejan en la forma de la parte baja de la secuencia principal, que varía mucho entre las transformaciones teóricas y las empíricas, como puede apreciarse directamente en la figura 54. En la

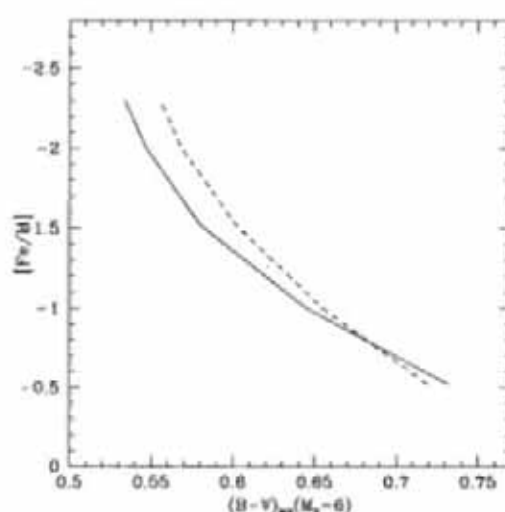


Figura 55: Color de la secuencia principal, en $M_V = 6$, de las isócronas de Straniero y Chieffi (1991) transformadas con la calibración teórica de Vandenberg y Bell (1985) —línea de trazos—, y con la calibración empírica derivada en este trabajo —línea continua—. Se ha considerado una isócrona de 14 Giga-años, ya que las diferencias con la edad son despreciables.

figura 56 se ve la variación de luminosidad del *turnoff* con la metalicidad. Las isócronas empíricas son ligeramente más luminosas entre -0.5 y -1.0, y más débiles para las metalicidades más bajas. En este caso la diferencia de luminosidad es notable, en $[Fe/H]=-2.0$ alcanza 0.1 mag. Obviamente, este punto tiene repercusiones sobre las edades que se deriven utilizando como referencia la distancia entre rama horizontal y el *turnoff*.

Es también evidente la conexión de los dos últimos puntos estudiados con la escala de distancias. En la figura 58, se presenta una muestra de estrellas cuyas paralajes trigonométricas tienen buenas medidas (Sandage 1983, Laird et al. 1987, Van Altena et al. 1988). En general, puede observarse un acuerdo aceptable dentro de las barras de error, para todas las metalicidades. En particular se ha señalado la estrella HD103095 que es la subenana cuya distancia se ha determinado de forma más fiable, y ha sido empleada junto con el Sol como punto de referencia para ajustar las secuencias principales de modelos evolutivos en una aproximación semiempírica por Vandenberg (1988).

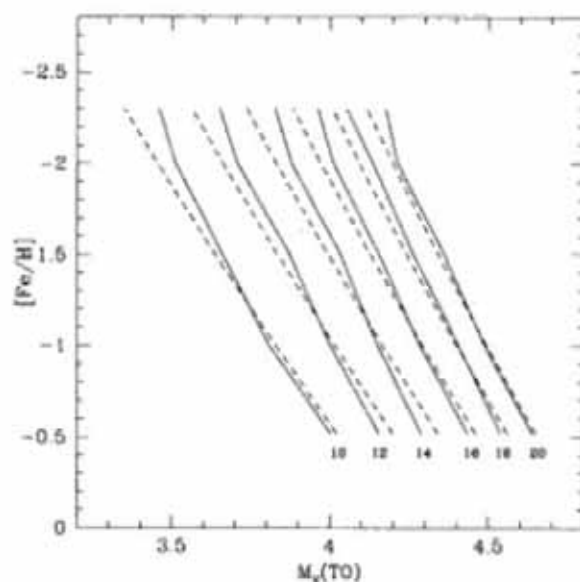


Figura 56: Magnitud visual del *turnoff*, de las isócronas de Straniero y Chieffi (1991) transformadas con la calibración teórica de Vandenberg y Bell (1985) —línea de trazos—, y con la calibración empírica derivada en este trabajo —línea continua—.

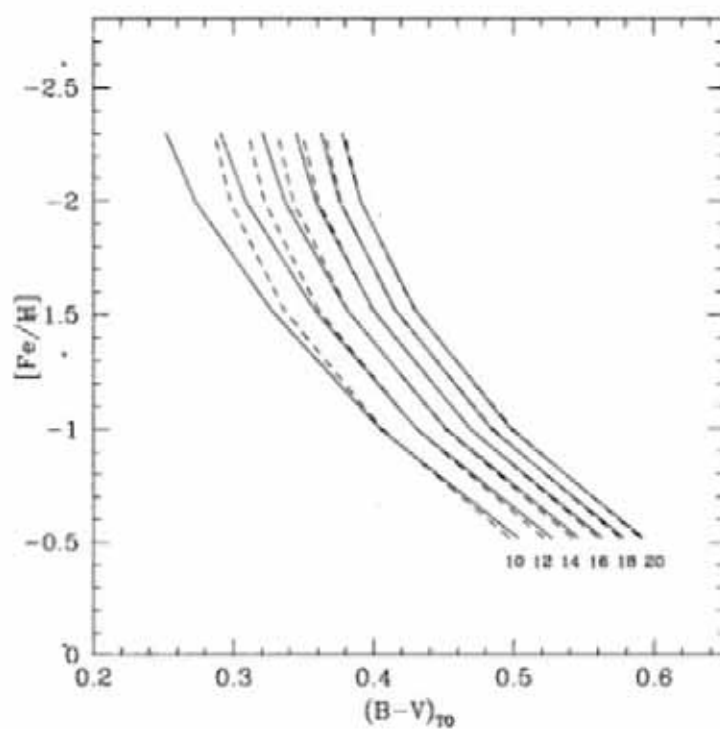


Figura 57: Color $(B-V)$ del *turnoff*, de las isócronas de Straniero y Chieffi (1991) transformadas con la calibración teórica de Vandenberg y Bell (1985) —línea de trazos—, y con la calibración empírica derivada en este trabajo —línea continua—.

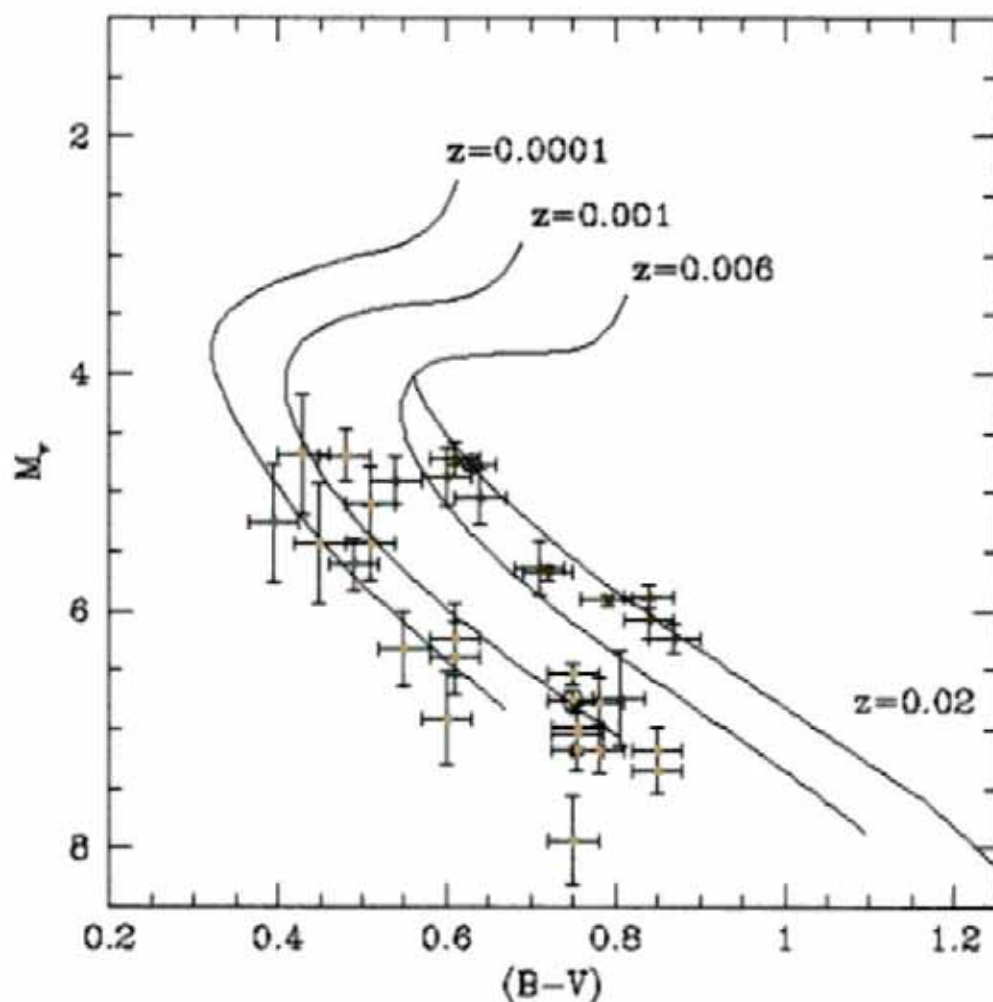


Figura 58: Diagrama $(B-V) : M_V$ para estrellas con paralajes trigonométricas (Sandage 1983, Laird et al. 1987, Van Altena et al. 1988). En rojo $[Fe/H] > -1.0$, amarillo $-1.0 \geq [Fe/H] > -2.0$ y azul $[Fe/H] \leq -2.0$. Se han superpuesto las isócronas de 14 Giga-años y diversas metalicidades, y la isócrona de metalicidad solar de 4.5 Giga-años. El Sol y HD103095 se han señalado con una circunferencia.

7.3.3 Ajuste de isócronas a cúmulos globulares

Los cúmulos globulares son sistemas estelares lejanos, y las observaciones fotométricas presentan dificultades que dan lugar a notables discrepancias entre los conjuntos de datos de trabajos independientes. Este hecho significa que el alcance de las posibles conclusiones de cualquier análisis estará necesariamente limitado por los errores de la observación. Una forma de evitar estos problemas consiste en estudiar de forma sistemática todos los diagramas disponibles del sistema de cúmulos globulares de la galaxia, para aislar los datos que se aparten de las tendencias globales. En el futuro, una revisión detallada de este punto será necesaria, para estudiar las consecuencias de las nuevas transformaciones que se presentan en este trabajo, así como su validez. Para ello habrá que adoptar un método de ajuste de las isócronas a los puntos observados, basado en criterios objetivos. En esta sección se muestran dos ejemplos de "ajuste a ojo", que únicamente dan idea del tipo de diferencias que cabe encontrar en este futuro estudio. 47 Tuc es un cúmulo globular rico en metales que permite contrastar las relaciones de transformación empíricas en una zona muy interesante del dominio edad-[Fe/H]. En la figura 59a, se muestra el ajuste a una isócrona empírica de 14 Giga-años, fijando la metalicidad en $z=0.006$. Puede observarse (figura 59b), que las isócronas teóricas reproducen peor la pendiente de la secuencia principal y la forma del *turnoff*. M15 (NGC 5058) uno de los cúmulos con menor contenido de metales de la galaxia, presenta un enrojecimiento bastante fuerte. Por desgracia los datos de la rama de subgigantes y la base de la rama de gigantes no están determinados con suficiente precisión. Sin embargo es interesante mostrar las notables diferencias entre la forma de la secuencia principal de las isócronas teóricas y las empíricas. En las figuras 59c y 59d se muestra el ajuste de la secuencia principal con idénticos parámetros. Puede observarse que mientras las transformaciones empíricas dan lugar a una pendiente aproximadamente constante en la secuencia principal, las transformaciones teóricas tienen dos zonas con pendientes marcadamente distintas. La zona más azul de la secuencia principal tiene una pendiente muy fuerte, mientras que la parte roja tiene una pendiente menos acusada. Hemos de señalar que los datos observados de M92, que también es un cúmulo pobre en metales, presentan en la secuencia principal una pendiente suave y constante (Heasley y Christian 1986, y Stetson y Harris 1988). En consecuencia, parece que las relaciones empíricas mejoran de forma evidente el ajuste de las isócronas más pobres a

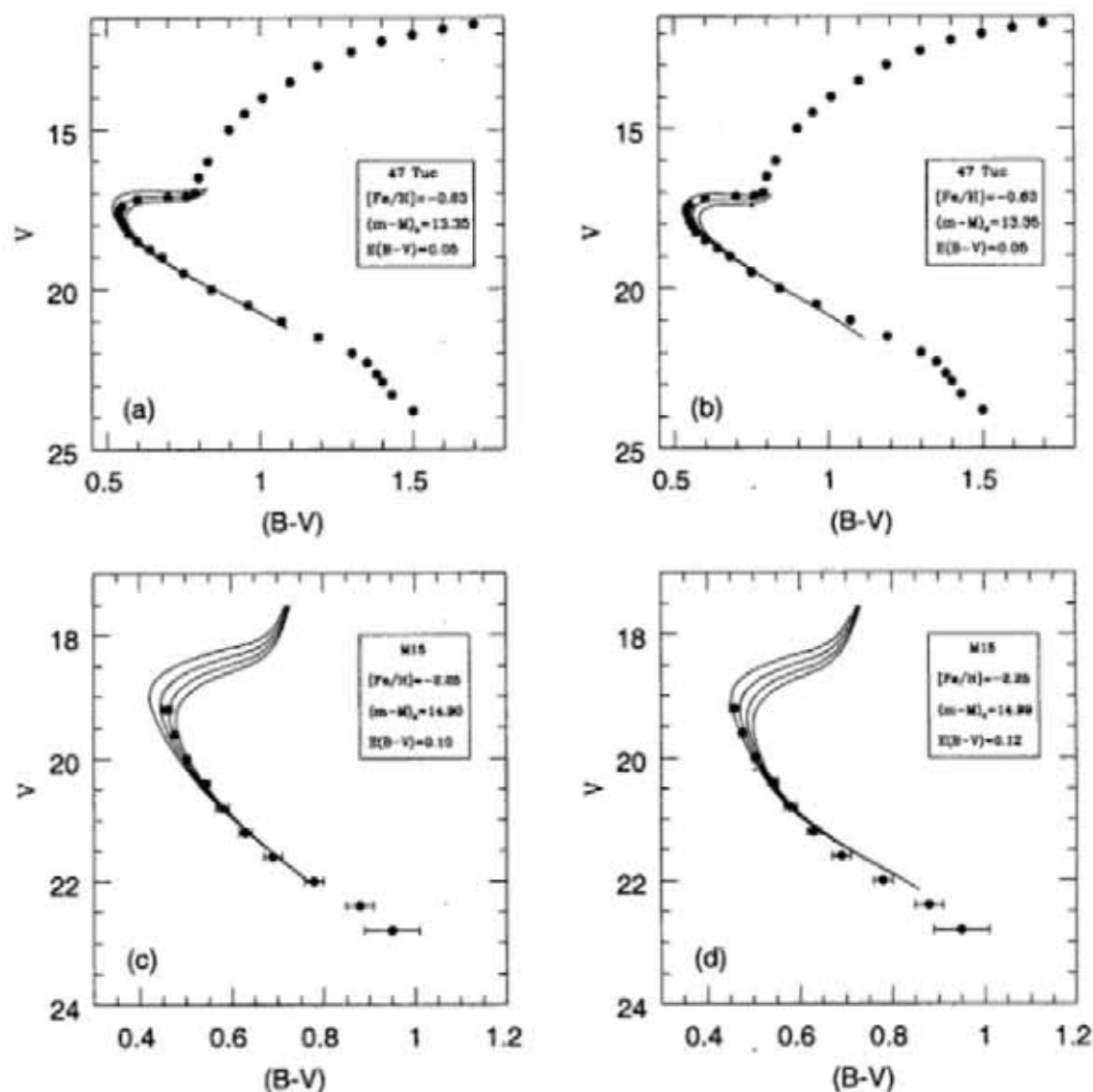


Figura 59: (a) Diagrama color-magnitud del cúmulo globular 47Tucanae. Los datos corresponden al trabajo de Hesser et al. (1987). Se han superpuesto las isócronas de $z=0.006$, y edades 12,14 y 16 Giga-años transformadas empíricamente. (b) Igual que en la figura (a) pero con transformación teórica (VB85). (c) Diagrama color-magnitud del cúmulo globular M15. La secuencia principal con sus barras de error se ha extraído del trabajo de Fahlman et al. (1985). Se han superpuesto las isócronas de $z=0.0001$, y edades 14,16,18 y 20 Giga-años. (d) Igual que en la figura (c) pero con transformaciones teóricas.

los datos observados. Recordemos que éste es uno de los puntos que originó la necesidad del trabajo que hemos presentado en los capítulos precedentes.

7.3.4 Datación relativa de las estrellas del halo

En este apartado se presentan algunos resultados puntuales de la aplicación de las nuevas relaciones de color obtenidas, relacionados con la historia evolutiva de la galaxia. Aunque el color del *turnoff* no es un indicador preciso de la edad de los cúmulos estelares, las relaciones globales $(B - V)_{TO}$ -edad- $[Fe/H]$ pueden ser empleadas para estudios de datación relativos tal como el que se encuentra en Schuster y Nissen (1989b). En dicho trabajo se analiza una muestra de estrellas enanas del halo mediante el siguiente procedimiento. Primero se determinan los puntos aproximados correspondiente al *turnoff*, en el diagrama $(b - y)_o - c_o$, de 6 grupos de metalicidad en el intervalo $(-1, -3)$. A partir de los valores fotométricos y empleando la calibración de temperaturas de Magain (1987) se determinan los valores de $T_{ef}(TO)$ correspondientes, y éstos se comparan con los valores teóricos de las isócronas de Vandenberg (1985), teniendo en cuenta las diferentes abundancias de las estrellas del halo ($[O/Fe]=0.6$ y $[\alpha/Fe]=0.4$). El resultado sugiere que las estrellas del halo más pobres en metales ($[Fe/H] < -2$) pertenecen a un grupo de edad 2 ó 3 Giga-años más viejo que el resto. Esta interpretación apoya un colapso inicial de la galaxia homogéneo pero más lento que el derivado de la teoría de Eggen, Lynden-Bell y Sandage (1962; ELS62). Este mismo análisis se ha repetido empleando la calibración $T_{ef} = f((b - y), c, [Fe/H])$ derivada en el presente trabajo. El resultado se presenta en la figura 60a. Puede observarse que los valores revisados quedan muy aproximadamente sobre la isócrona de 18 Giga-años, que apoyaría la teoría de un colapso rápido. Es preciso señalar dos cosas:

1. Los análisis de este tipo son bastante inciertos, en lo que respecta a la datación absoluta de sistemas estelares, puesto que el color del *turnoff* es un indicador poco preciso de la edad. Este problema está relacionado con la calibración de algunos parámetros de los modelos de estructura que influyen directamente sobre el punto cero de la escala.
2. Como método de datación relativa debe ser empleado con cuidado. Un error del 2 % en el valor de la temperatura significa una variación de edad del 10 %.

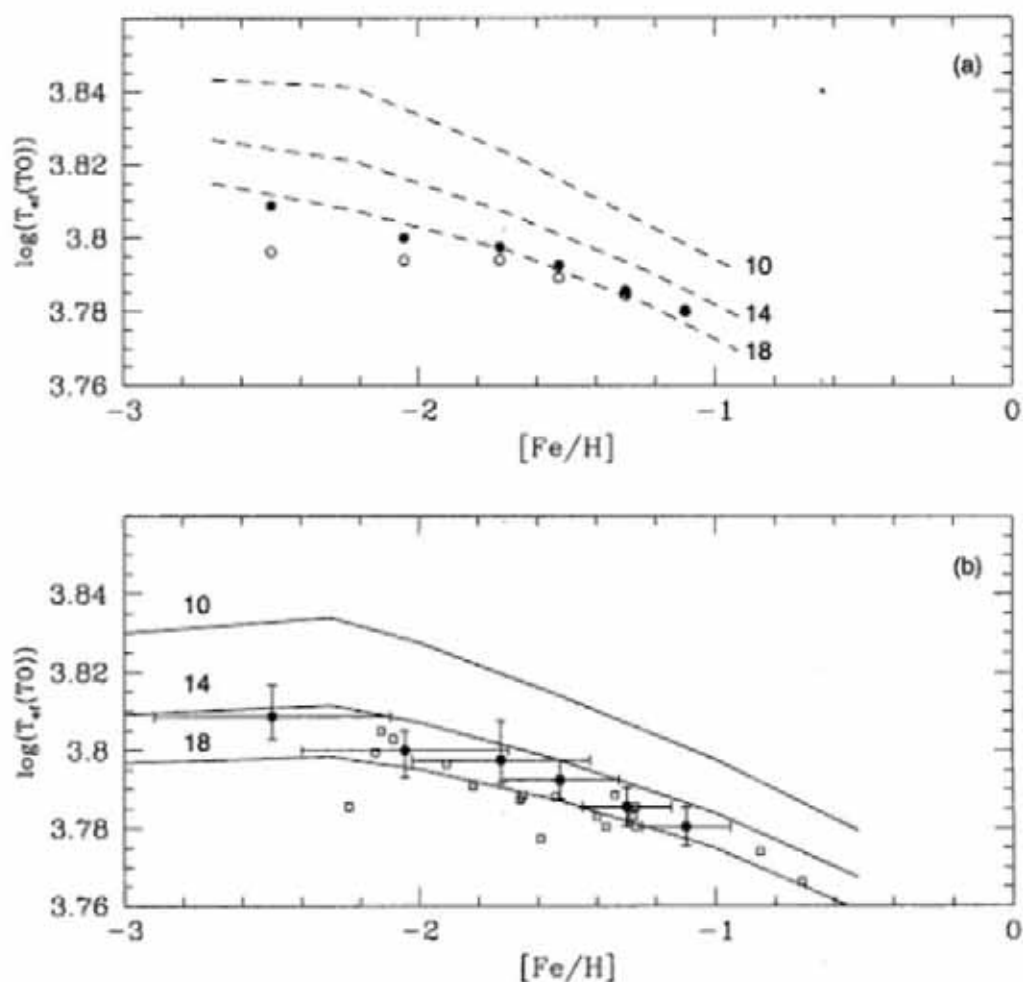


Figura 60: (a) Este diagrama reproduce el estudio de Schuster y Nissen (1989b) concerniente a la edad de las estrellas del *turnoff* de diversos grupos de metalicidad de estrellas del halo de la Galaxia. Las circunferencias corresponden a las temperaturas calculadas aplicando la calibración $T_{ej} : (b-y)$ de Magain (1987), los puntos negros corresponden a las temperaturas calculadas con la calibración $T_{ej} : ((b-y), c_1)$ obtenida en este trabajo. Las líneas corresponden a los puntos del *turnoff* de las isócronas de Vandenberg (1985) corregidas para $[O/Fe]=0.6$ y $[\alpha/Fe]=0.4$. (b) Se ha repetido el análisis de la figura (a) pero empleando aquí las isócronas de SC92, y las calibraciones de temperatura derivadas en este trabajo, a los puntos de las estrellas del halo, se han añadido los puntos de *turnoff* de una muestra de cúmulos globulares (cuadrados).

El mismo análisis se ha repetido utilizando las isócronas de SC92, al mismo tiempo se han determinado con la calibración empírica $T_{ef} - (B - V) - [Fe/H]$ los puntos de *turnoff* de una muestra de cúmulos globulares (Buonanno et al. 1989), el resultado puede verse en la figura 60b, que parece sugerir que las estrellas del halo y el sistema de cúmulos globulares de la galaxia son aproximadamente coetáneos con una edad de 16 ± 2 Giga-años. Esta interpretación apoyaría el modelo teórico de colapso inicial rápido de la Galaxia (ELS62)

En este capítulo, se han aplicado algunas de las calibraciones de la escala de temperaturas, obtenidas en este trabajo, al estudio preliminar de diversos problemas de interés en varios campos de la astrofísica. Los resultados más notables son:

- (1) La mejoría de los modelos de atmósferas que, al incluir en los cálculos de opacidad una mayor cantidad de líneas asociadas a los metales, predicen cualitativamente mejor los efectos de *blanketing* observados. Esto permite extender la síntesis de colores de forma fiable hasta temperaturas bastante frías ($T_{ef} = 4250 - 4500 K$). Sin embargo, aún se observan discrepancias entre el comportamiento observado y el teórico, que pueden interpretarse como un exceso de opacidad de las líneas metálicas.
- (2) Para los modelos evolutivos de los cúmulos abiertos las isócronas empíricas y las teóricas son muy semejantes salvo en la parte baja de la secuencia principal ($(B - V) < 0.8$). Las isócronas empíricamente transformadas se ajustan a los diagramas color-magnitud mejor que las isócronas transformadas con relaciones de temperatura y CB teóricas, no obstante se siguen observando discrepancias en la zona más fría de la secuencia principal.
- (3) Para los modelos evolutivos de los cúmulos globulares, se observan notables diferencias entre las isócronas teóricas y las empíricas. En términos de edad, las isócronas transformadas empíricamente tienden a homogeneizar las edades de los cúmulos globulares y proporcionan un mejor ajuste con las observaciones para los cúmulos más pobres en metales.
- (4) Hemos visto que al analizar los colores del *turnoff* de una muestra de estrellas del Halo, dos calibraciones independientes de la escala de temperaturas, proporcionan edades y temperaturas diferentes. La utilización de una u otra escala de temperaturas determina una interpretación de los resultados que sirve para apoyar modelos de evolución inicial de la Galaxia incompatibles

entre sí. En particular las nuevas calibraciones apoyan la idea de que las estrellas de campo del halo tienen todas la misma edad (con una dispersión de ± 2 Giga-años), en concordancia con la teoría de un colapso inicial de la Galaxia homogéneo y rápido.

Capítulo 8

Conclusiones

El presente estudio se basa en el análisis de la fotometría UBVR_IJHK y $ubvy - \beta$ de una muestra compuesta por unas 500 estrellas de la baja secuencia principal, que cubren prácticamente el intervalo de metalicidades de las poblaciones estelares de la Galaxia. La aportación de este trabajo a la base de datos fotométrica de la muestra ha consistido en la medida de nueva fotometría IR para el 75 % de las estrellas que la componen. Como resultado, se ha caracterizado el sistema fotométrico del observatorio del Teide en las bandas J,H,K y L' para el Telescopio Carlos Sánchez (TCS) con el fotómetro CVF.

Se ha desarrollado un nuevo procedimiento semiempírico para realizar la calibración absoluta del flujo IR de una estrella. El método se basa en la utilización de medidas precisas de diámetros angulares en combinación con el MFI, y se ha aplicado para obtener el flujo de Vega en cinco puntos del IR cercano. Esta calibración del flujo IR sitúa las temperaturas efectivas derivadas mediante el MFI en la escala definida por el promedio de las escalas de las temperaturas efectivas directas. Los resultados sugieren que la única calibración experimental realizada hasta el momento (Mountain et al. 1985) sobreestima los flujos IR de Vega para las longitudes de onda más largas. Adicionalmente, la aplicación del método nos lleva a la conclusión de que los diámetros angulares medidos por medio de Interferometría de Michelson y Ocultaciones Lunares, los medidos mediante Interferometría de Intensidad y los determinados aplicando el MFI no están en la misma escala. Una posible explicación es que haya una diferencia en el punto cero de las escalas de $\theta(MI, LO)$ y $\theta(II)$. Otra explicación, que parece más probable según otros resultados de este mismo trabajo, es que los modelos de Kurucz (1991,1993) sobreestimen los flujos IR de las estrellas gigantes rojas [K0III-M4III] (cuyos diámetros se han medido principalmente mediante Interferometría de Michelson y Ocultaciones Lunares), e infraestimen los de las estrellas calientes de tipos [A7-B8] (cuyos diámetros se han medido principalmente mediante Interferometría de Intensidad).

Se presenta un método para derivar los flujos bolométricos de las estrellas F-K de la Secuencia Principal, a partir de datos fotométricos de banda ancha UBVR_IJHK, que considera el efecto de la metalicidad. Los resultados de su aplicación se han empleado para obtener una fórmula de aplicación general que permite derivar el flujo bolométrico a partir de K, (V-K) y [Fe/H], así como la correspondiente corrección bolométrica.

Las temperaturas efectivas de las estrellas de la muestra se han derivado mediante la aplicación del MFI. El error interno medio estimado para las temperaturas finales es del orden de 1-1.5 %. La indeterminación más probable del punto cero de la escala de temperaturas, asociada a la incertidumbre de la calibración absoluta del flujo IR, oscila entre 0.4 % y 1.7 % por encima de 4000 K.

Las temperaturas efectivas junto con los datos fotométricos medidos y recopilados en este trabajo han permitido establecer una calibración semi-empírica de la escala de temperaturas de las estrellas de la baja secuencia principal frente a distintos colores e índices fotométricos: (B-V), (V-K), (b-y) y c_1 del sistema de Strömgren y β . Los resultados más destacables del análisis de las relaciones obtenidas son los siguientes:

Persisten las diferencias entre la escala empírica y la escala teórica de temperaturas para el color (B-V).

En lo que concierne al color (V-K), se confirma nuevamente que este color es, con gran diferencia, el mejor indicador de temperatura. Como novedad, aparece una pequeña, pero clara, tendencia con la metalicidad distinta a la que se encontraba en las calibraciones empíricas previas.

Los colores e índices de la fotometría de Strömgren aparecen como buenos indicadores de la temperatura, con una precisión a medio camino entre las que se hallan para las relaciones $T_{ef} : (V - K)$ y $T_{ef} : (B - V)$.

La relación $T_{ef} : \beta$ presenta un ligero efecto con la metalicidad, y muestra que éste índice puede utilizarse con buena precisión para determinar las temperaturas efectivas de estrellas enrojecidas.

También se han calculado las redes de colores intrínsecos empíricos (U-B), (B-V), (V-K), $(J - H)_{TCS}$, $(J - K)_{TCS}$ correspondientes a metalicidades 0, -1, -2 y -2.5 y $4000 < T_{ef} < 7000$.

Se han aplicado las calibraciones de la escala de temperaturas obtenidas al estudio de diversos problemas de interés en algunos campos de la Astrofísica. Los resultados preliminares más notables son:

— La mejoría de los modelos de atmósferas que, al incluir en los cálculos de opacidad una mayor cantidad de líneas asociadas a los metales, predicen cualitativamente mejor los efectos de *blanketing* observados. Esto permite extender la síntesis de colores de forma fiable hasta temperaturas bastante frías ($T_{ef} = 4250 - 4500K$). Sin embargo, aún se observan discrepancias entre el comportamiento observado y el teórico, que pueden interpretarse como un exceso de opacidad de las líneas metálicas.

— Para los modelos evolutivos de cúmulos abiertos las isócronas empíricas y las teóricas son muy semejantes salvo en la parte baja de la SP ($(B - V) < 0.8$). Las isócronas empíricamente transformadas se ajustan a los diagramas color-magnitud mejor que las isócronas transformadas con relaciones de temperatura y CB teóricas, no obstante se siguen observando discrepancias en la zona más fría de la SP.

— Para los modelos evolutivos de los cúmulos globulares, se observan notables diferencias entre las isócronas teóricas y las empíricas. En términos de edad, las isócronas transformadas empíricamente tienden a homogeneizar las edades de los cúmulos globulares y proporcionan un mejor ajuste con las observaciones para los cúmulos más pobres en metales.

— La aplicación de la nueva escala de temperaturas al análisis de los colores del *turnoff* de una muestra de estrellas de campo del Halo sugiere que estas estrellas tienen todas la misma edad, con una dispersión de ± 2 Giga-años. Este resultado apoya la teoría de un colapso inicial de la Galaxia homogéneo y rápido.

Apéndice 1

Tabla A1.- Magnitudes fotométricas infrarrojas medidas en el Observatorio del Teide (TCS), con sus errores estimados. Col. 8: número de medidas en J,H, y K. Claves de las referencias: CL (Carney y Latham 1987), SK (Sandage y Kowal 1986), SN (Schuster y Nissen 1989), Par (Subprograma de Paralajes), SH (Stauffer y Hartmann 1986), B90 (Beers et al. 1990),RN (Ryan y Norris 1991), Cay (Cayrel et al. 1992), by (Fotometría Strömngren), β (fotometría H_{β}), RI (Fotometría RI), DwM (enana M), Fstd (Estándar débil). La columna 12 contiene el tipo espectral y el número de los catálogos HD, BD o LTT.

Table A1

ID	J	ΔJ	H	ΔH	K	ΔK	#	V	(B-V)	(U-B)	Comments
G001-009	6.123	0.010	5.820	0.017	3.769	0.017	2	7.35	0.53	0.12	SK,CL,by β ,G2V, HD3625
G004-006	9.460	—	9.160	—	9.100	—	1	10.60	0.56	-0.10	SN,SK,CL,by β ,F8, BD+11 299
G004-036	10.360	—	10.070	—	10.010	—	1	11.49	0.48	-0.22	SN,SK,by β ,K
G004-037	10.280	—	9.990	—	9.930	—	1	11.400	0.460	-0.170	SN,SK,CL,by β
G005-035	9.528	0.021	9.228	0.018	9.162	0.021	4	10.77	0.54	-0.19	SN,SK,by β ,Fsd
G005-036	9.541	0.023	9.267	0.025	9.232	0.023	4	10.83	0.53	-0.11	SN,SK,by β ,F5,Fsd
G006-034	6.670	0.028	6.025	0.045	5.850	0.050	2	9.66	1.45	1.23	SK,SH,by β
G008-016	8.190	0.010	7.940	0.010	7.890	0.006	2	9.26	0.40	-0.20	SN,SK,by β ,F2, HD284248
G008-050	10.873	0.015	10.346	0.015	10.215	0.021	3	12.63	1.01	0.79	SN,SK,by β
G009-014	8.640	0.028	8.190	0.028	8.140	0.028	2	10.18	0.80	0.40	SK,CL,RN,by, BD+14 1947
G009-016	8.558	0.031	8.372	0.010	8.340	0.012	3	9.32	0.31	-0.16	SK,CL,SN,by β ,F0, BD+25 1981
G009-031	9.360	0.012	9.240	0.012	9.187	0.006	3	10.82	0.60	-0.04	SK,SN,by β ,LTT12313
G009-036	10.698	0.042	10.402	0.035	10.346	0.036	5	11.95	0.57	-0.14	SK,SN,by β ,LTT12338
G010-004	9.820	0.010	9.417	0.012	9.333	0.006	3	11.41	0.72	-0.03	SK,SN,RN,by β ,sdG3
G011-044	10.030	0.036	9.743	0.029	9.710	0.026	4	11.13	0.42	-0.21	SK,SN,B90,RN,by β ,Fsd
G012-004	8.647	0.015	8.120	0.017	7.860	0.010	3	12.74	1.73	—	SK,SH,RI,M3.5
G012-021	9.065	0.007	8.800	0.014	8.755	0.007	2	10.16	0.45	-0.18	SK,SN,B90,RN,Par,by β ,RI,F6V, HD106038
G012-023	12.050	0.060	11.692	0.090	11.692	0.083	5	13.370	0.645	0.010	SK,CL,RN
G013-035	8.592	0.050	8.328	0.030	8.308	0.020	3	9.665	0.43	-0.22	SN,SK,CL,Cay,Par,by β ,F3V, HD108177
G014-006	5.700	0.015	5.070	0.000	4.920	0.000	2	8.49	1.40	1.24	SK,SH,Cay,M0.5, HD111631
G014-022	7.615	0.007	7.283	0.006	7.230	0.010	3	8.980	0.730	0.290	SK,CL,by β ,G8V, HD113101
G014-024	11.237	0.030	10.835	0.020	10.781	0.021	3	12.820	0.750	0.020	SN,CL,by β ,dA
G014-039	11.030	0.000	10.490	0.028	10.410	0.028	2	12.840	0.920	0.400	SN,CL,RN,by β ,K3
G014-045	8.810	0.010	8.247	0.006	8.140	0.007	3	10.86	1.00	0.70	SN,SK,by β ,K5
G014-054	6.210	0.014	5.915	0.007	5.865	0.007	2	7.430	0.650	0.180	SK,CL,G, HD117126
G015-013	10.745	0.017	10.320	0.042	10.244	0.039	4	12.32	0.75	0.08	SN,SK,by β ,G2
G015-023	9.485	0.021	9.095	0.007	9.045	0.021	2	10.96	0.70	0.04	SN,SK,by β ,K
G015-024	10.187	0.015	9.867	0.006	9.810	0.010	3	11.43	0.57	-0.11	SN,SK,by β
G016-013	8.691	0.020	8.376	0.026	8.334	0.033	5	10.00	0.59	-0.04	SN,SK,RN,by β ,Fsd, BD+08 3095
G016-025	11.913	0.040	11.650	0.017	11.537	0.023	4	13.245	0.605	-0.155	SN,CL,sdF8, LTT14763
G016-028	10.600	—	10.220	—	10.110	—	1	12.09	0.72	0.07	SK
G017-021	6.143	0.012	5.800	0.010	5.817	0.007	3	7.280	0.530	-0.070	Cay,SK,CL,B90,RN,by β ,F6V, HD148816
G017-025	8.015	0.013	7.600	0.008	7.510	0.008	4	9.63	0.75	0.10	SN,SK,RN,Par,Cay,by β ,RI,G5V, HD149414
G017-037	11.706	0.035	11.300	0.042	11.297	0.021	3	13.57	0.84	0.12	SN,SK,by β ,G, LTT18446
G018-028	8.210	—	7.830	—	7.770	—	1	9.340	0.650	0.040	SN,SK,RN,by β ,G, BD+11 4725

Tabla A1 (continuación)

ID	J	ΔJ	H	ΔH	K	ΔK	#	V	(B-V)	(U-B)	Comentarios
G018-054	9.520	—	9.230	—	9.160	—	1	10.70	0.48	-0.16	SN,SK,RN,by β ,sdFT, LTT16605
G019-024	4.905	0.007	4.290	0.000	4.145	0.007	2	7.53	1.36	1.27	Cay,by β ,KTV, HD157881
G019-013	5.455	0.007	4.860	0.000	4.740	0.014	2	7.73	1.16	1.05	SN,by β ,R,KOV, HD154363
G019-025	10.100	—	9.680	—	9.560	—	1	11.69	0.78	0.09	SK,RN,G
G019-027	6.785	0.007	6.460	0.000	6.415	0.007	2	8.145	0.650	0.070	SK,CL,G, HD158809
G020-008	8.795	0.007	8.510	0.014	8.476	0.015	2	9.940	0.460	-0.260	SK,CL,B90,RN,by β ,A
G020-015	9.118	0.025	8.803	0.010	8.740	0.005	4	10.605	0.625	-0.060	SK,CL,RN,by β ,F8,Fsd
G020-019	11.690	—	11.150	—	11.020	—	1	13.080	0.720	0.040	SK,CL
G020-024	9.953	0.015	9.690	0.010	9.673	0.015	3	11.10	0.46	-0.14	SK,SN,B90,RN,by β ,sdF5
G021-006	10.380	—	10.020	—	9.940	—	1	12.35	1.06	0.54	SK,KOV
G021-022	9.648	0.038	9.332	0.015	9.295	0.013	6	10.76	0.54	-0.09	SK,SN,B90,RN,by β ,G,Fsd, LTT15497
G022-009	8.755	0.007	8.440	0.000	8.400	0.000	2	10.09	0.72	0.17	SK,SN,by β ,G3, HD17617
G022-020	7.930	0.014	7.645	0.007	7.615	0.021	2	9.21	0.51	-0.11	SN,SK,by β ,FTV, HD179626
G022-024	8.710	0.010	8.240	0.000	8.185	0.007	2	10.58	0.91	0.58	SK,SN,RN,by β ,K0, BD-04 4778
G023-020	10.154	0.050	9.775	0.042	9.733	0.041	4	11.570	0.630	-0.070	SK,CL,SN,RN,by β ,G, LTT15846
G024-003	9.314	0.043	9.025	0.013	8.974	0.021	5	10.450	0.470	-0.210	SK,CL,SN,B90,RN,by β ,sdF8,Fsd, LTT15880
G024-013	8.860	0.000	8.545	0.007	8.485	0.021	2	10.14	0.62	-0.05	SK,SN,RN,by β ,G4, BD+05 4481
G024-015	7.280	0.000	7.005	0.007	6.960	0.000	2	8.34	0.48	-0.20	SN,SK,CL,B90,Cay,by β ,R,FTV, HD194598
G025-015	6.159	0.013	5.833	0.010	5.773	0.012	4	7.320	0.545	-0.060	CL,Cay,by β ,F9V, HD200580
G026-007	7.310	—	6.650	—	6.370	—	1	12.03	1.68	9.99	DwM
G026-009	7.721	0.016	7.166	0.010	7.058	0.006	4	9.90	0.97	0.50	SN,SK,by β ,K3Ve
G026-012*	11.070	—	10.760	—	(10.740)	—	1	12.16	0.44	-0.24	SK,B90,RN,sdF
G027-044	6.199	0.030	5.920	0.042	5.875	0.021	2	7.405	0.520	-0.100	SK,CL,by β ,F8, HD215257
G028-043	8.397	0.032	8.007	0.023	7.933	0.042	3	9.94	0.70	0.01	SK,SN,RN,by β ,G2, BD-00 4470
G029-023	9.170	—	8.910	—	8.830	—	1	10.20	0.43	-0.21	SK,SN,by β ,F5, BD+02 4651
G029-043	7.650	—	7.090	—	6.890	—	1	11.13	1.47	1.12	SK,SH
G029-047	6.865	0.021	6.245	0.007	6.008	0.014	3	9.59	1.34	1.20	SK,SH,by β
G030-056	8.583	0.030	8.283	0.020	8.223	0.020	4	9.74	0.56	0.04	SK,SN,by β ,G0V,Fsd, BD+15 0028
G031-041	7.750	—	7.440	—	7.410	—	1	8.88	0.54	-0.02	SK,by β ,F9V, HD1368
G033-009*	8.190	—	7.670	—	7.570	—	1	10.60	0.57	-0.06	SK,SN,by β ,G, LTT16268
G036-050*	10.455	0.134	10.235	0.021	10.165	0.007	2	12.04	0.64	-0.11	SK,SN,by β
G037-037	11.130	0.090	10.800	0.042	10.710	0.014	2	12.280	0.500	-0.160	SK,CL,F8, LTT11116
G038-001	8.520	0.000	7.955	0.007	7.770	0.028	2	11.11	1.32	1.06	SK,SN,by β ,G0
G041-034	8.165	0.007	7.795	0.007	7.710	0.014	2	9.65	0.77	0.40	SK,RN, LTT12469
G041-041	10.177	0.023	9.920	0.020	9.917	0.015	3	11.150	0.400	-0.190	SK,SN,CL,RN,B90,by β ,A5, BD+09 2190

Tabla A1 (continuación)

ID	J	ΔJ	H	ΔH	K	ΔK	#	V	(B-V)	(U-B)	Comentarios
G041-043	8.815	0.040	8.270	0.014	8.045	0.021	2	12.22	1.50	—	SH,RL,M4
G043-003	7.363	0.025	7.107	0.012	7.077	0.015	3	8.315	0.395	-0.220	SK,SN,CL,B90,RN,Par,Coy,by β ,F3IV, HD84937
G044-006	6.515	0.013	6.197	0.005	6.160	—	4	7.730	0.600	-0.010	SN,CL,Par,by β ,G1V, HD88725
G044-030	9.905	0.021	9.540	0.000	9.495	0.007	2	11.30	0.64	0.01	SK,SN,RN,by β ,G0
G044-042	8.610	0.020	8.070	0.013	7.810	0.013	5	12.68	1.65	—	SH,RL,M4,Fsd
G046-005	9.707	0.021	9.287	0.021	9.227	0.020	3	11.32	0.74	0.15	SK,SN,RN,by β ,G6, LTT12301
G046-015	8.600	0.028	8.045	0.007	7.815	0.007	2	12.36	1.46	1.07	SK,SH,RL,M4
G046-016	8.825	0.021	8.280	0.028	8.040	0.014	2	12.68	1.49	1.06	SK,SH,RL,M4
G046-031	9.740	0.026	9.433	0.015	9.393	0.031	3	10.85	0.54	-0.13	SK,SN,RN,by β , LTT12442
G048-029	9.470	0.014	9.235	0.007	9.240	0.028	2	10.470	0.365	-0.230	SN,SK,CL,B90,RN,by β , BD+01 2341
G048-039	6.285	0.007	5.960	0.000	5.885	0.007	2	7.610	0.610	0.050	SK,CL,by β ,F8, HD85091
G049-020	9.597	0.015	9.116	0.017	8.803	0.015	3	14.20	1.77	1.10	SH,RL,M6
G050-004	6.580	0.099	6.000	0.000	5.725	0.007	2	11.12	1.62	0.97	SK
G051-010	8.040	—	7.470	—	7.390	—	1	10.10	1.00	0.87	SK,by β ,K5
G053-041	9.892	0.025	9.620	0.014	9.562	0.016	5	11.04	0.48	-0.14	SK,SN,by β ,sdF8,Fsd
G054-023	5.430	0.090	4.835	0.005	4.610	0.010	2	9.43	1.54	1.06	SH,M4.5
G055-017	11.830	—	11.420	—	11.370	—	1	13.195	0.670	0.015	CL,G, LTT8336
G055-024	6.115	0.007	5.560	0.000	5.345	0.007	2	9.66	1.51	1.19	SH,RL,M2, BD+01 2447
G055-035	7.635	0.007	7.030	0.014	6.805	0.007	2	11.30	1.52	1.24	SH,RL,M3
G055-044	7.695	0.021	7.130	0.014	7.030	0.014	2	9.85	1.05	0.88	SK,SN,by β ,BD-01 2457
G056-022	11.814	0.040	11.380	0.017	11.213	0.030	3	13.600	0.860	0.420	CL,SK,RN
G056-036	8.893	0.021	8.617	0.025	8.583	0.021	3	10.00	0.48	-0.14	SK,SN,by β ,G0, BD+20 2594
G058-023	8.620	0.012	8.262	0.011	8.200	0.012	6	9.96	0.60	-0.03	SK,SN,by β ,Fsd, BD+21 2244
G058-025	7.152	0.038	6.872	0.038	6.852	0.041	3	8.23	0.46	-0.21	SK,SN,B90,Coy,by β ,F4V, HD94028
G059-018	8.678	0.052	8.268	0.042	8.183	0.059	6	10.18	0.72	0.10	SK,SN,RN,by β
G059-024	10.950	0.041	10.675	0.006	10.650	0.024	4	12.000	0.450	-0.250	CL,SK,SN,B90,RN,by β ,sdA6,Fsd
G059-027	9.870	0.037	9.607	0.031	9.550	0.042	4	10.91	0.40	-0.24	SK,SN,B90,by β ,F2
G060-026	8.407	0.006	8.017	0.006	7.957	0.006	3	9.82	0.65	-0.01	SK,SN,RN,by β ,G0
G060-048	10.170	0.010	9.877	0.006	9.838	0.013	3	11.34	0.49	-0.22	SK,SN,B90,RN,by β ,sdF
G060-066	8.362	0.010	8.025	0.010	7.975	0.017	4	9.670	0.690	0.220	CL,by β ,G, HD114094
G061-038	8.586	0.020	8.251	0.015	8.185	0.020	3	9.880	0.640	0.050	SK,SN,RN,by β , BD+19 2646
G062-030	8.400	0.014	8.020	0.022	7.978	0.010	4	9.78	0.64	0.02	SK,SN,by β ,G0, BD+07 2654
G062-040	12.035	0.050	11.527	0.050	11.455	0.050	4	13.545	0.760	0.090	CL,G
G062-052	9.445	0.021	9.035	0.007	8.960	0.014	2	10.89	0.67	0.01	SK,SN,by β ,F8
G062-061	7.118	0.023	6.820	0.014	6.761	0.018	4	8.210	0.570	0.050	CL,RN,G0, HD118981

Tabla A1 (continuación)

ID	J	ΔJ	H	ΔH	K	ΔK	#	V	(B-V)	(U-B)	Comentarios
G063-005	7.491	0.040	7.150	0.021	7.081	0.020	6	8.730	0.620	0.665	CL,G1V, HD114606
G063-006	9.663	0.013	9.030	0.014	8.868	0.010	4	12.330	1.290	1.210	CL,M0,Fsd, BD+10 2519
G063-009	6.170	0.020	5.893	0.006	5.850	0.010	3	7.29	0.54	-0.05	SN,B90,Cay,b γ ,F9V, HD114762
G063-026	11.090	0.028	10.845	0.007	10.790	0.014	2	12.20	0.46	-0.16	SN,SK,CL,B90,b γ
G063-046	8.167	0.006	7.862	0.007	7.823	0.012	3	9.370	0.580	-0.020	SN,SK,RN,b γ ,F9V, BD+13 2698
G064-012	10.502	0.018	10.240	0.016	10.232	0.017	5	11.425	0.375	-0.230	SN,SK,CL,RN,B90,Cay,b γ ,sdF0
G064-037	10.187	0.015	9.933	0.006	9.897	0.012	3	11.10	-0.36	-0.18	SN,SK,B90,RN,b γ ,A2s
G065-022	9.587	0.017	9.360	0.016	9.465	0.021	4	11.370	0.735	0.070	SN,SK,CL,RN,b γ ,sdG3,Fsd
G065-047	5.035	0.021	4.725	0.007	4.670	0.014	2	6.270	0.640	0.660	SK,CL,Par,G1V, HD126053
G066-018	11.180	0.040	10.695	0.021	10.645	0.035	2	13.10	0.86	0.48	SK,G
G066-022	8.320	0.030	8.530	0.042	8.436	0.030	3	10.47	0.70	0.10	SN,SK,RN,b γ ,G6V
G066-030	10.038	0.025	9.832	0.040	9.765	0.020	3	11.04	0.40	-0.18	SN,SK,B90,RN,b γ ,sdF5
G067-008	8.090	—	7.700	—	7.630	—	1	9.52	0.76	0.30	SN,SK,b γ ,K2, BD+09 5076
G069-010	7.450	0.040	6.880	0.030	6.645	0.035	2	11.06	1.54	1.20	SH
G072-060	9.070	0.030	8.780	0.020	8.730	0.020	3	10.290	0.560	-0.090	SN,SK,CL,b γ ,G0, BD+30 0338
G073-067	8.010	0.014	7.495	0.021	7.410	0.057	2	9.78	0.90	0.63	SN,SK,K3V
G074-005	7.560	0.026	7.247	0.006	7.210	0.010	3	8.775	0.575	-0.080	SN,SK,CL,Cay,b γ ,RI,F8V, BD+29 0366
G074-010	10.890	—	10.470	—	10.410	—	1	12.575	0.820	0.215	SN,SK,CL,b γ ,G4, LTT10755
G075-031	9.370	—	9.170	—	9.100	—	1	10.54	0.46	-0.16	SN,SK,b γ ,F8
G075-034	7.190	—	6.600	—	6.470	—	1	9.50	1.19	1.11	SK
G076-021	9.050	0.005	8.795	0.007	8.730	0.030	2	10.18	0.44	-0.25	SN,SK,b γ ,F2
G076-068	7.970	—	7.450	—	7.340	—	1	9.96	0.93	0.52	SK,b γ ,K0
G077-054	6.987	0.011	6.670	0.017	6.627	0.023	2	8.26	0.62	0.02	SN,SK,b γ ,RI,G2V, HD21543
G079-042	9.330	—	9.230	—	9.190	—	1	10.78	0.50	-0.16	SK,RN,b γ ,sdF8
G080-015	5.520	—	5.230	—	5.190	—	1	6.68	0.54	-0.12	SN,SK,B90,Par,Cay,b γ ,F9V, HD22879
G084-029	8.770	0.014	8.510	0.014	8.485	0.021	3	9.81	0.36	-0.20	SN,SK,b γ
G084-037	8.385	0.007	8.295	0.007	8.270	0.014	2	9.72	0.52	-0.13	SK,b γ ,G0/K, HD241253
G085-052	7.360	—	6.760	—	6.530	—	1	10.82	1.55	1.21	SK,SH
G086-039	9.790	0.000	9.330	0.014	9.245	0.007	2	11.54	0.84	0.33	SN,SK,b γ
G087-047	8.863	0.035	8.468	0.025	8.413	0.025	5	10.34	0.66	0.05	SN,SK,b γ ,Fsd, BD+36 1650
G088-010	10.720	0.015	10.440	0.000	10.375	0.010	2	11.87	0.44	-0.24	SN,SK,b γ ,A, LTT11991
G088-027	9.640	0.032	9.393	0.010	9.345	0.025	4	10.74	0.44	-0.19	SN,SK,RN,b γ ,sdF8, BD+19 1730
G088-032	9.805	0.007	9.555	0.007	9.520	0.014	2	10.82	0.36	-0.22	SN,SK,B90,b γ ,F, LTT12032
G089-014	9.247	0.021	8.985	0.007	8.940	0.020	3	10.40	0.47	-0.18	SN,SK,b γ
G090-003	9.162	0.045	8.853	0.040	8.810	0.040	3	10.43	0.48	-0.18	SN,SK,b γ ,sdF8, LTT17974

Tabla A1 (continuación)

ID	J	ΔJ	H	ΔH	K	ΔK	#	V	(B-V)	(U-B)	Comentarios
G090-025	6.920	0.014	6.585	0.007	6.515	0.021	3	8.255	0.610	-0.115	SN,SK,CL,B90,Cay,Par,by β sdcG, HD64090
G090-036	11.307	0.050	10.952	0.060	10.912	0.043	3	12.69	0.58	-0.13	SN,SK,by β G2, LTT12110
G091-011	8.120	0.028	7.610	0.014	7.400	0.014	2	11.47	1.52	1.09	SK,M2
G092-049	10.020	—	9.640	—	9.500	—	1	12.240	1.035	0.450	CL,RN,sdk3
G096-020	8.670	0.000	8.440	0.015	8.425	0.010	2	9.66	0.42	-0.16	SK,by β F8, HD27559
G096-038	10.350	—	9.850	—	9.790	—	1	12.08	0.84	0.45	SK,K3
G098-056	9.975	0.035	9.640	0.000	9.595	0.007	2	11.36	0.63	-0.03	SN,SK,by β G5
G098-058	7.520	0.008	7.150	0.008	7.093	0.005	4	8.920	0.600	-0.105	SN,SK,CL,by β RI,G0, BD+37 1458
G100-054	7.903	0.040	7.538	0.030	7.475	0.024	3	9.30	0.60	-0.07	SN,SK,B90,RN,Par,by β RI,G0V, HD250792
G101-033	8.783	0.035	8.390	0.017	8.340	0.020	3	1a	0.75	0.24	SN,SK,by β G6, BD+38 1451
G101-034	9.160	0.025	8.707	0.021	8.650	0.010	3	10.76	0.74	0.06	SN,SK,by β BD+38 1456
G102-020	8.785	0.021	8.415	0.049	8.355	0.035	2	10.22	0.65	-0.02	SN,SK,by β
G102-047	8.846	0.026	8.455	0.017	8.388	0.016	3	10.32	0.64	-0.06	SN,SK,by β ,HD251611
G103-050	10.198	0.060	9.728	0.076	9.597	0.055	4	12.07	0.86	0.30	SK,LTT11892
G105-050	9.473	0.025	9.047	0.021	8.953	0.015	3	11.17	0.79	0.18	SN,SK,RN,by β G8, LTT11883
G106-049*	6.400	0.141	5.840	0.113	5.535	0.092	2	9.77	1.45	—	SH,M7, Variable?
G106-053	8.340	0.000	7.880	0.014	7.805	0.007	2	10.060	0.850	0.530	CL,RN, HD291763
G107-065	7.320	—	6.710	—	6.500	—	1	10.53	1.59	—	SH,by β M2
G112-036	7.577	0.020	7.117	0.015	7.053	0.011	3	9.23	0.82	0.30	SN,SK,by β G6V, BD-01 1792
G112-043	9.120	0.015	8.875	0.021	8.820	0.015	2	10.175	0.450	-0.170	SN,SK,CL,RN,by β sdf, BD+00 2058
G112-054	5.920	0.025	5.517	0.021	5.437	0.025	3	7.430	0.730	0.170	CL,G8V, HD64606
G113-040	10.070	—	9.560	—	9.440	—	1	11.92	—	—	SN,by β K3, LTT1344
G114-026	8.485	0.007	8.200	0.000	8.165	0.007	2	9.650	0.480	-0.170	SN,SK,CL,RN,by β RI,F3, BD-03 2525
G115-020	10.390	0.023	9.845	0.026	9.606	0.025	3	14.11	1.63	—	SH,RI,M4
G115-022	9.720	0.010	9.410	0.005	9.339	0.010	3	10.97	0.58	-0.12	SN,by β sdf8, LTT12271
G115-049	10.510	0.014	10.210	*0.000	10.175	0.007	2	11.60	0.50	-0.24	SN,by β G, LTT12283
G115-058	11.170	0.060	10.861	0.060	10.877	0.030	4	12.120	0.440	-0.150	SN,CL,by β sdcG
G119-032	9.096	0.025	8.792	0.025	8.756	0.030	5	10.25	0.51	-0.24	SN,by β F3
G119-032	4.095	0.019	3.562	0.010	3.342	0.013	4	7.49	1.51	1.12	SH,Cay,M2V, HD953735
G119-064	8.767	0.014	8.517	0.014	8.493	0.025	2	9.760	0.430	-0.210	SN,SK,CL,by β G0
G121-012	9.285	0.015	9.022	0.005	8.977	0.010	5	10.380	0.500	-0.130	SN,CL,by β F,Fcd
G121-045	9.065	0.021	8.625	0.007	8.370	0.014	2	12.83	1.74	—	SH,RI,M4
G122-057	6.700	0.028	6.240	0.014	6.175	0.007	2	8.360	0.860	0.450	CL,by β G7V, HD103912
G124-023*	11.727	0.061	11.337	0.031	11.260	0.040	3	13.43	1.63	1.76	DwM,RI,M4
G125-004	7.246	0.055	6.830	0.035	6.730	0.020	3	8.860	0.805	0.350	CL,Cay,Par,K0V, BD+41 3306

Tabla A1 (continuación)

ID	J	ΔJ	H	ΔH	K	ΔK	#	V	(B-V)	(U-B)	Comentarios
G125-013	9.082	0.035	8.808	0.021	8.762	0.033	6	10.20	0.48	-0.12	SN, by β , F1, Fed., LTT15699
G125-055	9.480	—	8.950	—	8.630	—	1	14.40	1.57	1.16	SH, M6
G126-004	6.320	—	5.730	—	5.490	—	1	10.35	1.61	1.31	SH
G126-019	8.080	0.026	7.667	0.015	7.587	0.025	4	9.50	0.77	0.21	SN, SK, by β , G5, BD+22 4454
G126-062	8.378	0.020	8.078	0.030	8.023	0.033	4	9.465	0.445	-0.190	SK, CL, B90, Cay, by β , BD+17 4708
G126-063	10.690	—	10.640	—	10.590	—	1	12.14	0.60	-0.09	SK, RN, by β
G130-065	10.560	0.010	10.360	0.010	10.270	0.010	1	11.62	0.43	-0.25	SN, SK, by β , F*
G133-045	10.510	—	10.230	—	10.170	—	1	11.770	0.540	-0.100	SK, CL, sdG0
G133-042	9.213	0.010	8.888	0.010	8.813	0.006	3	10.450	0.620	0.080	CL, by, BD+20 2972
G140-046	8.815	0.010	8.405	0.013	8.335	0.010	3	10.43	0.73	0.21	SN, RN, by β , G8
G141-019	8.960	0.020	8.570	0.020	8.490	0.020	2	10.565	0.685	-0.650	SK, CL, by β , F*, BD+13 3683
G147-036	8.060	0.020	7.770	0.017	7.700	0.010	3	9.290	0.620	0.150	CL, G0, BD+30 2130
G151-010	8.090	0.055	7.771	0.040	7.660	0.028	2	9.52	0.72	0.16	SN, SK, by β , G5, HD131653
G152-035	10.783	0.010	10.443	0.012	10.390	0.010	3	12.09	—	—	SN, by β , F8
G154-021	8.070	0.014	7.695	0.007	7.620	0.000	2	9.68	0.66	-0.06	SN, B90, by β , R1, G, HD161770
G154-034	9.860	0.014	9.510	0.000	9.425	0.007	2	11.290	0.680	-0.135	SN, CL, RN, by β , G4, LTT7132
G154-036	8.301	0.033	7.998	0.033	7.960	0.035	4	9.630	0.600	-0.090	SN, CL, by β , R1, G3V, HD163810
G156-065	6.760	0.028	6.430	0.014	6.380	0.014	2	9.99	0.63	0.20	SN, CL, Cay, by β , G6V, HD216777
G157-093	8.790	—	8.440	—	8.370	—	1	10.120	0.660	0.010	CL, B90, RN, by, G0, HD222766
G158-020	7.295	0.021	6.980	0.014	6.930	0.000	2	8.40	0.55	-0.08	SN, by β , G2V, HD224817
G161-033	8.470	—	7.940	—	7.710	—	1	12.14	1.54	1.11	SH, R1, M5
G161-082	10.627	0.042	10.282	0.038	10.227	0.029	3	11.980	0.390	-0.075	CL, RN, G, LTT3615
G162-068	9.125	0.007	8.755	0.007	8.705	0.007	2	10.490	0.670	0.030	SN, SK, CL, RN, by β , BD-09 3102
G164-067	6.690	0.014	6.390	0.000	6.320	0.000	2	8.010	0.720	0.320	CL, G8II, HD135968
G165-039	9.075	0.007	8.835	0.007	8.815	0.021	2	10.060	0.380	-0.190	SN, SK, CL, by β , BD+34 2436
G166-045	8.650	0.014	8.385	0.007	8.350	—	2	9.730	0.430	-0.240	SN, CL, B90, Cay, by β , A5
G167-011	12.990	—	12.200	—	12.210	—	1	14.635	0.930	0.660	CL
G168-042	9.936	0.047	9.570	0.034	9.473	0.030	6	11.51	0.71	0.08	SN, by β , sdG2
G170-056	8.673	0.006	8.393	0.006	8.350	0.017	3	9.760	0.500	-0.120	SN, CL, by β
G171-039	6.703	0.021	6.093	0.012	5.893	0.040	3	9.97	1.48	1.28	DwM
G175-034	6.710	0.000	6.060	0.000	5.810	0.000	2	11.08	1.65	1.21	DwM
G176-033	8.657	0.025	8.340	0.010	8.293	0.006	3	9.92	0.55	-0.15	SN, by β , sdG0
G178-030	11.630	0.059	11.310	0.028	11.127	0.031	3	13.530	0.880	0.320	CL, LTT14378
G178-041	11.505	0.007	11.215	0.007	11.120	0.040	2	12.660	0.490	-0.230	CL
G180-024	8.796	0.031	8.538	0.038	8.495	0.041	3	9.85	0.50	-0.19	SN, by β , F5

Tabla A1 (continuación)

ID	J	ΔJ	H	ΔH	K	ΔK	#	V	(B-V)	(U-B)	Comentarios
G180-058	9.845	0.017	9.475	0.024	9.373	0.010	5	11.320	0.700	-0.050	SN,CL,by β ,Fsd
G181-045	10.885	0.021	10.480	0.014	10.420	0.015	2	12.305	0.685	0.070	CL,by,G7
G181-046	8.270	0.021	7.930	0.008	7.875	0.013	4	9.08	0.73	0.16	SN,SN,G8V, BD+31 3025
G181-047	7.337	0.038	7.043	0.028	6.982	0.015	4	8.49	0.59	-0.02	SN,by β ,G1V, HD158226
G182-007	6.610	0.017	6.197	0.006	6.120	0.010	4	8.095	0.760	0.305	CL,G5, HD157948
G182-019	7.190	0.030	6.905	0.025	6.865	0.020	3	8.370	0.610	-0.010	SN,SK,CL,by β ,RI,G0V, HD160693
G183-011	8.840	0.010	8.577	0.012	8.507	0.015	3	9.71	0.44	-0.19	SN,SK,B90,Cay,by β ,F0
G184-004	11.690	—	11.360	—	11.250	—	1	13.565	0.780	0.215	CL
G184-020	11.125	0.021	10.775	0.035	10.710	0.057	2	12.610	0.680	-0.030	SN,CL,by β , LTT18319
G186-011	5.690	—	5.210	—	5.140	—	1	7.28	0.81	0.40	SN,Cay,by β ,K1V, HD190404
G186-026	9.830	—	9.660	—	9.600	—	1	10.820	0.395	-0.230	SN,CL,by β ,A5, LTT15970
G187-009	8.420	—	7.880	—	7.660	—	1	12.01	1.70	—	DwM
G188-029	8.960	0.028	7.820	0.028	7.770	0.014	2	9.130	0.580	0.115	CL,G0, BD+35 4669
G188-030	9.550	0.026	9.180	0.010	9.090	0.010	3	10.970	0.680	—	SN,CL,by β ,sdG2
G190-015	9.520	0.042	9.155	0.021	9.060	0.028	2	11.040	0.660	-0.120	SN,CL,by β ,F6, BD+38 4955
G190-034	7.633	0.039	7.265	0.030	7.198	0.020	5	9.04	0.80	0.39	SN,by β ,K0, BD+33 4737
G192-043	9.250	0.040	9.007	0.029	8.963	0.025	3	10.30	0.43	-0.19	SN,by β ,sdF2, LTT11911
G194-022	8.645	0.035	8.405	0.035	8.365	0.030	2	9.76	0.48	-0.22	SN,by β ,sdF6, HD233511
G195-034	10.710	0.057	10.395	0.007	10.425	0.035	2	11.785	0.475	-0.190	SN,CL,by β ,sdF
G195-036	8.355	0.031	7.773	0.012	7.517	0.010	4	12.51	1.55	—	SH,RI,M5
G196-047	11.341	0.025	10.920	0.044	10.810	0.035	3	12.585	0.605	-0.105	SN,CL,by β ,G6
G196-051	9.255	0.049	8.680	0.014	8.460	0.000	2	12.73	1.54	1.09	Hip,SH,RL,M1
G197-008	10.903	0.046	10.551	0.049	10.491	0.037	5	12.110	0.630	0.070	CL,sdF8
G200-062	6.264	0.020	5.859	0.020	5.784	0.010	7	7.800	0.780	0.360	SN,CL,Cay,by β ,K1V, HD152142
G201-005	10.528	0.012	10.280	0.026	10.238	0.011	5	11.480	0.410	-0.230	CL,sdF6,Fsd
G206-034	10.356	0.050	10.056	0.020	10.030	0.028	3	11.395	0.440	-0.245	SN,CL,by β ,A4, LTT15840
G205-005	4.730	0.034	4.294	0.025	4.219	0.025	7	6.40	0.87	0.59	Cay,by β ,RI,K2V, HD166620,HR6906
G208-029*	7.673	0.070	7.480	0.060	7.440	0.070	3	8.510	0.460	0.020	CL,F3, BD+48 2909
G209-041	7.350	—	6.750	—	6.550	—	1	10.77	1.53	—	DwM
G210-046	5.460	0.026	5.167	0.023	5.110	0.017	3	6.57	0.57	0.05	by,F8, HD200077
G214-001	10.840	—	10.510	—	10.420	—	1	12.080	0.575	-0.160	CL,by, LTT16372
G216-037	7.890	0.030	7.235	0.021	7.045	0.035	2	10.90	1.45	—	DwM
G217-007	6.790	0.030	6.140	0.020	5.940	0.020	3	10.01	1.49	—	DwM,by β
G217-008	9.640	—	9.230	—	9.140	—	1	10.480	0.450	-0.210	SN,CL,by β ,F2, LTT16896
G218-017	7.820	—	7.240	—	7.070	—	1	10.65	1.39	—	DwM

Tabla A1 (continuación)

ID	J	ΔJ	H	ΔH	K	ΔK	#	V	(B-V)	(U-B)	Comentarios
G227-037	6.940	0.020	6.650	0.010	6.595	0.007	2	8.070	0.560	0.030	CL, by β , F9V, HD173232
G243-030	7.290	—	6.700	—	6.500	—	1	10.83	1.56	—	Hip
G243-032	6.240	0.000	5.610	0.014	5.405	0.007	2	8.48	1.50	1.21	DwM, by β
G243-063	6.175	0.007	5.735	0.035	5.650	0.028	2	7.720	0.720	0.070	CL, Cay, by β , RL, F8V, HD6755
G273-001	7.060	—	6.850	—	6.770	—	1	8.165	0.490	-0.225	SN, CL, B90, by β , F8IV, HD219617
HD22502	7.027	0.021	6.933	0.015	6.917	0.015	3	—	—	—	—
HD45281	7.700	—	7.450	—	7.410	—	1	—	—	—	by β , G0
HD103095	4.878	0.015	4.460	0.012	4.386	0.008	6	6.45	0.75	0.17	Cay, Par, RL, by β , G8Vp, BD+38 2285
HD106755	7.425	0.021	7.135	0.007	7.085	0.007	2	—	—	—	SN, Cay, by β , G0V, BD+55 1514
HD107906	7.445	0.007	7.075	0.007	7.015	0.007	2	8.93	0.83	—	—
HD111721	6.325	0.006	5.865	0.006	5.793	0.005	4	7.97	0.80	0.15	SN, B90, Cay, by β , BD-12 3709
HD111980	7.142	0.029	6.824	0.015	6.770	0.008	5	8.38	0.54	-0.13	B90, RN, Cay, FTV
HD112758	6.007	0.020	5.590	0.015	5.520	0.005	3	7.53	0.78	0.35	SN, by β , K0V, HD-09 3595
HD118100	6.890	0.030	6.315	0.020	6.200	0.010	3	9.31	1.20	1.04	Cay, by β , K5Ve, BD-07 3646
HD126681	8.020	0.014	7.695	0.007	7.635	0.007	2	9.31	0.59	-0.12	SN, by β , G3V
HD128059*	8.000	0.113	7.650	0.028	7.575	0.049	2	9.25	0.61	0.04	SN, by β , FTV
HD132475	7.345	0.021	7.000	0.014	6.945	0.007	2	8.550	0.550	-0.120	SN, CL, B90, Cay, by β , RL, F5/6V, SB
HD132950	7.210	—	6.700	—	6.600	—	1	9.16	1.05	0.93	DwM
HD134169	6.567	0.030	6.263	0.021	6.213	0.031	3	7.68	0.55	-0.07	B90, Cay, by β , G1Vm, BD+04 2969
HD134439	7.490	0.021	7.070	0.005	6.983	0.014	2	9.090	0.755	0.180	CL, B90, Cay, Par, by β , K3V, BD-15 4042
HD134440	7.733	0.014	7.237	0.014	7.147	0.007	2	9.460	0.850	0.340	CL, B90, Cay, Par, by β , K0V, BD-15 4041
HD140283	6.000	0.028	5.670	0.014	5.625	0.007	2	7.220	0.490	-0.190	CL, B90, Par, Cay, by β , F9V, BD-10 4149
HD143921	8.185	0.030	7.860	0.030	7.790	0.026	3	9.73	—	—	Met, by β , G5
HD152156	8.008	0.020	7.698	0.030	7.575	0.021	4	9.74	—	—	Met, by β , F5
HD153147	8.077	0.055	7.790	0.028	7.720	0.020	5	9.50	—	—	Met, by β , F8
HD156026	4.170	0.025	3.605	0.007	3.495	0.007	2	6.33	1.12	0.59	Cay, by β , K5V, CD-26 1203
HD157089	5.765	0.007	5.480	0.000	5.435	0.007	2	7.00	0.57	-0.01	SN, Cay, by β , F9V, BD+01 3421
HD16631	8.730	0.000	8.475	0.007	8.469	0.014	2	9.780	0.440	-0.220	SN, CL, B90, Cay, by β , F0V, BD-13 0482
HD171620	6.537	0.030	6.293	0.020	6.248	0.017	8	7.56	0.50	-0.14	SN, SK, by β , F6p, BD+34 3239
HD184499	5.452	0.018	5.154	0.010	5.100	0.005	5	6.630	0.580	-0.010	SN, CL, Cay, by β , G0V, BD+32 3474
HD188262	5.875	0.035	5.408	0.021	5.285	0.017	3	—	—	—	Met, by β , G0, BD+16 4053
HD188510*	7.595	0.035	7.235	0.021	7.190	—	2	8.85	0.58	-0.11	SN, B90, Cay, by β , RL, G5V
HD189558	6.550	0.028	6.190	0.028	6.140	0.014	2	7.74	0.57	-0.10	Cay, G0V, BD-12 5613
HD19445	6.990	0.014	6.725	0.049	6.690	0.028	2	8.06	0.46	-0.24	SN, SK, CL, B90, Cay, by β , RL, G5V
HD201889	6.833	0.025	6.500	0.017	6.430	0.020	2	8.05	0.59	-0.035	Cay, RL, G1V

Tabla A1 (continuación)

ID	J	ΔJ	H	ΔH	K	ΔK	#	V	(B-V)	(U-B)	Comentarios
HD201891	6.265	0.021	5.980	0.014	5.935	0.007	2	7.370	0.510	-0.135	SN SK, CL, B90 Par, Cay, by β , F8V, LTT16213
HD210295	7.805	0.035	7.260	0.000	7.165	0.007	2	9.570	0.890	0.410	CL, B90, Cay, by β , G8/K, BD-14 6222
HD211476	5.915	0.007	5.620	0.000	5.565	0.007	2	7.03	0.60	0.07	by β , G2V
HD227638*	7.280	—	6.800	—	6.710	—	1	8.86	0.81	0.35	Cay, K0V, BD+41 3606
HD229274*	7.745	0.120	7.340	0.085	7.285	0.106	2	9.06	0.63	0.12	SN, by β , Fp, BD+41 3735
HD24289	6.750	—	6.390	—	6.320	—	1	9.96	0.52	-0.15	SN, by β , G0
HD25329	6.757	0.023	6.287	0.040	6.200	0.042	2	8.505	0.850	0.380	SN, CL, Cay, Par, by β , RI, K1V, BD+34 796
HD25532	6.665	0.007	6.293	0.030	6.227	0.040	2	8.18	0.70	0.15	SN, Cay, by β , F6IV
HD26	6.560	0.028	6.095	0.007	6.015	0.007	2	8.25	1.04	0.51	SN, Cay, by β , G4Vp, BD+07 5128
HD26297	5.350	—	4.700	—	4.580	—	1	7.47	1.11	—	Cay, by β , G1V7, BD-16 0791
HD26965	2.850	0.014	2.420	0.028	2.350	0.028	2	4.43	0.82	0.45	Cay, by β , RI, K1V, BD-07 0780
HD338529	8.394	0.030	8.136	0.015	8.100	0.010	3	9.355	0.395	-0.220	SN, by β , B5
HD3567	8.200	—	7.920	—	7.890	—	2	9.250	0.465	-0.155	SN, CL, B90, Cay, by β , RI, F5V, BD-09 0122
HD4306	7.380	—	6.910	—	6.840	—	1	9.02	0.73	0.05	SN, B90, by β , RI, G, BD-10 0155
HD44007	6.280	0.000	5.785	0.035	5.695	0.035	2	8.08	0.86	0.22	B90, Cay, by β , G5IV, BD-14 1399
HD45282	6.565	0.007	6.160	—	6.105	0.007	2	8.03	0.66	0.02	SN, B90, by β , RI, G0, BD+03 1247
HD65583	5.555	0.007	5.165	0.007	5.110	0.014	2	7.00	0.71	0.19	SN, Cay, Par, by β , G8V, BD+29 1664
HD74000	8.680	—	8.420	—	8.380	—	1	9.650	0.415	-0.240	SN, SK, CL, B90, Cay, by β , RI, sdF6, BD-15 2546
HD74000*	7.180	0.000	6.595	0.007	6.485	0.007	2	—	—	—	—
HD83769	9.300	0.020	9.150	0.020	9.120	0.020	2	10.175	0.385	0.07	Cay, sdF5, BD+01 2341
HD87140	7.440	0.017	7.020	0.010	6.957	0.006	3	8.98	0.70	0.02	SN, by β , RI, K0
HD97916	8.280	0.045	8.072	0.043	8.042	0.050	3	9.20	0.41	-0.11	SN, B90, Cay, by β , RI, F5V, BD+02 2406
HR0451	4.780	—	4.540	—	4.520	—	1	5.63	0.67	0.05	A3V
HR0159	4.980	—	3.780	—	3.730	—	1	5.57	0.72	0.24	SN, Cay, by β , RI, G8V/K1V, HD3443
HR0321	3.770	0.010	3.390	0.026	3.327	0.035	3	5.17	0.69	0.09	SN, Cay, by β , RI, G5Vp, HD6562
HR0493	3.730	—	3.350	—	3.280	—	1	5.24	0.84	0.49	Cay, Par, RI, K1V, HD10476
HR0509	2.140	—	1.780	—	1.690	—	1	3.50	0.72	0.21	Cay, Par, RI, G8V, HD10700
HR0660	3.618	0.011	3.290	0.015	3.225	0.010	10	4.87	0.61	0.02	Cay, Par, RI, G0.5V, HD13974
HR0733	3.985	0.021	3.475	0.035	3.400	0.042	2	5.82	0.98	0.81	SN, by β , RI, K3V, HD16160
HR1140	5.449	0.022	5.488	0.022	5.502	0.022	47	5.46	-0.04	-0.33	RI, B7IV, HD23288
HR1209	6.517	0.006	6.343	0.012	6.533	0.006	3	6.10	0.29	-0.82	O9.5, HD24534
HR1536	4.630	0.028	4.345	0.021	4.300	0.014	2	5.78	0.62	0.26	SN, Cay, F8V, HD30562
HR1923	4.718	0.015	4.355	0.006	4.273	0.005	3	6.23	0.84	0.51	Cay, Par, RI, K1V, HD37394
HR2530	4.910	—	4.710	—	4.670	—	1	5.77	0.39	-0.07	Cay, F2V, HD49933
HR2883	4.797	0.040	4.527	0.025	4.477	0.021	3	5.90	0.54	-0.08	Cay, F3V, HD59984

Tabla A1 (continuación)

ID	J	ΔJ	H	ΔH	K	ΔK	#	V	(B-V)	(U-B)	Comentarios
HR3176	4.127	0.019	3.853	0.021	3.801	0.014	91	5.30	0.63	0.21	TCS,Cay,G1V, HD67228
HR3262	4.165	0.007	3.940	0.000	3.905	0.007	2	5.14	0.47	-0.06	Cay, F6V, HD69897
HR3578	4.652	0.013	4.367	0.012	4.332	0.017	4	5.86	0.53	0.08	SN,B90,Cay,by β ,RI,F6V, HD76932
HR3750	4.125	0.007	3.815	0.007	3.760	0.014	2	5.38	0.64	0.13	Cay,G2V, HD81809
HR3775	2.255	0.035	2.025	0.030	1.970	0.030	2	3.17	0.46	0.02	SN,Cay,by β ,RI,F6IV, HD82328
HR4039	4.755	0.016	4.507	0.011	4.465	0.013	13	5.82	0.50	-0.05	TCS,Cay,RI,F8V _{se} , HD89062
HR4098	5.240	0.025	4.938	0.010	4.878	0.013	6	6.44	0.60	0.05	Cay,Par,RI,F9V, HD90508
HR4421	5.010	0.017	4.830	0.017	4.800	0.010	3	5.83	0.36	-0.05	Cay,by β ,F5Va, HD99747
HR4501	4.760	—	4.540	—	4.510	—	1	5.73	0.43	-0.07	Cay,by β ,F4V, HD101606
HR4533	5.200	0.010	4.997	0.006	4.953	0.006	3	6.15	0.52	0.08	Cay,by β ,F8V, HD102634
HR4540	2.567	0.017	2.345	0.013	2.295	0.017	4	3.61	0.55	0.11	Cay,by β ,RI,F9V, HD102870
HR4623	3.337	0.006	3.195	0.0.07	3.165	0.007	3	4.02	0.32	-0.02	Cay,by β ,RI,F2V, HD105452
HR4657	5.127	0.020	4.890	0.010	4.850	0.020	3	6.11	0.46	-0.13	SN,Cay,by β ,RI,F5V, HD106516
HR4688	5.408	0.017	5.198	0.010	5.150	0.001	4	6.33	0.50	—	Cay,by β ,F8V _{se} , HD107213
HR4689	3.750	—	3.760	—	3.760	—	1	3.89	0.02	0.06	RI,A2IV, HD107259
HR4883	3.688	0.015	3.397	0.012	3.331	0.012	150	4.94	0.67	0.20	RI,G0III _p , HD111812
HR4915	3.067	0.026	3.132	0.015	3.167	0.013	4	2.90	-0.12	-0.32	Cay,by β ,RI,A0p, HD112413
HR5384	5.027	0.014	4.711	0.019	4.660	0.019	56	6.27	0.63	0.09	RI,G1V, HD126053
HR5455	5.262	0.025	5.060	0.022	5.030	0.022	4	6.20	0.46	-0.03	SN,Cay,by β ,F5V, HD128429
HR5534	4.790	0.007	4.530	0.014	4.480	0.014	3	5.85	0.56	—	Cay,by β ,G1V, HD130948
HR5568	3.765	0.007	3.260	0.010	3.145	0.007	2	5.74	1.11	1.06	Cay,RI,K4V, HD131977
HR5634	4.092	—	3.905	—	3.865	—	1	4.93	0.43	-0.02	TCS,Cay,RI,F5V, HD134083
HR5758	5.820	0.020	5.680	0.020	5.635	0.020	3	6.57	0.37	-0.03	Cay,by β ,F4V _{se} , HD138290
HR5830	4.997	0.015	4.827	0.025	4.783	0.011	3	5.75	0.36	-0.02	Cay,RI,F2V, HD139789
HR5914	3.448	0.017	3.154	0.015	3.100	0.023	14	4.62	0.56	0.00	TCS,Cay,RI,F8V, HD142373
HR5968	4.244	0.018	3.945	0.016	3.886	0.016	6	5.41	0.60	0.08	Cay,by β ,RI,G0V _a , HD143761
HR5986	3.004	0.013	2.784	0.010	2.726	0.010	14	4.01	0.52	0.10	TCS,Cay,RI,F8IV, HD144284
HR6136	2.837	0.010	2.173	0.010	2.002	0.010	2	5.50	1.22	1.24	TCS,RI,K4III _p , HD148513
HR6189	5.303	0.021	5.046	0.018	4.987	0.015	4	6.35	0.48	-0.07	Cay,by β ,F3V, HD150177
HR6228	3.080	—	2.370	—	2.190	—	1	5.15	1.53	1.94	RI,K5III, HD151217
HR6356	1.747	0.038	1.673	0.032	1.643	0.025	3	2.08	0.15	0.10	RI,A5III, HD159261
HR6628	4.700	—	4.730	—	4.750	—	1	4.83	-0.04	-0.29	B8V, HD161840
HR6752	2.400	0.014	1.960	0.000	1.865	0.007	2	4.03	0.86	0.54	Cay,RI,K0V, HD165341
HR6844	5.967	0.020	5.825	0.010	5.795	0.010	3	6.63	0.31	0.05	Cay,by β ,F2V, HD167858
HR7260	4.813	0.027	4.508	0.015	4.442	0.019	13	6.07	0.70	0.27	TCS,RI,G5V, HD178428

Tabla A1 (continuación)

ID	J	ΔJ	H	ΔH	K	ΔK	#	V	(B-V)	(U-B)	Comentarios
HR7373	3.835	0.007	3.545	0.007	3.490	0.000	2	5.16	0.77	0.42	SN,Cay,by β ,F7V, HD182572
HR7386	5.130	0.020	4.908	0.021	4.870	0.028	3	6.19	0.51	-0.03	SN,by β F7V, HD182807
HR7670	4.450	—	4.110	—	4.050	—	1	5.71	0.73	0.37	SN,Cay,by β G6IV+MeV, HD190360
HR8085	3.042	0.022	2.435	0.017	2.320	0.014	4	5.21	1.18	1.11	SN,Cay,by β K5V, HD201091
HR8086	3.470	0.020	2.837	0.015	2.680	0.017	3	6.03	1.37	1.23	Cay,by β ,K7V, HD201092
HR8455	4.818	0.020	4.460	0.018	4.392	0.016	4	6.19	0.70	0.17	TCS,G0V, HD210460
HR8541	4.262	0.016	4.232	0.006	4.216	0.015	4	4.57	0.09	-0.34	TCS,RLB9I, HD212583
HR8551	2.910	0.020	2.367	0.018	2.280	0.020	5	4.79	1.05	0.89	TCS,RLK0II, HD212943
HR8710	4.083	0.025	3.480	0.051	3.327	0.021	3	6.19	1.28	1.41	TCS,K3III, HD216637
HR8905	3.321	0.013	3.057	0.026	2.905	0.029	22	4.40	0.61	0.14	TCS,RLF8III, HD220657
LTT6059	10.190	—	9.770	—	9.690	—	1	—	—	—	SK
LTT6079	10.140	—	9.820	—	9.800	—	1	11.39	—	—	SN,by β
SRS01	11.220	—	11.050	—	10.990	—	1	—	—	—	SN,by β ,F0
W5058	9.740	—	9.400	—	9.350	—	1	—	—	—	SN,by β ,
W6296	9.867	0.015	9.623	0.006	9.570	0.020	3	10.92	0.42	-0.20	SN,by β
W8296	9.353	0.006	9.023	0.006	8.947	0.006	3	10.68	0.60	-0.10	SN,by β
HD345957	7.760	—	7.390	—	7.340	—	1	8.88	0.51	-0.16	SN,by β ,G0V ^w , HD+23 3912
BD-17 0484	9.450	—	9.190	—	9.120	—	1	10.42	0.47	-0.17	SN,by β ,sdG2

Notas a la Tabla A1

- G026-012: K no medido en el TCS se ha asignado según Carrey 1983.
G033-009: (V-K) demasiado grande, probable identificación errónea.
G036-050: Las dos medidas en J difieren en 0.2 mag.
G106-049: Variable: $\Delta J = 0.2$, $\Delta H = 0.16$, $\Delta K = 0.13$.
G124-023: Identificación errónea.
G208-029: ¿Variable?
HD128959: Las dos medidas en J difieren en 0.16 mag.
HD188510: Solo una medida en K.
HD74000: Estrella desconocida medida en lugar de HD74000.
HD227638: Estrella desconocida medida en el mismo campo $J = 8.425 \pm 0.035$,
 $H = 7.810 \pm 0.014$, $K = 7.690 \pm 0.014$, HD229274: ¿Variable?

Apéndice 2

Tabla A2.- Colores sintéticos generados con los modelos de Kurucz (1991, 1993) para las bandas UBVRI del sistema de Johnson, y JHK del sistema del TCS. Las constantes del punto cero en cada banda se han determinado con el promedio que resulta de igualar las magnitudes sintéticas del Sol, Vega y Prócion a sus mágnitudes observadas. La última columna contiene los factores de corrección $C(T_{ef}, \log(g), [Fe/H])$ definidos en el capítulo 4 para la determinación de los flujos bolométricos de las estrellas enanas y subenanas.

Tabla A2

T_{eff}	g	[Fe/H]	V	(V-U)	(V-B)	(V-R)	(V-I)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	CB(V)	C (%)
4000.	4.0	0.50	-24.132	-3.090	-1.273	1.126	2.039	2.814	3.527	3.656	-1.137	90.7
4000.	4.0	0.00	-24.190	-2.541	-1.256	1.162	1.989	2.702	3.447	3.577	-1.080	91.0
4000.	4.0	-1.00	-24.294	-2.386	-1.201	1.160	1.921	2.556	3.226	3.393	-0.976	91.2
4000.	4.0	-2.00	-24.372	-2.081	-1.152	1.110	1.862	2.470	3.044	3.251	-0.898	91.0
4000.	4.0	-3.00	-24.408	-1.939	-1.148	1.086	1.839	2.432	2.950	3.178	-0.862	91.0
4000.	4.0	-4.00	-24.416	-1.913	-1.174	1.088	1.848	2.427	2.906	3.144	-0.853	91.0
4000.	5.0	0.50	-24.145	-2.850	-1.248	1.151	2.062	2.795	3.448	3.597	-1.125	90.5
4000.	5.0	0.00	-24.249	-2.367	-1.259	1.185	1.993	2.634	3.253	3.427	-1.021	91.1
4000.	5.0	-1.00	-24.331	-2.300	-1.203	1.170	1.927	2.522	3.075	3.284	-0.939	91.2
4000.	5.0	-2.00	-24.372	-2.014	-1.158	1.130	1.881	2.471	3.003	3.223	-0.898	91.0
4250.	4.0	0.50	-24.689	-2.958	-1.219	1.066	1.786	2.438	3.072	3.184	-0.844	92.5
4250.	4.0	0.00	-24.717	-2.301	-1.154	1.059	1.743	2.373	3.038	3.148	-0.816	92.4
4250.	4.0	-1.00	-24.775	-2.026	-1.053	1.010	1.676	2.286	2.925	3.057	-0.758	92.1
4250.	4.0	-2.00	-24.834	-1.727	-1.023	0.969	1.638	2.211	2.762	2.932	-0.698	91.9
4250.	4.0	-3.00	-24.864	-1.607	-1.027	0.959	1.629	2.176	2.651	2.849	-0.669	91.8
4250.	4.0	-4.00	-24.904	-1.317	-0.968	0.942	1.609	2.136	2.584	2.786	-0.629	93.2
4250.	5.0	0.50	-24.663	-2.770	-1.196	1.087	1.827	2.466	3.084	3.201	-0.870	92.3
4250.	5.0	0.00	-24.711	-2.184	-1.163	1.089	1.781	2.376	2.991	3.120	-0.822	92.3
4250.	5.0	-1.00	-24.789	-2.002	-1.072	1.037	1.709	2.268	2.816	2.979	-0.744	92.1
4250.	5.0	-2.00	-24.837	-1.693	-1.025	0.990	1.661	2.206	2.699	2.887	-0.696	91.8
4250.	5.0	-3.00	-24.860	-1.526	-1.019	0.968	1.641	2.175	2.631	2.834	-0.673	91.5
4500.	4.0	0.50	-25.157	-2.633	-1.123	0.968	1.572	2.147	2.696	2.795	-0.625	93.5
4500.	4.0	0.00	-25.176	-1.991	-1.043	0.936	1.530	2.098	2.673	2.770	-0.605	93.1
4500.	4.0	-1.00	-25.216	-1.661	-0.940	0.878	1.467	2.027	2.588	2.707	-0.565	92.6
4500.	4.0	-2.00	-25.244	-1.399	-0.915	0.852	1.446	1.981	2.491	2.635	-0.537	92.2
4500.	4.0	-3.00	-25.248	-1.225	-0.910	0.859	1.466	1.965	2.408	2.575	-0.533	91.8
4500.	4.0	-4.00	-25.239	-1.120	-0.884	0.864	1.476	1.966	2.393	2.567	-0.542	91.4
4500.	5.0	0.50	-25.121	-2.560	-1.109	1.000	1.615	2.183	2.741	2.841	-0.660	93.4
4500.	5.0	0.00	-25.148	-1.935	-1.049	0.973	1.571	2.127	2.697	2.800	-0.634	93.0
4500.	5.0	-1.00	-25.204	-1.707	-0.950	0.910	1.505	2.039	2.571	2.698	-0.577	92.7
4500.	5.0	-2.00	-25.244	-1.398	-0.922	0.873	1.473	1.978	2.437	2.598	-0.538	92.2
4500.	5.0	-3.00	-25.255	-1.230	-0.914	0.865	1.471	1.954	2.362	2.543	-0.526	91.8
4500.	5.0	-4.00	-25.242	-1.145	-0.900	0.870	1.482	1.956	2.345	2.535	-0.539	91.0
4750.	4.0	0.50	-25.563	-2.243	-1.025	0.858	1.385	1.905	2.375	2.463	-0.453	93.9
4750.	4.0	0.00	-25.573	-1.716	-0.950	0.822	1.349	1.865	2.360	2.447	-0.443	93.3
4750.	4.0	-1.00	-25.594	-1.351	-0.856	0.775	1.302	1.809	2.298	2.404	-0.422	92.6
4750.	4.0	-2.00	-25.598	-1.091	-0.826	0.765	1.301	1.785	2.237	2.362	-0.418	92.1
4750.	4.0	-3.00	-25.583	-0.919	-0.798	0.772	1.319	1.785	2.206	2.346	-0.433	91.3
4750.	4.0	-4.00	-25.569	-0.838	-0.772	0.776	1.327	1.790	2.204	2.350	-0.447	90.8
4750.	5.0	0.50	-25.531	-2.229	-1.009	0.893	1.423	1.935	2.421	2.508	-0.485	93.9
4750.	5.0	0.00	-25.546	-1.670	-0.944	0.856	1.383	1.892	2.394	2.483	-0.470	93.2
4750.	5.0	-1.00	-25.582	-1.419	-0.853	0.796	1.324	1.823	2.307	2.416	-0.434	92.7
4750.	5.0	-2.00	-25.599	-1.122	-0.832	0.777	1.315	1.782	2.205	2.342	-0.418	92.1
4750.	5.0	-3.00	-25.589	-0.956	-0.814	0.781	1.329	1.775	2.157	2.313	-0.427	91.3
4750.	5.0	-4.00	-25.576	-0.875	-0.792	0.784	1.337	1.779	2.154	2.314	-0.440	90.7

Tabla A2 (continuación)

T_{eff}	g	[Fe/H]	V	(V-U)	(V-B)	(V-R)	(V-I)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	CB(V)	C (%)
5000.	4.0	0.50	-25.916	-1.896	-0.939	0.761	1.227	1.698	2.100	2.180	-0.322	94.0
5000.	4.0	0.00	-25.918	-1.475	-0.871	0.730	1.199	1.666	2.091	2.173	-0.321	93.2
5000.	4.0	-1.00	-25.917	-1.081	-0.781	0.696	1.170	1.627	2.054	2.150	-0.322	92.2
5000.	4.0	-2.00	-25.902	-0.828	-0.740	0.694	1.179	1.619	2.023	2.133	-0.337	91.2
5000.	4.0	-3.00	-25.878	-0.686	-0.704	0.700	1.195	1.626	2.016	2.138	-0.361	90.2
5000.	4.0	-4.00	-25.866	-0.628	-0.686	0.701	1.199	1.631	2.020	2.144	-0.373	89.7
5000.	5.0	0.50	-25.893	-1.893	-0.920	0.789	1.255	1.720	2.137	2.216	-0.346	94.0
5000.	5.0	0.00	-25.898	-1.438	-0.860	0.754	1.223	1.685	2.123	2.202	-0.341	93.2
5000.	5.0	-1.00	-25.914	-1.145	-0.779	0.707	1.180	1.634	2.059	2.156	-0.325	92.3
5000.	5.0	-2.00	-25.907	-0.876	-0.750	0.699	1.184	1.614	2.001	2.118	-0.332	91.4
5000.	5.0	-3.00	-25.886	-0.728	-0.725	0.707	1.202	1.617	1.979	2.112	-0.353	90.3
5000.	5.0	-4.00	-25.871	-0.656	-0.702	0.708	1.207	1.624	1.985	2.120	-0.367	89.7
5250.	4.0	0.50	-26.225	-1.596	-0.859	0.683	1.096	1.520	1.863	1.939	-0.225	93.7
5250.	4.0	0.00	-26.219	-1.244	-0.794	0.656	1.075	1.495	1.864	1.938	-0.232	92.8
5250.	4.0	-1.00	-26.198	-0.846	-0.705	0.633	1.061	1.473	1.847	1.932	-0.253	91.3
5250.	4.0	-2.00	-26.167	-0.615	-0.655	0.634	1.075	1.476	1.838	1.938	-0.283	89.9
5250.	4.0	-3.00	-26.141	-0.503	-0.622	0.637	1.085	1.485	1.847	1.950	-0.309	88.7
5250.	4.0	-4.00	-26.131	-0.462	-0.613	0.637	1.087	1.489	1.852	1.956	-0.319	88.2
5250.	5.0	0.50	-26.210	-1.599	-0.843	0.701	1.114	1.534	1.894	1.965	-0.240	93.7
5250.	5.0	0.00	-26.206	-1.224	-0.788	0.670	1.089	1.507	1.887	1.958	-0.245	92.7
5250.	5.0	-1.00	-26.200	-0.899	-0.711	0.637	1.063	1.474	1.849	1.934	-0.251	91.5
5250.	5.0	-2.00	-26.175	-0.649	-0.672	0.636	1.077	1.470	1.820	1.925	-0.276	90.1
5250.	5.0	-3.00	-26.146	-0.521	-0.639	0.641	1.090	1.481	1.824	1.936	-0.304	88.8
5250.	5.0	-4.00	-26.138	-0.485	-0.631	0.643	1.095	1.483	1.824	1.938	-0.313	88.4
5500.	4.0	0.50	-26.500	-1.331	-0.779	0.617	0.985	1.362	1.659	1.728	-0.153	93.2
5500.	4.0	0.00	-26.485	-1.025	-0.717	0.593	0.968	1.345	1.665	1.734	-0.167	92.2
5500.	4.0	-1.00	-26.447	-0.652	-0.631	0.578	0.965	1.337	1.666	1.743	-0.206	90.1
5500.	4.0	-2.00	-26.406	-0.459	-0.582	0.580	0.980	1.348	1.674	1.762	-0.246	88.2
5500.	4.0	-3.00	-26.383	-0.372	-0.558	0.580	0.986	1.357	1.688	1.777	-0.270	87.1
5500.	4.0	-4.00	-26.374	-0.344	-0.554	0.580	0.988	1.360	1.693	1.779	-0.279	86.6
5500.	5.0	0.50	-26.490	-1.336	-0.770	0.628	0.995	1.372	1.682	1.747	-0.163	93.2
5500.	5.0	0.00	-26.477	-1.015	-0.718	0.602	0.976	1.353	1.682	1.748	-0.175	92.0
5500.	5.0	-1.00	-26.450	-0.682	-0.643	0.581	0.967	1.337	1.666	1.743	-0.203	90.2
5500.	5.0	-2.00	-26.411	-0.471	-0.600	0.583	0.983	1.345	1.662	1.755	-0.242	88.3
5500.	5.0	-3.00	-26.384	-0.371	-0.573	0.585	0.993	1.355	1.674	1.770	-0.269	87.1
5500.	5.0	-4.00	-26.375	-0.341	-0.567	0.586	0.996	1.360	1.679	1.772	-0.278	86.6
5750.	4.0	0.50	-26.746	-1.102	-0.701	0.558	0.884	1.220	1.477	1.541	-0.099	92.5
5750.	4.0	0.00	-26.725	-0.832	-0.642	0.538	0.874	1.210	1.489	1.552	-0.121	91.2
5750.	4.0	-1.00	-26.672	-0.499	-0.559	0.528	0.878	1.215	1.505	1.579	-0.174	88.6
5750.	4.0	-2.00	-26.628	-0.341	-0.518	0.529	0.891	1.230	1.525	1.603	-0.218	86.5
5750.	4.0	-3.00	-26.606	-0.277	-0.504	0.529	0.895	1.239	1.538	1.613	-0.240	85.4
5750.	4.0	-4.00	-26.598	-0.256	-0.501	0.529	0.897	1.242	1.543	1.618	-0.248	85.0
5750.	5.0	0.50	-26.739	-1.097	-0.699	0.566	0.892	1.229	1.498	1.556	-0.107	92.4
5750.	5.0	0.00	-26.718	-0.818	-0.648	0.544	0.880	1.218	1.506	1.564	-0.127	91.1
5750.	5.0	-1.00	-26.672	-0.503	-0.575	0.530	0.880	1.216	1.508	1.581	-0.173	88.6
5750.	5.0	-2.00	-26.627	-0.328	-0.535	0.534	0.897	1.231	1.521	1.601	-0.219	86.4
5750.	5.0	-3.00	-26.602	-0.253	-0.517	0.534	0.903	1.241	1.536	1.613	-0.244	85.2
5750.	5.0	-4.00	-26.593	-0.231	-0.514	0.535	0.906	1.245	1.541	1.619	-0.253	84.7

Tabla 1 (continuación)

T_{eff}	g	[Fe/H]	V	(V-U)	(V-B)	(V-R)	(V-I)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	CB(V)	C (%)
6000.	4.0	0.50	-26.971	-0.911	-0.627	0.504	0.791	1.091	1.312	1.372	-0.059	91.6
6000.	4.0	0.00	-26.943	-0.673	-0.571	0.488	0.787	1.088	1.330	1.389	-0.088	90.1
6000.	4.0	-1.00	-26.879	-0.386	-0.496	0.481	0.796	1.103	1.360	1.427	-0.152	86.9
6000.	4.0	-2.00	-26.834	-0.259	-0.464	0.482	0.807	1.120	1.385	1.454	-0.196	84.7
6000.	4.0	-3.00	-26.816	-0.212	-0.457	0.482	0.811	1.128	1.396	1.462	-0.215	83.8
6000.	4.0	-4.00	-26.807	-0.193	-0.454	0.482	0.813	1.131	1.402	1.468	-0.223	83.3
6000.	5.0	0.50	-26.963	-0.890	-0.630	0.511	0.799	1.101	1.334	1.387	-0.067	91.4
6000.	5.0	0.00	-26.935	-0.646	-0.582	0.493	0.793	1.097	1.348	1.401	-0.095	89.8
6000.	5.0	-1.00	-26.874	-0.360	-0.513	0.485	0.802	1.108	1.368	1.433	-0.157	86.7
6000.	5.0	-2.00	-26.826	-0.219	-0.480	0.488	0.817	1.126	1.391	1.460	-0.205	84.4
6000.	5.0	-3.00	-26.805	-0.168	-0.471	0.489	0.823	1.135	1.402	1.470	-0.225	83.3
6000.	5.0	-4.00	-26.795	-0.147	-0.467	0.489	0.824	1.139	1.410	1.477	-0.235	82.8
6250.	4.0	0.50	-27.178	-0.756	-0.559	0.453	0.705	0.972	1.162	1.218	-0.029	90.5
6250.	4.0	0.00	-27.144	-0.547	-0.506	0.440	0.705	0.975	1.183	1.243	-0.064	88.8
6250.	4.0	-1.00	-27.074	-0.307	-0.441	0.436	0.717	0.997	1.223	1.284	-0.134	85.3
6250.	4.0	-2.00	-27.031	-0.205	-0.418	0.437	0.728	1.015	1.250	1.308	-0.177	83.2
6250.	4.0	-3.00	-27.013	-0.167	-0.413	0.438	0.732	1.023	1.262	1.320	-0.195	82.2
6250.	4.0	-4.00	-27.006	-0.152	-0.411	0.438	0.734	1.026	1.267	1.325	-0.202	81.8
6250.	5.0	0.50	-27.169	-0.716	-0.566	0.461	0.715	0.984	1.185	1.234	-0.039	90.3
6250.	5.0	0.00	-27.134	-0.503	-0.520	0.447	0.715	0.987	1.204	1.258	-0.074	88.4
6250.	5.0	-1.00	-27.061	-0.253	-0.457	0.443	0.728	1.008	1.241	1.299	-0.147	84.7
6250.	5.0	-2.00	-27.013	-0.140	-0.433	0.445	0.741	1.027	1.268	1.324	-0.195	82.3
6250.	5.0	-3.00	-26.994	-0.101	-0.428	0.446	0.747	1.036	1.279	1.337	-0.214	81.3
6250.	5.0	-4.00	-26.985	-0.086	-0.426	0.446	0.749	1.039	1.285	1.342	-0.223	80.9
6500.	4.0	0.50	-27.370	-0.631	-0.496	0.405	0.625	0.861	1.021	1.079	-0.008	89.3
6500.	4.0	0.00	-27.331	-0.453	-0.447	0.396	0.628	0.870	1.048	1.104	-0.047	87.4
6500.	4.0	-1.00	-27.260	-0.255	-0.393	0.393	0.641	0.896	1.093	1.149	-0.118	83.8
6500.	4.0	-2.00	-27.219	-0.172	-0.376	0.394	0.651	0.913	1.119	1.172	-0.159	81.7
6500.	4.0	-3.00	-27.202	-0.140	-0.372	0.395	0.656	0.921	1.131	1.183	-0.176	80.8
6500.	4.0	-4.00	-27.195	-0.128	-0.372	0.396	0.659	0.925	1.135	1.188	-0.183	80.5
6500.	5.0	0.50	-27.358	-0.575	-0.507	0.414	0.637	0.877	1.048	1.098	-0.021	88.9
6500.	5.0	0.00	-27.316	-0.389	-0.463	0.404	0.642	0.886	1.075	1.125	-0.062	86.8
6500.	5.0	-1.00	-27.237	-0.177	-0.410	0.403	0.658	0.914	1.121	1.172	-0.141	82.8
6500.	5.0	-2.00	-27.191	-0.086	-0.393	0.405	0.670	0.933	1.149	1.198	-0.187	80.4
6500.	5.0	-3.00	-27.173	-0.054	-0.389	0.406	0.675	0.942	1.161	1.210	-0.206	79.5
6500.	5.0	-4.00	-27.165	-0.042	-0.388	0.407	0.678	0.945	1.166	1.215	-0.213	79.1
6750.	4.0	0.50	-27.549	-0.528	-0.436	0.359	0.547	0.758	0.893	0.946	0.007	88.1
6750.	4.0	0.00	-27.507	-0.383	-0.393	0.353	0.554	0.771	0.922	0.975	-0.035	86.0
6750.	4.0	-1.00	-27.438	-0.223	-0.351	0.351	0.567	0.798	0.967	1.018	-0.104	82.4
6750.	4.0	-2.00	-27.400	-0.154	-0.338	0.353	0.578	0.815	0.992	1.040	-0.142	80.4
6750.	4.0	-3.00	-27.384	-0.127	-0.335	0.354	0.583	0.823	1.003	1.051	-0.159	79.6
6750.	4.0	-4.00	-27.377	-0.118	-0.335	0.355	0.585	0.826	1.008	1.056	-0.165	79.2
6750.	5.0	0.50	-27.532	-0.455	-0.452	0.372	0.564	0.778	0.924	0.971	-0.010	87.4
6750.	5.0	0.00	-27.485	-0.298	-0.412	0.364	0.572	0.792	0.955	1.002	-0.057	85.1
6750.	5.0	-1.00	-27.406	-0.125	-0.370	0.364	0.590	0.823	1.006	1.048	-0.137	80.9
6750.	5.0	-2.00	-27.362	-0.051	-0.357	0.367	0.602	0.843	1.034	1.076	-0.180	78.7
6750.	5.0	-3.00	-27.344	-0.024	-0.354	0.368	0.607	0.851	1.045	1.088	-0.198	77.8
6750.	5.0	-4.00	-27.337	-0.014	-0.353	0.369	0.609	0.854	1.050	1.093	-0.205	77.4

Tabla A2 (continuación)

T_{eff}	g	[Fe/H]	V	(V-U)	(V-B)	(V-R)	(V-I)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	CB(V)	C (%)
7000.	4.0	0.50	-27.718	-0.455	-0.382	0.315	0.473	0.659	0.771	0.822	0.018	86.7
7000.	4.0	0.00	-27.675	-0.337	-0.346	0.310	0.481	0.674	0.801	0.851	-0.025	84.6
7000.	4.0	-1.00	-27.609	-0.204	-0.312	0.309	0.495	0.702	0.845	0.890	-0.091	81.1
7000.	4.0	-2.00	-27.573	-0.147	-0.302	0.311	0.506	0.719	0.869	0.914	-0.127	79.2
7000.	4.0	-3.00	-27.558	-0.125	-0.300	0.314	0.511	0.726	0.880	0.926	-0.142	78.5
7000.	4.0	-4.00	-27.552	-0.117	-0.299	0.315	0.514	0.730	0.884	0.930	-0.148	78.2
7000.	5.0	0.50	-27.697	-0.369	-0.403	0.330	0.494	0.684	0.808	0.852	-0.003	85.9
7000.	5.0	0.00	-27.647	-0.237	-0.369	0.326	0.505	0.702	0.842	0.885	-0.053	83.3
7000.	5.0	-1.00	-27.568	-0.092	-0.334	0.326	0.523	0.735	0.894	0.931	-0.132	79.2
7000.	5.0	-2.00	-27.526	-0.030	-0.325	0.330	0.536	0.754	0.921	0.959	-0.174	77.1
7000.	5.0	-3.00	-27.510	-0.007	-0.323	0.332	0.542	0.762	0.932	0.972	-0.190	76.2
7000.	5.0	-4.00	-27.503	0.001	-0.322	0.333	0.544	0.765	0.937	0.976	-0.197	75.9
7250.	4.0	0.50	-27.880	-0.407	-0.332	0.269	0.396	0.563	0.655	0.701	0.027	85.4
7250.	4.0	0.00	-27.835	-0.306	-0.302	0.267	0.408	0.581	0.686	0.732	-0.017	83.2
7250.	4.0	-1.00	-27.772	-0.195	-0.275	0.268	0.424	0.609	0.728	0.770	-0.080	79.8
7250.	4.0	-2.00	-27.740	-0.148	-0.267	0.271	0.434	0.625	0.750	0.791	-0.113	78.1
7250.	4.0	-3.00	-27.725	-0.130	-0.266	0.273	0.440	0.632	0.760	0.803	-0.127	77.4
7250.	4.0	-4.00	-27.720	-0.124	-0.266	0.274	0.442	0.635	0.764	0.807	-0.132	77.1
7250.	5.0	0.50	-27.852	-0.303	-0.360	0.290	0.427	0.595	0.699	0.739	-0.001	84.2
7250.	5.0	0.00	-27.801	-0.194	-0.330	0.288	0.439	0.615	0.734	0.773	-0.052	81.6
7250.	5.0	-1.00	-27.724	-0.073	-0.302	0.290	0.458	0.649	0.784	0.819	-0.128	77.6
7250.	5.0	-2.00	-27.685	-0.021	-0.295	0.294	0.471	0.668	0.811	0.847	-0.167	75.6
7250.	5.0	-3.00	-27.669	-0.001	-0.293	0.296	0.476	0.676	0.822	0.858	-0.183	74.8
7250.	5.0	-4.00	-27.664	0.005	-0.293	0.297	0.479	0.679	0.826	0.862	-0.189	74.5
7500.	4.0	0.50	-28.046	-0.424	-0.276	0.209	0.296	0.452	0.522	0.560	0.046	84.3
7500.	4.0	0.00	-27.999	-0.342	-0.247	0.205	0.306	0.470	0.555	0.591	0.000	81.8
7500.	4.0	-1.00	-27.928	-0.194	-0.239	0.227	0.353	0.519	0.615	0.654	-0.072	78.6
7500.	4.0	-2.00	-27.897	-0.158	-0.232	0.229	0.363	0.533	0.637	0.675	-0.103	76.9
7500.	4.0	-3.00	-27.885	-0.141	-0.231	0.232	0.368	0.540	0.646	0.685	-0.115	76.3
7500.	4.0	-4.00	-27.880	-0.137	-0.231	0.233	0.370	0.543	0.649	0.688	-0.119	76.1
7500.	5.0	0.50	-27.999	-0.254	-0.320	0.252	0.361	0.511	0.595	0.633	-0.001	82.6
7500.	5.0	0.00	-27.948	-0.166	-0.296	0.250	0.374	0.532	0.630	0.663	-0.051	79.9
7500.	5.0	-1.00	-27.875	-0.065	-0.273	0.254	0.394	0.565	0.678	0.710	-0.124	76.1
7500.	5.0	-2.00	-27.839	-0.021	-0.267	0.258	0.407	0.583	0.704	0.737	-0.161	74.3
7500.	5.0	-3.00	-27.824	-0.004	-0.266	0.260	0.412	0.590	0.714	0.747	-0.175	73.5
7500.	5.0	-4.00	-27.819	0.001	-0.266	0.261	0.414	0.593	0.717	0.750	-0.180	73.3
7750.	4.0	0.50	-28.187	-0.393	-0.232	0.167	0.227	0.364	0.416	0.452	0.045	82.7
7750.	4.0	0.00	-28.143	-0.328	-0.209	0.164	0.237	0.382	0.447	0.479	0.001	80.3
7750.	4.0	-1.00	-28.078	-0.252	-0.187	0.166	0.255	0.413	0.490	0.520	-0.064	76.8
7750.	4.0	-2.00	-28.045	-0.220	-0.181	0.170	0.268	0.430	0.514	0.544	-0.097	75.1
7750.	4.0	-3.00	-28.032	-0.208	-0.180	0.172	0.273	0.438	0.523	0.553	-0.110	74.4
7750.	4.0	-4.00	-28.027	-0.205	-0.180	0.174	0.275	0.441	0.527	0.557	-0.115	74.1
7750.	5.0	0.50	-28.138	-0.219	-0.285	0.214	0.296	0.429	0.497	0.528	-0.004	80.8
7750.	5.0	0.00	-28.089	-0.146	-0.264	0.214	0.311	0.451	0.531	0.561	-0.053	78.3
7750.	5.0	-1.00	-28.020	-0.062	-0.246	0.218	0.331	0.483	0.576	0.605	-0.122	74.7
7750.	5.0	-2.00	-27.987	-0.026	-0.241	0.222	0.344	0.500	0.599	0.630	-0.155	73.0
7750.	5.0	-3.00	-27.973	-0.012	-0.240	0.225	0.349	0.507	0.609	0.639	-0.169	72.3
7750.	5.0	-4.00	-27.969	-0.009	-0.240	0.226	0.351	0.509	0.612	0.642	-0.173	72.1

Tabla A2 (continuación)

T_{eff}	g	[Fe/H]	V	(V-U)	(V-B)	(V-R)	(V-I)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	CB(V)	C (%)
8000.	4.0	0.50	-28.317	-0.359	-0.186	0.128	0.164	0.283	0.322	0.355	0.037	81.0
8000.	4.0	0.00	-28.276	-0.309	-0.171	0.126	0.174	0.300	0.349	0.380	-0.004	78.7
8000.	4.0	-1.00	-28.217	-0.253	-0.155	0.128	0.191	0.329	0.386	0.415	-0.063	75.5
8000.	4.0	-2.00	-28.188	-0.229	-0.150	0.132	0.202	0.344	0.407	0.436	-0.092	74.0
8000.	4.0	-3.00	-28.176	-0.221	-0.149	0.134	0.207	0.351	0.415	0.445	-0.104	73.3
8000.	4.0	-4.00	-28.172	-0.219	-0.150	0.135	0.208	0.353	0.418	0.448	-0.108	73.1
8000.	5.0	0.50	-28.282	-0.241	-0.246	0.164	0.210	0.334	0.383	0.406	0.002	79.2
8000.	5.0	0.00	-28.223	-0.136	-0.234	0.177	0.248	0.372	0.435	0.463	-0.057	76.5
8000.	5.0	-1.00	-28.158	-0.064	-0.220	0.183	0.270	0.404	0.478	0.507	-0.122	73.2
8000.	5.0	-2.00	-28.128	-0.035	-0.216	0.188	0.281	0.420	0.499	0.528	-0.152	71.7
8000.	5.0	-3.00	-28.116	-0.024	-0.216	0.190	0.286	0.426	0.507	0.536	-0.164	71.1
8000.	5.0	-4.00	-28.112	-0.021	-0.216	0.191	0.288	0.428	0.510	0.539	-0.168	70.9
8500.	4.0	0.00	-28.502	-0.244	-0.094	0.062	0.070	0.165	0.189	0.217	-0.041	74.8
8500.	4.0	-1.00	-28.447	-0.220	-0.086	0.065	0.087	0.190	0.220	0.248	-0.096	71.7
8500.	4.0	-2.00	-28.424	-0.211	-0.085	0.069	0.095	0.203	0.235	0.263	-0.120	70.5
8500.	4.0	-3.00	-28.415	-0.208	-0.085	0.070	0.099	0.207	0.240	0.269	-0.128	70.0
8500.	4.0	-4.00	-28.412	-0.208	-0.086	0.071	0.100	0.209	0.243	0.271	-0.132	69.8
9000.	4.0	0.00	-28.683	-0.151	-0.042	0.018	-0.003	0.064	0.072	0.096	-0.109	69.8
9000.	4.0	-1.00	-28.633	-0.154	-0.040	0.022	0.010	0.086	0.097	0.121	-0.158	67.0
9000.	4.0	-2.00	-28.613	-0.150	-0.040	0.025	0.018	0.097	0.109	0.134	-0.178	66.0
9000.	4.0	-3.00	-28.606	-0.150	-0.041	0.026	0.021	0.101	0.113	0.138	-0.186	65.6
9000.	4.0	-4.00	-28.603	-0.151	-0.041	0.027	0.022	0.102	0.115	0.140	-0.188	65.4
9500.	4.0	0.00	-28.827	-0.049	-0.002	-0.011	-0.055	-0.008	-0.012	0.006	-0.199	64.2
9500.	4.0	-1.00	-28.783	-0.058	-0.005	-0.006	-0.041	0.012	0.010	0.029	-0.244	61.8
9500.	4.0	-2.00	-28.764	-0.059	-0.006	-0.003	-0.033	0.022	0.021	0.041	-0.263	60.8
9500.	4.0	-3.00	-28.756	-0.062	-0.007	-0.001	-0.031	0.025	0.026	0.045	-0.270	60.4
9500.	4.0	-4.00	-28.754	-0.063	-0.007	-0.001	-0.030	0.026	0.027	0.047	-0.273	60.3
10000.	4.0	0.00	-28.951	0.054	0.029	-0.030	-0.092	-0.065	-0.076	-0.065	-0.298	58.8
10000.	4.0	-1.00	-28.907	0.045	0.023	-0.024	-0.077	-0.043	-0.053	-0.040	-0.342	56.6
10000.	4.0	-2.00	-28.886	0.038	0.020	-0.021	-0.069	-0.033	-0.041	-0.028	-0.363	55.5
10000.	4.0	-3.00	-28.886	0.038	0.020	-0.021	-0.069	-0.033	-0.041	-0.028	-0.363	55.5
10000.	4.0	-4.00	-28.878	0.033	0.019	-0.020	-0.067	-0.030	-0.037	-0.023	-0.371	55.2
10000.	4.0	-4.00	-28.876	0.031	0.018	-0.019	-0.066	-0.029	-0.036	-0.022	-0.373	55.0

Apéndice 3

Tabla A3.1.- Factores q y $\log(R)$ calculados con los modelos de Kurucz (1991, 1993), correspondientes a $\lambda_{ef} = 1272.5$ nm (banda J).

Tabla A3.2.- Factores q y $\log(R)$ calculados con los modelos de Kurucz (1991, 1993), correspondientes a $\lambda_{ef} = 1635.0$ nm (banda H).

Tabla A3.3.- Factores q y $\log(R)$ calculados con los modelos de Kurucz (1991, 1993), correspondientes a $\lambda_{ef} = 2175.0$ nm (banda K).

Tabla A3.1

T_{eff}	$\log(g)$	[Fe/h]=0.50		[Fe/h]=0.00		[Fe/h]=-1.0		[Fe/h]=-2.0		[Fe/h]=-3.0		[Fe/h]=-3.5	
		$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$
3500	3.50	1.0086	3.19221	1.0094	3.22820	1.0115	3.25989	1.0111	3.26591	1.0171	3.29012	1.1689	3.20840
3500	3.50	1.0106	3.19609	1.0114	3.22780	1.0117	3.25910	1.0088	3.30328	1.0108	3.26472	1.1689	3.20840
3500	3.50	1.0122	3.20134	1.0123	3.23026	1.0120	3.25900	1.0109	3.26544	1.0108	3.26472	1.1689	3.20840
3500	3.50	1.0130	3.20769	1.0126	3.23344	1.0113	3.25911	1.0091	3.29874	1.0108	3.26472	1.1689	3.20840
3750	3.50	1.0110	3.22727	1.0089	3.25706	1.0102	3.28303	1.0103	3.28413	1.0104	3.28249	1.0107	3.28033
3750	4.00	1.0116	3.22553	1.0104	3.25853	1.0110	3.27961	1.0107	3.28295	1.0101	3.28289	1.0101	3.28121
3750	4.00	1.0125	3.22892	1.0118	3.25949	1.0114	3.27818	1.0113	3.28197	1.0101	3.28289	1.0101	3.28121
3750	4.00	1.0133	3.23491	1.0123	3.26060	1.0115	3.27746	1.0105	3.28175	1.0101	3.28289	1.0101	3.28121
4000	3.50	1.0124	3.26392	1.0099	3.28549	1.0090	3.30237	1.0089	3.30592	1.0098	3.30497	1.0103	3.30392
4000	4.00	1.0127	3.26184	1.0104	3.28485	1.0098	3.30197	1.0098	3.30538	1.0099	3.30587	1.0101	3.30502
4000	4.50	1.0130	3.26090	1.0111	3.28616	1.0106	3.30066	1.0100	3.30503	1.0098	3.30629	1.0100	3.30547
4000	4.50	1.0134	3.26360	1.0118	3.28772	1.0112	3.29982	1.0103	3.30448	1.0098	3.30629	1.0100	3.30547
4250	3.50	1.0138	3.29475	1.0114	3.31011	1.0093	3.32298	1.0087	3.32908	1.0091	3.33129	1.0093	3.33165
4250	4.00	1.0140	3.29432	1.0116	3.31003	1.0096	3.32287	1.0090	3.32965	1.0097	3.33162	1.0099	3.33284
4250	4.50	1.0143	3.29324	1.0114	3.31001	1.0098	3.32359	1.0094	3.33011	1.0097	3.33314	1.0099	3.33386
4250	4.50	1.0143	3.29331	1.0116	3.31139	1.0100	3.32423	1.0096	3.33045	1.0095	3.33336	1.0099	3.33386
4500	3.50	1.0149	3.32145	1.0127	3.33476	1.0100	3.34926	1.0088	3.35717	1.0085	3.36094	1.0083	3.36237
4500	4.00	1.0153	3.32227	1.0127	3.33544	1.0099	3.34908	1.0090	3.35719	1.0090	3.36207	1.0089	3.36356
4500	4.50	1.0155	3.32226	1.0127	3.33550	1.0098	3.34835	1.0091	3.35783	1.0090	3.36301	1.0091	3.36448
4500	5.00	1.0154	3.32178	1.0124	3.33545	1.0098	3.34937	1.0092	3.35863	1.0093	3.36355	1.0092	3.36496
4750	3.50	1.0158	3.34889	1.0133	3.36249	1.0100	3.37905	1.0083	3.38880	1.0080	3.39371	1.0078	3.39524
4750	4.00	1.0161	3.35022	1.0134	3.36348	1.0100	3.37906	1.0082	3.38917	1.0080	3.39460	1.0082	3.39627
4750	4.50	1.0163	3.35074	1.0134	3.36372	1.0100	3.37854	1.0088	3.38907	1.0085	3.39500	1.0086	3.39672
4750	5.00	1.0164	3.35047	1.0131	3.36358	1.0100	3.37815	1.0090	3.38952	1.0087	3.39551	1.0086	3.39743

Tabla A3.1 (continuación)

T_e	$\log(g)$	[Fe/h]=0.50		[Fe/h]=0.00		[Fe/h]=-1.0		[Fe/h]=-2.0		[Fe/h]=-3.0		[Fe/h]=-3.5	
		$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$
5000	3.50	1.0160	3.37921	1.0138	3.39299	1.0101	3.41150	1.0082	3.42272	1.0078	3.42853	1.0079	3.42989
5000	4.00	1.0163	3.38036	1.0138	3.39394	1.0100	3.41158	1.0083	3.42289	1.0080	3.42904	1.0080	3.43060
5000	4.50	1.0168	3.38081	1.0138	3.39438	1.0100	3.41105	1.0082	3.42284	1.0083	3.42903	1.0082	3.43077
5000	5.00	1.0170	3.38078	1.0137	3.39440	1.0101	3.41047	1.0085	3.42258	1.0085	3.42892	1.0079	3.43067
5250	3.50	1.0163	3.41192	1.0141	3.42597	1.0096	3.44611	1.0080	3.45789	1.0076	3.46389	1.0076	3.46520
5250	4.00	1.0166	3.41261	1.0141	3.42659	1.0096	3.44617	1.0082	3.45863	1.0077	3.46469	1.0076	3.46606
5250	4.50	1.0170	3.41290	1.0141	3.42689	1.0096	3.44568	1.0083	3.45763	1.0079	3.46462	1.0080	3.46605
5250	5.00	1.0174	3.41282	1.0140	3.42685	1.0095	3.44491	1.0083	3.45797	1.0081	3.46427	1.0081	3.46562
5500	3.50	1.0166	3.44664	1.0142	3.46060	1.0093	3.48153	1.0081	3.49346	1.0078	3.49912	1.0078	3.50028
5500	4.00	1.0168	3.44698	1.0140	3.46098	1.0094	3.48180	1.0081	3.49427	1.0078	3.50020	1.0077	3.50134
5500	4.50	1.0170	3.44696	1.0141	3.46100	1.0092	3.48145	1.0082	3.49459	1.0077	3.50052	1.0078	3.50149
5500	5.00	1.0173	3.44647	1.0139	3.46074	1.0094	3.48067	1.0082	3.49368	1.0079	3.50023	1.0079	3.50120
5750	3.50	1.0167	3.48217	1.0136	3.49628	1.0098	3.51716	1.0085	3.52877	1.0081	3.53364	1.0080	3.53477
5750	4.00	1.0168	3.48226	1.0134	3.49657	1.0097	3.51767	1.0084	3.53000	1.0080	3.53513	1.0080	3.53632
5750	4.50	1.0169	3.48205	1.0135	3.49648	1.0097	3.51759	1.0082	3.53036	1.0080	3.53593	1.0078	3.53717
5750	5.00	1.0165	3.48180	1.0133	3.49609	1.0096	3.51678	1.0081	3.53009	1.0078	3.53595	1.0077	3.53714
6000	3.50	1.0164	3.51810	1.0136	3.53177	1.0097	3.55253	1.0087	3.56338	1.0084	3.56764	1.0083	3.56868
6000	4.00	1.0164	3.51816	1.0134	3.53206	1.0096	3.55344	1.0086	3.56495	1.0083	3.56955	1.0082	3.57064
6000	4.50	1.0159	3.51809	1.0133	3.53207	1.0096	3.55374	1.0085	3.56592	1.0080	3.57075	1.0080	3.57183
6000	5.00	1.0161	3.51741	1.0131	3.53169	1.0097	3.55340	1.0084	3.56613	1.0080	3.57110	1.0079	3.57223
6250	3.50	1.0160	3.55390	1.0133	3.56738	1.0099	3.58716	1.0092	3.59683	1.0088	3.60100	1.0087	3.60195
6250	4.00	1.0156	3.55398	1.0131	3.56781	1.0098	3.58846	1.0090	3.59884	1.0086	3.60324	1.0086	3.60424
6250	4.50	1.0158	3.55363	1.0129	3.56776	1.0097	3.58928	1.0088	3.60049	1.0085	3.60499	1.0085	3.60601
6250	5.00	1.0154	3.55329	1.0131	3.56737	1.0097	3.58942	1.0088	3.60122	1.0084	3.60596	1.0082	3.60701
6500	3.50	1.0156	3.58969	1.0127	3.60297	1.0091	3.62161	1.0091	3.63016	1.0094	3.63363	1.0093	3.63451
6500	4.00	1.0156	3.58941	1.0120	3.60338	1.0097	3.62284	1.0092	3.63226	1.0090	3.63617	1.0090	3.63706
6500	4.50	1.0146	3.58944	1.0120	3.60340	1.0096	3.62411	1.0087	3.63439	1.0081	3.63876	1.0085	3.63951
6500	5.00	1.0144	3.58912	1.0115	3.60342	1.0093	3.62497	1.0088	3.63570	1.0085	3.64011	1.0087	3.64095

Tabla A3.1 (continuación)

T_{eff}	$\log(g)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$	$q(J)$	$\log(R_J)$
			[Fe/H]=0.50		[Fe/H]=0.00		[Fe/H]=-1.0		[Fe/H]=-2.0		[Fe/H]=-3.0		[Fe/H]=-3.5		[Fe/H]=-3.5
6750	3.50	1.0151	3.62575	1.0120	3.63842	1.0092	3.65539	1.0084	3.66338	1.0083	3.66661	1.0082	3.66742		
6750	4.00	1.0141	3.62538	1.0111	3.63876	1.0088	3.65693	1.0086	3.66529	1.0082	3.66895	1.0082	3.66976		
6750	4.50	1.0140	3.62505	1.0107	3.63911	1.0089	3.65810	1.0083	3.66764	1.0075	3.67172	1.0075	3.67255		
6750	5.00	1.0136	3.62471	1.0106	3.63912	1.0083	3.65966	1.0080	3.66965	1.0076	3.67372	1.0077	3.67454		
7000	3.50	1.0133	3.66335	1.0106	3.67377	1.0085	3.68901	1.0074	3.69648	1.0077	3.69913	1.0074	3.69989		
7000	4.00	1.0132	3.66083	1.0108	3.67340	1.0076	3.69043	1.0072	3.69826	1.0075	3.70130	1.0073	3.70206		
7000	4.50	1.0123	3.66048	1.0094	3.67411	1.0077	3.69186	1.0066	3.70081	1.0064	3.70424	1.0064	3.70501		
7000	5.00	1.0117	3.66015	1.0096	3.67405	1.0072	3.69368	1.0065	3.70300	1.0059	3.70684	1.0058	3.70762		
7250	3.50	1.0124	3.69969	1.0090	3.71241	1.0072	3.72336	1.0057	3.73628	1.0059	3.73265	1.0063	3.73366		
7250	4.00	1.0123	3.69604	1.0095	3.70831	1.0069	3.72362	1.0058	3.73100	1.0056	3.73384	1.0060	3.73421		
7250	4.50	1.0109	3.69574	1.0085	3.70861	1.0061	3.72531	1.0058	3.73301	1.0055	3.73623	1.0052	3.73695		
7250	5.00	1.0100	3.69541	1.0072	3.70925	1.0061	3.72699	1.0050	3.73575	1.0051	3.73899	1.0047	3.73971		
7500	3.50	1.0107	3.73655	1.0077	3.74836	1.0053	3.76320	1.0046	3.77004	1.0045	3.77282	1.0039	3.77351		
7500	4.00	1.0093	3.73444	1.0063	3.74712	1.0059	3.75715	1.0047	3.76413	1.0044	3.76647	1.0048	3.76679		
7500	4.50	1.0095	3.73067	1.0066	3.74292	1.0046	3.75835	1.0042	3.76530	1.0043	3.76800	1.0038	3.76866		
7500	5.00	1.0075	3.73069	1.0059	3.74321	1.0037	3.76023	1.0034	3.76785	1.0032	3.77089	1.0035	3.77124		
7750	3.50	1.0090	3.77374	1.0068	3.78594	1.0038	3.79833	1.0028	3.80453	1.0027	3.80686	1.0030	3.80717		
7750	4.00	1.0072	3.77085	1.0044	3.78257	1.0022	3.79767	1.0013	3.80445	1.0019	3.80677	1.0016	3.80738		
7750	4.50	1.0051	3.76914	1.0049	3.77716	1.0031	3.79152	1.0024	3.79782	1.0025	3.80006	1.0028	3.80039		
7750	5.00	1.0054	3.76527	1.0035	3.77745	1.0018	3.79300	1.0020	3.79959	1.0014	3.80247	1.0016	3.80281		
8000	3.50	1.0077	3.81032	1.0052	3.82056	1.0028	3.83360	1.0025	3.83893	1.0018	3.84114	1.0020	3.84146		
8000	4.00	1.0058	3.80698	1.0030	3.81798	1.0008	3.83178	1.0004	3.83765	1.0004	3.83983	1.0000	3.84044		
8000	4.50	1.0028	3.80477	1.0006	3.81658	0.9987	3.83173	0.9981	3.83844	0.9981	3.84094	0.9982	3.84123		
8000	5.00	0.9997	3.80371	1.0011	3.81155	1.0000	3.82566	0.9998	3.83155	1.0000	3.83368	0.9995	3.83429		
8250	3.50	1.0069	3.84546	1.0047	3.85580	1.0025	3.86830	1.0014	3.87371	1.0017	3.87523	1.0013	3.87581		
8250	4.00	1.0046	3.84277	1.0021	3.85333	0.9996	3.86656	0.9991	3.87194	0.9991	3.87373	0.9992	3.87400		
8250	4.50	1.0010	3.84039	0.9983	3.85169	0.9968	3.86537	0.9961	3.87154	0.9962	3.87363	0.9965	3.87391		
8250	5.00	0.9965	3.83933	0.9952	3.85113	0.9939	3.86589	0.9932	3.86944	0.9973	3.86587	0.9974	3.86617		

Tabla A3.2

T_e	$\log(g)$	[Fe/h]=0.50		[Fe/h]=0.00		[Fe/h]=-1.0		[Fe/h]=-2.0		[Fe/h]=-3.0		[Fe/h]=-3.5	
		$q(H)$	$\log(R_H)$	$q(H)$	$\log(R_H)$	$q(H)$	$\log(R_H)$	$q(H)$	$\log(R_H)$	$q(H)$	$\log(R_H)$	$q(H)$	$\log(R_H)$
3500	3.50	1.0933	3.19643	1.0913	3.23717	1.0619	3.34338	1.0544	3.36542	1.0523	3.33496	1.0882	3.31590
3500	3.50	1.0855	3.22461	1.0710	3.29196	1.0572	3.35350	1.0558	3.40573	1.0522	3.36670	1.0882	3.31590
3500	3.50	1.0692	3.27401	1.0592	3.32148	1.0555	3.35633	1.0546	3.36245	1.0522	3.36670	1.0882	3.31590
3500	3.50	1.0577	3.30645	1.0550	3.33426	1.0552	3.35579	1.0562	3.40015	1.0522	3.36670	1.0882	3.31590
3750	3.50	1.0837	3.26487	1.0869	3.27262	1.0740	3.35015	1.0540	3.39985	1.0450	3.41782	1.0408	3.42434
3750	4.00	1.0813	3.27000	1.0795	3.30519	1.0578	3.38672	1.0486	3.41153	1.0444	3.41967	1.0418	3.42357
3750	4.00	1.0737	3.29612	1.0645	3.35031	1.0509	3.40193	1.0468	3.41469	1.0444	3.41967	1.0418	3.42357
3750	4.00	1.0618	3.33578	1.0536	3.37801	1.0483	3.40675	1.0466	3.41366	1.0444	3.41967	1.0418	3.42357
4000	3.50	1.0728	3.33739	1.0748	3.33812	1.0715	3.36676	1.0557	3.41981	1.0391	3.46474	1.0343	3.47774
4000	4.00	1.0725	3.33562	1.0740	3.34393	1.0656	3.39405	1.0483	3.44312	1.0373	3.47083	1.0308	3.48011
4000	4.50	1.0697	3.34315	1.0685	3.36908	1.0544	3.42717	1.0436	3.45685	1.0375	3.47183	1.0344	3.47891
4000	4.50	1.0637	3.36533	1.0578	3.40463	1.0459	3.44771	1.0413	3.46268	1.0375	3.47183	1.0344	3.47891
4250	3.50	1.0617	3.40801	1.0624	3.40743	1.0595	3.42511	1.0494	3.46292	1.0375	3.50565	1.0337	3.51843
4250	4.00	1.0623	3.40413	1.0629	3.40631	1.0589	3.43010	1.0458	3.47769	1.0338	3.51515	1.0306	3.52892
4250	4.50	1.0623	3.40270	1.0622	3.41044	1.0551	3.44797	1.0413	3.49352	1.0316	3.52454	1.0289	3.53406
4250	4.50	1.0599	3.41079	1.0578	3.42979	1.0486	3.47239	1.0384	3.50466	1.0316	3.52539	1.0289	3.53406
4500	3.50	1.0511	3.47461	1.0515	3.47401	1.0497	3.49055	1.0437	3.51768	1.0369	3.54531	1.0358	3.55109
4500	4.00	1.0520	3.47101	1.0522	3.47245	1.0489	3.49194	1.0416	3.52341	1.0335	3.55807	1.0318	3.56514
4500	4.50	1.0529	3.46743	1.0527	3.47093	1.0482	3.49345	1.0386	3.53572	1.0301	3.56898	1.0284	3.57601
4500	5.00	1.0522	3.46703	1.0517	3.47433	1.0465	3.50464	1.0355	3.54761	1.0278	3.57609	1.0261	3.58309
4750	3.50	1.0418	3.53787	1.0425	3.53798	1.0409	3.55473	1.0380	3.57081	1.0351	3.59207	1.0348	3.59425
4750	4.00	1.0426	3.53488	1.0431	3.53646	1.0410	3.55421	1.0368	3.57979	1.0328	3.59917	1.0319	3.60341
4750	4.50	1.0436	3.53145	1.0431	3.53536	1.0412	3.55344	1.0347	3.58593	1.0298	3.60909	1.0289	3.61383
4750	5.00	1.0438	3.52861	1.0435	3.53363	1.0407	3.55529	1.0326	3.59400	1.0270	3.61848	1.0262	3.62325

Tabla A3.2 (continuación)

T_{eff}	$\log(g)$	[Fe/H]=0.50		[Fe/H]=0.00		[Fe/H]=-1.0		[Fe/H]=-2.0		[Fe/H]=-3.0		[Fe/H]=-3.5	
		$\varphi(H)$	$\log(R_H)$	$\varphi(H)$	$\log(R_H)$	$\varphi(H)$	$\log(R_H)$	$\varphi(H)$	$\log(R_H)$	$\varphi(H)$	$\log(R_H)$	$\varphi(H)$	$\log(R_H)$
5000	3.50	1.0343	3.59830	1.0345	3.60020	1.0353	3.61441	1.0341	3.63195	1.0325	3.64184	1.0325	3.64319
5000	4.00	1.0349	3.59562	1.0348	3.59858	1.0349	3.61399	1.0326	3.63455	1.0307	3.64691	1.0305	3.64878
5000	4.50	1.0351	3.59342	1.0353	3.59661	1.0347	3.61326	1.0312	3.63846	1.0287	3.65307	1.0285	3.65554
5000	5.00	1.0361	3.58981	1.0367	3.59330	1.0345	3.61349	1.0296	3.64271	1.0264	3.66031	1.0262	3.66277
5250	3.50	1.0276	3.65683	1.0285	3.65884	1.0308	3.67169	1.0302	3.68650	1.0303	3.69147	1.0302	3.69239
5250	4.00	1.0277	3.65441	1.0290	3.65618	1.0302	3.67122	1.0291	3.68842	1.0287	3.69488	1.0287	3.69601
5250	4.50	1.0282	3.65178	1.0293	3.65431	1.0300	3.67066	1.0274	3.69117	1.0273	3.69834	1.0271	3.70040
5250	5.00	1.0296	3.64750	1.0300	3.65203	1.0298	3.67001	1.0266	3.69392	1.0255	3.70304	1.0255	3.70556
5500	3.50	1.0231	3.71137	1.0242	3.71424	1.0268	3.72670	1.0273	3.73775	1.0275	3.74141	1.0277	3.74218
5500	4.00	1.0228	3.70927	1.0238	3.71246	1.0262	3.72661	1.0261	3.73095	1.0265	3.74359	1.0267	3.74428
5500	4.50	1.0229	3.70684	1.0239	3.71053	1.0258	3.72624	1.0255	3.74077	1.0253	3.74630	1.0247	3.74907
5500	5.00	1.0237	3.70356	1.0244	3.70833	1.0254	3.72583	1.0239	3.74386	1.0241	3.74941	1.0238	3.75138
5750	3.50	1.0192	3.76479	1.0206	3.76767	1.0232	3.78009	1.0244	3.78787	1.0248	3.79054	1.0249	3.79135
5750	4.00	1.0185	3.76271	1.0200	3.76593	1.0224	3.77988	1.0235	3.78928	1.0240	3.79211	1.0243	3.79275
5750	4.50	1.0182	3.76040	1.0197	3.76405	1.0220	3.77949	1.0227	3.79040	1.0231	3.79372	1.0232	3.79459
5750	5.00	1.0190	3.75695	1.0200	3.76171	1.0217	3.77843	1.0218	3.79200	1.0222	3.79566	1.0223	3.79631
6000	3.50	1.0163	3.81565	1.0176	3.81955	1.0202	3.83057	1.0213	3.83694	1.0216	3.83953	1.0217	3.84019
6000	4.00	1.0149	3.81381	1.0165	3.81775	1.0191	3.83037	1.0204	3.83758	1.0207	3.84048	1.0208	3.84119
6000	4.50	1.0144	3.81139	1.0159	3.81600	1.0187	3.82976	1.0198	3.83827	1.0203	3.84132	1.0204	3.84207
6000	5.00	1.0147	3.80859	1.0160	3.81377	1.0186	3.82919	1.0195	3.83904	1.0199	3.84258	1.0199	3.84339
6250	3.50	1.0142	3.86494	1.0151	3.86947	1.0175	3.87937	1.0184	3.88469	1.0186	3.88713	1.0187	3.88769
6250	4.00	1.0123	3.86315	1.0136	3.86848	1.0163	3.87899	1.0172	3.88494	1.0174	3.88762	1.0175	3.88823
6250	4.50	1.0112	3.86106	1.0125	3.86665	1.0157	3.87830	1.0167	3.88523	1.0170	3.88818	1.0171	3.88881
6250	5.00	1.0111	3.85858	1.0125	3.86451	1.0156	3.87745	1.0165	3.88548	1.0169	3.88860	1.0170	3.88927
6500	3.50	1.0121	3.91285	1.0128	3.91825	1.0151	3.92674	1.0158	3.93147	1.0159	3.93370	1.0160	3.93419
6500	4.00	1.0096	3.91178	1.0108	3.91666	1.0135	3.92616	1.0144	3.93139	1.0147	3.93371	1.0147	3.93425
6500	4.50	1.0083	3.90949	1.0097	3.91479	1.0126	3.92545	1.0137	3.93127	1.0141	3.93381	1.0141	3.93439
6500	5.00	1.0079	3.90716	1.0094	3.91263	1.0127	3.92446	1.0139	3.93098	1.0142	3.93376	1.0143	3.93434

Tabla A3.2 (continuación)

T_e	$\log(g)$	$q(H)$	$[\text{Fe}/\text{H}]=0.50$	$q(H)$	$[\text{Fe}/\text{H}]=0.00$	$q(H)$	$[\text{Fe}/\text{H}]=-1.0$	$q(H)$	$[\text{Fe}/\text{H}]=-2.0$	$q(H)$	$[\text{Fe}/\text{H}]=-3.0$	$q(H)$	$[\text{Fe}/\text{H}]=-3.5$
			$\log(R_{\text{H}})$		$\log(R_{\text{H}})$		$\log(R_{\text{H}})$		$\log(R_{\text{H}})$		$\log(R_{\text{H}})$		$\log(R_{\text{H}})$
6750	3.50	1.0104	3.96605	1.0113	3.96483	1.0135	3.97265	1.0138	3.97702	1.0138	3.97901	1.0139	3.97942
6750	4.00	1.0074	3.95819	1.0084	3.96332	1.0111	3.97205	1.0118	3.97671	1.0119	3.97885	1.0120	3.97931
6750	4.50	1.0057	3.95610	1.0070	3.96148	1.0100	3.97093	1.0108	3.97632	1.0110	3.97866	1.0111	3.97918
6750	5.00	1.0052	3.95350	1.0065	3.95930	1.0100	3.96970	1.0110	3.97574	1.0112	3.97820	1.0113	3.97871
7000	3.50	1.0083	4.00626	1.0099	4.00971	1.0118	4.01731	1.0120	4.02146	1.0120	4.02323	1.0121	4.02358
7000	4.00	1.0060	4.00306	1.0067	4.00827	1.0089	4.01653	1.0092	4.02102	1.0094	4.02274	1.0094	4.02318
7000	4.50	1.0034	4.00110	1.0046	4.00663	1.0072	4.01548	1.0080	4.02035	1.0082	4.02221	1.0081	4.02270
7000	5.00	1.0028	3.99828	1.0037	4.00433	1.0070	4.01417	1.0079	4.01956	1.0080	4.02161	1.0081	4.02206
7250	3.50	1.0072	4.05157	1.0071	4.05687	1.0106	4.06105	1.0097	4.06883	1.0106	4.06671	1.0103	4.06782
7250	4.00	1.0043	4.04670	1.0048	4.05220	1.0070	4.05993	1.0073	4.06405	1.0074	4.06560	1.0075	4.06594
7250	4.50	1.0016	4.04485	1.0020	4.05068	1.0047	4.05897	1.0054	4.06330	1.0055	4.06500	1.0056	4.06538
7250	5.00	1.0009	4.04182	1.0013	4.04816	1.0040	4.05751	1.0049	4.06215	1.0052	4.06412	1.0052	4.06455
7500	3.50	1.0064	4.09581	1.0062	4.10124	1.0081	4.10911	1.0082	4.11321	1.0082	4.11474	1.0082	4.11503
7500	4.00	1.0006	4.09372	1.0002	4.09954	1.0051	4.10260	1.0055	4.10620	1.0058	4.10755	1.0058	4.10785
7500	4.50	0.9991	4.08760	0.9995	4.09333	1.0026	4.10122	1.0028	4.10524	1.0031	4.10687	1.0031	4.10718
7500	5.00	0.9980	4.08471	0.9984	4.09078	1.0019	4.09945	1.0022	4.10385	1.0024	4.10565	1.0025	4.10597
7750	3.50	1.0059	4.13960	1.0054	4.14552	1.0067	4.15272	1.0067	4.15641	1.0071	4.15781	1.0067	4.15823
7750	4.00	0.9991	4.13698	0.9991	4.14254	1.0013	4.15099	1.0020	4.15462	1.0016	4.15643	1.0023	4.15642
7750	4.50	0.9953	4.13374	0.9976	4.13496	0.9998	4.14303	1.0003	4.14651	1.0007	4.14784	1.0013	4.14785
7750	5.00	0.9957	4.12625	0.9966	4.13211	0.9989	4.14090	0.9994	4.14475	1.0001	4.14607	0.9999	4.14651
8000	3.50	1.0057	4.18045	1.0048	4.18637	1.0065	4.19461	1.0067	4.19818	1.0067	4.19954	1.0063	4.19998
8000	4.00	0.9989	4.17849	0.9974	4.18476	1.0001	4.19292	0.9997	4.19686	1.0000	4.19818	0.9998	4.19861
8000	4.50	0.9934	4.17573	0.9921	4.18237	0.9955	4.19082	0.9960	4.19469	0.9956	4.19643	0.9961	4.19642
8000	5.00	0.9914	4.17145	0.9935	4.17332	0.9965	4.18111	0.9967	4.18485	0.9971	4.18613	0.9976	4.18614
8250	3.50	1.0056	4.21989	1.0043	4.22638	1.0057	4.23516	1.0062	4.23865	1.0053	4.24035	1.0059	4.24035
8250	4.00	0.9985	4.21874	0.9973	4.22521	0.9989	4.23393	0.9986	4.23779	0.9988	4.23907	0.9993	4.23906
8250	4.50	0.9917	4.21684	0.9908	4.22326	0.9941	4.23148	0.9937	4.23567	0.9942	4.23696	0.9939	4.23736
8250	5.00	0.9893	4.21263	0.9871	4.22014	0.9905	4.22867	0.9921	4.22954	0.9944	4.22578	0.9949	4.22581

Tabela A3.3

T_e	$\log(g)$	[Fe/H]=0.50		[Fe/H]=0.00		[Fe/H]=-1.0		[Fe/H]=-2.0		[Fe/H]=-3.0		[Fe/H]=-3.5	
		$q(K)$	$\log(R_K)$	$q(K)$	$\log(R_K)$	$q(K)$	$\log(R_K)$	$q(K)$	$\log(R_K)$	$q(K)$	$\log(R_K)$	$q(K)$	$\log(R_K)$
3500	3.50	1.0510	3.60097	1.0429	3.63752	1.0354	3.70526	1.0300	3.71986	1.5416	3.68773	2.1662	3.66777
3500	3.50	1.0481	3.62077	1.0390	3.67040	1.0340	3.71134	1.0276	3.80720	1.0261	3.72061	2.1662	3.66777
3500	3.50	1.0440	3.65319	1.0369	3.68788	1.0325	3.71333	1.0285	3.71835	1.0261	3.72061	2.1662	3.66777
3500	3.50	1.0415	3.67386	1.0352	3.69621	1.0316	3.71324	1.0253	3.79841	1.0261	3.72061	2.1662	3.66777
3750	3.50	1.0464	3.67838	1.0412	3.69087	1.0331	3.74467	1.0269	3.77340	1.0239	3.78291	1.0232	3.78563
3750	4.00	1.0442	3.68243	1.0379	3.71302	1.0312	3.76466	1.0260	3.78006	1.0237	3.78449	1.0230	3.78616
3750	4.00	1.0414	3.70005	1.0349	3.74007	1.0293	3.77329	1.0256	3.78179	1.0237	3.78449	1.0230	3.78616
3750	4.00	1.0383	3.72570	1.0330	3.75590	1.0283	3.77601	1.0250	3.78119	1.0237	3.78449	1.0230	3.78616
4000	3.50	1.0427	3.75572	1.0392	3.76155	1.0315	3.78186	1.0251	3.81482	1.0226	3.84043	1.0223	3.84820
4000	4.00	1.0410	3.75541	1.0362	3.76628	1.0287	3.80118	1.0243	3.82875	1.0226	3.84448	1.0223	3.84989
4000	4.50	1.0388	3.76081	1.0334	3.78340	1.0270	3.82053	1.0234	3.83725	1.0224	3.84565	1.0221	3.84967
4000	4.50	1.0362	3.77543	1.0310	3.80467	1.0261	3.83105	1.0233	3.84071	1.0224	3.84565	1.0221	3.84967
4250	3.50	1.0394	3.82941	1.0362	3.83343	1.0297	3.84453	1.0237	3.86751	1.0215	3.89453	1.0214	3.90240
4250	4.00	1.0378	3.82777	1.0343	3.83286	1.0275	3.84872	1.0226	3.87759	1.0218	3.89922	1.0217	3.90884
4250	4.50	1.0360	3.82764	1.0317	3.83629	1.0253	3.86074	1.0220	3.88761	1.0217	3.90596	1.0215	3.91215
4250	4.50	1.0339	3.83328	1.0293	3.84842	1.0238	3.87605	1.0221	3.89458	1.0217	3.90679	1.0215	3.91215
4500	3.50	1.0354	3.89874	1.0325	3.90200	1.0269	3.91289	1.0224	3.92946	1.0205	3.94748	1.0203	3.95131
4500	4.00	1.0345	3.89709	1.0309	3.90121	1.0254	3.91266	1.0217	3.93235	1.0207	3.95498	1.0208	3.95942
4500	4.50	1.0328	3.89544	1.0293	3.90046	1.0239	3.91347	1.0214	3.94034	1.0209	3.96126	1.0211	3.96560
4500	5.00	1.0311	3.89437	1.0274	3.90181	1.0225	3.92219	1.0211	3.94782	1.0209	3.96536	1.0211	3.96969
4750	3.50	1.0313	3.96445	1.0290	3.96763	1.0246	3.97787	1.0207	3.99343	1.0200	4.00365	1.0197	4.00506
4750	4.00	1.0304	3.96302	1.0279	3.96679	1.0237	3.97732	1.0205	3.99502	1.0200	4.00734	1.0202	4.00900
4750	4.50	1.0292	3.96124	1.0265	3.96494	1.0226	3.97696	1.0206	3.99813	1.0202	4.01280	1.0204	4.01486
4750	5.00	1.0277	3.95868	1.0248	3.96410	1.0216	3.97813	1.0204	4.00283	1.0207	4.01704	1.0206	4.02038
5000	3.50	1.0275	4.02699	1.0260	4.02946	1.0222	4.04041	1.0197	4.05393	1.0198	4.05907	1.0199	4.05998
5000	4.00	1.0266	4.02573	1.0250	4.02859	1.0216	4.03888	1.0196	4.05472	1.0197	4.06150	1.0198	4.06273
5000	4.50	1.0256	4.02333	1.0238	4.02750	1.0213	4.03901	1.0197	4.05648	1.0201	4.06450	1.0201	4.06625
5000	5.00	1.0243	4.02145	1.0225	4.02617	1.0208	4.03902	1.0198	4.05822	1.0202	4.06821	1.0203	4.06975

Tabla A3.3 (continuación)

T_{eff}	$\log(g)$	[Fe/h]=0.50		[Fe/h]=0.00		[Fe/h]=-1.0		[Fe/h]=-2.0		[Fe/h]=-3.0		[Fe/h]=-3.5	
		$\varphi(K)$	$\log(R_K)$	$\varphi(K)$	$\log(R_K)$	$\varphi(K)$	$\log(R_K)$	$\varphi(K)$	$\log(R_K)$	$\varphi(K)$	$\log(R_K)$	$\varphi(K)$	$\log(R_K)$
5250	3.50	1.0243	4.08583	1.0228	4.08924	1.0200	4.10070	1.0193	4.11175	1.0195	4.11437	1.0196	4.11500
5250	4.00	1.0230	4.08471	1.0221	4.08805	1.0199	4.10008	1.0194	4.11122	1.0197	4.11577	1.0197	4.11661
5250	4.50	1.0221	4.08319	1.0211	4.08715	1.0198	4.09941	1.0199	4.11112	1.0197	4.11707	1.0196	4.11865
5250	5.00	1.0212	4.08121	1.0202	4.08603	1.0197	4.09862	1.0198	4.11309	1.0198	4.11913	1.0199	4.12089
5500	3.50	1.0208	4.14263	1.0198	4.14616	1.0186	4.15774	1.0191	4.16489	1.0191	4.16835	1.0190	4.16913
5500	4.00	1.0197	4.14173	1.0190	4.14541	1.0188	4.15745	1.0192	4.16594	1.0192	4.16946	1.0191	4.17154
5500	4.50	1.0185	4.14050	1.0185	4.14449	1.0188	4.15698	1.0192	4.16640	1.0195	4.17050	1.0194	4.17347
5500	5.00	1.0176	4.13880	1.0178	4.14344	1.0188	4.15641	1.0196	4.16695	1.0196	4.17167	1.0194	4.17386
5750	3.50	1.0173	4.19721	1.0172	4.20127	1.0181	4.21084	1.0183	4.21801	1.0182	4.22226	1.0181	4.22302
5750	4.00	1.0163	4.19646	1.0166	4.20054	1.0181	4.21059	1.0185	4.21878	1.0184	4.22314	1.0182	4.22382
5750	4.50	1.0153	4.19544	1.0160	4.19985	1.0181	4.21026	1.0185	4.21921	1.0183	4.22400	1.0184	4.22473
5750	5.00	1.0143	4.19439	1.0154	4.19889	1.0181	4.20925	1.0188	4.21954	1.0185	4.22482	1.0184	4.22519
6000	3.50	1.0146	4.24980	1.0154	4.25401	1.0172	4.26314	1.0176	4.26929	1.0172	4.27340	1.0173	4.27395
6000	4.00	1.0134	4.24928	1.0145	4.25344	1.0168	4.26299	1.0173	4.26973	1.0173	4.27404	1.0173	4.27468
6000	4.50	1.0125	4.24834	1.0139	4.25286	1.0167	4.26274	1.0172	4.27032	1.0175	4.27464	1.0176	4.27526
6000	5.00	1.0115	4.24731	1.0134	4.25197	1.0166	4.26245	1.0177	4.27046	1.0177	4.27516	1.0179	4.27578
6250	3.50	1.0127	4.30019	1.0140	4.30490	1.0162	4.31340	1.0164	4.32037	1.0166	4.32268	1.0166	4.32320
6250	4.00	1.0115	4.29954	1.0130	4.30314	1.0156	4.31339	1.0163	4.32077	1.0164	4.32327	1.0165	4.32378
6250	4.50	1.0101	4.29906	1.0120	4.30252	1.0149	4.31340	1.0158	4.32138	1.0161	4.32395	1.0161	4.32457
6250	5.00	1.0092	4.29826	1.0112	4.30184	1.0145	4.31316	1.0158	4.32174	1.0161	4.32444	1.0161	4.32505
6500	3.50	1.0117	4.34877	1.0128	4.35295	1.0146	4.36223	1.0150	4.36860	1.0151	4.37074	1.0151	4.37123
6500	4.00	1.0100	4.34713	1.0115	4.35227	1.0139	4.36213	1.0144	4.36897	1.0146	4.37126	1.0146	4.37176
6500	4.50	1.0080	4.34671	1.0103	4.35168	1.0133	4.36222	1.0138	4.36967	1.0141	4.37205	1.0144	4.37246
6500	5.00	1.0062	4.34632	1.0092	4.35116	1.0125	4.36224	1.0133	4.37017	1.0136	4.37262	1.0138	4.37311
6750	3.50	1.0106	4.39566	1.0115	4.40082	1.0130	4.40963	1.0135	4.41540	1.0136	4.41730	1.0137	4.41770
6750	4.00	1.0083	4.39470	1.0098	4.39997	1.0118	4.40947	1.0126	4.41564	1.0128	4.41770	1.0130	4.41810
6750	4.50	1.0062	4.39422	1.0082	4.39958	1.0109	4.41113	1.0119	4.41629	1.0123	4.41843	1.0123	4.41892
6750	5.00	1.0040	4.39381	1.0066	4.39929	1.0103	4.41134	1.0113	4.41698	1.0118	4.41918	1.0119	4.41966

Tabla A3.3 (continuación)

T_{eff}	$\log(g)$	[Fe/H]=0.50		[Fe/H]=0.00		[Fe/H]=-1.0		[Fe/H]=-2.0		[Fe/H]=-3.0		[Fe/H]=-3.5	
		$q(K)$	$\log(R_K)$	$q(K)$	$\log(R_K)$	$q(K)$	$\log(R_K)$	$q(K)$	$\log(R_K)$	$q(K)$	$\log(R_K)$	$q(K)$	$\log(R_K)$
7000	3.50	1.0054	4.44801	1.0097	4.44740	1.0118	4.45673	1.0120	4.46098	1.0120	4.46273	1.0121	4.46305
7000	4.00	1.0066	4.44101	1.0077	4.44638	1.0103	4.45648	1.0108	4.46099	1.0108	4.46230	1.0109	4.46269
7000	4.50	1.0039	4.44043	1.0057	4.44597	1.0086	4.45689	1.0096	4.46167	1.0096	4.46306	1.0097	4.46344
7000	5.00	1.0012	4.44002	1.0037	4.44576	1.0075	4.45739	1.0087	4.46243	1.0087	4.46391	1.0089	4.46431
7250	3.50	1.0041	4.44951	1.0039	4.50039	1.0100	4.50217	1.0068	4.51494	1.0105	4.50700	1.0102	4.50832
7250	4.00	1.0043	4.48659	1.0056	4.49174	1.0078	4.50131	1.0086	4.50533	1.0084	4.50652	1.0085	4.50682
7250	4.50	1.0017	4.48546	1.0028	4.49130	1.0059	4.50157	1.0067	4.50596	1.0066	4.50724	1.0069	4.50747
7250	5.00	0.9982	4.48525	1.0004	4.49114	1.0041	4.50223	1.0051	4.50618	1.0053	4.50817	1.0056	4.50840
7500	3.50	1.0029	4.53998	1.0025	4.54593	1.0051	4.55544	1.0056	4.55959	1.0056	4.56076	1.0054	4.56114
7500	4.00	0.9985	4.53801	0.9984	4.54425	1.0058	4.54521	1.0056	4.54912	1.0061	4.55019	1.0063	4.55038
7500	4.50	0.9987	4.52982	1.0003	4.53648	1.0032	4.54506	1.0037	4.54850	1.0039	4.55014	1.0042	4.55035
7500	5.00	0.9951	4.52939	0.9973	4.53652	1.0007	4.54575	1.0015	4.54937	1.0020	4.55108	1.0021	4.55130
7750	3.50	1.0020	4.58434	1.0017	4.59065	1.0043	4.59915	1.0042	4.60273	1.0044	4.60420	1.0043	4.60453
7750	4.00	0.9970	4.58211	0.9973	4.58901	1.0000	4.59797	1.0001	4.60170	1.0003	4.60329	1.0003	4.60361
7750	4.50	0.9916	4.58079	0.9968	4.58003	0.9995	4.58845	1.0006	4.59116	1.0008	4.59254	1.0009	4.59276
7750	5.00	0.9918	4.57381	0.9932	4.57984	0.9969	4.58846	0.9978	4.59166	0.9980	4.59325	0.9983	4.59340
8000	3.50	1.0016	4.62691	1.0009	4.63337	1.0036	4.64160	1.0036	4.64507	1.0037	4.64643	1.0037	4.64671
8000	4.00	0.9959	4.62493	0.9957	4.63164	0.9985	4.64032	0.9986	4.64381	0.9987	4.64527	0.9987	4.64554
8000	4.50	0.9901	4.62438	0.9901	4.63084	0.9934	4.63987	0.9937	4.64357	0.9938	4.64517	0.9938	4.64543
8000	5.00	0.9840	4.62367	0.9883	4.62291	0.9924	4.62991	0.9936	4.63323	0.9940	4.63458	0.9941	4.63472
8250	3.50	1.0016	4.66812	1.0006	4.67418	1.0032	4.68236	1.0033	4.68600	1.0034	4.68724	1.0034	4.68750
8250	4.00	0.9954	4.66672	0.9949	4.67282	0.9976	4.68100	0.9978	4.68481	0.9978	4.68615	0.9978	4.68639
8250	4.50	0.9887	4.66576	0.9883	4.67214	0.9913	4.68050	0.9918	4.68444	0.9921	4.68586	0.9920	4.68617
8250	5.00	0.9818	4.66528	0.9820	4.67207	0.9851	4.68070	0.9853	4.68246	0.9891	4.67607	0.9894	4.67609

Apéndice 4

Tabla A4.- Los parámetros de entrada necesarios para la aplicación del MFI y las temperaturas resultantes con sus errores. Col. 1: Nombre de la estrella, col. 2: gravedad superficial, col. 3: metalicidad, col. 4: flujo bolométrico, col. 5: enrojecimiento, col. 6: flujo monocromático en $\lambda = 1272.5$ nm, col. 7: factor $q(J)$, col. 8: temperatura determinada en la banda J, col. 9: error de T_J , col. 10: flujo monocromático en $\lambda = 1635.0$ nm, col. 11: factor $q(H)$, col. 12: temperatura determinada en la banda H, col. 13: error de T_H , col. 14: flujo monocromático en $\lambda = 2175.0$ nm, col. 15: factor $q(K)$, col. 16: temperatura determinada en la banda K, col. 17: error de T_K , col. 18: temperatura media pesada con el inverso del error en cada banda, col. 19: error estimado de la temperatura media.

Table A4

ID	$\log(g)$	$[Fe/H]$	F_{rad}	$E(B-V)$	F_I	ν_I	T_I	ΔT_I	F_H	ν_H	T_H	ΔT_H	F_K	ν_K	T_K	ΔT_K	T_{total}	ΔT_{total}
G001-010	4.50	0.00	3.148E-10	0.00	1.019E-11	1.014	5653	91	1.600E-12	1.021	5668	71	1.029E-12	1.018	5651	64	5651	74
G004-006	4.50	-0.91	1.659E-11	0.00	4.715E-13	1.010	3853	123	2.588E-13	1.021	3850	79	9.683E-14	1.018	3798	72	3814	67
G004-026	4.50	-1.69	8.297E-12	0.05	2.149E-13	1.009	6134	126	1.100E-13	1.016	6089	89	4.273E-14	1.017	6090	75	6100	90
G004-027	4.50	-2.31	1.009E-11	0.07	2.357E-13	1.008	6413	129	1.268E-13	1.016	6310	84	4.679E-14	1.016	6316	78	6337	92
G005-020	4.50	-1.70	1.437E-11	0.00	4.424E-13	1.009	5608	124	2.452E-13	1.024	5661	73	9.136E-14	1.019	5641	71	5641	84
G005-026	4.50	-1.66	1.667E-11	0.06	4.644E-13	1.009	5889	133	2.482E-13	1.020	5935	91	8.858E-14	1.017	6029	80	5968	100
G006-024	5.00	0.00	1.081E-10	0.00	6.158E-12	1.012	3566	228	3.164E-12	1.060	3945	—	1.965E-12	1.035	3735	211	3733	211
G006-016	4.50	-1.61	5.588E-11	0.00	1.519E-12	1.009	5998	94	7.974E-13	1.019	6048	61	2.549E-13	1.017	6044	70	6034	74
G006-050	4.50	-0.22	3.168E-12	0.00	1.283E-13	1.012	4983	89	8.877E-14	1.041	4805	119	3.494E-14	1.026	4705	69	4740	78
G006-014	4.50	-0.76	2.657E-11	0.00	1.003E-12	1.011	5071	127	6.269E-13	1.034	5046	84	2.353E-13	1.021	5065	73	5039	91
G006-016	4.50	-1.21	5.079E-11	0.00	1.081E-12	1.006	6791	167	1.355E-13	1.010	6771	67	1.507E-13	1.011	6776	67	6776	84
G006-021	4.50	-0.85	1.278E-11	0.00	4.200E-13	1.010	5543	96	2.402E-13	1.024	5581	61	8.544E-14	1.018	5572	61	5569	61
G006-026	4.50	-1.18	4.537E-12	0.00	1.507E-13	1.009	5172	107	8.240E-14	1.024	5643	104	3.070E-14	1.019	5656	97	5623	120
G010-004	4.50	-2.20	1.020E-11	0.00	2.563E-13	1.008	5197	84	2.331E-13	1.026	5174	57	8.027E-14	1.020	5205	42	5192	56
G011-044	4.50	-1.80	1.011E-11	0.00	2.786E-13	1.008	5933	124	1.514E-13	1.020	5923	98	5.521E-14	1.018	5964	81	5943	108
G012-004	5.00	0.00	2.079E-11	0.00	9.969E-13	1.011	4170	135	7.036E-13	1.055	4447	58	3.078E-13	1.032	4138	50	4292	14
G012-021	4.50	-1.80	2.475E-11	0.00	6.783E-13	1.009	5931	84	3.609E-13	1.027	5966	69	1.330E-13	1.017	5974	50	5960	65
G012-022	4.50	-1.13	1.306E-12	0.00	4.346E-14	1.009	5420	228	2.315E-14	1.027	5427	203	6.907E-15	1.019	5326	176	5463	203
G014-006	5.00	0.10	2.599E-10	0.00	1.503E-11	1.013	3359	175	1.272E-11	1.055	3425	—	4.628E-12	1.035	3748	121	3748	121
G014-022	4.50	0.00	7.247E-11	0.00	2.579E-12	1.014	5372	80	1.417E-12	1.025	5436	49	5.479E-13	1.019	5414	50	5413	57
G014-024	4.50	-2.02	2.418E-12	0.01	9.176E-14	1.008	4922	137	5.532E-14	1.030	4941	71	2.050E-14	1.020	5029	64	4974	81
G014-029	4.50	-2.06	2.633E-12	0.00	1.110E-13	1.009	4936	101	7.850E-14	1.029	4429	75	2.907E-14	1.021	4500	68	4408	71
G014-045	4.50	-0.72	1.853E-11	0.00	6.579E-13	1.012	4411	73	6.230E-13	1.052	4500	41	2.369E-13	1.028	4462	27	4480	39
G014-054	4.00	0.12	2.896E-10	0.00	9.407E-12	1.014	5672	103	5.128E-12	1.020	5697	52	1.904E-12	1.017	5673	47	5682	60
G015-013	4.50	-1.88	4.471E-12	0.07	1.533E-13	1.008	5279	104	0.239E-14	1.028	5206	113	2.461E-14	1.020	5245	95	5244	104
G015-023	4.50	-1.42	1.276E-11	0.00	4.607E-13	1.009	5152	117	1.256E-13	1.030	5184	48	1.640E-13	1.020	5176	65	5175	67
G015-024	4.50	-1.64	7.769E-12	0.00	2.413E-13	1.009	5604	106	1.250E-13	1.024	5618	50	5.041E-14	1.019	5616	52	5614	62
G016-013	4.50	-0.96	2.866E-11	0.00	9.573E-13	1.010	5453	119	5.301E-13	1.025	5520	67	1.861E-13	1.019	5526	94	5507	98
G016-025	4.50	-2.72	1.546E-12	0.03	5.057E-14	1.008	5364	177	2.666E-14	1.025	5579	71	1.051E-14	1.020	5479	72	5502	90
G016-028	4.50	-1.63	4.586E-12	0.03	1.650E-13	1.009	5143	113	9.772E-14	1.030	5184	72	3.828E-14	1.020	5114	62	5146	78
G017-021	5.00	-0.73	3.367E-10	0.00	1.001E-11	1.010	5834	99	5.403E-12	1.020	5855	69	1.890E-12	1.017	5857	47	5851	62
G017-023	5.00	2.24	4.561E-11	0.00	1.784E-12	1.009	4904	86	1.096E-12	1.034	4929	69	4.179E-13	1.021	4955	43	4966	61
G017-027	4.50	-2.29	1.276E-12	0.00	5.957E-14	1.010	4201	269	3.697E-14	1.036	4440	98	1.285E-14	1.020	4721	69	4614	74
G018-028	4.50	-0.84	4.468E-11	0.00	1.491E-12	1.010	5448	119	8.200E-13	1.027	5410	74	3.201E-13	1.019	5391	67	5411	81
G018-054	4.50	-1.52	1.508E-11	0.00	4.461E-13	1.009	5748	123	2.428E-13	1.022	5782	79	9.169E-14	1.018	5752	71	5762	66
G019-025	4.50	-1.52	6.878E-12	0.02	2.613E-13	1.009	6190	108	1.612E-13	1.033	5013	71	6.356E-14	1.020	4929	61	4977	75
G019-027	4.50	-0.56	1.586E-10	0.00	5.529E-12	1.011	5246	80	3.114E-13	1.025	5444	75	1.130E-12	1.019	5446	43	5418	62
G020-008	5.00	-2.58	3.129E-11	0.03	6.088E-13	1.008	5866	89	4.271E-13	1.021	5886	58	1.722E-13	1.019	5920	43	5891	73
G020-015	4.50	-2.79	2.319E-11	0.10	7.038E-13	1.008	5599	126	2.852E-13	1.024	5671	58	1.407E-13	1.019	5717	44	5692	63
G020-024	4.50	-0.91	1.367E-11	0.12	2.289E-13	1.010	6486	113	1.796E-13	1.014	6598	64	5.971E-14	1.012	6523	70	6464	77

Table A4 (continued)

ID	$\log(g)$	$[Fe/H]$	P_{RM}	$E(B-V)$	P_I	S_I	T_I	ΔT_I	P_H	g_H	T_H	ΔT_H	P_A	W_A	T_A	ΔT_A	T_{total}	ΔT_{total}
G021-006	4.30	0.00	4.00E-12	0.00	2.02E-13	1.011	4191	134	1.190E-13	1.043	4749	67	4.307E-14	1.027	4723	36	4735	62
G021-022	4.30	-1.63	1.419E-11	0.00	2.965E-13	1.000	3906	130	2.211E-13	1.021	5487	69	8.097E-14	1.018	5485	68	5869	82
G022-009	4.30	-0.48	2.615E-11	0.00	9.021E-13	1.012	4306	80	5.094E-13	1.025	5497	76	1.847E-13	1.019	5503	68	5465	74
G022-024	4.30	-0.47	2.074E-11	0.00	9.467E-13	1.011	4460	74	6.184E-13	1.045	4675	66	2.265E-13	1.025	4715	39	4700	49
G023-020	4.30	-1.83	7.187E-12	0.00	2.468E-13	1.006	3298	205	1.470E-13	1.026	5237	112	5.416E-14	1.020	5206	100	5278	126
G024-003	4.30	-1.78	1.901E-11	0.00	3.290E-13	1.006	3650	195	2.902E-13	1.021	5819	66	1.088E-13	1.016	5803	74	5839	89
G024-012	4.30	-1.10	2.334E-11	0.00	8.192E-13	1.009	5523	120	4.561E-13	1.025	5572	51	1.708E-13	1.019	5558	70	5538	71
G025-015	4.30	-0.46	3.270E-10	0.00	9.839E-12	1.011	3799	102	5.538E-12	1.021	5751	59	2.073E-12	1.017	5714	36	5747	67
G026-007	5.00	0.00	7.357E-11	0.00	3.415E-12	1.012	4412	94	2.764E-12	1.060	4303	61	1.215E-12	1.033	3988	86	4172	71
G026-009	4.30	-1.27	4.865E-11	0.00	2.359E-12	1.010	4093	143	1.746E-12	1.031	4678	88	6.389E-13	1.024	4299	36	4235	51
G026-012	4.30	-2.64	4.490E-12	0.04	1.107E-13	1.008	6743	137	6.107E-14	1.018	6327	82	2.171E-14	1.016	6294	77	6188	91
G027-044	4.30	-0.90	3.062E-10	0.00	9.562E-12	1.010	5664	112	5.116E-12	1.022	5746	121	1.898E-12	1.018	5732	75	5730	105
G028-043	4.30	-1.73	3.349E-11	0.00	1.251E-12	1.008	3018	140	7.313E-13	1.031	3673	76	2.843E-13	1.020	3678	97	3901	98
G029-023	4.30	-2.02	2.387E-11	0.00	6.158E-13	1.009	6126	126	3.265E-13	1.018	6129	82	1.241E-13	1.017	6062	75	6102	90
G029-043	5.00	0.00	4.600E-11	0.00	2.497E-12	1.012	3762	184	1.888E-12	1.096	4696	113	7.327E-13	1.033	4012	83	4048	96
G029-047	5.00	0.00	9.468E-11	0.00	5.146E-12	1.012	3714	189	4.546E-12	1.039	3496	-	1.698E-12	1.033	3781	96	3781	99
G030-036	4.30	-0.85	3.533E-11	0.00	1.057E-12	1.010	5794	134	3.804E-13	1.021	5794	79	2.172E-13	1.018	5771	71	5784	90
G031-041	4.30	-0.91	7.813E-11	0.00	2.277E-12	1.010	3846	124	1.262E-12	1.021	3814	79	4.918E-13	1.017	3886	72	3834	87
G032-009	5.00	-1.35	2.898E-11	0.02	1.558E-12	1.011	3903	196	1.194E-12	1.051	3852	-	4.036E-13	1.024	4192	63	4192	63
G036-030	4.30	-1.90	3.303E-12	0.03	1.967E-13	1.008	5036	834	9.931E-14	1.026	5430	77	3.713E-14	1.019	5446	43	5427	82
G037-027	4.30	-2.96	4.844E-12	0.10	1.163E-13	1.008	6000	236	6.134E-14	1.016	6296	130	2.267E-14	1.016	6238	66	6304	112
G038-001	5.00	0.00	2.060E-11	0.00	1.121E-12	1.012	3751	185	8.537E-13	1.066	4673	81	3.346E-13	1.033	4625	97	4631	89
G041-034	4.30	0.00	4.131E-11	0.00	1.534E-12	1.014	5180	144	9.118E-13	1.029	5257	69	3.498E-13	1.022	5182	54	5215	65
G041-041	5.00	-2.89	1.074E-11	0.00	2.438E-13	1.006	6233	127	1.280E-13	1.016	6292	84	4.550E-14	1.015	6271	69	6233	89
G043-003	4.30	-2.49	1.363E-10	0.00	3.133E-12	1.009	6335	144	1.719E-12	1.016	6332	68	6.228E-13	1.013	6333	68	6330	83
G044-030	4.30	-1.02	8.947E-12	0.00	3.133E-13	1.010	5285	103	1.810E-13	1.028	5341	59	6.796E-14	1.019	5349	43	5334	61
G044-042	5.00	0.00	2.135E-11	0.00	1.030E-12	1.011	4341	128	7.352E-13	1.054	4451	49	3.272E-13	1.022	4157	53	4310	51
G046-005	4.30	-1.76	6.659E-12	0.00	3.755E-13	1.009	4883	174	2.219E-13	1.033	4938	71	8.215E-14	1.020	4984	84	4950	77
G046-013	5.00	0.00	2.070E-11	0.00	1.041E-12	1.011	4086	193	7.619E-13	1.039	4308	42	3.209E-13	1.033	4112	48	4233	45
G046-016	5.00	0.00	1.700E-11	0.00	8.461E-13	1.011	4108	162	6.111E-13	1.037	4579	75	2.600E-13	1.032	4122	59	4241	66
G046-031	4.30	-0.79	1.263E-11	0.00	3.643E-13	1.010	3697	143	2.072E-13	1.020	3813	69	7.388E-14	1.017	3864	92	3896	93
G046-039	4.30	-2.81	1.854E-11	0.00	4.671E-13	1.008	6240	106	2.377E-13	1.016	6037	57	8.488E-14	1.015	6071	94	6013	80
G046-039	4.30	-0.60	2.398E-10	0.00	8.779E-12	1.011	5479	80	4.832E-12	1.025	5509	76	1.873E-12	1.019	5453	45	5465	63
G046-039	5.00	0.00	8.201E-12	0.00	4.156E-13	1.011	4034	143	2.290E-13	1.034	4476	50	1.292E-13	1.033	4079	66	4289	62
G050-004	5.00	0.00	1.257E-10	0.00	6.690E-12	1.012	4287	187	4.983E-12	1.037	4393	62	1.200E-12	1.033	4081	50	4290	53
G051-010	4.30	-0.04	4.067E-11	0.05	1.821E-12	1.013	4390	156	1.211E-12	1.050	4569	64	4.827E-13	1.028	4347	37	4479	60
G052-041	4.30	-1.29	1.689E-11	0.00	3.167E-13	1.009	5808	129	1.696E-13	1.021	5980	68	6.328E-14	1.018	5965	65	5944	80
G054-023	5.00	0.00	4.944E-10	0.00	1.929E-11	1.012	4301	91	1.460E-11	1.037	4371	39	6.141E-12	1.032	4133	30	4276	44
G055-017	4.30	-1.46	1.290E-12	0.00	5.314E-14	1.009	5377	118	3.223E-14	1.028	5297	73	1.1399E-14	1.020	5330	66	5325	80
G055-024	5.00	0.00	1.941E-10	0.00	1.027E-11	1.011	3854	119	7.614E-12	1.063	4219	78	3.123E-12	1.033	4043	54	4114	64

Table A4 (continued)

ID	log(g)	[Fe/H]	R_{low}	$E(B-V)$	P_I	q_I	T_I	ΔT_I	F_R	q_R	T_R	ΔT_R	F_X	q_X	T_X	ΔT_X	F_{total}	ΔT_{total}
G055-023	4.50	0.00	5.213E-11	0.00	2.537E-12	1.031	4123	101	1.940E-12	1.000	4514	68	8.135E-13	1.033	4099	49	4189	37
G055-044	4.50	-0.23	4.919E-11	0.00	2.396E-12	1.031	4181	157	1.764E-12	1.057	4367	69	6.591E-13	1.029	4375	96	4370	67
G056-022	4.50	-0.89	1.379E-12	0.00	5.393E-14	1.010	4093	330	3.290E-14	1.029	4844	63	1.291E-14	1.023	4700	73	4777	68
G056-026	4.50	-1.03	2.796E-11	0.00	7.948E-13	1.010	5893	127	4.269E-13	1.020	5913	90	1.558E-13	1.017	5938	75	5918	93
G056-023	4.50	-1.04	3.046E-11	0.00	1.072E-12	1.009	5412	95	5.914E-13	1.027	5423	38	2.222E-13	1.019	5405	33	5413	64
G059-018	4.50	-1.16	3.949E-11	0.05	1.011E-12	1.009	5333	312	6.102E-13	1.019	5396	113	2.263E-13	1.020	5297	129	5299	141
G059-024	4.50	-2.69	4.653E-12	0.00	1.195E-13	1.008	6111	192	6.434E-14	1.019	6091	33	2.231E-14	1.017	6133	83	6198	83
G059-027	4.50	-2.34	1.215E-11	0.00	2.233E-13	1.008	6111	180	1.718E-13	1.018	6117	105	6.260E-14	1.017	6092	117	6107	127
G060-026	4.50	-1.24	3.568E-11	0.00	1.243E-12	1.009	5281	76	7.452E-13	1.029	5274	47	2.790E-13	1.020	5273	42	5275	32
G060-048	4.50	-1.92	8.449E-12	0.00	2.453E-13	1.008	5777	92	1.357E-13	1.021	5794	31	4.833E-14	1.018	5815	90	5795	74
G061-026	4.50	-0.17	3.814E-11	0.00	1.299E-12	1.012	5490	90	7.357E-13	1.024	5511	37	2.731E-13	1.018	5495	40	5500	47
G061-028	4.50	-0.79	3.208E-11	0.00	1.054E-12	1.010	5304	244	5.980E-13	1.025	5328	148	2.231E-13	1.019	5312	129	5316	141
G061-029	4.50	-0.75	3.600E-11	0.00	1.222E-12	1.011	5333	100	7.490E-13	1.028	5334	77	2.798E-13	1.020	5349	30	5341	70
G062-040	4.50	-2.05	1.242E-12	0.00	4.400E-14	1.008	5163	205	2.942E-14	1.032	4928	122	1.308E-14	1.024	4964	108	4984	134
G062-012	4.50	-1.16	1.531E-11	0.00	4.796E-13	1.009	5243	120	2.913E-13	1.030	5215	49	1.304E-13	1.020	5197	34	5209	63
G063-001	4.50	-0.08	1.399E-10	0.00	4.076E-12	1.013	5969	134	2.229E-12	1.018	5990	68	8.329E-13	1.015	5961	69	5986	92
G063-005	4.50	-0.24	9.027E-11	0.00	2.891E-12	1.012	5627	179	1.647E-12	1.023	5665	78	6.221E-13	1.018	5558	69	5590	91
G063-006	5.00	0.00	7.138E-12	0.00	3.911E-13	1.012	5718	154	3.490E-13	1.019	5475	—	1.218E-13	1.034	3900	75	2900	75
G063-025	4.50	-1.70	3.734E-12	0.00	1.051E-13	1.009	5900	149	3.449E-14	1.020	5988	55	2.042E-14	1.018	5978	63	5970	74
G063-046	4.50	-0.83	5.014E-11	0.00	1.551E-12	1.010	5692	79	8.132E-13	1.022	5706	32	3.140E-13	1.018	5721	36	5730	60
G064-012	5.00	-2.35	7.996E-12	0.02	1.800E-13	1.009	4510	133	9.599E-14	1.015	4418	77	3.401E-14	1.014	4490	74	4408	87
G064-027	4.50	-2.21	1.047E-11	0.01	2.413E-13	1.009	4669	113	1.350E-13	1.015	4429	26	4.829E-14	1.015	4604	63	4637	70
G064-022	4.50	-1.75	7.656E-12	0.00	2.992E-13	1.009	4683	92	1.801E-13	1.022	4682	42	6.935E-14	1.020	4639	43	4671	62
G065-047	4.00	-0.29	8.617E-10	0.00	2.776E-11	1.012	5633	124	1.537E-11	1.012	5663	52	5.735E-12	1.017	5634	39	5646	68
G066-018	4.50	-0.35	2.098E-12	0.00	9.676E-14	1.011	4392	143	6.473E-14	1.046	4617	47	2.312E-14	1.020	4606	79	4629	73
G066-022	4.50	-1.11	2.044E-11	0.00	7.732E-13	1.010	3030	126	4.646E-13	1.022	3113	110	1.790E-13	1.021	3065	78	3071	102
G066-020	4.50	-1.20	1.071E-11	0.01	2.768E-13	1.009	6132	143	1.290E-13	1.016	6293	126	5.230E-14	1.016	6212	77	6231	107
G067-008	4.50	-0.09	4.598E-11	0.00	1.665E-12	1.014	5293	117	9.947E-13	1.029	5288	73	3.792E-13	1.021	5248	60	5273	80
G068-010	5.00	0.00	5.968E-11	0.00	2.002E-12	1.011	4065	241	2.235E-12	1.040	4208	77	9.438E-13	1.033	4075	104	4200	88
G071-090	4.50	-1.22	2.183E-11	0.00	6.732E-13	1.009	3638	132	3.474E-13	1.023	3705	78	1.262E-13	1.018	3708	70	3693	89
G073-007	4.50	-0.41	4.282E-11	0.00	1.792E-12	1.012	4776	47	1.222E-12	1.042	4764	68	4.634E-13	1.025	4744	113	4736	85
G074-005	4.50	-1.05	8.765E-11	0.00	2.715E-12	1.010	5659	140	1.507E-12	1.023	5675	106	3.234E-13	1.018	5700	53	5665	85
G074-010	4.50	-1.94	3.871E-12	0.10	1.376E-13	1.008	5192	111	8.309E-14	1.029	5141	71	3.070E-14	1.020	5232	63	5182	78
G075-021	4.50	-1.21	1.796E-11	0.00	5.122E-13	1.009	5727	121	2.596E-13	1.020	5949	81	9.680E-14	1.017	5903	73	5881	88
G075-024	5.00	0.00	7.796E-11	0.00	2.813E-12	1.011	4190	134	2.891E-12	1.060	4313	61	1.309E-12	1.031	4279	56	4295	38
G076-021	4.50	-2.15	2.463E-11	0.00	6.878E-13	1.008	3674	124	3.428E-13	1.020	3639	55	1.201E-13	1.018	3627	113	3631	85
G076-026	4.50	-0.63	4.096E-11	0.00	1.890E-12	1.011	4425	93	1.280E-12	1.046	4544	64	4.936E-13	1.026	4536	36	4549	60
G076-042	4.50	-1.56	2.413E-11	0.00	4.420E-13	1.009	3574	121	2.427E-13	1.024	3628	77	8.922E-14	1.019	3666	70	3634	84
G084-029	4.50	-2.01	3.404E-11	0.00	8.591E-13	1.009	4084	107	4.719E-13	1.019	4099	70	1.704E-13	1.016	4141	78	4130	82
G084-037	4.50	-1.19	2.653E-11	0.02	1.055E-12	1.009	3830	83	5.743E-13	1.021	3846	33	2.079E-13	1.018	3886	42	3853	64

Table A4 (continuation)

ID	log(L)	[Fe/H]	P_{BA}	$E(B-V)$	P_J	ϵ_J	T_J	ΔT_J	P_H	η_H	T_H	ΔT_H	P_K	η_K	T_K	ΔT_K	T_{mid}	ΔT_{mid}
G086-032	4.50	0.00	6.48E-11	0.00	3.262E-12	1.011	4964	161	2.512E-12	1.062	4235	70	1.048E-12	1.033	4031	80	4140	75
G086-039	4.50	-1.61	8.291E-12	0.00	3.479E-13	1.009	4662	172	2.748E-13	1.008	4723	56	8.501E-14	1.021	4740	40	4740	47
G087-047	4.50	-0.88	2.22E-11	0.00	8.170E-13	1.010	5110	202	4.914E-13	1.001	5192	81	1.402E-13	1.020	5194	72	5186	100
G088-010	4.50	-2.20	3.22E-12	0.00	1.477E-13	1.008	5837	108	7.972E-14	1.021	5876	80	2.993E-14	1.018	5833	34	5836	74
G088-027	4.50	-2.21	1.46E-11	0.00	3.994E-13	1.008	5948	162	2.092E-13	1.020	6030	61	7.72E-14	1.017	6030	84	6013	87
G088-032	4.50	-2.59	1.208E-11	0.00	3.431E-13	1.008	6191	86	1.803E-13	1.017	6206	56	6.568E-14	1.016	6222	65	6208	67
G089-014	4.50	-1.85	1.992E-11	0.00	3.738E-13	1.008	5804	126	3.044E-13	1.021	5881	34	1.122E-13	1.018	5895	73	5871	75
G090-003	4.50	-1.99	2.203E-11	0.04	6.419E-13	1.008	5762	199	3.333E-13	1.022	5770	118	1.287E-13	1.018	5813	106	5786	122
G090-025	4.50	-1.82	1.493E-10	0.00	4.891E-12	1.008	5423	103	2.771E-12	1.023	5448	30	1.049E-12	1.020	5443	69	5447	68
G090-036	4.50	-1.61	2.516E-12	0.00	8.603E-14	1.009	5306	206	4.972E-14	1.027	5345	147	1.829E-14	1.020	5365	105	5353	142
G091-011	5.00	0.00	2.706E-11	0.00	1.623E-12	1.012	3496	344	1.196E-12	1.067	3926	348	4.708E-13	1.034	3907	84	3907	84
G092-049	5.00	0.00	5.322E-12	0.00	2.815E-13	1.011	3854	177	1.717E-13	1.050	4370	191	6.777E-14	1.020	4477	109	4511	129
G096-020	4.50	-1.03	3.728E-11	0.00	9.766E-13	1.010	6106	126	5.029E-13	1.016	6208	73	1.798E-13	1.015	6268	58	6220	77
G096-038	4.50	-0.09	5.281E-12	0.02	2.131E-13	1.014	4628	101	1.417E-13	1.029	4886	68	5.220E-14	1.025	4898	60	4892	64
G098-036	4.50	-1.22	8.469E-12	0.00	2.934E-13	1.009	5282	162	1.663E-13	1.027	5275	74	6.146E-14	1.019	5400	45	5376	72
G098-038	4.50	-1.86	9.207E-11	0.05	2.039E-12	1.008	5323	84	1.796E-12	1.026	5467	53	6.284E-13	1.019	5323	43	5310	56
G100-034	4.50	-1.26	5.721E-11	0.00	1.978E-12	1.009	5299	176	1.153E-12	1.028	5238	92	4.333E-13	1.020	5230	72	5219	99
G101-033	4.50	-0.27	2.461E-11	0.00	8.796E-13	1.012	5289	161	5.271E-13	1.029	5286	67	1.915E-13	1.020	5281	65	5284	82
G101-034	4.50	-1.83	2.628E-11	0.10	6.271E-13	1.028	5337	133	4.216E-13	1.028	5227	74	1.531E-13	1.020	5265	49	5289	72
G102-020	4.50	-1.29	2.479E-11	0.02	8.779E-13	1.009	5221	120	5.186E-13	1.029	5267	125	1.527E-13	1.020	5269	89	5254	109
G102-047	4.50	-1.74	2.601E-11	0.05	8.634E-13	1.008	5375	126	5.129E-13	1.027	5336	68	1.909E-13	1.020	5339	60	5333	77
G103-030	5.00	-3.00	3.428E-12	0.05	2.268E-13	1.013	4647	205	1.562E-13	1.042	4778	161	6.184E-14	1.027	4669	108	4713	129
G104-030	4.50	-1.59	1.146E-11	0.01	6.658E-13	1.009	4747	116	2.903E-13	1.036	4643	69	1.112E-13	1.021	4634	52	4637	29
G106-049	5.00	0.00	1.603E-10	0.00	7.897E-12	1.011	4135	450	5.287E-12	1.047	4371	206	2.622E-12	1.033	4010	232	4201	218
G106-053	4.50	-0.26	3.172E-11	0.00	1.322E-12	1.012	4787	172	8.531E-13	1.029	4866	38	3.212E-13	1.024	4647	40	4655	47
G107-063	5.00	0.00	6.272E-11	0.00	3.264E-12	1.012	3779	182	2.869E-12	1.063	3661	—	1.079E-12	1.034	3686	102	3686	102
G112-036	4.50	-0.88	7.533E-11	0.06	2.812E-12	1.010	5103	208	1.782E-12	1.024	5065	61	6.562E-13	1.021	5096	49	5082	72
G112-043	4.50	-1.61	2.467E-11	0.03	6.448E-13	1.009	6033	110	3.270E-13	1.018	6085	84	1.212E-13	1.017	6069	66	6065	83
G112-054	4.50	-0.65	3.291E-10	0.00	1.229E-11	1.011	5318	122	7.446E-12	1.022	5161	72	2.826E-12	1.021	5117	71	5134	83
G113-040	4.50	-1.13	6.796E-12	0.04	2.781E-13	1.010	4776	99	1.872E-13	1.040	4761	67	7.231E-14	1.022	4722	38	4740	62
G114-026	4.50	-1.47	3.932E-11	0.00	1.157E-12	1.009	5766	83	6.270E-13	1.022	5865	79	2.292E-13	1.018	5835	49	5829	66
G115-049	4.50	-1.86	6.572E-12	0.00	1.792E-13	1.009	5967	106	9.852E-14	1.021	5926	80	3.597E-14	1.017	5938	50	5950	72
G115-058	4.50	-1.65	3.972E-12	0.00	9.790E-14	1.009	6333	233	5.314E-14	1.017	6195	166	1.860E-14	1.015	6279	114	6157	160
G119-022	4.50	-1.86	2.297E-11	0.00	6.529E-13	1.008	5810	129	3.629E-13	1.022	5864	89	1.320E-13	1.016	5837	149	5815	119
G119-064	4.50	-1.71	3.207E-11	0.00	8.928E-13	1.009	6188	106	4.688E-13	1.017	6183	71	1.609E-13	1.016	6238	92	6206	88
G121-012	4.50	-1.17	1.966E-11	0.00	5.328E-13	1.009	5926	169	2.928E-13	1.019	5966	50	1.084E-13	1.017	5970	120	5957	80
G121-045	4.50	0.00	1.231E-11	0.00	6.763E-13	1.011	3964	126	4.631E-13	1.039	4269	200	1.924E-13	1.033	4094	126	4220	196
G124-023	4.50	0.00	1.339E-12	0.00	5.843E-14	1.013	4722	204	3.532E-14	1.027	4953	88	1.334E-14	1.025	4916	91	4936	89
G125-004	4.50	-0.42	9.168E-11	0.00	3.022E-12	1.012	4665	276	2.220E-12	1.035	5045	121	8.834E-13	1.022	4975	149	5004	129
G125-013	4.50	-0.87	2.204E-11	0.00	6.657E-13	1.010	5875	120	3.579E-13	1.020	5961	82	1.212E-13	1.017	5961	96	5936	103

Table A4 (continued)

ID	log(L)	[Fe/H]	$F_{\text{H}\alpha}$	$E(B-V)$	P_f	η_f	T_f	ΔT_f	F_H	η_H	T_H	ΔT_H	F_N	η_N	T_N	ΔT_N	T_{total}	ΔT_{total}
G125-015	4.50	0.00	8.93E-12	0.00	4.628E-13	1.011	3948	170	3.314E-13	1.059	4379	62	1.317E-13	1.034	3818	97	6109	76
G126-004	4.50	0.00	1.800E-10	0.00	8.500E-12	1.012	4379	167	6.384E-12	1.056	4404	62	2.730E-12	1.032	4157	97	6285	64
G126-019	4.50	-0.20	4.728E-11	0.00	1.601E-12	1.013	5333	136	1.026E-12	1.029	5277	64	3.915E-13	1.031	5120	71	5267	61
G126-067	4.50	-1.80	4.686E-11	0.00	1.277E-12	1.009	5979	155	7.017E-13	1.020	5930	100	2.612E-13	1.018	5923	97	5941	106
G126-063	4.50	-1.49	4.005E-12	0.00	1.319E-13	1.009	5003	104	6.620E-14	1.023	5725	79	2.407E-14	1.018	5730	71	5537	63
G130-065	4.50	-2.18	6.481E-12	0.00	1.712E-13	1.008	6047	94	8.589E-14	1.017	6203	63	3.290E-14	1.017	6105	57	6126	68
G133-045	4.50	-1.19	6.212E-12	0.04	1.855E-13	1.009	5734	123	9.853E-14	1.021	5815	79	3.675E-14	1.018	5819	72	5802	87
G135-042	4.00	-0.26	1.861E-11	0.00	5.919E-13	1.012	5634	97	3.322E-13	1.023	5633	58	1.267E-13	1.018	5575	45	5608	59
G140-046	4.50	-1.44	2.171E-11	0.00	8.540E-13	1.009	4876	79	5.725E-13	1.034	4972	57	1.964E-13	1.021	4886	42	4880	48
G141-019	4.50	-2.29	2.174E-11	0.05	7.708E-13	1.008	5167	110	4.617E-13	1.028	5130	71	1.738E-13	1.020	5164	64	5138	77
G147-026	4.00	0.14	5.246E-11	0.00	1.712E-12	1.014	5637	122	9.388E-13	1.020	5636	72	3.513E-13	1.017	5633	52	5619	73
G151-010	4.50	-0.50	4.609E-11	0.00	1.695E-12	1.012	5249	219	9.312E-13	1.027	5288	131	3.657E-13	1.020	5280	78	5311	114
G152-035	4.00	0.00	4.087E-12	0.00	1.394E-13	1.014	5562	90	7.929E-14	1.024	5499	60	2.956E-14	1.019	5478	31	5491	63
G154-034	4.50	0.00	9.956E-12	0.05	3.400E-13	1.014	5486	102	1.928E-13	1.024	5501	75	7.347E-14	1.019	5442	45	5469	66
G157-003	4.50	-0.90	2.612E-11	0.00	6.726E-13	1.010	5443	119	5.020E-13	1.026	5439	75	1.889E-13	1.019	5422	67	5440	82
G167-026	4.00	0.14	5.246E-11	0.00	1.712E-12	1.014	5637	122	9.388E-13	1.020	5636	72	3.513E-13	1.017	5633	52	5619	73
G169-045	4.50	-2.23	3.726E-11	0.01	9.941E-13	1.008	6017	106	5.203E-13	1.019	6034	55	1.931E-13	1.017	6038	75	6037	73
G169-041	4.50	-0.14	5.024E-13	0.00	1.829E-14	1.013	5277	117	1.629E-14	1.050	4561	63	5.568E-15	1.026	4707	28	4637	60
G169-042	4.50	-1.28	4.747E-12	0.00	1.609E-13	1.009	5348	183	9.215E-14	1.027	5295	108	3.453E-14	1.020	5403	82	5269	111
G169-068	4.50	-0.81	1.868E-11	0.00	6.418E-13	1.010	5361	80	2.763E-13	1.028	5370	50	1.206E-13	1.019	5371	45	5208	55
G164-067	4.50	0.00	1.748E-10	0.00	6.046E-12	1.014	5452	101	3.314E-12	1.023	5549	76	1.254E-12	1.018	5488	68	5504	79
G165-039	4.50	-2.41	2.726E-11	0.00	6.721E-13	1.009	6259	96	3.450E-13	1.016	6272	57	1.256E-13	1.015	6316	80	6292	72
G161-033	5.00	0.00	2.244E-11	0.00	1.172E-12	1.011	3894	174	8.424E-13	1.020	4204	62	3.533E-13	1.033	4079	75	4202	68
G161-082	4.50	-1.28	4.747E-12	0.00	1.609E-13	1.009	5348	183	9.215E-14	1.027	5295	108	3.453E-14	1.020	5403	82	5269	111
G162-068	4.50	-0.81	1.868E-11	0.00	6.418E-13	1.010	5361	80	2.763E-13	1.028	5370	50	1.206E-13	1.019	5371	45	5208	55
G164-067	4.50	0.00	1.748E-10	0.00	6.046E-12	1.014	5452	101	3.314E-12	1.023	5549	76	1.254E-12	1.018	5488	68	5504	79
G165-039	4.50	-2.41	2.726E-11	0.00	6.721E-13	1.009	6259	96	3.450E-13	1.016	6272	57	1.256E-13	1.015	6316	80	6292	72
G169-045	4.50	-2.23	3.726E-11	0.01	9.941E-13	1.008	6017	106	5.203E-13	1.019	6034	55	1.931E-13	1.017	6038	75	6037	73
G167-011	4.50	-0.14	5.024E-13	0.00	1.829E-14	1.013	5277	117	1.629E-14	1.050	4561	63	5.568E-15	1.026	4707	28	4637	60
G164-042	4.50	-1.46	7.903E-12	0.01	2.986E-13	1.009	5013	187	1.762E-13	1.032	5093	95	6.883E-14	1.020	5050	78	5059	105
G170-026	4.50	-1.25	3.493E-11	0.00	9.733E-13	1.009	5948	81	5.230E-13	1.020	5949	23	1.531E-13	1.017	5960	68	5952	65
G171-039	5.00	0.00	1.116E-10	0.00	5.974E-12	1.012	3788	186	4.989E-12	1.064	3722	-	1.887E-12	1.034	3911	147	3911	147
G175-024	5.00	0.00	1.313E-10	0.00	5.935E-12	1.013	4526	184	4.723E-12	1.057	4277	62	2.034E-12	1.033	4113	71	4254	66
G176-023	4.50	-1.54	2.126E-11	0.00	9.877E-13	1.009	5556	126	5.109E-13	1.024	5390	27	2.020E-13	1.019	5607	45	5393	64
G178-020	4.50	0.00	1.378E-12	0.00	6.289E-14	1.012	4424	168	3.612E-14	1.037	4831	83	1.510E-14	1.027	4720	74	4823	78
G178-041	4.50	-2.64	2.578E-12	0.00	7.169E-14	1.008	5888	84	3.906E-14	1.022	5884	34	1.506E-14	1.018	5799	107	5859	75
G180-024	4.50	-1.87	3.248E-11	0.00	8.698E-13	1.009	6038	169	4.397E-13	1.019	6062	119	1.689E-13	1.017	6072	114	6039	128
G180-028	4.50	-2.22	9.375E-12	0.00	3.307E-13	1.008	5167	99	1.928E-13	1.028	5197	79	7.547E-14	1.020	5153	48	5168	69
G181-045	4.50	-0.94	3.698E-12	0.01	1.289E-13	1.010	5279	120	7.694E-14	1.030	5325	62	2.877E-14	1.020	5248	27	5258	71
G181-046	4.50	-0.76	3.951E-11	0.01	1.411E-12	1.011	5258	120	8.047E-13	1.028	5335	52	2.998E-13	1.020	5347	54	5334	61
G181-047	4.50	-0.68	1.115E-10	0.00	3.332E-12	1.011	5801	178	1.818E-12	1.021	5810	96	6.898E-13	1.017	5781	62	5794	93
G182-007	4.50	-0.19	1.726E-10	0.00	6.508E-12	1.013	5204	168	3.978E-12	1.031	5193	47	1.533E-12	1.022	5143	48	5175	58
G182-019	4.50	-0.71	1.246E-10	0.00	3.815E-12	1.011	5232	153	2.064E-12	1.021	5177	88	7.583E-13	1.017	5285	71	5271	94
G183-011	4.50	-2.05	3.701E-11	0.00	8.345E-13	1.009	6546	97	4.439E-13	1.014	6428	68	1.667E-13	1.015	6570	69	6441	76
G184-004	4.50	-0.40	1.565E-12	0.10	4.589E-14	1.012	4735	94	2.672E-14	1.033	5110	71	1.269E-14	1.022	5065	63	5086	67
G184-020	4.50	-2.11	3.583E-12	0.10	1.108E-13	1.008	5577	124	6.162E-14	1.024	5582	165	2.294E-14	1.019	5623	124	5593	120
G186-026	4.50	-3.40	1.461E-11	0.01	2.332E-13	1.008	6027	128	1.628E-13	1.014	6487	87	6.092E-14	1.015	6438	79	6428	94

Table 4 (continuation)

ID	log(g)	[Fe/H]	F_{Fe}	$E(B-V)$	F_J	ν_J	T_J	ΔT_J	F_H	ν_H	T_H	ΔT_H	F_N	ν_N	T_N	ΔT_N	F_{total}	ΔT_{total}
G187-009	4.00	0.00	2.44E-11	0.00	1.27E-12	1.011	6071	160	8.83E-13	1.056	6368	67	3.70E-13	1.032	6364	66	4209	64
G188-029	4.50	-0.05	6.43E-11	0.03	1.74E-12	1.013	6160	152	9.05E-13	1.044	6360	99	3.32E-13	1.013	6357	65	6139	94
G189-030	4.50	-1.99	1.29E-11	0.01	4.34E-13	1.008	5273	135	2.54E-13	1.027	5276	55	9.73E-14	1.030	5261	49	5264	65
G190-015	5.00	-3.00	1.24E-11	0.01	4.46E-13	1.008	5074	175	2.62E-13	1.028	5131	75	1.067E-13	1.020	5116	76	5115	92
G190-034	4.50	-0.01	7.04E-11	0.00	2.57E-12	1.014	5330	147	1.484E-12	1.027	5341	92	5.59E-13	1.021	5301	65	5316	91
G192-043	4.50	-1.26	2.13E-11	0.00	5.77E-13	1.009	6041	188	2.96E-13	1.018	6090	161	1.097E-13	1.016	6099	85	6085	111
G194-022	4.50	-1.64	3.53E-11	0.00	9.08E-13	1.009	5877	170	3.19E-13	1.020	5965	112	1.96E-13	1.017	6004	102	5967	122
G195-034	4.50	-1.75	5.05E-12	0.00	1.49E-13	1.009	5991	140	8.30E-14	1.021	5988	54	2.65E-14	1.017	6087	103	5986	93
G198-036	5.00	0.00	2.98E-11	0.00	1.26E-12	1.011	6076	204	9.65E-13	1.061	6291	51	4.25E-13	1.033	6023	61	4169	56
G198-047	4.50	-1.64	2.73E-12	0.00	8.53E-14	1.009	5619	137	5.11E-14	1.026	5465	119	2.09E-14	1.020	5376	91	5481	112
G198-051	5.00	0.00	1.69E-11	0.00	5.69E-13	1.011	2906	268	4.21E-13	1.063	4329	71	1.77E-13	1.033	4024	81	4117	76
G197-008	4.00	-0.29	4.08E-12	0.00	1.24E-13	1.012	5711	202	7.19E-14	1.023	5853	132	2.69E-14	1.018	5601	187	5645	168
G201-005	4.50	-2.64	7.27E-12	0.00	1.76E-13	1.008	6343	102	9.24E-14	1.016	6230	97	3.39E-14	1.016	6219	144	6238	111
G206-034	5.00	-3.10	8.16E-12	0.04	2.15E-13	1.013	6305	223	1.63E-13	1.014	6343	82	4.15E-14	1.012	6329	92	6191	109
G208-029	4.00	0.00	1.62E-10	0.00	2.44E-12	1.012	6582	292	1.214E-12	1.009	6550	174	4.83E-13	1.010	6533	182	6539	203
G209-041	5.00	0.00	1.18E-10	0.00	3.29E-12	1.013	6128	126	2.38E-12	1.035	5438	79	1.01E-12	1.022	5158	64	5468	81
G210-046	4.00	0.09	6.38E-10	0.00	1.87E-11	1.014	5927	143	1.02E-11	1.018	5875	85	3.81E-12	1.015	5859	67	5879	89
G214-001	4.50	-2.08	4.84E-12	0.04	1.20E-13	1.008	5649	124	7.68E-14	1.022	5797	79	2.92E-14	1.018	5754	71	5792	96
G218-037	5.00	0.00	4.28E-11	0.00	2.00E-12	1.012	6286	116	1.61E-12	1.060	6300	62	6.52E-13	1.032	6311	92	6240	74
G217-007	5.00	0.00	9.63E-11	0.00	5.51E-12	1.012	3558	248	4.80E-12	1.062	3494	-	1.89E-12	1.035	3980	130	3980	130
G217-008	4.50	-1.91	1.83E-11	0.01	3.99E-13	1.008	6645	130	2.47E-13	1.018	6353	82	9.32E-14	1.017	6091	75	6134	70
G218-017	5.00	0.00	2.86E-11	0.00	2.13E-12	1.012	3818	194	1.81E-12	1.039	3498	-	6.57E-13	1.034	3947	92	3947	92
G227-007	4.00	0.27	1.57E-10	0.00	4.80E-12	1.015	5883	134	2.66E-12	1.047	5842	59	8.72E-13	1.015	5809	48	5833	63
G243-050	5.00	0.00	6.71E-11	0.00	3.47E-12	1.011	2938	170	2.67E-12	1.064	4171	91	1.07E-12	1.033	4046	79	4194	85
G243-052	5.00	0.00	2.03E-10	0.00	9.16E-12	1.013	4509	174	7.11E-12	1.056	4408	53	2.93E-12	1.032	4239	40	4312	46
H025502	4.50	0.00	5.97E-11	0.00	4.45E-12	1.011	3653	211	2.05E-12	1.034	4464	57	7.31E-13	1.029	4342	56	4503	56
HD45291	4.50	0.00	4.81E-11	0.00	2.38E-12	1.011	4140	156	1.26E-12	1.037	4650	70	4.62E-13	1.034	4638	69	4944	69
H094928	4.50	-1.50	1.43E-10	0.00	3.91E-12	1.009	6008	181	2.13E-12	1.020	5969	117	7.67E-13	1.017	6027	113	6003	133
HD100906	4.50	-1.35	8.29E-10	0.00	3.18E-11	1.009	5009	91	1.91E-11	1.033	5040	65	7.41E-12	1.021	5051	50	5079	65
HD103753	3.70	-1.08	1.04E-10	0.00	3.07E-12	1.010	5795	126	1.67E-12	1.022	5807	53	6.19E-13	1.018	5809	48	5806	63
HD107906	4.00	0.00	7.58E-11	0.00	3.01E-12	1.014	3126	74	1.77E-12	1.029	5234	49	6.62E-13	1.023	5207	43	5205	52
HD108177	4.50	-1.62	3.84E-11	0.00	1.69E-12	1.009	5988	219	5.37E-13	1.019	6013	102	2.06E-13	1.017	6066	75	6038	108
HD111723	2.50	-1.57	2.19E-10	0.01	6.46E-12	1.009	4886	66	5.43E-12	1.039	4879	44	2.04E-12	1.022	4869	38	4884	41
HD111980	4.50	-1.13	1.27E-10	0.02	3.98E-12	1.009	5611	148	2.22E-12	1.024	5628	67	8.28E-13	1.019	5615	49	5614	71
HD112758	4.50	-0.29	2.99E-10	0.00	1.134E-11	1.013	2118	110	6.96E-12	1.022	5136	62	2.62E-12	1.022	5103	39	5116	59
HD114762	4.50	-0.80	3.53E-10	0.00	9.79E-12	1.010	2667	124	3.54E-12	1.020	3864	52	1.50E-12	1.017	3891	53	3884	66
HD118100	4.50	-0.67	9.54E-11	0.00	5.67E-12	1.012	2856	221	3.83E-12	1.061	4128	100	1.41E-12	1.032	4190	47	4179	64
HD126681	4.50	-1.98	1.62E-11	0.00	1.79E-12	1.008	5518	102	9.98E-13	1.023	5546	51	3.73E-13	1.019	5547	46	5541	59
HD128659	4.50	-0.88	6.48E-11	0.05	1.88E-12	1.010	2654	411	1.67E-12	1.022	5792	94	4.02E-13	1.018	5737	122	5759	141
HD133142	4.50	-0.55	2.35E-10	0.00	8.56E-12	1.012	2687	107	5.44E-12	1.033	5127	71	2.06E-12	1.022	5092	47	5098	67

Table A4 (continued)

ID	log(L)	[Fe/H]	P_{GR}	$E(B-V)$	P_V	q_V	T_V	ΔT_V	P_H	q_H	T_H	ΔT_H	P_K	q_K	T_K	ΔT_K	T_{total}	ΔT_{total}	
HD132475	4.00	-1.33	1.190E-10	0.03	3.300E-12	1.009	5824	172	1.530E-12	1.023	5767	567	96	1.136E-13	1.018	5779	48	5788	68
HD132950	4.50	-0.02	8.290E-11	0.00	3.740E-12	1.013	4533	96	2.500E-12	1.047	4643	107	65	9.750E-13	1.028	4599	57	4620	61
HD134169	3.80	-1.15	2.390E-10	0.00	6.771E-12	1.010	3696	81	3.733E-12	1.022	3655	83	81	1.380E-12	1.018	3656	92	3670	84
HD134439	4.50	-1.32	7.480E-11	0.00	2.894E-12	1.009	4932	88	1.798E-12	1.033	4984	59	62	6.820E-13	1.020	4967	41	4974	48
HD134440	4.50	-1.57	5.690E-11	0.00	2.213E-12	1.009	4749	102	1.515E-12	1.036	4759	42	42	5.871E-13	1.021	4732	50	4746	46
HD140283	3.70	-2.37	2.850E-10	0.00	1.141E-11	1.008	5699	146	6.454E-12	1.025	5676	66	2.579E-12	1.018	5699	47	5691	60	
HD143923	4.50	0.00	3.880E-11	0.00	1.528E-12	1.014	5641	135	8.588E-13	1.029	5535	91	91	2.570E-13	1.022	5535	73	5534	93
HD150156	4.50	0.00	4.100E-11	0.00	1.796E-12	1.013	4646	100	1.001E-12	1.004	5062	60	60	3.971E-13	1.004	4942	63	4992	74
HD153147	4.50	0.00	7.440E-11	0.20	2.000E-12	1.013	6234	238	1.046E-12	1.014	6175	99	99	2.729E-13	1.012	6240	77	6215	110
HD154093	4.50	0.00	3.867E-10	0.00	1.886E-11	1.011	4217	302	1.434E-11	1.009	4027	61	61	5.442E-12	1.031	4304	45	4314	52
HD160283	4.70	-0.23	1.267E-09	0.00	6.154E-11	1.011	4187	172	4.530E-11	1.037	4343	42	42	1.759E-11	1.029	4347	36	4345	39
HD167089	4.30	-0.58	4.420E-10	0.00	1.417E-11	1.011	5399	82	7.670E-12	1.022	5685	78	78	2.837E-12	1.018	5684	47	5662	65
HD167861	4.50	0.40	5.738E-10	0.00	3.129E-11	1.012	3909	115	2.400E-11	1.066	4017	124	124	8.408E-12	1.037	4098	51	4065	72
HD168031	3.85	-2.09	3.508E-11	0.00	9.235E-13	1.009	6073	126	4.877E-13	1.000	6093	55	55	1.744E-13	1.017	6158	65	6114	72
HD161770	4.50	-2.29	4.886E-11	0.01	1.709E-12	1.008	5983	69	1.034E-12	1.028	5146	48	48	3.870E-13	1.020	5198	64	5145	63
HD164026	4.70	-0.23	1.267E-09	0.00	6.154E-11	1.011	4187	172	4.530E-11	1.037	4343	42	42	1.759E-11	1.029	4347	36	4345	39
HD167089	4.30	-0.58	4.420E-10	0.00	1.417E-11	1.011	5399	82	7.670E-12	1.022	5685	78	78	2.837E-12	1.018	5684	47	5662	65
HD167861	4.50	0.40	5.738E-10	0.00	3.129E-11	1.012	3909	115	2.400E-11	1.066	4017	124	124	8.408E-12	1.037	4098	51	4065	72
HD168031	3.85	-2.09	3.508E-11	0.00	9.235E-13	1.009	6073	126	4.877E-13	1.000	6093	55	55	1.744E-13	1.017	6158	65	6114	72
HD161770	4.50	-2.29	4.886E-11	0.01	1.709E-12	1.008	5983	69	1.034E-12	1.028	5146	48	48	3.870E-13	1.020	5198	64	5145	63
HD163810	4.50	-1.50	4.118E-11	0.02	1.371E-12	1.009	5392	157	7.548E-13	1.025	5505	100	100	2.771E-13	1.019	5542	94	5493	111
HD171620	4.50	-0.65	2.582E-10	0.00	6.962E-12	1.011	6097	126	3.622E-12	1.016	6113	82	82	1.250E-12	1.015	6111	68	6109	86
HD179626	4.50	-1.21	5.903E-11	0.00	1.979E-12	1.009	5498	102	1.044E-12	1.024	5608	52	52	3.803E-13	1.019	5633	71	5597	70
HD184499	4.00	-0.69	6.276E-10	0.00	1.891E-11	1.011	5746	116	1.058E-11	1.022	5759	39	39	3.855E-12	1.018	5745	44	5720	62
HD186262	4.50	0.00	3.121E-10	0.00	1.281E-11	1.014	4982	143	8.299E-12	1.036	4906	70	70	3.177E-12	1.026	4802	61	4850	65
HD186510	3.80	-1.80	8.532E-11	0.00	2.627E-12	1.008	5306	166	1.378E-12	1.029	5544	78	78	5.604E-13	1.019	5575	109	5564	121
HD186558	4.00	-1.50	2.306E-10	0.00	6.878E-12	1.006	5744	147	3.902E-12	1.004	5639	92	92	1.480E-12	1.019	5645	59	5663	87
HD1906404	4.50	-0.18	3.929E-10	0.00	1.519E-11	1.013	5066	108	9.926E-12	1.006	4995	69	69	2.737E-12	1.024	4970	61	5001	75
HD194445	4.25	-2.15	1.722E-10	0.00	4.589E-12	1.008	6079	106	2.442E-12	1.000	6047	141	141	6.906E-13	1.017	6069	90	6050	109
HD1949406	4.10	-1.37	1.254E-10	0.00	3.511E-12	1.009	6023	135	1.888E-12	1.019	6012	55	55	4.994E-13	1.017	6019	74	6017	76
HD201859	4.00	-1.10	1.777E-10	0.00	1.300E-12	1.016	5670	137	3.001E-12	1.024	5643	71	71	1.133E-12	1.019	5609	69	5635	84
HD201891	4.50	-1.27	3.163E-10	0.00	8.942E-12	1.006	5965	127	4.843E-12	1.020	5905	68	68	1.786E-12	1.017	5914	49	5909	70
HD210296	1.50	-1.49	5.596E-11	0.05	2.416E-12	1.009	4869	371	1.843E-12	1.043	4733	177	177	4.124E-13	1.024	4756	128	4746	143
HD211476	4.50	0.05	4.137E-10	0.00	1.234E-11	1.014	5912	84	6.729E-12	1.018	5864	79	79	2.508E-12	1.015	5852	49	5862	67
HD211443	4.50	-0.55	1.399E-10	0.00	4.599E-12	1.011	5532	93	2.566E-12	1.024	5582	71	71	8.450E-13	1.018	5582	74	5568	78
HD216877	4.30	-0.42	1.753E-10	0.00	5.696E-12	1.012	5395	145	3.597E-12	1.023	5599	65	65	1.186E-12	1.018	5585	39	5592	76
HD219617	5.00	-1.63	1.537E-10	0.00	4.299E-12	1.006	6769	131	2.176E-12	1.019	6963	80	80	6.277E-13	1.017	6963	74	6912	89
HD224817	4.50	-0.59	1.201E-10	0.00	3.463E-12	1.011	5918	127	1.926E-12	1.020	5849	67	67	1.139E-13	1.017	5857	72	5859	82
HD227638	5.00	-0.87	1.257E-10	0.09	3.511E-12	1.010	5987	172	2.275E-12	1.024	5583	64	64	6.758E-13	1.019	5509	58	5611	78
HD22879	4.30	-0.71	5.899E-10	0.09	1.776E-11	1.011	5779	123	9.637E-12	1.021	5796	79	79	3.547E-12	1.017	5808	72	5798	87
HD229274	4.30	-2.46	7.292E-11	0.00	2.286E-12	1.006	5310	420	1.384E-12	1.026	5378	103	103	5.162E-13	1.020	5404	210	5414	243
HD24789	4.50	-2.07	3.502E-11	0.05	8.439E-13	1.006	5996	135	4.448E-13	1.022	5834	79	79	2.000E-13	1.018	5827	72	5806	87
HD253329	4.50	-1.64	1.483E-10	0.04	5.881E-12	1.009	4833	108	3.793E-12	1.036	4828	101	101	1.427E-12	1.021	4854	93	4842	97
HD253572	2.20	-1.10	1.539E-10	0.07	6.568E-12	1.009	5384	80	3.824E-12	1.031	5383	92	92	1.407E-12	1.019	5399	100	5398	90
HD26	2.50	-0.56	1.671E-10	0.00	6.513E-12	1.012	4648	128	4.414E-12	1.039	4863	46	46	1.670E-12	1.028	4840	40	4831	43

Table A4 (continuation)

ID	$\log(g)$	$[\alpha/\beta]$	F_{bol}	$E(B-V)$	F_I	η_I	F_J	ΔT_J	F_H	η_H	F_K	ΔT_K	F_N	η_N	F_S	ΔT_S	F_{total}	ΔT_{total}
HD26297	1.20	-1.62	4.63E-10	0.00	2.077E-11	1.039	6327	100	1.608E-11	1.034	4316	61	6.304E-11	1.031	6318	53	4317	57
HD26965	4.31	-0.17	5.311E-09	0.00	2.077E-10	1.013	5035	94	1.294E-10	1.014	5056	84	4.881E-11	1.014	5030	74	5040	83
HD336379	4.50	-2.28	5.253E-10	0.00	1.248E-11	1.008	6341	160	6.063E-13	1.016	6298	74	2.477E-13	1.016	6309	58	6310	81
HD43006	2.20	-2.76	8.008E-11	0.00	3.292E-12	1.008	4787	102	2.088E-12	1.040	4789	67	7.775E-13	1.019	4822	60	4806	63
HD44007	2.23	-1.70	2.009E-10	0.00	8.819E-12	1.009	4614	98	5.977E-12	1.043	4634	90	2.241E-12	1.014	4660	79	4657	84
HD48287	3.00	-1.04	1.875E-10	0.00	6.765E-12	1.010	5187	75	4.116E-12	1.031	5190	72	1.531E-12	1.020	5198	43	5193	59
HD65583	4.48	-0.60	4.746E-10	0.00	1.726E-11	1.011	5226	79	1.039E-11	1.030	5231	49	3.800E-12	1.030	5244	35	5242	59
HD6735	2.80	-1.22	2.912E-10	0.05	1.014E-11	1.009	5279	79	6.313E-12	1.023	5193	86	2.371E-12	1.020	5176	77	5217	84
HD68769	4.00	-2.66	2.444E-11	0.01	5.465E-13	1.006	6384	130	2.620E-13	1.012	6698	89	9.465E-14	1.013	6719	83	6678	97
HD87140	4.50	-1.68	9.100E-11	0.05	3.161E-12	1.009	5259	108	1.929E-12	1.029	5196	54	7.133E-13	1.020	5241	42	5229	58
HD88725	4.50	-0.78	2.271E-10	0.00	7.103E-12	1.010	5638	100	3.964E-12	1.023	5664	46	1.433E-12	1.018	5683	70	5689	66
HD96735	4.80	-0.20	1.173E-09	0.00	6.259E-11	1.012	5444	195	5.527E-11	1.036	5625	—	1.973E-11	1.032	5828	91	5828	91
HD97016	4.00	-0.33	3.139E-09	0.00	1.208E-12	1.010	6263	208	7.067E-13	1.015	6386	135	2.558E-13	1.015	6416	139	6393	153
HR0159	4.00	-0.16	1.727E-09	0.00	6.690E-11	1.013	5671	102	2.679E-11	1.028	5254	74	1.264E-11	1.020	5212	66	5255	78
HR0371	4.00	-0.47	2.533E-09	0.00	8.901E-11	1.011	5217	88	5.270E-11	1.029	5236	84	1.977E-11	1.020	5304	74	5315	82
HR0403	4.00	-0.20	2.423E-09	0.00	9.255E-11	1.013	5119	113	5.479E-11	1.031	5210	72	2.067E-11	1.021	5188	64	5172	76
HR0509	4.00	-0.46	1.162E-08	0.00	3.994E-10	1.011	5465	119	2.319E-10	1.027	5425	74	8.597E-11	1.019	5346	66	5388	81
HR0660	4.00	-0.33	3.139E-09	0.00	1.074E-10	1.012	5603	94	5.794E-11	1.022	5612	67	2.168E-11	1.018	5588	52	5591	67
HR0753	4.50	-0.08	1.694E-09	0.00	7.202E-11	1.013	6683	104	4.996E-11	1.044	4723	91	1.981E-11	1.027	4713	90	4716	90
HR1526	4.00	0.12	1.207E-09	0.00	4.021E-11	1.014	6530	146	2.177E-11	1.018	5800	81	8.000E-12	1.015	5812	61	5822	85
HR1925	4.00	-0.20	9.253E-10	0.00	3.717E-11	1.013	5110	95	2.169E-11	1.030	5237	47	8.282E-12	1.021	5172	40	5185	53
HR2550	4.50	-0.88	1.457E-09	0.03	3.199E-11	1.009	6685	130	1.530E-11	1.013	6673	86	5.757E-12	1.011	6681	82	6679	96
HR2883	4.50	-0.99	1.212E-09	0.00	3.497E-11	1.010	5909	186	1.844E-11	1.018	5607	90	4.803E-12	1.017	5629	75	5628	101
HR3176	4.50	-0.12	2.090E-09	0.00	6.467E-11	1.012	5769	120	3.478E-11	1.019	5817	81	1.273E-11	1.016	5796	61	5794	81
HR3262	4.00	-0.50	2.351E-09	0.00	6.196E-11	1.011	6216	86	3.178E-11	1.014	6245	84	1.154E-11	1.014	6235	52	6242	70
HR3578	4.50	-1.05	1.578E-09	0.00	3.959E-11	1.010	5663	100	2.138E-11	1.022	5735	72	7.823E-12	1.018	5763	66	5727	77
HR3750	4.00	-0.31	1.964E-09	0.00	6.419E-11	1.012	5367	82	3.535E-11	1.023	5622	52	1.524E-11	1.017	5604	59	5611	62
HR3773	4.00	-0.01	1.410E-08	0.00	3.282E-10	1.012	6387	176	1.844E-10	1.011	6239	55	6.840E-11	1.011	6308	97	6328	88
HR4039	4.00	-0.19	1.256E-09	0.00	2.350E-11	1.012	6214	113	1.877E-11	1.016	6628	63	6.880E-12	1.014	6635	61	6632	73
HR4698	4.00	-0.22	7.265E-10	0.00	2.298E-11	1.012	5714	137	1.262E-11	1.023	5737	59	4.723E-12	1.017	5693	58	5715	72
HR4411	4.50	-0.61	1.233E-09	0.00	2.841E-11	1.009	6606	120	1.397E-11	1.019	6633	81	5.043E-12	1.019	6650	62	6634	82
HR4501	4.50	-0.82	1.281E-09	0.00	2.575E-11	1.010	6225	127	1.821E-11	1.015	6296	84	6.613E-12	1.014	6290	78	6296	92
HR4533	4.00	0.12	9.614E-10	0.00	2.381E-11	1.013	6300	96	1.139E-11	1.013	6219	55	4.298E-12	1.011	6309	51	6311	62
HR4540	4.00	0.21	9.419E-09	0.00	2.698E-10	1.014	6074	116	1.273E-10	1.014	6115	68	5.076E-11	1.012	6086	70	6095	80
HR4550	4.50	-1.43	8.417E-10	0.00	3.221E-11	1.009	4962	95	1.868E-11	1.020	5011	45	7.481E-12	1.020	5019	40	5006	52
HR4813	4.00	-0.40	6.467E-09	0.00	1.292E-10	1.008	6984	86	6.296E-11	1.006	7009	62	2.246E-11	1.006	7009	58	7003	67
HR4817	4.50	-0.78	9.749E-10	0.00	2.551E-11	1.010	6196	127	1.272E-11	1.016	6209	63	4.827E-12	1.014	6215	77	6208	82
HR4888	4.00	0.38	7.343E-10	0.00	1.969E-11	1.011	6380	119	9.922E-12	1.010	6341	64	3.664E-12	1.010	6327	59	6343	73
HR4889	4.00	0.11	7.021E-09	0.00	9.067E-11	0.993	6261	127	3.335E-11	0.987	8739	109	1.275E-11	0.981	8687	106	8696	116
HR5384	4.50	0.00	8.343E-10	0.00	2.277E-11	1.014	6621	103	1.335E-11	1.022	5630	75	5.779E-12	1.017	5607	67	5619	79

Table A4 (continued)

ID	$\log(L)$	$[Fe/H]$	F_{gas}	$\langle B-V \rangle$	F_I	q_I	T_I	ΔT_I	F_H	q_H	T_H	ΔT_H	F_K	q_K	T_K	ΔT_K	T_{NET}	$\Delta(T_{\text{NET}})$
HR1431	4.00	-0.29	8.79E-10	0.00	2.33E-11	1.011	5311	144	1.12E-11	1.013	6331	89	4.08E-12	1.012	6309	83	6319	99
HR1534	4.00	0.20	1.20E-09	0.00	3.47E-11	1.014	6044	51	1.82E-11	1.015	6625	69	6.79E-12	1.013	5995	63	6019	71
HR1508	4.30	0.01	1.970E-09	0.00	8.94E-11	1.013	4532	63	6.09E-11	1.047	4640	49	2.34E-11	1.017	4177	38	4665	43
HR1504	4.00	0.05	2.73E-09	0.00	6.61E-11	1.012	6584	130	3.2E-11	1.009	6570	87	1.191E-11	1.008	6565	81	6571	55
HR1758	4.00	0.01	6.040E-10	0.00	1.34E-11	1.010	6810	131	6.36E-12	1.005	6846	90	2.32E-12	1.006	6829	84	6831	98
HR1800	4.00	-0.13	1.297E-09	0.00	2.87E-11	1.010	6902	115	1.20E-11	1.007	6785	101	5.11E-12	1.008	6768	65	6782	88
HR1914	4.00	-0.27	3.300E-09	0.00	1.167E-10	1.012	2769	114	6.330E-11	1.020	5789	69	2.430E-11	1.017	5761	76	5774	82
HR1908	4.00	-0.17	1.871E-09	0.00	5.73E-11	1.013	4794	117	1.130E-11	1.020	5793	71	1.177E-11	1.016	5733	64	5777	78
HR1986	4.00	0.23	6.87E-09	0.00	1.802E-10	1.014	6168	104	9.167E-11	1.013	6188	62	3.44E-11	1.011	6126	57	6138	69
HR1136	5.00	0.00	3.923E-09	0.00	2.102E-10	1.012	3804	168	1.921E-10	1.000	3408	—	6.79E-11	1.004	3802	105	3802	105
HR1120	4.00	-0.63	7.447E-10	0.00	2.169E-11	1.011	6046	129	1.150E-11	1.017	6046	77	4.290E-12	1.016	6028	65	6036	83
HR16228	4.50	0.00	4.097E-09	0.00	1.691E-10	1.014	4879	101	1.600E-10	1.054	4476	62	5.697E-11	1.021	4323	53	4394	57
HR1656	4.00	0.00	3.170E-09	0.00	5.720E-10	1.001	7958	197	2.499E-10	0.993	7941	132	9.079E-11	0.993	7900	110	7923	138
HR1628	4.00	0.00	2.288E-09	0.00	3.798E-11	0.997	8588	137	1.443E-11	0.989	8845	109	5.161E-12	0.987	8828	107	8794	116
HR1672	4.50	-0.17	7.208E-09	0.00	3.144E-10	1.013	4990	69	1.980E-10	1.036	5623	70	7.623E-11	1.023	4911	41	4978	52
HR1806	4.50	-0.25	8.971E-10	0.00	3.677E-11	1.013	4866	108	2.312E-11	1.027	4994	78	8.729E-12	1.022	4931	70	4947	74
HR1844	4.00	0.17	2.657E-10	0.00	1.177E-11	1.009	7956	133	5.262E-12	1.004	7927	69	2.003E-12	1.003	7939	65	7938	80
HR1790	4.00	0.00	1.031E-09	0.00	3.409E-11	1.014	5501	142	1.873E-11	1.022	5629	67	7.066E-12	1.018	5383	67	5603	83
HR1723	4.00	0.41	2.288E-09	0.00	8.384E-11	1.017	5459	81	4.552E-11	1.023	5552	51	1.698E-11	1.017	5521	68	5518	64
HR1706	4.00	0.24	8.741E-10	0.00	2.544E-11	1.014	6030	125	1.296E-11	1.014	6072	84	4.741E-12	1.013	6074	90	6062	97
HR1806	4.50	0.26	1.431E-09	0.00	4.734E-11	1.015	5621	121	2.705E-11	1.022	5379	76	1.013E-11	1.017	5339	69	5372	83
HR1805	4.50	-0.02	2.731E-09	0.00	1.746E-10	1.012	4372	98	1.305E-10	1.056	4319	56	5.042E-11	1.029	4327	45	4323	50
HR1806	5.00	-0.18	2.220E-09	0.00	1.173E-10	1.012	3810	180	1.037E-10	1.055	3484	—	3.620E-11	1.021	3865	47	3865	97
HR1845	4.50	-0.53	8.753E-10	0.00	3.290E-11	1.011	5357	118	2.180E-11	1.031	5213	68	7.414E-12	1.020	5356	59	5304	75
HR1841	4.00	0.00	2.731E-09	0.00	5.658E-11	1.000	8023	123	2.332E-11	0.992	8120	67	8.403E-12	0.989	8092	87	8092	87
HR17070	4.00	0.00	7.738E-12	0.00	2.467E-13	1.014	5779	123	1.474E-13	1.023	5541	75	5.620E-14	1.019	5470	68	5596	83
HR17079	4.50	-1.89	8.181E-12	0.00	2.239E-13	1.008	5394	121	1.410E-13	1.024	5614	77	5.087E-14	1.019	5687	70	5629	84
HR1806	4.50	-1.71	2.46E-12	0.03	9.564E-14	1.009	4901	106	4.632E-14	1.026	5429	76	1.723E-14	1.019	5439	67	5312	80
HR1845	4.50	-1.11	1.067E-11	0.00	3.643E-13	1.009	5349	118	2.077E-13	1.027	5411	74	7.702E-14	1.019	5420	67	5400	81
HR1841	4.50	-2.97	1.371E-11	0.00	3.241E-13	1.008	6131	110	1.694E-13	1.018	6174	54	6.274E-14	1.017	6135	76	6158	74
HR17020	4.00	0.00	7.738E-12	0.00	2.467E-13	1.014	5779	123	1.474E-13	1.023	5541	75	5.620E-14	1.019	5470	68	5596	83
HR17079	4.50	-1.89	8.181E-12	0.00	2.239E-13	1.008	5394	121	1.410E-13	1.024	5614	77	5.087E-14	1.019	5687	70	5629	84
HR1806	4.50	-1.71	2.46E-12	0.03	9.564E-14	1.009	4901	106	4.632E-14	1.026	5429	76	1.723E-14	1.019	5439	67	5312	80
HR1845	4.50	-1.11	1.067E-11	0.00	3.643E-13	1.009	5349	118	2.077E-13	1.027	5411	74	7.702E-14	1.019	5420	67	5400	81
HR1841	4.50	-2.97	1.371E-11	0.00	3.241E-13	1.008	6131	110	1.694E-13	1.018	6174	54	6.274E-14	1.017	6135	76	6158	74
HR1806	4.50	-1.66	1.59E-11	0.00	3.203E-13	1.009	5453	77	2.397E-13	1.028	5479	49	1.117E-13	1.019	5452	44	5457	53
HR1805	4.50	-1.34	2.622E-11	0.00	1.698E-12	1.009	5727	88	8.736E-13	1.021	5869	62	3.161E-13	1.017	5918	50	5858	63
HR1845	4.50	-0.55	1.299E-10	0.00	4.298E-12	1.011	5332	80	2.384E-12	1.024	5382	76	9.463E-13	1.018	5382	48	5398	65
HR1800	4.50	-2.00	3.986E-11	0.00	9.896E-13	1.009	6221	109	5.189E-13	1.017	6236	84	1.924E-13	1.016	6209	77	6224	96
HR173012	4.50	-1.41	8.041E-11	0.00	2.239E-13	1.009	5903	84	1.322E-13	1.022	5743	68	4.901E-13	1.018	5750	52	5788	65
HR17484	4.50	-2.03	1.308E-11	0.01	1.734E-13	1.009	6285	120	2.332E-13	1.017	6249	90	9.941E-14	1.016	6188	82	6234	93
HR1845	4.00	-0.38	4.658E-10	0.00	1.411E-11	1.012	5692	152	8.242E-12	1.024	5383	76	3.086E-12	1.018	5332	69	5385	89
HR1805	4.00	-0.55	1.299E-10	0.00	4.473E-12	1.011	5322	130	2.387E-12	1.025	5509	72	9.655E-13	1.018	5485	68	5501	86
HR18177	4.00	-0.13	7.258E-10	0.00	2.479E-11	1.013	5699	151	1.465E-11	1.025	5486	75	5.613E-12	1.019	5428	67	5483	86
HR18167	4.00	-0.31	4.328E-09	0.00	9.644E-11	1.009	6728	163	4.924E-11	1.010	6879	88	1.721E-11	1.009	6722	83	6787	102

Table A4 (continuation)

ID	$\log(g)$	$[Fe/H]$	F_{84}	$E(B-V)$	F_I	g_I	T_I	ΔT_I	F_H	g_H	T_H	ΔT_H	F_N	g_N	T_N	ΔT_N	T_{eff}	$\Delta(T_{eff})$
HD180372	4.00	0.24	2.37E-09	0.00	7.91E-11	1.015	3608	151	4.407E-11	1.022	5615	77	1.676E-11	1.017	5546	68	5584	87
HD4807	4.00	-0.13	9.26E-10	0.00	2.931E-11	1.013	5759	153	1.587E-11	1.020	5788	79	6.017E-12	1.016	5719	71	5753	90
HD6715	4.00	-1.71	2.69E-10	0.00	9.905E-12	1.009	5092	133	6.040E-12	1.031	5018	70	2.272E-12	1.020	5002	62	5008	79
HD7424	4.00	-0.28	2.40E-11	0.00	8.368E-13	1.012	5644	152	4.785E-13	1.023	5608	76	1.822E-13	1.018	5539	68	5585	87
BD +72 94	4.50	-2.54	2.30E-11	0.00	8.081E-13	1.008	5425	149	4.189E-13	1.023	5447	77	1.572E-13	1.019	5446	70	5603	88
BD -1 306	4.50	-0.82	6.54E-11	0.00	1.973E-12	1.010	5767	153	1.083E-12	1.021	5776	79	4.093E-13	1.018	5729	71	5734	90
BD +9 352	4.50	-1.68	2.41E-11	0.00	6.732E-13	1.009	5906	155	3.383E-13	1.020	5927	81	1.349E-13	1.018	5922	73	5927	92
BD +11 469	4.50	-1.93	1.43E-11	0.00	4.206E-13	1.008	5613	151	2.423E-13	1.023	5646	77	9.133E-14	1.019	5637	70	5638	89
BD +96 288	4.50	-2.94	3.42E-11	0.00	1.138E-12	1.008	5270	136	6.741E-13	1.023	5265	70	2.540E-13	1.020	5297	66	5279	81
BD +21 607	4.50	-1.88	5.79E-11	0.00	1.312E-12	1.009	6096	157	7.916E-13	1.018	6133	83	2.976E-13	1.017	6098	73	6106	94
BD +3 746	4.50	-1.53	3.47E-11	0.00	8.960E-13	1.008	6138	156	4.667E-13	1.018	6157	83	1.730E-13	1.017	6151	76	6131	93
BD +12 853	4.50	-1.57	2.51E-11	0.00	8.735E-13	1.009	5259	146	5.153E-13	1.028	5269	73	2.603E-13	1.020	5209	64	5241	83
BD +24 1676	4.50	-1.96	1.33E-11	0.01	3.468E-13	1.009	6088	157	1.800E-13	1.018	6106	83	6.592E-14	1.016	6115	76	6134	93
HD68798	4.00	-0.08	2.124E-10	0.00	9.708E-12	1.013	5776	154	5.207E-12	1.019	5818	79	1.973E-12	1.016	5750	71	5781	90
BD +90 243	4.50	-1.73	2.84E-11	0.00	9.877E-13	1.008	5253	146	5.657E-13	1.027	5309	73	2.115E-13	1.020	5330	66	5308	84
HD68017	4.00	-0.42	5.37E-10	0.00	1.797E-11	1.011	5303	150	1.011E-11	1.024	5347	76	3.843E-12	1.013	5465	68	5312	87
BD +54 1216	4.50	-1.52	3.74E-11	0.00	1.018E-12	1.009	6006	156	5.404E-13	1.019	6025	81	1.966E-13	1.017	6036	73	6034	90
HD78938	4.00	-0.41	1.51E-09	0.00	2.980E-11	1.011	6246	159	2.007E-11	1.014	6292	84	7.407E-12	1.013	6273	77	6275	96
HD88218	4.00	-0.39	3.97E-10	0.00	1.659E-11	1.012	6046	157	8.517E-12	1.016	6106	82	3.146E-12	1.014	6089	75	6087	94
BD +44 1910	4.50	-2.40	1.29E-11	0.00	2.347E-13	1.008	6053	157	1.733E-13	1.019	6091	82	6.363E-14	1.017	6070	73	6063	94
BD +79 2691	4.50	-2.71	2.39E-11	0.00	6.777E-13	1.008	5815	154	3.679E-13	1.021	5844	79	1.381E-13	1.018	5824	72	5830	91
BD +36 2165	4.50	-1.37	3.46E-11	0.00	9.533E-13	1.009	6141	158	4.955E-13	1.017	6193	83	1.733E-13	1.016	6170	76	6173	95
BD +51 1696	4.50	-1.65	3.14E-11	0.00	9.731E-13	1.009	5661	151	5.405E-13	1.023	5677	74	2.037E-13	1.019	5613	69	5616	88
HD97780	4.00	-0.39	1.862E-10	0.01	6.530E-12	1.012	5355	148	3.877E-12	1.028	5347	77	1.478E-12	1.020	5289	65	5233	84
HD168177	4.50	-1.98	3.87E-11	0.00	1.008E-12	1.008	6098	157	3.381E-13	1.018	6092	82	1.873E-13	1.017	6101	73	6097	94
HD168754	4.00	-0.50	7.26E-11	0.00	2.548E-12	1.011	5337	147	1.489E-12	1.028	5366	74	5.965E-13	1.020	5313	66	5338	85
BD +28 2127	5.00	-3.00	1.28E-11	0.00	2.247E-13	1.008	6159	158	1.781E-13	1.019	6081	82	6.481E-14	1.017	6108	73	6108	94
BD +73 268	4.50	-0.97	5.414E-11	0.00	1.687E-12	1.010	5648	152	9.482E-13	1.023	5643	77	3.802E-13	1.018	5651	70	5647	89
BD +54 2476	4.50	-2.30	2.74E-11	0.00	6.737E-13	1.009	6273	159	3.259E-13	1.016	6269	84	1.279E-13	1.016	6291	78	6278	97
HD123710	4.50	-1.32	1.479E-10	0.00	4.400E-12	1.009	5756	153	2.429E-12	1.022	5734	78	8.877E-13	1.018	5796	71	5788	90
BD +36 2906	4.50	-2.54	3.79E-11	0.00	1.598E-12	1.008	6016	156	3.381E-13	1.019	6033	83	1.976E-13	1.017	6043	73	6034	93
BD -16 418	4.50	0.00	1.429E-11	0.00	5.774E-13	1.014	6035	128	3.698E-13	1.037	6073	69	1.445E-13	1.024	6067	60	6017	64
HD144061	4.50	-0.78	3.59E-10	0.00	1.155E-12	1.010	5376	151	6.616E-12	1.024	5360	76	2.470E-12	1.018	5344	68	5353	87
BD +42 2687	4.50	-1.63	3.27E-11	0.00	8.619E-13	1.009	6043	157	4.639E-13	1.019	6028	83	1.771E-13	1.017	6020	74	6027	93
HD144313	4.50	-0.61	1.645E-10	0.00	6.502E-12	1.011	6040	158	4.275E-12	1.028	6010	68	1.672E-12	1.022	6029	60	6067	64
BD -6 4435	4.50	-1.79	2.56E-11	0.00	8.438E-13	1.008	5408	149	4.961E-13	1.026	5363	74	1.863E-13	1.020	5344	66	5364	85
BD +2 2073	4.50	-2.54	3.09E-11	9.99	8.619E-13	1.008	5808	155	4.670E-13	1.021	5806	80	1.729E-13	1.018	5802	72	5801	92
BD -8 4303	4.50	-1.83	1.74E-11	0.00	6.169E-13	1.008	5190	137	3.500E-13	1.027	5284	73	1.272E-13	1.020	5221	64	5238	82
BD +30 3603	4.50	-2.20	3.56E-11	0.01	8.307E-13	1.009	6430	161	4.289E-13	1.015	6264	85	1.653E-13	1.013	6336	78	6296	97
BD +20 3876	4.00	-0.45	1.247E-11	0.00	1.750E-12	1.011	5509	150	9.829E-13	1.024	5550	78	3.669E-13	1.018	5535	68	5531	87

Table A4 (continued)

ID	$\log(R)$	[Fe/H]	F_{red}	$E(B-V)$	F_I	g_I	T_I	ΔT_I	F_H	g_H	T_H	ΔT_H	F_K	g_K	T_K	ΔT_K	T_{eff}	$\Delta(T_{\text{eff}})$
HD181007	4.30	-2.27	1.072E-11	0.00	2.075E-12	1.009	4611	137	1.373E-12	1.033	4333	64	1.230E-12	1.021	4615	57	4392	60
BD+41 3396	4.50	-0.11	9.265E-11	0.00	3.609E-12	1.012	5005	136	2.281E-12	1.023	2025	70	8.842E-13	1.022	4948	61	4684	65
HD103001	4.50	-1.13	9.745E-11	0.00	2.678E-12	1.010	5790	154	1.618E-12	1.022	5746	78	6.031E-13	1.018	5755	71	5730	90
BD44551	4.50	-1.80	4.144E-11	0.00	1.178E-12	1.008	3842	154	6.473E-13	1.021	2829	79	2.441E-13	1.018	5799	72	5819	94
BD+04 4674	4.50	-0.90	1.118E-10	0.00	3.271E-12	1.010	5842	154	1.807E-12	1.021	5762	78	6.926E-13	1.018	5747	71	5771	90
BD+7 4641	4.50	-1.34	2.002E-11	0.00	5.383E-12	1.009	4046	157	2.977E-12	1.020	1965	80	1.100E-12	1.017	5914	73	5976	92
BD+38 4953	5.00	-3.62	1.251E-11	0.00	4.275E-12	1.008	5259	146	2.551E-12	1.026	5152	71	9.838E-14	1.020	5156	64	5174	82
BD+1 4631	4.50	-2.16	2.302E-11	0.00	6.301E-12	1.008	4017	156	3.201E-12	1.019	6034	81	1.347E-12	1.018	6026	74	6027	93
BD+39 2723	4.50	-2.27	1.883E-11	9.99	5.146E-12	1.008	5654	156	2.817E-12	1.020	5924	80	1.038E-12	1.018	5929	73	5936	92
HD211810	4.50	-0.70	1.426E-09	0.00	3.317E-11	1.010	6270	160	1.364E-11	1.014	6297	84	6.027E-12	1.014	6296	78	6311	97
HD222389	4.00	0.02	9.688E-11	0.00	3.880E-12	1.014	5248	146	2.133E-12	1.022	5191	71	8.440E-13	1.021	5135	63	5174	82
LT73437	4.00	0.00	8.201E-13	0.18	2.294E-14	1.013	6101	157	1.306E-14	1.017	5917	80	4.961E-12	1.015	5824	72	5918	92
BD+11 31	4.50	-1.91	2.469E-11	0.00	6.192E-12	1.008	3935	155	3.115E-12	1.019	6030	82	1.168E-12	1.017	6067	75	6026	94
HD116055	4.50	-1.38	1.660E-10	0.00	6.802E-12	1.009	4230	124	4.874E-12	1.040	4513	63	1.830E-12	1.021	4546	26	4541	39
+B 17	4.50	0.10	1.144E-10	0.00	3.206E-12	1.015	5392	150	2.112E-12	1.022	5419	77	8.089E-13	1.019	5337	68	5361	87
VA 60	4.50	0.10	1.613E-10	0.00	5.341E-12	1.014	5606	152	2.737E-12	1.019	5794	79	1.028E-12	1.015	5746	71	5749	90
VA 79	4.00	0.10	7.692E-10	0.00	1.773E-11	1.012	6684	162	8.270E-12	1.006	6749	89	3.027E-12	1.006	6730	83	6736	102
VA 213	4.00	0.10	5.826E-10	0.00	1.382E-11	1.012	6627	163	6.590E-12	1.007	6692	89	2.369E-12	1.007	6707	83	6681	102
VA 69	4.50	0.10	1.251E-10	0.00	4.206E-12	1.014	5800	154	2.173E-12	1.017	5920	80	8.026E-13	1.014	5870	72	5868	91
VA 315	4.00	0.10	4.208E-10	0.00	1.037E-11	1.012	6454	161	5.138E-12	1.009	6509	87	1.870E-12	1.009	6509	80	6498	99
VA 348	5.00	0.10	3.241E-11	0.00	1.338E-12	1.013	4303	107	1.026E-12	1.030	4557	64	4.191E-13	1.029	4447	55	4498	59
VA 569	4.50	0.10	6.972E-11	0.00	7.699E-12	1.015	5097	127	1.561E-12	1.020	5235	72	5.941E-13	1.021	5173	64	5180	80
VA 625	4.00	0.10	2.032E-10	0.00	1.839E-12	1.014	6035	157	2.949E-12	1.014	6118	83	1.096E-12	1.013	6030	73	6091	94
VA 692	4.50	0.10	9.690E-11	0.00	3.323E-12	1.015	5385	150	1.854E-12	1.023	5543	76	7.123E-13	1.018	5455	67	5494	86
VA 712	5.00	0.10	5.272E-11	0.00	2.098E-12	1.015	5082	139	1.263E-12	1.022	5147	71	4.860E-13	1.022	5072	63	5102	81
VA 747	5.00	0.10	4.382E-11	0.00	1.713E-12	1.014	4994	136	1.032E-12	1.025	5057	70	4.084E-13	1.023	4973	61	5009	79
VA 768	4.50	0.10	1.791E-10	0.00	5.616E-12	1.014	5790	154	2.950E-12	1.018	5847	79	1.104E-12	1.012	5805	72	5816	91
VA 778	5.00	0.10	5.399E-11	0.00	2.100E-12	1.015	5095	135	1.340E-12	1.031	5193	72	4.770E-13	1.022	5113	63	5140	81
HD250223	4.00	0.00	2.121E-10	0.00	4.384E-12	1.011	7046	166	1.967E-12	1.006	7133	94	7.152E-13	1.006	7127	88	7117	107
HD9107	4.00	0.00	1.096E-09	0.00	3.433E-11	1.014	5305	150	1.963E-11	1.024	5489	73	7.429E-12	1.020	5438	67	5469	86
HD1160	4.00	0.00	3.342E-10	0.00	4.498E-12	1.022	8308	171	1.829E-12	0.997	8484	108	6.700E-13	0.995	8404	103	8423	120
HR66	4.00	0.00	1.418E-09	0.00	1.020E-10	1.011	5303	261	6.290E-11	1.073	4829	139	2.269E-11	1.033	4146	68	4101	91
HR7	4.00	0.20	7.077E-10	0.00	2.239E-11	1.014	5235	153	1.343E-11	1.020	5699	78	4.707E-12	1.018	5645	70	5683	89
HR3029	4.00	0.00	2.698E-10	0.00	3.759E-12	1.007	7491	168	1.754E-12	1.003	7282	96	6.477E-13	1.003	7248	91	7292	110
HR509	4.00	-0.30	1.174E-08	0.00	4.099E-10	1.012	5341	148	2.437E-10	1.028	5330	73	9.222E-11	1.021	5294	65	5317	84
HR624	4.00	0.00	7.242E-10	0.00	1.811E-11	1.012	6446	161	9.271E-12	1.013	6371	85	3.401E-12	1.012	6370	79	6396	98
HR660	4.50	-0.30	2.166E-09	0.00	1.024E-10	1.012	5275	151	5.827E-11	1.023	5396	76	2.181E-11	1.018	5252	69	5269	88
HR2214	4.00	0.00	1.138E-09	0.00	1.116E-11	1.002	8402	171	6.117E-12	0.997	8334	107	2.233E-12	0.995	8429	103	8464	120
HR2383	4.00	0.00	6.901E-10	0.00	8.216E-12	1.001	8794	171	3.159E-12	0.996	8913	110	1.210E-12	0.995	8796	107	8823	124
HR3064	4.00	0.00	2.335E-09	0.00	7.342E-11	1.014	5728	153	4.001E-11	1.020	5740	78	1.492E-11	1.017	5713	70	5727	89

Tabla A4 (continuación)

ID	log(L)	[Fe/H]	F_{sd}	EB(V)	F_{z}	γ_{z}	T_{z}	ΔT_{z}	F_{R}	η_{R}	T_{R}	ΔT_{R}	F_{K}	η_{K}	T_{K}	ΔT_{K}	T_{MER}	ΔT_{MER}
HR0176	4.20	0.14	2.02E-09	0.00	6.430E-11	1.014	3762	153	3.42E-11	1.019	5797	79	1.27E-11	1.016	5715	71	5781	90
HR0427	4.00	0.00	5.794E-10	0.00	7.113E-12	1.003	3830	173	2.29E-12	0.996	8863	109	1.07E-12	0.995	8772	107	8783	125
HR0600	4.00	-0.03	1.108E-09	0.00	3.663E-11	1.014	3657	151	1.894E-11	1.022	5654	77	6.904E-12	1.016	5769	71	5692	89
HR0629	4.20	-0.19	1.255E-09	0.00	3.296E-11	1.012	6008	156	1.87E-11	1.016	6028	81	6.891E-12	1.014	6033	74	6026	93
HR09456	4.00	0.00	5.408E-10	0.00	2.915E-11	1.010	3794	227	1.976E-11	1.038	4358	63	7.28E-12	1.032	4380	54	4370	58
HR09628	4.00	0.00	1.47E-10	0.00	2.980E-12	1.010	7108	169	1.44E-12	1.007	7008	92	5.209E-13	1.008	6992	86	7019	105
HR09674	4.00	0.00	9.870E-11	0.00	3.270E-12	1.010	3830	223	3.41E-12	1.024	4452	64	1.287E-12	1.032	4434	55	4442	59
HR09691	4.00	0.00	3.041E-10	0.00	5.403E-12	1.008	7505	168	2.45E-12	1.001	7467	97	8.76E-13	0.999	7461	92	7461	111
HR09695	4.00	0.00	1.720E-10	0.00	3.255E-12	1.009	7305	167	1.413E-12	1.001	7462	97	5.019E-13	0.999	7491	92	7441	110
HR09796	4.00	0.00	5.851E-11	0.00	2.991E-12	1.011	4019	203	1.81E-12	1.047	4636	69	6.67E-13	1.029	4631	57	4644	61
HR0983	4.20	0.10	5.241E-09	0.00	1.555E-10	1.014	3944	156	8.11E-11	1.016	5977	81	2.987E-11	1.014	5962	74	5964	93
HR09643	4.00	0.00	3.023E-10	0.00	4.684E-12	1.003	7940	179	1.987E-12	0.998	7920	102	7.13E-13	0.996	7929	98	7977	116
HR0991	4.00	0.00	4.061E-09	0.00	1.794E-10	1.014	4810	118	1.11E-10	1.040	4842	68	4.287E-11	1.026	4786	59	4811	63
HR0999	4.00	0.00	1.240E-09	0.00	4.187E-11	1.014	5543	150	2.254E-11	1.023	5592	76	8.834E-12	1.019	5508	68	5535	87
HR0938	4.00	0.00	6.433E-10	0.00	2.017E-11	1.013	3761	153	1.08E-11	1.019	3788	79	4.030E-12	1.016	3758	71	3770	90
HR09903	4.00	0.00	2.206E-10	0.00	3.994E-12	1.008	7180	169	1.82E-12	1.000	7113	97	6.397E-13	0.999	7197	83	7121	113
HR09208	4.00	0.00	2.221E-10	0.00	3.290E-12	1.003	8033	179	1.690E-12	0.998	7932	101	6.019E-13	0.996	7941	98	7853	115
HR0847	4.00	0.00	8.246E-10	0.00	2.239E-11	1.013	3467	154	1.26E-11	1.019	3791	79	5.166E-12	1.016	3761	71	3781	90
HR0726	4.00	0.00	8.965E-09	0.00	1.083E-10	1.001	8715	171	4.14E-11	0.996	8681	110	1.496E-11	0.995	8927	108	8910	124
HR0750	4.00	0.00	1.029E-09	0.00	3.238E-11	1.014	4654	152	1.83E-11	1.022	5642	77	7.024E-12	1.018	5588	69	5621	88
HR06903	4.00	0.14	1.11E-09	0.00	3.466E-11	1.014	3803	154	1.80E-11	1.019	3780	78	7.12E-12	1.016	3730	71	3763	90
HR0794	4.20	0.08	8.96E-10	0.00	2.766E-11	1.014	3814	154	1.22E-11	1.019	3780	78	5.714E-12	1.016	3730	71	3767	90
HR0714	4.00	0.00	7.128E-10	0.00	2.11E-11	1.013	5781	154	1.31E-11	1.030	5768	78	4.504E-12	1.017	5745	71	5761	90
HR0794	4.00	0.00	7.67E-10	0.00	2.41E-11	1.013	5749	153	1.247E-11	1.021	5698	77	5.681E-12	1.018	5647	70	5686	89
HR0455	4.00	0.00	9.63E-10	0.00	3.547E-11	1.014	3426	149	1.944E-11	1.026	3416	74	7.246E-12	1.021	3373	66	3401	85
HR0555	4.00	0.00	7.244E-09	0.00	9.21E-11	1.003	8811	171	3.65E-11	0.996	8694	110	1.348E-11	0.995	8878	108	8908	124
Scl	4.24	0.00	1.20E-04	0.00	4.23E-02	1.014	5792	153	2.29E-02	1.019	5796	79	8.610E-01	1.016	5742	71	5763	90
HR0243	4.43	-0.05	1.844E-07	0.00	4.40E-09	1.011	6585	142	2.190E-09	1.009	6579	87	7.80E-10	1.010	6576	81	6579	100
HR0458	4.22	0.00	6.034E-09	0.00	1.62E-10	1.013	6205	159	—	—	—	—	3.16E-11	1.013	6132	76	6155	102
HR0483	4.23	-0.11	2.78E-09	0.00	8.47E-11	1.013	5852	154	—	—	—	—	1.63E-11	1.015	5892	73	5974	99
HR0607	4.19	0.02	6.274E-09	0.00	1.83E-10	1.013	6037	157	—	—	—	—	3.599E-11	1.014	5975	74	5996	101
HR0101	4.18	-0.12	5.18E-09	0.00	1.479E-10	1.013	6033	157	—	—	—	—	2.914E-11	1.015	5961	74	5998	101
HR0143	4.23	0.04	1.274E-08	0.00	3.34E-10	1.012	6511	162	—	—	—	—	6.234E-11	1.011	6454	80	6462	107
HR0179	4.19	0.00	2.59E-09	0.00	1.069E-10	1.013	5892	155	—	—	—	—	2.112E-11	1.016	5840	72	5847	98
HR0583	4.22	-0.16	9.574E-09	0.00	2.51E-10	1.012	6277	159	—	—	—	—	4.74E-11	1.014	6251	77	6290	104
HR0585	4.22	0.06	8.201E-09	0.00	1.70E-10	1.010	7083	166	—	—	—	—	2.05E-11	1.007	6978	86	7013	113
HR0592	4.17	-0.21	5.57E-09	0.00	1.11E-10	1.009	7080	166	—	—	—	—	1.969E-11	1.009	6989	86	7020	113
HR0785	4.43	-0.25	2.319E-09	—	1.53E-10	1.012	5838	156	—	—	—	—	3.19E-11	1.016	5835	72	5867	99
HR0447	4.26	-0.28	4.29E-09	—	9.289E-11	1.009	6924	164	—	—	—	—	1.896E-11	1.011	6743	83	6770	110
HR0808	4.21	0.05	4.534E-09	—	1.24E-10	1.014	5913	155	—	—	—	—	2.617E-11	1.015	5889	73	5897	99

Table A4 (continuation)

ID	$\log(g)$	$[Fe/H]$	F_{rad}	$E(B-V)$	F_J	q_J	T_J	ΔT_J	F_H	g_H	T_H	ΔT_H	F_K	g_K	T_K	ΔT_K	T_{MER}	$\Delta(T_{\text{MER}})$
HR5333	4.24	-0.32	7.206E-09	—	2.013E-10	1.012	6221	159	—	—	—	—	3.767E-11	1.014	6236	15	6233	104
HR5903	4.00	-0.12	4.612E-09	—	1.233E-10	1.013	5582	156	—	—	—	—	2.637E-11	1.016	5641	73	5654	96
HR7119	4.40	0.00	1.138E-08	—	3.261E-10	1.013	5620	155	—	—	—	—	1.130E-11	1.016	5766	71	5817	97
HR4496	4.60	-0.14	2.095E-09	—	7.606E-11	1.013	5256	146	—	—	—	—	1.592E-11	1.020	5382	66	5342	91
HR1325	4.50	-0.21	5.296E-09	—	2.022E-10	1.013	5697	142	—	—	—	—	4.814E-11	1.023	5048	62	5079	86
HR1084	4.61	0.03	1.003E-08	5.99	3.883E-10	1.014	5050	142	—	—	—	—	5.178E-11	1.023	5046	62	5076	86
HR6852	4.50	0.00	2.044E-09	—	8.650E-11	1.013	4765	133	—	—	—	—	2.166E-11	1.026	4785	39	4804	82
HR7462	4.30	-0.23	4.012E-09	—	1.477E-10	1.013	5303	147	—	—	—	—	3.280E-11	1.022	5177	64	5227	89
G171-047	5.00	-1.50	6.531E-10	0.00	3.431E-11	1.011	3498	254	2.823E-11	1.035	3487	—	1.071E-11	1.027	3723	125	3721	125
G096-013	5.00	-1.50	7.436E-10	0.00	3.687E-11	1.011	3654	211	3.214E-11	1.034	3495	—	1.241E-11	1.027	3737	123	3737	123
G1229	5.00	0.00	5.579E-10	0.00	2.956E-11	1.012	3826	223	2.501E-11	1.036	3626	—	9.663E-12	1.034	3814	112	3814	112
G087-033	5.00	-1.50	6.777E-11	0.00	2.864E-12	1.011	3500	233	3.270E-12	1.049	3455	—	1.345E-12	1.029	3570	146	3570	144
G203-019	5.00	-1.50	3.455E-10	0.00	1.867E-11	1.011	3489	254	1.636E-11	1.034	3424	—	6.130E-12	1.028	3628	137	3630	137
G027-026	5.00	-1.50	7.287E-11	0.00	4.280E-12	1.013	3468	254	3.447E-12	1.049	3469	—	1.329E-12	1.029	3570	144	3570	144
G067-037	5.00	-1.50	4.081E-10	0.00	2.096E-11	1.011	3876	219	1.799E-11	1.036	3497	—	6.763E-12	1.026	3739	120	3739	120
G1229	5.00	0.00	5.579E-10	0.00	2.956E-11	1.012	3826	223	2.501E-11	1.036	3626	—	9.663E-12	1.034	3814	112	3814	112
G087-033	5.00	-1.50	6.777E-11	0.00	2.864E-12	1.011	3500	233	3.270E-12	1.049	3455	—	1.345E-12	1.029	3570	146	3570	144
G203-019	5.00	-1.50	3.455E-10	0.00	1.867E-11	1.011	3489	254	1.636E-11	1.034	3424	—	6.130E-12	1.028	3628	137	3630	137
G027-026	5.00	-1.50	7.287E-11	0.00	4.280E-12	1.013	3468	254	3.447E-12	1.049	3469	—	1.329E-12	1.029	3570	144	3570	144
G067-037	5.00	-1.50	4.081E-10	0.00	2.096E-11	1.011	3876	219	1.799E-11	1.036	3497	—	6.763E-12	1.026	3739	120	3739	120
G1229	5.00	0.00	5.579E-10	0.00	2.956E-11	1.012	3826	223	2.501E-11	1.036	3626	—	9.663E-12	1.034	3814	112	3814	112
G087-033	5.00	-1.50	6.777E-11	0.00	2.864E-12	1.011	3500	233	3.270E-12	1.049	3455	—	1.345E-12	1.029	3570	146	3570	144
G203-019	5.00	-1.50	3.455E-10	0.00	1.867E-11	1.011	3489	254	1.636E-11	1.034	3424	—	6.130E-12	1.028	3628	137	3630	137
G027-026	5.00	-1.50	7.287E-11	0.00	4.280E-12	1.013	3468	254	3.447E-12	1.049	3469	—	1.329E-12	1.029	3570	144	3570	144
G067-037	5.00	-1.50	4.081E-10	0.00	2.096E-11	1.011	3876	219	1.799E-11	1.036	3497	—	6.763E-12	1.026	3739	120	3739	120
G1229	5.00	0.00	5.579E-10	0.00	2.956E-11	1.012	3826	223	2.501E-11	1.036	3626	—	9.663E-12	1.034	3814	112	3814	112
G087-033	5.00	-1.50	6.777E-11	0.00	2.864E-12	1.011	3500	233	3.270E-12	1.049	3455	—	1.345E-12	1.029	3570	146	3570	144
G203-019	5.00	-1.50	3.455E-10	0.00	1.867E-11	1.011	3489	254	1.636E-11	1.034	3424	—	6.130E-12	1.028	3628	137	3630	137
G027-026	5.00	-1.50	7.287E-11	0.00	4.280E-12	1.013	3468	254	3.447E-12	1.049	3469	—	1.329E-12	1.029	3570	144	3570	144
G067-037	5.00	-1.50	4.081E-10	0.00	2.096E-11	1.011	3876	219	1.799E-11	1.036	3497	—	6.763E-12	1.026	3739	120	3739	120
G1229	5.00	0.00	5.579E-10	0.00	2.956E-11	1.012	3826	223	2.501E-11	1.036	3626	—	9.663E-12	1.034	3814	112	3814	112
G087-033	5.00	-1.50	6.777E-11	0.00	2.864E-12	1.011	3500	233	3.270E-12	1.049	3455	—	1.345E-12	1.029	3570	146	3570	144
G203-019	5.00	-1.50	3.455E-10	0.00	1.867E-11	1.011	3489	254	1.636E-11	1.034	3424	—	6.130E-12	1.028	3628	137	3630	137
G027-026	5.00	-1.50	7.287E-11	0.00	4.280E-12	1.013	3468	254	3.447E-12	1.049	3469	—	1.329E-12	1.029	3570	144	3570	144
G067-037	5.00	-1.50	4.081E-10	0.00	2.096E-11	1.011	3876	219	1.799E-11	1.036	3497	—	6.763E-12	1.026	3739	120	3739	120
G1229	5.00	0.00	5.579E-10	0.00	2.956E-11	1.012	3826	223	2.501E-11	1.036	3626	—	9.663E-12	1.034	3814	112	3814	112
G087-033	5.00	-1.50	6.777E-11	0.00	2.864E-12	1.011	3500	233	3.270E-12	1.049	3455	—	1.345E-12	1.029	3570	146	3570	144
G203-019	5.00	-1.50	3.455E-10	0.00	1.867E-11	1.011	3489	254	1.636E-11	1.034	3424	—	6.130E-12	1.028	3628	137	3630	137
G027-026	5.00	-1.50	7.287E-11	0.00	4.280E-12	1.013	3468	254	3.447E-12	1.049	3469	—	1.329E-12	1.029	3570	144	3570	144
G067-037	5.00	-1.50	4.081E-10	0.00	2.096E-11	1.011	3876	219	1.799E-11	1.036	3497	—	6.763E-12	1.026	3739	120	3739	120
G1229	5.00	0.00	5.579E-10	0.00	2.956E-11	1.012	3826	223	2.501E-11	1.036	3626	—	9.663E-12	1.034	3814	112	3814	112
G087-033	5.00	-1.50	6.777E-11	0.00	2.864E-12	1.011	3500	233	3.270E-12	1.049	3455	—	1.345E-12	1.029	3570	146	3570	144
G203-019	5.00	-1.50	3.455E-10	0.00	1.867E-11	1.011	3489	254	1.636E-11	1.034	3424	—	6.130E-12	1.028	3628	137	3630	137
G027-026	5.00	-1.50	7.287E-11	0.00	4.280E-12	1.013	3468	254	3.447E-12	1.049	3469	—	1.329E-12	1.029	3570	144	3570	144
G067-037	5.00	-1.50	4.081E-10	0.00	2.096E-11	1.011	3876	219	1.799E-11	1.036	3497	—	6.763E-12	1.026	3739	120	3739	120
G1229	5.00	0.00	5.579E-10	0.00	2.956E-11	1.012	3826	223	2.501E-11	1.036	3626	—	9.663E-12	1.034	3814	112	3814	112
G087-033	5.00	-1.50	6.777E-11	0.00	2.864E-12	1.011	3500	233	3.270E-12	1.049	3455	—	1.345E-12	1.029	3570	146	3570	144
G203-019	5.00	-1.50	3.455E-10	0.00	1.867E-11	1.011	3489	254	1.636E-11	1.034	3424	—	6.130E-12	1.028	3628	137	3630	137
G027-026	5.00	-1.50	7.287E-11	0.00	4.280E-12	1.013	3468	254	3.447E-12	1.049	3469	—	1.329E-12	1.029	3570	144	3570	144
G067-037	5.00	-1.50	4.081E-10	0.00	2.096E-11	1.011	3876	219	1.799E-11	1.036	3497	—	6.763E-12	1.026	3739	120	3739	120
G1229	5.00	0.00	5.579E-10	0.00	2.956E-11	1.012	3826	223	2.501E-11	1.036	3626	—	9.663E-12	1.034	3814	112	3814	112
G087-033	5.00	-1.50	6.777E-11	0.00	2.864E-12	1.011	3500	233	3.270E-12	1.049	3455	—	1.345E-12	1.029	3570	146	3570	144
G203-019	5.00	-1.50	3.455E-10	0.00	1.867E-11	1.011	3489	254	1.636E-11	1.034	3424	—	6.130E-12	1.028	3628	137	3630	137
G027-026	5.00	-1.50	7.287E-11	0.00	4.280E-12	1.013	3468	254	3.447E-12	1.049	3469	—	1.329E-12	1.029	3570	144	3570	144
G067-037	5.00	-1.50	4.081E-10	0.00	2.096E-11	1.011	3876	219	1.799E-11	1.036	3497	—	6.763E-12	1.026	3739	120	3739	120
G1229	5.00	0.00	5.579E-10	0.00	2.956E-11	1.012	3826	223	2.501E-11	1.036	3626	—	9.663E-12	1.034	3814	112	3814	112
G087-033	5.00	-1.50	6.777E-11	0.00	2.864E-12	1.011	3500	233	3.270E-12	1.049	3455	—	1.345E-12	1.029	3570	146	3570	144
G203-019	5.00	-1.50	3.455E-10	0.00	1.867E-11	1.011	3489	254	1.636E-11	1.034	3424	—	6.130E-12	1.028	3628	137	3630	137
G027-026	5.00	-1.50	7.287E-11	0.00	4.280E-12	1.013	3468	254	3.447E-12	1.049	3469	—	1.329E-12	1.029	3570	144	3570	144
G067-037	5.00	-1.50	4.081E-10	0.00	2.096E-11	1.011	3876	219	1.799E-11	1.036	3497	—	6.763E-12	1.026	3739	120	3739	120
G1229	5.00	0.00	5.579E-10	0.00	2.956E-11	1.012	3826	223	2.501E-11	1.036	3626	—	9.663E-12	1.034	3814	112	3814	112
G087-033	5.00	-1.50	6.777E-11	0.00	2.864E-12	1.011	3500	233	3.270E-12	1.049	3455	—	1.345E-12	1.029	3570	146	3570	144
G203-019	5.00	-1.50	3.455E-10	0.00	1.867E-11	1.011	3											

ID	$\log(G)$	$[Fe/H]$	P_{max}	$E(B-V)$	P_I	τ_I	T_I	ΔT_I	P_H	τ_H	T_H	ΔT_H	P_K	τ_K	T_K	ΔT_K	T_{MET}	$\Delta(T_{\text{MET}})$
G166-078	5.00	-1.50	3.048E-11	0.00	4.865E-12	1.011	3531	352	4.382E-12	1.055	3590	-	1.502E-12	1.028	3629	136	3629	136
G196S-1	5.00	-1.00	6.899E-11	0.00	1.561E-12	1.072	3796	226	2.086E-12	1.055	3490	-	1.071E-12	1.027	3688	101	3688	101
G223-017	5.00	-1.50	2.403E-10	0.00	1.386E-11	1.011	3463	337	1.175E-11	1.049	3442	-	4.396E-12	1.029	3578	143	3578	143
G019-074	5.00	-1.50	5.719E-10	0.00	3.161E-11	1.011	3472	216	2.702E-11	1.055	3417	-	9.412E-12	1.026	3766	119	3766	119
G3710	5.00	0.00	8.103E-11	0.00	4.241E-12	1.012	3882	218	3.786E-12	1.055	3500	-	1.331E-12	1.032	3886	102	3886	102
G021-074	5.00	-1.50	1.602E-10	0.00	8.238E-12	1.011	3793	227	6.934E-12	1.055	3518	-	2.427E-12	1.025	3915	97	3915	97
G184-079	5.00	-1.50	1.190E-10	0.00	6.419E-12	1.011	3504	253	5.518E-12	1.051	3477	-	1.367E-12	1.026	3760	120	3760	120
G1782	5.00	-1.50	1.477E-10	0.00	7.653E-12	1.011	3752	230	6.396E-12	1.055	3523	-	2.155E-12	1.025	3900	99	3900	99
G1784	5.00	-1.50	4.579E-10	0.00	2.672E-11	1.011	3424	260	2.194E-11	1.049	3408	-	8.405E-12	1.029	3562	145	3562	145
G1798	5.00	-1.50	1.702E-10	0.00	9.278E-12	1.011	3548	216	7.922E-12	1.055	3454	-	2.816E-12	1.026	3786	116	3786	116
G1823	5.00	-1.50	1.422E-09	0.00	8.148E-11	1.011	3484	254	7.106E-11	1.056	3350	-	2.576E-11	1.028	3592	142	3592	142
G1884	5.00	-1.50	4.286E-10	0.00	2.330E-11	1.011	3492	254	2.001E-11	1.055	3435	-	7.142E-12	1.027	3746	121	3746	121
G273-058	5.00	0.00	1.367E-10	0.00	9.934E-12	1.012	3834	224	7.452E-12	1.057	3949	-	2.795E-12	1.020	4101	72	4079	322
G191-051	5.00	0.00	7.434E-10	0.00	3.687E-11	1.012	4161	198	3.246E-11	1.054	3819	-	1.248E-11	1.023	3823	109	3823	109
G047-076	5.00	-1.50	7.438E-11	0.00	4.360E-12	1.011	3466	261	3.308E-12	1.049	3491	-	1.364E-12	1.029	3573	144	3573	144
G1410	5.00	-1.00	1.273E-10	0.00	6.833E-12	1.011	3582	246	6.005E-12	1.053	3447	-	2.267E-12	1.020	3924	126	3924	126
G176-011	5.00	-1.50	3.207E-10	0.00	1.751E-11	1.011	3496	254	1.446E-11	1.054	3484	-	5.471E-12	1.027	3696	128	3696	128
G119-059	5.00	-1.50	1.204E-10	0.00	6.392E-12	1.011	3929	213	5.785E-12	1.055	3507	-	2.158E-12	1.026	3783	116	3783	116
G206-065	5.00	-1.50	1.448E-10	0.00	8.619E-12	1.011	3456	257	6.812E-12	1.049	3491	-	2.648E-12	1.029	3576	144	3576	144
G06C-034	5.00	-1.50	2.423E-10	0.00	1.311E-11	1.011	3496	254	1.097E-11	1.052	3493	-	4.154E-12	1.027	3692	129	3692	129
G570B	5.00	-1.50	7.168E-10	0.00	3.656E-11	1.011	3872	224	3.119E-11	1.055	3512	-	1.175E-11	1.026	3771	118	3771	118
G169-038	5.00	-1.50	1.448E-10	0.00	7.200E-12	1.011	3731	233	6.438E-12	1.054	3493	-	2.434E-12	1.027	3717	125	3717	125
G128-043	5.00	0.00	1.615E-10	0.00	8.852E-12	1.012	3792	235	7.662E-12	1.055	3498	-	2.891E-12	1.023	3798	127	3798	127
G170-055	5.00	-1.50	1.527E-10	0.00	8.072E-12	1.011	3588	243	6.814E-12	1.055	3483	-	2.572E-12	1.027	3717	125	3717	125

Apéndice 5

Tabla 4.- Los colores de las estrellas de la muestra, las temperaturas resultantes de la aplicación del MFI, las gravedades superficiales y las metalicidades. Col. 1: Nombre de la estrella, col. 2: gravedad superficial, col. 3: metalicidad, col. 4: Temperatura efectiva, col. 5:(B-V), col. 6: (V-J), col. 7: (V-H), col. 8: (V-K), col. 9,10,11: fotometría de Strömgren, col. 12: β , col. 13: comentarios. Las claves de los comentarios son: (BV) estrella descartada en el ajuste $T_{ef}-(B-V)-[Fe/H]$, (VK) estrella descartada en el ajuste $T_{ef}-(V-K)-[Fe/H]$, (by) estrella descartada en el ajuste $T_{ef}-(b-y)-[Fe/H]$, (β) estrella descartada en el ajuste $T_{ef}-\beta-[Fe/H]$. Los datos fotometricos se han obtenido principalmente de las siguientes fuentes. UBV: Carney y Latham (1987), Sandage y Kowall (1986), Morel-Magnenat Catalogue (A&AS 34,477) y Bright Star Catalogue (Hoffleit y Jaschek 1982). ubvy- β : Schuster y Nissen (1988), Laird et al. (1987) y Carney (1983). Fotometría infrarroja: capítulo 2, Carney (1983), Johnson (1966) y Legget (1992).

Tabla A3

ID	log(R)	[Fe/H]	T_{eff}	(U-B)	(V-B)	(V-I)	(V-H)	(V-K)	(b-y)	m_g	c_g	β	Concentration
G001-009	4.00	0.000	5633	0.630	0.130	1.227	1.530	1.550	0.304	0.209	0.316	—	—
G004-006	4.50	-0.910	5814	0.560	-0.100	1.140	1.440	1.459	0.309	0.119	0.284	2.600	—
G004-036	4.50	-1.690	6100	0.380	-0.304	1.072	1.302	1.302	0.372	0.050	0.232	2.096	(By)
G004-037	4.50	-2.310	6337	0.370	-0.287	0.968	1.245	1.237	0.303	0.031	0.307	2.415	(By),(D)
G005-035	4.50	-1.700	5641	0.540	-0.190	1.242	1.542	1.568	0.305	0.087	0.158	2.517	—
G005-036	4.50	-1.660	5968	0.370	-0.244	1.115	1.375	1.359	0.305	0.069	0.277	2.601	(By)
G006-034	5.00	0.000	3733	1.450	1.230	2.990	3.635	3.783	0.888	0.650	0.073	2.462	—
G006-016	4.50	-1.610	6034	0.400	-0.200	1.070	1.370	1.378	0.328	0.075	0.272	2.096	—
G006-030	4.50	-0.320	4740	1.010	0.790	1.737	2.284	2.379	0.508	0.454	0.174	2.514	—
G009-014	4.50	-0.790	5059	0.800	0.400	1.540	1.990	2.002	0.492	0.304	0.207	—	—
G009-016	4.50	-1.210	6776	0.310	-0.160	0.762	0.948	0.936	0.237	0.103	0.480	2.677	—
G009-031	4.50	-0.850	5969	0.600	-0.040	1.270	1.590	1.603	0.308	0.158	0.224	2.575	—
G009-036	4.50	-1.180	5675	0.570	-0.140	1.252	1.548	1.564	0.383	0.134	0.195	2.566	—
G010-004	4.50	-2.200	5192	0.600	-0.130	1.460	1.852	1.875	0.406	0.115	0.102	2.514	—
G011-044	4.50	-1.890	5943	0.420	-0.210	1.100	1.387	1.379	0.335	0.061	0.248	2.586	—
G012-004	5.00	0.000	4292	1.730	—	4.003	4.620	4.859	—	—	—	—	(BV),(VN)
G012-021	4.50	-1.400	5990	0.450	-0.180	1.095	1.390	1.363	0.342	0.092	0.264	2.583	—
G012-023	4.50	-1.130	5463	0.645	0.010	1.330	1.678	1.638	—	—	—	—	(VN)
G014-006	5.00	0.100	3748	1.400	1.240	2.790	3.420	3.541	—	—	—	—	—
G014-022	4.50	0.090	5413	0.730	0.290	1.365	1.697	1.710	0.448	0.261	0.334	—	—
G014-024	4.50	-2.620	4974	0.740	0.011	1.383	1.585	2.001	0.508	0.123	0.094	2.517	—
G014-028	4.50	-2.090	4498	0.920	0.400	1.810	2.350	2.385	0.587	0.267	0.153	2.480	(VN)
G014-045	4.50	-0.270	4480	1.000	0.700	2.050	2.613	2.686	0.587	0.517	0.115	2.003	—
G014-054	4.00	0.120	5082	0.650	0.180	1.220	1.515	1.534	—	—	—	—	—
G015-013	4.50	-1.890	5244	0.610	-0.007	1.423	1.855	1.847	0.491	0.163	0.144	2.544	—
G015-023	4.50	-1.420	5175	0.700	0.040	1.475	1.865	1.897	0.451	0.178	0.161	2.540	—
G015-024	4.50	-1.440	5614	0.570	-0.110	1.243	1.563	1.580	0.399	0.107	0.197	2.568	—
G016-013	4.50	-0.960	5307	0.590	-0.040	1.309	1.624	1.636	0.387	0.129	0.286	2.583	—
G016-025	4.50	-2.730	5502	0.545	-0.206	1.367	1.624	1.697	0.427	—	—	—	—
G016-028	4.50	-1.630	5146	0.720	0.070	1.490	1.870	1.942	—	—	—	—	—
G017-023	5.00	-0.750	5851	0.530	-0.070	1.137	1.420	1.422	0.361	0.127	0.320	2.606	—
G017-025	5.00	-1.340	4066	0.750	0.180	1.615	2.030	2.083	0.476	0.202	0.162	2.528	—
G017-037	4.50	-2.290	4614	0.840	0.120	1.864	2.270	2.237	0.562	0.137	0.170	2.542	(VN),(D)
G016-028	4.50	-0.840	5411	0.650	0.040	1.330	1.710	1.721	0.423	0.180	0.223	2.552	—
G016-054	4.50	-1.320	5762	0.480	-0.160	1.180	1.470	1.469	0.306	0.075	0.275	2.586	—
G019-025	4.50	-1.120	4977	0.780	0.090	1.590	2.010	2.063	—	—	—	—	—
G019-027	4.50	-0.590	5418	0.650	0.070	1.380	1.685	1.690	—	—	—	—	—
G020-006	5.00	-2.390	5891	0.450	-0.269	1.145	1.430	1.424	0.356	0.047	0.231	2.574	—
G020-015	4.50	-2.790	5082	0.435	-0.227	1.270	1.566	1.553	0.452	0.032	0.274	2.587	(By)
G020-024	4.50	-0.910	6464	0.220	-0.340	0.877	1.127	1.037	0.362	0.034	0.374	2.627	(BV),(VN),(By)

Table A3 (continued)

ID	$\log(R)$	[Fe/H]	T_{eff}	(B-V)	(U-B)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	(b-y)	m_x	c_x	β	Comment
G021-006	4.50	0.000	4733	1.066	0.540	1.970	2.330	2.374	—	—	—	—	—
G021-022	4.50	-1.630	5869	0.540	-0.090	1.112	1.428	1.424	0.381	0.071	0.275	2.599	—
G022-009	4.50	-0.480	5463	0.720	0.170	1.335	1.650	1.650	0.441	0.208	0.281	2.559	—
G022-024	4.50	-0.470	4700	0.910	0.380	1.870	2.340	2.359	0.534	0.408	0.236	2.520	—
G023-020	4.50	-1.830	5278	0.630	-0.070	1.416	1.795	1.798	0.451	0.099	0.289	2.571	(β)
G024-003	4.50	-1.780	5859	0.470	-0.210	1.136	1.425	1.435	0.363	0.057	0.271	2.585	—
G024-013	4.50	-1.100	5558	0.620	-0.050	1.280	1.595	1.615	0.411	0.123	0.267	2.578	—
G025-015	4.50	-0.480	5747	0.545	-0.060	1.161	1.487	1.506	0.368	0.133	0.262	2.606	—
G026-007	5.00	0.000	4172	1.680	—	4.720	5.380	5.644	—	—	—	—	(BV)(VW)
G026-009	4.50	-1.270	4235	0.970	0.500	2.179	2.734	2.809	0.588	0.346	0.186	2.504	(β)(β)
G026-012	4.50	-2.640	6183	0.360	-0.307	1.003	1.206	1.209	—	—	—	—	—
G027-044	4.50	-0.900	5730	0.520	-0.100	1.206	1.485	1.489	0.358	0.116	0.273	—	—
G028-043	4.50	-1.750	5061	0.700	0.010	1.343	1.933	1.909	0.469	0.160	0.142	2.538	—
G028-023	4.50	-2.070	6102	0.430	-0.210	1.030	1.290	1.328	0.320	0.059	0.332	2.590	—
G029-043	5.00	0.000	4048	1.470	1.120	3.480	4.040	4.213	—	—	—	—	(BV)(VW)
G029-047	5.00	0.000	3781	1.340	1.200	2.723	3.245	3.553	0.506	0.682	0.034	2.443	—
G030-056	4.50	-0.850	5784	0.560	0.040	1.157	1.457	1.476	0.383	0.135	0.284	2.583	—
G031-041	4.50	-0.910	5834	0.540	-0.020	1.130	1.440	1.429	0.368	0.118	0.294	—	—
G033-009	5.00	-1.350	4179	0.510	-0.111	2.245	2.859	2.916	0.411	0.102	0.283	2.575	(BV)(β)
G036-050	4.50	-1.900	5427	0.540	-0.194	1.476	1.687	1.699	0.448	0.098	0.140	2.557	—
G037-037	4.50	-2.980	6304	0.300	-0.237	0.833	1.244	1.256	—	—	—	—	—
G038-001	5.00	0.000	4031	1.270	1.080	2.590	3.155	3.210	0.822	0.615	-0.030	—	—
G041-024	4.50	0.000	5215	0.770	0.400	1.465	1.855	1.902	—	—	—	—	—
G041-041	5.00	-2.890	6333	0.400	-0.190	0.972	1.230	1.190	0.306	0.055	0.278	2.614	—
G043-003	4.50	-2.490	6230	0.295	-0.220	0.852	1.208	1.195	0.303	0.056	0.354	2.613	—
G044-030	4.50	-1.020	3334	0.640	0.010	1.297	1.753	1.764	0.427	0.177	0.200	2.557	—
G044-042	5.00	0.000	4310	1.650	—	4.008	4.608	4.849	—	—	—	—	(BV)(VW)
G046-005	4.50	-1.700	4950	0.740	0.130	1.613	2.033	2.066	0.479	0.223	0.130	2.603	—
G046-015	5.00	0.000	4233	1.460	1.070	3.270	4.215	4.522	—	—	—	—	(BV)(VW)
G046-016	5.00	0.000	4241	1.490	1.060	3.855	4.800	4.615	—	—	—	—	(BV)(VW)
G046-031	4.50	-0.790	2866	0.540	-0.150	1.110	1.417	1.416	0.350	0.122	0.274	2.590	—
G046-029	4.50	-2.810	6313	0.265	-0.220	1.000	1.315	1.187	0.299	0.096	0.348	2.613	—
G048-029	4.50	-0.600	5465	0.610	0.050	1.225	1.650	1.685	0.402	0.168	0.272	2.602	(β)
G049-020	5.00	0.000	4289	1.770	1.100	4.603	5.094	5.379	—	—	—	—	(BV)(VW)
G050-004	5.00	0.000	4220	1.620	0.970	4.440	5.120	5.277	—	—	—	—	(BV)(VW)
G051-010	4.50	-0.040	4379	0.2900	0.286	1.952	2.312	2.329	0.349	0.094	0.226	2.486	—
G053-041	4.50	-1.390	5444	0.480	-0.140	1.148	1.420	1.407	0.356	0.083	0.271	2.589	—
G054-023	5.00	0.000	4276	1.540	1.060	4.800	4.595	4.799	—	—	—	—	(BV)(VW)
G055-017	4.50	-1.460	5335	0.670	0.015	1.265	1.775	1.786	0.435	—	—	—	—
G055-024	5.00	0.000	4114	1.510	1.190	3.445	4.100	4.291	—	—	—	—	(BV)(VW)

Tabla A5 (continuación)

ID	$\log(R)$	$[Fe/H]$	T_{eff}	(B-V)	(U-B)	(V-J)	(V-I)	(V-K)	(b-y)	m_g	σ_g	β	Comentario
G053-035	3.00	0.000	4189	1.570	1.340	2.665	4.270	4.472	—	—	—	—	(BV)(VR)
G053-044	4.50	-0.230	4370	1.010	0.880	2.155	2.720	2.787	0.006	0.555	0.152	2.488	(VR)
G064-022	4.50	-0.890	4777	0.800	0.470	1.786	2.220	2.351	0.530	—	—	—	(VR)
G064-036	4.50	-1.020	3918	0.480	-0.140	1.107	1.383	1.376	0.348	0.106	0.281	2.503	(VR)
G068-023	4.50	-1.040	3413	0.600	-0.020	1.340	1.698	1.721	0.404	0.142	0.274	2.565	(VR)
G069-018	4.50	-1.160	3299	0.670	0.016	1.363	1.794	1.812	0.468	0.162	0.237	2.547	(VR)
G069-024	4.50	-2.090	6108	0.450	-0.210	1.050	1.323	1.308	0.302	0.054	0.225	2.593	(VR)
G069-027	4.50	-2.340	6107	0.400	-0.240	1.040	1.303	1.318	0.321	0.058	0.301	2.595	(VR)
G069-026	4.50	-1.240	3275	0.650	-0.010	1.413	1.803	1.824	0.453	0.157	0.230	2.555	(VR)
G069-048	4.50	-1.920	3795	0.400	-0.270	1.170	1.463	1.466	0.390	0.072	0.187	2.575	(VR)
G069-066	4.50	-0.170	3500	0.690	0.270	1.308	1.645	1.653	0.476	0.200	0.296	—	(VR)
G069-038	4.50	-0.170	3565	0.640	0.050	1.269	1.597	1.613	0.413	0.170	0.236	2.564	(VR)
G069-030	4.50	-0.750	3341	0.640	0.070	1.380	1.760	1.763	0.418	0.174	0.240	2.559	(VR)
G069-040	4.50	-2.050	4994	0.760	0.090	1.510	2.018	2.033	—	—	—	—	(VR)
G069-052	4.50	-1.190	3259	0.670	0.010	1.445	1.855	1.892	0.430	0.167	0.190	2.553	(VR)
G069-061	4.50	-0.080	3898	0.570	0.050	1.092	1.280	1.408	—	—	—	—	(VR)
G069-005	4.50	-0.340	3590	0.670	0.065	1.329	1.580	1.609	—	—	—	—	(VR)
G069-006	3.00	0.000	2900	1.290	1.210	2.667	3.300	3.453	—	—	—	—	(VR)
G069-026	4.50	-1.700	3970	0.460	-0.160	1.110	1.333	1.366	0.328	0.085	0.277	2.574	(VR)
G069-046	4.50	-0.820	3705	0.580	-0.070	1.203	1.508	1.506	0.385	0.139	0.272	2.580	(VR)
G064-012	3.00	-2.330	6468	0.355	-0.247	0.923	1.185	1.150	0.312	0.037	0.336	2.622	(VR)
G064-037	4.50	-2.110	6432	0.350	-0.189	0.913	1.147	1.160	0.299	0.037	0.339	2.626	(VR)
G064-022	4.50	-1.750	4971	0.715	0.070	1.583	2.010	2.008	0.479	0.184	0.130	2.572	(VR)
G065-047	4.00	-0.290	3646	0.640	0.090	1.235	1.545	1.560	0.402	0.200	0.269	—	(VR)
G066-018	4.50	-0.350	4639	0.860	0.480	1.950	2.405	2.420	—	—	—	—	(VR)
G066-022	4.50	-1.110	3071	0.700	0.100	1.559	1.940	1.996	0.452	0.201	0.190	2.553	(VR)
G066-030	4.50	-1.590	6211	0.380	-0.189	1.002	1.208	1.233	0.303	0.072	0.358	2.634	(VR)
G067-008	4.50	-0.090	3273	0.760	0.300	1.430	1.870	1.851	0.461	0.276	0.365	2.557	(VR)
G069-010	3.00	0.000	4209	1.540	1.200	3.610	4.180	4.391	—	—	—	—	(BV)(VR)
G072-060	4.50	-1.220	3693	0.560	-0.090	1.220	1.510	1.519	0.365	0.111	0.276	2.590	(VR)
G073-067	4.50	-0.450	4756	0.900	0.620	1.770	2.285	2.334	0.534	0.437	0.233	2.530	(VR)
G074-005	4.50	-1.050	3685	0.575	-0.080	1.215	1.528	1.524	0.290	0.130	0.213	2.562	(VR)
G074-010	4.50	-1.940	5182	0.620	0.048	1.468	1.869	1.854	0.574	0.195	0.130	2.544	(VR)
G075-081	4.50	-1.210	3881	0.460	-0.160	1.170	1.370	1.389	0.353	0.093	0.630	2.597	(VR)
G075-034	3.00	0.000	4285	1.190	1.110	2.310	2.900	2.968	—	—	—	—	(VR)
G076-071	4.50	-2.150	3931	0.440	-0.250	1.120	1.385	1.409	0.345	0.054	0.245	2.609	(VR)
G076-098	4.50	-0.630	4549	0.930	0.530	1.990	2.610	2.586	0.538	0.357	0.230	2.493	(VR)
G079-042	4.50	-1.260	3634	0.600	-0.160	1.250	1.550	1.550	0.396	0.073	0.240	2.584	(VR)
G084-029	4.50	-2.010	6110	0.380	-0.200	1.040	1.300	1.283	0.312	0.065	0.334	2.617	(VR)
G084-037	4.50	-1.190	3833	0.390	-0.147	1.135	1.435	1.409	0.354	0.095	0.330	—	(VR)

Tabla A5 (continuación)

ID	log(g)	[Fe/H]	T_{eff}	(B-V)	(U-B)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	(b-y)	α_{e}	c_{e}	β	Comentarios
G086-032	5.00	0.000	4150	1.550	1.210	3.660	4.000	4.266	—	—	—	—	(BV)(VK)
G086-039	4.50	-1.610	4729	0.840	0.330	1.750	2.210	2.259	0.522	0.293	0.144	2.505	
G087-047	4.50	-0.880	5188	0.660	0.030	1.477	1.872	1.869	0.427	0.173	0.255	2.567	
G088-010	4.50	-2.200	5856	0.440	-0.240	1.150	1.420	1.454	0.343	0.053	0.255	2.596	
G088-027	4.50	-2.210	6015	0.440	-0.190	1.100	1.347	1.353	0.326	0.054	0.310	2.599	
G088-032	4.50	-2.590	6208	0.360	-0.220	1.015	1.265	1.258	0.311	0.039	0.356	2.591	
G088-014	4.50	-1.850	5871	0.470	-0.180	1.153	1.415	1.419	0.347	0.083	0.316	2.592	
G090-003	4.50	-1.990	5786	0.400	-0.247	1.181	1.463	1.470	0.370	0.041	0.291	2.581	
G090-023	4.50	-1.820	5441	0.610	-0.115	1.335	1.670	1.700	0.428	0.110	0.176	2.545	
G090-026	4.50	-1.610	5333	0.880	-0.130	1.383	1.728	1.739	0.404	0.127	0.172	2.585	(J)
G091-011	5.00	0.000	3907	1.520	1.080	3.550	3.860	4.044	—	—	—	—	(BV)(VK)
G092-049	5.00	0.000	4511	1.035	0.450	2.220	2.600	2.706	—	—	—	—	
G096-020	4.50	-1.050	6226	0.430	-0.160	0.990	1.220	1.192	0.314	0.102	0.325	2.633	
G096-026	4.50	-0.090	4892	0.780	0.269	1.665	2.159	2.172	—	—	—	—	
G096-056	4.50	-1.310	5276	0.650	-0.030	1.385	1.720	1.726	0.421	0.150	0.171	2.546	
G098-058	4.50	-1.860	5510	0.500	-0.189	1.292	1.652	1.651	0.435	0.070	0.218	2.533	
G100-054	4.50	-1.260	5339	0.600	-0.070	1.297	1.762	1.766	0.401	0.166	0.143	2.526	
G101-033	4.50	-0.370	5284	0.750	0.240	1.617	1.810	1.821	0.457	0.209	0.263	2.541	
G101-034	4.50	-1.830	5280	0.540	-0.107	1.283	1.817	1.799	0.506	0.123	0.228	2.547	(bv)
G102-020	4.50	-1.290	5254	0.650	-0.037	1.455	1.805	1.826	0.455	0.171	0.155	2.541	
G102-047	4.50	-1.740	5353	0.540	-0.144	1.296	1.747	1.757	0.455	0.102	0.232	2.547	
G103-050	5.00	-3.000	4713	0.860	0.300	1.872	2.242	2.438	0.580	—	—	—	(VK)
G105-050	4.50	-1.590	4837	0.780	0.171	1.697	2.123	2.180	0.497	0.223	0.156	2.519	
G106-049	5.00	0.000	4201	1.450	—	—	3.930	4.210	—	—	—	—	(VK)
G106-053	4.50	-0.260	4855	0.850	0.530	1.720	2.180	2.219	0.512	0.352	0.265	—	
G107-065	5.00	0.000	3880	1.590	—	—	3.620	4.004	0.826	0.520	0.179	2.466	(VK)
G112-026	4.50	-0.860	5082	0.700	0.290	1.523	1.972	1.976	0.510	0.226	0.272	2.540	
G112-063	4.50	-1.610	6065	0.440	-0.179	1.055	1.300	1.313	0.335	0.074	0.359	2.609	
G112-054	4.50	-0.650	5134	0.730	0.170	1.510	1.913	1.955	0.453	0.180	0.346	—	
G113-040	4.50	-1.130	4740	—	—	1.743	2.246	2.315	0.549	0.387	0.160	2.511	
G114-026	4.50	-1.470	5809	0.480	-0.170	1.165	1.450	1.444	0.346	0.079	0.245	2.594	
G115-049	4.50	-1.960	5950	0.500	-0.240	1.090	1.380	1.384	0.371	0.062	0.141	2.576	
G115-058	4.50	-1.650	6257	0.440	-0.150	0.950	1.259	1.260	0.325	0.074	0.341	2.592	
G119-032	4.50	-1.860	5835	0.510	-0.240	1.154	1.458	1.463	0.377	0.064	0.153	2.566	
G119-064	4.50	-1.710	6206	0.430	-0.210	0.993	1.243	1.225	0.319	0.073	0.323	2.600	
G121-012	4.50	-1.170	5967	0.500	-0.130	1.095	1.357	1.361	0.349	0.096	0.283	2.589	(BV)(VK)
G121-043	4.50	0.000	(5375)	1.740	—	3.785	4.225	4.450	—	—	—	—	(BV)
G124-023	4.50	0.000	4836	1.650	1.790	1.723	2.113	2.153	—	—	—	—	(BV)
G125-004	4.50	-0.420	4967	0.803	0.350	1.653	2.073	2.136	—	—	—	—	(VK)
G125-013	4.50	-0.870	5896	0.480	-0.120	1.118	1.392	1.397	0.355	0.073	0.231	2.584	

Tabla A3 (continuación)

ID	log(R)	[Fe/H]	T_{eff}	(B-V)	(U-B)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	(b-y)	m_{g}	ϵ_{g}	β	Comentarios
G173-035	5.00	0.000	4169	1.570	1.160	4.920	5.430	5.755	—	—	—	—	(BV),(VK)
G126-004	5.00	0.000	4285	1.510	1.310	4.300	4.620	4.829	—	—	—	—	(BV),(VK)
G126-019	4.50	-0.300	3267	0.770	0.210	1.430	1.803	1.874	0.459	0.278	0.281	2.156	(BV),(VK)
G126-062	4.50	-1.800	3941	0.445	-0.190	1.087	1.387	1.401	0.300	0.063	0.327	2.588	(VK)
G126-063	4.50	-1.490	5537	0.600	-0.090	1.410	1.500	1.509	0.396	0.096	0.225	2.563	(VK)
G130-065	4.50	-2.180	6126	0.430	-0.230	1.069	1.260	1.308	0.331	0.036	0.280	2.607	(VK)
G133-045	4.50	-1.190	3802	0.460	-0.167	1.173	1.446	1.450	—	—	—	—	(VK)
G133-047	4.00	-0.360	3608	0.670	0.080	1.237	1.362	1.397	0.399	0.181	0.299	—	(BV)
G140-046	4.50	-1.440	4080	0.730	0.210	1.615	2.025	2.058	0.474	0.281	0.141	2.543	(BV),(V)
G141-019	4.50	-2.290	5138	0.585	-0.134	1.496	1.877	1.901	0.305	0.006	0.239	2.364	(V)
G147-036	4.00	0.140	3659	0.670	0.160	1.320	1.520	1.550	—	—	—	—	(BV),(VK)
G151-010	4.50	-0.500	3711	0.730	0.160	1.430	1.749	1.821	0.442	0.226	0.233	2.364	(BV)
G152-035	4.00	0.000	3491	0.600	—	1.307	1.647	1.660	—	—	—	—	(BV)
G154-034	4.50	0.000	5469	0.580	-0.219	1.322	1.662	1.689	0.470	0.069	0.083	2.326	(BV),(V)
G157-003	4.50	-0.300	3440	0.660	0.010	1.330	1.680	1.710	0.426	0.145	0.376	—	(VK)
G161-033	5.00	0.000	4292	1.540	1.110	3.670	4.200	4.407	—	—	—	—	(BV),(VK)
G161-082	4.50	-1.380	3289	0.590	-0.075	1.383	1.708	1.724	—	—	—	—	(VK)
G162-098	4.50	-0.870	3398	0.670	0.030	1.365	1.735	1.746	0.425	0.202	0.206	2.361	(VK)
G164-067	4.50	0.000	3594	0.720	0.330	1.329	1.620	1.650	—	—	—	—	(VK)
G165-039	4.50	-2.410	6282	0.380	-0.190	0.985	1.225	1.202	0.309	0.056	0.359	2.602	(VK)
G166-045	4.50	-2.330	6037	0.430	-0.249	1.080	1.345	1.338	0.336	0.030	0.280	2.610	(VK)
G167-011	4.50	-0.140	4637	0.930	0.660	1.645	2.405	2.390	—	—	—	—	(VK)
G168-042	4.50	-1.460	5039	0.700	0.071	1.514	1.949	1.999	0.471	0.167	0.186	2.541	(VK)
G170-036	4.50	-1.230	3932	0.500	-0.130	1.087	1.367	1.398	0.348	0.091	0.321	2.583	(VK)
G171-039	5.00	0.000	3911	1.480	1.280	3.267	3.877	4.031	—	—	—	—	(VK)
G175-034	5.00	0.000	4244	1.630	1.210	4.370	5.020	5.232	—	—	—	—	(BV),(VK)
G176-033	4.50	-1.540	3583	0.530	-0.130	1.283	1.580	1.587	0.397	0.100	0.180	2.568	(VK)
G178-030	4.50	0.000	4823	0.880	0.330	1.900	2.220	2.367	—	—	—	—	(VK)
G178-043	4.50	-2.640	3859	0.490	-0.230	1.135	1.445	1.499	—	—	—	—	(VK)
G180-034	4.50	-1.670	6059	0.500	-0.190	1.034	1.312	1.333	0.340	0.071	0.271	2.582	(VK)
G180-038	4.50	-2.320	5166	0.700	-0.030	1.475	1.845	1.909	0.468	0.072	0.104	2.527	(VK)
G181-045	4.50	-0.940	5258	0.675	0.081	1.420	1.825	1.846	0.433	0.175	0.228	—	(VK)
G181-046	4.50	-0.780	5334	0.730	0.131	1.410	1.740	1.766	—	—	—	—	(VK)
G181-047	4.50	-0.690	5794	0.590	-0.070	1.133	1.447	1.467	0.286	0.146	0.316	2.583	(VK)
G182-007	4.50	-0.190	5175	0.790	0.305	1.485	1.898	1.937	—	—	—	—	(VK)
G182-019	4.50	-0.770	5771	0.630	-0.010	1.180	1.465	1.464	0.382	0.144	0.295	2.577	(VK)
G183-013	4.50	-2.030	6441	0.440	-0.190	0.870	1.133	1.160	0.319	0.030	0.310	2.602	(BV)
G184-004	4.50	-0.400	5096	0.630	0.133	1.638	1.969	2.005	—	—	—	—	(VK)
G184-020	4.50	-2.110	5593	0.480	-0.197	1.268	1.599	1.588	0.403	0.073	0.170	2.551	(BV)
G186-026	4.50	-3.400	6428	0.385	-0.229	0.990	1.160	1.177	0.306	0.041	0.339	2.608	(VK)

Tabela A5 (continuaco)

ID	log(g)	[Fe/H]	T_{eff}	(B-V)	(U-B)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	(b-y)	m_z	α	β	Comentarios
G187-009	5.00	0.000	6260	1.70	—	3.580	4.130	4.350	—	—	—	—	(BV)(VR)
G188-019	4.50	-0.050	6150	0.520	0.094	1.005	1.229	1.236	0.374	0.186	0.387	—	(bv)
G188-030	4.50	-1.990	5264	0.670	-0.009	1.430	1.790	1.841	0.464	0.111	0.130	2.523	
G190-015	5.00	-1.000	5115	0.650	-0.129	1.520	1.885	1.942	0.478	0.091	0.078	2.551	
G190-034	4.50	-0.010	5216	0.800	0.280	1.407	1.775	1.803	0.470	0.216	0.365	2.566	
G197-043	4.50	-1.560	6085	0.430	-0.180	1.050	1.283	1.285	0.372	0.078	0.304	2.614	
G194-022	4.50	-1.660	5967	0.480	-0.120	1.115	1.355	1.353	0.342	0.072	0.244	2.586	
G193-034	4.50	-1.750	5995	0.475	-0.190	1.075	1.280	1.318	0.346	0.097	0.244	2.575	(VR)
G193-036	5.00	0.000	6169	1.330	—	4.155	4.727	4.993	—	—	—	—	(BV)(VR)
G196-047	4.50	-1.640	5461	0.605	-0.105	1.254	1.675	1.746	0.410	0.106	0.152	2.570	(VR)
G196-051	5.00	0.000	6117	1.548	1.094	3.476	4.031	4.347	—	—	—	—	(BV)(VR)
G197-008	4.00	-0.290	5645	0.650	0.070	1.207	1.559	1.579	—	—	—	—	
G201-005	4.50	-1.640	6228	0.410	-0.130	0.962	1.210	1.210	—	—	—	—	
G206-034	5.00	-1.100	6191	0.380	-0.312	0.952	1.245	1.214	0.340	0.029	0.291	2.617	(VR)
G208-029	4.00	0.000	6559	0.460	0.020	0.857	1.030	1.026	—	—	—	—	
G209-041	5.00	0.000	5468	1.530	—	3.420	4.020	4.222	—	—	—	—	(BV)(VR)
G210-046	4.00	0.090	5870	0.570	0.050	1.110	1.403	1.419	0.354	0.183	0.309	—	
G214-001	4.50	-2.060	5792	0.495	-0.227	1.153	1.476	1.511	0.426	0.060	0.175	—	(bv)
G216-037	5.00	0.000	6240	1.450	—	3.010	3.665	3.855	—	—	—	—	(VR)
G217-007	5.00	0.000	5680	1.490	—	3.220	3.870	4.070	0.306	0.170	0.134	2.503	(BV)(bv)
G217-008	4.50	-1.910	6134	0.440	-0.219	0.850	1.200	1.308	0.520	0.064	0.256	2.618	
G218-017	5.00	0.000	5947	1.390	—	2.830	3.410	3.580	—	—	—	—	
G227-007	4.00	0.270	5835	0.560	0.030	1.130	1.420	1.434	0.352	0.192	0.322	—	(BV)(VR)
G243-010	5.00	0.000	6104	1.060	—	3.140	4.130	4.306	—	—	—	—	(BV)(VR)
G243-032	5.00	0.000	6212	1.500	1.210	2.340	2.870	3.043	0.345	0.485	0.159	2.490	(BV)(bv)
H022592	4.50	0.000	4935	1.500	—	2.535	2.697	2.609	—	—	—	—	(BV)
H045281	4.50	0.000	4944	—	—	1.200	1.650	1.490	0.328	0.333	0.136	2.419	(VR)(bv)
H094628	4.50	-1.500	6001	0.460	-0.210	1.067	1.358	1.506	0.343	0.078	0.251	2.586	
H0103035	4.50	-1.350	5029	0.750	0.170	1.563	1.980	2.019	0.484	0.219	0.167	2.526	
H0105755	3.70	-1.080	5806	—	—	1.155	1.445	1.454	0.384	0.127	0.297	2.572	
H0107906	4.00	0.000	5205	0.830	—	1.485	1.855	1.876	—	—	—	—	
H0108177	4.50	-1.620	6034	0.430	-0.220	1.073	1.327	1.315	0.320	0.059	0.287	2.594	
H0111721	2.50	-1.570	4884	0.790	0.141	1.645	2.105	2.140	0.511	0.177	0.296	2.540	(bv)
H0113080	4.20	-1.120	5624	0.520	-0.147	1.228	1.556	1.570	0.386	0.095	0.326	2.579	
H0112758	4.50	-0.290	5156	0.780	0.350	1.523	1.940	1.972	0.475	0.204	0.267	2.553	
H0114762	4.10	-0.800	5884	0.540	-0.050	1.120	1.297	1.269	0.266	0.123	0.300	2.587	
H0118100	4.50	-0.070	4179	1.200	1.040	2.420	2.995	3.079	—	—	—	—	
H0229681	4.50	-1.980	5541	0.590	-0.120	1.290	1.615	1.635	0.400	0.126	0.206	2.553	
H0228959	4.50	-0.880	4763	0.510	-0.044	1.142	1.482	1.488	0.412	0.130	0.263	2.593	
H032142	4.80	-0.350	5098	0.780	0.380	1.536	1.941	1.978	0.477	0.309	0.278	2.552	

Tabla A5 (continuación)

ID	log(g)	[Fe/H]	T_{eff}	(B-V)	(U-B)	(V-J)	(V-I)	(V-H)	(V-K)	(b-y)	m_c	c_0	β	Comentarios
HD132475	4.00	-1.330	5788	0.490	-0.171	1.340	1.479	1.683	0.401	0.083	0.285	2.578	—	
HD132850	4.50	-0.070	4620	1.050	0.500	1.850	2.460	2.515	—	—	—	—	—	
HD134169	3.80	-1.150	5870	0.150	-0.070	1.113	1.417	1.626	0.376	0.124	0.205	2.682	—	
HD134430	4.50	-1.520	4974	0.755	0.180	1.600	2.020	2.070	0.484	0.224	0.165	2.528	—	
HD134440	4.50	-1.570	4746	0.850	0.340	1.727	2.203	2.277	0.524	0.297	0.173	2.533	—	
HD140283	3.70	-2.370	5691	0.490	-0.190	1.220	1.530	1.535	0.380	0.033	0.284	2.664	—	
HD142921	4.50	0.000	5154	0.870	—	1.545	1.870	1.942	0.501	0.092	0.457	—	—	
HD152156	4.50	0.000	4992	0.910	—	1.732	2.042	2.128	0.504	0.084	0.446	—	—	
HD153147	4.50	0.000	6215	0.500	—	0.989	1.238	1.190	0.480	0.124	0.460	2.630	—	
HD154263	4.50	0.000	4314	1.100	1.050	2.275	2.870	2.958	0.677	0.634	0.169	2.486	—	
HD156026	4.70	-0.230	4343	1.120	0.960	2.160	2.725	2.802	0.667	0.635	0.128	—	—	
HD157089	4.10	-0.580	5692	0.570	-0.010	1.235	1.520	1.524	0.379	0.139	0.236	2.579	—	
HD157861	4.50	0.400	4065	1.260	1.270	2.625	3.240	3.315	0.783	0.747	0.044	2.500	—	
HD160031	3.85	-2.090	6114	0.440	-0.220	1.050	1.305	1.278	0.324	0.082	0.304	2.604	—	
HD161270	4.50	-2.290	5143	0.590	-0.144	1.302	1.667	1.686	0.489	0.036	0.301	2.568	—	
HD162810	4.50	-1.500	5493	0.580	-0.107	1.279	1.632	1.630	0.423	0.114	0.199	2.534	—	
HD171620	4.50	-0.650	6109	0.500	-0.140	1.023	1.267	1.270	0.339	0.129	0.244	2.607	—	
HD179626	4.50	-1.210	5397	0.510	-0.110	1.080	1.465	1.515	0.273	0.095	0.203	2.586	—	
HD184499	4.00	-0.690	5750	0.580	-0.010	1.178	1.476	1.489	0.389	0.144	0.315	2.576	—	
HD186262	4.50	0.000	4850	—	—	1.725	2.192	2.279	0.589	0.138	0.444	2.620	—	
HD186510	3.80	-1.800	5564	0.580	-0.110	1.255	1.615	1.615	0.416	0.100	0.163	2.523	—	
HD189358	4.00	-1.300	5693	0.570	-0.100	1.190	1.550	1.560	0.386	0.111	0.284	2.574	—	
HD190404	4.50	-0.190	5001	0.810	0.400	1.090	2.070	2.103	0.495	0.218	0.255	2.539	—	
HD194445	4.25	-2.150	6050	0.490	-0.240	1.070	1.325	1.328	0.362	0.051	0.203	2.583	—	
HD194596	4.10	-1.370	6017	0.480	-0.200	1.090	1.325	1.326	0.344	0.091	0.209	2.586	—	
HD201889	4.00	-1.100	5633	0.590	-0.035	1.217	1.530	1.580	0.393	0.143	0.277	2.675	—	
HD201891	4.50	-1.220	5909	0.510	-0.155	1.105	1.390	1.394	0.363	0.094	0.261	2.586	—	
HD210295	1.50	-1.400	4746	0.790	0.326	1.729	2.242	2.271	0.551	0.270	0.323	2.627	—	
HD211476	4.50	0.030	5892	0.600	0.070	1.115	1.410	1.424	0.371	0.195	0.232	2.604	—	
HD21543	4.50	-0.530	5568	0.620	0.020	1.275	1.590	1.593	0.396	0.167	0.284	2.678	—	
HD216777	4.50	-0.420	5392	0.640	0.080	1.250	1.580	1.590	0.411	0.191	0.278	2.674	—	
HD219617	5.00	-1.850	6012	0.490	-0.225	1.105	1.315	1.353	0.349	0.072	0.243	2.584	—	
HD224817	4.50	-0.500	5859	0.550	-0.080	1.105	1.420	1.429	0.370	0.143	0.207	2.583	—	
HD227658	5.00	-0.870	5611	0.810	0.350	1.580	2.080	2.100	—	—	—	—	—	(VK)
HD22879	4.50	-0.710	5798	0.540	-0.120	1.190	1.450	1.449	0.370	0.115	0.277	2.583	—	
HD229274	4.50	-2.460	5414	0.630	0.130	1.315	1.720	1.736	0.439	0.093	0.461	2.551	—	
HD24289	4.50	-2.070	5896	0.420	-0.234	1.102	1.452	1.463	0.388	0.049	0.288	2.582	—	
HD215379	4.50	-1.640	4842	0.780	0.313	1.061	2.124	2.159	0.553	0.307	0.131	2.524	—	
HD215532	2.20	-1.100	5388	0.590	0.033	1.363	1.722	1.723	0.475	0.092	0.309	2.609	—	
HD26	2.50	-0.590	4851	1.040	0.510	1.090	2.115	2.198	0.631	0.410	-0.010	2.546	—	

(β) subgigante

(β)

(β)

(by)

gigante
gigante

Tabla A5 (continuación)

ID	log(g)	[Fe/H]	T_{eff}	(B-V)	(U-B)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	(b-y)	m_{e}	c_{e}	β	Comentarios
HD96797	1.20	-1.020	4317	1.120	—	2.120	2.770	2.817	0.700	0.309	0.501	2.503	(BV)(VR)
HD95965	4.21	-0.170	5040	0.820	0.450	1.580	2.010	2.042	0.487	0.229	0.314	2.543	(BV)(VR)
HD338629	4.50	-1.580	6310	0.391	-0.220	0.961	1.219	1.213	0.308	0.045	0.366	2.600	
HD4306	2.20	-1.780	4806	0.730	0.050	1.640	2.110	2.143	0.518	0.052	0.348	2.579	
HD48007	2.25	-1.700	6657	0.860	0.220	1.800	2.295	2.349	0.511	0.142	0.397	—	
HD45382	5.00	-1.040	5193	0.690	0.020	1.465	1.870	1.887	0.451	0.308	0.277	2.544	
HD65583	4.45	-0.600	5242	0.710	0.100	1.445	1.835	1.851	0.448	0.233	0.220	2.548	
HD6755	2.80	-1.220	5217	0.620	-0.014	1.436	1.887	1.896	0.466	0.118	0.281	2.541	
HD83709	4.00	-2.660	6678	0.375	0.061	0.875	1.025	1.011	0.297	0.002	0.353	2.613	(VR)(J?)
HD87140	4.50	-1.680	5720	0.600	-0.064	1.432	1.842	1.848	0.479	0.116	0.278	2.539	
HD96725	4.50	-0.780	5669	0.600	-0.010	1.213	1.533	1.529	0.398	0.156	0.275	2.577	
HD96726	4.80	-0.200	3828	1.510	1.120	2.295	3.928	4.123	0.979	0.420	0.170	2.554	(VR)(J?)
HD97916	4.00	-1.220	6293	0.410	-0.110	0.920	1.128	1.115	0.293	0.104	0.407	2.628	
HR0159	4.00	-0.160	5255	0.720	0.240	1.490	1.790	1.801	0.438	0.251	0.290	2.579	
HR0331	4.00	-0.670	5215	0.690	0.080	1.400	1.780	1.804	0.437	0.197	0.223	2.548	
HR04631	4.00	-0.200	5172	0.840	0.490	1.510	1.890	1.922	0.492	0.264	0.294	2.588	(J)
HR0469	4.00	-0.460	5288	0.720	0.210	1.290	1.720	1.771	0.447	0.248	0.247	2.582	
HR0660	4.00	-0.330	5591	0.610	0.020	1.252	1.580	1.605	0.266	0.191	0.254	2.586	
HR0753	4.50	-0.080	4718	0.980	0.810	1.835	2.245	2.286	0.560	0.315	0.281	2.532	
HR1536	4.00	0.130	5822	0.620	0.200	1.150	1.435	1.439	0.265	0.216	0.409	2.615	
HR1925	4.00	-0.200	5185	0.840	0.510	1.512	1.875	1.919	0.501	0.266	0.313	—	
HR2330	4.50	-0.880	6679	0.320	-0.121	0.795	0.989	0.975	0.212	0.027	0.326	2.622	(Bp)(J)
HR2883	4.50	-0.960	5926	0.540	-0.080	1.103	1.273	1.282	0.355	0.174	0.335	2.595	
HR3176	4.50	-0.230	5794	0.630	0.210	1.173	1.447	1.458	0.406	0.207	0.406	2.621	
HR3262	4.00	-0.300	6242	0.470	-0.060	0.975	1.200	1.192	0.314	0.146	0.384	2.634	
HR3578	4.50	-1.050	5727	0.530	0.080	1.208	1.483	1.487	0.359	0.120	0.293	2.578	
HR3750	4.00	-0.210	5611	0.640	0.120	1.255	1.565	1.580	—	—	—	—	
HR3775	4.00	-0.010	6238	0.490	0.020	0.915	1.145	1.157	0.314	0.153	0.463	2.646	
HR4039	4.00	-0.190	6032	0.500	-0.050	1.065	1.313	1.313	0.326	0.140	0.352	2.616	
HR4098	4.00	-0.230	5715	0.690	0.050	1.200	1.502	1.521	0.297	0.177	0.291	2.579	
HR4421	4.50	-0.610	6834	0.260	-0.050	0.820	1.000	0.986	0.268	0.124	0.494	2.655	
HR4401	4.50	-0.820	6295	0.430	-0.070	0.970	1.190	1.177	0.310	0.125	0.400	2.623	
HR4533	4.00	0.120	6211	0.520	0.080	0.950	1.183	1.154	0.272	0.181	0.437	2.643	
HR4440	4.00	0.210	6095	0.550	0.110	1.043	1.285	1.273	0.364	0.187	0.414	2.628	
HR4450	4.50	-1.430	5096	0.750	0.170	1.880	1.997	2.029	0.464	0.219	0.167	2.526	
HR4623	4.00	-0.600	7003	0.520	-0.020	0.883	0.825	0.810	0.216	0.157	0.586	2.706	
HR4657	4.50	-0.780	6208	0.460	-0.130	0.883	1.220	1.218	0.318	0.110	0.333	2.606	
HR4698	4.00	0.280	6343	0.500	—	0.922	1.132	1.137	0.335	0.191	0.433	2.640	(BV)
HR4699	4.00	0.110	6170	0.020	0.090	0.180	0.130	0.081	0.016	0.103	1.133	2.863	(BV)(VR)(J)(J?)
HR5284	4.50	0.000	2619	0.630	-0.200	1.243	1.559	1.570	0.493	0.197	0.272	2.589	

Tabla A5 (continuación)

ID	log(g)	[Fe/H]	T_{eff}	(B-V)	(U-B)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	(b-y)	m_e	c_e	β	Comentarios
HR5435	4.00	-0.290	6349	0.460	-0.030	0.938	1.340	1.127	0.308	0.150	0.430	2.634	
HR5534	4.00	0.200	9019	0.560	—	1.090	1.370	1.328	0.374	0.190	0.318	2.692	
HR5668	4.50	0.010	4605	1.110	1.060	1.975	2.480	2.561	0.679	0.634	0.194	2.523	
HR5634	4.00	0.050	6571	0.430	-0.020	0.838	1.025	1.021	0.285	0.165	0.449	2.696	
HR5758	4.00	0.010	9631	0.370	-0.030	0.750	0.900	0.891	0.258	0.156	0.512	2.694	
HR6830	4.00	-0.130	6782	0.360	-0.020	0.753	0.923	0.923	—	—	—	—	
HR5914	4.00	-0.370	5774	0.560	0.000	1.172	1.466	1.479	0.380	0.153	0.325	2.601	
HR6968	4.00	-0.170	5777	0.600	0.080	1.106	1.465	1.483	0.394	0.183	0.322	2.593	
HR5965	4.00	0.230	6156	0.520	0.100	1.006	1.276	1.252	0.354	0.174	0.460	2.639	
HR6136	5.00	0.000	3860	1.230	1.240	2.650	3.340	3.471	—	—	—	—	
HR6189	4.00	-0.630	6036	0.480	-0.070	1.047	1.310	1.321	0.322	0.127	0.400	2.613	
HR6228	4.50	0.000	4394	1.230	1.940	2.070	2.780	2.928	—	—	—	—	
HR6656	4.00	0.000	7913	0.150	0.190	0.333	0.407	0.380	0.093	0.108	1.039	2.832	(by)(β)
HR6628	4.00	0.000	8794	-0.040	-0.290	0.130	0.109	0.030	—	—	—	—	(BV)(VK)
HR6732	4.50	-0.170	4878	0.860	0.540	1.630	2.070	2.128	—	—	—	—	
HR6806	4.50	-0.250	4947	0.670	0.590	1.670	2.106	2.144	0.523	0.412	0.332	—	
HR6844	4.00	0.170	7038	0.310	0.030	0.663	0.803	0.780	0.201	0.162	0.683	2.737	(by)
HR7290	4.00	0.000	5603	0.790	0.270	1.237	1.562	1.588	0.433	0.150	0.380	2.588	
HR7379	4.00	0.410	5318	0.770	0.430	1.323	1.615	1.630	0.472	0.264	0.430	2.597	
HR7396	4.00	0.240	6062	0.510	-0.030	1.090	1.382	1.378	0.344	0.151	0.365	2.612	
HR7670	4.00	0.260	5372	0.730	0.570	1.260	1.600	1.620	0.462	0.172	0.383	2.583	
HR8085	4.50	-0.050	4323	1.180	1.110	2.168	2.775	2.837	0.672	0.693	0.137	2.496	
HR8096	5.00	-0.180	3865	1.370	1.290	2.560	3.193	3.330	0.815	0.640	0.087	2.431	(VK)
HR8455	4.50	-0.330	5304	0.700	0.170	1.372	1.830	1.739	0.462	0.199	0.394	2.545	
HR8641	4.00	0.000	8092	0.090	-0.340	0.306	0.338	0.306	0.116	0.031	0.612	2.696	(BV)(VK)(β)
LTT6059	4.00	0.000	5366	—	—	1.210	1.630	1.670	—	—	—	—	
LTT6079	4.50	-1.890	5639	—	—	1.245	1.563	1.545	0.388	0.099	0.114	2.563	
SB501	4.50	-1.710	5312	—	—	1.061	1.225	1.232	0.330	0.094	0.346	2.625	(VK)(by)(β)
W5058	4.50	-1.130	5400	—	—	1.390	1.700	1.710	0.410	0.175	0.161	2.545	
W6296	4.50	-2.970	6138	0.420	-0.200	1.033	1.297	1.308	0.330	0.040	0.348	2.591	
W6296	4.50	-1.650	5457	0.650	-0.100	1.327	1.657	1.693	0.435	0.096	0.183	2.516	
HD33667	4.50	-1.340	5838	0.465	0.185	1.170	1.410	1.394	—	—	—	—	
HD21543	4.50	-0.550	5368	0.620	0.070	1.273	1.590	1.593	0.388	0.167	0.284	2.578	
HD74000	4.50	-2.090	6224	0.430	-0.340	0.985	1.233	1.244	0.311	0.097	0.295	2.596	
HD+23 3912	4.50	-1.450	5788	0.510	-0.160	1.120	1.490	1.500	0.372	0.078	0.289	2.576	
BD-17 484	4.50	-2.030	6234	0.460	-0.160	0.970	1.230	1.258	0.331	0.090	0.331	2.605	
HD13403	4.00	-0.390	5583	0.650	0.110	1.333	1.598	1.616	0.433	0.189	0.330	2.577	
HD13783	4.00	-0.530	5501	0.670	0.100	1.293	1.649	1.666	—	—	—	—	
HD101177	4.00	-0.130	5483	0.570	0.020	1.282	1.677	1.707	0.371	0.182	0.310	—	(by)

Tabla A5 (continuación)

ID	$\log(g)$	[Fe/H]	T_{eff}	(B-V)	(U-B)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	(b-y)	m_x	c_x	β	Comentarios
HD128167	4.00	-0.510	6707	0.370	-0.080	0.777	0.970	0.950	0.213	0.132	0.488	2.681	
HD182572	4.00	0.240	5384	0.270	0.420	1.262	1.580	1.616	0.472	0.284	0.410	2.597	
HD6307	4.00	-0.130	5733	0.600	0.090	1.164	1.471	1.505	0.387	0.185	0.347	2.602	
HD6755	4.00	-1.710	5008	0.720	0.070	1.506	1.976	2.029	0.486	0.116	0.280	2.542	
HD7424	4.00	-0.280	5585	0.725	0.025	1.243	1.588	1.626	0.423	0.195	0.338	2.580	
BD+72 94	4.50	-2.540	5603	0.380	-0.210	1.325	1.563	1.584	0.389	0.087	0.583	—	(BV), (by)
BD-1 306	4.50	-0.820	5754	0.570	-0.075	1.174	1.475	1.505	0.276	0.132	0.234	2.576	
BD+9 382	4.50	-1.680	5932	0.440	-0.250	1.110	1.372	1.399	0.343	0.070	0.240	2.609	
BD+11 668	4.50	-1.800	5636	0.540	-0.160	1.244	1.550	1.575	0.285	0.087	0.158	2.560	
BD+65 206	4.50	-2.940	5279	0.660	-0.100	1.426	1.791	1.825	0.431	0.090	0.119	2.583	
BD+21 607	4.50	-1.880	6106	0.450	-0.200	1.035	1.282	1.308	0.323	0.073	0.277	2.597	
BD+3 740	4.50	-2.550	6151	0.260	-0.200	1.035	1.288	1.293	0.212	0.065	0.354	2.617	
BD+12 853	4.50	-1.570	5241	0.650	-0.020	1.432	1.807	1.808	—	—	—	—	
BD+24 1676	4.50	-1.960	6154	0.350	-0.229	1.036	1.264	1.262	0.298	0.070	0.355	2.591	
HD60208	4.00	-0.080	5781	0.555	0.105	1.174	1.461	1.464	0.400	0.199	0.339	2.586	
BD+80 245	4.50	-1.730	5308	0.500	-0.170	1.413	1.759	1.777	0.402	0.082	0.234	—	bisecta
HD68017	4.00	-0.420	5512	0.680	0.120	1.303	1.629	1.666	0.419	0.201	0.271	2.567	
BD+54 1216	4.50	-1.530	6034	0.480	-0.190	1.066	1.328	1.318	0.336	0.078	0.256	—	
HD70956	4.00	-0.410	6275	0.460	-0.090	0.966	1.174	1.181	0.211	0.138	0.309	2.627	
HD60218	4.00	-0.290	6087	0.470	-0.080	1.046	1.274	1.282	0.336	0.142	0.289	2.616	
BD+44 1910	4.50	-2.400	6063	0.420	-0.200	1.065	1.333	1.333	0.325	0.052	0.245	—	
BD+29 2091	4.50	-2.710	5820	0.500	-0.220	1.174	1.461	1.484	0.277	0.064	0.133	2.566	
BD+36 2165	4.50	-1.370	6173	0.430	-0.200	1.006	1.238	1.252	0.214	0.087	0.214	2.600	
BD+51 1696	4.50	-1.650	5616	0.550	-0.150	1.249	1.560	1.586	0.403	0.092	0.178	2.568	
HD107760	4.00	-0.280	5323	0.720	0.251	1.292	1.777	1.818	0.463	0.252	0.273	2.580	
HD108177	4.50	-1.980	6097	0.420	-0.225	1.025	1.303	1.303	0.229	0.062	0.286	2.594	
HD108754	4.00	-0.500	5338	0.705	0.135	1.282	1.738	1.797	0.435	0.217	0.254	2.545	
BD+28 2137	5.00	-3.000	6108	0.400	-0.240	1.045	1.342	1.353	0.328	0.040	0.258	2.604	
BD+73 566	4.50	-0.970	5647	0.600	-0.080	1.224	1.550	1.555	0.389	0.200	0.149	—	
BD+34 2476	4.50	-2.200	6278	0.295	-0.205	0.976	1.224	1.212	0.207	0.059	0.283	2.602	
HD123710	4.50	-1.230	5768	0.390	-0.070	1.175	1.461	1.474	—	—	—	—	
BD+28 2696	4.50	-2.540	6034	0.425	-0.220	1.085	1.333	1.333	0.323	0.056	0.289	2.611	
BD-16 418	4.50	0.000	4917	0.820	0.160	1.680	2.132	2.211	—	—	—	—	
HD144061	4.50	-0.780	5355	0.650	0.050	1.263	1.609	1.626	—	—	—	—	
BD+42 2967	4.50	-1.620	6077	0.460	-0.200	1.055	1.332	1.343	0.338	0.073	0.289	2.582	
HD144315	4.50	-0.610	4667	0.280	0.280	1.669	2.152	2.232	—	—	—	—	
BD-6 4455	4.50	-1.790	5394	0.800	0.220	1.362	1.727	1.767	—	—	—	—	(BV)
BD+2 3275	4.50	-2.540	5881	0.450	-0.240	1.145	1.431	1.444	0.336	0.047	0.251	2.574	
BD-8 4501	4.50	-1.850	5238	0.375	-0.125	1.452	1.788	1.838	0.412	0.032	0.274	2.587	(J)
BD+20 2983	4.50	-2.200	6296	0.420	-0.194	0.915	1.172	1.182	0.220	0.058	0.359	2.602	bisecta

Table A3 (continuation)

ID	log(g)	[Fe/H]	T_{eff}	(B-V)	(U-B)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	(b-y)	m_e	c_p	β	Comments
HD+20 3876	4.00	-0.450	5531	0.643	0.080	1.294	1.620	1.626	—	—	—	—	(VK)
HD161907	4.50	-2.270	4582	0.790	0.180	1.744	2.228	2.287	—	—	—	—	(VK)
HD+41 3306	4.50	-0.510	6984	0.810	0.350	1.610	2.034	2.120	0.491	0.303	0.270	2.540	(VK)
HD192901	4.50	-1.130	5750	0.550	-0.150	1.164	1.490	1.505	0.280	0.103	0.217	2.571	(VK)
BD+4 4511	4.50	-1.800	5819	0.510	-0.170	1.144	1.445	1.475	0.261	0.076	0.272	2.581	(VK)
BD+4 6974	4.50	-0.900	5771	0.370	-0.050	1.143	1.480	1.495	0.378	0.131	0.311	2.580	(VK)
BD+7 4841	4.50	-1.560	5976	0.460	-0.160	1.054	1.261	1.274	0.246	0.073	0.286	2.581	(VK)
BD+38 4955	5.00	-3.620	5174	0.650	-0.150	1.461	1.806	1.919	0.478	0.063	0.083	2.548	(VK)
BD+2 4651	4.50	-2.160	6027	0.430	-0.210	1.073	1.242	1.253	0.329	0.059	0.232	2.590	(VK)
BD+59 2723	4.50	-2.270	5936	0.440	-0.220	1.105	1.401	1.404	0.330	0.094	0.236	2.618	(J)
HD221950	4.50	-0.700	6531	0.440	-0.100	0.915	1.173	1.172	0.205	0.171	0.288	2.635	(J)
HD222588	4.00	0.020	5174	0.780	0.400	1.481	1.915	1.949	—	—	—	—	(J)
LT7437	4.00	0.000	5918	0.510	—	1.060	1.402	1.436	0.484	—	—	—	(J)
BD+71 31	4.50	-1.910	6026	0.370	-0.170	1.096	1.334	1.322	0.269	0.040	0.260	2.590	(J)
HD116095	4.50	-1.380	4541	0.940	0.360	1.788	2.350	2.413	0.263	—	—	2.540	(J)
VB 17	4.50	0.100	5561	0.700	0.240	1.304	1.561	1.625	—	—	—	—	(J)
VA 60	4.50	0.100	5749	0.640	0.170	1.215	1.463	1.484	—	—	—	—	(J)
VA 79	4.00	0.100	6736	0.400	0.020	0.798	0.937	0.929	0.259	0.175	0.534	—	(J)
VA 215	4.00	0.100	6681	0.410	0.000	0.818	0.967	0.949	0.287	0.167	0.482	—	(J)
VA 49	4.50	0.100	5868	0.390	0.120	1.156	1.293	1.403	—	—	—	—	(J)
VA 315	4.00	0.100	6498	0.460	0.000	0.887	1.036	1.050	0.294	0.164	0.458	—	(J)
VA 548	5.00	0.100	4498	1.150	1.080	2.158	2.651	2.765	—	—	—	—	(J)
VA 660	4.50	0.100	5180	0.860	0.380	1.525	1.878	1.918	—	—	—	—	(J)
VA 623	4.00	0.100	6091	0.540	0.090	1.056	1.264	1.272	0.342	0.194	0.296	—	(J)
VA 692	4.50	0.100	5494	0.740	0.340	1.225	1.639	1.696	—	—	—	—	(J)
VA 712	5.00	0.100	5102	0.880	0.620	1.561	1.936	2.009	—	—	—	—	(J)
VA 747	5.00	0.100	5609	0.910	0.680	1.631	2.045	2.110	—	—	—	—	(J)
VA 748	4.50	0.100	5816	0.630	0.150	1.170	1.437	1.444	—	—	—	—	(J)
VA 778	5.00	0.100	5140	0.850	0.600	1.542	1.917	1.969	—	—	—	—	(J)
HD223023	4.00	0.000	7117	0.180	0.090	0.461	0.564	0.736	—	—	—	—	(BV)
HD19107	4.00	0.000	5469	0.620	0.090	1.315	1.690	1.690	0.412	0.169	0.312	2.592	(VK)
HD11650	4.00	0.000	8425	—	—	0.189	0.202	0.176	—	—	—	—	(VK)
HD66	4.00	0.000	4101	0.370	—	2.826	3.165	3.196	0.260	0.140	0.310	2.608	(BV)(VK)(J)
HR72	4.00	0.200	5683	0.680	0.290	1.201	1.508	1.536	0.419	0.243	0.656	2.597	(VK)
HR3029	4.00	0.000	7992	0.270	0.080	0.637	0.770	0.653	—	—	—	—	(VK)
HR509	4.00	-0.500	5317	0.720	0.210	1.268	1.773	1.805	0.447	0.246	0.247	2.582	(VK)
HR654	4.00	0.000	6386	0.410	—	0.891	1.116	1.118	0.295	0.145	0.406	2.632	(VK)
HR660	4.50	-0.200	5569	0.610	0.002	1.263	1.592	1.613	0.286	0.191	0.254	2.566	(VK)
HR2324	4.00	0.000	8404	0.080	1.090	0.178	0.185	0.163	0.032	0.182	1.028	2.880	(BV)(VK)(J)
HR2383	4.00	0.000	8625	0.020	0.130	0.053	0.070	0.038	0.027	0.174	1.063	2.899	(BV)(VK)(J)

Table A5 (continued)

ID	$\log(g)$	[Fe/H]	T_{eff}	(B-V)	(U-B)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	(b _y)	m_z	ξ_z	β	Comments
HR2302	4.00	0.000	6034	-0.019	-0.620	-0.022	-0.030	-0.078	-0.017	0.125	1.043	2.824	(BV) ₁ (VR) ₁ (β)
HR2664	4.00	0.000	5727	0.600	0.060	1.191	1.485	1.489	0.378	0.202	0.218	2.622	(BV) ₁ (VR) ₁ (β)
HR2672	4.00	0.000	8783	-0.190	-0.880	0.098	0.085	0.043	—	—	—	—	(BV) ₁ (VR)
HR4030	4.00	-0.030	5692	0.670	—	1.230	1.523	1.463	0.413	0.216	0.273	2.596	(VR)
HR4039	4.50	-0.190	6028	0.500	-0.050	1.096	1.313	1.312	0.306	0.140	0.352	2.616	(BV)
HD104556	4.00	0.000	4370	0.830	0.480	1.658	2.132	2.642	0.538	0.290	0.369	2.547	(BV) ₁ (VR) ₁ (β)
HD106236	4.00	0.000	7019	—	—	0.742	0.905	0.813	0.254	0.173	0.639	—	(BV)
HD106674	4.00	0.000	4442	—	—	1.261	1.696	2.761	—	—	—	—	(BV)
HD105601	4.00	0.000	7481	0.300	0.100	0.568	0.670	0.566	0.179	0.218	0.775	2.770	(β)
HD108263	4.00	0.000	7441	0.200	0.180	0.561	0.592	0.561	—	—	—	—	(BV)
HD107906	4.00	0.000	4644	0.790	0.260	1.486	1.863	2.449	—	—	—	—	(BV)
HR4983	4.50	0.100	5964	0.570	0.070	1.096	1.345	1.345	0.370	0.191	0.337	2.609	(BV)
HD129633	4.00	0.000	7977	-0.400	—	0.733	0.775	0.544	—	—	—	—	(BV) ₁ (VR)
HR3901	4.00	0.000	4811	1.000	0.870	1.735	2.230	2.289	—	—	—	—	(BV)
HR3914	4.30	-0.450	5752	0.500	0.000	1.182	1.473	1.466	0.380	0.153	0.325	2.601	(BV)
HR3968	4.00	-0.170	5755	0.600	0.080	1.169	1.470	1.492	0.394	0.183	0.322	2.593	(VR)
HR3986	4.00	0.230	6148	0.520	0.190	1.004	1.277	1.244	0.354	0.174	0.480	2.639	(BV)
HR6299	4.00	0.000	5335	0.680	0.430	1.286	1.605	1.639	—	—	—	—	(BV)
HR6538	4.00	0.000	5770	0.650	0.170	1.178	1.454	1.470	0.484	0.219	0.364	2.595	(BV) ₁ (β)
HR161903	4.00	0.000	7321	0.690	—	0.600	0.710	0.558	0.174	0.188	0.680	2.822	(BV) ₁ (β)
HR162208	4.00	0.000	7953	0.200	—	0.400	0.497	0.359	—	—	—	—	(VR)
HR6847	4.00	0.000	5781	0.620	—	1.158	1.452	1.468	0.410	0.206	0.340	2.597	(VR)
HR7286	4.00	0.000	8726	-0.100	-0.260	-0.117	-0.146	-0.013	-0.040	0.115	0.862	2.806	(BV)
HR7290	4.00	0.000	5621	0.700	0.270	1.232	1.549	1.581	0.435	0.250	0.389	2.588	(BV)
HR7603	4.30	0.140	5763	0.640	0.190	1.166	1.463	1.487	0.410	0.214	0.375	2.608	(BV)
HR7504	4.50	0.080	5767	0.680	0.200	1.161	1.466	1.488	0.416	0.226	0.354	2.599	(BV)
HR7914	4.00	0.000	5791	0.620	0.090	1.170	1.467	1.479	—	—	—	—	(BV)
HR7994	4.00	0.000	5686	0.660	0.140	1.133	1.513	1.530	0.419	0.205	0.282	2.590	(BV)
HR8455	4.00	0.000	5401	0.690	0.170	1.348	1.710	1.738	0.451	0.208	0.328	2.545	(BV)
HR8585	4.00	0.000	8743	0.010	0.000	0.040	0.049	0.004	0.001	0.173	1.030	2.906	(BV) ₁ (VR) ₁ (β)
Sel	4.34	0.000	5763	0.620	0.130	1.178	1.461	1.524	—	—	—	—	(BV)
HR2943	4.43	-0.050	6179	0.420	0.020	0.835	1.015	1.070	0.272	0.167	0.532	2.671	(BV)
HR0458	4.27	0.000	6155	0.540	0.090	0.988	—	1.250	0.344	0.179	0.409	2.629	(BV)
HR0483	4.33	-0.110	5874	0.620	0.120	1.137	—	1.380	0.389	0.203	0.328	2.604	(BV)
HR0837	4.19	0.020	5996	0.390	0.120	1.059	—	1.340	—	—	—	—	(BV)
HR1101	4.18	-0.120	5998	0.580	0.070	1.059	—	1.340	0.367	0.173	0.273	2.613	(BV)
HR1543	4.35	0.040	6482	0.450	-0.010	0.856	—	1.080	—	—	—	—	(BV)
HR1729	4.19	0.000	5847	0.620	0.120	1.130	—	1.420	0.389	0.206	0.263	2.586	(BV)
HR1983	4.22	-0.160	6290	0.470	0.000	0.956	—	1.190	0.316	0.157	0.398	2.631	(BV)
HR2085	4.27	0.090	7013	0.280	0.010	0.653	—	0.820	0.218	0.160	0.622	2.720	(BV)

Tabla A5 (continuación) (continuación)

ID	$\log(G)$	$[Fe/H]$	T_{eff}	(B-V)	(U-B)	(V-J)	(V-H)	(V-K)	(b-y)	m_0	c_0	β	Comentarios
HR2852	4.17	-0.310	7020	0.320	-0.030	0.653	—	0.820	0.214	0.155	0.613	2.713	—
HR4785	4.45	-0.250	5887	0.590	0.050	1.102	—	1.420	0.385	0.182	0.296	—	—
HR5447	4.26	-0.290	6770	0.360	-0.080	0.744	—	0.940	0.255	0.132	0.498	2.081	—
HR5806	4.21	0.050	5887	0.600	0.110	1.109	—	1.390	0.385	0.199	0.354	2.007	—
HR9333	4.24	-0.220	6233	0.480	-0.030	0.976	—	1.290	0.319	0.151	0.401	2.053	—
HR9905	4.00	-0.120	5954	0.610	0.140	1.080	—	1.390	0.390	0.186	0.463	2.014	—
HR0219	4.40	0.000	5817	0.570	0.010	1.114	—	1.470	0.372	0.185	0.275	2.588	—
HR4496	4.00	-0.140	5342	0.720	0.250	1.412	—	1.740	0.444	0.275	0.294	2.072	—
HR1325	4.63	-0.210	5079	0.820	0.450	1.551	—	2.030	0.487	0.327	0.310	2.543	—
HR1084	4.61	0.030	5076	0.880	0.590	1.509	—	2.030	0.514	0.410	0.273	—	—
HR8832	4.50	0.000	4803	1.010	0.800	1.774	—	2.300	0.576	0.555	0.273	—	—
HR7462	4.50	-0.250	5227	0.790	0.380	1.440	—	1.910	0.472	0.320	0.263	2.568	—
CJ229	5.00	0.000	3814	1.500	1.190	3.154	—	3.783	1.975	—	—	—	—
CJ182	5.00	0.000	3639	1.410	—	2.956	—	3.537	—	—	—	—	—
CJ710	5.00	0.000	3896	1.370	1.14	2.955	—	3.203	—	—	—	—	—
G273-298	5.00	0.000	4079	1.250	—	2.447	—	2.989	—	—	—	—	—
G130-043	5.00	0.000	2708	1.490	—	3.024	—	3.643	—	—	—	—	—

Referencias y Bibliografía

- Allen C.W. 1973, *Astrophysical Quantities* 3rd. Ed. The Athlone press Univ. of London.
- Alonso A., Arribas S. and Martínez-Roger C. 1994a, *A&A*, 282,684
- Alonso A., Arribas S. and Martínez-Roger C. 1994b, *A&AS*, 107,365
- Alonso A., Arribas S. and Martínez-Roger C. 1995, *A&A* (en prensa)
- Andersen J. 1991, *A&A Rev.* 3, 91
- Arribas S. 1987 Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna.
- Arribas S. and Martínez-Roger 1987a, *A&A*, 178, 107
- Arribas S. and Martínez-Roger C. 1987b, *A&ASS*, 70,303
- Arribas S. and Martínez-Roger C. 1988, *A&A*, 206, 63
- Arribas S. and Crivellari L. 1989, *A&A*, 210, 211
- Arribas S. and Martínez-Roger C. 1989, *A&A*, 215, 305
- Baschek B., Scholz M. and Wehrse R. 1991, *A&A*, 246, 374
- Beers. T.C., Preston G.W., Shectman S.A. and Kage J.A. 1990, *AJ*, 100, 849
- Bessell M.S. and Brett J.M. 1988, *PASP*, 100, 1134
- Bell R.A. and Gustafsson B. 1989, *MNRAS*, 236, 653
- Blackwell D.E. and Shallis M.J. 1977, *MNRAS*, 180, 177
- Blackwell D.E., Petford A.D. and Shallis M.J. 1980, *A&A*, 1980, 82, 249
- Blackwell D.E., Leggett S.K., Petford A.D., Mountain C.M. and Selby M.J. 1983, *MNRAS*, 205, 897
- Blackwell D.E., Booth A.J., Haddock D.J., Petford A.D. and Selby M.J. 1986, *MNRAS*, 220,549

- Blackwell D.E., Petford A.D., Arribas S., Haddock D.J. and Selby M.J. 1990, *A&A*, 232, 396
- Blackwell D.E., Lynas-Gray A.E. and Petford A.D. 1991, *A&A*, 245, 567
- Blackwell D.E. and Petford A.D. 1991, *A&A*, 250, 459 (BP91)
- Blackwell D.E. and Lynas-Gray A.E. 1994, *A&A*, 282, 899
- Bohannon B., Abbott D.C., Voels S.A. and Hummer D.G. 1986, *ApJ*, 308, 728
- Böhm-Vitense E. 1981, *Ann.Rev.Astron.Astrophys.* 19,295
- Bouchet P., Manfroid J. and Schmider F.X. 1991, *A&AS*, 91, 409
- Burnstein D. and Heiles C. 1982, *AJ*, 87, 1165
- Buonanno R., Corsi C.E. and Fusi Pecci F. 1989, *A&A*, 216, 80
- Buser R. 1978, *A&A*, 62, 411
- Buser R. and Kurucz R.L. 1978, *A&A*, 70, 555
- Buser R. and Kurucz R.L. 1992 *A&A*, 264, 591
- Cameron L.M., 1985, *A&A*, 146, 59
- Campins H., Rieke G.H. and Lebofsky M.J. 1985, *AJ*, 90, 896
- Carney B.W. and Aaronson M. 1979, *AJ*, 84, 867 (CA&C)
- Carney B.W. 1979, *ApJ*, 233, 211
- Carney B.W. 1982, *AJ*, 87, 1527
- Carney B.W. 1983, *AJ*, 88, 610 (CA&C)
- Carney B.W. 1983, *AJ*, 88, 623
- Carney B.W. and Latham D.W. 1987, *AJ*, 92, 116
- Carney B.W., Latham D.W., Laird J.B. and Aguilar L.A. 1994, *AJ*, 107, 2240

- Castelli F. and Kurucz R.L., 1994, *A&A*, 281, 817
- Cayrel de Strobel G., Hauck B., François P., Thevénin F. Friel E., Mermilliod M. and Borde S. 1992, *A&AS*, 95, 273,A
- Chandrasekhar S. 1958, *An introduction to the study of stellar structure*.
Dover Publications, Inc., New York
- Code A.D., Davis J., Bless R.C. and Hanbury-Brown R. 1976, *ApJ*, 203,
417
- Croswell K., Latham D.W., Carney B.W., Schuster W. and Aguilar L.
1990, *AJ*, 101, 2078
- Demarque P., et al? 1987
- Demarque P., Green E.M. and Günther D.B. 1992, *AJ*, 103, 151
- Di Benedetto G.P. and Rabbia Y. 1987, *A&A*, 188, 114
- Dreiling L.A. and Bell R.A. 1980, *ApJ*, 241, 736
- Edvardsson, B., Andersen, J., Gustafsson, B., Lambert, D.L., Nissen, P.E.,
Tomkin, J. 1993, *A&A*, 275, 101
- Elias J.H., Frogel J.A., Matthews K. and Neugebauer G. 1982, *AJ*, 87,
1029
- engelke Engelke C.W. 1992, *AJ*, 104, 1248
- Fahlman G.G. and Richer H.B. 1985, *ApJS*, 58, 225
- Frogel J.A., Persson S.E., Aaronson M. and Matthews K. 1978, *ApJ*, 220,
75
- Gehren T. 1981, *A&A*, 100, 97
- Gezari D., Labeyrie A. and Stachnik R.V. 1972, *ApJ*, 173, L1
- Glass I.S. 1974, *Mon. Not. astr. Soc. Sth. Afr.*, 33, 53, 71
- Glass I.S. 1985, *Irish.A.J.*, 17, 1
- Gustafsson B., Bell R.A., Ericksson K. and Nordlung Å., 1975, *A&A* 42,
407

- Gustafsson B. and Graae-Jørgensen U., Fundamental parameters and models of stellar atmospheres. Symp. IAU.111 (1984)
- Hanbury-Brown R., Davis J., and Allen L.R. 1974, MNRAS, 167, 121
- Hayes D.S. and Latham D.W. 1975, AJ, 197, 593
- Heasley J.N. and Christian C.A. 1986, ApJ, 307, 738
- Heise C. and Kock M., 1990, A&A, 230, 244
- Hesser J.E., Harris W.E., Vandenberg D.A., Allwright J.W.B., Shot P., and Stetson P.B. 1987, PASP, 99, 739
- Hoffleit D. and Jaschek C 1992, The Bright Star Catalogue, Yale University Observatory
- Hutter D.J., Johnston K.J., Mozurkewich D., Simon R.S., Colavita M.M., Pan X.P., Shao M., Hines B.E., Staelin D.H., Hershey J.L., Hughes J.A., and Kaplan G.M. 1989, ApJ, 340, 1103
- Johnson H.L. 1952, ApJ, 116, 640
- Johnson H.L. 1966, Ann.Rev.Astron.Astrophys., 4, 193
- Johnson H.L., Mitchell R.I., Iriarte B. and Wisniewski W.Z. 1966, Comm.Lun.Planet.L 63
- Johnson H.L. and Mitchell R.I. 1975, Rev.Mex.Astr.Astrofis., 1,299
- Kidger M.. 1992, Carlos Sánchez Telescope Technical note series. Supplement to technical note # 16. Calibration star programme results.
- Knude J. 1993, A&A, 275, 463
- Kroll S. and Kock M., 1987, A&ASS, 67, 225
- Kudritzky R.P. and Hummer D.G., 1990, Ann.Rev.Astron.Astrophys., 28, 303
- Kuiper G.P. 1938, ApJ, 88,429
- Kurucz R.L., Precision photometry: Astrophysics of the Galaxy. (Eds.) A.G. Davis Philip, A.R. Upgren and K.A. Janes. L. Davis Press, Schenectady,1991

- Kurucz R.L. Modelos de atmósferas. (1993) (Comunicación privada)
- Labeyrie M.A. 1970, *A&A*, 6, 85
- Lançon A. and Rocca-Volmerange B. 1992, *A&ASS*, 96, 593
- Laird J.B. 1985, *ApJS*, 57, 389
- Laird J.B., Carney B.W. and Latham D.W. 1987, *AJ*, 95, 1843
- Landolt-Börnstein 1982a, New Series, Gp VI, Vol 2, Astronomy and Astrophys., Subvolume A, Springer, Berlin-Heidelberg-New York
- Landolt-Börnstein 1982a, New Series, Gp VI, Vol 2, Astronomy and Astrophys., Subvolume B, Springer, Berlin-Heidelberg-New York
- Landolt-Börnstein 1982b, New Series, Gp VI, Vol 2, Astronomy and Astrophys., Subvolume C, Springer, Berlin-Heidelberg-New York
- Lee T.A. 1970, *ApJ*, 162, 217
- Leggett S.K., Mountain C.M., Selby M.J., Blackwell D.E., Booth A.J., Haddock D.J. and Petford A.D. 1986, *A&A*, 159, 217
- Leggett S.K., 1992, *ApJS*, 82, 351
- Magain P. 1987, *A&A* 181, 323
- Manduca A. and Bell R.A. 1979, *PASP*, 91, 848
- Malagnini M.L., Morossi C., Rossi L. and Kurucz R.L., 1986, *A&A*, 162, 140
- Malagnini M.L., Morossi C., Kurucz R.L. and Parthasarathy M. 1992, *A&A*, 261, 558
- Martínez-Roger C., Arribas S. and Alonso A. 1992, *Mem.Soc.Ast.It.*, 63, 263
- Michelson A.A. and Pease F.G., 1921, *ApJ*, 53, 249
- Morossi C., Franchini, M. Malagnini M.L., Kurucz R.L. and Buser R. 1993, *A&A*, 277, 173

- Mountain C.M. 1983, Ph. D. Thesis, Imperial College of Science and Technology, University of London
- Mountain C.M., Leggett S.K., Selby M.J., Blackwell D.E. and Petford A.D. 1985, *A&A*, 151, 399
- Mozurkewich D., Johnston K.J., Simon R.S., Bowers P.F., Gaume R., Hut-ter D.J., Colavita M.M., Shao M. and Pan X.P. 1991, *AJ*, 101, 2207
- Olsen E.H. 1984, *A&ASS*, 57, 443
- Pannekoek A. 1936, *ApJ*, 84, 481
- Peterson R.C. and Carnew B.W. 1979, *ApJ*, 231, 762
- Petford A.D., Blackwell D.E., Booth A.J., Haddock D.J., Leggett S.K., Mountain C.M., Selby M.J. and Arribas S. 1988, *A&A*, 203, 341
- Popper D.M. 1980, *Ann.Rev.Astron.Astrophys.*, 18, 115
- Rebolo R. 1986, Tesis doctoral, Universidad de La Laguna
- Richichi A., Di Giacomo A., Lisi F. and Calamai G. 1992, *A&A*, 265, 535
- Ridgway S.T., Joyce R.R., White N.M. and Wing R.F. 1980, *ApJ*, 235, 126
- Sandage A. 1969, *ApJ*, 158, 1115
- Sandage A. 1983, *AJ*, 88, 1159
- Sandage A. and Kowal C. 1986, *AJ*, 91, 1140
- Savage B.D. and Mathis J.S. 1979, *Ann.Rev.Astron.Astrophys.*, 17, 13
- Saxner M. and Hammarbäck G. 1985, *A&A*, 151, 372
- Schmidt-Kaler T. 1982, Landolt-Börnstein, New Series, G6, Vol 2, Sb B, Berlin, Springer-Verlag
- Schuster W.J. and Nissen P.E. 1988 *A&AS*, 73, 225
- Schuster W.J. and Nissen P.E. 1989 *A&A*, 221, 65

- Schuster W.J. and Nissen P.E. 1989 *A&A*, 222, 69
- Selby M.J., Mountain C.M., Blackwell D.E., Petford A.D. and Leggett S.K. 1983, *MNRAS*, 203, 795
- Selby M.J., Hepburn I., Blackwell D.E., Booth A.J., Haddock D.J., Arribas S., Leggett S.K. and Mountain C.M. 1988, *A&AS*, 74, 127
- Straniero O. and Chieffi A. 1991, *ApJS*, 76, 525
- Strecker D.W., Erickson E.F. and Witteborn F.C. 1979, *ApJS*, 41, 501
- Tüg H., White N.M. and Lockwood G.W. 1977 *A&A*, 61, 679 (TWL77)
- Van Altena W.F., Lee J.T., Hanson R.B. and Lutz T.E. in "Calibration of Stellar Ages" 1988, Ed. A.G. Davis Philip. L. Davis Press. Schenectady, New York. p. 175
- VandenBerg D.A. and Bell R.A., 1985, *ApJS*, 58, 561
- VandenBerg D.A. in "Calibration of Stellar Ages" 1988, Ed. A.G. Davis Philip. L. Davis Press. Schenectady, New York. p. 117
- Walker R.G. and Cohen M. An atlas of selected calibrated stellar spectra. NASA Contractor Report 177604, september 1992. NASA Ames Research Center, Moffett Field, California 94035-1000.
- Wamsteker W. 1981, *A&A*, 97, 329
- Welter G.L. and Worden S.P. 1980, *ApJ*, 327, 905
- White N.M. and Feierman B.H. 1987, *AJ*, 94, 751