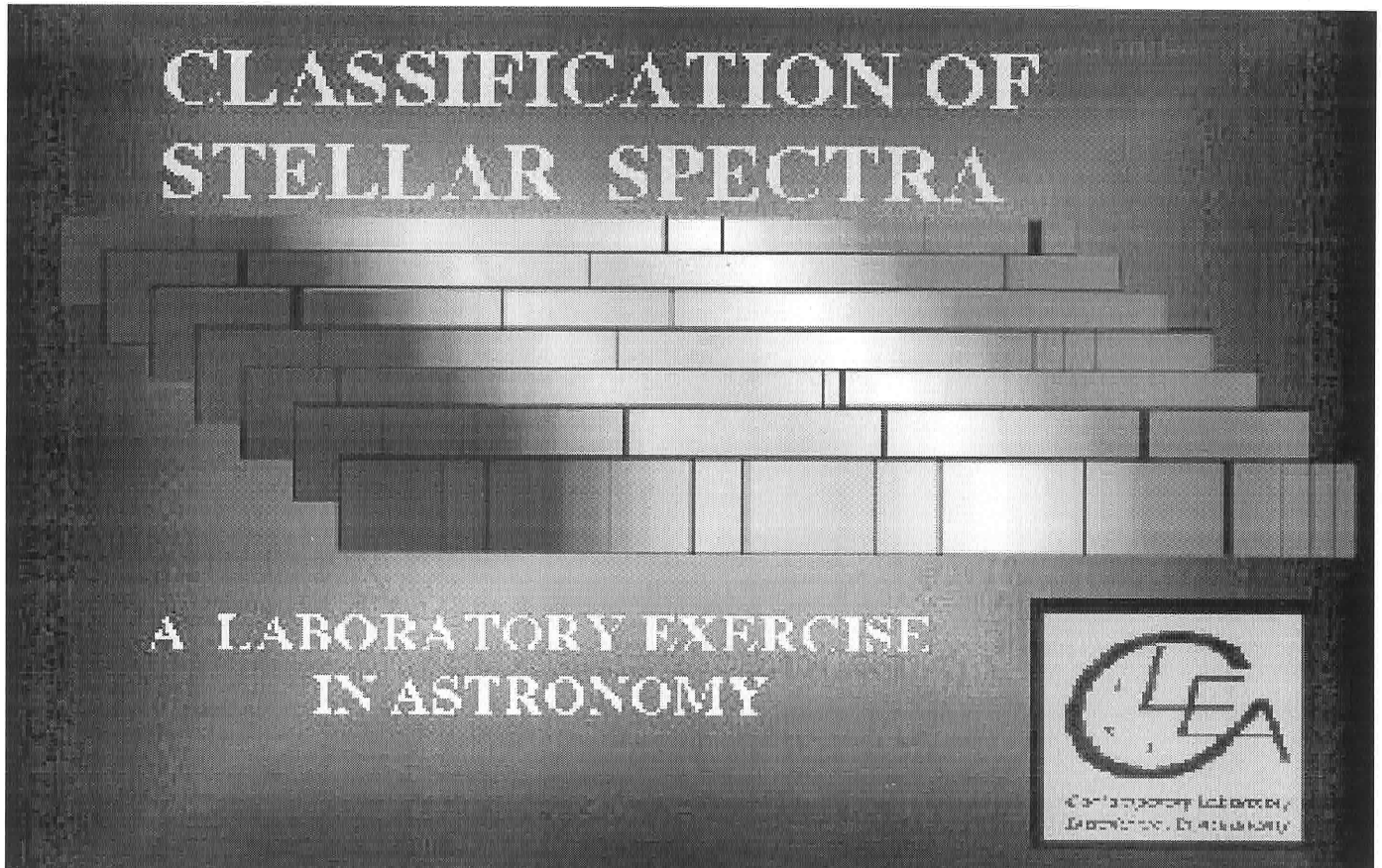


La clasificación de los espectros estelares.



Manual del estudiante

Contenido

Objetivos	3
Equipo	4
Fundamentos : Historia y naturaleza de la clasificación espectral	4
Introducción al ejercicio	5
Usando el programa del ordenador	6
Arrancando el programa	6
Parte I. Las ventanas de ayuda del programa	6
Parte II. Entrando en la cuenta del usuario (<i>login</i>)	7
Parte III. Clasificación espectral de estrellas de la secuencia principal	7
Propósito	7
Método	7
Procedimiento	7
Tabla de datos: Clasificación espectral práctica	13
Ejercicio opcional: Líneas de absorción características para las clases espectrales	14
Parte IV. Tomando espectros usando un telescopio y espectrómetro digital simulados	15
Propósito	15
Método	15
Procedimiento	15
Consejos y sugerencias para el telescopio y espectrómetro	20
Apéndice I	21
Apéndice II	21
Apéndice III	21

Objetivos

Con esta práctica se pretende que aprendas a reconocer las características distintivas de los diferentes tipos espectrales de las estrellas de la secuencia principal. Debes llegar a entender como se obtienen los espectros estelares y también como se usa la clasificación espectral en la obtención de distancias a estrellas.

Si en esta práctica aprendes a ...

Tomar espectros usando un telescopio y un espectrómetro simulados.

Obtener espectros con buena señal/ruido y guardarlos para estudios posteriores.

Comparar estos espectros con espectros *estandar* de los que se conoce su tipo espectral.

Reconocer líneas de absorción intensas tanto en imágenes gráficas como fotográficas de los espectros.

Juzgar las intensidades relativas de las líneas de absorción en medidas y compararlas con espectros estandars.

Entonces deberas ser capaz de ...

Asignar una clasificación espectral a estrellas de la secuencia principal con una precisión de uno o dos decimos dentro de un tipo espectral.

Obtener espectros de estrellas desconocidas a partir de un campo de estrellas simulado.

Determinar la distancia de estas estrellas por el método de paralelaje espectroscópico.

Equipo

Un PC con Windows NT (gráficos SVGA) y el programa *CLEA Clasificación espectral*.

Fundamentos : Historia y naturaleza de la clasificación espectral.

Los primeros patrones de líneas de absorción fueron observados en el espectro del Sol por el físico alemán Joseph van Fraunhofer a principios del siglo XVIII, pero no fue hasta finales de dicho siglo cuando los astrónomos fueron capaces de examinar rutinariamente los espectros de estrellas en gran número. Los astrónomos Angelo Secchi y E.C Pickering estaban entre los primeros en notar que los espectros estelares podían ser divididos en grupos simplemente fijándose en la apariencia de dichos espectros. En los varios esquemas de clasificación que propusieron, las estrellas eran agrupadas según la intensidad de ciertas líneas espectrales. Por ejemplo, en el esquema de Secchi, estrellas con líneas

muy fuertes de hidrogeno eran llamadas de tipo I, estrellas con líneas fuertes de iones metálicos como el hierro y el calcio fueron llamadas estrellas de tipo II, estrellas con bandas anchas de absorción que se hacían más débiles hacia el azul fueron llamadas de tipo III, y así con otros tipos de estrellas. Trabajando sobre estos primeros trabajos, astrónomos del observatorio de Harvard refinaron los tipos espectrales y los renombraron con las letras A, B, C, etc. Estos astrónomos se embarcaron en un gran proyecto para clasificar los espectros, llevado a cabo por los astrónomos, Williamina Fleming, Annie Jump Cannon, y Antonia Maury. Los resultados de tal trabajo, el **Catálogo Henry Draper** (en honor al benefactor que financió el estudio) fue publicado entre 1918 y 1924, y aportó clasificaciones de 225.300 estrellas. No obstante, incluso este estudio representa sólo una pequeña fracción de las estrellas del cielo.

Durante el estudio de clasificación de Harvard, algunos de los viejos tipos espectrales fueron consolidados, y los tipos fueron reordenados para reflejar un cambio gradual en la intensidad de las líneas espectrales más representativas. El orden de las clases espectrales fue O, B, A, F, G, K, y M, y aunque las letras no tienen otro significado más que el histórico, estos nombres han prevalecido hasta nuestros días. Cada tipo espectral está dividido en 10, así una estrella B0 sigue en la clasificación a una O9, y una A0 sigue a una B9. En este esquema el sol pertenece al tipo G2 (ver apéndice I en la página 22).

El primer sistema de clasificación espectral estaba basado en la apariencia de los espectros, pero la razón física para estas diferencias en los espectros no fue entendida hasta mediados de los años 30 y 40 de nuestro siglo. Entonces se dieron cuenta de que, aunque había diferencias químicas entre las estrellas, el principal hecho que determinaba el tipo espectral de una estrella era su temperatura superficial. Estrellas con líneas fuertes de helio ionizado (HeII), que fueron llamadas estrellas de tipo O en el sistema de Harvard, eran las más calientes, alrededor de 40.000 K, porque sólo a temperaturas tan altas podrían estar estos iones en la atmósfera de la estrella en cantidad suficiente para producir absorción. Las estrellas de tipo M con bandas de absorción débiles, que eran producidas por moléculas, eran las más frías, alrededor de 3.000 K, ya que las moléculas son destruidas (disociadas) a temperaturas más altas. Estrellas con líneas de hidrógeno fuertes, las estrellas de tipo A, tenían temperaturas intermedias (alrededor de 10.000 K). La división decimal de los tipos espectrales siguió el mismo patrón que en las clasificaciones anteriores. Así, una estrella B5 es más fría que otra B0 pero más caliente que una B9.

La clasificación espectral usada hoy en día es un refinamiento llamado el **Sistema MK**, introducido en los años 40 y 50 por W. W. Morgan y P. C. Keenan del observatorio de Yerkes para tener en cuenta el hecho de que estrellas con la misma temperatura pueden sin embargo tener diferentes tamaños. Así, una estrella 100 veces mayor que el Sol pero con la misma temperatura atmosférica, mostrará diferencias muy sutiles con el espectro del Sol, pero sin embargo tendrá una luminosidad mucho mayor. El sistema MK añade un número romano al final del tipo espectral para indicar lo que se conoce como *clase de luminosidad*: I indica que la estrella es una supergigante, III que es una gigante, y V que la estrella está en la secuencia principal. A nuestro Sol, una estrella típica de la secuencia principal, le correspondería la clasificación G2V en el sistema MK. En este ejercicio, nosotros nos limitaremos únicamente a estudiar estrellas de la secuencia principal, pero si eres curioso el software te permite también examinar espectros de estrellas con luminosidad variable.

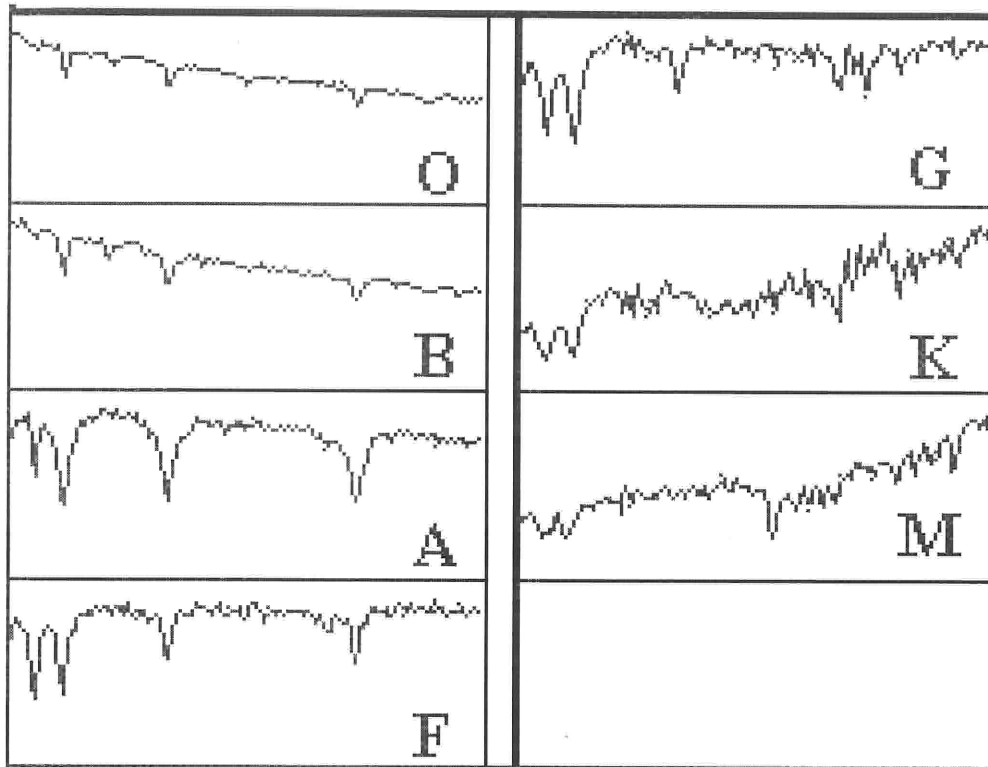


Figure 1
Digital Spectra of the Principal MK Types

El tipo espectral de una estrella es tan fundamental que un astrónomo comenzando a estudiar cualquier nueva estrella intentará primero determinar su tipo espectral. Si la estrella no ha sido catalogada aún (por los astrónomos de Harvard o los muchos que siguieron sus pasos), o si hay alguna duda acerca de la clasificación que otros le asignaron, entonces la clasificación ha de hacerse tomando un espectro de la estrella y comparándolo con un atlas de espectros bien estudiados de estrellas brillantes. Hasta hace bien poco, los espectros eran clasificados tomando fotografías del espectro de las estrellas, pero espectrógrafos modernos producen imágenes digitales de intensidad frente a longitud de onda que son a menudo más convenientes para el estudio. La figura 1 muestra algunos ejemplos de espectros digitales de los principales tipos espectrales MK; el rango de longitudes de onda (eje x) es 3900 Å a 4500 Å. La intensidad (eje y) de cada espectro está **normalizada**, lo cual significa que ha sido multiplicada por una constante de tal modo que el espectro encaja dentro de la gráfica con un valor de 1.0 en el máximo de intensidad y 0 para el caso de ausencia total de luz a esa longitud de onda.

El tipo espectral de una estrella permite al astrónomo conocer no sólo la temperatura de la estrella, sino también su luminosidad (expresada a menudo como la magnitud absoluta de la estrella) y su color. Estas propiedades, a cambio, pueden ayudar a determinar la distancia, masa, y muchas otras cantidades asociadas con la estrella, el medio que la rodea y su historia pasada. Así, un conocimiento de la clasificación espectral es fundamental para entender cómo conseguir una descripción de la naturaleza y evolución de las estrellas.

Desde un punto de vista más amplio, la clasificación de los espectros estelares es importante, como cualquier otro sistema de clasificación, porque nos permite reducir una amplia muestra de diversos individuos a un número manejable de grupos naturales con características similares. Así, la clasificación espectral es tan fundamental para la astronomía como el sistema Linneano de clasificar plantas y animales por el género y la especie. Ya que los miembros del grupo tienen presumiblemente características físicas similares, podemos estudiarlos como grupos, y no individuos aislados. Individuos inusuales pueden ser identificados a través de sus diferencias con el resto de individuos del grupo. Estos objetos peculiares son sometidos a estudios intensivos en orden a intentar entender la razón de su naturaleza inusual. Estas *excepciones a la regla* nos ayudan a entender las facetas generales de los grupos naturales. Ellos pueden incluso aportar conexiones de evolución entre los distintos grupos.

Los apéndices de este manual en las páginas 22, 23, y 24 contienen las características básicas de los tipos espectrales y clases de luminosidad en el sistema MK. Pero el mejor modo de aprender acerca de la clasificación espectral es hacer una clasificación espectral, que es de lo que se va a tratar este ejercicio.

Introducción al ejercicio.

El programa de ordenador que vas a usar consiste de dos partes. La primera es un visualizador de espectros y una herramienta de clasificación. Esta herramienta te permite ver un espectro de una estrella y compararlo con los espectros de estrellas estándar con tipos espectrales conocidos. La herramienta facilita la medida de longitudes de onda e intensidades de líneas espectrales y aporta una lista de longitudes de onda con líneas espectrales conocidas para ayudarte a identificar características espectrales y asociarlas con elementos químicos particulares.

La segunda parte del programa es una simulación realista de un espectrómetro astronómico asociado a uno de los tres telescopios, uno pequeño, otro mediano y un tercero más grande. Tú seleccionarás el telescopio más apropiado a tus necesidades. Una cámara de TV está asociada al telescopio de modo que puedes ver el campo de estrellas al cual el telescopio está apuntando, y puedes ver esos campos a mayor o menor aumento. Puedes dirigir el telescopio de modo que la luz de la estrella pase por la ranura del espectrómetro y después encender el espectrómetro y comenzar a recoger fotones. El visualizador del espectrómetro mostrará el espectro de la fuente a medida que se van recogiendo nuevos fotones. El espectro es un registro de la intensidad de la luz recogida frente a la longitud de onda. Cuando un número suficiente de fotones ha sido recogido, deberías ser capaz de ver las distintas líneas espectrales que te van a permitir clasificar el espectro.

Puedes usar el telescopio para obtener espectros de una lista de estrellas seleccionadas por el tutor de la práctica. Entonces tú clasificarás tus espectros a través de una comparación con espectros estándar almacenados en el ordenador, exactamente igual a como hiciste en la primera parte del ejercicio.

Usando el programa del ordenador

Primero, algunas definiciones :

presiona	Aprieta el botón izquierdo del ratón
afloja	Suelta el botón del ratón
click	Aprieta y afloja una vez el botón del ratón
click doble	haz click dos veces rápidamente
click y arrastre	Aprieta el botón del ratón y sin soltarlo lleva el cursor hasta la nueva posición. Ahora suelta el botón del ratón.

Barra de menú	Una banda en lo alto de la pantalla. Si haces click y arrastras el cursor puedes escoger una serie de opciones para hacer que el programa actúe como tu desees.
barra de pantalla	Una banda en el margen de la pantalla que sirve para moverse arriba y abajo entre las diferentes páginas de la pantalla.

Arrancando el programa

Si nadie lo ha hecho por ti, entonces enciende el ordenador y arranca Windows. Tu tutor te dirá como encontrar el icono del programa *Clasificación espectral*. Coloca el cursor del ratón sobre el icono del programa y haz doble click sobre el mismo. Si el programa funciona adecuadamente, deberías ver la pantalla con el logotipo en el monitor.

Usarás el programa en el siguiente orden

1. Acceso y manejo de las ventanas de ayuda.
2. Entrando en la cuenta (login) e información del estudiante.
3. Familiarizarse con la apariencia de espectros estelares a través de las herramienta *Clasifica Espectro* del programa y clasificando un conjunto práctico de espectros de estrellas de varios tipos espectrales.
4. Familiarizarte con los controles del telescopio y del espectrómetro a través de los telescopios simulados empleados para tomar espectros con un alto índice señal/ruido para varias estrellas del campo.
5. Clasificar los espectros que has obtenido y, como un ejercicio final (opcional), usar esa información para determinarla distancia a estrellas desconocidas.

Parte I. Las ventanas de ayuda del programa

Situa el cursor sobre la opción **HELP** (ayuda) de la barra de menú en lo alto de la pantalla. Si haces click en esta opción, abrirás una nueva ventana mostrando nuevas opciones. Haz click en la opción **TOPICS** (temas) para ver una lista de temas. Usando la barra de pantalla puedes ver la lista completa de los temas moviéndote arriba y abajo. Ahora puedes hacer doble click en cualquiera de estos temas para seleccionar uno de ellos y luego haciendo click en el botón de **OK** te saldrá una nueva ventana con instrucciones sobre cómo utilizar alguna característica del programa relacionada con el tema que seleccionaste. Intenta hacer todo esto con el tema **log in**. Puedes salir de la opción ayuda en cualquier momento sin más que hacer click sobre el botón **close** de la ventana de ayuda. Intenta esto último. Muévete por entre alguno de los temas de la ayuda para obtener una idea de como están estructuradas las cosas.

Nota : temas adicionales son accesibles desde la opción **HELP** cuando estas usando varias partes del programa. Echa un vistazo a las ventanas de ayuda cuando estés usando la herramienta de clasificación o los telescopios.

Cuando hayas visto la función HELP cierra todas las ventanas de ayuda y procede a entrar en el programa, como se describe en las siguientes páginas.

Parte II Introducción de la información de la cuenta del estudiante

Situa el cursor sobre **LOG IN...** en el menú de barras de la parte superior de la pantalla y presiona el botón del ratón **una vez** para activar la pantalla de Cuenta de Estudiante.

Escribe tu nombre (de pila y apellido), y el de tus compañeros de laboratorio. No uses signos de puntuación. Presiona **tab** después de escribir cada nombre, o presiona con el ratón sobre cada casilla del estudiante para escribir el siguiente nombre. Escribe la letra del sitio en el que estas sentado, a no ser que ya este relleno. Puedes cambiar y editar lo que has escrito, pulsando con el ratón sobre el campo adecuado y haciendo los cambios que quieras realizar. Cuando toda la información ha sido escrita correctamente, presiona en **OK** para continuar, y presiona **yes** cuando te pregunte si has terminado la entrada en el programa. En ese momento aparecerá la pantalla inicial de **Clasificación Espectral**.

Parte III Clasificación Espectral de la estrellas de la Secuencia Principal

Propósito

Coger familiaridad con la forma del espectro de las estrellas de la secuencia principal. Aprender cómo clasificar el espectro de las estrellas de la secuencia principal, comparándolo con un atlas de espectros de estrellas estándar seleccionadas.

Método

Examinarás el espectro digital de 25 estrellas desconocidas, determinarás el tipo espectral de cada estrella y grabarás tus resultados, junto con un comentario diciendo el porqué de tu elección. El espectro se puede comparar visual y digitalmente (punto a punto) con un atlas representativo de 13 espectros estándar, y mirando la intensidad relativa de las líneas de absorción características serás capaz de estimar el tipo de las estrellas desconocidas de entre una decena de clases espectrales, aun cuando caiga entre tipos espectrales de aquellas estrellas dadas en el atlas.

Procedimiento

1. Selecciona la función **CLASSIFY SPECTRA** del menú deslizante **RUN**, pulsando con el ratón en la opción **RUN** y desplazando hacia abajo hasta la opción **CLASSIFY SPECTRA** (esta manera de proceder la tendrás que repetir a menudo para acceder a iconos y hacer selecciones). Responde **no** a cualquier pregunta que en ese momento te haga el ordenador sobre espectros grabados (posteriormente examinarás ese espectro, pero no ahora).

Ahora estás en las herramientas de clasificación. (Ver **FIGURA 2** en la siguiente página.) La pantalla que ves en este momento muestra tres paneles, uno encima de otro con algunos botones de control a la derecha y un menú de barras en la parte superior. El panel central se usará para mostrar el espectro de una estrella desconocida, y el superior y el inferior se usarán para mostrarte espectros de estrellas estándar que pueden ser comparadas con el espectro de la estrella desconocida. Vamos ahora a ver las características de las herramientas de clasificación, clasificando el primero de los 25 espectros desconocidos provistos por la práctica.

2. Vamos a sacar el espectro de una estrella desconocida, desplegando el menú **LOAD**. Verás 3 opciones: **Unknown Spectrum (Espectro Desconocido)**, **Atlas of Standard Spectra (Atlas de Espectros Estándar)**, y **Spectral Line Table (Tabla de Líneas Espectrales)**. Escoge **Unknown Spectrum** desplazando el cursor hacia la derecha, como indica la flecha en esta opción, y después selecciona **Program List**. Aparecerá una ventana mostrando una lista de estrellas de la práctica por su nombre. Selecciona la primera estrella de la lista -

HD124320 - con el ratón (aunque ya debería estar seleccionada por defecto) y después pulsa el botón **OK**. Verás el espectro de HD124320 en el panel central de la pantalla de clasificación.

Observa detenidamente el espectro. Lo que estás viendo es una gráfica de la intensidad frente a la frecuencia. El espectro se extiende a lo largo de un rango que va desde 3900 Å hasta 4500Å, mientras que la intensidad se mueve en un rango que va desde 0 (lo que significa no luz) hasta 1.0 (la mayor de la luz recibida).

Los puntos más altos del espectro, llamado el **continuo**, con la luz que proviene de la superficie incandescente de la estrella, mientras que los más profundos son las **líneas de absorción** producida por los átomos y los iones en la fotosfera de la estrella. Puedes medir tanto la intensidad como la longitud de onda de cualquier punto del espectro, sin más que señalarlo con el ratón y pulsando el botón izquierdo del mismo. El cursor pasará de ser una flecha a ser una cruz, haciendo más fácil la selección del punto.

- a. Escoge cualquier punto del continuo de HD124320 y apunta su longitud de onda y su intensidad

Longitud de Onda _____ Intensidad _____

- b. Mide la intensidad y la longitud de onda del punto más bajo de la línea de absorción más profunda del espectro de HD124320

Longitud de Onda _____ Intensidad _____

Hay que destacar que el espectro que estas viendo, que es un ejemplo típico de los que se usan en la clasificación de espectros, no cubre todo el rango de longitudes de onda que corresponden a la luz visible, tan solo una parte limitada.

- c. **Pregunta:** ¿Si estuvieras mirando con tus ojos en este rango de longitudes de onda, que colores verías?

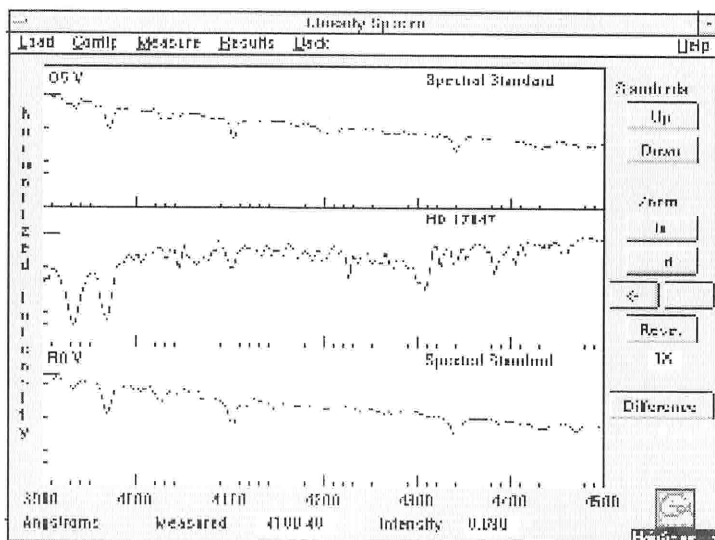


Figure 2
The Classification Window

3. Ahora queremos encontrar el espectro tipo de HD124320 comparando su espectro, con el espectro de un tipo conocido. Cargamos el atlas de comparación de estrellas, desplegando el menú **LOAD** y escogiendo la opción **Atlas of Standard Spectra**. Aparecerá una ventana con varias opciones, pero la que nos interesa es la primera de la lista, **Main Sequence**. Selecciónalo y presiona sobre el botón **OK**.

4. Los 13 espectros en el atlas aparecerán en una nueva ventana (ver figura 3), pero solo 4 se pueden ver a la vez. Puedes ver todo el conjunto, moviendo el botón de la barra lateral arriba y abajo con el ratón. Haciendo esto, verás una serie de tipos representativos, yendo desde los más calientes a los más fríos. Haz una lista, en el espacio que tienes a continuación, de los diferentes tipos espectrales que se incluyen en el atlas, incluyendo tanto el nombre de la clase como el número que la acompaña (por ejemplo, G2, ...). Puedes ignorar el número romano "V" que aparece al final del tipo espectral - sólo indica que la estrella estándar pertenece a la secuencia principal.

Tipos espectrales del atlas

5. Hay que señalar dos cosas con respecto al hecho de que los tipos espectrales representen secuencias de estrellas de distinta temperatura superficial: (1). Los diferentes tipos espectrales tienen distintas líneas de absorción, y (2) el perfil superior del continuo cambia. Las líneas de absorción están determinadas por la presencia o ausencia de determinados iones a diferentes temperaturas. El perfil del continuo está determinado por las leyes de radiación de cuerpo negro. Una de estas leyes, la Ley de Wein, establece que la longitud de onda de máxima intensidad es menor cuando mayor es la temperatura del objeto. Matemáticamente se expresa:

$$\lambda_{max} = 2.9 \times 10^7 / T$$

donde λ_{max} es la longitud de onda de la máxima intensidad, en Angstroms (Å) y T es la temperatura en kelvins (K).

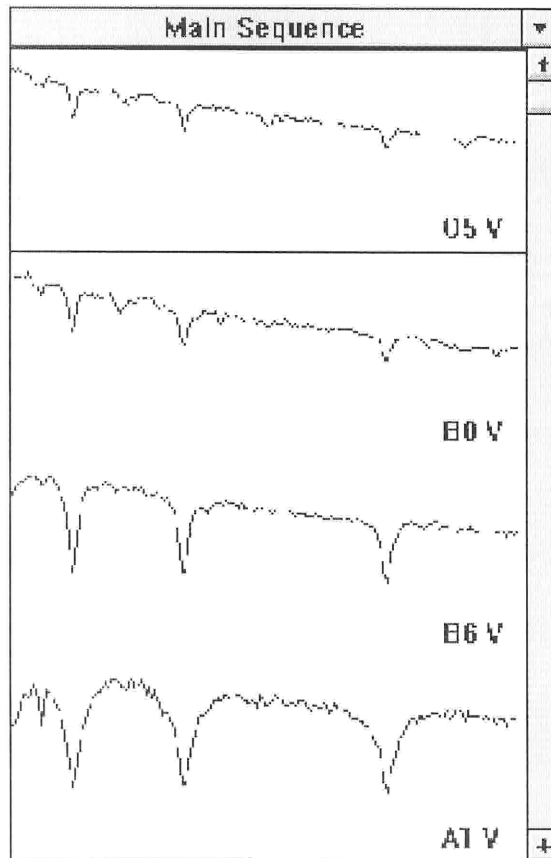


Figure 3
The Spectral Window

- a. Mirando a las estrellas del atlas, ¿serías capaz de decir, a partir del continuo, que tipo espectral es el más caliente?. Explica tu respuesta (recuerda que, en estas gráficas, 3900 Å está a la izquierda y que 4500 Å está a la derecha)

- b. ¿En qué tipo espectral el pico en la intensidad del continuo está sobre los 4200 Å? (4200 Å está hacia la mitad del eje x)

- c. ¿Cuál sería la temperatura de esta estrella?

6. Ahora usa los espectros de comparación para clasificar la estrella. Si miras a los paneles de detrás de la ventana del Atlas, verás que dos de los espectros de estrellas de comparación ya se han situado encima y debajo del espectro de tu estrella desconocida. Puedes ver los tres paneles con mayor claridad si minimizas la ventana del Atlas (pulsas sobre el botón de la flecha pequeña en la parte superior derecha de la ventana del Atlas; si quieres maximizar más adelante esta ventana, no tienes más que pulsar con el ratón sobre el icono en el que estará minimizada). Deberías ver el espectro de una estrella O5 en la parte superior, y el de la siguiente del atlas, B0, en el panel inferior.

Si ninguno de estos dos espectros se parecen demasiado al de la estrella desconocida, puedes moverte a lo largo del Atlas, pulsando sobre el botón **down** en la parte superior de la ventana del espectro. Repite este proceso hasta que obtengas una buena semejanza. Deberás encontrar que el mejor ajuste es con aquellos tipos espectrales que tienen fuertes líneas de hidrógeno (más adelante veremos como identificarlas) y sin muchas más características. Las estrellas con las líneas de hidrógeno más fuertes están alrededor del tipo espectral A1.

Como no todos los tipos espectrales están representados en el Atlas, y como queremos una clasificación con una precisión de 1/10 dentro de cada clase (por ejemplo, G2, en vez de G), deberás hacer alguna interpolación. Para hacer esto, mira la intensidad relativa de las líneas de absorción. Cuando el panel superior muestre una estrella de comparación del tipo A1, el panel inferior te mostrará un espectro del tipo A5. La intensidad de las líneas de HD124320 cae en algún sitio entre estos dos. Puedes hacer entonces una mejor suposición diciendo que es, aproximadamente, del tipo A3.

7. Si quieres hacer esto con mayor precisión, presiona sobre el botón **difference** en la parte derecha de la ventana del espectro. La parte inferior del panel cambiará, mostrando la diferencia de intensidad entre el espectro de comparación de la parte superior y el espectro desconocido, mostrándote la línea de referencia de 'diferencia cero' a lo largo de la mitad del panel inferior.

Mira las inclinaciones y valles de este panel inferior y piensa en ello por un tiempo. Si una línea de emisión en el espectro de comparación es menos profunda que la del espectro desconocido, a la misma longitud de onda, eso quiere decir que la intensidad a esas longitudes de onda en la estrella de comparación es mayor que en la estrella desconocida. Por lo tanto la diferencia entre estas dos intensidades va a ser mayor que cero, mostrando en el panel de diferencia un pequeño bulto. Si, por ejemplo, el panel superior muestra un espectro del tipo A0 y el panel intermedio muestra el espectro de HD124320, verás un pequeño bulto a 3933Å, indicando que la línea de absorción en la estrella de espectro desconocido es más profunda que en el caso del tipo A0.

Por el mismo razonamiento, si una línea de absorción en el espectro de comparación es más profunda que en el caso de la estrella desconocida, el panel de diferencia mostrará un pequeño socavón. Presiona sobre el botón **down** de la opción **Standars** para mostrar un

espectro de comparación del tipo A5. Verás que a 3933 Å, el panel de diferencia muestra ahora una pequeña incisión, indicando que la línea de absorción de la estrella desconocida es menos profunda que la de A5. Por lo tanto, está en algún lugar entre A0 y A5.

Para usar la opción de la diferencia, recorre los distintos espectros de comparación (usando los botones **Up** y **Down**) hasta que la diferencia entre el espectro de comparación y el de la estrella desconocida sea tan próxima a cero como sea posible. Para estimar tipos espectrales intermedios, observa cuando la gráfica muestra cambios de bultos a valles para algunas líneas (como algunas líneas son más intensas con la temperatura, mientras que otras lo son menos, podrás ver que algunas líneas pasan de bultos a valles, y otras de valles a bultos, a medida que cambias el espectro de comparación). Intenta estimar si la estrella desconocida queda a medio camino entre las dos tipos de comparación, o si se parece más en intensidad a una u otra de los tipos de comparación entre los que cae.

¿Cuál es tu estimación para el tipo espectral de HD124320?. Da las razones que te hacen decidir (Para este ejemplo que nos ocupa, la intensidad de las líneas a 4340.4 Å y 4104 Å son iguales que para los tipos A1 o A5, mientras que la intensidad de 3933 Å queda en algún lugar entre estos dos tipos)

8. Graba tu elección para HD124320 y las razones en el ordenador, seleccionado el menú **RESULTS** y escogiendo **RECORD**. Esto abrirá una ventana en la que podrás grabar tu asignación del tipo espectral y un pequeño comentario para las razones que te han llevado a escogerlo. Al igual que en el momento de entrar en el programa, puedes meter datos desplazándote con el tabulador hasta la casilla adecuada, o pulsando sobre ella con el ratón. Cuando hayas rellenado las campos, pulsa **OK**. Puedes escoger **REVIEW** en este mismo menú si quieres editar o revisar lo que has escrito.
9. En este ejemplo hemos usado una o dos líneas espectrales para refinar la clasificación. Pero, ¿qué elementos las producen?. Por referencia, podremos identificar las fuentes de estas líneas. Selecciona **SPECTRAL LINE TABLE** en el menú de **LOAD**. Verás una ventana que contiene una lista de líneas espectrales (ver figura 4). Puedes mover esta ventana a cualquier parte de la ventana, sin más que situar el cursor sobre la parte azul de la ventana y moviendo el ratón, sin soltar el botón. Intenta poner la ventana en la parte superior izquierda. Ahora, usando el ratón, marca con el cursor en el centro de cualquier línea del espectro (por ejemplo, la de 4341 Å) y pulsa dos veces con el botón izquierdo del ratón. Aparecerá una línea roja a lo largo de la pantalla y, si has centrado correctamente el cursor, se resaltará en la lista de líneas de absorción una de las que allí aparece. Por ejemplo, la línea de 4341 Å es la línea de absorción del hidrógeno, H_I. Compruébalo.

Identifica la línea a 3933 Å _____

Puedes minimizar la ventana con la tabla de líneas pulsando en la flecha de la parte superior de la ventana, a la derecha del nombre de la ventana *Spectral Line identification*. Esto despejará la ventana y la podrás recuperar cuando la necesites.

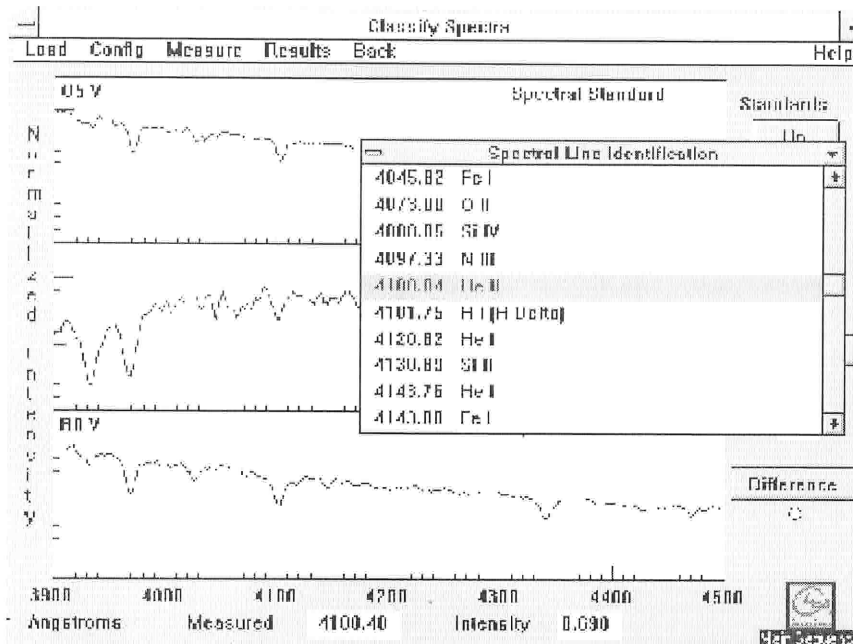


Figure 4
The spectral line table

10. Los espectros también se pueden ver en imágenes en blanco y negro, mostrando la luz de la estrella refractada, como en un arco iris, por una red de difracción o un prisma. Puedes ver el espectro de esta forma usando las herramientas de clasificación. Despliega el menú **CONFIGURATION** y selecciona la opción **DISPLAY**; de las opciones que aparecen a la derecha escoge **GRAYSCALE PHOTO**. Ahora verás una representación de cómo aparecería el espectro si lo hubieras fotografiado. Para ver la relación entre la representación gráfica y fotográfica vuelve a desplegar el menú **CONFIGURATION** y escoge la opción **COMBINATION**. El panel central mostrará la representación fotográfica de HD12430, y el panel inferior la representación gráfica.

¿Cómo podrías identificar las líneas de absorción en la representación fotográfica del espectro?

¿Y en la representación de intensidad frente a longitud de onda?

Es posible identificar estrellas mirando solamente al espectro fotográfico (de hecho, es la manera en que se solía hacer antes de la aparición de los ordenadores y las cámaras digitales). Pero es más recomendable usar la representación gráfica para la mayor parte de tu trabajo. Vuelve a esta opción pulsando **DISPLAY** e **INTENSITY TRACE** en el menú de **CONFIGURATION**.

11. Hasta ahora has clasificado un espectro. Vamos a cargar el siguiente espectro desconocido desplegando el menú **LOAD** y escogiendo la opción **SPECTRA**. No tienes que volver a cargar el atlas de espectros. Usa los métodos que has practicado con el ejemplo anterior y la descripción de los tipos espectrales que se te dan en el **Apéndice I** en la página ??, para clasificar las 23 estrellas restantes de la lista. Graba en el ordenador tus resultados. Puedes usar también la tabla que se acompaña para escribir los resultados. Si te lo pide el profesor, puedes imprimir tus resultados, pinchando sobre el menú **RESULTS** y escogiendo la opción **PRINT**.

12. Indicaciones adicionales

Una forma rápida para moverte a lo largo del atlas de espectros, en vez de usar los botones **up** y **down**, es abrir la ventana del atlas y pinchar dos veces sobre uno de los espectros, de tal forma que ese espectro se colocará sobre en el panel superior de comparación. El panel del atlas que has seleccionado se rellenará de azul para indicarte cuál es que has escogido. Podrás así minimizar de nuevo el atlas para ver la ventana de clasificación más claramente.

Puedes obtener imágenes más cercanas del espectro, pulsando el botón **Zoom In** en la derecha de la ventana de clasificación. En el modo de zoom, las flechas a derecha y a izquierda debajo de los botones de **Zoom** te permiten desplazarte hacia longitudes de onda que no aparecen en la zona de visión que se ha ampliado. Para volver a ver el espectro completamente, pulsa sobre le botón **Reset**.

Cuando esté visible la tabla con las líneas espectrales, puedes encontrar una línea particular en el espectro, sin más que situar el cursor sobre la línea en cuestión y presionando dos veces con el botón izquierdo del ratón. Una línea roja aparecerá sobre el espectro, indicándote la longitud de onda de la línea.

Cuando este visible la tabla con las líneas espectrales, puedes obtener información adicional sobre cada una de ellas, sin más que presionar dos veces con el botón derecho del ratón, sobre la que elijas. En algunas ocasiones, varios iones pueden producir líneas espectrales alrededor de la misma longitud de onda, por lo que no es inmediato determinar qué ion está produciendo una línea de absorción particular. Por ejemplo, tanto el CaII como el HI producen líneas de absorción a una longitud de onda de unos 3970 Å. Pero la línea de HI es más intensa en las estrellas del tipo A, mientras que la de CaII lo es en las estrellas de tipo K y G. Las detalles que se ofrecen sobre las líneas de absorción pueden usarse para decidir qué ion está produciendo la línea de absorción, si tienes una idea aproximada de cuál es el tipo espectral.

Tabla de datos: Práctica de Clasificación Espectral

Estrella	Tipo espectral	Criterios de clasificación
HD 124320	A3	Líneas H β muy fuertes, líneas de CaII entre A0 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		
HD 23511		
HD 158659		

Parte IV Adquisición de espectros empleando un telescopio y un espectrómetro digital simulados

Objetivo:

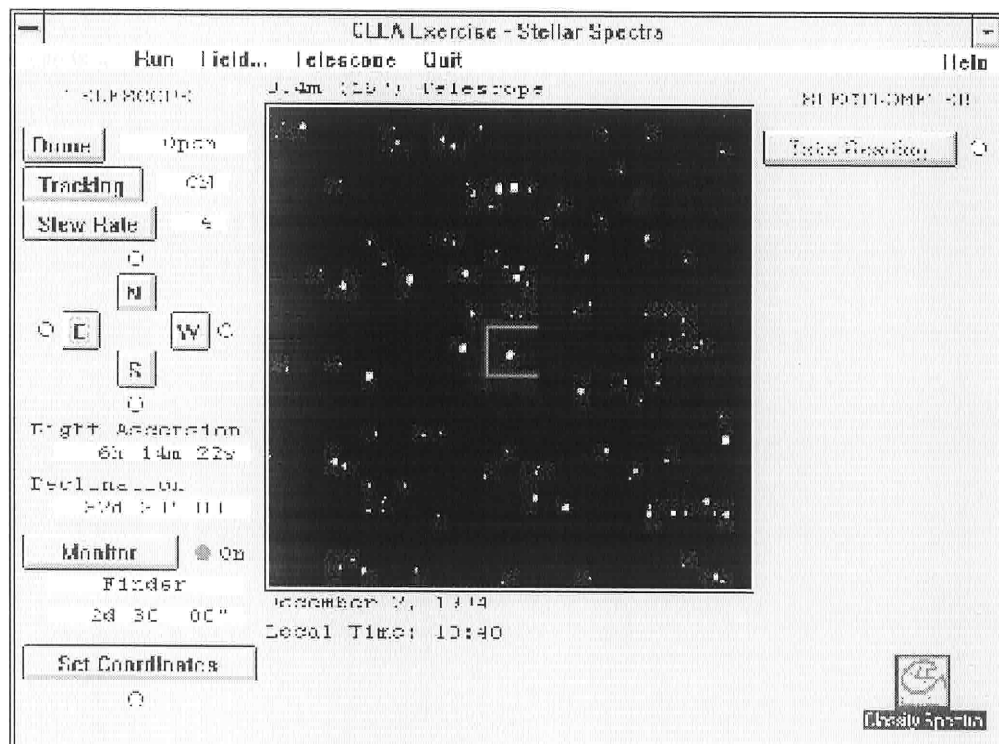
Aprender a tomar espectros de estrellas y su empleo para la clasificación de las mismas. Como último ejercicio opcional se empleará la clasificación espectral de una estrella de la secuencia principal junto con su magnitud aparente para determinar su distancia; es el conocido como método de la "paralaje espectroscópica".

Metodología:

Utilizaremos un simulador de un telescopio equipado con un espectrógrafo de cuenta de fotones para medir el espectro de una estrella desconocida. Una vez guardado el espectro, y empleando las técnicas descritas en la Parte I, obtendremos su tipo espectral. Posteriormente, usando un gráfico de magnitudes absolutas frente a tipos espectrales y midiendo la magnitud aparente de la estrella puede determinarse su distancia en parsecs.

Procedimiento:

1. Si estamos en la ventana "Classification Tool" pulsaremos **BACK** para minimizarla en un icono (después la necesitaremos de nuevo y bastará con hacer doble "click" en el icono para volver a ella). A continuación, pulsa **RUN** y en el menú emergente que aparece, selecciona **TAKE SPECTRA**. Aparecerá el panel de control del telescopio simulado. Reproduce muy fielmente las funciones básicas y da una buena aproximación de como los astrónomos obtienen y analizan los espectros. Las siguientes instrucciones tienen el propósito de familiarizar al usuario en el manejo del telescopio y la adquisición de espectros.
2. La ventana que ha aparecido (ver figura 5) reproduce el panel de control y el monitor de la cámara de televisión conectada al telescopio, que muestra su campo visual. Inicialmente la cúpula (dome) del observatorio esta cerrada y el seguimiento (tracking) desconectado.



Para comenzar nuestra “observación nocturna”, debemos abrir la cúpula pulsando el botón **dome**. La cúpula se abrirá lentamente. Lo que aparece en el monitor es una imagen de televisión de campo amplio (2.5 grados en el cielo aproximadamente) obtenida a través del buscador del telescopio. Se emplea para localizar el objeto a estudiar. Esta vista se puede cambiar a la imagen aumentada del espectrómetro, que muestra en la pantalla del monitor la porción encerrada dentro del cuadrado rojo central de la imagen del buscador. Debemos pasar a la imagen ampliada antes de medir el espectro, pero aún nos falta por hacer un último ajuste.

Si prestamos atención a la imagen del monitor durante un momento, se aprecia que las estrellas se desplazan hacia la derecha del campo (en dirección oeste). Es el efecto de la rotación de la tierra, y se hace tan evidente a causa del gran aumento del telescopio. Este efecto es aún mayor en la imagen del espectrómetro, por su mayor aumento. Para que el telescopio se mantenga centrado en un objeto y poder tomar datos, necesitamos encender el motor de seguimiento.

3. Dicho motor se activa pulsando el botón **tracking**. El telescopio compensa la rotación y “sigue” a las estrellas en su movimiento, de modo que ahora las estrellas aparecen estacionarias en el campo del monitor.
4. Escoge una estrella del campo de visión y mueve el telescopio para centrarla pulsando para ello los botones **N**, **S**, **E** o **W** (norte, sur, este u oeste). El telescopio se moverá en la dirección del botón que se mantenga presionado en cada momento, y una luz roja indicativa se encenderá a su lado para confirmar la dirección del movimiento. Al dejar de pulsar el botón con el ratón, el telescopio se detendrá. Si el telescopio se mueve muy despacio, puede ajustarse la velocidad de desplazamiento pulsando el botón **slew rate** del panel de control. Cuando una estrella esta más o menos situada en el centro del campo de visión, debe centrarse de modo más preciso aumentando la imagen con el botón **monitor**. De este modo pasaremos al modo de visión del espectrómetro, que cubre un campo sobre el cielo de 15 x 15 minutos de arco. Es más complicado reconocer objetos en esta imagen aumentada, debido a que el campo es más reducido. Puede volverse al campo del buscador para localizar nuevos objetos, pero todas las medidas espectroscópicas se hacen sobre el modo de visión del espectrómetro.

Las dos líneas rojas paralelas que aparecen en el centro de la imagen aumentada indican la posición de la rendija del espectrómetro. Para medir el espectro de una estrella, ésta debe situarse entre las dos líneas rojas, de modo que su luz pase a través de la rendija del espectrómetro. Si no hay ninguna estrella entre las dos líneas, lo que medirá el telescopio será el espectro de la luz difusa de fondo del cielo nocturno.

Por eso es crítico que la estrella esté bien situada entre las dos líneas rojas. Si fuese necesario, puede ajustarse la velocidad del movimiento del telescopio a su valor mínimo, escogiendo el valor 1 en el botón **slew rate**. (NOTA: Algunos ordenadores, especialmente los más antiguos, pueden tardar en ejecutar algunas acciones, y el movimiento del telescopio puede ser bastante brusco. Como en los observatorios reales, se requiere un poco de práctica para apuntar el telescopio hacia un objeto.)

Antes de hacer otra cosa, deben anotarse las coordenadas de la estrella para que se pueda identificar después. Las coordenadas aparecen a la izquierda de la imagen del monitor en el panel de control.

Ascensión Recta (Right Ascension): _____

Declinación (Declination): _____

Magnitud aparente: _____

- Una vez apuntado correctamente el telescopio puede tomarse el espectro. Pulsa el botón **take reading** situado a la derecha de la imagen. Aparecerá la ventana del espectrómetro (Ver figura 6). El espectrómetro está preparado para medir espectros en el rango 3900 a 4500 angstroms, el mismo que se ha empleado para clasificar estrellas. La medida es una gráfica de la intensidad (eje y) frente a la longitud de onda (eje x).

Para comenzar a tomar un espectro, pulsa **start/resume count** en el menú de la ventana. El espectrómetro empezará a detectar fotones de la estrella, (y unos pocos del fondo de cielo) uno por uno. Es un proceso aleatorio, y se verán fotones de todas las longitudes de onda como gotas de lluvia esparcidas al azar sobre el suelo. Inicialmente la medida parecerá totalmente aleatoria, o con mucho **ruido**, especialmente si la estrella es muy débil (Ver apéndice III). Pasado un tiempo, el espectro comienza a tomar forma. Cuanto más fotones se midan, más definido y libre de **ruido** estará el espectro. Como el ordenador ajusta automáticamente el espectro de modo que en cada momento los puntos más intensos tengan valor 1.0, no se ve crecer el espectro en altura, pero la forma de la gráfica se va definiendo mucho más a medida que llegan más fotones.

Para detener la toma de datos y comprobar el progreso del espectro, selecciona **stop count**. El ordenador unirá los puntos que representan la intensidad a cada longitud de onda para trazar el espectro.

- En el espectro tomado pueden medirse intensidades y longitudes de onda del mismo modo que se hizo al clasificar estrellas, moviendo el cursor hasta el punto deseado y manteniendo pulsado sobre dicho punto el botón izquierdo del ratón. El cursor pasa a ser una cruz y los datos de intensidad y longitud de onda aparecen en la parte inferior derecha de la imagen. Si se mueve el cursor con el botón izquierdo pulsado, se modifican los datos de intensidad y longitud de onda a los correspondientes al punto indicado por el cursor en cada momento.

Información adicional que proporciona el espectrómetro:

Object (objeto): El nombre del objeto de estudio.

Apparent magnitude (magnitud aparente): La magnitud visual (V) del objeto.

Photon count (cuenta de fotones): El número total de fotones medidos, y su número medio por pixel, o por unidad de longitud de onda.

Integration (integración): Tiempo en segundos que duró la medida.

Wavelength (longitud de onda): Longitud de onda medida por el cursor, en angstroms.

Intensity (intensidad): Intensidad relativa o normalizada de la luz del objeto en la posición del cursor.

Signal to Noise Ratio (S/N) (relación Señal-Ruido): Medida de la calidad de los datos tomados. Para hacer clasificaciones lo mejor es tener una S/N de al menos 100, que puede llevar mucho tiempo, especialmente en telescopios de pequeña apertura.

Si no se ha conseguido una S/N igual o superior a 100, debe seguirse midiendo, pulsando el botón **start/resume count** hasta que el espectro tomado tenga la suficiente calidad para emplearse en la clasificación estelar.

- A continuación debe guardarse el espectro para poder clasificarlo con las herramientas de clasificación. Pulsa **save** en el menú. Aparecerá una ventana que pedirá un número de asignación a la estrella (por defecto aparece el 0). Introduce el número de objeto que aparece en la esquina inferior izquierda de la ventana del espectrómetro y pulsa **OK**. El ordenador guardará el archivo con el espectro asignándole un nombre basado en las primeras letras del nombre de usuario y del número asignado. Anota a continuación el nombre de ese archivo para recordarlo, y pulsa **OK** para guardar el archivo.

Nombre del primer archivo de espectros: _____

- Se puede volver el panel de control del telescopio pulsando **Return** en el menú de la ventana del espectroscópio. Escójase otra estrella (para ello debe volverse al campo del buscador), esta vez más débil, obténgase y guárdese su espectro como estrella número 2. Debe efectuarse la medida hasta alcanzar la adecuada relación Señal-Ruido. Anótese los siguientes datos de la nueva estrella:

Estrella 2:

Coordenadas:

Ascensión Recta: _____

Declinación: _____

Espectro guardado en archivo: _____

- Cuando se hayan tomado todos los espectros, para volver a la ventana "Classification Tool" pulsaremos sobre el icono "**classify spectra**", o si éste no es visible, escogiendo **RUN, CLASSIFY SPECTRA** en el menú del panel de control del telescopio. La ventana de clasificación aparecerá como antes, y si el atlas de espectros no se ha cargado previamente, puede recargarse con el comando **LOAD**.

Para observar los espectros que acabáis de tomar, presionar en el menú la opción **LOAD**, escoger **SPECTRUM**, pinchar sobre ella y escoger **SAVED SPECTRA**. Una lista con los espectros grabados debería aparecer, de donde se puede escoger la fila de la primera estrella obtenida. A partir de aquí, todos los pasos a seguir son los mismos que los de la primera parte de la práctica. Clasificar las estrellas observadas.

Para las dos estrellas observadas grabar los resultados en el ordenador utilizando las opciones **RESULTS, SAVE** del menú. Esta opción también muestra el nombre de cada objeto (procedente del catálogo de estrellas incluido en el ordenador), y su magnitud aparente (del número de fotones que entra en el espectrómetro). Los resultados pueden imprimirse utilizando la opción **RESULTS, PRINT** del menú.

Spectral Type of Two Unknown Stars

Star #	Object Name	Spectral Type	Reasons
1			
2			

- Comprobar que se han completado todas las partes del ejercicio. Todas las tablas deben estar completas, y los listados del **ordenador** incluidos en el guión.

11. OPCIONAL: Utilizando la clasificación espectral y la magnitud aparente, m , de una estrella, se puede determinar su distancia, ya que hay una relación entre el tipo espectral de una estrella y su magnitud absoluta. Una vez que la magnitud absoluta, M , es conocida, se puede calcular lo que se conoce como "Módulo de la Distancia", $m-M$ del objeto, y utilizando la expresión:

$$\log D = \frac{m - M + 5}{5} \qquad D = 10^{\log D}$$

determinar la **distancia** al objeto en parsecs.

El Apéndice II contiene una tabla con las magnitudes absolutas de estrellas de varios tipos espectrales. Utilizando esta información determinar las magnitudes absolutas y distancias de las dos estrellas clasificadas en la sección anterior.

Star	Spectral Type	Absolute Magnitude, M	Apparent Magnitude, m	Distance in parsecs

Pregunta: ¿Son estas estrellas miembros de la Vía Láctea de la cual nuestro Sol forma parte? (El diámetro de la Vía Láctea mide en torno a 30.000 parsecs)_____.

Consejos y Sugerencias para el Telescopio y el Espectrómetro:

- El campo de visión del monitor del telescopio es distinto de lo que uno puede ver en un mapa. El Norte está en la parte superior, pero **el Este esta en la parte izquierda y el Oeste en la derecha**. La razón es que en un mapa estás mirando la parte de fuera del globo, pero cuando se mira hacia el cielo, se está observando hacia el interior de la esfera celeste.
- Cuando se mueve el telescopio hacia el este, las estrellas parecen moverse en la dirección oeste de la pantalla del monitor. Pensar sobre ello.
- Para las estrellas más débiles, podría resultar difícil obtener un señal/ruido cociente de 100 o más para una cantidad razonable de tiempo (digamos 10 minutos). Hay dos razones para esto. Primero, los fotones de las estrellas más débiles se depositan más despacio en el espectrómetro. La segunda razón es que una débil señal de fondo procedente del cielo, produce una señal aleatoria que, aunque despreciable para las estrellas más brillantes, es una fracción significativa de luz en el espectrómetro para las estrellas más débiles.
- Hay dos formas de obtener un valor alto del cociente señal/ruido de una estrella. La primera es simplemente observar durante un tiempo más largo. La segunda es utilizar un telescopio de mayor tamaño. El programa telescopio te permite acceder a dos grandes telescopios, tal y como puedes comprobar situando el telescopio en el modo **finder** y escogiendo **Telescopio** en el menú. El telescopio que aparece por defecto es un telescopio de 0,4m (16in.). También están disponibles telescopios de 0,9m y 4m, pero estas opciones aparecen en color gris dentro del

menú, lo que significa que están inactivas. Al igual que con los telescopios profesionales, deberás solicitar el uso de los telescopios. Hay una opción dentro del menú telescopio que te permitirá pedir tiempo de observación en alguno de estos telescopios. No lo obtendrás automáticamente, pero en caso contrario, podrás utilizar esta opción para recortar el tiempo necesario para observar las estrellas más débiles.

- Utilizando alguno de los telescopios de mayor tamaño se podría observar que las estrellas aparecen más brillantes en el monitor. Esto se debe a que los telescopios más grandes recogen mayor cantidad de luz, ya que poseen espejos más grandes.

Apéndice I
Características distintivas de los espectro de la secuencia principal

Tipo Espectral	Temperatura Superficial (K)	Características Distintivas (líneas de absorción, al menos que se diga lo contrario)
O	28 – 40000	Líneas He II
B	10 – 28000	Líneas He I, líneas H I de la serie de Balmer en tipos más fríos
A	8 – 10000	Líneas más fuertes de las líneas H I de Balmer en A0; líneas Ca II cada vez más intensas a medida que los tipos son más fríos; algunos otros materiales ionizados
F	6 – 8000	Líneas más fuertes del Ca II; H débil; aparecen líneas de metales ionizados
G	4900 – 6000	Líneas de Ca I fuertes; Fe y otros metales fuertes; apareciendo líneas de metales neutros; las líneas H se debilitan
K	3500 – 4900	Líneas fuertes de metales neutros; aparecen bandas de CH y CN
M	2000 – 3500	Muchas líneas; TiO y otras bandas moleculares; importante la línea de Ca neutro; estrellas S muestran ZrO y las estrellas N C ₂
WR (Wolf-Rayet)	40000 +	Amplia emisión de He II; estrellas Wc muestran emisión Ca III y Ca IV; mientras que las WN principalmente N II

Appendix II

Absolute Magnitude Versus Spectral Type
 (from C. W. Allen, *Astrophysical Quantities*, The Athlone Press, London, 1973)

Main Sequence Stars, Luminosity Class V

Spectral Type	Absolute Magnitude, M
O5	-5.8
B0	-4.1
B5	-4.1
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

Giants, Luminosity Class III

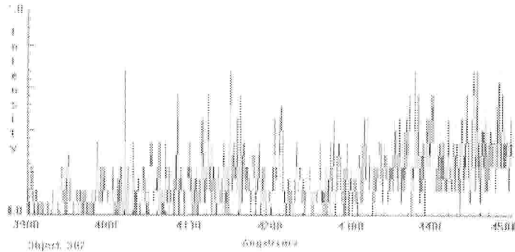
Spectral Type	Absolute Magnitude, M
G0	+1.1
G5	+0.7
K0	+0.5
K5	-0.2
M0	-0.4
M5	-0.8

Supergiants, Luminosity Class I

Spectral Type	Absolute Magnitude, M
B1	-6.4
A0	-6.2
F0	-6
G0	-6
G5	-6
K0	-5
K5	-5
M0	-5

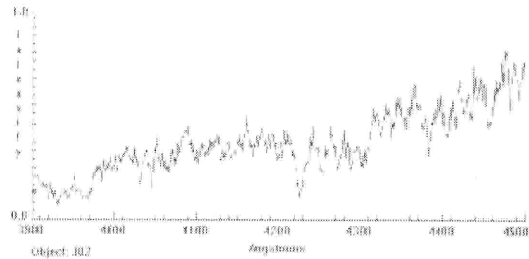
Apéndice III

¿Qué es Señal/Ruido y por qué debe preocuparme?



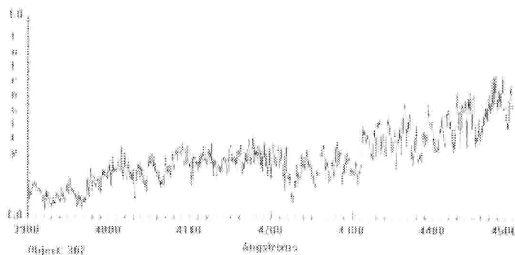
Object: 307
Apparent Magnitude: 14.92
Photon Count: 888, Per Pixel: 1
Integration (Seconds): 12

SIGNAL/NOISE
1.2



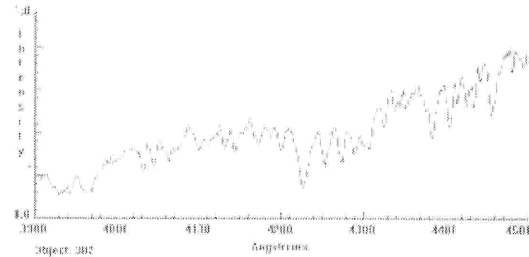
Object: 302
Apparent Magnitude: 4.92
Photon Count: 8827, Per Pixel: 708
Integration (Seconds): 132.0

SIGNAL/NOISE
10.0



Object: 308
Apparent Magnitude: 14.32
Photon Count: 13254, Per Pixel: 33
Integration (Seconds): 34.0

SIGNAL/NOISE
5.5



Object: 305
Apparent Magnitude: 14.32
Photon Count: 612036, Per Pixel: 13121
Integration (Seconds): 13191.0

SIGNAL/NOISE
100.1

Cuando los astrónomos miden el espectro de una estrella, buscan un valor preciso de la intensidad de la luz de la estrella en todas las longitudes de onda del espectro. El problema que surge cuando se desea obtener un espectro preciso es similar al de un oyente de radio girando el dial (y por tanto variando las frecuencias) para tratar de medir la intensidad de la señal de cada estación. Al igual que puede ser difícil escuchar una estación de radio con una señal débil inundada de estática, sucede lo mismo con la señal recibida de una estrella (espectro) si hay un ruido que interfiera las medidas.

Este ruido tiene dos fuentes. La primera se denomina "background noise" (ruido de fondo). Se refiere a la luz que entra en el espectrógrafo y que no procede de la estrella. La principal fuente es el cielo nocturno, incluso en noches sin luna. Procede de la luz del alumbrado de las ciudades reflejado en las moléculas y nubes de aire, y del brillo de los átomos de las capas más altas de la atmósfera, que emiten luz cuando son bombardeados por rayos cósmicos procedentes del espacio. La segunda fuente de ruido, denominada "photon" o "quantum" noise, procede del propio espectro de la estrella. Esta relacionado con el hecho de que los fotones alcanzan el espectrógrafo de una manera aleatoria. Durante largos periodos de tiempo, el número de fotones que llega, lo hace a un ritmo fijo (que depende del brillo de la estrella), pero en un corto período de tiempo, la cantidad de fotones recibidos podría variar enormemente. Así, si uno recoge fotones en un período de tiempo corto, uno podría obtener una medida errónea de la intensidad (número de fotones) a la longitud de onda dada.

Una indicación de la cantidad de ruido relativo a la señal que se quiere medir es lo que se conoce como SIGNAL TO NOISE RATIO o S/N del espectro. Si el valor es alto - un valor en torno a 100- uno puede estar seguro de que el espectro que ha medido es bastante preciso. Si es bajo - en torno a 10- estamos en el caso en que el background y el photon noise son mucho más evidentes, y las características finas del espectro se perderán en el ruido. Es similar al caso de una señal de radio débil, inundada de tal modo por la estática que el oyente apenas puede distinguir qué está diciendo el tutor. La forma de obtener un valor alto del cociente S/N es recogiendo tantos fotones de la estrella como sea posible. Esto se puede hacer con largas exposiciones y utilizando telescopios con áreas de exposición tan grandes como sea posible. Los telescopios más grandes son capaces de obtener altos valores de S/N con tiempos de exposición más cortos.

Las figuras de la página anterior, muestran cómo de importante es el valor S/N. Muestran el espectro de una estrella de magnitud 14, medido con distintos tiempos de exposición. La exposición más corta tiene un S/N de 1. Este valor es tan pequeño que es francamente difícil observar algún tipo de rasgo espectral. El espectro es mayoritariamente ruido. Lo que podrían parecer líneas de absorción y líneas de emisión son simplemente fluctuaciones aleatorias debido al pequeño número de fotones recogido. En la siguiente exposición con un tiempo de medida algo más largo, S/N es 5. La forma global del espectro comienza a aparecer, pero aún es difícil de determinar si las líneas de absorción más débiles son debidas al ruido o a la propia estrella. Sucede lo mismo con la siguiente exposición más larga de S/N igual a 10. Los rasgos generales de las líneas de absorción estelar en este caso están más o menos claros, pero los detalles finos del espectro están todavía confusos debido al ruido existente. Tan sólo en la exposición más larga, con un S/N de 100, pueden distinguirse los rasgos espectrales más finos del ruido. En un espectro con S/N de 100 o mayor, la intensidad de cada punto está precisamente dentro del 1% del valor mostrado en el trazo, y con un alto nivel de confianza puede afirmarse que las sutiles hondonadas en el espectro son rasgos del espectro estelar y no artificios del ruido.

Pero hay que hacer notar que no es fácil obtener exposiciones más largas. Para incrementar S/N de 10 a 100, digamos en un factor de 10, requiere una exposición en torno a 100 veces más larga. (¡Exposición de menos de dos minutos a más de tres horas!). Esto es debido a que S/N debido al photon noise aumenta como el cuadrado del número de fotones detectado, así que para incrementar en un factor de 10 S/N, se necesita un factor de 10^2 en el número de fotones recibido. (Incrementar S/N en un factor de dos, por ejemplo, de S/N=5 a S/N=10, requiere un aumento en la exposición de 34 seg a 112 seg, un factor 2^2 o 4)