

# Análisis de espectros de alta resolución de la estrella Wolf-Rayet WR113

Xibelly Eliseth Mosquera Escobar (1), Philippe Eenens (2)

<sup>1</sup> [Astronomía, Universidad de Antioquia] | Dirección de correo electrónico: [xibelly.mosquera@udea.edu.co]

<sup>2</sup> [Departamento de Astronomía, División de Ciencias Naturales y Exactas, Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [eenens@gmail.com]

## Resumen

El análisis del espectro de la estrella Wolf-Rayet WR113 requiere de una reducción óptima de datos; proceso que es llevado a cabo a través de ESO-MIDAS, tomando como base las estrellas 68Cygni y HD108. Para encontrar criterios de análisis de datos se seleccionan ordenes consecutivos para los cuales se efectúa la normalización al continuo usando dos diferentes metodologías; la primera, denominada Método 1, consiste en dividir el espectro unidimensional de la estrella WR113 por un ajuste polinomial al espectro de HD108. La segunda es llamado Método 2 y se realiza de manera similar pero esta vez se divide por un ajuste polinomial calculado al espectro de la propia Wolf-Rayet. Del estudio de ambos métodos se presenta un conjunto de imágenes las cuales permiten comparar los métodos empleados y concluir cuál de ellos es el más apropiado.

## Abstract

The analysis of the spectrum of the Wolf-Rayet star WR113 requires an optimum data reduction, process that has been done through ESO-MIDAS based on the 68Cygni and HD108 stars. We have decided to use consecutive orders to determine the correct way to perform the normalization to the stellar continuum, using two different methodologies: the first one, called Method 1, divides the one-dimensional spectrum of WR113 star by a polynomial fit of the HD108 spectrum, the second, called Method 2, is similar to the last one but we have divided by a new polynomial fit, which is calculated on the WR113 calibrate spectrum itself. We will present a set of images that will allow us to compare both methods and so we will be able to conclude which method is better.

## Palabras Clave

Estrellas Wolf-Rayet; Espectro estelares; Normalización al continuo.

## INTRODUCCION

Las estrellas Wolf-Rayet son objetos inusuales que proceden de las estrellas más masivas y brillantes, las estrellas de tipo espectral O [1]. Son cuerpos muy luminosos que se diferencian de otras poblaciones estelares por mostrar grandes cantidades de helio, excesiva pérdida de masas debidas a intensos vientos estelares, espectros con anchas líneas de emisión causadas por la constante eyección de material al medio interestelar, perfiles de absorción P-cygni y líneas de emisión correspondientes al He, C, N y O altamente ionizados. Constituyen el tipo espectral W el cual a su vez se divide en tres subclases: WN, WC y WO, por la abundancia de nitrógeno, carbono y oxígeno respectivamente en la superficie estelar. El espectro de dichas estrellas indica que son estrellas masivas evolucionadas [2], que pueden encontrarse en el centro de nebulosas planetarias.

Dado que las estrellas de tipo O y las Wolf-Rayet poseen una distribución de energía espectral similar (SED) por sus siglas en inglés de spectral energy distribution; resulta posible estudiar el espectro de esta última a través del espectro de una estrella de tipo O.

El propósito de este trabajo es encontrar criterios óptimos de análisis espectral usando paquetes de reducción de datos, entre ellos el ESO-MIDAS; un sistema que provee herramientas generales para el procesamiento de imágenes y reducción de datos en particular optimizar la normalización al continuo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el proceso de reducción y análisis de datos se tomaron dos estrellas de referencia de tipo espectral O, 68Cygni [3] y HD108 [4], que fueron usadas para estudiar el espectro de una estrella Wolf-Rayet; en esta investigación la estrella de tipo WR usada fue la estrella WR113, una estrella de tipo WC con líneas espectrales características C III y He I ubicada en la Nebulosa del Anillo [5]. El objetivo a seguir ha sido el siguiente. En primer lugar para obtener los espectros estelares se debe eliminar la contribución instrumental, por medio de los siguientes pasos:

- Restar los Bias-frame a la imagen original para eliminar el flujo residual de la CCD (imágenes que contabilizan el ruido de lectura en la CCD); debido al proceso aleatorio de conteo de electrones en la CCD se construye un Bias combinado, tomando varias imágenes de Bias, en nuestro caso fueron 48 en total.
- Dividir la imagen obtenida de la corrección del Bias por el FLAT combinado y normalizado (flat field image), conjunto de imágenes que son tomadas a una pantalla uniformemente iluminada comúnmente por lámparas de cuarzo.

Posteriormente para proseguir con el análisis del espectro de la estrella WR se dio paso al método de normalización al continuo, por medio de los siguientes lineamientos:

- Definir los órdenes a analizar y ejecutar la calibración en la longitud de onda haciendo uso del método par; método que nos permite identificar dos líneas en regiones sobrelapadas de órdenes adyacentes, basado en la relación de echelle; ecuación física que se deriva de la relación de dispersión de la rejilla del espectrógrafo.
- Elaborar un spline o un ajuste polinomial de grado  $n$  al espectro de HD108, con  $n=1, 2, 3, \dots$ , en nuestro caso se optó por examinar el ajuste hasta  $n=5$  y seleccionar el mejor de ellos.
- Dividir el espectro de HD108 para normalizar el continuo de la estrella WR113. La normalización se efectúa al tomar el espectro unidimensional, el cual se obtiene de fusionar los órdenes extraídos muestreados a un paso de longitud de onda constante, y se divide por el spline o el ajuste polinomial que fue calculado para HD108.

Para identificar la mejor manera de normalizar el espectro del objeto de estudio se proponen dos métodos que serán estudiados sobre dos órdenes consecutivos (órdenes 8 y 9), estos son: **Método 1 y Método 2**. El Método 1 consiste en normalizar el espectro de WR113 al continuo de HD108, por medio del spline o polinomio que fue efectuado a la

estrella HD108, el Método 2 de manera similar normaliza el espectro de la estrella Wolf-Rayet; pero esta vez lo realiza a través de su propio continuo, esto es, por su propio spline o ajuste polinomial.

Dicho análisis se presenta en la sección que continua.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para analizar cuál de ambos métodos es el mejor se presenta una secuencia de pasos que nos permitirán estudiar las variaciones de usar uno u otro método.

Inicialmente se ilustra la normalización al continuo de la estrella WR113 por ambos métodos, tanto para el orden 8 como para el 9.

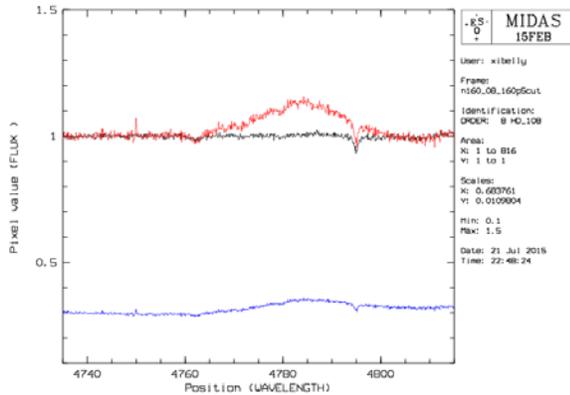


FIGURA 1: Método 1 (azul, ajuste con el polinomio de HD108) y Método 2 (rojo, ajuste de WR113) para el orden 8. La gráfica en color negro corresponde a HD108 normalizada.

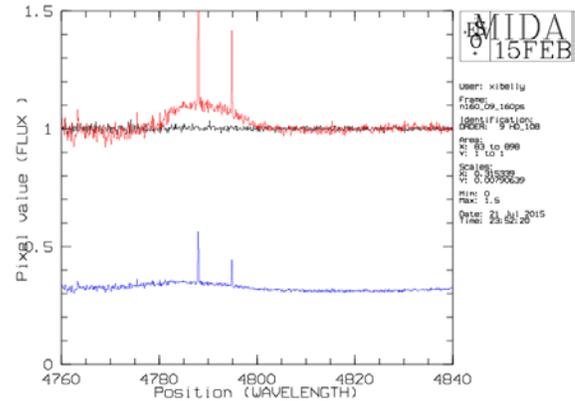


FIGURA 2: Como la Figura 1, pero para el orden 9.

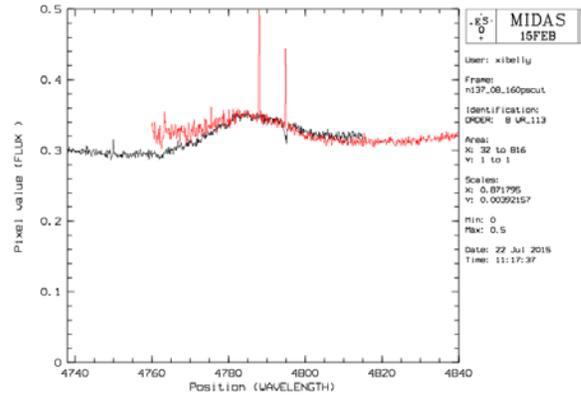


FIGURA 3: Método 1. Solapamiento de los órdenes 8 y 9 estrella WR113. Las gráficas que se muestran en color negro y rojo corresponden a los órdenes 8 y 9 respectivamente normalizados por el ajuste al continuo de HD108.

Posteriormente pasamos a ilustrar el solapamiento de los órdenes al usar ambos métodos.

De las figuras 3 y 4 podemos identificar que el solapamiento de los órdenes 8 y 9 se evidencia con claridad en la figura 3, la cual muestra la superioridad del Método 1 para llevar a cabo la normalización al continuo. Veamos este hecho en una sola imagen.

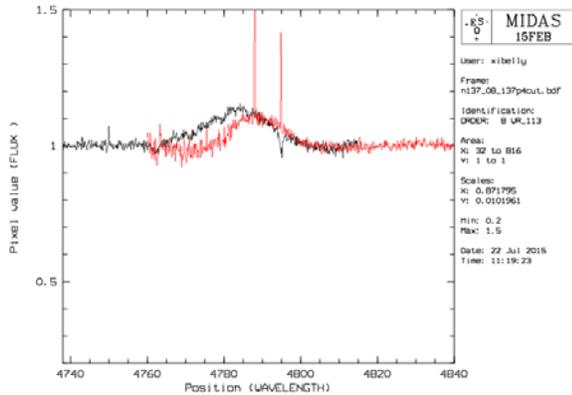


FIGURA 4: Método 2. Solapamiento de los órdenes 8 y 9 estrella WR113. Las gráficas que se muestran en color negro y rojo corresponden a los órdenes 8 y 9 respectivamente normalizados por el ajuste de WR113 con su propio continuo.

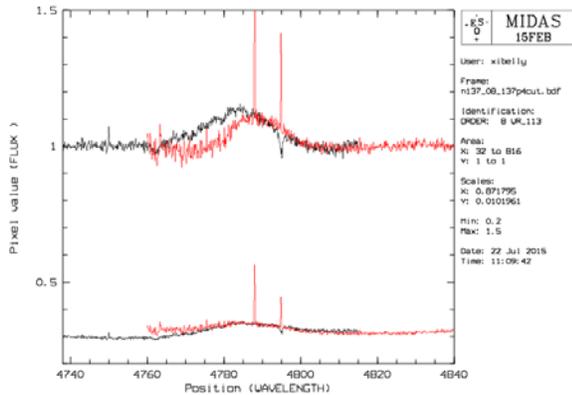


Figura 5: Comparación Método 1 y Método 2 órdenes 8 y 9 estrella Wolf-Rayet. Se presenta una comparación entre los diferentes métodos de normalización al continuo usados para los órdenes 8 y 9. Las gráficas superiores que se muestran en color negro y rojo corresponden a los órdenes 8 y 9 respectivamente normalizados por el ajuste de WR113 con su propio continuo. Las gráficas inferiores corresponden de manera similar al caso anterior a los órdenes 8 y 9 pero normalizados por el ajuste al continuo de HD108.

## CONCLUSIONES

Como las estrellas Wolf-Rayet presentan anchas líneas de emisión analizar sus espectros presenta un gran reto, por lo cual se hace uso de estrellas de

referencia de un tipo espectral similar, las cuales son utilizadas para poder realizar una normalización al continuo del espectro de la estrella de estudio. De acuerdo a los diferentes análisis presentados en la sección anterior podemos concluir que el método que mejor efectúa la normalización al continuo de la estrella Wolf-Rayet WR113 es el Método 1, el cual toma el continuo de la estrella de referencia HD108 y divide el espectro unidimensional entre este. Como se puede apreciar en la última imagen (ver Fig. 5), a una longitud de onda de 4790 Å que corresponde a C III, vemos que los órdenes se solapan, lo cual indica un método eficaz para la normalización al continuo. Por el contrario al analizar el Método 2 vemos que hay discrepancia en los órdenes, lo cual pierde sentido físico.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece profundamente a la Universidad de Guanajuato por fomentar la investigación científica a través del programa *Veranos de Investigación Científica UG*, el cual promueve la cooperación académica y fomenta el interés en la ciencia. Al Doctor Philippe Eenens por su continuo asesoramiento y a la Universidad de Antioquia por el apoyo otorgado.

## REFERENCIAS

- [1] Maury, A. C & Pickering, E.C. (1897). Spectra of bright stars photographed with the 11-inch Draper Telescope as part of the Henry Draper Memorial. *Annals of Harvard College*, 28, 1-128.
- [2] Eenens, P.R. (1991). Infrared spectroscopy of Wolf-Rayet stars. Edinburgh. University of Edinburgh
- [3] Howarth, I. D & Smith, K. C. (1995). Stellar-wind variability in IUE spectra of 68-Cygni. *The Astrophysical Journal*, 439,431-444.
- [4] Marcolino et al. (2012). HST/STIS spectroscopy of the magnetic O?p star HD 108: the low state at ultraviolet wavelengths. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 422(3), 2314-2321.
- [5] Van der Hutch,(2001). The VIIIth catalogue of galactic W-R stars. *New A. Rev*, 45, 135-232.