

# Calibración en flujo en espectros de CASLEO Incertezas en mediciones

M. B. Mari<sup>1</sup>, G. Gaspar<sup>2,3</sup>, W. Weidmann<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> *Facultad de Matemática, Astronomía y Física, UNC, Argentina*

<sup>2</sup> *Observatorio Astronómico de Córdoba, UNC, Argentina*

<sup>3</sup> *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.*

Contacto / mbmari@oac.unc.edu.ar

**Resumen** / En este trabajo presentamos una evaluación de algunos parámetros que intervienen en la reducción y calibración en flujo de espectros de CASLEO obtenidos con el espectrógrafo REOSC/DS, con el objetivo de cuantificar las incertezas involucradas y así mejorar nuestros estudios en objetos con líneas de emisión. Para esto se analizaron 21 espectros de una nebulosa planetaria (NP) estándar de flujo, durante cinco noches consecutivas. Con estos datos, estimamos la incerteza en flujo que puede esperarse en CASLEO en objetos que contengan líneas de emisión. Paralelamente, a partir de los espectros de las estrellas estándares, estudiamos las distintas opciones de corrección por flat, para determinar el impacto que esta corrección causa sobre los espectros reducidos. Finalmente, se evaluó la medida de la calidad de la noche y el error en la medición en flujo. Nuestros resultados muestran que para la región roja de los espectros, los errores son del  $\sim 4\%$  y se incrementan hacia la región del azul. Además, verificamos que la corrección por *flat* mejora los resultados y que los errores en la medición de flujos no son despreciables.

**Abstract** / In this paper, we present an evaluation of some parameters involved in the reduction and flux calibration for CASLEO REOSC/DS spectra, with the aim of quantify the uncertainties involved and so improve our studies on line emission objects. For this purpose, we observed a flux standard planetary nebula (PN) during five consecutive nights and analyzed 21 spectra. With this data we estimated the flux uncertainty that can be expected in CASLEO in objects that contain emission lines. From the spectra of the standard stars, we studied the different possible option for the *flat* correction to determine the impact of this correction on the reduced spectra. Finally, the quality of the night and the error in the flux measurement of the lines were evaluated. Our results show that for the red region of the spectrum the errors are  $\sim 4\%$  and increasing towards the blue region. We also verified that the *flat* correction is necessary and that the flux measurement errors are not negligible.

**Keywords** / methods: data analysis — techniques: spectroscopic — ISM: HII regions

## 1. Introducción

La obtención de parámetros físicos de diversos objetos requiere, necesariamente, la medición del flujo de líneas de emisión. Hay una serie de factores que intervienen en la calidad de los datos obtenidos, que van desde la calidad de la noche de observación hasta el proceso de medición.

Si bien se han ensayado algunas expresiones teóricas para poder cuantificar la incerteza en el flujo de una línea (Gonzalez-Delgado et al., 1994; Skillman & Kennicutt, 1993; Lenz & Ayres, 1992), éstas son siempre parciales y hay que tomarlas como una cota inferior.

Una manera apropiada, aunque demandante en tiempo, de obtener la incerteza en el flujo de una línea de emisión es: observar un mismo objeto, con el mismo sistema de observación, durante varias noches, tomando varios espectros por noche. De esta manera se tienen un conjunto de mediciones independientes que contemplan diferentes condiciones de observación.

La desviación cuadrática media de los resultados del flujo de una determinada línea nos dará un valor realista de su incerteza.

El objetivo del trabajo es, entonces, conocer las limitaciones del instrumento y cómo éstas, sumado al proceso de reducción, afectan la calidad de nuestros datos.

## 2. Observación y reducción

Las observaciones fueron realizadas durante cinco noches consecutivas. Se observó la NP estándar en flujo H $\beta$  4 (PN G003.1+02.9). El objeto fue seleccionado del trabajo de Dopita & Hua (1997). Las observaciones se realizaron en el espectrógrafo REOSC/DS usando la red de 300 l mm<sup>-1</sup> con *blaze* en 5000 Å y dispersión 3.4 Å px<sup>-1</sup>, con una ranura de 250 m $\mu$ ; cada uno de los espectros se integró durante 600 segundos. El objeto se observó a distancias cenitales inferiores a 40°. En la Fig. 1 se muestra un ejemplo de espectro de H $\beta$  4 reducido y normalizado. Para las estrellas estándares en flujo, se aumentó el tamaño de la ranura a 600 m $\mu$ . Por lo tanto fue necesario obtener *flats*, tanto de cúpula como de cielo, para ambos tamaños de ranura. Se utilizó la lámpara CuNeAr para la calibración en longitud de onda. Los datos fueron reducidos con IRAF siguiendo el

Tabla 1: Resumen de bitácora de observación y el RMS del ajuste de la tarea *sensfunc*.

Noches	N° estrellas estándares	RMS <i>sensfunc</i>	N° espectros Hb 4
29/04/17	5	0.0903	4
30/04/17	6	0.0581	3
01/05/17	5	0.4724	5
02/05/17	5	0.3639	5
03/05/17	5	0.3320	4

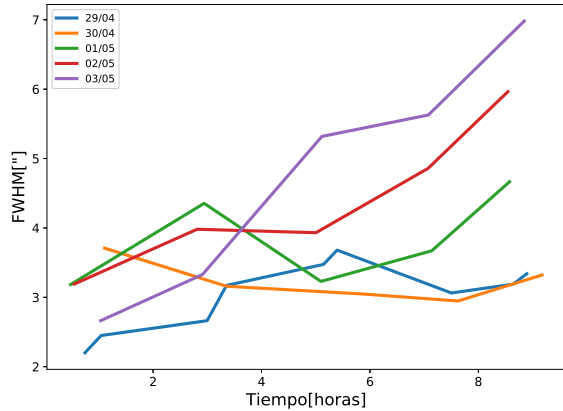


Figura 2: Estimación del *seeing* para diferentes horas a lo largo de las cinco noches.

procedimiento estándar. Finalmente los espectros fueron rectificadas y desenojeados. En la Tabla 1 puede verse el detalle de las observaciones por noche.

### 3. La calidad de las noches

Una manera de evaluar la calidad de las noches de observación es a través del *seeing*. Éste se estimó mediante el *Full Width at Half Maximum* (FWHM) del continuo de las estrellas estándares. En la Fig. 2 se muestran estas mediciones. Se evidencia que en las 5 noches hay una tendencia a que el *seeing* empeore en el transcurso de la noche. Otra manera de evaluar la calidad de las noches es con el valor cuadrático medio (*RMS*, por sus siglas en inglés) que genera la tarea de IRAF *sensfunc*. En la Tabla 1 se muestran estos resultados y en la Fig. 3 puede verse un ejemplo. Notar como la dispersión en la parte azul desmejora notablemente, con respecto al resto del rango espectral. Ambos estimadores evidencian que las noches no fueron muy buenas.

### 4. Sobre la corrección por *flat*

No siempre es claro si la corrección por *flat* mejora la calidad de los datos. A diferencia del caso de imagen directa, en espectroscopía esto es complejo de determinar. Es importante conocer esto para no introducir ruido innecesario en la reducción. Para estudiar este problema, tomamos los espectros de las estrellas estándares de una noche y los redujimos siguiendo un mismo procedimiento con tres opciones diferentes: *flat* de lámpara, cúpula

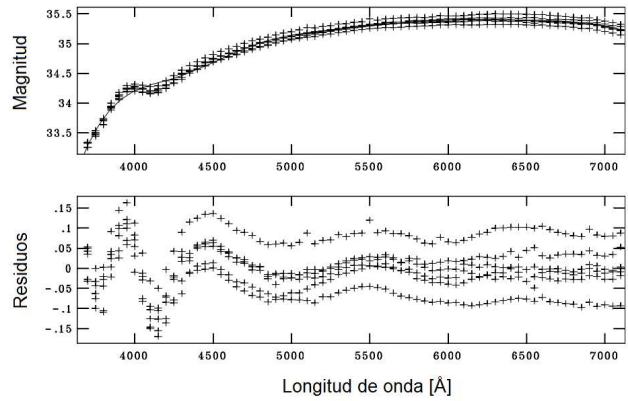


Figura 3: Ajuste de la tarea *sensfunc* (arriba) y los residuos (abajo) para la estrella estándar de la noche 30/04.

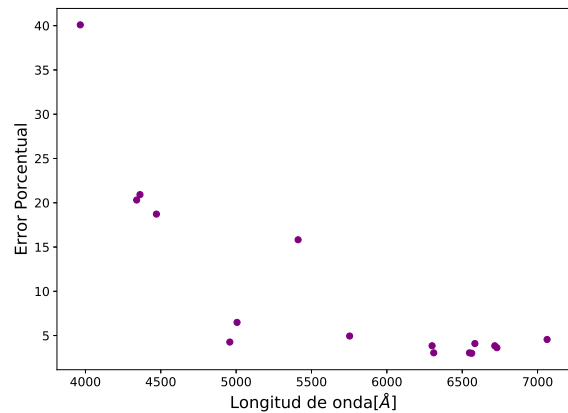


Figura 4: Error porcentual de la medición de flujo en función de la longitud de onda.

o ninguno de ellos, además de corregir por *flat* en la dirección espacial usando los *flats* de cielo. Para esto se estudió la S/N (en el rango de 5350-5450Å) en el continuo de las 5 estrellas estándares de la cuarta noche. Se obtuvo como resultado 182 para *flat* de cúpula, 150 para lámpara y 145 sin corrección por *flat*. Es decir, que la S/N es máxima cuando se aplica el *flat* de cúpula y mínima cuando no se usa ninguno.

### 5. Mediciones de flujo

Una vez reducidos los espectros, se realizaron las mediciones de flujo de 15 líneas distribuidas a lo largo de todo el rango espectral. Se calculó el promedio y su desviación estándar (ver Tabla 2).

En la Fig. 4, se grafica el error porcentual en función de la longitud de onda. Puede verse cómo a partir de H $\beta$  hacia el azul el error aumenta considerablemente llegando a valores de hasta 10 veces más que la media de la región roja del espectro, la cual oscila alrededor de 4. Como excepción, en la línea del HeII  $\lambda = 5412\text{\AA}$ , el error aumenta debido a que la S/N de la línea es notablemente menor que en el resto, dificultando su medición.

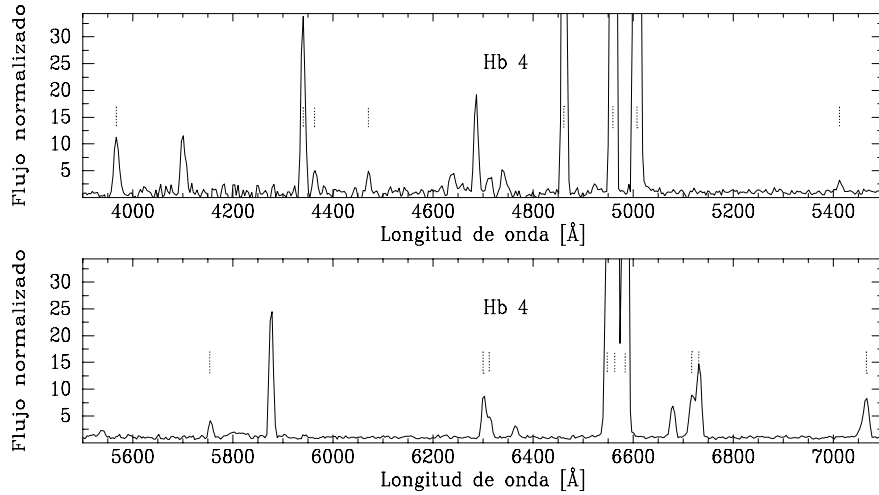


Figura 1: Espectro de la nebulosa planetaria estándar en flujo H $\beta$  4. Se indican las líneas medidas.

Tabla 2: Valores de flujo (referidas a  $I(H\beta)=100$ ) en diferentes líneas con sus respectivos valores medios e incertezas.

$\lambda[\text{\AA}]$	Ion	Valor Medio	RMS	Error(%)
3966	[Ne III]	25	10	40.09
4340	H $\gamma$	42	9	20.31
4362	[O III]	6	1	20.92
4471	He I	5	1	18.72
4861	H $\beta$	100	-	-
4959	[O III]	387	17	4.27
5006	[O III]	1156	75	6.49
5412	He II	1.7	0.3	15.82
5753	[N II]	2.1	0.1	4.95
6300	[O I]	5.5	0.2	3.85
6311	[S III]	2.7	0.1	3.05
6548	[N II]	37	1	3.05
6563	H $\alpha$	323	10	3.00
6584	[N II]	110	5	4.10
6717	[S II]	6.4	0.3	3.85
6730	[S II]	10.7	0.4	3.63
7063	He I	7.0	0.3	4.56

## 6. Experimento

Con el objetivo de evaluar la incerteza en el proceso de medición realizamos un experimento. Se le pidió a 19 astrónomos que midieran 6 líneas del espectro mostrado en la Fig. 1. En la Tabla 3 se muestra el promedio de las 19 mediciones de flujo para cada línea, su RMS, su error porcentual y la S/N. Puede verse que hay una clara correlación entre la S/N de la línea y la incerteza obtenida. Para el caso de la línea  $\lambda = 6717\text{\AA}$ , si bien se tiene una S/N moderada, se requiere un *deblending* para poder medirla correctamente lo que generó una disparidad de criterios entre los medidores.

## 7. Resultados

- La calibración en flujo en la zona del rojo es estable y razonablemente buena, mientras que en el azul no cumple con las expectativas. Seguramente la refracción diferencial y las imprecisiones en el guiado

Tabla 3: Resultados obtenidos a partir de las mediciones de flujo de 19 astrónomos, referidas a  $I(H\beta) = 100$ .

Línea	S/N	Flujo Medio	RMS	Error(%)
4100	15	11.09	0.58	5.3
4340	40	28.87	0.64	2.2
4861	135	100	-	-
4959	720	371.01	6.03	1.6
6563	2230	421.27	8.64	2.1
6717	50	9.23	0.48	5.2

manual del telescopio sean los principales responsables. No hay que descartar, además, que la eficiencia cuántica del CCD disminuye drásticamente en el azul.

- A pesar de que las noches no fueron muy buenas, la incerteza en la medición del flujo de las líneas (para la parte roja del espectro) es baja. Esto permite obtener los parámetros físicos de la nebulosa con buena calidad.
- Los errores originados en el proceso de medición no son despreciables.
- La corrección por *flat* de cúpula mejora los resultados.

Los resultados obtenidos en este trabajo corresponden a los datos de una NP. Hemos observado 5 NPs más, una vez que analicemos los datos de estos otros objetos obtendremos conclusiones más robustas. Esperamos que estos resultados sean de utilidad para futuros usuarios de REOSC/DS.

## Referencias

- Dopita M. A., Hua C. T., 1997, ApJS, 108, 515  
 Gonzalez-Delgado R. M., et al., 1994, ApJ, 437, 239  
 Lenz D. D., Ayres T. R., 1992, PASP, 104, 1104  
 Skillman E. D., Kennicutt Jr. R. C., 1993, ApJ, 411, 655