

**UNA APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO, A
TRAVÉS DE LAMPARAS INCANDESCENTES**

JUANA CAROLINA CÁRDENAS ROJAS

Cód. 2011146015

DIRECTOR:

NESTOR MÉNDEZ HINCAPIÉ

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
BOGOTÁ D.C.**

2016

**UNA APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO, A
TRAVÉS DE LAMPARAS INCANDESCENTES**

JUANA CAROLINA CÁRDENAS ROJAS

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADA EN FÍSICA

DIRECTOR:

NESTOR MÉNDEZ HINCAPIÉ

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

LÍNEA DE PROFUNDIZACIÓN:

LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA Y LA RELACIÓN FÍSICO MATEMÁTICA.

BOGOTÁ D.C.

2016

 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL	FORMATO	
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE	
Código: FOR020GIB	Versión: 01	
Fecha de Aprobación: 10-10-2012	Página 1 de 4	

1. Información General	
Tipo de documento	Trabajo de grado
Acceso al documento	Universidad Pedagógica Nacional. Biblioteca Central
Título del documento	Una aproximación al concepto de radiación de cuerpo negro, a través de lámparas incandescentes
Autor(es)	Cárdenas Rojas, Juana Carolina
Director	Néstor Fernando Méndez Hincapié
Publicación	Bogotá, Universidad Pedagógica Nacional, 2016. 47pág.
Unidad Patrocinante	Universidad Pedagógica Nacional
Palabras Claves	RADIACIÓN, BOMBILLO INCANDESCENTE, CUERPO NEGRO, EXPERIMENTO, TEMPERATURA, CALIBRACIÓN.

2. Descripción
Este trabajo relaciona el fenómeno de radiación de cuerpo negro con bombillas incandescentes, por medio de la construcción de un montaje experimental. Los datos cuantitativos obtenidos permitirán determinar la curva de calibración entre la temperatura y la radiación emitida por el filamento de tungsteno en anchos de banda específicos de 436nm y 546nm. Con esta investigación se pretende reflexionar acerca del papel del experimento en la enseñanza de la física en particular de la mecánica cuántica.

3. Fuentes
Abrahams, I. & Saglam.M, (2010). <i>A study of teachers views on practical work in secondary schools in England and wales</i>. International journal of science

education. 6(32), 753-768.

- Alonso, M. & Finn, E.J. (1986). *Física volumen 3: Fundamentos Cuánticos y estadísticos*. Wilmington, Delaware, EUA: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A.
- García, M. & Ewert J. (2003). *Introducción a la Física Moderna*. Bogotá: Centro editorial de la U. N. C.
- Kaplan, I. (1970). *Física Nuclear*. Madrid (España): Aguilar S.A. de ediciones, Juan Bravo.
- Leff, H.S., (2011). *Illuminating Physics With Light Bulbs. The Physics Teacher January 1990*. Recuperado el 4 de Septiembre del 2014, <http://www.csupomona.edu/~hsleff/tpt1990All.pdf>.
- Malagón, J. (2012). Teoría y experimento una relación dinámica: implicaciones en la enseñanza de la física. *Física y cultura: cuadernillos sobre historias y enseñanzas de las ciencias*, (8) ,95-104.
- Prasad, N. & Mascarenhas, R. (1978). A laboratory experimento in the application of Stefan's law to tungsten filament electric lamps. *American Journal of Physics Teachers*, 46(4), 420-423.
- Romero, V. (2014). Radiación de cuerpo negro gas de fotones. Notas sobre termodinámica y física estadística, recuperado el 4 de Marzo de 2015, <http://www.fisica.unam.mx/personales/romero/TERMO2014/Radiacion-Cuerpo-Negro.pdf>
- Sánchez, J.M. (2001). *Historia de la física cuántica*. Barcelona (España): Crítica, S.L.
- Zalamea, E., Rodríguez, J. & Paris, R. (2001). *Física 10°*. Bogotá: Educar Editores.
- Zanetti, V. (1985). Temperature of incandescent lamps. *American Journal of the Physics*, 53(6), 546-548.

4. Contenidos

Para el desarrollo de la investigación se abordaron cuatro capítulos. En el primer capítulo se hace una reflexión acerca de la importancia del experimento en la enseñanza de la física en el campo de la mecánica cuántica. En el segundo capítulo se hace una contextualización histórica del fenómeno de radiación de cuerpo negro desde Wien hasta Planck. En el tercer capítulo se estudia las propiedades de las lámparas incandescentes, se relaciona la ley de Wien con las bombillas y se determina la expresión de temperatura. Por último se realiza una descripción detallada del montaje experimental construido, se analizan los resultados obtenidos de las curvas de calibración entre el inverso de la temperatura y la razón de los dos filtros para los bombillos de 60 watts, 100 watts y 150 watts.

5. Metodología

Para esta investigación se abordaron las siguientes fases

Fase 1

Se realiza la descripción e interpretación de la ley de Wien y se analiza las discrepancias en relación a la curva experimental y teórica de la radiación de cuerpo negro. Posteriormente se estudia las propiedades de las lámparas incandescentes y se asocian formalismos matemáticos que nos cuenta de una aproximación a la ley de Wien.

Fase 2

La construcción del montaje experimental permitió relacionar experimento y teoría, con los datos obtenidos de T_0, R, R_0 se halló la temperatura del filamento de tungsteno, para luego proceder a determinar la curva de calibración entre el inverso de la temperatura y la razón de las dos longitudes de onda.

Fase 3

El análisis de resultados se realizó con bombillos de 60watts, 70watts, 100watts y 150watts, de tal forma que al comparar las curvas de calibración obtenidas se pudiera analizar el margen de error en cuanto al coeficiente de correlación entre la curva teórica y experimental.

Fase 4

Se realizó un módulo destinado para estudiantes de grado 10-2, en el cual se debía obtener la curva de calibración de una bombilla incandescente. Para evaluar este proceso se planteó una serie de preguntas cuyo propósito era relacionar los datos experimentales con la teoría propuesta por Wien a cerca del fenómeno de radiación de cuerpo negro.

6. Conclusiones

- Con la construcción del montaje experimental se corroboró la curva de calibración entre el inverso de la temperatura y la razón de los filtros de 436nm y 546nm, con un R cuadrado de 0.99, mejor que el del artículo de Zanetti (1985), esto permitió demostrar que las bombillas incandescentes se comportan como un cuerpo negro, por lo tanto este experimento es un modelo apropiado al momento de reafirmar la teoría.
- La curva de calibración obtenida entre el filtro y el inverso de la temperatura permitió evidenciar la relación de la ecuación de distribución de la radiación para longitudes de onda corta propuesta por Wien.
- Este experimento es idóneo al momento de determinar el orden de magnitud de la constante de Planck, debido a que se obtuvo el coeficiente de determinación en un rango de 0,98 a 0,99, lo cual indica que la relación de las variables en x y y se adecuan a la línea de tendencia.
- Desde el contexto de enseñanza-aprendizaje este montaje experimental sirve como una herramienta pedagógica permitiendo que los estudiantes interactúen con las bombillas incandescentes asociando conceptos propios de la física, por

medio de la indagación, recolección y análisis de datos.

Elaborado por:	Juana Carolina Cárdenas Rojas
Revisado por:	Néstor Fernando Méndez Hincapié

Fecha de elaboración del Resumen:	18	02	2016
--	----	----	------

Contenido

INTRODUCCIÓN	12
ORIGEN DEL PROBLEMA	13
OBJETIVOS.....	14
General.....	14
Específicos.....	14
JUSTIFICACIÓN	15
ANTECEDENTES.....	16
CAPITULO I.....	17
1. EL PAPEL DEL EXPERIMENTO PARA LA ENSEÑANZA DE LA FISICA Y EN PARTICULAR DE LA MECÁNICA CUÁNTICA.....	17
CAPITULO II	19
2. RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO.....	19
2.1. LEY DE WIEN	20
2.2. LEY DE MAX PLANCK.....	24
CAPITULO III.....	26
3. LÁMPARAS INCANDESCENTES (L.I.)	26
3.1. PROPIEDADES DE L.I.	26
3.2. TEMPERATURA DE LAS L.I.	27
3.3. LEY DE WIEN Y BOMBILLAS INCANDESCENTES.	28
CAPITULO IV	31
4. EL EXPERIMENTO: RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO Y LAMPARAS INCANDESCENTES.....	31
4.1. METODOLOGÍA	31
4.1.1. Método de estudio cuantitativo	31
4.2. CONSTRUCCIÓN DEL EXPERIMENTO	32
4.3. OBTENCIÓN DE LA CURVA DE CALIBRACIÓN	35
4.3.1. Bombilla de 60 Watts.....	35
4.3.2. Bombilla de 100 Watts.....	39
4.4. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
4.5. PRIMER IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO.	44
CONCLUSIONES.....	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47
ANEXO 1: MÓDULO	49
APÉNDICE.....	63

APÉNDICE A: LEY DE STEFAN-BOLTZMANN	68
APÉNDICE B: LEY DE RAYLEIGH-JEANS	72
APÉNDICE C: LEY DE MAX PLANCK	74
APÉNDICE D: DATOS PARA LA BOMBILLA DE 25 WATTS, 70 WATTS Y 150 WATTS	77
APÉNDICE E: POSIBLE APROXIMACIÓN DE LA CONSTANTE DE PLANCK	84

LISTA DE FIGURAS, GRAFICOS, IMÁGENES E ILUSTRACIÓN

Figura 1 Comparación entre la curva teórica de Wien (- - -) y la curva experimental (———).	23
Figura 2. Comparación entre la curva propuesta por Wien (- - -), Rayleigh-Jeans (. . .) y Planck () , en función de la longitud de onda.....	25
Figura 3. Estructura de una lámpara incandescente. Recuperado el (5 de septiembre 2014 http://www.taringa.net/comunidades/acuario/5081768/Ficha-tecnica-de-iluminacion.html).	26
Figura 4. Materiales utilizados para la construcción del montaje experimental.....	33
Figura 5. Zona interna del montaje experimental	33
Figura 6. Montaje experimental.....	34
Figura 7. Diseño del circuito.....	34
Figura 8. Primera ley de la termodinámica. (La imagen 8 a. no tiene suministro de calor y su pistón es empujado. 8 b. Se evidencia un suministro de calor y su pistón no es empujado.	68
Figura 9. Comparación entre la curva de Rayleigh-Jeans (.....) y la curva experimental (-)	73
Ilustración 1. Porcentaje de estudiantes que relacionaron los datos obtenidos con la teoría.	44
Grafico 1. Determinación de la curva de voltaje para el filtro 1 de 436nm contra el inverso de la temperatura.	37
Grafico 2. Determinación de la curva de voltaje para el filtro 2 de 546nm contra el inverso de la temperatura.	37
Grafico 3. Determinación de la curva de calibración para la bombilla de 60 Watts.	39
Grafico 4. Determinación de la curva de voltaje para los dos filtros contra el inverso de la temperatura.	41
Grafico 5. Determinación de la curva de calibración para la bombilla de 100 Watts.	41
Grafico 6. Curva de calibración para los bombillos de 60 watts, 100 watts y 150 watts.	42
Grafico 7. Curva de Calibración General.	43
Grafico 8. Determinación de la curva de voltaje para el filtro 436nm vs 1/T.	78
Grafico 9. Determinación de la curva de voltaje para el filtro 536nm vs 1/T.	78
Grafico 10. Curva de calibración del bombillo de 25 watts.	79
Grafico 11. Curva de voltaje para filtro 436nm vs 1/T.....	80
Grafico 12. Curva de voltaje para filtro 546nm vs 1/T.....	81
Grafico 13. Curva De calibración de 70watts.....	81
Grafico 14. Curva De calibración de los filtros 1y2 vs 1/T.....	83
Grafico 15. Curva de calibración para el bombillo de 150 watts.....	83

Imagen 1. Bombilla incandescente y curva de radiación de cuerpo negro	49
Imagen 2. Esquema teórico del fenómeno de radiación de cuerpo negro.	51
Imagen 3. Materiales del montaje experimental	54
Imagen 4. Zona interna del tubo	56
Imagen 5. Esquema general del montaje.	56
Imagen 6. Determinar la resistencia ambiente	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. <i>Datos experimentales para el bombillo de 60 watts</i>	36
Tabla 2. <i>Datos experimentales para el bombillo de 100 watts</i>	39
Tabla 3. <i>Datos para el bombillo de 25 Watts.</i>	77
Tabla 4. <i>Datos para el bombillo halógena de 70 watts.</i>	79
Tabla 5. <i>Datos para el Bombillo de 150 Watts.</i>	82

INTRODUCCIÓN

En el estudio de la radiación térmica de un cuerpo, se analiza el comportamiento de este cuando es sometido a diferentes temperaturas. Por medio de actividades experimentales se logró identificar una clase de cuerpos que tan solo emiten espectros térmicos de características universales, denominados cuerpos negros, es decir cuerpos que absorben toda la radiación térmica que incide sobre ellos. (Eisberg, 1978).

Los trabajos experimentales en la física moderna como el fenómeno de radiación de cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico entre otros han permitido analizar y evidenciar de forma cualitativa como cuantitativamente el fenómeno de cuerpo negro, generando un vínculo entre ciencia y enseñanza, por lo tanto uno de los aportes para el estudio de radiación de cuerpo negro lo propone Harvey Leff, en su artículo publicado en 1990, quién menciona la importancia de las bombillas incandescentes al momento de estimular a los estudiantes hacia el aprendizaje de la física (Leff, 1990). En Colombia uno de los trabajos realizados desde el Departamento de Física de la Universidad Pedagógica Nacional consiste en la construcción de un equipo experimental, para el estudio de la radiación térmica (Bautista, 2013). Teniendo en cuenta estas investigaciones se pretende construir un experimento, en el cual se halle la temperatura de una lámpara incandescente. Según lo anterior y con el aporte experimental publicado por la revista *American Journal of the Physics*, artículo titulado “*Temperature of incandescents lamps*” el investigador Zanetti (1985) determinó la temperatura del filamento de tungsteno; con estos datos obtuvo la curva de calibración entre la temperatura y la radiación emitida por la bombilla para dos longitudes de onda específicas.

Por lo tanto se construye un montaje experimental cuyos datos cuantitativos permitirán analizar la curva de calibración para una longitud de onda específica de 436nm y 546nm, el resultado obtenido relacionará el filamento de tungsteno con el fenómeno de radiación de cuerpo negro a la luz de la teoría propuesta por Wien, cuya expresión de distribución de energía coincide con la curva experimental para bajas longitudes de onda. De tal forma, este trabajo permite asociar experimento y teoría, en donde los valores cuantitativos cobran significado.

ORIGEN DEL PROBLEMA

En el estudio de la física moderna, se abordan temas como el estudio del efecto fotoeléctrico, conceptos de cuantización o incertidumbre que desde la mecánica cuántica permiten comprender el comportamiento de la naturaleza entre uno de estos se estudia el fenómeno de radiación de cuerpo negro, cuyos desarrollos experimentales y teóricos se explicaron a partir de la radiación térmica.

Un cuerpo negro está asociado a los objetos que absorben toda la radiación que incide sobre ellos, esto es debido a que esta clase de cuerpos “tienen la propiedad de emitir la misma radiación térmica cuando se encuentran a la misma temperatura” (Garcia, 2003, pág. 47), estas son las definiciones del fenómeno que son encontradas en la mayoría de libros de física moderna, que aunque son obvias teóricamente, en el experimento cobran otro significado. Por lo tanto en algunos escenarios de enseñanza es complejo describir y evidenciar el fenómeno de estudio, al no tener herramientas experimentales que permitan asociar, analizar e identificar resultados empíricos.

Según lo anterior, por medio de la construcción de un montaje experimental se determinarán ciertos valores cuantitativos que cobrarán significado a la luz de la teoría propuesta por Wien para el estudio de radiación de cuerpo negro, a partir de las bombillas incandescentes.

Con esto se plantea la siguiente pregunta: ***¿Cómo aproximarnos al fenómeno de radiación de cuerpo negro a través del estudio experimental con lámparas incandescentes?***

OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar un ajuste experimental entre la temperatura de una lámpara incandescente y la radiación emitida por esta.

Objetivos Específicos

- 1.) Explicar el fenómeno de la radiación emitida por una lámpara incandescente a la luz del concepto de cuerpo negro
- 2.) Construir un montaje experimental en el cual se determine la radiación emitida por una bombilla incandescente en anchos de banda específicos de 436nm y 546nm.
- 3.) Obtener la curva de calibración entre la temperatura y la radiación emitida por la bombilla, con los datos obtenidos experimentalmente.

JUSTIFICACIÓN

El estudio de la radiación térmica permite analizar y explicar experimentalmente porque los objetos metálicos al someterlos a elevadas temperaturas tienden a tomar un color rojizo, a partir de estas observaciones se llega a la conclusión que al someter materiales a diferentes temperaturas estos emiten ondas electromagnéticas con longitudes de onda superiores a $\lambda = 700nm$, ésta emisión fue denominada *radiación térmica*, y a los materiales que absorben la radiación emitida por un cuerpo se le asignó el nombre de *cuerpo negro*. (Ewert.J., 2003).

Algunos trabajos e investigaciones han permitido asociar el concepto de radiación de cuerpo negro a la actividad experimental con lámparas incandescentes, entre ellos está el artículo del investigador Zannetti y Harvey Leff quienes proponen hacer una reflexión acerca del papel del experimento en la enseñanza de la ciencias, retomando a Harvey Leff quién menciona que “*el propósito de la investigación es que los estudiantes puedan ser estimulados hacia el aprendizaje de la física*” (Leff, 1990). Bautista y Cindy en el año 2013 al presentar su proyecto “*máquina térmica*” observaron un interés y motivación de los estudiantes en la práctica experimental.

Según lo anterior se realizó un montaje experimental en donde los estudiantes del Instituto Pedagógico Nacional (IPN) estudiaron el comportamiento de las bombillas incandescentes como cuerpo negro, ellos sometieron el filamento de una bombilla de tungsteno a una diferencia de potencial, el cual va a generar un cambio de temperatura, según esto se obtuvo los datos y se realizó la curva de calibración entre la temperatura y la radiación emitida por esta. El propósito de esta investigación es exaltar el papel del experimento cuantitativo, y como este puede tener una función comprobatoria con la teoría (Bautista, 1989), en donde los resultados empíricos cobran significado ante el estudio del fenómeno.

El investigador de la universidad de Londres Abrahams (2009), menciona que el trabajo experimental genera en algunos estudiantes un interés situacional, en el que se influye positivamente en el aprendizaje del estudiante. (Abrahams, 2009). Por lo tanto este experimento va a permitir que los estudiantes de grado décimo del IPN estudien el concepto de radiación de cuerpo negro asociando datos cuantitativos con la formalización teórica.

ANTECEDENTES

Para proceder al desarrollo experimental y el debido análisis teórico de los resultados empíricos, se recurrió a investigaciones relacionadas con dicha temática, una de estas fue la que le otorgó a este trabajo de investigación reconocer el rol del experimento en la enseñanza de la física moderna.

Las investigaciones que se tomaron como referentes fueron:

El artículo de la revista *American Journal of the physics*, titulado “*temperature of incandescent lamps*” En este artículo obtienen la curva de calibración entre la temperatura y la radiación emitida por el filamento de tungsteno en las dos longitudes de onda de $\lambda_1=600\text{nm}$ y $\lambda_2=905\text{nm}$ (Zanetti, 1985). A partir de este trabajo la investigación fue proyectada hacia un registro de datos y análisis de las curvas de calibración para el estudio del fenómeno. En este artículo el autor menciona la relevancia de utilizar bombillas de uso comercial en la ciencia. Otro de los artículos que hace un desarrollo detallado del formalismo matemático de la ley de la resistencia del tungsteno, ecuación indispensable para determinar la temperatura de la bombilla es *A laboratory experiment on the application of Stefan's law to tungsten filament electric lamps* de Prasad & Mascarenhas quienes determinan la ecuación de la resistencia y corroboran por medio de una práctica experimental la ley de Stefan's.

El artículo de investigación *The coiling factor in the tungsten filament lamps*, D.C. Agrawal, 2011. Este artículo se realiza un estudio matemático acerca del funcionamiento de las lámparas incandescentes. Es uno de los trabajos relevantes para la investigación debido a la descripción conceptual y matemática de las bombillas de filamento de tungsteno.

Uno de los trabajos relevantes realizados en la Universidad Pedagógica Nacional es el de **Eduardo Bautista y Cindy Osorio** (2013). *Diseño y construcción de un equipo experimental para el estudio de la radiación térmica*; en este trabajo de grado realizan un recorrido histórico acerca de los experimentalistas del siglo XIX en Alemania y luego hacen la construcción experimental de un equipo de radiación térmica. Ellos evidenciaron que al realizar las pruebas de funcionamiento del equipo de radiación térmica los estudiantes manifestaban interés por el tema de estudio.

CAPITULO I

1. EL PAPEL DEL EXPERIMENTO PARA LA ENSEÑANZA DE LA FISICA Y EN PARTICULAR DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

La mecánica cuántica describe y analiza las propiedades atómicas y moleculares de la física, en pocas palabras es la que cuenta del mundo microscópico que rodea la naturaleza, de tal forma al escuchar la palabra cuántica se hace referencia a un nivel de abstracción y complejidad en donde la radiación electromagnética, el principio de incertidumbre, el efecto fotoeléctrico, entre otros, son fenómenos cuyos experimentos presentan un alto grado de dificultad debido a los equipos especializados que se requieren. Esto sucede porque es complejo construir un experimento que dé cuenta del fenómeno, pero ¿Por qué es tan importante el experimento en la ciencia? Al respecto, Malagón (2012) en su artículo quién menciona que las construcciones científicas han quedado registradas por la observación y la medida, eso quiere decir que el sujeto construye su mundo a partir de lo que percibe, por tal razón aproximarnos al estudio de la mecánica cuántica no es tan simple, debido a que esta rama de la física estudia los fenómenos de la naturaleza que el ser humano no puede percibir.

Sin embargo gracias a los instrumentos de medida y a su avanzada tecnología se ha podido estudiar el mundo cuántico, pero desde el contexto de enseñanza no se cuenta con avanzados laboratorios por eso para estudiar estos fenómenos se recurre a los textos de ciencia, que muestran algunos valores cuantitativos de ciertos experimentos para reflejar que concuerdan con la teoría, estos libros enseñan expresiones como la de Max Planck o graficas que le dan al estudiante el creer que esa expresión o diagrama representa un cuerpo negro, el hecho no es cuestionarnos acerca del contenido de los libros, sino reflexionar cómo se lleva a la escuela esta clase de temas, en donde el experimento no se toma en cuenta. Si teoría y experimento son separados creará en el estudiante un vacío conceptual, por lo tanto es necesario entender que “La teoría y la experiencia se mueven una alrededor de la otra y que este movimiento corresponde a una cada vez mayor refinación en la elaboración teórica y de igual forma un refinamiento cada vez mayor en los procedimientos experimentales” (Paty, 1984, citado por Malagón.F, p.99).

El papel del experimento en la enseñanza de la mecánica cuántica permite que los estudiantes reconozcan el experimento como un modelo propio de la teoría de la física moderna, por ejemplo al referirnos al fenómeno de radiación de cuerpo negro teóricamente se conoce que estos cuerpos son ideales, sin embargo hay cuerpos que se asemejan a ese comportamiento y pueden describir la curva de radiación, entre estos está un hierro candente o filamento de tungsteno. Estos materiales tienen la propiedad de alcanzar elevadas temperaturas, de tal forma que al registrar y graficar los datos de emisión se obtendrá la curva de radiación para estas longitudes de onda, para registrar esos datos y analizar cuál de los filamentos de tungsteno es el apropiado, se recurre al experimento, por medio de las bombillas incandescentes se construye un montaje el cual permita constatar la teoría. Sin embargo este experimento cobra mayor relevancia cuando se es llevado al aula; es en este escenario donde el estudiante tiene la oportunidad de interactuar con el experimento, conocer los instrumentos de medida y de reconocer la importancia de los experimentos en la física. Para entender el papel que desempeña el experimento y la teoría se retomará la siguiente idea:

El experimento es el juez único de la física: Todo conocimiento valido debe ser comprobable y comprobado por el experimento, algo estrictamente objetivo, de validez universal, reproducible en todo lugar y en todo tiempo. Todo nuevo conocimiento valido, se integra al saber acumulado, y si se hace matemáticamente, siendo consistente el conjunto de conocimientos científicos acumulados sobre la naturaleza (Rojas y Gómez, 1999, citado por Malagón, p.102)

Según lo anterior el objetivo del experimento es generar en los estudiantes la inquietud por aproximarse al aprendizaje de la ciencia, es así en el que por medio del experimento se logra comprender de una manera dinámica las teorías enseñadas en la escuela.

CAPITULO II

Un cuerpo negro es aquel que tiene la propiedad de absorber toda la radiación que incide sobre el y la radiación térmica que emite, se denomina como radiación de cuerpo negro. (Garcia, 2003). En este capítulo se realiza una contextualización histórica del fenómeno de cuerpo negro. Los primeros en incursionar la investigación y postular una teoría fueron J. Stefan y L. Boltzmann, ellos retomaron el estudio de la termodinámica como base fundamental para determinar la expresión matemática, cuyo propósito es hallar la radiación emitida por un cuerpo negro por unidad de área y tiempo, a una temperatura absoluta T (García & Ewert, 2003). Luego en 1893 W. Wien plantea la ley de desplazamiento, la cual lleva su nombre y formula la ley de distribución en función de la frecuencia y de la longitud de onda, sin embargo este postulado fue discrepante para valores experimentales. Al surgir esta diferencia entre la teoría y el experimento, Rayleigh-Jeans propone una solución a este problema, y postula ciertas condiciones para su análisis, el parte del valor medio de la energía y retoma la ley de distribución de velocidades propuesta por Maxwell, infortunadamente llega a una expresión matemática que no es viable para longitudes de onda corta, a esto lo denomino como catástrofe ultravioleta. Hasta el momento la aproximación teórica de Wien y Rayleigh-Jeans era sustento matemático del fenómeno de radiación de cuerpo negro, sin embargo en 1900 Max Planck encuentra la expresión idónea para la distribución de radiación de cuerpo negro, este gran hallazgo surge debido a la relación que plantea entre la entropía y la energía del oscilador. Con este vínculo se logró determinar la expresión adecuada que reproducía los trabajos de Wien y Rayleigh-Jeans y a su vez coincidía con los datos experimentales.

2. Radiación de cuerpo negro

La reconstrucción del estudio del fenómeno de cuerpo negro iniciará desde la formalización teórica propuesta por Stefan-Boltzmann, estos científicos lograron, determinar expresiones matemáticas, a partir de curvas experimentales; como lo ocurrido con Stefan quien postulo que “la radiación calorífica es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta” (Sánchez,

2003), enunciado puramente experimental que no tenía fundamento matemático. Fue en 1884 Ludwig Boltzmann quien desarrollo la deducción teórica, y sustentó la expresión conocida como ley de Stefan-Boltzmann (ver apéndice A).

$$u T = \alpha T^4 \quad (2.1)$$

La ecuación (2.1) representa la expresión determinada por Stefan-Boltzmann, en donde relaciona la cantidad de energía emitida por un cuerpo negro, en función de la temperatura absoluta a la cuarta potencia. Con esta nueva ley, Wien y Rayleigh-Jeans proyectaron sus estudios e investigaciones al comportamiento del cuerpo negro.

2.1. Ley de Wien

Wien desarrollo su teoría retomando el trabajo realizado por Stefan-Boltzmann, que relacionaba la temperatura absoluta de la radiación con la energía emitida por un cuerpo negro en equilibrio. Wien proyecta su investigación y retoma consideraciones termodinámicas y electromagnéticas, gracias a esto una de sus investigaciones radica en la determinación de la *ley de desplazamiento* la cual le atribuyó su nombre.

Para lograr determinar sus leyes Wien recurrió al ejemplo propuesto por Stefan, quien en su angustia de saber el comportamiento de un gas dedujo que este se desplazaba como osciladores mecánicos. Suponiendo una cavidad llena de radiación, la cual en su exterior poseía un émbolo móvil, que iba a ser movido de tal forma que ni se ganara ni perdiera calor describiendo un proceso adiabático. Se calculó la variación de la energía experimentada por la radiación, en términos de u_ν y u_λ , donde el primer término indica la densidad de energía radiada en función de la frecuencia ν , mientras tanto la segunda expresión indica la densidad de energía en función de la longitud de onda λ . Por definición $u_\lambda d\lambda$ indica la energía radiada por unidad de volumen entre las longitudes de onda λ y $\lambda + d\lambda$ (Sánchez, 2003); así λ y ν están relacionadas por:

$$\nu\lambda = c$$

Donde c es la velocidad de la luz.

Para desarrollar adecuadamente este proceso Wien plantea que $u_\lambda d\lambda$ y $u_\nu d\nu$, deben ser igual en magnitud, porque a cada frecuencia le corresponde una longitud de onda específica.

$$\frac{dv}{d\lambda} = \frac{u_\lambda}{u_\nu} \quad (2.2)$$

Las barras indican el valor absoluto, porque la densidad de energía está expresada positivamente, retomando la ecuación (2.2) y reemplazando el termino $\nu = c / \lambda$ en u_ν , y $\lambda = c / \nu$ en u_λ se obtiene.

$$\frac{d\lambda}{d\nu} = \frac{c}{\nu^2}$$

Reemplazando de nuevo a λ , y simplificando la expresión se obtiene

$$\frac{d\nu}{d\lambda} = \frac{c}{\lambda^2} \quad (2.3)$$

Debido a que $u_\lambda d\lambda$ y $u_\nu d\nu$, deben ser igual en magnitud, al expresar la ecuación (2.3) en términos de $d\nu$ se obtiene:

$$u_\nu = (c/\nu^2)u_\lambda \quad (2.4)$$

Se retoma la ecuación (2.4) en términos de u_ν y se escribe en términos de u_λ :

$$u_{\lambda,T} = (\nu^2/c)u_\nu \quad (2.5)$$

Recurriendo a la relación entre frecuencia y longitud de onda $u(\lambda, T) = \frac{c}{\lambda} f(\lambda/T)$ ¹, donde f es una función indeterminada y T es la temperatura absoluta. Se retoma la ecuación (2.5)

$$u(\lambda, T) = \frac{c}{\lambda} f(\lambda/T)$$

Luego se reemplaza $v = \frac{c}{\lambda}$, y se obtiene

$$u(\lambda, T) = c^4 \lambda^5 f(c/\lambda T) \quad (2.6)$$

La ecuación (2.6) se le halla el máximo, derivando la función $u(\lambda, T)$ con respecto a λ se determina:

$$f(c/\lambda_{max}T) = \text{cte}(c/\lambda_{max}T)^5 \quad (2.7)$$

Como la longitud de onda y la temperatura deben estar relacionada por $T/T_0 = \lambda_0/\lambda$, donde T_0 y λ_0 son los valores antes de la transformación y T, λ son para después de esta (Kaplan, 1978). La expresión (2.7) se escribe como

$$\lambda_{max}T = \text{cte} \quad (2.8)$$

La expresión anterior indica la ley de desplazamiento de Wien, la cual expresa que al aumentar la temperatura de un cuerpo negro, también incrementará el valor de la densidad de energía hacia frecuencias mayores, esta expresión es igual a la constante de Wien cuyo valor es $0.2898 \times 10^{-2} \text{m-K}$ (Garcia, 2003).

Después de la deducción de la ley de desplazamiento, Wien continuó con el estudio de radiación de cuerpo negro y en 1896 propone la fórmula para calcular la distribución de energía en función de la longitud de onda, esto lo logra al retomar la distribución de velocidades de Maxwell

¹ Para llegar a esta expresión Wien tomo una cavidad llena de radiación, la cual en su parte exterior contenía un émbolo móvil, para moverlo adiabáticamente, con este procedimiento cálculo la variación de la energía que experimentaba la radiación correspondiente al intervalo $d\nu$.

expresada como $f \nu = 4\pi\nu^2 (m/2\pi KT)^{3/2} e^{-(m\nu^2/2KT)}$ (Eisberg, 1978), con la expresión $\nu = c/\lambda$ y la relación hallada en la ecuación (2.6), realizó un cambio de variable y obtuvo la siguiente expresión:

$$u_\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-c_2/\lambda T} \quad (2.9)$$

Donde c_1 y c_2 son constantes.

La fórmula (2.9) propuesta por Wien, permitía relacionar la energía emitida por un cuerpo negro, en función de la temperatura, de tal forma los físicos Lummer y Pringsheim, comprobaron experimentalmente esta ley, y llegaron a la conclusión que para longitudes de onda cortas y frecuencias grandes, la curva teórica coincidía, sin embargo observaron que había una discrepancia entre la curva teórica y la experimental para frecuencias bajas y longitudes de onda largas.

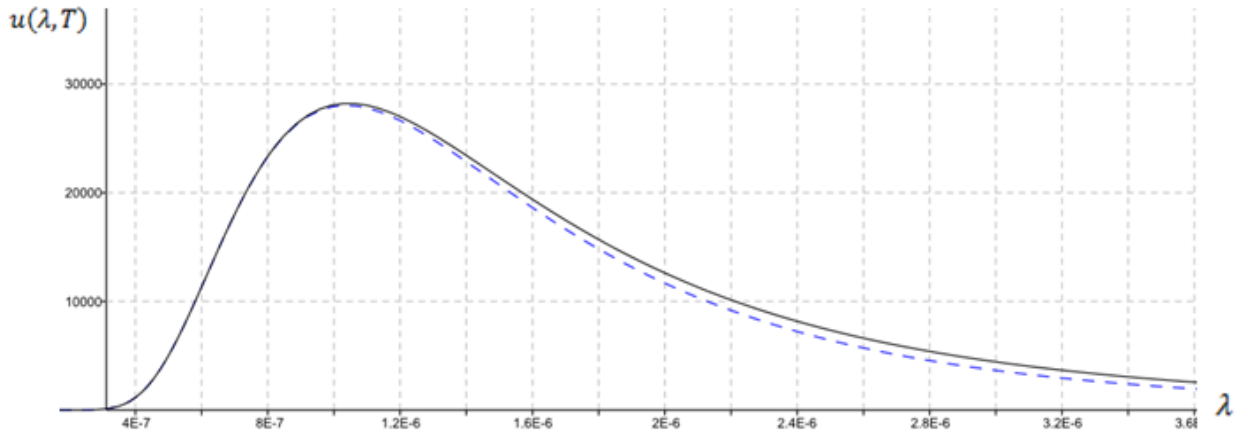


Figura 1 Comparación entre la curva teórica de Wien (---) y la curva experimental (—).

Según lo anterior, en la figura 1 hay una discrepancia entre la curva teórica de Wien y la curva experimental. Se evidencia que en una parte de la gráfica la curva planteada por Wien se separa de la curva experimental, esto ocurre porque a bajas frecuencias incrementa la longitud de onda, por lo tanto la fórmula de Wien tan solo coincide con longitudes de ondas cortas. Aunque hubo diferencias entre la teoría y el experimento, Wien logró formular la ley de desplazamiento y de distribución de energía para un cuerpo negro: en pocas palabras fue el primer acercamiento a la

formalización teórica de este fenómeno. Para estudiar la aproximación propuesta por Rayleigh-Jeans (ver apéndice B).

2.2. Ley de Max Planck

Luego de haber estudiado los trabajos de Wien y de Rayleigh-Jeans, Planck evidencio que las expresiones de distribución de energía obtenidas por estos científicos discrepaban con la curva experimental determinada por Lummer-Pringsheim. Después de un análisis realizado por Planck el decidió relacionar el fenómeno de radiación de cuerpo negro con la entropía y no con la termodinámica como muchos de sus colegas lo habían intentado, el objetivo era relacionar la energía del oscilador con la entropía, cuya expresión obtenida (ver apéndice C) al ser derivada se aproximaría a la ecuación de Wien con la diferencia que Planck relacionaría la longitud de onda y una constante universal. En donde h es la constante de Planck.

$$u_{\lambda} = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/k\lambda T} - 1} \quad (2.10)$$

La expresión (2.10) es la denominada ley de la distribución de la radiación térmica en función de la longitud de onda obtenida por Planck. Si se relaciona la ecuación (2.10) con la (2.9) propuesta por Wien, se evidencia que aparentemente ambas coinciden, pero hay una diferencia en la ecuación (2.10), en el denominador aparece el número -1, físicamente este valor permite que al graficar la distribución de energía en función de la longitud de onda y temperatura se adapte a frecuencias largas y cortas, mientras tanto la expresión propuesta por Wien carecía de este término. Se concluye que la ley de distribución planteada por Planck predice correctamente los resultados teóricos por Rayleigh-Jeans y Wien y los resultados experimentales propuestos por Lummer y Pringsheim.

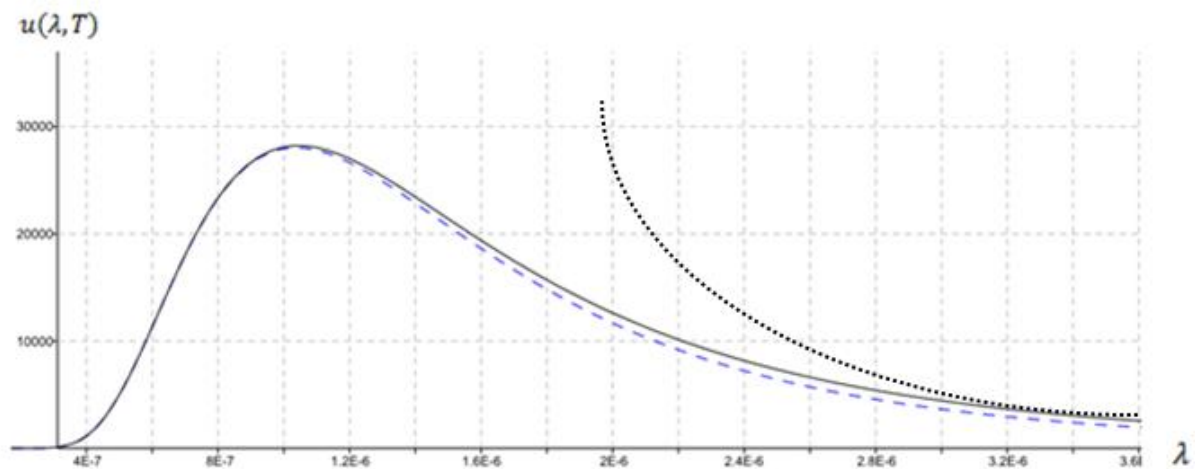


Figura 2. Comparación entre la curva propuesta por Wien (- - -), Rayleigh-Jeans (. . .) y Planck (———), en función de la longitud de onda.

En la figura 2 se evidencia la distinción entre las curvas propuestas por Wien y Rayleigh-Jeans, se observa que la curva de Planck unifica las dos teorías y esto es evidenciado en la excelente concordancia de la curva para diferentes longitudes de onda, de tal forma la ley de radiación de Planck es la única que argumenta la realidad experimental.

Se concluye que los trabajos realizados por Wien y Rayleigh- Jeans, le otorgaron a Planck el soporte para relacionar la entropía con la energía de los osciladores, logrando obtener la ley de distribución, que le dio un formalismo matemático al comportamiento de la curva de radiación de cuerpo negro. Es importante aclarar que la construcción teórica de este fenómeno, fue un modelo que construyeron los científicos, que relacionaba sus experiencias con la necesidad de comprender la naturaleza microscópicamente.

El hecho de que la curva de Wien no se adapte a longitudes de onda largas no significa que su expresión no sea coherente, al contrario las estas ecuaciones propuestas por el pueden emplearse en experimentos con cuerpos negros que alcancen una temperatura aproximadamente de 3000 °K con longitudes de onda corta.

CAPITULO III

Este capítulo tiene como objeto de estudio los filamentos de tungsteno de las lámparas incandescentes. Este tipo de bombillos presentan unas propiedades específicas de un cuerpo negro. El propósito es determinar la temperatura del filamento contenido dentro del bulbo de vidrio, para ello es necesario recurrir al formalismo matemático, de tal forma que al obtener la aproximación de la ley de Wien a Planck para las dos longitudes de onda específica se pueda relacionar los datos experimentales con la teoría.

3. Lámparas Incandescentes (L.I.)

3.1. Propiedades de L.I.

La función de una lámpara es transformar la energía eléctrica en radiación electromagnética. En la figura 3 se evidencia las partes de una lámpara incandescente, el casquillo de la bombilla permite la conexión externa para la roseta e interna para los hilos conductores que son los que conducen la corriente hacia el filamento de tungsteno, el cual está dentro de un globo de vidrio o ampolla al vacío; algunos de estas bombillas en su interior contiene gas de nitrógeno que permite que no se deteriore fácilmente el filamento (Forster, 2009).

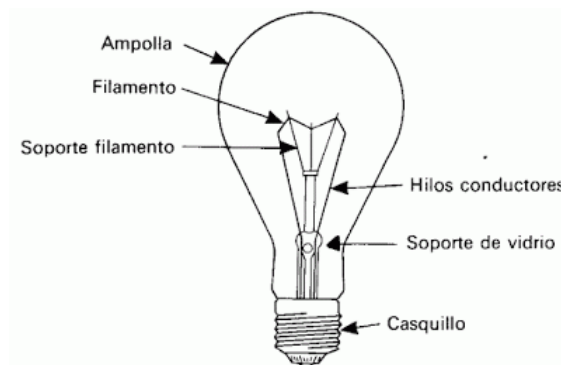


Figura 3. Estructura de una lámpara incandescente. Recuperado el (5 de septiembre 2014 <http://www.taringa.net/comunidades/acuario/5081768/Ficha-tecnica-de-iluminacion.html>).

Según lo anterior este tipo de lámparas, en específico el filamento de tungsteno tiene la propiedad de resistir temperaturas entre los 1800°K hasta los 3200°K , abarcando todas las longitudes de onda del espectro visible e infrarrojo; así al incrementar la temperatura la radiación para longitudes de onda largas aumenta y la radiación en el espectro visible aumenta. Forsters (2009) argumenta que la sensación térmica de caliente o frío percibida al tocar la bombilla, es debido a que no toda la radiación es emitida en forma de luz, una parte de esta se emite en forma de calor en la región de infrarrojos.

En resumen este tipo de bombillas son idóneas al explicar el fenómeno de radiación de cuerpo negro, porque al incrementar la temperatura del filamento la radiación que emite tiene la característica de ser un espectro continuo, por lo tanto al graficar la temperatura en función de la señal de onda su comportamiento es similar al de una curva de un radiador de cuerpo negro.

3.2. Temperatura de las L.I.

La relación entre la temperatura y la resistencia es directamente proporcional, eso quiere decir que entre más alto sea el voltaje suministrado al bombillo, aumentará la temperatura del filamento. Según Prasad & Mascarenhas (1978) para determinar la temperatura del filamento de tungsteno se debe tener en cuenta la siguiente expresión:

$$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (3.1)$$

Donde R es la resistencia, R_0 es la resistencia ambiente, α coeficiente de temperatura de resistividad, T temperatura y T_0 temperatura ambiente. Con la ecuación (3.1) se puede hallar la temperatura del filamento, sin embargo es necesario conocer el coeficiente α experimentalmente.

Luego de haber determinado la expresión (3.1) se evidencia que hay una relación entre las temperaturas y resistencias obteniendo:

$$T - T_0 = (R - R_0)^x \quad (3.2)$$

Donde $x = 1/1.2$.

Despejando T se obtiene

$$T = T_0(R/R_0)^{1/1.2} \quad (3.3)$$

El x de la ecuación (3.2) representa una constante otorgada al material de tungsteno, de tal forma la expresión (3.3) es la denominada ley de la resistencia del tungsteno esta relación propuesta por Vittorio (1985) permite hallar la temperatura del filamento sin necesidad de conocer el coeficiente de temperatura ni la emisividad de la bombilla. La ecuación (3.3) se utiliza para hallar la temperatura del filamento, donde datos como T_0 (temperatura ambiente) y R_0 (resistencia ambiente) son valores cuantitativos obtenidos en el experimento; mientras tanto R es calculado a partir de la ley de ohm como $R = V/I$, cuyo voltaje y corriente son definidos en el experimento.

3.3. Ley de Wien y bombillas incandescentes.

La ley de Wien sustentada en el capítulo 2 se relaciona con las bombillas incandescentes, porque tienen la propiedad de emitir radiación en longitudes de onda corta, de tal modo Zanetti (1985) encuentra que la señal de la longitud de onda para un bombillo incandescente puede quedar en términos de la temperatura T y la emisión espectral ϵ donde:

$$s(\lambda) = k\tau\epsilon I(\lambda, T) = k\tau\epsilon \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-c_2/\lambda T} \quad (3.4)$$

Donde $s(\lambda)$ es la señal del detector principal, λ es el filtro de interferencia de longitud de onda, $I(\lambda, T)$ es el espectro de la radiación de cuerpo negro, c_1 y c_2 la primer y segunda constante de la ley de Planck, k el parámetro del detector y τ la transmitividad de la bombilla.

El lector puede darse cuenta que la ecuación (3.4) es la misma ley de Wien, la diferencia radica en que las constantes $k\tau\epsilon$ son términos propios de las bombillas incandescentes que deben ser valorados al momento de analizar este tipo de cuerpo negro. En este caso λ indica el ancho de la longitud que se desea medir para ello es necesario utilizar una celda solar la cual está ubicada detrás del filtro esta celda será el receptor de las longitudes de onda que atraviesan los filtros uno de 436nm y otro de 546nm.

Según lo anterior es indispensable tener en cuenta los dos filtros porque cada uno tiene un ancho de banda específico, así con la expresión (3.4) se obtendrán dos nuevas expresiones en términos de λ_1 y λ_2 , por lo tanto al detector con el filtro 1 le va a llegar una señal 1 y al filtro 2 le llegará la señal 2:

$$s(\lambda_1) = k\tau\epsilon \frac{c_1}{\lambda_1^5} e^{-c_2/\lambda_1 T}$$

$$s(\lambda_2) = k\tau\epsilon \frac{c_1}{\lambda_2^5} e^{-c_2/\lambda_2 T}$$

Con las dos ecuaciones $s(\lambda_1)$ y $s(\lambda_2)$ se realiza el cociente entre las dos expresiones, a esto se le denomina como la razón de las dos señales denominada como r

$$r = \frac{s(\lambda_1)}{s(\lambda_2)} = He^{[c_2/T(1/\lambda_2 - 1/\lambda_1)]} \quad (3.5)$$

En la ecuación (3.5) se evidencia que al realizar la razón entre las dos señales, los términos $k\tau\epsilon$ son igual a 1, $c_1=1$ y $H = (\lambda_2 - \lambda_1)^5$ el cual es considerado constante porque indica la división entre el filtro 1 y 2 $(546/436)^5 = cte$, de tal forma que al organizar la expresión y aplicar logaritmo natural se obtiene.

$$\ln r = -c_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \frac{1}{T} + \ln H \quad (3.6)$$

En la expresión anterior se aplicó $\ln$ con el propósito de evidenciar la relación lineal entre la razón de la señal y la temperatura al graficar $\ln(r)$ vs $1/T$; el comportamiento lineal entre el radio de la señal y la temperatura determinará si el filamento de tungsteno es un cuerpo negro.

CAPITULO IV

4. EL EXPERIMENTO: RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO Y LAMPARAS INCANDESCENTES

En este capítulo se describirá detalladamente el montaje experimental construido, se analizarán los resultados obtenidos de las curvas de calibración según las características de cada bombilla y se estudiará una posible aproximación a la constante de Planck.

4.1. METODOLOGÍA

La metodología expuesta en este trabajo de grado está orientada hacia el análisis del experimento, por lo tanto tiene un enfoque de investigación cuantitativa, debido a que la investigación está proyectada hacia la recolección, medición numérica y análisis de datos, por lo tanto es pertinente desarrollar las siguientes fases entorno al método de estudio cuantitativo.

4.1.1. Método de estudio cuantitativo

Fase 1. Descripción e interpretación de la ley de Wien:

Para reconocer el fenómeno de radiación de cuerpo negro se retomó la aproximación de la ley de Wien a Planck. Esta descripción permitió analizar las discrepancias en relación a la curva experimental y teórica de la radiación de cuerpo negro. Posteriormente se estudió las propiedades de las lámparas incandescentes y se asociaron ciertos formalismos matemáticos como la ley de la resistencia del tungsteno y la razón de las dos longitudes de onda.

Fase 2. Construcción del montaje experimental:

La construcción del montaje experimental permitió relacionar experimento y teoría. Con los datos obtenidos de T_0, R, R_0 se halló la temperatura del filamento de tungsteno, para luego proceder a determinar la curva de calibración entre el inverso de la temperatura y la razón de las dos longitudes de onda. Las curvas obtenidas se aproximan adecuadamente a la curva propuesta por Wien, resultado que evidencia la relación entre las bombillas incandescentes y el cuerpo negro.

Fase 3. Análisis de resultados:

El análisis de resultados se realizó con bombillos de 60watts, 70watts, 100watts y 150watts, con estas características específicas la resistencia ambiente del filamento de tungsteno varía según la potencia, causando que la temperatura registrada en cada suministro de voltaje fuera diferente, el propósito fue realizar este experimento con diferentes bombillos de tal forma que al comparar la curvas de calibración obtenidas se pudiera analizar cuál de estas tenía menor margen de error.

Fase 4. Implementación del módulo

Se realizó un módulo destinado para estudiantes de grado 10-2, en el cual se debía obtener la curva de calibración de una bombilla incandescente. Para evaluar este proceso se planteó una serie de preguntas cuyo propósito era relacionar los datos experimentales con la teoría propuesta por Wien a cerca del fenómeno de radiación de cuerpo negro. (Ver anexo 1-módulo).

4.2. Construcción del experimento

Para realizar la debida construcción del montaje experimental se retomó el artículo *American Journal of the Physics Teachers* de Zanetti (1985), en este se estudió el fenómeno de radiación de cuerpo negro con bombillas de filamento de tungsteno. Para ello el autor hace una breve descripción de lo utilizado en el experimento, en donde hace uso de un tubo 1.37cm de largo, una celda solar, dos filtros con longitudes de onda de 600nm y 905nm y un amplificador de corriente directa DC.

Según la información anterior se consiguió unos instrumentos de medida que tuvieran características similares expuestas en el artículo; pero al iniciar la construcción del montaje, se buscó que las herramientas utilizadas fueran de fácil acceso, de tal forma que el estudiante o docente puedan replicar el montaje si lo desean.

El montaje experimental consta de los siguientes materiales:

- a.) 1 Tubo de PVC negro de 85 cm
- b.) 1 Celda solar

- c.) 2 Filtros de luz con longitud de onda específica (436nm y 546nm).
- d.) Bombillos de filamento de tungsteno.
- e.) 1 Multímetro.
- f.) 1 Pinza amperimétrica
- g.) 1 Termómetro.
- h.) 1 Dimmer



Figura 4. Materiales utilizados para la construcción del montaje experimental

En la figura 4 se observa que uno de los materiales utilizados para la construcción del montaje experimental fue tubo de PVC de 80cm de largo de un diámetro de 4 pulgadas, el cual fue pintado externa e internamente de color negro mate, para que la luz externa no alterara el registro de datos. A este tubo se le adaptó un riel del mismo largo, para trasladar una caja que contiene la celda solar y el filtro de luz.



Figura 5. Zona interna del montaje experimental

En la figura 5 se evidencia el riel y la caja que contiene el filtro de luz, detrás de este se encuentra la celda solar, esta tan solo debe recibir la luz que llega a través del filtro, por lo tanto es necesario cubrir adecuadamente cualquier ángulo en el cual se pueda filtrar un haz de luz que no pase por el filtro. En esta misma figura se observa que la tapa que sella el tubo se le adecuo una roseta, de tal forma que la luz del bombillo llegue al filtro.

A continuación en la figura 6 se observa en su totalidad el montaje experimental. Debido a que este experimento se realizó con corriente alterna AC en la región 1 del tubo se encuentra la conexión eléctrica, la cual se le adecuo un dimmer este potenciómetro regula el voltaje que se le suministra al bombillo, según el voltaje que se pretenda colocar el multímetro ira registrando el valor. En la región 2 del tubo está conectado un multímetro, el cual registra los datos de mili voltaje que salen de la celda solar. En la figura 7 se encuentra el diseño del circuito utilizado en el experimento, en este se evidencia la conexión entre la bombilla y el dimmer para una corriente alterna y la conexión del multímetro en paralelo.



Figura 6. Montaje experimental

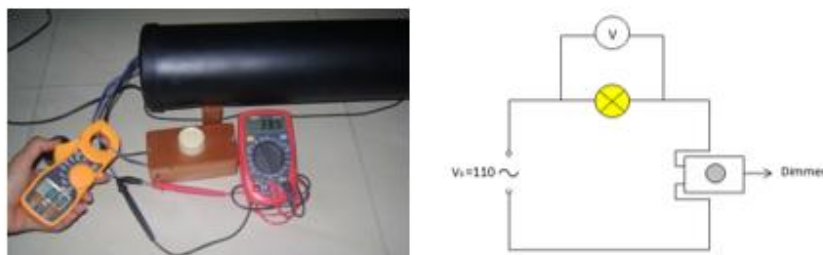


Figura 7. Diseño del circuito

Para determinar los datos, se conecta el enchufe a una toma corriente, en la figura 6 en la zona 1 del tubo se coloca el respectivo bombillo y el filtro de luz. Por medio del dimmer, se regula el

voltaje el cual aparece registrado en el multímetro, para conocer el valor de la corriente se toma la pinza amperimétrica evidenciada en la figura 7, se abre la pinza para que abrace el cable y así registrar el valor de la corriente, en la zona dos del tubo se determina el voltaje de la celda solar por medio del multímetro, para una descripción más óptima del experimento por favor diríjase al ANEXO1.

Con la intención de llevar experimentos al aula y pensando en la construcción de futuros montajes el presupuesto gastado fue de aproximadamente \$50.000 pesos. Este tipo de montajes hace que nos aproximemos hacia la ciencia y así observar desde otra postura que en la física moderna se puede construir montajes experimentales que pueden ser manipulados por cualquier persona interesada en aprender ciencia.

4.3. Obtención de la curva de calibración

El propósito de obtener la curva de calibración para las bombillas es corroborar si las lámparas incandescentes se comportan como un cuerpo negro, por lo tanto es necesario acudir a la teoría en específico a las expresiones (3.3), (3.5) y (3.6), del capítulo tres que van a permitir encontrar nuevos datos que al ser graficados, darán cuenta del fenómeno de radiación de cuerpo negro, para ello las gráficas $F1vs(1/T)$, $F2vs(1/T)$ permitirán relacionar la ecuación de Wien y la curva de calibración que se tiene como objeto de estudio será la de $\ln(r)$ vs $1/T$ grafica que se obtendrá para bombillos de 60watts, 100watts y 150watts.

4.3.1. Bombilla de 60 Watts

Para determinar la respectiva curva de calibración, en la tabla 1, se encuentran los resultados experimentales para el bombillo de 60watts. En esta tabla se evidencia datos como la resistencia ambiente R_0 , la cual se determinó por medio del multímetro, otro valor obtenido fue el de la temperatura ambiente T_0 del cuarto hallada con una termocupla. Los datos de temperatura T (°K), la razón entre los dos filtros $r = F1 / F2$, el inverso de la temperatura $1/T$ y logaritmo natural

$\ln(r)$, son valores cuantitativos hallados, a partir de las expresiones matemáticas propuestas en el capítulo 3. Mientras datos como: voltaje, corriente y la medida del voltaje de la celda solar con los filtros de luz- F1:436nm y F2:546nm, son datos obtenidos en la práctica experimental.

Tabla 1. Datos experimentales para el bombillo de 60 watts

Bombilla: 60 Watts-110 voltios								
Distancia = 10cm								
R_0 :Resistencia ambiente (Ω) =17				T_0 (Temperatura ambiente)=295°K				
Voltaje (v)	Corriente (amp)	Resistencia (Ω)	Temperatura (K)	F1:436nm Voltaje1(mv)	F2:546nm Voltaje2(mv)	$r = F1 \ F2$	1/T	$\ln(r)$
40	0,23	173,91	2032,47	0,3	17	0,0176	0,0004920	-4,037
45	0,25	180,00	2091,34	0,5	20,7	0,0242	0,0004782	-3,723
50	0,26	192,31	2209,36	0,8	25	0,0320	0,0004526	-3,442
55	0,27	203,70	2317,49	1,1	29,5	0,0373	0,0004315	-3,289
60	0,29	206,90	2347,60	1,5	34	0,0441	0,0004260	-3,121
65	0,3	216,67	2439,25	1,9	38,8	0,0490	0,0004100	-3,017
70	0,31	225,81	2524,36	2,4	43,5	0,0552	0,0003961	-2,897
75	0,32	234,38	2603,61	3	48,2	0,0622	0,0003041	-2,777
80	0,33	242,42	2677,61	3,6	52,8	0,0682	0,0003735	-2,686
85	0,34	250,00	2746,88	4,2	57,2	0,0734	0,0003640	-2,611
90	0,36	250,00	2746,88	4,9	61,6	0,0795	0,0003640	-2,531
95	0,37	256,76	2808,36	5,6	65,3	0,0858	0,0003561	-2,456
100	0,38	263,16	2866,35	6,3	69	0,0913	0,0003489	-2,394
110	0,39	282,05	3036,14	7,5	76,2	0,0984	0,0003294	-2,318

Luego de haber determinado los datos, se procede a hallar la curvas entre F1:436nm VS 1/T y F2:546nm VS 1/T, obteniendo:

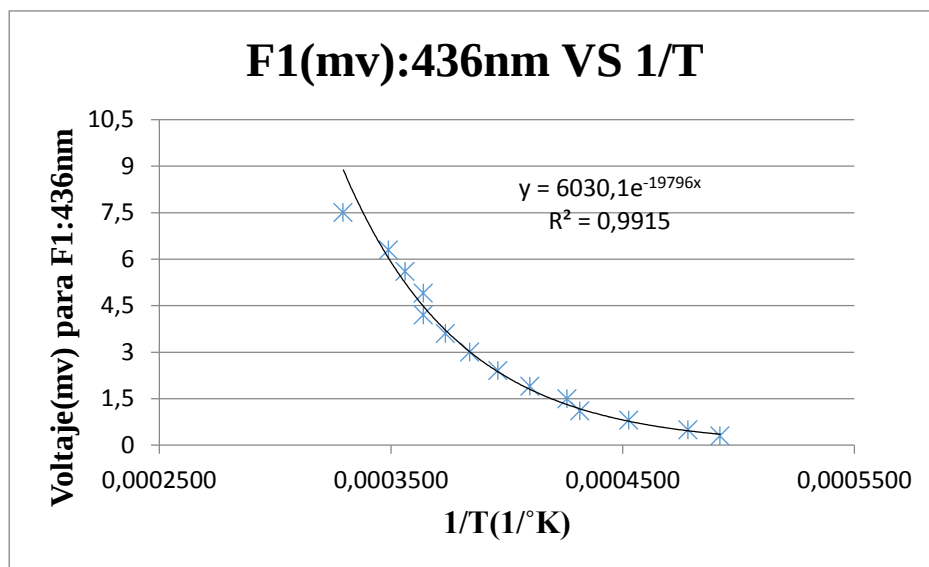


Grafico 1. Determinación de la curva de voltaje para el filtro 1 de 436nm contra el inverso de la temperatura.

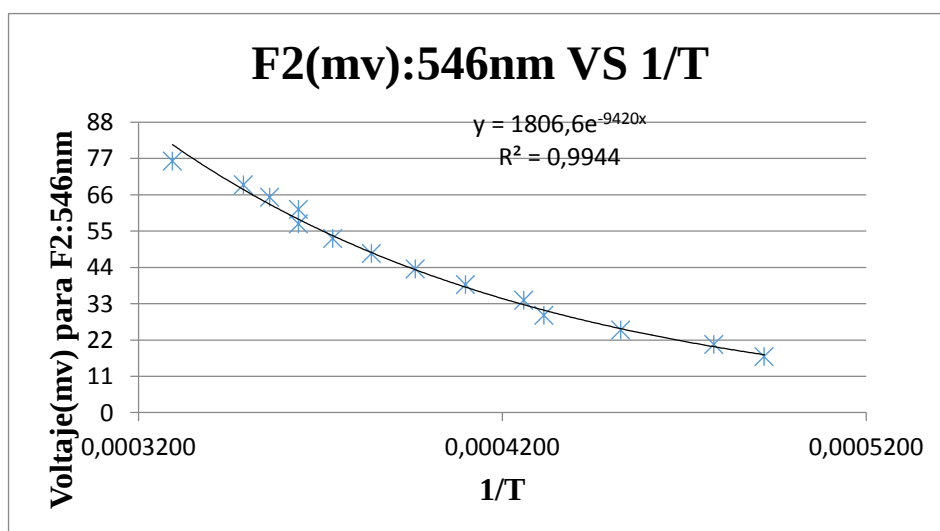


Grafico 2. Determinación de la curva de voltaje para el filtro 2 de 546nm contra el inverso de la temperatura.

El propósito de determinar estas dos curvas es relacionar la ecuación teórica de Wien, con la ecuación experimental que representa la curva, en donde

$$y = \frac{c_1}{\lambda^5} e^{-c_2 \lambda T}$$

La ecuación anterior es la propuesta por Wien. Retomando la expresión (3.5) del capítulo tres, la cual relaciona el parámetro H como la constante entre la razón de la longitud de onda de las dos señales de los filtros la expresión queda en términos de:

$$y = H e^{-\beta x}$$

Donde $\beta = c_2 \lambda$, esta expresión indica la constante de la ecuación general y $x = 1/T$ representa que se esta graficando en funcion del inverso de la temperatura expresado como x .

Ahora la ecuación obtenida en el experimento para el filtro de 436nm es $y_{f1} = 6030.1e^{-19796x}$ y para el filtro de 546nm es $y_{f2} = 1806.6e^{-9420x}$, al analizar y_{f1} y y_{f2} en función del inverso de la temperatura, se evidencia que existe una relación entre la curva experimental con la expresión teórica propuesta por Wien. Según lo anterior en el grafico 1 se observa que los puntos de dispersión obtenidos en el experimento se ajustan con la línea de tendencia que expresa la ecuación exponencial. Para corroborar esta información por medio del programa Excel se determinó el valor de R cuadrado que en este caso es de $R^2 = 0.9915$ este valor indica la relación que hay entre los ejes x y y , en donde al obtener un R aproximado a 1 indica que el ajuste de los datos con la línea de tendencia son coherentes con la teoría.

En el grafico 2 se observa que el valor del R cuadrado es $R^2 = 0.9944$, con este resultado se observa que es una excelente relación entre el filtro 2 y el inverso de la temperatura, ahora si se analizan los dos R se encuentra que para ambos filtros la relación con el inverso de la temperatura es del orden del 0.99, por lo tanto son graficas en las que los puntos de dispersión concuerdan adecuadamente con la función exponencial.

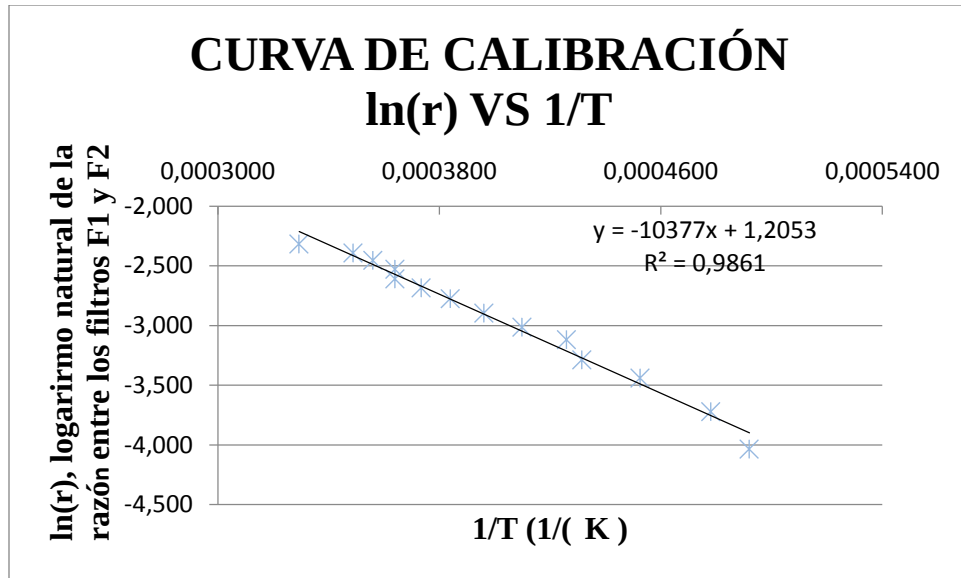


Grafico 3. Determinación de la curva de calibración para la bombilla de 60 Watts.

El Grafico 3, representa la curva de calibración entre el logaritmo natural de la razón entre los dos filtros y el inverso de la temperatura, se evidencia que los datos de dispersión tienden a formar una línea recta, para verificar estos datos, se determinó el R cuadrado cuyo valor es de 0.9861, como se había mencionada anteriormente este valor refleja la relación entre los dos ejes. La línea de tendencia y los puntos de dispersión representan una función lineal, la linealidad de este grafica indica que los filamentos de tungsteno se comportan como un cuerpo negro.

4.3.2. Bombilla de 100 Watts

Tabla 2. Datos experimentales para el bombillo de 100 watts

Bombillo: 100 Watts-110 voltios								
Distancia = 10cm								
R_0 :Resistencia ambiente (Ω) =10,8				T_0 (Temperatura ambiente)=295°K				
Voltaje (v)	Corriente (amp)	Resistencia (Ω)	Temperatura (K)	F1:436nm Voltaje1(mv)	F2:546nm Voltaje2(mv)	$r = F1 / F2$	1/T	Ln(r)
40	0,4	100,00	1871,03	0,7	26,7	0,0262	0,0005345	-3,641
45	0,43	104,65	1942,98	1,1	32,8	0,0335	0,0005147	-3,395

50	0,45	111,11	2042,02	1,5	39,3	0,0382	0,0004897	-3,266
55	0,48	114,58	2094,84	2,1	46,3	0,0454	0,0004774	-3,093
60	0,5	120,00	2176,71	2,9	53,2	0,0545	0,0004594	-2,909
65	0,52	125,00	2251,73	3,7	60,2	0,0615	0,0004441	-2,789
70	0,55	127,27	2285,65	4,6	67,1	0,0686	0,0004375	-2,680
75	0,57	131,58	2349,66	5,7	74,4	0,0766	0,0004256	-2,569
80	0,59	135,59	2409,01	6,7	81,2	0,0825	0,0004151	-2,495
85	0,61	139,34	2464,19	7,9	88,2	0,0896	0,0004058	-2,413
90	0,63	142,86	2515,64	9,1	94,6	0,0962	0,0003975	-2,341
95	0,64	148,44	2596,94	10,2	100,9	0,1011	0,0003851	-2,292
100	0,66	151,52	2641,55	11,3	106,8	0,1058	0,0003786	-2,246
110	0,7	157,14	2722,73	13,4	117	0,1145	0,0003673	-2,167

En la tabla 2 se encuentran los datos para la bombilla de 100watts, se analiza que la temperatura máxima alcanzada por el filamento de tungsteno de 2722 °K, para un voltaje de 110 voltios. Al medir los voltajes para los dos filtros de luz, el filtro de 546nm presenta unos valores altos en relación al primer filtro.

En el grafico 4 se obtuvo la curva para el filtro 1:436nm y el filtro 2:546nm, por lo tanto son dos curvas exponenciales, las cuales sus puntos de dispersión concuerdan con la línea de tendencia, para F1 el R al cuadrado es $R^2 = 0,9947$ y para F2 es $R^2 = 0,9968$, de los datos anteriores se infiere que hay una adecuada correlación entre los valores del voltaje para cada filtro y el inverso de la temperatura.

En la gráfica se aprecia el cambio de los valores en relación al filtro, eso quiere decir que para el filtro de menor longitud de onda en este caso el de 436nm el registro del voltaje es menor en comparación al voltaje obtenido con el filtro de 546nm, también se observa que la expresión matemática propuesta por Wien concuerda con la expresión determinada experimentalmente.

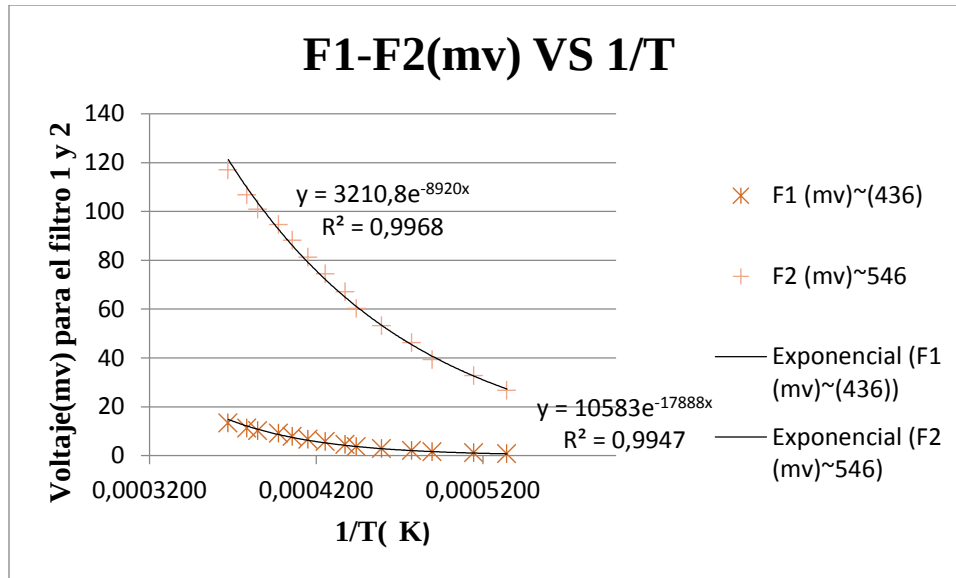


Gráfico 4. Determinación de la curva de voltaje para los dos filtros contra el inverso de la temperatura.

En el gráfico 5, se determinó la curva de calibración para la bombilla de 100watts, en esta grafica se obtuvo un $R^2 = 0,99$, eso quiere decir que la relación entre el inverso de la temperatura y la razón de los dos filtros es adecuada, se observa que la línea de tendencia concuerda con los datos de dispersión.

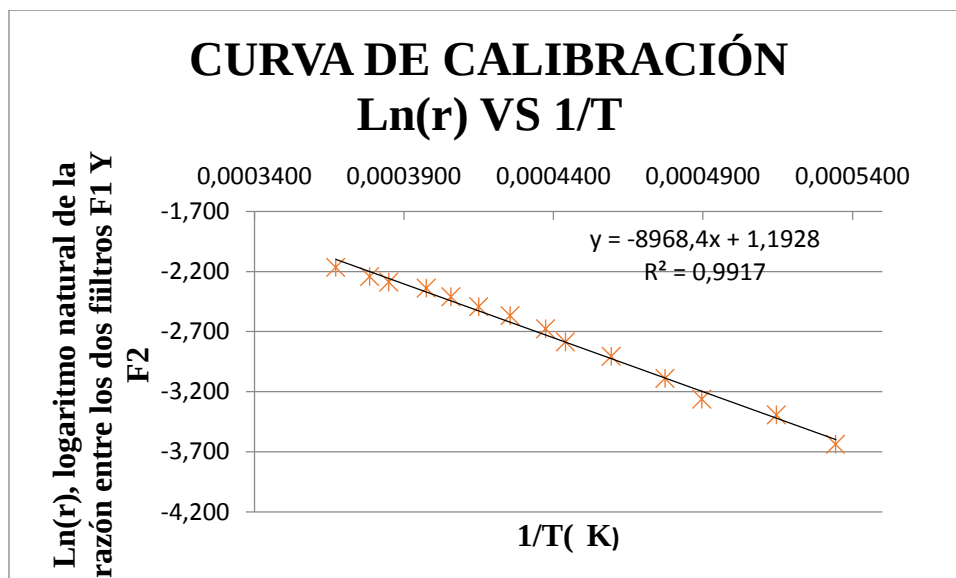


Gráfico 5. Determinación de la curva de calibración para la bombilla de 100 Watts.

4.4. INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el grafico 6 se encuentran todas las curvas de calibración para las bombillas de 60watts, 100 watts y 150 watts (ver apéndice D), para estos tres bombillos se evidencia que según la unidad de potencia las curvas de calibración van a ser diferentes. Para la bombilla de 60watts se registró una resistencia ambiente de 17Ω , mientras que para la bombilla de 150 watts se obtuvo una resistencia ambiente de 7Ω . La temperatura máxima alcanzada por la primer bombilla fue aproximadamente de $3000\text{ }^{\circ}\text{K}$, mientras que para la bombilla de 150watts fue aproximadamente de 2800°K , eso quiere decir que entre menor unidad de potencia va haber mayor resistencia por lo tanto la temperatura va a ser mayor.

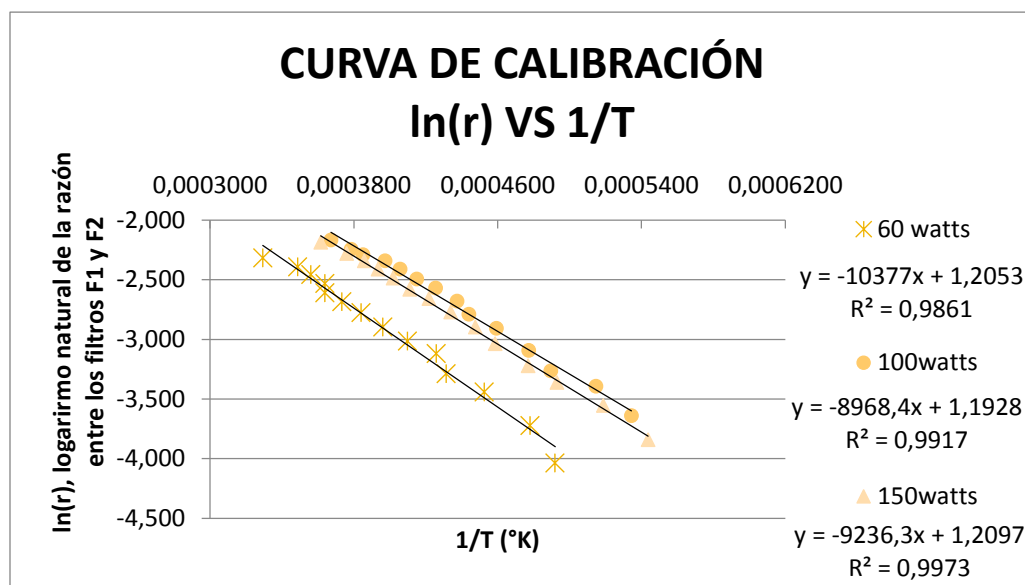


Grafico 6. Curva de calibración para los bombillos de 60 watts, 100 watts y 150 watts.

En el grafico 6 se observa que el mejor ajuste de la curva de calibración fue el de la bombilla de 150 watts con un R cuadrado de 0,9973, aunque alcanzo una temperatura máxima de $2.550\text{ }^{\circ}\text{K}$, los datos obtenidos de la razón de los dos filtros fueron los más estables al momento de realizar la medición.

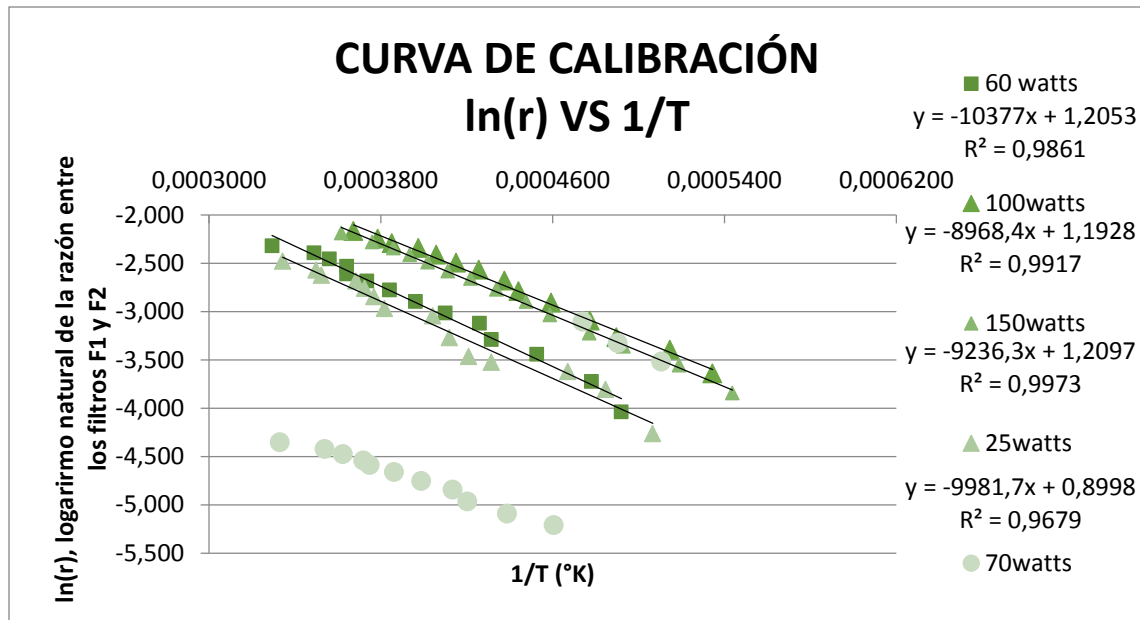


Grafico 7. Curva de Calibración General.

En el grafico 7 se realiza las curvas de calibración para las bombillas de 70watts que era halógena y 25watts, en la gráfica se evidencia que para el bombillo de 25 watts los datos de dispersión no siguen adecuadamente la línea de tendencia, sin embargo se tiene una relación de del 0,9679. Para el bombillo halógeno de 70watts, se obtuve un R cuadrado de 0,2 eso significa que no hay ninguna relación entre el inverso de la temperatura y la razón de los dos filtros (ver apéndice D).

Se decidió realizar el experimento con la bombilla halógena, porque tenían ciertas caracterizas similares a la bombilla incandescente, sin embargo se comprobó por medio de este experimento que este tipo de bombillos no se comportan como cuerpo negro.

Según los datos y la curva de calibración obtenidas se concluye que efectivamente estas bombillas de filamento de tungsteno se comportan como un cuerpo negro, por lo tanto la línea que se obtiene en la curva de calibración es la misma para un cuerpo negro a bajas longitudes de onda. En el anexo E esta un análisis de una posible aproximación a la constante de Planck.

4.5. PRIMER IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO.

Para analizar si los estudiantes de grado Décimo relacionaron experimento y teoría se planteó la siguiente pregunta –Según el análisis previo de las gráficas, las bombillas incandescentes se comportan como un cuerpo negro si_, no_. Justifique su respuesta-.

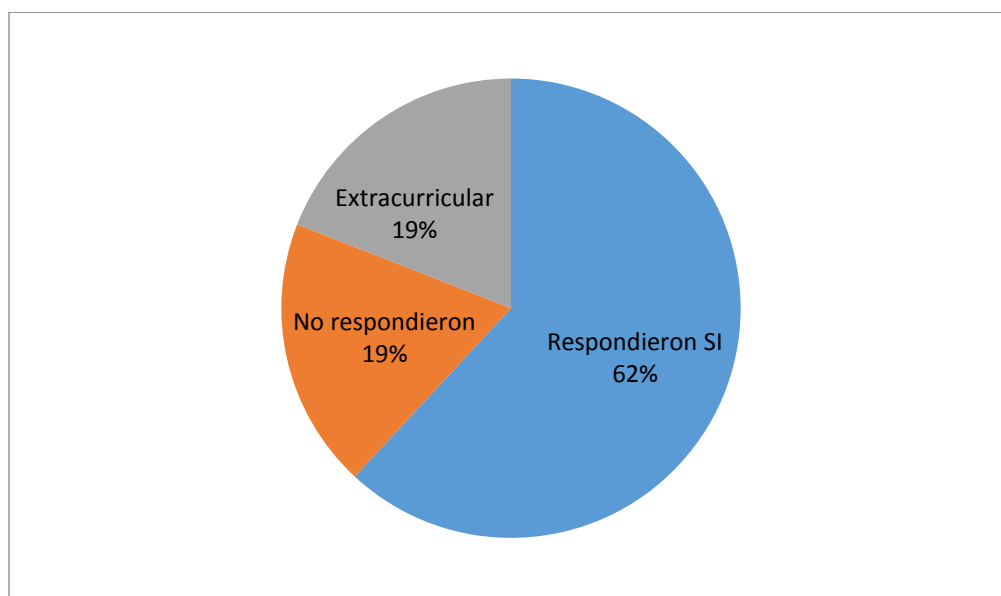


Ilustración 1. Porcentaje de estudiantes que relacionaron los datos obtenidos con la teoría.

En la ilustración 1 se evidencia el porcentaje de estudiantes que relacionaron los datos obtenidos en el experimento con la teoría de radiación de cuerpo negro, se observa que el 62% de los estudiantes respondieron (si) uno de los estudiantes argumento: *“Si, porque este tipo de bombillas tienen la cualidad de alcanzar altas temperaturas que permiten ser graficadas” Paula & Mateo.* El 19 % de los estudiantes aunque obtuvieron las gráficas no respondieron todas las preguntas, mientras el otro 19% por ciento no estuvieron en el proceso de recolección y análisis de datos por actividades extracurriculares.

Otra pregunta planteada fue ¿Con este montaje experimental es posible determinar la curva de radiación de cuerpo negro para una bombilla no incandescente? A lo cual un estudiante respondió:

“Con este montaje no es posible determinar la curva de radiación de cuerpo negro para una bombilla no incandescente porque no se tiene el filamento de tungsteno y ya que este hace que la bombilla se comporte como un cuerpo negro” Brandon & Nicolás

“Si es posible, Pero los cálculos variarían Demasiado a los nuestros, las Bombillas no incandescentes como los leds Producen menos watts con el mismo voltaje por lo tanto la longitud de onda será diferente” LLactu Indi

Según lo anterior en el análisis del grafico se evidencio que la mayoría de estudiantes relacionaban el fenómeno de radiación de cuerpo negro con las bombillas incandescentes. En la siguiente pregunta planteada se evidencio que el primer argumento el estudiante hizo una observación correcta a cerca del experimento, mientras tanto el otro estudiante argumento que los bombillos led podían ser cuerpos negros, es importante mencionar este tipo de respuestas porque permiten evidenciar las falencias del proceso que se está llevando con el módulo, sería interesante realizar el experimento con ese tipo de bombillos led para analizar el por qué estos no se comportan como un cuerpo negro

Estas fueron algunas de las preguntas que se plantearon según el experimento, estas respuestas no indican si los estudiantes entendieron o no lo hicieron. Este análisis permitió evidenciar que el 81% de los estudiantes determinaron la curva de calibración, aunque el 19% por ciento no respondió todas las preguntas aspecto que se debe analizar con más sesiones de clase, se concluye que llevar experimentos al aula relacionados con teorías de la física moderna genera que los estudiantes indaguen, se cuestionen y logren destacar la importancia de los datos cuantitativos a la luz de la teoría científica.

La descripción grafica de los resultados obtenidos en la implementación puede ser modificada a futuro, debido a que esta fue una primera implementación con tan solo tres sesiones de clase por lo tanto no se realizó un análisis riguroso de los alcances formativos que tenía el estudiante al momento de interactuar con el experimento. Sin embargo en la actividad propuesta se evidencio que hubo ciertos estudiantes que relacionaban estas bombillas con el fenómeno de estudio.

CONCLUSIONES

Con la construcción del montaje experimental se corroboró la curva de calibración entre el inverso de la temperatura y la razón de los filtros de 436nm y 546nm, con un R cuadrado de 0.99, mejor que el del artículo de Zanetti (1985), esto permitió demostrar que las bombillas incandescentes se comportan como un cuerpo negro, por lo tanto este experimento es un modelo apropiado al momento de reafirmar la teoría.

La curva de calibración obtenida entre el filtro y el inverso de la temperatura permitió evidenciar la relación de la ecuación de distribución de la radiación para longitudes de onda corta propuesta por Wien.

Este experimento es idóneo al momento de determinar el orden de magnitud de la constante de Planck, debido a que se obtuvo el coeficiente de determinación en un rango de 0,98 a 0,99, lo cual indica que la relación de las variables en x y y se adecuan a la línea de tendencia.

Desde el contexto de enseñanza-aprendizaje este montaje experimental sirve como una herramienta pedagógica permitiendo que los estudiantes interactúen con las bombillas incandescentes asociando conceptos propios de la física, por medio de la indagación, recolección y análisis de datos.

BIBLIOGRAFÍA

Abrahams, I. & Saglam.M,(2010). *A study of teachers views on practical work in secondary schools in England and wales*. International journal of science education. 6(32),753-768.

Alonso, M. & Finn, E.J. (1986). *Física volumen 3: Fundamentos Cuánticos y estadísticos*. Wilmington, Delaware, EUA: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A.

Agrawal, D.C., (2011). *The coiling Factor in the Tungsten Filament Lamps*. Lat. Am. J. Phys. Educ. 2(5) Recuperado el 30 de Agosto del 2014, de http://www.frvt.utn.edu.ar/pdfs/Citas_Bibliogr%C3%A1ficas_Normas_APA.pdf.

Bautista, G. (1990). Consideraciones acerca del experimento en la física. *Física y cultura*, 1(2), 1-10.

Bautista,G & Osorio,C. (2013). Diseño y construcción de un equipo experimental para el estudio de la radiación térmica (tesis de pregrado). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.

Eisberg, R & Resnick,R.(2001). *Física moderna, átomos, moléculas, solidos, núcleos y partículas*. Centro editorial: Limusa Wiley

Forsters, R (2009). Iluminación. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo [versión electrónica].España.<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/46.pdf><http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/46.pdf>

García, M. & Ewert J. (2003). *Introducción a la Física Moderna*. Bogotá: Centro editorial de la U. N. C.

Kaplan, I. (1970). *Física Nuclear*. Madrid (España): Aguilar S.A. de ediciones, Juan Bravo.

Leff, H.S., (2011). *Illuminating Physics With Light Bulbs*. *The Physics Teacher* January 1990. Recuperado el 4 de Septiembre del 2014, <http://www.csupomona.edu/~hsleff/tpt1990All.pdf>.

Malagón, J. (2012). Teoría y experimento una relación dinámica: implicaciones en la enseñanza de la física. *Física y cultura: cuadernillos sobre historias y enseñanzas de las ciencias*, (8),95-104.

Prasad, N. & Mascarenhas, R. (1978). A laboratory experimento in the application of Stefan's law to tungsten filament electric lamps. *American Journal of Physics Teachers*, 46(4), 420-423.

Romero, V. (2014). Radiación de cuerpo negro gas de fotones. Notas sobre termodinámica y física estadística, recuperado el 4 de Marzo de 2015, <http://www.fisica.unam.mx/personales/romero/TERMO2014/Radiacion-Cuerpo-Negro.pdf>

Sánchez, J.M. (2001). *Historia de la física cuántica*. Barcelona (España): Crítica, S.L.

Zalamea, E., Rodríguez, J. & Paris, R. (2001). *Física 10º*. Bogotá: Educar Editores.

Zanetti, V. (1985). Temperature of incandescent lamps. *American Journal of the Physics*, 53(6), 546-548.

Física Moderna:

Radiación de cuerpo negro y lámparas incandescentes

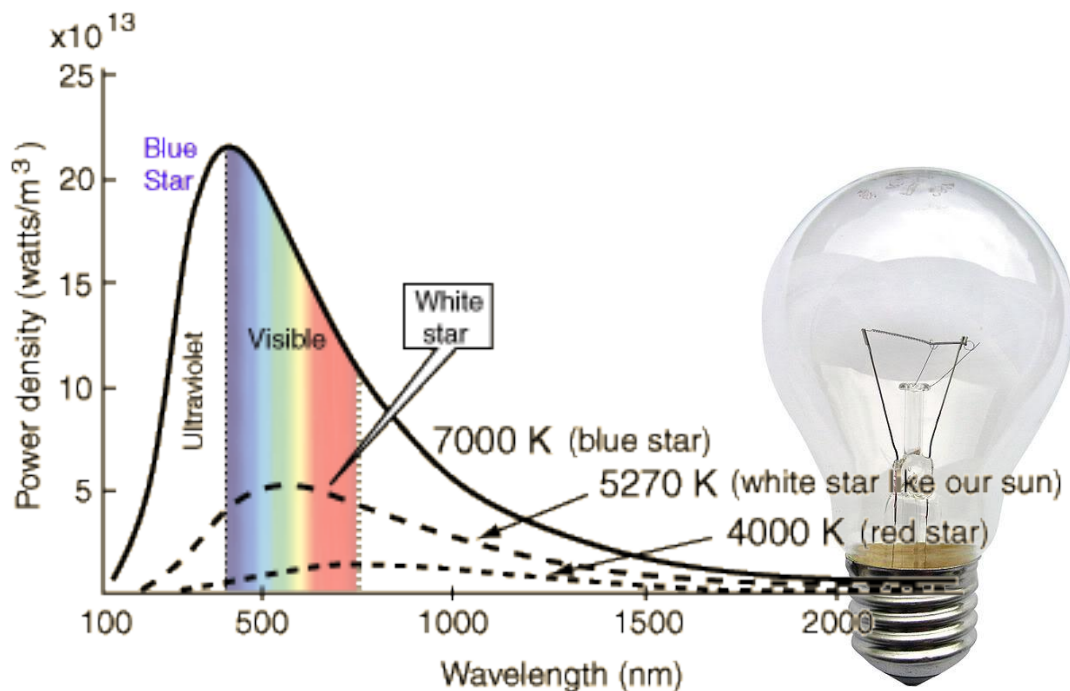


Imagen 1. Bombilla incandescente y curva de radiación de cuerpo negro, tomado de <http://fisica2bto.blogspot.com.co/2014/03/radiacion-de-cuerpo-negro.html> y http://www.7electric.es/index.php?id_category=28&controller=category

INTRODUCCIÓN

El módulo está orientado a la enseñanza de la física moderna, su propósito es ser un material de apoyo tanto para maestros como a estudiantes que pretendan estudiar el fenómeno de radiación de cuerpo negro, a partir de lámparas incandescentes.

Para lograr determinar los datos experimentales, es necesario que el estudiante reconozca el experimento, de tal forma que al manipular los instrumentos de medida ya conozca su funcionamiento. El objetivo del experimento es determinar la temperatura de una lámpara incandescente, por medio de dos filtros de luz con longitud de onda específica de 436nm y 546nm, se analizará la radiación emitida por la bombilla a la celda solar, con los datos obtenidos se trazará la curva de calibración entre el radio de las dos señales y la temperatura. (Vittorio, 1985)

La actividad experimental planteada en este módulo está orientada a los estudiantes del grado 10-2 del Instituto Pedagógico Nacional (IPN). El objetivo es afianzar y fortalecer los conceptos de los estudiantes respecto al fenómeno de radiación de cuerpo negro; para llevar a cabo dicho propósito, se utilizará el aprendizaje significativo en donde se relacionaran las ideas previas de los estudiantes a cerca de la física moderna con las nuevas ideas acerca del fenómeno de radiación de cuerpo negro.

Para el desarrollo apropiado de este módulo se destinará 3 sesiones de clases, organizadas así:

- Sesión 1: Contextualización Teórica y reconocimiento del experimento.
- Sesión 2: Laboratorio.
- Sesión 3: Análisis y socialización de los resultados obtenidos en la curva de calibración.

ORGANIZACIÓN DEL ESPACIO Y EL TIEMPO

a. SESIÓN NÚMERO 1

En la primera sesión se realizará una contextualización teórica del fenómeno de radiación de cuerpo negro, en donde se partirá desde los estudios planteados a cerca de la radiación térmica retomados por Wien hasta la formalización teórica propuesta por Max Planck.

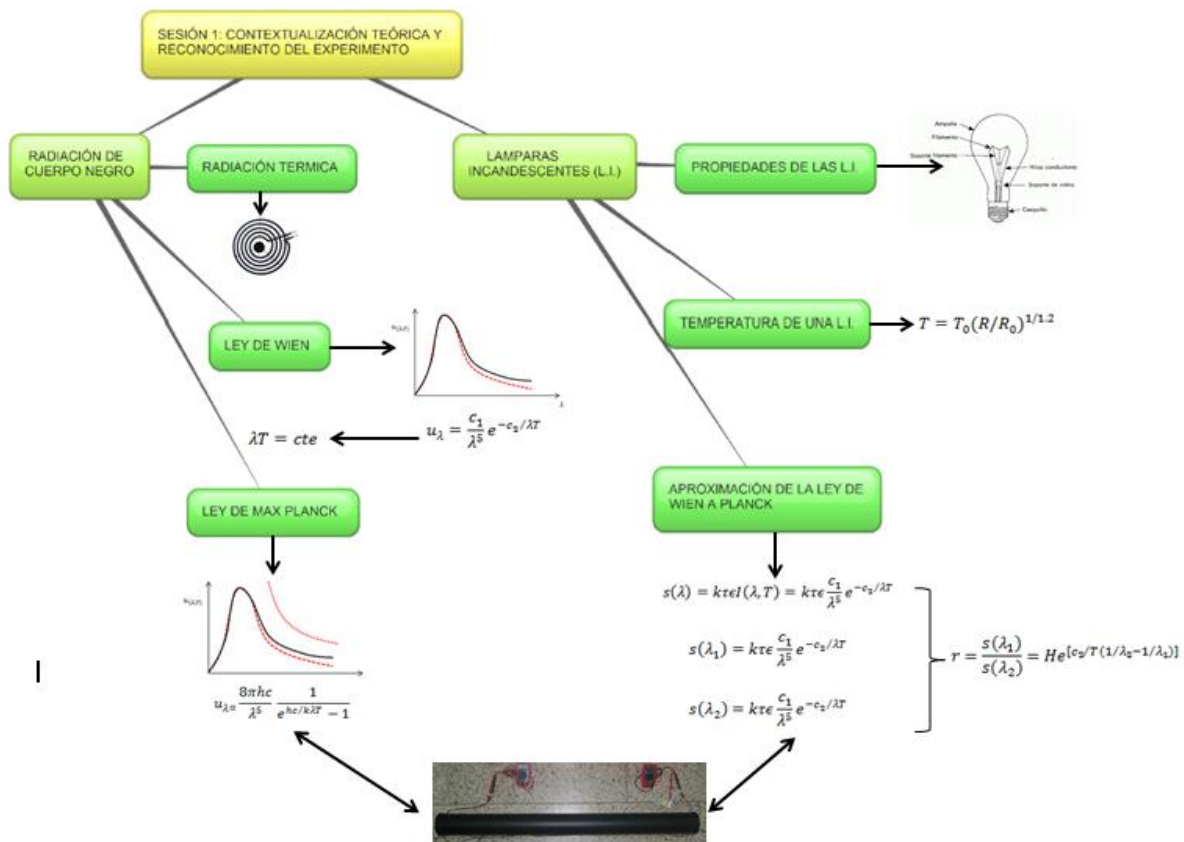


Imagen 2. Esquema teórico del fenómeno de radiación de cuerpo negro.

En la imagen 2 se evidencia el esquema propuesto para la clase magistral que se enseñará a los estudiantes de 10-2, en donde se hace una breve reconstrucción histórica de los científicos que llegaron a formalizar el concepto de radiación de cuerpo negro. Como segunda parte de la sesión de clase (mirar esquema) se estudiarán las bombillas incandescentes en donde se relacionará su filamento de Tungsteno con un cuerpo negro, para ello se cuestionará cómo determinar la temperatura de una bombilla, luego se acudirá a la teoría para explicar la aproximación de la ley

de Wien a Planck, a partir de las bombillas, y por último se hará el reconocimiento del experimento.

b. SESIÓN NÚMERO 2

Se recolectaran con los estudiantes los datos determinados en el experimento para las bombillas de 60watts y 150 watts, en donde se determinará el voltaje, corriente y la resistencia de la bombilla, para así hallar la temperatura de esta.

c. SESIÓN NÚMERO 3

En esta sesión se hallaran los datos por medio del programa Excel, en donde el estudiante almacenará y determinará ciertos valores que son necesarios para el análisis, también por medio de Excel se obtendrá la curva de calibración entre la temperatura y la razón de las señales. Con esta grafica ya se puede iniciar la correspondiente socialización de los datos obtenidos experimentalmente con la curva propuesta en la teoría y así concluir si los filamentos de tungsteno se comportan como un cuerpo negro.

LABORATORIO: Radiación de cuerpo negro

“La ciencia no puede resolver el ultimo misterio de la naturaleza. Y eso se debe a que, en última instancia, nosotros mismos somos una parte del misterio que estamos tratando de resolver.”

Max Planck

I. OBJETIVO

▪ General

Diseñar un experimento con lámparas incandescentes, donde se aproxime a los estudiantes al concepto de radiación de cuerpo negro

▪ Específicos

- ❖ Encontrar la temperatura de una lámpara incandescente, a partir de la resistividad del tungsteno.
- ❖ Obtener la curva de calibración entre la temperatura y la radiación emitida por la bombilla.
- ❖ Relacionar el uso de bombillas comerciales al concepto de radiación de cuerpo negro.

II. MATERIALES

- a.) 1 Tubo de PVC negro de 85 cm
- b.) 1 celda solar
- c.) 2 filtros de luz con longitud de onda específica (436nm y 546nm).
- d.) 2 Bombillos de 60 Watts y 100 Watts
- e.) 1 multímetro.
- f.) 1 Pinza Amperimétrica
- g.) 1 termómetro.
- h.) 1 Dimmer



Imagen 3. Materiales del montaje experimental

III. FUNDAMENTO TEORICO

Temperatura de lámparas incandescentes

Para determinar la temperatura se usará la expresión, conocida como ley de la resistencia del Tungsteno a una temperatura.

$$T = T_0(R/R_0)^{1/1.2} \quad (1)$$

Donde T_0 es la temperatura ambiente, R_0 es la resistencia de la bombilla a una temperatura ambiente y R es la resistencia eléctrica del filamento la cual se determinará según el voltaje y la corriente aplicada.

Aproximación de la ley de Wien a Planck

Utilizando la aproximación de la ley de Wien a Planck para una radiación a una temperatura T con emisión espectral ϵ , se obtiene la siguiente relación.

$$s(\lambda) = k\tau\epsilon I(\lambda, T) = k\tau\epsilon c_1 \lambda^{-5} e^{(-c_2/\lambda T)}$$

Donde $s(\lambda)$ es la señal de un detector principal, cuyo filtro de interferencia tiene un centro con longitud de onda λ , $I(\lambda, T)$ es el espectro de la radiación de cuerpo negro, c_1 y c_2 la primer y segunda constante de la ley de Planck, k el parámetro del detector y τ la transmitividad de la bombilla.

Tomando el ratio de las dos señales para las dos longitudes de onda λ_1 y λ_2 de la ecua, se obtiene

$$r = \frac{s(\lambda_1)}{s(\lambda_2)} = H e^{[c_2/T(1/\lambda_2 - 1/\lambda_1)]} \quad (2)$$

Donde H es considerado constante, de tal forma que al organizar y aplicar logaritmo se obtiene

$$\ln r = -c_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \frac{1}{T} + \ln H \quad (3)$$

Esta ecuación representa una línea recta, al graficar $\ln(r)$ vs $1/T$, esta grafica se determinará a partir de los datos obtenidos en el experimento

A. PROCEDIMIENTO

A. Reconocimiento del experimento

En la imagen 4. Se evidencia el montaje experimental, que consta de un tubo de PVC, el cual en su interior contiene un riel que desplaza una caja con una celda solar y un filtro de luz de una longitud específica. La caja se desplazará por medio de una cuerda, la cual está marcada cada 10cm. Los extremos del tubo están cerrados con dos tapones de un diámetro de 4 pulgadas, uno de esos tapones, se le adaptó una roseta para que pueda ser colocado el bombillo. El experimento será conectado a corriente alterna AC, por lo tanto fue necesario agregar al circuito un dimmer, con este dispositivo se podrá regular el voltaje y la corriente suministrada a la bombilla.

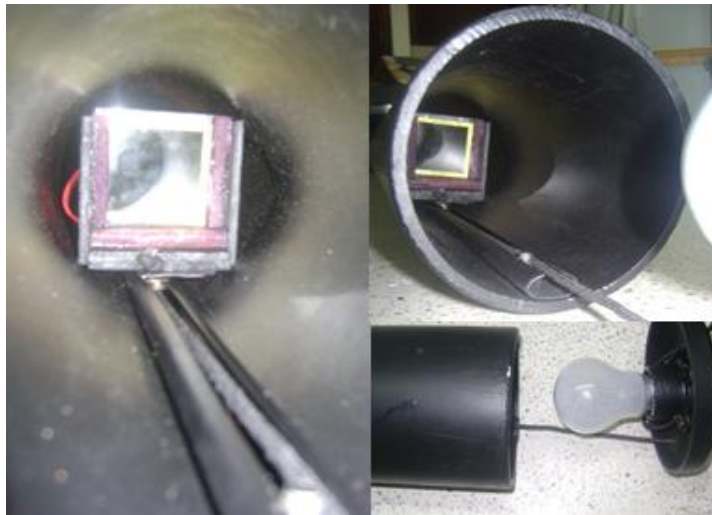


Imagen 4. Zona interna del tubo

El tubo de PVC de 85cm, presenta dos extremos. En la imagen 5 se observa que en la zona 1 se determina los datos de corriente y voltaje con un multímetro, este cierra el circuito entre la conexión de la bombilla y el dimmer. Al estar seguros que valores se tienen en el experimento, se debe adecuar la caja con el filtro de luz correspondiente, según la medida se ubicará el objeto en la zona interna del tubo de PVC. En la zona 2 del tubo se observa que sale un cable (el color indica la polaridad de la celda, negro:+, rojo:-), el cual está conectado a un multímetro, con este dispositivo se va a obtener los datos del voltaje que le llega a la celda.



Imagen 5. Esquema general del montaje.

B. Determinación de la temperatura de la bombilla

1. Como primer paso, tome el termómetro y mida la temperatura ambiente del cuarto y registre el dato en la tabla 1. Luego tome una de las bombillas y por medio de un multímetro mida la resistencia ambiente (sin suministro de corriente al bombillo) del filamento de tungsteno, registre el dato en la tabla 1.



Imagen 6. Determinar la resistencia ambiente

2. Conecte la toma a corriente alterna AC, según las distancias especificadas en la tabla, ubique la caja con el filtro de luz específico, encienda la bombilla y por medio del Dimmer gradúe el voltaje sugerido en la tabla 1 y 2, según el voltaje, mida el valor de la corriente con la pinza amperimétrica, luego por medio de la expresión $[R = V/I]$, determine la resistencia del filamento de tungsteno y registre los datos en la tabla.

En el otro lado del tubo coja el cable y conéctelo al multímetro y registre los valores de voltaje para la celda solar; con la misma medida de longitud, voltaje y corriente, Cambie el filtro y registre los datos en la tabla 1.

-Para determinar la temperatura utilice la expresión (1)

Tabla 1: Datos de bombillo 60 Watts

Bombilla#1: 60 Watts-110 voltios					
Distancia = 10cm					
R_0 : Resistencia ambiente (Ω) =					
Voltaje (v)	Corriente (amp)	Resistencia (Ω)	Temperatura (K)	F1:436nm	F2:546nm
				Voltaje 1(v)	Voltaje2(v)
40					
50					
60					
70					
80					
90					
100					

- Según el procedimiento descrito, registre los datos en la tabla 2, teniendo en cuenta que la bombilla a utilizar será de 100 Watts-120voltios

Tabla 2: Datos de bombillo de 150 watts.

Bombilla#2: 150 Watts-110 voltios					
Distancia = 10cm					
R_0 : Resistencia ambiente (Ω) =					
Voltaje (v)	Corriente (amp)	Resistencia (Ω)	Temperatura (K)	F1:436nm	F2:546nm
				Voltaje 1(v)	Voltaje2(v)
40					
50					
60					
70					

80					
90					
100					

RECOMENDACIÓN:

Para registrar las medidas del voltaje de la celda solar, se recomienda adecuar el montaje y tomar todas las medidas tan solo para el primer filtro, luego de haber registrado los datos, cambie el filtro y registre los nuevos datos, esto con el propósito de agilizar la práctica experimental.

C. Obtención de la curva de calibración

La curva de calibración que se pretende obtener es r vs T , donde r indica el radio de las dos señales para las dos longitudes de onda, para determinar r se retoman los valores obtenidos en el experimento indicados en la tabla 1.

F1:436nm	F2:546nm
Voltaje 1(v)	Voltaje2(v)

Con los valores anteriores, se retoma la expresión

$$r = \frac{s \lambda_1}{s(\lambda_2)}$$

Donde $s \lambda_1$ son los datos obtenidos para el filtro 1 de 436nm y $s(\lambda_2)$ son los datos del filtro 2 de 546nm, para cada valor se realiza el cociente entre el filtro 1 y filtro 2 y se obtiene r , registre los valores en la siguiente tabla.

Tabla 3: Datos

F1:436nm	F2:546nm	r
Voltaje 1(v)	Voltaje2(v)	F1/F2

Con los datos r y T grafique r vs T

r	Temperatura (K)
F1/F2	

Luego de haber graficado r vs T , aplique logaritmo natural a r y el inverso de la temperatura a los datos obtenidos

$\ln(r)$	Temperatura (K) $1/T$
F1/F2	

Con los datos anteriores grafique $\ln(r)$ vs $1/T$

B. PREGUNTAS

- ¿Qué variación obtuvo en el voltaje al cambiar el filtro de luz? ¿fue mayor o menor el voltaje? ¿Por qué?
- ¿Piensa usted que la curva de calibración determinada en el experimento, evidencia la existencia del fenómeno de radiación de cuerpo negro?
- ¿Qué sucede si se usa filtros con longitud de onda entre 200nm a 400 nm?
- ¿Con este montaje experimental es posible determinar la temperatura de una bombilla no incandescente? ¿por qué?
- ¿Qué diferencia encuentra entre las graficas $\ln(r)$ vs $1/T$ y r vs T ? ¿Qué puede concluir a cerca de esta dos graficas?

C. CONCLUSIONES

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

D. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

LABORATORIO: Radiación de cuerpo negro



"La ciencia no puede resolver el último misterio de la naturaleza. Y eso se debe a que, en última instancia, nosotros mismos somos una parte del misterio que estamos tratando de resolver."

Max Planck

NOTA

A. Determinación de la temperatura de la bombilla

1. Como primer paso, tome el termómetro y mida la temperatura ambiente del cuarto y registre el dato en la tabla 1. Luego tome una de las bombillas y por medio de un multímetro mida la resistencia ambiente (sin suministro de corriente al bombillo) del filamento de tungsteno, registre el dato en la tabla 1.

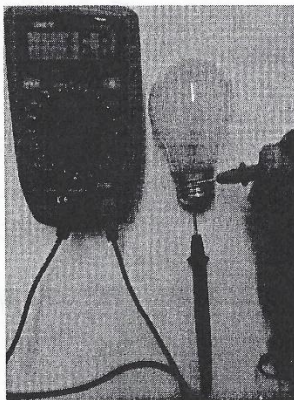


Figura 1. Registro de la temperatura ambiente de la bombilla.

2. conecte la toma a corriente alterna AC, según las distancias especificadas en la tabla, ubique la caja con el filtro de luz específico, encienda la bombilla y por medio del Dimmer gradúe el voltaje sugerido en la tabla 1 y 2, según el voltaje, mida el valor de la corriente con la pinza amperimétrica, luego por medio de la expresión $[R = V/I]$, determine la resistencia del filamento de tungsteno y registre los datos en la tabla.

En el otro extremo del tubo conecte los cables al multímetro y registre los valores de voltaje para la celda solar; con la misma medida de longitud, voltaje y corriente, Cambie el filtro y registre los datos en la tabla 1.
-Para determinar la temperatura utilice la expresión

$$T = T_0(R/R_0)^{1/1.2}$$

Resistencia ambiente
 $T = T_0(R/R_0)^{0.23}$

298°K

Tabla 1

Bombilla#1: 60 Watts-110 voltios					
Distancia = 10cm					
R_0 : Resistencia ambiente (Ω) = 16.7 Ω					
Voltaje (v)	Corriente (amp)	Resistencia (Ω)	Temperatura (K)	F1:436nm Voltaje 1(v)	F2:546nm Voltaje2(v)
40	0,22 amp	181,818 Ω	2162,022°K	0,4 mV	19,1 mV
50	0,25 amp	200 Ω	2340,003°K	0,9 mV	26,5 mV
60	0,28 amp	214,285 Ω	2477,905°K	1,5 mV	34,1 mV
70	0,31 amp	225,806 Ω	2587,986°K	2,3 mV	42,1 mV
80	0,33 amp	242,424 Ω	2745,107°K	3,3 mV	50,4 mV
90	0,36 amp	250 Ω	2816,121°K	4,4 mV	58,6 mV
100	0,38 amp	263,157 Ω	2938,506°K	5,4 mV	65,2 mV

- Según el procedimiento descrito, registre los datos en la tabla 2, teniendo en cuenta que la bombilla a utilizar será de 150 Watts-110voltios

Tabla 2

Bombilla#2: 150 Watts-110 voltios					
Distancia = 10cm					
R_0 : Resistencia ambiente (Ω) = 7.1 Ω					
Voltaje (v)	Corriente (amp)	Resistencia (Ω)	Temperatura (K)	F1:436nm Voltaje 1(v)	F2:546nm Voltaje2(v)
40	0,61 amp	65,573 Ω	1886,051°K	1,1 mV	50 mV
50	0,70 amp	71,428 Ω	2024,802°K	2,3 mV	72,8 mV
60	0,73 amp	77,922 Ω	2176,455°K	3,9 mV	95,4 mV
70	0,89 amp	78,651 Ω	2193,342°K	5,9 mV	112,8 mV
80	0,91 amp	87,912 Ω	2405,646°K	8,3 mV	140,5 mV
90	0,97 amp	92,783 Ω	2515,768°K	11,8 mV	167,1 mV
100	1,02 amp	98,039 Ω	2635,497°K	14,5 mV	180,5 mV

La longitud de onda es diferente, conforme cambia el lente
Voltage / Corriente

RECOMENDACIÓN:

1. Para registrar las medidas del voltaje de la celda solar, se recomienda adecuar el montaje y tomar todas las medidas tan solo para el primer filtro, luego de haber registrado los datos, cambie el filtro y registre los nuevos datos, esto con el propósito de agilizar la práctica experimental.

B. Obtención de la curva de calibración

La curva de calibración que se pretende obtener es r vs T , donde r indica el radio de las dos señales para las dos longitudes de onda, para determinar r se retoman los valores obtenidos en el experimento indicados en la tabla 1.

F1:436nm	F2:546nm
Voltaje 1(v)	Voltaje2(v)
0,4 mV	79,1 mV
0,9 mV	26,5 mV
1,5 mV	34,7 mV
2,3 mV	42,7 mV

Con los valores anteriores, se retoma la expresión

$$r = \frac{s(\lambda_1)}{s(\lambda_2)}$$

Donde $s(\lambda_1)$ son los datos obtenidos para el filtro 1 de 436nm y $s(\lambda_2)$ son los datos del filtro 2 de 546nm. Para cada valor se realiza el cociente entre el filtro 1 y filtro 2 y se obtiene r , registre los valores en la siguiente tabla.

Tabla 3

F1:436nm	F2:546nm	r
Voltaje 1(v)	Voltaje2(v)	F1/F2
0,4 mv	19,1 mv	0,0209
0,9 mv	26,5 mv	0,0339
1,5 mv	34,7 mv	0,0439
2,3 mv	42,7 mv	0,0546

Con los datos r y T grafique r vs T

r	Temperatura (K)
F1/F2	
0,0209	2162,0220K
0,0339	2340,0030K
0,0439	2477,9050K

Luego de haber graficado r vs T , aplique logaritmo natural a r y el inverso de la temperatura a los datos obtenidos

$\ln(r)$	Temperatura (K)
F1/F2	1/T
-1,6789	0,000462530K
-1,47	0,000427340K
-1,36	0,000403560K

Con los datos anteriores grafique $\ln(r)$ vs $1/T$

A. PREGUNTAS

- ¿Qué evidencio en el voltaje al cambiar el filtro de luz de 436nm a 546nm? ¿fue mayor o menor el voltaje? ¿Por qué?
Hay mayor voltaje en el filtro 2 (546nm) ya que es más largo para mayor longitud de onda.
- ¿Piensa usted que la curva de calibración determinada en el experimento, evidencia la existencia del fenómeno de radiación de cuerpo negro?
Si, ya que en la grafica podemos ver que la curva de calibración es recta.
- ¿Con este montaje experimental es posible determinar la curva de radiación de cuerpo negro para una bombilla no incandescente? ¿por qué? No, ya que cambiarían los datos.
- ¿Qué diferencia encuentra entre las graficas $\ln(r)$ vs $1/T$ y r vs T ?
¿Qué puede concluir a cerca de estas dos graficas?
Podemos deducir que en la grafica $r(F1/F2)$ es positiva con la respectiva temperatura, mientras que la grafica $\ln(r)$ sus componentes como la temperatura son negativas.

- ¿Qué diferencia hubo en los datos obtenidos para la bombilla de 60Watts y 150 Watts? *Que en todos los datos aumentan su valor*
- Según el análisis previo de las gráficas, las bombillas incandescentes se comportan como un cuerpo negro *si*, no justifique su respuesta.

B. CONCLUSIONES

Con el experimento y también gracias a la ayuda del programa de excel podemos verificar y demostrar la teoría de cuerpo negro. En este caso con las bombillas de 60 watts y 150 watts

C. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

3. Bibliografía

Zanetti, V. *Temperature of incandescent lamps*. American Association of Physics Teachers. Am. J. Phys.53 (6) June (1985), 546-548.

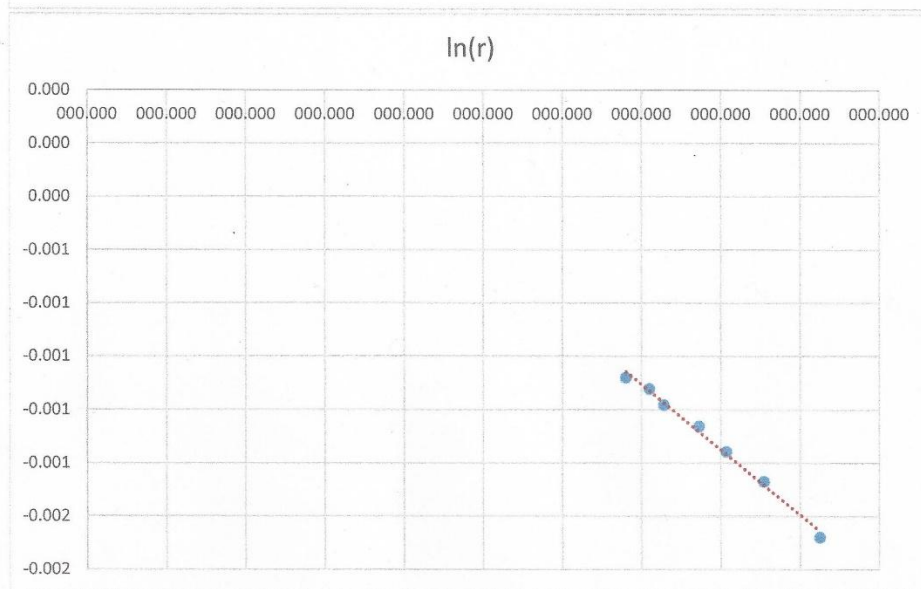
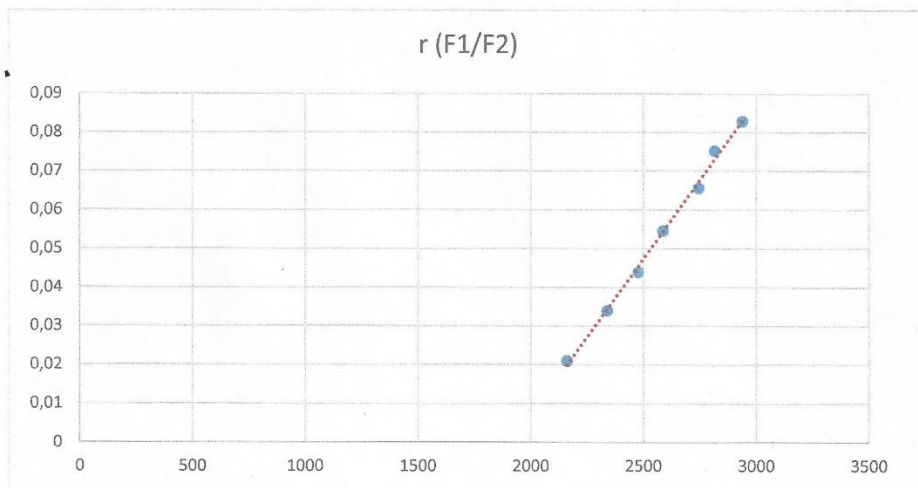
García, M. y Ewert J. (1987). *Introducción a la Física Moderna*. 1era Edición. Bogotá: Centro editorial de la U. N. C.

Leff, H.S., (19June 2011). *Illuminating Physics With Light Bulbs*. *The Physics Teacher* January 1990. Recuperado el 4 de Septiembre del 2014, <http://www.csupomona.edu/~hsleff/tpt1990All.pdf>.

Alonso, M. y Finn, E.J. (1986). *Física volumen 3: Fundamentos Cuánticos y estadísticos*. Wilmington, Delaware, EUA: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A.

Temperatura	r (F1/F2)	1/T	ln(r)
2162,022	0,0209	0,00046	-1,680
2340,003	0,0339	0,00043	-1,470
2477,905	0,0439	0,00040	-1,358
2587,986	0,0546	0,00039	-1,263
2745,107	0,0655	0,00036	-1,184
2816,124	0,0751	0,00036	-1,124
2938,596	0,0828	0,00034	-1,082

Juan Sebastian Camacho
David Esteban Urguijo 1002°



APÉNDICE

APÉNDICE A: LEY DE STEFAN-BOLTZMANN

En 1878 J. Stefan y L.E. Boltzmann determinaron una expresión matemática cuyo propósito era hallar la energía total que radiaba un cuerpo negro por unidad de área y tiempo, para explicar el desarrollo detallado acudieron a los principios de la termodinámica (García & Ewert, 2003).

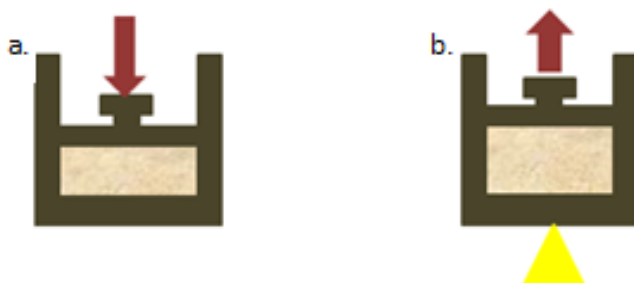


Figura 8. Primera ley de la termodinámica. (La imagen 8 a. no tiene suministro de calor y su pistón es empujado. 8 b. Se evidencia un suministro de calor y su pistón no es empujado).

Consideremos un gas dentro de un cilindro cerrado por un pistón móvil. En la figura 8 a, se evidencia que al comprimir el gas hay un cambio de volumen, causando que la energía cinética interna, la presión y la temperatura aumenten. Según lo anterior se concluye “que la energía interna total de un gas aumenta, si sobre el gas se efectúa trabajo mecánico o si recibe energía calorífica” (Zalamea, Rodríguez & París, 2001, Pág.213).

En la figura 8 b. se observa que se está suministrando calor al sistema, pero al quitar el fuego inmediatamente el gas comprimido en el cilindro comenzará a expandirse de tal forma que ejercerá trabajo sobre el pistón y cederá energía calorífica. Este caso explica el principio de conservación de la energía y es la base fundamental de la primera ley de la termodinámica, la cual es expresada matemáticamente como:

$$dQ = dU + dW \quad (2.11)$$

Donde dQ es el calor suplido al sistema, dU es la energía interna del gas y dW es el trabajo realizado, si se sustituye dW por $p dV$ en el cual p es la presión y dV es el cambio de volumen, la ecuación (2.11) queda expresada como:

$$dQ = dU + p dV \quad (2.12)$$

Se evidencia que la ecuación (2.12) queda en términos del trabajo en función de la presión y el cambio de volumen. Después de haber recurrido a la primera ley de la termodinámica, Boltzmann, nota la necesidad de recurrir a la segunda ley, que estudia la entropía, expresada como:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (2.13)$$

Donde dS es la entropía del sistema, y T es la temperatura absoluta.

Para ello es necesario las siguientes ecuaciones $U = uV$ y $p = \frac{u}{3}$ en el cual u depende solo de la temperatura y representa la densidad de energía, mientras tanto términos como $u = \frac{4\pi c}{15} \int_0^\infty J_\nu d\nu$, y $J_\nu = B_\nu(T)$, que indican la radiación de emisión de un cuerpo a una temperatura (Romero, 2010). Para el siguiente proceso se retomará la ecuación (2.13) y se reemplaza en la ecuación (2.12), dejándola en términos de dS :

$$dS = \frac{1}{T} dU + \frac{p}{T} dV \quad (2.14)$$

Reemplazando en (2.14) p y U , por $U = uV$, $p = \frac{u}{3}$ se obtiene.

$$dS = \frac{1}{T} d(u, V) + \frac{1}{3} \frac{u}{T} dV \quad (2.15)$$

La ecuación (2.15), queda en términos (u, V) y se resuelve como la derivada de un producto:

$$dS = \frac{V}{T} \frac{du}{dT} dT + \frac{u}{T} dV + \frac{1}{3} \frac{u}{T} dV, \quad (2.16)$$

Simplificando la expresión (2.16) se obtiene:

$$dS = \frac{V}{T} \frac{du}{dT} dT + \frac{4u}{3T} dV$$

Con el diferencial dS obtenemos dos expresiones con relación a dT y a dV

$$\frac{\partial S}{\partial T}_v = \frac{V}{T} \frac{du}{dT} \quad \frac{\partial S}{\partial V}_T = \frac{4u}{3T} \quad (2.17)$$

Multiplicamos directamente los términos de la ecuación (2.17)

$$\frac{d^2 S}{dV dT} = \frac{1}{T} \frac{du}{dT} = -\frac{4u}{3T^2} + \frac{4}{3T} \frac{du}{dT},$$

Luego se obtienen los dos términos en función de la temperatura y la energía

$$\frac{du}{dT} = \frac{4u}{T}, \quad \frac{du}{u} = 4 \frac{dT}{T}$$

Retomamos el término obtenido $\frac{du}{u}$, y resolvemos la integral.

$$\int_{u_0}^u \frac{du}{u} = 4(\log u - \log u_0) \quad (2.18)$$

En la ecuación (2.18) la solución de la integral queda en términos de logaritmo natural, para ello se expresara en términos de la temperatura quedando como:

$$4 \int_{T_0}^T \frac{dT}{T} = 4(\log T - \log T_0)$$

$$\log u = 4 \log T + \log a, \quad (2.19)$$

APÉNDICE B: LEY DE RAYLEIGH-JEANS

Los científicos J. W. Rayleigh y J. H. Jeans, desarrollaron una fórmula de distribución de energía radiada por un cuerpo negro. Tomaron como ejemplo un rectángulo, con paredes metálicas, que en su interior contenía ondas electromagnéticas estacionarias, de tal forma que al chocar con las paredes las ondas formarían nodos, el propósito era calcular el número de ondas con una frecuencia entre ν y $\nu + d\nu$, obteniendo la siguiente expresión:

$$N_{\nu} d\nu = \frac{8\pi\nu^2 d\nu}{c^3} \quad (2.20)$$

Retomando la expresión de energía media de un oscilador $\epsilon = kT$, donde k es la constante de Boltzmann se obtiene:

$$u_{\nu} d\nu = N_{\nu} \epsilon d\nu = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3} d\nu, d\nu = c \lambda^2 d\lambda \quad (2.21)$$

La Ecuación (2.21) fue determinada por Rayleigh-Jeans, quienes a partir de sus consideraciones lograron postular una fórmula en términos de la frecuencia, que también puede expresarse en términos de la longitud de onda, si se tienen en cuenta que $d\nu = c \lambda^2 d\lambda$, se escribe

$$u_{\lambda} = \frac{8\pi kT}{\lambda^4} d\lambda \quad (2.22)$$

La expresión anterior es “la fórmula de Rayleigh-Jeans, se adapta a longitudes de onda largas, donde la intensidad de la radiación aumenta con el cuadrado de la frecuencia” (García & Ewert, 2003, Pág.75). Sin embargo para frecuencias altas la fórmula no es apropiada.

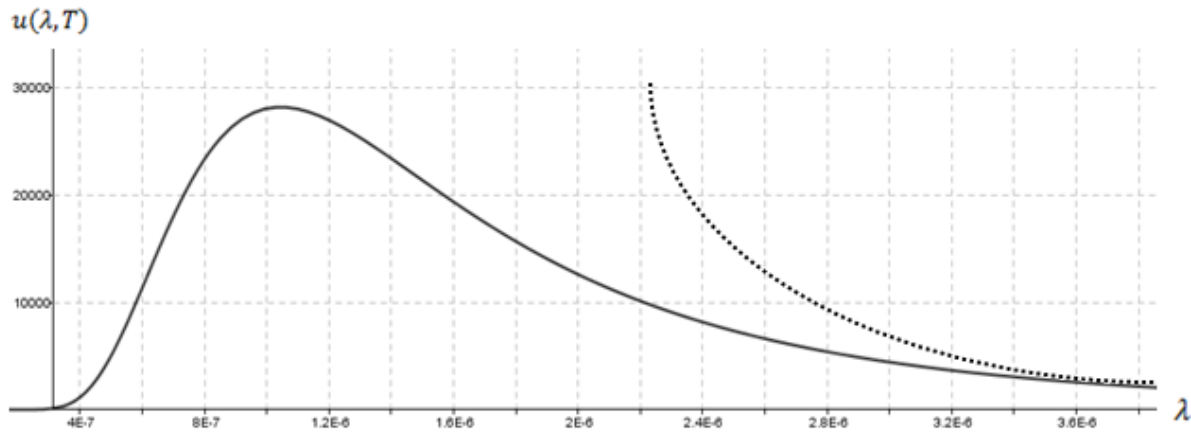


Figura 9. Comparación entre la curva de Rayleigh-Jeans (.....) y la curva experimental (-)

En la figura 9 se observa una notoria diferencia entre la curva experimental y la curva de Rayleigh-Jeans, se evidencia que la curva a trozos es adecuada para longitudes de onda largas, sin embargo al incrementar la frecuencia hay una discrepancia con la curva experimental, por lo tanto esos resultados no son apropiados para longitudes de onda corta y frecuencias altas, a esto se le denomina como catástrofe ultravioleta, porque es imposible que se produzcan energías tan elevadas en un cuerpo negro y ultravioleta porque es en esta zona del espectro electromagnético donde fallan los resultados.

APÉNDICE C: LEY DE MAX PLANCK

Para Max Planck haber determinado la expresión de distribución de energía fue simple, debido a que sus estudios e investigaciones siempre fueron proyectados hacia el campo de la termodinámica, rama de la ciencia en la que los científicos de la época no miraban con relevancia, porque consideraban que ya todo estaba explicado en este campo. Planck retoma los trabajos de Wien y Rayleigh-Jeans y evidenció que ambos le atribuían al fenómeno de radiación de cuerpo negro, explicaciones electrodinámicas, considerando el comportamiento dentro de la cavidad como osciladores que interactuaban con ondas electromagnéticas, irónicamente Planck desde el campo de la termodinámica, encontró una relación al fenómeno de estudio, el asocio la energía del oscilador con la entropía y no con la temperatura como muchos científicos lo habían realizado. Luego de haber establecido esta condición, procedió a la realización de sus cálculos; para esto relacionó la ecuación de distribución de energía radiada en términos del oscilador, a la energía de la radiación para los dos tipos de frecuencias expresando:

$$u_{\nu, T} = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} U(\nu, T) \quad (2.23)$$

Donde $U(\nu, T)$ representa la energía radiada del resonador. Planck retoma la función $U(\nu, T)$. Al haber asociado el fenómeno de radiación con la entropía, la expresa como:

$$\frac{\partial S}{\partial U} = \frac{1}{T} \quad (2.24)$$

Al diferenciar la expresión (2.24) se obtiene

$$\frac{\partial^2 S}{\partial U^2} = -\frac{1}{T^2} \frac{\partial T}{\partial U}$$

Con la relación anterior Planck encuentra que

$$\frac{\partial^2 S}{\partial U^2} \propto -\frac{1}{U} - \frac{1}{U^2} \quad (2.25)$$

La ecuación (2.25) indica que $\frac{\partial^2 S}{\partial U^2}$ la segunda derivada parcial de la entropía con respecto a la energía era proporcional a $-\frac{1}{U}$ para temperaturas altas y $-\frac{1}{U^2}$ para temperaturas bajas, con este argumento Planck propone una expresión que da cuenta de los dos límites y obtiene:

$$\frac{\partial^2 S}{\partial U^2} \propto -\frac{1}{U(a + U)} \quad (2.26)$$

La expresión (2.26) indica la consistencia entre los dos límites, en el que para altas temperaturas la constante a se desprecia y para bajas temperaturas la energía también, así logrando expresar una ecuación que admita los dos límites de temperatura. Realizando algunos cálculos se obtiene:

$$u_{\nu, T} = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Con la hipótesis expuesta Planck encuentra la ley de distribución para la energía radiada por un cuerpo negro, la ecuación anterior esta en términos de la frecuencia. Para expresarla en términos de la longitud de onda se reemplaza $\nu = c/\lambda$ consiguiendo:

$$u_{\lambda} = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{k\lambda T}} - 1} \quad (2.27)$$

En donde h es la constante de Planck. La expresión (2.27) es la denominada ley de la distribución de la radiación térmica en función de la longitud de onda obtenida por Planck. Si se relaciona la ecuación (2.27) con la (2.9) propuesta por Wien, se evidencia que aparentemente ambas coinciden, pero hay una diferencia en la (2.27), aparece el número -1, que le da la cualidad de adaptarse a frecuencias largas y cortas, mientras la expresión propuesta por Wien carecía de este término. Se concluye que la ley de distribución planteada por Planck predice correctamente los resultados teóricos por Rayleigh-Jeans y Wien y los resultados experimentales propuestos por Lummer y Pringsheim.

APÉNDICE D: DATOS PARA LA BOMBILLA DE 25 WATTS, 70 WATTS Y 150 WATTS

Bombilla de 25Watts

Tabla 3. Datos para el bombillo de 25 Watts.

Bombilla:25 Watts-110 voltios								
Distancia = 10cm								
R_0 :Resistencia ambiente (Ω) =27				T_0 (Temperatura ambiente)=295°K				
Voltaje (v)	Corriente (amp)	Resistencia (Ω)	Temperatura (K)	F1:436nm	F2:546nm	r = $F1$ $F2$	1/T	Ln(r)
				Voltaje1(mv)	Voltaje2(mv)			
40	0,15	266,67	1973,99	0,1	7,1	0,014	0,0005066	-4,263
45	0,16	281,25	2063,18	0,2	9	0,022	0,0004847	-3,807
50	0,17	294,12	2141,23	0,3	11,2	0,027	0,0004670	-3,620
55	0,17	323,53	2317,49	0,4	13,6	0,029	0,0004315	-3,526
60	0,18	333,33	2375,63	0,5	16	0,031	0,0004209	-3,466
65	0,19	342,11	2427,41	0,7	18,4	0,038	0,0004120	-3,269
70	0,2	350,00	2473,81	1	21	0,048	0,0004042	-3,045
75	0,2	375,00	2619,61	1,2	23,4	0,051	0,0003817	-2,970
80	0,21	380,95	2654,07	1,5	25,8	0,058	0,0003768	-2,845
85	0,22	386,36	2685,33	1,8	28,4	0,063	0,0003724	-2,759
90	0,23	391,30	2713,80	2,1	30,8	0,068	0,0003685	-2,686
95	0,23	413,04	2838,35	2,4	33,1	0,073	0,0003523	-2,624
100	0,24	416,67	2859,00	2,7	35,3	0,076	0,0003498	-2,571
110	0,25	440,00	2991,27	3,3	39,3	0,084	0,0003343	-2,477

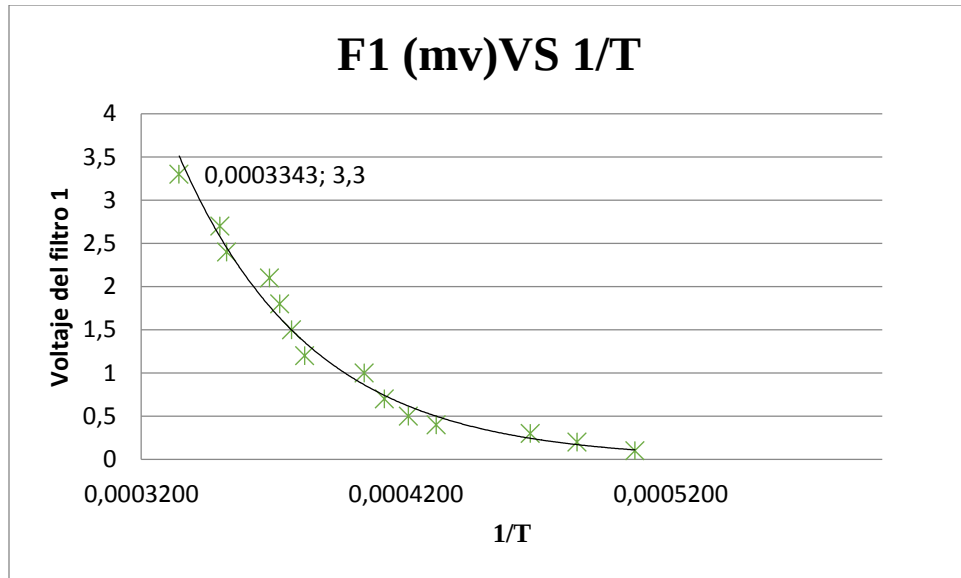


Grafico 8. Determinación de la curva de voltaje para el filtro 436nm vs 1/T.

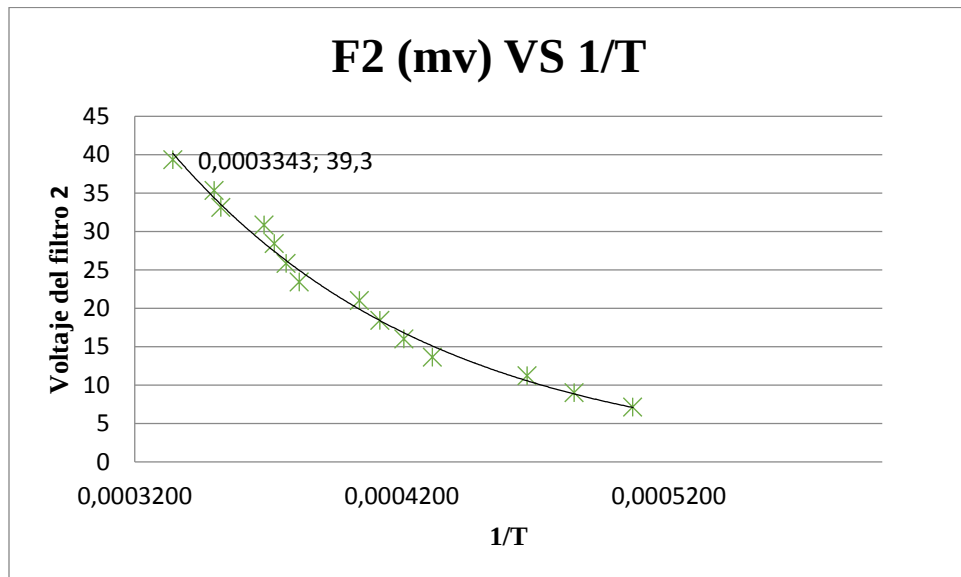


Grafico 9. Determinación de la curva de voltaje para el filtro 536nm vs 1/T.

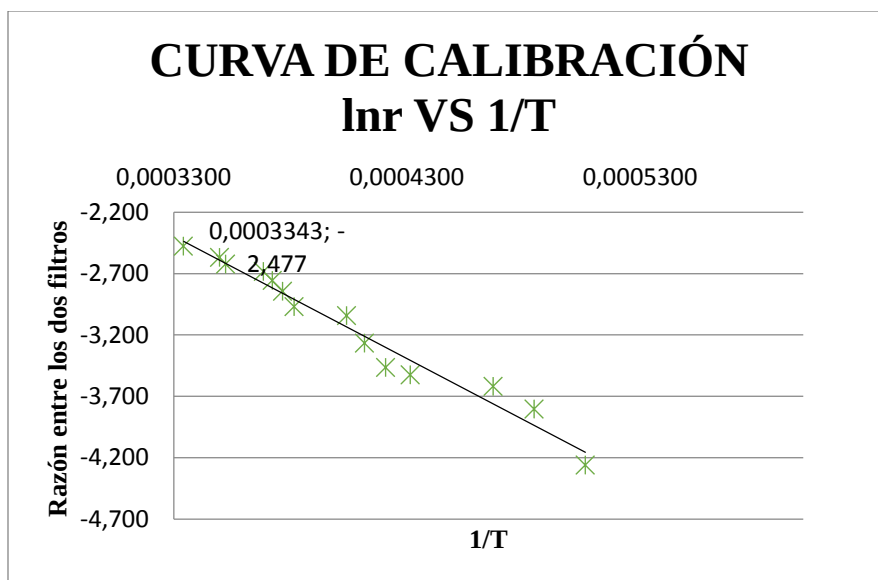


Grafico 10. Curva de calibración del bombillo de 25 watts.

Bombilla Halógena de 70watts

Tabla 4. Datos para el bombillo halógena de 70 watts.

Bombilla: 70 Watts-110 voltios								
Distancia = 10cm								
R_0 : Resistencia ambiente (Ω) = 14,6					T_0 (Temperatura ambiente)=295°K			
Voltaje (v)	Corriente (amp)	Resistencia (Ω)	Temperatura (K)	F1:436nm Voltaje1(mv)	F2:546nm Voltaje2(mv)	$r = F1 / F2$	1/T	Ln(r)
40	0,15	266,67	1973,99	0,1	7,1	0,014	0,0005066	-4,263
45	0,16	281,25	2063,18	0,2	9	0,022	0,0004847	-3,807
50	0,17	294,12	2141,23	0,3	11,2	0,027	0,0004670	-3,620
55	0,17	323,53	2317,49	0,4	13,6	0,029	0,0004315	-3,526
60	0,18	333,33	2375,63	0,5	16	0,031	0,0004209	-3,466

65	0,19	342,11	2427,41	0,7	18,4	0,038	0,0004120	-3,269
70	0,2	350,00	2473,81	1	21	0,048	0,0004042	-3,045
75	0,2	375,00	2619,61	1,2	23,4	0,051	0,0003817	-2,970
80	0,21	380,95	2654,07	1,5	25,8	0,058	0,0003768	-2,845
85	0,22	386,36	2685,33	1,8	28,4	0,063	0,0003724	-2,759
90	0,23	391,30	2713,80	2,1	30,8	0,068	0,0003685	-2,686
95	0,23	413,04	2838,35	2,4	33,1	0,073	0,0003523	-2,624
100	0,24	416,67	2859,00	2,7	35,3	0,076	0,0003498	-2,571
110	0,25	440,00	2991,27	3,3	39,3	0,084	0,0003343	-2,477

436nm

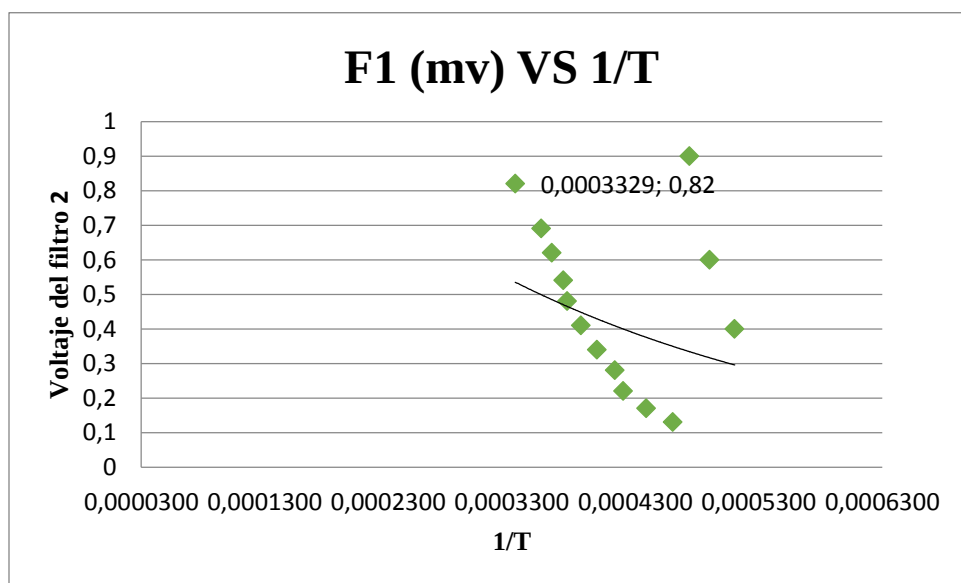


Grafico 11. Curva de voltaje para filtro 436nm vs 1/T.

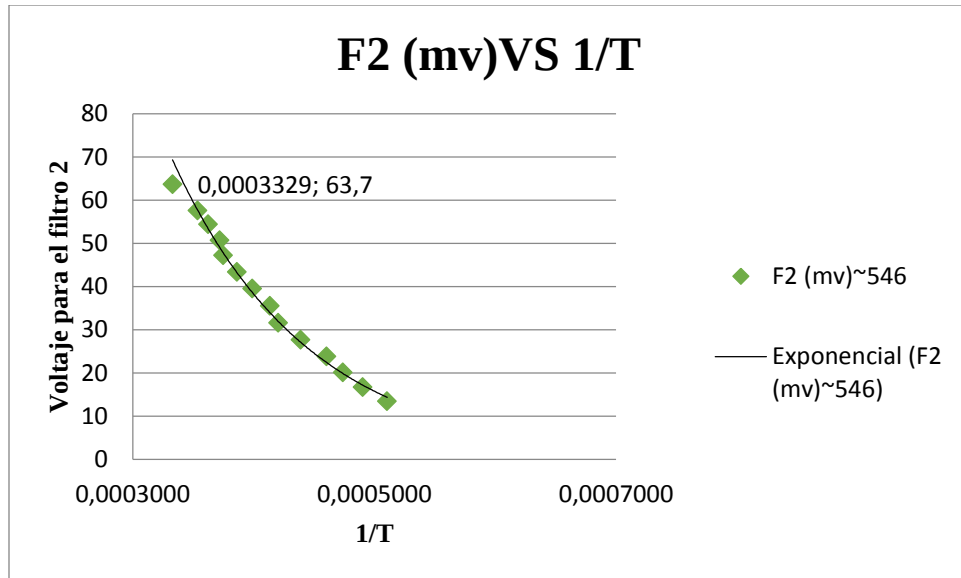


Grafico 12. Curva de voltaje para filtro 546nm vs 1/T.

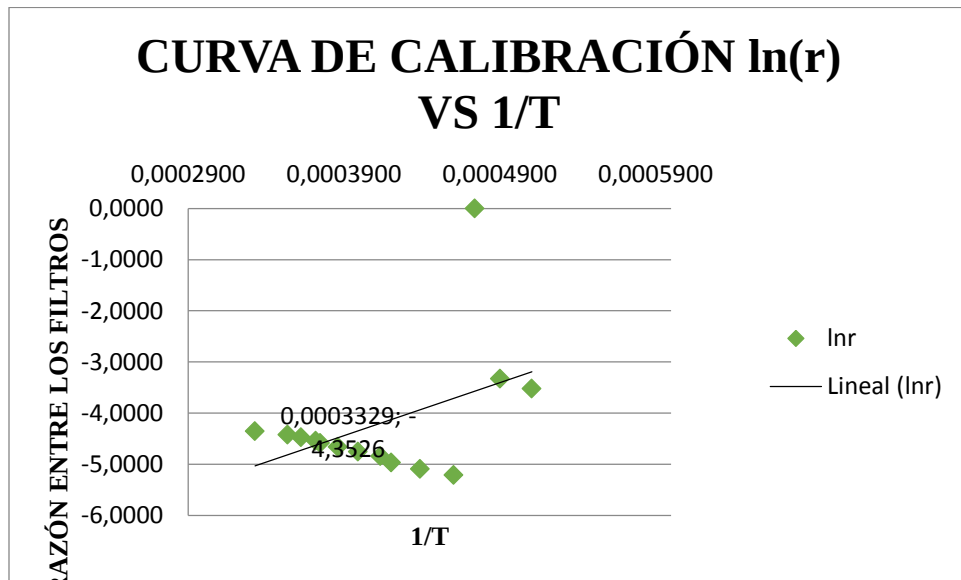


Grafico 13. Curva De calibración de 70watts.

BOMBILLA DE 150 WATTS

Tabla 5. Datos para el Bombillo de 150 Watts.

Bombilla: 150 Watts-110 voltios								
Distancia = 10cm								
R_0 : Resistencia ambiente (Ω) =7				T_0 (Temperatura ambiente)=295°K				
Voltaje (v)	Corriente (amp)	Resistencia (Ω)	Temperatura (K)	F1:436nm Voltaje1(mv)	F2:546nm Voltaje2(mv)	$r = F1 \ F2$	1/T	Ln(r)
40	0,63	63,49	1839,28	0,9	42	0,021	0,0005437	-3,843
45	0,67	67,16	1927,15	1,5	52,5	0,029	0,0005189	-3,555
50	0,7	71,43	2028,17	2,2	63,4	0,035	0,0004931	-3,361
55	0,74	74,32	2096,18	3	75,3	0,040	0,0004771	-3,223
60	0,77	77,92	2180,06	4,2	87,5	0,048	0,0004587	-3,037
65	0,81	80,25	2233,91	5,5	99,6	0,055	0,0004476	-2,896
70	0,84	83,33	2305,00	7	111,9	0,063	0,0004338	-2,772
75	0,87	86,21	2370,78	8,7	124,1	0,070	0,0004218	-2,658
80	0,9	88,89	2431,83	10,3	136	0,076	0,0004112	-2,581
85	0,93	91,40	2488,67	12,3	147,9	0,083	0,0004018	-2,487
90	0,96	93,75	2541,71	14,2	158,5	0,090	0,0003934	-2,413
95	0,99	95,96	2591,34	16,2	168,6	0,096	0,0003859	-2,343
100	1,01	99,01	2659,52	18,3	178,8	0,102	0,0003760	-2,279
110	1,06	103,77	2765,30	22	196,1	0,112	0,0003616	-2,188

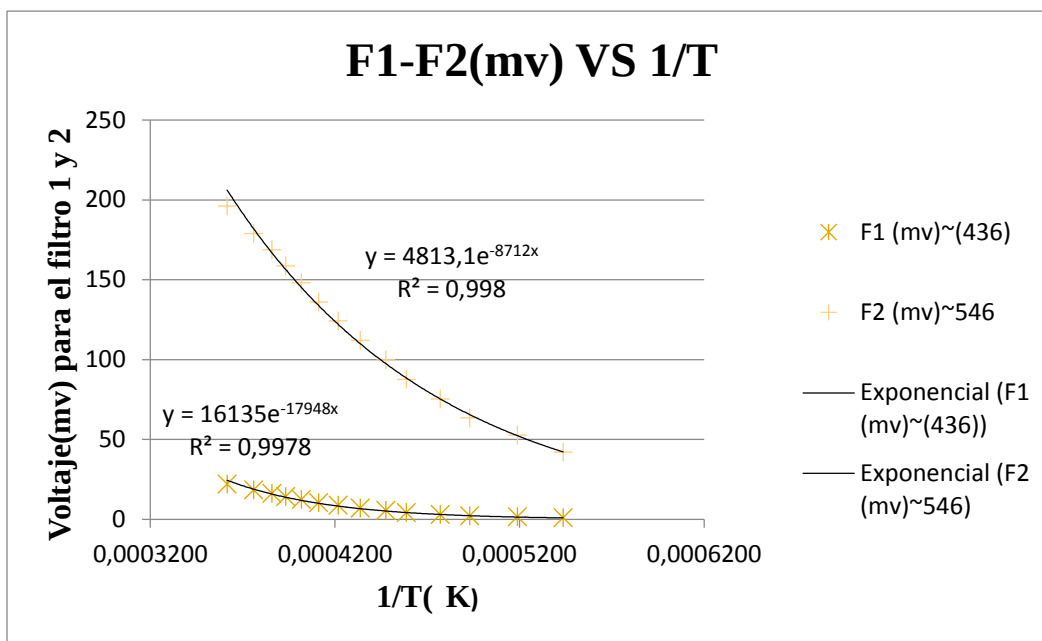


Grafico 14. Curva De calibración de los filtros 1y2 vs 1/T

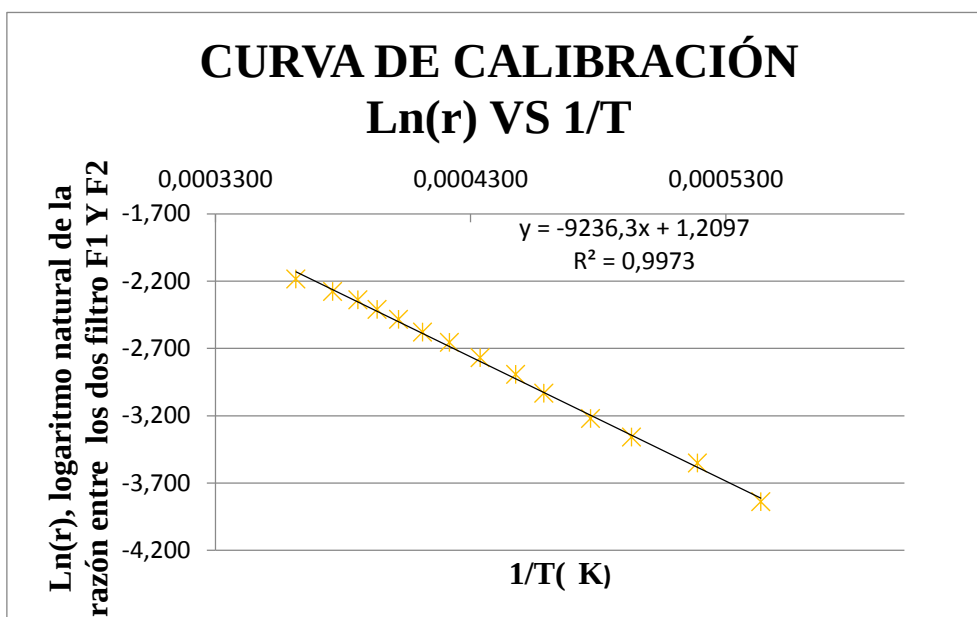


Grafico 15. Curva de calibración para el bombillo de 150 watts.

APÉNDICE E: POSIBLE APROXIMACIÓN DE LA CONSTANTE DE PLANCK

Max Planck determino una constante que equivale a $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{Js}$ la cual lleva su nombre, este valor lo determino analizando la distribución espectral. Conociendo el valor de la constante de Planck, ¿es posible que por medio de este experimento se logre determinar el orden de magnitud de la constante de Planck?, aunque es ambicioso pensar en que es posible obtener un valor de magnitud por medio de un experimento en el cual siempre se va a presentar un margen de error. Se va a realizar los cálculos correspondientes con el propósito de conocer dicha constante h .

Para ello se debe recurrir a la siguiente expresión.

$$m = \frac{hc}{k} \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)$$

La expresión anterior m está relacionada con la pendiente de la curva de calibración según el tipo de bombilla, para simplificar cálculos $\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} = \alpha$, de tal forma

$$m = \frac{hc}{k} \alpha$$

Con la ecuación—se despeja h obteniendo.

$$h = \frac{km}{c\alpha}$$

Donde $k = 5,67 \times 10^{-8} \text{Wtt}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$ es la constant de Stefan-Boltzmann, m es la pendiente de la curva de calibracion, segun el tipo de bombillo, $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ velocidad de la luz y $(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1}) = \alpha$, debido a que $\lambda_2 = 546 \text{nm}$ y $\lambda_1 = 436 \text{nm}$, son los valores de los filtros que fueron utilizados en el experimento, se realiza el cálculo correspondiente y se obtiene que $\alpha = -462076,15 \text{m}$

Para determinar el posible valor de la constante de Planck se realizará con los bombillos de 60watts, 100watts y 150watts.

- Bombillo de 60 watts // $m = -10377$

$$h = \frac{((5,67 \times 10^{-8} \text{ Wt} / (\text{m}^2 \text{K}^4) * (-10377))}{3 \times 10^8 \text{ m s} * (-462076,15)}$$

$$h = 1,03 \times 10^{-33} \text{ J.s}$$

- Bombillo de 100watts // $m = -8968,4$

$$h = \frac{((5,67 \times 10^{-8} \text{ Wt} / (\text{m}^2 \text{K}^4) * (-8968,4))}{3 \times 10^8 \text{ m s} * (-462076,15)}$$

$$h = 8,39 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

- Bombillo de 150 watts // $m = -9236,3$

$$h = \frac{((5,67 \times 10^{-8} \text{ Wt} / (\text{m}^2 \text{K}^4) * (-9236,3))}{3 \times 10^8 \text{ m s} * (-462076,15)}$$

$$h = 9,20 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

Los datos obtenidos de h dan un orden de magnitud igual que el de la constante de Planck, lo cual indica que este experimento representa una función comprobatoria de la teoría al concluir que las bombillas incandescentes se comportan como un cuerpo negro a partir de la ley de Wien.