

**INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE CUERPO NEGRO EN LA
EDUCACIÓN MEDIA.**

Presentado por:

Lina Marcela Giraldo Ávila

20091135025

Monografía dirigida por:

Giovanni Cardona



Universidad Distrital Francisco José De Caldas

Facultad De Ciencias y Educación

Proyecto Curricular de Licenciatura En Física

Bogotá, 2017

**INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE CUERPO NEGRO EN LA
EDUCACIÓN MEDIA.**

Lina Marcela Giraldo Ávila

TRABAJO DE GRADO PARA OBTENER EL TITULO DE LICENCIADA EN
FÍSICA

Monografía dirigida por:

Giovanni Cardona



Universidad Distrital Francisco José De Caldas

Facultad De Ciencias y Educación

Proyecto Curricular de Licenciatura En Física

Bogotá, 2017

Agradecimientos

Primeramente agradezco a Dios por llegar hasta donde he llegado, a mis padres Carmen Avila y Alberto Giraldo por guiarme, siempre apoyarme y ayudarme en todo mi proceso y no perder la fe, a mi esposo Camilo Beltrán por brindarme todo el apoyo incondicional y ayudarme en este proceso, a mi hijo por ser quien me motiva a luchar a cada día por un futuro mejor, finalmente agradezco a mi director y tutor Giovanni Cardona quien me impulso en este proyecto estando siempre dispuesto a apoyarme y colaborarme siendo una guía en mi formación académica.

Contenido

		Pág.
1.	Introducción.....	vi
2.	Planteamiento del Problema.....	X
3.	Objetivos	12
3.1.	Objetivo General.....	12
3.2.	Objetivos específicos.....	12
4.	Marco Teórico	13
4.1.	Teoría de la radiación de cuerpo negro.....	13
4.2.	Ley de Wien.....	17
4.3.	Teoría de Raileigh – Jeans.....	18
4.4.	Teoría de Planck.....	20
4.5.	Propuesta didáctica para la enseñanza de la física.....	23
5.	Metodología	25
5.1.	Planteamiento metodológico con base en los estándares físicos y su correlación con el entorno.....	25
5.2.	Implementación de secuencia didáctica	27
5.3.	Etapas de desarrollo para la secuencia didáctica	31
5.3.1.	Etapa 1: Lectura introductoria.....	32
5.3.2.	Etapa 2: Socialización de la lectura.....	32
5.3.3.	Etapa 3: Realización de una práctica experimental.....	33
5.4.	Análisis de la Población.....	34
5.5.	Implementación de las etapas.....	35
5.6.	Elaboración experimento “cubo negro”.....	37
6.	Resultados	38
6.1.	Análisis de resultados de la aplicación de las guías	44
6.2.	Guía 1.....	44
6.3.	Guía 2.....	46
6.4.	Análisis.....	48
7.	Conclusiones	50
8.	Referencias	51
9.	Anexos	53
9.1.	Anexo 1: Distribución espectral del cuerpo negro.....	53
9.2.	Anexo 2: Distribución espectral del cuerpo negro por Planck.....	55
9.3.	Anexo 3: La ley de Boltzman a partir de la ley de Planck.....	55
9.4.	Anexo 4: La ley de desplazamiento de Wien a partir de Planck.....	57
9.5.	Anexo 5 Guía 1.....	60
9.6.	Anexo 6 Guía 2.....	66
9.7.	Anexo 7: Practica en la universidad distrital.....	70

LISTA DE FIGURAS, GRÁFICOS, IMÁGENES E ILUSTRACIÓN

Ilustración 3. Densidad espectral de energía	21
Ilustración 4 esquema para llegar al desarrollo de la secuencia didáctica.....	32
Ilustración 5 Imagen del modelo de cuerpo negro planteado en la guía.....	38
Ilustración 6 Imagen del cubo una vez realizada la experiencia.....	40
Ilustración 7 Desarrollo de la guía en el colegio número 1.	42
Ilustración 8 Montaje experimental realizado en el colegio número 1.....	42
Tabla 1 estándares de educación, ciencias naturales por ciclos. (Nacional, 2004).....	25
Tabla 2 datos de temperatura en función del tiempo tomados en el colegio Andrés Rosillo.	42
Grafico 1 reporte de datos de temperatura en función del tiempo al interior del cubo de papel.	43

1. Introducción

En el siglo XIX se da inicio al estudio de nuevos fenómenos relacionados con la física, comenzando así a desarrollarse rápidamente ramas dedicadas al estudio de los procesos térmicos (termodinámica), fenómenos luminosos (óptica), fenómenos eléctricos y magnéticos (electrodinámica), todo esto basándose en la explicación desde la mecánica Newtoniana. A medida que transcurre el tiempo aparecen tres grandes hechos que causan un cambio en la mecánica newtoniana, el primero de ellos es la constancia de la velocidad de la luz; con esta el éter, medio inmóvil que todo lo penetra, en el cual se propaga la luz. El segundo hecho es la radiación térmica de los cuerpos calientes en el estudio de éste, los físicos utilizan un cuerpo estándar en cual les facilitara establecer las leyes de los cuerpos calientes, estas leyes establecen que; primero: cuanto más elevada es la temperatura de un objeto, tanto más brillante es la luz que emite, segundo: a medida que se eleva la temperatura del cuerpo varía el color de la luz que emite. En esta búsqueda del cuerpo estándar los físicos establecen que el cuerpo negro cumple con estas características y finalmente se encuentra el descubrimiento de la radiactividad. (Ridnik, 1978).

Hoy día el estudio de estos hechos mencionados anteriormente ha dejado huella importante en la física, en este trabajo se pretende mostrar el estudio del segundo hecho la radiación térmica de los cuerpos calientes desde la enseñanza del concepto de cuerpo negro en los grados decimo y once de educación media.

En la escuela, el área de física es una de las bases fundamentales en la vida de todo estudiante, pero el estudiante debe hacerse partícipe de su propio conocimiento a través de la resolución de problemas, de la adquisición de conceptos sin importar su edad, en donde es preciso apuntar a la generación de un conocimiento significativo. (Camino, 2001)

El estudio y la práctica de la física, sin ninguna duda le proporcionan al estudiante una serie de herramientas y ventajas, las cuales van desde experiencias de la vida cotidiana hasta el desarrollo integral del ser humano, pasando por el desarrollo intelectual y personal. La física es base fundamental para el entendimiento de diferentes ciencias, además de todo esto nos da herramientas para resolver y afrontar problemas cotidianos, así como problemas de mayor dificultad.

En los colegios Colombianos la educación de las ciencias en general sigue siendo regida por las mismas políticas de hace muchos años, las cuales enfocan el estudio de la física en gran parte a la física clásica, dejando de lado ramas importantes como la física moderna o conceptos de la misma, lo que implica que la mayoría de docentes limiten el trabajo en el aula a la repetición y memorización de ecuaciones que no generan un aprendizaje significativo; La manera de producir conocimiento físico ha evolucionado en el tiempo, como lo expresa Gallejo, M 2013 pag, 798 “Existe un distanciamiento ontológico en el lenguaje actual de la física, cuyo enfoque principal se proyecta hacia una excesiva formalización matemática sin una imagen física clara de la realidad” en ese sentido es pertinente preguntar: ¿el estudiante está comprendiendo el significado que tiene cada uno de estos fenómenos?, es allí con esta pregunta donde surge la necesidad por parte de los docentes de realizar prácticas de laboratorio, donde el estudiante se interesa y aplica lo aprendido en clase, logrando así una mayor comprensión.

Se usarán diversas herramientas para el modelo enseñanza aprendizaje de la física que movilizaran al estudiante a reconocer los conceptos de radiación térmica que aplicaran en el tópico de cuerpo negro de acuerdo a su contexto particular.

Se ha visto y es bien sabido que nuestro país tiene capacidades suficientes para progresar y generar espacios que promuevan el desarrollo científico, pero para eso es necesario generar un cambio en el tipo de educación, éste con el fin de darle un giro a la mentalidad de docentes estudiantes y así generar impacto en la sociedad. Una opción para darle ese cambio desde el área de la física es la inclusión de prácticas de laboratorio en las aulas de bachillerato, en donde los estudiantes evidencian los fenómenos físicos, lo cual genera una experiencia de aprendizaje en comparación a los fenómenos del diario vivir que podrán hacer evidentes en estos espacios.

La idea de enseñar conceptos de física (clásica o moderna) en el aula surge de la necesidad de motivar y concientizar a los estudiantes que la física es algo que no se basa únicamente en formulismos matemáticos, sino que además conlleva a experimentaciones, descubrimientos y teorías.

En consecuencia, el presente documento detalla una secuencia didáctica encaminada hacia la enseñanza y aprendizaje del concepto de cuerpo negro en el aula de educación media. Se evidenciará una ruta de enseñanza aprendizaje del concepto de cuerpo negro, diseñada en un marco teórico que dará cuenta de aspectos normativos, didácticos, y físicos; también se hará una descripción de la metodología escogida para potenciar en los estudiantes la construcción de un conocimiento específico.

El presente documento tiene en cuenta el artículo *On the Law of the Energy Distribution in the Normal Spectrum* escrito por Planck en el año 1901 para el desarrollo teórico del mismo y la tesis titulada: *una aproximación al concepto de radiación de cuerpo negro, a través de lámparas incandescentes* escrita por Juana Carolina Cárdenas Rojas de la universidad pedagógica nacional Facultad de ciencia y tecnología. Para el desarrollo del mismo se diseñan

tres capítulos, en el primer capítulo se realiza una contextualización histórica y teórica de la radiación de cuerpo negro. En el segundo capítulo se realiza una descripción de la metodología utilizada y se presenta el experimento “el cubo de papel”. Por último, se realiza un análisis detallado de la secuencia didáctica.

2. Planteamiento Del Problema

El hecho de contemplar las diferentes hipótesis científicas que históricamente pugnaron por dar respuesta a un problema, participar de la controversia que llevo a su aceptación o rechazo, interpretar los datos experimentales a la luz de cada propuesta, etc. lleva a reflexionar no solo sobre el contenido que se aprende sino también sobre aspectos epistemológicos, sino también sobre aspectos epistemológicos relacionados con cuestiones como “¿Cómo sabemos...?” o “¿Qué evidencias tenemos...?” (Savall Francisco &, 2013, pág. 3)

Al realizar una revisión detallada de los lineamientos curriculares y estándares básicos de competencias propuestos por el Ministerio de Educación Nacional (Nacional, 2004) en el área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental se puede notar que la necesidad de implementar conceptos de física moderna en el aula no está contemplada dentro de los mismos, por tal motivo surge la pregunta ¿cómo teniendo estos lineamientos curriculares se puede implementar conceptos de física moderna en el aula? la idea principal es encontrar un concepto que se pueda desarrollar a partir de los lineamientos propuestos, el concepto que se quiere estudiar es el concepto de cuerpo negro, debido a que este concepto permite al docente abarcar diferentes tipos de fenómenos físicos, tanto termodinámicos como modernos. Se pensó en éste porque permite desarrollarse desde conceptos como el espectro electromagnético, formas de transferencia de calor y así introducir en el modelo de educación la idea de cuantización. El concepto de cuerpo negro se podría representar con una práctica experimental demostrativa el cual es el caso del cubo de papel el cual permite que el estudiante identifique a partir de la experiencia las teorías vistas y de esta manera poder generar un desarrollo intelectual y académico bastante significativo. Con esta práctica experimental se pretende que los estudiantes reflexionen sobre las problemáticas del

conocimiento, el papel de las hipótesis que permiten explicar los resultados experimentales, la búsqueda de explicaciones universales y de “mejora continua” como finalidad de la ciencia (Savall Francisco &, 2013, pág. 3).

Es importante resaltar que el objetivo principal no es lograr que los estudiantes aprendan un concepto de memoria, si no que logren por medio de la historia de la ciencia y la experimentación, relacionar un fenómeno que se puede evidenciar desde la vivencia del día a día.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general:

Diseñar una secuencia didáctica para la enseñanza del cuerpo negro, a partir de conceptos básicos contemplados dentro de los lineamientos curriculares para estudiantes de educación media.

3.2. Objetivos específicos:

- Fomentar las nociones de termodinámica para el estudio de la física moderna a partir de prácticas experimentales.
- Contextualizar históricamente el problema de cuerpo negro.
- Implementar la guía didáctica en aulas de educación media específicamente grado decimo y once.
- Promover la experimentación en el aula con materiales de bajo costo.
- Analizar que aportes genera esta práctica en el proceso de enseñanza aprendizaje.

4. Marco teórico

4.1 Teoría de la radiación de cuerpo negro

Desde finales del siglo XIX y con la formulación de las leyes de la mecánica de Newton, la física se ha desarrollado de manera exitosa. Con el paso del tiempo y con ayuda de la experimentación fueron apareciendo nuevos conceptos y fórmulas que sostenían la eficacia de ciertos fenómenos, en este periodo ningún hecho experimental puso en duda las teorías clásicas. En este caso hablaremos de la radiación donde el objetivo general consiste en el estudio de ondas electromagnéticas según la teoría de Maxwell, con infinitas variables dinámicas que conforman en cada punto del espacio a los campos E y H , las ondas electromagnéticas manifiestan procesos ondulatorios con fenómenos bien conocidos como la difracción y la interferencia. La teoría corpuscular es aplicada a los cuerpos macroscópicos, y la teoría microscópica da como origen a la mecánica estadística, sin embargo el fenómeno de la radiación de cuerpo negro se da como un fenómeno que no tiene explicación clásica (Silvera, 1999, pág. 9) , para identificar el inicio de la Mecánica Cuántica nos podríamos ubicar en 1900 cuando no se lograba explicar de manera adecuada el comportamiento de la radiación emitida por los cuerpos sólidos calentados.

Albert Einstein desde las ideas de Planck sugirió que la radiación presenta a veces un comportamiento cuantizado: en el efecto fotoeléctrico, la radiación se comporta como minúsculos proyectiles llamados fotones y no como ondas.

El modelo atómico de Rutherford está de acuerdo con los resultados de los experimentos de dispersión de partículas α , pero que no hay ningún concepto de la física clásica

que permite explicar el tamaño de los átomos. Es claro como existe una constante, que aún no sabemos cómo interviene en la teoría, que determina ésta y otras propiedades no clásicas de la materia y la radiación. En el momento que Rutherford formuló su modelo se conocía que esta trata de la constante de Planck, que fue introducida por Max Planck cuando presentó un artículo sobre la radiación de cuerpo negro en la Sociedad Física Alemana (Castillo, 1999).

La radiación puede ser emitida debido a su temperatura, con esto se tiene que para cada temperatura se presenta un espectro característico. Con esto el gran objetivo era buscar una explicación y encontrar una función matemática que proporcione la distribución de energía para cada frecuencia del espectro esto género que desde que Kirchoff publicó sus primeros trabajos en 1860 los físicos se interesaran en buscar más respuestas del mismo (Savall Francisco &, 2013, pág. 4)

Para el estudio de la radiación electromagnética algo importante a tener en cuenta es el espectro continuo, que presenta líneas porque contienen luz de todos los colores, que se suceden sin solución de continuidad como en un arco iris. Los espectros continuos sólo pueden analizarse con métodos espectrofotométricos. En el caso de un emisor ideal, llamado cuerpo negro, las intensidades de los colores del espectro sólo dependen de la temperatura. Dos de las leyes que rigen la distribución de energía en un espectro continuo fueron descubiertas alrededor de 1890 por el físico alemán Wilhelm Wien y los físicos austríacos Ludwig Boltzmann y Josef Stefan. La ley de Stefan-Boltzmann afirma que la energía total por unidad de tiempo radiada por un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta; la ley de desplazamiento de Wien afirma que, a medida que aumenta la temperatura, el espectro de radiación de un cuerpo negro se

desplaza hacia las frecuencias altas de forma directamente proporcional a la temperatura absoluta. En 1900, el físico alemán Max Planck descubrió la tercera y más importante de las leyes que describen la distribución de energía entre las diferentes longitudes de onda radiadas por un cuerpo negro. Para deducir una ley que explicara sus resultados experimentales, Planck argumentó que las propiedades termodinámicas de la radiación térmica emitida por la materia debían ser las mismas independientemente del mecanismo de emisión y de las suposiciones sobre la naturaleza de los átomos. Estas ideas llevaron al desarrollo de la teoría cuántica (Brush, 1987).

Si se supone que se tiene una cavidad inmóvil y no transparente con temperatura constante en sus paredes al producirse excitaciones atómicas, los átomos y moléculas van a emitir sus radiaciones al interior de la cavidad. Parte de la energía de estas radiaciones es absorbida y la otra se refleja. Al pasar un tiempo suficientemente grande, se establece un estado macroscópico, en el cual, por cada intervalo de tiempo, la cantidad promedio de energía irradiada de determinado color, dirección y polarización, se iguala a la cantidad de energía absorbida con iguales características. Se establece un equilibrio que explica correctamente la mecánica estadística.

Se observa que tanto la energía que absorbe como la que emite un cuerpo son directamente proporcionales a la intensidad de la radiación que incide y que se emite respectivamente, siendo la proporción dependiente del material que compone al cuerpo y del estado en que este se encuentra. Gracias a experimentos se concluye que hay cuerpos cuyos materiales absorben mejor la radiación que otros, por tanto se le asocia un coeficiente llamado absorbanza denominada con la letra **a**, de tal manera que un cuerpo que tenga la capacidad de

absorber toda la radiación en términos de intensidad, a este cuerpo se le denomina cuerpo negro donde el valor de $\mathbf{a} = \mathbf{1}$. Si $\mathbf{0} < \mathbf{a} < \mathbf{1}$ se dice que el cuerpo es de baja absorbancia.

Se ha observado experimentalmente que los materiales que poseen muy buen coeficiente de absorción, es decir que $\mathbf{a} \rightarrow \mathbf{1}$ dichos materiales son muy buenos emisores de radiación ante lo cual se establece un nuevo coeficiente de emisividad denominado con la letra \mathbf{e} , ante lo cual se concluye que $\mathbf{a} = \mathbf{e}$ y por tanto el cuerpo negro tiene la capacidad de absorber y emitir energía muy bien. A esta ley se le conoce por la ley termina de Kirchoff. Se denomina cuerpo negro al cuerpo para el cual $\mathbf{a} = \mathbf{e} = \mathbf{1}$ en equilibrio térmico.

Por tanto se dice que el cuerpo negro es una idealización y la forma más clara de aproximarnos a éste es tener una cavidad cerrada en la cual se tiene en una pared un orificio muy pequeño en el cual si un rayo de luz atraviesa la cavidad parte de la energía es absorbida por las paredes y la otra parte es reflejada (Silvera, 1999).

4.2. Ley de Wien

Wilhelm Wien en 1893 al estudiar los picos producidos en el espectro observa que estos picos, es decir, los máximos de intensidad para una longitud de onda, al aumentar la temperatura el valor máximo de las distribuciones se desplaza para longitudes de onda menores. Es decir que existe una relación inversa entre la longitud de onda en que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro y su temperatura absoluta.

$$\lambda_{\max} \propto \frac{1}{T} \quad (1)$$

Donde λ_{\max} es la longitud de onda máxima que alcanza el espectro y T es la temperatura.

De esta proporcionalidad denomina formula la siguiente expresión:

$$\lambda_{\max} T = b \quad (2)$$

Donde b es llamada la constante de Wien $b = 2,898 \times 10^{-3} \text{mK}.$ ¹

Wien al considerar la intensidad en función de la densidad de energía $I(\lambda) = c\rho(\lambda)$ en donde c no depende de λ es decir:

$$\rho(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{c} \quad (3)$$

Encontró a través de un análisis de datos detallado que al graficar $\lambda^5 \rho \rightarrow \lambda T$, todos los datos del espectro forman una sola gráfica, a lo cual se le denomino ley de Wien.

$$\lambda^5 \rho = f(\lambda T) \quad (4)$$

Wien propone hallar dicha función $f(\lambda T)$ llamada función universal, para esto propone que $\rho(\lambda) = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta v}$, y a parti de la distribución de velocidades de Maxwell –Boltzman donde

¹ Dedución de la constante de Wien basada en: El nacimiento de una constante, Juan Carlos Mendoza Santos* Hiram Hernández Sánchez**, Ensayos.

$\varepsilon \propto v^2$ es decir donde la energía es directamente proporcional a la velocidad al cuadrado de las partículas en un sólido a la temperatura T, de tal modo que dicha función debe tener una forma similar a la distribución de velocidades de Maxwell – Boltzman.

Por lo cual obtuvo:

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

Por tanto

$$f(\lambda T) = c_1 e^{\frac{-c_2}{\lambda T}} \quad (6)$$

$$\text{Luego } \rho(\lambda) = \frac{c_1 e^{\frac{-c_2}{\lambda T}}}{\lambda^5} \quad (7)$$

4.3. Teoría de RAILEIGH – JEANS

En la búsqueda de la llamada función universal $f(\lambda T)$ Raleigh – Jeans son unos de los primeros en intentar resolver este problema, tomando como base el número de longitudes de onda o de frecuencia de una cavidad radiante, obteniendo la energía de la cavidad para así encontrar $\rho(\lambda)$ en el intervalo $(v, v + dv)$ corresponde a:

$$N(v)dv = \frac{8\pi v^2}{c^3} dv \quad (8)$$

Se aplica la distribución de probabilidades de Boltzman para determinar la energía media de las partículas es decir de los osciladores, de la siguiente manera:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon \rho(\varepsilon) d\varepsilon}{\int_0^{\infty} \rho(\varepsilon) d\varepsilon} \quad (9)$$

Y teniendo que la energía variable continua es:

$$\rho(\varepsilon) = A e^{-\alpha \varepsilon} \quad (10)$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{\int_0^{\infty} \epsilon e^{-\alpha\epsilon} d\epsilon}{\int_0^{\infty} A e^{-\alpha\epsilon} d\epsilon} = \frac{1}{\alpha} = \epsilon_0 \quad (11)$$

Donde la energía media es independiente del material dependiendo únicamente de la temperatura, para moléculas de un gas la energía media está dada por: $\bar{\epsilon} = \frac{1}{2} K_B T$ y para osciladores armónicos simples está dada por $\bar{\epsilon} = K_B T$. Por tanto la probabilidad o función de probabilidad si se consideran osciladores armónicos es:

$$\rho(\epsilon) = A e^{-\epsilon/KT} \quad (12)$$

Raleigh – Jeans para determinar la densidad de energía dentro de la cavidad multiplican el número de frecuencias en el intervalo $(\nu, \nu + d\nu)$ las cuales son el número de frecuencias permitidas por la energía media en dicho intervalo y lo dividen por el volumen de dicha cavidad.

$$\rho(V)d\nu = \frac{\Delta\epsilon}{\Delta\nu} d\nu \quad (13)$$

$$\rho(V)d\nu = \frac{N(\nu)\bar{\epsilon}}{V} d\nu \quad (14)$$

Reemplazando según ecuación 8 y 13 se tiene:

$$\rho(V)d\nu = \frac{\left[\frac{8\pi\nu^2}{c^3}\right][kT]}{V} d\nu \quad (15)$$

$$\rho(V)d\nu = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3} d\nu \quad (16)$$

$$\text{Si } \lambda = \frac{c}{\nu} \Rightarrow d\lambda = -\frac{c}{\nu^2} d\nu$$

$$\rho(\lambda)d\lambda = \frac{8\pi k_B T \lambda}{\lambda^5} d\lambda \quad (17)$$

Por tanto la función es $f(\lambda T) = 8\pi k_B \lambda T \quad (18)$

4.4. Teoría de PLANCK

Los emisores de radiación se basan en osciladores armónicos simples, con cargas en eléctricas en movimiento oscilatorio. En un sólido por encima de los 0°K siempre hay emisión de radiación electromagnética por medio de osciladores armónicos simples, los electrones en un sólido incandescente oscilan con frecuencias diferentes y por cada longitud de onda incrementan y de ahí se encuentra la distribución de frecuencias y cada electrón emite energía dependiente de la frecuencia.

Planck se basa en los estudios de Wien y Raleigh – Jeans, y establece un postulado “todo sistema físico que oscile en una frecuencia ν natural, en un grado de libertad con movimiento armónico simple solo puede tener una energía que satisface la relación $\epsilon = nh\nu$. (21)”²

La radiación electromagnética en una cavidad cuya pared reflectores se compone de ondas estacionarias que tienen nodos en las paredes, de donde $n=0,1,2,3,4,5,\dots$

Donde
$$L = n \frac{\lambda}{2} \quad (19)$$

Reconstruyendo la teoría de Raleigh – Jeans, Planck determina la energía media considerando la energía como una variable discreta es decir que emite en frecuencias específicas como:

$$\bar{\epsilon} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \epsilon \rho(\epsilon)}{\sum_{n=0}^{\infty} \rho(\epsilon)} \quad (20)$$

Donde $\sum_{n=0}^{\infty} \epsilon \rho(\epsilon)$ es la energía total y $\sum_{n=0}^{\infty} \rho(\epsilon)$ corresponde a los números de osciladores.

Reemplazando la ecuación (14) y (21) en (23) se obtiene:

$$\bar{\epsilon} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \epsilon A e^{-\epsilon/KT}}{\sum_{n=0}^{\infty} A e^{-\epsilon/KT}} \quad (21)$$

Cancelando las constantes A

$$\bar{\epsilon} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} n h \nu e^{-n h \nu / K T}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-n h \nu / K T}} \quad (22)$$

Se deduce la fórmula de distribución espectral del cuerpo negro derivada por Planck, o primera estadística cuántica que satisface la ley de Wien, la cual está dada por:

$$\bar{\epsilon} = \frac{h \nu}{e^{h \nu / k T} - 1} \quad (27)^3$$

De lo anterior se puede deducir la expresión para la densidad de energía

$$\rho(\lambda) d\lambda = \frac{8\pi h c}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1} \right) d\lambda \quad (23)$$

La cual se reduce en la siguiente expresión:

$$\lambda^5 \rho(\lambda) = f(\lambda T) = \frac{8\pi h c}{e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1} \quad (24)^4$$

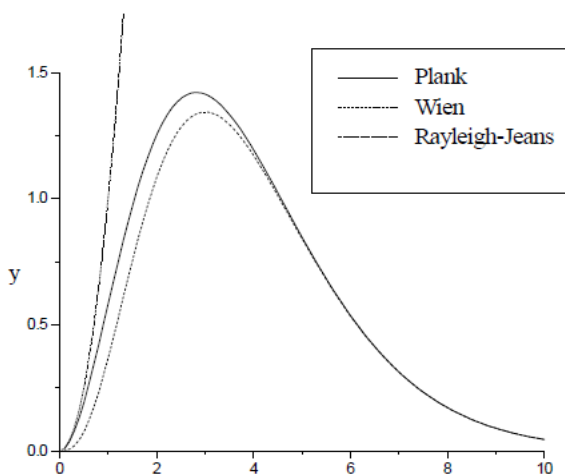


Ilustración 1. Densidad espectral de energía⁵

3. Anexo 1 deducción matemática de la distribución espectral del cuerpo negro.

4 Anexo 2 deducción matemática de la expresión para la densidad de energía

5 Imagen tomada de Física Cuántica, Dr. Mario Pirís Silvera, Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, Editorial ISCTN, 1999. La Habana, Cuba.

Donde para casos límites se recuperan las leyes de Wien y Stefan-Boltzman. La suposición de Planck de que la radiación interactúa con la materia a través de cuantos de energía fue empelada por Einstein para explicar el efecto fotoeléctrico y por Bohr en su modelo atómico. Para calcular la cantidad de energía emitida Stefan-Boltzman encuentra una relación donde la energía total emitida era proporcional a la temperatura absoluta elevada a la cuarta potencia. (Planck, 1900)

$$E = \sigma T_e^4 \quad (25)^6$$

Donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann y T_e es la temperatura efectiva, para la radiación del cuerpo negro, Wien en 1893 demostró mediante supuestos termodinámicos su ley de desplazamiento

$\lambda_{max}T = 0,0028976mK$ (26) que especifica que hay una relación inversa entre la longitud de onda en que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro y su temperatura absoluta⁷.

6 Anexo 3 deducción matemática de la expresión de Stefan-Boltzman a partir de Planck.

7 Deduciones matemáticas basadas en Física Cuántica, Dr. Mario Piris Silvera, Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, Editorial ISCTN, 1999. La Habana, Cuba. Capitulo 1.

4.5. Propuesta didáctica para la enseñanza de la física

En el marco de la investigación, acción participación, asumimos el modelo pedagógico constructivista o aprendizaje significativo para ello, es importante resaltar las directrices que dicho modelo pedagógico postula para orientar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

El modelo constructivista o aprendizaje significativo es:

“[...] el proceso a través del cual una nueva información (un nuevo conocimiento) se relaciona de manera no arbitraria y sustantiva (no-litera) con la estructura cognitiva de la persona que aprende” (Moreira, 1997).

Partiendo de un proceso de enseñanza-aprendizaje en el que el estudiante se involucre en la adquisición de su propio conocimiento, ayudando al conocimiento que posee sobre su entorno inmediato y buscando hacer efectivo el contenido nuevo hacia una realización o producción real, es decir, el estudiante como un sujeto constituido en una sociedad y ligado que a ella a partir de sus conocimientos y acciones cotidianas, logre establecer un vínculo real con el uso y necesidad de la lectura, para así a través de ella producir conocimiento nuevo, renovar y/o validar el ya adquirido.

A partir del modelo pedagógico elegido, es importante señalar la necesidad de que el estudiante se forje como un sujeto autoestructurado, para ello debemos tener claras dos nociones fundamentales, tales como son: aprendizaje y comprensión, estas últimas, a través de muchos estudios han sido tomadas como sinónimos, pero que es indispensable señalar que no es así. El aprendizaje dice Smith es “La modificación de lo que ya conocemos como una consecuencia de atender al mundo que nos rodea” (Smith, 1992, pág. 67).

El modelo pedagógico, busca atender a un proceso de aprendizaje que haga del estudiante un sujeto de su contexto inmediato y que ese conocimiento le permita preguntarse por posibles soluciones que pueda encontrar a través de la lectura. Es así como el estudiante basará su aprendizaje en su propia reflexión y modificará sus propias concepciones a través de nuevas lecturas de su contexto.

5. METODOLOGÍA

5.1. Planteamiento metodológico con base en los estándares físicos y su correlación con el entorno.

Para poder cumplir el propósito de este trabajo, que es el de implementar y enseñar el concepto de cuerpo negro en el aula de educación media se realiza, una consulta en los estándares básicos de educación en ciencias naturales, específicamente en el entorno físico y así identificar los conceptos básicos observados previamente en grados inferiores. Con esto se puede lograr retomar conceptos de la termodinámica, como se observan en la tabla No 1.

Tabla 1 estándares de educación, ciencias naturales por ciclos. (Nacional, 2004)

Ciclo de educación	Estándar básico
Grados 1°, 2° y 3°	<ul style="list-style-type: none"> •Identifico y comparo fuentes de luz, calor y sonido y su efecto sobre diferentes seres vivos. •Identifico situaciones en las que ocurre transferencia de energía térmica y realizo experiencias para verificar el fenómeno. •Clasifico luces según color, intensidad y fuente.
Grados 4° y 5°	<ul style="list-style-type: none"> •Describo y verifico el efecto de la transferencia de energía térmica en los cambios de estado de algunas sustancias.

Grados 6° y 7°	<ul style="list-style-type: none">•Clasifico y verifico las propiedades de la materia.•Describo el proceso de formación y extinción de estrellas.
Grados 8° y 9°	<ul style="list-style-type: none">•Establezco relaciones entre las variables de estado en un sistema termodinámico para predecir cambios físicos y químicos y las expreso matemáticamente.•Establezco relaciones entre energía interna de un sistema termodinámico, trabajo y transferencia de energía térmica; las expreso matemáticamente.
Grados 10° y 11°	<ul style="list-style-type: none">•Verifico el efecto de presión y temperatura en los cambios químicos.•Explico la transformación de energía mecánica en energía térmica.

Con lo anterior se puede evidenciar como en los estándares básicos de educación no se contempla la idea de enseñar física moderna en la educación media por tal motivo se pretende

mostrar en este documento la enseñanza de la misma a partir del concepto de cuerpo negro ya que este es el primer concepto en que permite dar paso a la cuantización de la energía.

Para lograr lo anterior se proponen dos actividades generales: la primera es el desarrollo previo de conceptos en el aula tales como temperatura, radiación, ley de desplazamiento de Wien, modelo de Rayleigh-Jeans, ley de Stefan-Boltzman, perfil de distribución de radiación dado por Planck, con el fin de generar un acercamiento al estudiante al concepto de cuerpo negro, la segunda es el diseño de una secuencia didáctica, la cual tiene como objetivos 1. Contextualizar en la época de revolución industrial sobre el problema del cuerpo negro (Mijailov, 1996) 2. Modelar experimentalmente un cuerpo negro a través de un cubo de papel. Esta secuencia está pensada y será diseñada con el fin de generar una discusión sobre la importancia histórica del concepto de cuerpo negro, además de estimular a los estudiantes a generar hipótesis a cerca de la práctica a realizar.

5.2. Implementación de secuencia didáctica

Nombre de la secuencia: La radiación del cuerpo negro

Ciclo de formación: Ciclo V-Grado Once y Décimo

Tiempo: Seis clases- dos semanas- horarios de clase

Profesora: Lina Marcela Giraldo Ávila.

Presentación del interés didáctico

A través de esta propuesta se pretende demostrar la importancia que tiene la inclusión de nuevos conceptos en este caso el cuerpo negro en las propuestas curriculares de la física clásica y moderna, que permitirán experiencias significativas logrando en los estudiantes una observación de fenómenos no visibles.

Contextualización de la población

La población a trabajar son 73 estudiantes de Grado Decimo y Once, de los colegios I.E.D OEA localizado en la Carrera 72L # 34-19 SUR localidad de Kennedy y colegio Andrés Rosillo (privado) ubicado en la Cll. 65C SUR #78A-23 localidad de Bosa.

Situación que movilizó el desarrollo de la secuencia

Durante una clase de física, mientras se generaba una discusión en temáticas de termodinámica surge la necesidad de explicar el concepto de radiación de cuerpo negro a partir de la pregunta realizada por un estudiante “¿Cuál es la temperatura del sol y como la conocemos si nunca hemos llegado a él?”.

A partir de esta pregunta surge la necesidad de explicar a través de la experiencia conceptos de la física clásica que permitan generar un conocimiento más significativo y observacional por parte del estudiante, vinculando conocimientos transversales e interdisciplinarios para generar un conocimiento holístico.

Procesos de Enseñanza- Aprendizaje según el MEN

Para poder cumplir el propósito de este trabajo, que es el de implementar y enseñar el concepto de cuerpo negro en el aula de educación media se realiza, una consulta en los estándares básicos de educación en ciencias naturales, específicamente en el entorno físico y así identificar los conceptos básicos observados previamente en grados inferiores. Con esto se puede lograr retomar conceptos de la termodinámica.

Requerimientos según el MEN en ciencias naturales

- ✓ Identifico y comparo fuentes de luz, calor y sonido y su efecto sobre diferentes seres vivos.
- ✓ Identifico situaciones en las que ocurre transferencia de energía térmica y realizo experiencias para verificar el fenómeno.
- ✓ Clasifico luces según color, intensidad y fuente.
- ✓ Describo y verifico el efecto de la transferencia de energía térmica en los cambios de estado de algunas sustancias.
- ✓ Clasifico y verifico las propiedades de la materia.
- ✓ Describo el proceso de formación y extinción de estrellas.
- ✓ Establezco relaciones entre las variables de estado en un sistema termodinámico para predecir cambios físicos y químicos y las expreso matemáticamente.
- ✓ Establezco relaciones entre energía interna de un sistema termodinámico, trabajo y transferencia de energía térmica; las expreso matemáticamente.
- ✓ Verifico el efecto de presión y temperatura en los cambios químicos.
- ✓ Explico la transformación de energía mecánica en energía térmica.

Fundamentación teórica

Partiendo de la teoría a la experiencia se da un paso significativo en modelo de enseñanza aprendizaje que fortalece la enseñanza de la física como un modelo interdisciplinar apropiando concepto tales como las de las ciencias sociales donde se logra contextualizar el concepto de cuerpo negro a través de la revolución industrial.

Estrategias de Enseñanza- Aprendizaje

- **Activación de conocimientos previos:** Esta se realizará a través de la lectura y apropiación del concepto histórico donde se extrae el concepto con fundamentos experimentales en este caso la máquina de vapor como lo es en la revolución industrial, ésta estrategia estará regulada bajo la interacción entre estudiantes y docente.
- **Reconocimiento en contexto:** este se da con la experimentación propuesta en el laboratorio el “cubo de papel” el cual consistía en forrar un cubo en papel aluminio y someterlo a una fuente de calor el cual permitía que en el interior del cubo se tomaran temperaturas para así idealizar el concepto de cuerpo negro o radiación electromagnética.
- **Proceso de evaluación:** se deja como propuesta evaluativa el siguiente ejercicio práctico: como sería el comportamiento en un día soleado si se utiliza vestimenta de distintas tonalidades y con cual nuestro cuerpo absorbería mayor radiación del sol” con esto se da entrada a muchos más conceptos de termodinámica y física moderna.

Objetivos didácticos

Objetivo general del profesor investigador

- Favorecer procesos de experimentación en la física moderna que genere competencias conceptuales como son el cuerpo negro.

Objetivo Específicos de aprendizaje del estudiante.

- Contextualizar el concepto de cuerpo negro mediante uso de lecturas.
- Identificar y aplicar el concepto de cuerpo negro en la vida cotidiana.
- Comparar los conceptos de cuerpo negro con la radiación electromagnética.
- Realizar experimentación a partir de material de bajo costo.

5.3. Etapas de desarrollo para la secuencia didáctica

Este trabajo propone una metodología de implementación de una secuencia didáctica en colegios de educación media, grado decimo y once, específicamente en el colegio I.E.D. OEA y el colegio Andrés Rosillo la secuencia se dividió inicialmente en tres sesiones o etapas, esto con el fin de llevar un proceso de enseñanza aprendizaje que fortalezca la comprensión del concepto a estudiar, como se muestra a continuación:

5.3.1 Etapa 1

Lectura introductoria: esta trata acerca de la revolución industrial y el problema del cuerpo negro. En grupos de estudiantes y a través de esta respondieron una serie de preguntas que se proponían en la guía como parte de la comprensión lectora.

5.3.2. Etapa 2

Socialización de la lectura: en esta parte los estudiantes generaron un debate en el cual se plantearon la necesidad del concepto de cuerpo negro en la industria y en nuestras vidas, y a partir de esto lograron socializar sus respuestas de la parte uno propuesta en la guía.

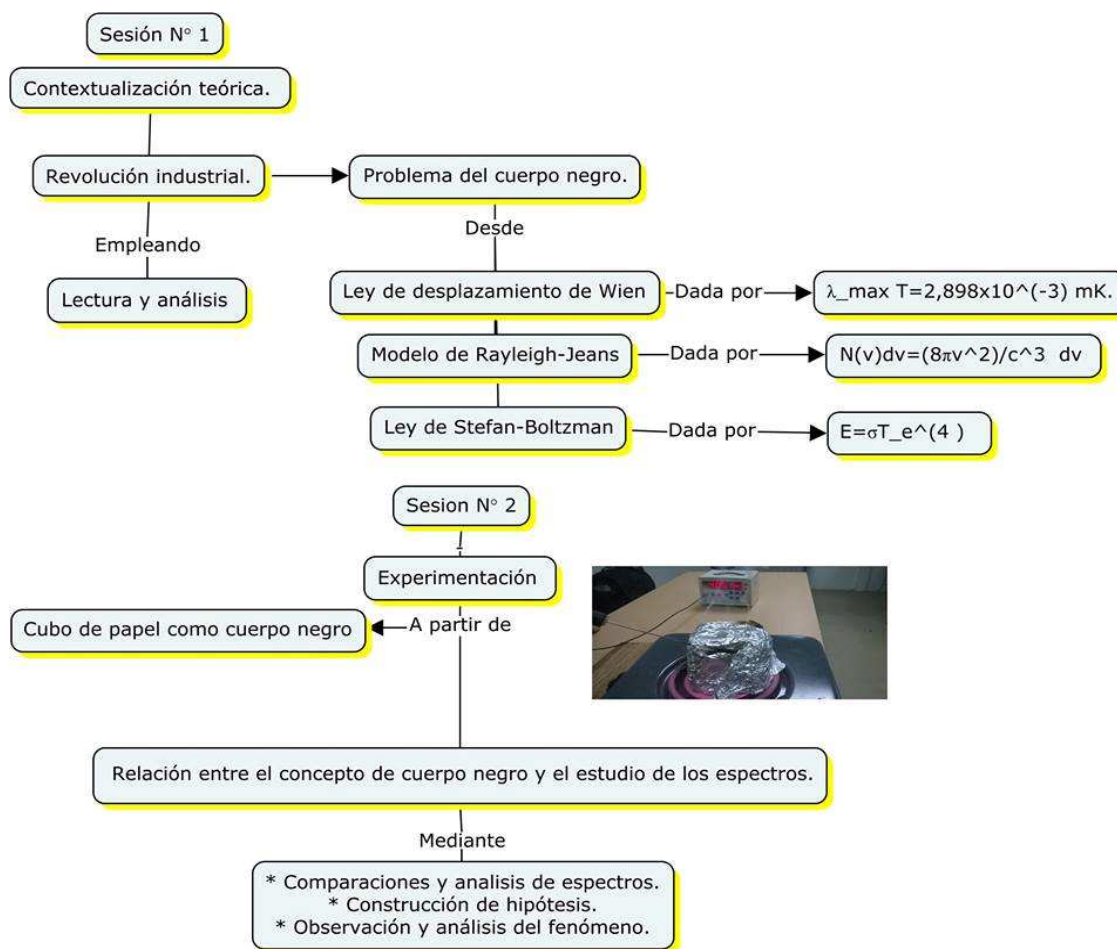


Ilustración 2 esquema para llegar al desarrollo de la secuencia didáctica.

5.3.3 Etapa 3

Realización de una práctica experimental: la práctica se realizó con el fin de modelar el cuerpo negro a partir de cubos de papel forrados con papel aluminio, los cuales permanecieron expuestos a una radiación y así se logró medir su temperatura interna, esto teniendo en cuenta los instrumentos de medida que se puedan facilitar en el colegio como termómetros, estufas.

Para realizar el análisis del aporte que puede generar la implementación de conceptos de física moderna en el aula, en este caso específico el cuerpo negro, se empleó una metodología de investigación cuantitativa porque se trata de un proceso secuencial (Hernández, 2010), se piensa que la actividad en términos de las estrategias metodológicas, didácticas y evaluativas de los estudiantes de educación media es susceptible al tratamiento estadístico. La aplicación de instrumentos como encuestas y guías permitirá, la obtención de una media que describirá la ejecución típica de la muestra analizada, la cual se pueden generar al diferenciar las hipótesis y opiniones propias de cada estudiante, permitiendo identificar ideas que son susceptibles de generalización (Escotet, 1980).

La investigación cualitativa permite interpretar los fenómenos en los términos del significado que las personas les otorgan (Vasilachis, 2006), basándose en métodos de recolección de datos que permitirá obtener las perspectivas y los puntos de vista de los participantes en este caso los estudiantes de educación media, el interés de este tipo de investigación se centra en las vivencias de los participantes por ello se utilizó técnicas para recolectar datos como la observación, entrevistas abiertas, desarrollo de guías, que permitieron la interpretación. Este análisis sobre la enseñanza de conceptos de física moderna en educación media, inició por la

revisión de los lineamientos curriculares propuestos para la educación media en el área de ciencias naturales y educación ambiental; esta interpretación de la literatura permitió la elaboración de unas categorías con las cuales se caracteriza la enseñanza de conceptos de física moderna en el grado decimo para así poder generar la secuencia didáctica desde el diseño e implementación de procesos de enseñanza en áreas conceptuales llamadas “didácticas específicas” desde el aprendizaje significativo (Camino, 2011).

5.4 Análisis de la Población

Se arrolló la actividad en dos colegios I.E.D. OEA (distrital) de la localidad de Kennedy Bogotá grado decimo, y colegio Andrés Rosillo (privado) localidad de Bosa Bogotá grado 11, donde el estudiante se enfrentará a nuevas teorías y conceptos que le ayudaran en su desarrollo de formación académico. Para alcanzar lo dicho anteriormente se propusieron dos guías las cuales permitieron cumplir con los objetivos planteados.

Los estudiantes del colegio distrital OEA se encontraban en el aula de articulación de mecatrónica de grado decimo del año 2014, donde se llevaban a cabo clases tradicionales en el aula de física, en la cual la temática del semestre se regía por la física clásica. La implementación de la siguiente práctica se llevó a cabo en la última clase del semestre donde los estudiantes, solo tuvieron clases teóricas y resolución de problemas. En total presentaron la práctica 35 estudiantes, los estudiantes se dividieron en grupos de tres y dos estudiantes. Para la realización de la experiencia se dispuso de 8 horas.

En el colegio Andrés Rosillo los estudiantes que realizaron la actividad se encontraban cursando grado once del año 2016, para un total de 38 estudiantes, se dispusieron de 6 horas para esta actividad dividida en tres sesiones de 2 horas cada una, en la primera sesión se

retomaron conceptos básicos de termodinámica y electromagnetismo, en la segunda se realizó la guía No 1 y en la tercera sesión se realizó la guía No 2, en este colegio el plan curricular que se encuentra diseñado los estudiantes tienen como materia obligatoria física desde grado primero hasta grado once, y en el cual las temáticas son más extensas y se encuentran por encima de los estándares de calidad que la secretaria de educación propone, logrando de esa actividad resultados más favorables, mostrando que si en los colegios se plantean estos currículos los estudiantes adquieren mayor conocimientos.

En total presentaron la actividad 73 estudiantes, durante la actividad se utilizó material de muy bajo costo, esto con el fin de evitar las excusas del factor económico para la implementación de nuevas estrategias educativas.

5.5 Implementación de las etapas.

Implementación de la Etapa No 1

Para el desarrollo de la primera sesión de la actividad se diseñó una guía No 1⁸ la cual fue entregada a los estudiantes, esta consistía en la realización de una lectura y fomentar el interés en el tema previo a la experimentación, ésta tenía como tema central la evolución de la tecnología y de las ciencias a la par de la revolución industrial y la invención de la máquina de vapor, teniendo en cuenta la lectura y sus aportes se realiza una comprensión de la misma realizando a los estudiantes cinco preguntas que se encuentran al final de la guía, gracias a esta caracterización se logra dar el primer paso a la construcción del concepto de cuerpo negro.

⁸ Anexo 5. Guía No 1

Realizando un análisis cualitativo en esta primera sesión es claro como la lectura se convierte en una herramienta útil a la hora de presentar un nuevo concepto a los estudiantes, ya que al mostrar temas de diferentes áreas en este caso de historia general se nota el interés de los estudiantes por comprender conceptos físicos a través de la historia y de ejemplos cotidianos los cuales pueden relacionar fácilmente con la física.

En esta primera sesión aproximadamente el 80% de la población contestó correctamente la guía No 1, dejando como evidencia la falta de comprensión lectora científica de extracción de contenido del 20% debido a que las respuestas las proporcionaba la misma lectura y el estudiante no debía abordar a otros medios para conocerlas.

Implementación de la Etapa No 2

En esta sesión se realiza una mesa redonda con los estudiantes para proceder a analizar la lectura realizada, en esta los estudiantes socializaron y dieron sus ideas acerca de la importancia de la revolución industrial en el desarrollo de la física y se apropiaron de este concepto de cuerpo negro el cual es nuevo para ellos.

Implementación de la Etapa No 3

Se da paso al desarrollo de la segunda guía⁹, en donde se elabora el experimento de “cubo negro”, en esta, se presentaron los objetivos y se dio una introducción del marco teórico para la comprensión del fenómeno, antes de iniciar la práctica. Además de contar con los pasos que se deben seguir en la realización de la práctica.

⁹ Anexo 6. Guía No 2

5.6. Elaboración del experimento

“Cubo negro” radiación de cuerpo negro.

Para el montaje experimental se debe tener en cuenta los siguientes materiales:

- ✓ Una (1) hoja de papel
- ✓ Medio metro de papel aluminio.
- ✓ Una estufa o resistencia.
- ✓ Termómetro de aproximadamente 300 °C
- ✓ Ficha con el Espectro electromagnético
- ✓ Cronometro

Lo primero que se debe hacer es construir un cubo de papel, teniendo en cuenta que para la elaboración del cubo no se puede utilizar pegante, por tanto se sugiere realizarlo en origami. Una vez se tiene el cubo armado, se debe envolver en papel aluminio, es importante que no entre luz al cubo, así que se debe tener cuidado de cubrirlo bien, especialmente en las esquinas, realizar en el cubo un orificio de medio centímetro de diámetro, tener cuidado que no se rompa el papel y el experimento pueda arrojar los resultados esperados.

Por último se introduce el termómetro dentro del cubo, de tal forma que se puedan registrar los datos de temperatura al interior del cubo de papel. Luego de realizar los pasos anteriores se debe colocar el cubo en la estufa durante aproximadamente 15 minutos. Se debe tener en cuenta que en el momento de poner el cubo en la fuente de calor el aluminio tiende a separarse de la cartulina, por seguridad no intente pegar el aluminio al cubo. Después de 15 minutos se debe retirar el cubo de la estufa. Una vez enfriado el cubo debemos quitar el aluminio que lo cubre. (Giraldo, 2014).



Ilustración 3 Imagen del modelo de cuerpo negro planteado en la guía

6. RESULTADOS

Con esta secuencia se logró analizar bastantes aspectos, como primer aspecto a analizar y resaltar es el interés que mostraron los estudiantes cuando se les habla de una práctica de laboratorio en donde se observan diferentes fenómenos, los estudiantes mostraron entusiasmo y comportamiento diferente, durante la práctica los estudiantes preguntaron, se interesaron y sobre todo estuvieron participativos.

Se debe recalcar y definitivamente preocuparnos por la importancia del proceso lecto escritor científico de los estudiantes, se evidenció que a la mayoría de los estudiantes se les dificulta este proceso ya que en la guía uno proporcionada a los estudiantes tenía como finalidad la extracción de conceptos de esta.

Antes de iniciar la construcción del cubo se les realiza la siguiente pregunta a algunos estudiantes: ¿Qué creen que sucederá si sometemos el cubo forrado en aluminio a la estufa? Esto con el fin de lograr que los estudiantes generen una serie de hipótesis teniendo como fundamentos la comprensión de la lectura y los temas tratados previamente; Luego de esto se pasa a la construcción de los cubos necesarios para la realización de la práctica, cuando se tienen los cubos se procede a forrar los en papel aluminio, esto para que el aluminio no permita el contacto directo del papel con la estufa y se pueda evidenciar el fenómeno, luego ponemos el cubo en la

estufa, esperamos unos minutos para que la radiación térmica realice su trabajo y cuando se halla enfriado el cubo, se retirara el papel aluminio y con esto observar los resultados.

De la pregunta realizada a los estudiantes del colegio OEA: Colegio 1 y colegio Andrés Rosillo: colegio 2, antes de iniciar la experiencia se logró que los estudiantes propusieran algunas de las hipótesis, las cuales se muestran a continuación:

Colegio número 1	Colegio número 2
<ul style="list-style-type: none"> ▪ “El cubo al ponerlo en la estufa se va a encoger por que absorbe la energía” 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “El calor que se conserva va a salir por el orificio que se abrió lo que impedirá que se quemé”
<ul style="list-style-type: none"> ▪ “No le va a suceder nada al cubo” 	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ “El papel aluminio se va a quemar” 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “el papel que se encuentra cubierto inmediatamente se va a deshacer”
<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Tanto el papel aluminio como el cubo se van a quemar” 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “el papel aluminio causara que el interior tome color distinto”
<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Como al estar sometido a la temperatura le ingresará energía y se inflara el cubo, pues lo negro absorbe la energía, justificando que al aluminio no le sucederá nada” 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “en el momento que el cubo ya forrado se meta en el soporte se genere calor y se concentre en el centro del cubo”
<ul style="list-style-type: none"> ▪ “Se va achicharrar totalmente el papel y el aluminio” 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “la temperatura llegara a 100 ya que el papel aluminio absorbe el calor para finalmente neutralizarlo en el interior”
<ul style="list-style-type: none"> ▪ a brillar hacia a fuera y el cubo interno se quema” 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ “El papel aluminio se quemara”
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ el papel aluminio que estira” ▪ “el cubo de papel cambiara su forma”

-
- “El cubo se va a calentar por dentro y luego sacara su energía y el aluminio va
 - “El papel aluminio se va a pegar al papel del cubo”
 - “El papel aluminio va a cambiar de color a un color café”
 - “no sucederá nada el calor se concentra como cuando se hacen papas saladas con aluminio”
-



Ilustración 4 Imagen del cubo una vez realizada la experiencia.

Se observó gracias a los aportes proporcionados por los estudiantes en el debate que los estudiantes comprendieron el concepto de cuerpo negro, y de paso a la explicación sobre radiación que nos conlleva al tema central de la práctica, el cuerpo negro. Los estudiantes generaron un debate entre todos, dándose cuenta mediante esta experiencia que hay temas más allá de lo que les enseñan de mecánica clásica que pueden entender y conocer.

En el colegio 1, no fue posible registrar datos de temperatura debido a que la institución no contaba con materiales como termómetros adecuados para poder realizar este registro de datos.

En el colegio 2, el trabajo fue exitoso debido a que los estudiantes tienen la asignatura de física en los planes de estudio desde grado primero de primaria proporcionando conocimientos y conceptos más sólidos, en comparación con otras instituciones educativas tanto privadas como distritales. Ante lo cual se pudo empezar un trabajo directamente desde el electromagnetismo con bases que los estudiantes tenían de sus cursos anteriores. Durante la primera parte donde ellos tenían que realizar la lectura de introducción se notó gran interés de conocer este concepto, fue notorio como se llenaron de motivación para realizar un buen trabajo.

Durante la segunda guía, la realización de la practicas los estudiantes tenían gran inquietud por saber qué sucedería, en esta institución contamos con un termómetro de $300\text{ }^{\circ}\text{C} \mp 0,01$ aclarando que este margen de error no se tuvo en cuenta en la experimentación, con los cuales se permitió tomar mediadas de la temperatura al interior del cubo lo cual ayudo a la corroboración del comportamiento de un cuerpo negro, alcanzando una temperatura aproximada de $270\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual permitió calcular la longitud de onda a la cual estaba emitiendo el cuerpo, esta longitud de onda alcanzo los 10^{-6}m , ante esto y con ayuda de la ficha del espectro electromagnético que previamente fue explicado en las clases, se logró mostrar a los estudiantes que, lo que estaba sucediendo al interior de este era un fenómeno de radiación electromagnética en el rango del infrarrojo, los estudiantes mostraron asombro al observar que un cubo de papel en su interior alcanza una temperatura de 270°C , sin quemarse.

Es evidente como los estudiantes de este colegio cuentan con bases más estructuradas de conceptos de la física. Pero esto no quiere decir que estudiantes de instituciones que enseñan física desde grado decimo según sus planes de estudio no estén en la capacidad de comprender y analizar un fenómeno físico de la física moderna.



Ilustración 5 Desarrollo de la guía en el colegio número 1.¹⁰



Ilustración 6 Montaje experimental realizado en el colegio número 1.¹¹

Los datos registrados en esta institución por un grupo de estudiantes son mostrados en la Tabla No 2.

Tabla 2 datos de temperatura en función del tiempo tomados en el colegio Andrés Rosillo.

Tiempo (s)	Temperatura (°C)
120	40
180	70
240	85
300	90
360	100

¹⁰ Foto tomada en el laboratorio del colegio Andrés Rosillo.

¹¹ Foto tomada en el colegio Andrés Rosillo durante la práctica experimental.

420	110
480	120
540	130
600	135
660	140

Con estos datos se realiza la gráfica No 1 de la temperatura en función del tiempo proporcionada con los datos experimentales.

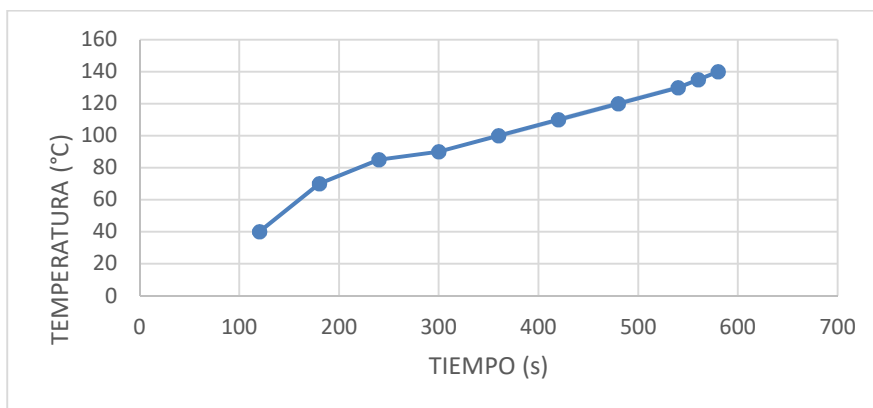


Gráfico 1 reporte de datos de temperatura en función del tiempo al interior del cubo de papel.

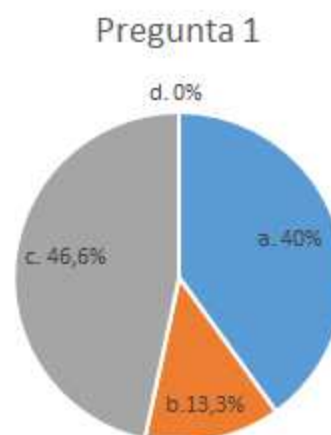
Con ayuda de la ecuación de la ley de desplazamiento de Wien, escrita en la ecuación (31) se pudo calcular la longitud de onda a la cual se encontraba emitiendo el cubo en su interior la cual dio un valor aproximado de $\lambda_{max} = 7,0145 \times 10^{-6} m$, la cual comparando con el espectro electromagnético nos damos cuenta que se encuentra emitiendo en el infrarrojo, permitiendo con este experimento una aproximación acertada a la radiación de cuerpo negro.

6.1. Análisis de resultados de la aplicación de las guías

6.1.1 Guía 1

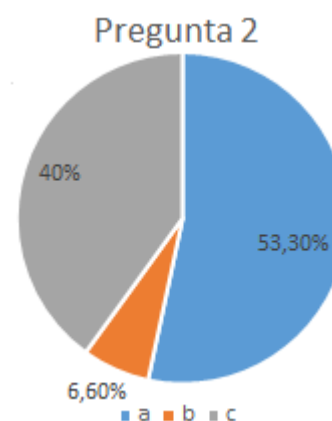
1. De la frase "...La teoría de cuerpo negro plantea en términos más formales el problema del aprovechamiento de la energía emitida por estos combustibles, y de los recipientes para que sus paredes canalicen el calor intentando que las paredes de estos absorban la menor cantidad posible permitiendo así el beneficio de esta energía al máximo ..." Se puede inferir que:

- a) Con el cuerpo negro se conduce aún mejor aprovechamiento del calor
- b) Se llama cuerpo negro por que emite toda su energía
- c) Se llama cuerpo negro por que absorbe toda su energía
- d) El problema del cuerpo negro es un problema que se enmarca enteramente en aplicaciones de mano factura.



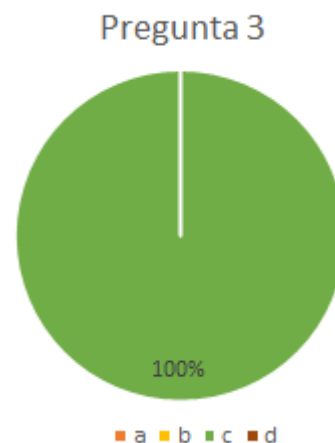
2. El principal problema que se tenía en la revolución industrial era:

- a) Que no se tenía un método efectivo para aprovechar el calor en la fundición del hierro
- b) Que no se tenía una forma de extraer materiales baratos para quemar y poder fundir el hierro.
- c) El impacto ambiental que generaba la tala indiscriminada de bosques.



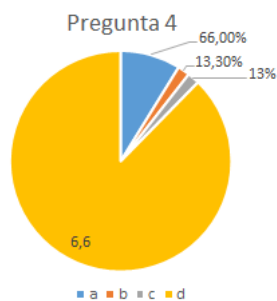
3. En 1862 un físico da nacimiento al concepto de _____ el cual es un objeto ideal, el cual es capaz de absorber toda la radiación que incide sobre él. Este físico se llama _____.

- a) Cuerpo negro, Planck
- b) Entropía, Gustav Kirchoff
- c) Cuerpo negro, Gustav Kirchoff
- d) Entropía, Planck



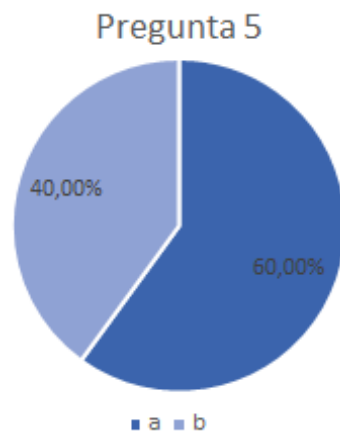
4. El concepto que este físico crea da paso a una nueva era en la física, ya que de intentar solucionar el problema del cuerpo negro se da paso a la _____, que años después sería propuesta en un numero de leyes por _____ el cual se le considera el padre de esta rama de la física.

- a) Segunda ley, Gustav Kirchoff
- b) Mecánica cuántica, gustav Kirchoff
- c) Mecánica cuántica, Max Planck
- d) Segunda ley, Max Planck



5. ¿para qué sirve el cuerpo negro?

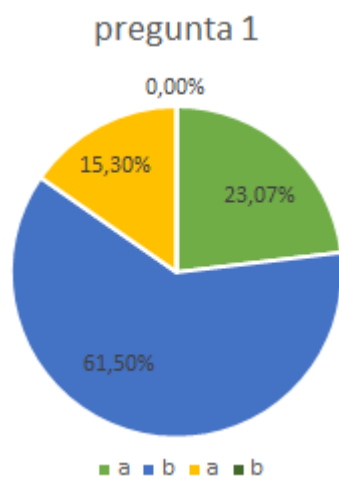
- a) aprovechamiento de la energía
- b) beneficio de la energía



6.1.2 Guía 2

1. Después de someter el cubo a la fuente de este pierde sus propiedades:

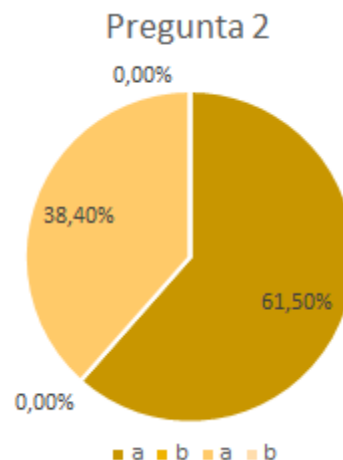
- a) Físicas
- b) Químicas
- c) Físicas y químicas
- d) Otras



calor

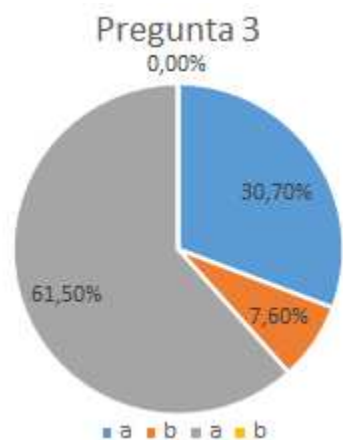
2. El experimento del “cubo negro”, modela un cuerpo negro porque:

- a) Muestra como un material emite toda su radiación y por lo tanto puede modelarse como un cuerpo negro.
- b) Al quemarse queda negro totalmente.
- c) Porque la teoría de Kirchoff plantea el suceso evidenciado.
- d) Porque Kirchoff lo plantea y planck lo soluciona.



3. El cuerpo negro, y el experimento del cubo negro se puede modelar como el sol, ya que:

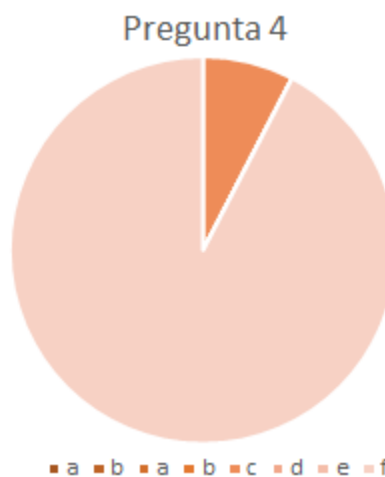
- a) Emite toda su energía al igual que una estrella
- b) No absorbe calor
- c) Absorbe calor a través del aluminio
- d) No es posible modelarla a través del concepto de cuerpo negro.



4. Si colocas un cubo de hielo sobre seis piezas de papel de diferentes colores. Usa negro y blanco y luego otros cuatro colores, como azul, rojo, amarillo y verde. Coloca las tarjetas afuera bajo el sol y observas cuál se derrite primero y cuál a lo último. Cuando el rayo de sol es absorbido, la energía solar se convierte en

calor, lo que hace que los cubos de hielo se derritan. ¿Cuál de los hielos se derrite más rápido? ¿por qué?

- a) El que está sobre el papel azul
- b) El que está sobre el papel blanco
- c) El que está sobre el papel rojo
- d) El que está sobre el papel amarillo
- e) El que está sobre el papel verde.
- f) El que está sobre el papel negro



6.2 Análisis

Durante la realización del cubo negro, se notó el interés de los estudiantes por la realización del mismo, se mostraron con gran interés por lo que se tenía planeado, en el momento que se sometió el cubo a la radiación emitida por la estufa algunos estudiantes lograron comprobar sus hipótesis y con esto se notaron sorprendidos al ver que lo que se había planteado inicialmente no fue lo que sucedió e inmediatamente surgió un dialogo entre ellos dando cuenta que sus hipótesis no fueron correctas por qué no tuvieron en cuenta la lectura realizada a la hora de plantear las mismas.

La experiencia en el primer colegio mostró algunos estudiantes con poco interés hacia la física, esto fue un proceso de varias semanas en donde se convivió con los estudiantes y se ha obtenido un perfil de ellos, hay que resaltar que generalmente se muestran bastante atípicos a las clases de física y con serias dudas acerca de la importancia de las mismas, además vienen acostumbrados a una metodología tradicionalista en donde lo único que se realizan son talleres y evaluaciones, y donde la explicación generalmente no tarda más de 20 minutos por cada tema. Por

el contrario en el colegio número 2 los estudiantes mostraron interés por este nuevo concepto que adquirieron.

Se puede afirmar que la enseñanza del concepto de cuerpo negro en el aula de educación media es importante y que el estudiante de grado decimo y grado once, está en la capacidad de adquirir estos conocimientos y el docente de transmitirlos, siendo este concepto fundamental en el paso de la física clásica a la física moderna.

7. CONCLUSIONES

- Se pudo evidenciar como a partir elementos históricos, se puede llegar a la obtención de un concepto de forma diferente, generando en el estudiante interés por la experimentación y la obtención de resultados.
- Gracias a la revisión de los lineamientos curriculares proporcionados por el Ministerio de Educación Nacional y los planes de estudio de los dos colegios consultados, se evidencio como cada institución cuenta con la libertad de implementar en sus planes de estudios temáticas de interés, como lo fue en el caso del colegio No 2, quien desde el inicio de la vida escolar de los estudiantes propone el estudio de la Física y permite al docente realizar modificaciones permanentes en su plan de estudios, en este último se logró incorporar en el año 2016 en el plan de estudios del colegio Andrés Rosillo la física moderna en el grado once.
- Implementar secuencias didácticas en las instituciones educativas permite al docente mostrar resultados y avances en el proceso de aprendizaje de los estudiantes.
- El desarrollo teórico-experimental permite al estudiante aumentar su proceso cognitivo y adquisición de conocimientos a partir de la generación de hipótesis y el poner en juego sus ideas previas en la búsqueda de explicaciones.
- Esta propuesta puede potenciar la idea de generar laboratorios de bajo costo para ser incluidos en espacios de formación escolar.

8. REFERENCIAS

- A., B. (1970). *Conceptos de Física Moderna*. Ciencia y Técnica,.
- Beiser, A. (1970). *Conceptos de Física moderna*. Ciencia y técnica.
- Brush, G. H. (1987). *Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas*. Revertè S.A.
- Camino, N. (2001). La didáctica de la astronomía como campo de investigación e innovación educativas. *I Simposio Nacional de Educação em Astronomia*.
- CASTILLO, R. R. (1999). *PROPUESTA DIDÁCTICA: SEMINARIO DE TERMOMETRÍA PARA CURSO EN EL MÓDULO 8 DE PREPARATORIAS*. San Nicolás de los Garza, N.L Ciudad Universitaria.: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN .
- CLIMENT, G. *Inclusión y sistema educativo*. (Barcelona): Universidad Ramon Llull.
- Feynman, R. (1918-1988.). *Física*. México.
- Francisco Savall Alemany, J. L. (2013). La introducción del concepto de fotón en bachillerato. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(2).
- Gallejo, M. B. (2013). El lenguaje de las ciencias físicas. aspectos formales, técnicos y filosóficos de la física. *PENSAMIENTO*, ISSN 0031-4749, 797-837. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de <https://revistas.upcomillas.es/index.php/pensamiento/article/viewFile/4715/4536>
- Giraldo, L. (Dirección). (2014). "cuerpo negro como cubo de papel" [https://www.youtube.com/watch?v=q_MNWb6hkyU].
- Kuhn, T. (1980). *La Teoría del Cuerpo Negro y la Discontinuidad Cuántica*. Madrid: Alianza.
- L. Osuna, J. M. (2007). *Enseñanza de las Ciencias* 25, 277.
- Mendoza Santos, J. C., & Hernández Sánchez, H. (s.f.). *El nacimiento de una constante*. ensayos.

Moreira, M. C. (1997). Aprendizaje significativo: Un concepto adyacente. Encuentro internacional sobre el Aprendizaje significativo. *Burgos: Actas del encuentro internacional sobre el aprendizaje significativo.*, (págs. 1-26).

Nacional, ©. M. (Ed.). (2004). *ESTÁNDARES BÁSICOS DE COMPETENCIAS EN CIENCIAS SOCIALES Y CIENCIAS NATURALES*. Obtenido de La formación en ciencias: ¡el desafío!

Planck, M. (1900). On the Law of the Energy Distribution in the Normal Spectrum. *Published in Verh. Dtsch. Phys. Gess*, 202, 237.

Planck, A. P. (1901). On the Law of the Energy Distribution in the Normal Spectrum.

Ridnik, V. (1978). *Leyes del mundo atómico*. Moscu: MIR MOSCU.

ROJAS, J. C. (2016). *UNA APROXIMACIÓN AL CONCEPTO DE RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO, A TRAVÉS DE LAMPARAS INCANDESCENTES*. Bogotá: UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL.

Savall Francisco &, D. &. (2013). La introducción del concepto de fotón en bachillerato. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(2).

Smith, F. (1992). "*comprension de lectura: la lectura y su aprendizaje*". Mexico D.F.: 2A Trillas.

Silvera, D. M. (1999). *Física Cuantica*. Abana, Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares, Cuba: Editorial ISCTN, 1999.

VALERO, MICHEL. Física fundamental II, editorial Norma. 1983. CO.

VEGA, M. Unidad técnica de diseño curricular, el aprendizaje cooperativo. (Navarra): Fondo de publicaciones del gobierno de navarra.

9. ANEXOS

9.1. Anexo 1

Para el desarrollo matemático de la distribución espectral del cuerpo negro es necesario tomar la ecuación No. 26 $\bar{\epsilon} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} nh\nu e^{-nh\nu/KT}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-nh\nu/KT}}$ y trabajar por separado el numerador del denominador como se muestra a continuación:

Para el numerador

$$\sum_{n=0}^{\infty} nh\mu e^{-\frac{hn\mu}{KT}}$$

$$0 + h\mu e^{-\frac{h\mu}{KT}} + 2h\mu e^{-\frac{2h\mu}{KT}} + 3h\mu e^{-\frac{3h\mu}{KT}} + nh\mu e^{-\frac{hn\mu}{KT}}$$

Factorizando

$$h\mu e^{-\frac{h\mu}{KT}} \left[1 + 2e^{-\frac{h\mu}{KT}} + 3e^{-\frac{2h\mu}{KT}} + \dots + ne^{-\frac{(n-1)h\mu}{KT}} \right]$$

$$h\mu e^{-\frac{h\mu}{KT}} \left[\sum_{n=0}^{\infty} ne^{-\frac{(n-1)h\mu}{KT}} \right]$$

SI $x = e^{-\frac{h\mu}{KT}}$

$$h\mu x \left[\sum_{n=0}^{\infty} nx^{n-1} \right]$$

Para el denominador

$$\sum_{n=0}^{\infty} e^{-\frac{hn\mu}{KT}}$$

$$1 + e^{-\frac{h\mu}{KT}} + e^{-\frac{2h\mu}{KT}} + \dots + e^{-\frac{hn\mu}{KT}}$$

$$1 + x + x^2 + x^3 + \dots + x^n$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} x^n$$

Se tiene que

$$\frac{d}{dx} \sum_{n=0}^{\infty} x^n = \sum_{n=1}^{\infty} nx^{n-1}$$

Radio de convergencia de x^n es igual a 2

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{1}{1-x} \right) = \frac{1}{(1-x)^2}$$



Radio de convergencia de x^n

Radio de convergencia de

nx^{n-1}

Retornando a x que es la energía media según Planck:

$$\bar{\epsilon} = \frac{h\mu x [\sum_{n=1}^{\infty} nx^{n-1}]}{\sum_{n=0}^{\infty} x^n}$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{h\mu x \left[\frac{1}{1-x} \right]^2}{\frac{1}{1-x}}$$

$$\bar{\epsilon} = \frac{h\mu x}{1-x}$$

Reemplazando x se tiene

$$\bar{\epsilon} = \frac{h\mu e^{-\frac{h\mu}{kT}}}{1 - e^{-\frac{h\mu}{kT}}}$$

Se obtiene, la primera estadística cuántica de Planck:

$$\bar{\epsilon} = \frac{h\mu}{e^{\frac{h\mu}{kT}} - 1}$$

9.2. Anexo 2

Para determinar la densidad de Energía tenemos:

$$\delta(\mu)d\mu = \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta\nu}$$

$$\delta(\mu)d\mu = \frac{N(\nu) \bar{\varepsilon} d\mu}{\nu}$$

$$\frac{\frac{8\pi\mu^2\nu}{c^3} \frac{h\mu}{e^{\frac{h\mu}{kT}} - 1} d\mu}{\nu}$$

$$\delta(\mu)d\mu = \frac{8\pi\mu^3 h}{c^3} \left(\frac{1}{e^{\frac{h\mu}{kT}} - 1} \right) d\mu \rightarrow 1$$

$$c = \lambda\mu \Rightarrow \mu = \frac{c}{\lambda} \Rightarrow d\mu = -\frac{c}{\lambda^2} d\lambda$$

$$\delta(\mu)d\mu = -\delta(\lambda)d\lambda$$

Reemplazando 1

$$-\delta(\lambda)d\lambda = \frac{8\pi \frac{c^3}{\lambda} h}{c^3} \left(\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \right) \left(-\frac{c}{\lambda^2} \right) dx$$

Obtenido finalmente la distribución espectral del cuerpo negro por Planck.

$$\delta(\lambda)d\lambda = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \right) dx$$

9.3. Anexo 3

Dedución matemática de la ley de Boltzman a partir de la ley de Planck

$$\delta(\nu)d\nu = \frac{8\pi\nu^3 h}{c^3} \left(\frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \right) d\nu$$

$$R = \frac{c}{4} \delta(\nu) \quad x = \frac{h\nu}{kT} \quad \frac{kTx}{h} = \nu \quad d\nu = \frac{kT}{h} dx$$

$$\frac{4R}{c} dv = \frac{\frac{8\pi h x^3 k^3 T^3}{h^3}}{c^3} \left(\frac{1}{e^{\frac{hv}{KT}} - 1} \right) dv$$

$$4Rdv = \frac{\frac{8\pi x^3 k^3 T^3}{h^2}}{c^2} \left(\frac{1}{e^{\frac{hv}{KT}} - 1} \right) dv$$

$$Rdv = \frac{\frac{2\pi x^3 k^3 T^3}{h^2}}{c^2} \left(\frac{1}{e^{\frac{hxkt}{h}/KT} - 1} \right) \frac{KT}{h} dx$$

$$Rdv = \frac{2\pi x^3 k^3 T^3}{c^2 h^2} \left(\frac{1}{e^{\frac{xkT}{KT}} - 1} \right)$$

$$Rdv = \frac{2\pi x^3 k^4 T^4}{c^2 h^3} \left(\frac{1}{e^x - 1} \right) dx$$

$$\int_0^{\infty} Rdv = \int_0^{\infty} \frac{2\pi x^3 k^4 T^4}{c^2 h^3} \left(\frac{x^3}{e^x - 1} \right) dx$$

$$R(v) = \frac{2\pi k^4 T^4}{c^2 h^3} \int_0^{\infty} \frac{x^3}{e^x - 1} dx$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 e^{-x}}{e^{-x} e^x - 1 e^{-x}} dx$$

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 e^{-x}}{1 - e^{-x}} dx = \int_0^{\infty} x^3 e^{-x} (1 + e^{-x} + e^{-2x} + \dots) dx$$

$$= 6 \left(1 + \frac{1}{2^4} + \frac{1}{3^4} + \dots \right) = \frac{6\pi^4}{90} = \frac{\pi^4}{15}$$

$$R(\nu) = \frac{2\pi k^4 T^4}{c^2 h^3} \frac{\pi^4}{15}$$

$$R(\nu) = \frac{2\pi^5 k^4 T^4}{15 c^2 h^3}$$

$$\frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3} = \sigma$$

$$R(\nu) = \sigma T^4$$

9.4. Anexo 4

Deducción de la ley de desplazamiento de Wien a partir de Planck

$$\delta(\nu)d\nu = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{\frac{hc}{T\lambda}} - 1} \right) d\lambda$$

Partiendo de la teoría de Wien donde

$$\delta(\lambda) = \frac{c_1 e^{-\frac{c_2}{\lambda T}}}{\lambda^5}$$

$$\delta(\lambda) = \frac{c_1}{\lambda^5} \left[\frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}}} \right]$$

De la ecuación de Planck se puede ver que

$$c_1 = 8\pi hc$$

$$c_2 = \frac{hc}{k}$$

Por lo tanto la ecuación de Planck se puede transcribir:

$$\delta(\lambda)d\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} \right) d\lambda$$

$$\frac{d\delta(\lambda)}{d\lambda} = 0$$

$$\frac{c_1}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1} d\lambda = \delta(\lambda) d\lambda$$

$$[c_1 \lambda^{-5}] [e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1]^{-1} d\lambda = 0$$

$$[-5c_1 \lambda^{-6}] [e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1]^{-1} + [c_1 \lambda^{-5}] [-1 [e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1]^{-2}] \left[\frac{c_2}{\lambda T} e^{\frac{c_2}{\lambda T}} \right] = 0$$

$$\frac{-5c_1}{[\lambda^6] [e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1]} + \frac{c_1}{[\lambda^5] [-[e^{\frac{c_2}{\lambda T}} + 1]^2]} \left[\frac{c_2}{\lambda T} e^{\frac{c_2}{\lambda T}} \right] = 0$$

$$\left[c_1 \left[\frac{-5c_1}{[\lambda^6] [e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1]} \right] + \frac{c_2}{\lambda^5 T} \frac{e^{\frac{c_2}{\lambda T}}}{[e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1]^2} \right] = 0$$

$$\left[\frac{-5c_1}{[\lambda^6] [e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1]} \right] \left[-5 + \frac{c_2}{\lambda T} \frac{e^{\frac{c_2}{\lambda T}}}{[e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1]^2} \right] = 0$$

Despejando

$$-5 + \frac{c_2}{\lambda T} \frac{e^{\frac{c_2}{\lambda T}}}{[e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1]} = \frac{0}{\left[\frac{c_1}{\lambda^6} \right] [e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1]}$$

$$\frac{c_2}{\lambda T} \frac{e^{\frac{c_2}{\lambda T}}}{[e^{\frac{c_2}{\lambda T}} - 1]} = 5$$

Si $\frac{c_2}{\lambda T} = x$

$$x \frac{e^x}{e^x - 1} = 5$$

Si x es suficientemente grande, se desprecia el valor 1 del denominador por tanto

$$x \approx 5$$

$$\frac{c_2}{\lambda T} = x$$

$$\frac{c_2}{\lambda T} = 5 \rightarrow \frac{c_2}{5T} = \lambda T$$

$$\frac{hc}{k} = \lambda T \Rightarrow \frac{hc}{5k} = \lambda T$$

Donde

c es la velocidad de la luz en el vacío

$$= 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$$

k es la constante de Boltzmann

$$k = 1.38066 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$

Para encontrar la constante de Wien se tiene en cuenta que:

$$\lambda T = \text{constante}$$

Retomando que

$$\frac{hc}{5k} = \lambda T$$

h es la constante de Planck

$$h = 6.62617 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}. \text{ (Mendoza Santos \& Hernández Sánchez)}$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$\frac{(6.62617 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})(2.9979 \times 10^8 \text{ m/s})}{5(1.38066 \times 10^{-23} \text{ J/K})} = \lambda T$$

$$287.75 \times 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{K} = \lambda T$$

De donde

$$287.75 \times 10^{-5} \text{ m}\cdot\text{K} = b = \text{constante de Wien.}$$

9.5. Anexo 5

RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO.

GUÍA No 1.

CURSO:

INTEGRANTES:

Objetivos:

Realizar una contextualización acerca de la revolución industrial y el problema del cuerpo negro.

Texto tomado de “La revolución industrial, M, Mijailov.”

"...La revolución industrial se da en la segunda mitad del siglo XVIII en el que toda Europa sufre transformaciones de diferentes tipos, socioeconómicas, tecnológicas y culturales. El principal cambio en esta revolución fue para la industria ya que se reemplaza la mano de obra manual por la industria y la manufactura. La siderurgia y la minera presentan los mayores cambios que se dan con la revolución industrial. El desarrollo de la gran industria planteo el problema de perfeccionar la metalurgia y la minería. La construcción de máquinas demandaba grandes cantidades de hierro y acero. Pero precisamente estos materiales eran escasos en Inglaterra. En 54 la segunda década del siglo XVIII había en Inglaterra 60 altos hornos, de los cuales su producción anual era 17.000 toneladas de hierro colado, es decir mucho menos de lo que produce hoy un solo horno. En el siglo XVIII para convertir el mineral en fundición y este en hierro, se utilizaba exclusivamente leña. Esto produjo la destrucción de enormes extensiones de bosques. El gobierno Ingles tomo medidas de protección de los bosques del país. Por lo cual prohibió la explotación de las empresas siderúrgicas en las cercanías de Londres y del Támesis por el problema ambiental que estas generaban. Como era de esperarse la producción de metales descendió, pero la

destrucción de los bosques proseguía. Los altos hornos continuaban devorando enormes cantidades de carbón de leña, que se volvía cada vez más escaso y por lo tanto más caro. Entre tanto los riquísimos yacimientos de carbón mineral continuaban intactos. La industria presentaba una serie de problemas que eran abordados a través de la termodinámica los cuales abarcaban desde la producción de materiales y maquinaria hasta el alumbrado público, pero la atención del mundo que estaba a punto de industrializarse se centraba en un invento muy prometedor, la máquina de vapor.

En la revolución industrial se plantean problemas que requieren más allá de la experiencia del inventor, requiere de un análisis minucioso para abordar este problema. Cuando se crea la máquina de vapor se crea una herramienta para la industria, pero como todo prototipo viene acompañado de problemas. Después del primer diseño se crean diseños posteriores a este, pero todos tienen el mismo problema el cual radica inicialmente en la explosión de las calderas contenedoras del combustible y del poco rendimiento que se podía obtener de estas, debido a que no se contaba con la forma de concentrar el calor en el cilindro como tal. Los prototipos de la máquina de vapor que sucedieron al modelo de Newcomen –Watt, se concentraron ya no en el diseño si no en el aprovechamiento del combustible con el que funcionaban estas, por lo tanto los diseños buscaban que estas fueran más funcionales en términos de potencia. En 1857 la termodinámica inicia el abordaje desde las tres leyes de la termodinámica. Cuando se inicia este estudio surgen dos problemas paralelos pero a la vez dependientes el uno del otro. La física considerando el problema de la industria la cual era su mayor benefactora en estos tiempos como en los actuales, ve este problema que plantea esta con las maquinas que tiene y decide abordarla desde el punto de vista del calor de los cuerpos; en 1857 se inicia la búsqueda de la solución de

este problema el cual se combina con la teoría de espectros y da la primera solución a la industria para la optimización de estos. En 1862 kirchoff lanza un nuevo concepto que al ser estudiado solucionara los problemas que en ese entonces se presentan, al formular su teoría de cuerpo negro Kirchoff logra dar la primera solución a la industria únicamente cambiando el color del recipiente que contiene el combustible, a pesar que para ese entonces se construyen las calderas en materiales más resistentes como lo son cobre y bronce, estos presentan el mismo problema, por este motivo no se industrializo ni se masificaron los trenes en Europa hasta después de 1865.

La teoría de cuerpo negro plantea en términos más formales el problema del aprovechamiento de la energía emitida por estos combustibles, y de los recipientes para que sus paredes canalicen la energía intentando que las paredes de estos absorban la menor cantidad posible de calor, aprovechando esta energía al máximo (por este motivo las primeras locomotoras de carbón eran construidas en hierro forjado y eran negras tanto por fuera como por dentro). Gracias a kirchoff y Bunsen para 1859 se sabía que si se calentaba un elemento químico puro y se hacía pasar su luz por una pequeña rendija y después por un prisma se observaba una serie de líneas de colores las cuales eran únicas en cada elemento, esto combinado con la teoría del cuerpo negro recientemente propuesta también por Kirchoff de la cual se deriva que en ciertos colores hay una menor absorción que en otros, da una solución práctica y barata a la industria que en base a estos masifica la producción de locomotoras en Europa. Debido a la necesidad que presentaba en ese momento la sociedad industrializada, la teoría que apporto Kirchoff fue la salida para la construcción de la primera locomotora funcional aprovechando la energía que se tenía de la quema del carbón, la solución que aplicaron los ingenieros que en ese momento se ocupaban del problema fue sencillamente de tomar las calderas y “pintar” con una mezcla echa de hulla y carbón la parte

externa de esta y el interior con una sal de cobre que dejaba está bastante brillante en su interior, la cual con el tiempo se iba quemando y quedaría negra como el exterior mejorando el rendimiento de esta (este principio se sigue aplicando en los automóviles actuales ya que cuando el motor es nuevo carece de color que se da en la combustión la cual quema la cámara de los pistones haciendo que se ponga negra con el tiempo, por este motivo el rendimiento del motor mejora con el tiempo y su consumo de combustible disminuye); por este motivo las locomotoras antiguas valían más que las nuevas, ya que entre más oscuro el interior de la caldera (por este proceso) mejorar su rendimiento. En este punto de la historia la industria la ingeniería toma los avances de la física y los aplica a la industria, mientras se desarrolla la teoría de cuerpo negro, espectros y la teoría del color, la industria se basa en esta para continuar el desarrollo de la maquinaria para la industria. Este punto es coyuntural para la historia tanto de la física debido a que de este concepto que postula Kirchoff se derivan varios problemas que se encargara la física en dar solución, además de abarcar problemas como lo eran la segunda ley de la termodinámica y la teoría de gases (el estudio de la teoría de gases da como resultado el inicio de la utilización de combustibles fósiles reemplazando el carbón). Debido a que este es un problema del calor específico de los cuerpos y con el recientemente inventado espectroscopio (1859 Kirchoff y Bunsen) la astronomía da paso a la astrofísica. Con este invento Kirchoff y Bunsen descubren dos elementos de la tabla periódica (el cesio y el rubidio) además de dar los primeros espectros de algunos materiales puros. Después que se da este descubrimiento de una línea espectral especial para cada material Kirchoff da sus tres leyes para la emisión de los cuerpos, las cuales se conocen como “las tres leyes de emisión de Kirchoff”. Propuso las tres leyes empíricas que describen la emisión de luz por objetos incandescentes: 1. Un objeto sólido caliente produce luz en espectro continuo. 2. Un gas tenue

produce luz con líneas espectrales en longitudes de onda discretas que dependen de la composición química del gas. 3. Un objeto sólido a alta temperatura rodeado de un gas tenue a temperaturas inferiores produce luz en un espectro continuo con huecos en longitudes de onda discretas cuyas posiciones dependen de la composición química del gas.

Con estos parámetros se inicia la investigación del cuerpo negro, el cual junto con la espectrografía y la termodinámica llevarían a la cuantización de la energía años más tarde a Planck.

Con base a la lectura anterior conteste las siguientes preguntas:

1. De la frase "...La teoría de cuerpo negro plantea en términos más formales el problema del aprovechamiento de la energía emitida por estos combustibles, y de los recipientes para que sus paredes canalicen el calor intentando que las paredes de estos absorban la menor cantidad posible permitiendo así el beneficio de esta energía al máximo ..." Se puede inferir que:
 - a) Con el cuerpo negro se conduce aún mejor aprovechamiento del calor
 - b) Se llama cuerpo negro por que emite toda su energía
 - c) Se llama cuerpo negro por que absorbe toda su energía
 - d) El problema del cuerpo negro es un problema que se enmarca enteramente en aplicaciones de mano factura.
2. El principal problema que se tenía en la revolución industrial era:
 - a) Que no se tenía un método efectivo para aprovechar el calor en la fundición del hierro

- b) Que no se tenía una forma de extraer materiales baratos para quemar y poder fundir el hierro.
- c) El impacto ambiental que generaba la tala indiscriminada de bosques.
3. En 1862 un físico da nacimiento al concepto de _____ el cual es un objeto ideal, el cual es capaz de absorber toda la radiación que incide sobre él. Este físico se llama _____.
- a) Cuerpo negro, Planck
- b) Entropía, Gustav Kirchoff
- c) Cuerpo negro, Gustav Kirchoff
- d) Entropía, Planck
4. El concepto que este físico crea da paso a una nueva era en la física, ya que de intentar solucionar el problema del cuerpo negro se da paso a la _____, que años después sería propuesta en un número de leyes por _____ el cual se le considera el padre de esta rama de la física.
- a) Segunda ley, Gustav Kirchoff
- b) Mecánica cuántica, Gustav Kirchoff
- c) Mecánica cuántica, Max Planck
- d) Segunda ley, Max Planck
5. ¿para qué sirve el cuerpo negro?

9.6. Anexo 6

“Cubo negro” radiación de cuerpo negro.

Guía No 2.

CURSO:

INTEGRANTES:

Objetivos:

Recrear experimentalmente un modelo que dé cuenta del cuerpo negro.

Analizar las propiedades de un cuerpo y el porqué de su nombre.

MATERIALES

Una (1) hoja de papel

Medio metro de papel aluminio.

Una estufa.

PROCEDIMIENTO

Lo primero que se debe hacer es construir un cubo de papel. (Tenga en cuenta que el cubo no hay que pegarlo)

Una vez se tenga el cubo armado, se debe envolver en papel aluminio, es importante que no entre luz al cubo, así que debemos tener mucho cuidado de cubrirlo bien, especialmente en las esquinas, realizar en el cubo un orificio inferior a medio centímetro de diámetro, tener cuidado que no se rompa el papel y el experimento pueda arrojarnos los resultados esperados.

En estos momentos ya tenemos nuestro cubo armado y forrado, verificaremos que el aluminio no tenga ningún tipo de ruptura, excepto el agujero realizado anteriormente, para luego poder poner el cubo en la estufa durante aproximadamente 15 minutos. Se debe tener en cuenta que en el momento de poner el cubo en la fuente de calor el aluminio tiende a separarse de la

cartulina, por seguridad no intente pegar el aluminio al cubo. Después de 15 minutos se debe retirar el cubo de la estufa.

Una vez enfriado el cubo debemos quitar el aluminio que lo cubre. Analizar el fenómeno que ocurre.

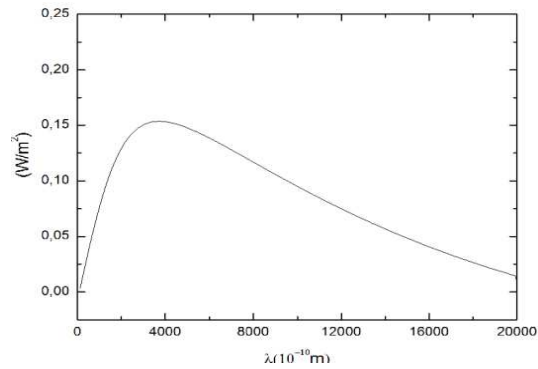
Marco teórico

Cuando se quiere identificar el inicio de la Mecánica Cuántica nos podríamos ubicar en 1900 cuando no se lograba explicar de manera adecuada el comportamiento de la radiación emitida por los cuerpos sólidos calentados, a pesar de los intentos de físicos reconocidos las propuestas no explicaban adecuadamente la forma de la curva que se obtenía de la potencia radiada de un cuerpo negro como función de la longitud de onda.

El modelo de Rayleigh-Jeans planteaba describir que la radiación se emitía por osciladores armónicos con cualquier frecuencia y que la radiación dentro de la cavidad se comporte como ondas estacionarias este modelo arroja una función de distribución de energía para el espectro de radiación de cuerpo negro que describía muy bien el espectro para grandes valores de longitud de onda, pero para longitudes de onda cortas no. Este problema lo resuelve Planck en 1900 al suponer que los osciladores no emiten de forma continua y su emisión o absorción de radiación se da por medio de cuantos o paquetes de energía (Feynman) lo cual le permite llegar a la ley de distribución de energía.

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

Esta distribución arroja el siguiente perfil:



Grafica (1) Perfil de distribución para el Cuerpo Negro

Donde para casos límites se recuperan las leyes de Wien y Stefan-Boltzman. La suposición de Planck de que la radiación interactúa con la materia a través de cuantos de energía fue empelada por Einstein para explicar el efecto fotoeléctrico y por Bohr en su modelo atómico. Para calcular la cantidad de energía emitida Stefan-Boltzman encuentra una relación donde la energía total emitida era proporcional a la temperatura absoluta elevada a la cuarta potencia,

$$E = \sigma T_e^4 \quad (2)$$

donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann y T_e es la temperatura efectiva, para la radiación del cuerpo negro Wien en 1893 demostró mediante supuestos termodinámicos su ley de desplazamiento, que especifica que hay una relación inversa entre la longitud de onda en que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro y su temperatura absoluta,

$$\lambda_M T = 0,0028976 mK \quad (3)$$

PREGUNTAS

5. Después de someter el cubo a la fuente de calor este pierde sus propiedades:

- e) Físicas
- f) Químicas
- g) Físicas y químicas

- h) Otras
6. El experimento del “cubo negro”, modela un cuerpo negro porque:
- e) Muestra como un material emite toda su radiación y por lo tanto puede modelarse como un cuerpo negro.
 - f) Al quemarse queda negro totalmente.
 - g) Porque la teoría de Kirchoff plantea el suceso evidenciado.
 - h) Porque Kirchoff lo plantea y planck lo soluciona.
7. El cuerpo negro, y el experimento del cubo negro se puede modelar como el sol, ya que:
- e) Emite toda su energía al igual que una estrella
 - f) No absorbe calor
 - g) Absorbe calor a través del aluminio
 - h) No es posible modelarla a través del concepto de cuerpo negro.
8. Si colocas un cubo de hielo sobre seis piezas de papel de diferentes colores. Usa negro y blanco y luego otros cuatro colores, como azul, rojo, amarillo y verde. Coloca las tarjetas afuera bajo el sol y observas cuál se derrite primero y cuál a lo último. Cuando el rayo de sol es absorbido, la energía solar se convierte en calor, lo que hace que los cubos de hielo se derritan. ¿Cuál de los hielos se derrite más rápido? ¿por qué?
- f) El que está sobre el papel azul
 - g) El que está sobre el papel blanco
 - h) El que está sobre el papel rojo

- i) El que está sobre el papel amarillo
- j) El que está sobre el papel verde.
- f) El que está sobre el papel negro

9.7. Anexo 7

Practica realizada en la universidad

La práctica fue realizada en la universidad Distrital Francisco José de Caldas, a estudiantes que se encontraban cursando la electiva de astronomía general en la cual se encontraban inscritos estudiantes de diversas carreras como Biología, Química, Física, como actividad demostrativa en el aula.

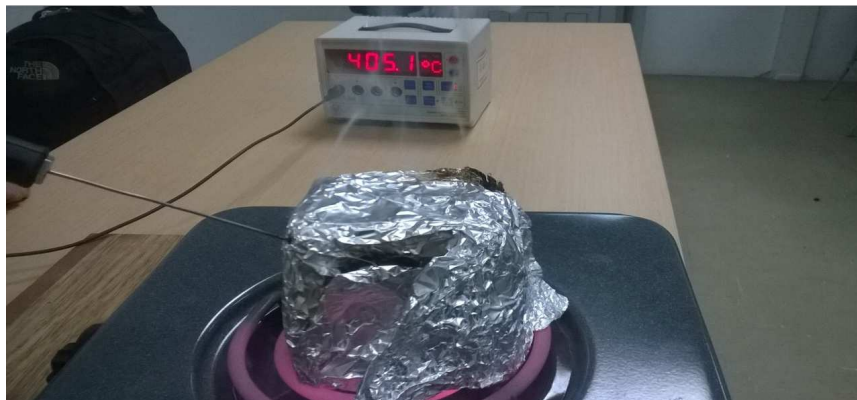


Foto 5. Montaje experimental. Realizado en el laboratorio.



Foto 6. Cubo después de dos horas en la estufa.