
**Absorción Asimétrica del Viento en la Estrella
Wolf-Rayet Rica en Oxígeno WR 142**

HAROLD EDINSON VIVEROS DELGADO



**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMÍA
GUANAJUATO, GTO
2018**

**Absorción Asimétrica del Viento en la Estrella
Wolf-Rayet Rica en Oxígeno WR 142**

HAROLD EDINSON VIVEROS DELGADO

Trabajo de Grado presentado como
requisito para optar al título de maestro en ciencias (Astrofísica)

Director

Dr. PHILIPPE EENENS D.A. - U.G.

**UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMÍA
GUANAJUATO, GTO
2018**

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS
DEPARTAMENTO DE ASTRONOMÍA
GUANAJUATO, GTO
2018

HAROLD EDINSON VIVEROS DELGADO

**Absorción Asimétrica del Viento en la Estrella
Wolf-Rayet Rica en Oxígeno WR 142**

Palabras clave:
Viento Estelar
Estrellas Wolf-Rayet
Velocidad Terminal
Estrellas Masivas

Nota de Aprobación

El trabajo de grado titulado: *“Absorción Asimétrica del Viento en la Estrella Wolf-Rayet Rica en Oxígeno WR 142”*, presentado por: **Harold Edinson Viveros Delgado**, para optar al título de maestro en ciencias (Astrofísica), fue revisado por los sinodales y calificado como:

Asesor

Coasesor

Sinodales

*Dedicado a
mis padres, y a Ángela Castillo, quienes con amor y dedicación, me acompañaron
durante y en la culminación de mi carrera.*

Agradecimientos

Agradezco primero que todo a mis padres por haberme dado la vida. Gracias por el apoyado durante toda la carrera, por su incondicionalidad, amor y comprensión; por estar ahí en los momentos más difíciles. Son los mejor que me pudo pasar en la vida: mil gracias.

A Ángela Castillo por dejarme ser parte de su vida y por su insistente motivación para clausurar mi trabajo de pos-grado.

Agradezco a mi director de tesis, Philippe Eenens, por brindame la oportunidad de realizar éste proyecto bajo su dirección, por transmitirme su valuable conocimiento, tiempo y gran paciencia.

Agradezco a mis compañeros y amigos Sebastián Morales, Abdías Morales, y Marco Salazar por su apoyo y compañía a lo largo de todo éste tiempo en la Maestría.

Resumen

Los perfiles de línea puede proporcionar un gran riqueza de información sobre la geometría de los vientos extendidos de las estrellas masivas. En particular, gran parte de las estrellas Wolf-Rayet (WR) muestran anchos y asimétricos perfiles de línea de emisión, lo cual se podría explicar por la presencia de material circundante siendo eyectado de la estrella misma a gran velocidad. Por otro lado, la asimetría en dichos perfiles de línea ha llevado a plantear la hipótesis de que los fotones que se originan en la zona del viento que recede del observador son más absorbidos que los que se originan en la zona que se acerca al observador. Esto es de vital importancia para entender la evolución y destino de las estrellas masivas, en tanto que las actualmente se cree que las estrellas WR representan una fase evolucionada en la vida de una estrella previa a explotar como Supernova. De modo que nuestro principal objetivo será determinar la tasa de pérdida de masa \dot{M} , la velocidad terminal del viento, v_∞ y la estructura densidad de la estrella WR rica en oxígeno (clase WO) WR 142.

Modelando perfiles de línea sintéticos en PYTHON, ajustamos los perfiles resultantes a nuestro espectro en el infrarrojo (1.1-3.0 μm). Para esto, asumimos una configuración esféricamente simétrica del viento, fragmentando este en elementos de volumen infinitesimal que satisfacen la ecuación de continuidad $\dot{M} = 4\pi r^2 \rho(r)v(r)$, y la forma paramétrica de la velocidad $v(r) = v_\infty(1 - R_*/r)^\beta$, conocida como ley- β . β en este caso se toma como un parámetro de ajuste, el cual hemos escogido como $\beta = 1$, ya que es el valor que mejor describe los vientos de estrellas calientes masivas. La forma del perfil podía ser ajustada mediante tres parámetros importantes, a saber: la profundidad óptica característica o intrínseca, $\tau_{\lambda,*}$, la distancia a la cual se empieza a formar la línea, R_0 , y la velocidad terminal del viento v_∞ . El primer parámetro describe cuanto es afectada la radiación por el viento. Entre más grande el valor de $\tau_{\lambda,*}$ más asimétrico será el perfil. Es de esperar que para un valor de $\tau_{\lambda,*} = 0$ el perfil sea simétrico y plano en el máximo. El segundo parámetro está relacionado con el límite inferior de la integral para calcular la profundidad óptica del viento a lo largo del camino que siguen los fotones desde una distancia R_0 , lugar donde se empieza a formar la línea de emisión, hasta el infinito donde la velocidad del viento alcanza la velocidad terminal. Y por último, la velocidad terminal v_∞ establecer el rango de velocidades donde se encuentra el ancho total a intensidad cero (FWZI).

Los resultados arrojaron perfiles de línea que muestran las principales características

que esperabamos: un perfil ancho y asimétrico en el que se observa mayor absorción, respecto a la longitud de onda en reposo, en su componente corrida al rojo que en su componente corrida al azul. A partir de los parámetros obtenidos las líneas se producen relativamente cerca de la estrella (aproximadamente dos veces el radio de la estrella), y se calcularon valores de tasa de pérdida de masa para cada línea, con un valor promedio de $\dot{M} \approx 1.1 * 10^{-4.9} M_{\odot}/\text{yr}$, y cuyo resultado se encuentra dentro del orden de magnitud medido actualmente para este tipo de estrellas. Además, los mejores valores de velocidad terminal que ajustaban los perfiles de línea fueron de $v_{\infty} \approx 5500 \pm 500 \text{ km/s}$, comparado con los valores reportados para esta estrella de 4500-5500 km/s obtenidos por distintos autores a partir de diferentes modelos y observaciones.

A pesar de los resultados obtenidos, nuestro método está limitado a consideraciones básicas. La rotación por ejemplo, juega un papel importante en el ensanchamiento y forma del perfil de línea, aunque algunos autores no encuentran evidencia de rápida rotación en estrellas tipo WO, los modelos evolucionarios con rotación para estrellas WR no parecen ser conclusivos al respecto. Sería interesante considerarlo en trabajos a futuro como un factor determinante en la forma de las líneas de emisión de los espectros de estas estrellas y por ende de la tasa de pérdida de masa. También efectos de micro-aglutinamiento y multiple-dispersión deberán tenerse en cuenta en el futuro.

Índice general

Índice general	V
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes Históricos: Vientos estelares y Estrellas WR	2
1.2. Física y Terminología la Teoría de Vientos Estelares	5
1.2.1. Ley- β para la Velocidad del Viento	6
1.3. Formación de líneas espectrales en vientos estelares	7
1.3.1. Líneas de Dispersión y Absorción	7
1.3.2. Línea de Emisión por Recombinación	8
1.3.3. Líneas de emisión por colisión y efecto Maser	9
1.4. Transferencia Radiativa	9
1.4.1. Ecuación de Transferencia Radiativa	11
2. Teoría y Observación de Vientos Estelares	15
2.1. Perfil P-Cygni	15
2.1.1. Física de los Perfiles P Cygni	18
2.2. Estudio de las líneas de Balmer en vientos estelares	21
2.3. Exceso infrarrojo y radio	22
2.4. Vientos Estelares Impulsados por Radiación	22
2.4.1. Vientos Estelares Impulsados por Línea	23
2.4.2. Aproximación de Sobolev	25
2.5. Estrellas Wolf-Rayet	26
2.5.1. Estrellas Wolf-Rayet WO: WR 142	27
2.5.2. Problema de Momentum del Viento en Estrellas WR	29
2.6. Espectro de la estrella WR142 en el Infrarrojo Cercano	29
3. Metodología	33
3.1. Modelo Teórico del Perfil de Línea	34
3.1.1. Cálculo de la profundidad óptica en el viento	34
3.1.2. Código en Python para hallar la profundidad óptica	38
3.2. Determinación de la intensidad de la línea.	45

3.2.1. Modelamiento del perfil de línea en Python	46
4. Resultados y Discusión	54
4.1. Ajustes de los perfiles de línea	54
4.2. Cálculo de la Tasa de Perdida de Masa	62
4.3. Velocidad Terminal del Viento	66
5. Conclusiones	68
Bibliografía	70