

---

**EFEECTO WILSON-BAPPU EN ESTRELLAS FRÍAS:  
RELACIÓN FÍSICA ENTRE EL ANCHO DE LA LÍNEA  
DE EMISIÓN K DE Ca<sub>II</sub> Y LA GRAVEDAD SUPERFICIAL**

---



**Fis. FAIBER DANILO ROSAS PORTILLA**

**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO - CAMPUS GUANAJUATO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS  
POSGRADO EN CIENCIAS (ASTROFÍSICA)**

**2019**



**EFEECTO WILSON-BAPPU EN ESTRELLAS FRÍAS:  
RELACIÓN FÍSICA ENTRE EL ANCHO DE LA LÍNEA  
DE EMISIÓN K DE Ca II Y LA GRAVEDAD SUPERFICIAL**

**Fis. FAIBER DANILO ROSAS PORTILLA**

TESIS DE MAESTRÍA COMO REQUISITO PARA OPTAR  
POR EL TÍTULO DE MAESTRO EN CIENCIAS (ASTROFÍSICA)

DIRECTOR

**Dr. KLAUS-PETER SCHRÖDER**

DPTO. DE ASTRONOMÍA - UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

CODIRECTOR

**Dr. DENNIS JACK**

DPTO. DE ASTRONOMÍA - UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO - CAMPUS GUANAJUATO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS  
POSGRADO EN CIENCIAS (ASTROFÍSICA)**

**2019**



*Somos el resultado de la continua creación y destrucción de las estrellas,  
que por un breve instante de tiempo se hacen a un par de ojos,  
para contemplarse y estudiarse a sí mismas.*

*Y mientras observaba las estrellas,  
sin pensarlo, llegaste a mi vida de la mano de ellas,  
formando galaxias, e incluso universos, con tan solo sonreír.*

# Agradecimientos

En mi viaje a través de un universo con «infinitos» mundos, tuve la fortuna de coincidir en tiempo y espacio con personas maravillosas que me han guiado y acompañado en el gran camino que es la vida. Es mi mayor alegría contar con el apoyo incondicional de mis padres Hugo y Nohora, y de mi hermana Carolina, pues son ellos mi mayor inspiración día con día, ninguno de mis logros sería posible sin ellos.

Un agradecimiento especial a mis directores de tesis, los doctores Klaus-Peter Schröder y Dennis Jack, por su guía excepcional en este trabajo, ampliando mi visión del cosmos con su acompañamiento constante.

Gracias a todo el grupo de investigadores del TIGRE, por permitirme ser parte de su excelente grupo de investigación internacional. A todos los miembros del Observatorio de Hamburgo, por ser mi casa mientras escribía este trabajo. Y a todos los profesores del Departamento de Astronomía de la Universidad de Guanajuato, por enseñarme esta hermosa ciencia que es el estudio de los astros.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología - CONACyT y en general a todo el pueblo mexicano, por su valioso interés de apoyar a la ciencia y en especial la astronomía con esta investigación.





# EFFECTO WILSON-BAPPU EN ESTRELLAS FRÍAS: RELACIÓN FÍSICA ENTRE EL ANCHO DE LA LÍNEA DE EMISIÓN K DE Ca II Y LA GRAVEDAD SUPERFICIAL

## RESUMEN

En este trabajo se estudia la relación entre el ancho a media altura de la línea de emisión K de Ca II ( $\lambda = 3933,7 \text{ \AA}$ ) y la gravedad superficial para una muestra de 14 estrellas frías de tipo espectral F a M con luminosidades Ia, Ib, II, III; y 2 estrellas de la secuencia principal.

Se usan espectros de alta resolución ( $\sim 20000$ ) y buena S/N ( $\sim 100$ ) obtenidos con el Telescopio Internacional de Guanajuato Robótico-Espectroscópico - TIGRE, perteneciente al proyecto entre la Universidad de Hamburgo (Alemania), Universidad de Guanajuato (México) y la Universidad de Liège (Bélgica). Las nuevas paralajes estelares obtenidas por el proyecto *Gaia* DR2, permiten estimar las luminosidades y masas estelares con buena aproximación. Las temperaturas efectivas de la muestra estelar se estiman usando el software *iSpec*.

Nuestro análisis muestra una clara relación entre el ancho de la línea de emisión K de Ca II y la gravedad superficial de la forma  $\log W_0 \propto \alpha \log g$  con  $\alpha = -0,233 \pm 0,018$ , considerando la evidencia de una posible dependencia secundaria débil con la temperatura efectiva y consecuente con las estimaciones teóricas propuestas anteriormente por otros autores.



# WILSON-BAPPU EFFECT IN COOL STARS: PHYSIC RELATION BETWEEN THE WIDTH OF K EMISSION LINE OF Ca II AND SURFACE GRAVITY

## ABSTRACT

In this work we study the relation between the width at half maximum to the K emission line of Ca II ( $\lambda = 3933,7 \text{ \AA}$ ) and the surface gravity for a stellar sample of 14 cool stars with spectral type F to M and luminosities Ia, Ib, II, III; and 2 main sequence stars.

We use high resolution spectra ( $\sim 20000$ ) and good S/N ( $\sim 100$ ) obtained with the International Telescope of Guanajuato - TIGRE, belong to the project between the University of Hamburg (Germany), University of Guanajuato (Mexico) and the University of Liège (Belgium). The new parallaxes obtained by the project *Gaia* DR2, allow to estimate the luminosities and stellar masses with good approximation. The effective temperatures of the stellar sample were estimated using the software *iSpec*.

Our analysis shows a clear relation between the width of the K emission line of Ca II and the surface gravity with the form  $\log W_0 \propto \alpha \log g$  with  $\alpha = -0,233 \pm 0,018$ , considering the evidence of a possible weak secondary dependence on the effective temperature and consistent with previously theoretic estimations proposed by other authors.



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	3
1.2. Objetivos . . . . .	4
1.2.1. Objetivo General . . . . .	4
1.2.2. Objetivos Específicos . . . . .	4
<b>2. La Atmósfera Estelar</b>	<b>5</b>
2.1. La Fotósfera . . . . .	5
2.2. Las Líneas Espectrales . . . . .	9
2.3. La Cromósfera . . . . .	11
<b>3. El Efecto Wilson-Bappu</b>	<b>15</b>
3.1. Antecedente Histórico . . . . .	15
3.2. Descubrimiento . . . . .	15
3.3. Estudios Posteriores . . . . .	16
3.4. La Física del WBE . . . . .	18
<b>4. Parámetros Físicos de la Muestra Estelar</b>	<b>23</b>
4.1. Selección de la Muestra Estelar . . . . .	23
4.2. Temperatura Efectiva . . . . .	23
4.3. Masa Estelar . . . . .	24
4.4. Gravedad Superficial . . . . .	31
<b>5. Medición del Ancho de Emisión de la Línea K de Ca II</b>	<b>35</b>
5.1. Etapa 1: Lectura de datos . . . . .	36
5.2. Etapa 2: Ajuste del espectro usando splines . . . . .	37
5.3. Etapa 3 y 4: Mínimos, máximos y valor medio de la línea de emisión K . . . . .	38
5.4. Etapa 5: Cálculo de $W_0$ . . . . .	38
<b>6. Análisis y Discusión</b>	<b>43</b>
6.1. Relación entre $W_0$ y $g$ . . . . .	43
6.2. Dispersión e Incertidumbre de los Datos . . . . .	46
6.2.1. HD156014 . . . . .	47
6.2.2. HD159181 y HD209750 . . . . .	48

6.3. Comparación con Resultados Previos . . . . .	48
6.4. $\alpha$ y la Densidad de Masa Columnar . . . . .	49
<b>7. Conclusiones</b>	<b>53</b>
7.1. Trabajo Futuro . . . . .	54
<b>Bibliografía</b>	<b>57</b>

# Índice de cuadros

4.1. Resultados de $T_{\text{eff}}$ , $\log g$ y $[M/H]$ encontrados con <code>iSpec</code> . . . . .	25
4.2. Paralajes, magnitudes y luminosidades de la muestra estelar . . . . .	29
4.3. Estimación de la masa para la muestra estelar . . . . .	31
4.4. Estimación de la gravedad superficial para la muestra estelar . . . . .	33
5.1. Ancho de la línea de emisión de Ca II para la muestra estelar . . . . .	40
6.1. Ancho de la línea de emisión de Ca II para la muestra estelar considerando una dependencia débil con la temperatura . . . . .	46





# Índice de figuras

1.1. Línea de emisión K de Ca II en el espectro de <i>Arcturus</i> (HD 124897) cercana a $\lambda = 3933,7 \text{ \AA}$ . La emisión cromosférica se muestra como una línea doblemente invertida en el interior de una línea de absorción fotosférica. . . . .	2
1.2. Medición del ancho de la línea de emisión K de Ca II en el espectro de $\rho$ <i>Cygni</i> (HD 205435). Los asteriscos marcan los puntos máximos y mínimos de los picos «rojo» y «azul» encontrados mediante un ajuste por splines (línea azul). Las líneas punteadas marcan la mitad entre los puntos máximos y mínimos de cada pico y zona gris representa la incertidumbre en la medición. El ancho de la línea de emisión K de Ca II ( $W_0$ ) corresponde a la zona entre las líneas punteadas. . . . .	3
2.1. Esquema de la estructura de estrellas de tipo <i>solar</i> . Las zonas mostradas corresponden a: 1) Núcleo estelar, 2) Zona radiativa, 3) Zona convectiva, 4) Fotósfera, 5) Cromósfera. La corona es la región alrededor de la cromósfera y la zona de transición está ubicada entre ellas. El esquema no está a escala. Fuente: Guerra-Olvera (2014). . . . .	6
2.2. Curvas de radiación de cuerpo negro a diferentes temperaturas. Se puede observar como la pendiente del continuo varía con la temperatura y el máximo se desplaza hacia la izquierda para temperaturas más altas. . .	7
2.3. Comparación entre un modelo de espectro estelar a $T = 4700 \text{ K}$ generado con el código PHOENIX, y una curva de cuerpo negro a la misma temperatura. La resolución del espectro se ha disminuido en un factor de 200. . . . .	8
2.4. Relación entre la intensidad de la línea de absorción y la profundidad en la fotósfera para una línea espectral típica. Fuente: Carroll & Ostlie (2006).	11
2.5. Perfiles de temperatura (línea sólida) y densidad de masa (línea punteada) en relación con la altura de la atmósfera solar. Se muestra también las zonas de los perfiles donde se forman algunas líneas espectrales. Fuente: Vernazza et al. (1973) y modificado por Carroll & Ostlie (2006). . . . .	13

2.6. Variación del ancho de la línea de emisión K de Ca II con la gravedad superficial para estrellas de tipo solar con $T_{\text{eff}} = 5780$ K usando el código PHOENIX. Fuente: Guerra-Olvera (2014). . . . .	14
3.1. Relación entre el logaritmo de los anchos de emisión corregidos de Ca II y las magnitudes absolutas de Yerkes en el artículo de Wilson & Bappu (1957). El conjunto de estrellas ha sido dividido en tres tipos espectrales G, K, M. . . . .	16
3.2. Perfil típico de la línea de emisión K de Ca II. Se indican los mínimos de la emisión como $K_{1B}$ y $K_{1R}$ , los máximos como $K_{2B}$ y $K_{2R}$ , y la autoabsorción como $K_3$ . Los subíndices B y R corresponden al lado «azul» y «rojo» de la línea de emisión. . . . .	19
4.1. Diagrama Hertzsprung-Russell observacional con 22.000 estrellas del Catálogo <i>Hipparcos</i> y 1.000 del Catálogo <i>Gliese</i> de estrellas cercanas. Imagen original creada por Richard Powell, Fuente: <a href="http://www.atlasoftheuniverse.com/hr.html">http://www.atlasoftheuniverse.com/hr.html</a> . . . . .	26
4.2. Malla de trayectorias evolutivas con $[M/H] = 0,02$ para diferentes masas estelares. La malla se calculó usando el código de Pols et al. (1998). Las barras representan la incertidumbre en luminosidad estelar y temperatura efectiva. . . . .	30
5.1. Definición de los parámetros LMIN, LMAX, LLIN y RANG necesarios en el archivo de configuración de HIEW. Con línea azul se muestra la interpolación realizada a los datos del espectro en el rango (LMIN, LMAX). La zona gris representa la sección del espectro que el programa omitirá al encontrar los valores mínimos y máximos en la etapa 3. . . . .	37
5.2. Definición de $\lambda_{K1}$ , $\lambda_{K2}$ , $I_{K1}$ , $I_{K2}$ , $\lambda_M$ e $I_M$ . Se han marcado con el subíndice B y R los valores correspondientes a los picos «azul» y «rojo» respectivamente. . . . .	39
5.3. Anchos y perfiles de la línea de emisión K de Ca II para dos estrellas con diferente gravedad. a) Perfil para HD186791 con $\log g = 1,13$ y b) Perfil para HD10476 con $\log g = 4,49$ . La línea punteada indica la mitad de la intensidad entre el máximo y el mínimo para cada uno de los picos azul y rojo. La zona gris representa la incertidumbre de la medición. . . . .	41
5.4. Comparación de la medición de $W_0$ de la literatura con la realizada en este trabajo, para algunas estrellas de la muestra estelar. Círculos violetas corresponden a Wilson & Bappu (1957), cuadrados verdes a Park et al. (2013), rombos azules a Wallerstein et al. (1999) y triángulos amarillos a Pace et al. (2003). . . . .	42

6.1. Relación entre $\log g$ y $\log W_0$ para la muestra estelar. Las barras indican la incertidumbre de las cantidades. La línea azul corresponde a un ajuste lineal donde se omitieron las estrellas 13) HD159181 y 16) HD209750. El color de los puntos representa la temperatura efectiva estimada de acuerdo a una escala en kelvin. . . . .	44
6.2. Relación entre $\log g$ y $\log W'_0$ para la muestra estelar considerando una dependencia débil con la temperatura dada por la ecuación 6.2. Las barras indican la incertidumbre de las cantidades. La línea azul corresponde a un ajuste lineal. El color de los puntos representa la temperatura efectiva estimada de acuerdo a una escala en kelvin. . . . .	47
6.3. Comparación de $\log W_0$ usando la ecuación 6.6 propuesta en este trabajo y los valores obtenidos en la Tabla 5.1. La línea azul corresponde a un ajuste lineal por mínimos cuadrados. Se muestra la correlación entre los valores calculados y observados. . . . .	50
6.4. Comparación de $\log W_0$ usando la ecuación propuesta por a) Neckel (1974) (ecuación 6.7) y b) Park et al. (2013) (ecuación 6.8) y los valores obtenidos en la Tabla 5.1. La línea azul corresponde a un ajuste lineal por mínimos cuadrados. Se muestra la correlación entre los valores calculados y observados. . . . .	51
B.1. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD8512. . . . .	67
B.2. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD10476. . . . .	68
B.3. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD27371. . . . .	68
B.4. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD28305. . . . .	69
B.5. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD28307. . . . .	69
B.6. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD31398. . . . .	70
B.7. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD81797. . . . .	70
B.8. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD82210. . . . .	71
B.9. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD96833. . . . .	71
B.10. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD114710. . . . .	72
B.11. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD124897. . . . .	72
B.12. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD156014. . . . .	73
B.13. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD159181. . . . .	73
B.14. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD186791. . . . .	74
B.15. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD205435. . . . .	74
B.16. Ancho de la línea de emisión K de Ca II para HD209750. . . . .	75



# Lista de Apéndices

A. Código fuente del programa Half-Intensity Emission Width (HIEW)	59
B. Anchos y perfiles de la línea de emisión K de CaII de la muestra estelar	67