

3 *Clasificación de espectros estelares*

- OBJETIVOS**
- Tipos espectrales.
 - Observación simulada con un espectrógrafo.
 - Identificación y medida de líneas espectrales.
 - Comparación con una librería de espectros estelares.
 - Clasificación de los espectros estelares.
 - Determinación de distancias mediante paralaje espectroscópico.

- MATERIAL**
- Programa CLEA de clasificación estelar.
 - Programa CLEA de simulación de espectrógrafo.
 - Librería de espectros estelares.
 - Apuntes de clase sobre tipos espectrales.

1 Introducción

En esta práctica se utiliza un espectrógrafo simulado perteneciente al proyecto CLEA¹ para obtener espectros de estrellas en un campo simulado y clasificarlos.

El programa de ordenador que se emplea consiste de dos partes. La primera permite visualizar espectros y clasificarlos. Se dispone de una herramienta para mostrar a la vez el espectro a clasificar y los de las estrellas de referencia. Además se pueden identificar y medir las características espectrales. Esto permitirá clasificar la estrella cuando se compare con el atlas o librería de espectros que están almacenados en el ordenador.

La segunda parte es una simulación realista de un espectrógrafo colocado en un telescopio profesional de tamaño pequeño, medio o grande, a elección según las necesidades. Este telescopio está automatizado y el control se realiza desde un ordenador que nos permite apuntarlo al objeto de interés mediante un sistema de TV y efectuar seguimiento mientras realizamos medidas. La pantalla de este sistema permite ver el espectro según avanza la observación de manera que después de un cierto tiempo se pueden distinguir las líneas espectrales. Se toman medidas de una lista de estrellas (asignadas por el profesor) y se clasifican como en la primera parte de la práctica.

¹desarrollado por el Department of Physics Gettysburg College bajo los auspicios de la National Science Foundation (<http://www.gettysburg.edu/project/physics/clea/CLEAhome.html>)

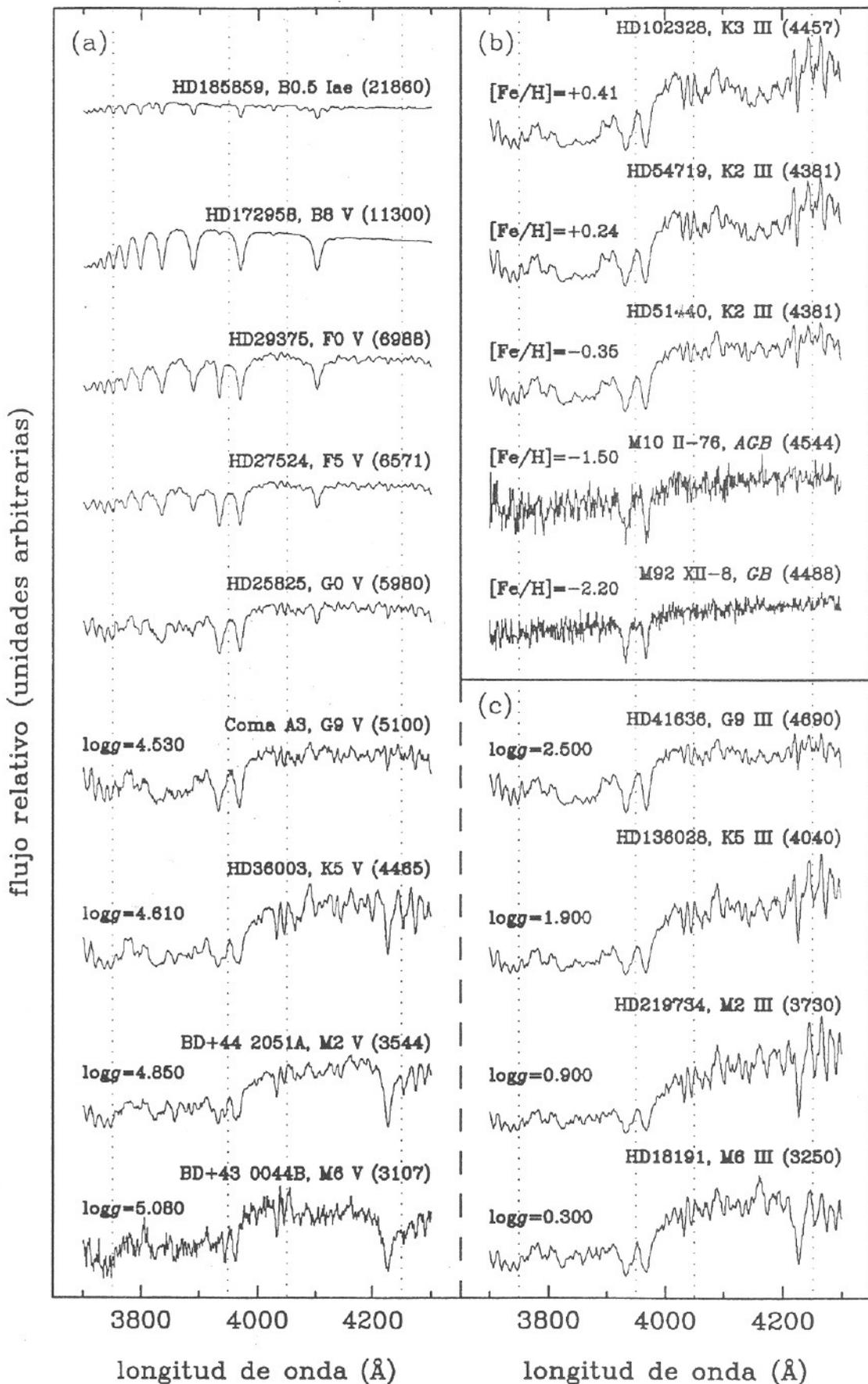


Figura 1 Conjunto de espectros estelares pertenecientes a estrellas de diferentes tipos en la clasificación de Morgan y Keenan (MK).

Para realizar esta práctica es un requisito previo conocer las bases de la clasificación estelar: diagrama HR, sistema MK, temperaturas, clases de luminosidad de las estrellas, etc. Es interesante revisar los apuntes antes de realizar la práctica. Como resumen escueto recordaremos que el tipo espectral de una estrella nos permite no sólo conocer su temperatura sino también su luminosidad (o magnitud absoluta) y color. Estas propiedades nos ayudan a determinar su distancia, masa y otros parámetros físicos. La clasificación estelar nos permite asignar cada estrella a un grupo donde se encuentran las estrellas de características similares y presumiblemente las mismas propiedades físicas y naturaleza.

2 Realización de la práctica

Se dan aquí unas instrucciones someras del uso del programa que permite clasificar los espectros estelares, de la herramienta que simula el espectrógrafo y de cómo obtener los datos. Si se necesita alguna aclaración o ayuda puede obtenerse del profesor. En principio el programa funciona en un ordenador PC compatible bajo MS Windows y tras ponerlo en marcha desde su icono lo primero que debe hacerse es registrarse (LOG IN). En la barra de menús puede encontrarse también un menú de ayuda (HELP) que se puede abrir y cerrar en cualquier momento.

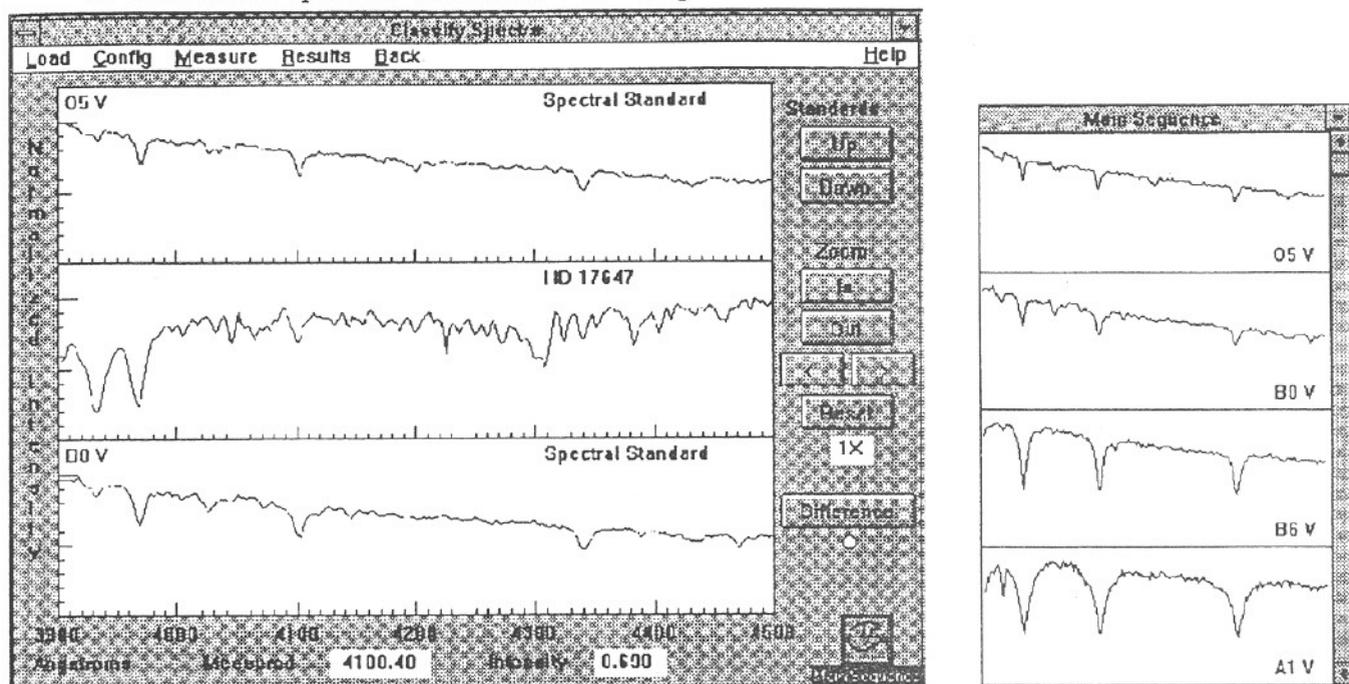
2.1 Clasificación de estrellas de la secuencia principal

Se pretende en esta primera parte familiarizarse con los espectros de estrellas de la secuencia principal. También se aprenderá a clasificar los espectros. Para ello se examinarán los espectros digitales de 25 estrellas desconocidas y se determinará su tipo espectral. Finalmente se registran los resultados y las razones que han llevado a ellos. Los espectros pueden ser comparados visualmente y digitalmente (punto a punto) con un atlas representativo de 13 espectros estándar. Midiendo los flujos relativos de las líneas de absorción se pueden catalogar las estrellas con una precisión de una décima de tipo espectral. En el tiempo asignado a esta práctica no da tiempo a medir flujos de líneas y nos conformaremos con una estimación más grosera.

1. En el menú RUN se selecciona CLASSIFY SPECTRA. De momento se debe contestar 'no' a las preguntas del ordenador sobre espectros almacenados. Los necesitaremos más tarde, pero no de momento. De esta forma se abre la ventana con la herramienta de clasificación estelar (véase la figura 2). El panel central se emplea para mostrar el espectro problema mientras que el superior e inferior representarán los espectros de las estrellas de comparación.
2. Se carga un espectro problema por medio del menú LOAD. De las tres opciones (Espectro problema, librería estelar, tabla de líneas espectrales) se selecciona la primera y luego se abre la lista de estrellas problema (*program list*). La ventana muestra una lista de estrellas que se van seleccionando con el ratón.

Para empezar, se selecciona la primera estrella (HD124320) cuyo espectro se muestra inmediatamente en el panel central. Es una representación de flujo, en unidades relativas, frente a longitud de onda en el intervalo de 3900 a 4500Å. La longitud de onda e intensidad relativa puede ser medida con la ayuda del cursor, pulsando el botón izquierdo del ratón en la posición deseada (clic).

3. Ahora se puede encontrar el tipo espectral de HD124320 comparando su espectro con otros de tipo conocido. En el menú LOAD se selecciona *Atlas of Standard Spectra* y cuando aparece la ventana de opciones la librería *Main Sequence*.



Figuras 2 y 3 Ventanas de CLEA para la clasificación estelar y con los espectros de la librería de referencia.

4. Esta librería contiene 13 espectros representativos pero la ventana que se abre (véase la figura 3) sólo muestra 4 de ellos a la vez. El resto se puede visualizar con ayuda de la barra vertical. La secuencia contiene los tipos espectrales desde el más temprano (estrellas más calientes) a los más tardíos (estrellas frías). Debe notarse que no sólo la forma del continuo, que está determinada por la ley de radiación de un cuerpo negro, sino también la presencia e intensidad de diferentes líneas de absorción varían entre los distintos tipos espectrales.
5. Al cargar el atlas o librería estelar se muestran automáticamente dos espectros tipo, uno encima y otro debajo del espectro problema: el espectro de una estrella O5 y el de una B0. Como ninguno de los dos se parece al espectro problema, se cambian los de referencia pulsando el botón DOWN en el panel a la derecha de la ventana inicial. Si la ventana de la librería estelar molesta puede ser iconizada.

Se continua hasta conseguir un buen ajuste que en este caso ocurre cuando se muestra el espectro de la estrella de tipo A1 ya que ésta muestra fuertes líneas de hidrógeno en absorción (serie de Balmer). Cuando el panel superior muestra una estrella A1 y el inferior un espectro de estrella A5 se aprecia que nuestro espectro problema puede pertenecer a una estrella a mitad de camino entre ambos tipos: tal vez una A3 en primera aproximación.

6. Para determinar de una forma cuantitativa y por lo tanto más precisa esta primera suposición, pulsamos el botón DIFFERENCE. El panel inferior no muestra ya un espectro sino la diferencia entre los espectros de los paneles superior (espectro de referencia) y medio (espectro problema). Un ajuste perfecto corresponde a una diferencia nula se representaría por una línea horizontal. De la misma forma que antes vamos seleccionando las estrellas de referencia y comprobamos que nuestro espectro está a mitad de camino entre la A1 y la

A5. La estimación del tipo espectral intermedio debe realizarse observando las diferencias cuando cambiamos de un tipo a otro.

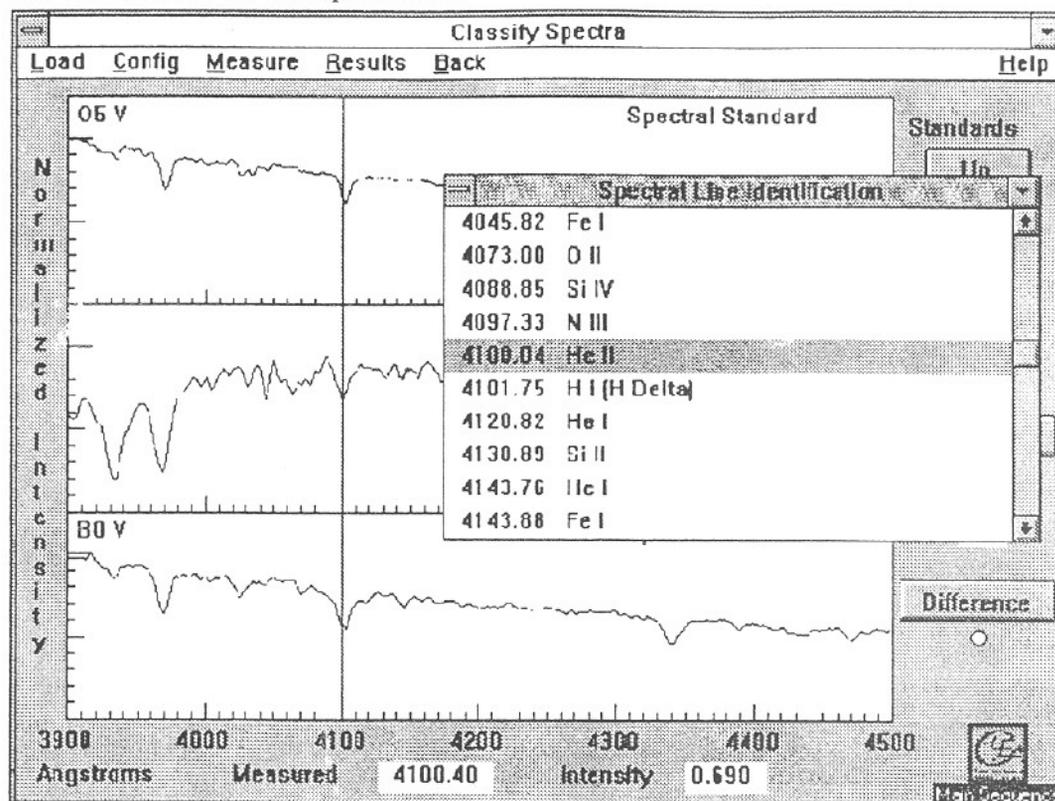


Figura 4 Ventana de CLEA con la tabla de líneas espectrales.

7. Los resultados de esta estimación y de las razones que la motivan debenn registrarse en el ordenador a través del menú RESULTS, seleccionando RECORD. Posteriormente puede volver a editar o revisar esta anotación usando la opción REVIEW.

En el caso de HD124320 la intensidad de las líneas de la serie de Balmer $H\gamma$ 4340.4Å y $H\delta$ 4104Å son prácticamente iguales a las de los tipos A1 y A5 y la intensidad de la línea en 3933Å está a mitad de camino.

8. Hemos usado un par de líneas espectrales para refinar nuestra estimación del tipo espectral. Si no las conocemos y queremos saber qué elementos las producen se puede usar la tabla de líneas espectrales (*spectral line table*) en el menú LOAD. La lista de líneas aparece en una ventana (véase la figura 4). Si ahora se usa el cursor para apuntar al centro de una línea que aparezca en el espectro (por ejemplo la que se encuentra en longitud de onda 4341Å). Si pulsamos dos veces sucesivas el botón izquierdo del ratón (doble clic) aparece una línea roja en la pantalla y, si se ha centrado bien, una doble línea pautada en la lista indicando de qué línea se trata. Análogamente se puede encontrar una línea en el gráfico con un doble clic en la lista de líneas. Por último, un doble clic con el botón derecho 3 en la lista de líneas abre una ventana con información adicional de esa línea.

9. Existe una opción en el menú CONFIGURATION DISPLAY GRAYSCALE PHOTO que permite ver el espectro tal cómo se observaría visualmente o con un detector panorámico. Las dos representaciones, ésta y la del trazado gráfico, se pueden ver a la vez usando la opción COMBINATION en el menú mencionado. Para volver a la representación anterior se selecciona INTENSITY TRACE.

10. A continuación se clasifica el resto de los espectros con el menú LOAD SPECTRA seleccionando la siguiente estrella de la lista. No es necesario volver a cargar el atlas estelar. Se emplearán los métodos aprendidos con la estrella ejemplo, las descripciones someras de la tabla 1 y cualquier texto o apuntes de astrofísica del que se disponga. Los resultados se almacenan en el ordenador y se recomienda escribirlos en una tabla como la mostrada al final del manual por si el ordenador falla y para presentar los resultados.

Ejercicio opcional: Para cada uno de los 13 espectros representativos de la herramienta de clasificación, empléese el cursor y la lista de identificación de líneas para identificar las características espectrales más prominentes en cada caso. Contrúyase entonces una tabla como la mostrada al final de este manual. Puede emplearse una fotocopia de esa tabla para rellenarla.

2.2 Obtención de espectros estelares y clasificación

A continuación se procede a abrir el observatorio pulsando con el ratón en la opción TAKE SPECTRA del menú de inicio RUN. Aparece una imagen central con una vista del cielo tal como se vería a través de un monitor con un telescopio profesional. A izquierda y derecha se encuentran controles y se mostrarán los resultados de nuestras medidas. Merece la pena emplear un rato en estudiar los controles disponibles:

Controles del telescopio

DOME	Abre y cierra la cúpula del observatorio. Si la cúpula está cerrada los controles no funcionan.
TRACKING	Enciende y apaga el seguimiento del telescopio. Con el seguimiento en ON el telescopio gira en ángulo horario (montura ecuatorial) para contrarrestar el movimiento diurno de las estrellas debido a la rotación de la Tierra. Esto es necesario para tomar medidas porque si no el telescopio no sigue a la estrella y su luz no entra a través de la rendija del espectrógrafo. Apagando el seguimiento se observará que el campo al que apunta el telescopio varía y las estrellas se desplazan.
SLEW RATE	Regula la velocidad del telescopio en sus movimientos para adquirir las estrellas (apuntar el telescopio) de forma manual cuando se pulsan los controles N, E, S, W. Pulsando SLEW RATE de forma sucesiva, puede seleccionarse 1, 2, 3, 4, 8 ó 16, siendo más rápido el movimiento cuanto mayor es el número. Se necesita una velocidad lenta para centrar la imagen con precisión y es más útil una rápida para cambiar de estrella.
N, S, E, W	Son los controles de dirección. Pulsándolos una vez (<i>click</i>) el telescopio se pone en marcha hacia el norte, sur, este y oeste respectivamente. Un piloto rojo, cercano al botón pulsado, se enciende si el telescopio se está moviendo y este movimiento continua hasta que se vuelve a pulsar dicho botón u otro para mover el telescopio en otra dirección.
RIGHT ASCENSION DECLINATION	Muestra las coordenadas ecuatoriales del lugar al que apunta el telescopio, es decir del centro del campo mostrado en la imagen. La ascensión recta se muestra en horas, minutos y segundos y la declinación en grados, minutos y segundos.

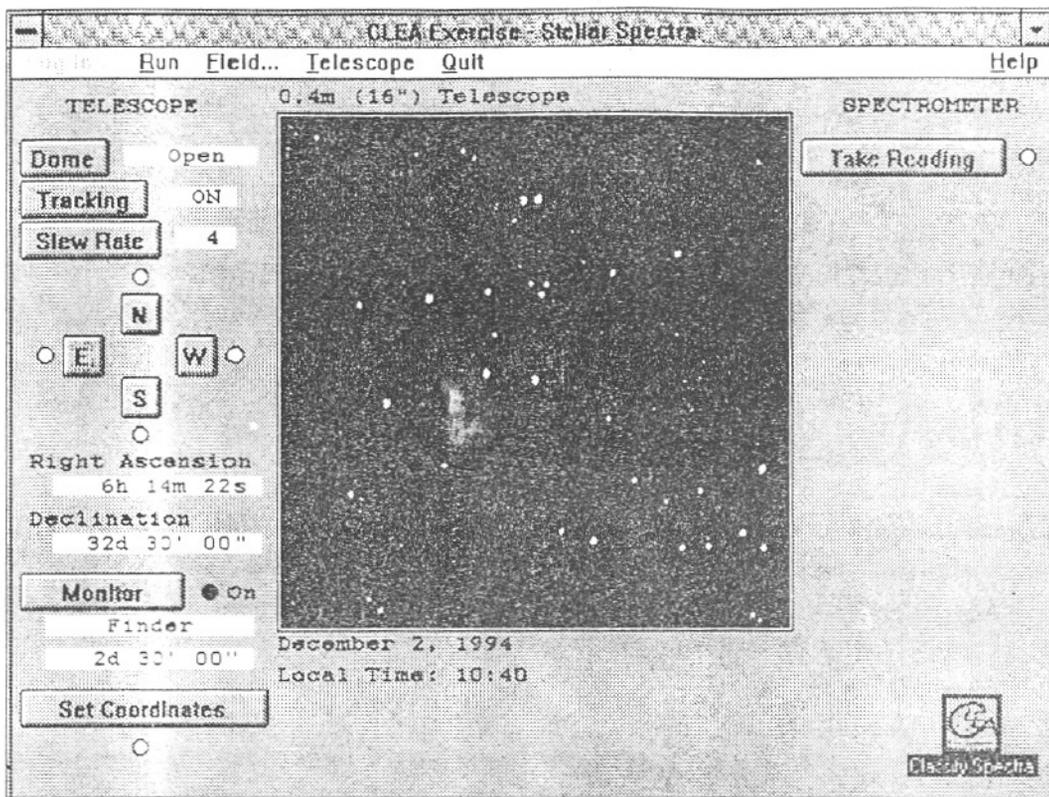


Figura 5 Panel de control del telescopio.

- MONITOR** Permite cambiar la zona de cielo visible en el monitor. En modo de buscador (FINDER) tenemos un campo amplio útil para encontrar la estrella problema. El cuadradito rojo indica el campo que tendremos en el modo más reducido SPECTROMETER que permite centrar la estrella con precisión en la rendija y tomar medidas. Debajo del botón MONITOR aparece el tamaño del campo mostrado en la imagen.
- SET COORDINATES** Si la cúpula está abierta se puede usar este botón para introducir unas coordenadas y apuntar el telescopio a esa posición. El telescopio se mueve al pulsar OK.

2.3 Toma de medidas

Una vez abierto el observatorio ya se pueden emplear los controles de apuntado para mover el telescopio a una cierta zona del cielo. El rectángulo rojo en el centro del campo de visión es el campo abarcado en la vista cuando se pasa a modo SPECTROMETER (pulsando una vez en MONITOR). En este modo de espectrómetro se muestra la rendija en rojo mediante dos líneas paralelas. La estrella ha de ser centrada en esta rendija ya que si no puede perderse parte de la luz.

Para tomar medidas debe estar conectado el seguimiento (TRACKING). Si no es así, las estrellas se mueven en el campo apuntado por el telescopio. Los controles direccionales N, E, S, W mueven el telescopio con respecto al cielo. Con el control de velocidad SLEW RATE se regula el ritmo de desplazamiento cuando se activa alguno de estos controles. Pruébese a mover el telescopio a diferentes velocidades.

Pulsando el botón TAKE READING se abre la ventana del espectrómetro que es una representación intensidad frente a longitud de onda similar a la que se usa en la primera parte de la práctica. Para empezar a integrar el espectro se selecciona *start/resume count* en el menú. El espectrómetro empieza a recoger fotones de la estrella (y del fondo de cielo) uno a uno. La llegada de fotones es un proceso aleatorio y puede observarse en tiempo real cómo los fotones de diferentes longitudes de onda van llegando y contribuyendo a formar el espectro. Cuanto más tiempo se integre mejor será la relación señal/ruido y con más precisión podremos observar y medir las características espectrales. Para parar la exposición se pulsa el botón *stop count*

2.4 Clasificación espectral

Ahora se puede observar con detalle el espectro que se ha obtenido y realizar medidas de las líneas con la herramienta de clasificación. Además debe notarse que en la pantalla aparece información adicional como el nombre del objeto cuyo espectro se ha registrado, su magnitud aparente visual, la cantidad total de fotones recogidos y su media por pixel o unidad de longitud de onda, el tiempo de integración, la longitud de onda en la posición del cursor y la intensidad (normalizada de forma que el máximo es la unidad) en ese punto. La relación señal/ruido de la observación indica la calidad de la medida. Para clasificar los espectros se requiere un S/N superior a 100, lo que puede llevar un tiempo si el telescopio es pequeño o la estrella muy débil. Si no se ha alcanzado S/N=100, se debe continuar la exposición pulsando el botón *start/resume count*.

Para salvar el espectro antes de clasificarlo, se selecciona *save* en la barra de menús. Se apunta el nombre del objeto y se pulsa OK. El programa asigna un nombre al fichero usando las primeras letras del nombre que se registró en el login y el número que se le ha proporcionado. Se apunta este nombre en el cuaderno y se pulsa OK.

Se medirá a continuación una segunda estrella más débil que la anterior. Volvemos con la opción *Return* de la barra de menús del espectrómetro. Tras un tiempo suficiente de integración, se salva en disco y se anota el nombre de la estrella, coordenadas y nombre del fichero. Después se clasifica eligiendo RUN CLASSIFY SPECTRA en la barra de menús del telescopio.

Si se desea mostrar el espectro recién tomado se selecciona en el menú LOAD la opción UNKNOWN SPECTRUM, SAVED SPECTRA. Para estas dos estrellas observadas y clasificadas se debe almacenar los resultados y escribirlos en la misma forma que se hizo con las otras estrellas prototipo.

2.5 Determinación de distancias mediante paralaje espectroscópico.

Conocida la magnitud aparente de una estrella y una vez clasificada, se puede determinar su distancia ya que existe una relación entre la magnitud absoluta y el tipo espectral. Es el momento de revisar nuestros conocimientos sobre el diagrama H-R.

En la tabla 2 se proporciona la magnitud absoluta para estrellas de varios tipos espectrales. Si conocemos la magnitud absoluta M , y la aparente m , a partir del módulo de distancia $m - M$ obtenemos la distancia d en parsecs sin más que aplicar la relación:

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

Tipo espectral	Temperatura superficial (K)	Características distintivas
O	28-40,000	Líneas de He II
B	10-28,000	He I y de HI (serie de Balmer) en las más frías
A	8-10,000	Líneas más intensas de HI (serie de Balmer) en A0; CaII más intensas hacia las más frías; presencia de otros metales.
F	6,000-8,000	CaII más intensas, H más débil; aparecen metales ionizados
G	4,900-6,000	CaII intensas; Fe y otros metales, intensas; aparecen metales neutros; H se debilita
K	3,500-4,900	Metales neutros, intensas; se desarrollan bandas moleculares de CH y CN
M	2,000-3,500	Muchísimas líneas, TiO y otras bandas moleculares; CaI intenso
WR	>40,000	HeII en emisión anchas; en las WC CIII y CIV en emisión mientras que las WN muestran NII intensas

Table 1: Características distintivas de las estrellas de la secuencia principal

Secuencia Principal (Clase de luminosidad V)		Gigantes (Clase de luminosidad III)		Supergigantes (Clase de luminosidad I)	
Tipo espectral	Magnitud absoluta	Tipo espectral	Magnitud absoluta	Tipo espectral	Magnitud absoluta
O5	-5.8				
B0	-4.1			B0	-6.4
B5	-1.1				
A0	+0.7			A0	-6.2
A5	+2.0				
F0	+2.6			F0	+2.6
F5	+3.4				
G0	+4.4	G0	+1.1	G0	-6.0
G5	+5.1	G5	+0.7	G5	-6.0
K0	+5.9	K0	+0.5	K0	-5.0
K5	+7.3	K5	-0.2	K5	-5.0
M0	+9.0	M0	-0.4	M0	-5.0
M5	+11.8	M5	-0.8		
M8	+16.0				

Table 2: Magnitud absoluta frente a tipo espectral

Estrella	Tipo espectral	Razones
HD 124320	A3	Líneas muy intensas de HI. Línea de CaII entre A0 y A5
HD 37767		
HD 35619		
HD 23733		
O 1015		
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		
HD5351		
SAO 81292		
HD 27685		
HD 21619		
HD 23511		
HD 158659		