

# ESPECTROSCOPIA CCD PRIMERAS EXPERIENCIAS

FRANCISCO VIOLAT BORDONAU, DAVID VIOLAT MARTÍN

Asesores Astronómicos Cacerseños – Agrupación Astronómica de Cádiz  
Apartado 409, E10080 Cáceres (España)  
[fviolat@yahoo.es](mailto:fviolat@yahoo.es)

**Resumen.** Presentamos un sencillo trabajo sobre las posibilidades de la Espectroscopía CCD aplicada a estudios astronómicos, los límites de la misma en función del equipo empleado, resultados prácticos, técnicas utilizadas por los autores así como numerosos espectros y espectrogramas obtenidos y analizados por nosotros con diferentes instrumentos de varios objetos astronómicos.

---

## Introducción.

En trabajos anteriores uno de nosotros (Francisco Violat) expuso las técnicas espectroscópicas digitales más básicas, especialmente la obtención de espectros por medio de redes de difracción y su captura (o *digitalización*) por medio de chips: es el caso de los espectros capturados con una webcam o cámaras fotográficas digitales ordinarias. Pueden consultarse en Internet.

Con la mejora de los equipos digitales, especialmente la difusión de los chips (webcam) y su amplio uso en la fotografía digital actual (tanto normal como astronómica) hemos creído conveniente elaborar un sencillo trabajo que ponga al día las técnicas ya expuestas con anterioridad, incluyendo nuevos proyectos, ideas, métodos de trabajo así como numerosos ejemplos, que servirán al lector para obtener sus propios resultados igualándolos o mejorándolos.

Los resultados obtenidos por los autores no son más que sencillos ejemplos que, en la mayoría de los casos, son fácilmente reproducibles o incluso mejorables sin esfuerzo alguno: los astros capturados son brillantes, los tiempos de exposición muy asequibles y el instrumental empleado idéntico al que la mayoría de los astrónomos aficionados poseen en sus observatorios. No hemos querido presentar resultados difíciles de obtener, complejos o confusos ya que consideramos que este trabajo es una simple introducción al tema: quizá en trabajos futuros busquemos, obtengamos y describamos una mayor complejidad que, en todos los casos, serán descritas paso a paso para su fácil comprensión por el aficionado no experto.

## Equipamiento.

A la hora de obtener espectros bien sean estelares (de estrellas y objetos celestes como planetas, nebulosas, galaxias, cúmulos, quasares, etc.) o de cualquier fuente luminosa (lámparas de alumbrado nocturno o incluso el fondo celeste durante la noche) se precisan dos elementos: una red de difracción, que produzca el espectro, y un elemento digitalizador (cámara fotográfica, webcam o CCD) que nos permita capturarlo, digitalizarlo y almacenarlo en formato digital.

La red de difracción que hemos empleado para obtener los resultados que aquí presentamos es comercial (marca *Star Analyzer 100*): se trata de una red de 100 líneas por milímetro montada en el cuerpo de un filtro de pulgada y cuarto, lo que permite que sea roscada en la mayoría de los oculares del mercado, CCDs comerciales y otros dispositivos ópticos de los telescopios del aficionado; esto facilita su uso en los telescopios de la mayoría de los aficionados, sin tener que adquirir o fabricar ningún otro elemento conversor. (Al enroscarse en cualquier ocular puede ser usada para la visión de espectros a simple vista.)

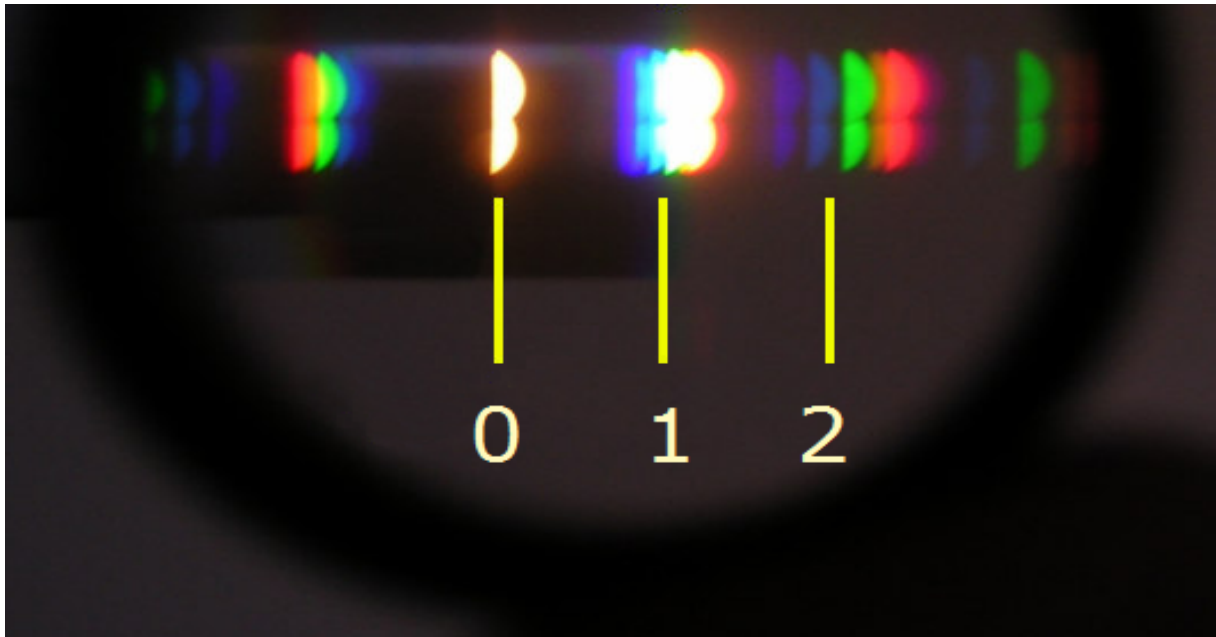


Figura 1. Fotografía de la red de difracción tomada de su propio manual: con los números 0, 1 y 2 hemos marcado los espectros de orden cero (lámpara de alumbrado doméstico), orden uno y orden dos. Las distintas imágenes de la lámpara, en color, corresponden a líneas espectrales (por ejemplo seis en el de orden dos).

Cuando observamos una fuente luminosa a través del filtro (Figura 1) apreciaremos en la parte central dicha fuente luminosa sin cambio de aspecto: es el denominado espectro de orden cero y no es más que la imagen original del objeto a estudiar. A ambos lados de la misma, simétricamente, aparecerán los diferentes espectros: el más próximo y brillante es el de orden uno con las líneas muy pegadas y poco resueltas mientras que, algo más separado, aparece el espectro de orden dos; notemos que en éste se pueden ver seis imágenes de la lámpara cada una de las cuales corresponde a una línea (o banda) espectral. Finalmente, mucho más separadas y débiles, distinguiremos levemente las líneas (o bandas) correspondientes al espectro de orden tres: la resolución es mucho mayor pero es posible que si el objeto es débil ni siquiera lo veamos.

La constitución de la red hace que la intensidad (brillo) de los espectros obtenidos a uno u otro lado del de orden cero (la imagen original) sea distinta: en la Figura 1 podemos ver que no presenta el mismo aspecto al espectro de orden uno situado a la izquierda que el situado a la derecha; el de la izquierda es más débil y podemos apreciar cuatro figuras coloreadas que, de dentro a afuera son: violeta, azul, verde y roja. El espectro de la derecha, por su parte, presenta las mismas figuras más brillantes y por eso aparecen mezcladas en una mancha multicolor que casi ha saturado el chip de la cámara fotográfica.

Podemos aprovechar este defecto (aparente) para conseguir, en una misma imagen, espectros correctamente expuestos y subexpuestos: con ello logramos que una serie de astros nos muestren sus espectros correctamente expuestos (por ejemplo los de la derecha) mientras que los del lado opuesto estarán subexpuestos. Más adelante hablaremos de esta ventaja, sobre todo cuando estudiamos cuerpos celestes de muy distintos brillos y posiciones en el cielo.

El telescopio que hemos empleado para obtener la mayoría de los espectros aquí expuestos es un catadióptrico MEADE de 203 mm de apertura y 2000 mm de focal del Observatorio Astronómico de Cáceres, al cual se le ha unido la red y una cámara CCD marca Starlight modelo SXVF-M7 de 752 x 580 píxeles con electrónica de 16 bits en blanco, grises y negro.

### Orientación de los espectros.

Dependiendo de la posición que tenga la red, que colocaremos delante de la CCD, los espectros saldrán correctamente orientados en sentido este-oeste (izquierda a derecha) o en cualquier otro ángulo. Dado que buen número de programas capaces de analizar estos espectros necesitan que éstos estén correctamente orientados (horizontalmente) será preciso girar la red, tomar espectros y volver a girarla (corrigiendo levemente su orientación) hasta que al final obtengamos espectros perfectamente orientados en sentido horizontal.

La Figura 2, tomada con el instrumental anteriormente descrito, es un espectrograma de la estrella rojiza  $\delta 2$  Lyrae, de tipo espectral M4 II y magnitud 4.30 *V* (magnitud medida con el filtro *V* Johnson, de color verde). En dicha imagen negativa (para una mejor visibilidad) podemos apreciar, dos veces, el mismo espectrograma: el superior está correctamente expuesto y muestra el espectro de orden cero (la estrella), a la derecha del cual aparece el espectro de orden uno. Vemos que la orientación de la red no era correcta del todo por lo cual el espectrograma tiene un cierto ángulo con la línea horizontal este-oeste. La parte inferior es el mismo espectrograma pero, en este caso, ha sido procesado de brillo y contraste para sobreexponer tanto la estrella como el espectro de orden uno: al hacerlo así podemos apreciar más débil, a la derecha del mismo, el de orden dos.

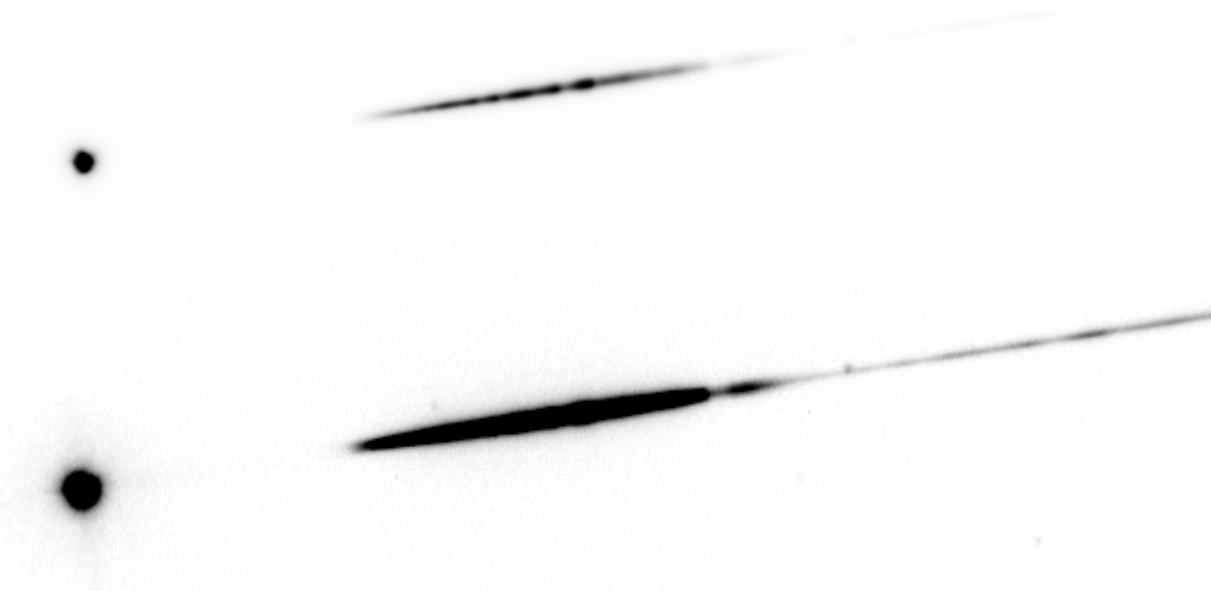


Figura 2. Espectrogramas de la estrella variable rojiza  $\delta 2$  Lyrae: la imagen superior, bien expuesta, muestra cinco bandas de absorción en el espectro de orden uno producidas por metales en la atmósfera estelar; en la inferior, sobreexpuesta, no se ven detalles en el espectro de orden uno pero sí en el de orden dos.

La visibilidad de ambos espectros, el derecho (intenso) y el izquierdo (mucho más débil), se pone de manifiesto cuando tomamos una imagen de un astro moderadamente brillante y lo centramos en el campo de la CCD: en este caso el astro aparecerá centrado y escoltado por dos bandas, una a la izquierda y otra a la derecha, que corresponden al espectro de orden uno.

¿Qué ocurre cuando trabajamos en campos estelares moderadamente ricos, como es el caso de un cúmulo estelar?: por un lado obtendremos espectros de las estrellas, tanto más intensos o débiles según el brillo propio de cada estrella, y por el otro estos espectros pueden aparecer encima o al lado de otra estrella con lo cual es posible que resulte completamente inútil. (En este caso conviene girar levemente la red para que el espectro no coincida con la estrella y sea analizable.)

Para apreciar con claridad y comprender todo lo expuesto hasta ahora hemos tomado un espectrograma del cúmulo abierto Stephenson 1, que rodea la brillante estrella rojiza  $\delta 2$  Lyrae y mostramos en la Figura 3. Se trata de un joven agrupamiento de estrellas (de 50 a 90 millones de

años de edad) con astros entre las magnitudes 4.30  $V$  ( $\delta 2$  Lyrae) y la 13-14  $V$  aproximadamente con colores que van desde el azul al rojo. Dado que trabajamos en tonos de gris nuestro espectrograma no captará los colores, evidentemente, aunque sí diferencias entre ellos debido al color (tipo espectral) de cada estrella: más adelante trataremos esta cuestión en profundidad.

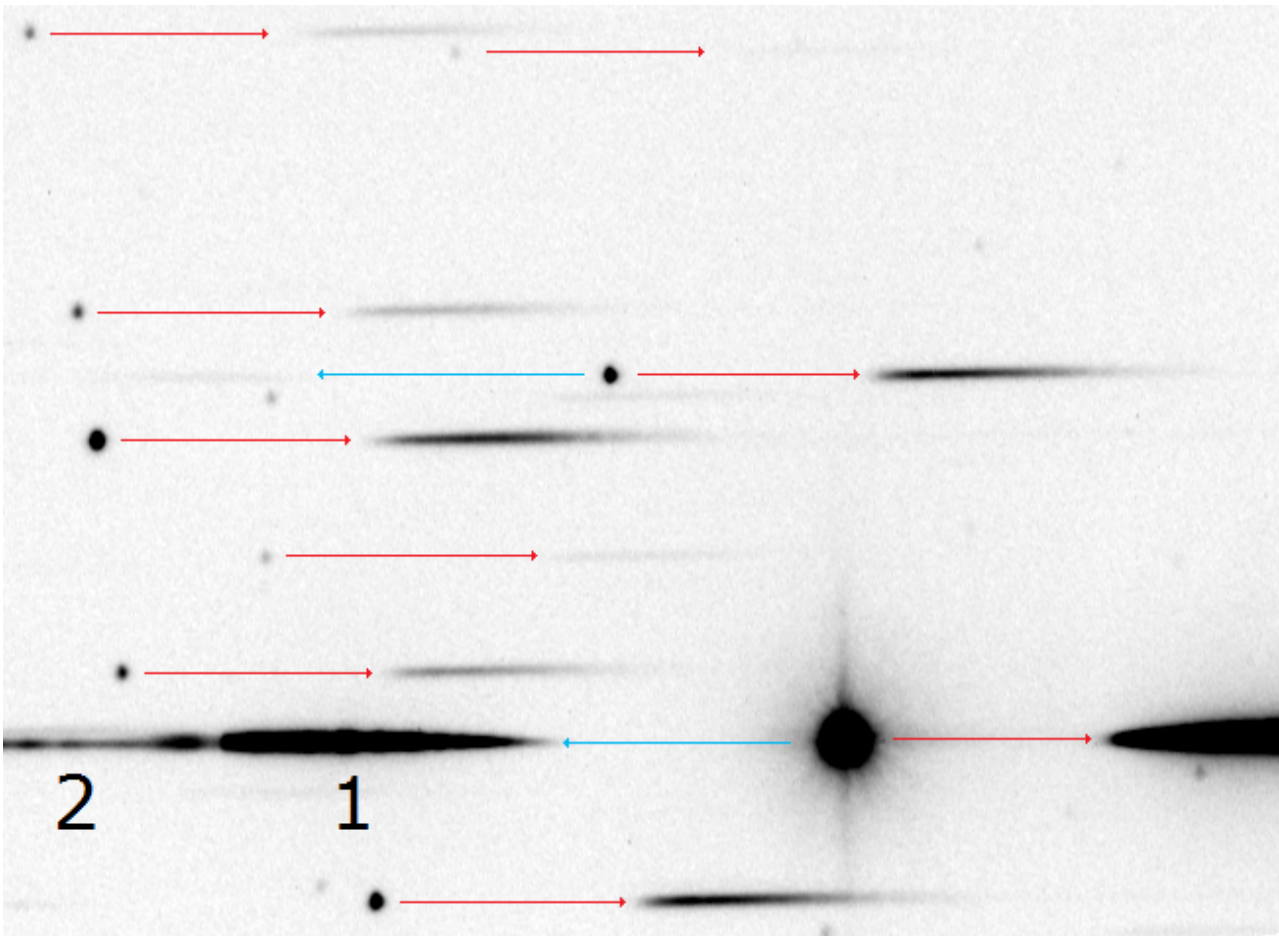


Figura 3. Espectrograma en negativo de la zona central del cúmulo abierto Stephenson 1: el brillante astro de la parte inferior (norte) es la variable roja  $\delta 2$  Lyrae. Con líneas rojas hemos unido el espectro de orden uno –derecho– de cada una de las estrellas que lo originan, con líneas azules los espectros –izquierdos– del mismo orden pero situados a la izquierda de cada estrella. En el caso de  $\delta 2$  se puede notar que el izquierdo es más débil que el derecho; también se pueden ver los espectros de orden uno (marcado con 1) y orden dos (marcado con el 2).

Lo primero que apreciamos es que las estrellas (espectro de orden cero) son muy visibles como astros puntuales de distinto tamaño según el brillo propio: cuanto más brillantes más “gordas” aparecen. Después notamos que a la derecha de las mismas –correctamente orientados– se ven con claridad, tanto más intensos cuanto más brillante sea la estrella, los espectros de orden uno: han sido unidos con líneas rojas a cada una de sus estrellas progenitoras, para mayor claridad. Vemos, sin embargo, que dos estrellas (la brillante  $\delta 2$  Lyrae y otra situada más arriba de la misma) presentan el espectro de orden uno débil a su izquierda: han sido unidos a sus estrellas progenitoras con líneas azules. En el caso de la estrella  $\delta 2$  se precian claramente dos espectros: el de la derecha (parcialmente) y el de la izquierda completo; el de la izquierda, por su parte, consta del espectro de orden uno (marcado con el 1) y el de orden dos (número 2): el primero de ellos es tan brillante que aparece sobreexposto, sin detalles, mientras que el segundo llega a mostrar las distintas bandas de absorción debidas a elementos químicos de la atmósfera estelar. El tiempo de exposición fue de 17 segundos por lo que llegan a distinguirse, en el límite, espectros de astros de magnitud 11.83  $V$ .

Los espectrogramas que obtenemos con este equipamiento son de baja resolución debido al reducido número de líneas por milímetro: sin embargo son lo suficientemente buenos como para llegar a mostrar líneas y bandas espectrales. Si sabemos procesar la imagen podemos extraer de ella más información de la que aparentemente hemos obtenido y podemos ver.

La Figura 4 presenta los espectros en color de las estrellas  $\delta$  y  $\alpha$  Virginis obtenidos con una webcam de tipo TouCam Pro y tomados del manual de la red de difracción: los dos superiores son los originales, los inferiores los hemos creado con *Photoshop* empleando el filtro “desenfocado por movimiento”. Incluso un ojo no entrenado en el análisis espectroscópico puede apreciar la enorme diferencia existente entre los originales y los que hemos obtenido nosotros.

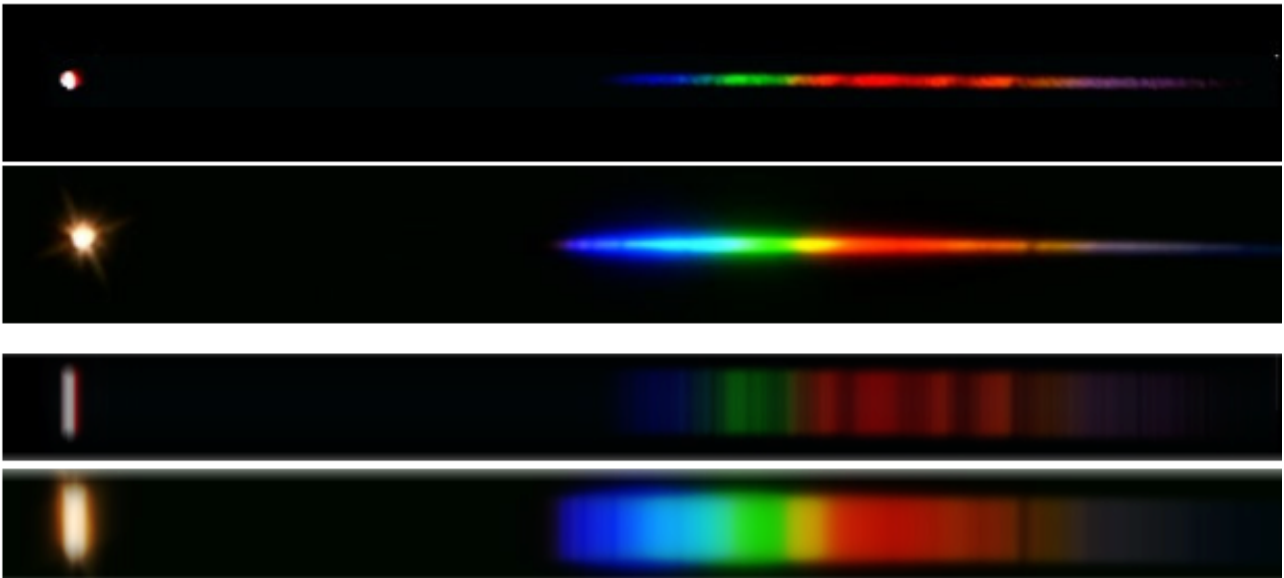


Figura 4. Espectrogramas de las estrellas  $\delta$  Virginis (superior) y Spica,  $\alpha$  Virginis (inferior), capturados con una webcam: en ellos apenas si pueden apreciarse líneas o bandas espectrales. Los inferiores no son más que dichos espectros procesados con Photoshop para “alargarlos”: son fácilmente visibles líneas y bandas en el espectro de  $\delta$  Vir (debidas a metales) así como las líneas del hidrógeno en Spica; el detalle más evidente es este último espectro es una ancha banda –en la zona del infrarrojo– debida al oxígeno de nuestra atmósfera (línea *telúrica*).

Los dos superiores son tan delgados que se pueden intuir en ellos líneas o bandas, pero no están claras y cuesta mucho trabajo saber si en la estrella  $\delta$  Vir (astro frío de tipo espectral M) se pueden ver cuatro o cinco bandas y alguna línea; en Spica (de tipo espectral A) sí se llegan a ver cuatro líneas (una de ellas *ancha*) pero tampoco se aprecian con demasiado claridad. Los dos inferiores, de mucha mayor anchura, permiten comprobar la enorme diferencia existente entre ambos astros: el primero de ellos no sólo tiene la zona azul-violeta más débil sino que es factible contar todas y cada una de las líneas y bandas existentes; el segundo, por su parte, muestra claramente las líneas del hidrógeno en la zona azul del espectro: el detalle más evidente en este espectro corresponde a una de las bandas (la línea *ancha*) debida a la atmósfera terrestre, la cual aparece en la zona infrarroja del espectro. (Las webcams y CCDs son más sensibles al rojo e infrarrojo: por ello son capaces de capturar las bandas o líneas de esta zona.)

Nosotros hemos trabajado con una CCD en blanco, grises y negro como ya hemos indicado; sin embargo ello no nos ha impedido capturar espectrogramas detallados, pese a que no sean en color. En nuestro caso hemos utilizado siempre el espectro de orden uno más brillante, que es el que se obtiene a la derecha del astro que deseamos estudiar: las tres imágenes anteriores son un buen ejemplo de ello.

Con nuestro equipo se obtienen espectros de baja resolución (en torno a tres nanómetros por píxel trabajando a foco primario) que permiten estudiar astros moderadamente débiles dependiendo del tiempo de exposición empleado y del instrumento con el que se trabaje. En el caso de M13, cúmulo globular empleado como “test” de magnitudes límites, usando el catadióptrico de 254 mm de diámetro y 2500 mm de focal del Observatorio de La Sagra (Granada) hemos registrado espectros de astros de magnitud 13.5  $V$  con exposiciones de apenas 20 segundos subiendo a la magnitud 14  $V$  alargando las exposiciones hasta los 40 segundos. La imagen 5, en negativo, es uno de estos espectrogramas. (En Cáceres, con un telescopio de menor abertura y focal, la magnitud límite es próxima a la 13  $V$  con integraciones de 25-30 segundos aunque estos espectros son ya prácticamente inútiles por su extrema debilidad.)

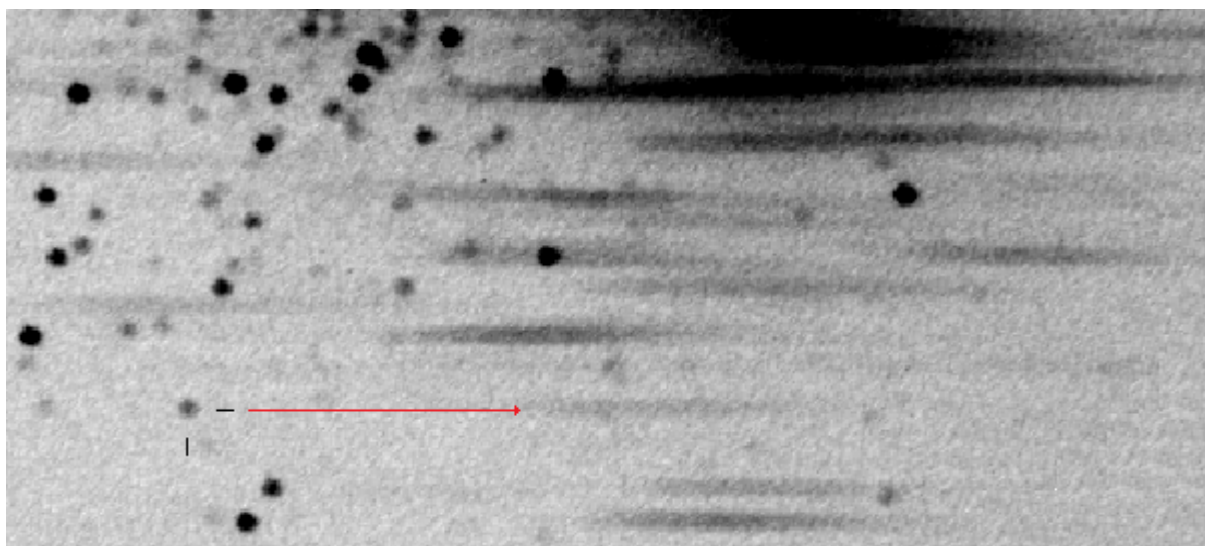


Figura 5. Parte de un espectrograma CCD del cúmulo globular M13 obtenido desde el Observatorio de La Sagra (Granada) el 20 de septiembre de 2008. Se aprecian claramente las estrellas en la zona sur del cúmulo (izquierda en la imagen) mientras que los espectros pueden verse, con distinta intensidad, alargándose en dirección norte. Las líneas marcan la posición de L109, astro de magnitud 13.32  $V$ , y la línea roja su espectro. Norte a la derecha y este arriba.

La Figura 5 muestra parte de uno de los espectrogramas, en negativo para una mejor reproducción y examen, obtenido por uno de los autores de la zona sur del cúmulo globular M13 la noche del 20 de septiembre de 2008: para ello empleó el telescopio ubicado en La Sagra (Granada), a foco primario, con un tiempo de integración de 16 segundos. Pueden apreciarse las estrellas de la zona sur del cúmulo (a la izquierda) mientras que sus espectros, una veintena de bandas alargadas de dispar intensidad, se ven en la zona central de la imagen extendiéndose de izquierda a derecha; la parte izquierda de cada espectro corresponde al color violeta, la derecha al color rojo. En la parte superior del espectrograma se aprecian dos espectros unidos (el de la variable V11 y el de la estrella azul L222) así como el núcleo del cúmulo. Todos los astros, excepto L222, son estrellas de color ambarino o amarillento, de tipos espectrales F y G, que corresponden a estrellas de tipo *gigante roja* situadas en la cima del “brazo de las gigantes rojas” en el diagrama H-R del cúmulo.

La estrella más débil cuyo espectro puede apreciarse todavía con claridad es Ludendorff 109 (también conocida como Barnard 8), de magnitud 13.32  $V$  (según SIMBAD), que hemos señalado con un par de líneas: su espectro puede apreciarse en el centro del campo marcado con una flecha. No es fácil identificar líneas en ninguno de los espectros debido a la debilidad de las mismas, al tratarse de estrellas de Población II pobre en metales y presentar magnitudes por encima de la 12  $V$ .

Para efectuar un análisis del espectro es preciso obtener el *perfil* del mismo (*perfil espectral* si lo deseamos), representando en un eje horizontal los píxeles del chip –posición– y en un eje vertical la intensidad de la carga de cada píxel (brillo): con ello se consigue visualizar la distribución de la

energía en función de la longitud de onda –o color–, pudiendo comprobarse en qué zona del mismo aparece el máximo brillo así como las distintas líneas o bandas existentes en el espectro.

La Figura 6 presenta el espectro de la estrella variable rojiza  $\delta 2$  Lyrae, de tipo M4 II, que aparecía también en las Figuras 2 y 3; en la parte superior vemos un negativo del espectro mientras que en la parte inferior hemos representado el perfil espectral del mismo: visualmente notamos hasta seis bandas distintas debidas a los óxidos de Titanio (TiO) y otros metales, bandas que aparecen con toda claridad en el perfil como “valles” anchos al lado de “picos”; el violeta y azul están en la parte izquierda de la imagen, el rojo e infrarrojo en la derecha.

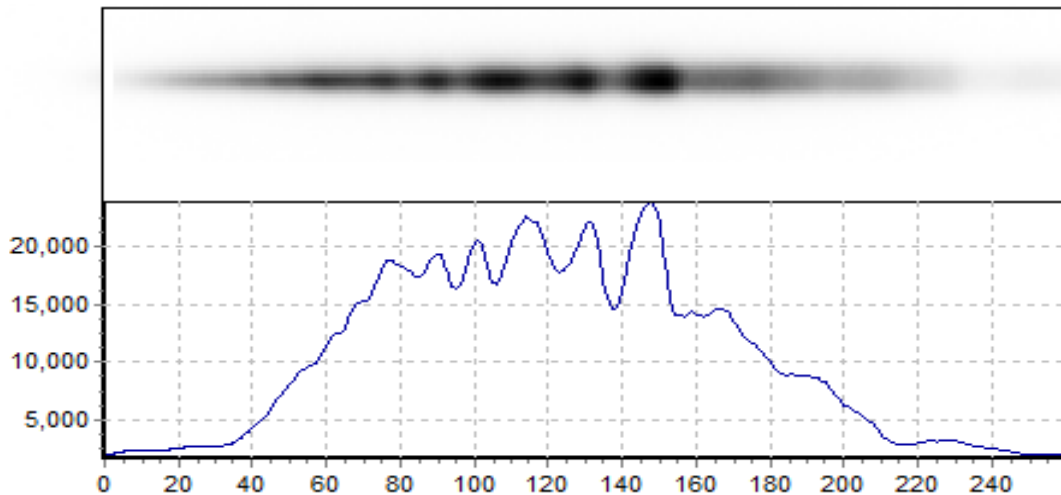


Figura 6. Negativo del espectro de la estrella roja  $\delta 2$  Lyrae (parte superior) y perfil espectral de la misma (parte inferior) obtenidos con *AstroArt*: pueden apreciarse seis bandas debidas a los óxidos metálicos.

Debido a que el chip de la CCD empleada trabaja en el rango 400-1000 nanómetros (del violeta al infrarrojo cercano) el perfil –o intensidad relativa– de los espectros obtenidos depende de dos factores: por un lado el color propio de la estrella (temperatura superficial, según el tipo espectral de la misma) y por otro la sensibilidad del chip a cada longitud de onda (respuesta espectral). Mientras que las estrellas calientes (de tipos O, B y A) presentan su máximo brillo en la zona violeta y azul del espectro las estrellas moderadamente calientes (tipos F y G) tiene su máximo en la zona central (verde y amarillo), siendo la zona naranja y roja donde las estrellas frías (de tipo K, M y posteriores) presentan esta máxima intensidad. Esta cualidad permite que, con un simple vistazo, incluso una persona no experta en este campo pueda reconocer de una manera sencilla pero precisa el tipo espectral aproximado de una estrella.

Podemos verlo con un buen ejemplo en la Figura 7 que corresponde a perfiles espectrales de cuatro estrellas distintas situadas en torno a la brillante estrella múltiple (de tipo óptica, no orbital) 17 Lyrae. De izquierda a derecha y arriba a abajo podemos distinguir sin problemas los perfiles de una estrella azul, una blanca, una naranja y una enana roja, muy fáciles de identificar dependiendo de la “asimetría” de los mismos en la zona azul o la roja: las estrellas asimétricas con el máximo brillo a la izquierda son calientes (O y B) mientras que las estrellas asimétricas con el brillo a la derecha son frías (K, M y posteriores); las estrellas con el máximo más o menos simétrico en el centro corresponden a los tipos F y G. (Si hubiésemos empleado los espectros obtenidos a la izquierda del de orden cero, más débiles, los perfiles espectrales obtenidos serían especulares: la zona violeta estaría a la derecha y la roja a la izquierda, al contrario de lo que ocurre ahora.)

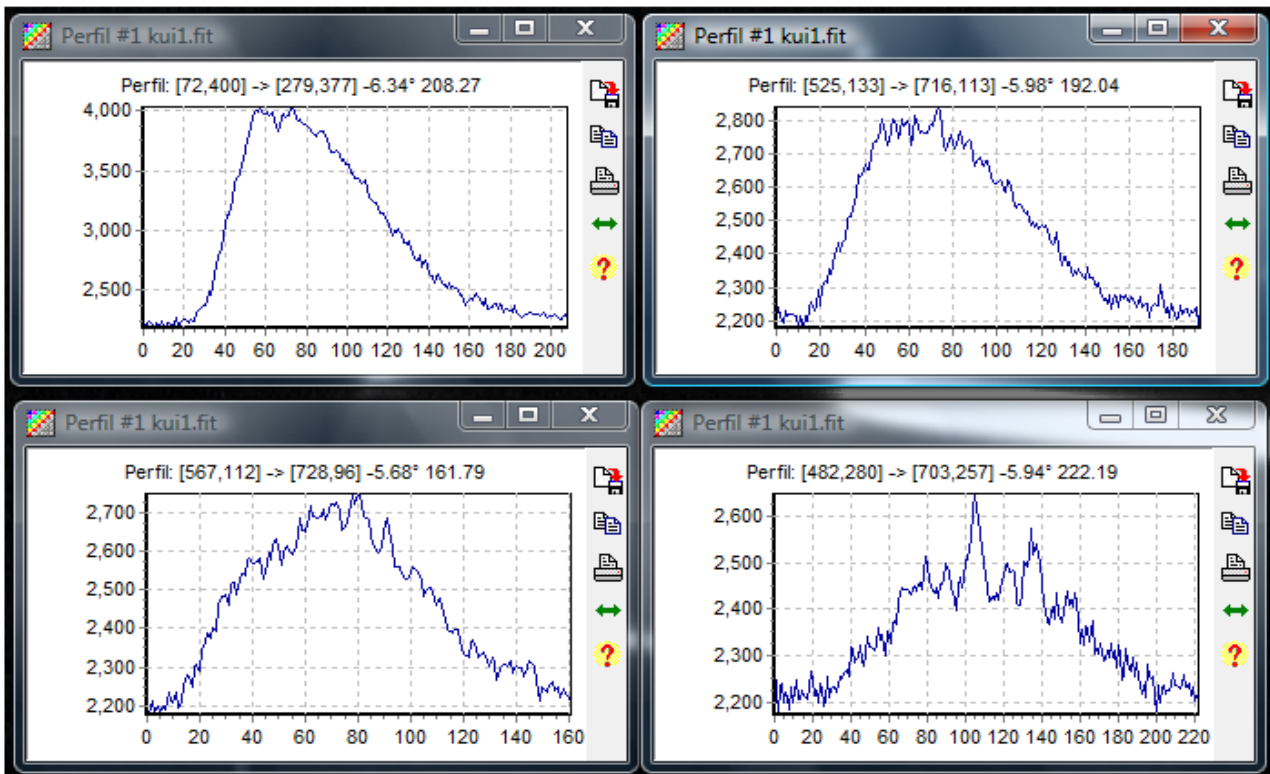


Figura 7. Perfiles espectrales de cuatro estrellas del sistema múltiple óptico 17 Lyrae: de izquierda a derecha y arriba a abajo corresponden a una estrella azul, una blanca, una naranja y una enana roja (Kuiper 90); en este último caso son evidentes las bandas debidas a los óxidos de Titanio y otros metales, típicas en estrellas de baja temperatura superficial.

Notemos además que las líneas son más evidentes a medida que los tipos espectrales son más avanzados: son escasas en las dos primeras estrellas calientes, abundan más en la estrella templada y son notorias en la estrella enana roja fría: en este último caso son muy notables las líneas y bandas debidas a los óxidos metálicos, especialmente el Titanio (TiO), así como el debilitamiento de la zona violeta y azul que en todos los espectros está situado entre los píxeles 20 y 50. Puede comprobarse también que a medida que la estrella es más fría comienzan a verse con facilidad las líneas: sólo unas pocas en los astros calientes, algunas en los astros templados y muchas en los fríos. (La intensidad de las últimas tres estrellas es casi la misma: entre 2800 y 2600 cuentas.)

De los perfiles espectrales extraeremos toda la información sobre el astro que estemos estudiando: líneas, bandas, zona en la que aparece su máxima intensidad (o *asimetría*, como ya hemos comentado) y debilitamiento de la zona violeta-azul en los astros rojizos. Ahora bien: existen numerosos programas astronómicos para el procesamiento de la imagen digital, tanto de uso general como fotométricos y astrométricos, los cuales son capaces de representar estos perfiles. ¿Qué programa usaremos?, ¿cuál de ellos es mejor?, ¿cuáles son los resultados?

Nosotros hemos probado con tres de ellos trabajando en el espectro de la gigante roja  $\delta 2$  Lyrae y obteniendo los desiguales resultados que presentamos en la Figura 8.

El primer programa utilizado ha sido AIP4WIN: pensado para el procesamiento digital y la fotometría posee una sencilla herramienta capaz de obtener y representar perfiles espectrales; con él hemos obtenido el primero de ellos, arriba a la izquierda. El lector puede ver parte del espectro de orden uno de la parte izquierda, a la izquierda de la imagen, el espectro de orden cero (la imagen de la estrella) en el centro y el espectro de orden uno de la derecha, así como parte del espectro de orden dos a la derecha del todo. Todos ellos aparecen poco detallados y muy pequeños.

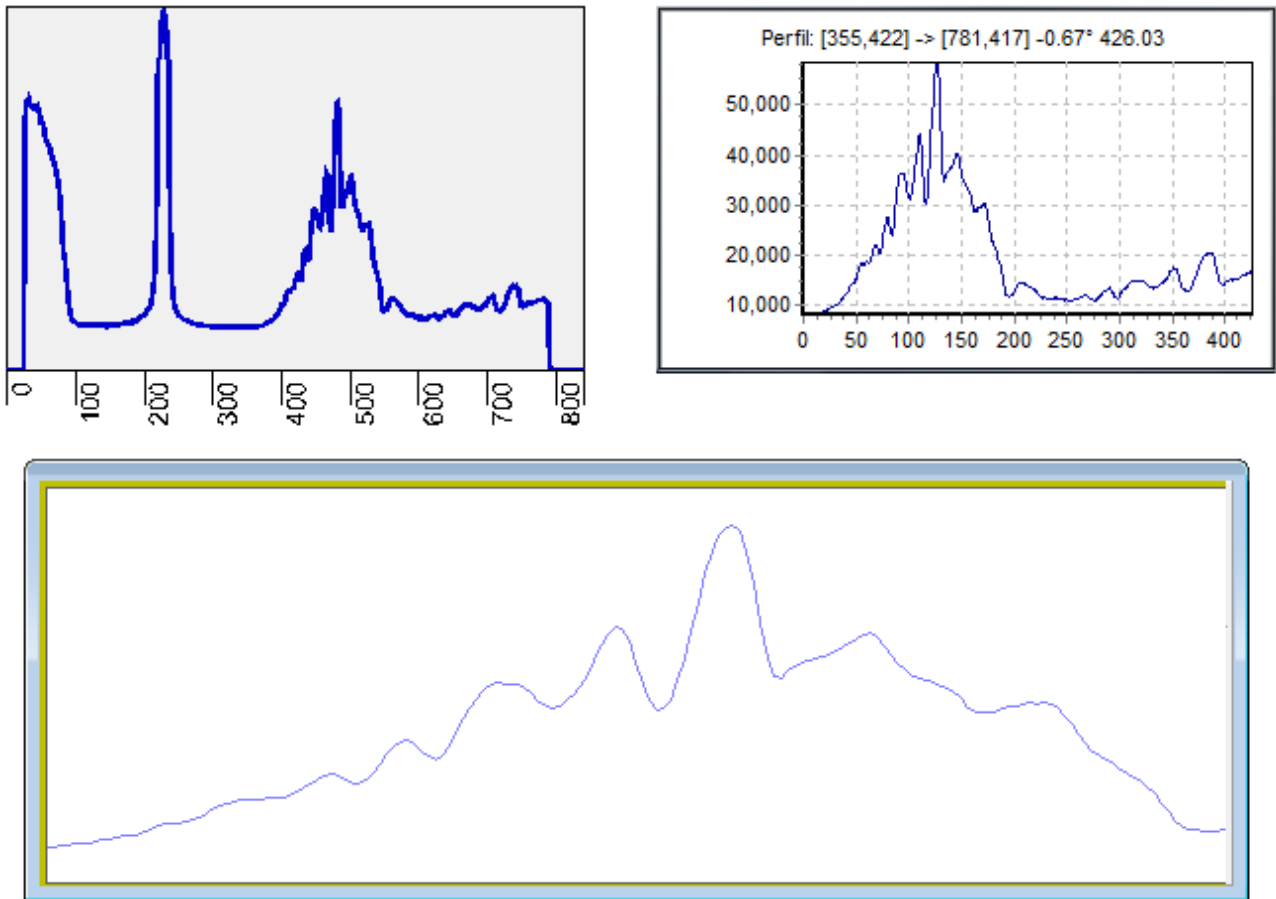


Figura 7. Perfiles espectrales de la estrella variable roja  $\delta 2$  Lyrae obtenidos con los programas AIP4WIN (arriba a la izquierda), AstroART (arriba a la derecha) y Visual Spec (abajo). En el primero de ellos se ven los espectros de orden uno izquierdo y derecho a ambos lados del espectro de orden cero (pico brillante), así como parte del espectro de orden dos a la derecha del todo. En el segundo se aprecian los espectros de orden uno y dos con sus bandas de absorción bien visibles mientras que en el tercero, abajo del todo, son muy evidentes los detalles del espectro de orden uno.

El segundo programa, AstroART, produce perfiles con mayor detalle: de este modo aparecen los ejes  $x$  e  $y$  con información (número de píxeles e intensidad de los mismos), vemos el espectro de orden uno (intenso) con sus bandas detalladas mientras que el espectro de orden dos es más débil, pero presenta las bandas más separadas al tener una mayor resolución.

El último programa, Visual Spec, produce perfiles muy detallados en los cuales no sólo es factible conseguir una mayor resolución sino que podemos medir la anchura de las líneas o bandas, la posición exacta (una vez calibrados con líneas de posición conocidas), el corrimiento de estas líneas con respecto a líneas patrón inmóviles (líneas telúricas, por ejemplo), etc. De los tres es el más potente aunque el más complejo de utilizar por sus amplios requerimientos técnicos.

Dado que este primer artículo sólo pretende ser una sencilla introducción a la espectroscopía CCD será el segundo de ellos, AstroART, el que utilizemos habitualmente; cuando consigamos una mayor experiencia, en el futuro, pasaremos ya a Visual Spect.

¿Qué capacidad de resolución se puede conseguir con nuestro sistema óptico? ¿Podemos determinarla?, ¿es alta? ¿Hay alguna manera de aumentarla? Para ello nada mejor que comparar un espectro profesional de una estrella roja  $\delta 2$  Lyrae, ya analizada repetidamente, con el obtenido por nosotros con el equipo que ya hemos descrito anteriormente.

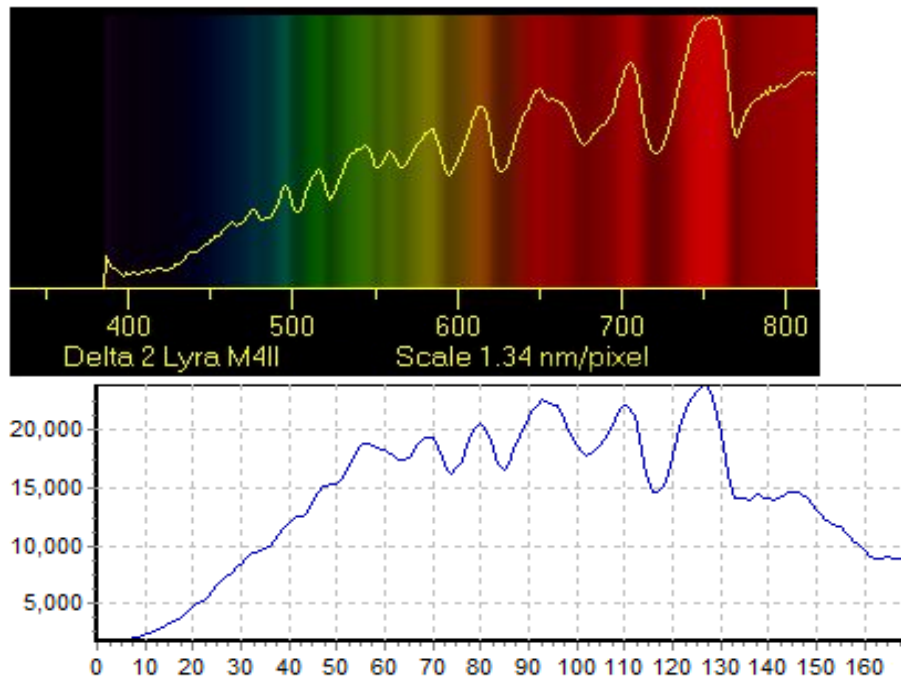


Figura 8. Perfiles espectrales de la estrella variable roja  $\delta 2$  Lyrae: arriba uno profesional, abajo el nuestro representado con el programa AstroART. En el primero de ellos, en color, aparece la escala: 1.34 nanómetros/píxel. Como podemos ver ambos son comparables salvo en la zona azul-violeta: esto es debido a la respuesta espectral del chip empleado.

La Figura 8 muestra dos perfiles: uno de ellos en la parte superior, superpuesto al espectro en color, obtenido por un equipo profesional mientras que el otro, en la parte inferior, ha sido obtenido por nosotros con AstroART analizando nuestro espectro. Ambos han sido desplazados para hacerlos coincidir: al hacerlo así vemos que existe una total concordancia entre las distintas bandas, llegando a contarse diez en el profesional y nueve en el nuestro; al ser diferente la respuesta espectral del chip empleado en nuestro caso la parte violeta-azul es débil, no así la infrarroja que se extiende hasta los 1000 nanómetros aproximadamente (sección que falta en el profesional). La marca de los 500 nm coincide con el píxel 40 y la marca de los 700 nm con el píxel 110, por lo que 200 nanómetros cubren 70 píxeles: la resolución es de 2.86 nm/píxel aproximadamente.

La resolución obtenida depende de varios factores, entre los cuales el más importante es el poder dispersante de la red empleada: a mayor número de líneas mayor poder dispersor (resolución espectral); por desgracia no podemos utilizar cualquier red para obtener espectros completos y detallados. Debido al tamaño finito del chip (por ejemplo 750 píxeles de ancho en las cámaras de aficionado) un espectrograma que ocupase más de, digamos, 700 píxeles correría el riesgo de no caber completo en la imagen obtenida: en este caso registraríamos sólo parte de los espectros; serían más detallados pero incompletos, lo cual seguramente no nos complacerá. Esto nos obliga a utilizar redes con un número bajo de líneas, en torno a 100-200 como máximo, so pena de obtener espectros tan anchos y detallados que no nos quepan enteros en el campo del chip.

### Líneas telúricas.

Al obtener espectros estelares y compararlos con los profesionales notaremos, en la parte roja e infrarroja de los mismos, la presencia de líneas y bandas muy notorias que en aquéllos no aparecen: son debidas a la atmósfera terrestre, principalmente el oxígeno y el vapor de agua, y reciben el nombre de *líneas telúricas* al originarse en nuestro planeta y no en las estrellas; por ello están presentes en todos los espectros celestes que tomemos (sol, estrellas, planetas...).

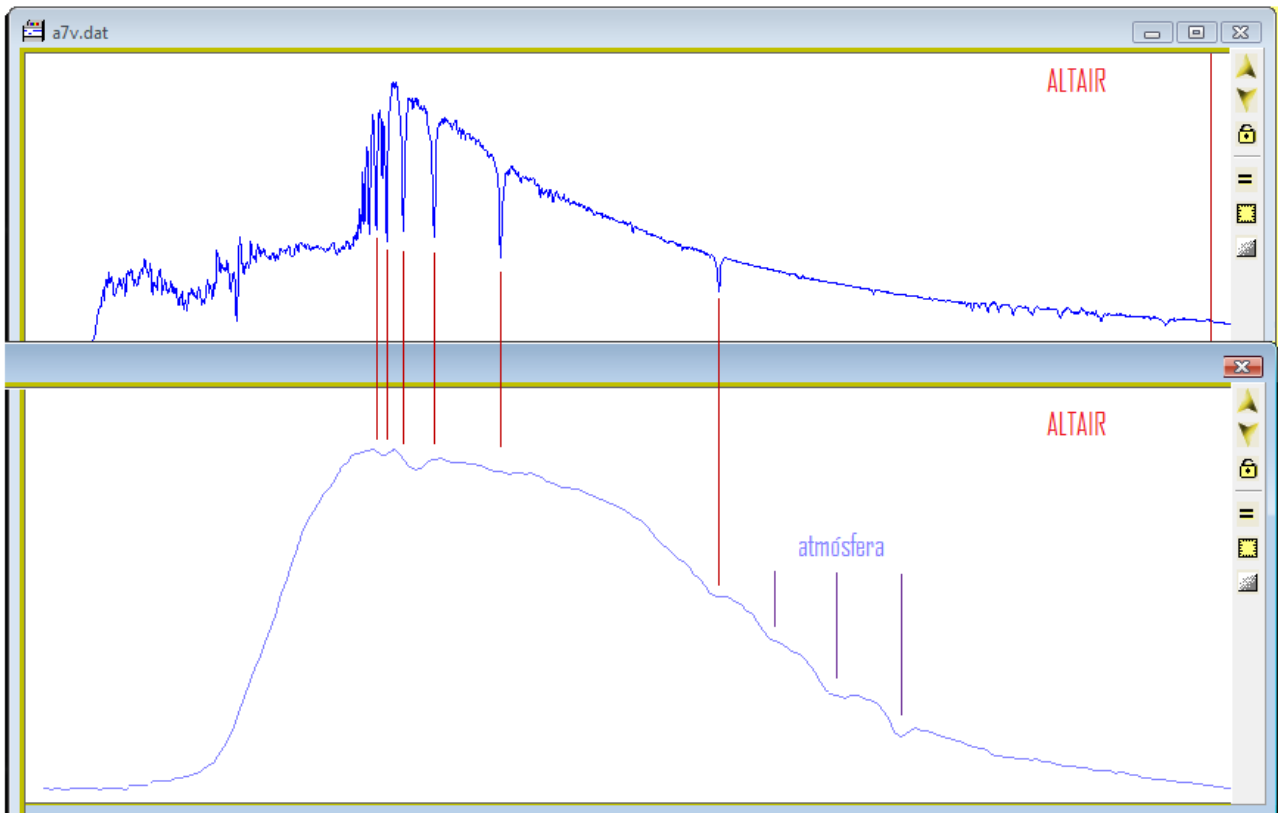


Figura 9. Perfiles espectrales de la estrella Altair obtenidos con un equipo profesional (arriba) y con nuestro montaje (abajo): hemos identificado con trazos seis líneas pertenecientes a la estrellas así como tres líneas y bandas telúricas, debidas a la atmósfera terrestre. Notemos la diferencia de los perfiles debido a la respuesta espectral del chip.

La figura 9 muestra los perfiles espectrales de la estrella caliente Altair tomados por dos equipos distintos: en la parte superior uno profesional, en la inferior el que nosotros hemos obtenido. Aparte de la diferencia entre ellos en la parte azul-violeta, debida a la dispar respuesta espectral, podemos comprobar que logramos identificar hasta seis líneas distintas perteneciente a la atmósfera estelar producidas principalmente por el hidrógeno. En la parte roja e infrarroja de nuestro espectro hemos marcado tres bandas originadas por la atmósfera terrestre: aparecen en los 687.5, 720.0 y 759.5 nanómetros respectivamente.

### Espectros planetarios.

Es posible obtener el espectro de todos los planetas del Sistema Solar con nuestro equipamiento; evidentemente será más fácil capturar los de Venus y Júpiter, dado sus elevados brillos, pero también el resto de los planetas incluyendo los más distantes y débiles Urano y Neptuno. Cuando hemos elaborado este trabajo Saturno era el único planeta visible y le hemos dedicado también algunas horas.

Como en casos anteriores cuando tomamos un espectrograma de Saturno conseguimos una imagen del planeta con sus anillos sin alterar (espectro de orden cero) y el espectro del planeta y sus anillos a la derecha e izquierda del mismo (espectros de orden uno).

La Figura 10 corresponde a un espectrograma del planeta, con sus anillos, que mostramos en positivo para una mejor reproducción de las líneas telúricas: en primer lugar vemos que el planeta aparece “tumbado”, requisito fundamental para poder obtener el espectro de los anillos; si no lo hacemos así el resultado mostrará, mezclados, el espectro del planeta y el de los anillos.

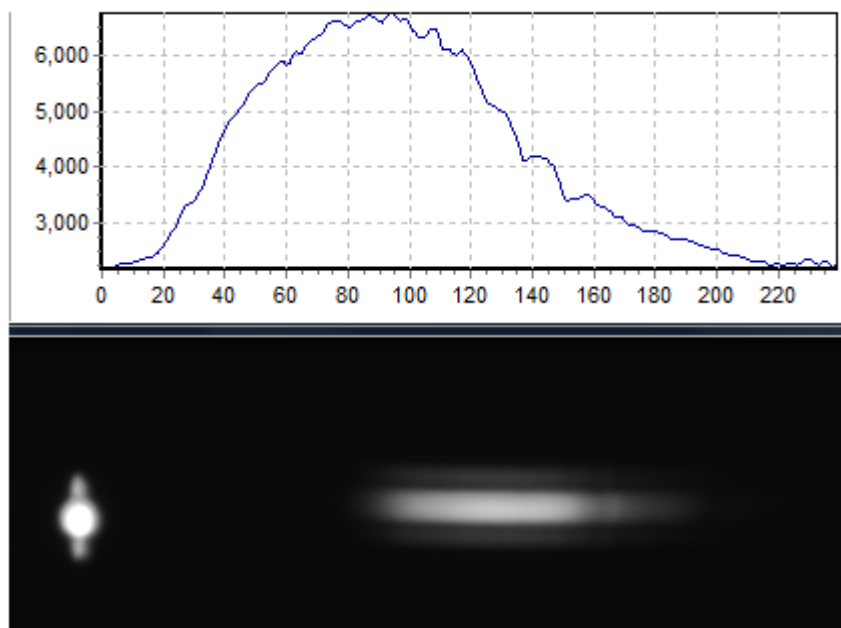


Figura 10. Espectrograma del planeta Saturno con sus anillos: podemos apreciar algunas líneas, correspondientes al espectro solar reflejado, así como líneas telúricas en la parte roja e infrarroja de los espectros; el perfil es el de una estrella de tipo G: el Sol.

Notemos que del planeta Saturno aparecen tres espectrogramas: uno en el centro, brillante, producido por el disco planetario y otros dos a los lados, más débiles, originados por los anillos. El perfil espectral de la parte superior corresponde a los anillos: las líneas más evidentes, en la parte roja e infrarroja, han sido producidas por las líneas y bandas telúricas; el resto son líneas del espectro solar reflejadas por el polvo e hielo de las partículas que forman los anillos. Como curiosidad podemos mencionar que por la forma simétrica del espectro, con la parte violeta débil, hemos registrado la luz emitida por una estrella amarillenta de tipo espectral G: nuestro Sol.

En resumen: una sencilla red de difracción de apenas 100 líneas por milímetro, acoplada a una cámara CCD y un pequeño telescopio de 203 mm de abertura, es capaz de permitirnos iniciarnos en el mundo de la espectroscopía astronómica obteniendo resultados de interés; no son de alta calidad, debido a la sencillez de la red, pero sí podemos realizar interesantes trabajos.

## EN INTERNET

### Espectrografía con webcam (I)

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf900/espectografia-con-webcam/espectografia-con-webcam.pdf>

### Espectrografía con webcam (II)

<http://personal.telefonica.terra.es/web/astrolleida/espec/Espectros%20II.pdf>

### Astronomía con CCD

<http://www.monografias.com/trabajos-pdf900/astronomia-con-ccd/astronomia-con-ccd.pdf>

### Espectroscopía CCD (página web del G.E.A.)

<http://www.astrogea.org/instrumental/espetecs.htm>

### Espectroscopía (Wikipedia)

<http://es.wikipedia.org/wiki/Espectroscopia>