RADIACIÓN ENTRE CUERPOS NEGROS

MENÚ

- Problema
- Objetivos
- Cantidad total de irradiación
- Placas paralelas
- Otras Geometrías
- Placa aislante
- Intercambio radiante entre dos cuerpos negros
- Factor de visión
- Ejemplo
- Cuestionario

PROBLEMA

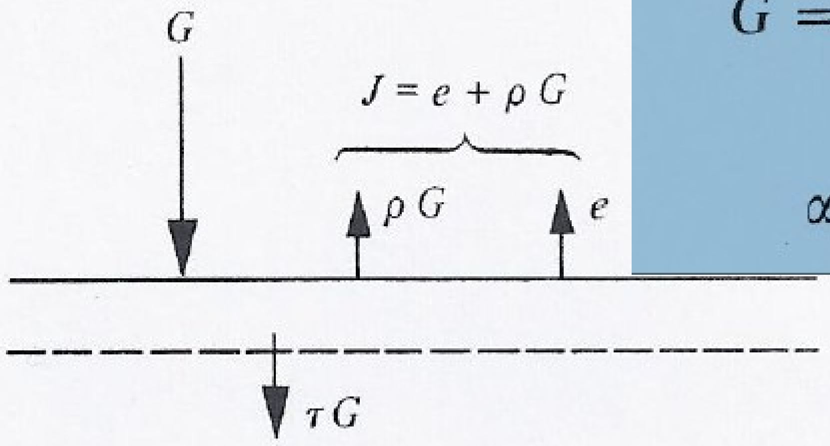
Cuando dos objetos se encuentran uno en presencia de otro, ocurre una transferencia de calor por radiación, recíproca entre ellos. La cantidad de energía que cada uno de ellos recibe, depende de la geometría y de los materiales de los que están hechos.

OBJETIVOS.

- Conocer la fórmula para calcular la cantidad de energía radiada intercambiada por dos placas paralelas.
- Entender el concepto de factor de visión
- Saber calcular la cantidad de energía radiada que es percibida por un cuerpo cuando está en presencia de otro.

DISTRIBUCIÓN DE RADIACIÓN TÉRMICA EN UNA SUPERFICIE

La cantidad total de irradiación G puede ser absorbida, reflejada o transmitida:

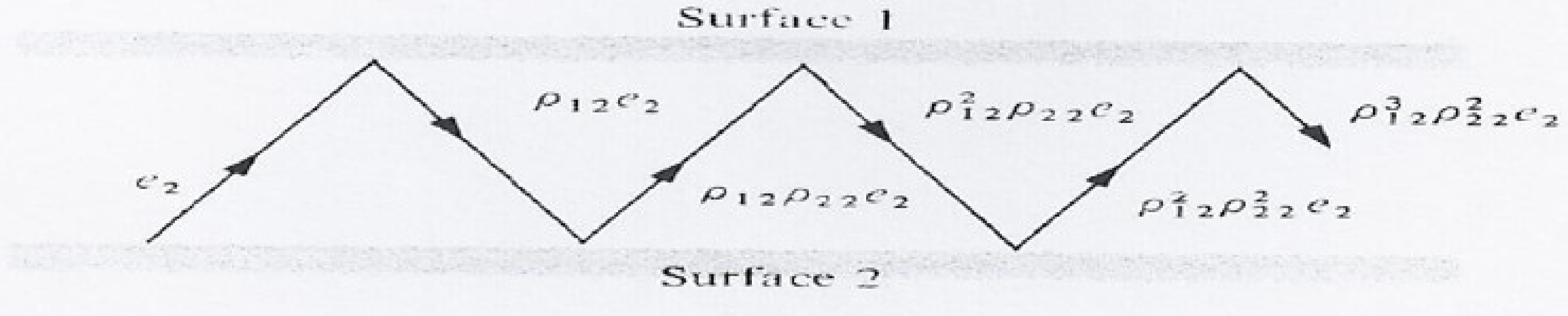


$$G = \alpha G + \rho G + \tau G,$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1,$$

- La radiosidad J incluye tanto la energía emitida como la reflejada.

INTERCAMBIO DE CALOR ENTRE PLACAS PARALELAS.



(a)

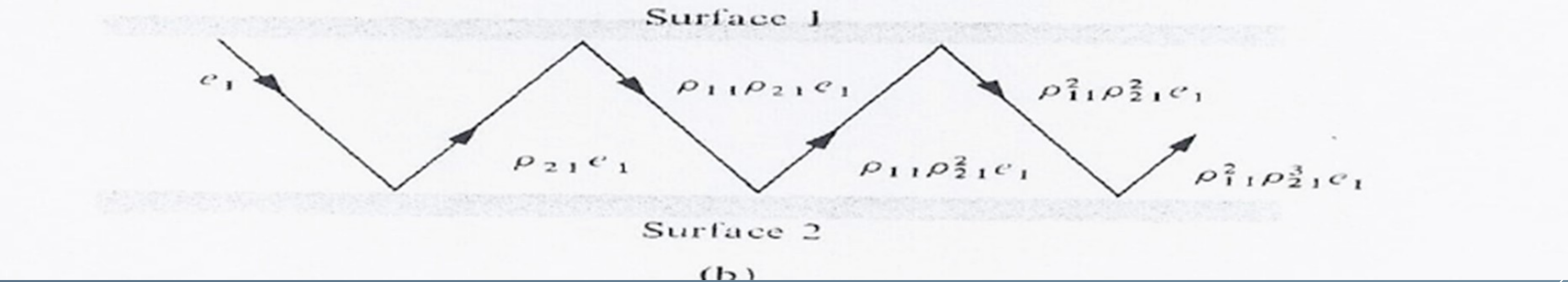
La irradiación total de la placa 1 es:

$$e_2 + \rho_{12}\rho_{22}e_2 + \rho_{12}^2\rho_{22}^2e_2 + \cdots \rho_{12}^n\rho_{22}^n e_2.$$

Que es una serie que converge a:

$$\frac{e_2}{1-\rho_{12}\rho_{22}}.$$

PARA LA OTRA PLACA



La irradiación converge ahora a:

$$\frac{\rho_{21}e_1}{1-\rho_{11}\rho_{21}}.$$

Con lo que la irradiación total de esa superficie es

$$G_1 = \frac{e_2}{1-\rho_{12}\rho_{22}} + \frac{\rho_{21}e_1}{1-\rho_{11}\rho_{21}}.$$

FLUJO NETO DE CALOR

El flujo neto de calor es $q_{1,\text{net}} = J_1 - G_1,$

Con $J_1 = e_1 + \rho_{1x} G_1.$

Reescribiendo y usando la relación de ρ y α

$$q_{1,\text{net}} = e_1 - (1 - \rho_{1x})G_1 = e_1 - \alpha_{1x} G_1$$

Con lo que:

$$q_{1,\text{net}} = e_1 - \left(\frac{\alpha_{12} e_2}{1 - \rho_{12}\rho_{22}} + \frac{\alpha_{11}\rho_{21} e_1}{1 - \rho_{11}\rho_{21}} \right).$$

EL VALOR DE ALFA

- En la hipótesis de cuerpo gris:

$$\alpha_{12} = \alpha_{11} = \varepsilon_1, \; \alpha_{21} = \alpha_{22} = \varepsilon_2;$$

$$\rho_{12} = \rho_{11} = 1 - \varepsilon_1, \rho_{21} = \rho_{22} = 1 - \varepsilon_2$$

- Con lo que:

$$q_{1,\text{net}} = (e_{b1} - e_{b2}) \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}.$$

CUERPO NO GRIS.

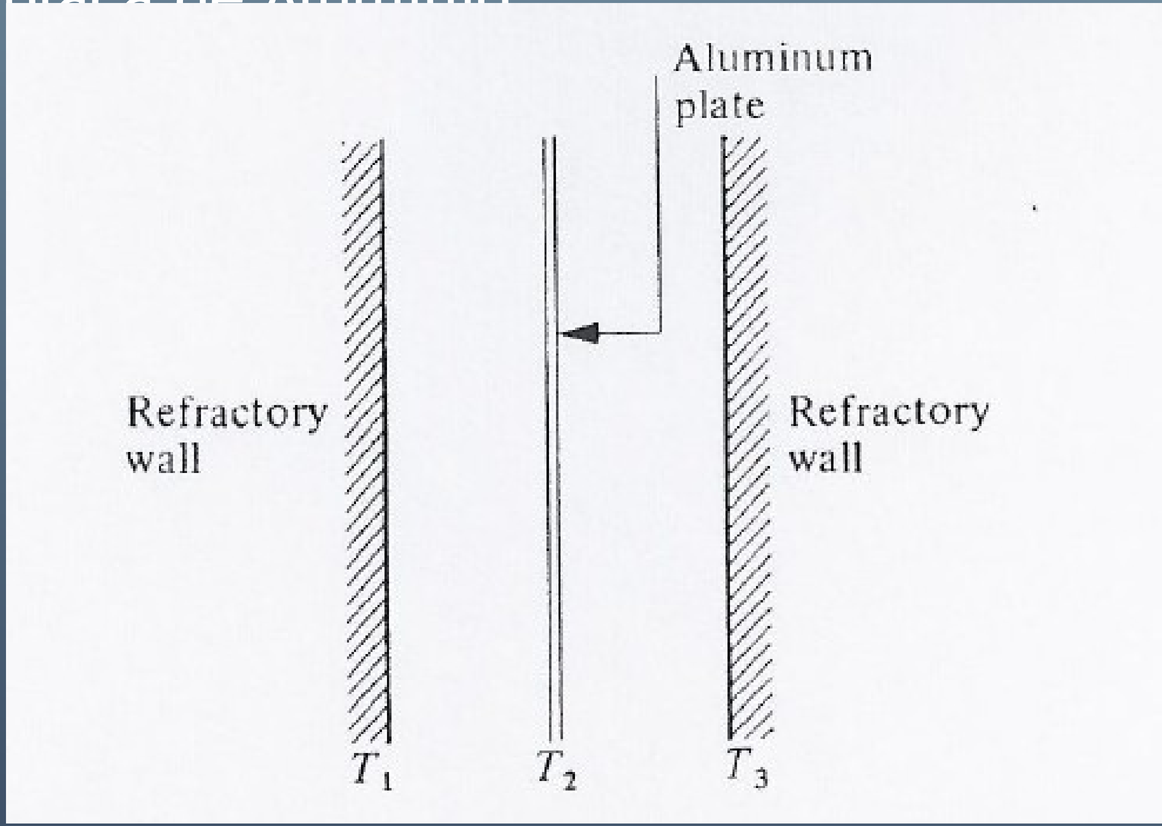
Si no aplica la hipótesis de cuerpo gris entonces ε_1 depende de T*

Donde $T^* = \sqrt{T_1 T_2}$

$$q_{1,\text{net}} = (e_{b1} - e_{b2}) \frac{1}{1/\varepsilon_1(T^*) + 1/\varepsilon_2 - 1}.$$

EJEMPLO. PLACA AISLANTE.

Desarrolle una expresión para calcular la disminución de calor de radiación entre dos placas paralelas cuando entre ellas se coloca una placa de Aluminio.



SOLUCIÓN

$$q_{1,\text{net}} = (e_{b1} - e_{b2}) \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}.$$

- Escribiendo la ecuación del calor radiado entre las superficies 1 y 2

- Er

$$q_{2,\text{net}} = (e_{b2} - e_{b3}) \frac{1}{1/\varepsilon_3 + 1/\varepsilon_2 - 1}.$$

Como $q_{2,\text{net}} = q_{1,\text{net}}$

$$q_{1,\text{net}} = \frac{(e_{b1} - e_{b3})}{(1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1) + (1/\varepsilon_2 + 1/\varepsilon_3 - 1)}.$$

EL COCIENTE DA

Si no hubiera una placa en medio el cálculo directo entre las superficies 1 y 3 da:

$$q_{1,\mathrm{net}} = (e_{b1} - e_{b2}) \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}.$$

$$\frac{q_{1,\mathrm{net}}\,(\text{with shield})}{q_{1,\mathrm{net}}\,(\text{no shield})} = \frac{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_3 - 1}{(1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1) + (1/\varepsilon_2 + 1/\varepsilon_3 - 1)}.$$

Con

$\varepsilon_1 = \varepsilon_3 = 0.8$ Y $\varepsilon_2 = 0.2$ El cociente da: 0.143

Mayor apantallamiento puede conseguirse introduciendo más placas.

OTRAS GEOMETRÍAS.

En la clase anterior se usaron las tablas

TABLE 12.1 Blackbody Radiation Functions

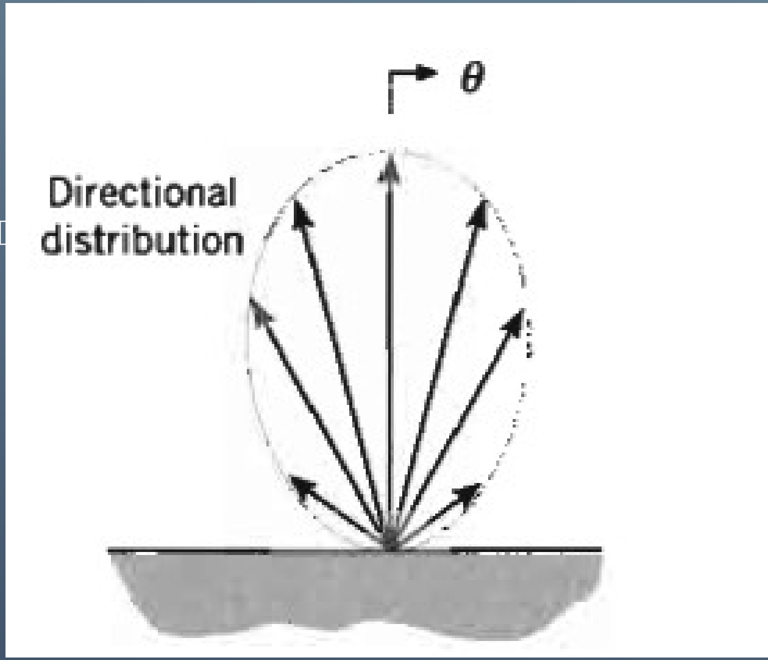
λT ($\mu m \cdot K$)	$F_{(0\to\lambda)}$	$I_{\lambda,b}(\lambda,T)/\sigma T^5$ $(\mu m \cdot K \cdot sr)^{-1}$	$\frac{I_{\lambda,b}(\lambda,T)}{I_{\lambda,b}(\lambda_{max},T)}$
200	0.000000	0.375034×10^{-27}	0.000000
400	0.000000	0.490335×10^{-13}	0.000000
600	0.000000	0.104046×10^{-8}	0.000014
800	0.000016	0.991126×10^{-7}	0.001372
1,000	0.000321	0.118505×10^{-5}	0.016406
1,200	0.002134	0.523927×10^{-5}	0.072534
1,400	0.007790	0.134411×10^{-4}	0.186082
1,600	0.019718	0.249130	0.344904
1,800	0.039341	0.375568	0.519949
2,000	0.066728	0.493432	0.683123
2,200	0.100888	0.589649×10^{-4}	0.816329
2,400	0.140256	0.658866	0.912155
2,600	0.183120	0.701292	0.970891
2,800	0.227897	0.720239	0.997123
2,898	0.250108	0.722318×10^{-4}	1.000000
3,000	0.273232	0.720254×10^{-4}	0.997143
3,200	0.318102	0.705974	0.977373

TABLE 12.1 *Continued*

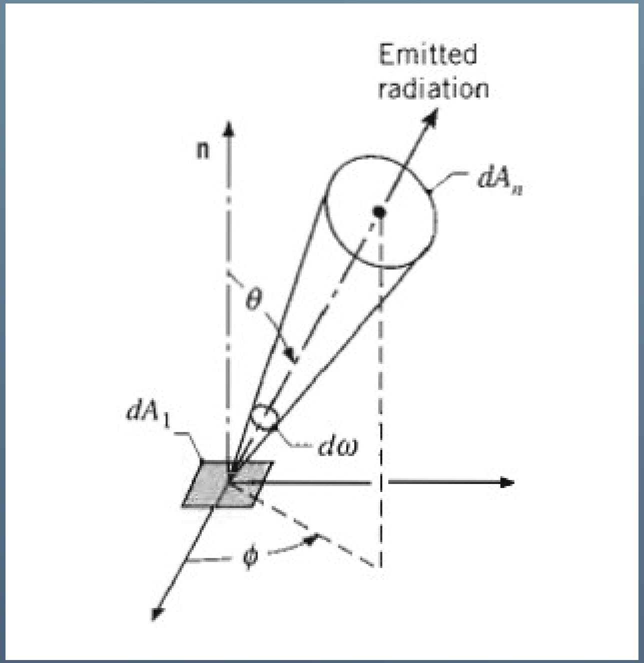
λT ($\mu m \cdot K$)	$F_{(0\to\lambda)}$	$I_{\lambda,b}(\lambda,T)/\sigma T^5$ $(\mu m \cdot K \cdot sr)^{-1}$	$\frac{I_{\lambda,b}(\lambda,T)}{I_{\lambda,b}(\lambda_{max},T)}$
9,500	0.903085	0.765338	0.105956
10,000	0.914199	0.653279×10^{-5}	0.090442
10,500	0.923710	0.560522	0.077600
11,000	0.931890	0.483321	0.066913
11,500	0.939959	0.418725	0.057970
12,000	0.945098	0.364394×10^{-5}	0.050448
13,000	0.955139	0.279457	0.038689
14,000	0.962898	0.217641	0.030131
15,000	0.969981	0.171866×10^{-5}	0.023794
16,000	0.973814	0.137429	0.019026
18,000	0.980860	0.908240×10^{-6}	0.012574
20,000	0.985602	0.623310	0.008629

¿Qué significado tiene la función $I_{\lambda b}$ (λ, T)?

- I es la intensidad de la radiación y está relacionada con la distribución angular de la radiación

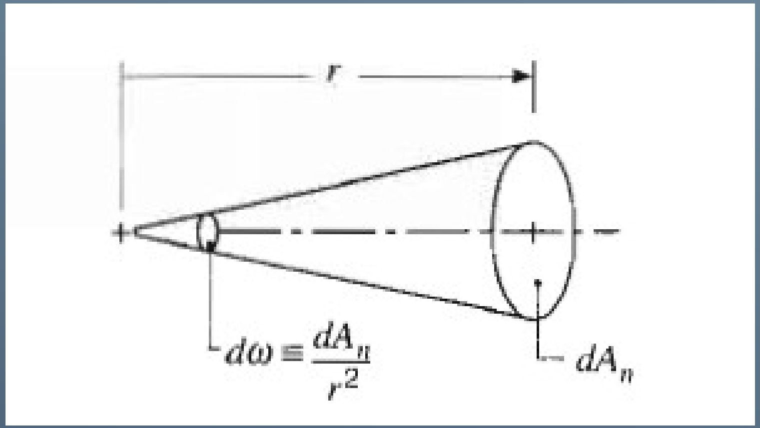


MATEMÁTICAMENTE:



Radiación emitida desde un área diferencial dA_1 en un ángulo sólido $d\omega$ subtendido por un área dAn en un punto en dA_1

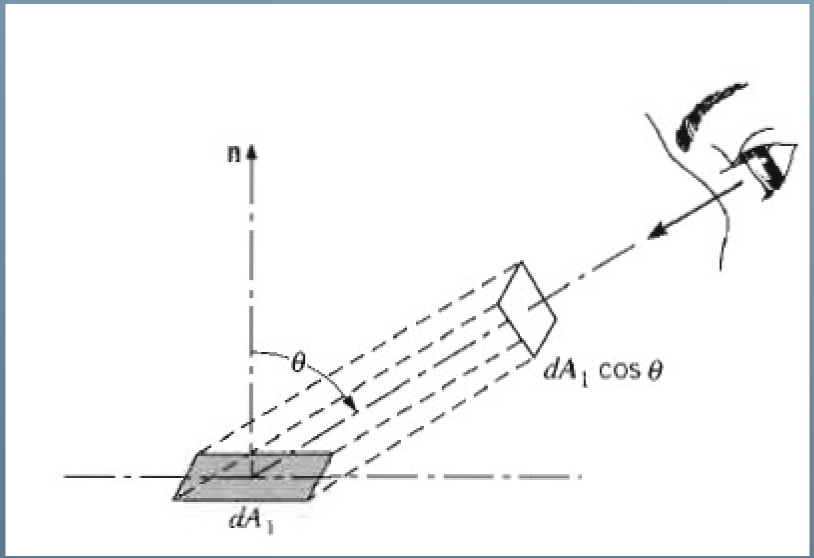
Ángulo sólido



dA_n es un rectángulo de dimensiones r $d\Theta$ X r seno Θ $d\varphi$ por lo que $dA_n = r^2$ seno Θ $d\Theta\, d\varphi$
y $d\omega$ = seno Θ $d\Theta\, d\varphi$

INTENSIDAD ESPECTRAL

- Definimos a $I_{\lambda,\, e}$ como la tasa a la cual la energía radiante es emitida en la longitud de onda λ en la dirección (Θ, φ), por unidad de área de la superficie de emisión normal a esa dirección, por unidad de ángulo sólido, alrededor de esa dirección y por unidad de intervalo de longitud de onda dλ alrededor de λ.



$$I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) \equiv \frac{dq}{dA_1 \cos\theta \cdot d\omega \cdot d\lambda}$$

INTENSIDAD ESPECTRAL HEMISFÉRICA

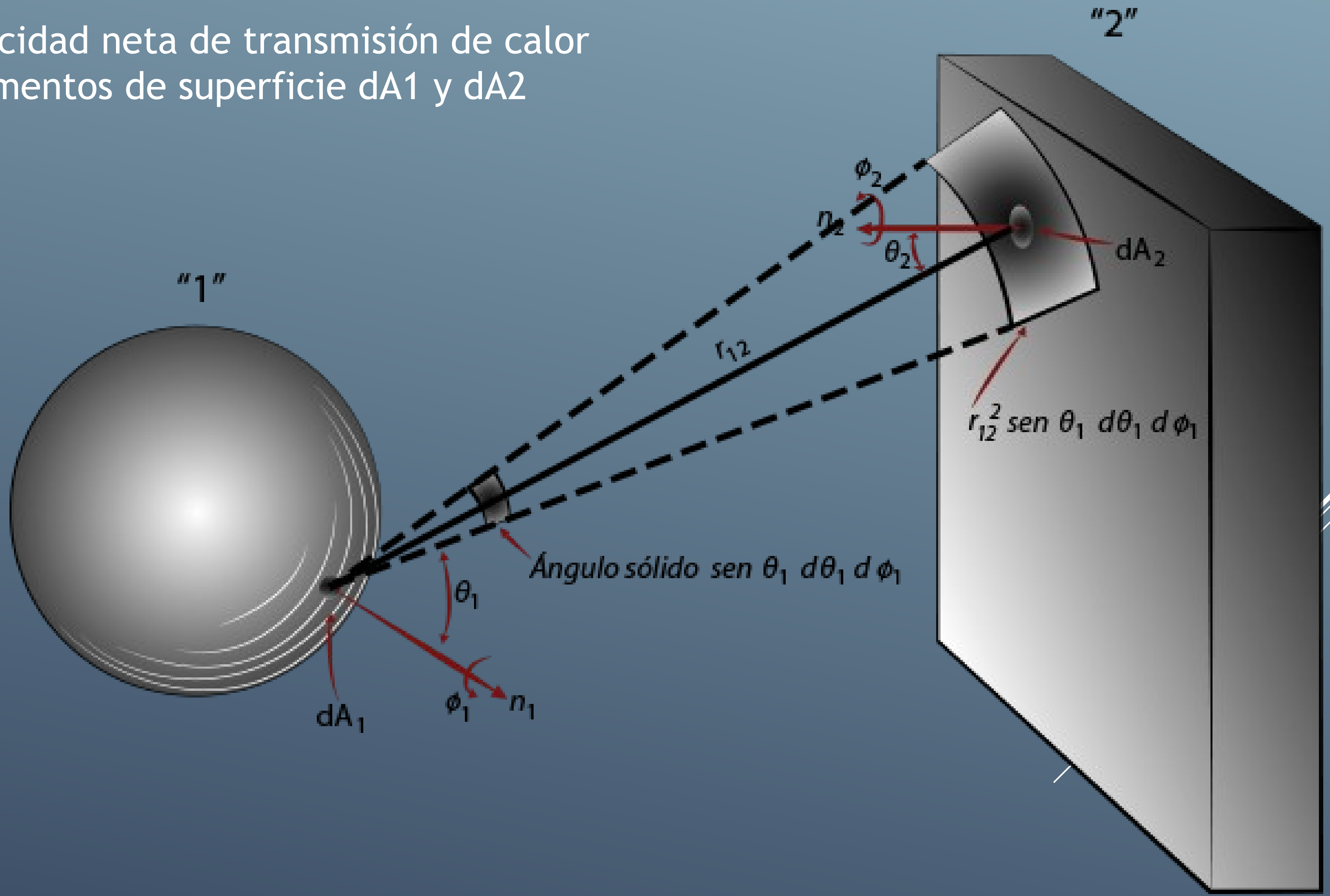
$$E_\lambda(\lambda) = q''_\lambda(\lambda) = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) \cos\theta \sin\theta \, d\theta \, d\phi$$

$$E = \int_0^\infty E_\lambda(\lambda) \, d\lambda$$

$$E = \int_0^\infty \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I_{\lambda,e}(\lambda, \theta, \phi) \cos\theta \sin\theta \, d\theta \, d\phi \, d\lambda$$

INTERCAMBIO RADIANTE ENTRE DOS CUERPOS NEGROS

Se considera la velocidad neta de transmisión de calor entre un par de elementos de superficie dA1 y dA2



ENERGÍA RADIADA

- La energía radiada en la unidad de tiempo, será:
- Los elementos superficie ***dA_1 y dA_2*** se unen mediante una línea recta ***r_{12},*** que forma un ángulo Θ_1, con la normal a ***dA_1*** y un ángulo Θ_2, con la normal a ***dA_2***

$$\left(\frac{\sigma T_1{}^4}{\pi}\cos\theta_1\right) dA_1 \sin\theta_1\, d\theta_1 d\varnothing_1$$

- Pero, no Toda la energía radiada por el 1er cuerpo negro es interceptada por el segundo.

FLUJO ENTRE LOS DOS CUERPOS

- Solamente la fracción:

$$\frac{(\acute{a}rea\ de\ dA_2\ proyectada\ sobre\ un\ plano\ perpendicular\ a\ r_{12})}{\begin{pmatrix}\acute{a}rea\ formada\ por\ la\ intersecci\acute{o}n\ de \\ \acute{a}ngulo\ s\acute{o}lido\ \ \sin\theta_1\, d\theta_1 d\emptyset_1\ con\ una\ esfera\ de\ radio\ \ r_{12}\ y\ centro\ situado\ en\ dA_1\end{pmatrix}} = \frac{dA_2 \cdot \cos\theta_2}{r_{12}{}^{2} \sin\theta_1\, d\theta_1 d\emptyset_1}$$

- Sustituyendo:

$$dQ_{\underset{12}{\rightarrow}} = \frac{\sigma T_1^4}{\pi} \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2}{r_{12^2}} dA_1 dA_2$$

- Análogamente:

$$dQ_{\underset{21}{\rightarrow}} = \frac{\sigma T_2^4}{\pi} \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2}{r_{12^2}} dA_1 dA_2$$

FLUJO NETO

$$dQ_{12} = dQ_{\overrightarrow{12}} - dQ_{\overrightarrow{21}} = \frac{\sigma}{\pi}(T_1^4 - T_2^4)\frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2}{r_{12^2}} dA_1 dA_2$$

Integrando sobre las parejas de Áreas A_1 y A_2 que se ven mutuamente:

$$Q_{12} = \frac{\sigma}{\pi}(T_1^4 - T_2^4)\int\int \frac{\cos\theta_1 \cos\theta_2}{r_{12^2}} dA_1 dA_2$$

FACTORES DE VISIÓN

- El resultado puede expresarse en términos de las áreas de los cuerpos y de los factores de visión F_{jk} j, k =1,2

$$Q_{12} = A_1 F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4) = A_2 F_{21} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

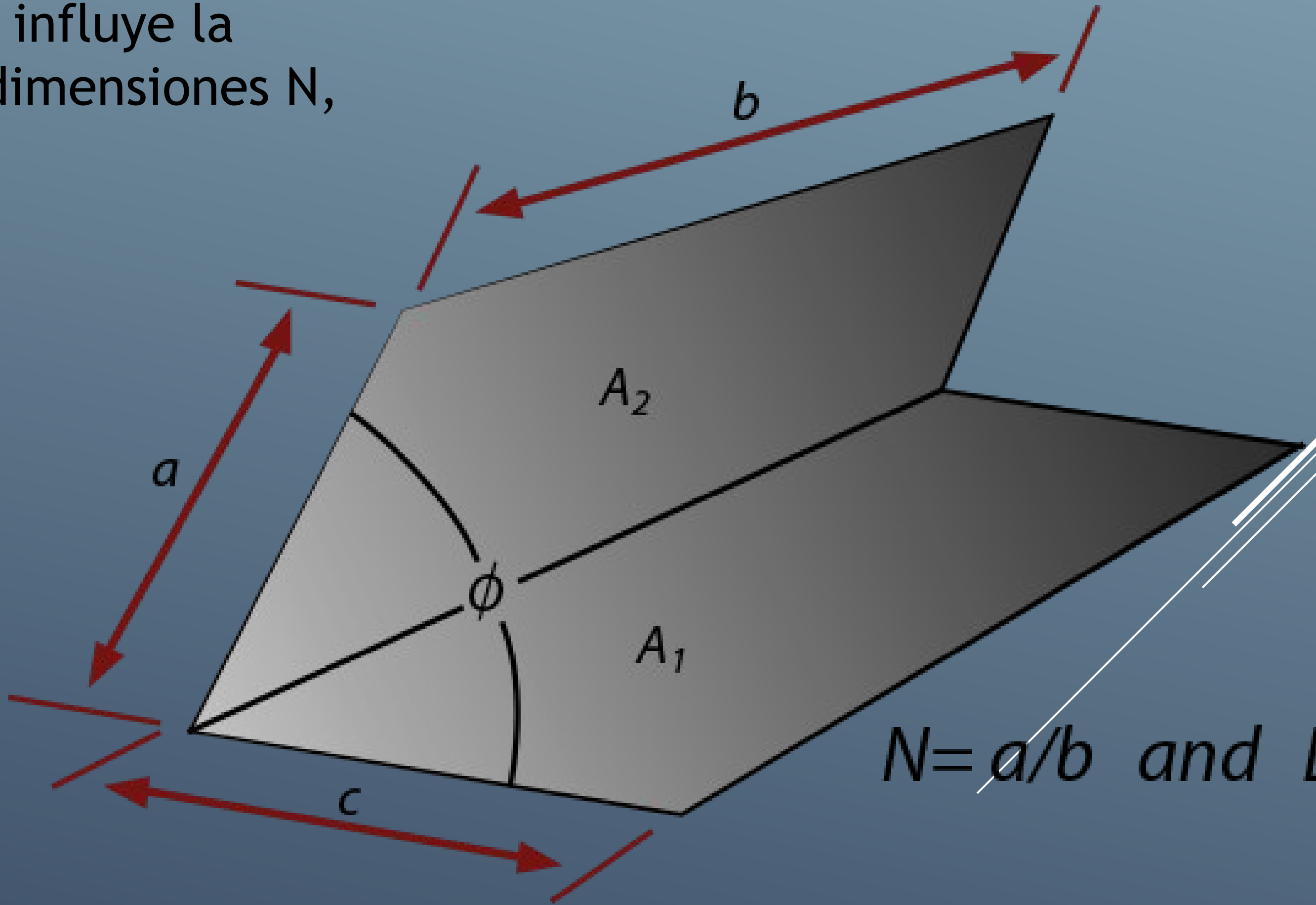
- El factor de visión F_{12} representa la fracción de radiación que sale de A1 que es interceptada directamente por A2.

- Puede calcularse de la integral en algunos casos simple u obtenerse de gráficas.

- Más detalles: M. JAKOB, Heat Transfer, Wiley, Nueva York (1957). vol. II, capítulo 31.

CÁLCULO DEL FACTOR DE VISIÓN

- Para calcular el factor de visión influye la geometría de los cuerpos (sus dimensiones N, L y el ángulo que forman φ)



$$N = a/b \quad \text{and} \quad L = c/b$$

EJEMPLOS DE GRÁFICAS PARA DIFERENTES VALORES DE N, L Y Φ

- Tomadas de Transport Phenomena in Metallurgy (Geiger-Poirier

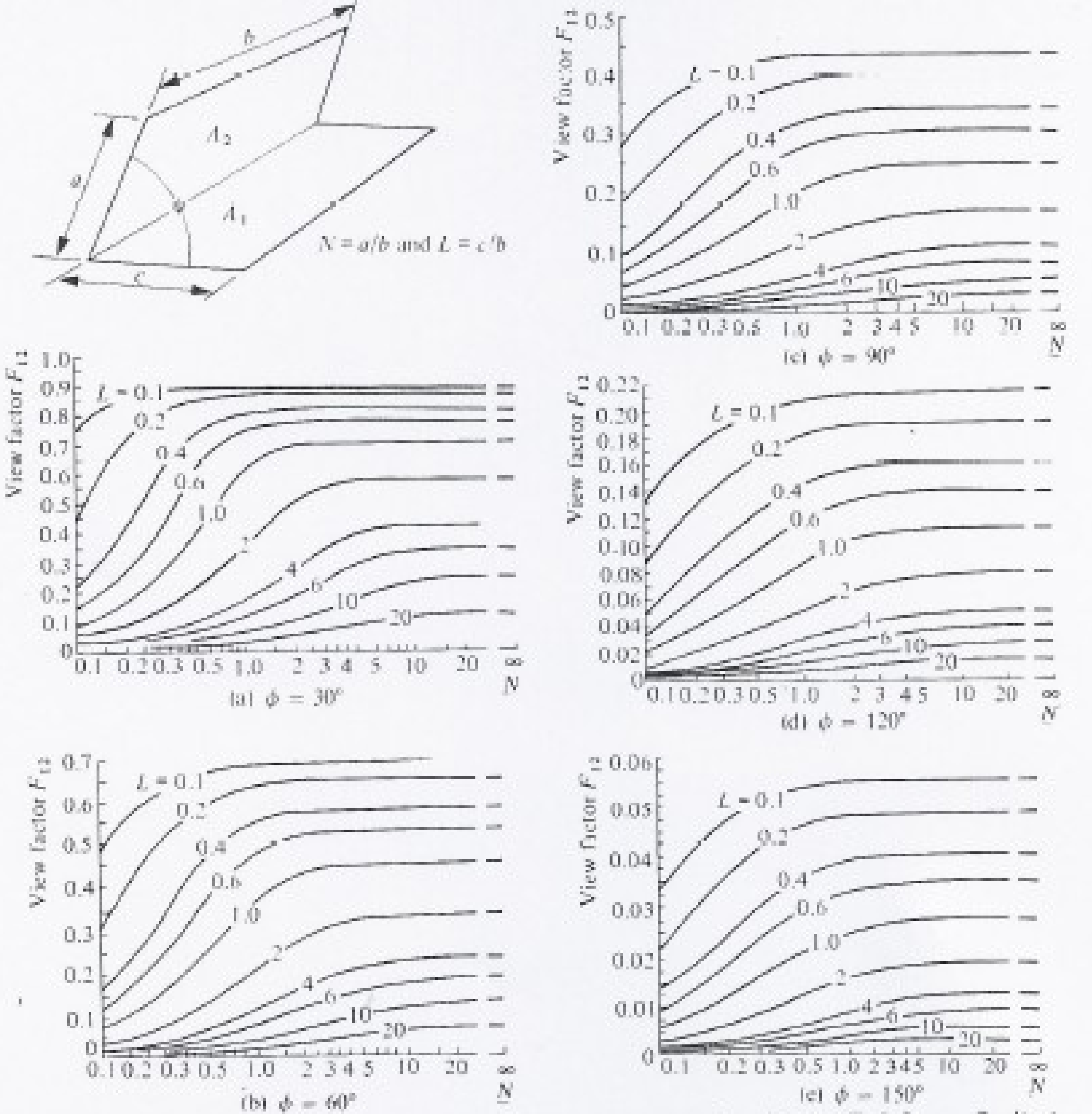
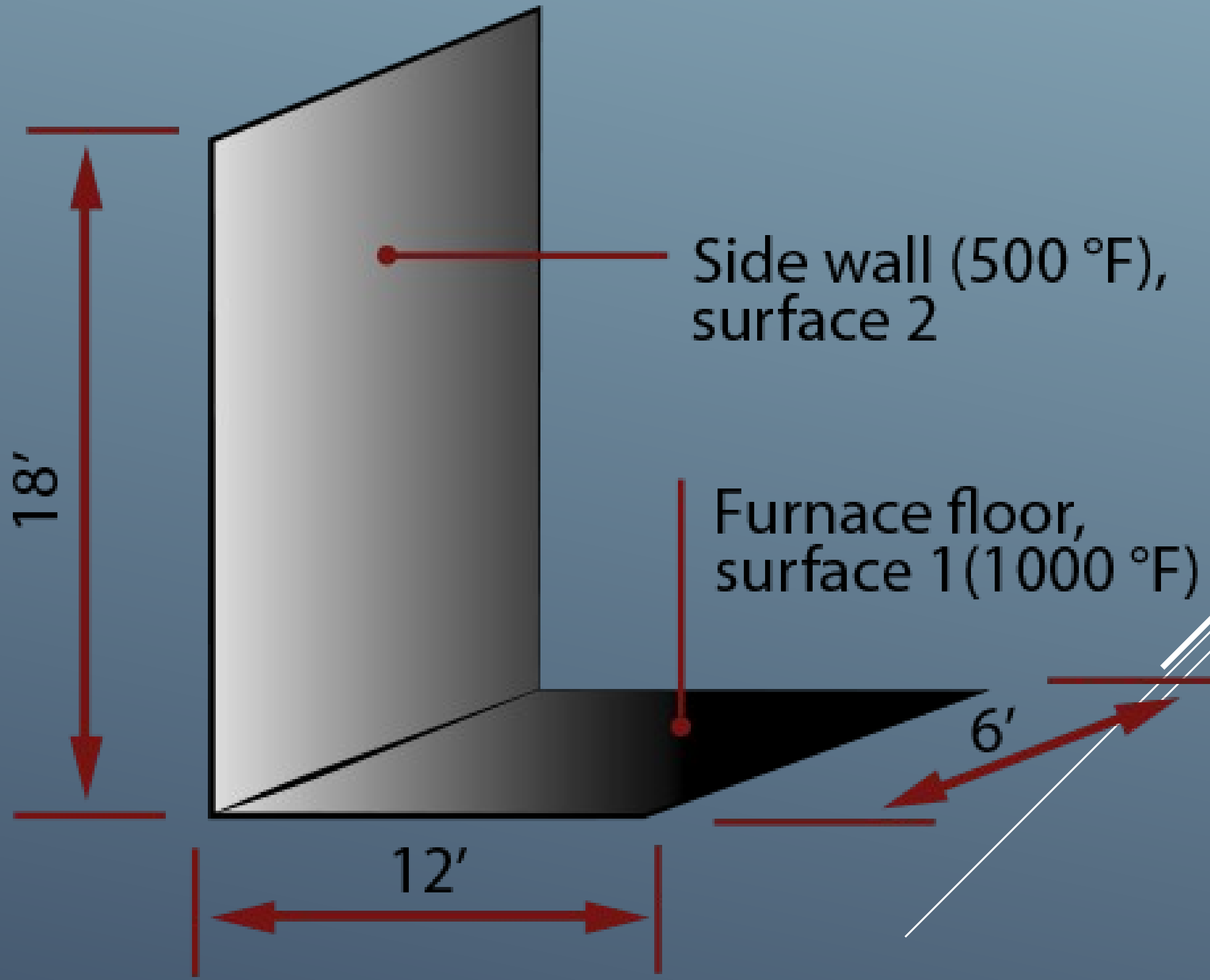


Fig. 11.15 View factors for two rectangles with a common edge. (From T. J. Love, *Radiative Heat Transfer*, ibid.)

PROBLEMA

- Calcular el flujo neto de calor por radiación que proveniente del piso de un horno a 1000 °F llega la pared que está 500 °F Las dimensiones y geometría del horno son las que se muestran en el dibujo adjunto.



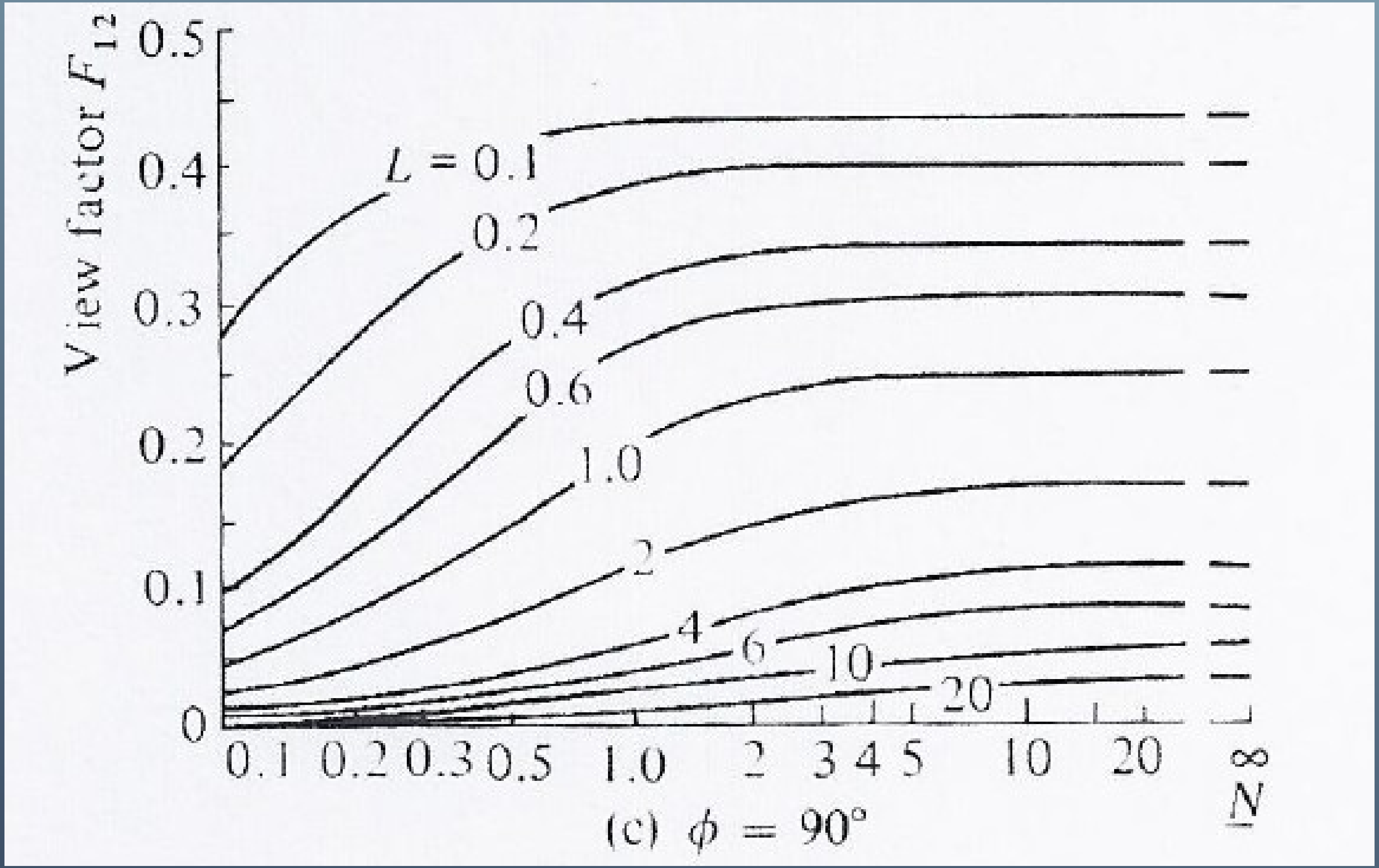
SOLUCIÓN

- El problema se resuelve usando:

$$Q_{12} = A_1 F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4) = A_2 F_{21} \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

- Pero necesitamos calcular F_{12}

- Para eso usamos la gráfica siguiente, con los parámetros: N = 18/ 6 = 3; L=12/6= 2 ; φ= 90



Obtenemos F_{12} = =.165

- Sustituyendo los valores numéricos:

$$Q_{1,net} = (72)(0.165)(0.171)\left[\left(\frac{1460}{100}\right)^4 - \left(\frac{960}{100}\right)^4\right] = 76{,}000 Btu/hr.$$

FACTORES DE VISTRA PARA PLANOS/DISCOS PARALELOS

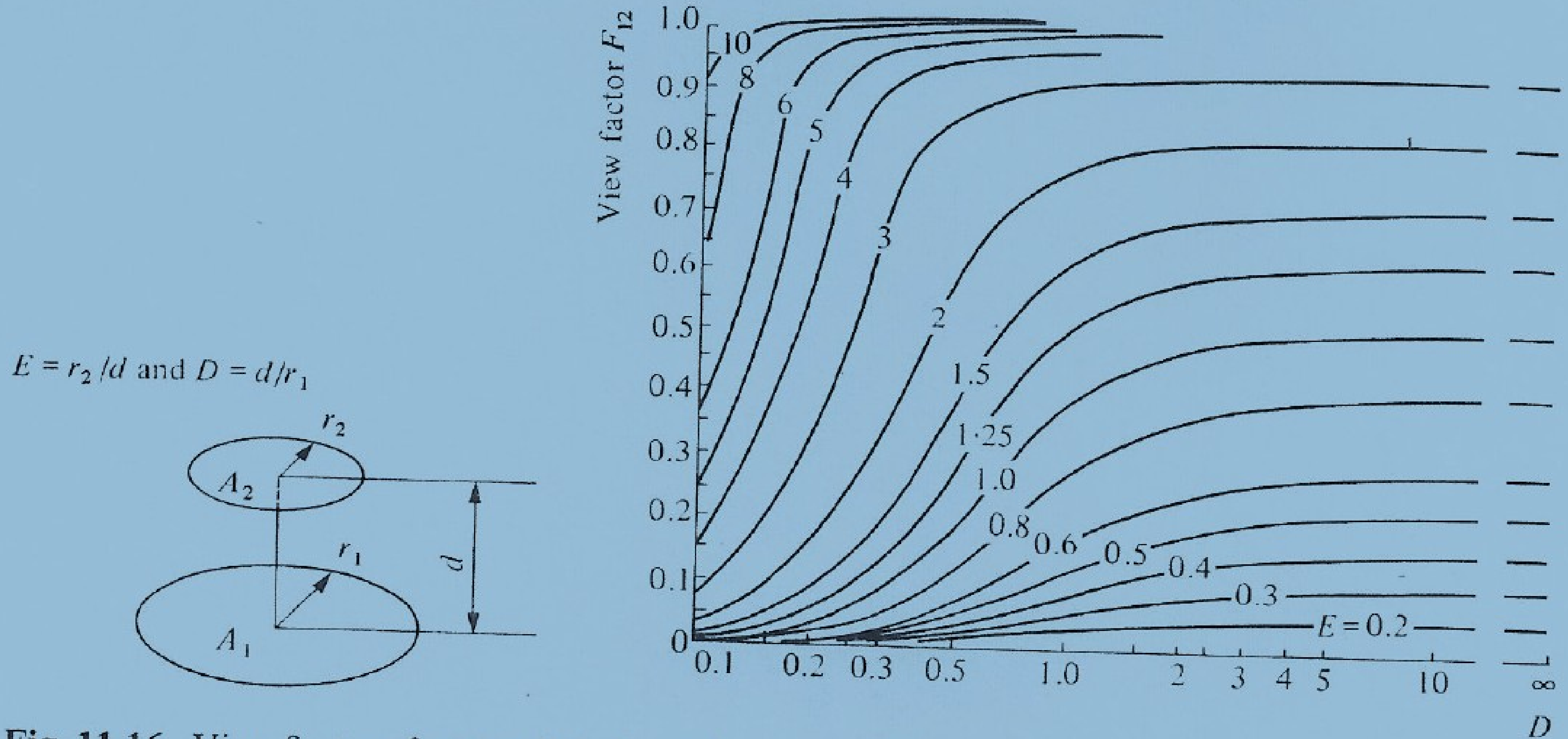
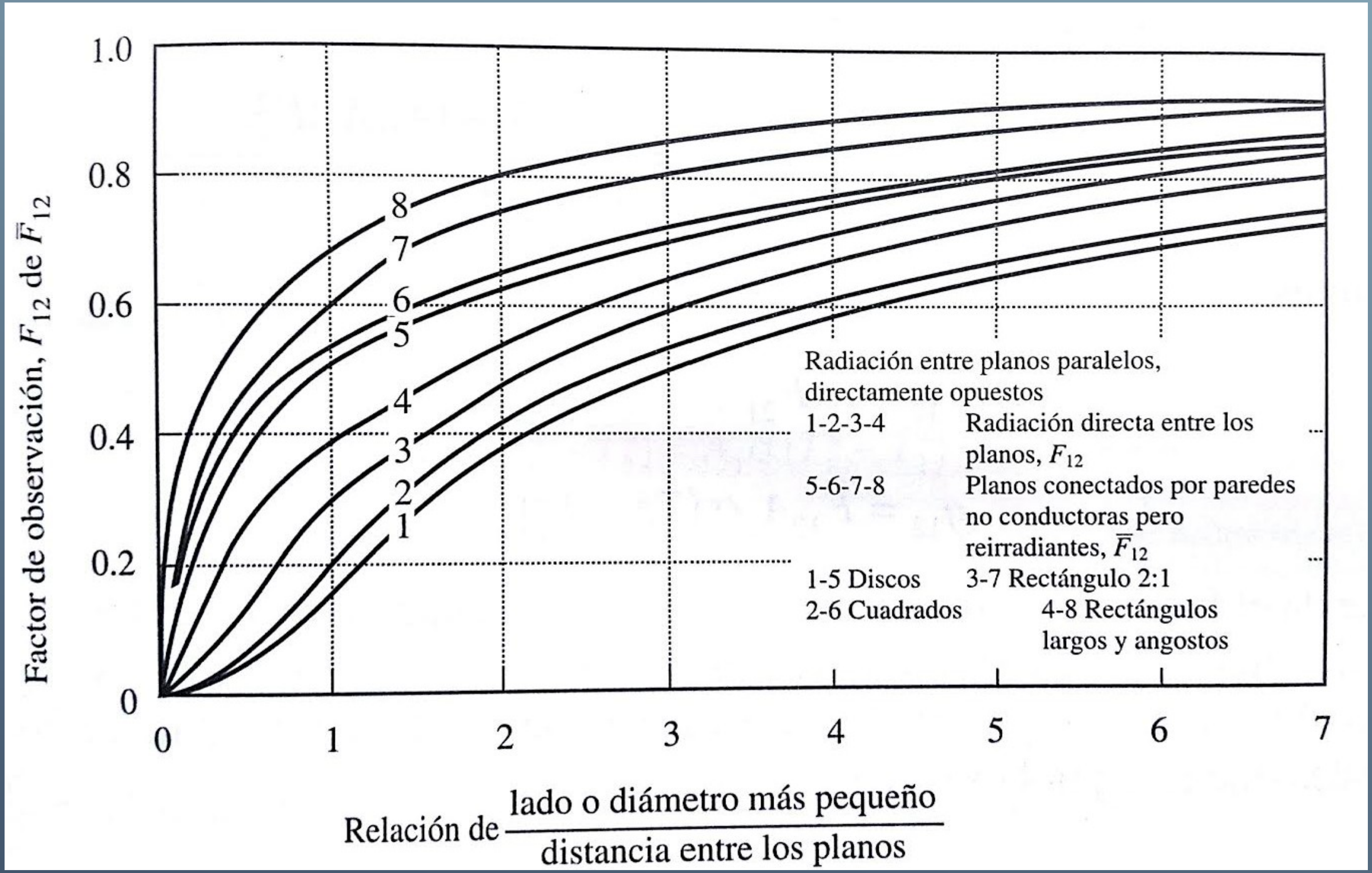


Fig. 11.16 View factors for parallel, directly-opposed disks. (From T. J. Love, *Radiative Heat Transfer, ibid.*)

Cuando dos cuerpos (esferas, cilindros o planos) se colocan uno frente a otro de forma paralela puede utilizarse la siguiente gráfica:



1. Se consideran dos situaciones: a) Radiación entre planos paralelos directamente opuestos y b) Planos conectados por paredes no conductoras pero reirradiantes.

2. Se consideran cuatro geometrías: Discos, cuadrados, Rectángulos 2:1 y Rectángulos largos y angostos.

CUERPOS PARALELOS

REFERENCIAS.

Además del Bird, Incropera y Kreith:

M. JAKOB, Heat Transfer, Wiley, Nueva York (1957). vol. II, capítulo 31.

Geiger-Poirier, Transport Phenomena in Metallurgy.

CUESTIONARIO

1. Explica en tus propias palabras la siguiente fórmula:

$$G = \alpha G + \rho G + \tau G,$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1,$$

2. 2. ¿Cuál es la fórmula para calcular el flujo de calor de una placa a otra, cuando están paralelas, en términos de los coeficientes de emisión, absorción y reflexión?
3. ¿Qué forma toma esa expresión en el caso del cuerpo gris y cuál cuando la emisividad depende las temperaturas?
4. ¿Cuál es la relación de I_λ con E_λ y con E?
5. ¿Qué son los esteroradianes? ¿Cuántos esteroradianes hay en media esfera?

6. ¿Qué cantidad de la energía radiada por el 1er cuerpo negro es interceptada por el segundo, en términos de las áreas de cada uno de ellos, de los ángulos que forman y de la distancia que los separa?

7. ¿Qué cantidad de la energía radiada por el 1er cuerpo negro es interceptada por el segundo, en términos del factor de visión?

8. Comparando las expresiones del 6 y el 7, di cuál es la expresión del factor de visión?

9. ¿Cómo se obtiene el valor del factor de visión para poder hacer cálculos?

10. ¿Qué representan los parámetros N, L y φ en las gráficas de factores de visión entre placas.