

Procesamiento para fotometría y espectroscopía

Luisa Cardona y Angélica Guapacha

Grupo α Orión

Marzo/2017



Outline del curso

1 Introducción a IRAF

2 Pre-procesamiento

- Fuentes y tipos de ruido
- Corrección del ruido
 - Creación de Master
 - Sustracción del ruido: Bias
 - Sustracción del ruido: Dark
 - Corrección de Campo Plano: Flat
 - Extracción de Rayos cósmicos

3 Fotometría

- Tipos de fotometría
- Extracción de datos
- Cálculo de magnitudes instrumentales
 - Definición de aperturas

4 Espectroscopía

Instalación de IRAF

Antes de iniciar IRAF se debe modificar el archivo login.cl, donde se modificarán el tipo de imágenes, tamaño y la dirección de la carpeta de imágenes, como se ve en la imagen.

```
set    home          = "/home/alfaorion/"  
set    lmdir         = "/home/alfaorion/iraf/lmg/"  
set    cache         = "/iraf/cache/alfaorion/"  
set    uparm         = "home$uparm"  
set    userid        = "alfaorion"  
  
# Set the terminal type. We assume the user has defined this correctly  
# when issuing the MKIRAF and no longer key off the unix TERM to set a  
# default.  
if (access ("._hushiraf") == no)  
    print "setting terminal type to xgterm..."  
stty xterm  
  
# Uncomment and edit to change the defaults.  
#set   editor        = vi  
#set   printer       = lp  
#set   pspage        = "letter"  
set    stdimage      = int4996  
#set   stdimcur      = stdimage  
#set   stdplot       = lw  
#set   clobber       = no  
#set   inclobber     = no  
#set   filewait      = yes  
#set   cmbuflen      = 512000  
#set   min_lenuserarea = 64000  
set    intype        = "FIT"  
set    imextn        = "olf:imh fxf:fits,fit,FITS,FIT fxb:fxb plf:pl qpf:qp stf:hhh,?h"
```

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- `pwd`: Muestra la ruta en la que se encuentra el usuario.

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- pwd: Muestra la ruta en la que se encuentra el usuario.
- ls: Muestra el contenido de la carpeta en la cual está el usuario.

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- pwd: Muestra la ruta en la que se encuentra el usuario.
- ls: Muestra el contenido de la carpeta en la cual está el usuario.
- cd: Cambiar de directorio.

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- pwd: Muestra la ruta en la que se encuentra el usuario.
- ls: Muestra el contenido de la carpeta en la cual está el usuario.
- cd: Cambiar de directorio.
ej. cd Documentos

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- pwd: Muestra la ruta en la que se encuentra el usuario.
- ls: Muestra el contenido de la carpeta en la cual está el usuario.
- cd: Cambiar de directorio.
ej. cd Documentos * ej. cd .. (Ir atrás)

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- pwd: Muestra la ruta en la que se encuentra el usuario.
- ls: Muestra el contenido de la carpeta en la cual está el usuario.
- cd: Cambiar de directorio.
ej. cd Documentos * ej. cd .. (Ir atrás)
- mkdir: Crea un directorio

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- pwd: Muestra la ruta en la que se encuentra el usuario.
- ls: Muestra el contenido de la carpeta en la cual está el usuario.
- cd: Cambiar de directorio.
ej. cd Documentos * ej. cd .. (Ir atrás)
- mkdir: Crea un directorio
ej. mkdir clasealfa

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- pwd: Muestra la ruta en la que se encuentra el usuario.
- ls: Muestra el contenido de la carpeta en la cual está el usuario.
- cd: Cambiar de directorio.
ej. cd Documentos * ej. cd .. (Ir atrás)
- mkdir: Crea un directorio
ej. mkdir clasealfa
- mv: Mover

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- pwd: Muestra la ruta en la que se encuentra el usuario.
- ls: Muestra el contenido de la carpeta en la cual está el usuario.
- cd: Cambiar de directorio.
ej. cd Documentos * ej. cd .. (Ir atrás)
- mkdir: Crea un directorio
ej. mkdir clasealfa
- mv: Mover
ej. mv nombrecarp carpdestino

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- pwd: Muestra la ruta en la que se encuentra el usuario.
- ls: Muestra el contenido de la carpeta en la cual está el usuario.
- cd: Cambiar de directorio.
ej. cd Documentos * ej. cd .. (Ir atrás)
- mkdir: Crea un directorio
ej. mkdir clasealfa
- mv: Mover
ej. mv nombrecarp carpdestino
- cp: Copiar

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- pwd: Muestra la ruta en la que se encuentra el usuario.
- ls: Muestra el contenido de la carpeta en la cual está el usuario.
- cd: Cambiar de directorio.
ej. cd Documentos * ej. cd .. (Ir atrás)
- mkdir: Crea un directorio
ej. mkdir clasealfa
- mv: Mover
ej. mv nombrecarp carpdestino
- cp: Copiar
ej. cp archivo carpeta

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- del: Borrar archivo

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- del: Borrar archivo
ej. del nombrearchivo

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- del: Borrar archivo
ej. del nombrearchivo
- clear: limpiar ventana

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- del: Borrar archivo
ej. del nombrearchivo
- clear: limpiar ventana
- help: Ayuda
ej. help nombre paquete/tarea

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- del: Borrar archivo
ej. del nombrearchivo
- clear: limpiar ventana
- help: Ayuda
ej. help nombre paquete/tarea
- ? Lista de paquetes

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- del: Borrar archivo
ej. del nombrearchivo
- clear: limpiar ventana
- help: Ayuda
ej. help nombre paquete/tarea
- ? Lista de paquetes - ?? Lista de paquetes/tareas

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- del: Borrar archivo
ej. del nombrearchivo
- clear: limpiar ventana
- help: Ayuda
ej. help nombre paquete/tarea
- ? Lista de paquetes - ?? Lista de paquetes/tareas
- bye: Salir de un paquete

Comandos de IRAF

Comandos de IRAF

- del: Borrar archivo
ej. del nombrearchivo
- clear: limpiar ventana
- help: Ayuda
ej. help nombre paquete/tarea
- ? Lista de paquetes - ?? Lista de paquetes/tareas
- bye: Salir de un paquete
- logout: Salir de Iraf

Tareas

- dataio
- images
- lists
- noao
- plot
- tv
- system
- stdas
- utilities

Estadística de una imagen

```
package      images.imutil
>>          imstat nombreImagen.fits
IMAGE        NPIX       MEAN      STDDEV      MIN      MAX
imagen.fits   1920000    -1582      2771     -33412     62169
```

Estadística de una imagen

```
package      images.imutil
>>          imstat nombreImagen.fits
IMAGE        NPIX       MEAN     STDDEV    MIN     MAX
imagen.fits   1920000   -1582     2771    -33412   62169
```

```
obsutil> imstat hd225119_V5.00000402.FIT
#           IMAGE      NPIX      MEAN     STDDEV    MIN     MAX
hd225119_V5.00000402.FIT  8487264    216.3    109.2    0.    31716.
obsutil> imstat hd225119_V5.0000040*
#           IMAGE      NPIX      MEAN     STDDEV    MIN     MAX
hd225119_V5.00000402.FIT  8487264    216.3    109.2    0.    31716.
hd225119_V5.00000403.FIT  8487264    218.1    116.9    0.    37379.
hd225119_V5.00000404.FIT  8487264    218.9    109.4    0.    32659.
obsutil> █
```

Mostrar una imagen

```
package    images.tv
>>        epar display
image      =          nombreImagen.fits   images to be displayed
frame      =                      1   frame to be written into
zrange     =                      yes
zscale     =                      yes
```

El rango de valores que se muestran en escala de gris en la imagen se puede modificar manualmente con los parámetros z1 y z2, con los parámetros zscale y zrange configurados como no.

z1: mean - stdev

z2: mean+stdev

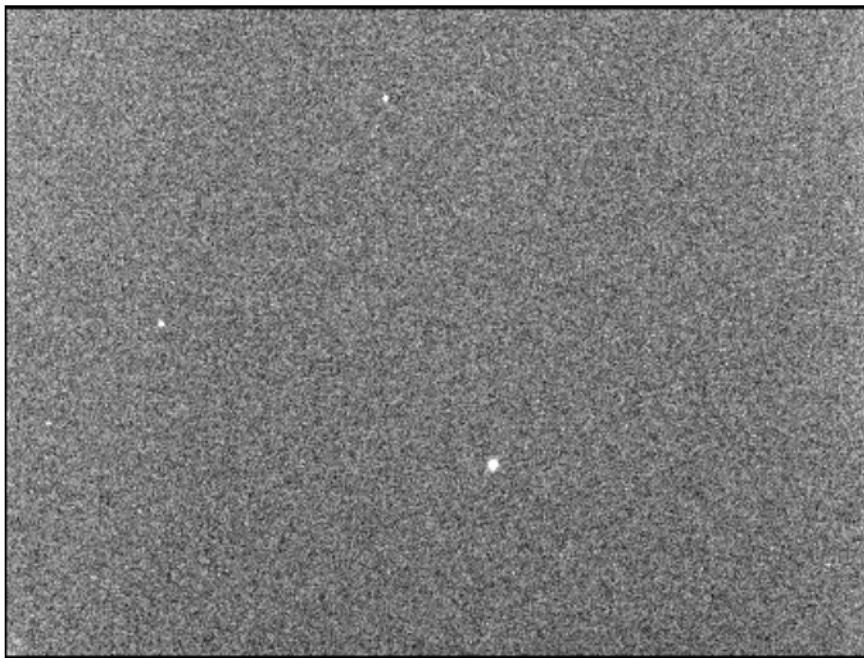


Figura: Imagen con ajuste manual de rango.

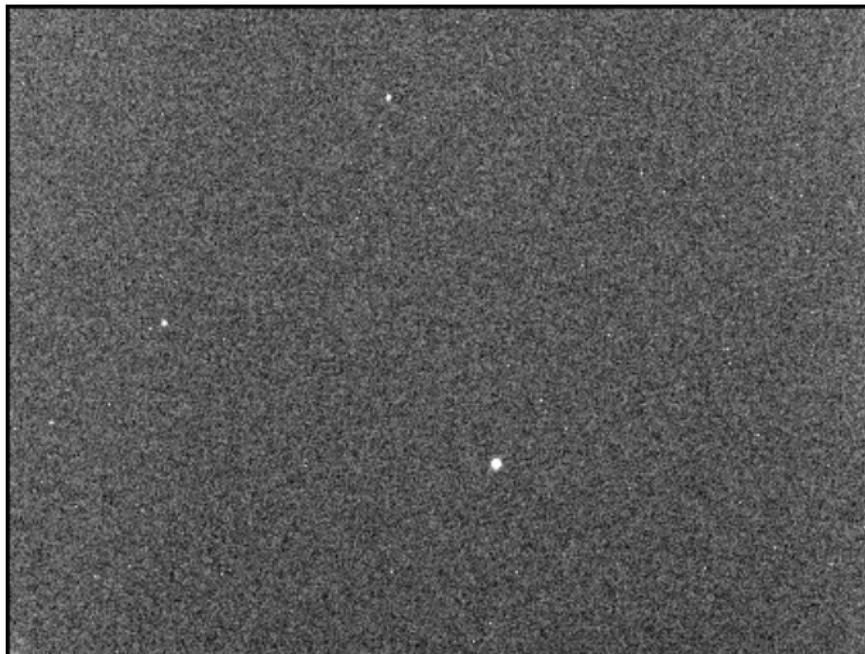


Figura: Imagen con ajuste automático de rango.

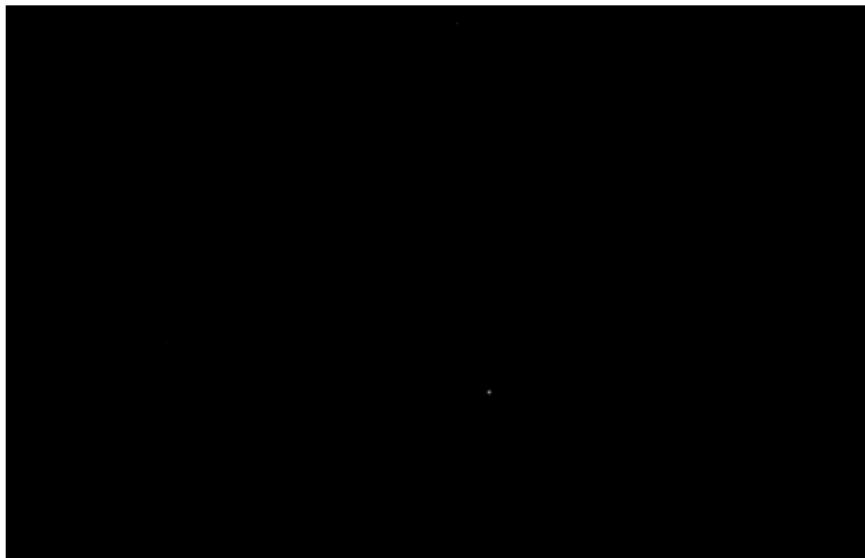


Figura: Imagen con rango completo: $z1 = 0$ y $z2 = 65536$.

Operaciones con imágenes

```
package images.imutil
>> epar imarith
operand1      =          @list_image.in    Operand image...
op            =                      -        Operator
operand2      =          operand.fits     Operand image...
result        =    prefix//@list_image.in Resultant image

>> imagen.FIT +2000 imagensuma.fits
>> imagen_001.FIT + imagen_002.FIT sumaimagenes.fits
>> imagen_001.FIT -100 imagenresta.fits
>> imagen_002.FIT /1100 imagendividida.fits
```

Fuentes y tipos de ruido

Corriente oscura Dark

Ruido aditivo, también llamado ruido térmico, el cual se puede reducir en cierta medida con la refrigeración de la cámara de adquisición de datos. Las imágenes que corrigen éste ruido son llamadas Dark y deben corresponder al mismo tiempo de exposición de las imágenes de datos.

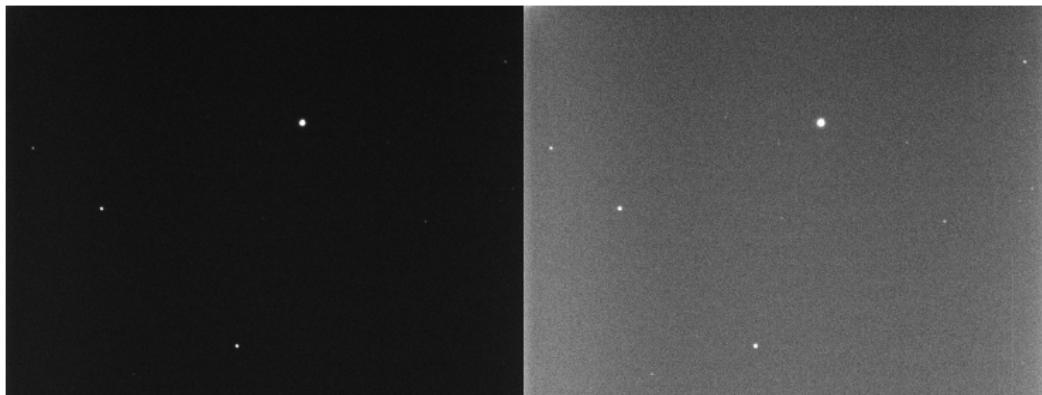


Figura: Ejemplo de pre-procesamiento por Dark.

Campo plano Flat

El ruido de campo plano hace referencia a la no-uniformidad de la distribución de la luz en el campo del sensor, ya sea por la construcción del mismo o el camino óptico de la instrumentación. Es un tipo de ruido no lineal, por lo tanto su corrección se realiza por división en lugar de resta como en el caso de Dark y Bias. Los dark correspondientes a las imágenes de flat son del tiempo de exposición de éstas.

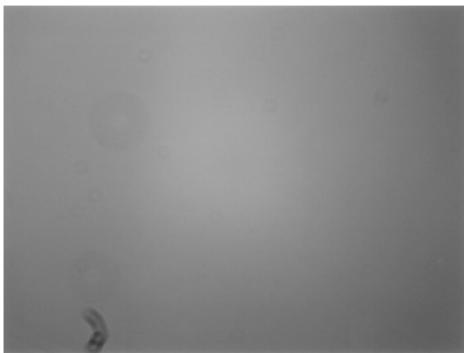


Figura: Ejemplo de Flat.

Pedestal Bias

Ruido aditivo adicionado a la imagen antes de la conversión A/D para evitar valores negativos. Está presente en las imágenes de datos, darks y flats. Se realiza la corrección con una sustracción.

Rayos cósmicos

Los rayos cósmicos son partículas que al interactuar con el sensor generan una señal muy alta en un rango de muy pocos pixeles (2-5). No tienen la forma de una PSF típica estelar, pero si se encuentran en el área de medición pueden alterar los valores calculados. Por lo tanto se eliminan con una tarea específica de IRAF que los detecta.

Corrección del ruido

Las imágenes correctoras eliminan el ruido de las imágenes de datos, de forma tal que al realizar las mediciones éstas no afecten los datos resultantes.

Creación de listas

```
>> ls bias*.FIT > bias.in
>> ls flat_00??.FIT > flats.in
>> files dark*.FIT > darks.in
>> files data_00?.FIT > data.in
```

El tipo de archivo es .in con el fin de indicar que se trata de una lista. El símbolo * reemplaza el resto de la cadena de caracteres, mientras que ? sólo reemplaza un carácter.

Creación de imagen Maestra y sustracción

Para el caso de Darks y Bias se hace la combinación de las imágenes para crear la imagen Maestra.

```
package images.immatch
>> epar imcombine
input      =          @bias.in    List of images to combine
output     =    biasmaster.fits  List of output images
(combine   =          average) Type of combine operation
```

```
>> imcombine @bias.in biasmaster.fits combine=average
```

Sustracción del ruido: Bias

```
>> imarith @darks.in - biasmaster b_//@dark.in
>> imarith @data.in - biasmaster @data.in//_b
>> ls data_?.b.fits > data_b.in
```

Comúnmente se utilizan como prefijos o sufijos:

b: Bias.

d: Dark

f: Flat

cr: Cosmic Rays

Al sustraer el Bias Master se crean archivos nuevos, por lo tanto se debe crear una lista nueva correspondiente.

Sustracción del ruido: Dark

```
>> imcombine @dark.in darkmaster.fits combine=average
>> imarith @data.in - darkmaster d_//@data.in
>> ls data_?_b_d.fits > data_bd.in
```

```
ecl> imstat HD25752SEEv.00000094*
#          IMAGE      NPIX      MEAN      STDDEV      MIN      MAX
HD25752SEEv.00000094.FIT    8487264    1015.     112.5     858.    65535.
HD25752SEEv.00000094d.FIT   8487264    20.28     101.6    -7096.   41925.
```

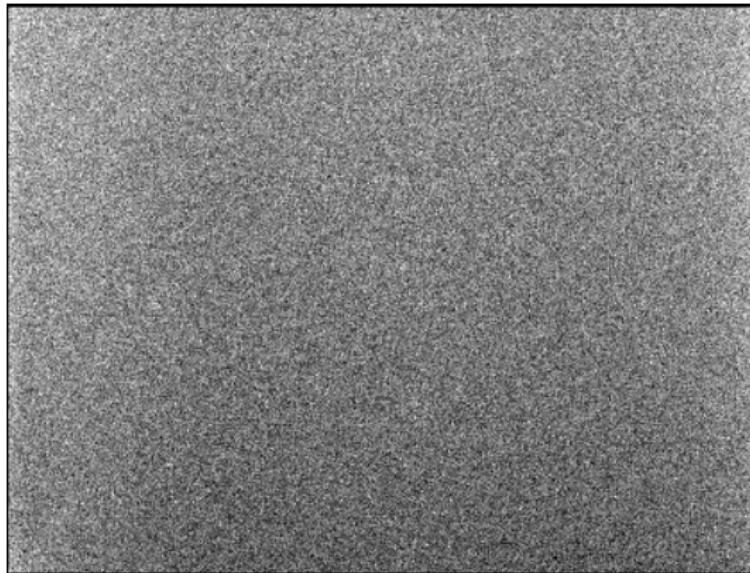


Figura: Dark maestro creado promediando las imágenes individuales de Dark.

Corrección de Campo Plano: Flat

```
>> ls flats*.FIT > @flats.in
>> imarith @flats.in - darkmaster      @flats.in//_d
>> imcombine @flats.in flatcombine.fits   combine=median
```

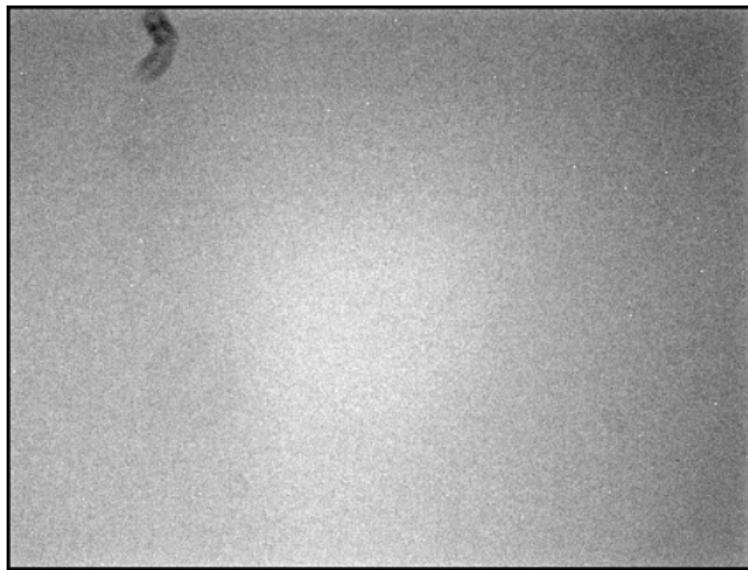


Figura: Combinación de Flats.

```
package generic.imred
>> epar normflat
image      = flatcombine.fits    Calibration image
flatfield   = flatmaster.fits   Flat field image
(norm       =             INDEF  Normalization if nor INDEF)
```

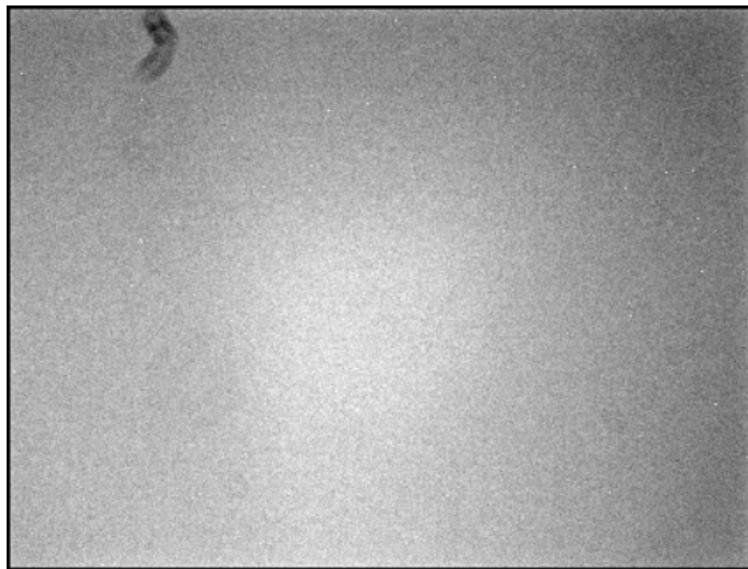


Figura: Flat Maestro, combinado y normalizado.

```
generic> imstat flatcombine
#          IMAGE      NPIX      MEAN      STDEV      MIN      MAX
    flatcombine   8487264   21316.     476.9    10692.    65535.
generic> imarith flatcombine / 21316 flatmaster1.fits
generic> imstat flatmaster1.fits
#          IMAGE      NPIX      MEAN      STDEV      MIN      MAX
    flatmaster1.fits 8487264       1.     0.02237     0.5016     3.074
generic> display flatmaster1 8
```

Figura: Estadística del Flat Maestro antes y después de normalizar.

Para realizar la normalización del Flat manualmente se revisa el valor máximo de cuentas de la imagen combinada y se divide por éste valor.

```
>> imstat flatcombine.fits
>> imarith flatcombine / #median flatmaster.fits
```

Extracción de Rayos cósmicos

```
package noao.imred.crutil
>> epar cosmicrays
input      =          @lisdata.in  List of images in which to ...
output     =    prefix//@lisdata.in List of cosmic ray replaced ...
(npasses)   =                      2  Number of detection passes
(interactive =                  no  Examine parameters interact...
```

```
>> cosmicrays @data.in cr//@data.in
```

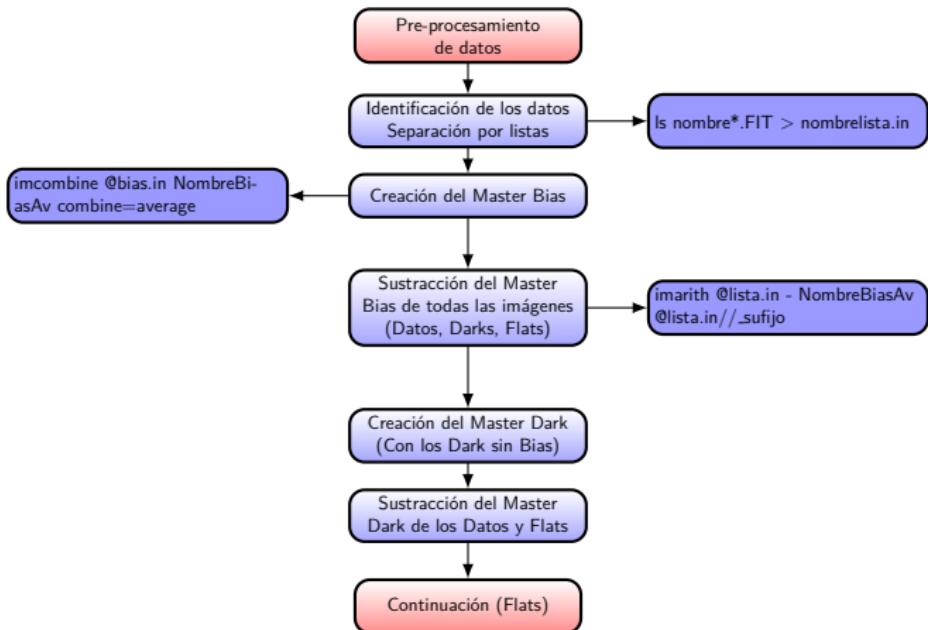


Figura: Procedimiento de pre-procesamiento de imágenes astronómicas. En los recuadros azules tenemos los comandos para realizar el procesamiento en IRAF. 'name' hace referencia al nombre en común de los archivos, no incluyendo su numeración individual.

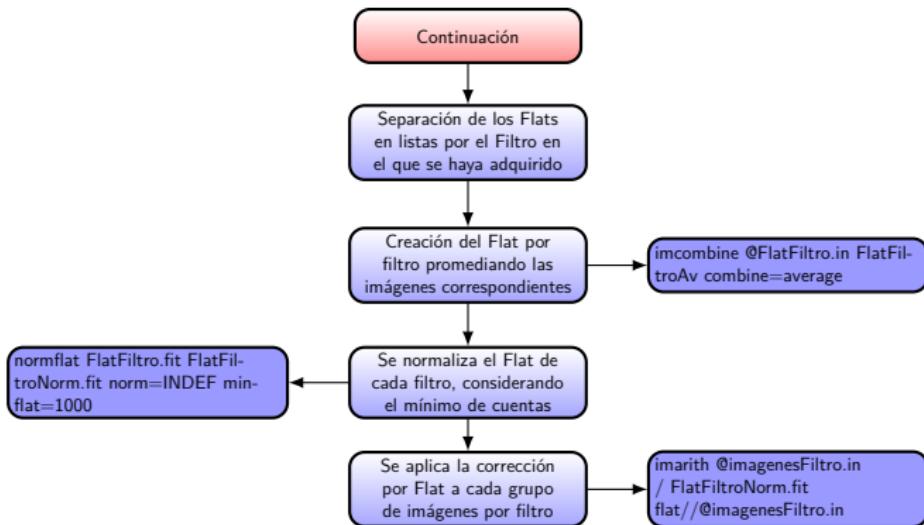


Figura: Procedimiento de pre-procesamiento de imágenes astronómicas.

Fotometría

La fotometría es la medición de la intensidad de luz emitida por un cuerpo luminoso. Se realiza a través de un ancho de banda de longitudes de onda determinado que conforma un sistema estándar, ésto se logra con filtros fotométricos que se ubican en el detector. De acuerdo al ancho de banda se pueden clasificar como:

- Banda estrecha (Narrowband): Stromgren (uvby), Geneva. SII, OIII, H α .
- Banda ancha: UBVRI, Sloan.

Fotometría de apertura, fotometría diferencial.

Filtro	λ_{eff} (Å)
U	3500
B	4400
V	5500
R	6700
I	8000

Tabla: Longitudes de onda centrales para las bandas fotométricas del sistema estándar Johnson-Cousins.

PSF

PSF

Distribución normal o gaussiana

Distribución tipo Moffat

PSF

Distribución normal o gaussiana

Distribución tipo MoffatFWHM

PSF

Distribución normal o gaussiana

Distribución tipo MoffatFWHM

Header o Encabezado

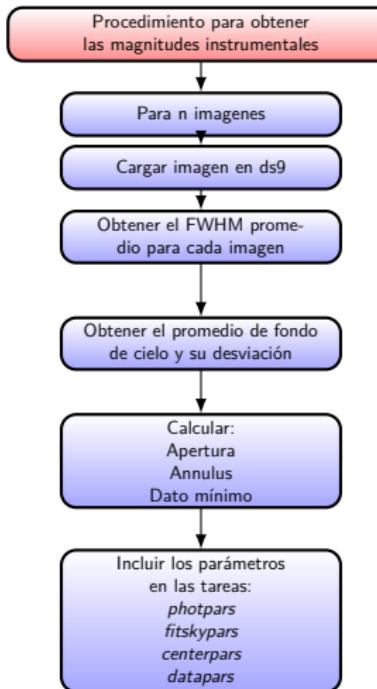


Figura: Procedimiento para el cálculo de magnitud instrumental.

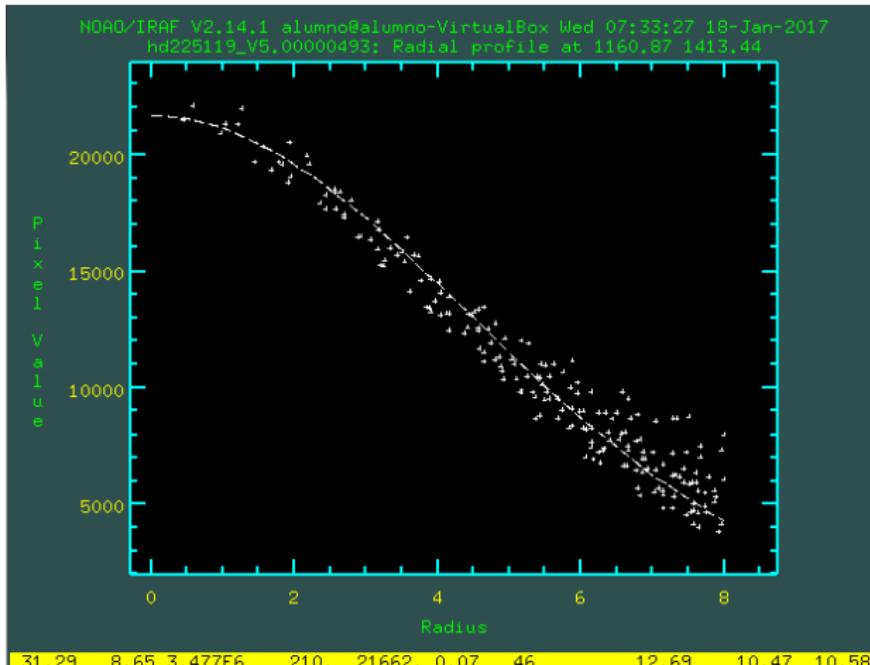
FWHM

```
>> imexamine nombreImagen.fits marco
```

Ajuste de parámetros de la gráfica

```
package tv
>> epar rimexam
(banner = yes) Standard banner
(title = ) Title
(xlabel = Radius) X-axis label
(ylabel = Pixel Value) Y-axis label
(fitplot = yes) Overplot profile fit?
(fittype = moffat) Profile type to fit
(center = yes) Center object in aperture?
(backgro = yes) Fit and subtract backgr...
```

Para trazar la PSF de una estrella se emplea *r* de forma interactiva sobre el visualizador DS9. En la ventana emergente irafterm se presenta la gráfica de la PSF con los parámetros configurados en *rimexam*. Se emplea *m* para extraer los datos de la región alrededor del cursor.



```
ecl> display bBD2_2711_45s_V.00000001.FIT 8
z1=75.5 z2=452.2877
ecl> imexamine bBD2_2711_45s_V.00000001.FIT 8
#          SECTION      NPIX      MEAN      MEDIAN     STDDEV
  MIN        MAX
[659:663,1740:1744]      25    211.9      206.      40.47
160.7      327.5
[2071:2075,809:813]      25    191.7      181.2      43.75
102.2      268.2
[733:737,542:546]      25    204.7      207.      41.87
113.7      269.8
[2520:2524,1633:1637]      25    212.6      206.2      43.68
155.5      309.5
[1375:1379,1473:1477]      25    215.4      218.7      41.84
127.        280.
ecl> display bBD2_2711_45s_V.00000010.FIT 9
z1=-45. z2=313.7008
ecl> imexamine bBD2_2711_45s_V.00000010.FIT 9
```

Figura: Datos estadísticos de una región de la imagen.

```
package noao.obsutil
>>      epar psfmeasure
images   =                               List of images

>>      psfmeasure imagen.FIT
```

Se realiza la medición sobre la estrella con m , se mide y grafica con g y se sale de la tarea con q .

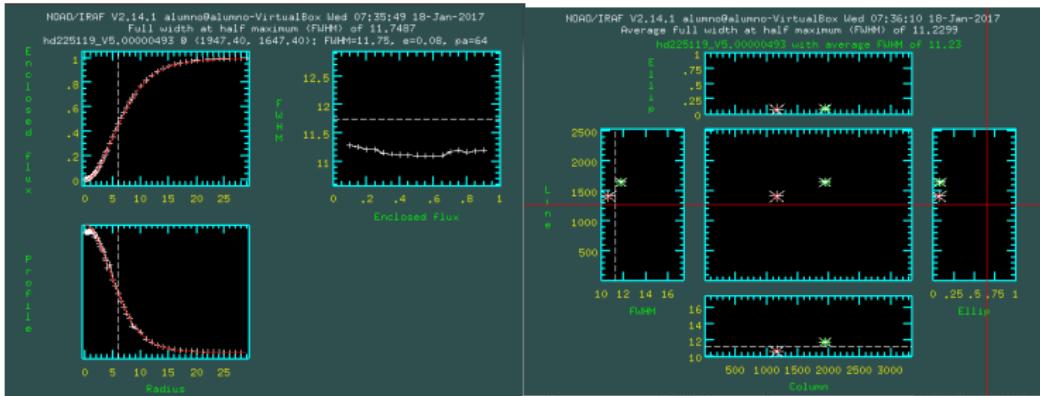


Figura: Gráficos generados por la función de medición de psf *psfmeasure*.

```
>> psfmeasure imagen
Image   Column    Line    Mag   FWHM   Ellip   PA SAT
imagen.FIT 1294.24 952.94 2.57 13.948  0.23   28
                           1459    1326.43 4.96 15.178  0.07   65
```

The estimated average FWHM is 14.563

Masa de aire

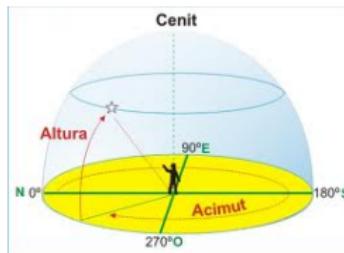


Figura: Semi-esfera celeste, con coordenadas altacimutales.

Masa de aire

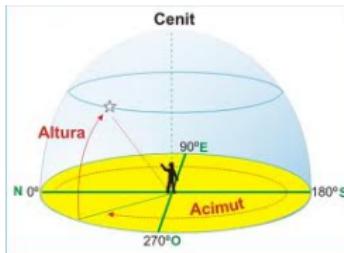


Figura: Semi-esfera celeste, con coordenadas altacimutales.

$$\sec \theta_\zeta = \frac{1}{\sin(\lambda) \sin(\delta) + \cos(\lambda) \cos(\delta) \cos(h)} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} X = & \sec \theta_\zeta - 0.001867 (\sec \theta_\zeta - 1) \\ & - 0.002875 (\sec \theta_\zeta - 1)^2 \\ & - 0.0008083 (\sec \theta_\zeta - 1)^3 \end{aligned} \quad (2)$$

```
package noao.astutil
>> epar airmass
elevation      =      30    elevation above horizon in degrees.
(scale        =    750.)  scale factor of Earth's atmosphere
(radians     =      no)   input elevation in radians instead...
```

```
>> airmass 30
```

airmass 1.996 at an elevation of 30. degrees (0.5236 radians) above horizon.

Header o Encabezado

Ver el Header

```
package images.imutil
>> epar imheader
images      =      imagen.fits    image names
(imlist      =      image*.fits ) default image names
(longhea    =            no)      print header in...
```

```
>> imheader imagen.fits
```

```
>> imheader imagendatos*.fits
No bad pixels, min=0., max=65535.
Line storage mode, physdim [1600, 1200]...
BSCALE      =           1.000E0
BZERO       =           3.2768E4
DATE        = '2016-11-05T03:42:51'
IRAF-TLM    = 2016-11-05T06:20:19
DATAMIN     =           0
BIAS         =           100
DATEOBS     = '2016-03-16T07:05:23.225'
SWCREATE    = 'CCDSOFT Version 5.00.217'
SET-TEMP    =           +5.0000E+00
IMAGETYP   = 'Light Frame'
XBINNING    =           1
YBINNING    =           1
INSTRUMENT = 'SBIG ST-2K 3 CCD'
EGAIN       =           +6.100E-001
DATAMAX     =           65535
EXPTIME    =           +9.0000E+001
```

Editar el Header

```
package    images.imutil
>>        hedit imagen*.fits
images     =   data.fit   images to be edited
fields      =   campo     fields to be edited
value       =   valor     value expression
(add        =   no)      add rather than edit fields
(addonly    =   yes)     add only if field does not exist
(verify     =   yes)     verify each edit operation
(show       =   yes)     print record of each edit operation
(update     =   yes)     enable updating of the image header
```

Se empleó * y una lista para ascención recta, declinación y época ya que éstos son los mismos para los datos del mismo objeto. Sin embargo, la hora ST de adquisición es diferente para cada imagen.

Creando nuevos campos en el header

```
>> hedit data* RA 'hh:mm:ss' add+
>> hedit data*.FIT DEC '+° :":":""'
>> hedit data.in EPOCH 2000
>> hedit data_001.FIT ST 'hh:mm:ss'
```

Masa de aire

>> epar setairmass

images	=	data.in	Image or list of images
(observa	=)	Observatory for images
(ra	=	ra)	Right ascension keyword (hours)
(dec	=	dec)	Declination keyword (degrees)
(equinox	=	epoch)	Equinox keyword (years)
(st	=	st)	Local sidereal time keyword (hours)
(ut	=	time-obs)	Universal time keyword (hours)
(date	=	date-obs)	Observation date keyword
(exposur	=	exptime)	Exposure time keyword (seconds)
(airmass	=	airmass)	Airmass keyword (output)
(update	=	yes)	Update the image header?

>> setairmass listaimagenes.in

>> setairmass data*

Sitio de observación

```
package noao
>>epar observatory
command      =           set    (set—list—image)
obsid        =           oautp
images        =
(verbose       =           yes
(observa     =           oautp
(name         =   'Obs. Astr. UTP'
(longitu     =   -75.69041236
(latitud      =   4.7904974
(altitud      =   1450
(timezon     =   -5
override     =           obspars
>> observ list obspars
```

Parámetros de observatorio seleccionado

```
# Observatory parameters for Observatorio Astronomico UTP
observatory      = obspars
timezone        = -5
altitude         = 1450
latitude          = 4.7904974
longitude         = -75.690412359
name              = 'Observatorio Astronomico UTP'
```

Cálculo de magnitudes instrumentales

- **Apertura:** Es la circunferencia interna, donde se encuentra la estrella a estudiar. Su radio debe ser aproximadamente $(3 - 4)FWHM$. De forma tal que toda la luz de la estrella esté abarcada en éste. En el radio de apertura no pueden incluirse la luz de dos estrellas u otros objetos.
- **Gap:** Es la distancia entre la apertura y el Annulus. Permite aislar las dos zonas de forma tal que en el área del fondo de cielo no ingresen medidas correspondientes a la luz de la estrella.
- **Annulus:** Es la tercera y última circunferencia, en la cual se miden los valores del cielo que serán sustraídos al valor de la estrella en el procesamiento. Por lo tanto, no debe incluir otros objetos, ni resplandor de la estrella medida. Se selecciona un radio aproximadamente $(4 - 5)FWHM$.

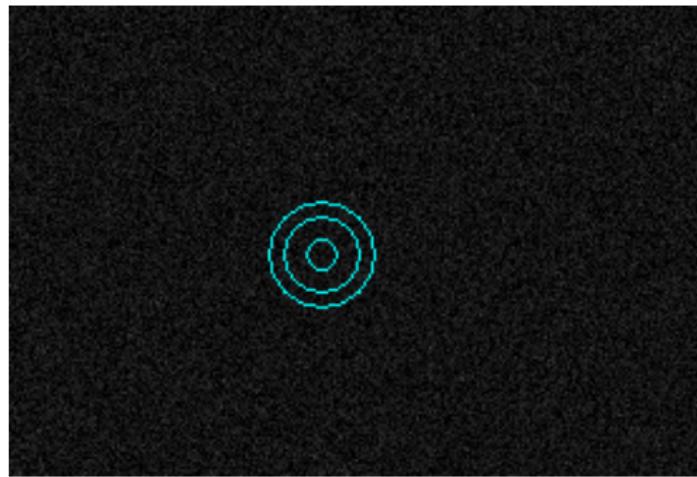


Figura: Radios de aperturas.

Tareas de parámetros de apoyo

```
package      noao.digiphot.apphot
>>      epar datapars
(fwhmPSF    =      16.065)   FWHM of the PSF in scale units
(datamin*   =      964.864)   Minimum good data value
(datamax*   =      65536)     Maximum good data value
(readnoise*  =  9.3000001907349) CCD readout noise in electrons
(epadu*     =  0.3700000476837) Gain in electrons per count
(exposure*  =      exptime)   Exposure time image header...
(airmass*   =      airmass)    Airmass image keywords
(filter*    =      filter)     Filter image header keywords
(obstime*  =      time-obs)   Time of observation header...
(itime*    =      60)          Exposure time
```

$$*datamin = \text{Fondodecielo} - 8 * \text{Desviacionestandardefondodecielo} \quad (3)$$

Tareas de parámetros de apoyo

```
package      noao.digiphot.apphot
>>          epar photpars
(aperture    = 38.88) List of aperture radii in scale units
```

```
package      noao.digiphot.apphot
>>          epar fitskypars
(salgorithm  = median) Sky fitting algorithm
(annulus     = 69.48) Inner radius of sky annulus in scale units
(dannulus    = 8)     Width of sky annulus in scale units
```

```
package noao.digiphot.apphot
>>      epar centerpars
(calgori   = centroid) Centering algorithm
(cbox      = 6.5)     Centering box width in scale units
```

Phot

Medir la magnitud instrumental

```
package noao.digiphot.apphot
>> epar phot
image      = data.FIT   The input image
(interactive = yes)  Interactive mode ?
>> phot data.FIT inter=yes
```

Se seleccionan las estrellas para realizar fotometría con la barra espaciadora, al finalizar se sale de la tarea con q y se genera un archivo con terminación .mag con las magnitudes medidas y los parámetros configurados.

```

#N IMAGE          XINIT      YINIT      ID      COORDS           LID      \
#U imagename     pixels     pixels     ##      filename        ##      \
#F %-23s         %-10.3f   %-10.3f   %-6d   %-23s        %-6d      \
#
#N XCENTER       YCENTER     XSHIFT     YSHIFT     XERR      YERR      CIER      CERROR      \
#U pixels         pixels     pixels     pixels     pixels     pixels     ##      cerrors      \
#F %-14.3f        %-11.3f   %-8.3f    %-8.3f    %-8.3f   %-15.3f   %-5d   %-9s      \
#
#N MSKY           STDEV      SSKEW      NSKY      NSREJ      SIER      SERROR      \
#U counts         counts     counts     npix      npix     ##      serrors      \
#F %-18.7g        %-15.7g   %-15.7g   %7d      %9d     %-5d   %-9s      \
#
#N ITIME          XAIRMASS   IFILTER      OTIME      timeunit      \
#U timeunit       number     name        name      timeunit      \
#F %-18.7g        %-15.7g   %-23s      %23s      %-23s      \
#
#N RAPERT         SUM        AREA        FLUX      MAG       MERR      PIER      PERROR      \
#U scale          counts    pixels     counts     mag       mag     ##      perrors      \
#F %-12.2f        %-14.7g   %-11.7g   %-14.7g   %-7.3f   %-6.3f   %-5d   %-9s      \
#
bBD2_2711_45s_V.00000011256.903 1230.128 1 nullfile 0          \
1250.210 1225.806 -6.693 -4.322 0.017 0.014 107 BigShift \
94.18851 36.58709 10.0509 3822 19 0 NoError \
45. 1.048465 V 05:29:14.548 \
40.28 3271866. 5096.03 2791878. 13.018 0.002 0 NoError

```

Figura: Sección del archivo resultado de la extracción de magnitudes.

Breve resumen del resto del procedimiento

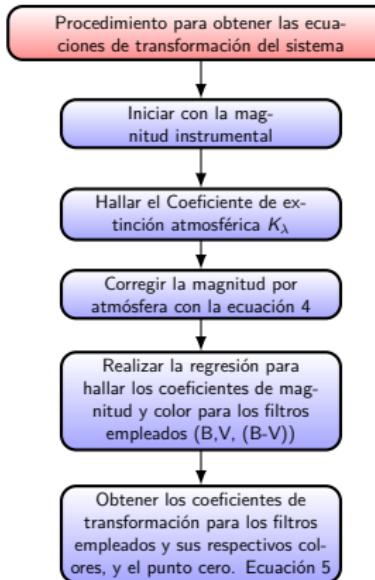


Figura: Procedimiento para el cálculo de las ecuaciones de transformación de un sistema fotométrico instrumental a uno estándar.

Corrección por extinción atmosférica

$$M_{ins} = m_{obs} + K_\lambda * X \quad (4)$$

Magnitud Absoluta

$$\begin{aligned} V &= v + T_{v_b v} \times (B - V) + Z_{0v} \\ B &= b + T_{b_b v} \times (B - V) + Z_{0b} \\ (B - V) &= T_{bv}(b - v) + Z_{0bv} \end{aligned} \quad (5)$$

Extracción del espectro

Después de completar la reducción de ruido *CCD*, al espectro 2D procesado se le debe extraer el espectro 1D. Es decir, todos los píxeles espectrales de una señal se promedian perpendicular a la dirección de dispersión. Con el fin de calibrar la longitud de onda del espectro reducido independiente del espectro estelar, se utiliza fuentes de luz con líneas de emisión bien conocidas tomadas en laboratorio.

Para obtener un espectro 1D calibrado y normalizado seguiremos los siguiente pasos:

- ① Visualizar y organizar las imágenes
- ② Extraer apertura 2D -- > 1D
- ③ Calibración en longitud de onda
- ④ Normalización

Visualizar y organizar las imágenes

Definir eje de dispersión

Antes de hacer la extracción del espectro es importante definir el eje de dispersión en la imagen el cual *IRAF* tiene por defecto en columna como se muestra en la figura 20.

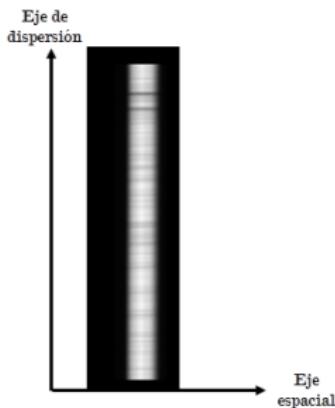


Figura: Ejes de dispersión.

```
package images.imutil
>> epar hedit
images      =      data.fits    images to be edited
fields       =      DISPAXIS   fields to be edited
value        =            1    value expression
(update     =      yes)    enable updating of the image header

>>hedit data.fits DISPAXIS 1 add+
```

Visualizar y organizar las imágenes

```
>>display data.fits 1
```

Visualizar y organizar las imágenes

```
>>display data.fits 1
```

```
>>package noao.imred.crutil  
>>cosmicrays data.fits data-cr.fits
```

Visualizar y organizar las imágenes

```
>>display data.fits 1

>>package noao.imred.crutil
>>cosmicrays data.fits data-cr.fits

>>package images.imgeom
>>rotate data-cr.fits 1 data-cr-rot.fits
```

Encontrar apertura APALL

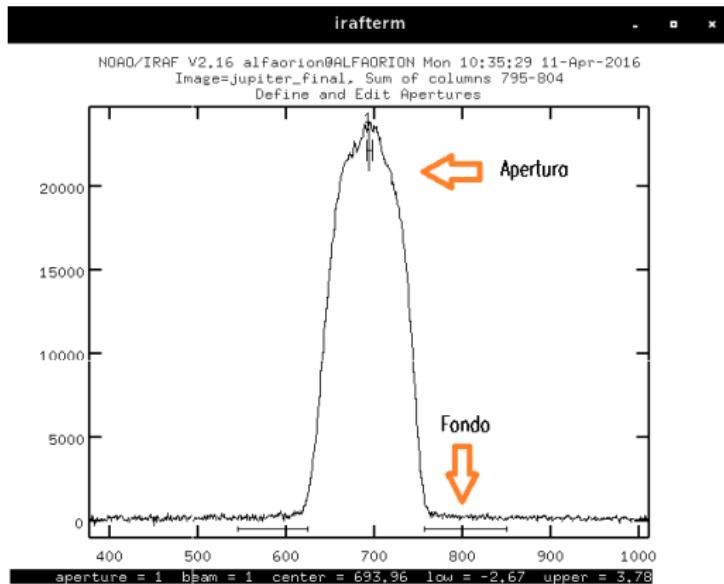


Figura: Ventana del irafterm para trazar apertura.

Apall

```
package noao.twodspec.apextract
>>epar apall
input      = data-cr-rot.fits    List of inputs images
find       = yes                Find apertures?
format     = onedspec          Extracted spectra format
resize     = yes                Resize apertures
edit       = yes                Edit apertures
>> apall data-cr-rot.fits
```

w+x - zoom en x

w+y - zoom en y

w+a - quitar zoom

w+x - zoom en x

w+y - zoom en y

w+a - quitar zoom

d - borrar apertura

m - marcar una nueva apertura automática

n - seleccionar apertura manual

l - seleccionar límite inferior de la apertura

u - seleccionar límite superior de la apertura

Fondo

- b** - (background)
- z** - borra un segmento
- t** - borra todos los segmentos
- s** - crea un segmento
- f** - ajusta el nivel de los segmentos de fondo
- q** - (quit) dos veces para salir.

Trazar apertura

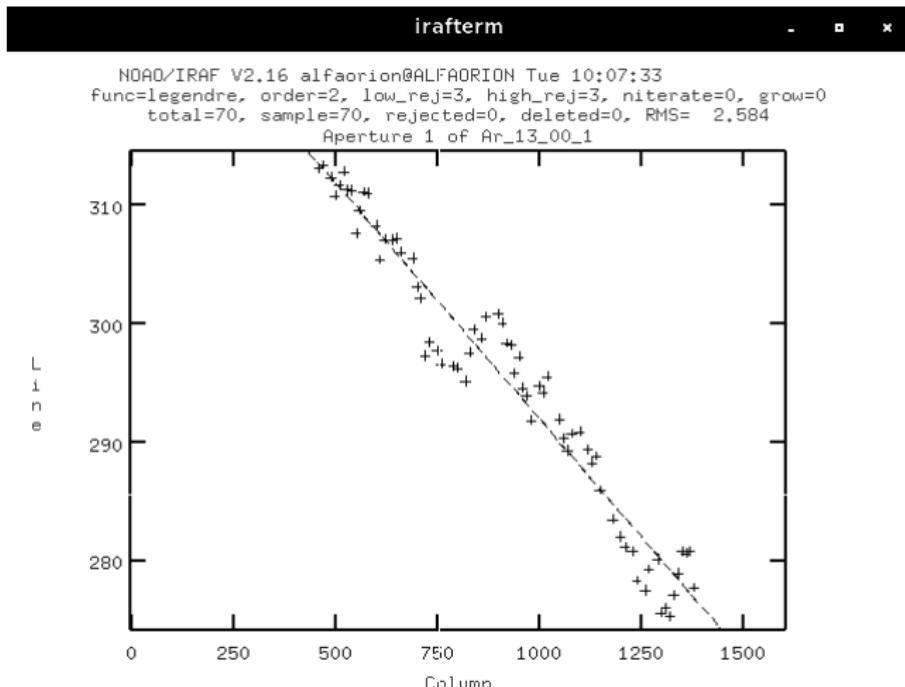


Figura: Ventana del irafterm para el ajuste de la curva.

Trazar apertura

- legendre
- chebyshev
- spline1
- spline3

Trazar apertura

- legendre
 - chebyshev
 - spline1
 - spline3
- :o Orden del ajuste 1,2,3...
- :f Tipo de función
- f permite visualizar los cambios
- q para salir
- q nuevamente y responder 'yes' a todas las preguntas

Splot

(para visualizar espectro)

```
>>package noao.onespec
```

Splot

(para visualizar espectro)

```
>>package noao.onespec
```

```
>>splot espectro.fits
```

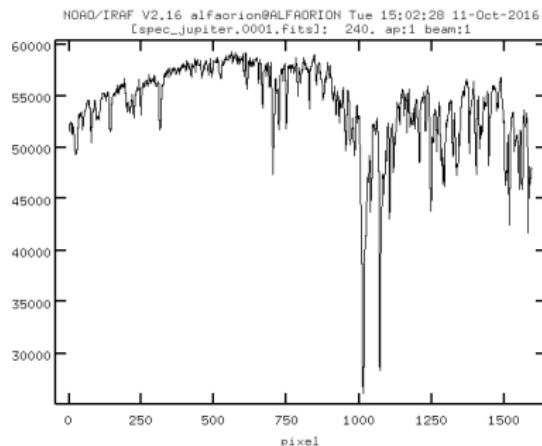


Figura: Ventana splot.

Calibración en longitud de onda

Extracción del espectro de comparación

El primer paso es hacer la extracción de la apertura de la lámpara de calibración tomada (Ne, Ne-Ar, Hg, H) idéntica al objeto *data-cr-rot.fits*, para ello se utiliza la tarea *apall* como se muestra a continuación:

```
>>apall nombre-lámpara.fits references=data-cr-rot.fits recenter-
trace- back- interac- output=arco.fits
```

Calibración en longitud de onda

Extracción del espectro de comparación

El primer paso es hacer la extracción de la apertura de la lámpara de calibración tomada (Ne, Ne-Ar, Hg, H) idéntica al objeto *data-cr-rot.fits*, para ello se utiliza la tarea *apall* como se muestra a continuación:

```
>>apall nombre-lámpara.fits references=data-cr-rot.fits recenter-
trace- back- interac- output=arco.fits
```

splot para visualizar

Identificar líneas conocidas

Identify

```
>>package noao.onedspec
```

Identificar líneas conocidas

Identify

```
>>package noao.onedspec
```

```
>>identify arco.fits
```

Identificar líneas conocidas

Identify

```
>>package noao.onedspec
```

```
>>identify arco.fits
```

m permite escribir la longitud de onda correspondiente

f para asignar la función que mejor se ajuste a la dispersión de datos

q para salir

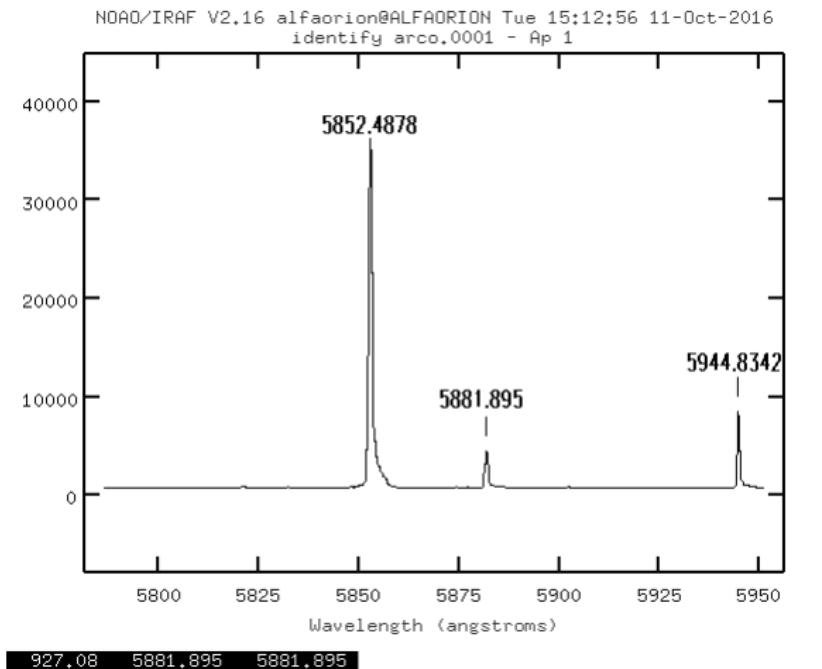


Figura: Ventana identify.

Corrección del eje de dispersión

Una vez identificadas las líneas de comparación se procede a referenciarlas en el encabezado del espectro sin calibrar.

```
>>redit espectro REFSPEC1 arco add+
```

Corrección del eje de dispersión

Una vez identificadas las líneas de comparación se procede a referenciarlas en el encabezado del espectro sin calibrar.

```
>>hedit espectro REFSPEC1 arco add+
```

```
>>package noao.onedspec
```

```
>> dispcor espectro espectro-calib
```

Normalización del espectro

El procedimiento realizado hasta este punto ha permitido realizar la calibración en longitud de onda pero el eje vertical esta en términos del número de cuentas. Dado que existe un cambio de la sensibilidad del detector *CCD* dependiente de la región de longitud de onda observada es útil normalizar el espectro del objeto para que el nivel continuo sea la unidad.

Normalización del espectro

Abrir splot

- t** opciones
- /** normalizar
- :f** para cambiar la función del ajuste
- :o** para cambiar el orden
- q** para terminar la normalización
- i** para guardar el espectro

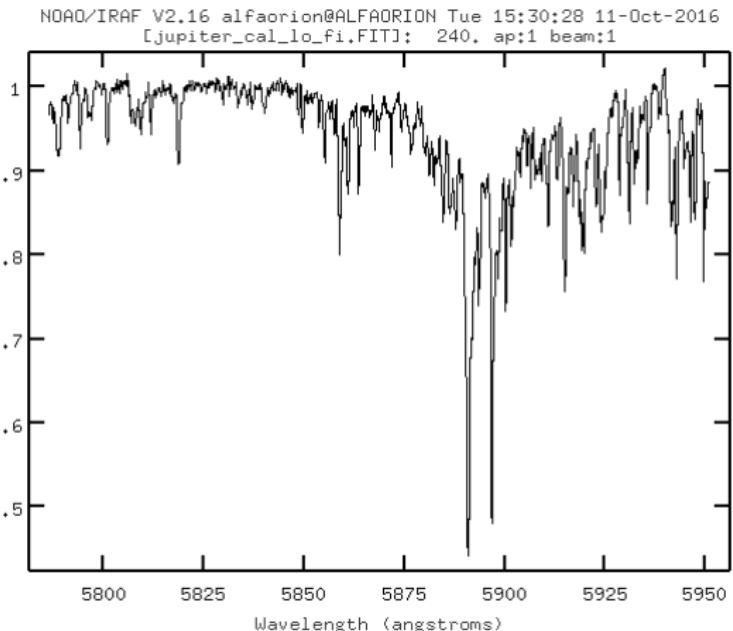


Figura: Espectro calibrado en longitud de onda y normalizado.