

## Práctica Nro. 4

### “Clasificación espectral de estrellas”

NOMBRE: \_\_\_\_\_

FECHA DE ENTREGA: \_\_\_\_\_

#### Objetivos

En la primera parte de la práctica nos ejercitaremos en la visualización y clasificación de espectros de estrellas de la *Secuencia Principal* de acuerdo al sistema de clasificación espectral usado actualmente, y conocido como *sistema MK*<sup>1</sup>. En la segunda parte simularemos la observación del espectro de dos estrellas (una brillante y otra más débil), mediante un espectrómetro acoplado a un telescopio virtual. Ambos espectros serán guardados y analizados para su clasificación, de acuerdo a lo aprendido en la primera parte, y discutiremos conceptos fundamentales para la astrofísica observacional como la *relación señal-ruido* y la necesidad de utilizar grandes telescopios para observar fuentes débiles. Además, calcularemos las distancias respectivas a las estrellas estudiadas en la segunda parte, mediante el método de la *paralaje espectroscópica*.

Para la realización de esta práctica utilizaremos el ejercicio diseñado por el **proyecto CLEA** (*Contemporary Laboratory Experiences in Astronomy*, [www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/](http://www3.gettysburg.edu/~marschal/clea/)), el cual incluye, además del programa computacional, un manual para estudiantes y una guía técnica para su uso. Para una explicación más detallada de los comandos del programa y de los procedimientos que seguiremos en esta práctica, recomendamos la lectura del *manual para estudiantes* del CLEA. Los datos presentados en los cuadros y las figuras también fueron extraídos de dicho manual.

#### PARTE I: Clasificación espectral de estrellas

**Metodología:** Clasificaremos los espectros digitales de una serie de estrellas de la Secuencia Principal (SP) comparándolos con un catálogo de 13 estrellas estándares seleccionadas. Para ello analizaremos las principales líneas de absorción de cada tipo espectral en el rango de

---

<sup>1</sup> El sistema MK fue introducido por Morgan y Keenan, del Observatorio Yerkes, para tener en cuenta que estrellas con la misma temperatura superficial podían tener distintos tamaños. Consiste entonces en un refinamiento realizado al sistema utilizado anteriormente, basado en el trabajo liderado por las astrónomas Fleming, Cannon y Maury del observatorio de Harvard (conocido como la clasificación espectral de Harvard). Los astrónomos de Yerkes agregaron a los tipos espectrales del sistema de Harvard (representados por las letras O, B, A, F, G, K, y M, entre otras) las clases de luminosidad I (Supergigantes), III (Gigantes) y V (enanas de la Secuencia Principal). Por más detalles sobre los antecedentes del análisis espectral en estrellas leer las páginas 4 y 5 del manual para estudiantes del CLEA *Classification of Stellar Spectra*.

longitudes de onda comprendido entre 390 y 450 nm. Utilizaremos la *herramienta de clasificación* (“Classify Spectra”) del programa **SpecLab** del CLEA. Para facilitar la comparación la intensidad en cada espectro se muestra normalizada. En el cuadro 1 se presenta un resumen de las principales características espectrales de cada tipo, además de la temperatura superficial correspondiente. Con los resultados obtenidos completaremos el cuadro 2.

TIPO ESPECTRAL	TEMPERATURA SUPERFICIAL (°k)	CARACTERÍSTICAS DESTACADAS (líneas de absorción salvo indicación contraria)
O	28000-40000	He II.
B	10000-28000	He I. En los tipos más fríos aparecen la serie Balmer del H I.
A	8000-10000	En la A0 aparece la línea más fuerte del H I. Aumenta Ca II en los tipos más fríos. Aparecen algunos otros metales ionizados.
F	6000-8000	Más fuerte Ca II. H más débil. Comienzan a aparecer más líneas de metales ionizados.
G	4900-6000	Ca II fuerte. Fe y otros metales también aparecen fuertes. Comienzan a aparecer líneas de metales neutros. El H se sigue debilitando.
K	3500-4900	Fuertes los metales neutros. Comienzan a formarse bandas moleculares como las del CH y CN.
M (S, N)	2000-3500	Muchas líneas. TiO y otras bandas moleculares. Prominente el Ca neutro. Las tipo S muestran ZrO y las N muestran C2.

**Cuadro 1:** Principales características espectrales de estrellas de la Secuencia Principal.

**Procedimiento:**

1. **Loguéese** en el programa y abra la herramienta de clasificación de espectros (**File.. Run...Classify Spectra**). Conteste **no** a la pregunta sobre almacenar espectros en esta instancia. La pantalla muestra tres paneles: el del medio será usado para desplegar el espectro a clasificar, y los otros desplegarán espectros de estrellas estándares para compararlos con el espectro desconocido (**Fig. 1**).
2. Despliegue uno de los espectros desconocidos a clasificar (**File.. Unknown Spectrum... Program List**). Seleccione la primera estrella de la lista (HD 123320). El espectro se despliega como un gráfico de intensidad en función de la longitud de onda (angstroms), donde el rango se extiende desde 3900 Å hasta 4500 Å. La intensidad está normalizada entre 0 (no luz) y 1 (máximo de luz). Los puntos del espectro más altos corresponden al **continuo** (provenientes de la superficie estelar), mientras los “picos” hacia abajo corresponden a las **líneas de absorción** producidas por átomos e iones más allá de la fotosfera. Podemos medir la longitud de onda y la intensidad de cualquier

punto del espectro parándonos allí con el cursor y apretando el botón izquierdo del mouse.

- a. Elija cualquier punto del continuo de HD 123320 y anote debajo su longitud de onda e intensidad.

$\lambda =$  \_\_\_\_\_, **Intensidad** = \_\_\_\_\_

- b. Idem para el punto más profundo de la mayor línea de absorción.

$\lambda =$  \_\_\_\_\_, **Intensidad** = \_\_\_\_\_

- c. ¿Cuál es el color correspondiente a este rango espectral?

R.: \_\_\_\_\_

3. Vamos a clasificar el espectro de la estrella. Para ello lo compararemos con los espectros del atlas de estrellas estándares de la Secuencia Principal (**File.. Atlas of Standard Spectra... Main Sequence**).

4. Los 13 espectros del Atlas son desplegados en una ventana separada (**Fig. 2**). Se ven 4 a la vez, desde los tipos espectrales más calientes hacia los tipos más fríos. Moviendo la barra de la derecha navegue por la lista. Note que los diferentes tipos espectrales muestran diferentes líneas de absorción, y que la *forma* del continuo varía de un espectro a otro (la cual es determinada por las leyes de radiación de cuerpo negro).

5.

- a. ¿Cuál es el tipo espectral cuyo máximo de intensidad se ubica en torno a 4200 Å?

R.: \_\_\_\_\_

- b. ¿Cuál sería la temperatura superficial correspondiente? (puede calcularla aplicando la ley de Wien:  $T(^{\circ}\text{K}) = 2.9 \times 10^7 / \lambda(\text{\AA})$ ).

R.: \_\_\_\_\_

6. Observe los espectros de comparación en los paneles superior e inferior, respectivamente. Si ninguno de ellos se asemeja al desconocido (desplegado en el panel central), continúe navegando por la ventana de los espectros estándares hasta encontrar uno semejante. Encontrará que el mejor parecido se logra con tipos espectrales donde las líneas del H son muy fuertes. Las estrellas con las líneas más fuertes del H son de tipo espectrales en torno al A1. Tendrá que interpolar para determinar si es A2, A3 o A4 (pues el atlas no proporciona los espectros intermedios entre A1 y A5). Para ello fíjese en las profundidades relativas de las líneas de absorción. Dado que las profundidades de las líneas del espectro desconocido resultan intermedias entre A1 y A5, asignaremos mediante una “suposición educada” la clase A3 al espectro desconocido.

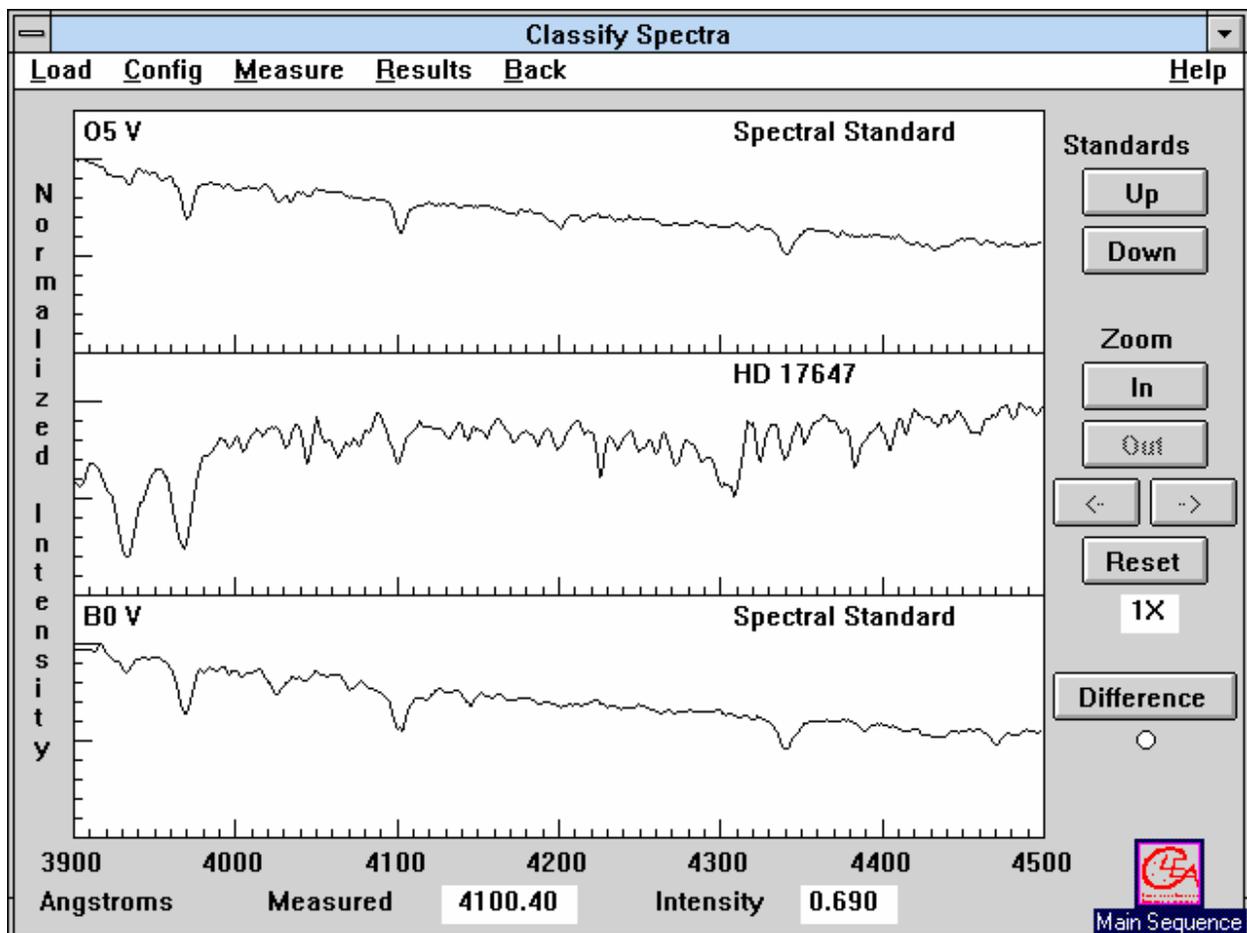
7. Puede realizar lo anterior de forma más cuantitativa mediante el botón **“difference”** ubicado en la derecha de la ventana de clasificación espectral. De esta forma obtiene las diferencias en intensidad al restar los espectros de la comparación en el panel superior con la desconocida.
8. **En el cuadro 2 anote la clasificación espectral determinada para la estrella, dando las razones para su elección.** Por ejemplo, para la HD 124320 podría ser: “la profundidad de las líneas en 4340.4 Å y en 4104 Å son casi iguales a las de los tipos A1 o A5, pero la profundidad de la línea en 3933 Å se encuentra en el medio de ambos tipos”.
9. Averigüe cuales son los **elementos responsables de las líneas** usadas como referencia para determinar el tipo espectral, y agregue esa información en el cuadro 2 (para la estrella HD 124320 ya está incluido a modo de ejemplo) (**File... Spectral Line Table**). Haga doble click con el botón izquierdo del mouse sobre la línea a identificar (**Fig. 3**). Identifique el elemento responsable de la línea producida en 3933 Å.

R.: \_\_\_\_\_

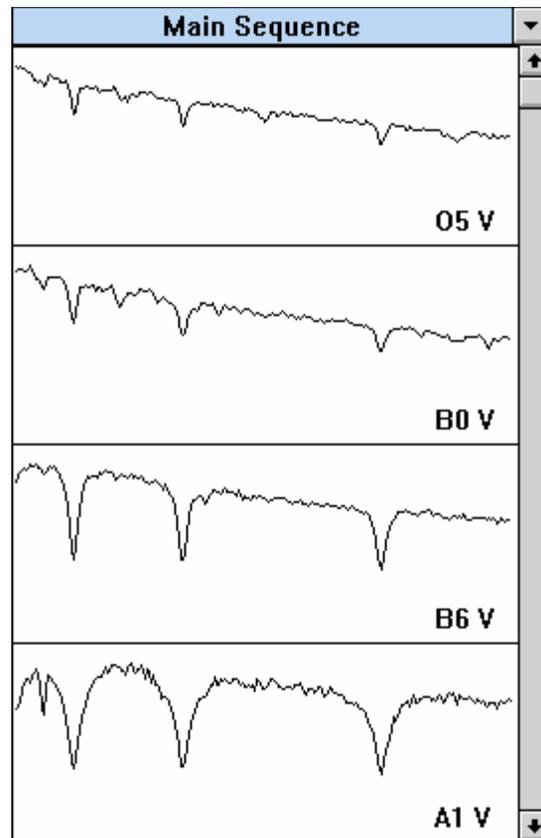
10. Puede visualizar el espectro como fotografía o imagen en tonos de gris de la luz estelar dispersada por un prisma o red de difracción (**File... Preferences... Display... Grayscale Photo**). Para ver ambas representaciones a la vez (gráfica y foto) seleccione **File.. Preferences... Display... Comb.(Photo&Trace)**. Para volver a la visualización gráfica del espectro únicamente, vaya a **File... Preferences... Display... Intensity Trace**.

**NOTA:** en la página 12 del manual para estudiantes del CLEA se proporcionan algunos *tips* para sacar mejor provecho de los comandos del programa.

11. Ahora que ha aprendido a clasificar un espectro, seleccione otro yendo a **File... Unknown Spectra... Next in List**. **Complete el cuadro 2 hasta donde el Docente le indique.**



**Figura 1:** Ventana de clasificación espectral del programa SpecLab.



**Figura 2:** Ventana de los 13 espectros de estrellas estándares de la Secuencia Principal.

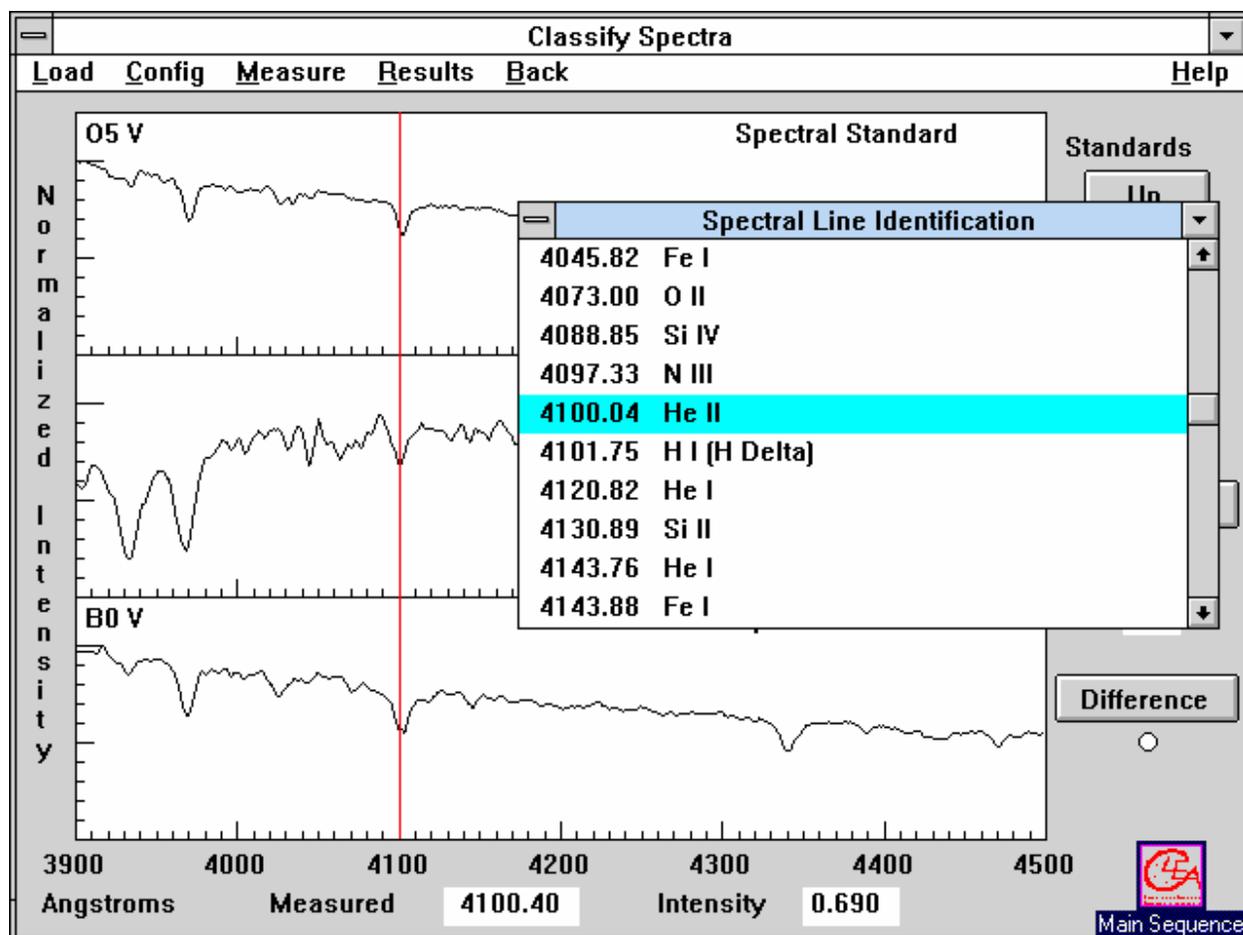


Figura 3: Tabla de las líneas espectrales.

<b>ESTRELLA</b>	<b>TIPO ESPECTRAL</b>	<b>JUSTIFICACION</b>
HD 124320	A3	Líneas del H I muy fuertes. Línea del Ca II entre A1 y A5.
HD 37767		
HD 35619		
HD 23733		
O1015		
HD 24189		
HD 107399		
HD 240344		
HD 17647		
BD+63 137		
HD 66171		
HZ 948		
HD 35215		
Feige 40		
Feige 41		
HD 6111		
HD 23863		
HD 221741		
HD 242936		
HD 5351		
SAO 81292		
HD 27685		
HD 21619		



## PARTE II: Adquisición de un espectro mediante un telescopio y espectrómetro digitales simulados

**Metodología:** Utilizaremos un telescopio simulado equipado con un espectrógrafo contador de fotones para obtener el espectro de una estrella desconocida, mediante la herramienta de adquisición de espectros (“*Take Spectra*”) del programa **SpecLab**. El espectro lo guardaremos y analizaremos con las técnicas aprendidas en la Parte I. Aplicaremos el procedimiento para dos estrellas: una brillante y otra débil. Finalmente calcularemos la distancia  $d$  (en parsecs) a cada estrella mediante la fórmula de la “paralaje espectroscópica” (**Ec. 1**), donde la magnitud aparente ( $m$ ) será un dato que recabemos al realizar la observación, y la magnitud absoluta ( $M$ ) la calcularemos a partir del tipo espectral y de la clase de luminosidad (determinados previamente), con el auxilio de los cuadros 5, 6 y 7. **Con los resultados obtenidos completaremos los cuadros 4 y 5.**

$$\log_{10} d = \frac{m - M + 5}{5}$$

**Ecuación 1.**

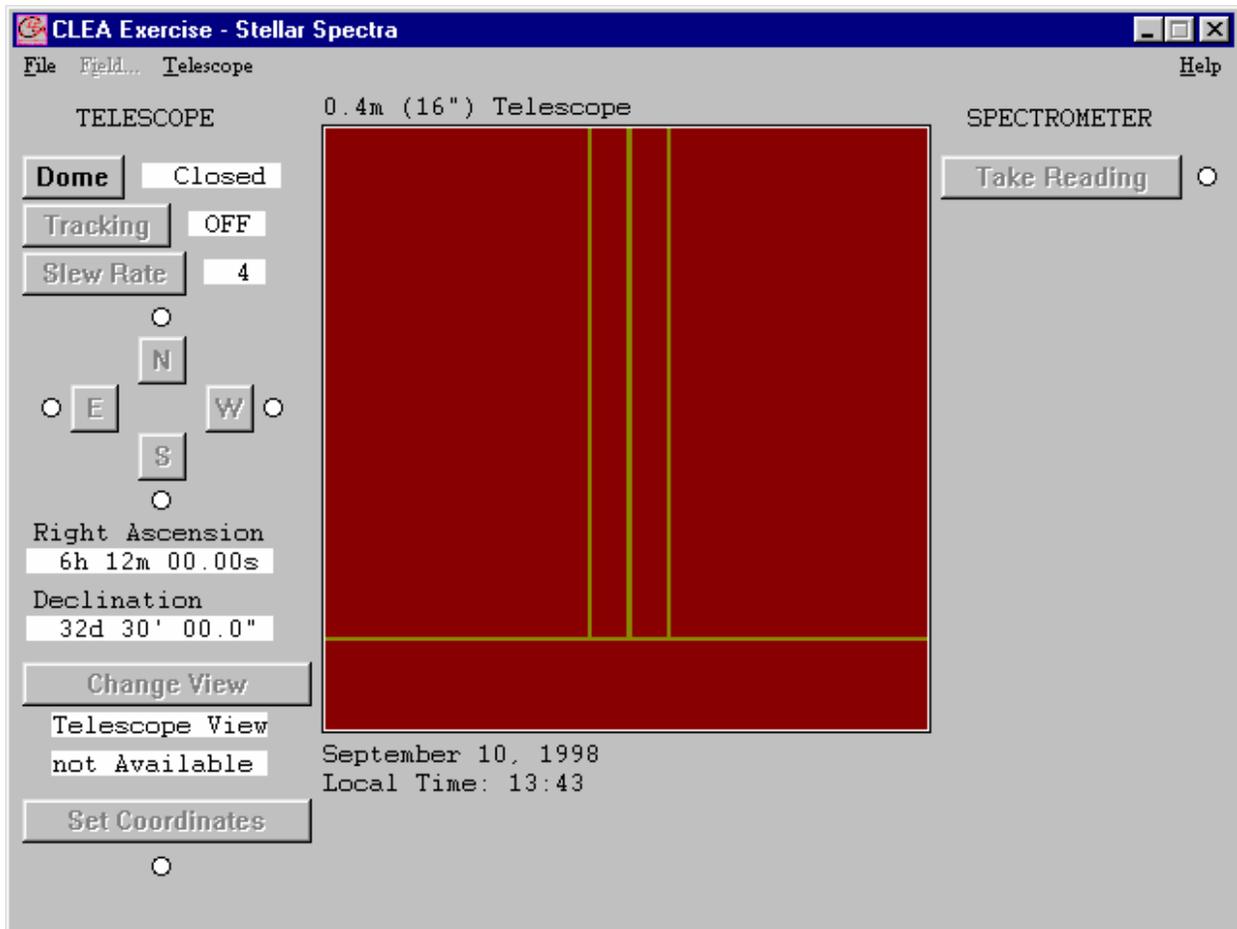
### Procedimiento:

1. Si se encuentra todavía en la ventana de clasificación espectral (**Classification Tool**), seleccione **File... Return... Exit Classification Window**, y elija **File... Run... Take Spectra**. Aparecerá un cuadro de diálogo donde deberá seleccionar un telescopio.
2. La pantalla mostrará el panel de control del telescopio y una ventana de monitoreo, para ver la región del cielo adonde apunta el telescopio (**Fig. 4**). Note que la cúpula (**dome**) está cerrada y que el seguimiento (**tracking**) está apagado. Haga click en **Dome** para abrir la cúpula. La vista que nos ofrece la ventana de monitoreo corresponde a un campo de unos 2.5 grados.
3. Note que las estrellas derivan hacia la derecha de la imagen, si deja transcurrir un cierto tiempo. Se debe al movimiento general diurno, y la magnificación del telescopio hace más notorio este efecto. Debemos encender el seguimiento (haciendo click en **tracking**) de forma de mantener centrado al objeto durante todo el tiempo de exposición de su luz al detector.
4. Elija una estrella del campo relativamente brillante y mueva el telescopio para centrarlo en ella. Para ello aprete los botones **N**, **S**, **E** o **W**. Puede ajustar la velocidad a la que se desplaza el telescopio mediante el botón que indica **slew rate**. Cuando la estrella esté centrada en el campo, haga click en **change view** para tener una vista ampliada, de un campo de 15 minutos de arco (**instrument view**). Para adquirir el espectro la vista debe estar en este modo instrumental (**Fig. 5**). Las dos líneas verticales pequeñas cerca del centro marcan la posición de la ranura del espectrómetro. **La estrella debe caer exactamente en la ranura del espectrómetro para obtener su espectro**, de lo contrario estaríamos midiendo el espectro del fondo de cielo nocturno (**sky background**).

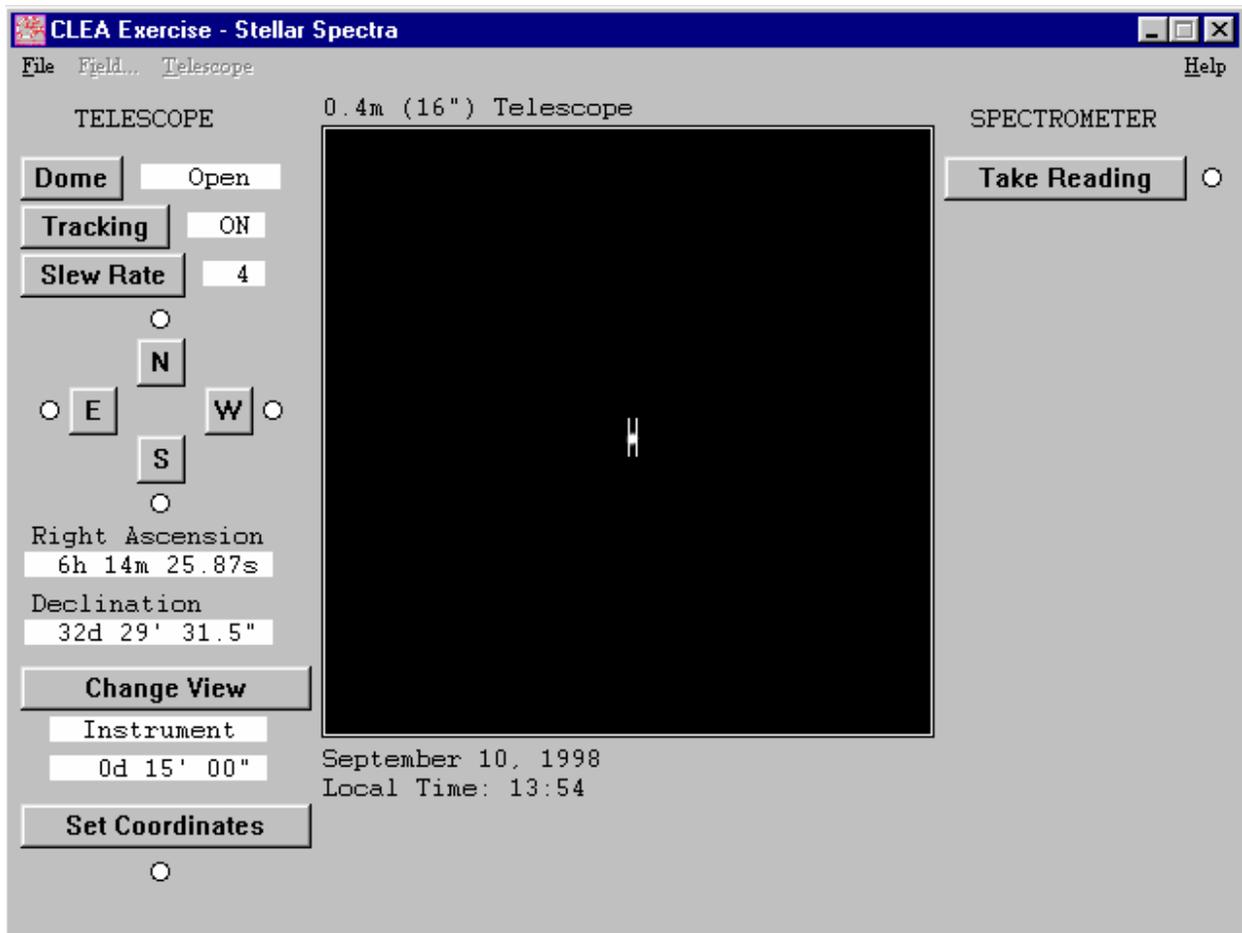
5. Haga click en **Take Reading**. Esta operación abrirá la ventana del espectrómetro (**Fig. 6**). Note que el espectrómetro está configurado para coleccionar el espectro en el rango de 3900 a 4500 Å. Haga click en **Start/Resume Count** para comenzar a tomar el espectro. El espectrómetro comenzará a coleccionar fotones de la estrella (y algunos pocos del fondo de cielo). Es un proceso **aleatorio**, y verá como los fotones procedentes de todas las longitudes de onda van “cayendo” como gotas de lluvia sobre el pavimento. Mientras la integración es de unos pocos segundos el espectro luce ruidoso, especialmente cuando la estrella es muy débil. Pero luego de un cierto tiempo el espectro comienza a tomar forma. **Cuando más fotones se coleccionen, menos ruidoso y mejor definido estará el espectro** (la computadora ajusta automáticamente el espectro de forma que el máximo de intensidad siempre valga 1, por lo que no se verá un aumento de intensidad, pero si una mejor definición o nitidez del espectro, a medida que van llegando más fotones).

Para detener la integración haga click en **Stop Count**. Para reiniciar la integración haga click en **Start/Resume Count**. Para saber cuando detener la integración evalúe la definición del espectro a la vez que la razón señal/ruido (**Signal /Noise**) indicada en la ventana del espectrómetro (una razón señal/ruido de 100 se considera suficientemente buena, ya que se supone que en tal caso la intensidad del espectro en cada punto se conoce con una precisión de un 1 %, y podemos entonces confiar en que cada característica sutil del espectro – por ej. una línea de absorción muy poco pronunciada – es efectivamente una característica real del espectro y no un artefacto producto del ruido impuesto a la señal).

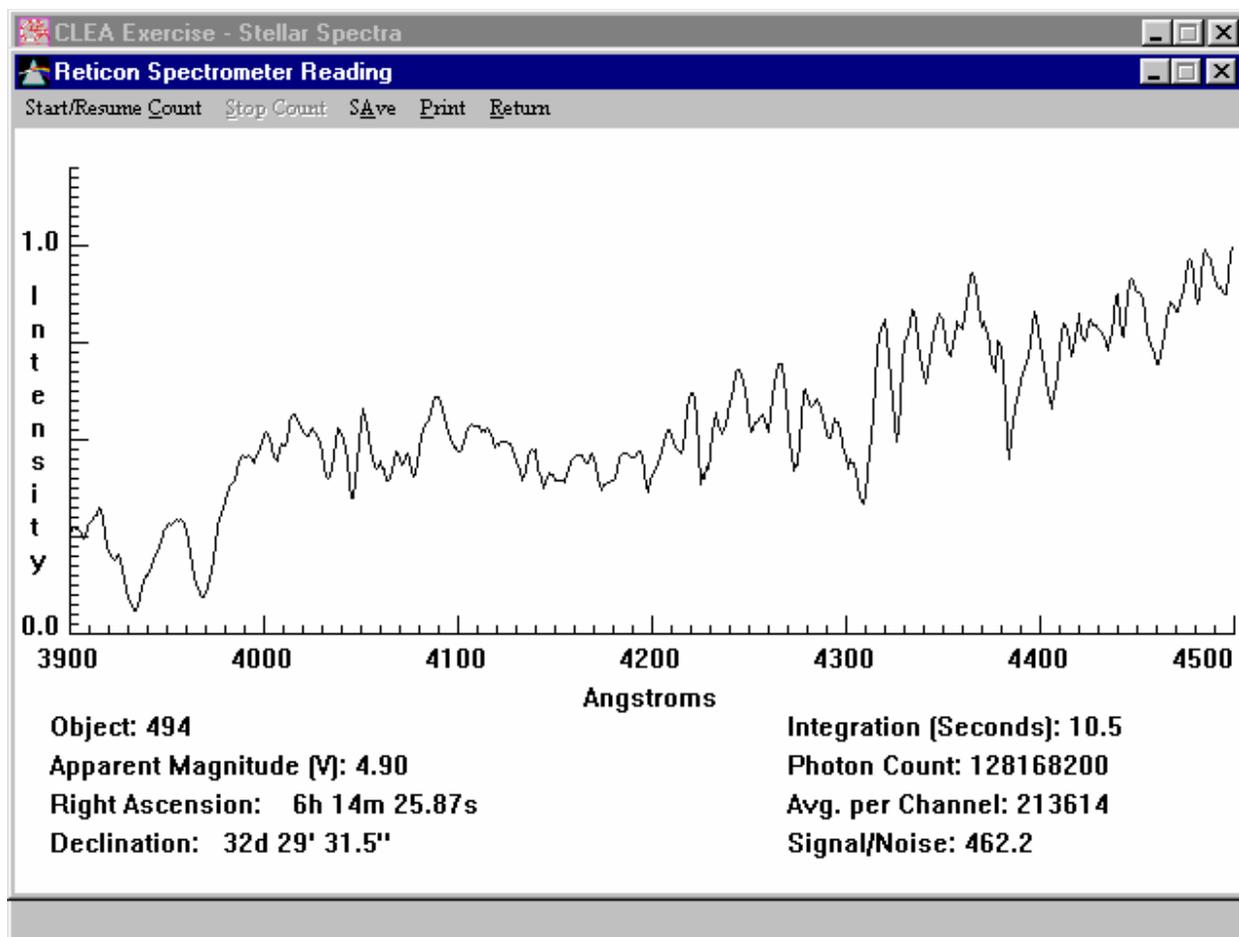
6. Complete el **cuadro 4** con la información que figura en la ventana del espectrómetro.
7. Salve el espectro para clasificarlo más tarde. Para ello haga click en la opción **Save** del menú. **Tomar nota del nombre con el cual es salvado el archivo que contiene al espectro.**
8. Retornar al telescopio mediante la opción **Return** del menú. Repetir los pasos anteriores con una estrella más débil.
9. Una vez salvado el espectro de la segunda estrella, vuelva a la ventana de clasificación de espectros (**File.. Unknown Spectra... Saved Spectra**). Seleccione uno de los espectros guardados y clasifíquelo de acuerdo a las técnicas vistas en la Parte I. Proceda igual para el segundo espectro salvado. **Complete el cuadro 5.**
10. Discuta **cómo mejorar la relación señal/ruido de un objeto débil** en función del tamaño del objetivo del telescopio y del tiempo de integración (Sugerencia: lea también las recomendaciones de la página 21 del manual para estudiantes, y el Apéndice III del mismo manual).
11. Analice las distintas **fuentes de ruido** que pueden afectar a la señal que queremos medir (p. ej. la luz de una estrella) (Sugerencia: lea el Apéndice III del manual para estudiantes).



**Figura 4:** Panel de control del telescopio con la ventana de monitoreo (que muestra la cúpula cerrada).



**Figura 5:** Panel de control con la ventana del instrumento (que muestra un campo de cielo mucho menor que la ventana de monitoreo, y que se utiliza para centrar el objeto en el espectrómetro).



**Figura 6:** Pantalla con la lectura del espectrómetro.

Nombre del Objeto	Magnitud aparente	A.R. (hh mm ss.ss)	DEC. (dd mm ss.s)	Diámetro del Telescopio (m)	Integración (segundos)	Relación Señal/Ruido (S/N)

**Cuadro 4:** Resultados parciales PARTE II

Nombre del objeto	Tipo Espectral	Justificación	M	m	d (pc)

**Cuadro 5:** Resultados finales PARTE II

TIPO ESPECTRAL	MAGNITUD ABSOLUTA (M)
O5	-5.8
B0	-4.1
B5	-1.1
A0	+0.7
A5	+2.0
F0	+2.6
F5	+3.4
G0	+4.4
G5	+5.1
K0	+5.9
K5	+7.3
M0	+9.0
M5	+11.8
M8	+16.0

**Cuadro 5:** Magnitud Absoluta versus Tipo Espectral para las estrellas de la SP (clase de luminosidad V).

TIPO ESPECTRAL	MAGNITUD ABSOLUTA (M)
G0	+1.1
G5	+0.7
K0	+0.5
K5	-0.2
M0	-0.4
M5	-0.8

**Cuadro 6:** Magnitud Absoluta versus Tipo Espectral para las estrellas Gigantes (clase de luminosidad III).

<b>TIPO ESPECTRAL</b>	<b>MAGNITUD ABSOLUTA (M)</b>
B0	-6.4
A0	-6.2
F0	-6
G0	-6
G5	-6
K0	-5
K5	-5
M0	-5

**Cuadro 7:** Magnitud Absoluta versus Tipo Espectral para las estrellas Supergigantes (clase de luminosidad I).

### **Resumen de la práctica**

(Resume la práctica en la siguiente carilla indicando: los objetivos, la metodología utilizada para alcanzarlos, y los resultados obtenidos. Analice los resultados y discuta si se cumplieron o no los objetivos planteados. Destaque lo que a su juicio han sido los conocimientos más importantes aprendidos, **incluyendo los puntos 10 y 11 de la Parte II**).

