

# ANÁLISIS DE ESPECTROS DE ALTA RESOLUCIÓN DE LA ESTRELLA BINARIA HDE228766

Sergio Alfonso Pinilla Velandia (1), Philippe Eenens (2)

1 Física, Universidad Industrial de Santander | Dirección de correo electrónico: sergio.pinilla@correo.uis.edu.co

2 Departamento de Astronomía, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: eenens@gmail.com

## Resumen

Las estrellas Wolf Rayet, debido a sus fuertes vientos estelares, presentan líneas de emisión anchas y prominentes las cuales dificultan su análisis espectroscópico. Se realizó el proceso de reducción de datos para los espectros Echelle de la estrella binaria Wolf Rayet HDE228766 y para la estrella tipo-O HD108. Dicho proceso incluyó correcciones por ruido de lectura mediante el bias-frame, correcciones por la anisotropía en la sensibilidad de la cámara mediante el flat-field, determinación de los órdenes y normalización al continuo. Para normalizar el espectro de la estrella WR HDE228766 fueron ensayados dos métodos: se normalizó a los ajustes polinómicos de su propio continuo y del continuo de HD108. A modo de verificación, fueron normalizados dos órdenes consecutivos que presentaban la misma línea de emisión y se observó si los espectros normalizados se solapaban. Los resultados fueron favorables para ambos métodos.

## Abstract

Wolf Rayet stars, due to their strong stellar winds, have broad and prominent emission lines which make difficult their spectroscopic analysis. We performed the data reduction for Echelle spectra of the Wolf Rayet binary star HDE228766 and the O-type star HD108. This process included readout noise corrections using bias-frames, anisotropy in camera sensitivity corrections using flat-fields, determination of the orders, and normalization to the continuum. To normalize the spectrum of HDE228766, two different methods were tested: it was firstly normalized using the polynomial fit to its own continuum and secondly the polynomial fit to that of HD108. As a check, two consecutive orders that contain the same emission line were normalized in order to observe whether the normalized spectra overlapped or not. Both methods showed good results.

## Palabras Clave

Estrella Wolf-Rayet; espectrógrafo Echelle; normalización al continuo

## INTRODUCCIÓN

Las estrellas Wolf-Rayet son estrellas muy masivas poseedoras de vientos muy fuertes que transfieren una cantidad sustancial de momentum, energía y material estelar al medio interestelar, poseen masas típicas de 10-25 masas solares y se cree que son estrellas tipo O evolucionadas. Espectroscópicamente, estas estrellas son espectaculares en apariencia porque presentan líneas de emisión anchas y prominentes de helio, nitrógeno o carbono altamente ionizados atribuidas a sus fuertes vientos, a diferencia de las poblaciones estelares normales que presentan líneas de absorción angostas [1]. Como son muy luminosas y fáciles de identificar espectroscópicamente, las estrellas WR proveen información única sobre las estrellas masivas y el medio ambiente de las galaxias distantes [2].

Para observar los espectros estelares utilizados en el presente trabajo se utilizó un espectrógrafo tipo Echelle, el cual divide el espectro en muchos órdenes con el fin de alcanzar una alta resolución. Sin embargo, debido a procesos inherentes al funcionamiento de este instrumento, el continuo de los espectros observados difiere del continuo "real" y por tanto el perfil de las líneas espectrales se ve modificado. De manera que para eliminar estas contribuciones instrumentales en los espectros estelares observados se hace necesaria una estimación del continuo y una normalización del espectro a dicha estimación. Cuando se tiene líneas espectrales muy anchas, como es el caso de las estrellas Wolf-Rayet, la estimación del continuo es un problema serio que hasta ahora no ha sido resuelto correctamente [3].

A diferencia de las WR, las estrellas tipo O que no giran muy rápidamente no presentan líneas de emisión tan anchas. Las estrellas tipo O son comparables a las WR en temperatura y por tanto la forma del continuo de ambas estrellas es semejante, así que resulta viable normalizar el espectro de una estrella WR a la estimación del continuo de una estrella tipo O con líneas angostas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las estrellas con las que se trabajó fueron HDE228766 y HD108. HDE228766 es un sistema

binario muy masivo que alberga una estrella poco común de transición Of-WN8ha la cual orbita circularmente alrededor de una estrella tipo O7 [4]. HD108 es una estrella perteneciente a la clasificación espectroscópica Of?p, la cual describe un pequeño grupo de estrellas tipo O que muestran emisión en las líneas C III a 4650 Å con una intensidad comparable a la de las líneas de N III a 4634-42 Å [5]. Las imágenes registradas por el sistema de detección contienen, además de los espectros emitidos por las estrellas, información no deseada como registros de rayos cósmicos, contaminación telúrica o contribuciones instrumentales. Si se quiere recuperar los datos de ciencia de los datos crudos, entonces se debe eliminar, pixel a pixel, la contribución de las disitintas fuentes no deseadas. Para este proceso se siguieron los siguientes pasos:

- Corrección del flujo residual del CCD: el flujo residual del CCD se calcula mediante el bias-frame, que es una exposición de tiempo cero en la que no se registra ninguna iluminación de la cámara. Dado el carácter estocástico de este fenómeno, se construye un bias combinado a partir de las distintas imágenes de bias disponibles. Este bias combinado se sustrae de las imágenes crudas tomadas por la CCD.
- Corrección de la anisotropía en la sensibilidad de la cámara: cuando se ilumina un telescopio (y su sistema de detección) con un campo de radiación de intensidad uniforme no se observa una imagen uniformemente iluminada, esto se debe a factores como la sensibilidad individual de cada pixel de la CCD, defectos en la óptica del telescopio o suciedad en el sistema de detección. Para corregir esto se toma un flat field, que es una imagen de un objeto iluminado uniformemente. Al igual que en el caso anterior, se construye un flat combinado a partir de una secuencia de flats de buena calidad. La imagen original (después de la corrección de bias), se divide entre el flat-field combinado y normalizado.
- Definición de los órdenes: como los órdenes del échelle están inclinados con respecto a las filas del detector, la función de integración del flujo varía

periódicamente a lo largo de la dirección de dispersión. Con el fin de permitir una extracción óptima del espectro, es necesaria una correcta definición de los órdenes. Para la definición de órdenes se usa una estrella brillante.

- Calibración de la longitud de onda mediante el método par, método que nos permite identificar dos líneas en regiones solapadas de órdenes adyacentes, basado en la relación de echelle, ecuación física que se deriva de la relación de dispersión de la rejilla del espectrógrafo.
- Normalización del espectro de HDE228766 para dos órdenes consecutivos con presencia de una misma línea de emisión. Se ensayaron dos métodos de normalización diferentes. El primero consistió en normalizar los espectros de los órdenes siete y ocho de HDE228766 a un ajuste polinómico de su propio continuo. Para el segundo método, se normalizó el espectro de esta estrella en los mismos órdenes al ajuste polinómico del continuo de HD108.

Todo esto se hizo mediante el código ESO-MIDAS (European Southern Observatory – Munich Image Data Analysis System), que proporciona herramientas generales para el procesamiento de imágenes y reducción de datos con énfasis en aplicaciones astronómicas y cuenta con un paquete especial para análisis de datos de espectros de Echelle [6].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Primer método

Este método consiste en normalizar el espectro de HDE228766 en los órdenes siete y ocho a su propio continuo. Mediante polinomios de orden 5 se ajusta el continuo de la estrella en estos órdenes (ver figura 1) y se divide el espectro de cada orden entre su ajuste polinómico correspondiente, obteniéndose los resultados de la figura 2. Como se observa en esta figura, existe solapamiento en la línea de He II y por tanto el método es válido en este caso específico.

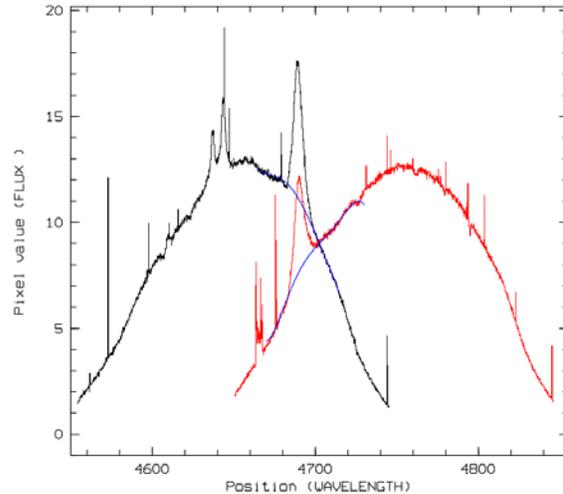


FIGURA 1: Órdenes 7 (negro) y 8 (rojo) de la estrella HDE228766 sin normalizar. En azul se presenta los polinomios de grado 5 utilizados para ajusta el continuo en ambos órdenes. Se observa la línea de emisión (He II) que se quiere estudiar a 4685 Å.

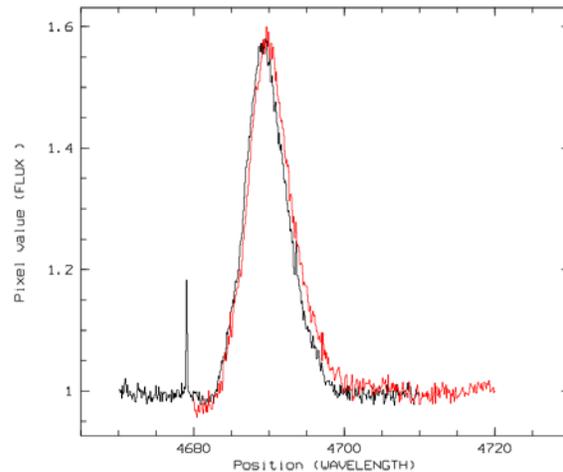


FIGURA 2: Espectros normalizados en los órdenes 7 (negro) y 8 (rojo) de la estrella HDE228766 a su propio continuo (primer método). Se observa un solapamiento en la línea de emisión He II lo cual valida este método en este caso.

### Segundo método

Este método consiste en normalizar el espectro de HDE228766 en los órdenes siete y ocho al continuo de HD108. Mediante polinomios de orden 4 se

ajusta el continuo de la estrella HD108 en estos órdenes (ver figura 3) y se divide cada espectro de HDE228766 entre su ajuste polinómico correspondiente. En las figuras 4 y 5 se observa los espectros de ambas estrellas normalizadas al continuo de HD108 para los órdenes siete y ocho respectivamente. Finalmente, se superponen los espectros normalizados de la estrella Wolf Rayet, obteniéndose los resultados de la figura 6. Como se observa en esta figura, existe solapamiento en la línea de He II y por tanto el método también es válido en este caso específico.

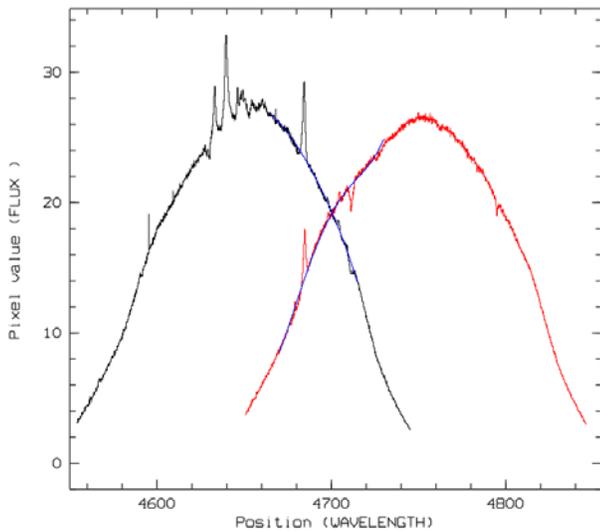


FIGURA 3: Órdenes 7 (negro) y 8 (rojo) de la estrella HD108 sin normalizar. En azul se presenta los polinomios de grado 4 utilizados para ajustar el continuo en ambos órdenes. Se observa la presencia de líneas angostas que facilitan la estimación del continuo.

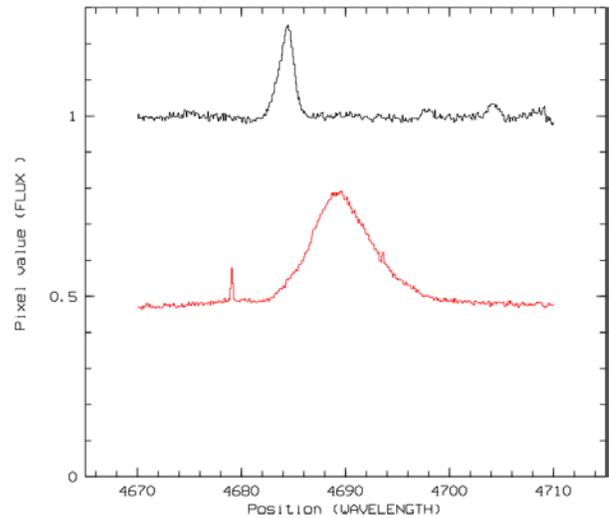


FIGURA 4: Espectros de HD108 (línea negra) y HDE228766 (línea roja) normalizados al continuo de HD108 para el orden 7. Se observa la línea de He II en ambos espectros, siendo más ancha en el caso de la estrella binaria Wolf Rayet. Dicha línea presenta un corrimiento relativo entre las dos estrellas.

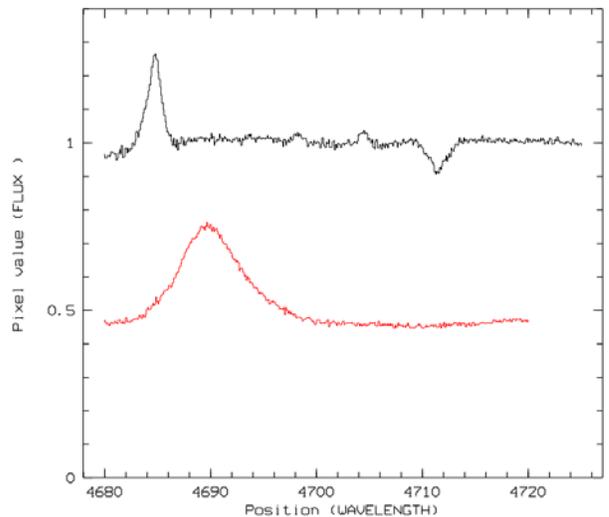
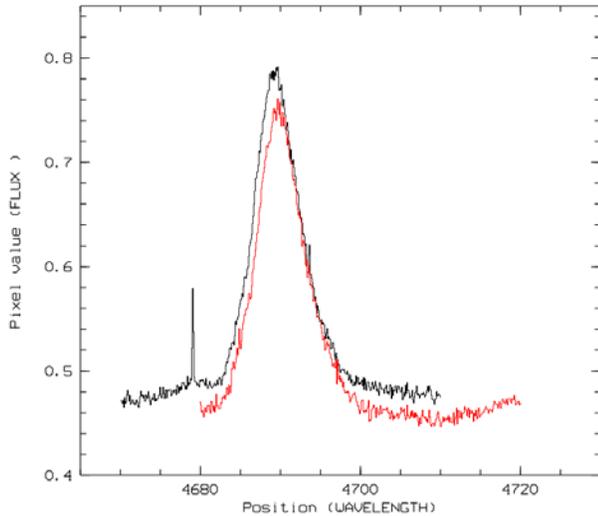


FIGURA 5: Espectros de HD108 (línea negra) y HDE228766 (línea roja) normalizados al continuo de HD108 para el orden 8. Se observa la línea de He II en ambos espectros así como un corrimiento relativo de esta línea entre las dos estrellas.



**FIGURA 6:** Espectros normalizados en los órdenes 7 (negro) y 8 (rojo) de la estrella HDE228766 al continuo de HD108 (segundo método). Se observa un solapamiento en la línea de emisión He II lo cual valida este método en este caso específico.

## CONCLUSIONES

Se buscó el mejor método de normalización, pero ambos dieron resultados comparables y no es posible decidir cuál es superior, lo cual indica:

- La estrella HD108 presenta un continuo semejante al continuo de la estrella HDE228766 y el método propuesto para normalizar el espectro de estrellas Wolf-Rayet al continuo de una estrella tipo O es válido.
- La línea He II presente en los órdenes siete y ocho de la estrella HDE228766 no era muy ancha y por tanto la estimación del continuo no resultó complicada. Sin embargo, esta línea era la más ancha y fuerte encontrada en los distintos órdenes de esta estrella.
- No es posible decidir de forma general cuál método es mejor que otro, ya que esto depende de cada caso que se esté estudiando, es decir, de la forma del continuo de cada orden y la forma de las líneas espectrales presentes.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad de Guanajuato por permitirme ser parte de esta experiencia tan enriquecedora para mi carrera como investigador, así como también al doctor Philippe Eenens por su constante acompañamiento a lo largo de todo este proceso.

## REFERENCIAS

- [1] Crowther, Paul A. (2007). Physical Properties of Wolf-Rayet Stars. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 45 (1), 177-219. doi: 10.1146/annurev.astro.45.051806.110615
- [2] Eenens, P. (1991). *Infrared Spectroscopy of Wolf-Rayet Stars*. PhD. Thesis. University of Edinburgh
- [3] Skoda, P. & Miroslav, S. (2002). Reduction of spectra exposed by the fiber-fed echelle spectrograph HEROS. *Publications of the Astronomical Institute of the Czechoslovak Academy of Sciences*, 90, 40-60
- [4] Rauw, G., Mahy, L., Naze, Y., Eenens, P., Manfroid, J. & Flores, C. A. (2014). Phase resolved X-ray spectroscopy of HDE228766: Probing the wind of an extreme Of+/WNLha star. Recuperado de: <http://arxiv.org/abs/1405.2245>
- [5] Marcolino, W. L. F., Bouret, J.-C., Walborn, N. R., Howarth, I. D., Naze, Y., Fullerton, A. W., Wade, G. A., Hillier, D. J. & Herrero, A. (2012). HST/STIS spectroscopy of the magnetic Of?p star HD 108: the low state at ultraviolet wavelengths. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 422 (3), 2314-2321. doi: 10.1111/j.1365-2966.2012.20820.x
- [6] European Southern Observatory. Eso- Midas. Recuperado de: <http://www.eso.org/sci/software/esomidas/>