

Clasificación espectral

Alicia Huertas Ferrer y Pablo Escudero Coca

Octubre 2023

1. Introducción

La clasificación estelar ha sido un proceso en constante evolución a medida que los astrónomos han desarrollado nuevas técnicas y tecnologías para estudiar el universo. A lo largo de los siglos, los científicos han pasado de las descripciones mitológicas a métodos más sistemáticos y científicos para entender las estrellas.

En el s.XIX, astrónomos como William Herschel o John Flamsteed realizaron catálogos de estrellas de forma que eran clasificadas en función de su brillo y posición en el cielo. Posteriormente, Edward Pickering y sus colaboradoras convirtieron la clasificación estelar en un proceso más sistemático. Una de estas colaboradoras, Annie Jump Cannon, desarrolló el sistema de clasificación espectral estelar basado en las líneas de absorción del espectro estelar, que categoriza las estrellas en clases como O, B, A, F, G, K y M, desde las estrellas más calientes (O) hasta las más frías (M). Adicionalmente, se realiza una subdivisión con números entre 0-9 tal que, para una clase espectral dada, 0 corresponde a las estrellas más calientes y 9 a las más frías.

Más tarde, con la llegada de la fotografía y el análisis espectral avanzado, la clasificación estelar se refinó aún más. Se introdujo una nueva subdivisión dentro de las clases espectrales, el sistema de luminosidad de Yerkes, el cual emplea números romanos desde las más grandes y luminosas (I) hasta las menos luminosas y más pequeñas (VII).

Por medio de la espectroscopia se obtienen los espectros empleados para la clasificación estelar, los cuales se caracterizan principalmente por un espectro continuo y uniforme en el que se pueden observar líneas espectrales de emisión o absorción. Estas líneas aparecen debido a un exceso o a una falta de fotones, respecto del continuo, que alcanzan el telescopio, en un determinado rango estrecho de frecuencias.

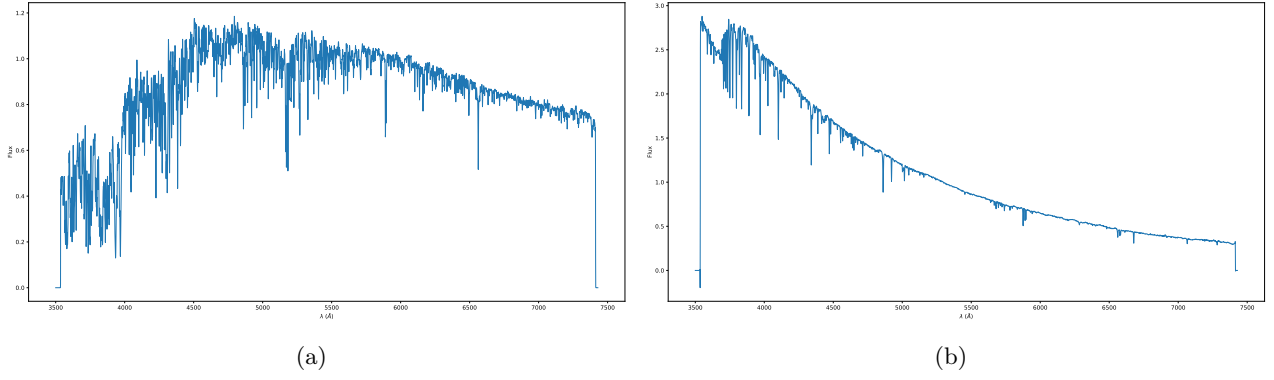


Figura 1: Espectros de las estrellas 1 (a) y 2 (b) a estudiar sin normalizar.

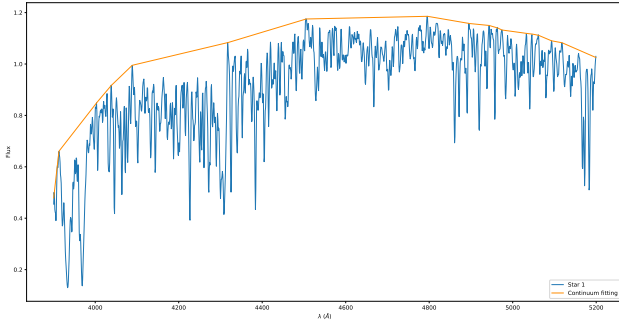
En este trabajo se han analizado los espectros de dos estrellas para su clasificación espectral. Ambos se pueden observar en la Figura 1. Además, esta clasificación se ha realizado a partir del análisis de las líneas de diagnóstico principales y la comparación con los espectros de estrellas de referencia cuya clase espectral conocemos.

2. Metodología

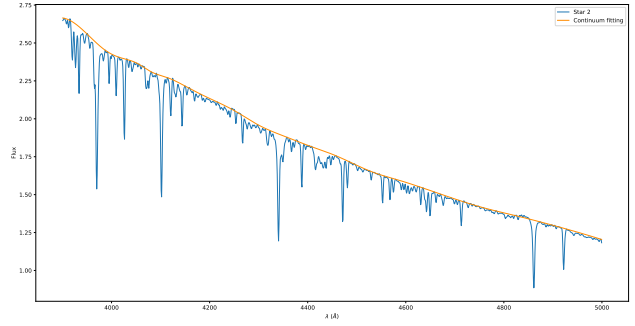
Se dispone de 28 espectros de referencia como apoyo para la clasificación, 14 para supergigantes y 14 para enanas, con tipos espectrales que van de O4 a M4.5, para las supergigantes, y de O4 a M4, para las enanas. Estos espectros se encuentran en un rango de longitudes de onda de entre 3900 y 5000 Å y están normalizados. Además, provienen de diferentes bases de datos (MILES, GOSSES y UVESPOP).

Haciendo uso de un código en Python, se ha realizado primero la normalización de los espectros de las estrellas a clasificar. Esta normalización se ha realizado por medio del cociente entre los valores de flujo y la envolvente del continuo del espectro. Esta envolvente, que se puede visualizar en las Figuras 2 (a) y (b), para cada estrella, se ha creado escogiendo los puntos de forma manual y empleando una spline cúbica con la función *CubicSpline* para realizar un posterior interpolado con la función *interp1d*. El resultado final de la normalización de los dos espectros se encuentra en las Figuras 3 (a) y (b).

Una vez normalizados los espectros, se han analizado las principales líneas de absorción de los espectros y la ausencia de otras para ir acotando las clases espectrales posibles. Esto ha ido acompañado de la comparación de los espectros de las estrellas a clasificar con los de las estrellas de referencia.



(a) Fit de normalización de la estrella 1



(b) Fit de normalización de la estrella 2

Figura 2: En las figuras (a) y (b) se representa la línea del continuo realizado para hacer el normalizado del espectro de las estrellas 1 y 2, respectivamente.

3. Clasificación espectral

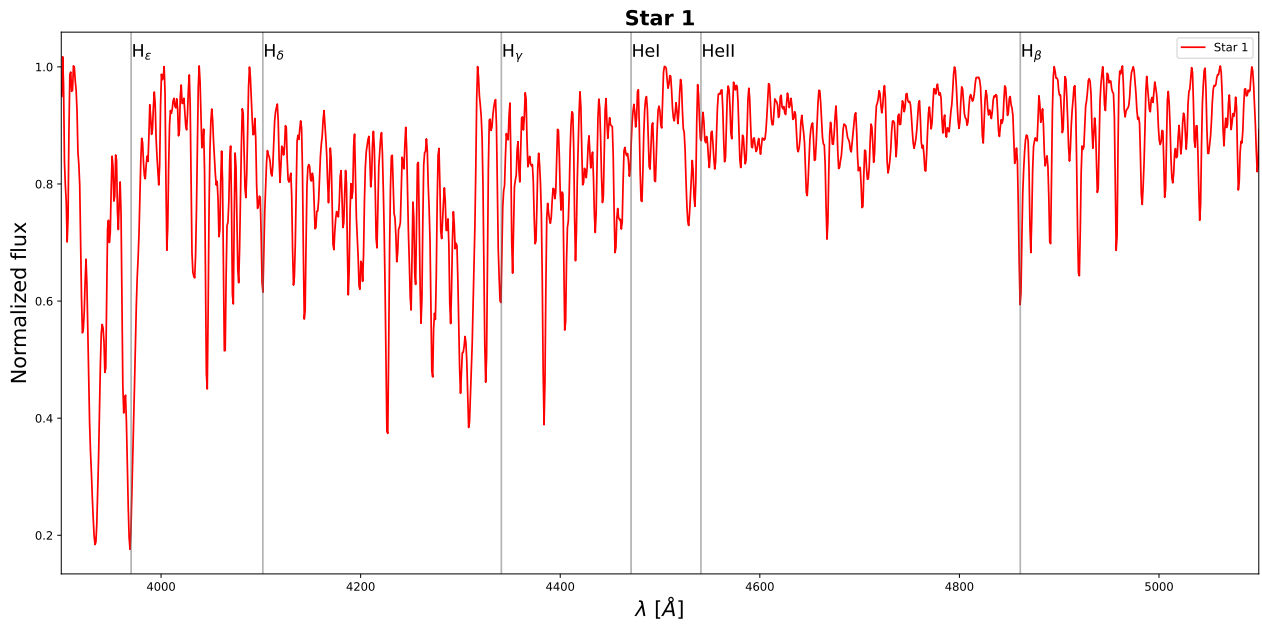
3.1. Clasificación primera estrella

El normalizado de la primera estrella presenta muchas líneas de absorción, por lo que se puede intuir que el tipo espectral será más bien tardío (tipo F, G, K o M). Como se puede ver en la Figura 3, las líneas de absorción de He I y He II son casi imperceptibles, confirmando la presunción de que se trata de una estrella tardía.

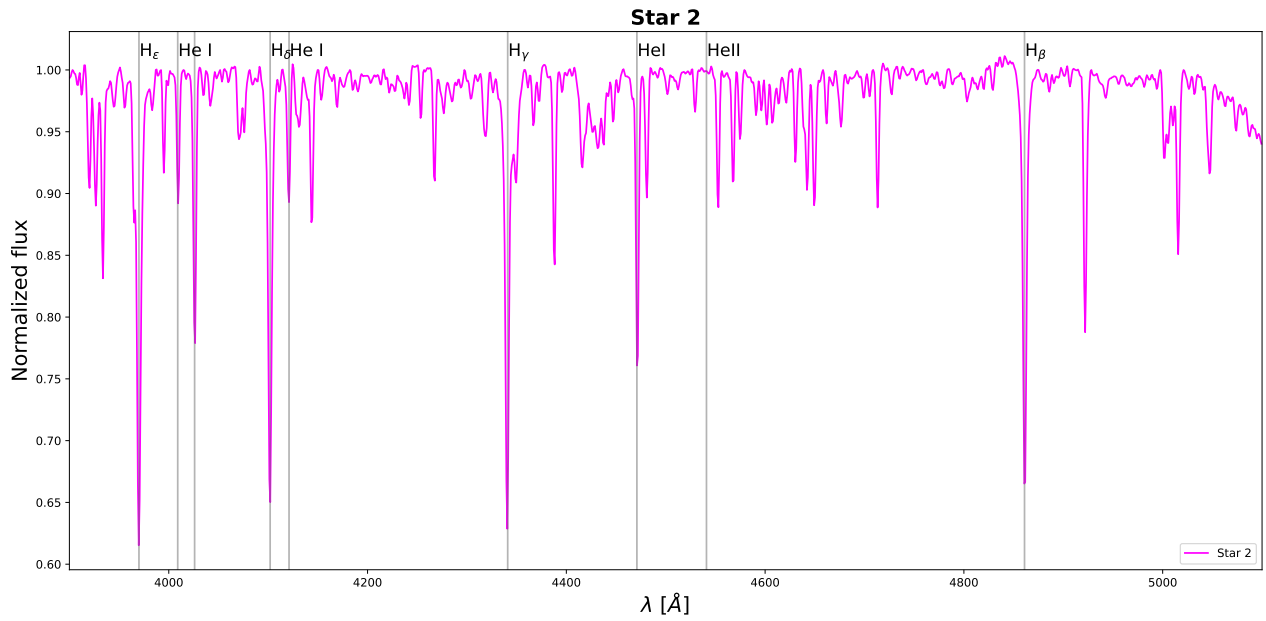
Para ver de que tipo es, analizamos si hay líneas de absorción de Ca II y Ca I a 3934 Å y 4226 Å respectivamente, típicas de las estrellas de tipo tardío, y si presenta la banda molecular G a 4300 Å, presentes en las estrellas tipo F, G y K. Como se ve en la Figura 4, la presencia de Ca II es muy fuerte, lo parece indicar que la estrella se trata de tipo G o K, además de la presencia de Fe I.

Las estrellas de tipo K se caracterizan por la presencia de Mg I a 5167, 5172 y 5183 Å. El análisis se ha limitado de 3900 Å a 5100 Å, por lo que en el normalizado actual no podemos ver si existe absorción de Mg I. En la Figura 5 se puede ver el normalizado de la estrella 2 hasta 5200 Å, siguiendo la misma metodología que la explicada en la Sección 2. Se ve una clara presencia de Mg I, por lo que parece que el tipo espectral de la estrella es de tipo K.

Para conocer el subtipo espectral, comparamos nuestra estrella con las estrellas de referencia. En la Figura 6 se ve que el espectro de la estrella 1 es muy similar al de la estrella HD3651, de tipo K0V. Esta clasificación está en línea con la intensa presencia de Ca II, que se hace máxima en las estrellas de tipo K0. Por la estrechez de las líneas espectrales, la clase de luminosidad podría ser V, propia de las estrellas enanas.



(a) Espectro 1 normalizado



(b) Espectro 2 normalizado

Figura 3: En las figuras (a) y (b) se encuentra el espectro normalizado, con las principales líneas de emisión del H y He identificadas.

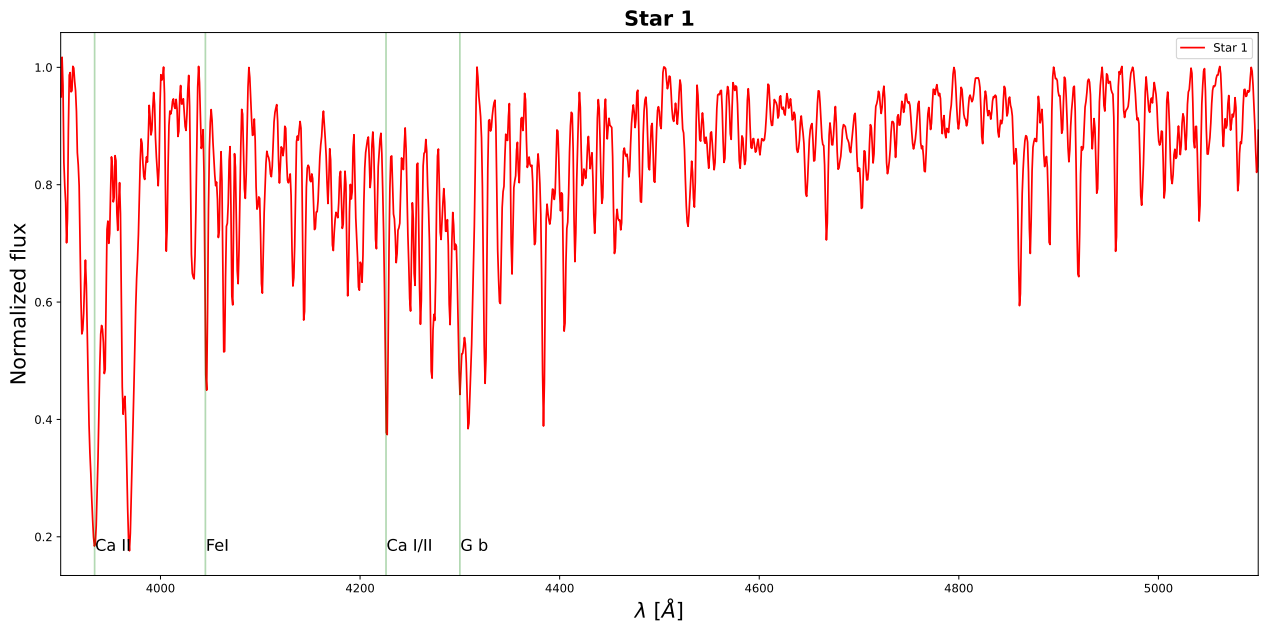


Figura 4: Espectro normalizado con las líneas de absorción de Ca II, Ca I, Fe I y banda G, típicas de estrellas de tipo tardío. Como se puede ver en la figura, la línea de absorción de Ca II a 3934 Å es muy intensa, lo que podría indicar que la estrella es de tipo G, K.

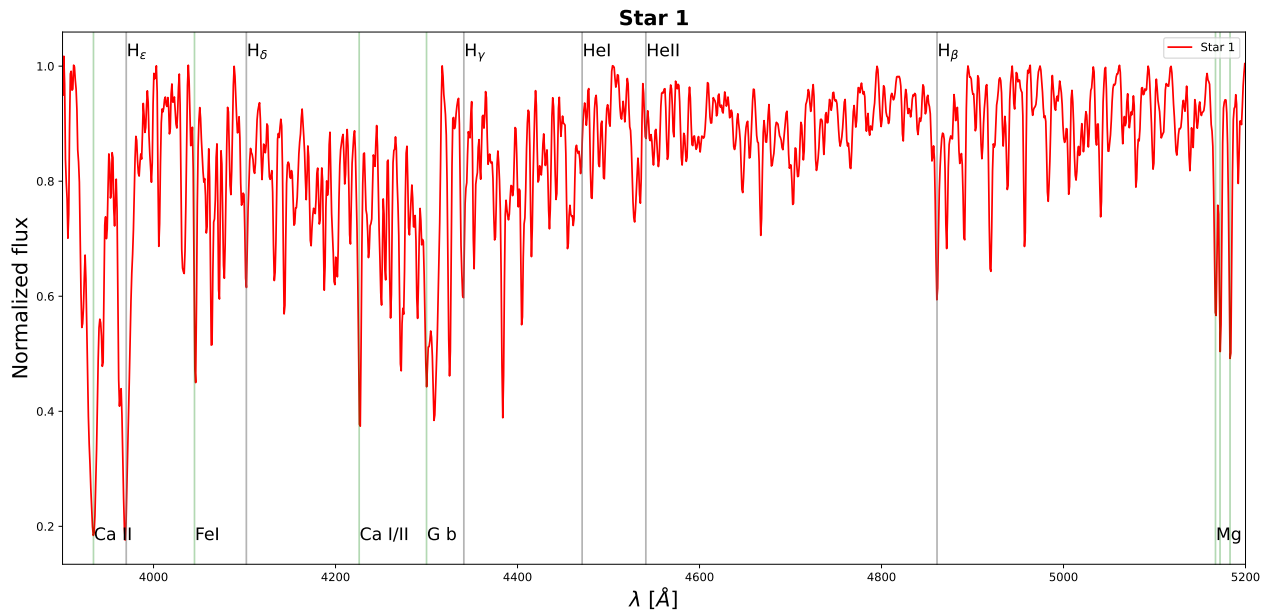
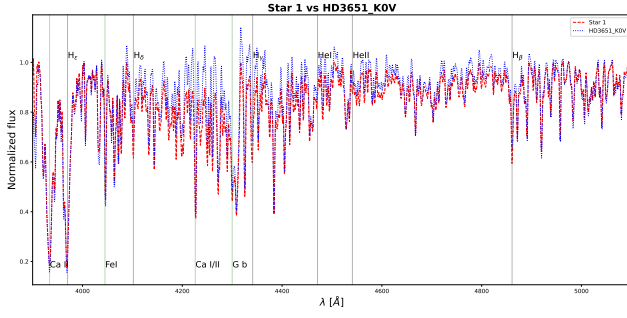
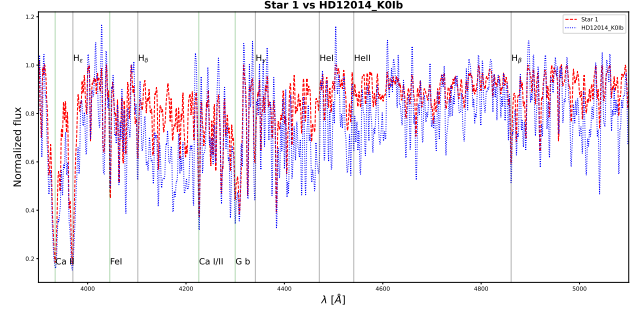


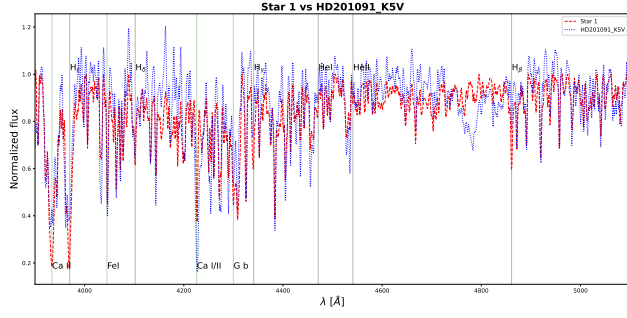
Figura 5: Normalizado de la estrella 1 hasta 5200 Å. Se puede ver claramente la presencia de Mg I entre 5100 y 5200 Å.



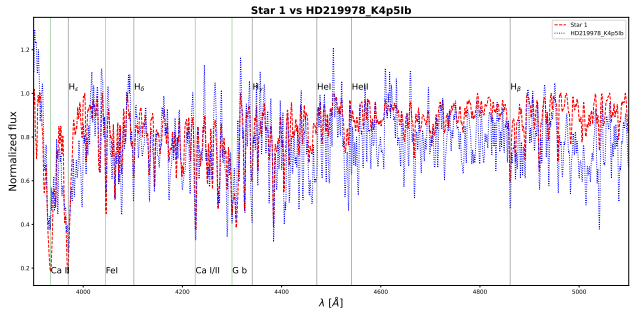
(a) Comparación Estrella 1 vs HD3651_K0V



(b) Comparación Estrella 1 vs HD12014_K0Ib



(c) Comparación Estrella 1 vs HD201091_K5V



(d) Comparación Estrella 1 vs HD219978_K4p5Ib

Figura 6: Comparación de la estrella 1 con las estrellas de tipo K. Las líneas grises marcan las líneas de absorción del H y He, y las verdes las líneas de absorción moleculares. Se ve una clara similitud con la estrella HD3651, de tipo K0V.

Por tanto, concluimos que la estrella 1 podría ser de clase espectral **K0V**, con el error típico de \pm una subclase y \pm una clase de luminosidad.

3.2. Clasificación segunda estrella

Por otro lado, como se puede ver en la Figura 3, el normalizado de la estrella 2 presenta menos líneas de absorción y una intensa presencia de H. Con estas premisas, podemos presuponer que se trata de una estrella de tipo temprano (O, A, B). No se ve presencia de la línea de He II a 4541 Å, típica de estrellas de tipo O. Sin embargo, sí que se ven intensas líneas de absorción de He I a 4009, 4026 y 4471 Å. Las líneas de absorción de He I aparecen en las estrellas de tipo O y B, pero no en las de tipo A. Por lo tanto, el tipo espectral de la estrella será B.

Para analizar el subtipo, comparamos la estrella 2 con las estrellas de referencia de tipo B. En la Figura 8 se representan esta comparaciones y en este caso no es tan fácil asociar nuestra estrella con una de referencia. Sí que podemos intuir su clase de luminosidad, ya que la anchura de las líneas de absorción se asemejan a las dos estrellas de tipo I (HD150898_B0Ib y HD13267_B5Ia).

Para poder determinar el subtipo de la estrella 2, analizamos ciertas líneas de absorción:

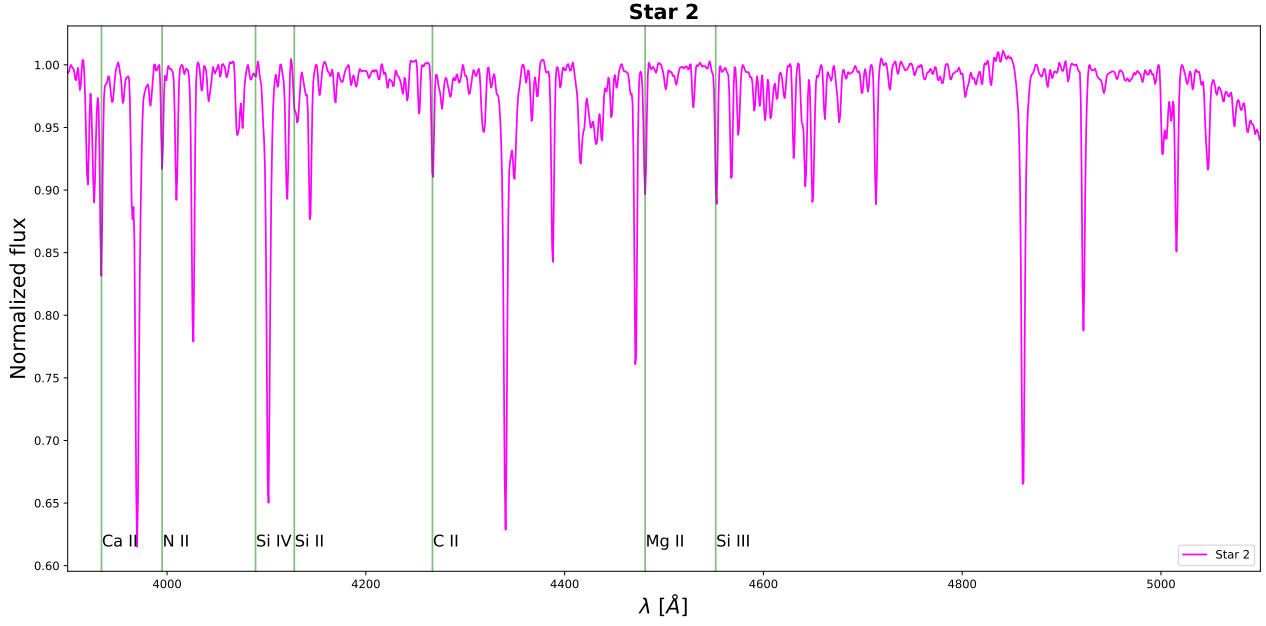
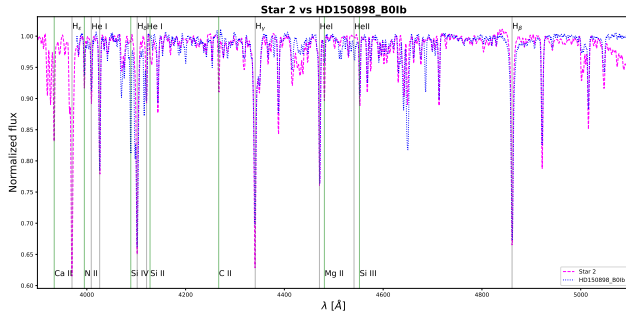
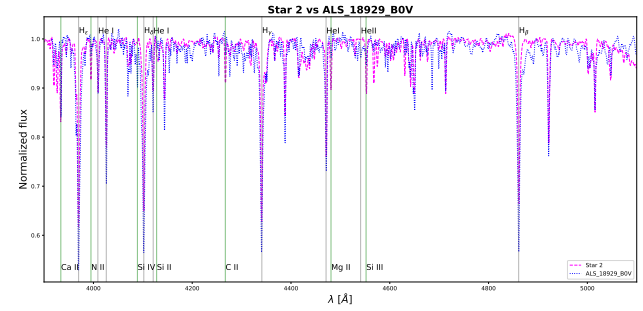


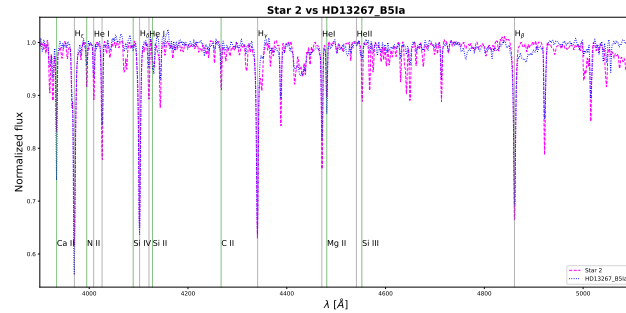
Figura 7: Normalización del espectro de la estrella 2 con las líneas de absorción marcadas en el Si II (4481Å), Si III (4552Å), Si IV (4089Å), Mg II (4481Å), N II (3995 Å), Ca II (4009Å) y C II (4267Å).



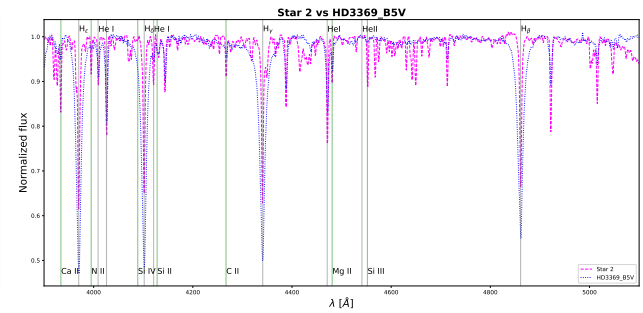
(a) Comparación estrella 2 vs HD150898_B0Ib



(b) Comparación estrella 2 vs ALS_18929_B0V



(c) Comparación estrella 2 vs HD13267_B5Ia



(d) Comparación estrella 2 vs HD3369_B5V

Figura 8: Comparación de la estrella 2 con las estrellas de tipo B. Las líneas grises marcan las líneas de absorción del H y He, y las verdes las líneas de absorción moleculares. Se ve que las estrellas de clase de luminosidad V tienen las líneas de absorción más anchas que nuestra estrella. Sin embargo, nuestras líneas de absorción sí que tienen una anchura aparecida a las líneas de la estrellas de tipo I.

- En nuestra estrella tenemos absorción de C II a 4267 Å, que no está presente en las estrellas de tipo B0 [1], como se representa en la Figura 9, dando a intuir que nuestra estrella es de tipo más tardío.
- Los ratios de 4552 Si III / 4089 Si IV y 4481 Mg II / 4471 He I aumentan con los tipos tardíos para estrellas de tipo B0-B1. En la Tabla 1 se pueden ver los ratios de nuestra estrella comparados con los ratios de las estrellas tipo B0V y B0I. Con los resultados obtenidos, nuevamente parece que la estrella 2 es de tipo más tardío.
- Los ratios 4128-30 Si II / 4121 He I y 4481 Mg II / 4471 He I aumentan con los tipos tardíos para las estrellas tipo B2-B8. En la Tabla 2 se ve que los ratios de nuestra estrella son más pequeños que los de las estrellas de tipo B5. Por lo tanto, la estrella 2 es más temprana que B5.

Por lo tanto, teniendo en cuenta los ratios presentados en las Tablas 1 y 2 y la anchura de las líneas de absorción, concluimos que la estrella 2 podría ser de clase espectral **B3I**, con el error típico de \pm una subclase y \pm una clase de luminosidad.

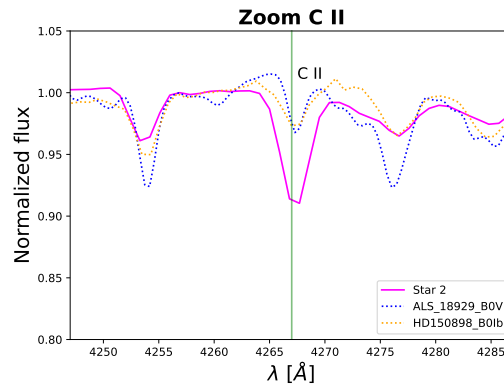


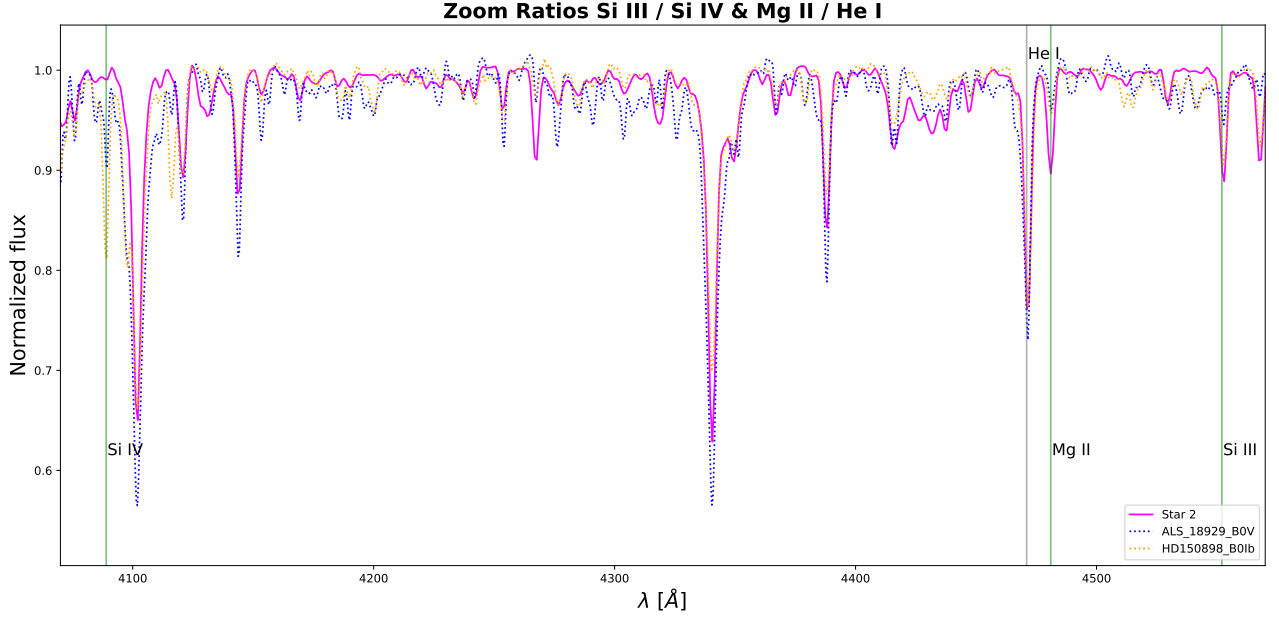
Figura 9: Línea de absorción de C II a 4267 Å. La línea de absorción de nuestra estrella es más intensa que la dada en las estrellas de tipo B0, por lo que se puede intuir que nuestra estrella es más tardía.

Ratio	Estrella 2	HD150898_B0Ib	ALS_18929_B0V
4552 Si III / 4089 Si IV	12	0.51	0.12
4481 Mg II / 4471 He I	0.43	0.17	0.14

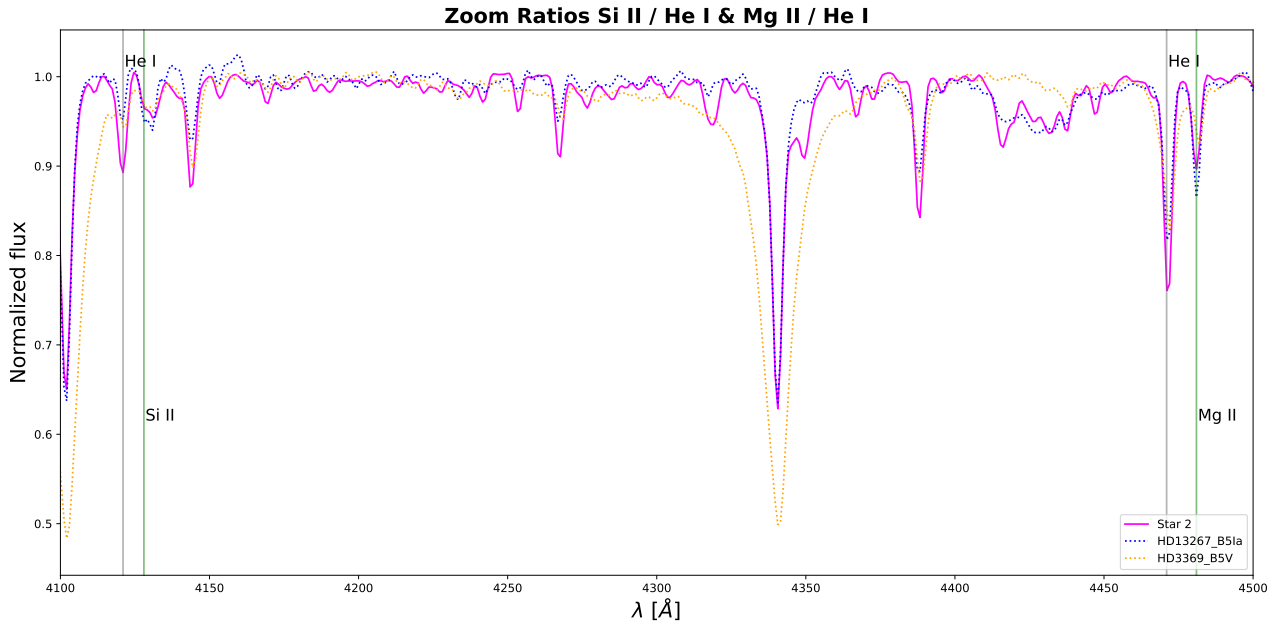
Tabla 1: Comparación de ratios típicos de estrellas tipo B0-B1. Se ha comparado nuestra estrella con dos estrellas de tipo B0. Se intuye nuevamente que la estrella 2 es de tipo más tardío, ya que las estrellas más tardías presentan mayores ratios. Los datos que se han usado para calcular los ratios se han cogido directamente de la Figura 10.

Ratio	Estrella 2	HD13267_B5Ia	HD3369_B5V
4128-4130 Si II / 4121 He I	0.37	1.08	0.61
4481 Mg II / 4471 He I	0.43	0.73	0.45

Tabla 2: Comparación de ratios típicos de estrellas tipo B2-B8. Se ha comparado nuestra estrella con dos estrellas tipo B5. Se intuye que la estrella es más temprana, ya que a medida que aumenta el ratio, la estrella es más tardía. Los datos que se han usado para calcular los ratios se han cogido directamente de la Figura 10.



(a) Ratios típicos estrellas B0-B1



(b) Ratios típicos estrellas B2-B8

Figura 10: Zoom en distintas zonas del espectro para estudiar los ratios que caracterizan las estrellas de tipo B. Las líneas grises marcan las líneas de absorción del H y He, y las verdes las líneas de absorción moleculares. Los resultados de los ratios representados en la Figuras (a) y (b) se han plasmado en las Tablas 1 y 2 respectivamente.

4. Conclusiones

Como conclusiones, hemos sido capaces de representar ambas estrellas en Python y hacer el normalizado de estas. Gracias a la identificación de las distintas líneas de absorción y del cálculo de ratios para el caso de la estrella 2, hemos podido concluir los tipos espectrales de ambas estrellas con un error típico.

Referencias

- [1] RO Gray. A digital spectral classification atlas, 2000.
- [2] A. Herrero. *Apuntes asignatura: Atmósferas estelares. Curso 2023-24.*
- [3] Atomic Line List. <https://linelist.pa.uky.edu/newpage/>. (*accedido: Oct-2023*).