



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE  
FACULTAD DE FÍSICA  
TALLER DE ASTRONOMÍA II - FIZ0221  
SEGUNDO SEMESTRE 2014

## Calibración Fotométrica

Integrantes: Gonzalo Prieto Lyon  
6 de Octubre del 2014

---

### Abstract

En este trabajo veremos los pasos para conseguir una ecuación de calibración de la constante de magnitud, partiendo por la reducción de imágenes a través de Bias y Flats, luego utilizaremos el trabajo de Arlo Landolt para conseguir magnitudes Standard de ciertas estrellas las cuales luego compararemos con datos de magnitudes obtenidas por nosotros mismos, logrado esto pasaremos a calcular las rectas con la técnica de minimos cuadrados con pesos distintos de 1. Hecho esto llegaremos a las ecuaciones de nuestras rectas, en primera instancia serán:  $V_{noche1} = 0,1141x + 2,3348$ ,  $V_{noche2} = 0,3656x + 1,8329$ ,  $I_{noche1} = 0,00887x + 2,2832$  y  $I_{noche2} = 0,1612x + 1,7582$ . Obtenido esto pasaremos a la última fase donde buscaremos rectas que puedan predecir el comportamiento de más de una noche, los resultados fueron:  $V_{noche1} = 0,2277x + 2,28449$ ,  $V_{noche2} = 0,2277x + 1,89609$ ,  $I_{noche1} = 0,0758x + 2,25428$  y  $I_{noche2} = y = 0,0758x + 1,7999$ . Una descripción detallada del proceso se verá más adelante junto con gráficos de las rectas respectivas.

### Introducción

Si tomamos imagenes por nuestro telescopio y procedemos a analizar los flujos notaremos que existirán variaciones en las magnitudes obtenidas dependiendo de cuando sean tomadas las imágenes, es decir, estaremos encontrando una magnitud aparente del cuerpo y no una magnitud real como pudicemos desear, esto se debe a las condiciones atmosféricas de cada día y del instrumental que usemos para medir.

Esta diferencia entre la magnitud aparente y la real se puede representar con la siguiente diferencia:

$$m = -2,5 \cdot \log(K * Flujo) + Cte \quad (1)$$

$$m = -2,5 \cdot \log(F) - 2,5 \cdot \log(K) + Cte \quad (2)$$

Nuestra meta en este trabajo será determinar estas constantes, esto lo lograremos comparando los resultados de varias de nuestras observaciones con las tablas de magnitudes standard publicadas por Arlo Landolt en 1992. Con esta información determinaremos una serie de rectas llamadas ecuaciones de calibración en el gráfico V-I (eje x) V-v(eje y) o I-i si usamos el filtro I, estas en resumen nos permitirán saber estas constantes para un color (V-I) determinado de estrella. Cabe destacar que todos los calculos y trabajos de imagenes fueron hechos tanto con Iraf como en codigo Python. Las imagenes y flats estarán en los filtros V e I, todo lo entregado fue convertido a electrones a través de la razón  $1,27 = \frac{e^-}{ADU}$ .

## **Procedimiento**

A continuación explicaremos las distintas etapas de este trabajo, pasando desde la calibración de las imagenes hasta la obtención de nuestras ecuaciones deseadas:

### **Calibración de imágenes**

Para esta tarea aparte de las imagenes se nos proporciono un set de Bias y Flats los cuales usamos para calibrar y lograr obtener nuestras imagenes de ciencia. Resumiendo un poco lo ya sabido podemos decir que un bias es una imagen con tiempo de exposición cero la cual representa la estatica "base" de nuestros instrumentos que se verá en nuestras capturas. Un flat por otro lado es una fotografía de una zona del cielo homogenea o de una superficie blanca con tiempo mayor a cero, es una forma de reconocer la eficiencia de cada pixel de la CCD.

Entendido esto veremos los pasos a seguir para la calibración.

Comenzando teníamos 9 imagenes Bias, sacamos una media por pixel entre todas estas obteniendo nuestro Master Bias, el cual luego restaremos a cualquier otra imagen obtenida (Flats e Imágen base), esto lo logramos directamente con el comando "imcombine" de Iraf, dando "combine=mean" como input.

A continuación procedimos a crear nuestro Master Flat, cabe destacar que ha diferencia del bias los flat son distintos dependiendo del filtro que usemos, nos fueron entregados 6 flats para cada uno de los filtros I y V. El primer paso fue restar el Master Bias a cada uno de estos por separado, luego sabiendo que estos eran del tipo "Sky" (No Dome) seguimos el procedimiento establecido, normalizar(dividir) cada flat por su media (encontrada con imstat) para luego combinar todos estos en un Master Flat. A continuación una imagen de un flat cualquiera y de nuestro master flat:

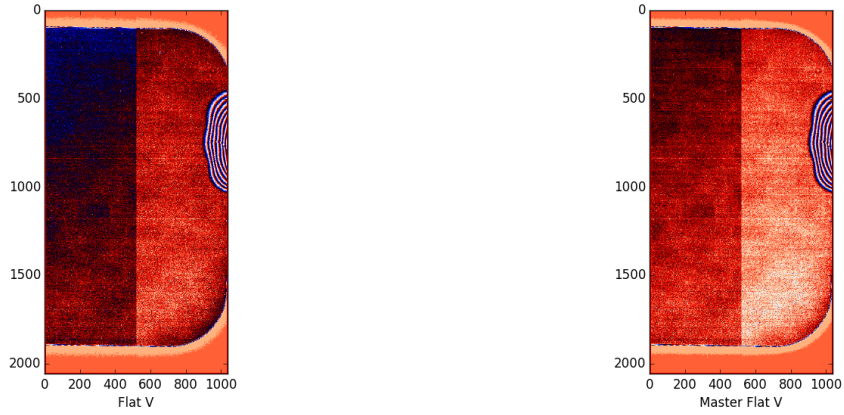


Figura 1: Como podemos ver a simple vista, en el master flat se corrijen irregularidades de cada flat, creando una versión estadísticamente más precisa. Cabe destacar que ambos estan normalizados.

Una vez obtenidos nuestro Master Bias y Master Flat procedemos a utilizar la ecuación:

$$\frac{Imagen - MasterBias}{MasterFlat - MasterBias} = ImagendeCiencia \quad (3)$$

Dos cosas debemos notar de lo anterior, primero teoricamente uno debiese incluir un Master Dark en esta ecuación, pero en los instrumentos modernos su valor es practicamente despreciable. Por otro lado evidentemente debemos restar el Master Bias a cada flat por separado antes de normalizar.

Una vez logrado esto y teniendo nuestras imagenes de ciencia podemos proceder con la siguiente fase del trabajo.

### Comparando con Landolt.

Como mencionamos en la intrducción existe un grupo de estrellas medidas con un flujo standard por el cientifico Landolt, son estas estrellas a las que nosotros necesitaremos medir la magnitud, por lo tanto deberemos encontrarlas, para esto debemos considerar que es muy probable que nuestra imagen no este tomada con la misma orientación que las de Landolt debido a que los espejos invierten lo observado. Para encontrar el campo en el archivo de Landolt tan solo necesitamos la ascensión recta y declinación. A continuación compararemos un campo de Landolt con el campo de nuestras imagenes calibradas, mostrando claramente cual estrella es cual.

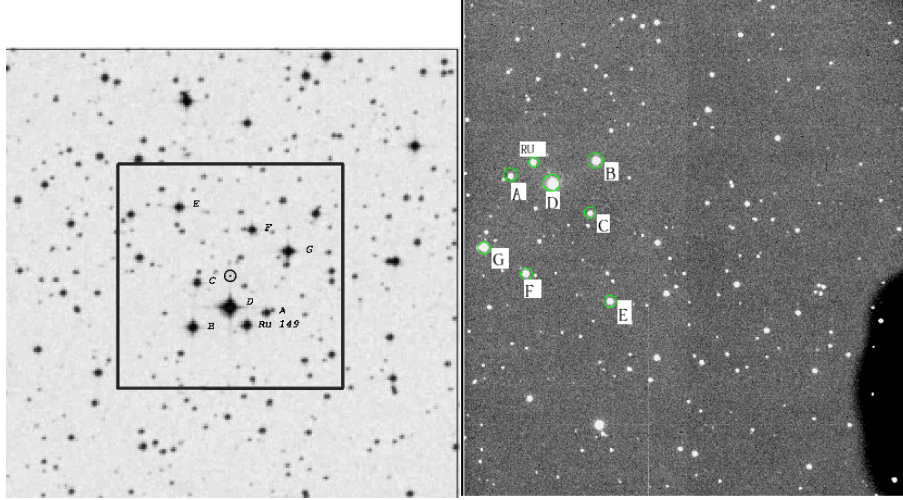


Figura 2: Como podemos ver las imagenes estan volteadas. Cada una de las letras representa una de las ocho estrellas standard de Landolt del campo RU149.

Cabe destacar que todas las imagenes usadas en este trabajo fueron del campo RU149.

### Obtención de magnitudes.

Una vez que sepamos cuales son las posiciones de las estrellas de Landolt debemos proceder a calcular magnitudes. Necesitaremos tanto las magnitudes instrumentales(las medidas) como las standard (Landolt). Las magnitudes standard las podemos obtener directamente de la tabla de Landolt sabiendo las coordenadas del campo (Ra y Dec), los datos que nos interesarán de estas tablas son las magnitudes V y las magnitudes V-I, teniendo estas tambien podremos conseguir las magnitudes I. Para la parte de conseguir las magnitudes instrumentales utilizamos el comando "imexam" de Iraf, el cual nos entrego también los flujos de cada estrella, a continuación veremos una tabla con estos datos:

| Estrella | Standard V | Standard I | Standard v N1 | Standard v N2 | Standrad i N1 | Standard i N2 |
|----------|------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Ru149    | 13.866     | 13.974     | 11.45         | 11.71         | 11.65         | 11.97         |
| A        | 14.495     | 14.104     | 12.14         | 12.41         | 11.88         | 12.20         |
| B        | 12.642     | 11.914     | 10.21         | 10.54         | 9.61          | 10.11         |
| C        | 14.425     | 14.203     | 12.01         | 12.27         | 11.88         | 12.19         |
| D        | 11.480     | 11.451     | 9.20          | 9.94          | 9.19          | 9.9,11        |
| E        | 13.718     | 13.081     | 11.29         | 11.55         | 10.77         | 11.10         |
| F        | 13.471     | 12.339     | 11.04         | 11.31         | 10.06         | 10.42         |
| G        | 12.829     | 12.184     | 10.40         | 10.73         | 9.89          | 10.3          |

También será importante saber la diferencia entre las magnitudes standard V-I, estas como ya dijimos estan en las tablas de Landolt, los valores serán:

| Estrella | V-I    |
|----------|--------|
| RU149    | -0.108 |
| A        | 0.391  |
| B        | 0.728  |
| C        | 0.222  |
| D        | 0.029  |
| E        | 0.637  |
| F        | 1.132  |
| G        | 0.645  |

Una vez obtenidos todos estos datos podremos graficar las posiciones de nuestras estrellas en el plano V-I, V-v(o I-i), los gráficos obtenidos fueron los siguientes:

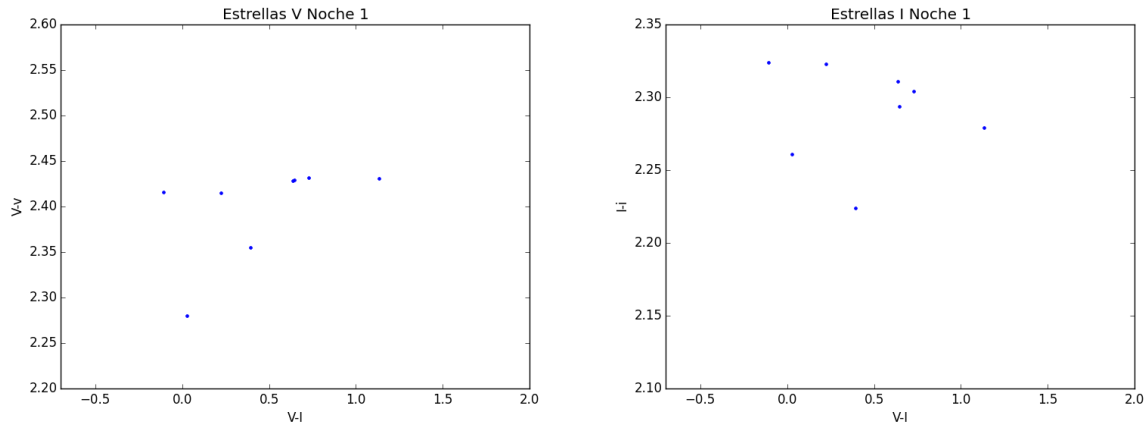


Figura 3: Ahora nos quedará encontrar las ecuaciones de calibración.

## Ecuaciones de Calibración.

Encontrar la recta que predice el comportamiento de la constante no será tan sencillo como ajustar una recta a los puntos, esto se debe a que cada punto tendrá una especie de Señal/Ruido correspondiente, es decir, algunas estrellas tendrán un error( $\sigma$ ) que comparado con el flujo del cuerpo será más grande que la S/N de otra estrella. Por lo tanto estrellas con baja S/N deberán influir menos peso en nuestra recta.

Para lograr calcular esto utilizaremos el método de mínimos cuadrados para ello usamos la siguiente formula:

$$V - v = A(V - I) + B \quad (4)$$

o si usamos otro filtro

$$I - i = A(V - I) + B \quad (5)$$

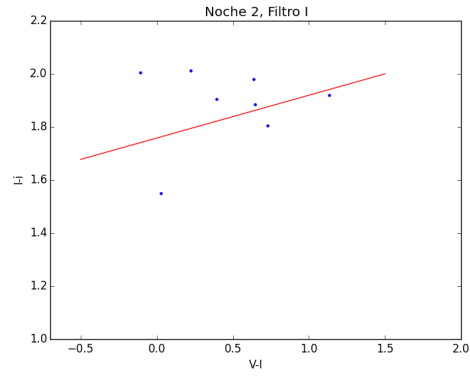
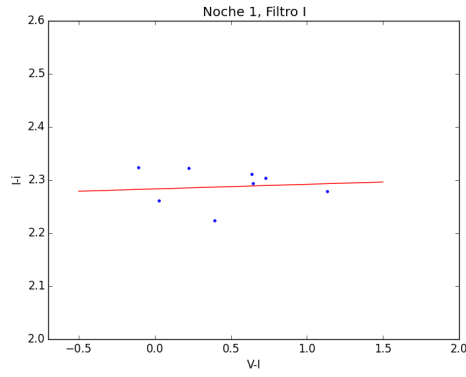
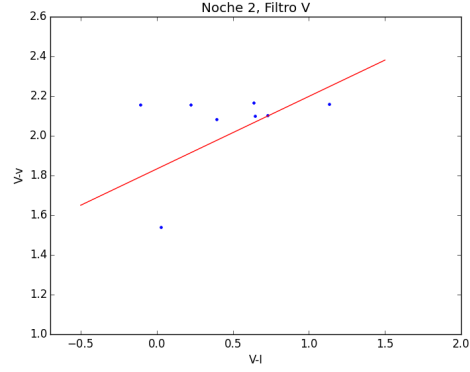
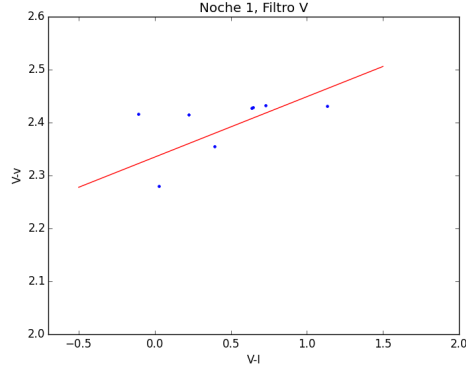
$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum w_i x_i^2 & \sum w_i x_i \\ \sum w_i x_i & \sum w_i \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum w_i x_i y_i \\ \sum w_i y_i \end{bmatrix} \quad (6)$$

Los datos ingresados a esta matriz son dependiendo del filtro y la noche, por lo tanto con nuestras dos imágenes por filtro tendremos un total de cuatro rectas. Veamos que significa cada valor:

1.  $w_i$  proviene de la inversa del error  $\frac{1}{\sigma^2}$ , donde  $\sigma$  provendrá del error de nuestro flujo pasado a magnitud, en nuestro caso tendremos que este será la mitad de la diferencia absoluta entre  $-2,5 \cdot \log(\text{Flujo} - \sqrt{\text{Flujo}})$  y  $-2,5 \cdot \log(\text{Flujo} + \sqrt{\text{Flujo}})$ , decimos que el error se mide como la raíz de la señal ya que estamos trabajando con electrones (No ADU) por lo que podemos usar los errores de Poisson. En cuanto a los flujos, estos los obtuvimos directamente desde Iraf con imexam.
2. El valor  $x_i$  será simplemente el valor V-I de cada estrella, estos los podemos ver en la tabla anteriormente dada, es decir, la coordenada x de cada punto.
3. Los valores  $y_i$  representan V-v o I-i dependiendo del filtro que estemos usando, podemos verlo también en la coordenada y del gráfico.

Una vez obtenidos A y B podemos proceder a graficar nuestras rectas, a continuación veremos las distintas gráficas y las ecuaciones de cada una:

| Filtro-Noche | Ecuación            |
|--------------|---------------------|
| V1           | $0,1141x + 2,3348$  |
| V2           | $0,3656x + 1,8329$  |
| I1           | $0,00887x + 2,2832$ |
| I2           | $0,1612x + 1,7582$  |



Como podemos ver debido a que todas las pendientes son positivas, podemos decir que a medida que el color de la estrella se vuelve más grande en V(visible) mayor será la constante, debido a V-I.

En cuanto a la segunda parte de la calibración. Ya obtuvimos rectas que predicen los efectos en una noche en particular, pero ¿Podríamos crear una recta que incluya más noches de observación? Si, podemos asignar pendientes iguales a rectas provenientes de distintas noches de observación, esto lo podemos lograr de un método similar al anterior:

Noche1:

$$V_i - v_i = A(V_i - I_i) + B \quad (7)$$

Noche 2:

$$V_k - v_k = A(V_k - I_k) + C \quad (8)$$

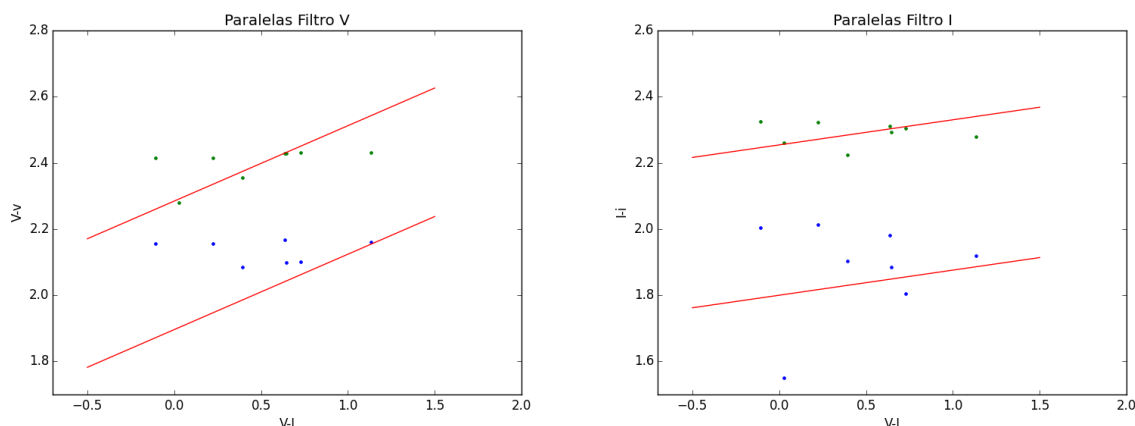
Notemos que i denotará los puntos obtenidos en la primera noche y j en la segunda, por su lado la letra k nos indicará la totalidad de ambos.

$$\begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum w_k (V_k - I_k)^2 & \sum w_i (V_i - I_i) & \sum w_j (V_j - I_j) \\ \sum w_i (V_i - I_i) & \sum w_i & 0 \\ \sum w_j (V_j - I_j) & 0 & \sum w_j \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum w_k (V_k - I_k) y_k \\ \sum w_k y_k \\ \sum w_k y_k \end{bmatrix} \quad (9)$$

Resolviendo esto obtendremos las siguientes rectas:

| Filtro-Noche | Ecuación                |
|--------------|-------------------------|
| V1           | $y = 0,2277x + 2,28449$ |
| V2           | $y = 0,2277x + 1,89609$ |
| I1           | $y = 0,0758x + 2,25428$ |
| I2           | $y = 0,0758x + 1,7999$  |

Sus gráficas serán de la forma:



Obteniendo así las rectas que buscábamos. Como podemos ver en general la constante tenderá a aumentar mas abruptamente para las estrellas observadas en V, y menos para las que observamos en I. Considerando que el cuerpo mismo no cambia es de suponer que hay un distinto efecto atmosférico dependiendo de cual rango de longitud de onda queramos observar con nuestros filtros.

## Conclusión

Luego de un largo camino calibrando, encontrando estrellas standar, calculando magnitudes, nos fue posible llegar a las ecuaciones de calibración deseadas, con estas en teoría deberíamos poder calcular la constante de la magnitud aparente, descontando las condiciones atmosféricas. Con nuestras ecuaciones ahora somos capaces de entregar un valor V-I deseado y calcular una diferencia entre el V standar y el v instrumental, esto debería poder llevarse a cabo para cualquier estrella que deseemos, no tan solo las estudiadas en este trabajo.