



Universidad Tecnológica de Bolívar

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FÍSICA CALOR Y ONDAS

GRUPO Y SUBGRUPO (M1 - A)

**Informe Experiencia. 6 - Ley de Stefan-Boltzmann
para la radiación.**

Esmeralda Espitaleta Leguia, T00077047.

Jose Jorge Montes Bustillo, T00070416.

Paula Andrea Piedrahita Gonzalez, T00077912.

Mateo De Jesus Reyes Pereira, T00077079.

Alejandro Pedro Steinman Cuesta, T00077151.

Revisado Por

Prof. Kevin David Mendoza Vanegas.

10 de noviembre de 2024

1. Introducción

La Ley de Stefan-Boltzmann es fundamental en el estudio de la radiación térmica de los cuerpos negros, ya que describe como la energía emitida por un cuerpo es directamente proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Este principio tiene amplias aplicaciones en áreas como la astronomía, la física y la ingeniería térmica, donde la comprensión del comportamiento de la radiación es clave para estudiar desde estrellas hasta sistemas de calefacción. En este experimento, se busca calibrar una termopila, un dispositivo que mide la radiación térmica, para determinar con precisión la temperatura absoluta de un objeto. Para ello, se utilizará un horno eléctrico como fuente de calor y un cilindro de latón como aproximación a un cuerpo negro, lo que permitirá ajustar la respuesta de la termopila utilizando la Ley de Stefan-Boltzmann como referencia teórica.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Calibrar una termopila para la medición de temperatura absoluta utilizando la Ley de Stefan-Boltzmann en la radiación de un cuerpo negro.

2.2. Objetivos específicos

- Configurar el equipo experimental, incluyendo el horno eléctrico, la termopila y el sensor de temperatura, siguiendo las instrucciones detalladas.
- Realizar mediciones precisas de la radiación térmica y la temperatura del cilindro de latón, registrando los datos obtenidos para su análisis.
- Analizar los datos registrados para determinar la constante de proporcionalidad y generar una curva de calibración de la termopila, permitiendo calcular la temperatura de un cuerpo radiante a partir del voltaje registrado.

3. Marco Teórico

La Ley de Stefan-Boltzmann para la Radiación

Esta ley describe cuánta energía emite un objeto caliente en forma de radiación en función de su temperatura. Básicamente, cuanto más caliente esté un objeto, más energía irradiará. Este concepto es muy útil en áreas como la física, la astronomía y la ingeniería.

1. Radiación Térmica

Es la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas debido a la temperatura de un objeto. Todo lo que tenga una temperatura mayor a cero absoluto (es decir, 0 Kelvin o $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$) emite algún tipo de radiación térmica, y cuanto más caliente esté, más intensa será esta radiación [2].

2. Cuerpo negro

Es un objeto teórico que absorbe toda la radiación que incide sobre él y no refleja nada. Este cuerpo negro emite radiación solo en función de su temperatura, lo cual permite simplificar los cálculos y entender mejor la Ley de Stefan-Boltzmann [3].

3. La Ley de Stefan-Boltzmann

La ley fue descubierta por Josef Stefan en 1879 y luego derivada matemáticamente por Ludwig Boltzmann en 1884. La fórmula que describe la ley es:

$$E = \sigma T^4$$

donde:

- E es la energía radiada por unidad de área (W/m^2),
- T es la temperatura absoluta en kelvins (K),
- σ es la constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{K}^4$) [4].

Esta fórmula indica que la energía que emite un objeto aumenta rápidamente cuando sube su temperatura, ya que se eleva a la cuarta potencia. Esta relación cuadrática es clave para entender fenómenos como el brillo de las estrellas y el equilibrio térmico de la Tierra.

4. Cómo se Deriva la Ley y la Constante de Stefan-Boltzmann

La derivación de esta ley se basa en conceptos de la termodinámica y el comportamiento de un cuerpo negro ideal. Boltzmann utilizó la teoría de la entropía y la distribución de energía de un sistema cerrado para deducir que la cantidad de radiación emitida depende de la temperatura de forma tan potente [5].

La constante de Stefan-Boltzmann conecta la radiación térmica con la temperatura absoluta. Es una constante fundamental en física y juega un rol importante en la física atmosférica y en el cálculo de la temperatura de las estrellas [6].

5. Aplicaciones de la Ley de Stefan-Boltzmann

La Ley de Stefan-Boltzmann tiene muchas aplicaciones prácticas:

- **Astronomía:** Permite estimar la energía que emiten las estrellas y la temperatura en sus superficies, lo cual es fundamental para estudiar sus características [7].
- **Ingeniería térmica:** Se usa para calcular la radiación emitida por superficies calientes, esencial en el diseño de sistemas de refrigeración y control de temperatura [8].
- **Meteorología y climatología:** Ayuda a modelar cómo la Tierra intercambia energía con el espacio, y esto es crucial para comprender fenómenos como el cambio climático [9].

6. Limitaciones de la Ley de Stefan-Boltzmann

Es importante recordar que esta ley se aplica solo a cuerpos negros ideales, que son emisores perfectos de radiación. En el mundo real, los objetos no son cuerpos negros perfectos, ya que reflejan o absorben la radiación de forma incompleta. Para ajustar la fórmula, se introduce un factor de emisividad ε , que varía entre 0 y 1 y depende del material y su superficie:

$$E = \varepsilon \sigma T^4$$

Este factor permite calcular de manera más precisa la radiación de objetos reales [10].

4. Montaje Experimental

Los materiales utilizados para esta experiencia fueron:

- Horno eléctrico para 230 V
- Accesorio cuerpo negro

- Caja de conexión de seguridad con tierra
- Soporte para horno eléctrico
- Sensor-CASSY
- CASSY Lab
- Adaptador NiCr-Ni S
- Sensor de temperatura NiCr-Ni 1.5 mm
- Caja μV
- Termopila de Moll
- Banco óptico pequeño, shortrod
- Base de soporte, forma V, 28 cm
- Multiclamp Leybold (4 unidades)
- Abrazadera universal, 0-80 mm
- Par cables 100 cm, rojo/azul

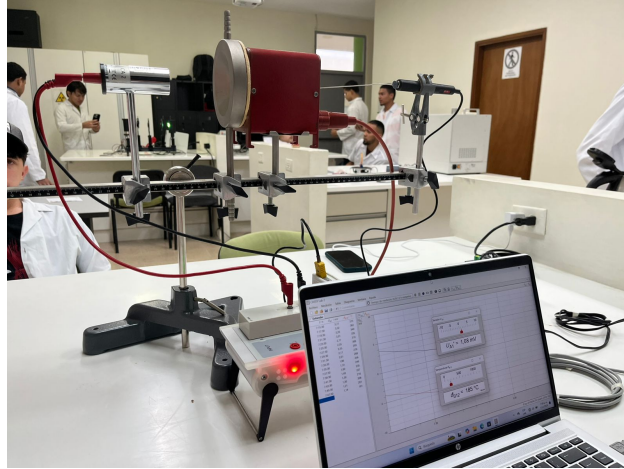


Figura 4.1: Montaje experimental

5. Datos Experimentales

En la realización de la experiencia se han obtenido los siguientes datos individuales:

- Temperatura ambiente: 24.2 C°

U _{A1'} / mV	T _{B12} / °C
3,77	373
3,52	362
3,26	349
3,01	335
2,77	319
...	...
0,63	132
0,59	127
0,56	123
0,53	119
0,52	115

Cuadro 1: Datos Experimentales

6. Análisis de datos

- 6.1. Escriba en una hoja de cálculo los datos del voltaje de la termopila V (en Voltios) y la correspondiente temperatura T (en grados Kelvin) registrados por el sensor.

Voltaje (V)	Temperatura (K)
0.00377	646.15
0.00352	636.15
0.00326	622.15
0.00301	608.15
0.00277	592.15
0.00255	573.15
0.00233	568.15
0.00211	552.15
0.00191	541.15
0.00172	519.15
0.00156	508.15
0.00143	500.15
0.00133	489.15
0.00123	480.15
0.00114	474.15
0.00107	457.15
0.00100	450.15
0.00094	443.15
0.00088	437.15
0.00083	432.15
0.00078	425.15
0.00074	420.15
0.00069	415.15
0.00065	409.15
0.00063	405.15
0.00058	398.15
0.00053	392.15
0.00052	388.15

Cuadro 2: Voltaje vs Temperatura

6.2. Realice una nueva columna con los valores calculados de (Tf4 - T04)

Según los datos experimentales, se añade la siguiente columna en la tabla 3

$T^4(K) - T_0^4(K)$	//
1,66497E+11	
1,54927E+11	
1,42006E+11	
1,28969E+11	
1,15132E+11	
1,04685E+11	
9,49192E+10	
8,51279E+10	
7,79396E+10	
7,05823E+10	
6,48217E+10	
5,88582E+10	
5,47575E+10	
4,94315E+10	
4,57771E+10	
4,27257E+10	
3,85948E+10	
3,58576E+10	
3,32434E+10	
3,07483E+10	
2,87017E+10	
2,70593E+10	
2,48539E+10	
2,33439E+10	
2,18868E+10	
2,02064E+10	
1,91265E+10	
1,78209E+10	
1,68110E+10	
1,58312E+10	
1,48810E+10	

Cuadro 3: Diferencia de temperatura

6.3. Genere una gráfica V vs. (Tf4 - T04) y realice un ajuste lineal.

1. Determinamos los valores del eje X y el eje Y según se muestra en la tabla 4.
2. A partir de estos valores, calculamos los valores de X^2 , Y^2 , XY , los cuales se presentan en la tabla 5.
3. Posteriormente, obtenemos la sumatoria de cada columna de la tabla anterior, generado en la tabla 6

X	Y
0.00377	1.66497e+011
0.00352	1.54927e+011
0.00326	1.42006e+011
0.00301	1.28969e+011
0.00277	1.15132e+011
0.00255	1.04685e+011
0.00235	9.49192e+010
0.00217	8.51279e+010
0.00201	7.79396e+010
0.00186	7.05823e+010
0.00172	6.48217e+010
0.0016	5.88582e+010
0.00149	5.47575e+010
0.00139	4.94315e+010
0.0013	4.57771e+010
0.00121	4.27257e+010
0.00114	3.85948e+010
0.00107	3.58576e+010
0.001	3.32434e+010
0.00094	3.07483e+010
0.00088	2.87017e+010
0.00083	2.70593e+010
0.0008	2.48539e+010
0.00074	2.33439e+010
0.00069	2.18868e+010
0.00066	2.02064e+010
0.00063	1.91265e+010
0.00059	1.78209e+010
0.00056	1.6811e+010
0.00053	1.58312e+010
0.00052	1.4881e+010

Cuadro 4: Tabla X e Y

X	Y	XX	YY	XY
0.00377	1.66497e+011	1.42129e-005	2.77212e+022	6.27694e+008
0.00352	1.54927e+011	1.23904e-005	2.40024e+022	5.45343e+008
0.00326	1.42006e+011	1.06276e-005	2.01657e+022	4.6294e+008
0.00301	1.28969e+011	9.0601e-006	1.6633e+022	3.88197e+008
0.00277	1.15132e+011	7.6729e-006	1.32554e+022	3.18916e+008
0.00255	1.04685e+011	6.5025e-006	1.0959e+022	2.66947e+008
0.00235	9.49192e+010	5.5225e-006	9.00966e+021	2.2306e+008
0.00217	8.51279e+010	4.7089e-006	7.24676e+021	1.84728e+008
0.00201	7.79396e+010	4.0401e-006	6.07459e+021	1.56659e+008
0.00186	7.05823e+010	3.4596e-006	4.98186e+021	1.31283e+008
0.00172	6.48217e+010	2.9584e-006	4.20185e+021	1.11493e+008
0.0016	5.88582e+010	2.56e-006	3.46428e+021	9.4173e+007
0.00149	5.47575e+010	2.2201e-006	2.99838e+021	8.15886e+007
0.00139	4.94315e+010	1.9321e-006	2.44347e+021	6.87098e+007
0.0013	4.57771e+010	1.69e-006	2.09555e+021	5.95103e+007
0.00121	4.27257e+010	1.4641e-006	1.82548e+021	5.16981e+007
0.00114	3.85948e+010	1.2996e-006	1.48956e+021	4.3998e+007
0.00107	3.58576e+010	1.1449e-006	1.28577e+021	3.83677e+007
0.001	3.32434e+010	1e-006	1.10512e+021	3.32434e+007
0.00094	3.07483e+010	8.836e-007	9.45457e+020	2.89034e+007
0.00088	2.87017e+010	7.744e-007	8.23787e+020	2.52575e+007
0.00083	2.70593e+010	6.889e-007	7.32208e+020	2.24593e+007
0.0008	2.48539e+010	6.4e-007	6.17717e+020	1.98831e+007
0.00074	2.33439e+010	5.476e-007	5.44936e+020	1.72745e+007
0.00069	2.18868e+010	4.761e-007	4.79031e+020	1.51019e+007
0.00066	2.02064e+010	4.356e-007	4.083e+020	1.33362e+007
0.00063	1.91265e+010	3.969e-007	3.65823e+020	1.20497e+007
0.00059	1.78209e+010	3.481e-007	3.17583e+020	1.05143e+007
0.00056	1.6811e+010	3.136e-007	2.82609e+020	9.41414e+006
0.00053	1.58312e+010	2.809e-007	2.50627e+020	8.39054e+006
0.00052	1.4881e+010	2.704e-007	2.21444e+020	7.73812e+006

Cuadro 5: Tabla X e Y e XX e YY e XY

S:X	S:Y	S:XX	S:YY	S:XY
0.04756	1.82612e+012	0.000100523	1.66949e+023	4.07887e+009

Cuadro 6: Tabla Sumatorias

A partir de los resultados obtenidos, aplicamos las siguientes fórmulas para calcular la correlación, la pendiente y su correspondiente parámetro:

$$Correlacion = \frac{(N)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[(N)(\sum x^2) - (\sum x)^2][N)(\sum y^2) - (\sum y)^2]}} = 0,998511$$

$$Pendiente = \frac{(N)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{(N)(\sum x^2) - (\sum x)^2} = > \frac{(31)(4,07887e+009) - (0,04756)(1,82612e+012)}{(31)(0,000100523) - (0,04756)^2} = 4,63498e + 013$$

$$Parametro = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{(N)(\sum x^2) - (\sum x)^2} = > \frac{(1,82612e+012)(0,000100523) - (0,04756)(4,07887e+009)}{(31)(0,000100523) - (0,04756)^2} = -1,22023e + 010$$

La correlación nos da un valor de 0.999, lo que significa que el método de regresión es recomendable.

Con estos datos, determinamos la ecuación de la recta, que sigue la forma $y = mx + b$. Sustituimos los valores obtenidos para determinar la ecuación de la recta específica:

$$y = (4,63498e + 013)x - 1,22023e + 010$$

Posteriormente, representamos gráficamente los resultados obtenidos en función de la recta de regresión, con las variables X e Y, se hace referencia en el gráfico 6.1.

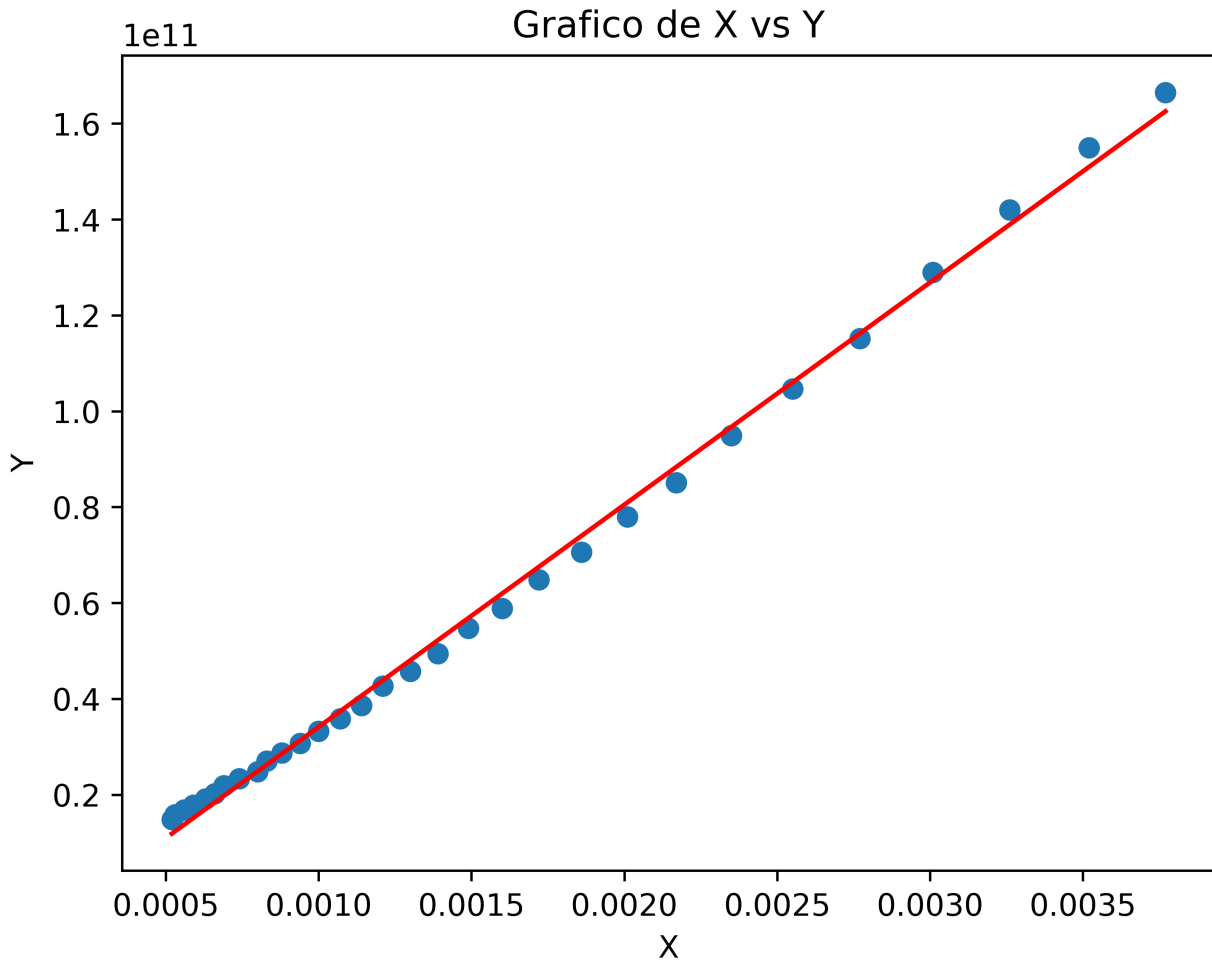


Figura 6.1: Gráfico de X vs Y.

- 6.4. Escriba el valor de la pendiente de la recta obtenida (con sus respectivas unidades) y utilice su valor para calcular la constante de proporcionalidad con ayuda de la ecuación (2) y el valor conocido de la constante de Stefan Boltzmann.

Utilizando la función $y = mx + b$:

$$y = (4,63498e + 013)x - 1,22023e + 010$$

Despejamos x:

$$y = (4,63498e + 013)x - 1,22023e + 010$$

$$y + 1,22023e + 010 = (4,63498e + 013)x$$

$$\frac{y}{4,63498e + 013} + \frac{1,22023e + 010}{4,63498e + 013} = x$$

$$x = (2,15751e - 014)y + 2,63265e - 04$$

Entonces tenemos una ecuación de la forma $x = my + b$ donde $m = 2,15751e - 014$ Si tenemos en cuenta la ecuación 2:

$$V = \tau\sigma(T^4 - T_0^4)$$

Podemos decir que:

$$m = \tau\sigma$$

El valor de la constante de Stefan-Boltzmann(σ) es:

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$$

Despejamos y reemplazamos:

$$\tau = \frac{m}{\sigma}$$

$$\tau = \frac{2,15751 \times 10^{-14}}{5,67 \times 10^{-8}}$$

$$\tau = 3,80 \times 10^{-7} s$$

- 6.5. Escriba ahora la curva de calibración de la termopila $T(V)$, la cual permite calcular la temperatura de un cuerpo radiante conociendo el voltaje registrado por la termopila.

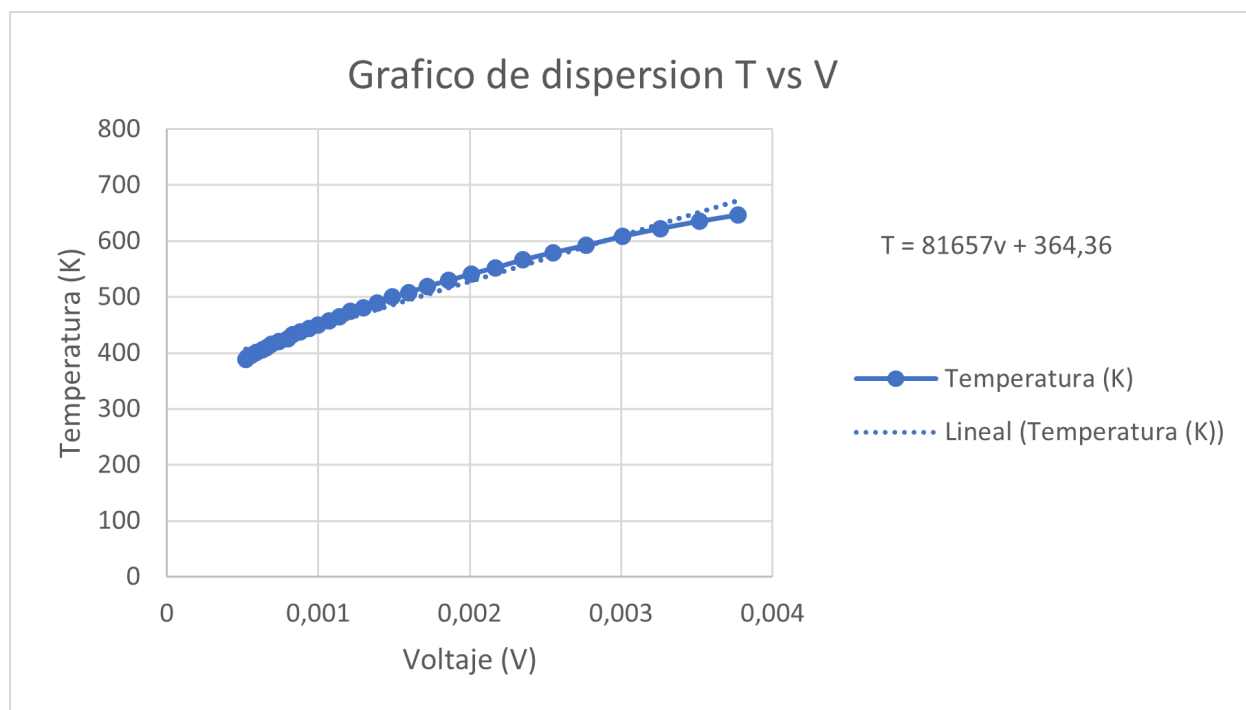


Figura 6.2: Gráfico de dispersión T vs V

$$T(v) = 81657v + 364,36 \text{ Temperatura en función de } V$$

- 6.6. Utilice la curva de calibración de la termopila para calcular la temperatura (en grados centígrados) a la que se debió encontrar el horno en el momento en que la termopila registró una diferencia de potencial $V = 2,00 \text{ mV}$.

Con la ecuación encontrada, podemos encontrar la temperatura del cuerpo negro a cualquier diferencia de potencial. A $2 \text{ mV} = 2 \times 10^{-3} \text{ V}$:

$$T(2 \times 10^{-3}) = 81657(2 \times 10^{-3}) + 364,36$$

$$T = 527,674 \text{ K}$$

De Kelvin a Celsius:

$$T = 527,674 \text{ K} - 273,15$$

$$T = 254,524^\circ\text{C}$$

7. Conclusión

En conclusión, este experimento valida que la Ley de Stefan-Boltzmann describe cómo la radiación emitida por un cuerpo negro aumenta con respecto a la temperatura elevada a la cuarta potencia. La calibración de la termopila permite realizar la medición de temperaturas absolutas de manera precisa, estableciendo una relación entre el voltaje registrado y la temperatura del cuerpo. Además, se confirma que es necesario controlar las condiciones del entorno, ya que factores externos pueden interferir en los resultados. Esto demuestra que en efecto, es aplicable la ley en la medición de radiación térmica y la importancia de un montaje cuidadoso para obtener datos confiables.

Bibliografía

- [1] Young, H. D. Y Freedman, R. A. (2013). Física universitaria.
- [2] Planck, M. (1914). *The Theory of Heat Radiation*. Dover Publications.
- [3] Einstein, A. (1905). *On the Quantum Theory of Radiation*. The German Physical Society.
- [4] Stefan, J. (1879). *Über die Beziehung zwischen der Wärmestrahlung und der Temperatur*. Akademie der Wissenschaften in Wien.
- [5] Boltzmann, L. (1884). *Ableitung des Stefan'schen Gesetzes*. Annalen der Physik.
- [6] Kittel, C., & Kroemer, H. (1980). *Thermal Physics*. W.H. Freeman.
- [7] Carroll, B. W., & Ostlie, D. A. (2017). *An Introduction to Modern Astrophysics*. Pearson.
- [8] Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Wiley.
- [9] Hartmann, D. L. (1994). *Global Physical Climatology*. Academic Press.
- [10] Siegel, R., & Howell, J. R. (2002). *Thermal Radiation Heat Transfer*. Taylor & Francis.