

Universidad Técnica Federico Santa María

AST-205 - COMPUTATIONAL ASTRONOMY

DRA. LIC. ODETTE TOLOZA CASTILLO

Espectro Cruz del Sur

Autor

Rodrigo Araya Gracia¹
Javiera Espinoza Morales²

July 06, 2022

¹Rol: 201941005-9

²Rol: 201941036-9

Contents

1	Introducción	1
2	Marco Teórico	2
2.1	Cruz del Sur	2
2.2	Gacrux	3
2.3	Desarrollo y análisis	4
2.3.1	Reducción	4
2.3.2	Normalizado	8
2.3.3	Extracción del espectro y corrección del background	9
2.4	Conclusiones	23

Chapter 1

Introducción

En el presente trabajo se procederá a obtener el espectro de luz de una de las estrellas de la constelación de la Cruz del Sur, en particular, Gacrux. Para ello, se utilizarán los datos tomados desde el observatorio AstroQuinta, los cuales se le han entregado a la UTFSM. Para poder llegar a el espectro, se procederá a reducir las imágenes mediante los códigos utilizados en tareas anteriores, para luego, trabajarlas mediante el software IRAF.

Chapter 2

Marco Teórico

2.1 Cruz del Sur

La constelación Cruz del Sur es una constelación perteneciente al hemisferio austral de nuestro planeta. En ella se encuentran diversas estrellas, siendo las más notables las que conforman la llamada Cruz del Sur: Acrux, Becrux, Gacrux y Decrux.

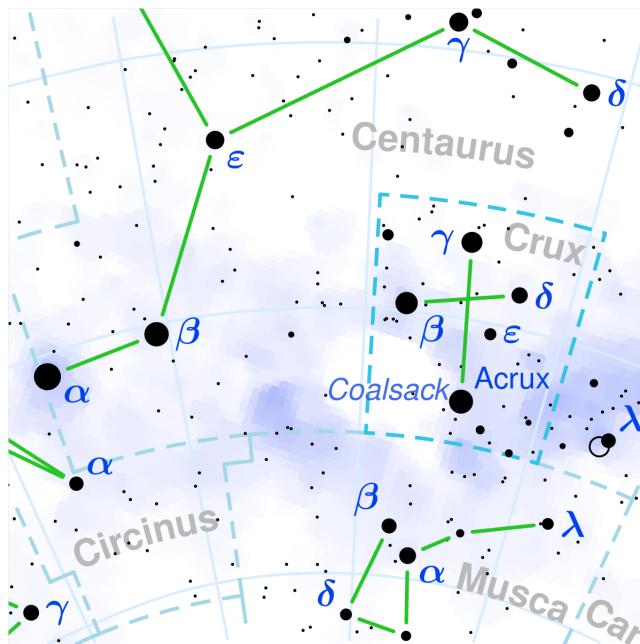


Figure 2.1: Constelación Cruz del Sur.

Históricamente esta constelación se ha utilizado para orientar la cruz de los vientos en el cielo nocturno, razón por la que lleva su característico nombre.

2.2 Gacrux

Gacrux forma la punta del tramo más pequeño de la cruz. Esta estrella es una gigante roja de magnitud espectral M3.5, a una distancia aproximada de 90 años luz del astro principal del sistema solar, 1500 veces más luminosa y 110 veces mayor en diámetro que este.

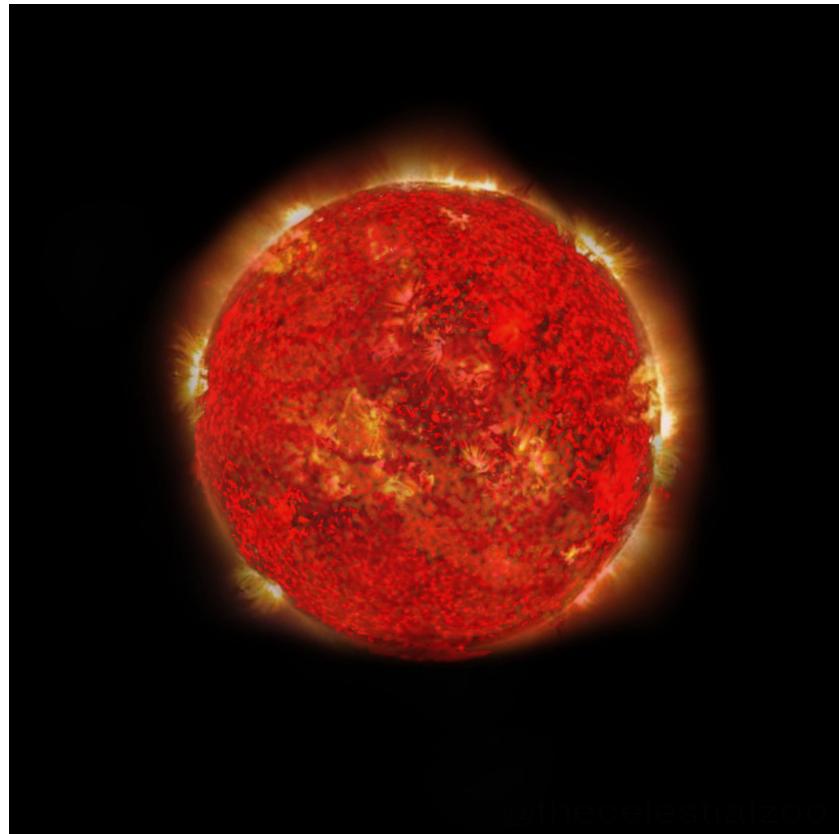


Figure 2.2: Imagen computacional de Gacrux.

2.3 Desarrollo y análisis

2.3.1 Reducción

Las imágenes tomadas por el observatorio aficionado AstroQuinta sin corregir se ven de la siguiente forma.

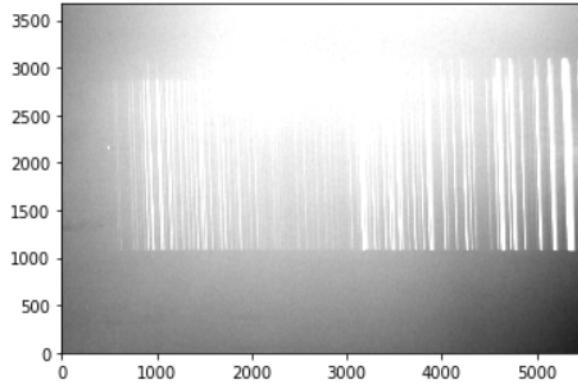


Figure 2.3: Relco sin corregir.

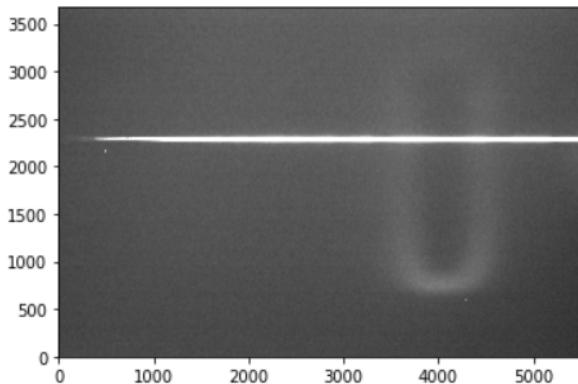


Figure 2.4: Gacrux sin corregir.

Además, se toma imagen de una estrella para utilizarse como ejemplo y comparación durante el desarrollo posterior.

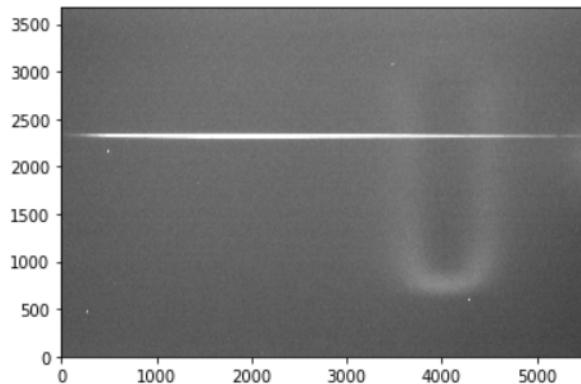


Figure 2.5: Star sin corregir.

En ellas podemos ver un error considerable, sobretodo en el Relco, en el cual vemos una mancha blanca. Esto indicaría una sobre sensibilidad a la temperatura de la CCD en los píxeles ubicados en la zona superior central. Se procede a trabajar con las imágenes de corrección, para eliminar ruido como el ya mencionado. Las imágenes que se usarán para corregir se pueden visualizar en Jupyter Notebook mediante código Python 3.7. A continuación se observan las imágenes correctoras.

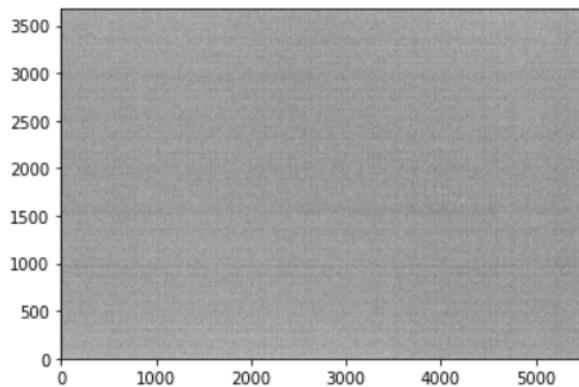


Figure 2.6: MasterBias.

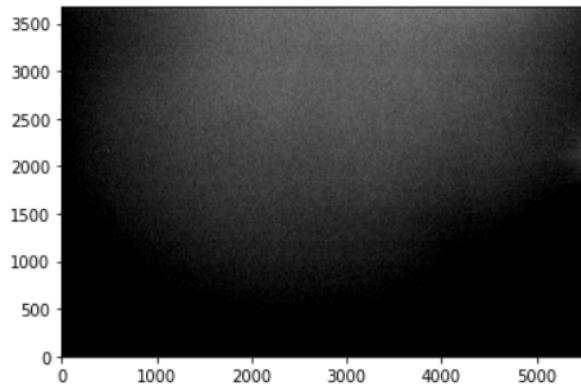


Figure 2.7: MasterDark.

En este momento, el lector debería cuestionar el hecho de la no presentación del MasterFlat utilizado para la corrección. La respuesta a dicho hecho es simple: el MasterFlat introduce más ruido del que corrige, por lo que ha sido despreciado en base a los fundamentos que se estudiarán posteriormente. Con ello, las imágenes corregidas que se han obtenido son las siguientes:

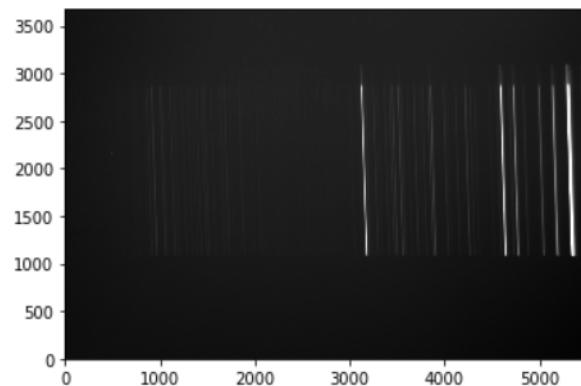


Figure 2.8: Relco corregida.

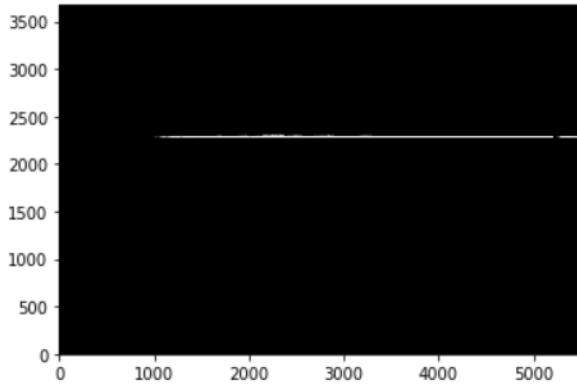


Figure 2.9: Gacrux corregida

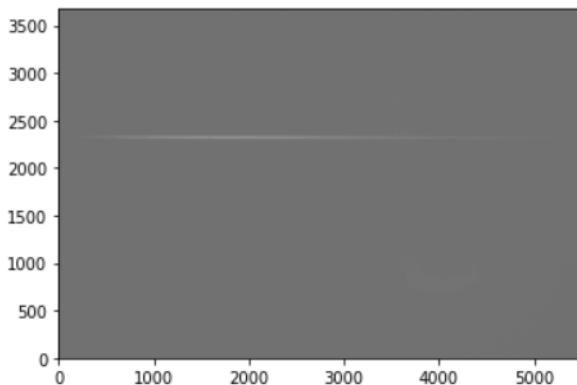


Figure 2.10: Star corregida

En ellas visualmente se puede ver una reducción considerable del ruido. Es importante destacar que los colores de los que se ve la imagen depende de la saturación entregada en Jupyter, la cual no ha sido la misma para todas las imágenes. Por otro lado, se puede destacar que en la figura 2.9 se aprecia que el espectro es muy débil entre los 0 y 1000 píxeles en el eje horizontal, por lo cual, los resultados esperados para dicha zona no serán confiables.

2.3.2 Normalizado

Primero, se observa el MasterFlat a través de la librería matplotlib de Python, en Jupyter Notebook.

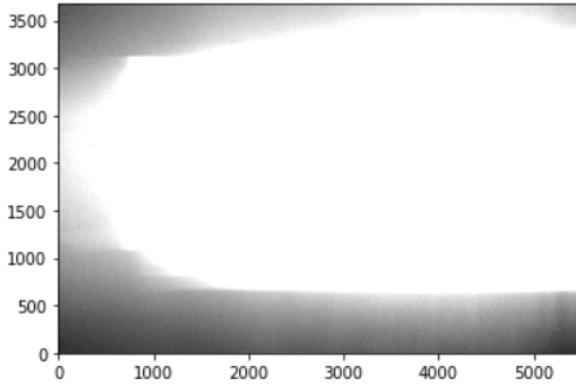


Figure 2.11: Master Flat.

El Masterflat, el cual representa el ruido introducido por la diferencia de sensibilidad entre los pixeles, debe ser normalizado para poder corregir las imágenes. Para esto se utilizará IRAF, específicamente con la función "response", la cual mediante un ajuste de curva proporcionado por el usuario, normalizará la imagen dependiendo de la posición.

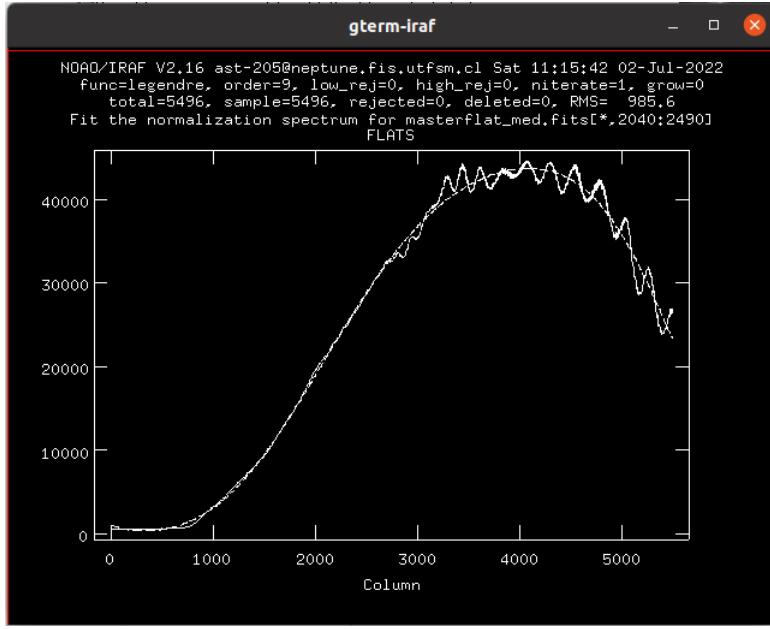


Figure 2.12: Ajuste de curva del MasterFlat.

Se utiliza la función **legendre** de **orden 9**, pues es la función que mejor ajusta a los datos en el programa. Previo a la normalización, fueron estudiadas las medianas y medias en distintas secciones del MasterFlat para luego tener una referencia de si el proceso fue efectivo.

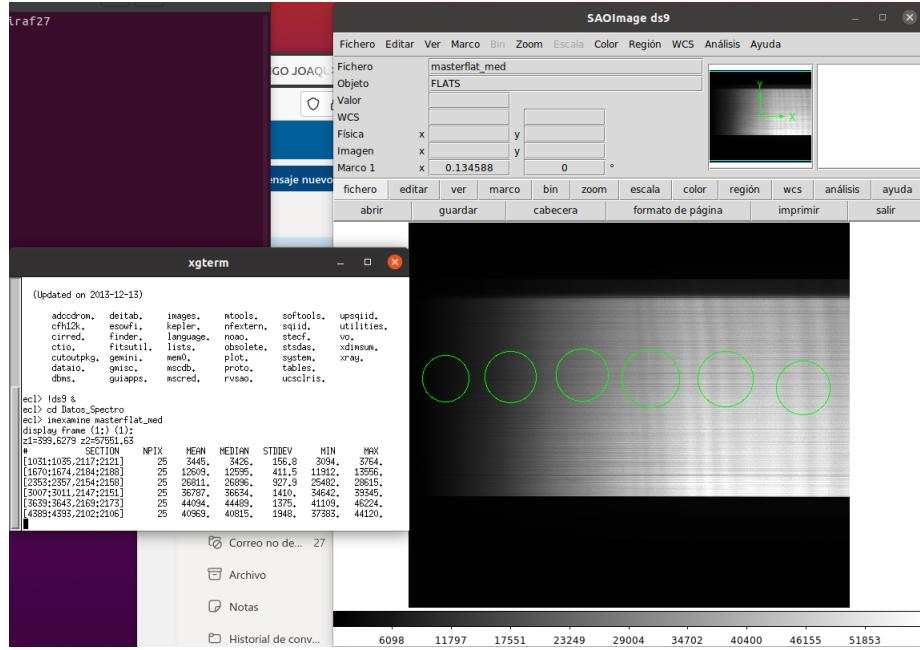


Figure 2.13: Master Flat normalizado.

Es importante destacar que la curva elegida no ajusta perfectamente debido al fringing. Este fenómeno, al estar presente tanto en los datos como en el MasterFlat, debiese ser eliminado al realizarse la corrección, pero los datos utilizados en este trabajo no fueron captados el mismo día ni bajo las mismas condiciones, razón por la cual el fringing del MasterFlat con el de las imágenes se encuentra desplazado, lo cual estaría introduciendo error en vez de reducirlo cuando se realiza la división.

2.3.3 Extracción del espectro y corrección del background

Es requerido el espectro de la estrella asignada para poder compararlo con el RELCO posteriormente. Se procede a llamar a la función apall para el procedimiento, utilizando los parámetros indicados en clases.

xterm

IRAF
Image Reduction and Analysis Facility

```

PACKAGE = apextract
TASK = apall

input = [ ] corrected_gacrux.ms List of input images
(output = corrected_gacrux.ms) List of output spectra
(apertur= 1) Apertures
(format = onedspec) Extracted spectra format
(referen= ) List of aperture reference images
(profile= ) List of aperture profile images

(interac= yes) Run task interactively?
(+find = yes) Find apertures?
(recente= yes) Recenter apertures?
(resize= yes) Resize apertures?
(edit = yes) Edit apertures?
(trace = yes) Trace apertures?
(fitfrac= yes) Fit the traced points interactively?
(extract= yes) Extract spectra?
(extras = yes) Extract sky, sigma, etc.?
(review = yes) Review extractions?

(line = INDEF) Dispersion line
(nsum = 10) Number of dispersion lines to sum or median

# DEFAULT APERTURE PARAMETERS

(lower = -5.) Lower aperture limit relative to center
(upper = 5.) Upper aperture limit relative to center
(apidtab= ) Aperture ID table (optional)

# DEFAULT BACKGROUND PARAMETERS

(b_funct= chebyshev) Background function
(b_order= 1) Background function order
(b_sampl= -10:-6.6:10) Background sample regions
(b_naver= -3) Background average or median
(b_niter= 0) Background rejection iterations
(b_low_r= 3.) Background lower rejection sigma
(b_high_r= 3.) Background upper rejection sigma
(b_grow = 0.) Background rejection growing radius

# APERTURE CENTERING PARAMETERS

(width = 7.) Profile centering width
(radius = 12.) Profile centering radius
(thresho= 0.) Detection threshold for profile centering

# AUTOMATIC FINDING AND ORDERING PARAMETERS

(nfind = 1) Number of apertures to be found automatically
(minsep = 5.) Minimum separation between spectra
(maxsep = 100000.) Maximum separation between spectra
(order = increasing) Order of apertures

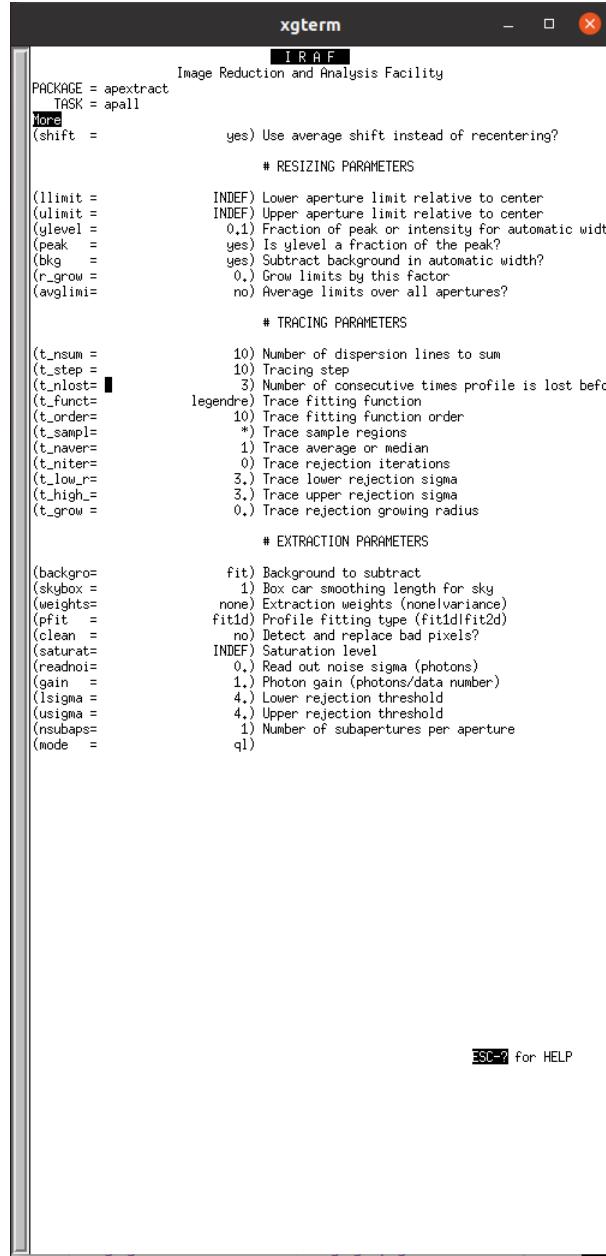
# RECENTERING PARAMETERS

(aprecen= ) Apertures for recentering calculation
(npeaks = INDEF) Select brightest peaks

More

```

Figure 2.14: Parámetros de la función apall para Gacrux.



```

xterm          -  x
IRAF
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = apextract
TASK = apall
More
(shift =      yes) Use average shift instead of recentering?
# RESIZING PARAMETERS
(llimit =      INDEF) Lower aperture limit relative to center
(ulimit =      INDEF) Upper aperture limit relative to center
(ylevel =      0.1) Fraction of peak or intensity for automatic width
(peak =        yes) Is ylevel a fraction of the peak?
(bkg =         yes) Subtract background in automatic width?
(r_grow =      0.) Grow limits by this factor
(avglimi=      no) Average limits over all apertures?

# TRACING PARAMETERS
(t_nsum =      10) Number of dispersion lines to sum
(t_step =       10) Tracing step
(t_nlost=      3) Number of consecutive times profile is lost before
(t_funct=      legendre) Trace fitting function
(t_order=      10) Trace fitting function order
(t_sampi=      *) Trace sample regions
(t_naver=      1) Trace average or median
(t_niter=      0) Trace rejection iterations
(t_low_r=      3.) Trace lower rejection sigma
(t_high_r=     3.) Trace upper rejection sigma
(t_grow =      0.) Trace rejection growing radius

# EXTRACTION PARAMETERS
(backgro=      fit) Background to subtract
(skybox =      1) Boxcar smoothing length for sky
(weights=      none) Extraction weights (none\variance)
(pfitt=      fit1d) Profile fitting type (fit1d\fit2d)
(clean =       no) Detect and replace bad pixels?
(saturat=     INDEF) Saturation level
(readnoi=      0.) Read out noise sigma (photons)
(gain =        1.) Photon gain (photons/data number)
(isigma =      4.) Lower rejection threshold
(usigma =      4.) Upper rejection threshold
(nsubaps=     1) Number of subapertures per aperture
(mode =        q1)

```

ESC-? for HELP

Figure 2.15: Parámetros de la función apall para Gacrux.

Se elige el centro de forma visual. Luego, sea la apertura elegida:

- Centro = 2284.5 [pix]
- Límite inferior = 2279.5 [pix]
- Límite superior = 2289.5 [pix]

Se observa que la apertura elegida en el momento del llamado de la función `apall` no es coherente con la teoría. Se elige una nueva apertura que contenga alrededor del 80-90% de los ADUS pertenecientes a la apertura. Los valores a utilizar serán:

- Centro = 2284.5 [pix]
- Límite inferior = 2264.91 [pix]
- Límite superior = 2301.54 [pix]

Se trabaja con Gacrux, analizando la curva de ADUS por fila.

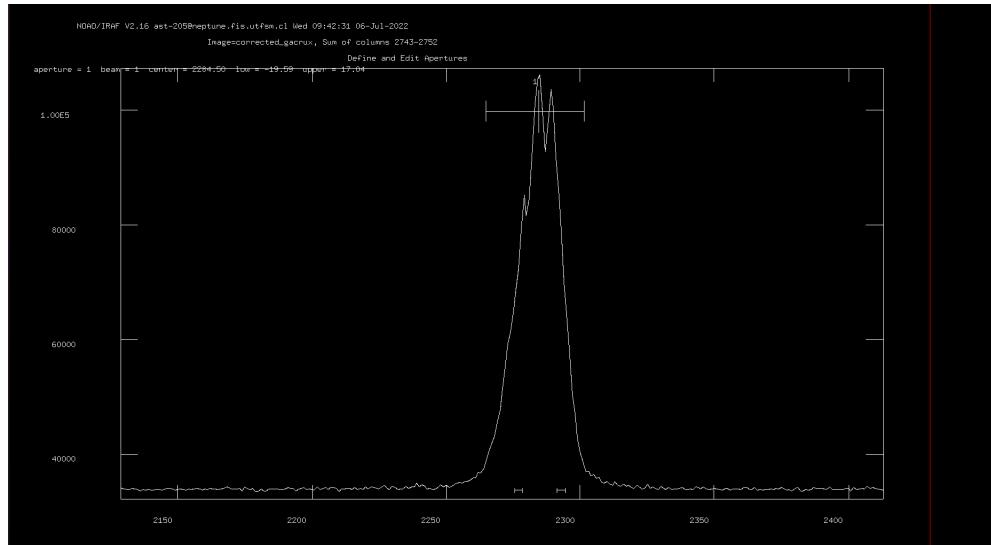


Figure 2.16: Curva ADUS por fila con su apertura.

Se concluye, según los conocimientos previos, que el gráfico es coherente con lo mostrado en Gacrux corregida, pues existe un sólo una franja luminosa, de espesor poco variable, lo cual explica la figura del objeto celeste indicado. Además, se puede identificar una correcta apertura, pues limitarla a un 80-90% de los ADUS de la estrella evita ingresar ruido desde el cielo, lo cual es favorable para los cálculos posteriores.

Luego, se procede a asignar el background en la gráfica, con el fin de sustraerlo al momento de realizar la curva del espectro, evitando ingresar mayor ruido y un corrimiento de las longitudes de onda.

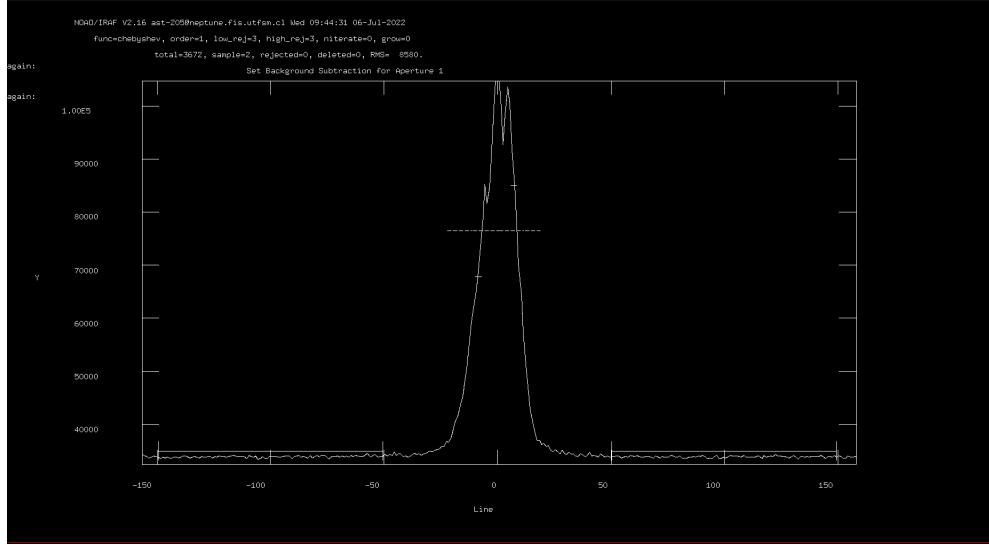


Figure 2.17: Asignación del background en la gráfica.

Posterior a ello, se proceden a imprimir los puntos en los cuales el programa reconoce una apertura que entregará una gausseana similar a la realizada en la curva Adus por fila. Estos puntos serán utilizados para encontrar una función de ajuste, la cual se llama tracing.

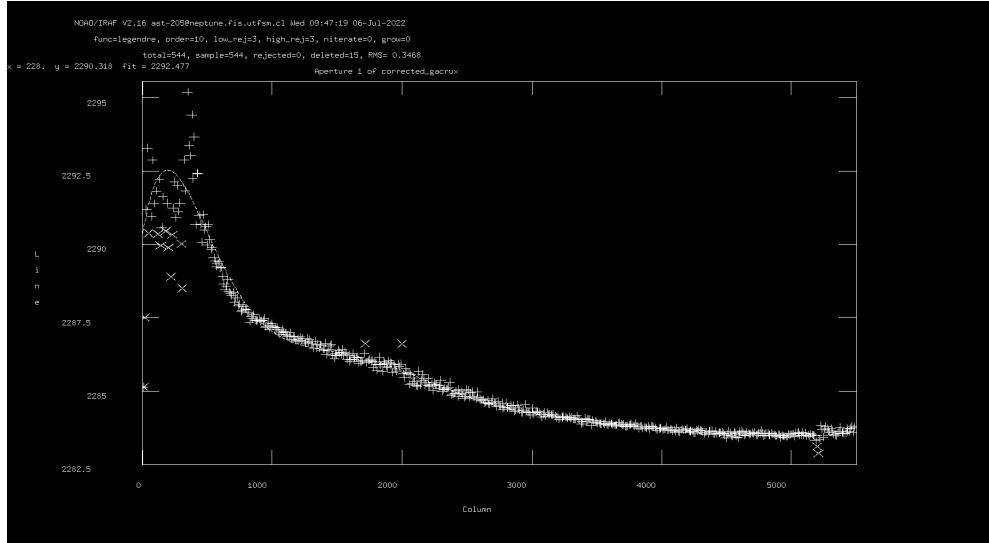


Figure 2.18: Gráfica filas v/s columnas.

Esta curva es generada tomando una columna y desarrollando su gausseana por fila. Como el espesor de la línea de luminosidad de la estrella Gacrux varía a medida que se cambia la columna, el centro de la gausseana se desplaza. Por este motivo se puede ver que la curva forma una tendencia descendente. Es importante destacar que esta tendencia es muy leve, lo cual se puede notar visualizando los datos existentes en el eje y, los cuales están en el orden de las décimas.

Para un mejor ajuste, se eliminan los puntos que visualmente se encuentran demasiado alejados. Se destaca que las columnas menores a 1000 no son confiables, pues en el MasterFlat se pudo visualizar una zona oscura, y dado que el dispositivo con el que fueron tomadas las imágenes y los Master es el mismo, todas las capturas se verán afectadas.

Así, el residual será:

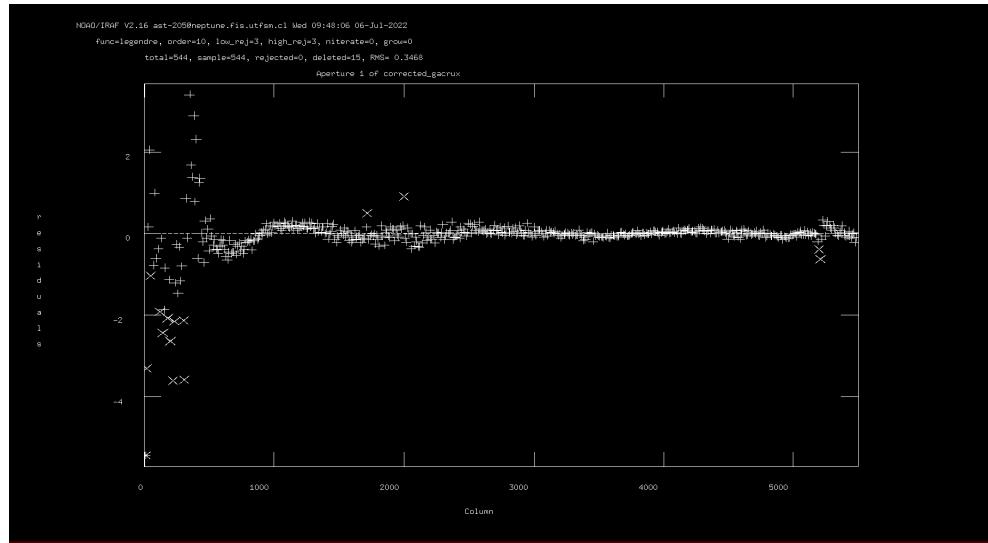


Figure 2.19: Curva residual.

Mediante la gráfica de ADUS entre filas y columnas, IRAF crea la siguiente curva para el espectro de la estrella Gacrux:

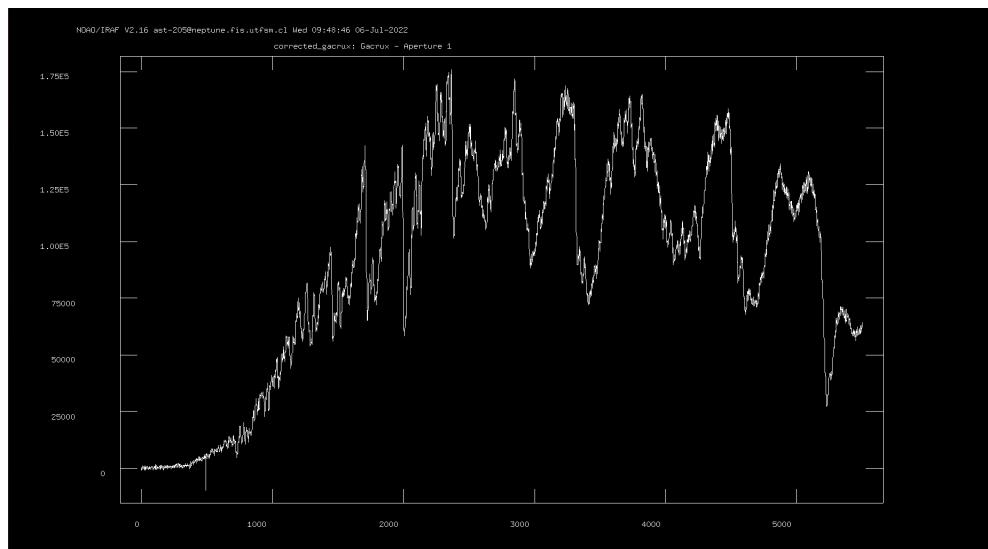


Figure 2.20: Espectro de la estrella Gacrux.

Este espectro corresponde a los Adus v/s pixel. Se realiza tomando columnas a lo largo del eje X, en las cuales se suma los ADUS por pixel (hacia arriba). Los picos en la gráfica representan determinadas longitud de ondas captadas por la CCD, mientras que los mínimos serían líneas de absorción.

Con ella, se procede a estudiar el Signal-to-Noise ratio entre distintos tramos de píxeles, usando rangos entre los 50 a los 150.

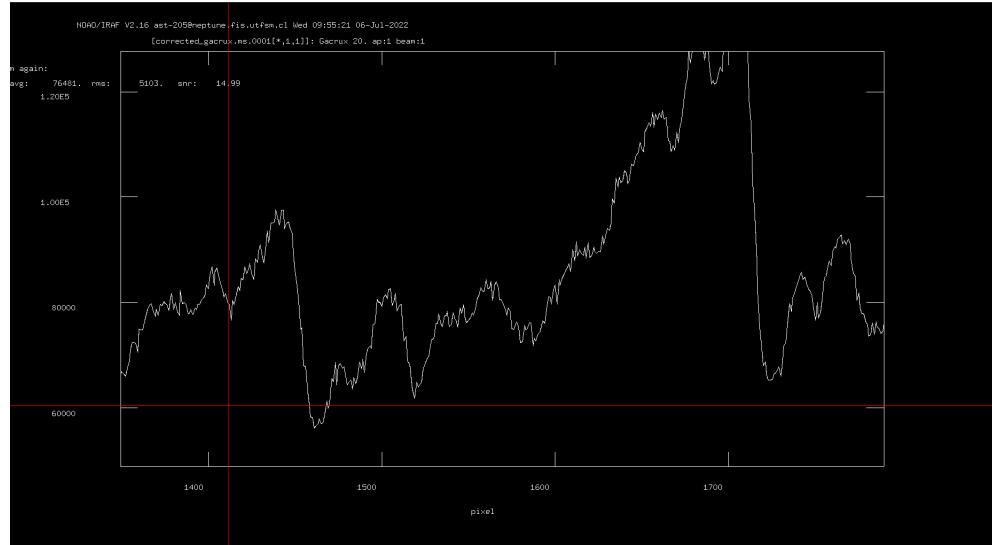


Figure 2.21: SNR = 14.99 para el rango [1500-1600] pixeles.

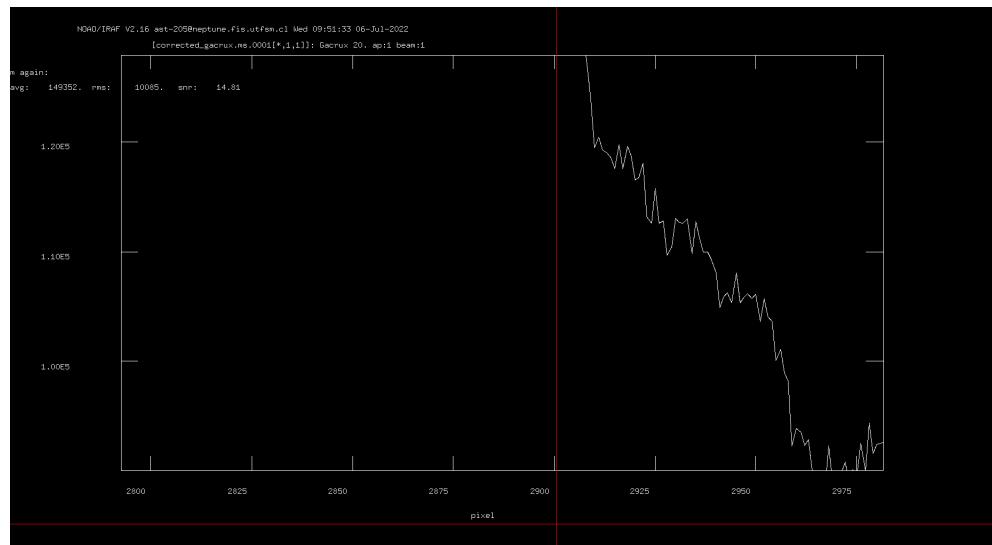


Figure 2.22: SNR = 14.81 para el rango [2800-2900] pixeles.

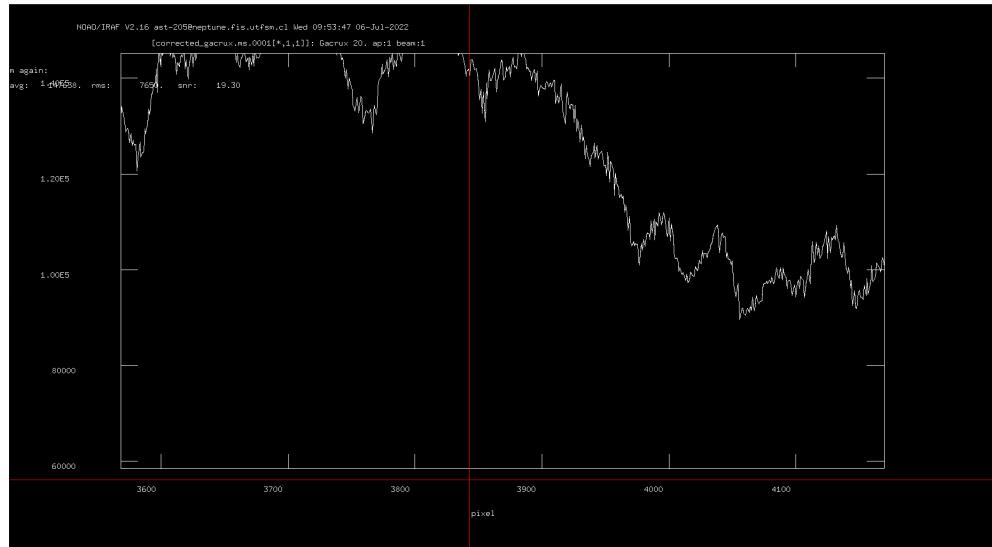


Figure 2.23: SNR = 19.30 para el rango [3600-3800] pixeles.

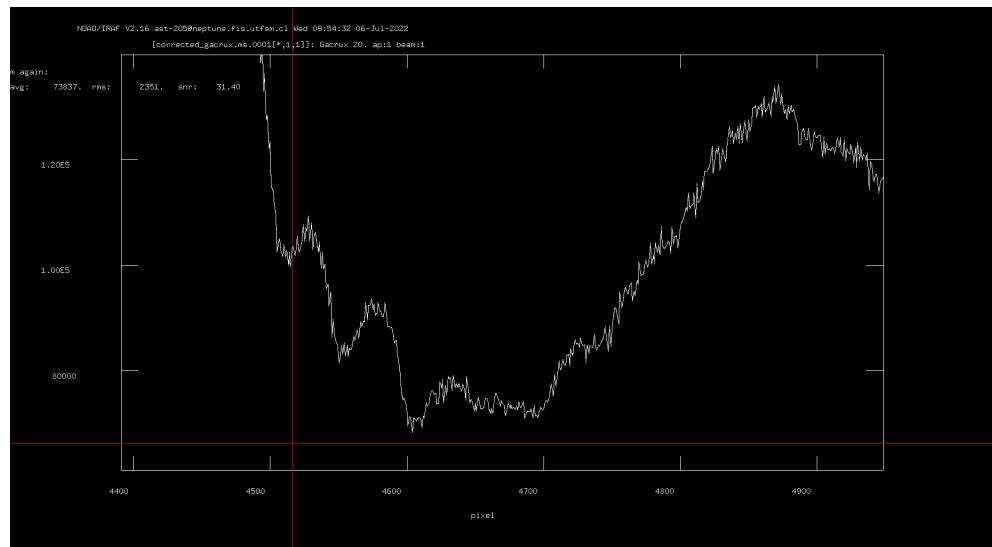


Figure 2.24: SNR = 31.40 para el rango [4700-4800] pixeles.

Se concluye que el SNR es apropiado para espectroscopía al compararlo con el SNR calculado en NICMOS grism HLA project. [2.4](#).

Se procede a trabajar con el Relco para generar la función de transformación que convierta el espectro a longitudes de onda. Se examina la imagen corregida del Relco, revisando sus columnas.

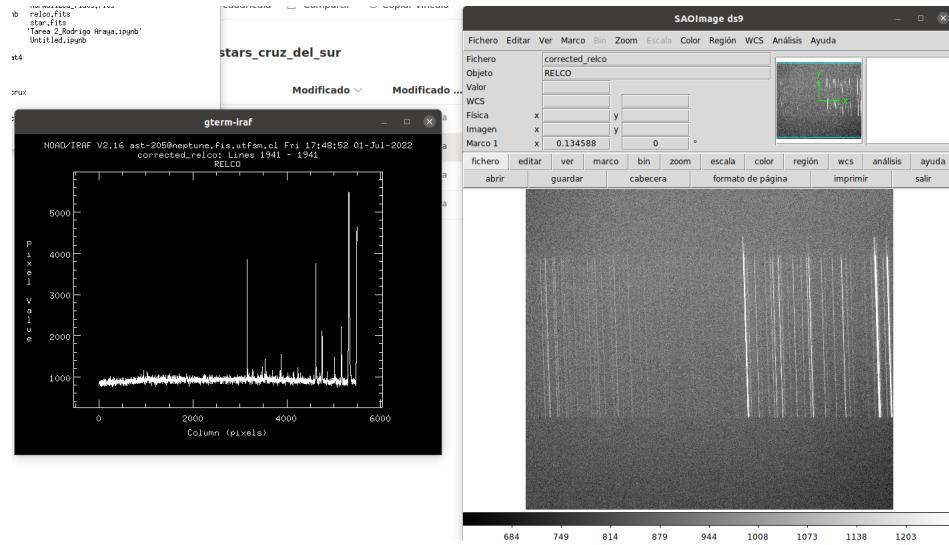


Figure 2.25: Relco por columnas.

Se puede visualizar claramente que cuando la columna evaluada no posee pixeles brillantes el programa le asigna un valor estándar. En las zonas donde existen franjas luminosas (derecha), causadas por la rejilla de dispersión, se pueden ver líneas de peaks luminosos (izquierda), lo cual es coherente con la teoría.

Se procede a generar la función de transformación utilizando el Relco, con el fin de poder determinar las longitudes de onda de la estrella estudiada. Para ello, se comienza comienzo llamando a la función apall y configurando sus parámetros a los estudiados en clases.

xterm

I R A F
Image Reduction and Analysis Facility

PACKAGE = apextract
TASK = apall

```

input      = corrected_relco List of input images
(output     = corrected_relco.ms) List of output spectra
(apertur=          1) Apertures
(format    = onedspec) Extracted spectra format
(reference= corrected_gacru) List of aperture reference images
(profile=          ) List of aperture profile images

(interac=       yes) Run task interactively?
(find=        no) Find apertures?
(recenter=     no) Recenter apertures?
(resize=       no) Resize apertures?
(edit=         no) Edit apertures?
(trace=        no) Trace apertures?
(fitrac=       no) Fit the traced points interactively?
(extract=      yes) Extract spectra?
(extras=       yes) Extract sky, sigma, etc.?
(review=       yes) Review extractions?

(line=        INDEF) Dispersion line
(nsum=        10) Number of dispersion lines to sum or median

# DEFAULT APERTURE PARAMETERS

(lower=        -5.) Lower aperture limit relative to center
(upper=        5.) Upper aperture limit relative to center
(apidtab=      ) Aperture ID table (optional)

# DEFAULT BACKGROUND PARAMETERS

(b_funct=      chebyshev) Background function
(b_order=       1) Background function order
(b_samp=        -10:-6.6:10) Background sample regions
(b_naver=       -3) Background average or median
(b_niter=       0) Background rejection iterations
(b_lowr=        3.) Background lower rejection sigma
(b_highr=       3.) Background upper rejection sigma
(b_grow=       0.) Background rejection growing radius

# APERTURE CENTERING PARAMETERS

(width=        7.) Profile centering width
(radius=       12.) Profile centering radius
(thresho=       0.) Detection threshold for profile centering

# AUTOMATIC FINDING AND ORDERING PARAMETERS

nfind=        1 Number of apertures to be found automatically
(ninsep=       5.) Minimum separation between spectra
(maxsep=      100000.) Maximum separation between spectra
(order=        increasing) Order of apertures

# RECENTERING PARAMETERS

(aprecen=      ) Apertures for recentering calculation
(npeaks=      INDEF) Select brightest peaks

```

More

ESC-? for HELP

Figure 2.26: Parámetros de la función apall para el relco.

```

xterm
IRAF
Image Reduction and Analysis Facility
PACKAGE = apextract
TASK = apall
lmin =
lmax =
glevel =
peak =
bkg =
r_grow =
avglimi =
t_nsum =
t_step =
t_lost =
t_funct =
t_order =
t_samp =
t_nave =
t_niter =
t_low_r =
t_high_r =
t_grow =
background =
skubox =
weights =
pfit =
clean =
saturn =
readnoi =
gain =
lsigma =
usigma =
nsubaps =
mode =
yes) Use average shift instead of recentering?
# RESIZING PARAMETERS
(lmin = INDEF) Lower aperture limit relative to center
(lmax = INDEF) Upper aperture limit relative to center
(glevel = 0.1) Fraction of peak or intensity for automatic width
(peak = yes) Is glevel a fraction of the peak?
(bkg = yes) Subtract background in automatic width?
(r_grow = 0.) Grow limits by this factor
(avglimi = no) Average limits over all apertures?

# TRACING PARAMETERS
(t_nsum = 10) Number of dispersion lines to sum
(t_step = 10) Tracing step
(t_lost = 3) Number of consecutive times profile is lost before
(t_funct = legendre) Trace fitting function
(t_order = 10) Trace fitting function order
(t_samp = *) Trace sample regions
(t_nave = 1) Trace average or median
(t_niter = 0) Trace rejection iterations
(t_low_r = 3.) Trace lower rejection sigma
(t_high_r = 3.) Trace upper rejection sigma
(t_grow = 0.) Trace rejection growing radius

# EXTRACTION PARAMETERS
(background = none) Background to subtract
(skubox = 1) Boxcar smoothing length for sky
(weights = none) Extraction weights (none\variance)
(pfit = fitid) Profile fitting type (fitid\fit2d)
(clean = no) Detect and replace bad pixels?
(saturn = INDEF) Saturation level
(readnoi = 0.) Read out noise sigma (photons)
(gain = 1.) Photon gain (photons/data number)
(lsigma = 4.) Lower rejection threshold
(usigma = 4.) Upper rejection threshold
(nsubaps = 1) Number of subapertures per aperture
(mode = q1)

```

ESC-q for HELP

Figure 2.27: Parámetros de la función apall para el relco.

En la función apall se usa de referencia la estrella Gacrux corregida, con el fin de que el Relco utilice el tracing para poder calibrarse. La gráfica del Relco se puede visualizar en la siguiente imagen.

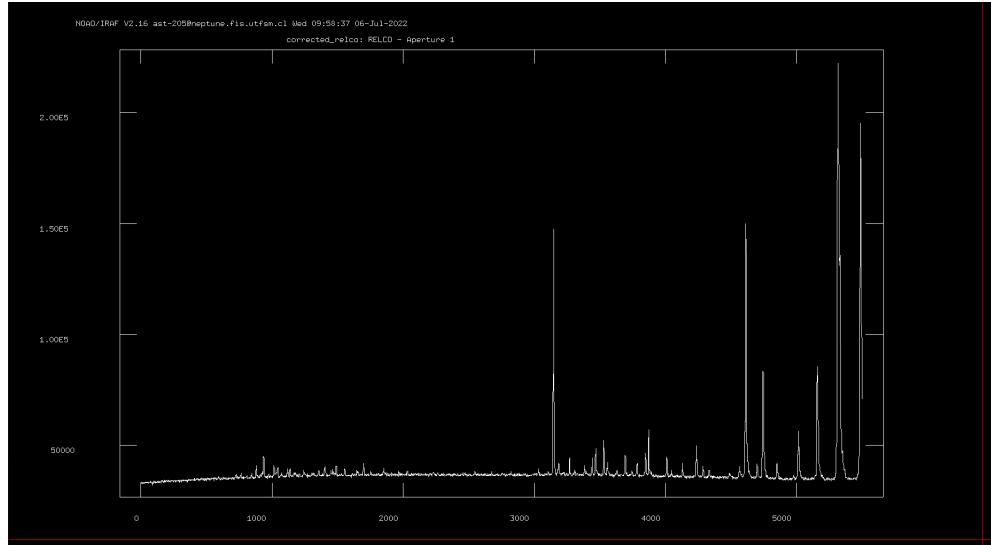


Figure 2.28: Relco corregido con los Master y el tracing.

Luego, se procede a utilizar el espectro del Relco para generar la función de transformación de pixeles a longitudes de onda, utilizando una imagen de referencia, la cual para este caso será:

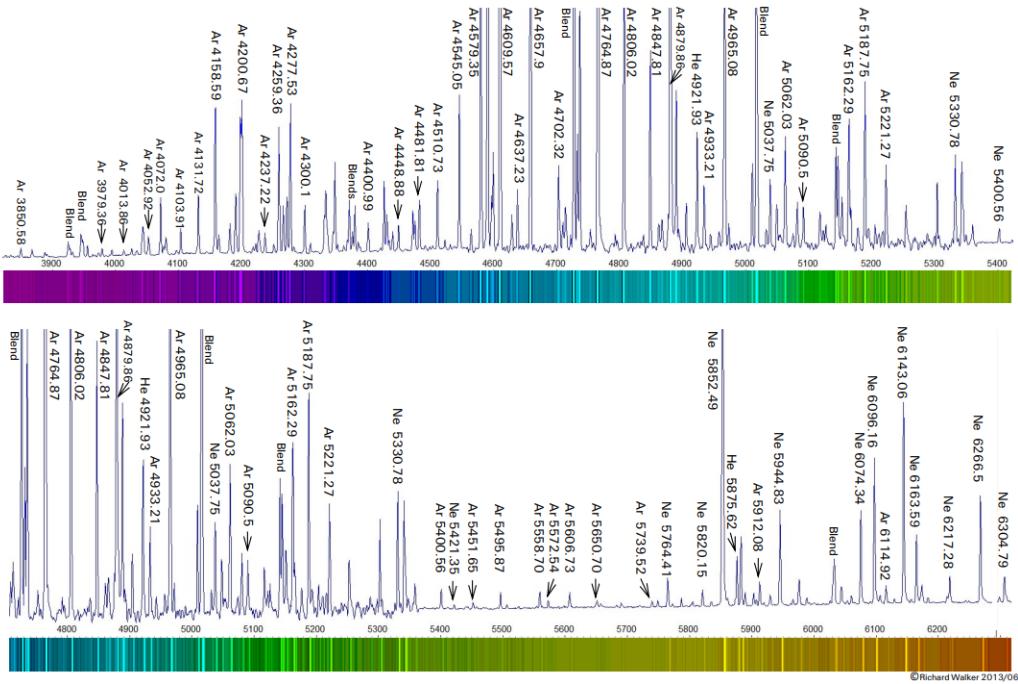


Figure 2.29: Líneas de emisión de RELCO.

Con la imagen de referencia se procede a identificar los picos en la imagen Relco corregida por el Master y el tracing. Identificando 18 puntos se tiene que la función transformación es:

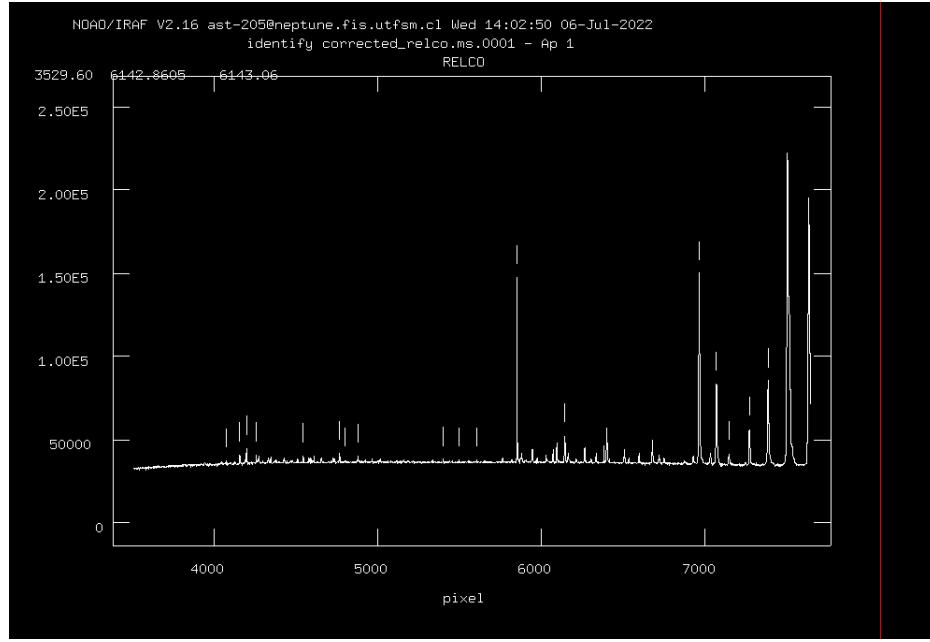


Figure 2.30: Función de transformación ajustada con la imagen de referencia.

Iraf genera automáticamente la curva de transformación de espectro a longitudes de onda. Para este caso particular se puede apreciar un ajuste lineal, con un RMS = 0.26, lo cual indica que la elección visual realizada para obtener la función de transformación es correcta, pues el RMS es despreciable.

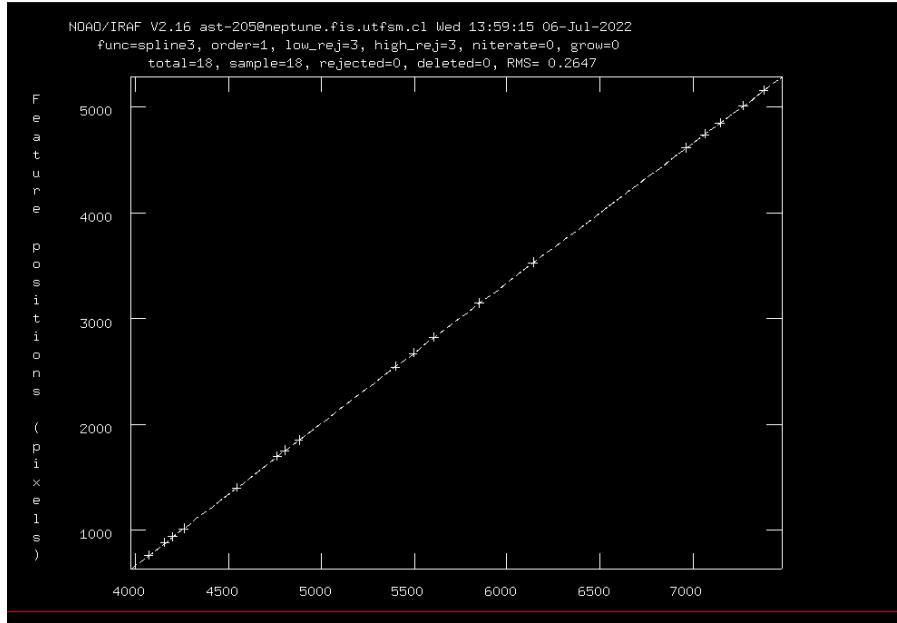


Figure 2.31: Función de transformacion.

Con la función de transformación IRAF puede convertir el espectro de la estrella Gacrux

obtenido anteriormente en una gráfica que refleje ADUS por longitud de onda. Realizando este procedimiento, la gráfica se ve de la siguiente forma.

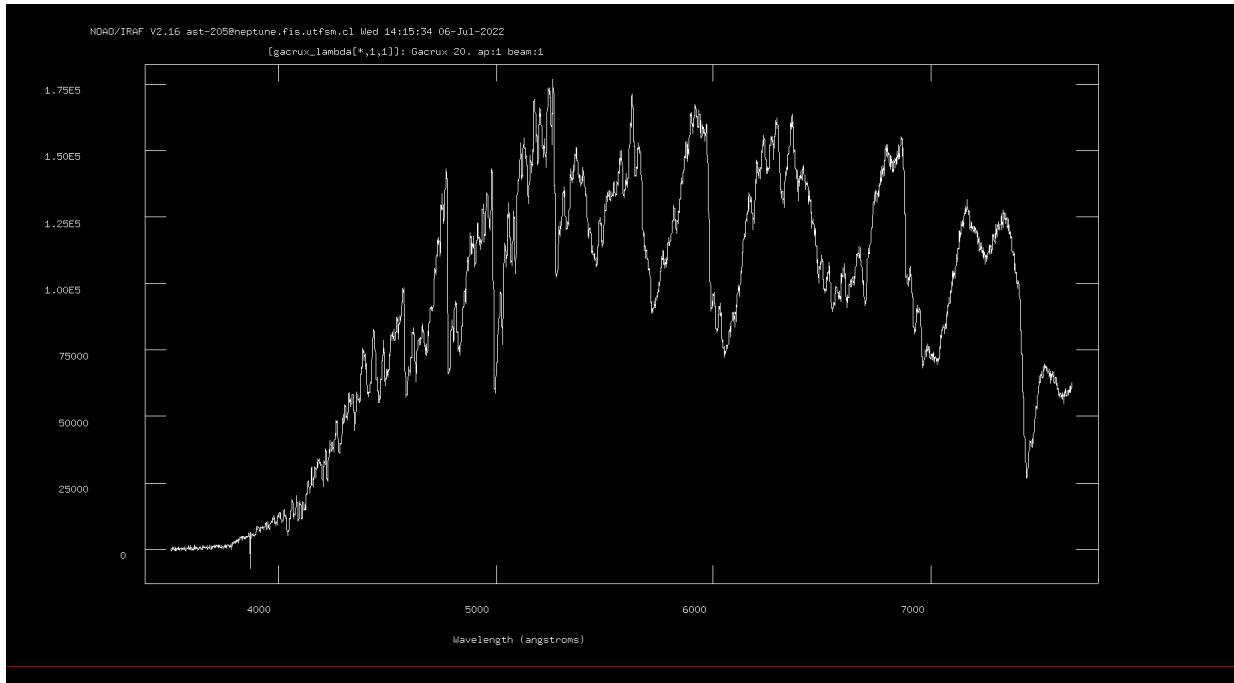


Figure 2.32: Gráfica ADUS v/s longitud de onda de la estrella asignada Gacrux.

Desde el espectro anterior se pueden identificar algunas líneas de absorción tales como las correspondientes al Hierro (por ejemplo la c, en 495,761[nm]), la del óxido de Titanio (P en 336,112[nm], aunque como se ha mencionado, esta sección es poco confiable), las del Oxígeno molecular (por ejemplo A en 759,370[nm]), entre otros metales. Por otro lado, las líneas de absorción correspondientes a Hidrógeno son poco definidas.

2.4 Conclusiones

En el presente trabajo se desarrolló un estudio de la espectrometría de la estrella Gacrux. Para ello, se utilizó la lámpara RELCO (Ar-Ne) para la calibración, cuyos datos fueron tomados bajo las mismas condiciones que los de la estrella Gacrux, con el fin de obtener una función de transformación que logre convertir el espectro de la estrella en ADUS v/s longitud de onda. Con ello, se concluye que para estudiar el espectro de una estrella es requerida un determinado espectro que actuará como referencia.

El espectro obtenido para la estrella Gacrux es coherente con los datos tomados desde el observatorio aficionado AstroQuinta, pues estos han sido obtenidos sólo en el rango de luz visible, lo cual se ve reflejado en las longitudes de ondas entregadas por el espectro construído de la estrella Gacrux. Es importante destacar que las estrellas del universo emiten luz en todo el espectro de longitud de onda, según lo indicado por la teoría de radiación de cuerpo negro. El hecho de que el observatorio pudiese tomar datos en longitudes de ondas del espectro visible se debe al filtro y espejotrógrafo utilizado.

Queda demostrado que, si bien el software IRAF es antiguo y se encuentra obsoleto actualmente, su efectividad en las tareas llevadas a cabo permiten desarrollar una muy buena aproximación de un trabajo de espectrometría, así como también permite dilucidar conceptos necesarios para comprender softwares más avanzados.

Respecto a lo determinado en el análisis del espectro, se puede concluir que las líneas de absorción mencionadas concuerdan con el tipo espectral M, el mismo indicado por las referencias. Habiendo corroborado el tipo espectral, también se puede afirmar que la temperatura de Gacrux se encontrará bajo los 3700[K]. Por último, también podría concluirse que la estrella estudiada debería encontrarse en una fracción por encima del 70% de la secuencia principal.

Para finalizar, se puede mencionar que determinar el espectro de una estrella permite conocer diversas características de esta, tales como el tipo espectral, la temperatura, composición química y etapa de vida.

Bibliography

- [1] O.Toloza "Espectros Cruz del Sur". Open Mind OneNote. Recuperado de <https://cutt.ly/mLfyNaU>, Julio 2022.
- [2] J. Lewis, R. Argyle, P. Bunclarck, D. Evans, and E. Gonzales-Solares "DER SNR: A Simple General Spectroscopic Signal-to-Noise Measurement Algorithm". Open Mind STScI. Recuperado de https://stdatu.stsci.edu/vodocs/der_snr.pdf, Julio 2022.
- [3] Michael Barton Heine Jr "What Is Signal-to-Noise Ratio and Why Does It Matter?". Open Mind Lifewire. Recuperado de <https://www.lifewire.com/signal-to-noise-ratio-3134701>, Julio 2022.
- [4] Richard Walker, CH-Rifferswil "Recorded by the Spectrographs SQUES Echelle and DA-DOS". Open Mind Ursus Major. Recuperado de <https://www.ursusmajor.ch/downloads/sques-relco-sc480-calibration-lines-5.0.pdf>, Julio 2022.
- [5] Science Telescope Science Institute "A Multifaceted Instrument with Outstanding Image Capabilities". Open Mind STScI. Recuperado de <https://www.stsci.edu/hst/instrumentation/legacy/nicmos>, Julio 2022.