

**ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA
EFECTIVA ESTELAR DE LA ESTRELLA
AB-AURIGAE (AB AUR) TIPO HERBIG
AE/BE A PARTIR DE ESPECTROS
ADQUIRIDOS EN BOGOTÁ - COLOMBIA**

ÍNGRID LIZETH GUASCA GARNICA
2010246027

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
EL COMPUTADOR Y LAS PRÁCTICAS EXPERIMENTALES EN LA
ENSEÑANZA DE LA FÍSICA
BOGOTÁ D.C

**ESTIMACIÓN DE LA TEMPERATURA
EFECTIVA ESTELAR DE LA ESTRELLA
AB-AURIGAE (AB AUR) TIPO HERBIG
AE/BE A PARTIR DE ESPECTROS
ADQUIRIDOS EN BOGOTÁ - COLOMBIA**

ÍNGRID LIZETH GUASCA GARNICA
2010246027


DIRECTOR

NIDIA DANIGZA LUGO LÓPEZ

Co-DIRECTOR

OSCAR ALBERTO RESTREPO GAITÁN


UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
EL COMPUTADOR Y LAS PRÁCTICAS EXPERIMENTALES EN LA
ENSEÑANZA DE LA FÍSICA
BOGOTÁ D.C

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE
Código: FOR020GIB	Versión: 01
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 3

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de Grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Estimación de la temperatura efectiva estelar de la estrella AB-Aurigae (AB AUR) tipo Herbig Ae/Be a partir de espectros adquiridos en Bogotá – Colombia.
Autor(es)	Guasca Garnica, Ingrid Lizeth
Director	Lugo López, Nidia Danigza
Publicación	Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, 2016. 81 págs.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	ASTRONOMÍA, CUERPO NEGRO, TEMPERATURA, AB AURIGAE, ESPECTROSCOPIA, ESTRELLAS, SOFTWARE ISIS.

2. Descripción
<p>Este trabajo se realiza desde dos enfoques, el primero, encaminado a la enseñanza o intensificación del concepto de cuerpo negro, a través del estudio espectroscópico de las estrellas en el que se implementa un módulo de enseñanza, a estudiantes de la electiva de Astronomía General de la Universidad Pedagógica Nacional. El segundo, está encaminado a encontrar, en primera estimación, la temperatura superficial estelar de la estrella AB Aurigae (AB Aur) en fase pre-secuencia principal por medio de observaciones realizadas en el Observatorio Astronómico de la Universidad de los Andes.</p>

3. Fuentes
<p>[Bao and Redish, 2001] Bao, L. and Redish, E. F. (2001). Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. American Journal of Physics, 69(S1): S45-S53.</p> <p>[Barbosa, 2014] Barbosa, L. H. (2014). Instrucción del principio de superposición en estudiantes de ingeniería mediante una secuencia didáctica de videos. Revista Educación en Ingeniería, 9(18):106-118.</p> <p>[Buil, 2015] Buil, C. (2015). Isis. Spectroscopy, ccd and astronomy. Recuperado de http://www.astrosurf.com/buil/isis/isis.en.htm.</p> <p>[Gaitán, 2012] Gaitán, O. A. R. (2012). Estudio de las tasas de acreción para una muestra de estrellas tauri clásicas en el _óptico. Master's thesis, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Observatorio Astronómico.</p> <p>[Hake, 1998] Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. American journal of Physics, 66(1):64{74.</p> <p>[Hernández, 2014] Hernández, J. (2014). Nacimiento y evolución temprana de las estrellas. In VI Escuela Colombiana de Astronomía.</p> <p>[Oostra and Hernández, 2014] Oostra, B. and Hernández, N. (2014). espectrógrafo eshel. Observatorio Astronómico. Universidad de los Andes. Recuperado de http://observatorio.uniandes.edu.co/index.php/instrumentacion/24-eshelversion-detallada.</p> <p>[Oostra Vannoppen, 2014] Oostra Vannoppen, B. (2014). Estrellas en la cuna. HipOtesis, pages 24{31.</p> <p>[Pérez, 2008] Pérez, G. (2008). Espectroscopia.com. Espectrometría. Recuperado de</p>

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 2 de 3	

<http://www.espectrometria.com/>.

[Restrepo et al., 2014] Restrepo, O., Pinzón, G., and Chaparro, G. (2014). Estudio espectrofotométrico para determinar la etapa evolutiva de una muestra de estrellas de la presecuencia principal. CONGRESO COLOMBIANO DE ASTRONOMÍA Y ASTRO-FÍSICA, pages 1-6.

[Saldaño, 2011] Saldaño, H. P. (2011). Formación de estrellas de alta masa.

[Tannirkulam et al., 2008] Tannirkulam, A., Monnier, J., Harries, T. J., Millan-Gabet, R., Zhu, Z., Pedretti, E., Ireland, M., Tuthill, P., Ten Brummelaar, T., McAlister, H., et al. (2008). A tale of two herbig ae stars, mwc 275 and ab aurigae: comprehensive models for spectral energy distribution and interferometry. The Astrophysical Journal, 689(1):513.

4. Contenidos


Teniendo en cuenta que este trabajo se realizó desde dos enfoques, uno disciplinar que buscaba hallar una primera estimación de la temperatura de una estrella joven (AB AUR) y otro pedagógico que estaba enfocado en la realización e implementación de un módulo que permita enseñar conceptos de física (Cuerpo Negro) a partir del estudio de las estrellas. Por este motivo en este trabajo se encuentra en el capítulo 2 los conceptos básicos que se utilizaron en el módulo de enseñanza y en la estimación de la temperatura. La descripción del proceso experimental, los instrumentos utilizados, y los datos observados de la estrella AB Aurigae están en el capítulo 3. En el capítulo 4 se encuentra la descripción del módulo implementado en la electiva de Astronomía General de la Universidad Pedagógica Nacional. Seguido el análisis y los resultados tanto de la implementación del módulo de enseñanza, con ayuda de modelos que nos permitieron hacer un análisis cualitativo de los resultados obtenidos en la implementación con los estudiantes, como de la aplicación de un modelo de “cuerpo negro” propuesto a los espectros obtenidos de la estrella AB Aur para encontrar la temperatura. Por último, en el capítulo 6 encontraran las conclusiones seguidas de varios apéndices que profundizan temas relevantes del presente trabajo y finalmente se muestran las referencias.

5. Metodología

Este trabajo se realiza bajo un enfoque de investigación cualitativa que es un método que abarca un abanico diverso de formas en las que entiende y conoce al hombre ya que se realiza las acciones que con más frecuencia ejecutan los investigadores durante la formulación, el diseño, la ejecución y el cierre de los proyectos de investigación cualitativos.

6. Conclusiones

- A partir de las observaciones de AB AUR se logró obtener el espectro de dicha estrella en la ciudad de Bogotá en el mes de enero. Posteriormente se hace la reducción por medio del software ISIS, de tal manera que obtenemos el perfil reducido.
- Transiciones cuánticas, específicamente conocidas como líneas de Balmer, son observadas claramente y removidas satisfactoriamente asumiendo una superposición de gaussianas. Esto indica que no sólo los efectos térmicos pueden ser enseñados en el módulo de aprendizaje; también se puede introducir los efectos cuánticos con un enfoque cualitativo y cuantitativo.
- Se propone un modelo que describe un “cuerpo negro” y que se ajusta al continuo térmico de la estrella, sin las contribuciones de procesos atómicos (serie de Balmer), dando como resultado una

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL <small>Escuela de Pedagogía</small>	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 3 de 3	

temperatura aproximada de 9650 ± 39 K acordes a los reportados por [Tannirkulam et al., 2008]. Donde como error comparativo arrojó un valor de 1.12%. Este resultado indica que, tomando espectros de estrellas desde Bogotá con equipos que no son de última tecnología, se puede estimar la temperatura superficial de una estrella siempre y cuando las condiciones climatológicas lo permitan.

- Los resultados obtenidos en la ganancia de Hake de 0,53 permite ver una evolución del aprendizaje que obtienen los estudiantes después de ser aplicado completamente el módulo y se observa que las concentraciones de las preguntas también tienen un avance significativo pues pasan de estar en un modelo al azar a estar en un modelo donde se concentran todas en una sola respuesta.
Lo que indica que la estrategia propuesta por el módulo de enseñanza es una opción viable para la enseñanza de conceptos de física a través del estudio de las estrellas, aunque se reconoce que se debe realizar un análisis más detallado con una población más grande para mejorar/confirmar los resultados.
- Como sugerencia, se puede reevaluar las preguntas formuladas en los test (pre y post), con la colaboración de varios expertos en el tema científico y pedagógico. Esto se propone con el fin de que no haya sesgo en las preguntas por falsas interpretaciones o por posibles ambigüedades. Sin embargo, los resultados obtenidos con los test propuestos en este trabajo muestran un buen punto de partida para futuros tests.

Elaborado por:	Ingrid Lizeth Guasca Garnica
Revisado por:	Nidia Danigza Lugo López

Fecha de elaboración del Resumen:	25	08	2016
--	----	----	------

TABLA DE CONTENIDO

Agradecimientos	I
Índice de tablas	3
Índice de figuras	4
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. Objetivo	7
2. MARCO CONCEPTUAL	8
2.1. Radiación de Cuerpo Negro	8
2.2. Espectroscopía	14
2.2.1. Espectros de Emisión y Absorción	15
2.2.2. Espectrómetro	17
2.3. Estrellas	18
3. EL EXPERIMENTO Y LA REDUCCIÓN DE DATOS	26
3.1. Lugar de Observación	26
3.2. Objeto de Observación	27
3.3. Instrumentos	28
3.3.1. Telescopio	28
3.3.2. Cámara	29
3.3.3. Espectrógrafo Echelle	29
3.4. Procedimiento Experimental	31
3.5. Software ISIS	32
3.5.1. Reducción	32
3.5.2. Calibración	35
3.5.3. Perfiles	36
4. LAS ESTRELLAS Y SUS COLORES	37

4.1. Objetivos	38
4.2. Estrategias y Actividades	38
4.2.1. Prueba Diagnóstico Pre-test	38
4.2.2. Color-Temperatura	38
4.2.3. Estudio espectroscópico	39
4.2.4. Tipos espectrales	40
4.2.5. Prueba diagnostico post-test	40
5. ANÁLISIS Y RESULTADOS	41
5.1. Las Estrellas y sus colores	41
5.1.1. Datos implementación	44
5.2. Primera Aproximación de la Temperatura Estelar de la Estrella Herbig AB Aurigae	49
5.2.1. Datos Experimentales	49
6. CONCLUSIONES	53
A. PRE-TEST ESPECTROSCOPIA, CLASIFICACIÓN ESTELAR Y FORMACIÓN ESTELAR	55
B. TALLER DE ESPECTROSCOPIA	60
C. TALLER DE CLASIFICACIÓN ESTELAR	62
D. POST-TEST: ESPECTROSCOPIA, CLASIFICACIÓN ESTELAR Y FORMACION ESTELAR	64
E. CONSTRUYE TU PROPIO ESPECTROSCOPIO	69
E.1. Objetivo	69
E.2. Materiales	69
E.3. Procedimiento	70
Bibliografía	72

“Siempre he considerado la búsqueda de lo absoluto como la meta más elevada de toda la actividad científica, y me puse a trabajar con pasión.”

MAX PLANCK

Agradecimientos

Es importante para mi agradecer a cada una de las personas que me apoyaron y ayudaron en el desarrollo de este trabajo de investigación logrando así culminar de manera exitosa este logro académico.

A Dios

A mi familia, en especial a mi madre María Del Carmen Garnica y a mis hermanos Deyna Guasca y Edwin Guasca quienes con su apoyo y compañía me ayudaron a afrontar cada obstáculo que se me presento.

A mis asesores Nidia Lugo y Oscar Restrepo que, con su paciencia, dedicación, motivación, orientación, apoyo, confianza en mi trabajo y los aportes de sus conocimientos me permitieron mejorar y avanzar no solo en el desarrollo de este trabajo sino también en mi formación como docente.

A la Universidad de los Andes por abrirme sus puertas y permitirme realizar mi proceso experimental en el Observatorio Astronómico.

A el Profesor Benjamín Oostra que me ayudo en cada momento en el proceso del estudio y la toma de datos de la estrella AB AUR.

A el Profesor Oscar Leonardo Ramírez, a sus consejos, conocimientos, y orientación en cada etapa de mi trabajo.

A el Profesor Giovanni Pinzón Estrada quien me abrió las puertas de su clase de Astronomía General en la Universidad Nacional permitiendo ampliar mis conocimientos en Astronomía.

y finalmente a todos mis profesores y compañeros de licenciatura quienes me apoyaron con sus conocimientos y su apoyo incondicional.

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Anchos equivalentes (EW).	20
2.2. Clasificación estelar por luminosidad.	24
5.1. Niveles de la Ganancia de Hake.	42
5.2. Niveles de Puntaje y Concentración	43
5.3. Patrones de respuesta típicos al usar el sistema de codificación de tres niveles.	44
5.4. Respuestas para las preguntas del Pre-test	45
5.5. Respuestas para las preguntas del Post-test	46
5.6. Estadísticos sobre el grupo de 12 estudiantes.	46
5.7. Valores de la concentración y puntaje del Pre-test	48
5.8. Valores de la concentración y puntaje del Post-test	48
5.9. Datos arrojados por el modelo propuesto.	52
5.10. Errores arrojados por el modelo propuesto.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Curvas experimentales de radiación térmica	9
2.2. Guía utilizada por los alfareros.	9
2.3. Curva teórica de Wien y curva experimental, radiación de cuerpo negro. . .	11
2.4. Curva teórica de Rayleigh-Jeans y curva experimental, radiación de cuerpo negro.	12
2.5. Curva teórica de Wien, Curva teórica de Rayleigh-Jeans y curva experimental	13
2.6. Proceso de reflexion en un cuerpo negro.	13
2.7. Proceso de reflexion en un cuerpo negro.	13
2.8. Transiciones entre estados estacionarios.	16
2.9. Representación orbital de un espectro de absorción.	16
2.10. Representación orbital de un espectro de emisión.	16
2.11. Serie de Balmer	17
2.12. Imagen de los órdenes en el plano focal de un espectrógrafo Echelle.	18
2.13. CD actuando como una red de difracción.	18
2.14. Acreción ocurrida en una estrella en formación.	19
2.15. Formación del disco de acreción alrededor de la protoestrella.	20
2.16. Trazas evolutivas presecuencia principal.	21
2.17. Elementos pesados que la estrella genera por fusión nuclear.	22
2.18. Diagrama de Hertzsprung-Russell	23
2.19. Diagrama de la vida de las estrellas	25
3.1. Observatorio Astronómico de la Universidad de los Andes.	27
3.2. Disco protoplanetario alrededor de la estrella AB Aurigae.	28
3.3. Telescopio Schmidt-Cassegrain	28
3.4. Esquema de un telescopio Schmidt-Cassegrain.	28
3.5. Cámara dirigida hacia la iglesia de Monserrate.	29
3.6. Unidad de acople al telescopio.	29
3.7. Espectrografo Echell.	30
3.8. Espectro de la lámpara de Tungsteno	31

3.9. Espectro de la lámpara de Torio y Argon	31
3.10. Pantallazos del Software ISIS.	33
3.11. Espectro en crudo de la estrella AB Aurigae.	33
3.12. Imagen Flat	34
3.13. Imagen Bias	34
3.14. Imagen Dark	35
3.15. Imagen procesada de la estrella AB Aurigae	35
3.16. Perfil del espectro de la estrella AB Aurigae	36
4.1. Esquema de la “caja negra”.	39
5.1. Grafico de Bao & Redish	44
5.2. Esquemas de las preguntas seleccionadas correctamente.	46
5.3. Concentración de Bao y Redish Pre-test.	47
5.4. Concentración de Bao y Redish Post-test.	47
5.5. Índice de concentración de Bao y Redish Pre-test/Post-test.	47
5.6. Perfil P-Cygni línea $H\alpha$ estrella AB Aurigae	49
5.7. Distribución espectral de energía estrella AB Aurigae	50
5.8. Transiciones principales de la serie de Balmer	51
5.9. Ajuste Gaussiano para la línea $H\beta$	51
5.10. Espectro estrella AB Aur extraídas las líneas $H\alpha$, $H\beta$ y $H\gamma$ y ajustado el continuo según el modelo de cuerpo negro propuesto	52

INTRODUCCIÓN

La Astronomía es un área disciplinar de la ciencia que estudia los cuerpos celestes y los diferentes entes que componen el universo tales como: estrellas, planetas, cometas, satélites, nubes moleculares, galaxias, etc. Del mismo modo debido a la curiosidad y el afán de conocer nuestros orígenes, la astronomía ha indagado en el universo para encontrar dichas respuestas, con este fin se ha realizado diferentes estudios, uno de estos estudios está enfocado a la explicación sobre la formación y evolución de nuestro sistema solar, estudiando estrellas jóvenes cercanas, con características similares al Sol.

Gracias a los avances tecnológicos que ha tenido la ciencia se han desarrollado herramientas como la espectroscopía y la fotometría, que han facilitado la realización de estudios detallados de los procesos físicos que ocurren en estas estrellas y de esta manera poder dilucidar aspectos sobresalientes de la formación del sistema Solar y/o la formación planetaria, para esto se hace necesario estudiar estrellas pre-secuencia principal.

Sin embargo, para realizar este tipo de estudios se hace necesario conocer diferentes temas de la física como: la espectroscopía, la radiación de cuerpo negro, entre otros, que permite conocer las características de las estrellas haciendo uso de datos observacionales. Por lo que ampliar o enseñar un concepto como el de cuerpo negro por medio del estudio de las estrellas puede ser una muy buena estrategia pedagógica. Este trabajo se realiza desde dos enfoques, el primero, encaminado a la enseñanza o intensificación del concepto de cuerpo negro, a través del estudio espectroscópico de las estrellas en el que se implementa un módulo de enseñanza, a estudiantes de la electiva de Astronomía General de la Universidad Pedagógica Nacional. El segundo, está encaminado a encontrar, en primera estimación, la temperatura superficial estelar de la AB Aurigae (AB Aur) en fase pre-secuencia principal por medio de observaciones realizadas en el Observatorio Astronómico de la Universidad de los Andes. Se observa que el módulo de enseñanza implementado fue positivo pues se evidencia un progreso en los datos logrados en el análisis cuantitativo que se realiza en el trabajo, también se puede ver que el modelo de “cuerpo negro” que se propone para la

obtención de la temperatura superficial de la estrella AB Aurigae es adecuado ya que el resultado que se obtiene de la temperatura superficial de la estrella es de $T \approx 9650K$, muy cercano a los datos que se conocen de esta estrella. Estos resultados se profundizan en el capítulo 5.

En el capítulo 2, se encuentra los conceptos básicos que se utilizaron en el modulo de enseñanza y en la estimacion de la temperatura. La descripción del proceso experimental, los instrumentos utilizados, y los datos observados de la estrella AB Aurigae están en el capítulo 3. En el capítulo 4 se encuentra la descripción del modulo implementado en la electiva de Astronomía General de la Universidad Pedagógica Nacional. Seguido el análisis y los resultados tanto de la implementación del módulo de enseñanza, con ayuda de modelos que nos permitieron hacer un análisis cualitativo de los resultados obtenidos en la implementación con los estudiantes, como de la aplicación de un modelo de “cuerpo negro” propuesto a los espectros obtenidos de la estrella AB Aur para encontrar la temperatura. Por último, en el capítulo 6 encontraran las conclusiones seguidas de varios apéndices que profundizan temas relevantes del presente trabajo y finalmente se muestran las referencias.

1.1. Objetivo

Hallar la temperatura superficial de la estrella AB Aur a partir de datos observacionales y construir e implementar un módulo, que permita enseñar y/o ampliar el concepto de cuerpo negro en la electiva de Astronomía General de la Universidad Pedagógica Nacional

Objetivos Específicos

- Realizar el registro y reducción de datos de la estrella AB Aur.
- Realizar una primera estimación de la temperatura superficial de la estrella AB Aur.
- Construir un módulo de enseñanza dirigido a estudiantes de la electiva de Astronomía General de la Universidad Pedagógica Nacional para la enseñanza y/o ampliación del concepto de cuerpo negro y de algunas características generales de las estrellas.

CAPÍTULO 2

MARCO CONCEPTUAL

2.1. Radiación de Cuerpo Negro

En la vida cotidiana se tiene un contacto directo con fenómenos físicos que rodean nuestra interacción con el entorno, fenómenos como la radiación electromagnética y/o la radiación de cuerpo negro, por nombrar algunos, siendo unos más difíciles de observar concretamente que otros, por ello existen modelos que se acercan físicamente a dichos fenómenos, teniendo así una posibilidad de explicarlos. Las estrellas son un ejemplo aproximado de cuerpo negro que se encuentra en la naturaleza, que aunque no son cuerpos negros perfectos, sí permiten evidenciar las principales características de uno; otro ejemplo, un poco más cercano puede ser las resistencias de las estufas eléctricas, por la que circula una corriente eléctrica cuya intensidad esta dada por los niveles del interruptor de dicha resistencia.

Cuando se suministra corriente debido a la resistencia hay pérdida de energía, que se evidencia en forma de calor. Si se coloca el interruptor en el primer nivel (bajo) se observa que la resistencia comienza a calentarse tomando una temperatura T_1 , al mover el interruptor al siguiente nivel (medio), la pérdida de energía eléctrica aumenta y la resistencia tiene una temperatura T_2 ($T_2 > T_1$), además se observa que dicha resistencia comienza a tomar un color rojizo, por lo que comienza a haber emisión de luz, finalmente si se coloca el interruptor en el último nivel (alto), la corriente que se suministra en la resistencia es mucho mayor que en los niveles anteriores lo que permite que haya un aumento en la pérdida de energía eléctrica y que la resistencia tenga ahora una temperatura T_3 ($T_3 > T_2$), además de tomar un color rojo amarillento. Si se grafica la intensidad de la luz emitida en el anterior experimento en función de la frecuencia para cada una de las temperaturas consideradas se obtiene curvas típicas de radiación térmica como se muestra en la Fig. 2.1.

Este tipo de fenómenos se han observado desde mucho tiempo atrás, aproximadamente en el año 3400 a.C, fecha en el que se inventaron diferentes herramientas que permitieron un

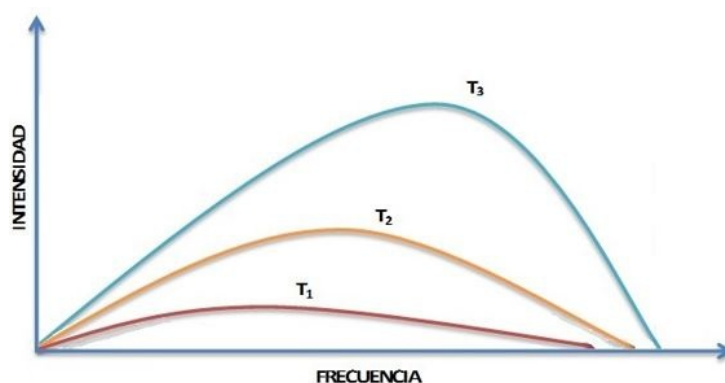


Figura 2.1: Curvas experimentales de radiación térmica. [García and Ewert, 1987].

mejor trabajo de la arcilla en la alfarería, como el horno para cocerla; los alfareros observaron que al introducir vasijas de diferentes materiales y tamaños a dichos hornos a una misma temperatura, estos tomaban el mismo color, gracias a esto ellos pudieron establecer una relación temperatura-color, como se muestra en la Fig.2.2, con la que facilitaron su quehacer de alfarería.

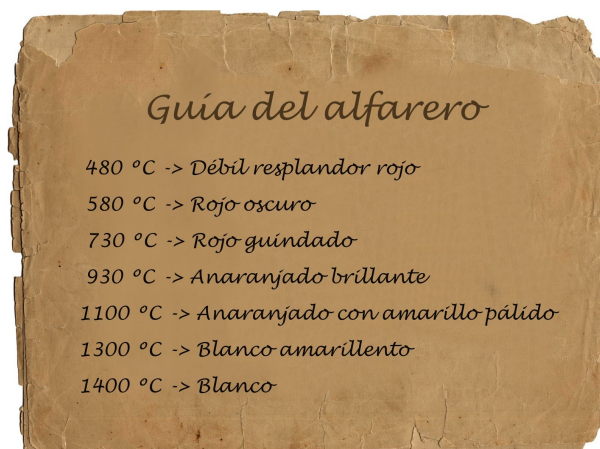


Figura 2.2: Guía utilizada por los alfareros en la cocción de sus creaciones. [Morrón, 2014]

Estas observaciones obtenidas por los alfareros fueron repetidas de manera rigurosa por Wien 1893, las cuales permitieron encontrar que al aumentar la temperatura de un cuerpo (cuerpo negro), el máximo de la densidad de energía se va corriendo hacia frecuencias mayores.

Hacia finales del siglo XIX la tecnología de la laminación se convirtió en una mercancía industrial masiva, por lo que para desarrollar normas de calidad para los bombillos, los físicos se ocuparon de las leyes según las cuales los cuerpos incandescentes irradian calor o luz. Muchos físicos se dedicaron a escrudiñar todo lo referente a este fenómeno, uno de los

primeros físicos que se destacan en este tema fue Gustav Kirchhoff quien descubrió, durante el invierno de 1859-1860, que para un átomo o molécula dada, la emisión y absorción de frecuencias son las mismas, anunciando así su ley de radiación térmica como:

$$\frac{\alpha}{\varepsilon} = K_{\lambda}(T) \Leftrightarrow \alpha = \varepsilon = 1, \quad (2.1)$$

donde α es la absorbanza, ε es la emisividad, K_{λ} es la distribución de la intensidad de radiación, y T la temperatura del cuerpo.

Kirchhoff propuso el nombre de radiación de cuerpo negro en 1862 a este fenómeno.

Después de que en 1888 Heinrich Hertz demostró la existencia de ondas electromagnéticas, se comenzó a suponer que tanto la radiación visible como la radiación térmica eran electromagnéticas y que sus propiedades estaban regidas por las ecuaciones de Maxwell, siendo Boltzmann el primero en aplicar dichas ecuaciones a la radiación de cuerpo negro, Boltzmann junto a Josef Stefan en 1878 haciendo uso de curvas experimentales del espectro de radiación de un cuerpo negro, establecieron una ecuación que permitía calcular teóricamente la potencia emisiva de un cuerpo negro, conocida como ley de Stefan-Boltzmann.

$$E = \sigma T^4, \quad (2.2)$$

donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann cuyo valor es $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$ y T es la temperatura.

Con base en los estudios realizados por Boltzmann, Wilhelm Wien (1864-1928) realizó diferentes experimentos con los que construyó curvas experimentales similares a las mostradas en la Fig. 2.1 encontrando que a medida que la temperatura aumenta, el máximo de distribución de energía (λ), se corre hacia longitudes menores, esto establece una relación inversamente proporcional entre λ y la temperatura T . Dicho hallazgo se denominó Ley de desplazamiento de Wien.

$$\lambda_{max} = \frac{C}{T}, \quad (2.3)$$

donde C es la constante de Wien dada por 0.0028976 m K .

Teniendo en cuenta estas mismas curvas experimentales (Fig.2.1) del espectro de radiación de un cuerpo negro, Wien en 1893 estableció una ecuación para calcular la densidad de energía radiada por un cuerpo negro (E_ν), conocida como ley de Wien.

$$E_\nu = \frac{C_1 \nu^3}{e^{C_2 \frac{\nu}{T}}}, \quad (2.4)$$

donde C_1 y C_2 son constantes arbitrarias que se ajustan de tal manera que la curva teórica coincida con la curva experimental, ν es la frecuencia y T es la temperatura.

A mediados de los ochenta, se realizaron estudios con algunas fuentes conocidas como: el Sol, llamas de gas y filamentos incandescentes, todas ellas con temperaturas poco exactas, todas estas mediciones suministraban muy poca información de la región infrarroja del espectro electromagnético.

En el año 1886 con los experimentos del astrónomo norteamericano Samuel Pierpont Langley (1834-1906) quien utilizó un radiador de cobre recubierto de humo negro con el fin de estudiar el espectro que producía dicho radiador a una serie de temperaturas inferiores a 1000°C , el espectro de dichas temperaturas se encontraba en el infrarrojo por lo que Langley invento el bolómetro con el fin de explorarlo con más detalle. [Thomas s. Kuhn. 1980]

Debido a estos estudios la aplicación de la ley propuesta por Wien (ver Ec.(2.4)) en técnicas infrarrojas a cavidades experimentales recién inventadas, tenía límites, pues se ajustaba bien para frecuencias altas mientras que para frecuencias bajas la curva teórica se alejaba de la curva experimental como se ilustran en la Fig.2.3.

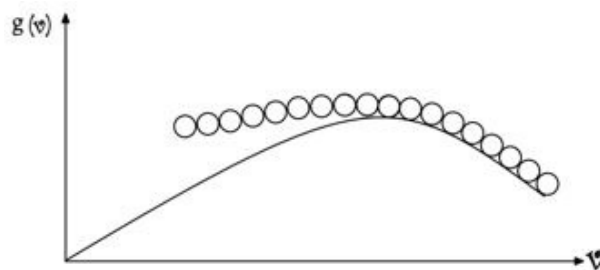


Figura 2.3: Curva teórica de Wien (o) y curva experimental (—) para la radiación de cuerpo negro. [Garcia and Ewert, 1987].

Hacia los años 1911 y 1912 todos aquellos físicos que habían dedicado cierta atención a la radiación de cavidad estaban convencidos de que hacía falta alguna teoría que requeriría la elaboración de una física discontinua, aunque nadie sabía en ese entonces qué forma

adoptaría esta nueva física. En 1905 Rayleigh propuso modificar la ley de distribución de Wien obteniendo una nueva ley de distribución, propuesta que satisfacía la ley de desplazamiento y permitía también que la intensidad creciera con la temperatura a todas las longitudes de onda.

$$E_\nu = KT, \quad (2.5)$$

Posteriormente recurrió a lo que él llamó “*la doctrina de Maxwell-Boltzmann de la partición de energía*” conocida con el nombre de teorema de equipartición Ec.(2.5) y junto a James Jeans hicieron un desarrollo matemático riguroso sobre el tema, estableciendo así la siguiente ecuación para calcular la densidad de energía radiada por un cuerpo negro.

$$E_\nu = \frac{8\pi}{c^3}KT\nu^2, \quad (2.6)$$

donde K es la constante de Boltzmann, T es la temperatura, ν es la frecuencia y c es la rapidez de la luz.

Sin embargo está ecuación Ec.(2.6) es proporcional al cuadrado de la frecuencia, en frecuencias altas la densidad de la energía aumentará discrepando con los resultados arrojados por las curvas experimentales como se muestra en la Fig.2.4.

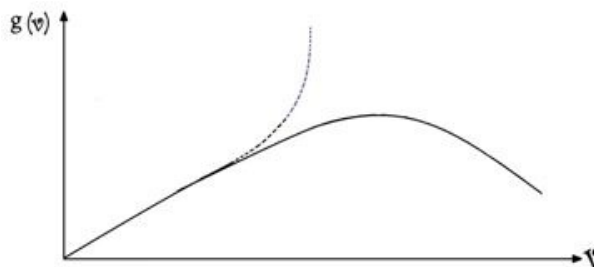


Figura 2.4: Curva teórica de Rayleigh-Jeans (- - -) y curva experimental (—) para la radiación del cuerpo negro. [García and Ewert, 1987].

Para finales del siglo XIX los resultados que se tenían para la radiación de cuerpo negro se pueden resumir en la Fig.2.5.

Observándose que existía una discrepancia entre las teorías propuestas por Wien y por Rayleigh-Jeans y los resultados experimentales de la radiación de un cuerpo negro, originándose en ese entonces la llamada Catástrofe Ultravioleta, denominada así porque era imposible producir energías muy grandes a partir de un cuerpo negro.

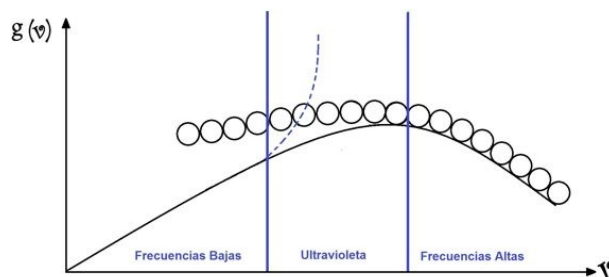


Figura 2.5: Curva teórica de Wien (o), Curva teórica de Rayleigh-Jeans (- - -) y curva experimental (—) para la radiación del cuerpo negro. [García and Ewert, 1987].

En 1900 Max Planck propone un experimento mental, un objeto ideal que absorbe toda energía y luz que se incide sobre él, es una cavidad de paredes completamente absorbentes a una temperatura constante o absoluta del cuerpo, independientemente de su frecuencia, material y tamaño. Ahora bien, si tenemos un cuerpo negro con un pequeño agujero, la radiación electromagnética que entrará por él, chocará contra las paredes de la concavidad, una parte de esta radiación será absorbida y la otra parte será reflejada, repitiéndose el proceso hasta que toda la radiación sea absorbida por las paredes de la concavidad del cuerpo negro como se observa en la Fig.2.6. Si se coloca sobre el fuego dicho cuerpo negro, el material de este comenzará a emitir radiación electromagnética dentro de la concavidad, que realizará el proceso anterior y que eventualmente saldrá por el pequeño agujero dicha radiación (radiación de cuerpo negro). Teniendo en cuenta esto se observará que dicha cantidad de energía emitida, será igual a la cantidad de energía que se le suministra al material para calentarlo como se observa en la Fig.2.7.

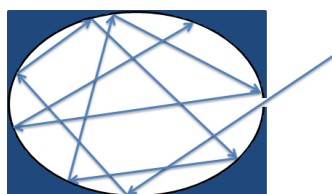


Figura 2.6: Proceso de reflexión en un cuerpo negro, cuando incide radiación electromagnética en él.

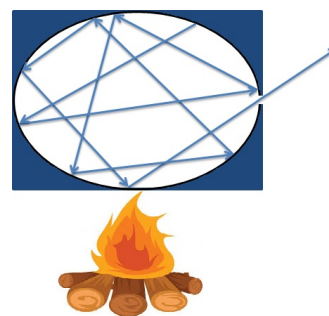


Figura 2.7: Proceso de reflexión en un cuerpo negro, cuando emite radiación electromagnética.

A principios de 1911 Planck presentó una nueva versión de la teoría de la radiación por primera vez a la Sociedad de Física Alemana y durante el año siguiente la inmortalizó formulándola en la segunda edición de sus *Lecciones*, completada a finales de 1912, donde describe la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico.

La densidad de energía radiada por un cuerpo negro está dado por:

$$E(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}, \quad (2.7)$$

donde k es la constante de Boltzmann, h es la constante de Planck, c es la rapidez de la luz, ν es la frecuencia y T es la temperatura.

La Ec.(2.7) concuerda perfectamente con los valores experimentales de la densidad de energía radiada por un cuerpo negro a diferentes temperaturas, transcribe la ley de Rayleigh-Jeans para frecuencias pequeñas y la de Wien para frecuencias grandes, así es como integrando o derivando esta ecuación, podemos llegar a la ley de Stefan-Boltzmann y la ley de desplazamiento de Wien respectivamente, por lo que ha sido aceptada como la expresión correcta para la radiación de cuerpo negro. [Garcia and Ewert, 1987].

2.2. Espectroscopía

La espectroscopía es el estudio detallado de la luz, ¹ de la interacción entre la radiación y la materia en función de longitud de onda (λ), esto se refiere a interacciones con partículas de radiación o frecuencia variante ν , que permite tomar los espectros de diferentes elementos, dichos espectros son como sus “huellas digitales” [Pérez, 2008]. Dentro de la astronomía, esta herramienta se puede usar para medir varias propiedades de estrellas, galaxias etc, tales como composición química, rotación, tamaño, velocidad radial, etc. Gran parte de los telescopios de gran tamaño tienen espectrómetros para tal fin, por lo que podemos considerar a la espectroscopía como el estudio de los espectros de los cuerpos que cohabitan en nuestro entorno cósmico [Beltran, 2010].

El primero en usar esta técnica fue Sir. Isaac Newton quien descompuso la luz del Sol usando un prisma y comprobó que cualquier luz blanca incidente (no necesariamente del Sol) al pasar por un prisma se descompone en colores que van desde el rojo hasta el violeta. Demostró que dichos colores no eran introducidos por el prisma, sino que eran componentes de la luz blanca, comprobándose posteriormente que cada color correspondía a un único intervalo de longitud de onda. Cuando Newton descompuso la luz proveniente del Sol logró ver algunas líneas de absorción. Sin embargo estas bandas oscuras que aparecen

¹Distribución energética de ondas electromagnéticas que se conoce como espectro electromagnético.

en el espectro del Sol, fueron estudiadas por primera vez en 1814, por el astrónomo alemán Joseph von Fraunhofer [AstroMia, 2013], dichas líneas siguen llamándose Líneas de Fraunhofer en su honor y fue el primero en encontrar que los espectros del Sol, Sirio y de otras estrellas brillantes eran diferentes entre sí, dando paso al inicio de la espectroscopía estelar.

2.2.1. Espectros de Emisión y Absorción

A partir de los estudios que se realizaron alrededor del efecto Compton, el efecto fotoeléctrico y el cuerpo negro y sobre todo este último que trajo la cuantización de la energía gracias a los descubrimientos hechos por Planck, Niels Bohr propuso en 1913 usar el concepto de fotón y extender la hipótesis de Planck, suponiendo que si un átomo se encuentra en un estado de energía E y absorbe una cierta radiación de frecuencia ν , éste pasara a un estado de energía mayor E' , teniendo así el cambio de energía del átomo como $E - E'$ y dando cuenta que la energía absorbida de la radiación es un fotón ($h\nu$, siendo h la constante de Planck) se obtiene la ecuación propuesta por Bohr. [Alonso and Finn, 1971].

$$E - E' = h\nu, \quad (2.8)$$

Del mismo modo cuando el átomo pasa de una energía mayor E' a un estado de energía menor E Fig. 2.8. la frecuencia de radiación emitida debe estar dada por

$$\nu = \frac{E - E'}{h}, \quad (2.9)$$

Si imaginamos un electrón que se encuentra en su estado más estable o de mínima energía denominado también como estado fundamental y éste absorbe una cierta radiación electromagnética, el electron pasa a un estado de energía más alto denominado como estado excitado como se ilustra en la Fig.2.9. Igualmente, cuando un electrón que se encuentra en un estado excitado libera su exceso de energía en forma de radiación electromagnética (fotón) y pasa a un estado fundamental o de mínima energía como se muestra en la Fig. 2.10.

Ya que un átomo solo puede tener ciertos valores de energía denominados niveles de energía, las únicas frecuencias posibles que aparece en los espectros de emisión y absorción

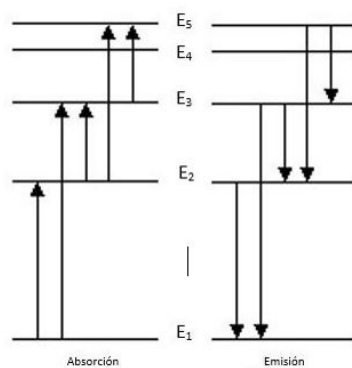


Figura 2.8: Transiciones entre estados estacionarios. [Alonso and Finn, 1971].

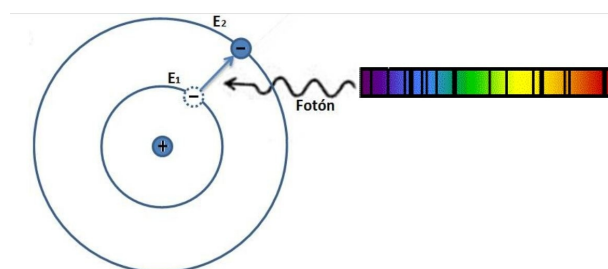


Figura 2.9: Representación orbital de un espectro de absorción.

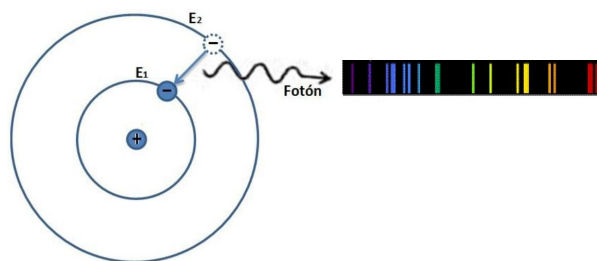


Figura 2.10: Representación orbital de un espectro de emisión.

electromagnética son aquellos correspondientes a las transiciones de dos niveles de energía permitidos, los estados correspondientes a estas energías se denominan estados estacionarios.

Serie de Balmer

El hidrógeno atómico emite un conjunto de líneas como las que se observan en la Fig. 2.11 visible, que ocurren cuando el electrón transita de un nivel de energía $n = 3$ a un nivel de energía $n = 2$, la línea visible con la máxima longitud de onda o frecuencia mínima está en el rojo y se denomina $H\alpha$, la siguiente línea es el azul-verde se llama $H\beta$ y así sucesivamente [Sears et al., 2005].

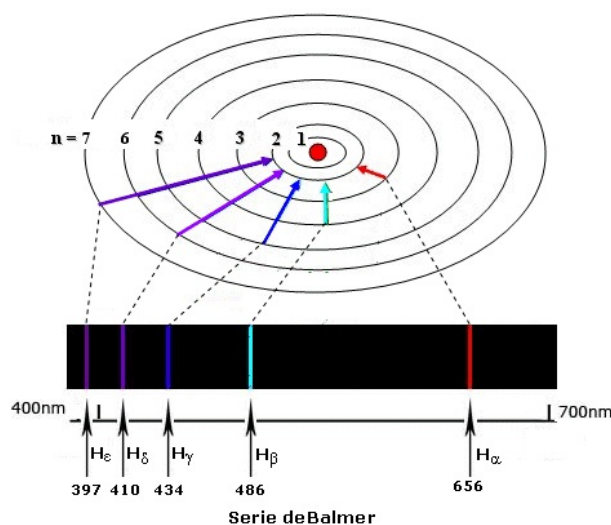


Figura 2.11: Transiciones del átomo de hidrógeno, serie de Balmer. [Mania, 2006].

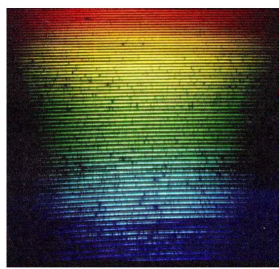
2.2.2. Espectrómetro

Los espectrómetros son instrumentos ópticos que dispersan la luz en sus diferentes longitudes de onda, el resultado de esto es lo que se denomina espectro, miden sus propiedades en una pequeña fracción específica de todo el espectro electromagnético, utilizándolos se puede hacer análisis espectroscópico para identificar los componentes del elemento observado. La variable medida es generalmente la intensidad de la luz, la variable independiente, por lo general es la longitud de onda de la luz, que suele expresarse en Ångström (Å). Los primeros espectroscopios consistían en un prisma con algunas graduaciones que marcaban

las longitudes de onda de la luz, actualmente los espectroscopios por lo general usan una rejilla de difracción, una hendidura móvil y alguna especie de fotodetectores, además de estar computarizados. Tras el estudio de la película fotográfica se crearon los espectrógrafos que permitían realizar un estudio más exacto ya que usan detectores electrónicos como cámaras CCD [Pérez, 2008].

- Rejilla de Difracción

Es un componente óptico que está compuesto por un gran número de rendijas paralelas que difracta la luz en diversos haces de luz que viajan en diferentes direcciones. Dichas direcciones dependen del espaciado (surco) de estas rendijas y de la longitud de onda de la luz incidente. Un tipo de rejilla de difracción es la rejilla de difracción Echelle que se identifica por tener una cantidad de surcos comparativamente baja, pero presentar un mayor número de órdenes de difracción como se ilustra en la Fig. 2.12. Un ejemplo de esta rejilla lo podemos encontrar en el CD ordinario puesto que los surcos de un CD se comportan como una red o rejilla de difracción como se muestra en la Fig. 2.13, produciendo una separación de los colores de la luz blanca. La separación de los surcos en un CD es de 1,6 micrómetros, correspondiente a unos 625 surcos por milímetro. Este es el rango de las rejillas de difracción ordinarias de laboratorios [Rod, 2012].



Tomado de: Espectrómetros, Universidad Complutense Madrid

Figura 2.12: Imagen de los órdenes en el plano focal de un espectrógrafo Echelle.

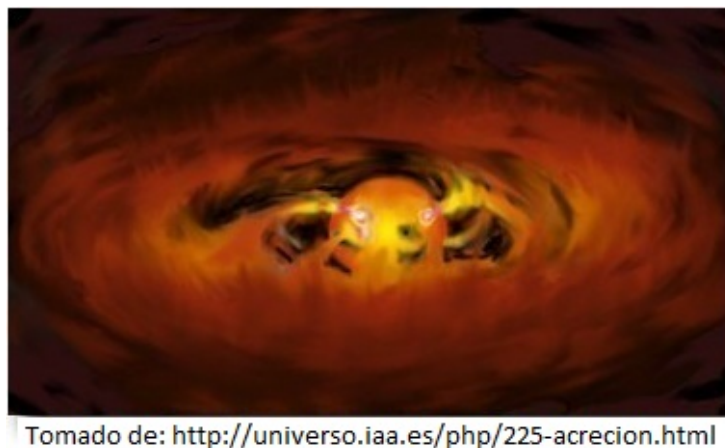


Figura 2.13: CD actuando como una red de difracción.

2.3. Estrellas

En el universo existen estructuras conocidas como nubes moleculares que son regiones extensas compuestas por material interestelar (1% polvo y 99% gas) en el interior de alguna galaxia a temperaturas muy bajas donde abunda el hidrógeno. Estas nubes tienden a colapsar gravitacionalmente, esto sucede por tres motivos: vientos solares, ondas de

choque de explosiones de supernovas o el choque con otra nube molecular. Cuando esto sucede el material existente en la nube comienza a colapsar, aumentando su densidad y temperatura, esto genera que las partículas adquieran energía cinética y provoca que las partículas se unan cada vez más hacia un mismo punto y por conservación del momento angular estas partículas comienzan a girar, el proceso es análogo a un vórtice como lo ilustra la Fig.2.14.



Tomado de: <http://universo.iaa.es/php/225-acrecion.html>

Figura 2.14: Representación artística de la acreción ocurrida en una estrella en formación.

Este colapso de materia comienza a formar una esfera de gas conocida como protoestrella rodeada de un disco de material de la nube como se observa en la Fig.2.15, la principal fuente de energía de esta estrella es la que proviene del colapso gravitacional.

Estas protoestrellas se pueden clasificar según su masa: estrellas de alta masa ($2-8 M_{\odot}$) llamadas Herbig Ae/Be de tipo espectral A y B, y estrellas de baja masa ($<2 M_{\odot}$) llamadas TTauri de tipos espectrales F, G, K y M. Estas estrellas se caracterizan por tener un disco protoplanetario a su alrededor. Con más frecuencia y por diferentes factores las más estudiadas son las estrellas TTauri que son las análogas solares, pero todavía en fase de formación. Debido a sus estudios estas estrellas están divididas en dos grandes grupos, las estrellas clásicas TTauri (CTT) y las TTauri de líneas débiles (WTT), se diferencian debido a su estado evolutivo pero principalmente su diferencia radica en el ancho equivalente (EW) de la línea $H\alpha$, cuando esta línea es menor que los valores reportados en la tabla 2.1 (K0, M0,L0) son (WTT) y cuando esta línea es mayor a los valores reportados en la tabla 2.1 (K9, M9, L5) éstas las estrellas son (CTT). Existen diferentes factores que dificultan la observación de las protoestrellas de alta masa, sin embargo, hay algunos efectos que revelan su presencia debido a que ésta, una vez formada, comienza a interactuar con su entorno. Este tipo de estrellas fue descubierta por el astrónomo estadounidense George



Tomado de: <http://red-estelar.webcindario.com/Origen-y-formacion-del-universo.html>

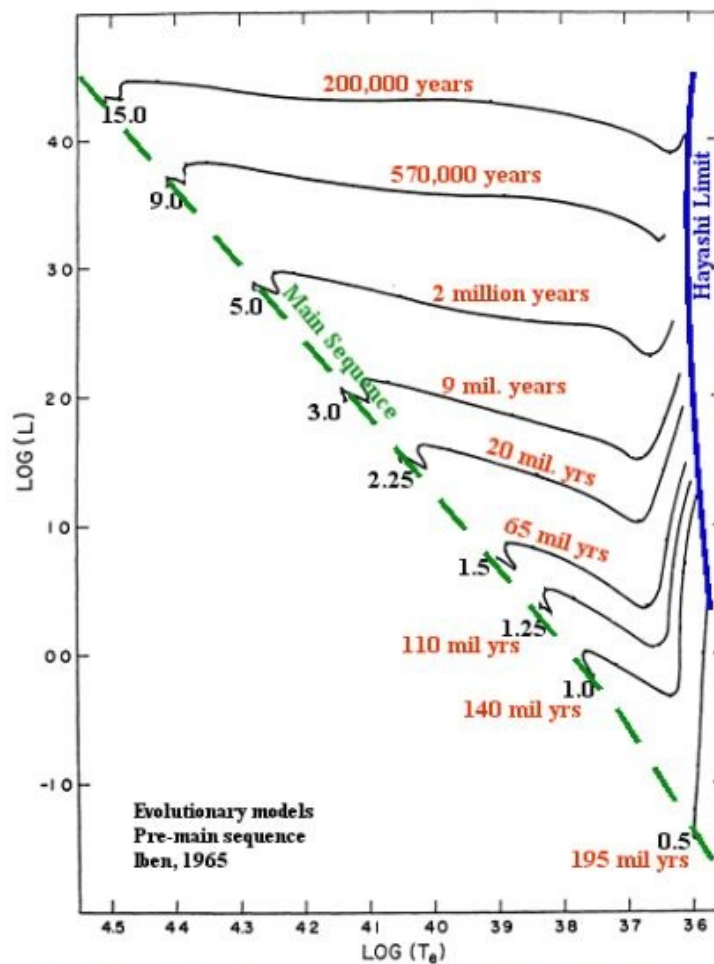
Figura 2.15: Representación artística de la formación del disco de acreción alrededor de la protoestrella.

S_p	Type	$EW(H\alpha)$ (\AA)	S_p	Type	$EW(H\alpha)$ (\AA)	S_p	Type	$EW(H\alpha)$ (\AA)
	K0	3.9		K9	7.8		M8	53.0
	K1	3.9		M0	8.7		M9	87.9
	K2	4.0		M1	10.1		L0	148.2
	K3	4.1		M2	11.2		L1	190.4
	K4	4.4		M3	12.2		L2	279.6
	K5	5.1		M4	14.7		L3	328.9
	K6	5.9		M5	18.0		L4	436.4
	K7	6.6		M6	24.1		L5	698.3
	K8	7.2		M7	41.9			

Tabla 2.1: Equivalencias de las medidas del ancho equivalente (EW) de la línea $H\alpha$ [y Navascués and Martín, 2003]

Howard Herbig en 1960 [Saldaño, 2011]. Las estrellas que se encuentran en la etapa de pre-secuencia principal evolucionan en trayectorias conocidas como “las curvas de Hayashi” mostradas en la Fig.2.16. estas trayectorias comienzan con la formación de una estrella y/o el colapso gravitatorio de la nube molecular en el que se forma la estrella y termina justo antes de alcanzar la secuencia principal, el tiempo que transcurre desde el comienzo hasta el final de dichas trayectorias varía con respecto a la masa de la estrella. Por lo que las estrellas más masivas (las estrellas Herbig Ae/Be), tardan unos pocos millones de años en alcanzar la secuencia principal, mientras que las estrellas menos masivas (las

estrellas TTauri) permanecen en esta etapa de formación por unos 10 millones de años, hasta alcanzar la secuencia principal.



Tomado de: <http://www.uni.edu/morgans/stars/notes5.pdf>

Figura 2.16: Trazas evolutivas presecuencia principal para protoestrellas con diferentes masas.

Como nuestro interés es estudiar una estrella masiva tipo Herbig, esto es de gran importancia para el estudio de este tipo de estrellas, debido a que, la envoltura de gas y polvo que rodea la estrella proveniente de la nube molecular en la que se está formando tarda en disiparse, cosa que no sucede con las estrellas masivas ($>9 M_{\odot}$), su proceso de formación es muy rápido y casi imperceptible, lo que hace difícil ver en el visible la estrella en formación. [Fernandez et al., sf].

Cuando el colapso finaliza y el disco se ha disipado y si la estrella tiene una masa suficiente para mantener su temperatura mayor a 10^7 K, comienza a hacer fusión nuclear convirtiéndose ésta en su principal fuente de energía y continuará este proceso fusionando materia y

creando elementos más pesados como helio, carbono, neón y oxígeno entre otros (ver Fig. 2.17). Debido a esto sabemos que las estrellas son enormes esferas de gas, muy brillantes y de temperaturas muy altas que producen su propia luz y energía por medio de la fusión nuclear.

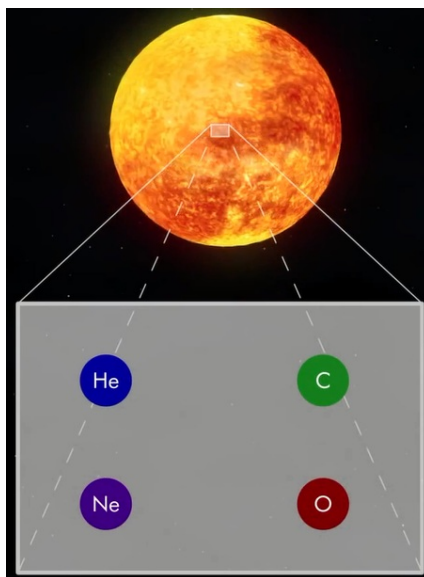


Figura 2.17: Elementos pesados que la estrella genera por fusión nuclear en el transcurso de sus etapas evolutivas. [Harrison, 2015]

Existen cuatro métodos de clasificación estelar:

1. Clasificación por magnitud

Creada por Hiparco de Nicea (190 - 120 ac.) quien estableció una clasificación teniendo en cuenta la intensidad del brillo aparente de la estrella, el rango de dicha clasificación iba de 1 a 6, siendo 1 la más brillante y 6 la menos brillante, esta clasificación fue base para la clasificación actual que tiene valores negativos para estrella mucho mas brillantes. Por medio de esta clasificación Hiparco clasificó 1000 estrellas. Actualmente en la astronomía es muy importante conocer la magnitud aparente y absoluta de las estrellas para su estudio. Para hallar la magnitud aparente de una estrella es necesario saber el flujo de radiación emitida por la estrella, además de tener una estrella de referencia que en muchos casos es la estrella Vega con magnitud 0, relacionadas por:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \log \left(\frac{f_1}{f_2} \right), \quad (2.10)$$

donde m_2 y f_2 es la magnitud y flujo de la estrella de referencia y m_1 y f_1 es la magnitud y flujo de la estrella estudiada.

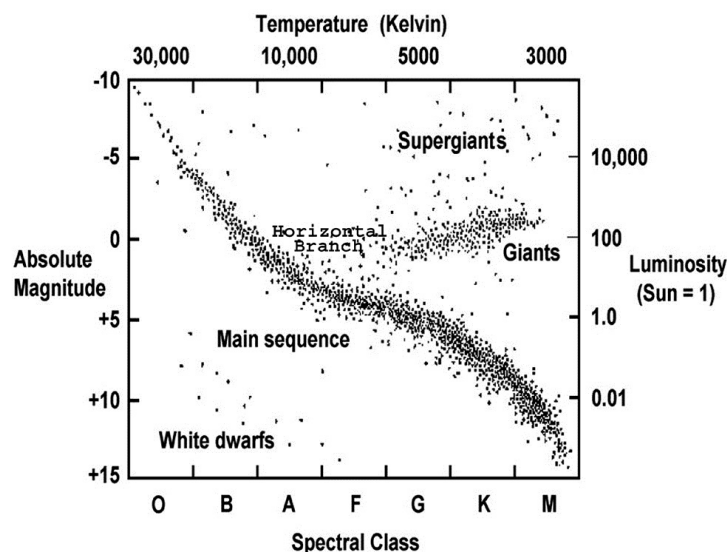
La magnitud absoluta es la magnitud aparente de una estrella colocada a 10pc siendo este un dato de referencia, de este modo tenemos.

$$m - M = 5 \log \left(\frac{d}{D} \right), \quad (2.11)$$

donde m es la magnitud aparente, M es la magnitud absoluta, d distancia de la estrella estudiada y D es igual a 10 pc. [Gaitán, 2012]

2. Clasificación por tipo espectral

Es un poco más compleja pues distingue estrellas de acuerdo a su espectro luminoso y su temperatura superficial. Ver Fig. 2.18.



Tomado de: http://chandra.harvard.edu/edu/formal/variable_stars/bg_info.html

Figura 2.18: Diagrama de Hertzsprung-Russell. Cada estrella se representa según su magnitud absoluta, que mide su brillo intrínseco, y su tipo espectral, que refleja su color y su temperatura. Esta última aumenta hacia la izquierda.

3. Clasificación por luminosidad

Esta clasificación va más acorde con el estado evolutivo de la estrella tal como se muestra en la Tabla. 2.2.

Clase	Descripción
0	Hipergigantes
Ia	Supergigantes Luminosas
Ib	Supergigantes
II	Gigantes Luminosas
III	Gigantes
IV	Sub-gigantes
V	Enanas (Sol)
VI	Sub-enanas
VII	Enanas blancas

Tabla 2.2: Clasificación estelar por luminosidad.

4. Clasificación Gravitacional de las estrellas.

En el año 2006 la unión astronómica internacional (UAI) introdujo una nueva clasificación estelar que indica cuatro criterios gravitacionales.

- Clasificación por centro gravitacional

En esta clasificación se tiene en cuenta si existe o no un centro de gravitación estelar, conociéndose como estrellas sistemáticas a las primeras y estrellas solitarias a las segundas.

- Clasificación de estrellas sistémicas por posición

Una estrella sistemática se puede encontrar de dos tipos, centrales si son estrellas que actúan como centro gravitacional de otras estrellas o satélites si son aquellas estrellas que orbitan una estrella central.

- Clasificación de estrellas por agrupación gravitacional

En esta clasificación encontramos las estrellas cumulares y las estrellas independientes que se distinguen dependiendo si se encuentran o no unidas a otras estrellas gravitacionalmente. Las estrellas cumulares son aquellas que se encuentran en los cúmulos estelares, en los cúmulos globulares las estrellas se atraen mutuamente por gravedad, en los cúmulos abiertos las estrellas se atraen debido a que el centro gravitacional es el centro de masa del cúmulo. Las estrellas independientes son aquellas que no forman cúmulos estelares con ninguna otra estrella.

- Clasificación de estrellas por sistema planetario

En esta clasificación las estrellas planetarias son aquellas que tienen un sistema planetario y por ende son centro gravitacional y las estrellas únicas son aquellas que no tienen un sistema planetario.

Las estrellas permanecen un 1 % de su vida en la etapa de pre-secuencia principal y un 80 % en la etapa de secuencia principal fusionando hidrogeno en helio y el porcentaje restante lo pasará en las últimas etapas de su evolución y muerte. Aunque el camino que tomará cada estrella para terminar su “vida” dependerá exclusivamente de su tamaño, siendo que las estrellas más masivas al salir de la etapa de secuencia principal pasará a ser una estrella super gigante roja, luego a una supernova para terminar finalmente, después de su explosión, en una estrella de neutrones o en un agujero negro. Por otro lado una estrella de baja masa como lo es nuestro Sol después de salir de la secuencia principal pasará a ser una gigante roja, luego a una nebulosa planetaria y por último terminará como enana blanca. Estas secuencias se muestran en la Fig.2.19.

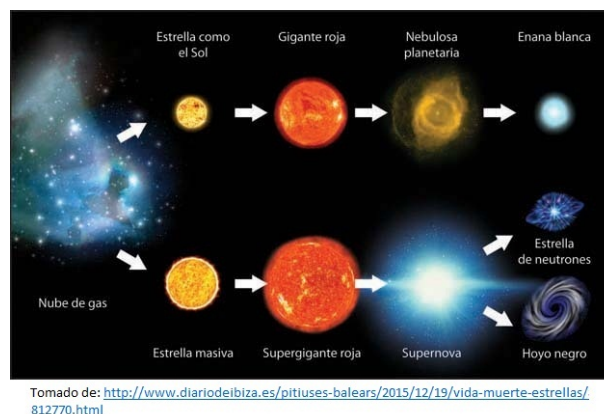


Figura 2.19: Diagrama que muestra la vida de las estrellas, según su masa, desde que nacen hasta que mueren.

CAPÍTULO 3

EL EXPERIMENTO Y LA REDUCCIÓN DE DATOS

Uno de los objetivos de este trabajo es tomar espectros de estrellas jóvenes y posteriormente realizar su reducción y calibración, debido a esto se realizó un trabajo experimental, que consistió en la observación de una estrella de masa intermedia, por 4 días, logrando los datos que se mostrarán a continuación.

3.1. Lugar de Observación

La toma de los espectros se realizó en el Observatorio Astronómico de la Universidad de los Andes ubicado en el Edificio IP, departamento de matemáticas (antiguo departamento de física) dentro de la Universidad de los Andes localizada en el centro-oriental de Bogotá. (ver Fig.3.1).

Bogotá tiene diferentes cambios de temperatura durante el día, estas variaciones van de entre temperaturas de 9°C y 22°C , teniendo un promedio de 14°C , habiendo temporadas secas y temporadas de lluvia. Los meses más secos son Enero, Febrero, Marzo y Diciembre. Los meses de lluvia son Abril, Mayo, Septiembre, Octubre y Noviembre, esto es importante para la realización de las observaciones, pues se debe, en lo posible, garantizar cielos despejados y días secos, ya que esto ayudará a disminuir los efectos de la atmósfera y el clima que pueden afectar la luz que llega al telescopio en el momento de la toma de datos. Entre las características que debe tener un buen lugar de observación, se encuentran: estar en un lugar alto para minimizar la cantidad de atmósfera entre el telescopio y el espacio observado, estar en un lugar seco pues esto disminuirá el vapor de agua, estar libre de nubes, tener baja velocidad de vientos para minimizar el “Seeing” que es causado por turbulencias atmosféricas causando variaciones de densidad y deformando el recorrido óptico de los rayos de luz de los objetos que se están observando y poca actividad humana pues esto minimizaría la luz artificial, el polvo, el humo, etc. que afectan considerablemente



Tomado de: http://danielbermudezarq.com/nuevo/index.php?option=com_k2&view=item&id=53:bloque-h-de-la-universidad-de-los-andes&itemid=126&lang=es

Figura 3.1: Observatorio Astronómico de la Universidad de los Andes.

la luz que llega al telescopio. Teniendo en cuenta lo anterior se podría concluir que Bogotá no es un buen lugar para realizar observaciones astronómicas, sin embargo, con un poco de esfuerzo se logran tener muy buenos datos de observación, siendo útiles para investigaciones astronómicas y/o académicas.

3.2. Objeto de Observación

La estrella que se observó en esta práctica experimental fue la estrella AB Aurigae (Hip 22910), de tipo espectral A0Ve, esta estrella es de masa intermedia ($2-4 M_{\odot}$) que se encuentra en pre-secuencia principal denominada Herbig Ae/Be, con una edad comprendida entre 1 y 3 millones de años, está a una distancia de 470 años luz, tiene una ascensión recta (α) de 04h 56min 44s y una declinación (δ) de $+33^{\circ}34'21''$ y se encuentra ubicada en la región de formación Taurus-Auriga. (ver Fig.3.2). Esta estrella se observó en el mes de enero en el año 2015.

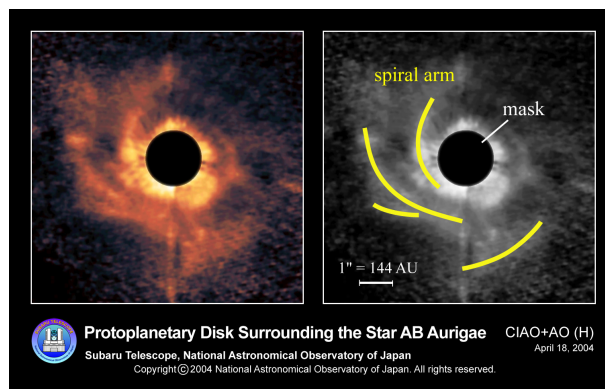


Figura 3.2: Disco protoplanetario alrededor de la estrella AB Aurigae.

3.3. Instrumentos

Para la realización de la observación y la toma de datos de esta estrella se utilizaron diferentes instrumentos necesarios en este proceso como: telescopio, cámara, espectrómetro Echell.

3.3.1. Telescopio

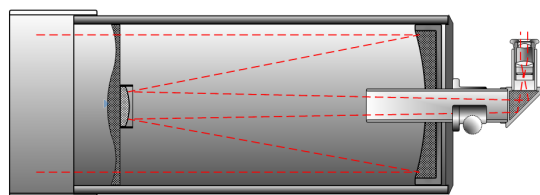
El telescopio Schmidt-Cassegrain de 40 centímetros de diámetro y 4 metros de distancia focal efectiva, de marca Meade LX200. (ver Fig.3.3).

Este tipo de telescopios Cassegrain son reflectores y se caracterizan por utilizar tres espejos, un espejo primario cóncavo esférico y un espejo secundario convexo esférico con una lente de Schmidt. El nombre de este telescopio se debe a la invención de esa lente, por el óptico Schmidt. Fig.3.4.



Tomado de:
<http://observatorio.uniandes.edu.co/index.php/informacion-adicional/historia>

Figura 3.3: Telescopio Schmidt-Cassegrain del Observatorio de la Universidad de los Andes.



Tomado de: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/be/schmidt-cassegrain.png>

Figura 3.4: Esquema de un telescopio Schmidt-Cassegrain.

3.3.2. Cámara

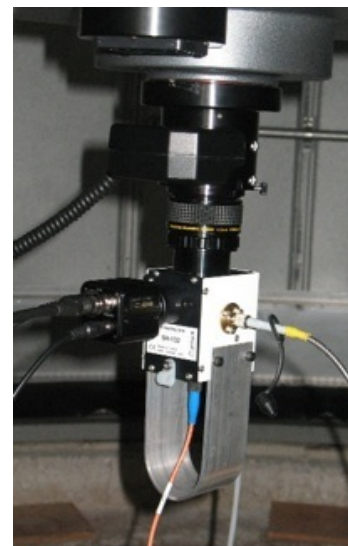
En el proceso de toma de espectros se utilizaron dos cámaras: La cámara de video que muestra el campo visual del telescopio y que se activa con el mismo software que maneja el telescopio, es importante verificar que estén ajustados los niveles de contraste de la cámara de video para asegurar una buena imagen, también es importante ver aproximadamente en el centro de la imagen un pequeño óvalo negro señalado en la Fig.3.5, este es el orificio del espejo, por donde la luz entra a la fibra óptica, por lo que siempre se dirige el telescopio para que la luz de la estrella caiga exactamente en dicho orificio. Si este óvalo se ve borroso, se debe enfocar, ajustando la distancia que hay entre la cámara de video y la unidad de acople al telescopio que se puede ver en la Fig.3.6.

La cámara del espectrógrafo se encarga de la adquisición de espectros de los objetos y lámparas, es importante verificar la temperatura de esta cámara que generalmente se utiliza en 0°C.



Tomado de:
<http://observatorio.uniandes.edu.co/index.php/instrumentacion/24-eschel-version-detallada>

Figura 3.5: Pequeño óvalo observado en el centro de la imagen que indica el orificio del espejo, por donde la luz entra a la fibra óptica. Cámara dirigida hacia la iglesia de Monserrate.



Tomado de:
<http://observatorio.uniandes.edu.co/index.php/instrumentacion/24-eschel-version-detallada>

Figura 3.6: Unidad de acople al telescopio.

3.3.3. Espectrógrafo Echelle

Los espectrómetros son aparatos capaces de analizar el espectro de frecuencias característico de un movimiento ondulatorio, son instrumentos que dispersan la luz en sus diferentes

longitudes de onda, el resultado de esto es lo que se denomina espectro, la variable que se mide generalmente es la intensidad luminosa y la variable independiente suele ser la longitud de onda de la luz.

Un espectroscopio está formado por una rendija, un conjunto de lentes, un prisma y un ocular. La luz pasa por una lente colimadora, que produce un haz de luz estrecho y paralelo, que pasa por el prisma. Con el ocular se enfoca la imagen de la rendija. Lo que se ve son una serie de líneas espectrales, cada una con un color diferente, porque el prisma separa la luz en los colores que la componen. En un espectrógrafo, el ocular se sustituye por una cámara. Se pueden calcular sus longitudes de onda a partir de sus posiciones en la película fotográfica. Los espectrógrafos son útiles en las regiones ultravioleta y visible del espectro, y también en la zona infrarroja. Los espectrógrafos Echelle (ver Fig. 3.7) utilizan redes que tiene muchos menos surcos por milímetro que las redes de los espectrógrafos de rejilla normales. [AstroMia, 2013].

Estos espectrógrafos tiene sólo 79 surcos por milímetro, y van de los órdenes $n = 32$ a $n = 52$.



Tomado de: <http://observatorio.uniandes.edu.co/index.php/informacion-adicional/historia>

Figura 3.7: Espectrografo Echelle del Observatorio de la Universidad de los Andes.

3.4. Procedimiento Experimental

Cuando se comienza el proceso de la noche de observación, se debe realizar la toma de los espectros de las lámparas de calibración, las lámparas utilizadas para este procedimiento son las lámparas de tungsteno (Fig. 3.8). y la lámpara de torio y argón (Fig.3.9), estos espectros son en emisión. El espectro de la lámpara de tungsteno ayuda a determinar la ubicación y forma geométrica de las franjas de los espectros, con esta información y por medio del software se aplanan las trazas y se extrae el perfil de cada orden, el espectro de la lámpara de torio y argón ayuda a calibrar los espectros en longitud de onda. En algunos observatorios se realizan toma de espectros de estrellas de calibración, para esto se hace observación de un conjunto de estrellas estándar. Los espectros de estas estrellas cumplen el mismo objetivo que las lámparas de calibración.

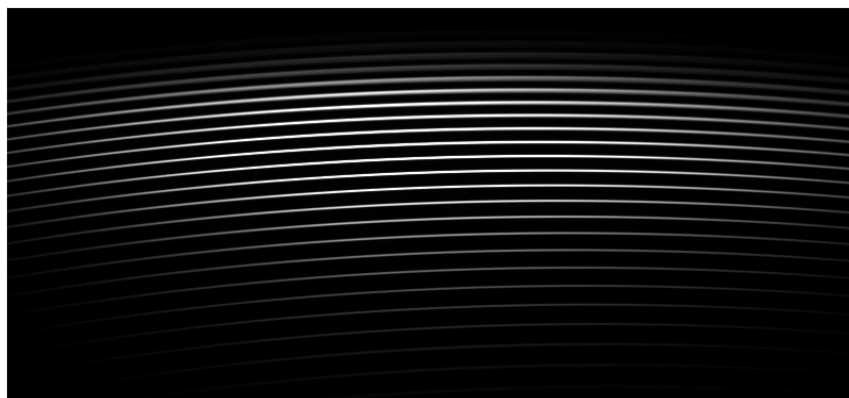


Figura 3.8: Espectro de la lámpara de Tungsteno extraído con el software ISIS.

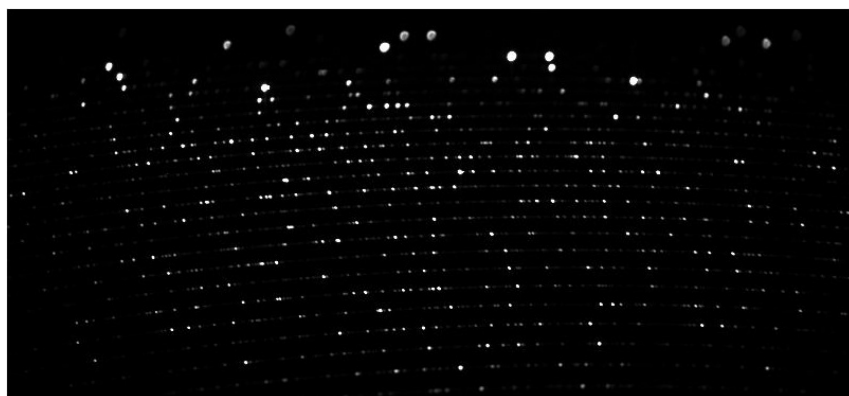


Figura 3.9: Espectro de la lámpara de Torio y Argon extraído con el software ISIS.

Después de esto se procede a buscar la estrella que se observará, en este caso la estrella AB Aurigae, teniendo en cuenta que la magnitud de esta estrella es 7, se procede a hacer una

exposición de 900 segundos, en el momento en que se localiza la estrella y se centra en la cámara del telescopio se inicia la exposición por los 900 segundos. Al terminar, se realiza nuevamente la toma de las lámparas de calibración. Para este experimento el procedimiento se realizó 4 veces seguidas, no se logró hacer más repeticiones de observación debido a que el cielo se nubló.

3.5. Software ISIS

El software usado se llama Integrated Spectrographic Innovative Software, o Software Innovador Integrado espectrográfico, ISIS por sus siglas en inglés (ver Fig.3.10). Es una aplicación gratuita creada por Christian Buil, astrónomo aficionado francés, este software trabaja bajo la plataforma de Windows y está dedicado al procesamiento de datos astronómicos espectrales. ISIS contiene funciones especiales que facilitan el uso de espectrógrafos como Lhires III, LISA, Echelle y de algunos programas como Star Analyzer [Buil, 2015]. Este software tiene herramientas que permite eliminar de las imágenes el ruido instrumental, usando imágenes oscuras (“dark”), imágenes de pedestal (“offset” o “bias”) e imágenes de iluminación uniforme (“flat” o “prnu”), usando un algoritmo para dicho proceso Ec.(3.1). También sirve para elaborar tales imágenes de referencia “maestras” a partir de muchas imágenes primarias.

$$I_P = \frac{m * (I_B) - B - K - D}{F}, \quad (3.1)$$

donde I_P es la imagen procesada del espectro de la estrella, I_B es la imagen en bruto del espectro de la estrella, m y K son los coeficientes que quitan los defectos instrumentales, B es el Bias, D es el Dark y F es el Flat.

ISIS permite visualizar las imágenes y los perfiles, comparar un espectro con otro, calcular la velocidad heliocéntrica del observatorio en el momento de la observación, y otras funciones más.

3.5.1. Reducción

La reducción que se realiza en los datos del espectro de la estrella observada, consiste en la eliminación y corrección de todos aquellos defectos de la imagen debidos a los instrumentos utilizados en el proceso de observación. Como se observa en la Fig.3.11., los

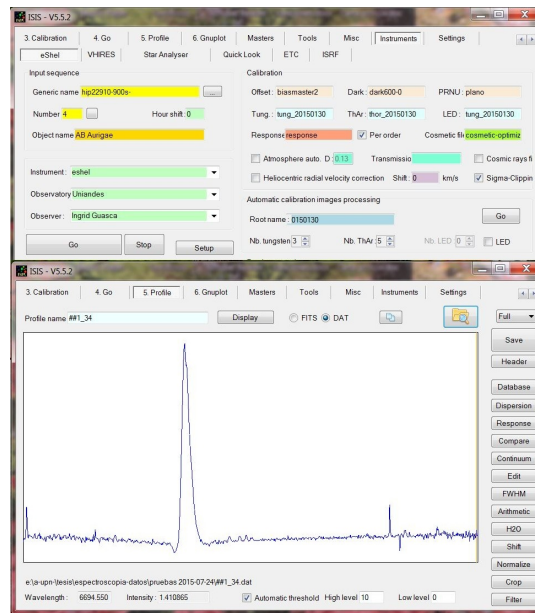


Figura 3.10: Pantallazos del Software ISIS.

pequeños puntos que se distribuyen por toda la imagen no es información de la estrella, son producidos posiblemente por pixeles calientes, pixeles dañados, polvo, manchas en el detector, etc. Para corregir esto se requiere de varias imágenes para dichas correcciones, estas imágenes están descritas a continuación.

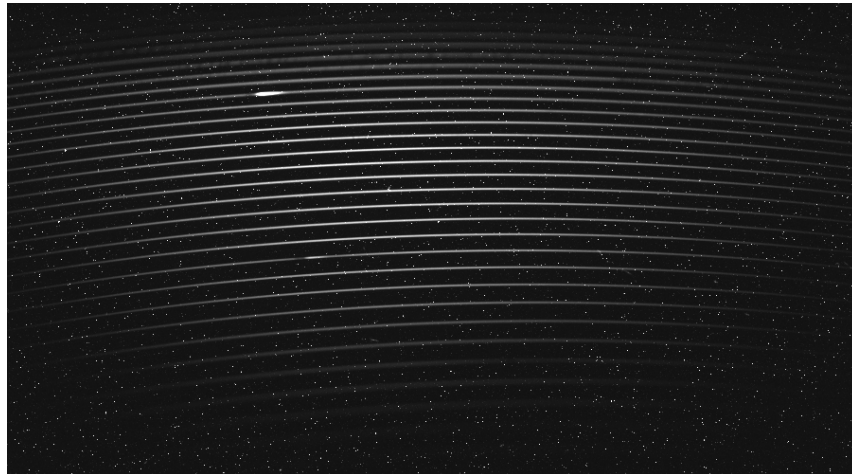


Figura 3.11: Imagen sin procesar del espectro de la estrella AB Aurigae.

- Imagen Flat

Se crean disparando fotos en algo luminoso, como luz blanca brillante o el amanecer, en

estas fotos la temperatura no es importante y se utilizan para corregir la iluminación dispereja creada por polvo o manchas en el tren óptico. Fig.3.12.



Figura 3.12: Imagen Flat o Prnu extraído con el software ISIS.

- Imagen Bias

Se crean haciendo exposiciones cortas en la oscuridad con el lente tapado, en estas imágenes la temperatura no es importante y se utilizan para remover la señal de lectura del chip de la CCD, creada por el circuito electrónico. Fig.3.13.

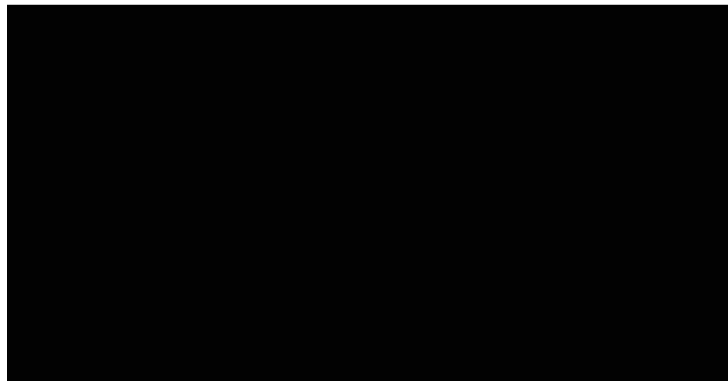


Figura 3.13: Imagen Bias extraída con el software ISIS.

- Imagen Dark

La mejor forma de crear estas imágenes es disparando fotos en la oscuridad cubriendo la lente, se toman entre 10 y 20 de las cuales se combinan o suman por medio del software para crear una imagen Dark “Maestra”, en estas imágenes la temperatura es importante, por lo que se toman al final o durante la toma del espectro del objeto estelar, garantizando

que tengan el mismo tiempo de exposición y temperatura con la que se toma la imagen del objeto. Son utilizadas para remover la señal oscura de los archivos de imágenes del objeto. Fig.3.14.

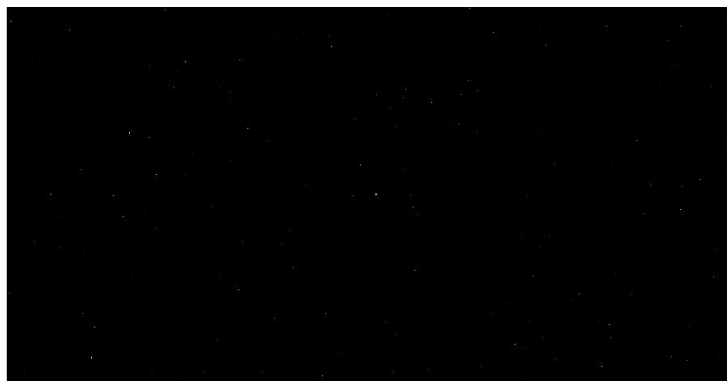


Figura 3.14: Imagen Dark extraída con el software ISIS.

Después de introducir la información necesaria en el software para hacer las correcciones pertinentes de la imagen del espectro en bruto de la estrella AB Aurigae, el resultado final será una imagen como la mostrada en la Fig.3.15. Donde se puede observar que se eliminó gran parte de los errores mostrados anteriormente Fig.3.11.

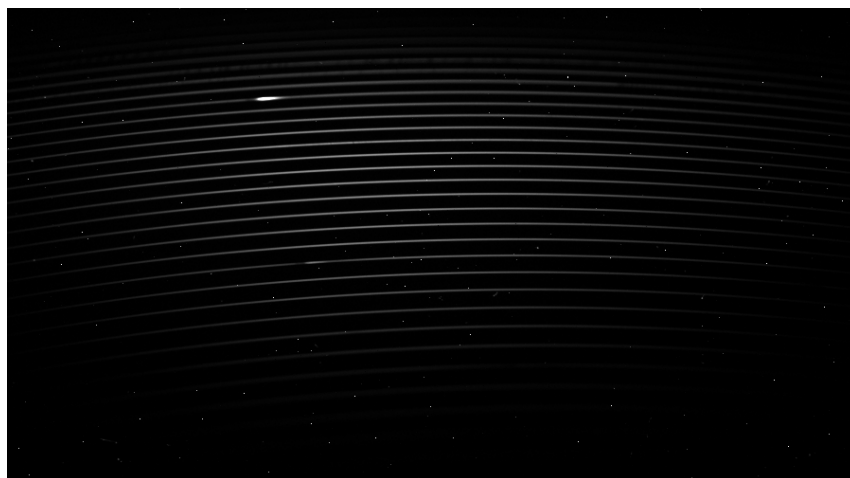


Figura 3.15: Imagen procesada de la estrella AB Aurigae extraído el con software ISIS.

3.5.2. Calibración

En ISIS se utiliza el espectro de dos tipos de lámparas (tungsteno Fig.3.8 y torio – argón Fig.3.9) que permite que todas las imágenes obtenidas por el software estén calibradas por longitud de onda.

3.5.3. Perfiles

Después de todo el proceso de reducción y calibración por medio del software ISIS de la imagen en bruto dada por el proceso de toma de datos, finalmente se extrae el perfil del espectro de la imagen procesada de la estrella obteniendo como resultado la Fig.3.16. Con ayuda de este perfil se desarrollará un método que nos permitirá obtener una primera aproximación de temperatura superficial de la estrella AB Aurigae, dicho método se encuentra en el capítulo 5 de este trabajo.

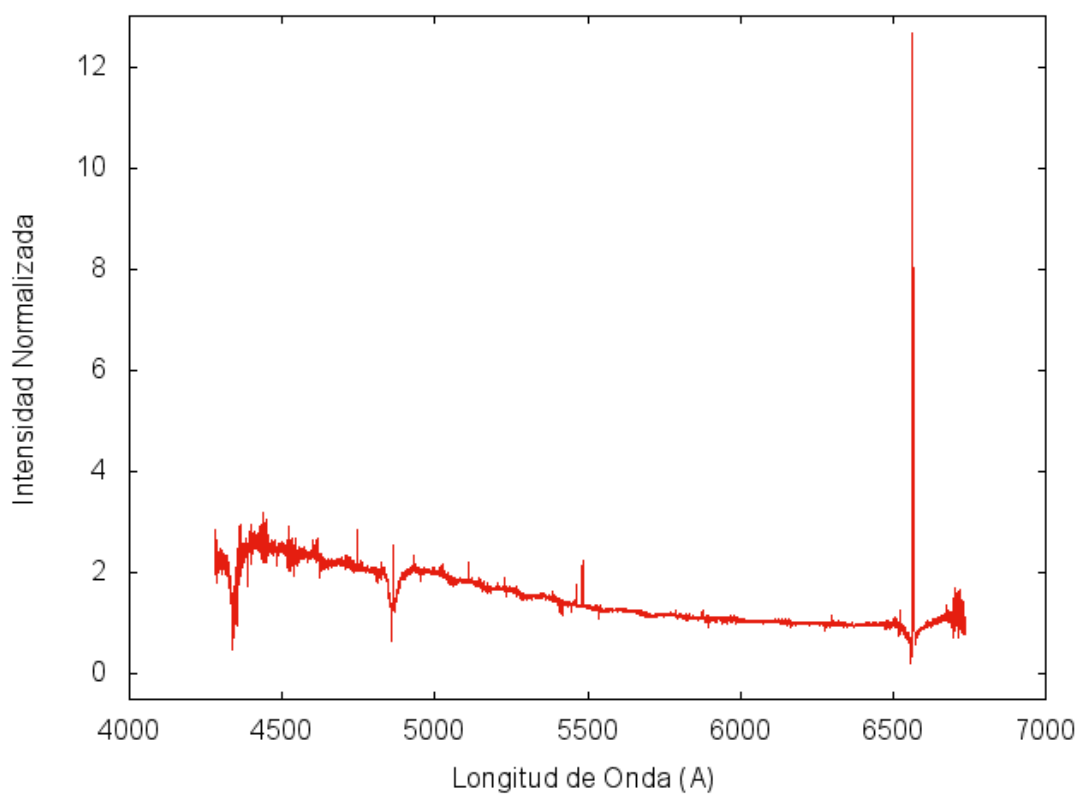


Figura 3.16: Perfil del espectro de la estrella AB Aurigae extraído con el software ISIS.

CAPÍTULO 4

LAS ESTRELLAS Y SUS COLORES

La astronomía es una ciencia que nos permite a través de su estudio reforzar diversos temas de física, por ello en este trabajo se presenta un módulo de enseñanza denominado “Las Estrellas y Sus Colores” que está pensado con la finalidad de aportar conocimientos básicos en el estudio de las estrellas a partir de la espectroscopía, y ampliar algunos conceptos de física tales como el cuerpo negro, mostrando su aplicación en el estudio de la espectroscopía estelar. Por esta razón se busca que los estudiantes tengan un acercamiento con la teoría de cuerpo negro, descubriendo la relación existente entre Color-Temperatura importante para el estudio de las características de las estrellas, relación que se observa en la teoría de cuerpo negro. Por ello se proponen diferentes actividades organizadas de manera sistemática para cumplir el objetivo.

Primero se realiza una prueba diagnóstico (Pre-test) para recoger la información sobre los conocimientos previos que los estudiantes tienen. Paso seguido se apoya en una serie de experiencias de laboratorio para el desarrollo del módulo, descritos a continuación. En estas experiencias de laboratorio se realiza la visualización de una “caja negra” que permitirá observar la relación Color-Temperatura. Se hace un acercamiento a una rejilla de difracción casera (CD) identificando sus características, se realiza la observación de algunas lámparas calientes empleando un espectroscopio para este fin, se identifican las diferentes características de los espectros de los elementos observados y se relacionan con los espectros estelares. Junto con algunos conceptos de física se hallan algunas características de las estrellas que permiten su identificación, como su tipo espectral, su clasificación, su color, su temperatura, etc. se hace un breve recorrido por la evolución estelar y finalmente se realiza nuevamente una prueba diagnóstico (Post-test) para recoger la información sobre los conocimientos adquiridos por los estudiantes en el transcurso del desarrollo del módulo. Se espera que este módulo le sirva a cualquier profesor tanto a nivel universitario (para primeros semestres) como para profesores de básica-secundaria, para llevar la astronomía a sus aulas de clases.

4.1. Objetivos

1. Conocer las características generales de las estrellas.
2. Identificar la existencia entre la relación Color-Temperatura.
3. Determinar la temperatura de algunas estrellas por medio de la ley de desplazamiento de Wien.

4.2. Estrategias y Actividades

A continuación, encontrará las cinco etapas en las que se divide este módulo y la manera en la que se desarrolla cada una de ellas.

4.2.1. Prueba Diagnóstico Pre-test

Se realiza una prueba diagnóstica que tiene por fin reunir información de los conocimientos previos que los estudiantes tienen sobre las temáticas desarrolladas en el módulo (ver Anexo A).

4.2.2. Color-Temperatura

Introducir el concepto de la relación color-temperatura a partir de una experiencia de laboratorio, enmarcada en conceptos descritos en el capítulo 2. Esta experiencia de laboratorio consiste en la utilización de una “caja negra” que permitirá la observación de la relación color-temperatura. Para la construcción de la “caja negra” se necesita los siguientes materiales: cartón paja, un bombillo con su respectiva roseta, cables y un reóstato, logrando el montaje observado en la Fig. 4.1

Luego al introducir corriente al bombillo incandescente y variar su voltaje por medio del reóstato se podrá visualizar el cambio de tonalidad del bombillo y utilizando una termocupla se podrá observar que a medida que esta tonalidad cambia la temperatura del bombillo va aumentando, observándose así de manera practica la relación existente entre temperatura-color. La pregunta orientadora que se recomienda utilizar en esta parte del módulo se encuentran en el Anexo B.

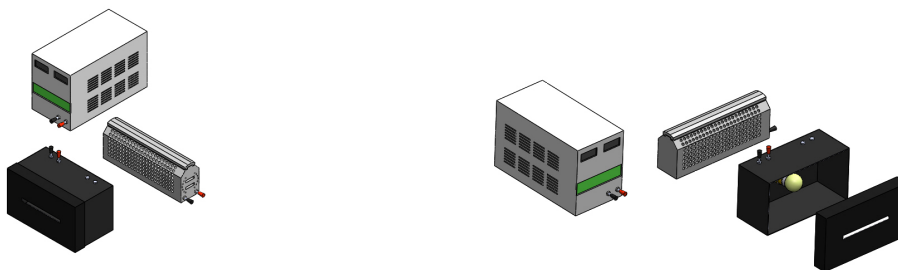


Figura 4.1: Esquema de la “caja negra” utilizada en el modulo vista desde dos ángulos distintos.

4.2.3. Estudio espectroscópico

Esta experiencia de laboratorio consiste en dos etapas, primero se busca que los estudiantes tengan un acercamiento con una rejilla de difracción y/o prisma para que observen la descomposición de la luz ¹. Se le pide a cada estudiante que dirija su CD hacia una fuente de luz, después de su observación los estudiantes plasman lo observado en un diagrama y deben hacer un análisis de lo observado en el CD apoyándose en algunas preguntas orientadoras, para que logren una relación de lo sucedido en el CD cuando la luz incide en él y lo que sucede en una rejilla de difracción o prisma cuando un haz de luz incide en ellos. Haciendo uso de un espectroscopio (Apéndice E) se observará por medio de él los espectros de algunos gases como helio, neón y magnesio, este último encontrado en los bombillos ahorradores o cualquier otro tipo de gas. Esto permite que los estudiantes tengan un acercamiento hacia las características de los espectros de emisión y absorción observados en diferentes elementos y posteriormente que reúnan sus experiencias a partir de algunas preguntas orientadoras y la realización de unos gráficos que ayudan a realizar un análisis de lo observado en el espectroscopio y los conceptos vistos y descritos en este módulo (ver Anexo B).

¹Fenómeno que ocurre cuando se hace incidir rayos de luz por una estructura que difracta la luz en sus diferentes colores (frecuencias), esto se realiza por medio de la utilización de un CD.

4.2.4. Tipos espectrales

Con el propósito de que los estudiantes logren identificar las características generales del espectro de algunas estrellas enmarcados en conceptos descritos en el capítulo 2, se propone una experiencia de laboratorio que consiste en la caracterización de las diferencias encontradas en los espectros de algunas estrellas, identificar algunas líneas características del hidrogeno en estos espectros, hallar una primera aproximación de la temperatura de una estrella en particular haciendo uso de la ley de desplazamiento de Wien. Las preguntas orientadoras que se recomienda utilizar en esta parte del módulo se encuentran en el Anexo C.

4.2.5. Prueba diagnostico post-test

Finalmente se realiza nuevamente una prueba diagnóstica que tiene por fin reunir información de los conocimientos adquiridos por los estudiantes sobre las temáticas desarrolladas en el módulo (ver Anexo D).

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Teniendo en cuenta que este trabajo se realiza desde dos enfoques diferentes uno pedagógico y uno disciplinar a partir de un mismo concepto (cuerpo negro), en este capítulo se hace una descripción de los resultados que se obtienen en ambos enfoques, así como una discusión de los mismos.

Inicialmente se presenta los resultados que se obtienen con la implementación del módulo “Las Estrellas y Sus Colores” que se realiza en un curso introductorio a la astronomía dictado en la Universidad Pedagógica Nacional, después de hacer un análisis cuantitativo de los datos apoyado en los modelos de la Ganancia de Hake y el Factor de Concentración de Bao y Redish. Posteriormente se presenta los resultados que se obtienen al realizar la toma de datos de una estrella tipo Herbig y teniendo en cuenta varios parámetros se extrae su continuo térmico que es el que nos permite calcular su temperatura superficial asumiéndolo como un cuerpo negro y aplicando un modelo de cuerpo negro propuesto.

5.1. Las Estrellas y sus colores

En este capítulo se presenta el análisis y resultados que se obtuvieron al aplicar el módulo a los estudiantes de la electiva de Astronomía General de la Universidad Pedagógica Nacional. Para llevar a cabo este análisis de resultados, se utiliza el modelo del Factor de Concentración de Bao y Redish que nos permite analizar la distribución y concentración de respuestas que los estudiantes dan, a cada una de las diferentes preguntas propuestas en la prueba diagnóstica (Pre-test y Post-test), y la Ganancia Normalizada de Hake que es esencialmente un parámetro que da cuenta de la evolución del aprendizaje de los estudiante, de la electiva de Astronomía General de la Universidad Pedagógica Nacional, en la aplicación del módulo.

Ganancia Normalizada de Hake

Es un parámetro estadístico que permite dar información acerca de la evolución del aprendizaje de un grupo de estudiantes a los que se les aplica una estrategia de enseñanza, sin importar el estado de los conocimientos previos de cada individuo. Al mismo tiempo, permite comprobar si una metodología de enseñanza es positiva, considerando el conocimiento previo del estudiante. Este parámetro se define como la razón del aumento de una prueba inicial (pre) y una prueba final (pos) respecto del máximo aumento posible obteniendo la Ec. (5.1). [Barbosa, 2014]

$$g = \frac{P_{post} - P_{pre}}{1 - P_{pre}}, \quad (5.1)$$

donde P_{post} es el promedio de la prueba final que se aplica a un grupo de estudiantes, P_{pre} es el promedio de la prueba inicial que se aplica a un grupo de estudiantes. [Hake, 1998] Esta expresión representa el cambio conceptual que debe darse en un grupo de estudiantes, para ello la Ganancia Normalizada de Hake tiene unos niveles característicos que se expresan en la tabla 5.1.

Valor de la Ganancia g	Nivel
0.0 - 0.3	Baja
0.3 - 0.7	Media
0.7 - 1.0	Alta

Tabla 5.1: Niveles de la Ganancia de Hake. [Hake, 1998]

Factor de Concentración de Bao y Redish

Es un análisis cuantitativo de pruebas de opción múltiple con única respuesta, mostrando la forma como se distribuyen las respuestas de los estudiantes frente a estas pruebas, basándose tanto en el número de respuestas correctas, como en la distribución de la totalidad de las respuestas incluyendo las incorrectas que usualmente son ignoradas en los análisis que se realizan de este tipo de pruebas de opción múltiple con única respuesta, usadas ampliamente en todas las áreas del conocimiento [Barbosa, 2014]. El factor de concentración para una pregunta se define de la siguiente manera Ec. (5.2).

$$C = \frac{\sqrt{m}}{\sqrt{m} - 1} \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^m n_i^2}}{N} - \frac{1}{\sqrt{m}} \right), \quad (5.2)$$

donde m es el número de opciones, N la cantidad de estudiantes al que se le aplicó la prueba, n_i es el número de estudiantes que escogieron la respuesta i de la pregunta. [Bao and Redish, 2001]

Los valores que puede tomar C están comprendidos entre 0 y 1, siendo $C = 0$ una elección de respuestas aleatorias y $C = 1$ la elección de la misma respuesta por parte de todos los estudiantes, $C > 0.5$ implica una alta concentración ya que más del 60 % de los estudiantes han seleccionado la misma respuesta o sea que se posee un único modelo, un C que este entre 0.2 y 0.5 indica que la mayoría de las respuestas están concentradas en dos opciones que por lo general una correcta y una incorrecta, existiendo dos modelos de pensamiento, un valor de C por debajo de 0.2 muestra que las respuestas están distribuidas de manera aleatoria, no existe un modelo (ver tabla 5.2). Esto nos permite comprobar qué tan buena es una pregunta con respecto a los modelos conceptuales que son usados por los estudiantes, permitiendo una retroalimentación para mejorar las pruebas implementadas y las estrategias pedagógicas utilizadas, orientadas para la modificación de dichos modelos cuando sea necesario. [Barbosa, 2014]

Score (S)	Level	Concentration (C)	Level
0-0.4	L	0-0.2	L
0.4-0.7	M	0.2-0.5	M
0.7-1.0	H	0.7-1.0	H

Tabla 5.2: Esquema de tres niveles de codificación del puntaje (S) y el factor de concentración (C). [Bao and Redish, 2001]

La relación existente entre la concentración y el puntaje (S) que se obtiene después de la implementación de una prueba de opción múltiple con única respuesta a un grupo de estudiantes, permite identificar, como anteriormente se ha mencionado, la manera en que se distribuyen las respuestas y también manifiesta que esta distribución es positiva si la concentración y puntaje son altos (H) o negativa si la concentración es alta (H) y el puntaje bajo (L) tabla 5.3. Dicho puntaje se puede obtener de la siguiente manera Ec. (5.3).

$$S = \frac{A_i}{A}, \quad (5.3)$$

donde A_i es el número de personas que acertaron en la respuesta correcta de una pregunta determinada y A el número total de personas que contestaron las preguntas.

Los resultados de una prueba de opción múltiple con única respuesta para identificar posibles modelos de pensamiento de los estudiantes en el aprendizaje de algunos temas,

		Implications of the patterns
One-Peak	HH	One correct model
	LH	One dominant incorrect model
Two-Peak	LM	Two possible incorrect models
	MM	Two popular models (correct and incorrect)
Non-Peak	LL	Near random situation

Tabla 5.3: Combina la puntuación y la concentración de factor, podemos codificar la respuesta del estudiante en una sola pregunta con una patrón de respuesta. Esta tabla muestra los patrones de respuesta típicos al usar el sistema de codificación de tres niveles. [Bao and Redish, 2001]

pueden ser representados mediante la Fig. 5.1.

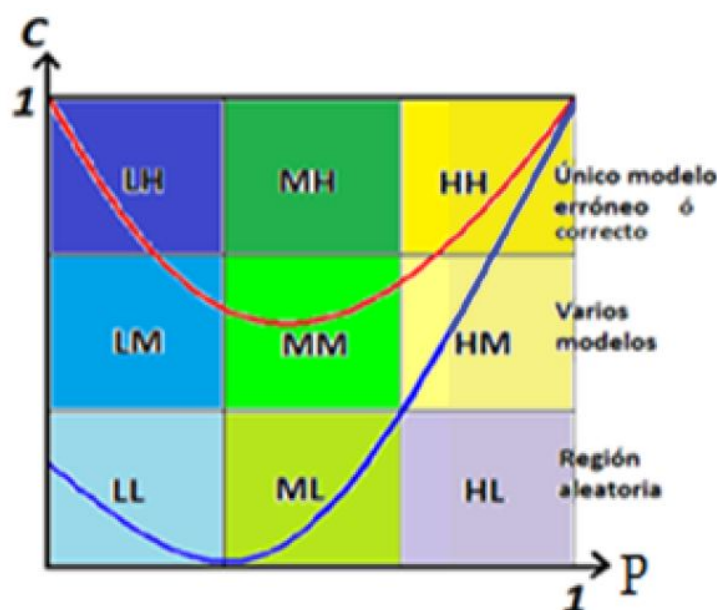


Figura 5.1: Gráfico de Bao & Redish por zonas para identificar nivel de razonamiento de los estudiantes. [Barbosa, 2014]

5.1.1. Datos implementación

La implementación del módulo “Las Estrellas y Sus Colores” se realiza en el primer semestre del año en curso con los estudiantes de la electiva de Astronomía General de la Universidad Pedagógica Nacional, con un grupo de 22 estudiantes, sin embargo, solo se tienen en cuenta aquellos estudiantes que permanecieron en la totalidad del desarrollo del módulo, un total de 12 estudiantes. Al comienzo y al final del módulo se entrega la prueba diagnóstica (Pre-test y Post-test) fotocopiada con 18 preguntas cada una, a cada estudiante de la electiva de Astronomía General quienes lo contestaron con la recomendación de que respondieran según lo que sabían y/o recordaran en el momento de contestar la prueba y el cual les tomó

un transcurso aproximado de 40 y 35 minutos en responder respectivamente. Las respuestas dadas por los estudiantes en el Pre-test se observan en la Tabla 5.4 y las respuestas del Post-test en la tabla 5.9 donde se señalan en azul las respuestas correctas.

Respuestas	a	b	c	d
1	12	0	0	0
2	2	10	0	0
3	1	6	2	3
4	0	11	1	0
5	7	2	2	1
6	6	2	2	2
7	7	4	0	1
8	7	2	3	0
9	4	8	0	0
10	3	1	5	3
11	1	6	4	1
12	0	2	6	4
13	2	2	6	2
14	8	0	4	0
15	8	0	3	1
16	4	0	4	4
17	2	4	4	2

Tabla 5.4: Respuestas para las preguntas del Pre-test, se escriben en azul las respuestas correctas

El promedio de preguntas contestadas correctamente para los dos grupos tanto en el pretest como en el posttest es como se observa en la Fig. 5.2, donde se encuentra que el grupo de estudiantes de la electiva de Astronomía General de la Universidad Pedagógica Nacional obtienen un promedio de preguntas seleccionadas correctamente de 0.505 para el Pre-test y de 0.770 para el Post-test (tabla 5.6) observándose un pequeño aumento de respuestas correctas en el Post-test respecto con las Pre-test.

Siendo este un indicio de aumento del aprendizaje, utilizando la Ec. (5.1) para calcular la ganancia normalizada de Hake tabla 5.4 se obtiene un valor de 0.5 de ganancia y teniendo en cuenta la tabla 5.1 se observa que se encuentra en el nivel medio, por lo que se podría afirmar que las actividades propuestas en el módulo y la metodología utilizada son una buena alternativa en el aprendizaje de conceptos de física como el de cuerpo negro por medio del estudio de las estrellas.

Para calcular el índice de concentración de Bao y Redish se debe tener en cuenta la Ec. (5.2) y la tabla 5.2 , de esta manera se obtiene las tabla 5.7, tabla 5.8, Fig. 5.3 y Fig. 5.4

Respuestas	a	b	c	d
1	12	0	0	0
2	1	11	0	0
3	1	11	0	0
4	0	12	0	0
5	9	0	3	0
6	12	0	0	0
7	11	1	0	0
8	10	2	0	0
9	5	7	0	0
10	4	4	3	1
11	6	4	1	1
12	10	1	1	0
13	2	0	6	4
14	9	0	2	1
15	12	0	0	0
16	8	0	1	3
17	0	0	11	1

Tabla 5.5: Respuestas para las preguntas del Post-test, se escriben en azul las respuestas correctas

Estadísticos	Valor
Promedio del pretest	0,505
Promedio de posttest	0,770
Ganancia de normalizada de Hake	0,535

Tabla 5.6: Estadísticos sobre el grupo de 12 estudiantes de la electiva Astronomía General de la Universidad Pedagógica Nacional.

en las que se puede describir el puntaje y la concentración de las respuestas dadas por los estudiantes de la electiva de Astronomía General de la Universidad Pedagógica Nacional

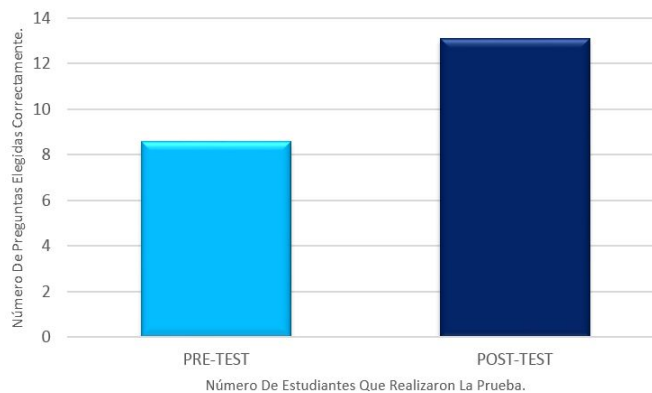


Figura 5.2: Esquemas de las preguntas seleccionadas correctamente.

en el Pre-test y el Post-test, respectivamente. Se puede observar en la Fig. 5.3 (Pre-test)

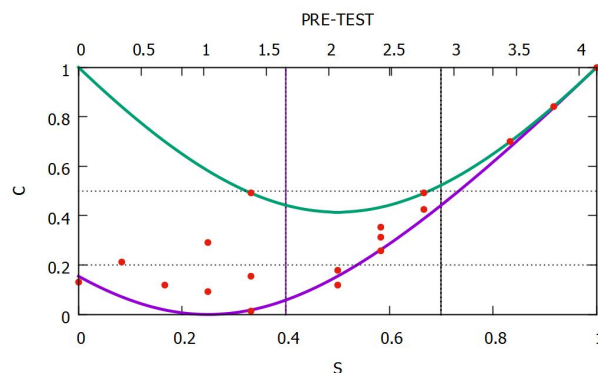


Figura 5.3: Concentración de Bao y Redish en función del puntaje promedio para las 17 preguntas de la prueba diagnóstica (Pre-test).

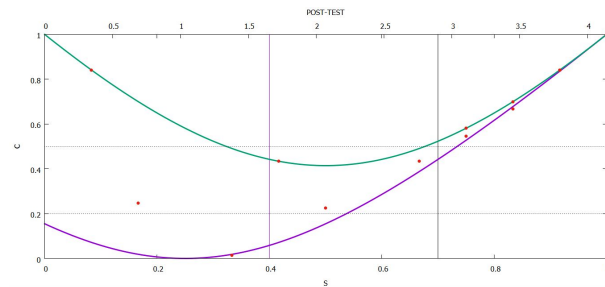


Figura 5.4: Concentración de Bao y Redish en función del puntaje promedio para las 17 preguntas de la prueba diagnóstica (Post-test).

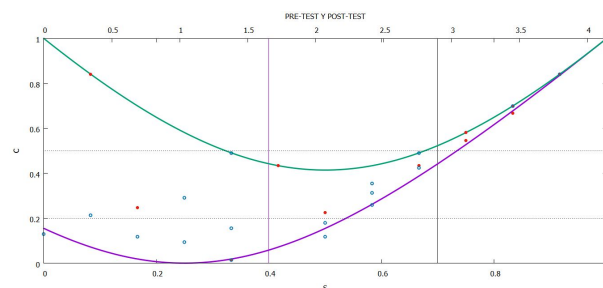


Figura 5.5: Índice de concentración de Bao y Redish en función del puntaje promedio para las 17 preguntas Pre-test/Post-test.

que la mayoría de las preguntas se concentran en la zona baja o aleatoria y en la zona media, lo que se espera al iniciar un curso. Mientras que en la Fig. 5.4 (Post-test) se puede observar que la mayoría de las preguntas se encuentran en gran parte concentradas en la zona alta. Al hacer una comparación mostrada en la Fig. 5.5 se puede observar que hay preguntas que no muestran un gran avance y se mantienen en la zona media-baja y media-media, esto puede deberse a que la estrategia de aprendizaje propuesta por el módulo de enseñanza “Las Estrellas y Sus Colores” aún necesita de algunos ajustes y correcciones.

N. Pregunta	Score (S)	Concentration (C)
1	1	1
2	0,833	0,7
3	0,5	0,178
4	0,917	0,841
5	0,583	0,269
6	0,5	0,155
7	0,583	0,354
8	0,583	0,312
9	0,333	0,491
10	0,25	0,105
11	0,083	0,225
12	0	0,247
13	0,167	0,155
14	0,667	0,491
15	0,667	0,434
16	0,333	0,155
17	0,333	0,054

Tabla 5.7: Valores de la concentración y puntaje para las 17 preguntas de la prueba diagnostico (Pre-test)

N. Pregunta	Score (S)	Concentration (C)
1	1	1
2	0,917	0,841
3	0,917	0,841
4	1	1
5	0,75	0,581
6	1	1
7	0,917	0,841
8	0,833	0,7
9	0,417	0,434
10	0,333	0,08
11	0,5	0,225
12	0,833	0,683
13	0,167	0,247
14	0,75	0,546
15	1	1
16	0,667	0,434
17	0,917	0,841

Tabla 5.8: Valores de la concentración y puntaje para las 17 preguntas de la prueba diagnostico (Post-test)

5.2. Primera Aproximación de la Temperatura Estelar de la Estrella Herbig AB Aurigae

La estrella objeto de estudio es AB Aurigae (AB Aur) de tipo espectral A0Ve que se encuentra a una distancia de 144 pc, es una estrella pre-secuencia-principal tipo Herbig Ae, y es la más brillante del hemisferio norte. Presenta transiciones atómicas del hidrógeno como lo son las líneas $H\alpha$, $H\beta$ y $H\gamma$ de la serie de Balmer. La línea $H\alpha$ presenta un perfil P-Cygni como se observa en la Fig. 5.6, el cual es un indicador de viento estelar, variable especialmente en la parte azul del espectro.

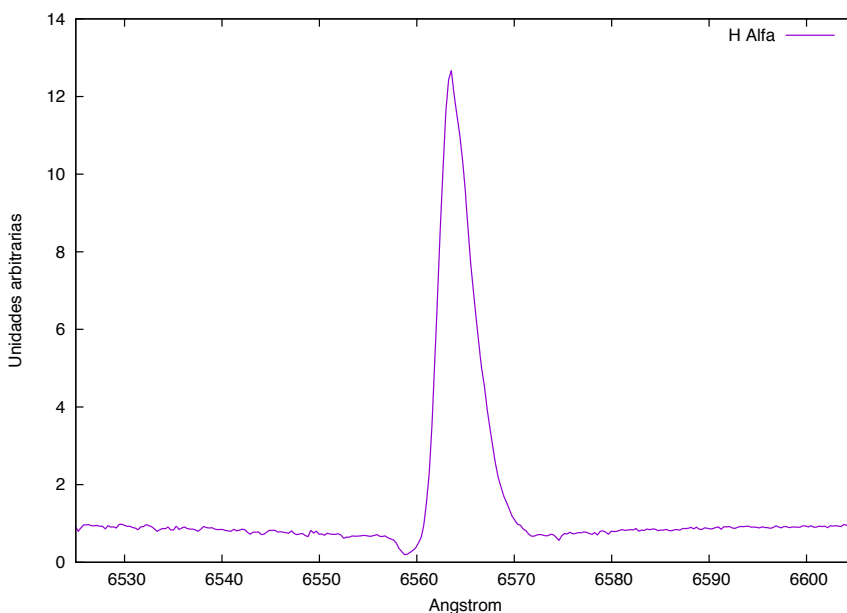


Figura 5.6: Perfil P-Cygni línea $H\alpha$ estrella AB Aurigae

5.2.1. Datos Experimentales

Para estimar, en primera aproximación, la temperatura superficial de AB Aur se modela la distribución espectral de energía (SED por su siglas en Inglés) (ver Fig.5.7) desde el ultravioleta hasta el infrarrojo medio-lejano [Tannirkulam et al., 2008]. Una pequeña región de la SED, en el óptico, se modela por medio de dos contribuciones: 1) procesos atómicos (transiciones entre los niveles de energía de los átomos de hidrógeno) y 2) el continuo

debido a procesos térmicos.

Los procesos atómicos se evidencian por la presencia de líneas de emisión-absorción de la serie de Balmer, para el caso de estudio se observa la presencia de las 3 primeras líneas ($H\alpha$, $H\beta$ y $H\gamma$) y el continuo térmico Fig.5.8.

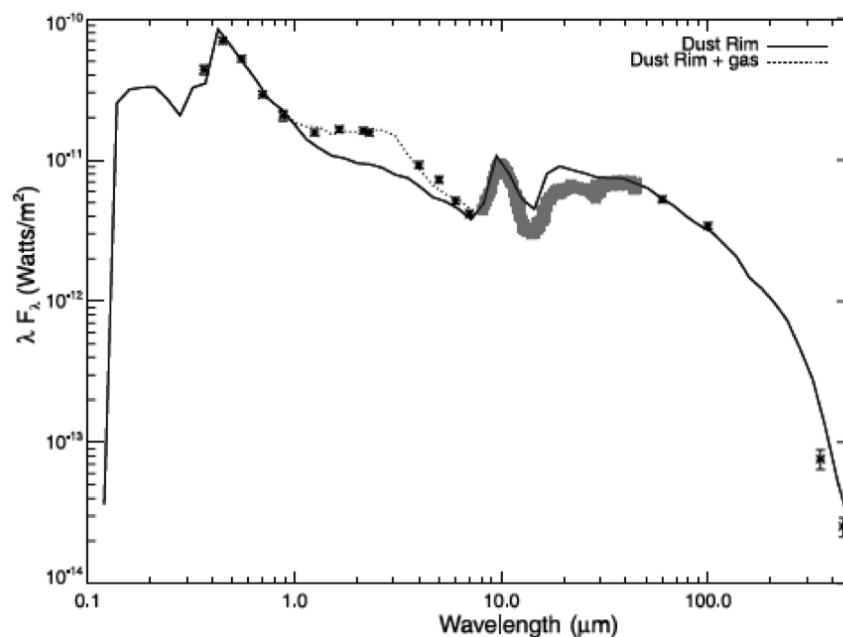


Figura 5.7: Distribución espectral de energía estrella AB Aurigae. [Tannirkulam et al., 2008]

A partir del continuo térmico podemos calcular la temperatura superficial de la estrella asumiendo este como un cuerpo negro. Se selecciona la ventana en el óptico entre 4280 – 6000 de la SED y se elimina del espectro las líneas $H\alpha$, $H\beta$ y $H\gamma$ por medio de un ajuste Gaussiano como se ve en la Fig. 5.9, los valores de los picos centrales de las Gaussianas para $H\beta$ y $H\gamma$ son 4862.68 ± 0.38 con un σ de 10 \AA y 4339 ± 0.558 con un σ de 9.87 \AA respectivamente. Luego se extrae el continuo térmico de la estrella y ajustando un modelo de cuerpo negro propuesto (ver Ec (5.4) y la Fig. 5.10) se determina la temperatura superficial de la estrella.

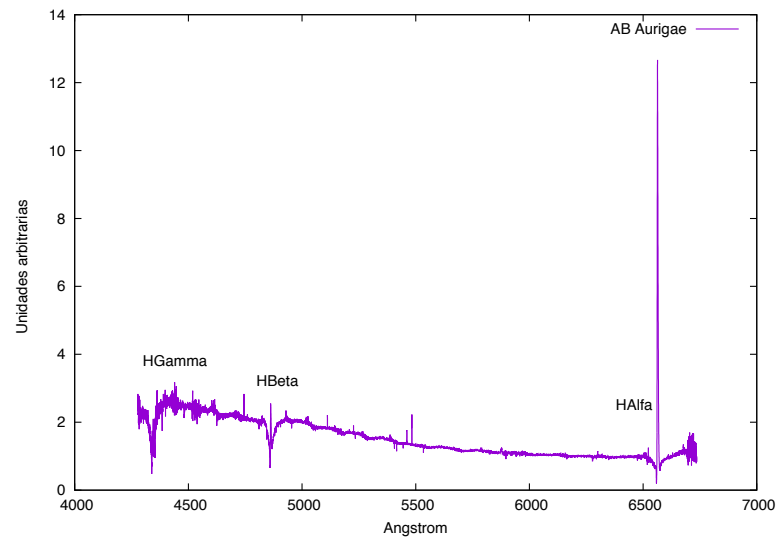


Figura 5.8: Transiciones principales de la serie de Balmer

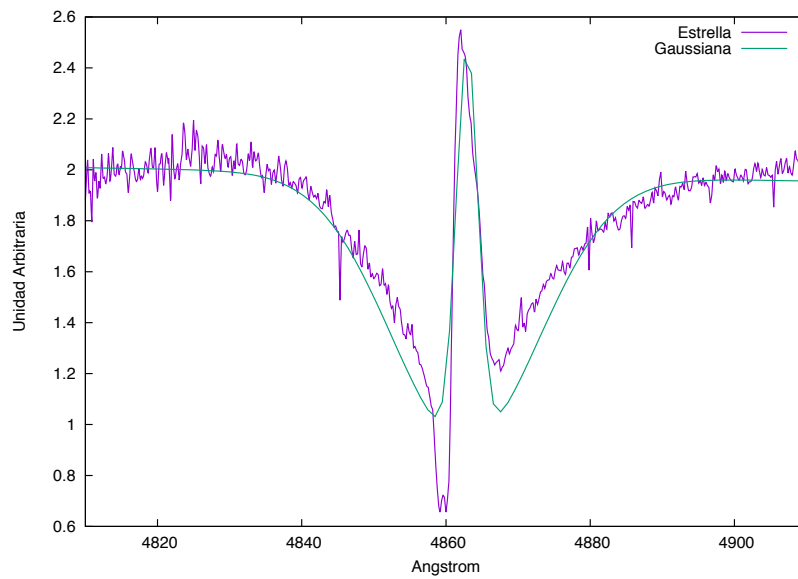


Figura 5.9: Ajuste Gaussiano para la línea H β

$$I_{\lambda}(T) = a \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT\lambda}} - 1} + b, \quad (5.4)$$

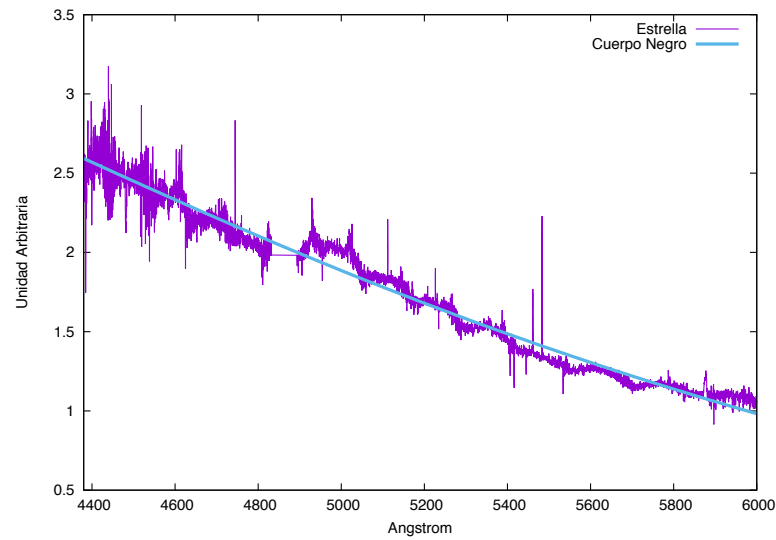


Figura 5.10: Espectro estrella AB Aur extraídas las líneas $H\alpha$, $H\beta$ y $H\gamma$ y ajustado el continuo según el modelo de cuerpo negro propuesto

donde h es la constante de Planck, c la rapidez de la luz, λ la longitud de onda, k la constante de Boltzmann y T la temperatura. a y b son constantes. a representa el valor para pasar de cuentas a intensidad de radiación y b representa un valor que hace correcciones a la electrónica de los equipos y/o a la absorción atmosférica. Los resultados para la temperatura después de correr el modelo da una $T \approx 9650$ K muy cercano a los reportados por [Tannirkulam et al., 2008] de 9772 K dando un error comparativo de 122 K. Los datos de a y b son los reportados en la tabla 5.9 y los errores arrojados después de correr el modelo se observan en la tabla 5.10.

a	0.013
b	-0.922
χ^2	1.037
T	9650 k

Tabla 5.9: Datos arrojados por el modelo propuesto.

a	+/- 0.0002
b	+/- 0.013
T	+/- 37.64

Tabla 5.10: Errores arrojados por el modelo propuesto.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

- A partir de las observaciones de AB AUR se logró obtener el espectro de dicha estrella en la ciudad de Bogotá en el mes de enero. Posteriormente se hace la reducción por medio del software ISIS, de tal manera que obtenemos el perfil reducido.
- Transiciones cuánticas, específicamente conocidas como líneas de Balmer, son observadas claramente y removidas satisfactoriamente asumiendo una superposición de gaussianas. Esto indica que no sólo los efectos térmicos pueden ser enseñados en el modulo de aprendizaje; también se puede introducir los efectos cuánticos con un enfoque cualitativo y cuantitativo.
- Se propone un modelo que describe un “cuerpo negro” y que se ajusta al continuo térmico de la estrella, sin las contribuciones de procesos atómicos (serie de Balmer), dando como resultado una temperatura aproximada de 9650 ± 39 K acordes a los reportados por [Tannirkulam et al., 2008]. Donde como error comparativo arrojó un valor de 1.12%. Este resultado indica que, tomando espectros de estrellas desde Bogotá con equipos que no son de ultima tecnologia, se puede estimar la temperatura superficial de una estrella siempre y cuando las condiciones climatologicas lo permitan.
- Los resultados obtenidos en la ganancia de Hake de 0,53 permite ver una evolución del aprendizaje que obtienen los estudiantes después de ser aplicado completamente el módulo y se observa que las concentraciones de las preguntas también tienen un avance significativo pues pasan de estar en un modelo al azar a estar en un modelo donde se concentran todas en una sola respuesta.

Lo que indica que la estrategia propuesta por el módulo de enseñanza es una opción viable para la enseñanza de conceptos de física a través del estudio de las estrellas, aunque se reconoce que se debe realizar un análisis más detallado con una población más grande para mejorar/confirmar los resultados.

- Como sugerencia, se puede reevaluar las preguntas formuladas en los test (pre y post), con la colaboración de varios expertos en el tema científico y pedagógico. Esto se propone con el fin de que no haya sesgo en las preguntas por falsas interpretaciones o por posibles ambigüedades. Sin embargo, los resultados obtenidos con los test propuestos en este trabajo muestran un buen punto de partida para futuros tests.

PRE-TEST ESPECTROSCOPIA, CLASIFICACIÓN ESTELAR Y FORMACIÓN ESTELAR

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
INGRID GUASCA

NOMBRE:

Conocimientos Básicos.

1. ¿Qué es una estrella?

- a) Es una enorme esfera de gas, compuesta principalmente por hidrógeno, muy caliente y brillante.
- b) Es una enorme esfera de fuego muy caliente y brillante.
- c) Cuerpo celeste que no brilla con luz propia.
- d) Cuerpo celeste que refleja la luz del Sol.

2. ¿Es el Sol una estrella?

- a) Sí, porque es una esfera de fuego que brilla con luz propia
- b) Sí, porque es una esfera de gas que brilla con luz propia
- c) No, porque es un cuerpo celeste que brilla en el firmamento
- d) No, porque el Sol es el Sol.

3. ¿De qué color es el Sol?

- a) Amarilla.
- b) Verde.
- c) Blanca.
- d) Naranja.

4. ¿Son de diferentes colores las estrellas?
 - a) No, las estrellas son solamente amarillas
 - b) Si, las estrellas pueden ser de cualquier color
 - c) Las estrellas son blancas
 - d) Las estrellas no tienen color

5. Las estrellas se clasifican según:
 - a) su magnitud, su tipo espectral, su clase de luminosidad y su gravitación estelar.
 - b) su tipo espectral, su magnitud, su clase de luminosidad y su tamaño
 - c) su clase de luminosidad, su magnitud, su tipo espectral y su distancia
 - d) su campo magnético, su clase de luminosidad, su tipo espectral, Su magnitud

6. ¿Qué es la radiación de Cuerpo Negro?
 - a) Objeto teórico o ideal que absorbe toda la radiación que incide sobre él o irradia toda la radiación que produce.
 - b) Objeto real que absorbe toda la luz que incide sobre él.
 - c) Objeto que no permite que la luz salga de su interior.
 - d) Objeto que permite que toda radiación atraviese por él.

7. En una primera aproximación el centro de una estrella se puede definir cómo:
 - a) un cuerpo Negro
 - b) un espectro electromagnético
 - c) una esfera negra
 - d) una esfera de luz

8. ¿Existe alguna relación entre la temperatura de las estrellas y su color?
 - a) Sí, porque entre más caliente sea la estrella será de color azul y entre más fría será de color rojo.
 - b) Sí, porque entre más caliente sea la estrella será de color rojo y entre más fría será de color azul.

- c) No, porque las estrellas pueden tomar cualquier color del espectro y cualquier temperatura sin que estos estén relacionados.
- d) No, porque las estrellas pueden tener cualquier temperatura y siempre serán blancas.

9. ¿Por qué se producen los arcoíris?

- a) Por un fenómeno óptico (difracción) y meteorológico que consiste en la descomposición de la luz solar en el espectro visible continuo en el cielo.
- b) Por un fenómeno óptico (refracción) y meteorológico que consiste en la descomposición de la luz solar en el espectro visible continuo en el cielo.
- c) Por un fenómeno meteorológico que se produce cuando la luz solar atraviesa las gotas de agua en el cielo.
- d) Por un fenómeno meteorológico que se produce cuando hay una cierta temperatura en el cielo.

10. En un eclipse total de Luna, esta se ve roja debido a

- a) la dispersión de la luz al pasar por la atmósfera.
- b) la dispersión de la luz al rodear la tierra.
- c) que es un indicio de catástrofes venideras.
- d) debido a partículas en el aire que oscurecen la luz a su alrededor.

11. Un espectro de emisión es aquel en donde

- a) un electrón de un átomo desciende de un nivel de energía alto a uno más bajo, perdiendo energía en forma de fotón.
- b) un electrón de un átomo desciende de un nivel de energía alto a uno más bajo, ganando energía en forma de fotón.
- c) un electrón de un átomo asciende de un nivel de energía bajo a uno más alto, perdiendo energía en forma de fotón.
- d) un electrón de un átomo desciende de un nivel de energía bajo a uno más alto, ganando energía en forma de fotón.

12. ¿Qué características tiene los espectros de las estrellas?

- a) Una combinación del espectro continuo y el espectro de absorción.
- b) Una combinación del espectro de emisión y el espectro de absorción.
- c) Solo tiene espectro de emisión.
- d) Solo tiene espectro de absorción.

13. ¿Con cuál ecuación se puede hallar una primera aproximación de la temperatura superficial del Sol?

a)

$$\lambda_{max} = \frac{C}{T}$$

b)

$$E = \sigma T^4$$

c)

$$E_\nu = \frac{8\pi}{c^3} K T \nu^2$$

d)

$$E(\nu) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

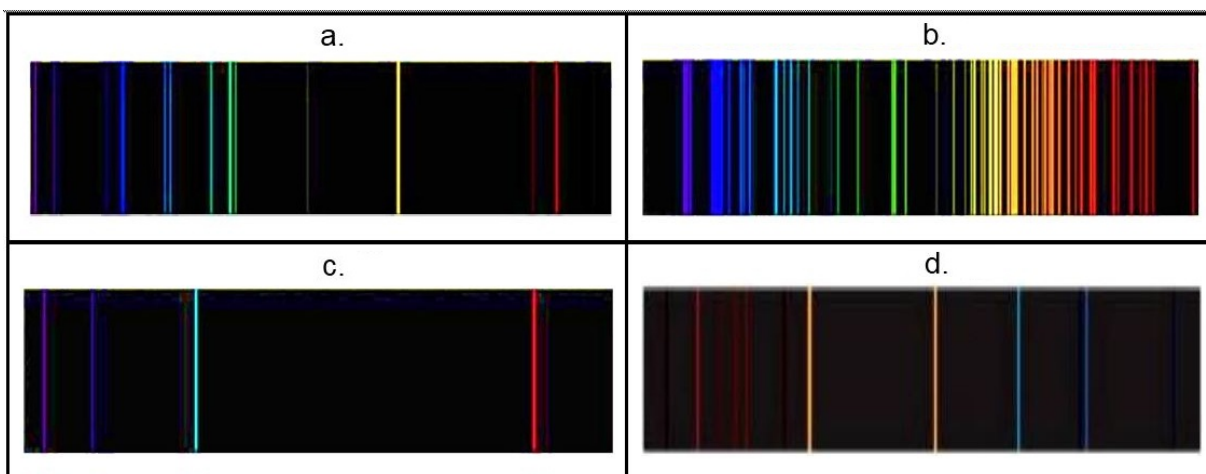
14. ¿Por qué vemos el Sol amarillo?

- a) Porque la atmosfera de la tierra absorbe la radiación de longitud de onda mayores
- b) Porque ese es el color del Sol
- c) Porque la atmosfera de la tierra refracta la radiación de longitud de onda amarillas
- d) Porque la atmosfera de la tierra refleja la radiación del Sol.

15. ¿Dónde nacen las estrellas?

- a) En nubes de gas y polvo
- b) Cerca de agujeros negros

- c)* En las explosiones de las supernovas
d) En cúmulos de materia oscura
16. ¿Cuál de las siguientes es una característica de una estrella en formación?
- a)* Disco de gas y polvo que rodea la estrella.
b) La poca luminosidad de la estrella.
c) El color característico de la estrella.
d) El tamaño característico de la estrella.
17. Cuál de las siguientes es un tipo de estrella en formación.
- a)* T-tauri
b) Sol
c) Antares
d) Wolf-Rayet
18. ¿Cuál de las siguientes imágenes corresponde a un espectro de hidrogeno?



APÉNDICE B

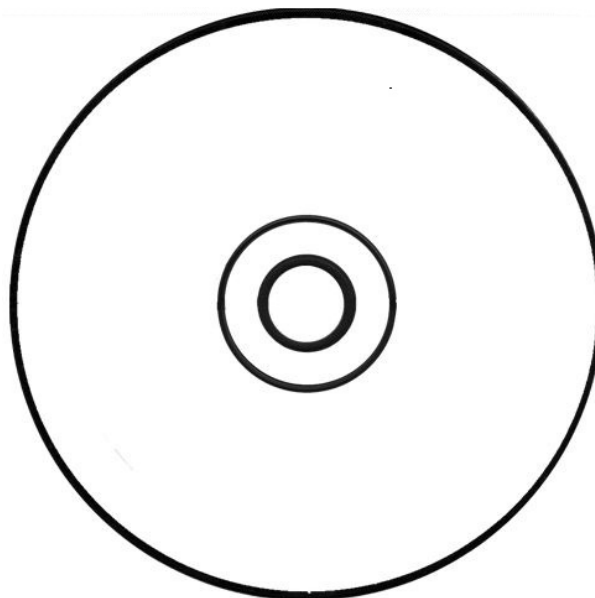
TALLER DE ESPECTROSCOPIA

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
INGRID GUASCA

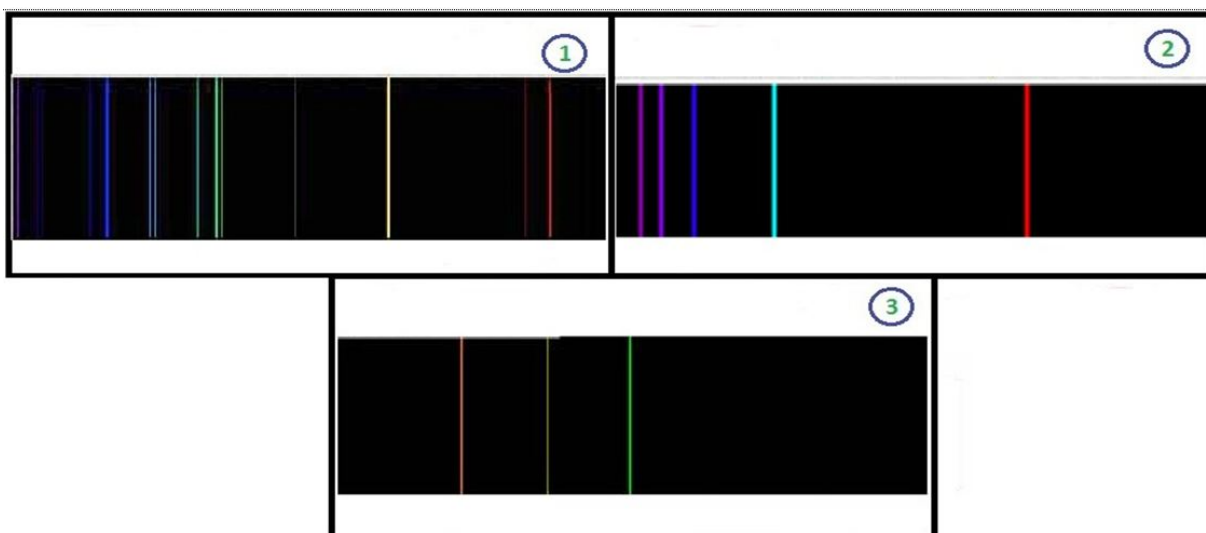
NOMBRE:

Espectro de la luz.

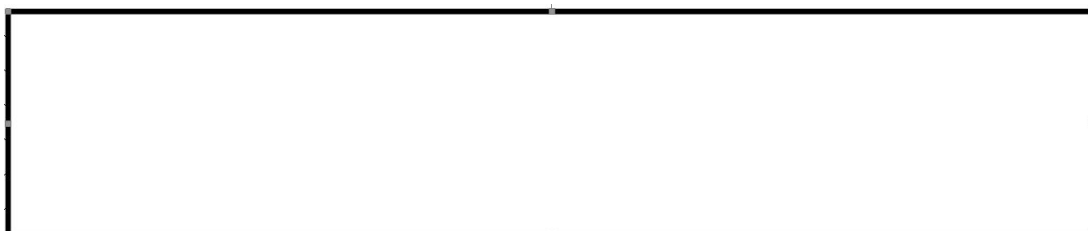
1. Describa lo que usted observa en la caja.
2. Coloque la linterna en frente del CD y observe lo que sucede.
 - a) ¿Por qué cree que sucede lo que observa?
 - b) En el siguiente esquema pinte el espectro que observa en el CD



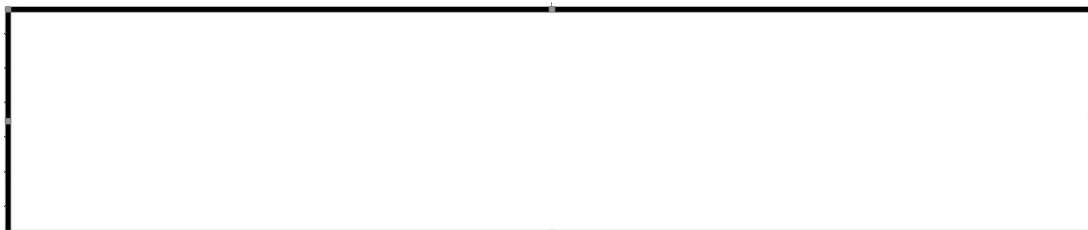
3. Dirija la ranura del espectróscopio hacia la fuente de luz y observe por el ocular del espectrógrafo.



4. De la siguiente grafica identifique cual está observando y en qué orden la observo.
5. ¿Observa algo diferente en los espectros que observo?
6. En el siguiente esquema pinte uno de los espectros observados por el espectroscopio lo más parecido que pueda.



7. ¿Debido a que se generan las líneas que observa en los espectros?
8. En el siguiente esquema pinte como cree que es un espectro de absorción.



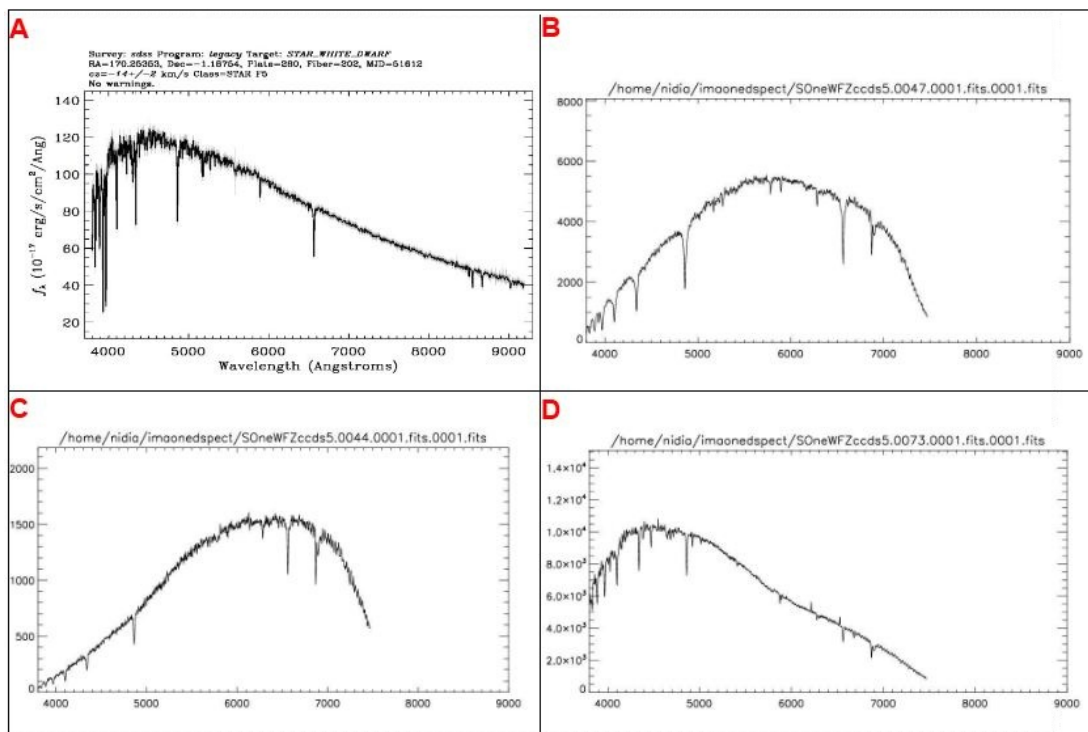
TALLER DE CLASIFICACIÓN ESTELAR

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
INGRID GUASCA

NOMBRE:

Espectro de la estrella.

1. Con las siguientes gráficas observe y conteste las siguientes preguntas



2. ¿Todos los espectros son iguales? SI NO

a) Señale las diferencias, si las hay.

3. ¿Ve el espectro continuo? SI NO

- a) ¿Cuál es? Explique
4. ¿Ve las líneas características del hidrogeno en estos espectros? SI NO
- a) Estas líneas son de emisión o de absorción, ¿Por qué?
5. ¿Todos los espectros tienen las mismas líneas características del hidrogeno? SI NO
6. En la gráfica (A) se encuentra el espectro de una estrella.
- a) Encuentre la longitud de onda, del máximo del continuo (la “cima” del espectro).
- b) Calcule la temperatura de la estrella, utilizando el resultado encontrado anteriormente y la siguiente ecuación:
- $$T = \frac{28976000 \text{Å}K}{\lambda} =$$
- c) Basada en la temperatura, ¿Cuál es el tipo espectral de esta estrella?
7. ¿Las líneas características del hidrogeno en cada uno de los espectro de diferencian? SI NO
- a) ¿Esta diferencia depende de la temperatura? Por qué
8. En la En la gráfica (B) identifique y señale la longitud de onda que observa, de las líneas características del hidrogeno.

APÉNDICE **D**

POST-TEST: ESPECTROSCOPIA, CLASIFICACIÓN ESTELAR Y FORMACION ESTELAR

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
INGRID GUASCA

NOMBRE:

Conocimientos Básicos.

1. ¿Qué es una estrella?
 - a) Es una enorme esfera de gas, compuesta principalmente por hidrógeno, muy caliente y brillante.
 - b) Es una enorme esfera de fuego muy caliente y brillante.
 - c) Cuerpo celeste que no brilla con luz propia.
 - d) Cuerpo celeste que refleja la luz del Sol.

2. ¿Es el Sol una estrella?
 - a) Sí, porque es una esfera de fuego que brilla con luz propia
 - b) Sí, porque es una esfera de gas que brilla con luz propia
 - c) No, porque es un cuerpo celeste que brilla en el firmamento
 - d) No, porque el Sol es el Sol.

3. ¿En qué color emite el Sol la mayor cantidad de su luz?
 - a) Amarilla.
 - b) Verde.
 - c) Blanca.

- d)* Naranja.
4. ¿Son de diferentes colores las estrellas?
- a)* No, las estrellas son solamente amarillas
 - b)* Si, las estrellas pueden ser de cualquier color
 - c)* Las estrellas son blancas
 - d)* Las estrellas no tienen color
5. Las estrellas se clasifican según:
- a)* su magnitud, su tipo espectral, su clase de luminosidad y su gravitación estelar.
 - b)* su tipo espectral, su magnitud, su clase de luminosidad y su tamaño
 - c)* su clase de luminosidad, su magnitud, su tipo espectral y su distancia
 - d)* su campo magnético, su clase de luminosidad, su tipo espectral, Su magnitud
6. ¿Qué es la radiación de Cuerpo Negro?
- a)* Objeto teórico o ideal que absorbe toda la radiación que incide sobre él o irradia toda la radiación que produce.
 - b)* Objeto real que absorbe toda la luz que incide sobre él.
 - c)* Objeto que no permite que la luz salga de su interior.
 - d)* Objeto que permite que toda radiación atraviese por él.
7. En una primera aproximación el centro de una estrella se puede definir cómo:
- a)* un cuerpo Negro
 - b)* un espectro electromagnético
 - c)* una esfera negra
 - d)* una esfera de luz
8. ¿Existe alguna relación entre la temperatura de las estrellas y su color?
- a)* Sí, porque entre más caliente sea la estrella será de color azul y entre más fría será de color rojo.

- b)* Sí, porque entre más caliente sea la estrella será de color rojo y entre más fría será de color azul.
- c)* No, porque las estrellas pueden tomar cualquier color del espectro y cualquier temperatura sin que estos estén relacionados.
- d)* No, porque las estrellas pueden tener cualquier temperatura y siempre serán blancas.

9. ¿Por qué se producen los arcoíris?

- a)* Por un fenómeno óptico (difracción) y meteorológico que consiste en la descomposición de la luz solar en el espectro visible continuo en el cielo.
- b)* Por un fenómeno óptico (refracción) y meteorológico que consiste en la descomposición de la luz solar en el espectro visible continuo en el cielo.
- c)* Por un fenómeno meteorológico que se produce cuando la luz solar atraviesa las gotas de agua en el cielo.
- d)* Por un fenómeno meteorológico que se produce cuando hay una cierta temperatura en el cielo.

10. En un eclipse total de Luna, esta se ve roja debido a

- a)* la dispersión de la luz al pasar por la atmósfera.
- b)* la dispersión de la luz al rodear la tierra.
- c)* que es un indicio de catástrofes venideras.
- d)* debido a partículas en el aire que oscurecen la luz a su alrededor.

11. Un espectro de emisión es aquel en donde

- a)* un electrón de un átomo desciende de un nivel de energía alto a uno más bajo, perdiendo energía en forma de fotón.
- b)* un electrón de un átomo desciende de un nivel de energía alto a uno más bajo, ganando energía en forma de fotón.
- c)* un electrón de un átomo asciende de un nivel de energía bajo a uno más alto, perdiendo energía en forma de fotón.
- d)* un electrón de un átomo desciende de un nivel de energía bajo a uno más alto, ganando energía en forma de fotón.

12. ¿Qué características tiene los espectros de las estrellas?

- a) Una combinación del espectro continuo y el espectro de absorción.
- b) Una combinación del espectro de emisión y el espectro de absorción.
- c) Solo tiene espectro de emisión.
- d) Solo tiene espectro de absorción.

13. ¿Con cuál ecuación se puede hallar una primera aproximación de la temperatura superficial del Sol?

a)

$$\lambda_{max} = \frac{C}{T}$$

b)

$$E = \sigma T^4$$

c)

$$E_\nu = \frac{8\pi}{c^3} K T \nu^2$$

d)

$$E(\nu) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

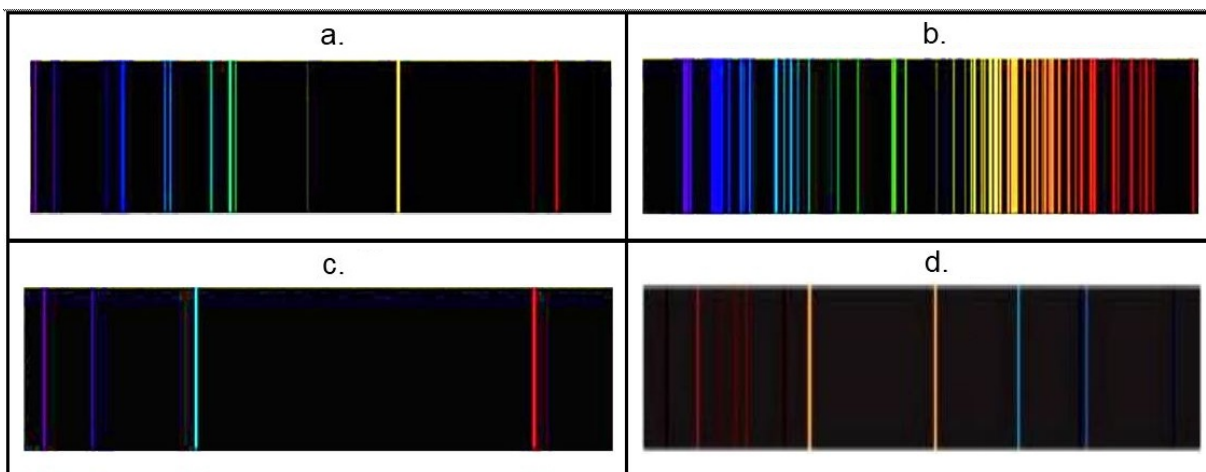
14. ¿Por qué vemos el Sol amarillo?

- a) Porque la atmosfera de la tierra absorbe la radiación de longitud de onda mayores
- b) Porque ese es el color del Sol
- c) Porque la atmosfera de la tierra refracta la radiación de longitud de onda amarillas
- d) Porque la atmosfera de la tierra refleja la radiación del Sol.

15. ¿Dónde nacen las estrellas?

- a) En nubes de gas y polvo

- b)* Cerca de agujeros negros
c) En las explosiones de las supernovas
d) En cúmulos de materia oscura
16. ¿Cuál de las siguientes es una característica de una estrella en formación?
- a)* Disco de gas y polvo que rodea la estrella.
b) La poca luminosidad de la estrella.
c) El color característico de la estrella.
d) El tamaño característico de la estrella.
17. Cuál de las siguientes es un tipo de estrella en formación.
- a)* T-tauri
b) Sol
c) Antares
d) Wolf-Rayet
18. ¿Cuál de las siguientes imágenes corresponde a un espectro de hidrogeno?



CONSTRUYE TU PROPIO ESPECTROSCOPIO

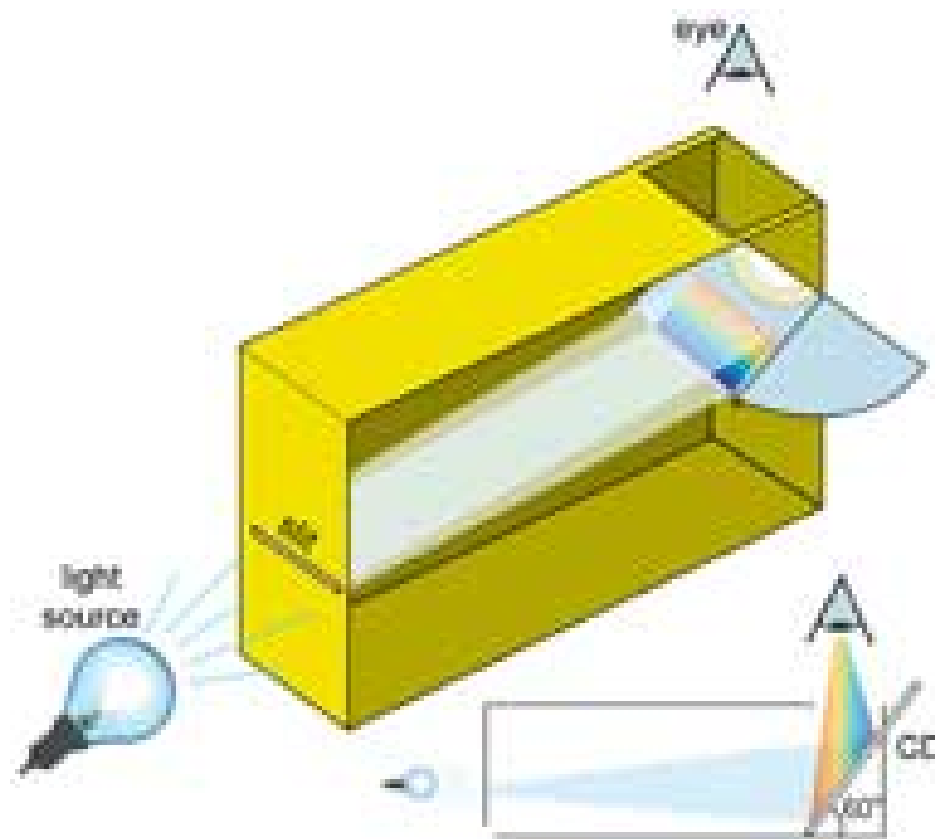
UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
INGRID GUASCA

E.1. Objetivo

Construir un espectroscopio casero con el que se podrá contemplar el espectro de distintas fuentes de luz.

E.2. Materiales

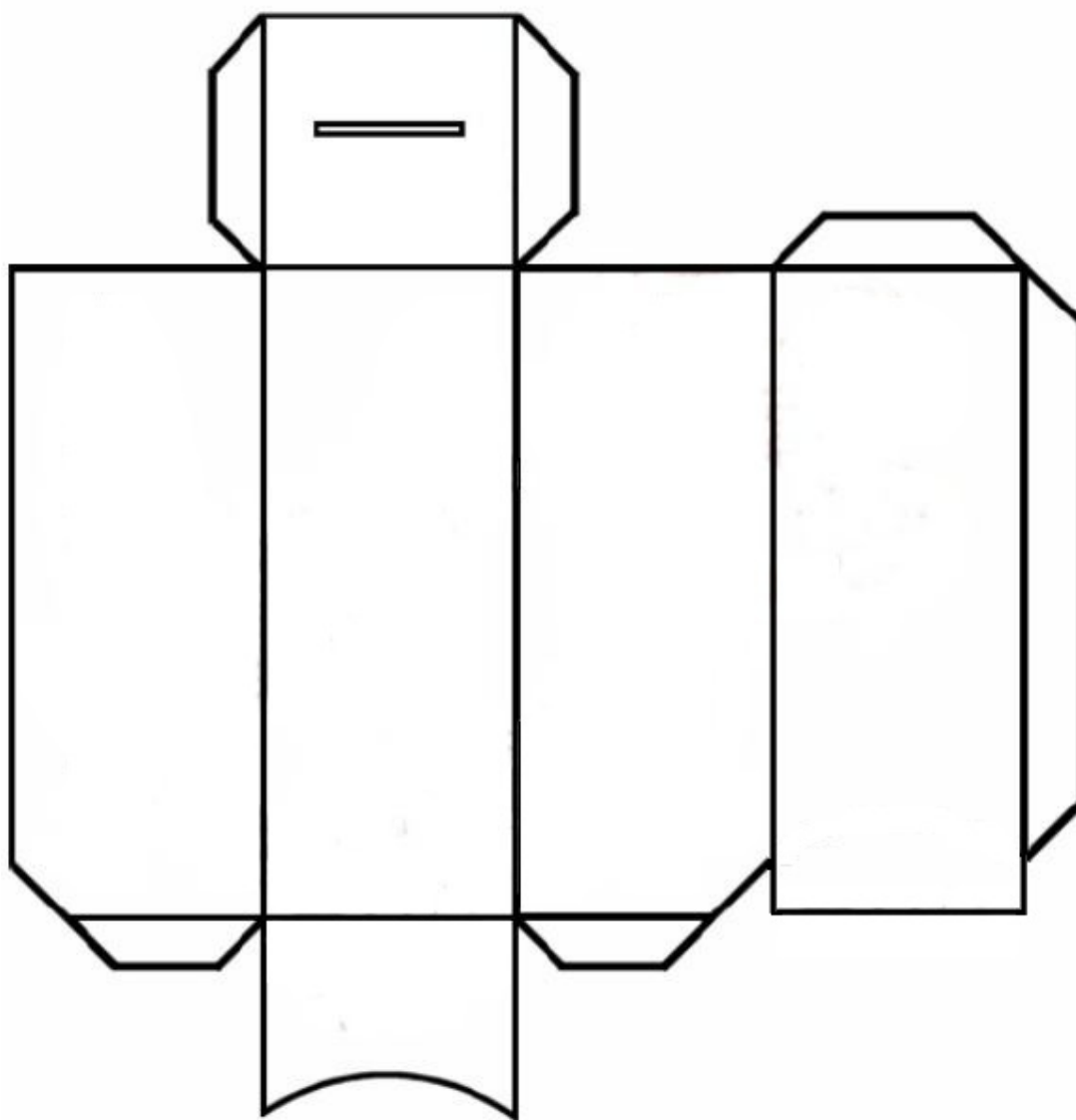
- Cartulina negra
- Tijeras grandes
- Regla
- Transportador
- Lápiz
- Cinta
- CD
- Colbón
- Marcador permanente
- Esquema del espectroscopio impreso en papel.



E.3. Procedimiento

1. Recorte el esquema que se encuentra al final de esta guía.
2. Coloque el esquema encima de la cartulina negra y con ayuda del lápiz y de la regla dibuja el contorno del esquema.
3. Recorte la cartulina siguiendo el contorno del esquema que dibujaste.
4. Con ayuda de la regla realice los dobleces.
5. Procure que la ranura de la parte delantera tenga una anchura uniforme (igual o menor a un milímetro de ancho).
6. Tome el CD y con el marcador permanente haga dos marcas en la parte exterior del disco, dependiendo la anchura que va a tener el espectroscopio, luego con ayuda de la regla dibuje dos rectas en la dirección radial, como si estuviera cortando una torta.

7. Corte el CD por las marcas que acaba de dibujar con el marcador hasta el centro del CD, trate de hacerlo con cuidado para no sufrir accidentes y para que no se quiebre el CD, utilice unas tijeras que sean fuertes.
8. Coloque el pequeño trozo de CD dentro del espectroscopio asegúrese que éste tenga una pequeña inclinación de 3° .
9. Pegue las paredes del espectroscopio y ciérralo por completo, asegúrese de que no entre luz por ningún lado del espectroscopio excepto por la ranura y la abertura del observador, si encuentras alguna tápelo con cinta negra.



BIBLIOGRAFÍA

- [Alonso and Finn, 1971] Alonso, M. and Finn, E. (1971). Fundamentos de la física cuántica.[revisión del libro física. volumen iii. fundamentos cuánticos y estadísticos]. *Fondo Educativo Interamericano, SA United Status of América*, pages 7–12.
- [AstroMia, 2013] AstroMia (2013). La espectroscopia en la astronomía. AstroMia. Recuperado de <http://www.astromia.com/>.
- [Ballester Vallori, 2005] Ballester Vallori, A. (2005). El aprendizaje significativo en la práctica. In *V Congreso Internacional Virtual de Educación*.
- [Bao and Redish, 2001] Bao, L. and Redish, E. F. (2001). Concentration analysis: A quantitative assessment of student states. *American Journal of Physics*, 69(S1):S45–S53.
- [Barbosa, 2014] Barbosa, L. H. (2014). Instrucción del principio de superposición en estudiantes de ingeniería mediante una secuencia didáctica de videos. *Revista Educación en Ingeniería*, 9(18):106–118.
- [Beltran, 2010] Beltran, V. B. (2010). Espectroscopia astronómica.
- [Buil, 2015] Buil, C. (2015). Isis. Spectroscopy, ccd and astronomy. Recuperado de http://www.astrosurf.com/buil/isis/isis_en.htm.
- [Fernandez et al., sf] Fernandez, M., Comeron, F., and Joergens, V. (s.f). Estudio de estrellas jóvenes de muy baja masa.
- [Gaitán, 2012] Gaitán, O. A. R. (2012). Estudio de las tasas de acreción para una muestra de estrellas t tauri clásicas en el óptico. Master’s thesis, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Observatorio Astronómico.
- [Garcia and Ewert, 1987] Garcia, M. C. and Ewert, J. (1987). *Introduccion a la Fisica Moderna*. Universidad Nacional de Colombia-centro editorial.

- [Hake, 1998] Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American journal of Physics*, 66(1):64–74.
- [Harrison, 2015] Harrison, M. (2015). ¿que son las estrellas de neutrones?(astronomía).
- [Hernandez, 2014] Hernandez, J. (2014). Nacimiento y evolución temprana de las estrellas. In *VI Escuela Colombiana de Astronomía*.
- [Mania, 2006] Mania, A. (2006). modelo atomico di bohr. <http://www.appuntimania.com/>. Recuperado de <https://losmundosdebrana.wordpress.com/2014/03/10/radiacion-de-cuerpo-negro-y-catastrofe-ultravioleta/>.
- [Morrón, 2014] Morrón, L. (2014). Radiación de cuerpo negro y catástrofe ultravioleta. Los Mundos de Brana. Recuperado de <https://losmundosdebrana.wordpress.com/2014/03/10/radiacion-de-cuerpo-negro-y-catastrofe-ultravioleta/>.
- [Oostra and Hernandez, 2014] Oostra, B. and Hernandez, N. (2014). espectrógrafo eshel. Observatorio Astronomico. Universidad de los Andes. Recuperado de <http://observatorio.uniandes.edu.co/index.php/instrumentacion/24-eshel-version-detallada>.
- [Oostra Vannoppen, 2014] Oostra Vannoppen, B. (2014). Estrellas en la cuna. *HipÓtesis*, pages 24–31.
- [Pérez, 2008] Pérez, G. (2008). Espectroscopia.com. Espectrometria. Recuperado de <http://www.espectrometria.com/>.
- [Restrepo et al., 2014] Restrepo, O., Pinzón, G., and Chaparro, G. (2014). Estudio espectrofotométrico para determinar la etapa evolutiva de una muestra de estrellas de la presecuencia principal. *CONGRESO COLOMBIANO DE ASTRONOMÍA Y ASTROFÍSICA*, pages 1–6.
- [Rod, 2012] Rod, C. N. (2012). Red de difracción. hyperphysics. Recuperado de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/grating.htmlc1>.
- [Saldaño, 2011] Saldaño, H. P. (2011). Formación de estrellas de alta masa. .

- [Sears et al., 2005] Sears, F. W., Ford, A. L., and Freedman, R. A. (2005). *Física universitaria: con física moderna*, volume 2. Pearson educación.
- [Tannirkulam et al., 2008] Tannirkulam, A., Monnier, J., Harries, T. J., Millan-Gabet, R., Zhu, Z., Pedretti, E., Ireland, M., Tuthill, P., Ten Brummelaar, T., McAlister, H., et al. (2008). A tale of two herbig ae stars, mwc 275 and ab aurigae: comprehensive models for spectral energy distribution and interferometry. *The Astrophysical Journal*, 689(1):513.
- [y Navascués and Martín, 2003] y Navascués, D. B. and Martín, E. L. (2003). An empirical criterion to classify t tauri stars and substellar analogs using low-resolution optical spectroscopy. *The Astronomical Journal*, 126(6):2997.