

ESTUDIO ESPECTROSCÓPICO DEL CÚMULO ABIERTO STEPHENSON 1 (II). δ2 LYRAE

FRANCISCO VIOLAT BORDONAU^{1,2}, DAVID VIOLAT MARTÍN¹

1. Asesores Astronómicos Cacerseños, Apartado 409, E10080 Cáceres (España), fviolat@yahoo.es

2. Agrupación Astronómica de Cádiz, Cádiz (España), <http://aacadiz.com/>

Resumen. Hemos obtenido espectrogramas de baja resolución (~2.9 nanómetros/píxel) del joven cúmulo abierto Stephenson 1, situado alrededor de la estrella variable δ2 Lyrae, durante doce noches entre el 23 de junio y el 27 de noviembre de 2008. En este segundo trabajo nos centramos en la brillante estrella variable δ2 Lyrae de la cual hemos obtenido espectrogramas, perfiles espectrales e identificado sus principales líneas de absorción.

En un trabajo anterior (Violat y Violat, 2010) expusimos los primeros resultados que obtuvimos al estudiar espectroscópicamente el joven cúmulo abierto Stephenson 1; para todos aquellos lectores que no hayan tenido la oportunidad de consultarlo podemos decir que para llevarlo a cabo utilizamos dos telescopios distintos: al comienzo de la campaña (desde el 20 de junio de 2008), el catadióptrico de 254 mm de diámetro y 2500 mm de focal del Observatorio de La Sagra (Granada) y desde el 1 de octubre el telescopio del Observatorio Astronómico de Cáceres (un catadióptrico de 203 mm de diámetro y 2000 mm de focal), a los que se acoplaron la red y una cámara CCD marca Starlight Xpress modelo SXVF-M7 de 752 x 580 píxeles (con electrónica de 16 bits) en blanco, grises y negro, capaz de trabajar entre los 360 y 1000 nanómetros: del ultravioleta cercano al infrarrojo cercano; una descripción de este equipamiento y algunos resultados ya aparecieron publicados en un trabajo nuestro anterior (Violat y Violat, 2009).

La rueda portafiltros contenía, además de los filtros fotométricos *V* y *R* Johnson, una red de difracción comercial de 100 líneas por milímetro montada en el cuerpo de un filtro de pulgada y cuarto, con la cual se pudieron obtener espectrogramas de baja resolución y amplio campo de gran cantidad de estrellas del cúmulo entre las magnitudes 4 y 12 aproximadamente: la Figura 1 de nuestro anterior trabajo es un buen ejemplo ya que permite apreciar los espectrogramas de estrellas tan brillantes como δ2 Lyr (en torno a la magnitud 4.25 *V* aunque es levemente variable) y tan débiles como GSC-2651-0671 (magnitud 12.09 *V*).

Como ya explicamos en un trabajo anterior en la mayoría de las estrellas sólo se podía apreciar con facilidad el espectro de orden I, aunque en algunos astros brillantes (por ejemplo las estrellas δ1 y δ2 Lyr) se capturaron los espectros de orden I y II: en este caso se obtuvieron resultados duplicados ya que las líneas visibles en el primer espectro aparecían, con idéntico aspecto, en el segundo aunque éste era más débil pero, por contra, mostraba una mayor resolución. Este hecho puede apreciarse con facilidad en la Figura 1: en ella mostramos, en dos paneles diferentes, dos espectrogramas distintos obtenidos con tiempos de integración diferentes; el de la parte superior permite ver correctamente expuesto el espectro de orden I (marcado con este nombre) y sus bandas de absorción pero, por contra, apenas si deja entrever débilmente el espectro de orden II (rotulado con este nombre). El espectrograma del panel inferior, capturado con un tiempo de integración mayor, nos ofrece el espectro de orden I sobreexpuesto en el que ya no apreciamos más que una banda pero, por contra, muestra correctamente expuesto el espectro de orden II en el que podemos contar entre 7 y 8 bandas de absorción debida a los metales.

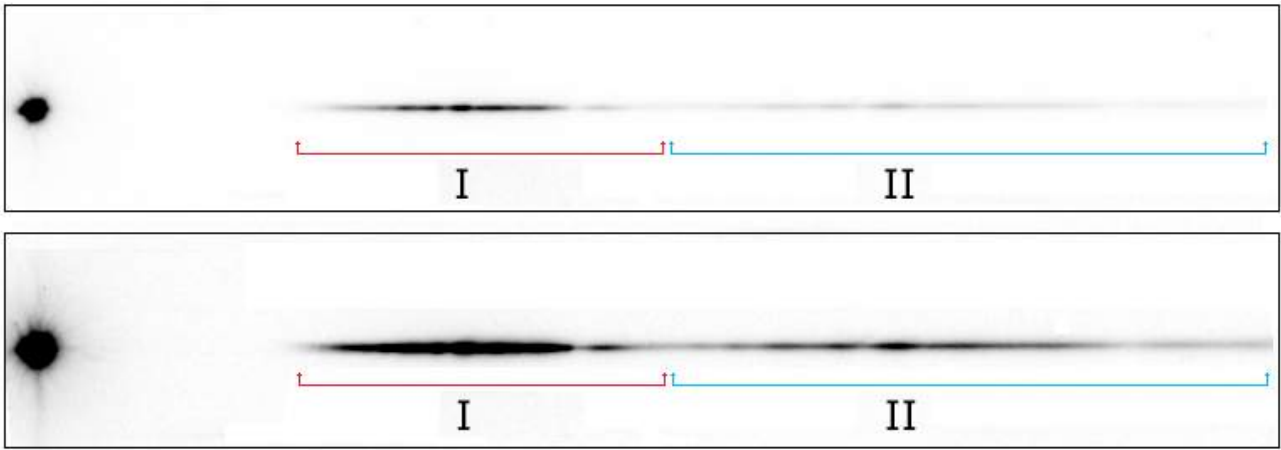


Figura 1. Espectrogramas de $\delta 2$ Lyrae: en el panel superior podemos apreciar, correctamente expuesto, el de orden I y muy débil el de orden II; en el panel inferior vemos sobreexpuesto el de orden I pero correctamente expuesto el de orden II. En ambos casos se pueden examinar, cómodamente, las bandas de absorción debida a los metales.

Como ya explicamos anteriormente los espectrogramas obtenidos muestran siempre las longitudes de onda más cortas (ultravioleta cercano y violeta) situadas próximas a la estrella y las más largas (rojo e infrarrojo cercano) más lejos de la misma.

Cuando, con el programa *AstroArt*, obtenemos el perfil espectral de cualquiera de los dos espectrogramas conseguimos el resultado mostrado en la Figura 2.

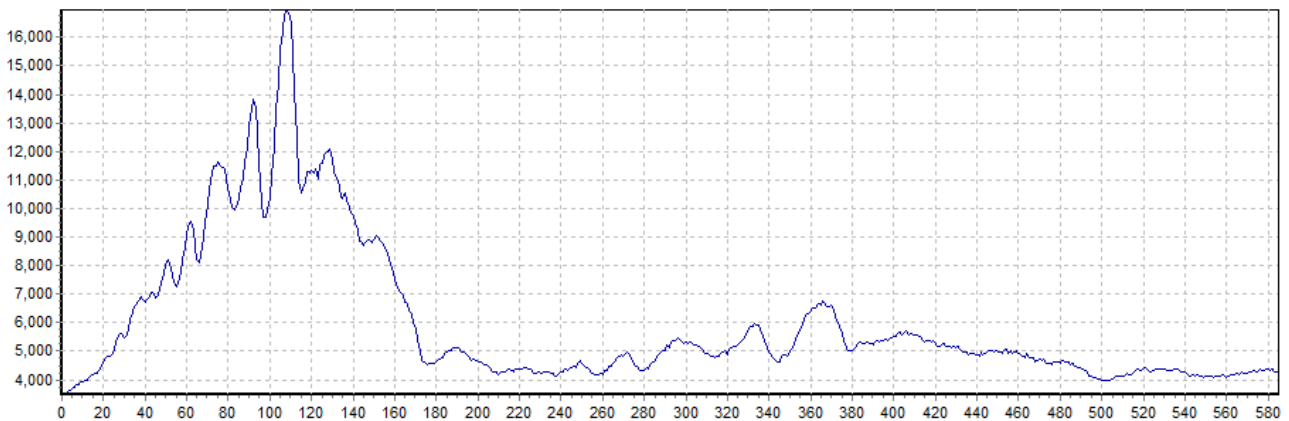


Figura 2. Perfiles espectrales del espectro de orden I (píxeles 0 al 225) y de orden II (píxeles 225 al 581), obtenidos la noche del 23 de octubre de 2008: nótese la dispar intensidad de las líneas así como la diferente resolución de ambos.

En el eje vertical se indica la intensidad (número de cuentas) mientras que en el eje horizontal aparece el número del píxel del chip que va de 0 a 752 en nuestra cámara CCD. Como podemos apreciar el espectro de orden I es más intenso (el pico está casi en las 17.000 cuentas) aunque más corto, mientras que el de orden II es menos brillante (el pico está en las 6.800 cuentas) pero por contra muestra una mayor resolución al ser más extenso. Enseguida notamos que la intensidad máxima es distinta según se trate del espectro de orden I o II: en el primer caso se registra un pico de algo más de 16.000 cuentas mientras que en el segundo este valor cae hasta poco más de 6.700 cuentas siendo, por tanto, unas dos veces y media menos brillante. También comprobamos que tienen tamaños distintos: el de orden I se extiende entre el píxel 0 y el 225 abarcando 225 píxeles

mientras que el de orden II comienza aproximadamente en el píxel 225 y se extiende hasta casi el píxel 625 (fuera de la figura) abarcando unos 400 píxeles. (Dado que el campo aparente cubierto por el chip tiene una anchura de 752 píxeles únicamente situando la estrella en uno de los bordes del mismo podemos capturar, completos y simultáneamente, ambos espectros.)

Podemos analizar, individualmente, cada uno de los perfiles espectrales para comprobar qué información aparece en los mismos y cómo podemos interpretarla, lo que hacemos en la Figura 3.

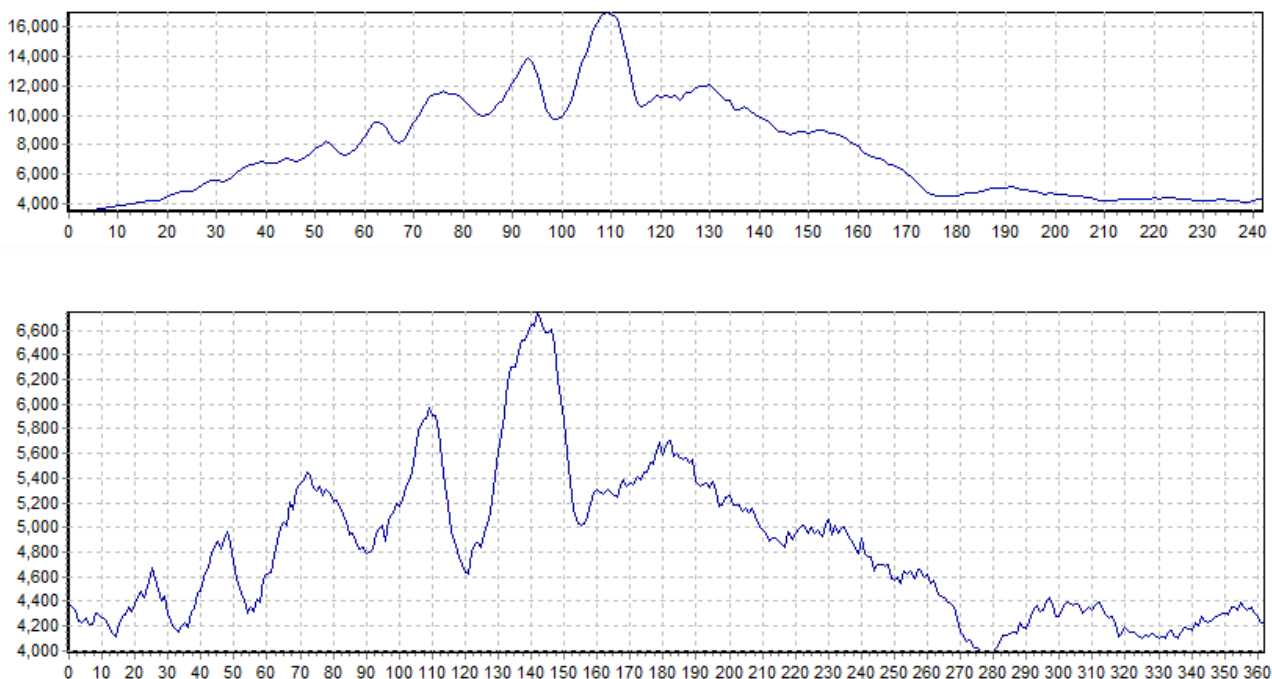


Figura 3. Perfiles espectrales del espectro de orden I (arriba) y orden II (abajo): podemos ver que la forma de los mismos es idéntica, aunque en el último caso se aprecian con mayor detalle las bandas de absorción.

En el espectrograma de menor resolución (orden I) podemos apreciar, con claridad, entre ocho y diez bandas distintas apareciendo una, muy evidente, en la zona infrarroja (píxel 178); en el espectrograma de mayor resolución (orden II) se aprecian estas mismas bandas con distinto aspecto e intensidad debido a la distorsión causada por un escalado distinto, aunque seguimos contando nueve bandas situándose la más intensa en el píxel 280. Naturalmente en este caso el perfil es muy *picudo* debido a la debilidad del mismo y no a que muestre más líneas.

Para extraer del espectrograma toda la información posible (máximo de intensidad, amplitud, principales líneas o bandas, etc.) hemos procedido a calibrarlo por dos vías distintas: en primer lugar, de un modo muy aproximado, comparándolo con algún espectrograma disponible en Internet; por fortuna encontramos uno en la página web de Phil Masding, de Manchester (Inglaterra)¹, uno de cuyos trabajos astronómicos incluía un espectrograma en color de la estrella. El espectrograma, obtenido con una red de difracción educativa, cubría de los 400 a los 820 nm y mostraba, sobre el espectro continuo en color, un perfil spectral similar al que nosotros obtuvimos y mostramos. Con estas dos pistas no tuvimos problemas para superponer, en una única imagen, nuestro espectrograma con el suyo teniendo que escalar el nuestro levemente para conseguir una coincidencia total; el resultado puede verse en la Figura 4.

1 <http://www.zen32156.zen.co.uk/spectroscopy.htm>

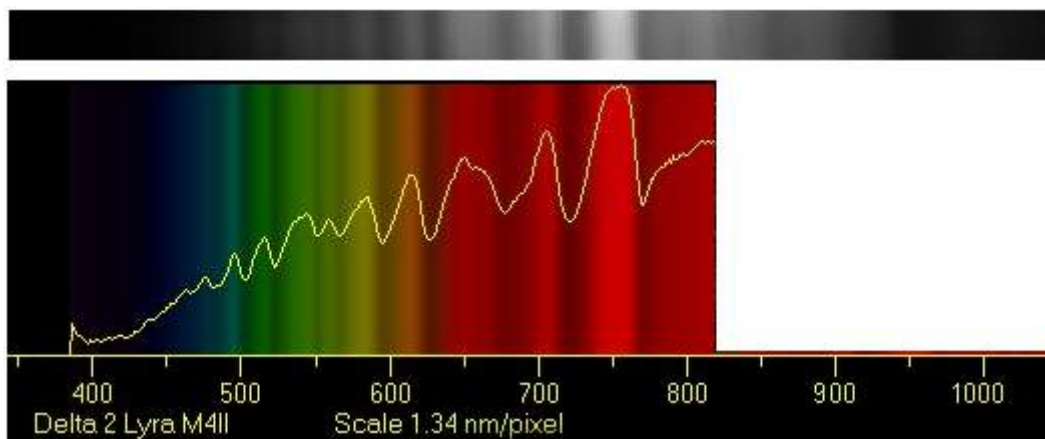


Figura 4. Calibración de nuestro espectrograma (arriba) comparado con el de Phil Masding: podemos ver que existe una total coincidencia en las bandas, su anchura e intensidad; en ambos casos el máximo brillo aparece en los 750 nm.

Comprobamos que existe una total coincidencia entre ambos espectrogramas ya que los dos han sido obtenidos con red de difracción comercial y telescopios de aficionado; en nuestro caso el rango espectral es más amplio (llegamos hasta los 1000 nm) pero la intensidad, anchura y posición de las bandas son idénticas. Aunque esta calibración era útil, en una primera aproximación, de ella no podemos extraer las posiciones exactas de las líneas o bandas ni identificarlas correctamente.

El segundo método al que hemos recurrido, mucho más preciso, ha consistido en la utilización del programa comercial *Visual Spec* de Valérie Desnoux². Este software, prácticamente profesional por sus prestaciones y resultados, permite calibrar cualquier espectrograma utilizando varios métodos distintos todos basados en conocer la posición de una, dos o tres líneas espectrales, datos que permiten la calibración por métodos matemáticos; de este modo una vez que se le indican al programa la posición de una, dos o tres líneas éste, automáticamente, calcula la resolución y (en base a la posición de cada píxel) determina las longitudes de onda de cada uno de ellos obteniendo una calibración precisa. Una vez realizada esta operación se pueden conocer las posiciones exacta de todas las líneas, bandas o zonas de interés utilizando sencillas herramientas del programa.

Hemos recurrido a una calibración en base a dos bandas del óxido de titanio (TiO) y una atmosférica de posiciones bien conocida: para ello primero utilizamos el espectrograma de Masding con el cual comprobamos que las más evidentes aparecían en torno a los 760, 720 y 680 nm respectivamente; acto seguido consultamos en el banco de datos del propio software para saber la posición exacta de todas las bandas de TiO siendo estos valores iguales a 767.2 nm, 758.9 nm, 705.4 nm, 615.8 nm, 584.7 nm y 581.0 nm. Era evidente que la banda situada en torno a los 680 nm no era producida por este óxido metálico sino que podría tener otro origen, probablemente telúrico.

Al consultar la posición de las principales bandas debidas a la atmósfera (O₂ y vapor de agua) comprobamos que tres de ellas aparecían en los 759.4 nm, 716.8 nm y 686.7 nm: evidentemente la última era la que podía observarse en nuestro espectrograma con total claridad ya que las otras dos coincidían prácticamente con las posiciones de las bandas de TiO y, por tanto, aparecían mezcladas con ellas en una única banda.

Una vez que introdujimos en el programa la posición de estas tres bandas tan evidentes conseguimos una calibración correcta con una resolución de 2.88 nm/píxel: con ella hemos determinado la posición de las principales bandas y líneas de nuestro espectro, en el rango 400-1000 nm, tal como mostramos en la Figura 5 (que representamos apaisada para una mejor reproducción evitando, a la vez, reducir la escala lo que dificultaría el examen de la misma).

² <http://www.astrosurf.com/vdesnoux/>

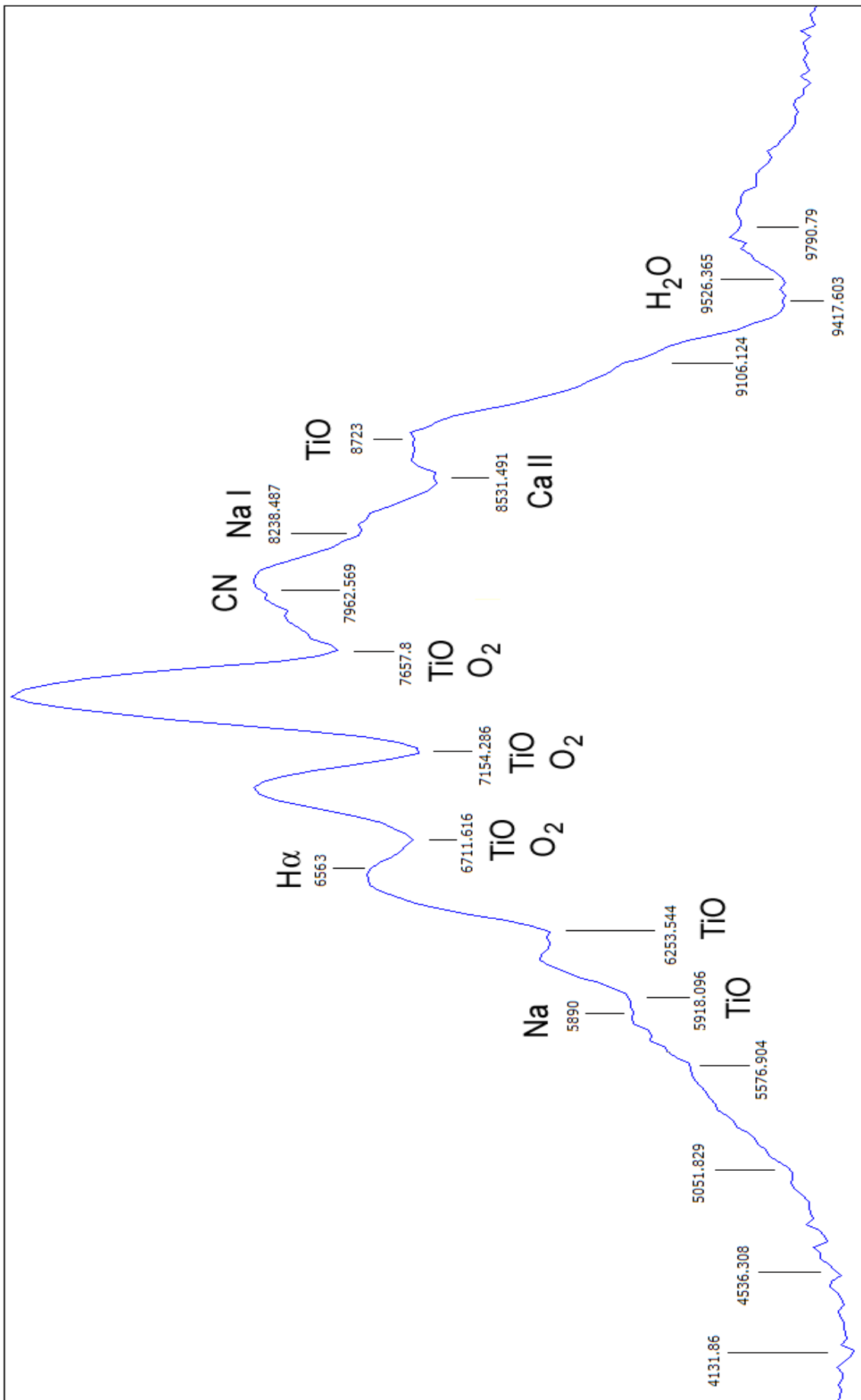


Figura 5. Principales bandas y líneas identificadas en nuestro espectrograma.

Podemos comprobar que las principales bandas corresponden al TiO, al O₂ y al vapor de agua, aunque algunas de ellas se originan claramente por otros elementos tales como el H α , el Na, el doblete del Ca II o incluso el CN. Esta identificación tan exhaustiva se ha conseguido analizando la información espectral contenida en el trabajo de Torres-Dodgen y Weaver (1993) que mostramos en la Figura 6: en ella comprobamos que la signatura más profunda y evidente corresponde a la banda de TiO situada cerca de los 760 nm seguida de la del Na I (589.3 nm) y nuevamente el TiO en los 716.8 nm; son muy evidentes también cuatro bandas atmosféricas así como el doblete del Ca II en los 857 nm.

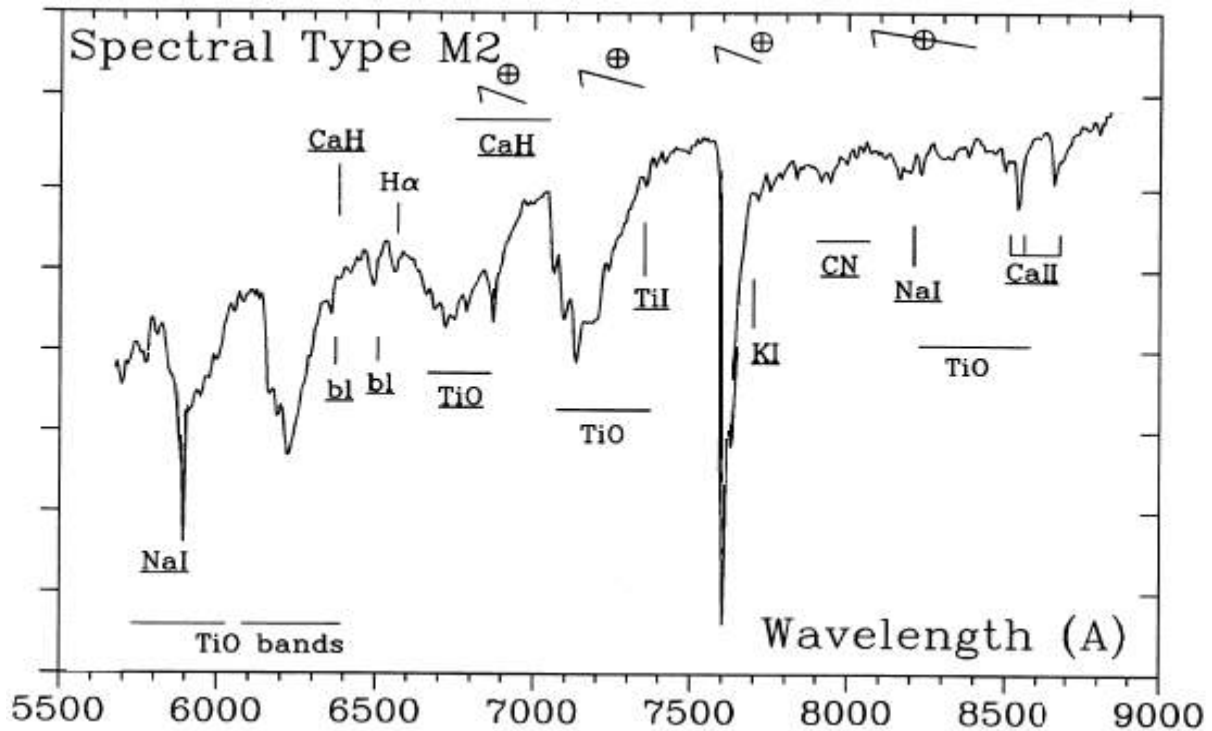


Figura 6. Espectrograma de una estrella de tipo espectral M2 obtenido del trabajo de Torres-Dodgen y Weaver.

La línea de H α , por el contrario, es muy débil tal como también se aprecia en nuestro espectrograma en el que apenas si llega a verse tímidamente: lo mismo le ocurre del doblete del Na, aunque el doblete debido al Ca II se aprecia con claridad en la zona infrarroja. Hay otras líneas que se observan sin dificultad aunque no es fácil conocer su origen sin especular.

El lector curioso podría preguntarse cómo es que hemos identificado una banda del vapor de agua en la zona de los 950 nm con tanta facilidad si, como vemos en la figura anterior, en ella el rango espectral oscila entre los 550 y los 900 nm: la respuesta está en que en la amplia librería de espectros estelares que hemos descargado de SIMBAD se encontraba un trabajo debido a Danks y Dennefeld (1994), en el cual incluían espectrogramas en el rango 580-1200 nm con los cuales hemos logrado una identificación de las signaturas situadas más allá de los 900 nm.

La Figura 7, tomada del citado trabajo, muestra el espectrograma de la estrella HD 19285 (espectro M5 III) que, aunque no es idéntico al tipo espectral de la estrella que estamos estudiando, sí es lo suficientemente parecido como para mostrar (con diferente intensidad) las mismas bandas y líneas. De hecho comprobamos que las tres bandas más intensas corresponden, nuevamente al TiO, aparece el doblete del Ca II y como novedad vemos una ancha banda en la zona del los 950 nm (atmosférica) que también se aprecia con notoriedad en nuestro espectrograma.

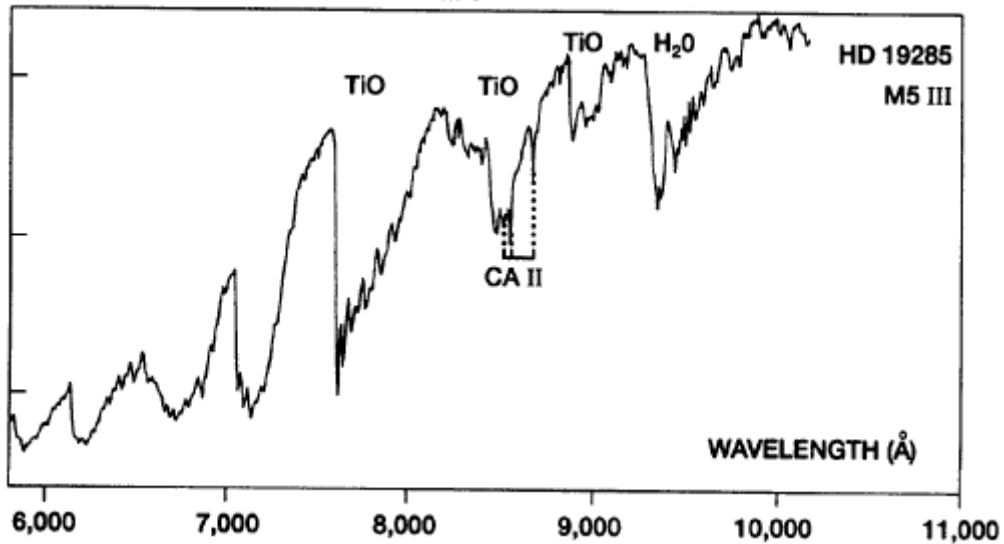


Figura 7. Espectrograma de una estrella de tipo espectral M5 III obtenido del trabajo de Danks y Dennefeld.

Para comprobar que esta identificación no era errónea hemos superpuesto (Figura 8) parte de nuestro perfil espectral con el espectrograma de la Figura 6 en el rango 750-900 nanómetros: al hacerlo así comprobamos una total coincidencia en la banda del TiO de los 760 nm y el doblete originado por el Ca II en los 855 y 865 nm; también se aprecian débilmente las líneas originadas por el CN e incluso parece verse la signatura del K I.

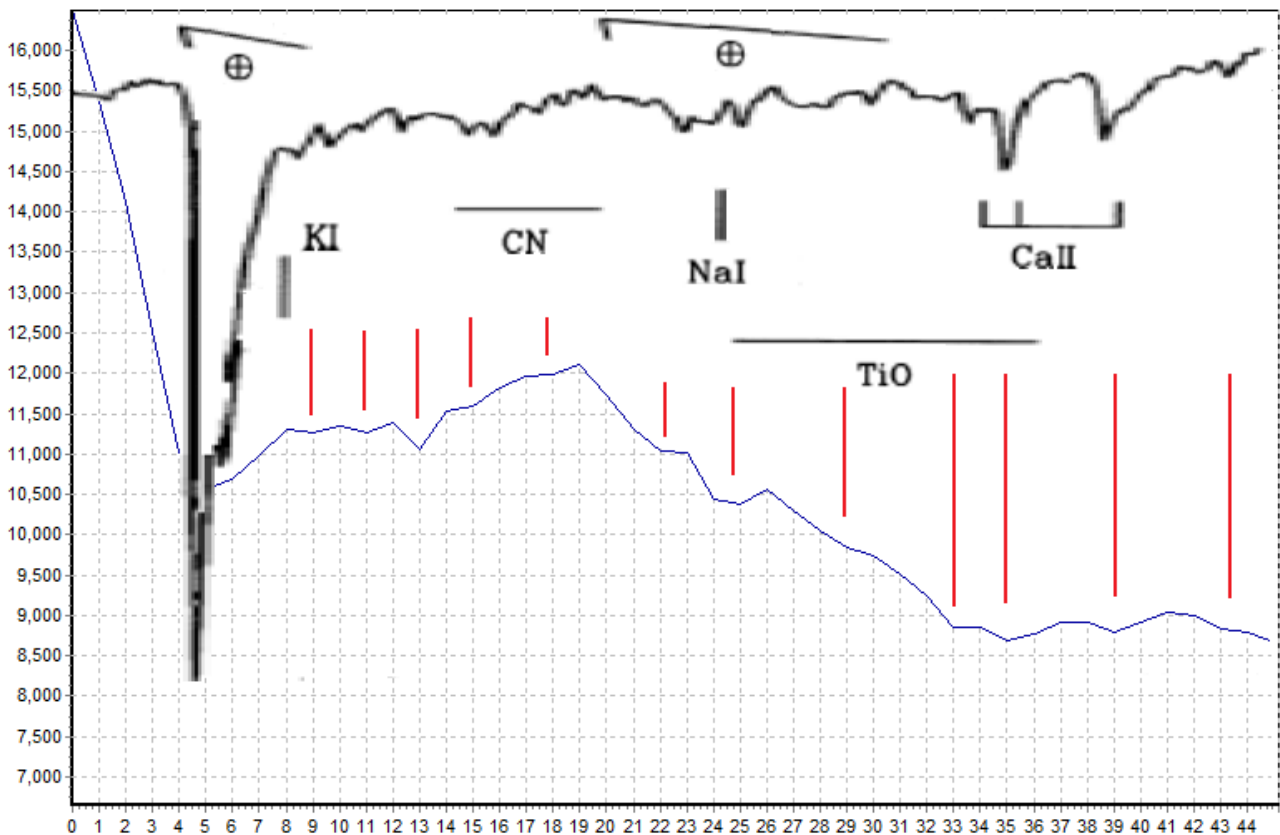


Figura 8. Parte del espectrograma de la Figura 6 (en el rango 750-900 nm) comparado con nuestro perfil espectral: se aprecia una total coincidencia en las principales bandas y líneas, que hemos identificado con líneas rojas.

Una segunda comprobación ha sido realizada analizando la zona comprendida entre la línea del Na I y la telúrica más profunda (760 nm), cuyo resultado mostramos en la Figura 9: en ella corroboramos la total coincidencia de la línea del Na I (que coincide con una banda del TiO), cuatro bandas del este metal, la del H α no demasiado intensa aunque perceptible, tres bandas telúricas y ya en la parte derecha la signatura que parece corresponder al K I.

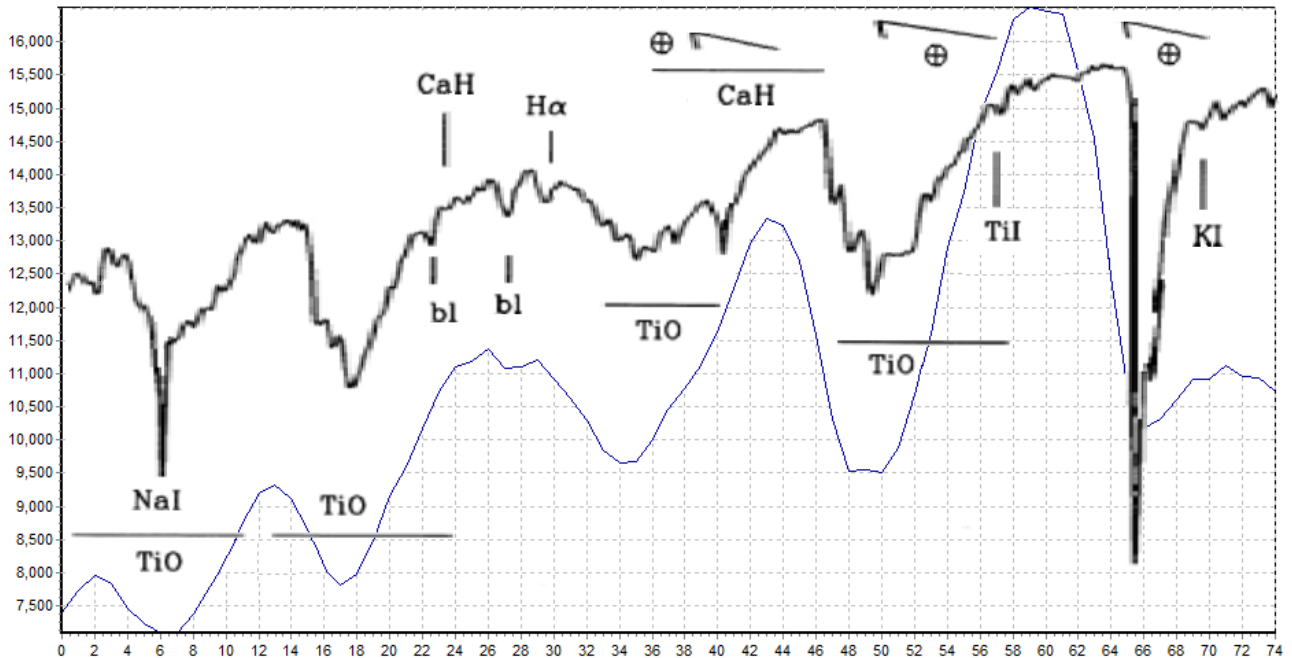


Figura 9. Parte del espectrograma de la Figura 6 (en el rango 560-780 nm) comparado con nuestro perfil espectral: comprobamos nuevamente la total coincidencia de las principales bandas (TiO y telúricas).

Un examen detallado pone de manifiesto la presencia, muy poco marcada pero visible, de signaturas debidas a casi todos los elementos reconocidos en el espectro profesional: por ejemplo en el píxel 25 se nota la marca de la línea b I más intensa, en el 27 se aprecia la presencia del H α , en el 40 se aprecia una inflexión o cambio de pendiente debida al CaH y en el 70 la marca del K I.

Dado que disponíamos de bastantes espectrogramas, algunos de ellos tomados en noches consecutivas (por ejemplo del 14 al 25 de octubre de 2008), decidimos compararlos y analizarlos para comprobar si en ellos se apreciaban cambios notables de noche en noche: la Figura 10 muestra el resultado. En ella hemos representado, levemente desplazados en el eje vertical para poder compararlos mejor, espectrogramas del orden I tomados la noche del 14, 15, 16, 20 y 25 de octubre: como podemos ver tres de ellos son correlativos mientras que dos, los últimos, no lo son pero han sido capturados en fechas bastante próximas en el tiempo. No olvidemos que esta estrella roja es levemente variable (tipo SRc con oscilaciones aperiódicas en torno a 0.2 magnitudes), por lo cual en un período de tiempo tan corto (11 días) apenas si se deberían observar cambios notables.

El análisis de los espectrogramas pone de manifiesto que las bandas principales, muy marcadas y anchas, no cambian ni de aspecto ni de posición o intensidad mientras que sí se aprecian sutiles cambios de intensidad en algunas líneas o bandas de menor importancia, por ejemplo en la zona azul del espectro: esto lo apreciamos mejor en la Figura 11, en la cual representamos sólo los espectrogramas capturados en tres noches sucesivas (14, 15 y 16 de octubre).

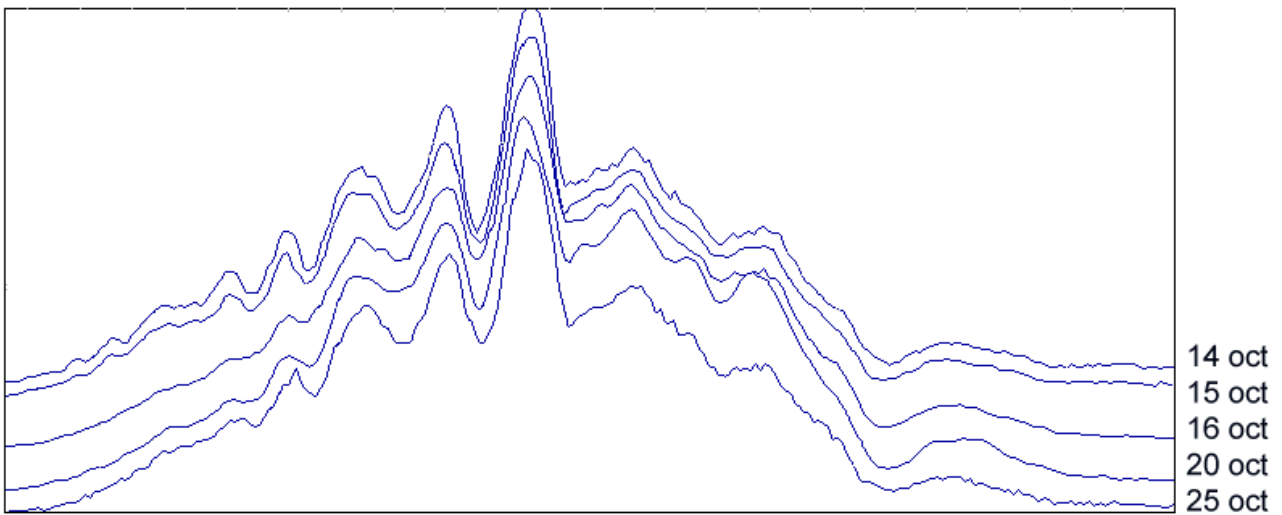


Figura 10. Espectrogramas capturados las noches del 14, 15, 16, 20 y 25 de octubre: podemos apreciar sutiles cambios en la intensidad y forma de algunas de las líneas, especialmente las de la zona azul (izquierda).

En ella hemos marcado, con flechas rojas, cinco *picos* visibles en la zona de longitudes de onda más corta las noches del 14 y 15 de octubre pero que, misteriosamente, apenas si destacan la noche del 16 al haberse “aplanado” y suavizado de modo notorio. El resto de las signatures, por el contrario, aparecen tan normales como las noches anteriores: de este modo la del $H\alpha$ es reconocible al igual que el K I o el Ca II.

Creemos que este efecto es debido a la propia estrella ya que en la siguiente noche (20 de octubre, Figura 10) los picos aparecen recuperados mientras que la última noche (25 de octubre, Figura 10) vuelven a casi desaparecer, perdiendo notoriedad y suavizándose de nuevo.

Sería deseable poder estudiar este fenómeno con más detalle en campañas sucesivas para comprobar si, en efecto, logramos detectarlo o se debe sólo a un efecto del equipo o de la atmósfera terrestre; también sería interesante intentar medir la velocidad radial de la estrella (en torno a los -26 km/s) calibrando el espectro de una manera más precisa: dejaremos estos y otros experimentos para futuras campañas de observación en las cuales ampliemos estos y otros estudios.

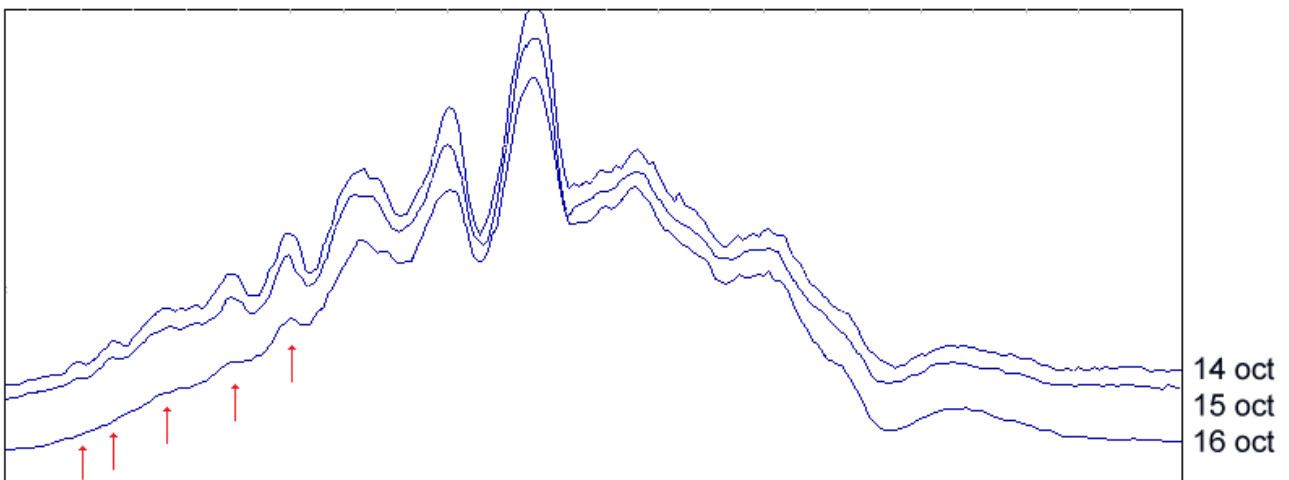


Figura 11. Espectrogramas capturados las noches del 14, 15 y 16 de octubre: hemos marcado con líneas rojas las cinco signatures (picos) que han cambiado de intensidad; puede apreciarse que el resto del espectrograma no ha cambiado.

Agradecimientos. Esta investigación ha sido realizada utilizando los catálogos y bancos de datos de VizieR y SIMBAD (Centro de Datos Estelares CDS, Strasbourg, France) y NASA's Astrophysics Data System así como el catadióptrico de 254 mm de abertura de La Sagra (Granada).

Referencias

Danks, A. C., Dennefeld, M, 1994, *PASP*, 106: <http://ads.ari.uni-heidelberg.de/abs/1994PASP..106..382D>

SIMBAD Astronomical Database: <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

Stephenson, C. B., 1959, *PASP*, 71, 145, <http://simbad3.u-strasbg.fr/cgi-bin/cdsbib4?1959PASP..71..145S>

Torres-Dodgen, A. V., W. B. Weaver, 1993, *PASP*, 105.

Violat Bordonau, F., Violat Martín, D., web Casanchi (febrero de 2007), disponible *on line* en la dirección web:

<http://personales.ya.com/casanchi/ast/delta01.htm>

Violat Bordonau, F., Violat Martín, D., web Casanchi (febrero de 2009), disponible *on line* en la dirección web:

<http://personales.ya.com/casanchi/ast/espectroscopiaccd01.htm>

Violat Bordonau, F., Violat Martín, D., web Casanchi (marzo de 2010), disponible *on line* en la dirección web:

<http://casanchi.com/ast/espectroscopia2010a01.htm>

VizieR Catalogue Service: <http://vizier.u-strasbg.fr/>