



Índices de color en el infrarrojo cercano y medio de enanas blancas con y sin discos de escombros

L. Saker^{1,2}, M. Gómez^{1,2} & C. Chavero^{1,2}

¹ Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba

² CONICET

Contacto/ ACR: leila@mail.oac.uncor.edu

Resumen / En esta contribución se emplean diversos índices de color en el infrarrojo (IR) cercano y medio para identificar enanas blancas (EBs) con y sin discos de escombros. Para ello se emplean tanto las magnitudes de 2MASS como aquéllas de WISE, para una muestra de 41 EBs con discos y otra de 52 objetos sin evidencia de discos, pero con características estelares similares a las primeras. En cada uno de los diagramas color-color analizados (W1–W2 vs. W1–W3, H–W1 vs. J–H) se determinan regiones en las que preferentemente se ubican las EBs con o sin discos. Se discute la utilidad de los índices de color, en particular en las bandas de WISE, como criterio expeditivo para la identificación de nuevas candidatas a EBs con discos de escombros. Además, se investigan posibles correlaciones entre los índices de color y otras propiedades de las estrellas, tales como la abundancia metálica.

Abstract / In this contribution we use different color indices in near and mid infrared (IR) to identify white dwarfs (WDs) with and without *debris* disks. To this aim, we employ magnitudes from WISE and 2MASS for a sample of 41 EBs with disks and other 52 objects without evidence of disks, but with similar stellar properties as the first group. For each of the analyzed color-color diagrams (W1–W2 vs. W1–W3, H–W1 vs. J–H) we define regions in which EBs with or without disks are located preferably. The usefulness of the color indices, particularly in WISE bands, to select candidates EBs with disks is discussed. Also, we investigate possible correlations between the color indices and other properties of stars, such as metal abundances.

Keywords / (stars:) white dwarfs — (stars:) circumstellar matter

1. Introducción

Las enanas blancas (EBs) son objetos que representan la etapa evolutiva final de estrellas de baja masa, como el Sol. Alrededor de un 25% de las estrellas de tipo espectral DA (EBs con atmósferas dominadas por H) y el 33% de tipo espectral DB (EBs con atmósferas dominadas por He) tienen elementos pesados como Ca, Mg, Si, Fe, etc. en sus atmósferas (Zuckerman et al., 2003, 2010). Dado que la gravedad en la superficie de una EB es muy alta ($\log g \sim 8$), cualquier posible elemento químico pesado en su atmósfera se debe hundir en escalas temporales de unos pocos días a un millón de años, dependiendo de la masa y temperatura superficial (Koester & Wilken, 2006). Este tiempo es considerablemente menor que el tiempo de enfriamiento de estos objetos ($10^8 - 10^9$ años) y, por lo tanto, estos elementos no pueden ser primordiales. La acreción de polvo circunestelar de discos de tipo *debris* o de escombros, que se manifiesta a través de excesos IR en sus distribuciones espectrales de energía (SEDs), es la explicación más ampliamente aceptada en la literatura (Kilic et al., 2006; Jura et al., 2007; Hoard et al., 2013).

Si bien todavía no se han detectado planetas alrededor de EBs, el hecho de que algunas presentan líneas de metales en sus atmósferas, como así también discos de polvo circunestelares, indica que habría objetos plane-

tarios muy cerca de estas estrellas. El estudio de estas evidencias podría, eventualmente, proporcionar indicios sobre las etapas finales de los sistemas planetarios extrasolares y en particular, de nuestro propio Sistema Solar.

En esta contribución, se emplean diversos índices de color en el IR cercano y medio para identificar EBs con y sin discos de escombros y se discute la utilidad de los mismos, en particular en las bandas del IR medio, como criterio expeditivo para la identificación de nuevas candidatas a EBs con discos.

2. Muestra Analizada

Se construyó una muestra formada por EBs, las cuales fueron clasificadas en estrellas con y sin disco según presentaran excesos IR en sus SEDs o no; estas submuestras constan de 41 y 52 objetos respectivamente. Se recopilaron de la literatura parámetros estelares, tales como la metalicidad, y se buscaron para las dos submuestras analizadas las magnitudes J(1,25 μm), H(1,65 μm), K(2,17 μm) de 2MASS* y W1(3,35 μm), W2(4,60 μm), W3(12,00 μm) de WISE**.

* Siglas en inglés de Two Micron All Sky Survey. Datos obtenidos de http://irsa.ipac.caltech.edu/cgi-bin/Gator/nph-dd?catalog=fp_psc.

** Siglas en inglés de Wide-Field Infrared Survey Explorer. Datos obtenidos de <http://irsa.ipac.caltech.edu/cgi->

3. Análisis

En esta contribución se presenta un análisis exploratorio de las propiedades o características de las EBs con y sin disco. En la Figura 1 se muestran las distribuciones de metalicidades ($\log[\text{Ca}/\text{H}]$) de las 2 sub-muestras. Allí se ve claramente que las EBs con discos son, en promedio, más ricas en metales que las sin discos. El test K-S*** da una probabilidad $P = 10^{-3}$ de que estas distribuciones representen una única población de objetos. Las medianas se detallan en la Tabla 1. Si se compara con la metalicidad del Sol ($\log[\text{Ca}/\text{H}] = -5.66$), estos valores son pequeños, sin embargo se debe recordar que dada la alta gravedad superficial de las EBs no se deberían encontrar elementos más pesados que H o He en sus atmósferas.

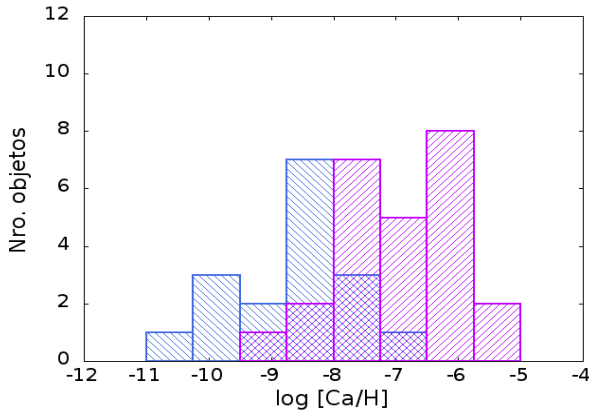


Fig. 1: Distribución de metalicidad para las EBs con disco (color violeta) y sin disco (color azul).

Los histogramas de índice de color H-K y W1-W2 (paneles superior e inferior de la Figura 2, respectivamente) muestran que las EBs que poseen disco tienden a tener un mayor índice de color que las estrellas sin disco. En ambos casos, el test K-S da una probabilidad $P = 10^{-3}$ de que estas distribuciones representen un único grupo de objetos. Las medianas obtenidas se muestran en la Tabla 1. Si bien en ambos diagramas las sub-muestras se diferencian, cuanto mayor es la longitud de onda, más fácil es distinguir el contraste entre el disco y la estrella. Esto se ve reflejado en las diferencias entre los valores de las medianas, ya que el contraste de ambos grupos es mayor en los filtros de WISE (IR medio) que en los de 2MASS (IR cercano).

En el diagrama W1-W2 vs. W1-W3 (panel superior Figura 3), se tiene que el 62% de las estrellas con disco tienen índices de color comprendidos entre $0.25 < W1-W2 < 1$ y $1 < W1-W3 < 4.5$, mientras que el 82% de EBs sin disco tienen índice de color $W1-W2 < 0.2$. En el diagrama H-W1 vs. J-H (panel inferior Figura 3), el 91% de EBs con disco presentan índice de color $H-W1 > 0.2$ y el 80% de las estrellas sin disco

bin/Gator/nph-dd.

*** Test estadístico de Kolmogorov-Smirnov (Press et al. (1992)) el cual da un valor de probabilidad P de que dos muestras sean similares ($P = 1$) o no ($P = 0$).

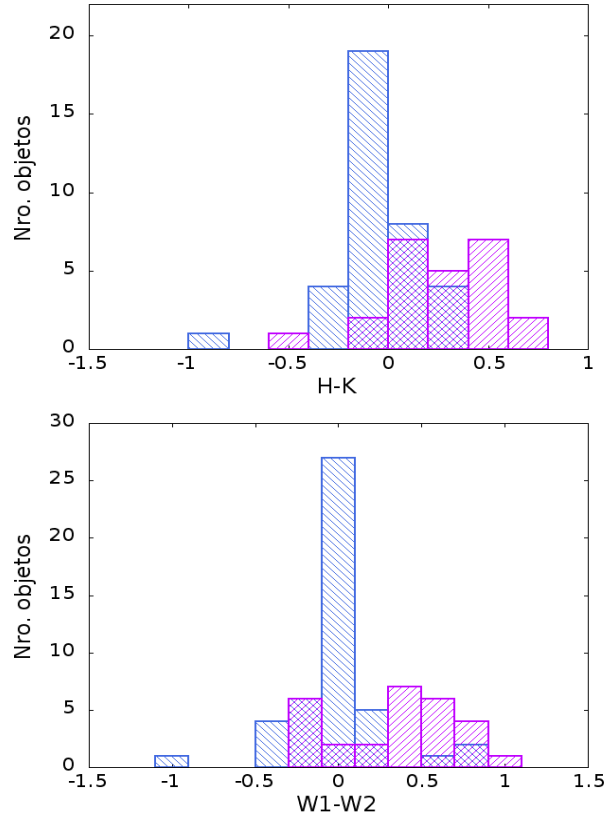


Fig. 2: Distribuciones de índices de color H-K (panel superior) y W1-W2 (panel inferior) para las EBs con disco (color violeta) y sin disco (color azul).

Tabla 1: Valores de las medianas en las distribuciones de metalicidad e índices de color H-K y W1-W2, para las EBs con y sin disco.

EBs	$\log[\text{Ca}/\text{H}]$	H-K	W1-W2
Con disco	-6.900	0.2730	0.4480
Sin disco	-8.915	0.0135	-0.0425

tienen índice de color $H-W1 < 0.2$. Aunque se puede ver nuevamente, que el contraste disco-estrella aumenta cuanto mayor es la longitud de onda, hay que tener en cuenta que los errores fotométricos son grandes. Barber et al. (2014), realizaron un diagrama similar (H-W2 vs. J-H), en el cual comparan la ubicación de cuatro EBs candidatas a tener disco con la localización de las EBs con disco conocidas. Ellos obtuvieron que los colores de estas candidatas son comparables con las EBs con disco confirmados. Por lo tanto, en principio estos índices de color pueden ser utilizados para identificar mediante observaciones fotométricas candidatas a EBs con discos.

En la Figura 4 (H-W1 vs. Metalicidad), se puede ver que las sub-muestras se separan bien en aquellos parámetros que están relacionados con el disco (metalicidades y colores). El 83% de las EBs con disco tienen índice de color $H-W1 > 0.25$ mientras que el 81% las EBs sin disco muestran $H-W1 < 0.25$. En cuanto a la metalicidad, el 89% de las EBs con excesos IR presentan $\log[\text{Ca}/\text{H}] > -8$, y el 71% de las EBs sin excesos tienen

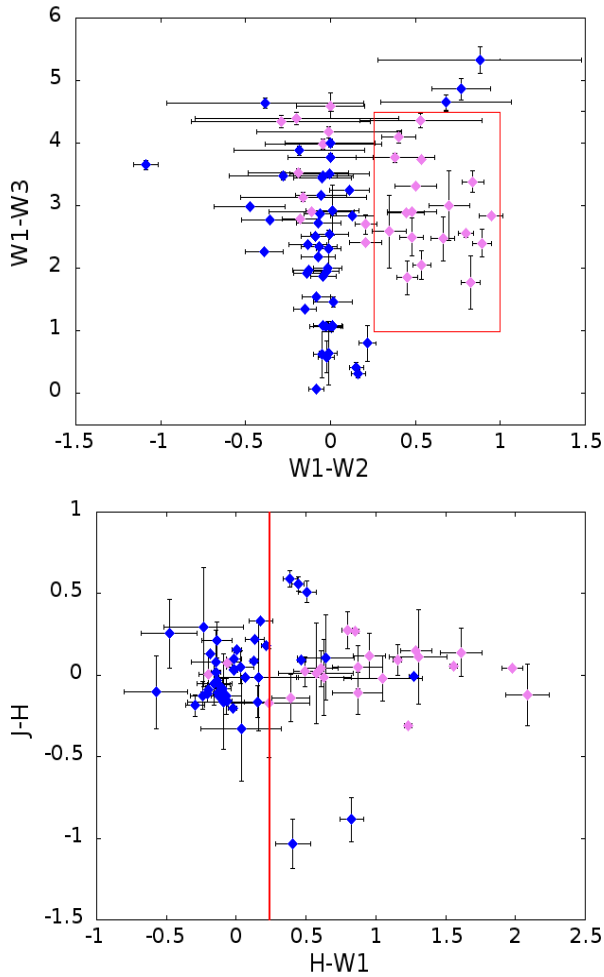


Fig. 3: Diagramas color-color W1–W2 vs. W1–W3 (panel superior) y H–W1 vs. J–H (panel inferior). Las EBs con disco se presentan con rombos color violeta y las sin disco con rombos color azul, con sus respectivas incertezas. La línea roja define regiones donde preferentemente yacen los objetos con y sin disco.

$$\log[\text{Ca}/\text{H}] < -8.$$

4. Síntesis y Conclusiones

Se analizó una muestra formada por un grupo de EBs, las cuales fueron clasificadas en estrellas con y sin disco según presentaran excesos IR en sus SEDs o no. Debido a que el número de objetos analizados es relativamente pequeño (41 y 52 EBs con y sin disco, respectivamente) se presenta un análisis exploratorio de algunas propiedades de estas EBs. En el histograma de metalicidades (Figura 1) se ve claramente que las EBs con disco son, en promedio, más ricas en metales que las sin disco. Este resultado es consistente con la idea de que la atmósfera contaminada de estas estrellas es producto de la acreción de cuerpos rocosos menores. Al analizar los histogramas de índices de color H–K y W1–W2 (paneles superior e inferior de la Figura 2), se puede ver que las EBs con disco son más rojas. Además, cuanto mayor es la longitud de onda, más fácil es distinguir el contraste

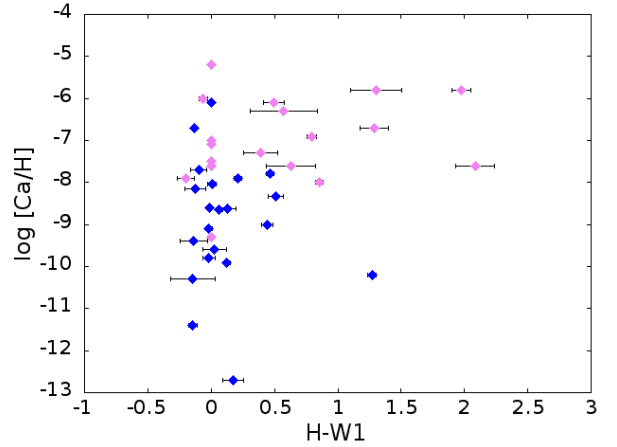


Fig. 4: H–W1 vs. Metalicidad. Las EBs con disco se presentan con rombos color violeta y las sin disco con rombos color azul, con sus respectivas incertezas.

entre el disco y la estrella. Esto se ve reflejado en las diferencias entre los valores de las medianas (Tabla 1), ya que el contraste de ambas sub-muestras es mayor en los filtros de WISE (IR medio) que en los de 2MASS (IR cercano). Por lo tanto, las sub-muestras se separan bien en aquellos parámetros que están relacionados con el disco, tales como metalicidades y colores.

Al analizar los diagramas color-color, se ve que las estrellas con y sin disco se diferencian. Si bien los errores fotométricos son grandes, en el diagrama W1–W2 vs. W1–W3 (panel superior Figura 3), se tiene que el 62% de las estrellas con disco tienen índices de color comprendidos entre $0.25 < W1-W2 < 1$ y $1 < W1-W3 < 4.5$. Como se mencionó anteriormente, cuanto mayor es la longitud de onda, el contraste disco-estrella aumenta, por lo que la combinación de filtros entre el IR cercano (H) y medio (W1) facilita identificar potenciales EBs con discos, ya que en el diagrama H–W1 vs. J–H (panel inferior Figura 3), el 91% de EBs con disco presentan índice de color $H-W1 > 0.2$. Por último, en el diagrama H–W1 vs. Metalicidad (Figura 4), se puede ver que el 83% de las EBs con disco tienen índice de color $H-W1 > 0.25$ y el 71% metalicidad $\log[\text{Ca}/\text{H}] > -8$. Es decir que en principio, los índices de color analizados en esta contribución pueden emplearse para identificar candidatas a EBs con discos. SEDs detalladas (ver Saker et al. 2013) permitirán luego confirmar la presencia de excesos de color atribuibles a la presencia de discos *debris* en este tipo de estrellas evolucionadas.

Referencias

- Barber S. D., et al., 2014, ApJ, 786, 77
 Hoard D. W., et al., 2013, ApJ, 770, 21
 Jura M., Farihi J., Zuckerman B., 2007, ApJ, 663, 1285
 Kilic M., et al., 2006, ApJ, 646, 474
 Koester D., Wilken D., 2006, A&A, 453, 1051
 Press W. H., et al., 1992, Numerical recipes in FORTRAN. The art of scientific computing
 Zuckerman B., et al., 2003, ApJ, 596, 477
 Zuckerman B., et al., 2010, ApJ, 722, 725