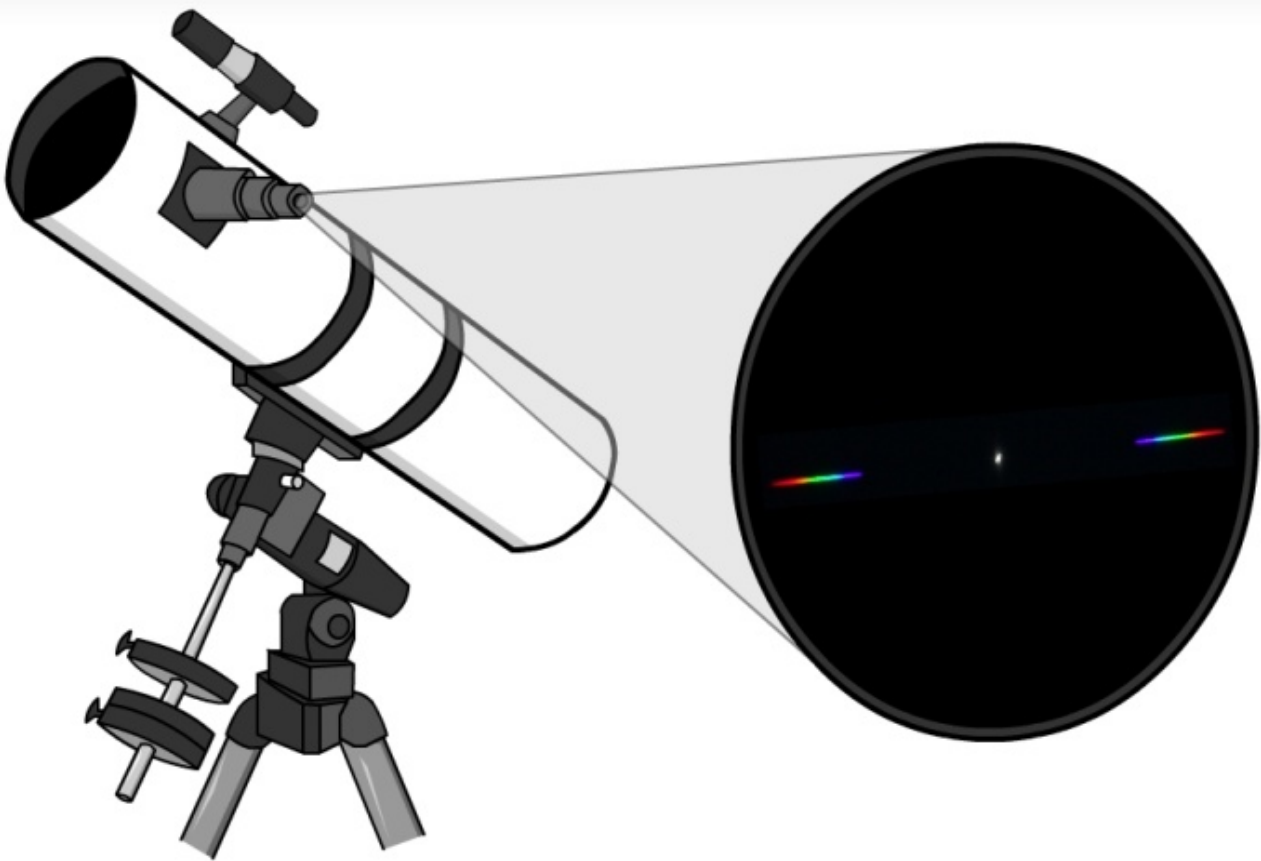


Espectros estelares

La composición de las estrellas



Autores:

Jorge Domínguez Egea
Sergio Ramos Lozano
Víctor Cardenal Rafael
Raúl Alejandro Rodríguez Sánchez

Coordinador

Gregorio Rosa Palacios



*¿Qué sabemos del Universo y como hemos llegado a saberlo?
¿Tuvo el Universo un principio y, si así fue, que sucedió con anterioridad?*

Stephen W. Hawking

Espectros estelares

La composición de las estrellas

Curso 2011/2012

Grupo de Astronomía del IES Octavio Paz

<http://www.educa2.madrid.org/web/gregorio.rosa/astronomia>

IES Octavio Paz

Avenida de la ONU 87

28946

Móstoles

Madrid

ÍNDICE

1. Introducción a los espectros :.....:	4
2. Objetivo del trabajo :.....:	9
3. Montaje experimental y objeto del estudio :.....:	10
4. Resultados. Espectros obtenidos :.....:	11
5. Conclusiones :.....:	15

1. INTRODUCCIÓN A LOS ESPECTROS

Un espectro es la radiación electromagnética, visible o no, que emite o absorbe una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia. Atendiendo a su longitud de onda, recibe diferentes nombres que, en el caso de la parte visible del espectro se denominan colores:

- Ondas de radio
- Microondas
- Infrarrojos
- Luz visible
- Ultravioleta
- Rayos X
- Rayos gamma

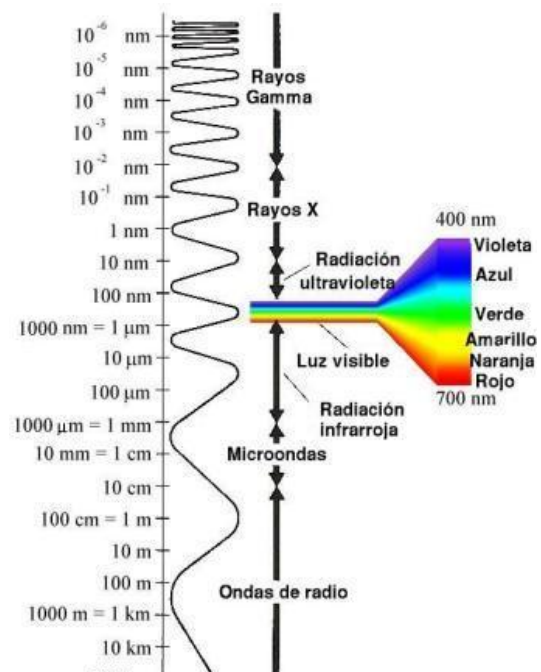


Figura 1: Espectro electromagnético

El espectro visible es la luz que puede percibir el ser humano y corresponde a las longitudes de onda comprendidas aproximadamente entre 400 y 700 nanómetros. La mayor parte de los instrumentos ópticos son sensibles a estas longitudes de onda

Un espectro se puede conseguir mediante la descomposición de luz blanca (figura 2) a través de un prisma o una red de difracción.

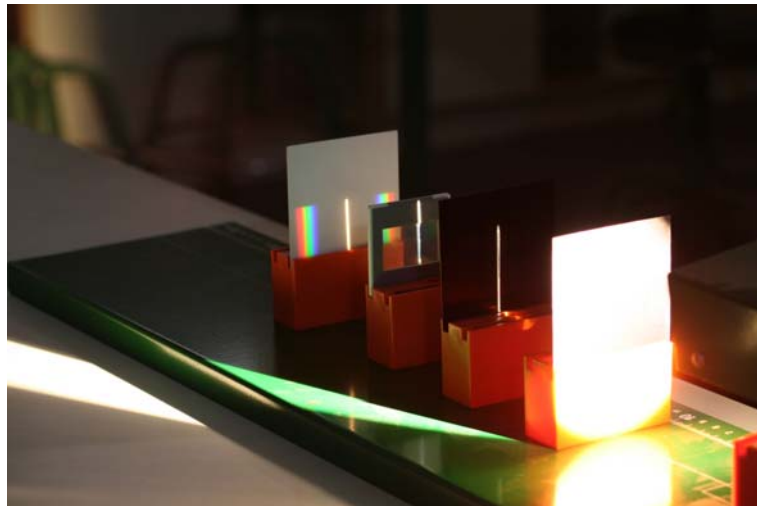


Figura 2: Espectro de la luz solar producido por una red de difracción de 600 líneas/mm

Los espectros pueden ser de absorción o de emisión. Un espectro de absorción es aquel en el que un gas absorbe longitudes de onda determinadas de la luz. Cuando vemos un espectro, observamos líneas de absorción negras que corresponden a esas longitudes de onda absorbidas por el gas. En la figura 3 se muestra el espectro de absorción de la luz que llega del Sol y las líneas que se producen por el gas que forma el Sol y el que compone la atmósfera de la Tierra

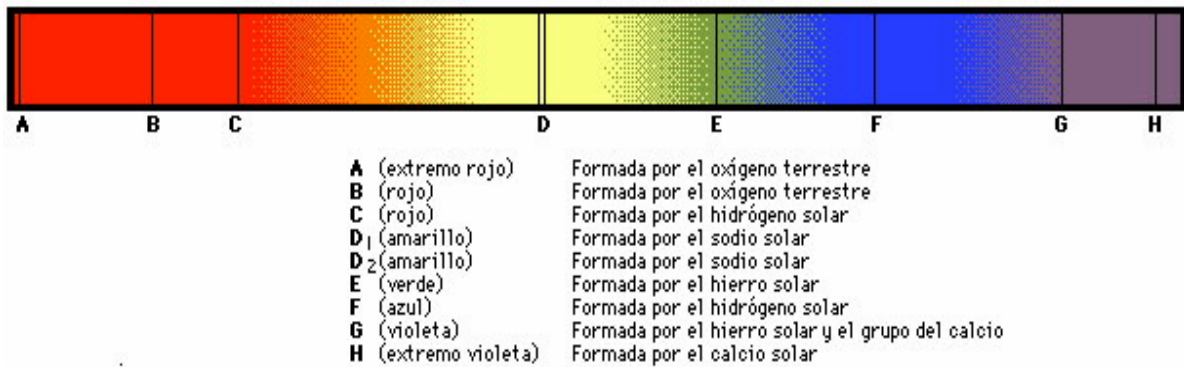


Figura 3: Espectro de absorción de la luz visible solar. Las líneas de absorción corresponden a los gases presentes en el Sol y en la atmósfera terrestre

Por otra parte, un espectro de emisión se produce cuando un gas, bajo estimulación térmica emite luz de varias longitudes de onda. Podemos tener el espectro entero, que llamaremos espectro continuo (Figura 2), o bien, tan solo unas determinadas longitudes de onda (figura 4).

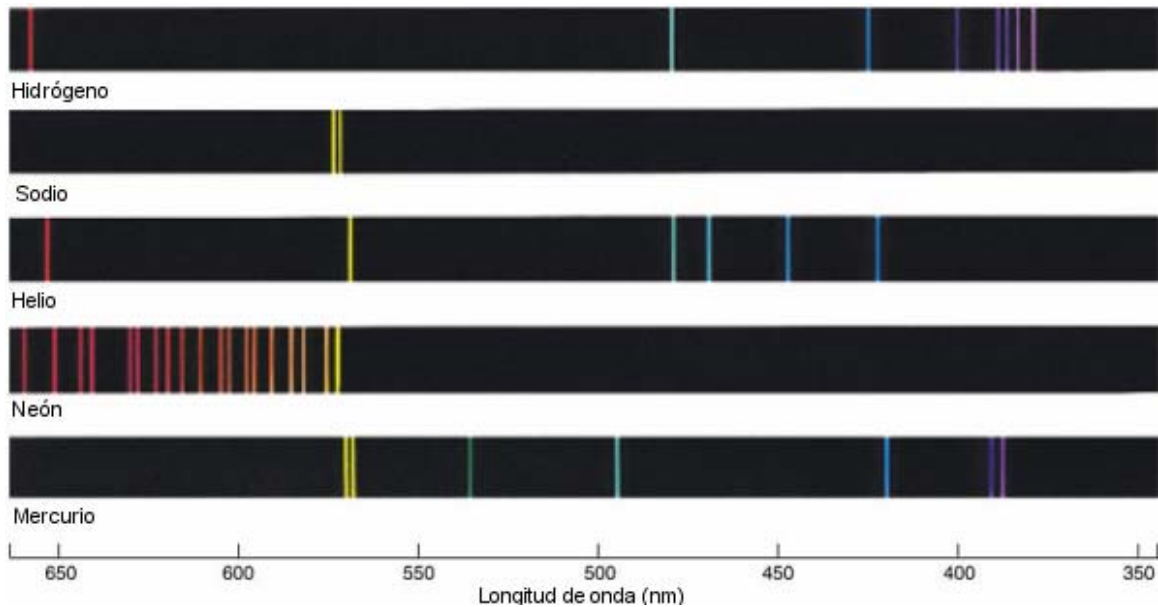


Figura 4: Espectros de emisión de algunos gases. De arriba abajo: Hidrógeno, Sodio, Helio y Neón

Relación entre la temperatura y el espectro

Todo cuerpo emite radiación por el hecho de tener una temperatura (radiación térmica). Cuanta mayor temperatura tiene el objeto, la radiación que emite posee más energía y menor longitud de onda. Así, según se va calentando un cuerpo su color va siendo cada vez más rojo para pasar después al naranja, amarillo, blanco (emite luz en todos los colores) y azul.

Las estrellas son bolas de gas gigantes a gran temperatura y, por tanto, emiten radiación luminosa. Todas ellas se clasifican en función de su temperatura. Son los llamados tipos espectrales. En general hay varios tipos espectrales, denominados mediante letras, según el siguiente esquema¹:

¹ Domínguez J.; Cardenal V.; Rodríguez R.; Coordenadas celestes; *El Color de las estrellas*; Certamen Ciencia en Acción 2011; Adopta una estrella; Investiga en Astronomía

Tipo Espectral	Temperatura (grados K)	Color	Ejemplo
O	20000 a 35000	Estrellas azules.	Naos
B	15000	Estrellas blanco azuladas.	Mizar, Spica, Rigel
A	9000	Estrellas blancas.	Sirio, Vega
F	7000	Estrellas blanco amarillentas.	Proción, Polaris
G	5500	Estrellas amarillas.	Sol, α Centauri
K	4000	Estrellas amarillo anaranjadas.	Arturo, Aldebarán
M	3000	Estrellas rojas	Antares, Betelgeuse

Tabla 1: Clases espectrales y algunos ejemplos de estrellas

Difracción y red de difracción:

La difracción es una propiedad de las ondas según la cual, cuando se encuentran con un obstáculo (una rendija) se produce una desviación en su trayectoria. Esto ocurre en todo tipo de ondas: sonoras, en la superficie de un líquido, electromagnéticas como la luz y las ondas de radio, etc.

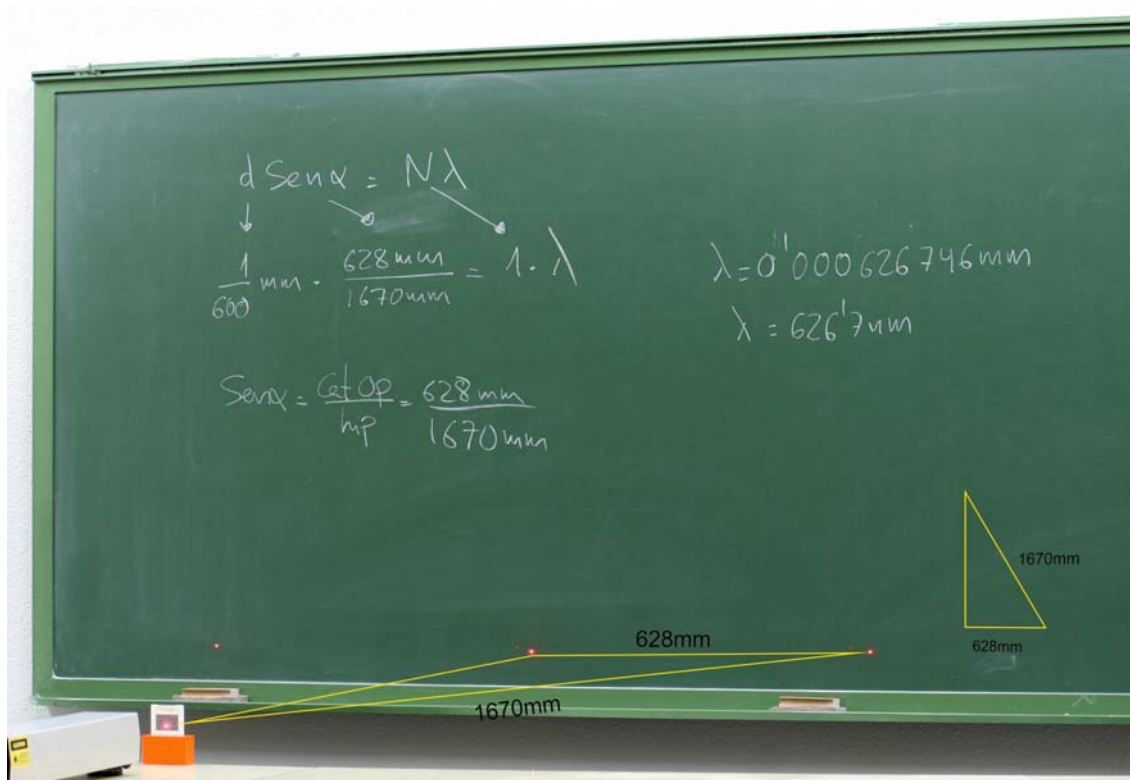


Figura 5: Difracción de un haz láser a través de una red de difracción de 600 líneas / milímetro

La red de difracción es un componente óptico, que divide una onda en varias que viajan en diferentes direcciones. Los ángulos (α) dependen del espaciado de la red, d y de la longitud de la onda incidente, λ según la expresión [1]. La red actúa como un elemento dispersivo, y las direcciones en las que desvía la luz se denominan máximos.

$$d \cdot \text{sen}\alpha = n \cdot \lambda \quad [1]$$

En la figura 5 se observan sobre la pizarra el máximo principal ($\alpha = 0^\circ$) y los dos primeros máximos formados al atravesar un laser de He-Ne de 632,8 nm una red de difracción de 600 líneas. En la pizarra se muestran también los cálculos realizados para comprobar la expresión [1], obteniéndose el resultado esperado (632,8 nm) con un error del 1%.

Cuando la luz que incide sobre la red tiene varias componentes, como por ejemplo la luz blanca, se desvía en función de la longitud de onda de cada parte, produciéndose la descomposición del haz incidente, como se muestra en la figura 2, donde se descompone luz solar y se puede apreciar el máximo principal con todos los colores (luz blanca) y los primeros máximos a cada lado con la luz incidente descompuesta en función de sus colores.

Esta propiedad será la que utilizaremos para observar el espectro de las estrellas.

2. OBJETIVO DEL TRABAJO

El pasado curso estuvimos trabajando con el color de las estrellas y su relación con la temperatura. Este año hemos querido profundizar en este tema y continuar indagando en los espectros de las estrellas

El objetivo de este trabajo consiste en relacionar, mediante el espectro de estrellas fotografiadas a través de nuestro telescopio, la longitud de onda de la radiación emitida con la temperatura de los astros estudiados.

Un segundo objetivo es desarrollar un dispositivo experimental con la idea de fotografiar espectros en primer lugar y como fin último, detectar líneas de absorción en dichos espectros.

3. MONTAJE EXPERIMENTAL Y OBJETO DEL ESTUDIO

Montaje experimental

Para conseguir este objetivo ha sido necesario obtener espectros estelares. Para ello se ha insertado una red de difracción de 140 líneas/mm entre el telescopio y la cámara.

Se ha utilizado un telescopio reflector tipo Newtoniano de 1000 mm de focal y 200 mm de apertura. Para capturar las imágenes se ha empleado una cámara réflex digital EOS 1100 D

Estrellas estudiadas

Con este dispositivo hemos estudiado algunas de las estrellas más brillantes del cielo de primavera. Concretamente hemos trabajado con Algieba, Betelgeuse, Capella, Aldebarán, Arturo, Beta Coma Berenice, Denébola, Dubhe, Naos, Procyon, Rigel, Régulo, Sirio, Spica y Tau Monoceros.

Cada una de ellas se ha fotografiado a través de la red de difracción, y se han obtenido varias tomas con distintos niveles de exposición, desde la saturación hasta exposiciones muy breves para captar tan solo las emisiones de mayor intensidad.

En la tabla 2 se muestra la clasificación espectral de las estrellas estudiadas ordenadas de mayor a menor según su temperatura:

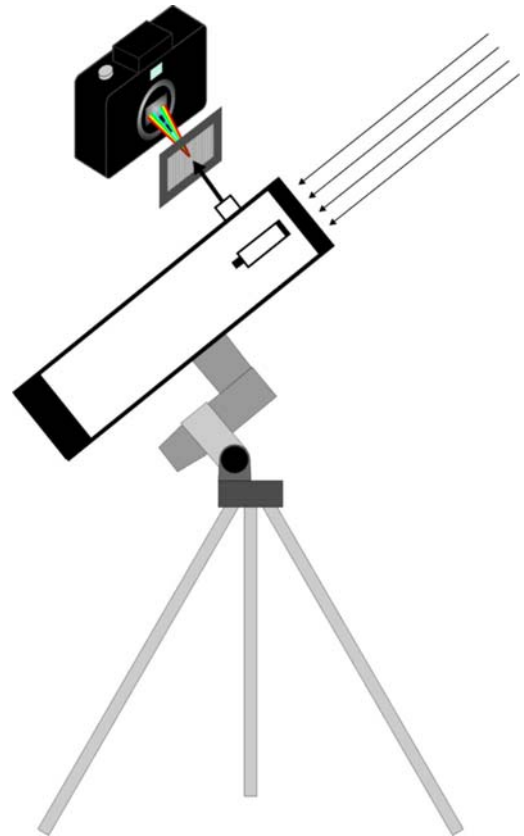


Figura 6: Montaje experimental: Telescopio reflector newtoniano, red de difracción y cámara

Naos	Régulo	Rigel	Spica	Sirio	Denébola	Procyon	Capella
O	B	B	B	A	A	F	G
τ Mon	β Coma	Algieba	Arturo	Aldebarán	Dubhe	Betelgeuse	
G	G	K	K	K	K	M	

Tabla 2: Tipo espectral de las estrellas estudiadas

4. RESULTADOS. ESPECTROS OBTENIDOS

A continuación se muestran dos imágenes con los espectros de todas las estrellas estudiadas.

En la figura 7 se observa el espectro de todas ellas. Las imágenes se captaron con una exposición suficiente para saturar la fotografía en todos los casos. Aquí no se aprecian diferencias entre unas estrellas (salvo en Betelgeuse, que se puede ver menos azul que en el resto) y otras ya que, al saturar las imágenes, se observan todos los colores con igual intensidad.

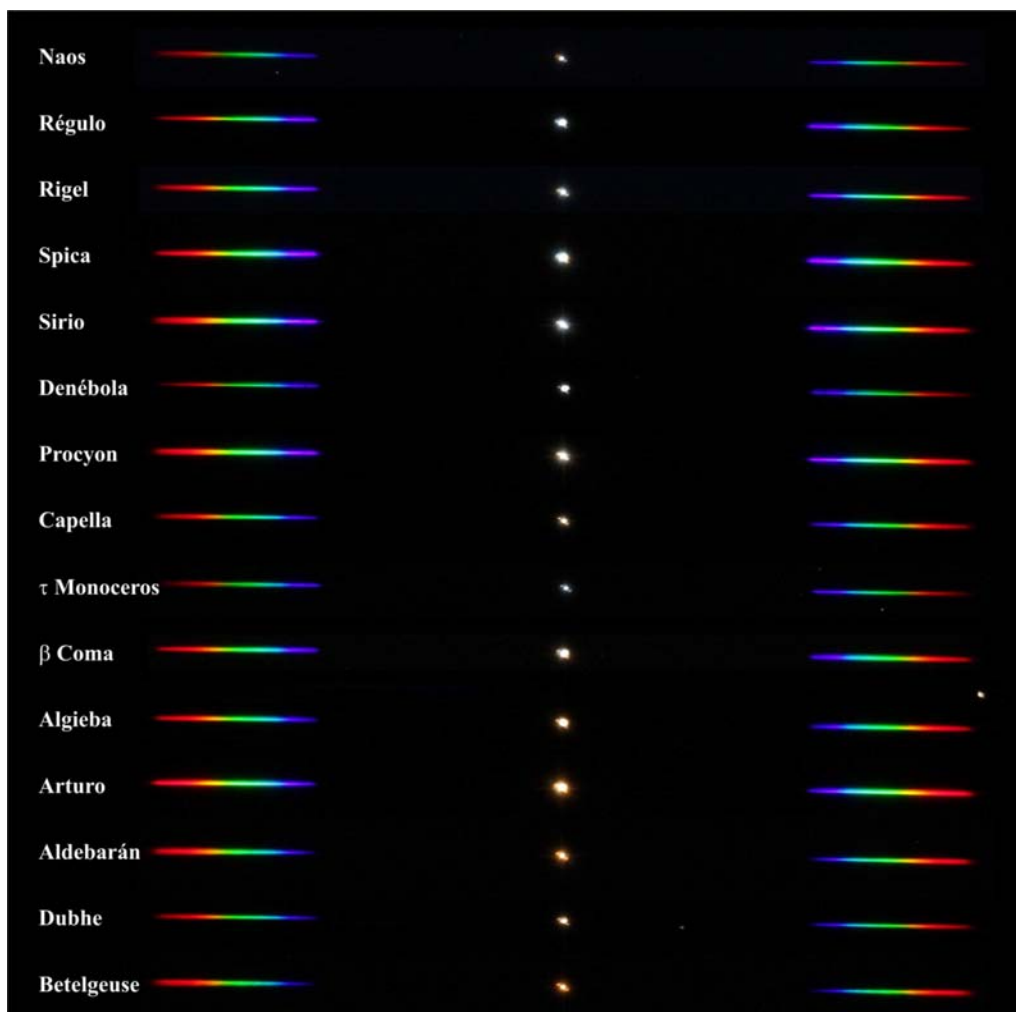


Figura 7: Espectros de las 15 estrellas estudiadas ordenadas en función de su tipo espectral. En todas ellas se ha saturado la imagen

En la figura 8 se exponen resultados más interesantes. En ella se pueden observar los espectros de las mismas estrellas pero capturados con menos exposición, con lo que se puede apreciar detalles sobre el tipo de luz que llega hasta la cámara. En concreto se puede comprobar que en las estrellas frías predominan los rojos mientras que en las estrellas calientes son los azules los más visibles. En general las estrellas más frías emiten luz de longitudes de onda mayores que se traduce en mayores ángulos al pasar por la red de difracción.



Figura 8: Comparación de los espectros de las estrellas estudiadas captadas con poca exposición.

Si nos vamos a los extremos, podemos ver que Naos, de tipo espectral O, apenas tiene luz roja, aunque cuando se sobreexpone aparecen también estas longitudes de onda. En el lado opuesto, Betelgeuse, muy fría, de tipo espectral M, apenas si tiene componentes azules, hasta el punto que se aprecia incluso en la imagen de los espectros saturados.

En general se puede comprobar que según vamos disminuyendo la temperatura (vamos bajando en los tipos espectrales) se aprecian cada vez más intensas las

componentes rojas. Una anomalía a este comportamiento parece presentarla Dubhe. La razón es que realmente es una estrella múltiple con una componente de tipo K y dos de tipo F más caliente por lo que aparece también luz azul en el espectro.

Espectro del cuerpo negro

Para explicar este fenómeno tenemos que recurrir al espectro de un cuerpo negro. Un cuerpo negro es un objeto que absorbe toda la radiación térmica que incide sobre él². A su vez, un cuerpo negro es también un emisor perfecto y las estrellas son un buen ejemplo de cuerpo negro. La energía emitida por un cuerpo negro depende de su temperatura y de la frecuencia de la luz emitida y se expresa mediante la ley de Planck²:

$$E(\nu, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^2} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad [2]$$

siendo la constante de Planck $h=6,63 \cdot 10^{-34}$ J·s, la constante de Boltzmann, $k=1,38 \cdot 10^{-23}$ J/s y la velocidad de la luz $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

Cuando se representa la energía emitida en función de la frecuencia de la radiación se obtiene una curva que varía con la temperatura. En la figura 9 se observa la forma de radiar energía en función de la temperatura de la estrella.

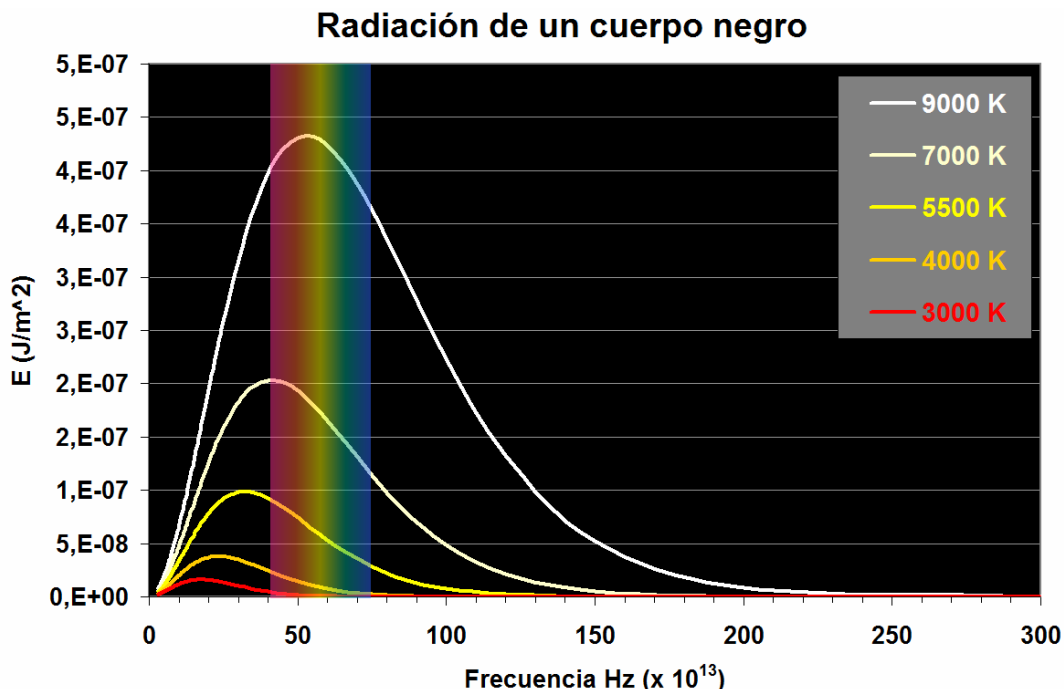


Figura 3: Espectro de emisión de un cuerpo negro a distintas temperaturas calculado según la expresión [2]

² Eisberg R.; Resnick R.; *Física Cuántica*; 1988 cuarta edición. Ed. Limusa ISBN: 968-18-0419-8

En la figura 9 no se han representado los tipos O y B por cuestiones de escala. Si nos fijamos en la curva de emisión del tipo M, podremos observar que la mayor parte de la emisión se produce en el infrarrojo y en el azul apenas si hay emisión. Por eso la estrella se aprecia rojiza a simple vista.

Por otra parte, las estrellas de tipo A (9000 K) tienen su máximo de emisión en el centro del visible, por eso su luz presenta todas las componentes y las estrellas se observan blancas.

En el otro extremo, las estrellas de tipo O y B tienen sus máximos de emisión más allá del azul, en el ultravioleta, por lo que emiten mucha más luz en el azul que en el rojo y se ven con un tono azulado.

Líneas espectrales

Como se dice en la introducción, la luz de las estrellas presentan líneas de absorción que dan pistas sobre la composición de las estrellas. Veamos la siguiente imagen, obtenida del espectro de Betelgeuse, aumentado el contraste:

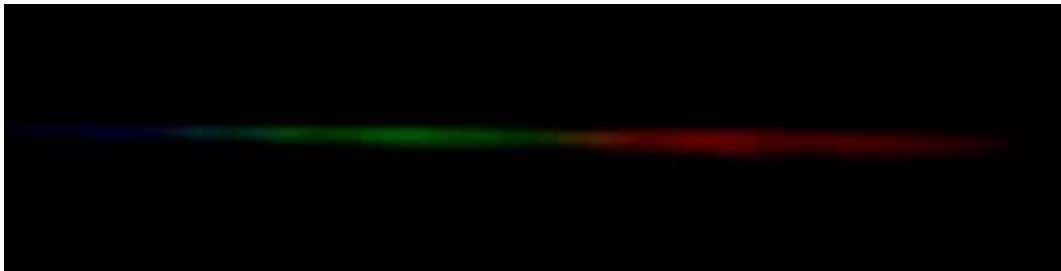


Figura 4: Espectro de Betelgeuse. Se ha modificado el brillo de la imagen para resaltar las zonas brillantes

Lo primero que se observa es la casi ausencia del azul, comparado con el rojo confirmando lo explicado en puntos anteriores. Además hay zonas en las que se aprecian oscurecimientos en el espectro. No obstante, el montaje experimental utilizado en esta práctica no es suficiente para observar con claridad las líneas espectrales. En próximos trabajos se procederá a mejorar el dispositivo. Para ello se están barajando posibilidades como utilizar redes de difracción con más líneas por milímetro, trabajar sobre la colimación del telescopio o alejar la cámara de la red de difracción.

5. CONCLUSIONES

La base de este trabajo ha sido la espectroscopia, es decir el estudio de los espectros, concretamente los de algunas estrellas. La principal conclusión es que éstas técnicas, a priori muy complicadas, se pueden utilizar en un Instituto de Secundaria con recursos limitados.

A nivel científico se ha demostrado la relación entre la temperatura de las estrellas y la longitud de onda de las radiaciones emitidas por estos astros y se ha explicado esta relación utilizando la teoría de la radiación de un cuerpo negro.

Como resumen final, podremos decir que hemos preparado un dispositivo para hacer una clasificación espectral inicial de las estrellas, lo que posibilitará posteriores estudios.