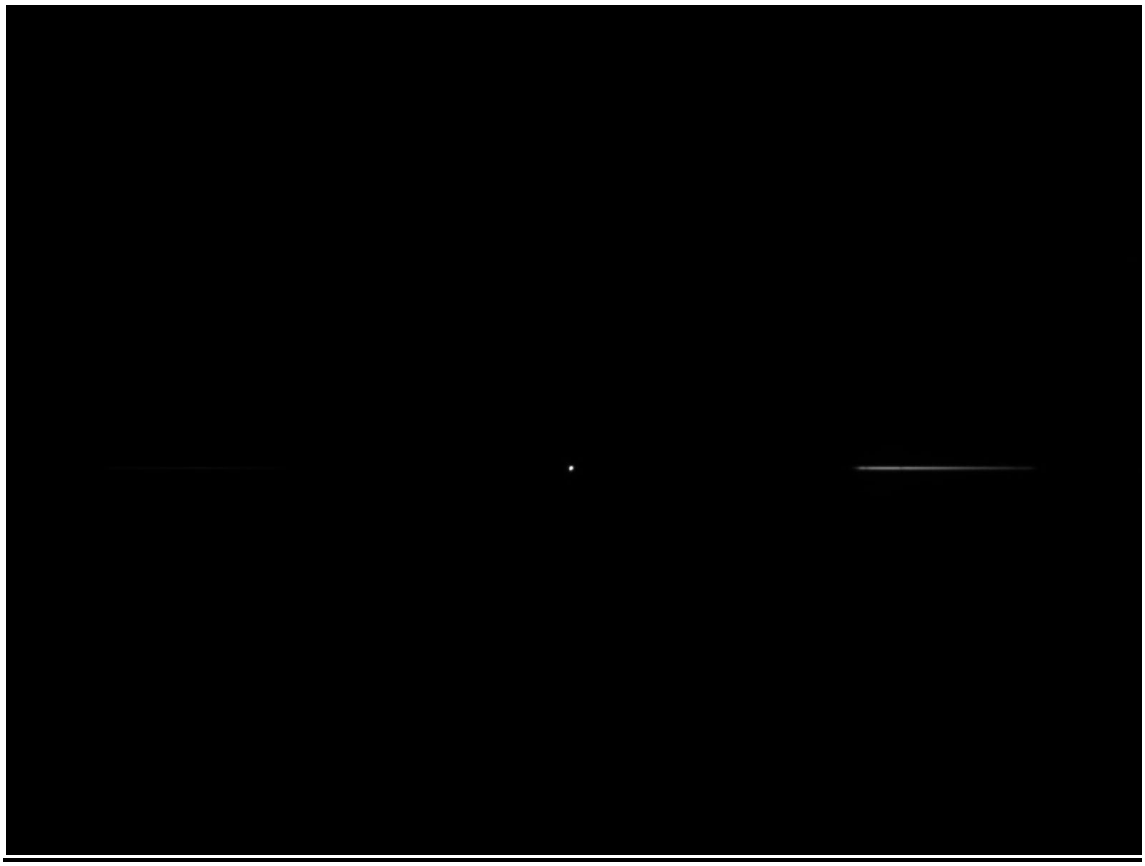
Espectro de Vega captado el 15-10-2012 (de 19h14´a 19h30´TU) con SC 8´´ a f/6.3, cámara QSI y red de difracción Star Analyser 100. Tratamiento del espectro con Visual Spec.

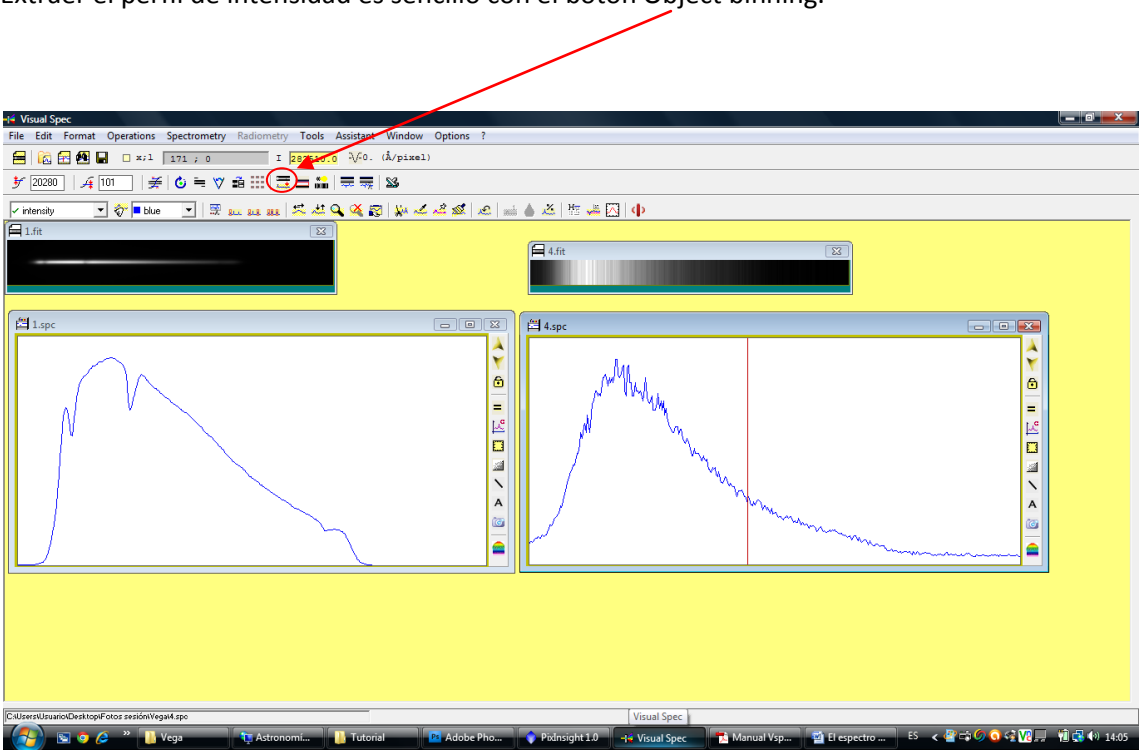


Se ve en la imagen Vega (espectro de orden 0, es decir la imagen directa) y a la derecha el orden +1.

Empezamos cargando la imagen en el programa Visual Spec y convirtiéndola en perfil de intensidad.

En la imagen siguiente a la izquierda la imagen del espectro de orden +1 de Vega con el nivel de fondo de cielo ya extraído (también tiene su espectro) y a la derecha convertida en la típica imagen de un espectro. Se puede ver que hay algo más de lo que se ve en la imagen original, aunque al forzarla algo de ello sea ruido.

Extraer el perfil de intensidad es sencillo con el botón Object binning.

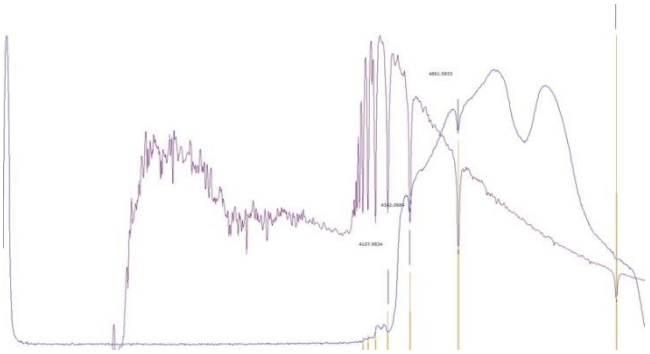


De momento empiezo con la imagen de la izquierda.

Para calibrarla hay que identificar dos líneas a las que se les puedan asignar sus longitudes de onda.

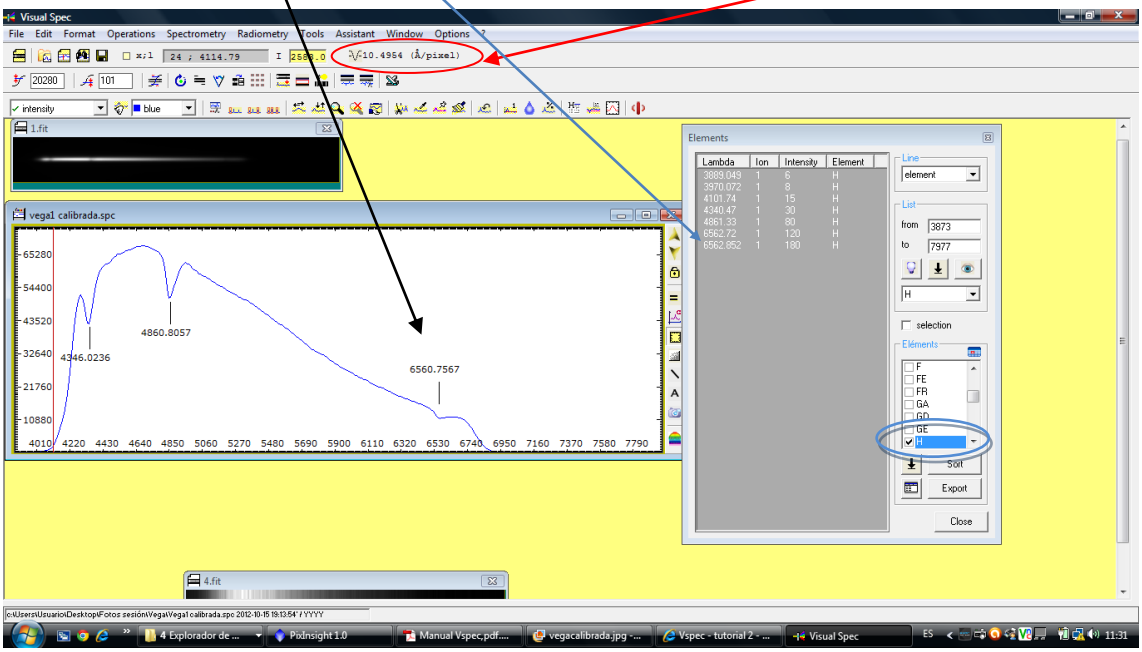
El programa tiene una librería de elementos. Seleccionamos en este caso el hidrógeno.

Al ser la primera imagen y desconocer a que escala trabajo me ayudo para identificar las primeras líneas con un espectro de Vega ya calibrado.

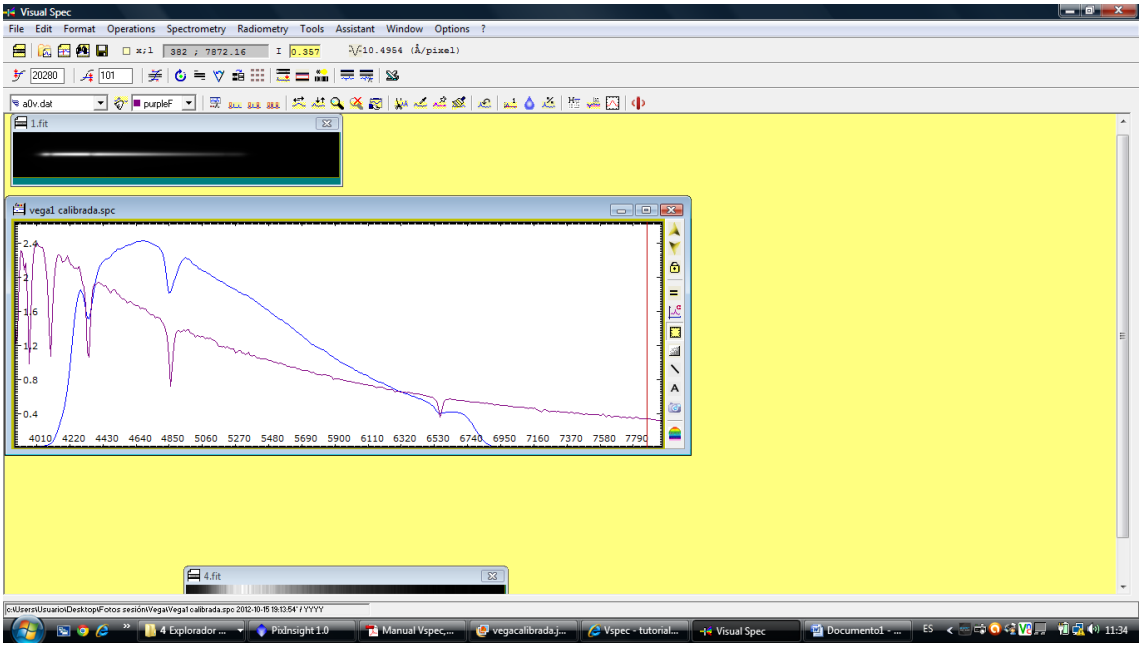


El espectro de Vega ya calibrado con líneas del hidrógeno, ya que las estrellas tipo A0 tienen bastante marcadas las líneas de Balmer del hidrógeno.

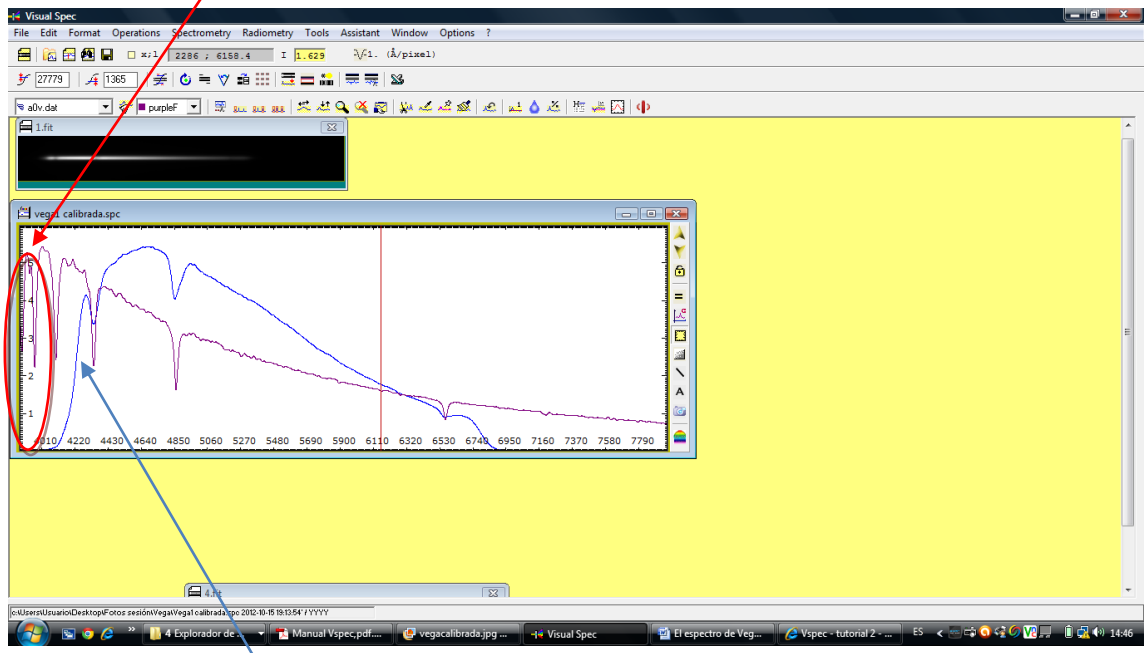
Arriba está la imagen del espectro fotografiado y abajo convertida en perfil de intensidad y ya calibrada. Se puede ver en el eje X la longitud de onda y en él Y la intensidad. La línea H alfa está en los 6563 Amstrongs. Debido a la falta de resolución el baricentro de la línea en mi espectro está en 6560,76 A. Se puede entonces ver la escala o dispersión a la que trabajamos 10,4954 A/pixel. La calcula el programa al estar el espectro ya calibrado.



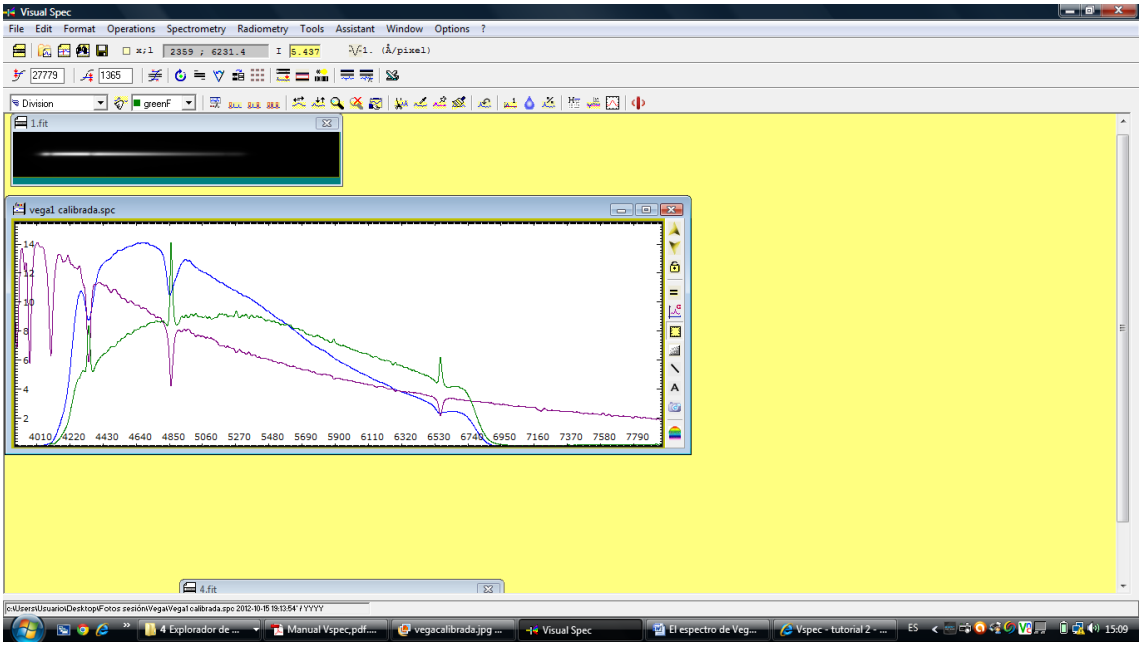
Abajo con el perfil de un espectro profesional superpuesto (violeta): Todavía no está corregida la respuesta espectral de mi cámara por lo que aparece en el azul esa “chepa” que no sale en el violeta (espectro estrellas tipo A0v). Además por lo que parece mi cámara sólo es sensible de unos 4.000 a 7.000 A (en el resto ultravioleta e infrarrojo no aparece intensidad).



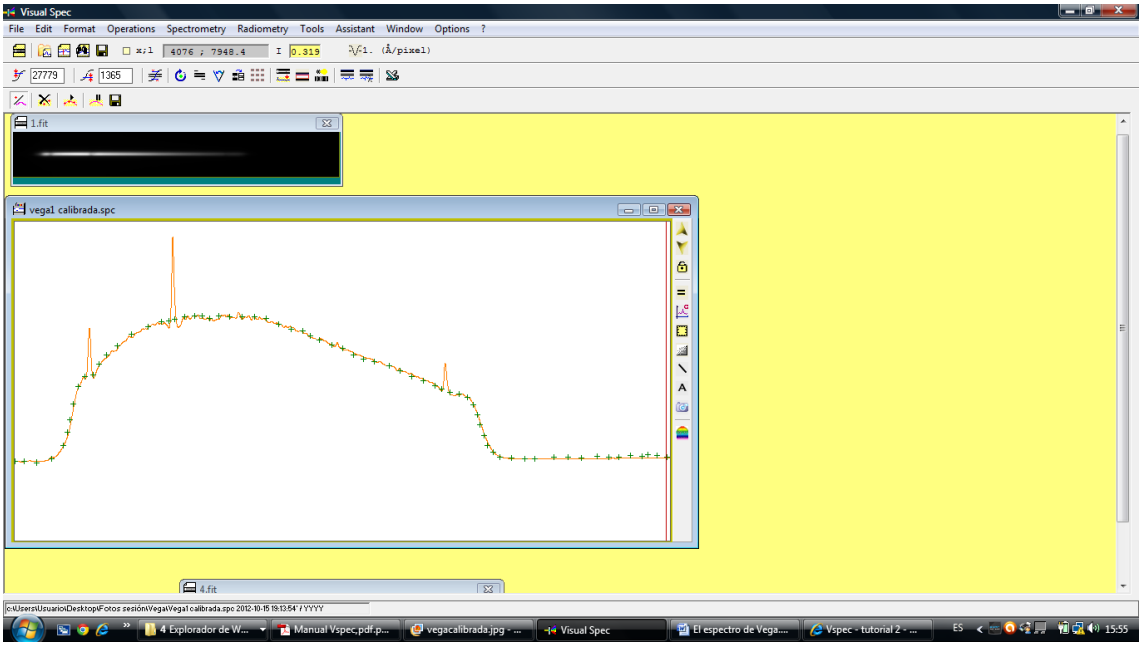
Aquí con la intensidad normalizada (ya que depende de varias cosas, entre ellas el tiempo de exposición). Se normaliza para las dos líneas.



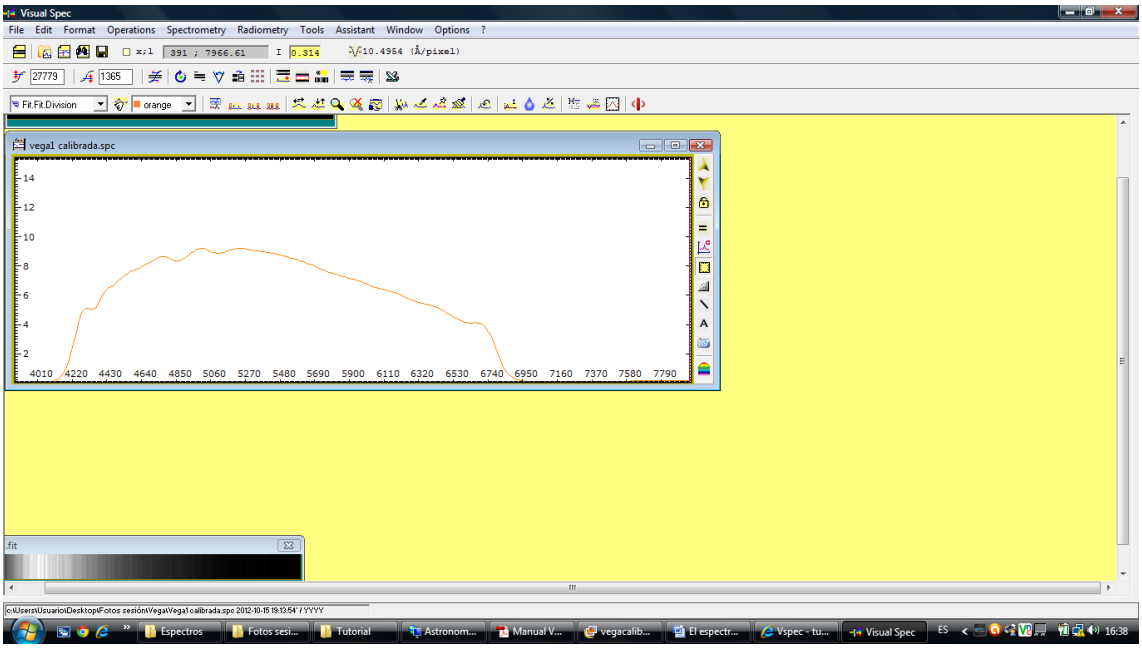
Ahora hay que corregir la respuesta espectral de la cámara. Normalmente tienen menos sensibilidad en el azul (donde vemos una caída muy rápida). No obstante cambia muy lentamente con la longitud de onda y no hay riesgo de que cree líneas falsas. Sin embargo si no se corrige hace complicada la identificación de las líneas. Para ello uno de los métodos es dividir nuestro espectro por el espectro tipo de esa estrella (es decir la gráfica azul por la violeta). La división aparece en verde y tiene líneas que aparecen en el espectro. Pero buscamos el perfil del continuo (que es él que cambia lentamente con la respuesta de la cámara) y por ello hay que eliminarlas.



Extraemos el continuo (gráfica naranja que se superpone a la verde) y marcamos (cruces verdes) por donde debería ir.

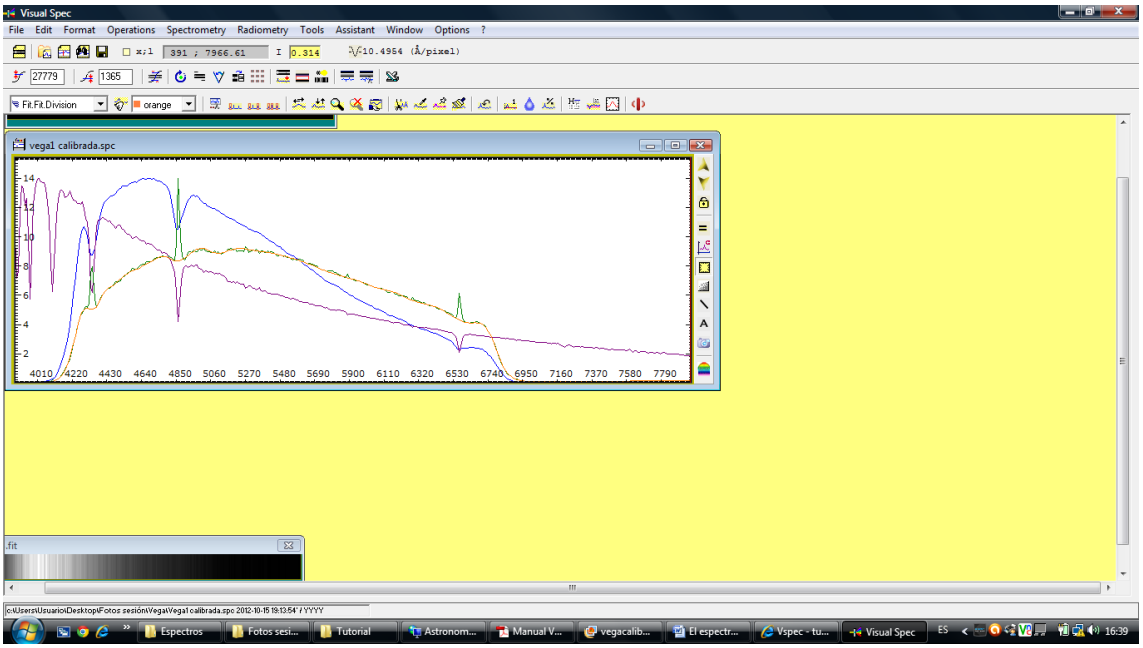


Y aplicamos un proceso de suavizado (gráfica naranja).

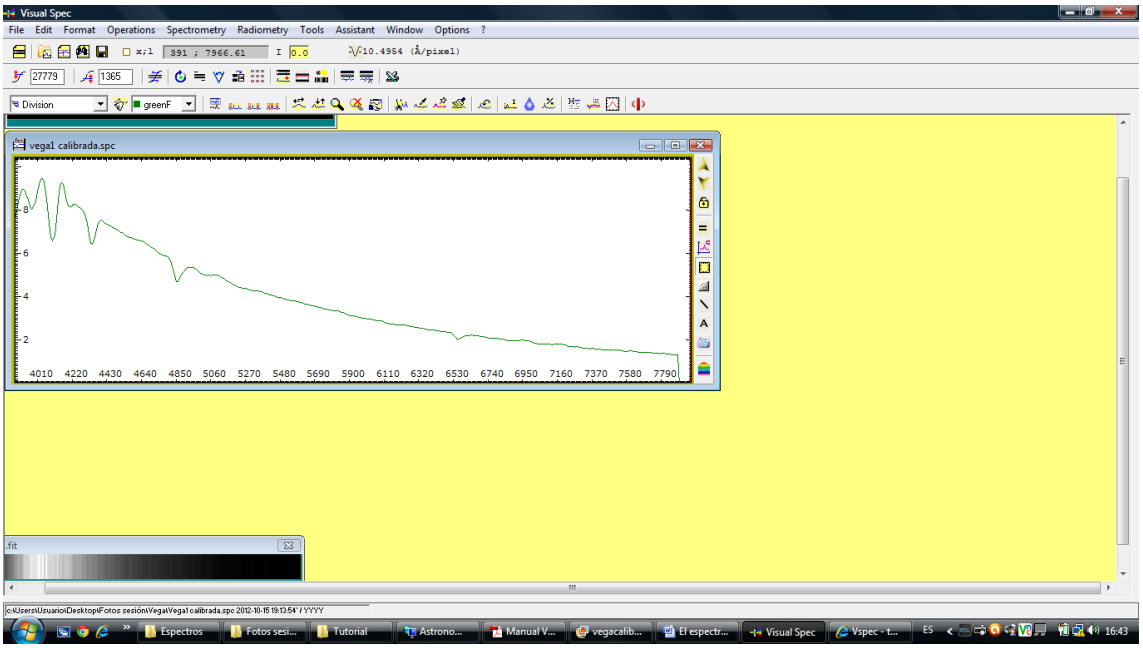


Y esa es la curva de respuesta de la CCD que se puede guardar para otras ocasiones en que se obtengan espectros bajo las mismas condiciones (telescopio, cámara, espectrógrafo).

Y hasta aquí todas las series que tenemos:

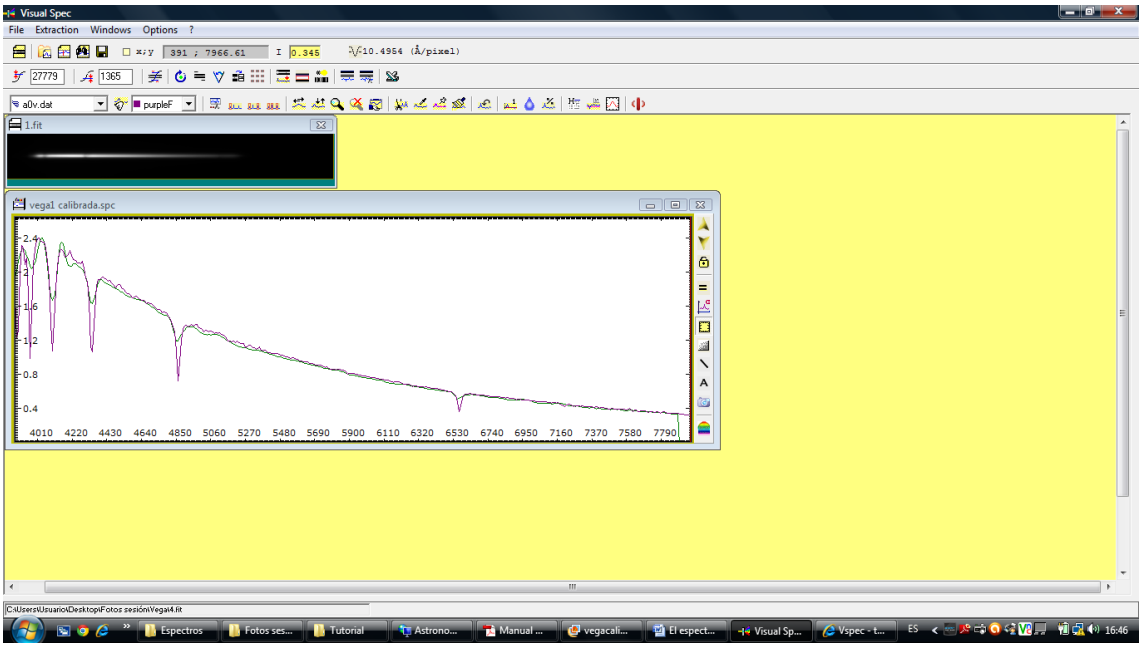


Para obtener el verdadero espectro de Vega hay que dividir él que hemos tomado (azul) por la respuesta de la cámara (naranja) y obtenemos el resultado (verde oscuro):

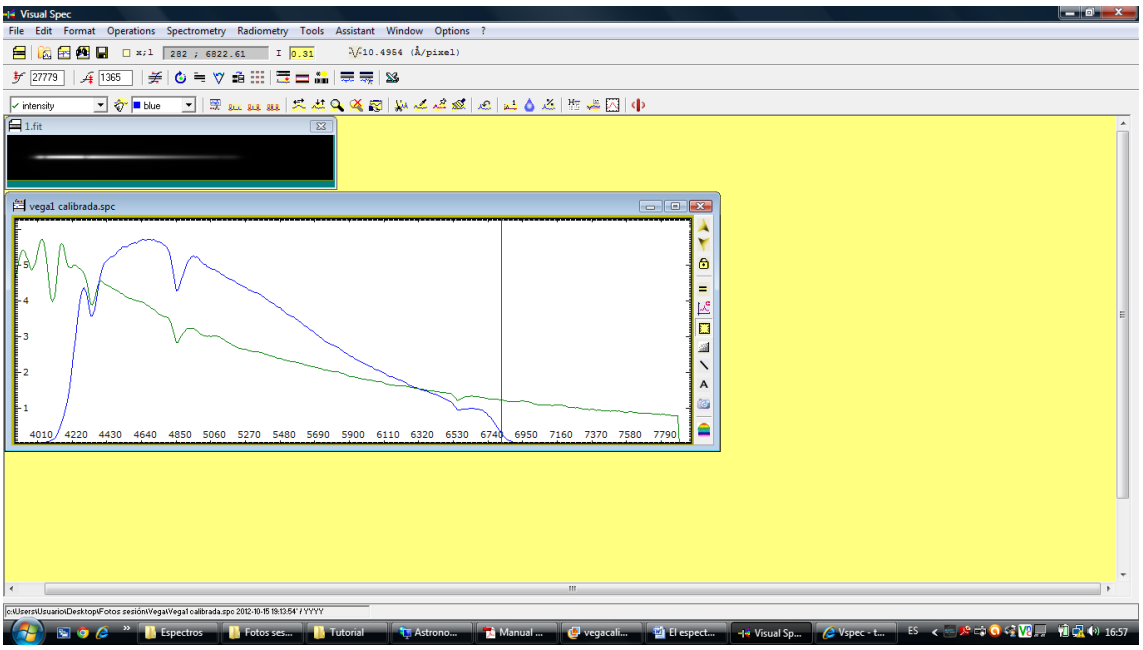


Y sorpresa…

Salvo en la profundidad de las líneas se ajusta casi como un guante al espectro profesional:



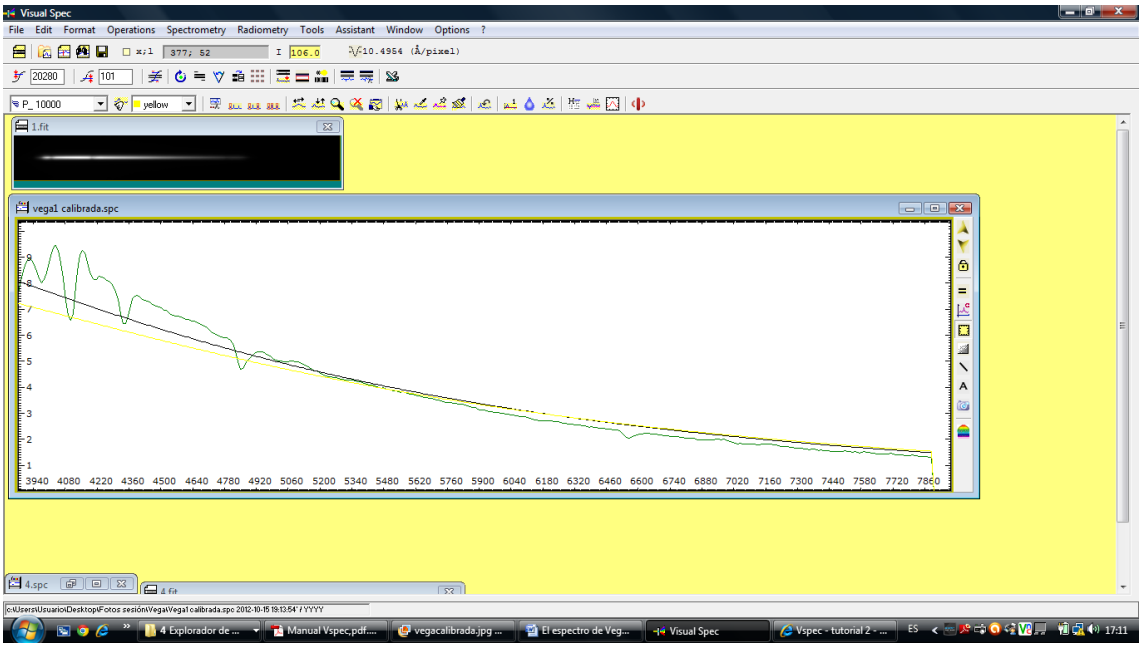
Y en este cuadro el espectro original y el corregido de la cámara:



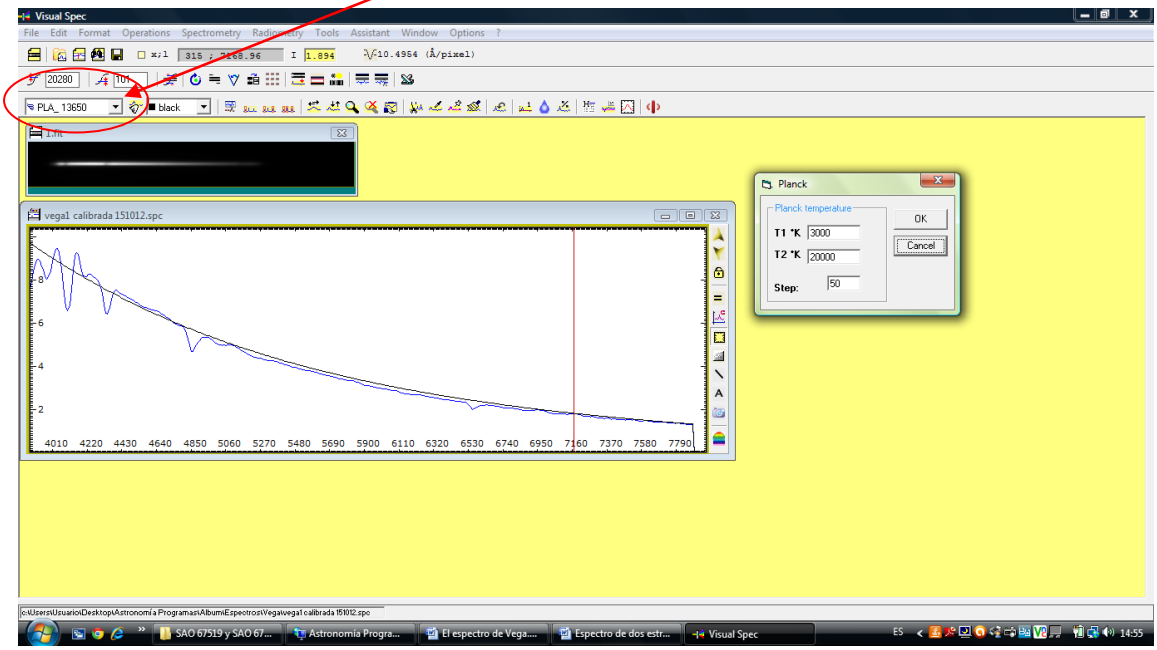
Y ahora un paso más, que es encontrar la temperatura del continuo ajustándolo a la curva de Planck (Las estrellas se pueden asimilar a un cuerpo negro y la ley de Planck dice que su continuo debe tener un pico de intensidad a un color que solo depende de la temperatura del cuerpo negro). Para ello vamos a añadir una nueva gráfica la cual es el perfil de Planck calculado a esa temperatura.

Lo hacemos probando a que temperatura se ajusta mejor. En la siguiente imagen a 10.000 grados Kelvin (amarillo) o tal vez 11.000 K (la gráfica negra).

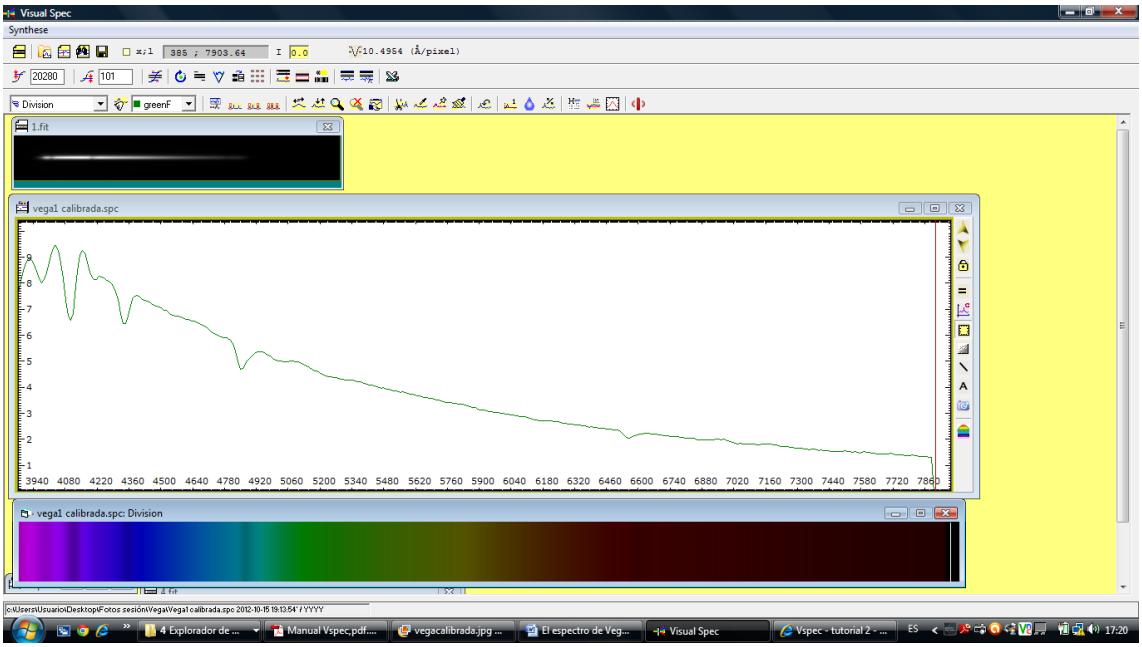
Y de nuevo sorpresa … porque las estrellas tipo A0 tienen una temperatura en torno a 11.000 K. Y a Vega se le calculan 9.600 K. No está nada mal para partir de una foto que no mostraba más que una banda blanca tres rayas oscuras:



No son malos ajustes, aunque en realidad el mejor ajuste se consigue a 13.650 K. La diferencia puede ser debida a no usar en la CCD los filtros fotométricos, o a que en el procesado haya pesado algo más un color que otro. O tal vez a que no se ha hecho la corrección de la extinción atmosférica. Pero se aproxima bastante.

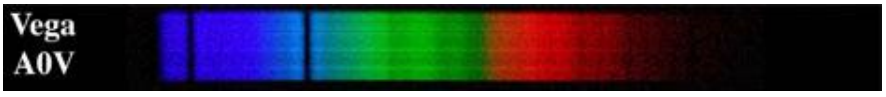


Y por último con un par de golpes de ratón podemos generar una imagen sintética del espectro a partir del espectro (verde oscuro) de Vega, donde podemos ver el espectro visible con sus líneas de absorción coincidiendo con el perfil de intensidad:



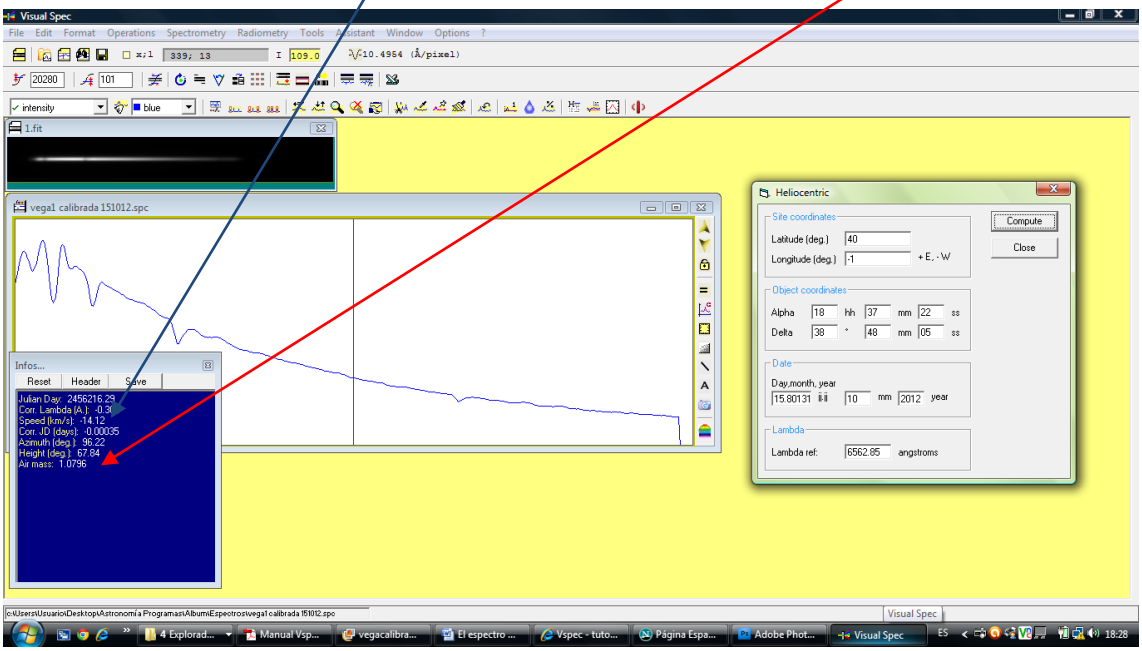
Alucinante.

Abajo un espectro de Vega bajado de internet para comparar.

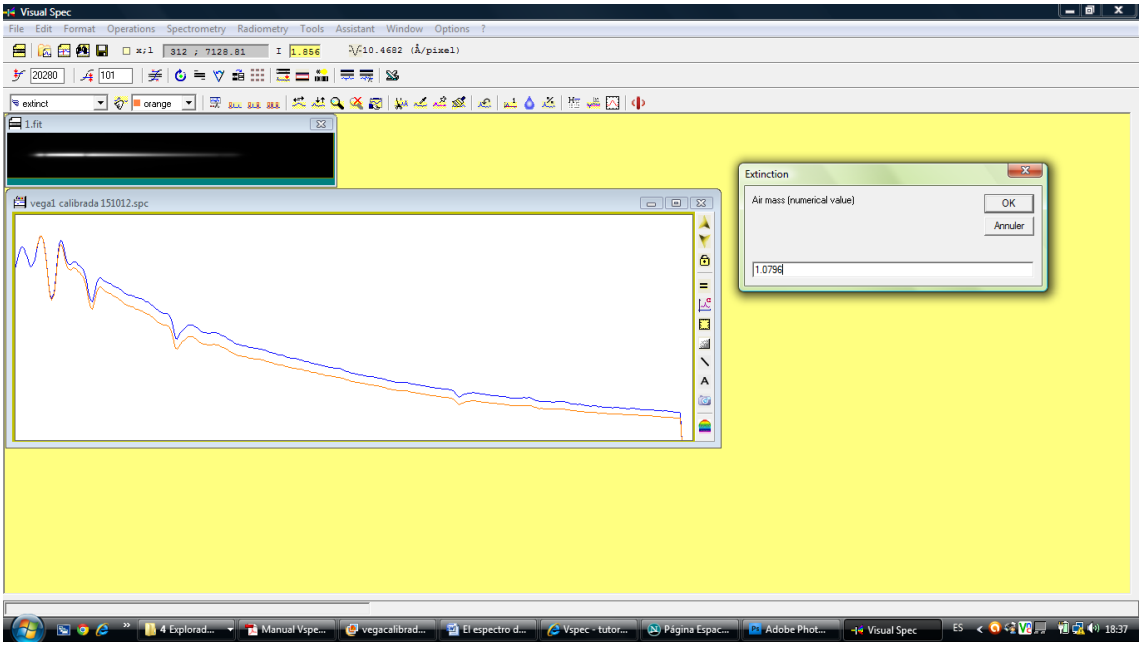


¿Se puede afinar más?

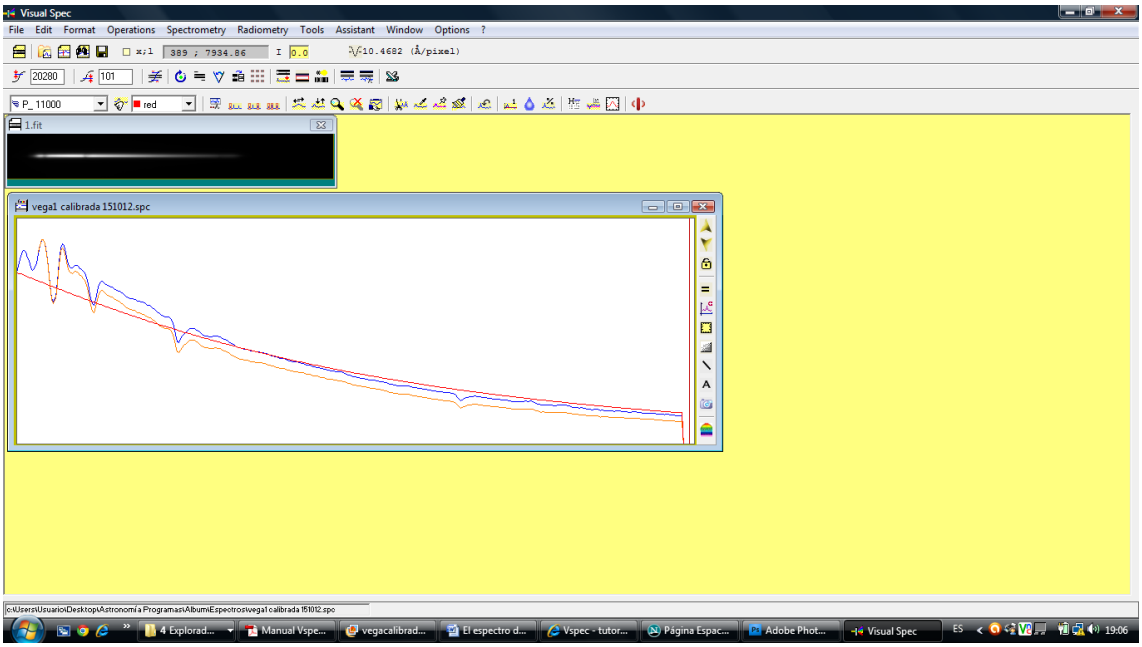
Vamos a corregir el espectro de la extinción atmosférica. Para ello damos los datos del lugar de observación, coordenadas del objeto y hora. Y en la respuesta se obtiene la masa de aire. Y también nos da una corrección para el efecto Doppler debido al movimiento de la Tierra alrededor del Sol en la dirección de Vega.



Aplicamos la corrección de velocidad radial y después la de extinción y nos da la gráfica naranja:



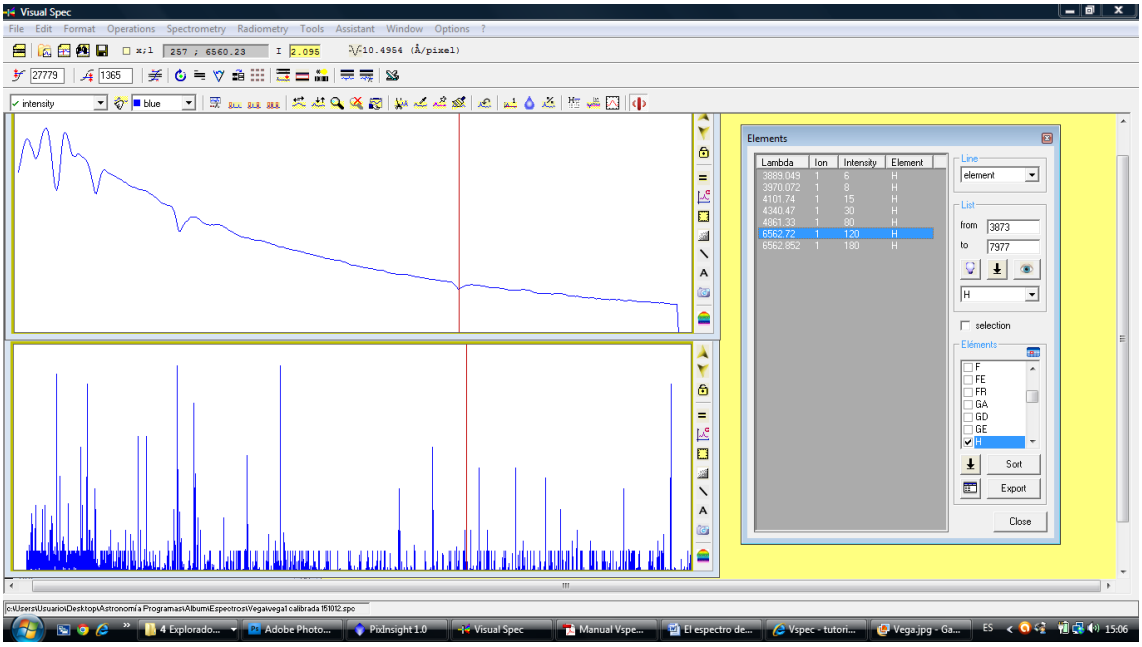
Por algún problema en el programa ahora no me calcula la temperatura, pero al quedar la nueva gráfica (naranja) más baja el ajuste será a una temperatura menor de los 13.650 K anteriores. Ahí está superpuesta la de 11.000 k en rojo.



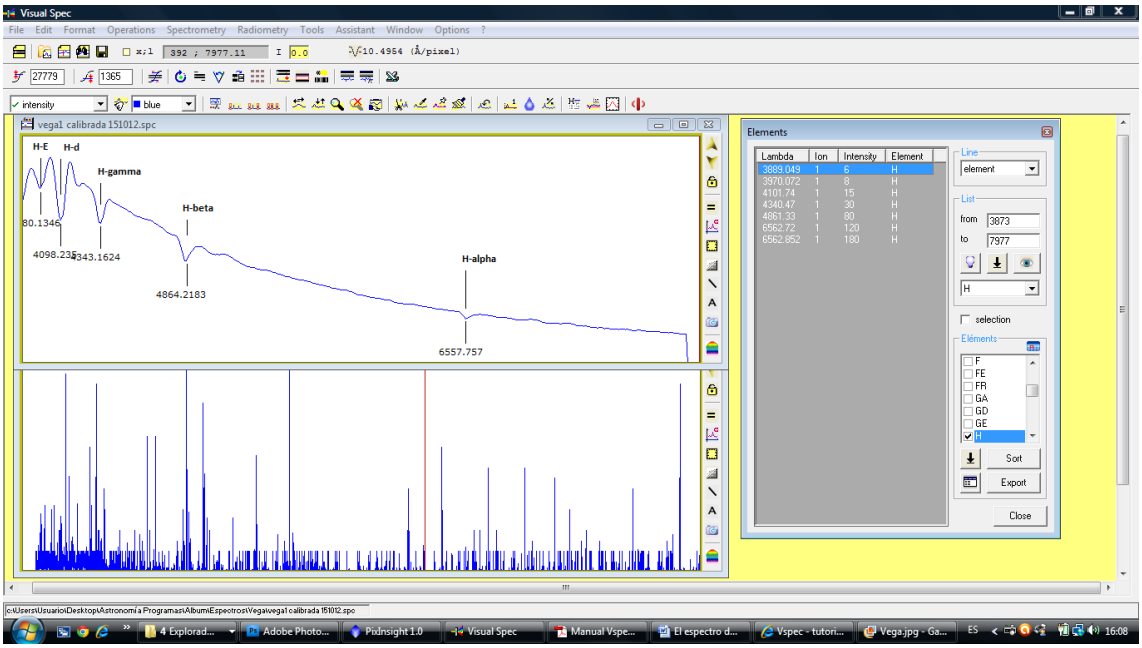
Lo siguiente es tratar de identificar más líneas de elementos atómicos o bandas de absorción molecular.

Primero cargo las líneas del hidrógeno y abro un espectro del mismo que ya debe aparecer con el zoom correcto para las longitudes de onda del de Vega. Se puede ajustar un poco.

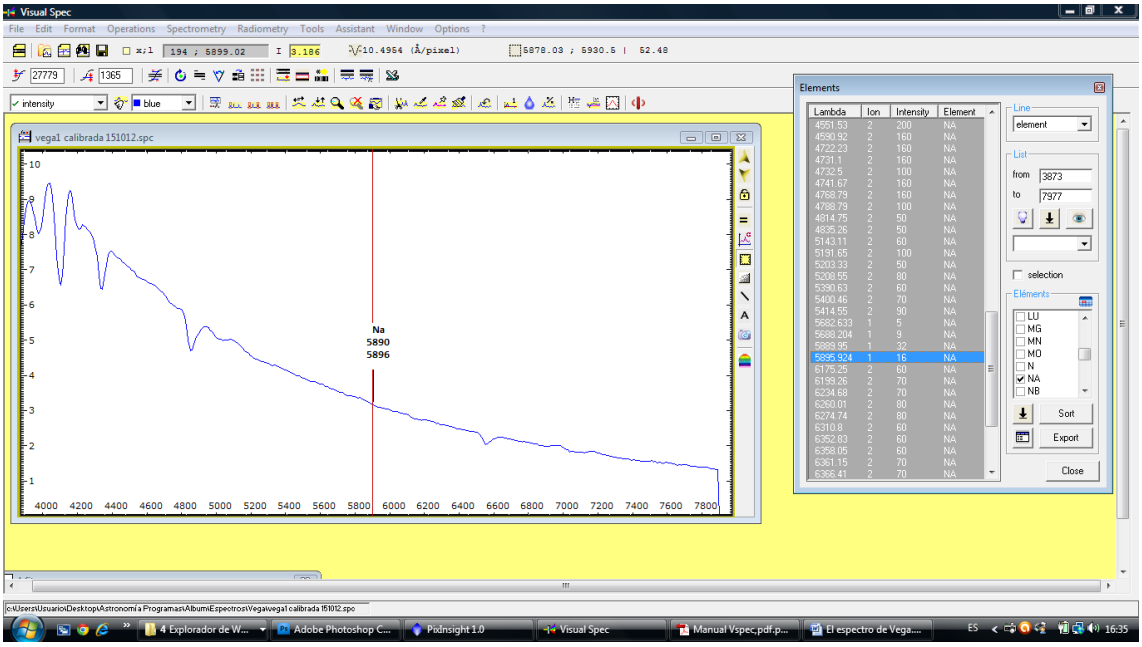
Y seleccionando líneas vemos si coinciden y se ilumina en azul la longitud de onda en la librería de elementos. En la imagen la línea del H alfa.



Así tenemos el espectro de Vega con la serie de Balmer del hidrógeno:



De momento la resolución parece insuficiente para obtener más líneas como por ejemplo el doblete del sodio, que no se llega a ver.



No obstante y como conclusión el resultado es bueno para ser la primera experiencia con la toma de espectros y su tratamiento.

*Conclusiones:

-Se ha determinado la respuesta espectral de la cámara y el nivel de resolución.

-Se han identificado las principales líneas de la serie de Balmer del hidrógeno en el espectro de la estrella.

-Se ha hecho una estimación de la temperatura de Vega.

-Se ha aprendido la técnica para tomar espectros, calibrarlos y extraerles información con el programa Visual Spec.

José A. Ortiz