

# Granulación en estrellas tipo K

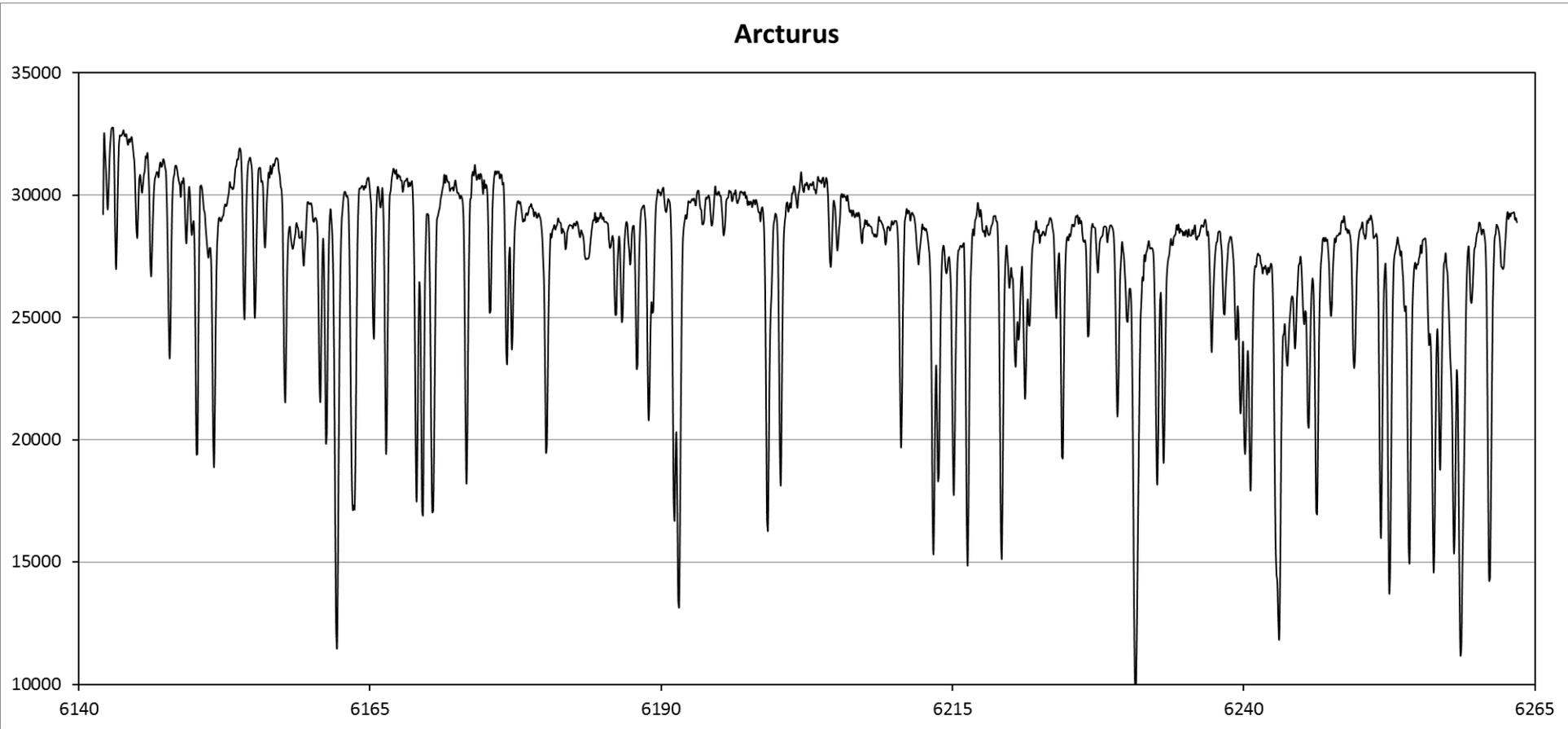
Benjamín Oostra

Seminario de Astronomía

2 de febrero de 2021

*Al medir la velocidad de una estrella, surge un problema: cada línea espectral indica una velocidad diferente. Esto se debe a movimientos convectivos en su fotosfera, fenómeno conocido como granulación, y al hecho de que cada línea espectral se forma preferiblemente en una zona diferente. En el Sol este problema ha sido ampliamente estudiado; pero en estrellas frías, sobre todo gigantes, el asunto es más complejo.*

# Espectros @ Uniandes:

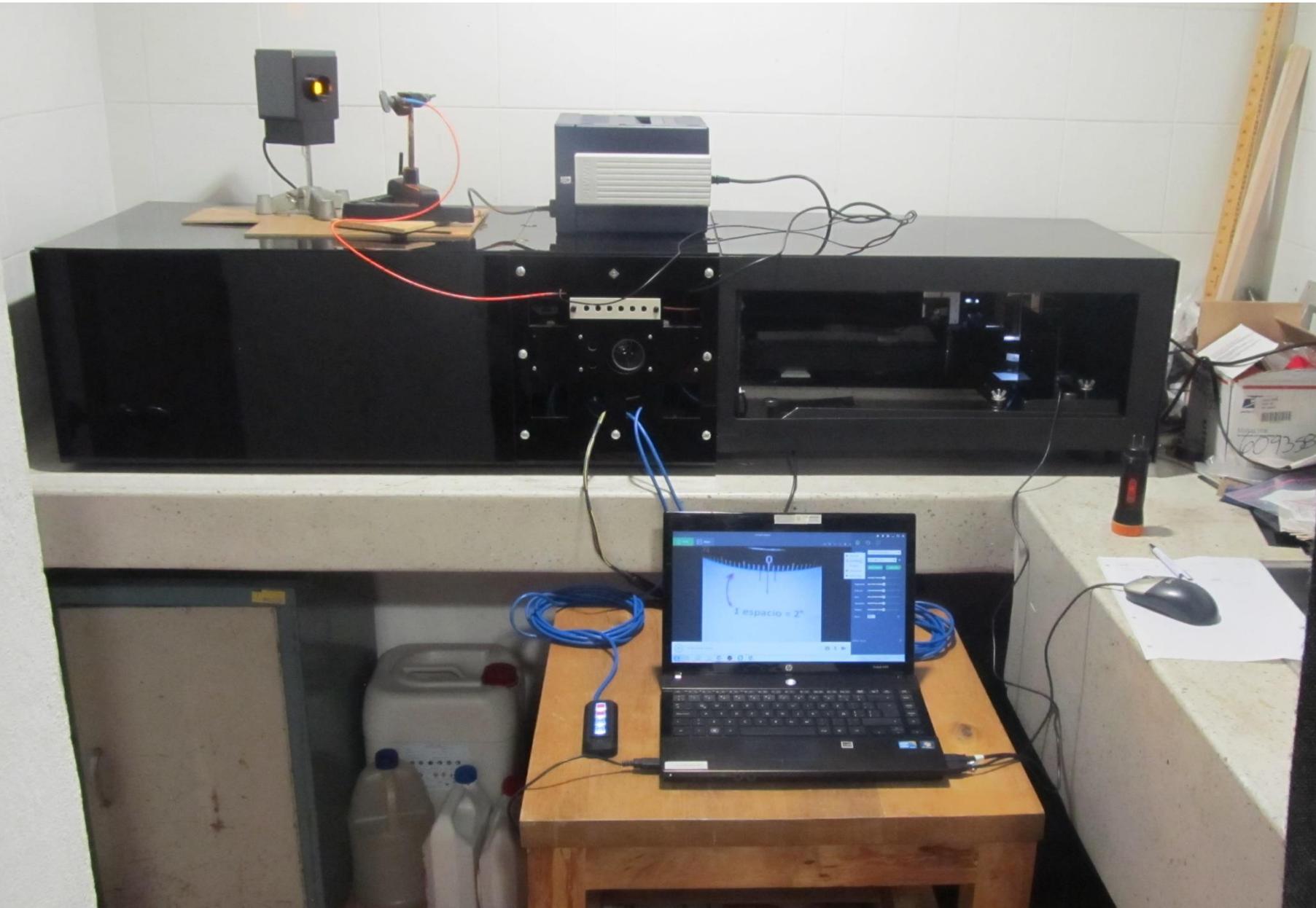


2007:  
Espartaco 1.0

2008:  
versión 1.1



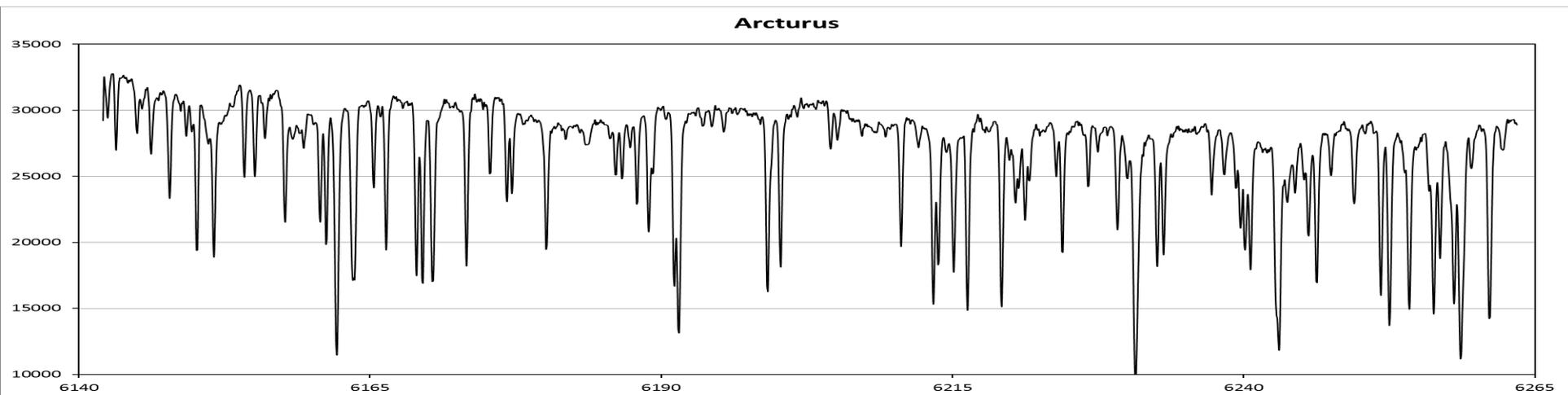
# 2020: Espartaco 2.0



# Proyecto de observación: Seguimiento de la $V$ radial de Antares

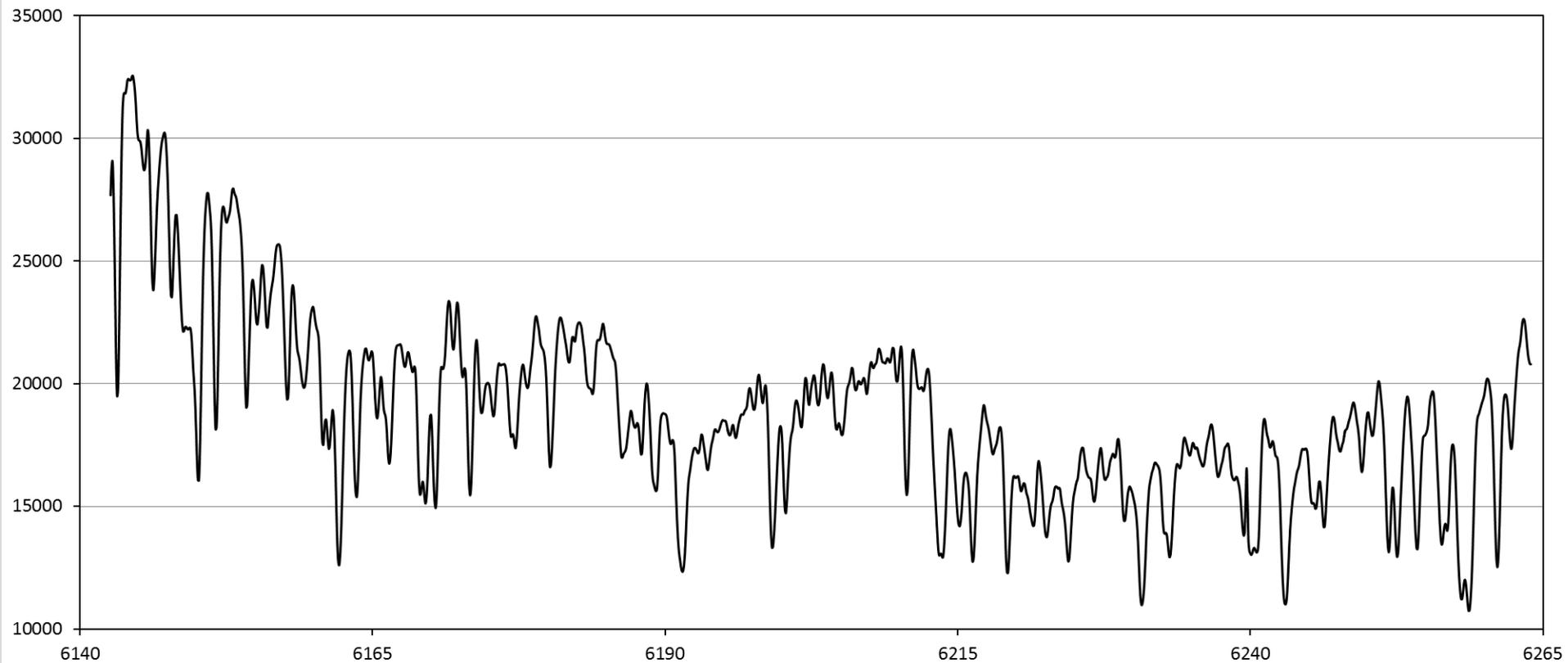
- 5 años (marzo 2015 – marzo 2020)
- 600 espectros
- Velocidad oscila irregularmente
- Varias periodicidades
- Amplitud variable
- Problema: ¿Cuál  $V$ ?

# Arcturus (K 1,5 III)



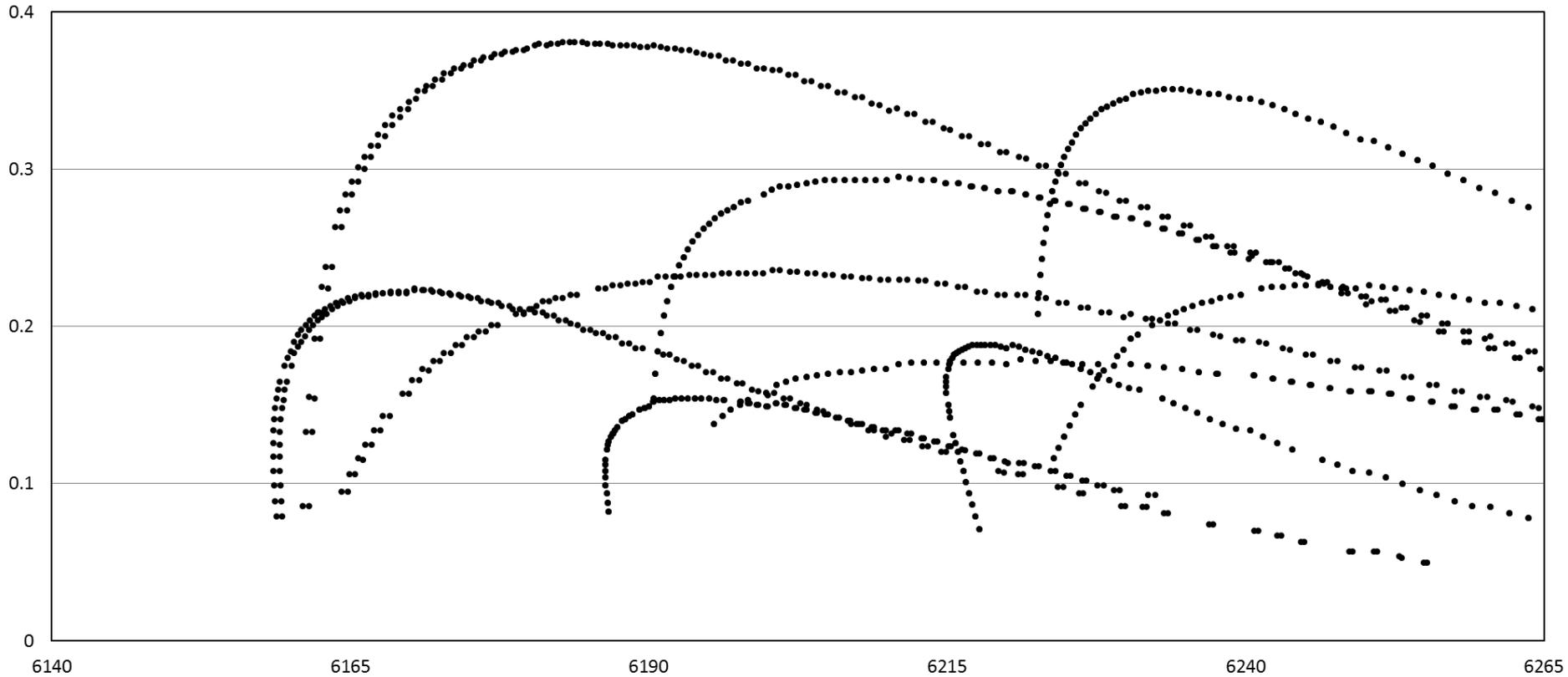
# Antares (M 1,5 I)

Antares



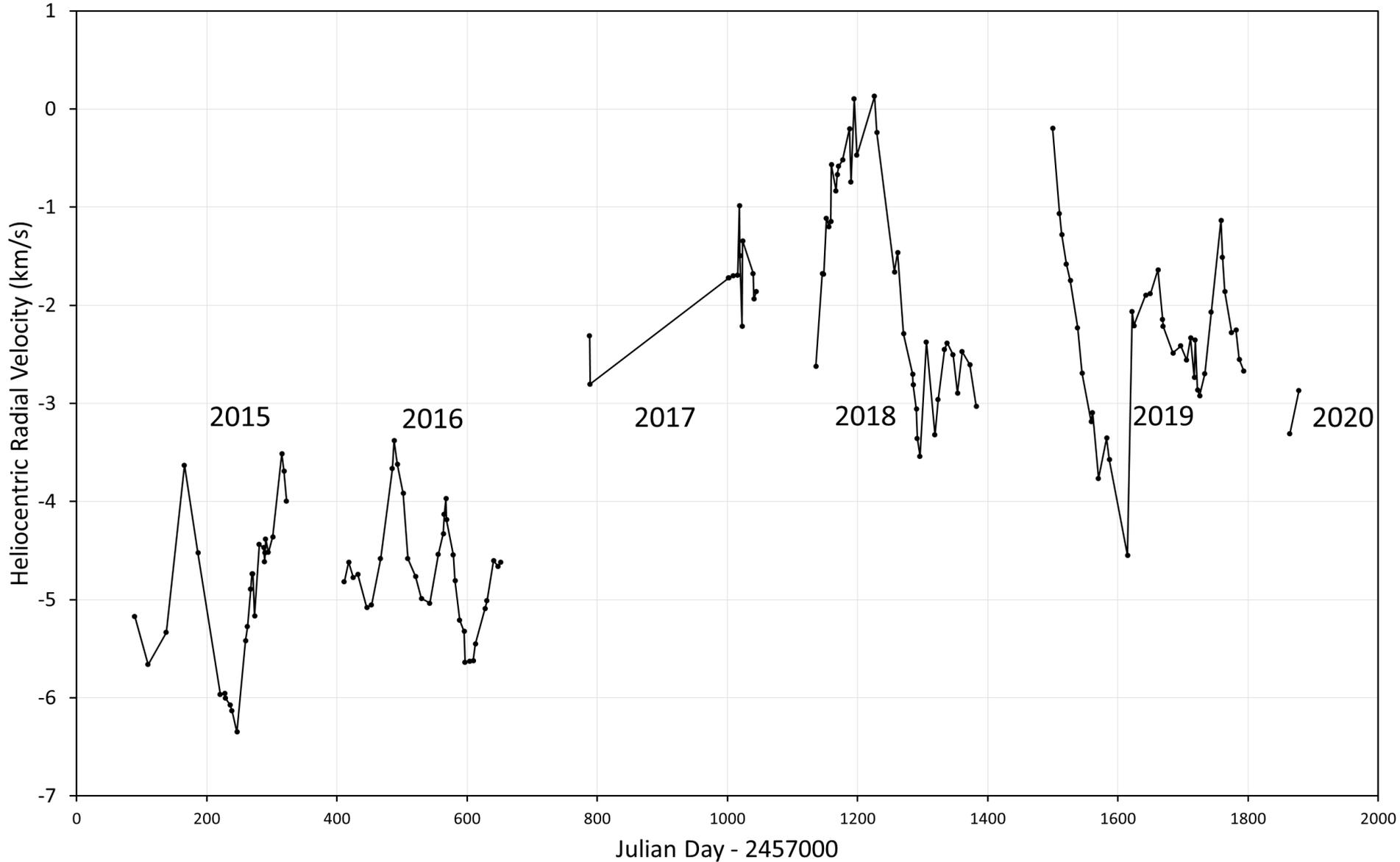
# Moléculas (TiO) en estrellas frías

TiO (modelo estelar parecido a Antares y Betelgeuse, según VALD)

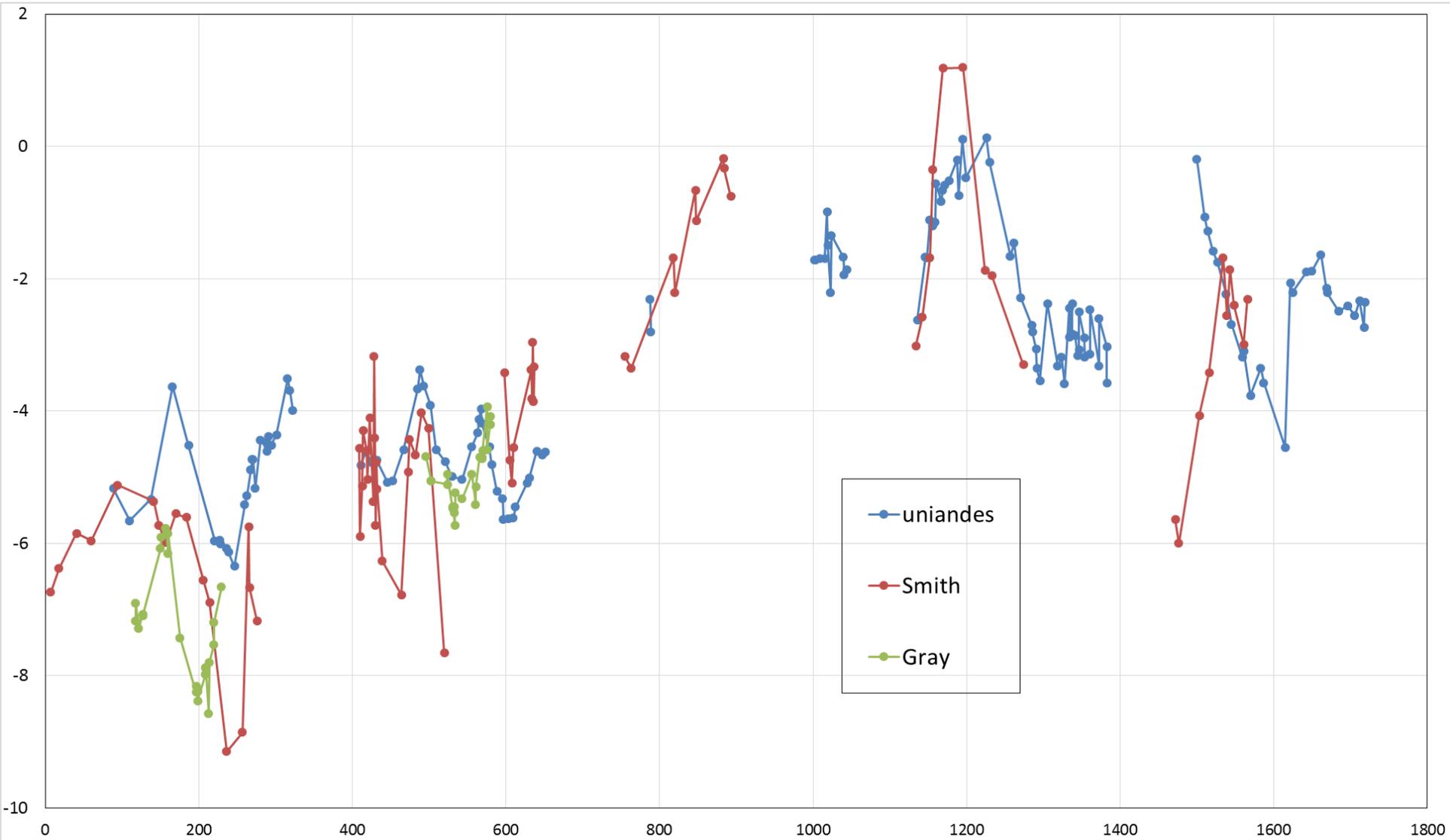


# Seguimiento de Antares en Uniandes

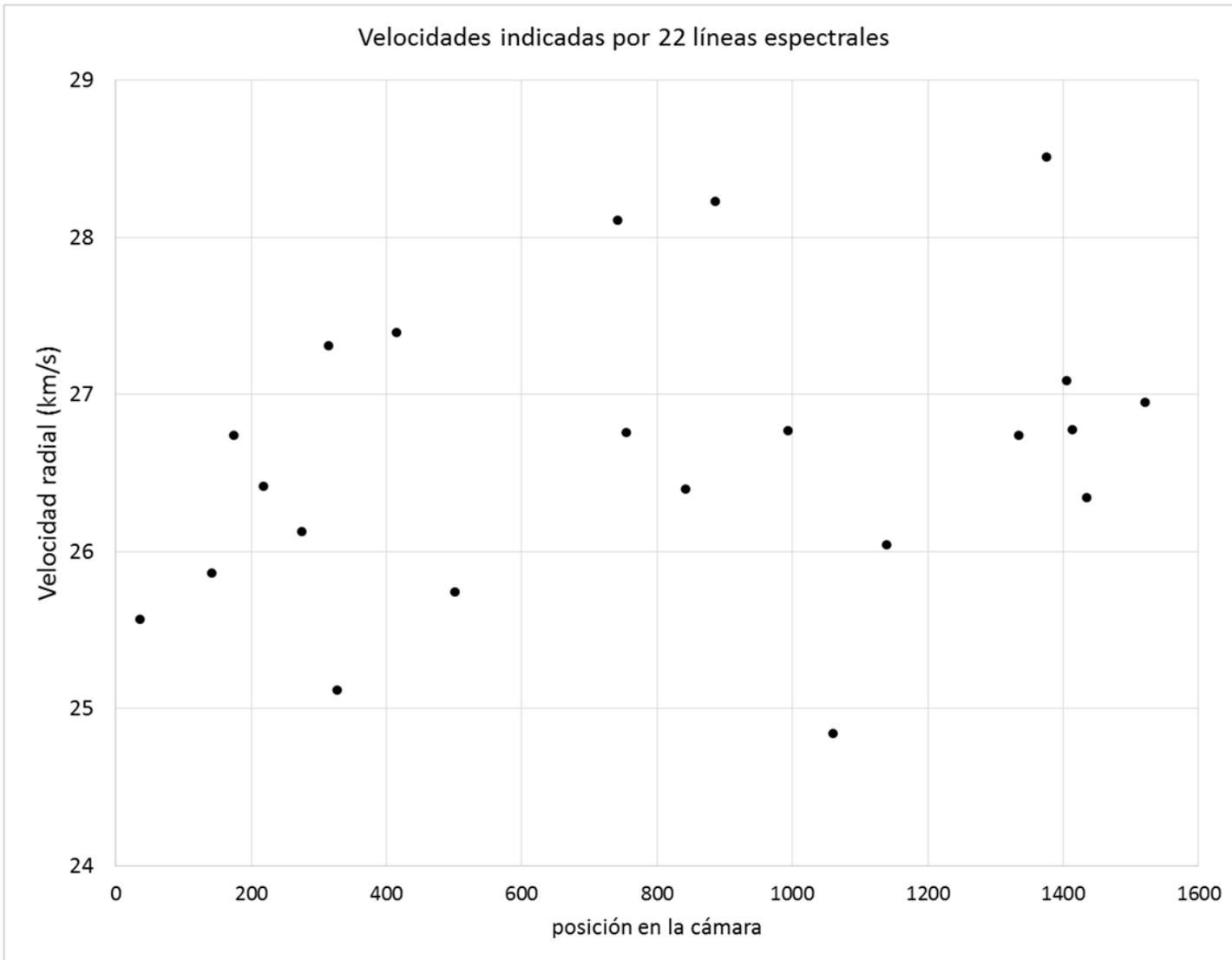
## Nightly Averaged Radial Velocity



# comparación con trabajos previos



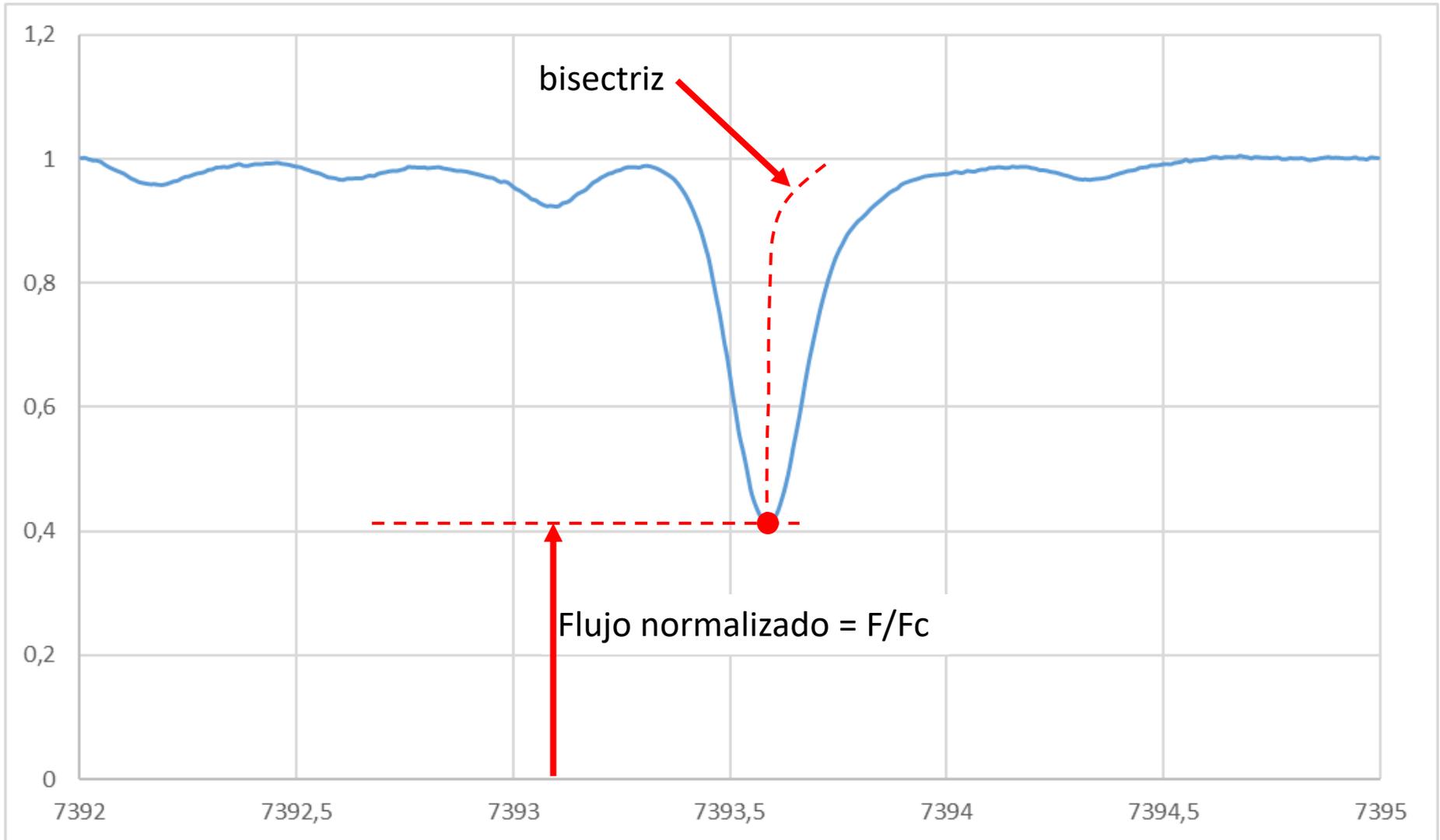
# Diferencias de V entre líneas



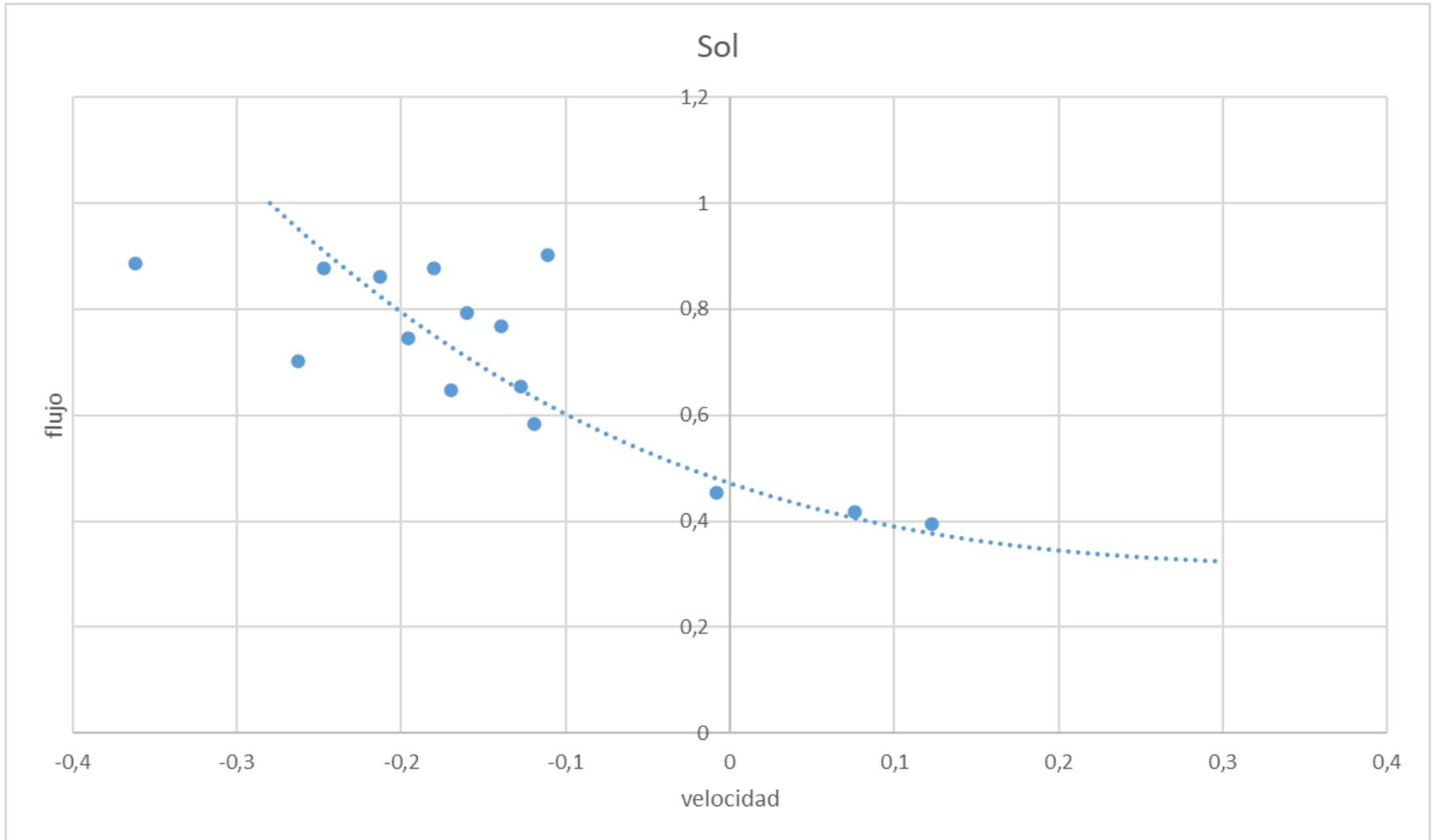
# Diferencias de $V$ entre líneas

- Convección  $\rightarrow$  Granulación
- Entendido para estrellas normales:
- Líneas poco profundas (mayor  $F$ ) vienen de capas internas; convección rápida
- Líneas más profundas (menor  $F$ ) vienen de la superficie; convección frenada por la gravedad
- Convección produce corrimiento hacia el azul porque el material que sube es más caliente y más luminoso

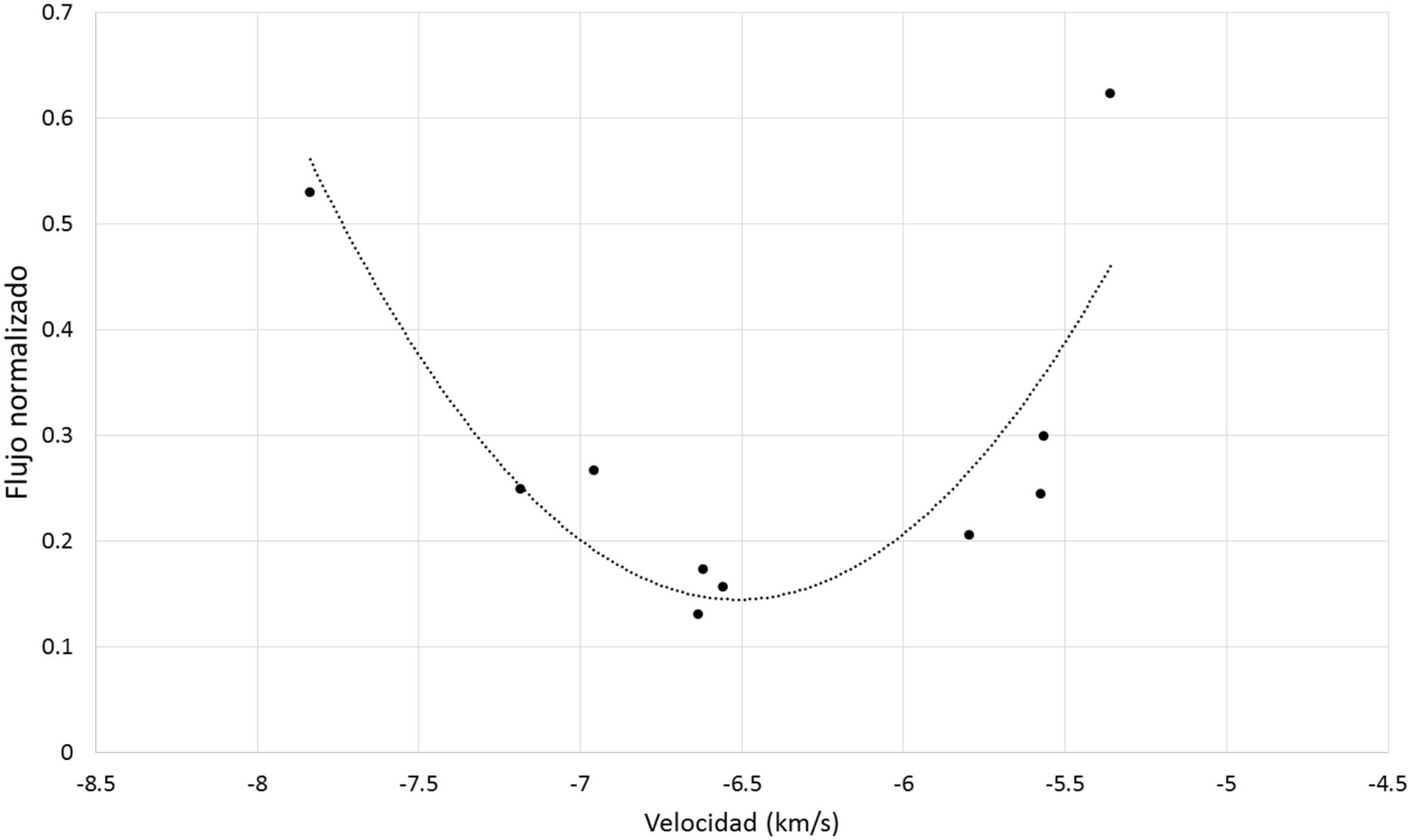
# Núcleo de una línea espectral



# Diagrama de granulación "normal"

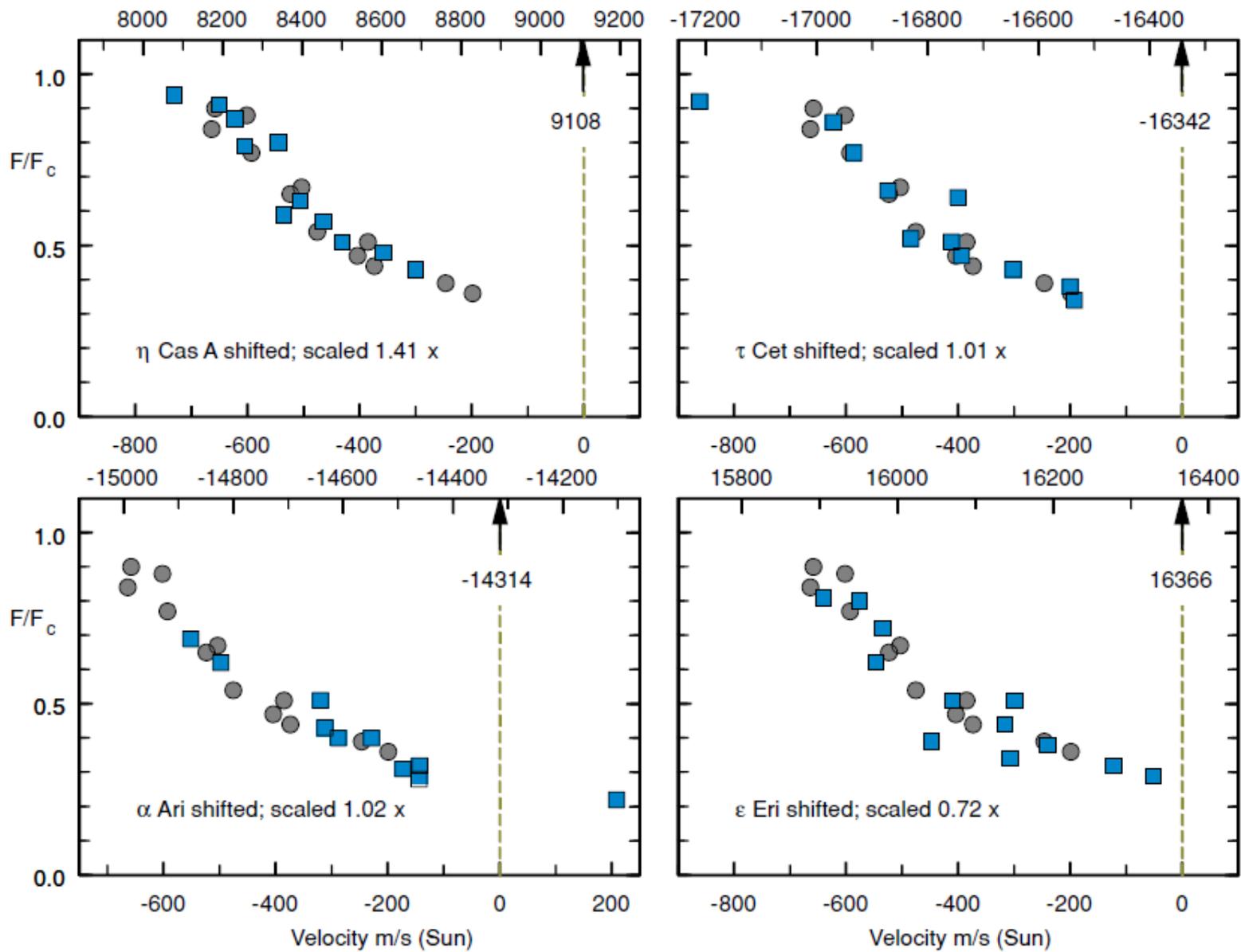


# granulación en Antares: Líneas de Fe I



# V de una estrella

- Se construye el diagrama de granulación
- Se superpone la curva solar
- La Curva Solar se re-escala horizontalmente
- La Curva Solar se desplaza horizontalmente
- Hasta que empata con el diagrama de la estrella
- Luego el “0” del Sol señala la V de la estrella
  
- Ejemplo:



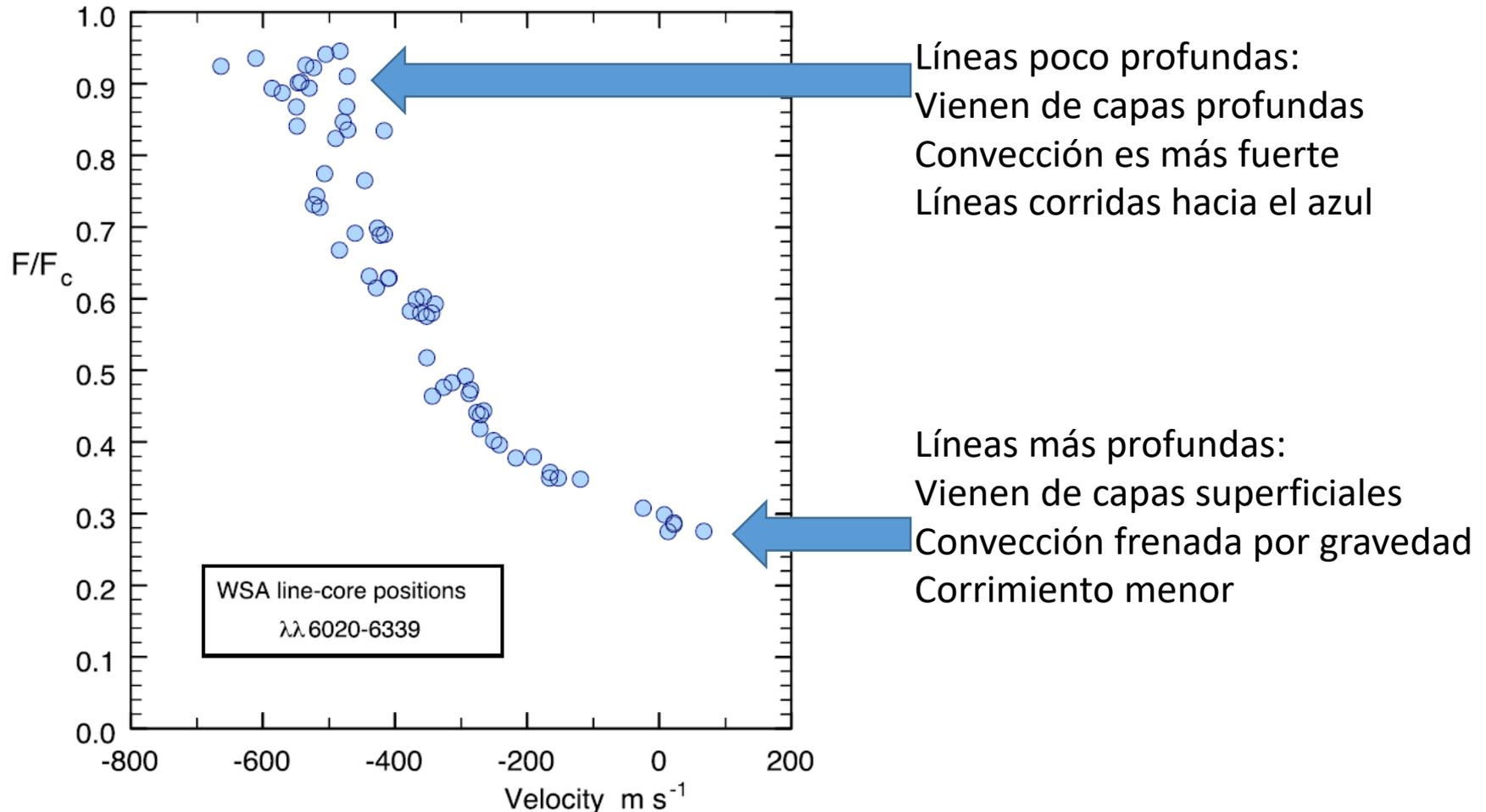
**Figure 9.** Third-signature plots for the four stars are scaled and shifted to the solar plot. The circles are solar values; squares the stellar ones. The solar velocity scale is at the bottom, the stellar at the top of each plot. The vertical dashed line indicates the zero of the solar plot and the radial velocity of the star, as labeled.

(A color version of this figure is available in the online journal.)

# Usar espectros publicados

- De mayor resolución
- Y de una variedad de estrellas
- Del Sol y de Arcturus hay espectros muy buenos

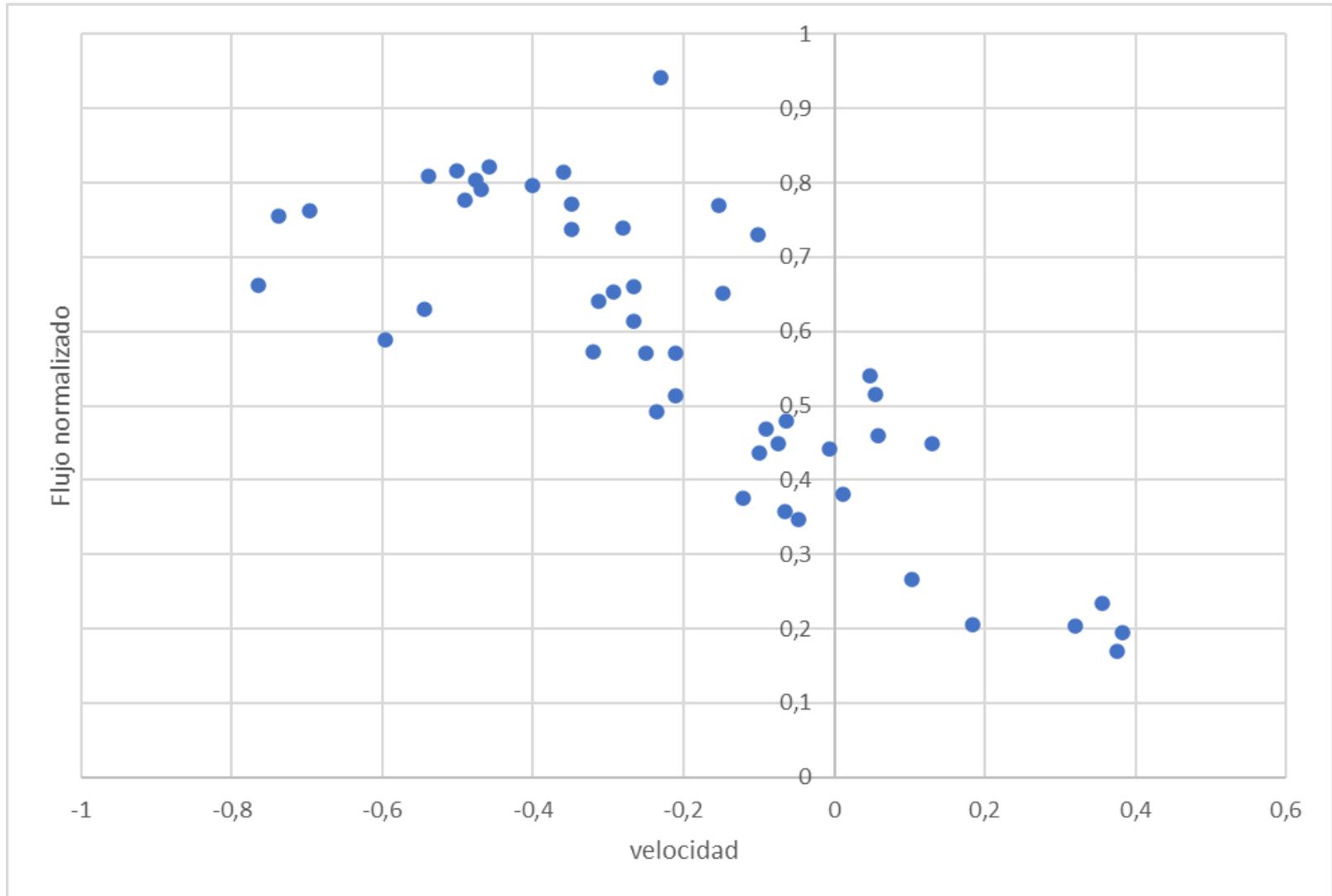
# El Sol: Wallace Solar Atlas ( $R \approx 700000$ )



**Figure 6.** Basic third-signature plot for the WSA lines in the 6020–6339 Å span. The velocity scale has the  $633 m s^{-1}$  gravitational redshift taken off.

copiada de Gray & Oostra, 2018

# Arcturus: Atlas de Hinkle & Wallace



# Diagrama más ancho

Se distingue la tendencia general

Parece haber dos curvas:

- Una, más poblada, a la izquierda
- Otra, menos poblada, a la derecha

¿Cuál es la correcta?

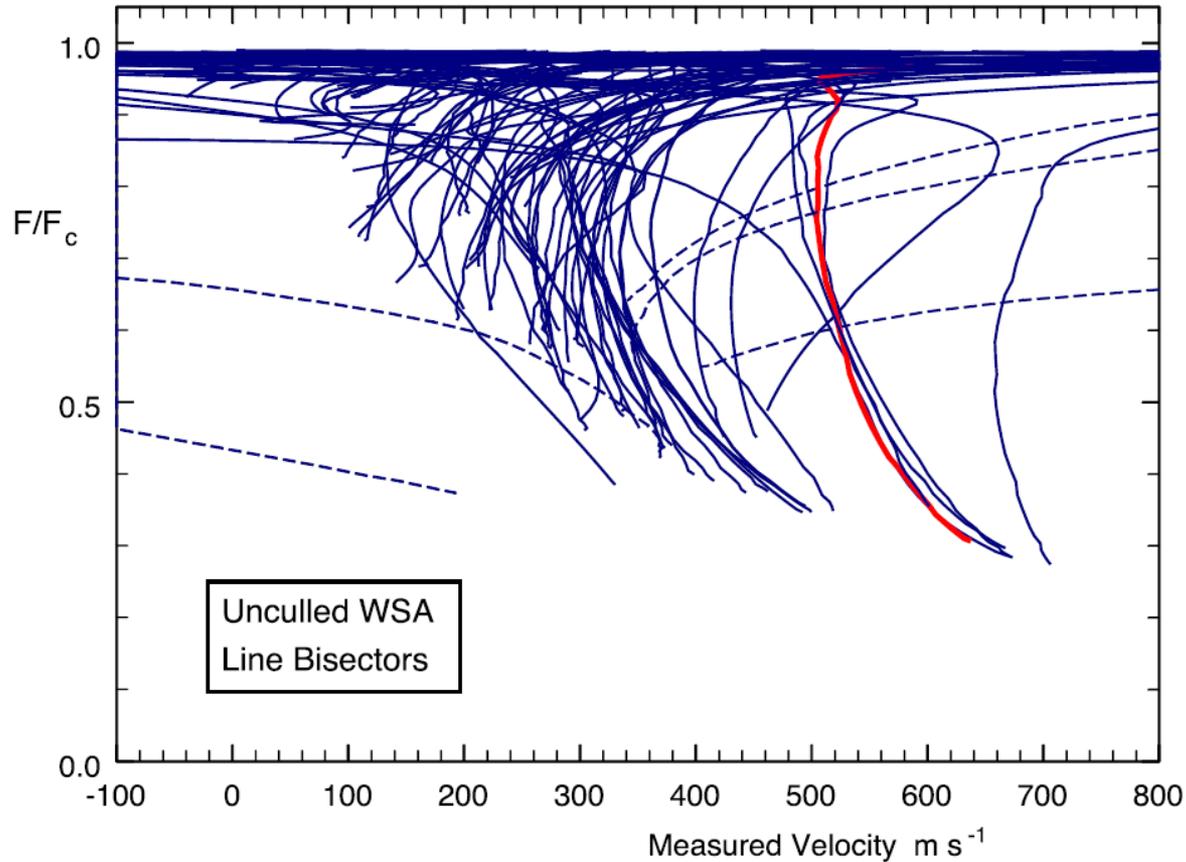
¿Por qué está la otra?

Observar las “bisectrices”

# Bisectrices de Sol@Wallace

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 852:42 (11pp), 2018 January 1

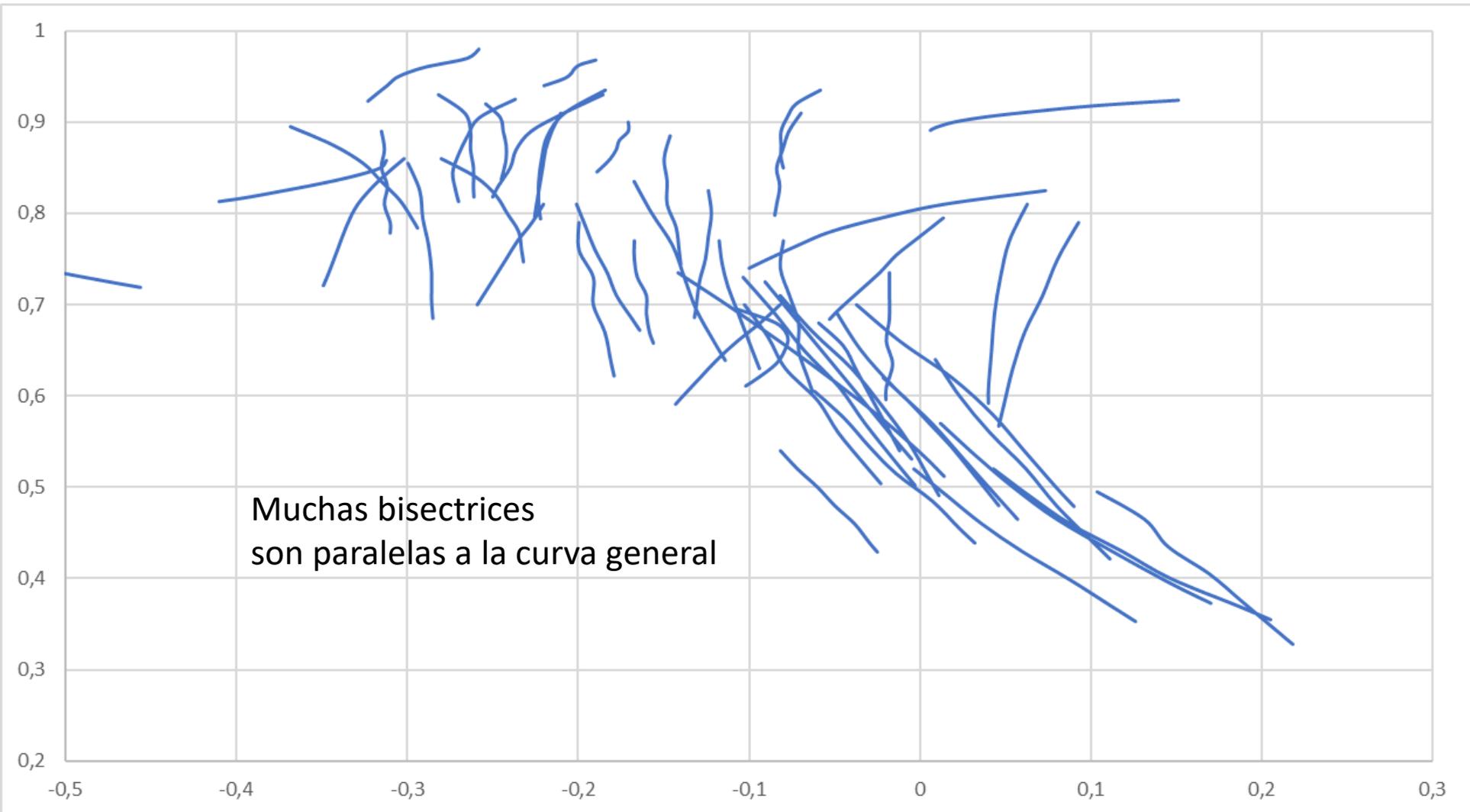
Gray & Oostra



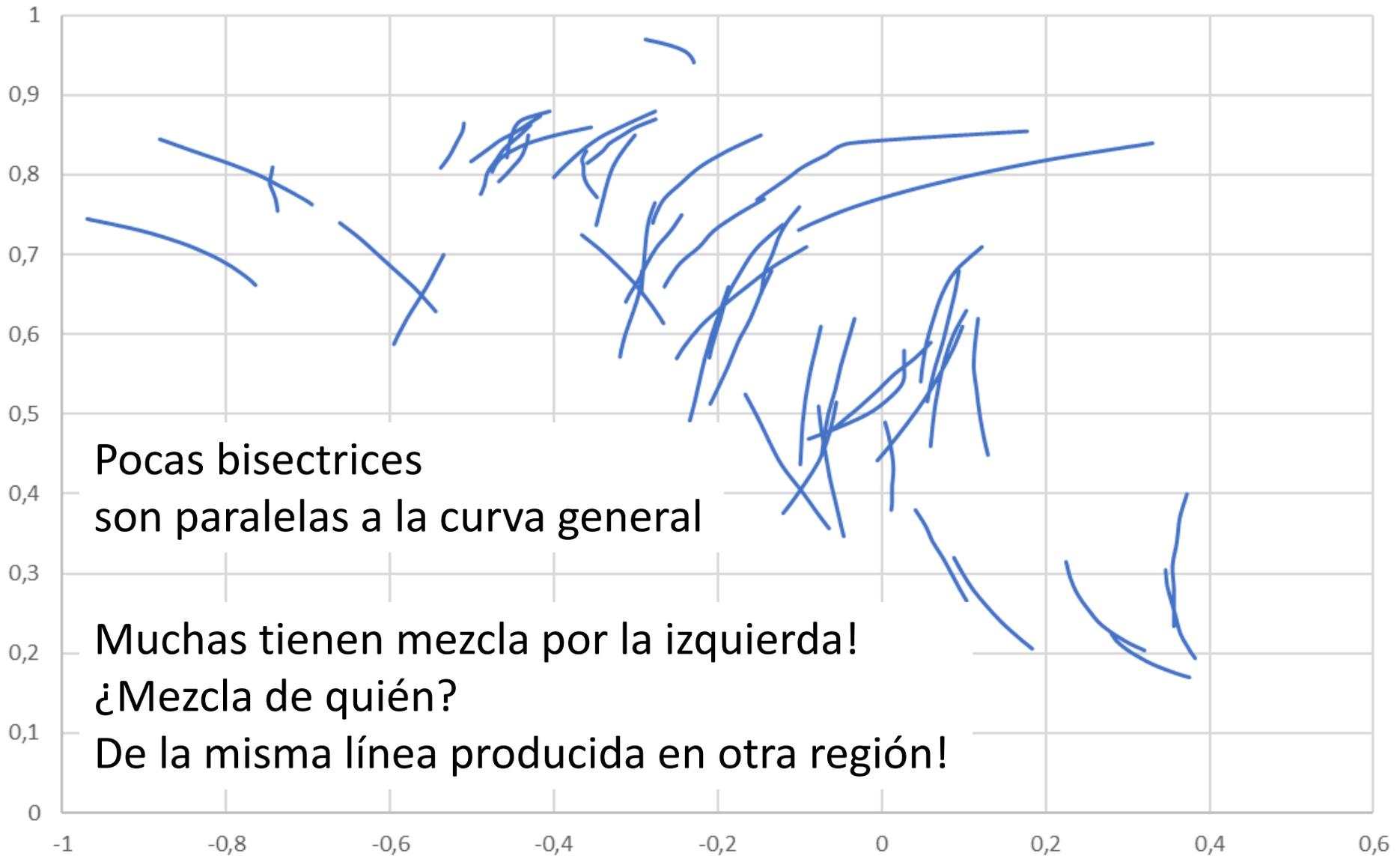
No deurado

**Figure 5.** Bisectors for 93 lines in the 6020–6340 Å region. Weaker lines show smaller velocities, which in reality are larger blueshifts. The red bisector is for Fe I 6253. Dashed lines show bisectors that are badly damaged by blends. The lower bound, comprised of the line-core points, is the part of the third signature we concentrate on in the rest of the investigation.

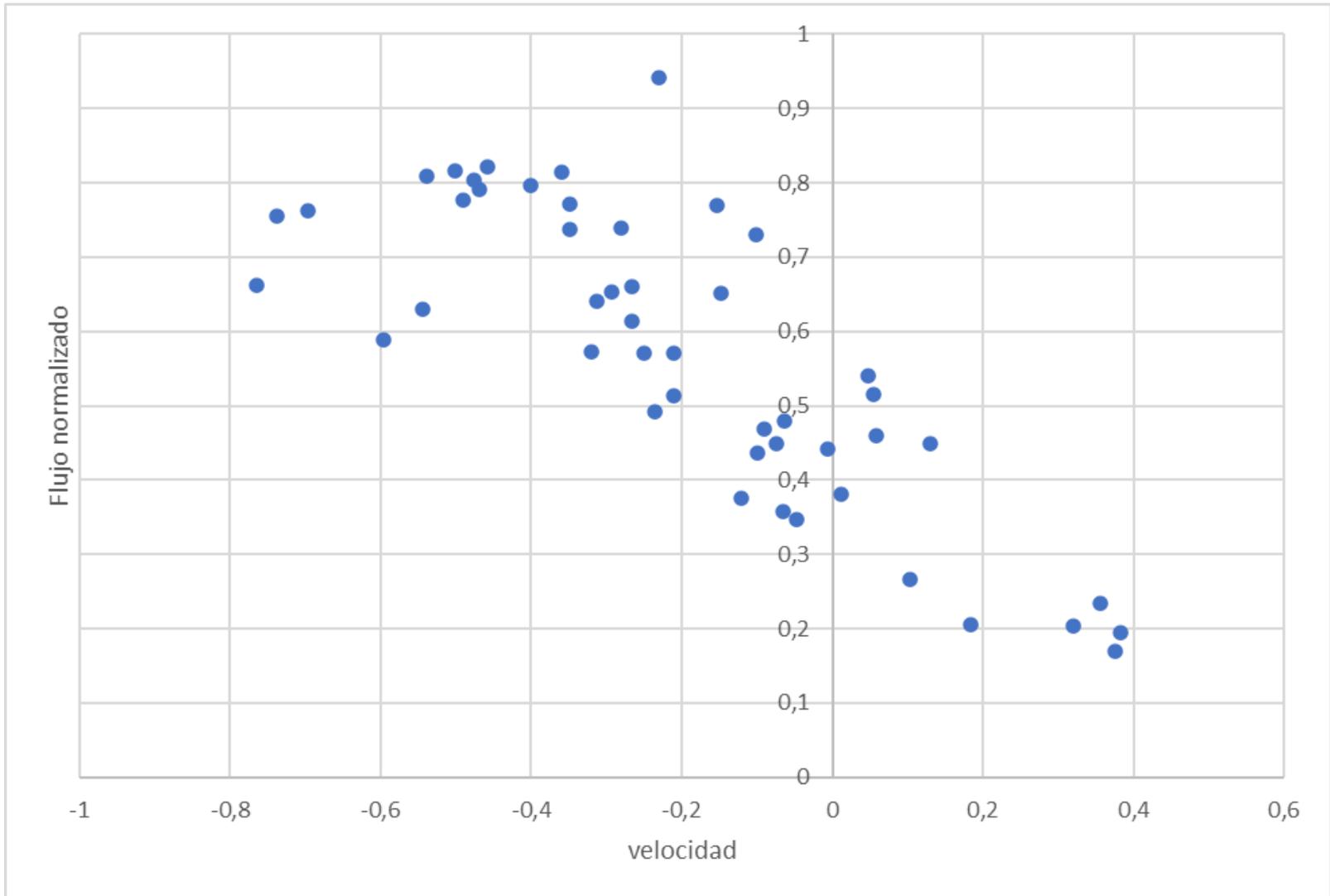
# Sol@Hinkle (solo líneas de hierro)



# Arcturus@Hinkle (K 1,5 III)



# Arcturus@Hinkle



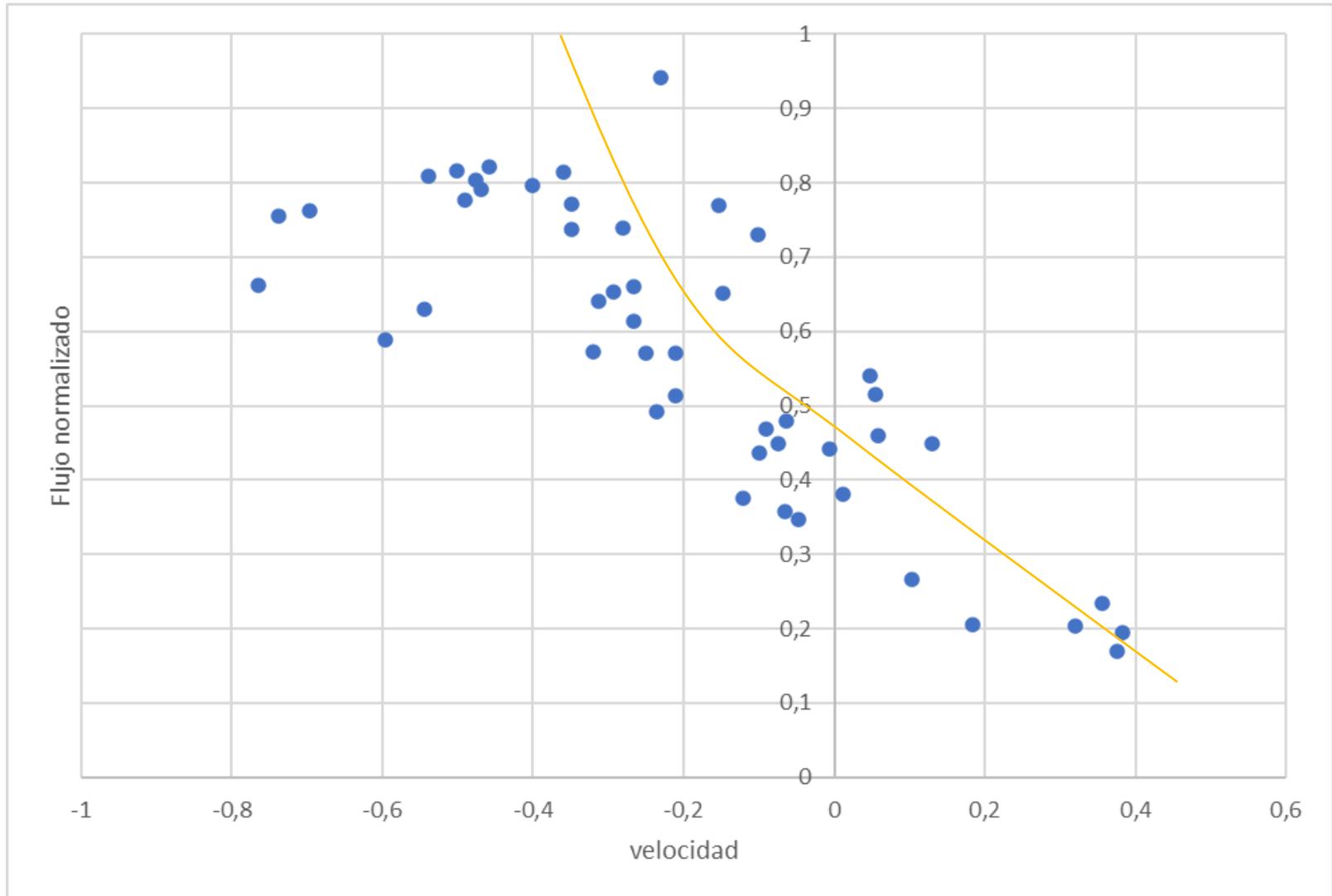
# Menos bisectrices paralelas

- Arcturus tiene más “zona fría” que el Sol
- La influencia (corrimiento hacia el rojo) de la zona fría se nota incluso en las líneas más profundas

# Líneas derechistas

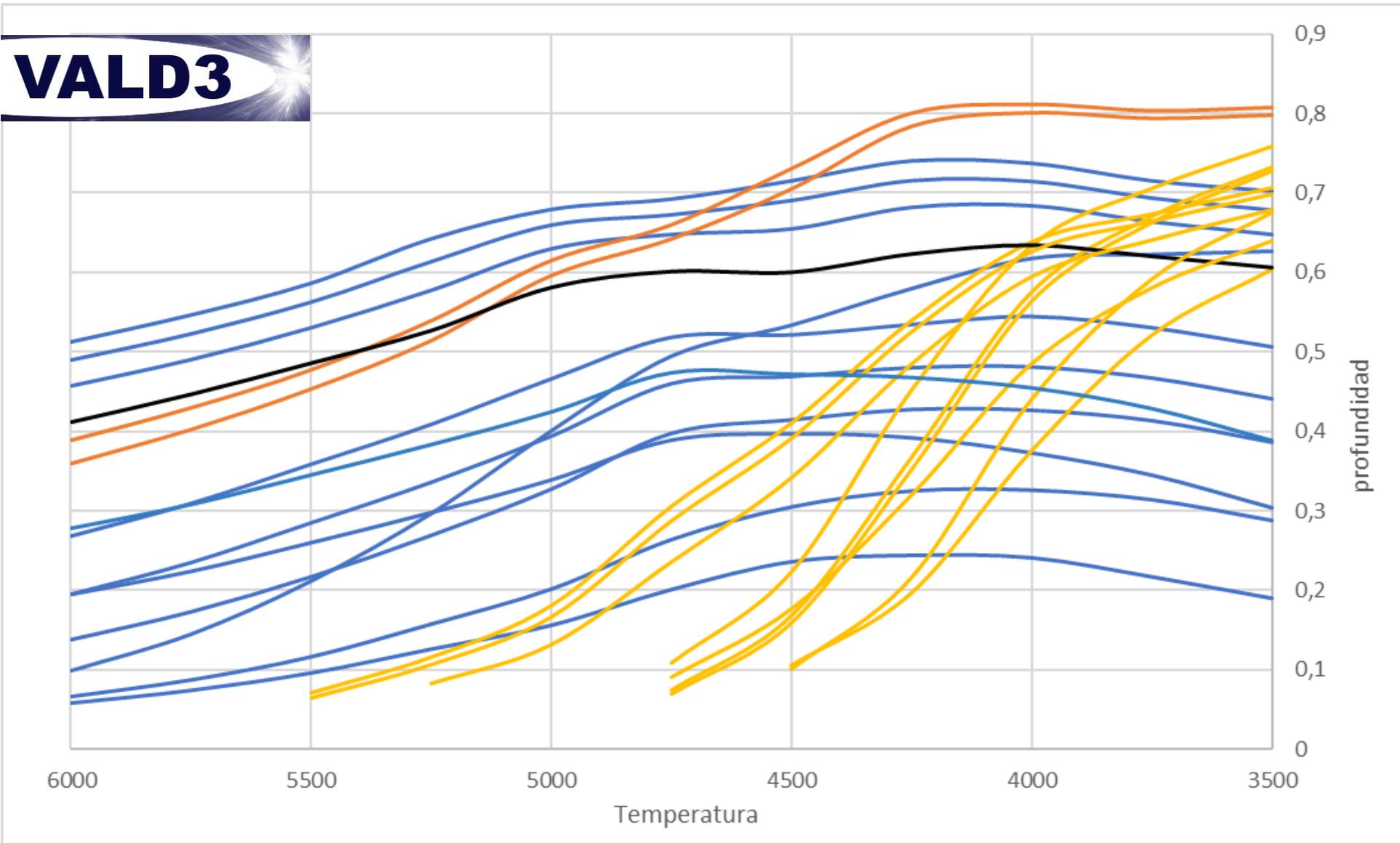
- Líneas que se forman preferiblemente en zonas frías
- No se forman en las columnas de gas caliente que vienen subiendo
- Más bien en el gas enfriado que comienza a hundirse
- Incluso donde la línea es más fuerte, la contribución de la zona fría es notable, y el núcleo está corrido hacia el rojo.

# Arcturus@Hinkle (8300 – 9000; solo hierro)

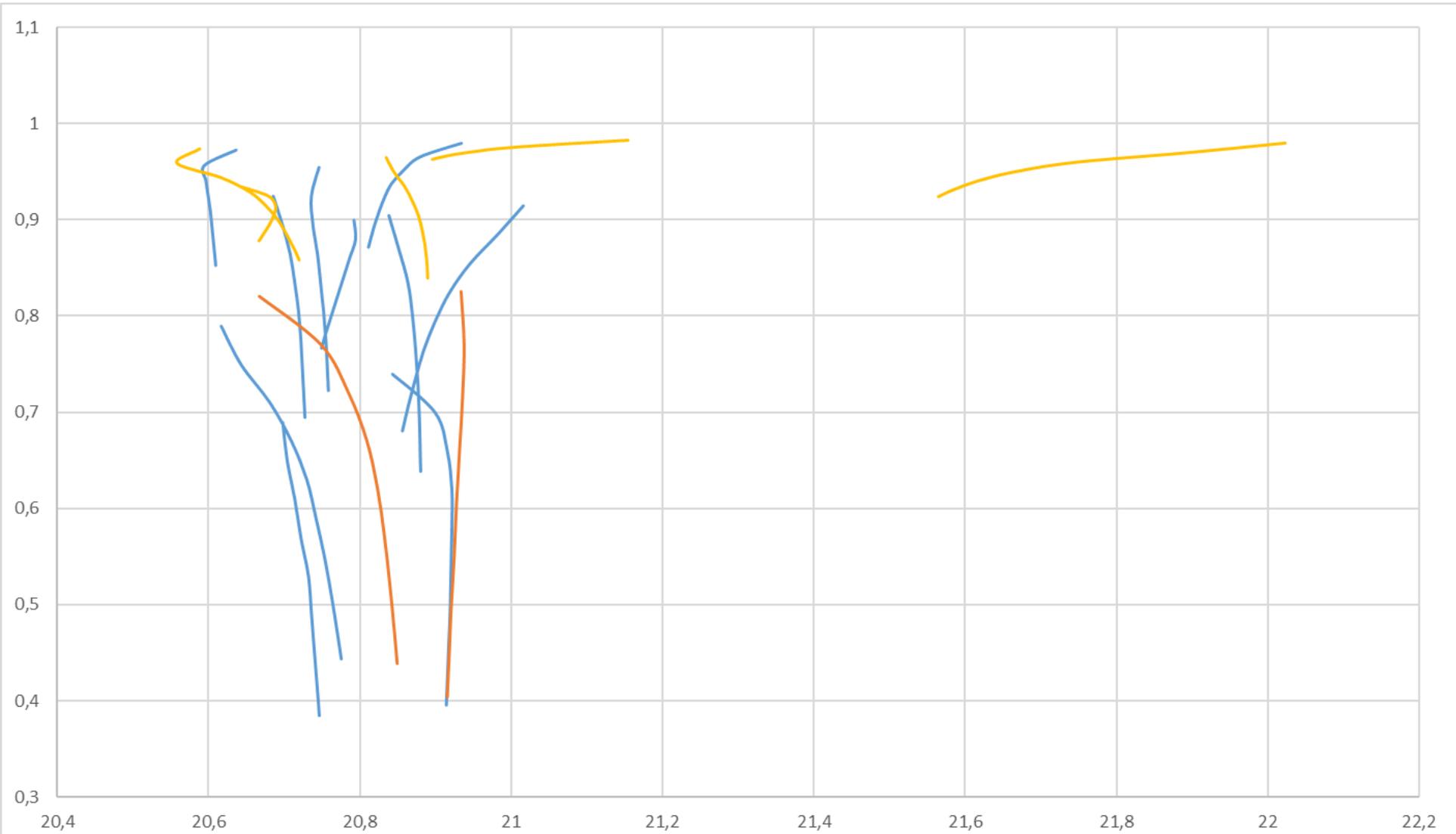




# Profundidad de líneas en estrellas de varias temperaturas

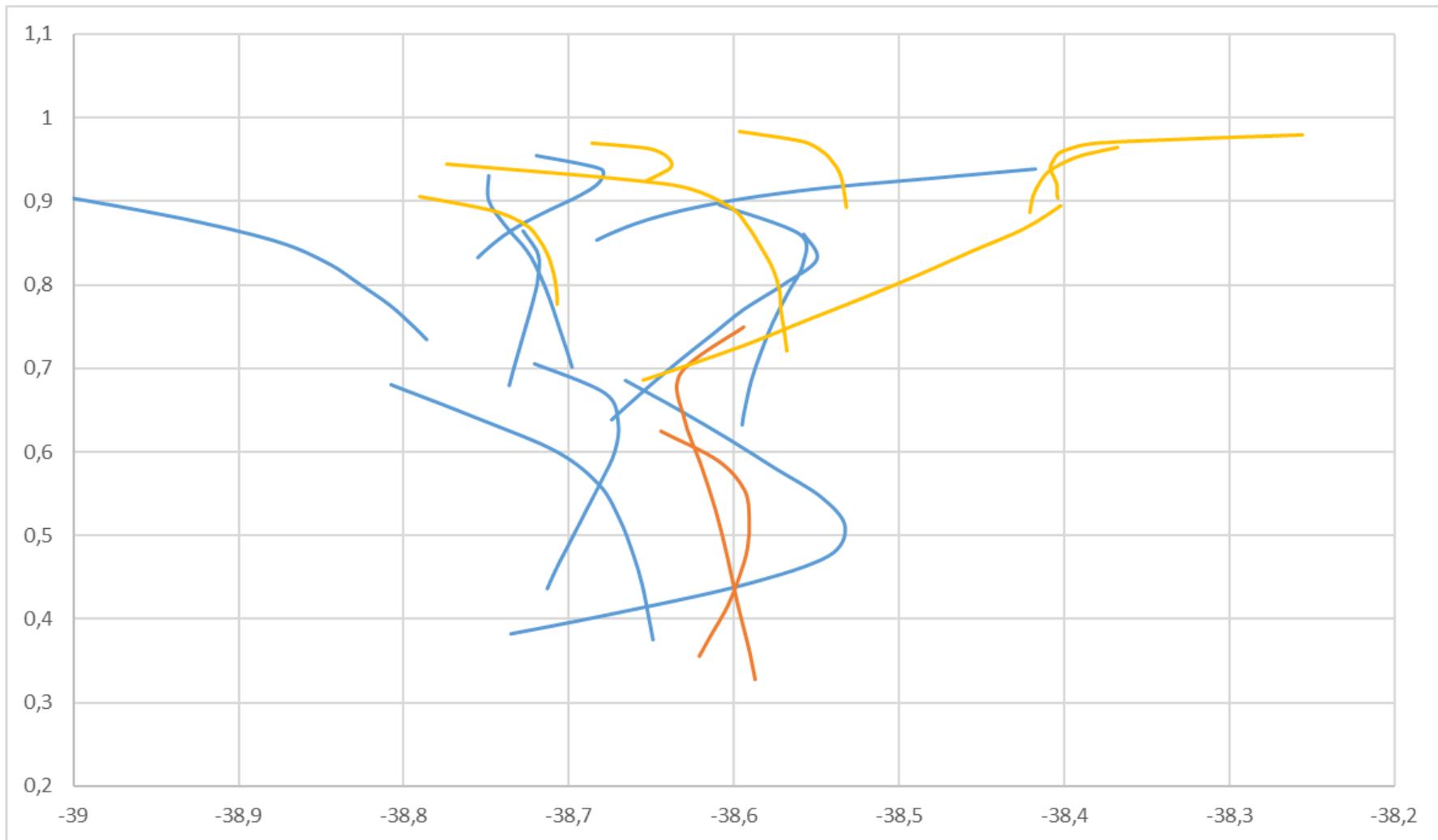


# HD 10361 (K 2 V)

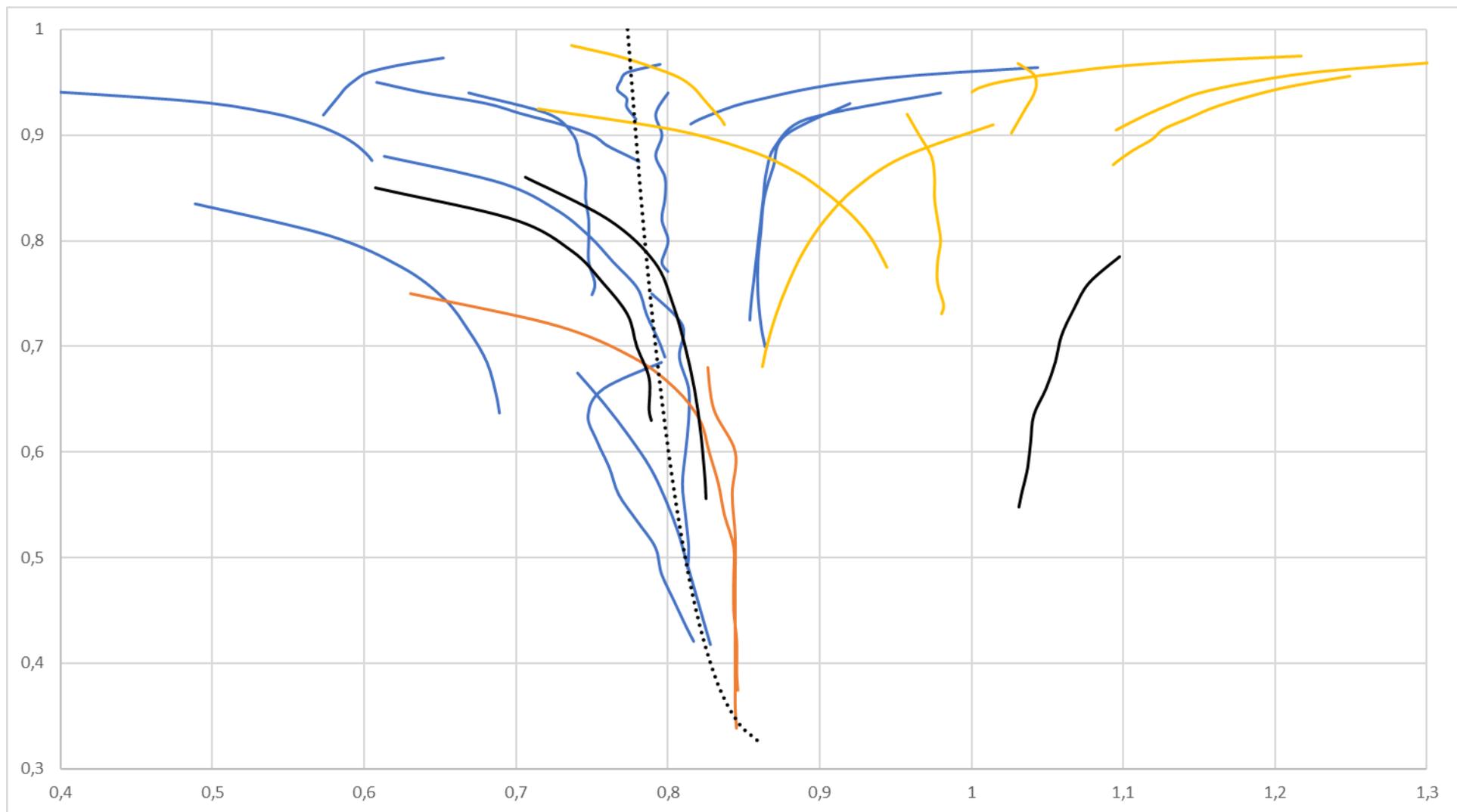


HD 209100

(K 4,5 V)



# HD 156026 (K 5 V)



# Estos últimos espectros son del Paranal Observatory Project (POP) con el espectrógrafo UVES

<https://www.eso.org/sci/observing/tools/uvespop.html>

Vienna  
Atomic  
Line  
Database

Cl O Al Fe Zn C H  
Na Ca B Si Co V  
P N Mn Sc Cu Ni  
Mg He Be Ti L S  
Ar

Gracias por su atención