

Titulo: Determinación de parámetros fotométricos del conjunto de filtros de Sloan empleados en imagen directa con el telescopio Jorge Sahade del CASLEO.

Objetivo

El objetivo de este plan de trabajo es determinar los parámetros fotométricos básicos de la combinación de filtros de Sloan+CCD directo (Roper 2048) + telescopio Jorge Sahade, de forma tal que constituyan una referencia para los interesados en utilizar dicho sistema fotométrico en sus observaciones desde el Complejo Astronómico el Leoncito. Con la obtención de dichos parámetros, y la implementación de un esquema lo mas automático posible, se busca además establecer un proceso que permita monitorear la precisión a lo largo del tiempo de la fotometría obtenida con la configuración instrumental antes mencionada.

Descripción del problema a abordar:

El sistema fotométrico de Sloan fue definido por Fukugita et al. (1996) con el objetivo de establecer el sistema que utilizó luego el Sloan Digital Sky Survey (SDSS) (Gunn et al., 1998; York et al., 2000). Está compuesto por cinco filtros de banda ancha (u' , g' , r' , i' y z'), los cuales cubren la región del espectro que va desde los 3000 Å hasta el IR cercano. Este sistema presenta algunas ventajas en relación a otros, ya que el cubrimiento de dicho rango espectral es casi completo, con tan solo unos pequeños *gaps* entre ellos, que intentan evitar algunas líneas de cielo muy intensas, tales como OI en 5577 Å y HgI en 5461 Å. Asimismo, a diferencia del sistema Johnson-Morgan-Cousin (UBVR_CI_C; Johnson et al. 1951, 1953; Cousin et al. 1976), los filtros de Sloan poseen cortes muy bien definidos en los extremos azul y rojo de cada banda (excepto el z'), no existiendo prácticamente superposición entre ellas. En el caso del filtro z' , el lado rojo no posee un corte definido, por lo cual la transformación al sistema estándar en dicha banda es fuertemente dependiente del CCD empleado para observar.

Cabe destacar que el sistema fotométrico de Sloan es un sistema AB (Oke & Gunn, 1983), que a diferencia de los sistemas Vega, presenta una relación muy simple y directa entre las magnitudes monocromáticas y el flujo en unidades físicas ($\text{erg seg}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{Hz}^{-1}$). En el trabajo de Fukugita et al. antes mencionado se presenta, en la ecuación 1, la definición de dicha magnitud monocromática y su relación con el flujo, mientras que la ecuación 7 del mismo trabajo define la magnitud de banda ancha del sistema fotométrico.

El sistema fotométrico de Sloan se materializó cuando Smith et al. (2002) publicaron un conjunto de 158 estrellas estándares que definen el sistema fotométrico primario de Sloan, basado en las magnitudes sintéticas de la subenana de tipo espectral F, BD +17° 4708, y en otras dos subenanas más (BD +26° 2606 y BD +21° 0607), las cuales son consideradas las tres estándares “fundamentales” del sistema.

Desde su definición y uso en el exitoso relevamiento de Sloan, el cual produjo datos fotométricos y espectroscópicos homogéneos para millones de objetos astronómicos, este sistema fotométrico se ha convertido en uno de los más utilizados por la comunidad internacional, y hoy está presente en la mayoría de los observatorios del mundo (incluido el Telescopio Espacial Hubble). Desde entonces, diversos relevamientos y proyectos, además del propio Sloan, han hecho o hacen uso de estas bandas fotométricas, o de otras muy similares (DES, LSST, Pan-STARRS, Legacy Survey, S-plus, J-plus, etc.).

Recientemente, el Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO) adquirió un conjunto de filtros de banda ancha del sistema de Sloan a la firma Asahi Spectra Co. Dichos filtros fueron comprados gracias a un aporte de la Universidad Nacional de La Plata, y se encuentran disponibles para su uso en el telescopio de 2.15m Dr. Jorge Sahade. Por ello, este plan de trabajo propone realizar una primera caracterización de dicho conjunto de filtros obteniendo los puntos de cero, términos de color y coeficientes de extinción medios empleando la cámara Roper 2048 en modo directo.

Dado el pequeño campo de visión del CCD Roper montado en el telescopio Jorge Sahade, y que las estándares primarias del sistema de Sloan se encuentran dispersas en la zona del ecuador y en el

hemisferio norte celeste, lo usual será que los observadores en CASLEO tendrán generalmente una única estrella estándar en cada campo a observar. Ello implica que difícilmente sea posible obtener una estimación precisa de los puntos de cero y términos de color, a menos que los observadores insuman un tiempo significativo de su programa en la observación de varios campos de estándares. Este plan propone paliar dicha dificultad proveyendo valores medios de los puntos de cero, términos de color y coeficientes de extinción.

La caracterización de este sistema de filtros SDSS + CASLEO debe entenderse además como una herramienta indispensable para el engranaje de grandes proyectos, actualmente vigentes y próximos a corto plazo, con los cuales CALSEO y la comunidad astronómica argentina están relacionados. En primer lugar, estos son también los filtros empleados por el Observatorio Gemini en sus instrumentos GMOS, los cuales permiten obtener imágenes en banda ancha en el óptico. Los GMOS, por su parte, son además los instrumentos más solicitados y utilizados por la comunidad astronómica argentina. Asimismo, debe mencionarse que el Observatorio Vera Rubin, en su emblemático Simonyi Survey Telescope empleará también este sistema de filtros para el *Legacy Survey of Space and Time* (LSST). Por ello, la determinación de los parámetros básicos aquí propuestos facilitarán la sinergia vigente entre el Telescopio Jorge Sahade y el Observatorio Gemini, así como con otros proyectos en el futuro inmediato.

Metodología:

Para la determinación de los puntos de cero, términos de color y coeficientes de extinción se planea obtener imágenes de un subconjunto de estrellas de entre las 158 estándares primarias del sistema de Sloan, publicadas por Smith et al. (2002). Esto es, dado que las magnitudes en el sistema estándar de estas estrellas se encuentran listadas en dicho trabajo, la propuesta es observar un subgrupo de ellas accesibles desde el Complejo Astronómico el Leoncito, y obtener así los puntos de cero, términos de color y coeficientes de extinción en las bandas u' , g' , r' , i' y z' . Debido a que posiblemente, en una primera etapa, las tareas se desarrollarán entre los meses de febrero y marzo, las estrellas a observar se seleccionaran en el rango de $5 < RA < 14$ hs.

Las magnitudes de las estrellas estándares primarias publicadas por Smith et al., y que definen el sistema fotométrico, fueron observadas con el telescopio USNO de 40 pulgadas (Flagstaff, Arizona, EEUU). Sus magnitudes r' que van desde 8.84 hasta 14.69 mag., y sus colores ($g' - r'$) se encuentran en el rango que va de -0.6 a 1.6 mag. Dado el rango de brillo de las mismas, es probable que las más brillantes deban ser observadas realizando un desenfoco del instrumento, de forma tal de no saturar el CCD.

De acuerdo a las noches en que sea posible obtener datos útiles para este proyecto, se seleccionaran un mínimo de tres estándares primarias que permitan obtener varias imágenes en los diferentes filtros en un rango lo más amplio posible de masas de aire. La selección de objetos tendrá también el objetivo de maximizar el rango de color de las estrellas a observar, y así facilitar la obtención de los términos de color del conjunto instrumental.

Una vez obtenidos los datos y las imágenes de calibración (bias y flats), se procederá a la reducción de los mismos. Ello se podrá realizar utilizando las rutinas típicas de IRAF¹ o bien, empleando rutinas en python. Si bien el volumen de datos a emplear no es excesivamente grande, se buscará generar scripts que permitan una reducción lo más automática posible, de forma tal de que este proyecto pueda extenderse a mediano plazo.

Luego de reducidos los datos, se deberán obtener las magnitudes instrumentales de las estrellas estándares. Para ello también se diseñará un script que permita medir tales magnitudes de manera automática teniendo en cuenta el valor del seeing durante la observación, de forma tal de elegir una apertura suficientemente grande como para no requerir corrección de apertura. La automatización

¹ IRAF is distributed by National Optical Astronomy Observatories, which is operated by the Association of Universities for Research in Astronomy, Inc. (AURA), under cooperative agreement with the National Science Foundation, USA.

de la reducción de los datos, y la obtención de las magnitudes instrumentales permitirá que el Observatorio continúe obteniendo los parámetros fotométricos si así lo desea, ya que es sabido que los puntos de cero varían a lo largo del tiempo debido a múltiples factores como lo son el estado del aluminizado de los espejos del telescopio, y las condiciones atmosféricas del sitio.

Una vez que se cuente con las magnitudes instrumentales de cada noche, se procederá a:

- obtener los coeficientes de extinción de primer y segundo orden ajustando la Ley de Bouguer a los conjuntos de objetos observados a diferentes masas de aire.
- determinar los puntos de cero en cada banda fotométrica, comparando las magnitudes instrumentales, corregidas por extinción, con aquellas publicadas por Smith et al. (2002).
- estimar los términos de color para cada banda, utilizando los datos de varias noches de observación de forma tal de tener un muestreo adecuado de los diversos colores de las estrellas estándares.

La forma en que se llevará a cabo la determinación de los diversos parámetros (esto es, de forma individual como se ha descrito o realizando un ajuste de varios parámetros a la vez), dependerá de el flujo real de datos con que se cuente. Cabe mencionar también que los valores estimados se irán refinando a medida que se cuente con mayor número de observaciones a lo largo de los meses que dure el proyecto.

Perspectivas futuras:

Dependiendo del éxito en el plan propuesto, el proyecto podrá extenderse hacia la determinación de un conjunto de campos de estándares secundarias en el hemisferio sur.

Por otra parte, el presente plan de trabajo es también adecuado para el desarrollo de una tesis de grado en astronomía.

Factibilidad:

El plan de trabajo propuesto se desarrollará con los recursos informáticos con que cuenta el grupo SEECC (<http://secc.fcaglp.unlp.edu.ar/>), por lo cual no se requiere de elementos adicionales.

El tiempo de observación necesario para llevar adelante este plan se obtendrá a través de solicitudes de tiempo de Director y de staff.

Referencias:

- Cousin, A., 1976, Mem. R. Astron., 81, 25
Fukugita, M., Ichikawa, et al., 1996, AJ, 111, 1748
Johnson, H. & Morgan, W., 1951, ApJ, 114, 522
Johnson, H. & Morgan, W., 1953, ApJ, 117, 313
Gunn, J. E., et al., 1998, AJ, 116, 3040
Oke, J. B., & Gunn, J.E. 1983, ApJ, 266, 713.
Smith, J. A., et al., 2002, AJ, 123, 2121
York, D. G., et al., 2000, AJ, 120, 1579

Contacto: favio@fcaglp.unlp.edu.ar
cgescudero@fcaglp.unlp.edu.ar
sesto@fcaglp.unlp.edu.ar
vreynaldi@fcaglp.unlp.edu.ar