

OPERACIONES UNITARIAS

2023

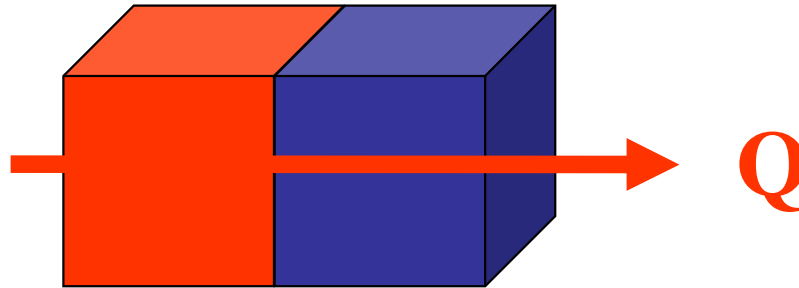


TEMA 1 - *RADIACION*

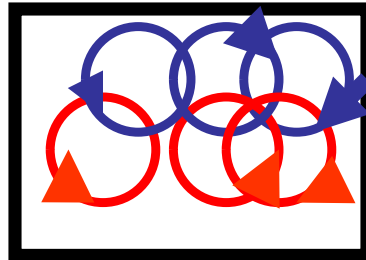


RADIACION TERMICA

CONDUCCION



CONVECCION



RADIACIÓN

no se necesita un medio para transmitir energía

RADIACION TERMICA



MARCO CONCEPTUAL

Teoría Electromagnética

- Viaja en forma de ondas a la velocidad de la luz
- Se caracteriza por su velocidad, frecuencia y longitud de onda

$$c = v\lambda$$

c = velocidad (m/s)

v = frecuencia (Hz)

λ = longitud de onda (μm)

Teoría Cuántica

- La radiación emitida por cualquier superficie es en forma de paquetes discretos llamados cuantos.

$$E = hv$$

*h = constante de Plank =
6.627 x E-34 (J s)*

E = energía (J)

RADIACION TERMICA



MARCO CONCEPTUAL

Table 8.1 A very basic classification of radiation.

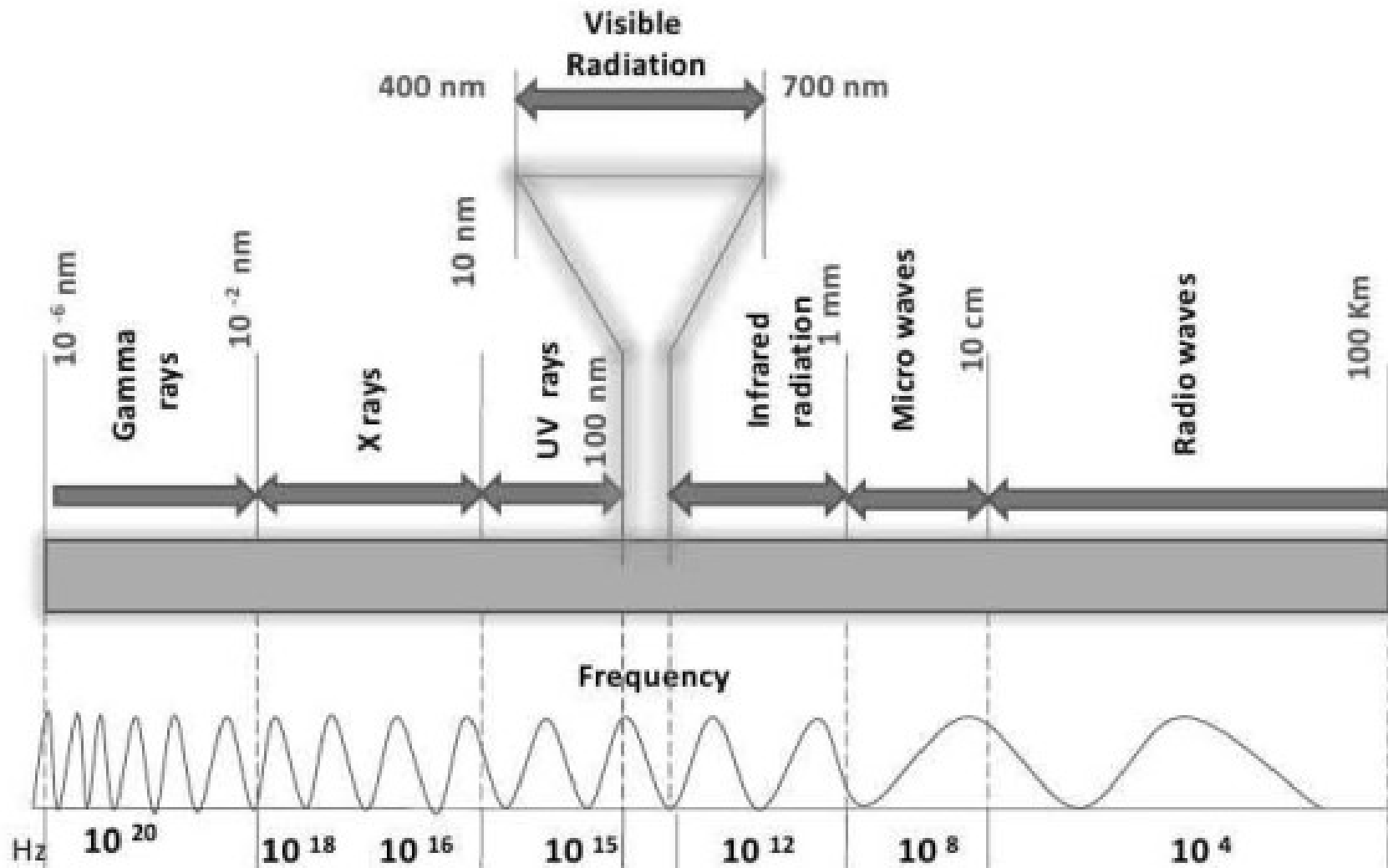
| Wavelength, λ, μm | Type of radiation |
|---|--------------------------|
| <0.4 | Ultraviolet |
| 0.4–0.7 | Visible |
| >0.7 | Infrared |

La radiación que ocurre en longitudes de onda $0 < \lambda < 100$ (μm) es **frecuentemente** referida como radiación térmica.

La radiación desde una superficie o volumen puede emitirse en todas las direcciones

RADIACION TERMICA

Espectro Electromagnético

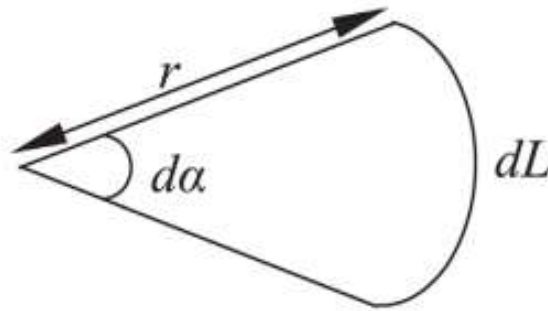


RADIACION TERMICA

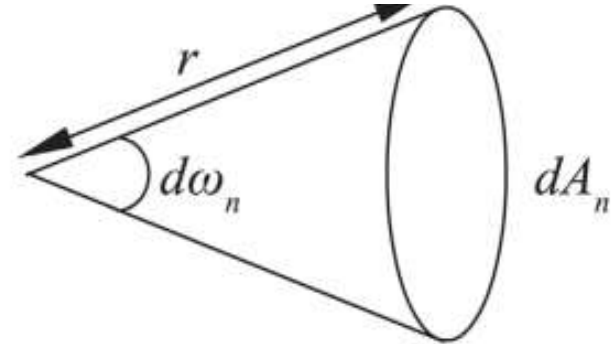
Representación de un ángulo plano (A) y un ángulo sólido (B)

$$d\alpha = \frac{dL}{r}$$

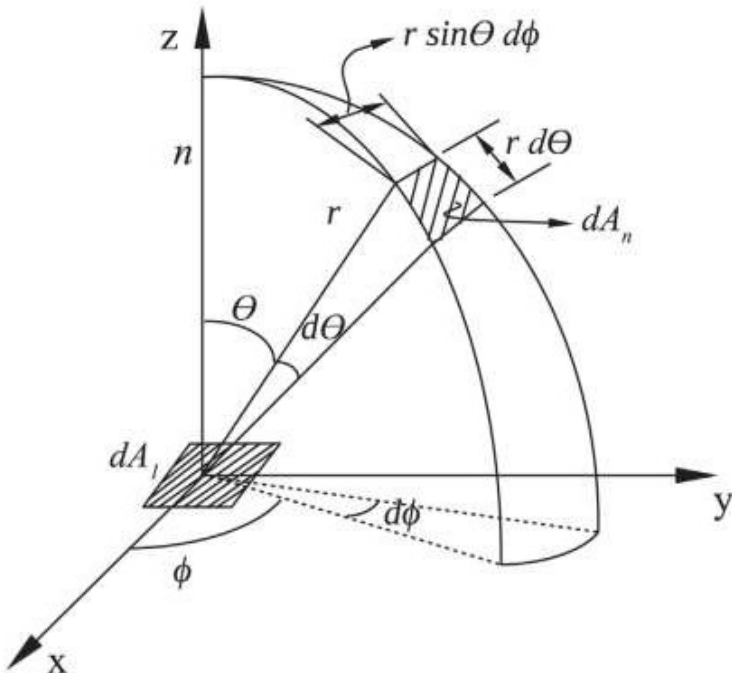
$$d\omega_n = \frac{dA_n}{r^2} \text{ steradians}$$



(A)



(B)



$$dA_n = r^2 \sin \theta d\theta d\phi$$

ϕ = ángulo azimutal

θ = ángulo zenital

r = radio

RADIACION TERMICA



Cuerpo Negro

- Es un standart contra el cuál todas las otras superficies radiantes se comparan.
- Se define como un cuerpo que absorbe toda la energía incidente, cualquiera sea la dirección incidente y su longitud de onda.

De la definición podemos inferir que:

- ✓ El cuerpo negro es un absorbente ideal
- ✓ Es un emisor perfecto
- ✓ Su radiación emitida es independiente de la posición y dirección
- ✓ Como consecuencia su radiación es función sólo de su temperatura.
- ✓ Toda la radiación incidente es absorbida y nada es reflejada

RADIACION TERMICA

Cuerpo Negro (Intensidad espectral en una dirección)

Esta Intensidad espectral de la emisión de un cuerpo negro viene dada por:

$$I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi, T) = \frac{dQ}{dA \cos \theta d\omega d\lambda}$$

De la definición matemática anterior, está claro que la intensidad de la dirección espectral de la emisión $I_{\lambda,e}$ es la tasa a la que la energía radiante emitida por una superficie (dQ) en la dirección de (θ, ϕ) por unidad de área de la superficie normal a esta dirección ($dA \cos \theta$) por unidad de ángulo sólido $d\omega$ sobre (θ, ϕ) por unidad de longitud de onda $d\lambda$ sobre λ .

$$dQ = I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi, T) dA_1 \cos \theta d\omega d\lambda$$

RADIACION TERMICA

Cuerpo Negro (Intensidad espectral en una dirección)

$$\text{Si } dQ_\lambda = \frac{dQ}{d\lambda} \quad \text{y} \quad dq_\lambda = \frac{dQ_\lambda}{dA_1}$$

$$dq_\lambda = I_{\lambda, \epsilon}(\lambda, \theta, \phi, T) \cos \theta d\omega$$

Para el cuerpo negro $I_{b, \lambda}(\lambda, \theta, \phi) = f(\theta, \phi)$.

Por lo tanto, el poder emisor espectral del cuerpo negro a una temperatura T en el intervalo de longitud de onda ($\lambda + d\lambda$) viene dado por

$$E_b(\lambda, T) = \pi I_{b, \lambda}(\lambda, T)$$

$$E_b(\lambda, T) = I_{b, \lambda}(\lambda, T) \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi$$

RADIACION TERMICA

Ley de distribución de Plank

Planck propuso la siguiente distribución para la intensidad espectral de la emisión de un cuerpo negro a una longitud de onda λ y temperatura T como :

$$I_{b,\lambda}(\lambda, T) = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{(C_2/\lambda T)} - 1}$$

$$C_1 = 2hc_0^2 = 1.192 \times 10^8 \frac{\text{W}\mu\text{m}^4}{\text{m}^2\text{sr}}$$

$$C_2 = \frac{hc_0}{k} = 1.4380 \times 10^4 \mu\text{mK}$$

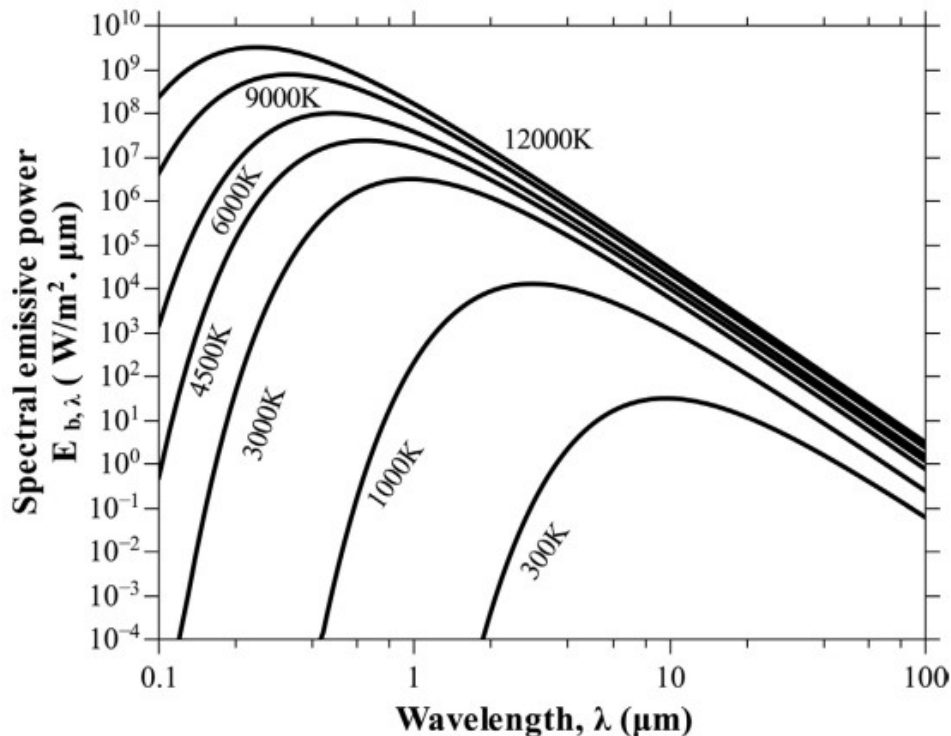
$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K (Boltzmann's constant)}$$

$$h = 6.627 \times 10^{-34} \text{ Js (Planck's constant)}$$

$$c_0 = 3 \times 10^8 \text{ m/s (velocity of radiation in vacuum)}$$

RADIACION TERMICA

Ley de distribución de Plank



1. Para cada temperatura T , $E_{b,\lambda}$ varía continuamente con λ .
2. A un λ dado, $E_{b,\lambda}$ es mayor a mayor temperatura.
3. Para cada temperatura T , existe una longitud de onda, λ en la que $E_{b,\lambda}$ tiene un pico.
4. Este pico se desplaza hacia el lado izquierdo a temperaturas más altas, lo que significa que a temperaturas más altas, el pico se produce en longitudes de onda más bajas.

LEY DE PLANCK

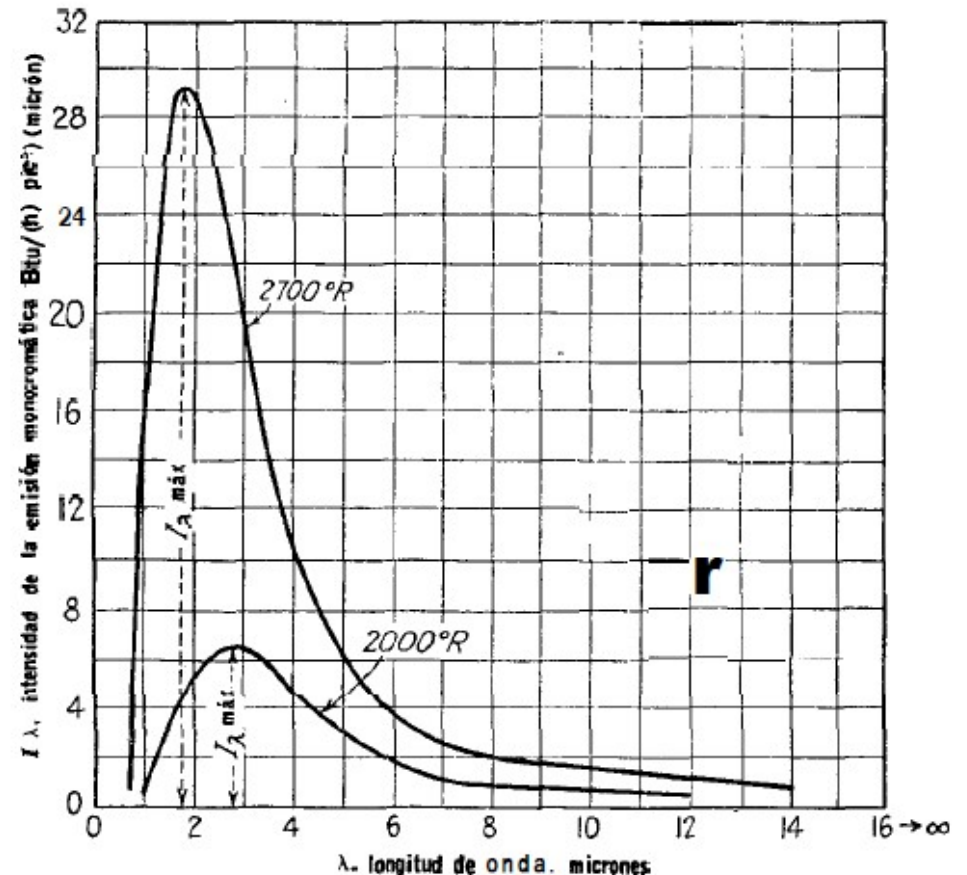
La potencia emisiva.

La cantidad total de energía radiante de todas las longitudes de onda emitida por un cuerpo por unidad de área y de tiempo, es la potencia emisiva total,

E , [Btu/ (h) (pies)].

Si la intensidad de la energía radiante a cualquier longitud de onda en la Figura es I_{λ} Btu/ (h) (pie²) (micrón), la potencia emisiva total es el área bajo la curva y puede ser computada por:

$$E = \int_0^{\infty} I_{\lambda} d\lambda$$



LEY DE PLANCK

- Planck fue el primero que reconoció la naturaleza cuántica de la energía radiante.
- Desarrolló una ecuación que se adapta a la curva de energía espectral de la Figura a cualquier temperatura.

$$I_{\lambda} = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{e^{C_2/\lambda T} - 1}$$

donde I_{λ} = intensidad de emisión monocromática, **Btu/ (h) (pie²) (micrón)**

λ = longitud de onda, micrones

C_1 y C_2 = constantes con valores 1.16×10^8 y 25 740

T = temperatura del cuerpo, °R

Las siguientes dos leyes surgen de los cimientos establecidos por la ley de distribución de Planck:

1. Ley de desplazamiento de Wien
2. Ley de Stefan-Boltzmann

LEY DE WIEN

Predice que el color aparente pasa del rojo (grandes longitudes de onda), al azul (cortas longitudes de onda), a medida que aumenta la temperatura T°

ÚTIL PARA EL CÁLCULO DE TEMPERATURAS LEJANAS

$$\lambda_{MAX} \cdot T^{\circ} = 0,2884 \mu m \text{ }^{\circ}R$$

$$\lambda_{max} T = 2898 \mu mK$$

A medida que aumenta la temperatura, el pico de emisión se desplaza hacia una menor longitud de onda

λ_{max} es la longitud de onda para la cual el poder emisivo monocromático es máximo a la temperatura T.

RADIACION TERMICA



MECANISMO DE TRANSFERENCIA

- PROBABLEMENTE ES EL MECANISMO PRIMARIO DE TRANSMISION DE ENERGIA ENTRE MOLECULAS.
- LA FUENTE CALORICA NO NECESITA UN MEDIO PARA TRASMITIR SU ENERGIA.
- LA ENERGÍA PUEDE TRANSMITIRSE POR RADIACIÓN ENTRE UN EMISOR
- Y OTRO RECEPTOR A TRAVÉS DEL VACIO.
- LA RADIACION ES UNA FORMA DE ENERGIA QUE SE PROPAGA EN FORMA
- DE ONDAS ELECTROMAGNETICAS

RADIACION TERMICA

Ley de Stefan- Boltzmann

- A diferencia de los mecanismos de transferencia de calor por conducción y radiación, en donde el transporte de calor requiere de un medio físico para llevarse a cabo, el calor puede propagarse por radiación aún en el vacío.
- La radiación que transfiere el calor se conoce como radiación infrarroja.
- La cantidad de calor que un cuerpo pierde o gana por medio de la radiación puede calcularse por medio de la ecuación de Stefan – Boltzmann:

$$E_b(T) = \int_{\lambda=0}^{\infty} E_{b,\lambda} d\lambda = \sigma T^4$$

$$Q = hr(T_1 - T_2)$$

$$hr = \frac{\sigma \varepsilon}{T_1 - T_2} [T_1^4 - T_2^4]$$

siendo σ la constante de Stefan - Boltzmann $\left(5.6697 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \right)$

RADIACION TERMICA

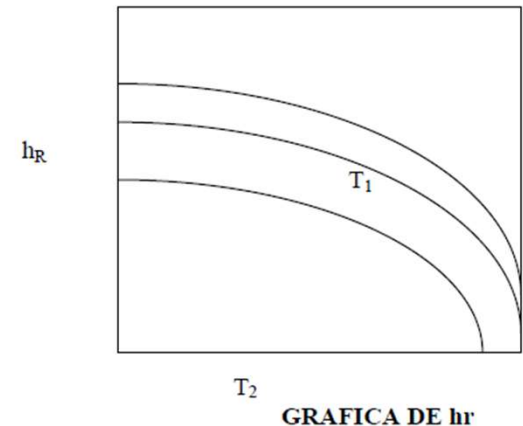
$$E_b(T) = \int_{\lambda=0}^{\infty} E_{b,\lambda} d\lambda = \sigma T^4$$

$$Q = hr(T_1 - T_2)$$

$$hr = \frac{\sigma \varepsilon}{T_1 - T_2} [T_1^4 - T_2^4]$$

- T es la temperatura en ° K. siendo σ la constante de Stefan - Boltzmann $\left(5.6697 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}\right)$
- ε es la emisividad, que es una propiedad de los cuerpos (siempre menor a 1, ya que la emisividad de 1 corresponde al cuerpo negro, o sea, al mejor radiador posible).
- El coeficiente hr es el coeficiente de transferencia de calor por radiación, el cual además de poderse calcular por medio de fórmulas, se puede evaluar a partir de gráficas.

De hecho, la ley de Stefan Boltzmann se obtuvo antes del descubrimiento de la ley de distribución de Planck utilizando la ruta termodinámica con la constante σ que tiene un valor de $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$ (conocido como la constante de Stefan-Boltzmann), proveniente de un emparejamiento de datos experimentales de $E_b(T)$ contra T^4 .



RADIACION TERMICA



MECANISMO DE TRANSFERENCIA

- LA EMISION DE ENERGIA SE REALIZA POR LOS MISMOS MECANISMOS POR LOS CUALES FUE ABSORBIDA.
- EL ESPECTRO DE EMISION DE UN CUERPO ; 10^{-11} –(RAYOS COSMICOS) – 10^5 (ONDAS LARGAS DE RADIO).
- UNA PORCION DE ESTE ESPECTRO ES DONDE EL MECANISMO DE EMISION Y ABSORCION DE ENERGIA RADIANTE PRODUCEN CAMBIO DE TEMPERATURA DE LOS CUERPOS INVOLUCRADOS.
- 0,5 A 50 MICRONES DE LONGITUD DE ONDA..
- SE LA CONOCE COMO RADIACION TERMICA, EN DONDE CUALQUIER CUERPO QUE SE ENCUENTRE A UNA T° ABSOLUTA, EMITE ENERGIA EN FORMA PROPORCIONAL A T⁴

$$q = \sigma \cdot \epsilon \cdot T^4$$

RADIACION TERMICA



MECANISMO DE TRANSFERENCIA

$$q = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4$$

Siendo

q = energía emitida por el cuerpo por unidad de tiempo y de superficie.

σ = constante de Stephan Boltzman = 4.88×10^{-8} Kcal/m² .h. K⁴ = 5.672×10^{-8} W/m²K⁴

ε =emisividad del cuerpo, que depende del tipo y estado de su superficie y que es siempre menor que 1.

RADIACION TERMICA



MECANISMO DE TRANSFERENCIA

- TA= TEMPERATURA DE UN CUERPO
- TB = TEMPERATURA DEL AMBIENTE CONSIDERADO INFINITO

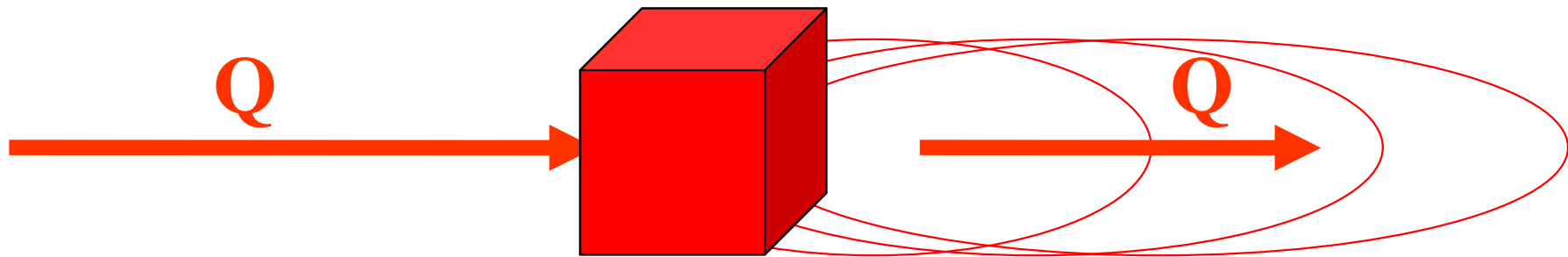
EL INTERCAMBIO DE ENERGIA CON EL AMBIENTE Y LA VELOCIDAD NETA DEL INTERCAMBIO.

$$Q = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A (T_A^4 - T_B^4)$$

CANTIDAD DE CALOR INTERCAMBIADO ENTRE UN CUERPO Y EL AIRE QUE LO RODEA.

$$Q = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A (T_A^4 - T_B^4) + h \cdot A (T_A - T_B)$$

RADIACION TERMICA



EMISOR => EXCITACION PREVIA

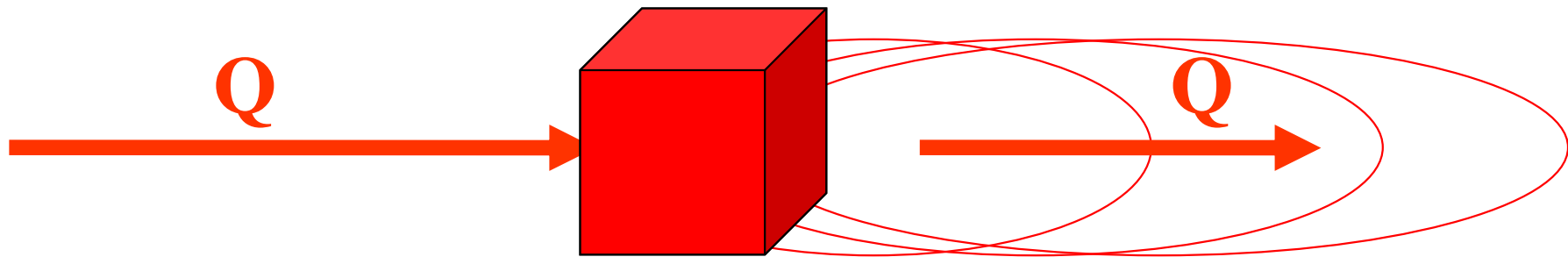
$$\lambda = 0$$

$\lambda = \text{LONGITUD DE ONDA}$

$$\lambda = \infty$$

RADIACION TERMICA = 0,5 - 50 μm

RADIACION TERMICA

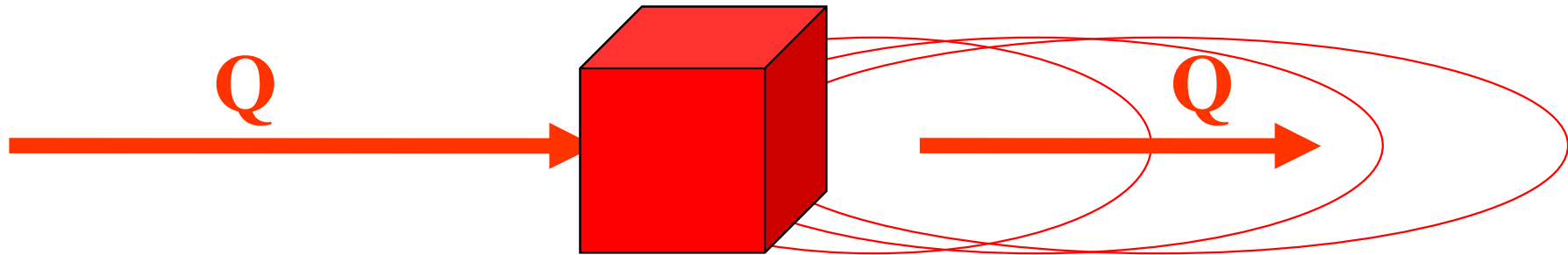


ORIGEN; DENTRO DE LAS MOLECULAS DEL CUERPO RADIANTE

EMISION DE ENERGIA RADIANTE => DISMINUYE AMPLITUD DE VIBRACION DENTRO DE LAS MOLECULAS

ABSORCION DE ENERGIA RADIANTE => AUMENTA AMPLITUD DE VIBRACION DENTRO DE LAS MOLECULAS

RADIACION TERMICA



Cualquier cuerpo que se encuentra a una temperatura absoluta T , emite energía en forma proporcional a la cuarta potencia de esta temperatura, es decir

$$q = \sigma \cdot \varepsilon \cdot T^4$$

LEY DE STEFAN-BOLTZMANN

Siendo

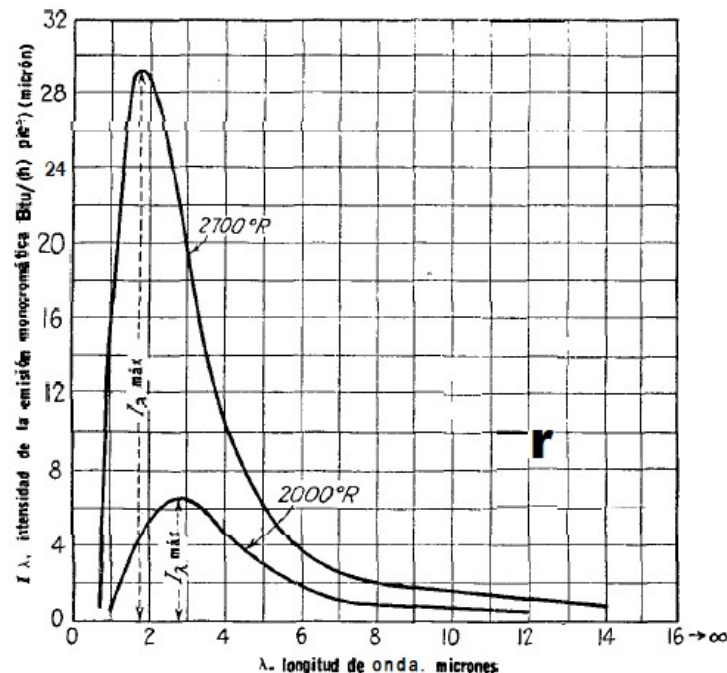
q = energía emitida por el cuerpo por unidad de tiempo y de superficie.

σ = constante de Stephan Boltzman = 4.88×10^{-8} Kcal/m² .h. K⁴ = 5.672×10^{-8} W/m²K⁴

ε =emisividad del cuerpo, que depende del tipo y estado de su superficie y que es siempre menor que 1.

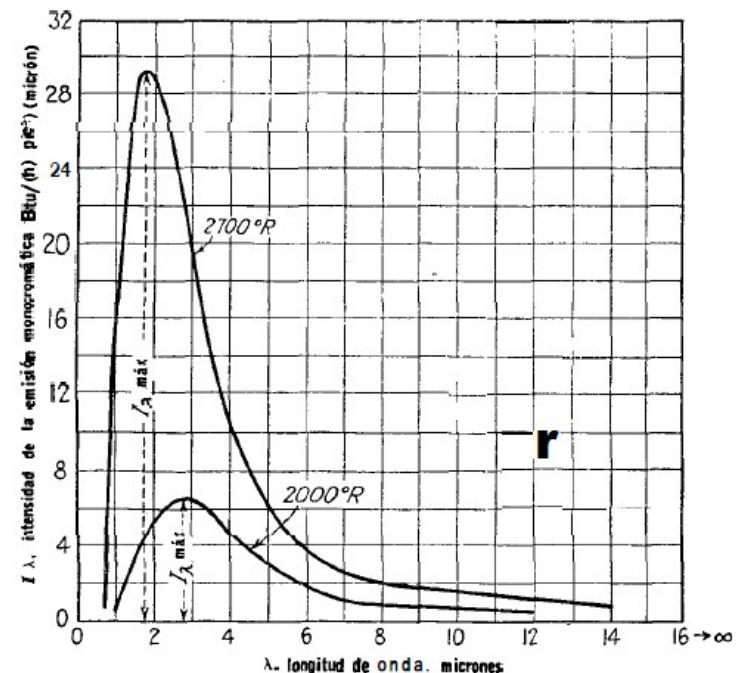
LEYES DE LA RADIAACION

- La temperatura es una medida del promedio de la energía cinética de las moléculas
- A mayor temperatura mayor energía cinética promedio, tanto de traslación como de vibración.
- Por lo tanto, a mayor temperatura mayor la cantidadde energía radiante emitida por una sustancia.
- El movimiento molecular cesa completamente sólo en el cero absoluto de temperatura
- Todas las sustancias emitirán o absorberán energía radiante siempre que la temperatura de las sustancias esté sobre el cero absoluto.



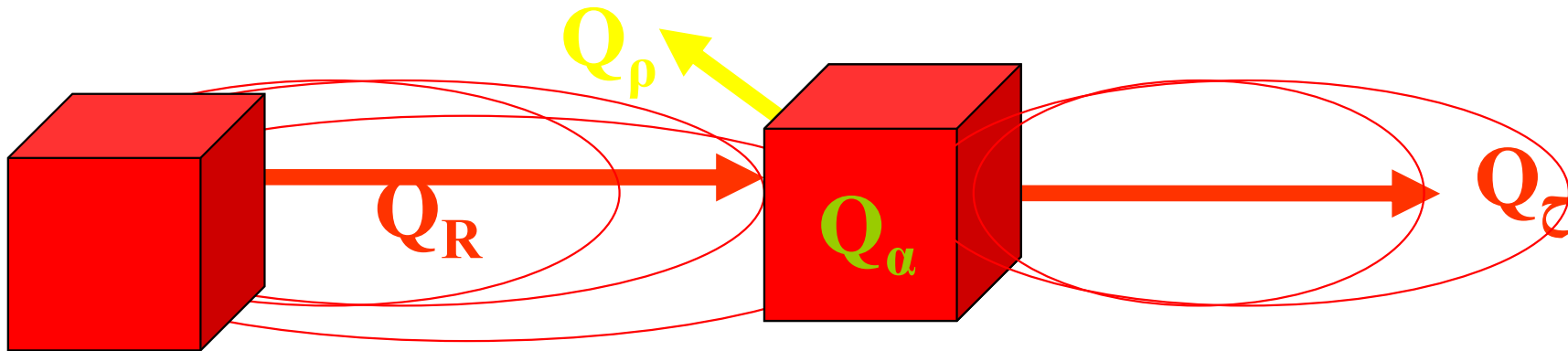
LEYES DE LA RADIACION

- Para que la energía radiante se emita desde el interior de un sólido, debe penetrar la superficie del sólido sin ser disipada en producir otros cambios de energía dentro de las moléculas.
- Hay pocas probabilidades de que la energía radiante generada en el interior de un sólido alcance su superficie sin encontrar otras moléculas.
- La energía radiante emitida de la superficie de los cuerpos sólidos es generada por cambios en los niveles de energía de las moléculas cercanas o en su superficie.
- La cantidad de energía radiante emitida por un sólido es, consecuentemente, función de la superficie del cuerpo, y recíprocamente, la radiación incidente en un cuerpo sólido se absorbe en su superficie.



RADIACION TERMICA

incidencia de la energía radiante



$$a + \zeta + \rho = 1$$

Cuerpo opaco $a + \rho = 1$

Cuerpo blanco (vidrio) $\zeta = 1$

Cuerpo negro $a = 1$

α = absorbancia

ρ = reflexivilidad

τ = trasmisividad

espejo $\rho = 1$

Los valores relativos de estos coeficientes dependen del material del que está constituido el cuerpo y del estado de su superficie

LEY DE KIRCHOFF

Conexiones entre la emisividad y absorbancia

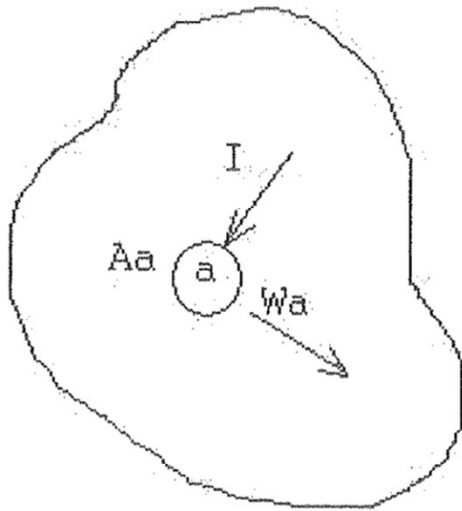


Figura 12-1

t la temperatura del sistema en equilibrio.

W_a , (poder emisivo del cuerpo a,) a la energía emitida por el sólido por unidad de tiempo y unidad de área.

I , la energía que incide sobre la superficie del cuerpo

$$A_a \cdot W_a = A_a \cdot \alpha_a \cdot I \qquad I = \frac{W_a}{\alpha_a}$$

$$\frac{W_a}{\alpha_a} = \frac{W_c}{\alpha_c} = \frac{W_i}{\alpha_i} = I$$

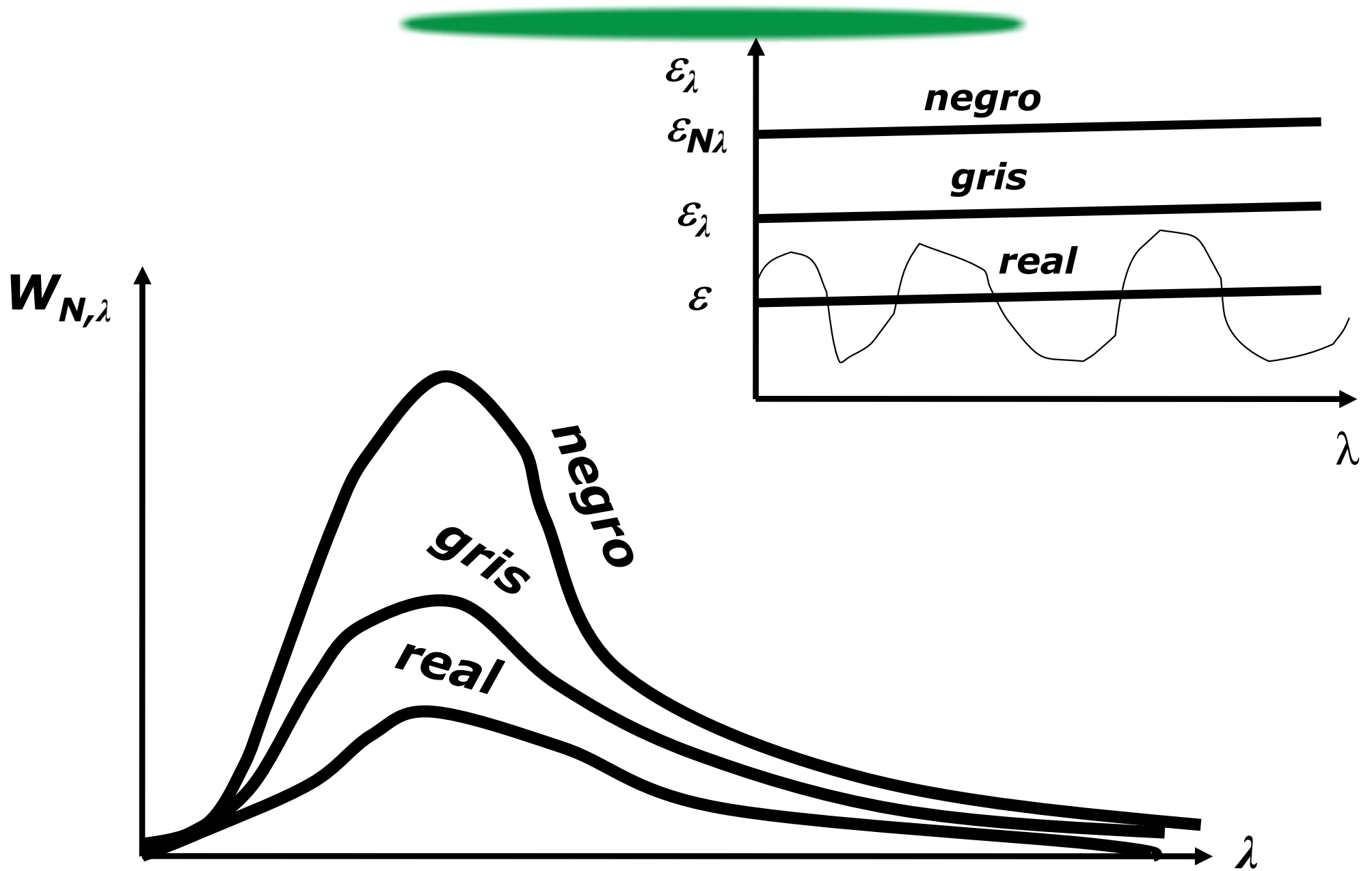
Esto significa que el cuerpo que más energía es capaz de absorber también debe ser el mejor emisor

$$I = \frac{W_a}{\alpha_a} = \frac{W_c}{\alpha_c} = \frac{W_b}{1} \quad (\text{cuerpo negro})$$

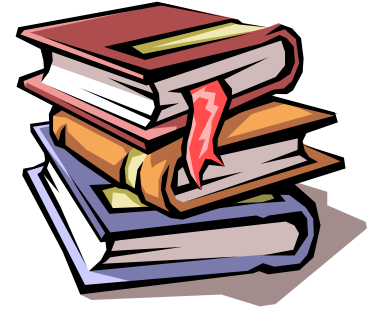
Se llama emisividad de un cuerpo, (ϵ) al cociente entre el poder emisivo de dicho cuerpo y el poder emisivo del cuerpo negro a la misma temperatura.

$$\epsilon_a = \frac{W_a}{W_b} \qquad \epsilon_a = \alpha_a$$

CUERPO GRIS Y REAL



BIBLIOGRAFIA



- **Apuntes de la cátedra de Operaciones Unitarias.**
- **PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR – Donald Q. Kern.**
- **TRANSMISIÓN DEL CALOR - Cao.**



Los Profesores de la Cátedra OPERACIONES UNITARIAS

**i Agradecemos
su asistencia !**