

T.C. por Radiación: conceptos básicos

INTRODUCCIÓN

MISIÓN DE LA RADIACIÓN. CUERPO NEGRO

FLUJOS DE RADIACIÓN

RECEPCIÓN DE LA RADIACIÓN

LEY DE KIRCHHOFF. SUPERFICIES GRISES

PROPIEDADES DE LAS SUPERFICIES RADIANTES REALES

RADIACIÓN ENTRE SUPERFICIES. FACTOR DE VISIÓN.

INTERCAMBIO DE RADIACIÓN TÉRMICA POR MEDIOS NO ABSORBENTES NI EMISORES.

INTERCAMBIO DE RADIACIÓN POR MEDIOS ABSORBENTES/EMISORES.

TRANSMISIÓN DE CALOR COMBINADA POR CONDUCCIÓN-CONVECCIÓN Y RADIACIÓN.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

1. Introducción

“T.C. mediante el desplazamiento de ondas electromagnéticas”

no necesita de la presencia de un medio material

se desarrolla de forma óptima en el vacío

de T.C. por radiación

energía que llega a la Tierra procedente del Sol

en I.E.: hornos, calderas, calentadores eléctricos, etc.

pérdidas de calor de equipos y conducciones hacia el exterior

de la radiación → Teoría dualística onda-corpúsculo => explica las

de la radiación considerando de forma separada:

Emisión y recepción → Fotones (partículas discretas)

Ley de Planck: $E = h \cdot \nu$ (h , cte. Planck = $6,62377 \cdot 10^{-34}$ J·s); $E \neq f(\text{medio tr.})$

Transmisión → Ondas electromagnéticas caracterizadas por su velocidad (c)

y su longitud de onda (λ).

$c = f(\text{medio de transmisión}); c \neq f(\text{frecuencia de radiación}); c = \lambda \cdot \nu$

vacío → $c = 2,99776 \cdot 10^8$ m/s

medio material → $n = c_0(\text{vacío}) / c$; n : índice de refracción (= 1: gases)

(= 1,5: líquidos y sólidos transparentes)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 --
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

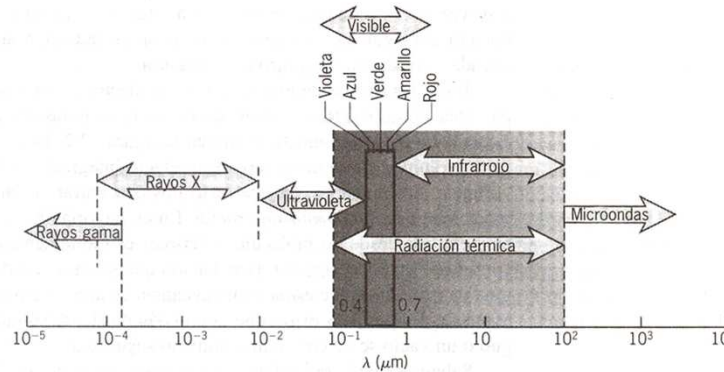
1. Introducción

radiación térmica: energía radiante que emite un cuerpo en virtud de su T

cualquier cuerpo, por encima del 0 K, emite radiación térmica. A T bajas los flujos de radiación son muy bajos. Al $\uparrow T \rightarrow \downarrow \lambda \rightarrow \uparrow \nu \rightarrow \uparrow E$ de los fotones emitidos

sus propiedades se explican mediante la teoría onda-corpúsculo

Localización de la radiación térmica en el espectro electromagnético: incluye parte del UV, todo el visible y todo el IR ($0,1 \mu\text{m} < \lambda < 100 \mu\text{m}$)



caudal de calor transmitido por radiación $\propto (T_1^4 - T_2^4) \Rightarrow$ importante a elevadas temperaturas
 la rad. emitida por una superficie es independiente de la rad. emitida por cualquier otra superficie
 material a la vista o en contacto con la primera

Objetos a diferente T colocados en un recinto, uno a la vista del otro:

los calientes pierden energía (se enfrían)

los fríos absorben energía (se calientan)

Modos de calor por radiación puede ser un fenómeno...

volumétrico: gases y algunos líquidos y sólidos transparentes

superficial: sólidos no transparentes y el resto de los líquidos

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2. Emisión de la radiación. Cuerpo negro.

Emisión de radiación en todas direcciones y en varias λ

a $\lambda = f(\text{material, superficie, } T) \rightarrow$ diversos cuerpos a $= T$ pueden emitir distinta radiación \rightarrow definición de una ref. con la cual comparar las características cualquier cuerpo:

Referencia: E máxima emitida a una $T \Rightarrow$ **CUERPO NEGRO**

... ideal que emite y absorbe la cantidad máxima posible de radiación con longitud de onda, a cualquier temperatura

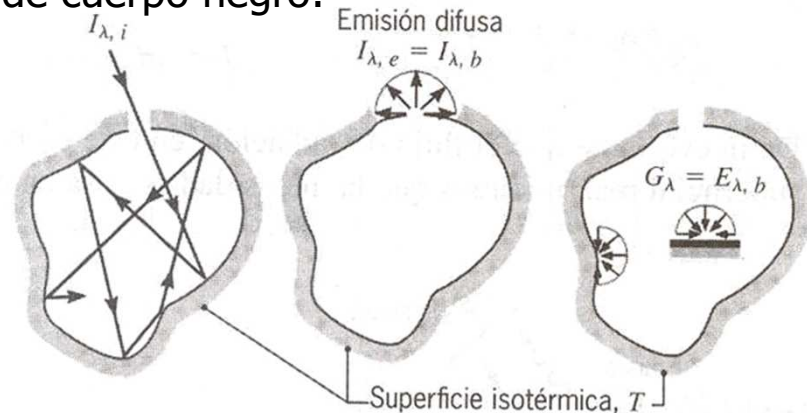
Características del cuerpo negro:

Absorbedor ideal: absorbe todo, no refleja nada

Emisor ideal: ningún cuerpo emite mayor cantidad de energía, a cada λ y T

Emisor difuso: la intensidad de radiación no varía con la dirección

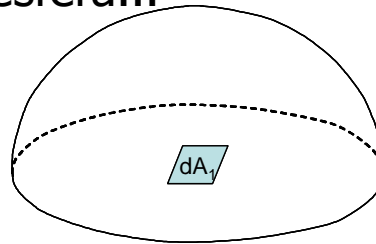
Cuerpos que se aproximan al concepto de cuerpo negro:



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2. Emisión de la radiación. Cuerpo negro.

do una superficie sólida, a T y que la energía se esparce en todas a través de una hemiesfera...



Power emisor: flujo de radiación emitido por una superficie a radiante emitida por una superficie por unidad de tiempo (superficie)

radiación emitida por una superficie esta formada por una distribución no uniforme de componentes monocromáticos

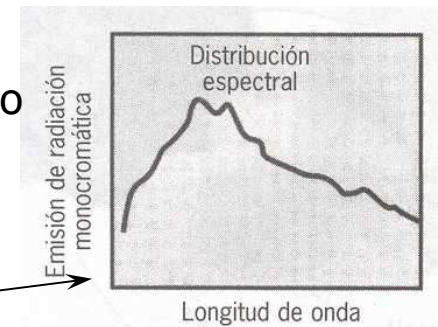
Power emisor monocromático o espectral (E_λ): radiación emitida por una superficie con una única λ (en todas direcciones)

Power emisor total: radiación emitida con cualquier λ (en todas direcciones)

$$E = \int_0^\infty E_\lambda d\lambda$$

Power emisor total de un cuerpo negro => ley de Stefan-Boltzman

$$E_N = \sigma T^4 \quad \sigma \equiv \text{cte. de Stefan Boltzmann} = 5,670 \cdot 10^{-8} / \text{m}^2 \cdot \text{K}^4$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2. Emisión de la radiación. Cuerpo negro.

Planck (1901): permite calcular el poder emisor monocromático del cuerpo negro:

$$E_{N\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)}$$

$E_{N\lambda}$: W/m³
 Primera cte. de radiación: $C_1 = 3,7415 \cdot 10^{-16}$ W·m² (vacío y ~gases; resto: C_1/n^2 ; n: índice de refracción)
 Segunda cte. de radiación: $C_2 = 1,4388 \cdot 10^{-2}$ m·K
 λ : m
 T: K

de λ en que emite un cuerpo negro depende (de T y λ en nm y brillo).

blanco → rojo brillante → amarillo → blanco
brillo ↑

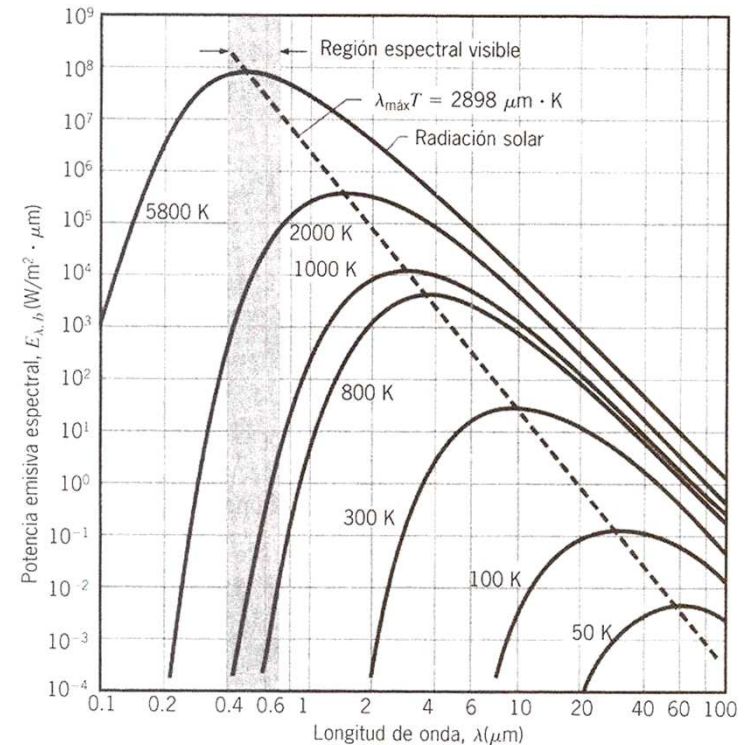
→ (T=1500K)

Por cada λ , la cantidad de radiación emitida depende de T .

El poder emisor monocromático presenta un máximo que depende de T .

Con T , el máximo de las curvas se desplaza hacia menores λ , emitiéndose radiación de mayor energía.

(Emitencia de superficie negra a T del Sol) => región visible.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

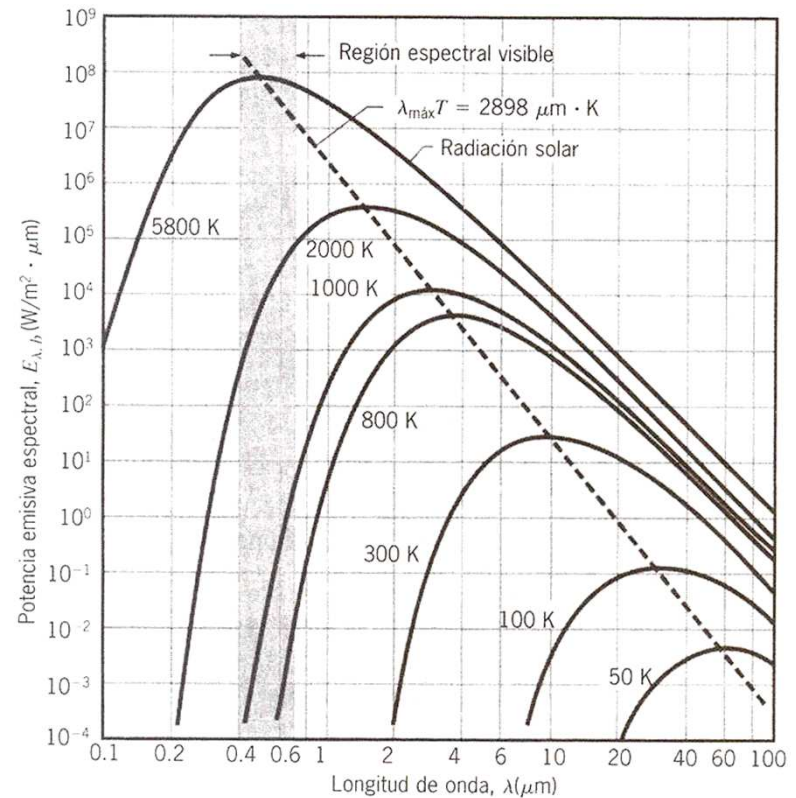
2. Emisión de la radiación. Cuerpo negro.

a temperatura, $E_{N\lambda}$ presenta un máximo a λ_{MAX} a menores λ a medida que aumenta T

$$\frac{dE_{N\lambda}}{d\lambda} = 0 \Rightarrow \lambda_{\text{MAX}} = \frac{\text{cte.}}{T}$$

$$\lambda_{\text{MAX}} \cdot T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

Ley del desplazamiento de Wien



El emisor total del cuerpo negro se obtiene: $E = \int_0^{\infty} E_{N\lambda} d\lambda = \sigma \cdot T^4$

es proporcional a T^4 \longrightarrow Ley de Stefan-Boltzmann

2. Emisión de la radiación. Cuerpo negro.

bandas: la fracción
emisión total de un
cuerpo negro en cierto
intervalo de longitudes de onda

$$\frac{E_{N\lambda}d\lambda}{E_{N\lambda}d\lambda} = \frac{\int_0^\lambda E_{N\lambda}d\lambda}{\sigma T^4}$$

$$\frac{d(\lambda T)}{\lambda T} = f(\lambda T)$$

$$= F_{(0 \rightarrow \lambda 2)} - F_{(0 \rightarrow \lambda 1)}$$

λT	$\frac{E_b(0 \rightarrow \lambda T)}{\sigma T^4}$	λT	$\frac{E_b(0 \rightarrow \lambda T)}{\sigma T^4}$	λT	$\frac{E_b(0 \rightarrow \lambda T)}{\sigma T^4}$
0,2	3,41796e-26	4,2	0,516046	8,5	0,874666
0,4	1,86468e-12	4,4	0,548830	9,0	0,890090
0,6	9,29299e-8	4,6	0,579316	9,5	0,903147
0,8	0,0000164351	4,8	0,607597	10,0	0,914263
1,0	0,00032078	5,0	0,633786	10,5	0,923775
1,2	0,00213431	5,2	0,658011	11,0	0,931956
1,4	0,00779084	5,4	0,680402	11,5	0,939027
1,6	0,0197204	5,6	0,701090	12,0	0,945167
1,8	0,0393449	5,8	0,720203	13,0	0,955210
2,0	0,0667347	6,0	0,737864	14,0	0,962970
2,2	0,100897	6,2	0,754187	15,0	0,969056
2,4	0,140268	6,4	0,769232	16,0	0,973890
2,6	0,183135	6,6	0,783248	18,0	0,980939
2,8	0,227908	6,8	0,796180	20,0	0,985683
3,0	0,273252	7,0	0,808160	25,0	0,992299
3,2	0,318124	7,2	0,819270	30,0	0,995427
3,4	0,361760	7,4	0,829580	40,0	0,998057
3,6	0,403633	7,6	0,839157	50,0	0,999045
3,8	0,443411	7,8	0,848060	75,0	0,999807
4,0	0,480907	8,0	0,856344	100,0	1

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

2. Emisión de la radiación. Cuerpo negro.

CIELOS NO NEGRAS: la radiación emitida a una temperatura y longitud de onda es inferior a la del cuerpo negro

ε: relación entre el poder emisor de la superficie y la del cuerpo negro a la misma T)

Emisividad total hemiesférica (en todas las direcciones del espacio).

$$\epsilon = \frac{E}{E_N}$$

Emisividad monocromática hemiesférica

$$\epsilon_\lambda = \frac{E_\lambda}{E_{N\lambda}}$$

ADICIONAL: las superficies no negras pueden no ser emisores difusos → tener en cuenta la emisión de radiación con distinta intensidad dependiendo de la longitud espacial.

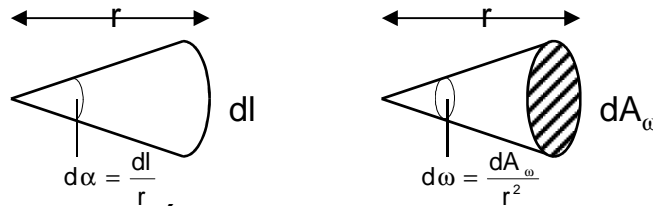
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

3. Flujos de radiación

recibida por una s. plana → función de la dirección del espacio → **INTENSIDAD DE RADIACIÓN**
leyes geométricas

la longitud de un arco es equivalente en magnitud al ángulo plano que subtende (r=1).



$d\omega$: superficie de un casquete esférico sobre una esfera de radio unidad.

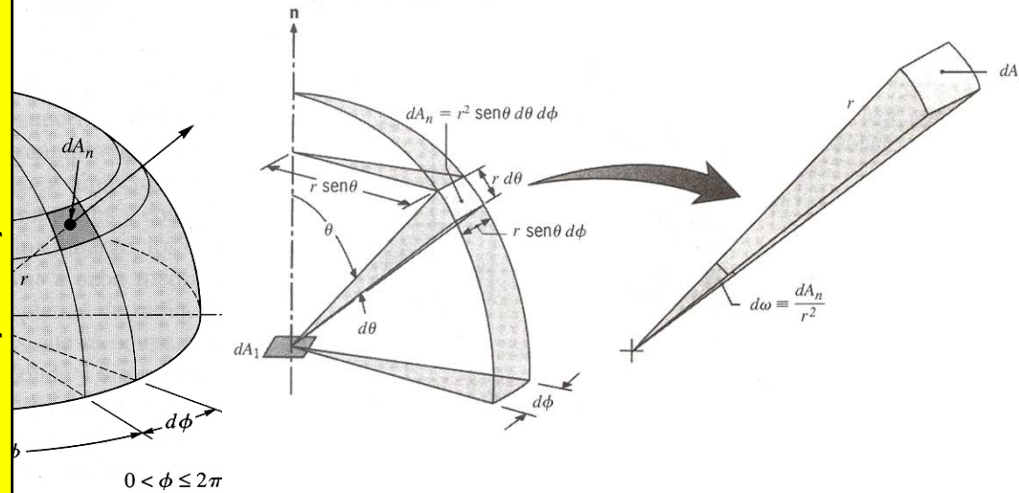
medido en estereoradianes ($0 < \omega < 4\pi$ $r^2/2 = 2\pi$)

Coordenadas esféricas:

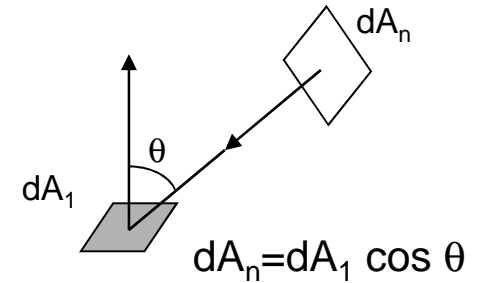
$$d\omega = \frac{dA_n}{r^2} = \sin\theta \, d\theta \, d\phi$$

θ : áng. cenital

ϕ : áng. azimutal



dA_n es perpendicular a dirección (θ, ϕ)
 → relación entre dA_1 (centro de la esfera) y dA_n en la superficie de la hemisfera:



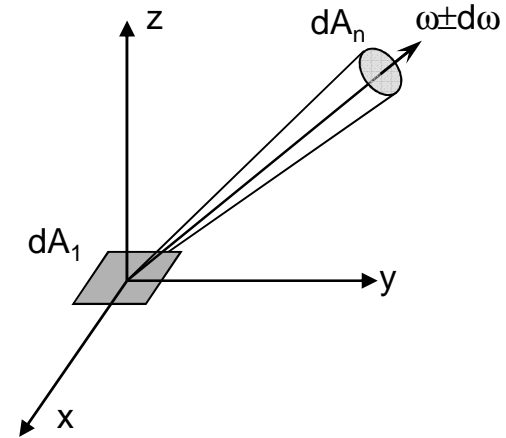
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

3. Flujos de radiación

Intensidad de radiación emitida

La **intensidad de radiación emitida**, $I_e(\theta, \phi)$: cantidad de energía que se emite en la dirección (θ, ϕ) por unidad de área en una dirección (dA_n) y por unidad de ángulo sólido en torno a una dirección $(d\omega)$



$$I_e(\theta, \phi) = \frac{dQ_e}{dA_n d\omega} = \frac{dQ_e}{dA_1 \cos \theta d\omega} = \frac{dQ_e}{dA_1 \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi} \quad (\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{sr})$$

La **energía radiante direccional**, $E(\theta, \phi)$: cantidad de energía radiante que se emite en la dirección (θ, ϕ) por unidad de área de emisión (dA_1)

$$dE = \frac{dQ_e}{dA_1} = I_e(\theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi$$

La **energía radiante hemiesférica**: $E = \int_{\text{hemisferio}} dE = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_e(\theta, \phi) \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi \quad (\text{W} / \text{m}^2)$

La **intensidad de radiación emitida de una superficie emisora difusa**: la intensidad emitida es independiente de la dirección

$[I_e \neq f(\theta, \phi)] \xrightarrow[\text{Stefan-Boltzmann}]{\text{CUERPO NEGRO}} I_N(T) = \frac{E_N(T)}{\pi} = \frac{\sigma T^4}{\pi} \quad (\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{sr})$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



3. Flujos de radiación



Incidente

La **radiación incidente**, $I_i(\theta, \phi)$: cantidad de energía radiante (dQ_e) que incide en una dirección (θ, ϕ) por unidad de área normal a dicha dirección (dA_n) y por unidad de ángulo sólido en torno a esta misma dirección ($d\omega$)

El **flujo de radiación incidente sobre una superficie desde todas direcciones de un hemisferio**

$$G = \int_{\text{hemisferio}} dG = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_i(\theta, \phi) \cos \theta \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (\text{W / m}^2)$$

Incidente difusa: la intensidad incidente es independiente de la dirección

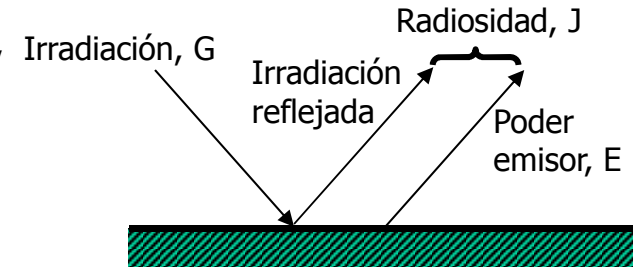
$$G = \pi I_i$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

3. Flujos de radiación

(J): caudal de calor que abandona una unidad en todas direcciones

$$J = \int_{\theta=0}^{\pi} \int_{\phi=0}^{2\pi} I_{e+r}(\theta, \phi) \cos \theta \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (\text{W / m}^2)$$



lector difuso: $J = \pi I_{e+r}$

espejo: no hay reflexión $\rightarrow J = E$

radiaciones espectrales o monocromáticas Magn. referidas a una determinada λ o $d\lambda$

radiación monocromática o espectral direccional emitida [$I_{\lambda e}(\lambda, \theta, \phi)$]: caudal de energía por unidad de área perpendicular a la dirección (θ, ϕ) por unidad de ángulo sólido en torno a ésta última.

$$I_{\lambda, e}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{dQ_e}{dA_1 \cos \theta \, d\omega \, d\lambda} \quad (\text{W / m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$$

radiación monocromática direccional: $dE_{\lambda e} = \frac{dQ_{\lambda e}}{dA_1} = I_{\lambda e}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \, d\omega$

radiación monocromática hemiesférica: $E_{\lambda} = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} I_{\lambda e}(\lambda, \theta, \phi) \cos \theta \sin \theta \, d\theta \, d\phi \quad (\text{W / m}^2)$

radiaciones y radiosidad monocromáticas: tratamiento análogo

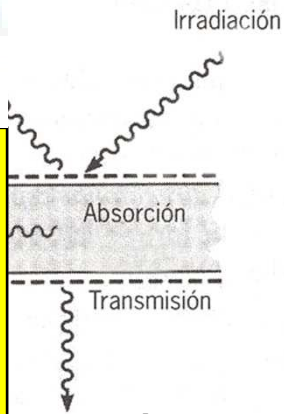
radiación y radiación difusas: $E_{\lambda} = \pi I_{\lambda e}; G_{\lambda} = \pi I_{\lambda}; J_{\lambda} = \pi I_{\lambda e+r}$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



4. Recepción de la radiación.

reflectancia y transmitancia



ABSORTANCIA : $\alpha = \frac{\text{Radiación absorbida}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{\text{abs}}}{G}, \quad 0 \leq \alpha \leq 1$

REFLECTANCIA : $\rho = \frac{\text{Radiación reflejada}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{\text{ref}}}{G}, \quad 0 \leq \rho \leq 1$

TRANSMITANCIA : $\tau = \frac{\text{Radiación transmitida}}{\text{Radiación incidente}} = \frac{G_{\text{tr}}}{G}, \quad 0 \leq \tau \leq 1$

Conservación de la energía: $G_{\text{abs}} + G_{\text{ref}} + G_{\text{tr}} = G \Rightarrow \alpha + \rho + \tau = 1 \rightarrow$ prop. hemisféricas totales

especulares: $\tau = 0; \alpha + \rho = 1$

Características direccionales: $\alpha_{\lambda\theta}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{I_{\lambda, \text{abs}}(\lambda, \theta, \phi)}{I_{\lambda, i}(\lambda, \theta, \phi)}$ y $\rho_{\lambda\theta}(\lambda, \theta, \phi) = \frac{I_{\lambda, \text{ref}}(\lambda, \theta, \phi)}{I_{\lambda, i}(\lambda, \theta, \phi)}$

Reflectancia y transmitancia (s. semitransparentes) hemisférica

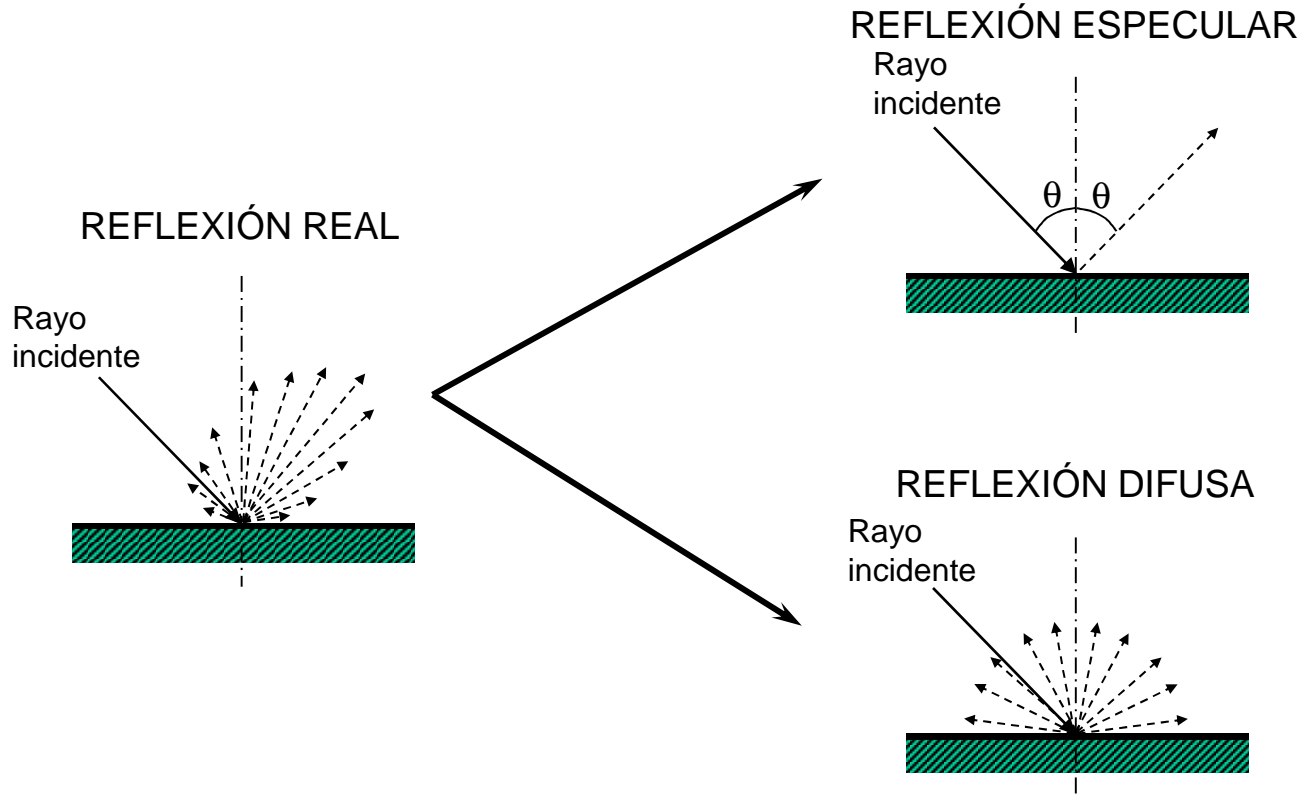
Características: $\alpha_{\lambda}(\lambda) = \frac{G_{\lambda, \text{abs}}(\lambda)}{G_{\lambda}(\lambda)}$ $\rho_{\lambda}(\lambda) = \frac{G_{\lambda, \text{ref}}(\lambda)}{G_{\lambda}(\lambda)}$ $\tau_{\lambda}(\lambda) = \frac{G_{\lambda, \text{tr}}(\lambda)}{G_{\lambda}(\lambda)}$

Características hemisféricas totales: $\alpha = \frac{\int_0^{\infty} \alpha_{\lambda} G_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} G_{\lambda} d\lambda}, \quad \rho = \frac{\int_0^{\infty} \rho_{\lambda} G_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} G_{\lambda} d\lambda}, \quad \tau = \frac{\int_0^{\infty} \tau_{\lambda} G_{\lambda} d\lambda}{\int_0^{\infty} G_{\lambda} d\lambda}$

Cartagena99
 CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

4. Recepción de la radiación.

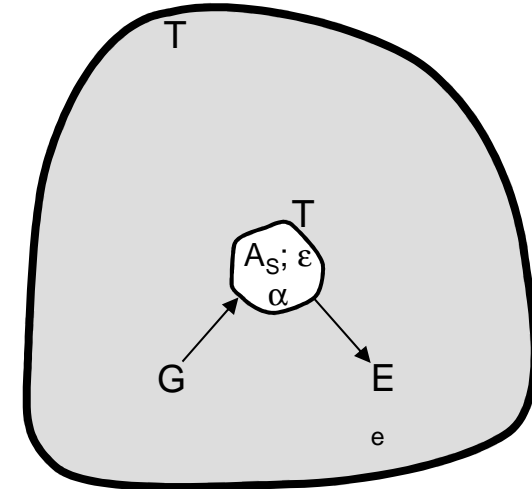
Reflexión



Superficies lisas: reflexión especular (tamaño de las irregularidades superficiales menor que λ de la radiación incidente).
Superficies rugosas: reflexión difusa

5. Ley de Kirchhoff. Superficies grises.

una superficie negra cerrada con un cuerpo en su superficie es muy pequeña comparada la exterior. y el cuerpo pequeño se encuentran en equilibrio



ande se comporta como un cuerpo negro.

por cuerpo negro: $E_N(T) = \sigma T^4$

a por unidad de área del cuerpo pequeño: $G = \alpha G$

por cuerpo pequeño: $E_e(T) = \varepsilon \sigma T^4$

energía en el cuerpo pequeño:

$$\varepsilon \sigma T^4 = \alpha \sigma T^4 \Rightarrow \alpha = \varepsilon$$

hoffs: la emisividad hemiesférica total de una superficie a la temperatura T es la absorptancia hemiesférica total para la radiación que proviene de un cuerpo negro a la misma temperatura.

radiación que recibe es difusa

el cuerpo está en equilibrio térmico con la superficie en cuestión

la radiación es difusa pero $T_1 \neq T_2$: $\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$

ninguna de las dos condiciones anteriores: $\varepsilon_{\lambda\omega} = \alpha_{\lambda\omega}$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

5. Ley de Kirchhoff. Superficies grises.

Definimos SUPERFICIES GRISES a aquellas en las que ϵ_λ y α_λ son independientes de λ .

Por tanto: $\epsilon = \epsilon_\lambda$ y $\alpha = \alpha_\lambda$

Si la radiación es difusa: $\epsilon_\lambda = \alpha_\lambda \therefore \epsilon = \alpha$

Esto se cumple sin necesidad de que esté en equilibrio térmico con la superficie radiante.

La ley de superficie gris es aplicable a numerosos materiales, sobre todo si su temperatura es inferior a 2000 K.

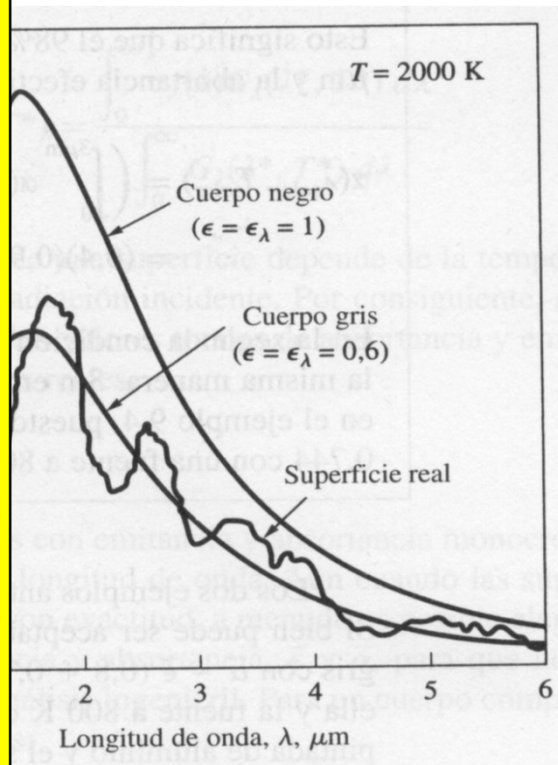
Superficies grises difusas o superficies cuasi-grises sólo se comportan como superficies grises en un determinado intervalo de λ .

6. Propiedades radiantes de las superficies reales.

- ϵ, α, τ y ρ .
 - Sólidos opacos: $\tau=0$ $\alpha + \rho = 1$ \rightarrow $\rho = 1 - \alpha$
 - Superficies grises: $\epsilon = \alpha$

reales: emisividad variable con λ

de emisividad hemiesférica monocromática de una superficie negra, gris y real



Discrepancias importantes entre E_{gris} y E_{real} para $\lambda < 1,5 \mu\text{m}$
 $T < 2000 \text{ K} \rightarrow$ emisión por encima de $1,5 \mu\text{m}$ errores bajos
 $T > 2000 \text{ K} \rightarrow$ Emisividad de superficies reales menor

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

6. Propiedades radiantes de las superficies reales.

Propiedades hemiesféricas para distintas superficies en función de la temperatura

Longitud de onda promedio y temperaturas	Longitud de onda promedio y temperaturas				0,6 μm Solar ~6000 K
	9,3 μm 310 K	5,4 μm 530 K	3,6 μm 800 K	1,8 μm 1700 K	
Asfalto	~0,04	0,05	0,08	~0,19	~0,3
Ladrillo rojo	0,11	~0,12	0,18		
arcilla refractaria	0,4	0,32	0,27		
silíce	0,22				
magnesita refractaria	0,94	0,42	0,60	0,34	
Esmalte, blanco	0,10	0,10			
Mármol, blanco	0,61				
Papel, blanco	~0,08	~0,17	0,26	~0,40	0,49
Yeso	0,04	0,05	~0,18	~0,17	
Cubierta para techo	0,87	0,83	0,77		
Acero esmaltado, blanco	0,06	0,08	0,13	0,25	0,45
Cemento de asbesto, rojo	0,63	0,66	0,76		
Pinturas	0,23			0,42	0,66
Laca aluminizada	0,28			0,90	0,89
Pinturas crema	0,94	0,97	0,98		
Laca, negra	0,96				0,74
Pintura de humo negro	0,07	0,13	0,18	0,3-0,4	0,30
Pintura roja	0,01	0,02	0,03	0,24	~0,2 ^b
Pintura amarilla	0,15	0,18	0,22	~0,09	~0,15
Pinturas de aceite (todos los colores)	0,85	0,85	0,85		
Blanco (ZnO)	0,03			~0,18	0,35 ^c
Varios	0,02	0,03	0,04		0,46
Hielo	~0,25				
Agua					
Carbón					
T carbón 0,9% de ceniza					
filamento					
Madera					
Vidrio					

Materiales para construcción y aislantes	0,93	0,93	0,9	0,93
Papel de asbesto	0,93			0,93
Ladrillo rojo	0,93			0,7
arcilla refractaria	0,9	~0,7	~0,75	
silíce	0,9	~0,75	0,84	
magnesita refractaria	0,9		~0,4	
Esmalte, blanco	0,9			
Mármol, blanco	0,95	0,93		0,47
Papel, blanco	0,95	0,82	0,25	0,28
Yeso	0,91			
Cubierta para techo	0,93			
Acero esmaltado, blanco			0,65	0,47
Cemento de asbesto, rojo			0,67	0,66
Pinturas				
Laca aluminizada	0,65	0,65		
Pinturas crema	0,95	0,88	0,70	0,42
Laca, negra	0,96	0,98		0,35
Pintura de humo negro	0,96	0,97		0,97
Pintura roja	0,96			0,74
Pintura amarilla	0,95		0,5	0,30
Pinturas de aceite (todos los colores)	~0,94	~0,9		
Blanco (ZnO)	0,95		0,91	0,18
Varios				
Hielo	~0,97 ^d			
Agua	~0,96			
Carbón				
T carbón 0,9% de ceniza	0,82	0,80	0,79	
filamento	~0,72			0,53
Madera	~0,93			
Vidrio	0,90			

^a Como la emitancia a una longitud de onda dada es igual a la absorptancia a dicha longitud de onda, los valores en esta tabla pueden utilizarse para representar, de manera aproximada, la absorptancia de radiación emanada de una fuente a la temperatura lista. Por ejemplo, el aluminio pulido absorberá el 30% de radiación solar incidente.

^b A 3.000 K

^c A 3.600 K

^d A 273 °K

(conclusión)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



Radiación entre superficies. Factor de visión.

$Q = f(T, \text{propiedades superficiales, forma y orientación})$

total, por unidad de A , emitida desde un cuerpo opaco (A_1, ϵ_1, T_1) $q = \frac{Q}{A_1} = \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_1^4$

temperaturas elevadas, el objetivo es obtener un flujo controlado de intercambio neto de calor entre una o más fuentes, y uno o más sumideros.

ejemplo: dos **superficies negras, planas, infinitas y paralelas** → la energía emitida por cada una es interceptada por la otra. La energía emitida se calcula mediante la ley de Stephan-Boltzmann: $\sigma \cdot T^4$. Suponiendo $T_1 > T_2$ → **caudal neto de calor**

resultado será:

$$\left(\begin{array}{l} \text{Radiación que sale de} \\ \text{superficie 1 e incide en} \\ \text{superficie 2} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Radiación que sale de} \\ \text{la superficie 2 e incide en} \\ \text{la superficie 1} \end{array} \right) \rightarrow q_{1 \rightarrow 2} = \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

→ caudal de calor neto desde la superficie 1

→ caudal de calor neto hacia la superficie 1

depende de las propiedades de las superficies u orientación → no toda la radiación es interceptada por las superficies

¿Qué fracción de radiación difusa que sales de una superficie es interceptada por la otra?

FACTOR DE VISIÓN

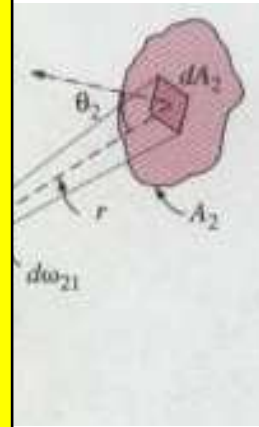
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Radiación entre superficies. Factor de visión.

VISIÓN, o Factor de Forma (F_{ij}): fracción de radiación difusa que sale de A_i y llega a la superficie A_j

Calor neto de calor transferido: $Q_{12} = \sigma \cdot A \cdot F_{12} \cdot (T_1^4 - T_2^4)$

$F_{ij} \rightarrow$ a partir de I y J.



Cantidad de radiación emitida por dA_1 e interceptada por dA_2 :

$$Q_{dA_1, dA_2} = I_1 \cos \theta_1 dA_1 d\omega_{21} = I_1 \cos \theta_1 dA_1 \frac{dA_2 \cos \theta_2}{r^2}$$

Radiosidad \Rightarrow energía radiante emitida y reflejada por la superficie :

$$Q_{dA_1} = J_1 dA_1 = \pi I_1 dA_1$$

$$\text{Factor diferencial de visión: } dF_{dA_1, dA_2} = \frac{Q_{dA_1, dA_2}}{Q_{dA_1}} = \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} dA_2$$

$$\text{Radiación emitida por } dA_1 \text{ e interceptada por } A_2 \Rightarrow F_{dA_1, A_2} = \int_{A_2} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} dA_2$$

$$\left. \begin{aligned} \text{emitido por } A_1 &\Rightarrow Q_{A_1} = J_1 A_1 = \pi I_1 A_1 \\ \text{emitido por } A_1 \text{ e interceptado por } dA_2 &: \\ &= \int_{A_1} \frac{I_1 \cos \theta_1 \cos \theta_2 dA_2}{r^2} dA_1 \\ \text{emitido por } A_1 \text{ e interceptado por } A_2 &: \\ &= \iint_{A_2, A_1} \frac{I_1 \cos \theta_1 \cos \theta_2 dA_2}{r^2} dA_1 dA_2 \end{aligned} \right\}$$

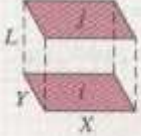
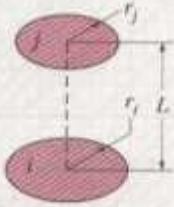
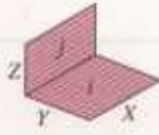
Dividiendo por la radiación que abandona A_1 :

$$F_{12} = F_{A_1, A_2} = \frac{Q_{A_1, A_2}}{Q_{A_1}} = \frac{1}{A_1} \iint_{A_2, A_1} \frac{\cos \theta_1 \cos \theta_2}{\pi r^2} dA_1 dA_2$$

Integración ya realizada para numerosas geometrías \rightarrow resultados en forma analítica y gráfica

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Radiación entre superficies. Factor de visión.

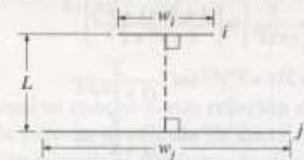
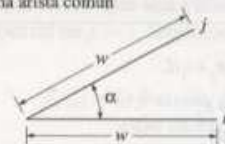
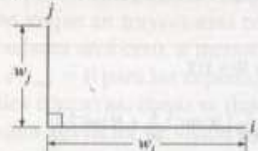
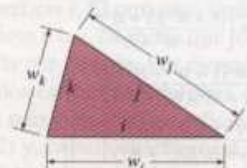
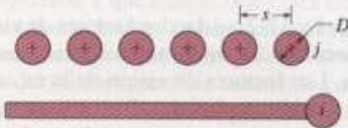
Configuración geométrica	Relación
<p>Rectángulos paralelos alineados</p> 	$\bar{X} = X/L \text{ y } \bar{Y} = Y/L$ $F_{I \rightarrow J} = \frac{2}{\pi \bar{X} \bar{Y}} \left\{ \ln \left[\frac{(1 + \bar{X}^2)(1 + \bar{Y}^2)}{1 + \bar{X}^2 + \bar{Y}^2} \right]^{1/2} + \bar{X}(1 + \bar{Y}^2)^{1/2} \tan^{-1} \frac{\bar{X}}{(1 + \bar{Y}^2)^{1/2}} + \bar{Y}(1 + \bar{X}^2)^{1/2} \tan^{-1} \frac{\bar{Y}}{(1 + \bar{X}^2)^{1/2}} - \bar{X} \tan^{-1} \bar{X} - \bar{Y} \tan^{-1} \bar{Y} \right\}$
<p>Discos paralelos coaxiales</p> 	$R_i = r_i/L \text{ y } R_j = r_j/L$ $S = 1 + \frac{1 + R_i^2}{R_j^2}$ $F_{I \rightarrow J} = \frac{1}{2} \left\{ S - \left[S^2 - 4 \left(\frac{r_j}{r_i} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}$
<p>Rectángulos perpendiculares con una arista común</p> 	$H = Z/X \text{ y } W = Y/X$ $F_{I \rightarrow J} = \frac{1}{\pi W} \left(W \tan^{-1} \frac{1}{W} + H \tan^{-1} \frac{1}{H} - (H^2 + W^2)^{1/2} \tan^{-1} \frac{1}{(H^2 + W^2)^{1/2}} + \frac{1}{4} \ln \left[\frac{(1 + W^2)(1 + H^2)}{1 + W^2 + H^2} \right] \times \left[\frac{W^2(1 + W^2 + H^2)}{(1 + W^2)(W^2 + H^2)} \right]^{W^2} \times \left[\frac{H^2(1 + H^2 + W^2)}{(1 + H^2)(H^2 + W^2)} \right]^{H^2} \right)$

Factor de visión para geometrías de tamaño finito

Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Radiación entre superficies. Factor de visión.

Configuración geométrica	Relación
<p>Placas paralelas con sus líneas medias conectadas mediante una recta perpendicular</p> 	$W_i = w_i/L \text{ y } W_j = w_j/L$ $F_{i \rightarrow j} = \frac{[(W_i + W_j)^2 + 4]^{1/2} - (W_i - W_j)^2 + 4)^{1/2}}{2W_i}$
<p>Placas inclinadas de anchos iguales y con una arista común</p> 	$F_{i \rightarrow j} = 1 - \sin \frac{1}{2} \alpha$
<p>Placas perpendiculares con una arista común</p> 	$F_{i \rightarrow j} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{w_j}{w_i} - \left[1 + \left(\frac{w_j}{w_i} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}$
<p>Recinto cerrado de tres lados</p> 	$F_{i \rightarrow j} = \frac{w_i + w_j - w_k}{2w_i}$
<p>Plano infinito y fila de cilindros</p> 	$F_{i \rightarrow j} = 1 - \left[1 - \left(\frac{D}{s} \right)^2 \right]^{1/2} + \frac{D}{s} \tan^{-1} \left(\frac{s^2 - D^2}{D^2} \right)^{1/2}$

Factor de visión para geometrías de tamaño infinito



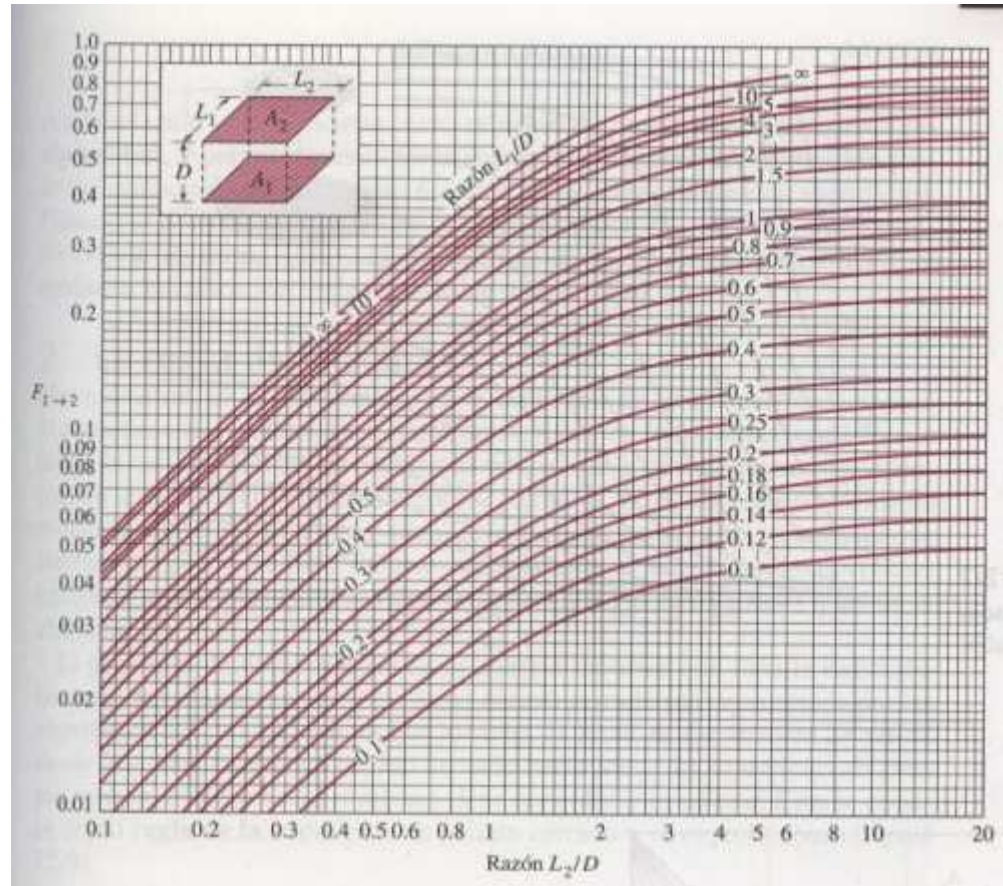
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

Radiación entre superficies. Factor de visión.

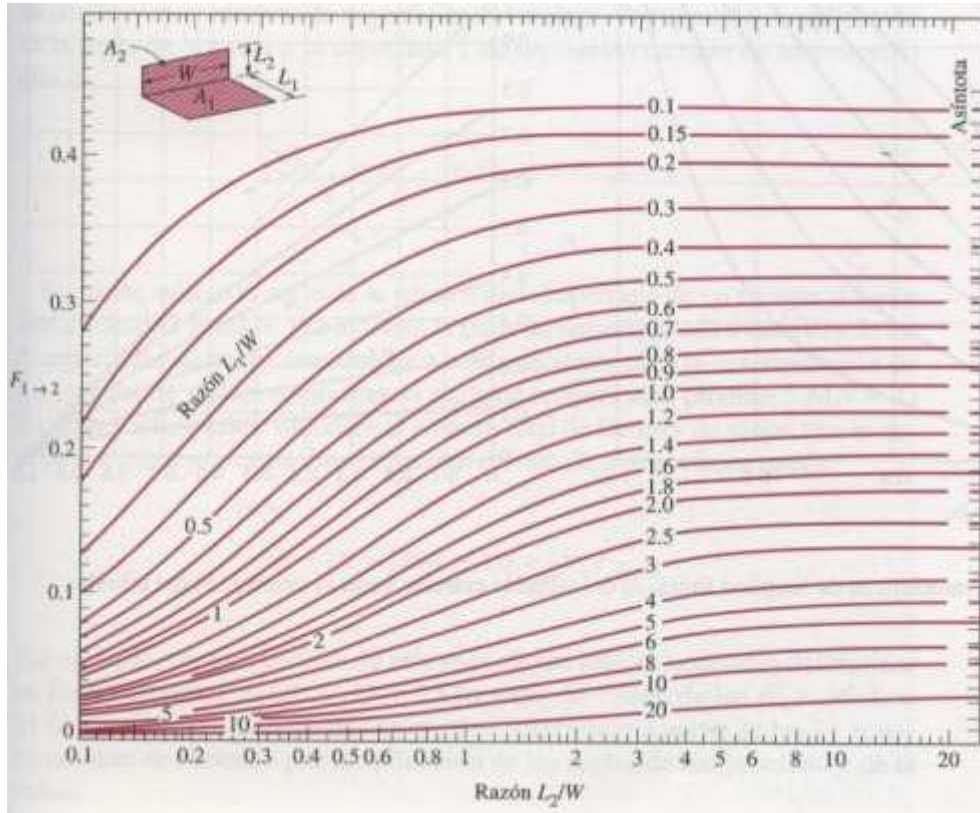
Factor de visión entre dos rectángulos paralelos de igual tamaño



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Radiación entre superficies. Factor de visión.

Factor de visión entre dos rectángulos perpendiculares con una arista común

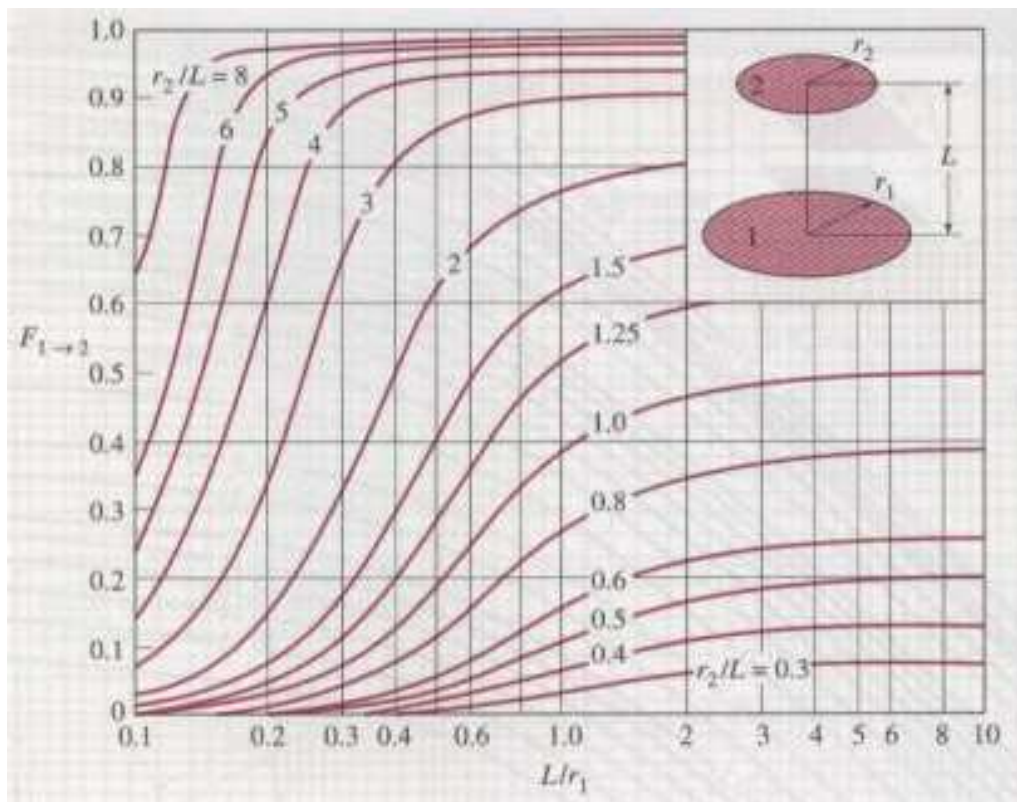


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Radiación entre superficies. Factor de visión.

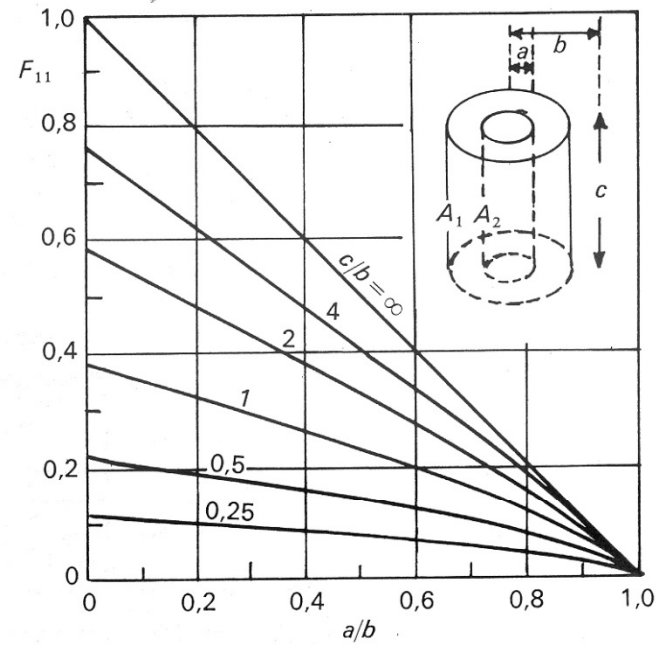
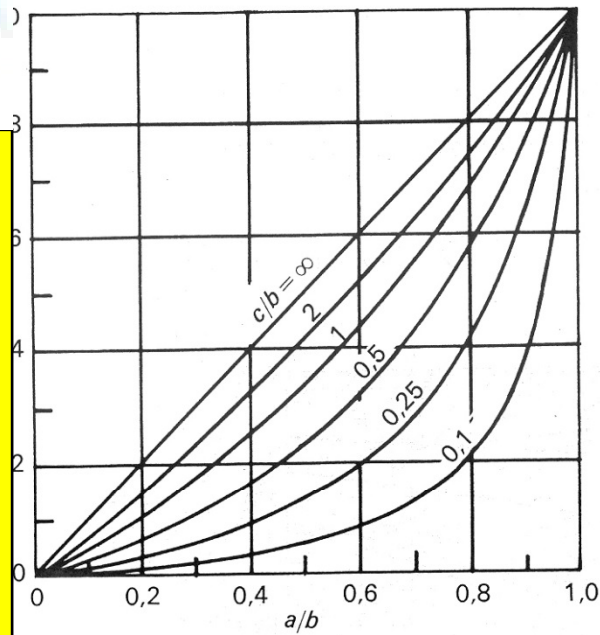
Factor de visión entre dos discos paralelos coaxiales



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Radiación entre superficies. Factor de visión.

Factor de visión entre dos cilindros coaxiales de igual longitud



$$X = b/a ; Y = c/a ; A = Y^2 + X^2 - 1 ; B = Y^2 - X^2 + 1$$

$$F_{12} = \frac{1}{X} - \frac{1}{\pi X} \left\{ \cos^{-1} \frac{B}{A} - \frac{1}{2Y} \left[\sqrt{(A+2)^2 - (2X)^2} \cos^{-1} \frac{B}{XA} + B \operatorname{sen}^{-1} \frac{1}{X} - \frac{\pi A}{2} \right] \right\}$$

$$F_{11} = 1 - \frac{1}{X} + \frac{2}{\pi X} \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{2\sqrt{X^2 - 1}}{Y} \right) - \frac{Y}{2\pi X} \left\{ \sqrt{4X^2 + Y^2} \operatorname{sen}^{-1} \left[\frac{4(X^2 - 1) + (Y^2/X^2)(X^2 - 2)}{Y^2 + 4(X^2 - 1)} \right] - \operatorname{sen}^{-1} \left(\frac{X^2 - 2}{X^2} \right) + \frac{\pi}{2} \left(\frac{\sqrt{4X^2 + Y^2}}{Y} - 1 \right) \right\}$$

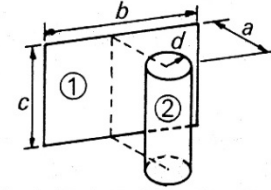
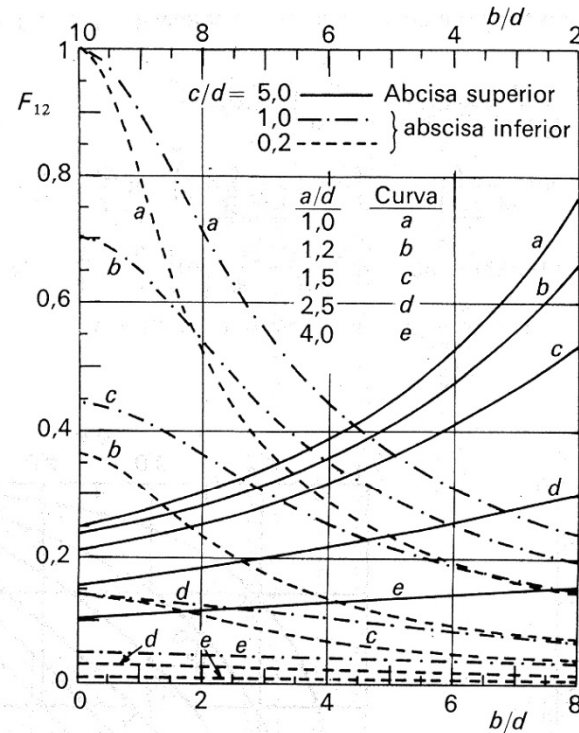
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Radiación entre superficies. Factor de visión.

Factor de visión entre un plano y un cilindro vertical de eje paralelo al mismo



$$X = a/d ; Y = b/d ; Z = c/d ; A = Z^2 + X^2 + \xi^2 - 1 ; B = Z^2 - X^2 - \xi^2 + 1$$

$$F_{12} = \frac{2}{Y} \int_0^{Y/2} f(\xi) d\xi$$

siendo
$$F(\xi) = \frac{X}{X^2 + \xi^2} - \frac{X}{\pi(X^2 + \xi^2)} \left\{ \cos^{-1} \frac{B}{A} - \frac{1}{2Z} \left[\sqrt{A^2 + 4Z^2} \cos^{-1} \left(\frac{B}{A\sqrt{X^2 + \xi^2}} \right) + B \sin^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{X^2 + \xi^2}} \right) - \frac{\pi A}{2} \right] \right\}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

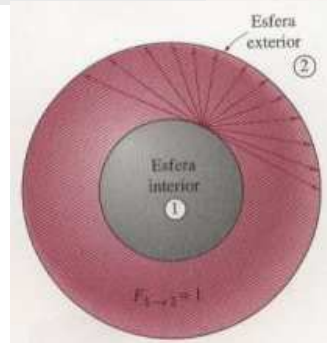
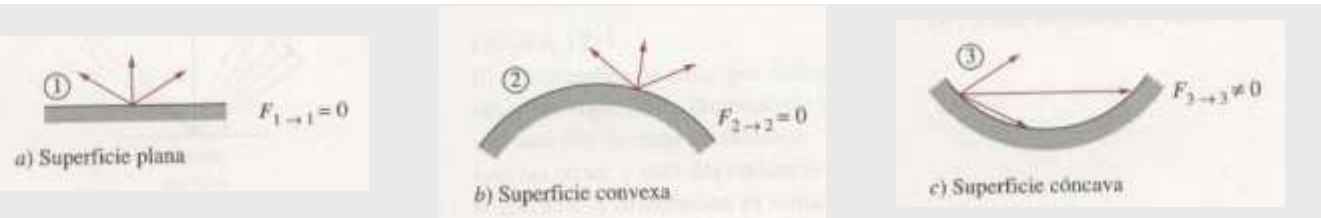
Radiación entre superficies. Factor de visión.

DEFINICIONES DEL FACTOR DE VISIÓN

de reciprocidad. Dependiendo de la superficie que se considere para el cálculo de calor intercambiado:

$$\left. \begin{aligned} \text{para } A_1: Q_{12} &= \sigma A_1 F_{12} (T_1^4 - T_2^4) \\ \text{para } A_2: Q_{21} &= \sigma A_2 F_{21} (T_1^4 - T_2^4) \end{aligned} \right\} A_1 F_{12} = A_2 F_{21}$$

de no visibilidad. Si una superficie no puede verse a si misma, como es el caso de una superficie plana o convexa, el factor de visión con respecto a ella misma será 0



$$\begin{aligned} F_{12} &= 1 \\ F_{11} &= 0 \\ F_{22} &\neq 0 \\ F_{21} &= \frac{A_1}{A_2} \end{aligned}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Radiación entre superficies. Factor de visión.

PROPIEDADES DEL FACTOR DE VISIÓN

Principio de conservación. Sistemas cerrados (muy habitual en casos prácticos): si la superficie A_1 sólo ve a la A_2 el factor de visión es 1, mientras que si A_1 ve a otras superficies la radiación que abandona la superficie A_1 es la suma de los flujos de radiación hacia todas las superficies del sistema ($F_{11}+F_{12}+F_{13}+F_{14}+ \dots =1$) => 1^{er} Ppio. de la conservación.

$$\sum_{j=1}^N F_{ij} = 1$$

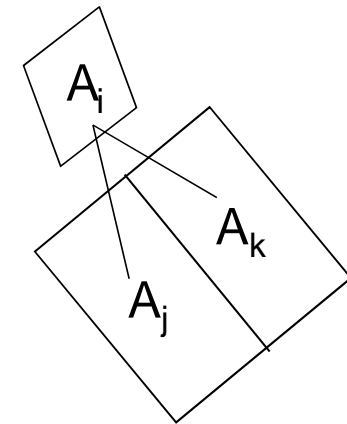
Principio de aditividad: el factor de visión de una superficie i hacia una superficie jk es igual a la suma de los factores de visión desde la superficie i hacia las partes de la superficie jk . Útil en casos en que no se cuenta con el factor de visión para una geometría dada. Ej.

Sin embargo $F_{(jk)i} \neq F_{ji} + F_{ki}$

$F_{(jk)i}$:

$F_{ij} + A_i F_{ik}$. Aplicando el principio de reciprocidad:

$$A_j F_{ji} + A_k F_{ki} = A_j F_{ji} + A_k F_{ki} \quad F_{(kj)i} = \frac{A_j F_{ji} + A_k F_{ki}}{A_j + A_k}$$

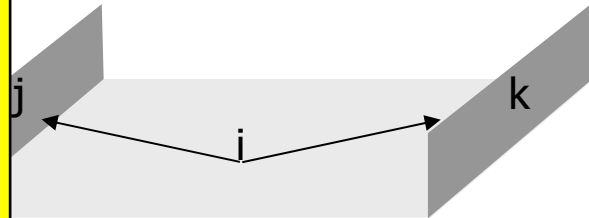


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

7. Radiación entre superficies. Factor de visión.

CASOS DEL FACTOR DE VISIÓN

de simetría: dos (o más) superficies que poseen simetría con una tercera, tendrán factores de visión idénticos desde esa superficie. Si las superficies j y k son simétricas con respecto a la superficie i entonces



$$F_{ij} = F_{ik} \quad (\text{Se puede demostrar: } F_{ji} = F_{ki})$$

8. Intercambio de radiación térmica por medios no absorbentes ni emisores.

Temas cerrados de superficies negras

un sistema con 2 superficies negras con áreas y temperaturas constantes, cuenta la ley de Stefan-Boltzmann, los factores de visión y sus principios, el flujo de calor por radiación netos de cualquiera de las superficies ...

$$Q_{1 \rightarrow 2} = \left(\begin{array}{l} \text{Radiación que sale de} \\ \text{la superficie 1 e incide en} \\ \text{la superficie 2} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Radiación que sale de} \\ \text{la superficie 2 e incide en} \\ \text{la superficie 1} \end{array} \right)$$

$$Q_{12} = A_1 E_{N1} F_{12} - A_2 E_{N2} F_{21} = A_1 \sigma T_1^4 F_{12} - A_2 \sigma T_2^4 F_{21}$$

Principio de reciprocidad: $A_1 F_{12} = A_2 F_{21}$

$$Q_{12} = A_1 F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

Para un recinto cerrado con N superficies negras

$$Q_i = \sum_{j=1}^N Q_{ij} = \sum_{j=1}^N A_i F_{ij} \sigma (T_i^4 - T_j^4)$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

8. Intercambio de radiación térmica por medios no absorbentes ni emisores.

mas formados por superficies grises y difusas

...
 ... superficies opacas (no hay transmisión), difusas y grises (ϵ y α indept. de λ y ω)
 ... superficies isotermas

... superficie gris opaca: $\epsilon_i = \alpha_i$ y $\alpha_i + \rho_i = 1$

... que se puede expresar como:

$$\left(\text{Radiación emitida por la superficie } i \right) + \left(\text{Radiación reflejada por la superficie } i \right) = \epsilon_i E_{Ni} + \rho_i G_i = \epsilon_i E_{Ni} + (1 - \epsilon_i) G_i$$

Flujo neta de calor por radiación hacia o desde una superficie

... flujo de calor transferido desde una superficie i:

$$Q_i = \left(\text{Radiación que sale de la superficie } i \right) - \left(\text{Radiación que incide sobre la superficie } i \right) = A_i (J_i - G_i)$$

$$Q_i = A_i \left(J_i - \frac{J_i - \epsilon_i E_{Ni}}{1 - \epsilon_i} \right) = \frac{A_i \epsilon_i}{1 - \epsilon_i} (E_{Ni} - J_i)$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

8. Intercambio de radiación térmica por medios no absorbentes ni emisores

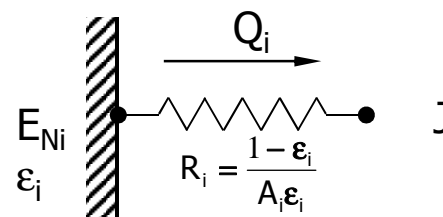
mas formados por superficies grises y difusas

con la ley de Ohm:

$$= \frac{(E_{Ni} - J_i)}{1 - \epsilon_i} = \frac{(E_{Ni} - J_i)}{R_i}$$

emisión CN-rad. abandona i

Resistencia superficial



- 0 → transf. de Q desde la superficie
- 0 → transf. de Q hacia la superficie

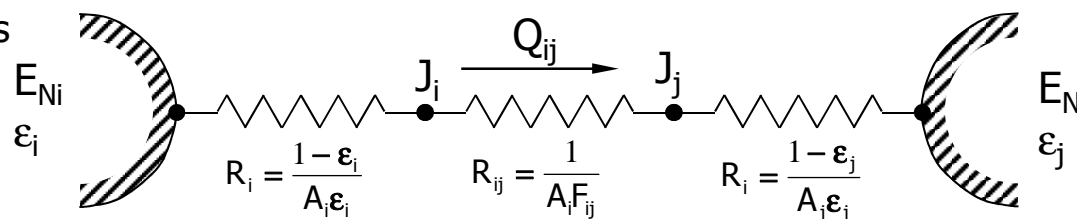
para $(E_{Ni} = J_i) \rightarrow Q_i = A_i (J_i - G_i)$

Superficies irradianes: superficies adiabáticas que re-emiten-reflejan toda la radiación incidente

$$R_i = 0$$

Intercambio de calor por radiación entre dos superficies

superficies grises y opacas



de calor transferido desde la superficie i a la superficie j:

$$Q_{i \rightarrow j} = \left(\begin{array}{l} \text{Radiación que sale de} \\ \text{la superficie i e incide} \\ \text{en la superficie j} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Radiación que sale de} \\ \text{la superficie j e incide} \\ \text{en la superficie i} \end{array} \right) = A_i J_i F_{ij} - A_j J_j F_{ji}$$

8. Intercambio de radiación térmica por medios no absorbentes ni emisores

mas formados por superficies grises y difusas

reciprocidad: $A_i F_{ij} = A_j F_{ji}$ \longrightarrow $Q_{ij} = A_i F_{ij} (J_i - J_j)$ \longrightarrow $Q_{ij} = \frac{J_i - J_j}{\frac{1}{A_i F_{ij}}} = \frac{J_i - J_j}{R_{ij}}$

encia en el espacio a la radiación

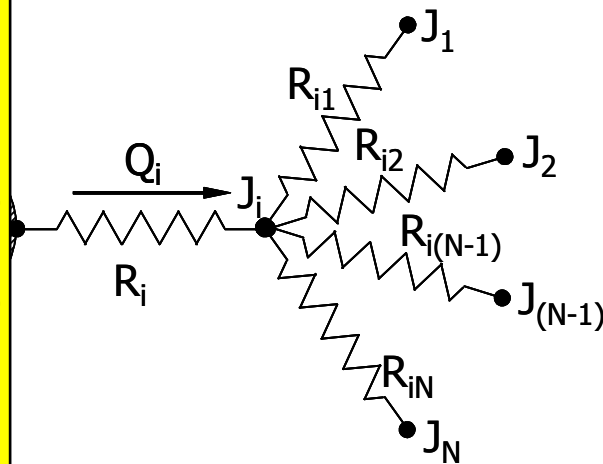
- \rightarrow transf. de Q desde la superficie i a la j
- \rightarrow transf. de Q desde la superficie j a la i

o cerrado con N superficies \rightarrow Primer Ppio. Termod: transf. neta de Q desde la superf. i
 la suma de las transf. netas de Q desde la superf. i hacia las N superf.

$$Q_{ij} = \sum_{j=1}^N A_i F_{ij} (J_i - J_j) = \sum_{j=1}^N \frac{(J_i - J_j)}{R_{ij}} = Q_i \text{ que abandona la superficie}$$

$$Q_i = \frac{E_{Ni} - J_i}{R_i} = \sum_{j=1}^N \frac{J_i - J_j}{R_{ij}}$$

el flujo neto de radiación desde una superficie (a través de su resistencia superficial) es igual a la suma de los flujos de radiación desde esa superficie hacia todas las demás (a través de las resistencias correspondientes del espacio)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

8. Intercambio de radiación térmica por medios no absorbentes ni emisores

mas formados por superficies grises y difusas
resolución de problemas de radiación

Incógnitas: T o flujo de radiación de las superficies que integran un sistema con N

Formulación matricial o directa

Para cada superficie se reordenan de diferente manera en función de la incógnita conocida:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^N \frac{J_i - J_j}{R_{ij}} &\rightarrow Q_i = A_i \sum_{j=1}^N F_{ij} (J_i - J_j) \\ \sigma T_i^4 = J_i + \frac{1 - \epsilon_i}{\epsilon_i} \sum_{j=1}^N F_{ij} (J_i - J_j) \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} N \text{ ecuaciones con } N \text{ incógnitas} \\ \downarrow \\ \text{MÉTODOS DE ÁLGEBRA LINEAL} \end{array}$$

Resistencia térmica

Tratar sistema como una red de resistencias eléctricas

{	Resistencias de superficie	}	Resolución como un circuito eléctrico
	Resistencias en el espacio		

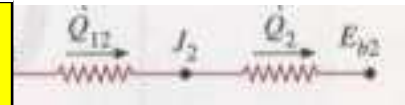
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

8. Intercambio de radiación térmica por medios no absorbentes ni emisores

Flujo de calor por radiación en recintos cerrados de dos superficies

do:

superficies grises y opacas a T_1 y T_2



$$Q_1 = Q_{12}$$

$$Q_{12} = Q_2$$

$$J_1 - J_2 = - \frac{E_{N2} - J_2}{R_{12}}$$

$$\frac{E_{N1} - E_{N2}}{R_{12} + R_2} = Q_1 = Q_2$$



$$Q_1 = Q_2 = \frac{E_{N1} - E_{N2}}{\frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1 - \epsilon_2}{A_2 \epsilon_2}}$$

Objeto pequeño en una cavidad grande

$$\frac{A_1}{A_2} = 0$$

$$F_{12} = 1$$

$$\dot{Q}_{12} = A_1 \sigma \epsilon_1 (T_1^4 - T_2^4)$$

Placas paralelas infinitamente grandes

$$A_1 = A_2 = A$$

$$F_{12} = 1$$

$$\dot{Q}_{12} = \frac{A \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

Cilindros concéntricos infinitamente largos

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{r_1}{r_2}$$

$$F_{12} = 1$$

$$\dot{Q}_{12} = \frac{A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2} \left(\frac{r_1}{r_2}\right)}$$

Esferas concéntricas

$$\frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

$$F_{12} = 1$$

$$\dot{Q}_{12} = \frac{A_1 \sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2} \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2}$$

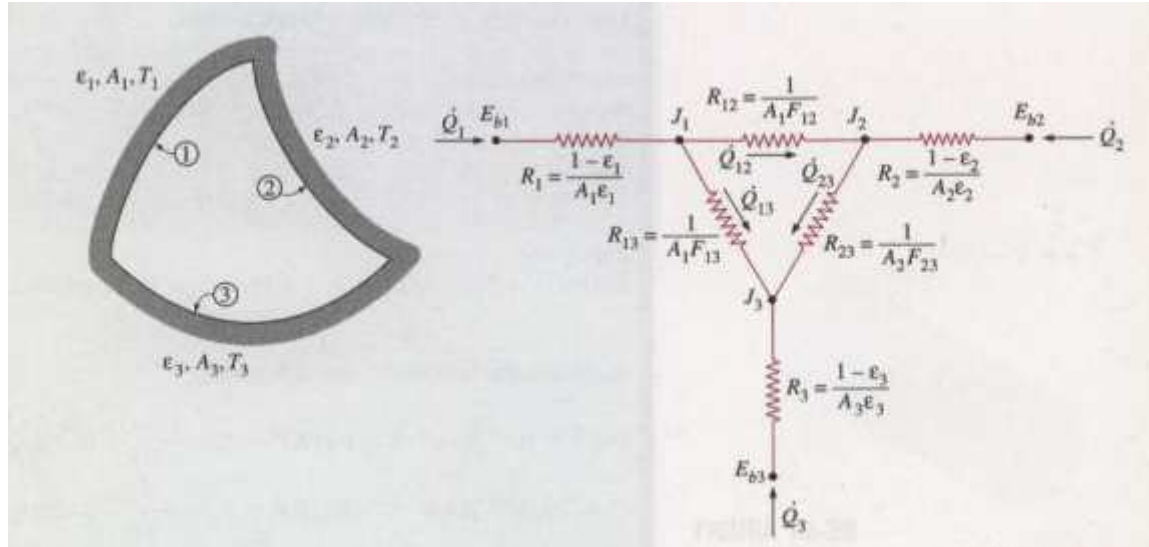
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



8. Intercambio de radiación térmica por medios no absorbentes ni emisores

Flujo de calor por radiación en recintos cerrados de tres superficies



$$\begin{aligned} \sum Q_1 - Q_{12} - Q_{13} &= 0 \\ \sum Q_2 + Q_{12} - Q_{23} &= 0 \\ \sum Q_3 - Q_{13} - Q_{23} &= 0 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \frac{E_{N1} - J_1}{R_1} + \frac{J_2 - J_1}{R_{12}} + \frac{J_3 - J_1}{R_{13}} &= 0 \\ \frac{J_1 - J_2}{R_{12}} + \frac{E_{N2} - J_2}{R_2} + \frac{J_3 - J_2}{R_{23}} &= 0 \\ \frac{J_1 - J_3}{R_{13}} + \frac{J_2 - J_3}{R_{23}} + \frac{E_{N3} - J_3}{R_3} &= 0 \end{aligned}$$

$$J_i = \epsilon_i E_{Ni} + (1 - \epsilon_i) G_i$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

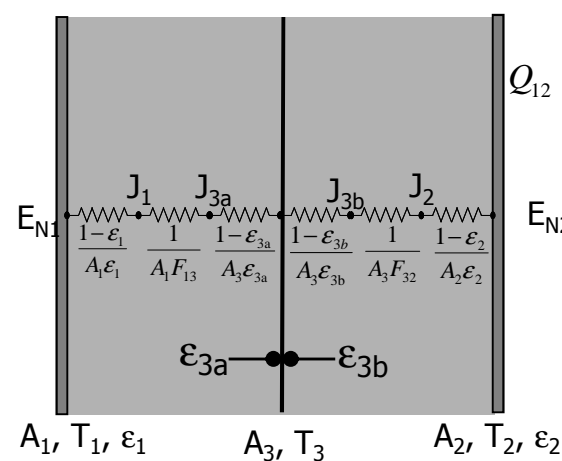
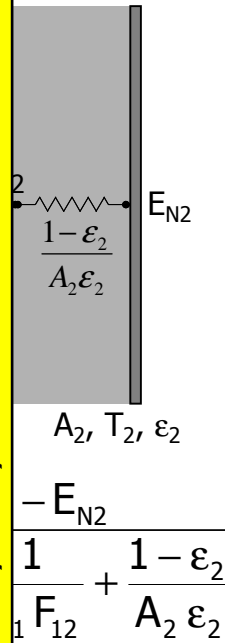
8. Intercambio de radiación térmica por medios no absorbentes ni emisores

Placas de radiación

Placas de baja emisividad (y alta reflectancia) que se usan para reducir la transferencia de calor entre dos superficies (Ej. capa de lámina de Al que recubre equipos a

de calor entre dos superficies paralelas:

TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN CON CUBIERTA DE RADIACIÓN



$$Q_{12} = \frac{E_{N1} - E_{N2}}{\frac{1 - \epsilon_1}{A_1 \epsilon_1} + \frac{1}{A_1 F_{13}} + \frac{1 - \epsilon_{3a}}{A_3 \epsilon_{3a}} + \frac{1 - \epsilon_{3b}}{A_3 \epsilon_{3b}} + \frac{1}{A_3 F_{32}} + \frac{1 - \epsilon_2}{A_2 \epsilon_2}}$$

Placas planas paralelas infinitas:

$$A_1 = A_2 = A_3 = A$$

$$F_{13} = F_{23} = 1$$

$$Q_{12} = \frac{A\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1\right) + \left(\frac{1}{\epsilon_{3a}} + \frac{1}{\epsilon_{3b}} - 1\right)}$$

Para N blindajes $\epsilon = \text{en todas las superficies}$

$$Q_{12, N \text{ cubiertas}} = \frac{A\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{N + 1 \left(\frac{1}{\epsilon} + \frac{1}{\epsilon} - 1\right)} = \frac{1}{N + 1} Q_{12, \text{ sin cubiertas}}$$

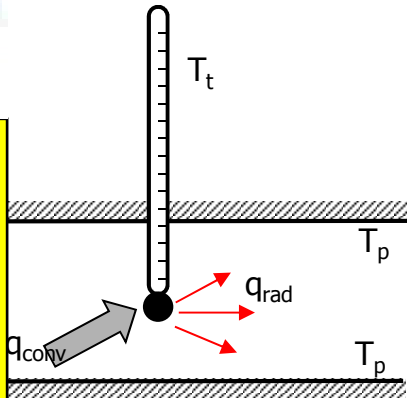
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.



8. Intercambio de radiación térmica por medios no absorbentes ni emisores

o de la radiación en la medida de la temperatura



Transferencia de calor entre el fluido y el termómetro hasta equilibrio térmico → medida de T

Si T de la pared es distinta a la del fluido → transferencia de Q por radiación entre la pared y el termómetro → la T medida no es la del fluido (T intermedia entre el fluido y la pared).

Cálculo de la corrección:

$$q_{conv.} = q_{rad.}$$

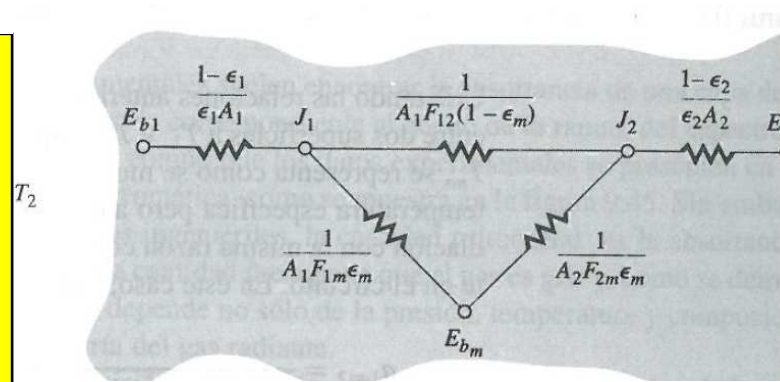
$$h(T_f - T_t) = \epsilon_t \sigma (T_t^4 - T_p^4)$$

$$T_f = T_t + \frac{\epsilon_t \sigma (T_t^4 - T_p^4)}{h} \quad [K]$$

9. Intercambio de radiación por medios absorbentes/emisores

Medios cerrados con medios absorbentes y transmisores

Se trata de dos superficies entre las que se encuentra un gas con comportamiento gris que no participa en la radiación



Por no haber reflexión: $\rho_m = 0 \rightarrow \tau_m = 1 - \alpha_m$
 Aplicando la ley de Kirchoff: $\alpha_m = \epsilon_m \rightarrow \tau_m = 1 - \epsilon_m$

$$\left(\begin{array}{l} \text{Radiación que sale de} \\ \text{superficie 1 e incide en} \\ \text{superficie 2} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Radiación que sale de} \\ \text{la superficie 2 e incide en} \\ \text{la superficie 1} \end{array} \right)$$

$$Q_{12} = A_1 F_{12} J_1 \tau_m - A_2 F_{21} J_2 \tau_m = A_1 F_{12} \tau_m (J_1 - J_2)$$

$$Q_{12} = \frac{J_1 - J_2}{\frac{1}{A_1 F_{12} (1 - \epsilon_m)}}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



9. Intercambio de radiación por medios absorbentes/emisores

Medios cerrados con medios absorbentes y transmisores

Intercambia calor entre las superficies y el gas. Si el gas se encuentra a T_m , su

$$J_m = \epsilon_m E_{bm}$$

Radiación emitida por el gas que llega a 1: $A_m F_{m1} J_m = A_m F_{m1} \epsilon_m E_{bm}$

Radiación emitida por 1 y absorbida por el gas: $A_1 F_{1m} J_1 \alpha_m = A_1 F_{1m} J_1 \epsilon_m$

$$Q_{m \rightarrow 1} = \left(\begin{array}{l} \text{Radiación que sale del gas} \\ \text{e incide en la superficie 1} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \text{Radiación que sale de} \\ \text{la superficie 1 e incide en} \\ \text{el gas} \end{array} \right)$$

$$A_m F_{m1} \epsilon_m E_{bm} - A_1 F_{1m} J_1 \epsilon_m \qquad Q_{m1} = \frac{E_{bm} - J_1}{\frac{1}{A_1 F_{1m} \epsilon_m}} \qquad Q_{m2} = \frac{E_{bm} - J_2}{\frac{1}{A_2 F_{2m} \epsilon_m}}$$

$$Q_{12} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1 - \epsilon_2}{\epsilon_2 A_2} + \frac{1}{A_1 [F_{1-2} \tau_m + 1/(F_{1-m} \epsilon_m + A_1/A_2 F_{2-m} \epsilon_m)]}}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

www.cartagena99.com no se hace responsable de la información contenida en el presente documento en virtud al Artículo 17.1 de la Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y de Comercio Electrónico, de 11 de julio de 2002. Si la información contenida en el documento es ilícita o lesiona bienes o derechos de un tercero háganoslo saber y será retirada.

9. Intercambio de radiación por medios absorbentes/emisores

Medios absorbentes y transmisores

Medios transparentes por especies monoatómicas o apolares → transparentes a la radiación térmica (salvo a T muy altas)
Medios opacos por compuestos polares (CO, CO₂, H₂O, ...) → absorción a T moderadas y absorción y emisión a T altas

Factores adicionales:

Forma y tamaño volumétrico. Debe tenerse en cuenta la forma y tamaño del cuerpo.

Medios que absorben y emiten en bandas → difícil asumir que se comporten como cuerpos grises.

Características de emisión y absorción de una mezcla de gases depende de la T, P y composición de la mezcla.

La absorción de la radiación se complica con la presencia de aerosoles → fenómeno de dispersión (cambio de dirección por reflexión, refracción y difracción).

Participantes: agua, vidrio y plásticos.

LEY DE BEER-VOLUMÉTRICA

k_λ (coeficiente de absorción y espesor del medio)

Para un haz monocromático de intensidad I en un medio, la intensidad se reduce de forma infinitesimal al pasar por un espesor infinitesimal de medio: $dI_\lambda(x) = -k_\lambda I_\lambda(x) dx$

Para todo el medio: $\frac{I_{\lambda,L}}{I_{\lambda,0}} = e^{-k_\lambda L} = \tau_\lambda$ **Ley de Beer**

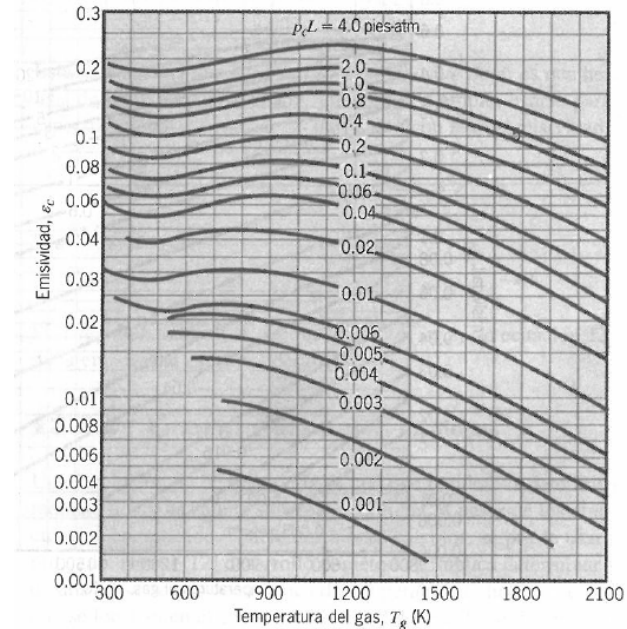
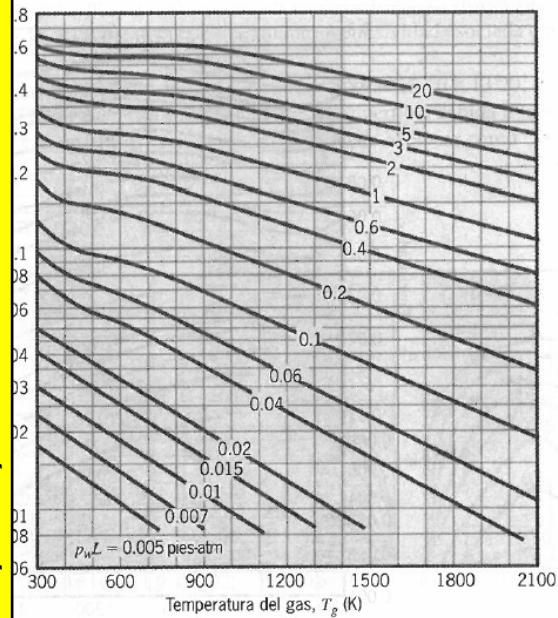
9. Intercambio de radiación por medios absorbentes/emisores

Medios absorbentes y transmisores

ABSORCIÓN GASEOSAS

Factor de Hottel para el cálculo del flujo de radiación emitido por un gas a T_g a una distancia L de dA_1 en el centro de una hemiesfera: $E_g = \epsilon_g \sigma T_g^4$

Factor de Hottel (depende de T_g , P , P_{parcial} y espesor del medio) → gráficas



CO_2

Factor de Hottel para H_2O y CO_2 en una mezcla con gases no radiantes a 1 atm de P total y de forma hemiesférica (Incropera)



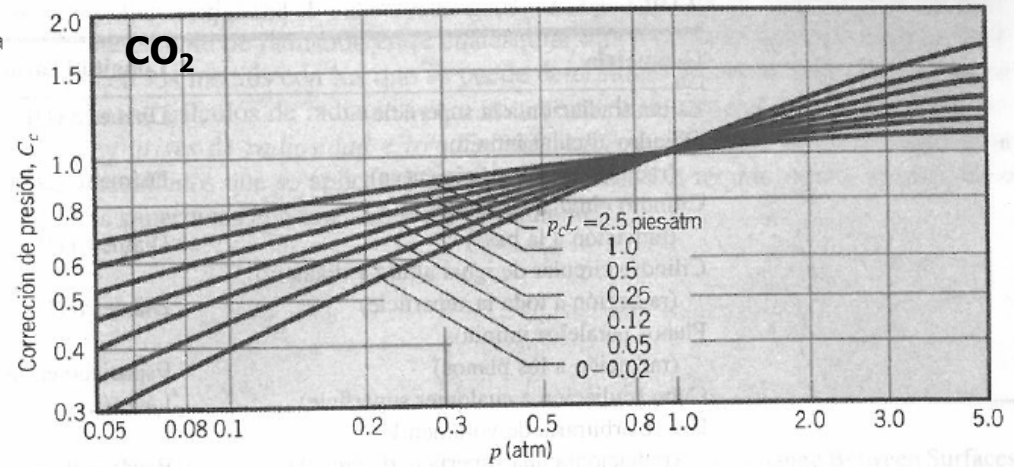
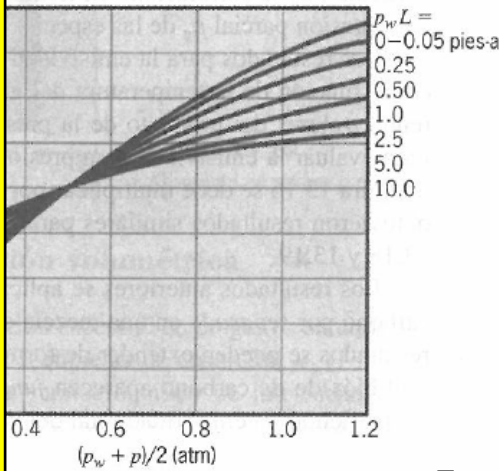
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

9. Intercambio de radiación por medios absorbentes/emisores

os absorbentes y transmisores

ABSORCIÓN GASEOSAS

a otras presiones → multiplicar el valor anterior por factor corrector:



Factores correctores

caso de gases en los que existan simultáneamente H₂O y CO₂: $\epsilon_g = \epsilon_w + \epsilon_c + \Delta\epsilon$



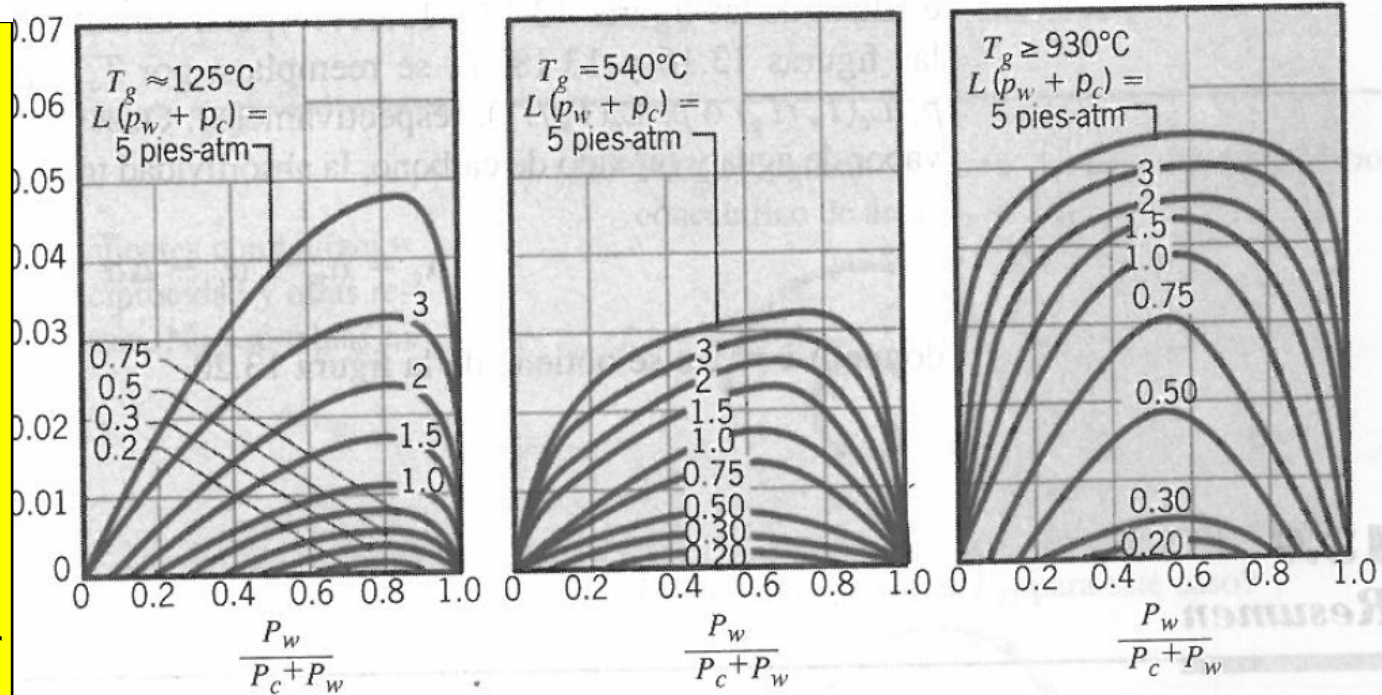
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

9. Intercambio de radiación por medios absorbentes/emisores

os absorbentes y transmisores

ABSORCIÓN GASEOSAS



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



9. Intercambio de radiación por medios absorbentes/emisores

os absorbentes y transmisores

ABSORCIÓN GASEOSAS

ometrías → Longitud media de haz, L_e . Radio de una masa de gas hemiesférica cuya equivalente a la de la geometría de interés.

la dependencia de la emisividad con el tamaño y la forma de la geometría del gas.

Longitudes medias de haz (L_e) para varias geometrías de gas (Incropera)

Geometría	Longitud característica	L_e
Esfera (radiación a la superficie)	Diámetro (D)	$0.65D$
Cilindro circular infinito (radiación a superficie curva)	Diámetro (D)	$0.95D$
Cilindro circular semiinfinito (radiación a la base)	Diámetro (D)	$0.65D$
Cilindro circular de igual altura y diámetro (radiación a toda la superficie)	Diámetro (D)	$0.60D$
Planos paralelos infinitos (radiación a los planos)	Espaciado entre planos (L)	$1.80L$
Cubo (radiación a cualquier superficie)	Lado (L)	$0.66L$
Forma arbitraria de volumen V (radiación a una superficie de área A)	Razón volumen al área (V/A)	$3.6V/A$

10. Transmisión de Calor combinada por Conducción-Convección y Radiación.

total de calor desde un cuerpo caliente hacia sus alrededores con frecuencia pérdidas por conducción-convección y por radiación. P. ej. En las conducciones circula vapor de agua a elevadas temperaturas.

calor total que se pierde por ambos mecanismos será:

$$Q = h_c \cdot A \cdot (T_e - T_g) + h_r \cdot A \cdot (T_e - T_s)$$

- : Superficie de la conducción.
- h_r : Coeficientes individuales medios de T.C. por convección y radiación.
- : Temperatura externa del aislamiento.
- : Temperatura del gas de la nave.
- : Temperatura de las paredes de la nave que atraviesa la conducción.

de que T_g y T_s sean muy próximas: $Q = (h_c + h_r) \cdot A \cdot (T_e - T)$

grafía hay valores experimentales combinados para $(h_c + h_r)$ en función del tamaño de la superficie y de la diferencia de temperaturas $(T_e - T)$, tanto para conducciones únicamente como para las que no lo están.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70