



EFICIENCIA DE LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA POR RADIACIÓN Y DE LAS PROPIEDADES EMITIVAS Y ABSORTIVAS DE UN CUERPO NEGRO

Stefanie María Montenegro Quiñonez¹, Jorge Iván Cifuentes²

stefmq25@hotmail.com
researchnano20@gmail.com

- 1 Cursando Maestría en Energía y Ambiente, Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala 01012
- 2 Catedrático de Maestría en Energía y Ambiente, Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala 01012

Abstract

The article presented below described briefly aspects the final task of laboratory unit operations 1, same that is based on the determination of the effectiveness of the conversion of energy by radiation, as well as the emitivas properties and presenting a black absorptive body from a power source known.

Keywords: black body, radiation, absorptive and issue properties, Energy conversion, heat radiation.

Resumen

En el artículo presentado a continuación se describen de forma breve los aspectos relacionados con la tarea final del laboratorio de operaciones unitarias 1, misma que está basada en la determinación de la efectividad de la conversión de energía por radiación, así como también de las propiedades emitivas y absortivas que presenta un cuerpo negro a partir de una fuente de potencia conocida.

Palabras clave: Cuerpo negro, Radiación, Propiedades absortivas y emitivas, Conversión de energía, Calor de radiación.



Introducción

En la práctica de laboratorio se buscó obtener datos experimentales para determinar de forma gráfica y matemática la relación existente entre la efectividad de conversión de energía de radiación y del poder de emisión del cuerpo negro con el tiempo y la variación de temperatura sobre el sistema cerrado; dicho sistema fue elaborado con una hielera de duroport forrada en su interior con papel aluminio, una lata de aluminio pintada de negro mate (funcionando como un cuerpo negro), llena de cierto volumen de agua (150 ml) y una bombilla de 40 W dando la potencia necesaria dentro de la hielera.

Para poder cumplir los objetivos planteados, se realizaron 3 repeticiones de 12 corridas por repetición, es decir, se tomaron 12 temperaturas experimentales de la superficie (hielera-bombilla), cuerpo negro (lata) y agua cada 30 segundos, haciendo 6 minutos en total en cada repetición.

Al tener todas las temperaturas necesarias, así como datos propios del cuerpo negro (radio y altura de la lata), se pudo determinar los resultados buscados (calor transmitido y emitido, poder de emisión y efectividad de conversión de energía en el sistema), luego de su manipulación por medio de diferentes relaciones matemáticas; se realizaron dos gráficos representativos (relación entre el calor de radiación y el tiempo de realización del experimento y poder de emisión del cuerpo negro en relación al tiempo de ejecución) del fenómeno de radiación y el análisis de su tendencia, dando así lugar a un análisis de error por precisión e incertidumbre pudiendo con ello comprobar y analizar las hipótesis planteadas al inicio de la realización de la tarea así como el cumplimiento de los objetivos planteados para la misma.

Desarrollo del tema

La radiación es un fenómeno propio de la transferencia de calor que consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas (o bien de las partículas más simples de la luz “fotones”) a través de un medio material que puede ser un sistema cerrado o abierto. La radiación térmica que es una

subdivisión de la misma se da como resultado de las interacciones energéticas de las moléculas, átomos y electrones de una sustancia u objeto.

Específicamente la radiación térmica es la que se presenta al momento de tener un sistema cerrado en el que se desea transmitir energía de radiación por medio de una bombilla hacia un cuerpo negro cilíndrico lleno de agua, como el presentado para la tarea final del laboratorio de operaciones unitarias.

El equipo ya descrito, además de tener la hielera (cerrada) forrada de aluminio en su interior, la lata cilíndrica pintada de negro mate y llena de agua contaba con 2 termómetros de mercurio, uno directamente colocado hacia el cuerpo negro para medir las temperaturas del agua y de él mismo y otro por debajo, cerca de la fuente de potencia para medir la temperatura de la superficie.

Para el análisis del fenómeno de transferencia de calor por radiación, se plantearon tres hipótesis sobre la tarea a realizarse, una científica y dos estadísticas; la hipótesis científica planteaba que *la transferencia de calor por radiación desde un reflector de 150 W hacia una lata de aluminio pintada de negro mate considerada como cuerpo negro, es directamente proporcional al aumento de temperatura con el tiempo*; mientras que las estadísticas se relacionaron con la tendencia de la gráfica del poder emisor del cuerpo negro en relación con la variación de temperatura con el tiempo, en donde mientras la nula afirmaba que la tendencia de la misma era *descendente*, la alterna afirmaba lo contrario que la tendencia de la gráfica era *ascendente*.

Antes de iniciar la tarea se plantearon una serie de objetivos: realizar dos gráficas para obtener la relación entre la transferencia de calor por radiación y el tiempo así como el poder emisor también con el tiempo de ejecución del experimento; determinar la cantidad de calor transmitido hacia el cuerpo y emitido fuera del mismo, la eficiencia de conversión de energía por radiación para así de esta forma validar las hipótesis planteadas con anterioridad por medio de los resultados obtenidos.

Se realizaron 12 corridas repitiendo las mismas 3 veces utilizando para ello una bombilla de 40 W. Las 12 temperaturas medidas se hicieron cada 30 segundos hasta completar 360 s (6 minutos) por repetición, midiendo 3 temperaturas en cada corrida:



temperatura de la superficie, del cuerpo negro y del agua contenida en el mismo.

Teniendo los datos experimentales ya indicados, se procedió a su manipulación matemática utilizado para ello:

1. Ley de Stefan Boltzmann

$$\frac{dQ_R}{dt} = \sigma A_s(T_F^4 - T_N^4)$$

Ecuación 1, Referencia bibliográfica 4, p.687.

2. Balance de energía para conocer el calor de emisión.

$$E_{ent} - E_{sal} = \Delta H = mCp\Delta T$$

Ecuación 2, Referencia bibliográfica 4, p 12.

3. Ley de Planck

$$E_{bk}(\lambda T) = \frac{c_1}{\lambda^5 [\exp(c_2/\lambda T) - 1]}$$

Ecuación 3, Referencia bibliográfica 4, p 688.

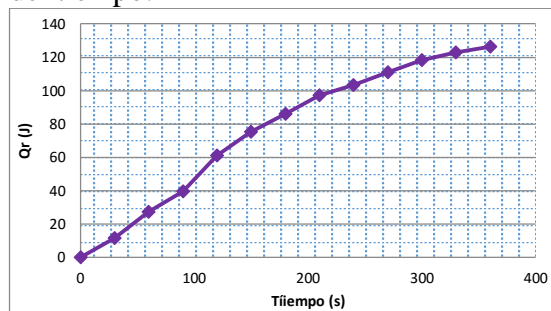
4. Eficiencia de conversión de energía:

$$\epsilon = \frac{\left(\frac{dQ_R}{dt}\right)}{\left(\frac{dQ_\epsilon}{dt}\right)} = \frac{Q_R}{Q_\epsilon} * 100$$

Ecuación 4, Referencia bibliográfica 4, p 195.

A partir de las relaciones matemáticas presentadas se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación:

Figura 1. Calor de radiación del sistema en función del tiempo.



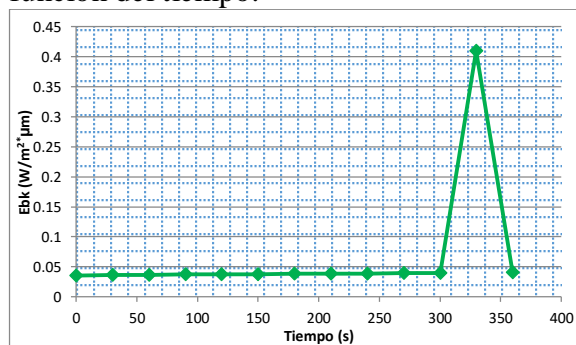
Fuente: Referencia bibliográfica 1, sección de resultados, pág.1.

Tabla I. Resultados figura 1.

Modelo matemático	Factor de Correlación	Incerteza máxima de la variable independiente	Intervalo de validez
$Q_r = 0.37t + 9.55$	$R^2 = 0,96$	$\pm 0,005 \text{ s}$	$0 - 360 \text{ s}$

Fuente: figura 1.

Figura 2. Poder de emisión del cuerpo negro en función del tiempo.



Fuente: Referencia bibliográfica 1, sección de resultados, pág.2.



Tabla II. Resultados figura 2.

Modelo matemático	Factor de Correlación	Incerteza máxima de la variable independiente	Intervalo de validez
$E_{bk} = 0,0004t + 0,00032$	$R^2 = 0,22$	$\pm 0,005 \text{ s}$	$0 - 360 \text{ s}$

Fuente: figura 2

Las figuras 1 y 2 representan la relación entre el calor de radiación transmitido y el tiempo de ejecución del experimento y el poder de emisión del cuerpo negro también en relación al tiempo, respectivamente; en la primera de ellas, la tendencia es ascendente y lineal, observándose entonces que el calor transmitido es directamente proporcional al tiempo transcurrido y por lo tanto al aumento de temperatura también (figura 1). El coeficiente de correlación de la misma fue de 0,96 muy cercano al esperado (1),

En la figura 2, donde se representa la relación del poder o intensidad de emisión, la tendencia es constante en la mayor parte del tiempo, contando solo con un máximo cuando $t=330 \text{ s}$. El poder de emisión promedio constante determinado es de $0,04 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ aproximadamente, mostrando de esta forma que el poder de emisión del cuerpo negro es independiente de las variaciones que pueda tener la temperatura durante el tiempo transcurrido (360 s).

La eficiencia de conversión de energía por radiación obtenida para el sistema se presenta tabulada en la siguiente tabla:

Tabla III. Eficiencia de conversión de energía por radiación.

Tiempo (s)	Eficiencia de conversión de energía	Eficiencia de conversión de energía (%)
0	0	0
30	0.0562	5.62
60	0.0659	6.59
90	0.0955	9.55
120	0.2945	29.45
150	0.1808	18.08
180	0.4133	41.33
210	0.2340	23.40

240	0.1654	16.54
270	0.5343	53.43
300	0.2843	28.43
330	0.1970	19.70
360	0.3037	30.37

Fuente: Referencia bibliográfica 1, sección de resultados, pág.3.

La eficiencia máxima obtenida fue de 0,5343 es decir 53,43% en un tiempo de 270 segundos y la mínima es de 0,052 siendo este un 5,62%, observándose de esta forma que la eficiencia al igual que el poder de emisión es independiente del aumento de temperatura en el transcurso del experimento.

El calor máximo transmitido se obtuvo a los 360 segundos del experimento (punto final del mismo) siendo este de 126,28 J y el mínimo a los 30 s (punto inicial) siendo de 11,69 J mostrando de esta forma que el calor transmitido desde la bombilla de 40 W (fuente de potencia) hacia el cuerpo negro (lata de aluminio cilíndrica) aumenta conforme aumenta el tiempo de exposición en este caso en un rango de 30 a 360 segundos.

A partir de las gráficas ya descritas y resultados mostrados, se puede conocer la validez o invalidez de las hipótesis planteadas al inicio. En el caso de la hipótesis científica que planteaba que la transferencia de calor por radiación desde un reflector de 150 W hacia una lata de aluminio pintada de negro mate considerada como un cuerpo negro es directamente proporcional al aumento de temperatura con el tiempo, es condicionalmente válida debido a que después de realizar una prueba con una bombilla de 150 W se observó que la bombilla posee demasiada potencia para ser utilizada en el sistema cerrado hielera-cuerpo negro-agua por lo que se cambió a una de 40 W con la que se realizaron todas las corridas y repeticiones.

A partir de ello, se confirmó el enunciado planteado, debido a que como se pudo observar en la figura 1, la tendencia de la transferencia de calor por radiación en relación al aumento de temperatura conforme el tiempo transcurrió es directamente proporcional, mostrándose gráficamente una recta inclinada aproximadamente 45° y analíticamente un aumento directamente proporcional del calor por radiación sobre el tiempo.



En el caso de las hipótesis alterna y nula, la hipótesis ambas no son válidas debido a que la gráfica respectiva (figura 2) que representa la relación del poder de emisión con el tiempo es constante con un solo máximo en $t = 330$ s, por lo tanto no es ascendente ni descendente, invalidando ambas hipótesis.

Teniendo todos los resultados necesarios, se procedió a analizar los errores por precisión e incertidumbre máximos promedio en donde se obtuvo un porcentaje máximo de 5,45% y un mínimo de 1,00%. Para el análisis de los porcentajes de error, se utilizó como límite superior máximo de error el 10%, y al ser los porcentajes obtenidos menores a él, se consideran precisos y confiables.

Conclusiones

1. La transferencia de calor por radiación es directamente proporcional al aumento de temperatura en un tiempo de 0 a 360 segundos.
2. El poder de emisión promedio obtenido para el cuerpo negro fue de $0,04 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.
3. La eficiencia de conversión de energía de radiación máxima fue de 53,43%.
4. El calor de radiación transmitido aumenta de forma directa con el tiempo transcurrido.
5. El calor máximo transmitido fue de 126,28 J a los 360 s.
6. Las hipótesis estadísticas fueron invalidadas al no corresponder con la gráfica presentada.
7. Al ser los errores analizados menores al 10% hacen que los resultados sean precisos y confiables.

Referencias

- Balcells Jose María & Autonell Jordi (2011). "Eficiencia en el uso de la energía eléctrica". MARCOMBO, S.A. Barcelona. ISBN: 978-84-267-1695-8
- Barrero Fermín (2004). "Sistemas de energía eléctrica". THOMSON EDITORES PARANINFO, S.A. España. ISBN: 84-9732-283-5
- Cengel Yunes A. & Boles Michael A. (2011). "Termodinámica". Séptima edición. MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. México. ISBN: 978-607-15-0743-3.
- Mccabe Warren L. (2007). "Operaciones unitarias en ingeniería química". MCGRAW-HILL/INTERAMERICANA, S.A. México. ISBN: 978-970-10-6174-9

