

Radiación de Cuerpo Negro y la Piel Humana

Procesamiento de imágenes - Medición de temperaturas mediante cámaras infrarrojas

23 de mayo de 2020

Resumen

Este trabajo tiene como objetivo la introducción de ciertos conceptos teóricos para el entendimiento de la radiación emitida por un cuerpo semejante a un cuerpo negro ideal. Se introducirá la ley de Planck, la ley de Stefan-Boltzmann y la ley Wien como herramientas conceptuales, a partir de las cuales se realizarán estimaciones de la radiación emitida por la piel humana. Este escrito está dirigido a los integrantes del grupo como reporte y ayuda conceptual.

1. Introducción

Los cuerpos debido a su temperatura emiten radiación electromagnética, conocida como radiación térmica. Esta radiación es generada por el movimiento de las partículas que componen la materia, las cuales poseen carga y por ello emiten radiación. [1]. La temperatura es una medida de la energía cinética promedio, y por ello, está relacionada con esta radiación.

Un cuerpo negro es un cuerpo idealizado que absorbe toda la radiación electromagnética incidente, sin importar la frecuencia o ángulo de incidencia [2]. Es posible caracterizar la radiación térmica de la piel humana como un cuerpo negro [3], y por ello la necesidad de estudiar la *radiación de cuerpo negro*. La potencia emisiva total de un cuerpo negro depende únicamente de la temperatura bajo la ley de Stefan-Boltzmann [4], por lo que es posible medir la temperatura de este cuerpo ideal con la radiación emitida y por ello, la temperatura del cuerpo humano como buena aproximación.

Por otro lado, la frecuencia de la radiación emitida con mayor intensidad está dada por la ley de Wien [5].

Entre los aspectos importantes a resaltar es que la potencia emisiva de la radiación producida por la piel no depende de su pigmentación.

2. Ley de Planck

Esta ley describe la densidad espectral de la radiación emitida por un cuerpo negro que se encuentra en equilibrio térmico a una temperatura T sin la existencia de ningún flujo de materia. Esta ecuación viene dada por la ecuación [2]

$$B(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2(e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1)} \quad (1)$$

Donde $B(\nu, T)$ es la potencia emitida por unidad de área, por unidad de ángulo sólido y por unidad de frecuencia. ν es la frecuencia de la radiación emitida, c la velocidad de la luz, h la constante de Planck y k_B es la constante de Boltzmann.

La forma de esta distribución para una temperatura fija se muestra en la figura 1, donde la longitud de onda es $\lambda = c/\nu$.

De la figura 1 se evidencia que para cada temperatura hay un pico de intensidad, el cual se desplaza con la misma. La ley que explica este desplazamiento es conocida como la ley de desplazamiento de Wien.

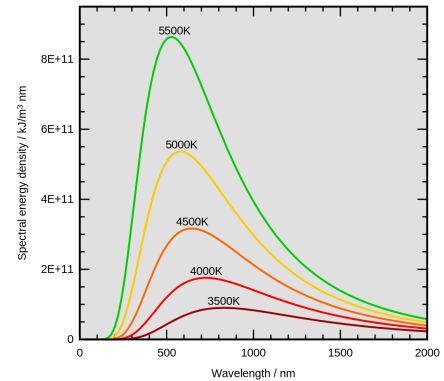


Figura 1: Distribución espectral dada por la ley de Planck para diferentes temperaturas

3. Ley de desplazamiento de Wien

Esta ley establece que longitud de onda donde se produce el pico visto en la figura 1, λ_{max} , es inversamente proporcional a la temperatura.

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}; \quad b = 2898 \mu m K \quad (2)$$

De la ecuación (2), el pico de intensidad de la radiación emitida por la piel humana a $37^\circ C$, suponiendo esta como cuerpo negro, es $\lambda_{piel} = 9,34 \mu m$, es decir, la radiación emitida se encuentra en el infrarrojo. Para una buena medición la cámara infrarroja debe ser sensible a longitudes de onda cercanas, entre los $7 \mu m - 14 \mu m$, que corresponden a las longitudes entre el percentil 10 % y 50 % [2].

La ley de Wien es consecuencia de la ley de Planck hallando el máximo de la ecuación (1).

4. Ley de Stefan-Boltzmann

Esta ley establece que un cuerpo negro emite radiación térmica con una potencia por unidad de área proporcional a la cuarta potencia de la temperatura [4].

$$E = \sigma T^4; \quad \sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/(m^2 K^4), \quad \text{la constante de Stefan-Boltzmann} \quad (3)$$

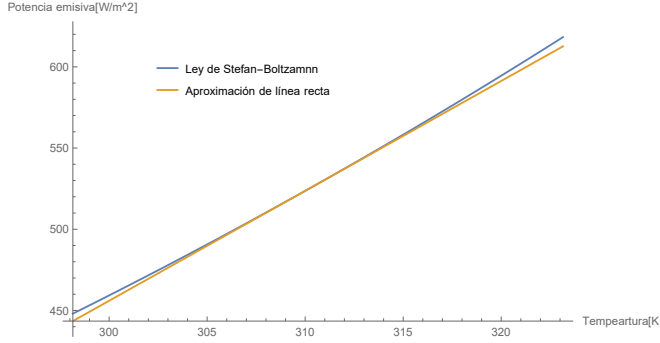


Figura 2: Ley de Stefan-Boltzmann y aproximación de recta.

Para cuerpos que se comportan como cuerpos negros y que la intensidad de la radiación disminuye respecto a la ideal, se agrega un factor de corrección ϵ , llamado emisividad, que varía entre cero y uno. Para la piel humana la emisividad es de 0,998 [3], por lo que se establece que es muy parecida a un cuerpo negro.

Para un cuerpo que no se encuentra en equilibrio con su ambiente, es necesario tener en cuenta la radiación absorbida proveniente de este [4]. Los sensores de las cámaras no miden la potencia por unidad de área, sino que realiza una integración por área de cada pixel y tiempo de exposición, de modo que la intensidad por pixel es

$$I \propto \int_t \int_{pixel} \sigma (T^4 - T_{amb}^4) dx^2 dt' \quad (4)$$

Si el área del pixel es muy pequeña podemos suponer que la temperatura no cambia, así como tampoco varía con el tiempo de exposición, que es igual para todos. Así que de la ecuación (4) se tiene que,

$$I \propto (T^4 - T_{amb}^4)$$

Si aproximamos la ley de Stefan-Boltzmann por una serie de Taylor centrada en $37^\circ C$, que es la temperatura corporal, y la cortamos a su segundo término, es posible aproximar mediante una línea recta como se evidencia en la figura 2.

Referencias

- [1] Radiación térmica. Wikipedia. Tomado el 22 de mayo de 2020 de https://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_t%C3%A9rmica
- [2] Black body. Wikipedia. Tomado el 22 de mayo de 2020 de https://en.wikipedia.org/wiki/Black_body
- [3] Novel approach to assess the emissivity of the human skin. F. J. Sánchez Marín, S. Calixto Carrera, C. Villaseñor Mora. Journal of Biomedical Optics, 2009.
- [4] Ley de Stefan-Boltzmann. Wikipedia. Tomado el 22 de mayo de 2020 de https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_de_Stefan-Boltzmann.

[5] Wien's displacement law. Wikipedia. Tomado el el 22 de mayo de 2020 de https://en.wikipedia.org/wiki/Wien%27s_displacement_law.