

	Ultraviolet	Blue	Visual
centro	365 nm	440 nm	550 nm
ancho	68 nm	98 nm	89 nm

Fotometría Estelar para aficionados.

Presenta: Leonel E. Hernández.

ASTRO.

Junio 29, 2015.

¿Qué es la fotometría estelar?

- La fotometría es una técnica de la astronomía que mide la brillantez de la radiación electromagnética de un objeto astronómico.
- Esta brillantez de una estrella está dada por el *flux*, la energía en forma de fotones que pasa por una unidad de área por unidad de tiempo.
- Mientras que la emisión total de luz de una estrella – llamada luminosidad *bolométrica* – está ligada al flux, las mediciones de la brillantez de una estrellas usualmente se hacen dentro de rangos limitados de frecuencias o longitudes de onda (*bandas fotométricas*) y por lo tanto están más ligadas a la densidad del flux.
- La densidad del flux a menudo se expresa en *Jansky*, donde $1 \text{ Jy} = 10^{-26} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{Hz}^{-1}$
- Sin embargo, todavía se usan la *magnitud* para expresar el brillo de una estrella. Un sistema inventado alrededor del año 120 AEC por el astrónomo griego Hiparco.

La escala de magnitudes

- Hiparco clasificó a las estrellas en seis clases, dependiendo del momento en que las estrellas iban apareciendo al anochecer: las estrellas más brillantes eran las de *primera clase* y las más tenues, las de sexta clase.
- En 1856, Norman Pogson calibró la escala de magnitudes de Hiparco en términos del flux. Se dio cuenta que la escala de magnitudes refleja la respuesta *logarítmica* de los receptores de la retina humana, y que una diferencia de cinco magnitudes corresponde a una diferencia de casi 100 veces en el flux.
- Esta diferencia se refleja en esta ecuación,

$$m = -2.5 \log \frac{F}{F_0}$$

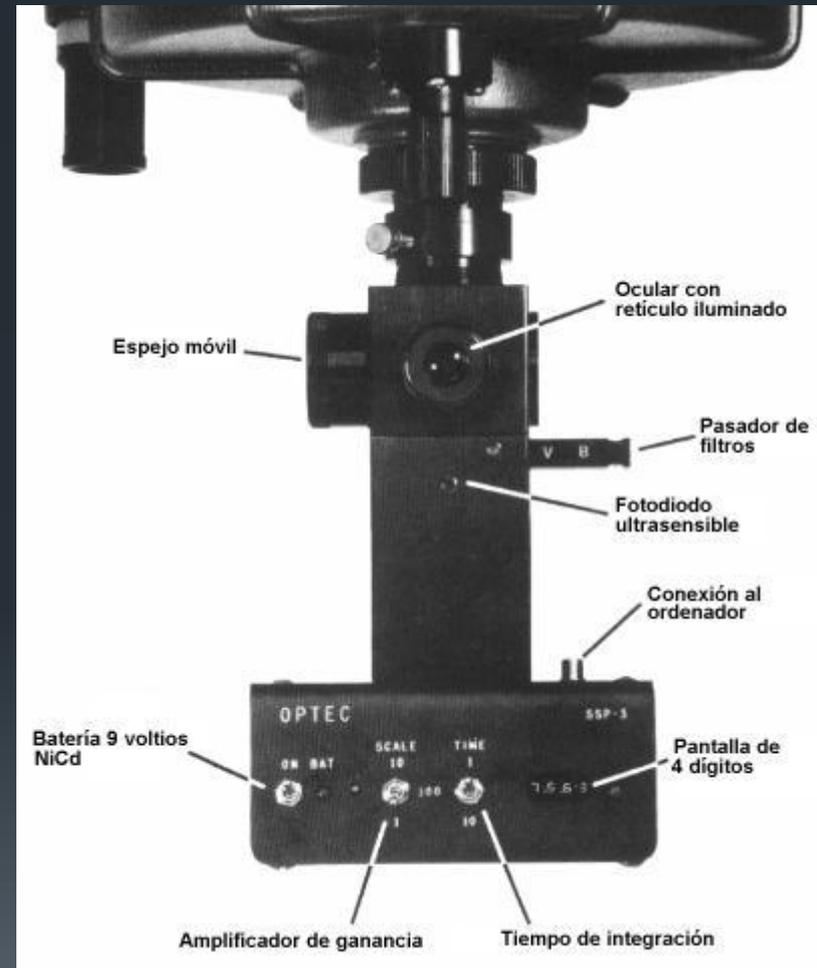
La escala de magnitudes

- Lo primero que se nota es que mientras más tenue es la estrella, más grande es el número de magnitud.
- El *punto cero* de la escala de magnitudes, F_0 , se escogió de tal manera que la estrella Vega (α Lyrae) tiene magnitud cero.
- Esto fue debido a que Vega era una de las estrellas más brillantes en la escala original de magnitudes y porque su color es blanco a nuestros ojos: es decir, el ojo humano percibe la luz de Vega como igualmente intensa en todos los colores. Esto no es del todo cierto. Ahora se sabe que Vega posee un anillo de polvo alrededor que emite en el rango infrarrojo también.



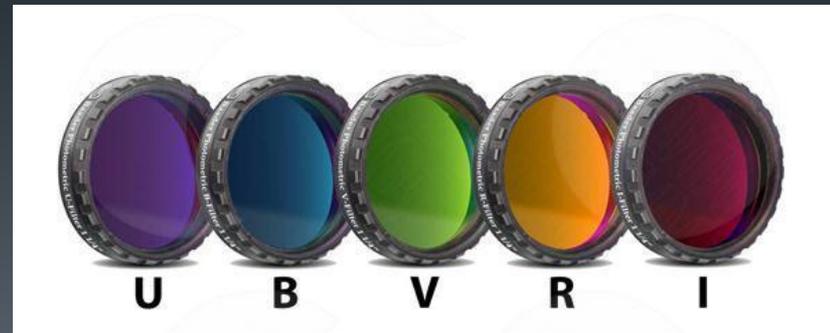
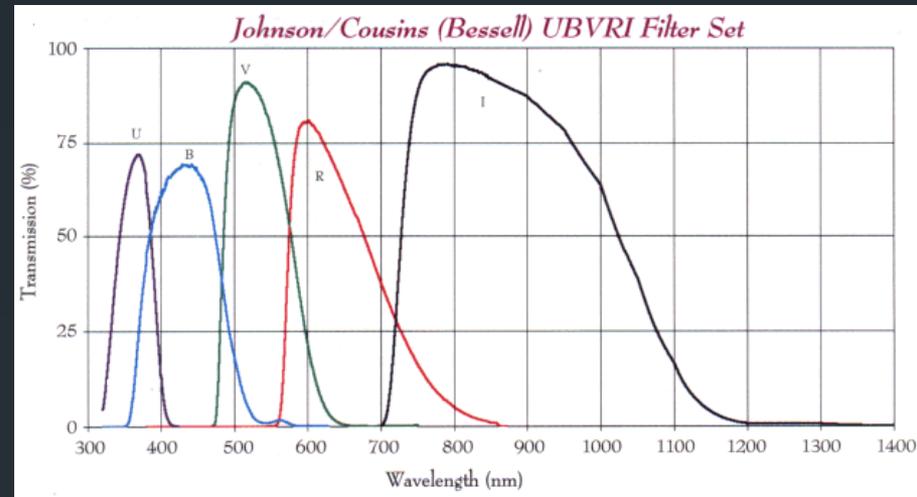
Instrumentos: el fotómetro

- El instrumento para realizar fotometría data de principios del siglo XX, y está basado en el efecto fotoeléctrico descubierto por A. Einstein.
- Se trata del fotómetro fotoeléctrico. Uno de ellos se muestra en la imagen a la derecha.
- Consta de una celda fotoeléctrica muy sensible que convierte la energía de los fotones capturados en una corriente eléctrica proporcional a la intensidad de la luz. Es importante que la respuesta del fotómetro sea lineal respecto al flux.
- Un sistema de conteo y un temporizador generan una lectura que es enviada a una computadora para ser registrada.
- Posee también un sistema de filtros para obtener lecturas a diferentes rangos de frecuencias.
- El sistema que más se usa con este tipo de fotómetros es el llamado UBVRI.
- La ventaja del fotómetro es su precisión de hasta 0.008 magnitudes.



Sistema Johnson UBVRI

- Las mediciones que se realizan por este tipo de fotometría tienen que hacerse a través de filtros para obtener medidas estándar, el sistema más usado por los aficionados es el UBVRI desarrollado por Johnson y Morgan en los años cincuenta.
- Se debe tener en cuenta que no son necesarios todos los filtros. Si tan sólo se trata de hacer mediciones de brillo basta con el V, aunque el filtro B también nos vendría bien para hacer estudios más avanzados, así se puede obtener el índice de color B-V de las estrellas, pudiendo estimar la clase espectral a la que pertenecen, o calcular las edades de unos cuantos cúmulos estelares, entre otras cosas.
- Cabe decir que estos filtros están centrados en unas determinadas longitudes de onda, así:
 - el U (ultravioleta) tiene el máximo en los 350 nm,
 - el B (azul) en 430 nm,
 - el V (visual) en 550 nm,
 - el R (rojo) en 700 nm
 - y el I (infrarrojo) en 900 nm.
- Este sistema se amplía aún más con más filtros que se sitúan más hacia el infrarrojo.
- Lo habitual es hacer fotometría UBV; sin embargo, en los telescopios tipo Schmidt-Cassegrain no se puede utilizar el filtro U, ya que la placa Schmidt impide el paso de rayos ultravioletas.



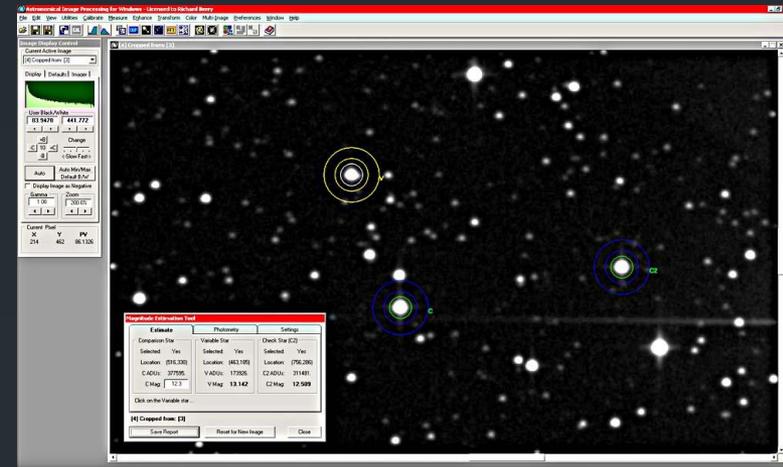
Fotometría con CCD

- Con el advenimiento de las cámaras CCD astronómicas los aficionados tienen la oportunidad de contribuir de manera seria a la ciencia astronómica.
- Un CCD es básicamente una red de fotómetros que están midiendo y registrando continuamente los fotones que vienen de diversas fuentes en el campo de visión.
- Como la imagen de la CCD capta la fotometría de varios objetos a la vez, se pueden practicar varias formas de extracción de la información registrada, ya sea relativa, absoluta o diferencial.
- La señal observada de un objeto usualmente está esparcida en varios píxeles de la imagen de acuerdo a una *función de difusión puntual*.
- Este ensanchamiento de la imagen de la estrella se debe a la óptica del telescopio así como del *parpadeo* astronómico.



Fotometría con CCD

- Cuando se hace fotometría de un objeto que es una fuente puntual, el flux se mide sumando toda la luz registrada del objeto y restándole la luz proveniente del cielo.
- La técnica más sencilla, conocida como *fotometría de apertura*, consiste en sumar el conteo de los valores de los pixeles que quedan dentro de un círculo centrado sobre el objeto (la apertura) y restándole el cociente del valor promedio de los pixeles del cielo cercano al objeto entre el número de pixeles dentro de la apertura.
- Esto resultará en un valor grueso del flux del objeto.
- Cuando se hace fotometría de un campo muy poblado, como el de los cúmulos globulares, donde los perfiles de las estrellas se sobrepone significativamente, se deben usar técnicas como el *ajuste de la función de difusión (PSF)*, para determinar los valores individuales de las fuentes sobrepuestas.



Cálculos prácticos

- En fotometría diferencial de estrellas variables, por ejemplo, utilizamos la ley de Pogson un tanto modificada; en nuestro caso:

$$m = m_c - m_v$$

$$m = 2.5 \log \frac{i_c}{i_v}$$

- No obstante, antes que nada debemos hacer una medición del *background* (brillo del fondo del cielo) del cielo. Este nos producirá una intensidad i_b la cual debemos restarla al valor calculado para las diferentes intensidades estelares medidas y así obtenemos un valor neto. Este problema se debe a la luminosidad intrínseca de la atmósfera, ya que las moléculas y átomos que la componen emiten radiación también por la noche. Esto hace que las noches no sean totalmente oscuras (este problema no lo tendríamos en la Luna).
- Así, los valores netos que se usan en la ecuación de arriba se deben corregir con una lectura del brillo del cielo, i_b , antes de usarlos. Este dato se obtiene del cielo inmediato al objeto y se aplica a los valores en bruto de la estrella de comparación y de la estrella de interés:

$$i_c = i_{cb} - i_b$$

$$i_v = i_{vb} - i_b$$

Otras correcciones

- Normalmente, las magnitudes estelares que se dan en los catálogos son magnitudes corregidas, primero extra-atmosféricas, luego estandarizadas al sistema UBV, todo esto se hace para que las medidas de brillo no difieran de manera notable de un observador a otro. De no ser así, el trabajo de realizar observaciones fotométricas sólo lo podría hacer un observatorio en el mundo, y todos deberíamos confiar en esas mediciones; este hecho carece de sentido, lo más práctico y lógico es realizar observaciones a lo largo y ancho del planeta, y puesto que las condiciones de observación, y de instrumental de trabajo difieren entre los distintos observadores se tiene que trabajar con patrones estándar, así pues el primer paso es calcular la masa de aire del lugar de observación.
- Esto llama a calcular un *coeficiente de extinción*. Estas correcciones son propias del lugar de observación y requieren tomar mediciones tanto del objeto como del cielo a diferentes alturas sobre el horizonte.
- También se deben estimar *coeficientes de transformación* que son propios del sistema telescopio-filtro-fotómetro. Estos se requieren para convertir las lecturas tomadas en valores del sistema estándar UBVRI.

Equipos necesarios.

- Tanto en la fotometría con fotómetro como en la hecha con CCD, uno de los elementos más importantes es una montura ecuatorial con excelente seguimiento.
- El diámetro del telescopio no es crítico. Se puede hacer fotometría incluso con un refractor de 60 mm y de distancia focal corta.
- Lo que no se puede dejar de usar son los filtros. Al menos se debe usar uno V si se quiere hacer fotometría de estrellas variables, aunque se recomienda que se tenga también un filtro B y uno U (sobre todo si el telescopio es un newtoniano).
- Las técnicas como la fotometría de apertura pueden hacer uso de las imágenes obtenidas con CCDs tan “antiguas” como la ST-4 de la SBIG, aunque las más modernas ofrecen mucha más flexibilidad y tamaño de sensor.
- Incluso se puede hacer fotometría con imágenes obtenidas con cámaras DSLR.
- En estos días, una computadora portátil o de mesa se hace extremadamente necesaria para el procesamiento de las imágenes o las lecturas del instrumento de medición.



Aplicaciones de la fotometría

- Las mediciones fotométricas pueden combinarse con la *ley de los inversos al cuadrado* para determinar la luminosidad de un objeto si acaso se puede determinar su distancia, o estimar su distancia si se conoce su luminosidad.
- Otras propiedades físicas de un objeto, tales como su temperatura o composición química, se pueden determinar por medio de la espectrofotometría de banda angosta o ancha. Típicamente, las mediciones fotométricas de objetos múltiples obtenidas a través de dos filtros se grafican sobre un diagrama color-magnitud, que para las estrellas es la versión observacional del diagrama de Hertzsprung-Russell.
- La fotometría se usa también para el estudio de la variación de luz de objetos tales como las estrellas variables, planetas menores, núcleos activos de galaxias y supernovas o para detectar los tránsitos de planetas extrasolares.
- Las mediciones fotométricas también se usan para determinar el período orbital y el radio de los miembros de un sistema estelar binario eclipsante, el período de rotación de un planeta menor o de una estrella, y la emisión total de energía de una supernova.

¡Muchas gracias!

