PROBLEMAS RESUELTOS TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN

Una placa plana horizontal opaca tiene un área superficial de 5 m^2 y su superficie inferior y sus extremos están bien aislados. La placa se irradia de manera uniforme en su superficie superior a razón de 1800 W para toda la placa. Si en condiciones de estado estable se reflejan 200 W de la radiación incidente y la temperatura de la placa es de 450 K, determine la energía incidente, la energía emitida, la radiosidad, la reflectividad, la absortividad y la emisividad.

Energía incidente

H_{Bi} = 1800 W ; por unidad de área: $H_{Bi} = \frac{1800}{5} = 360\ {}^{W}/_{m^2}$

Reflectividad

$$\rho = \frac{Energía\ reflejada}{Energía\ incidente} = \frac{200}{1800} = 0{,}11$$

Absortividad

$$\alpha + \rho = 1 \quad \rightarrow \quad \alpha = 1 - \rho = 1 - 0{,}11 = 0{,}89$$

Emisividad

De acuerdo a la ley de Kirchoff: $\alpha = \varepsilon \rightarrow \varepsilon = 0{,}89$

Energía emitida

$$W = \sigma \cdot A \cdot \varepsilon \cdot T^4 = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{W}{m^2 \cdot K^{-4}}\right) \cdot 5(m^2) \cdot 0{,}89 \cdot (450\ K)^4$$
$$W = 10.346{,}5\ W$$

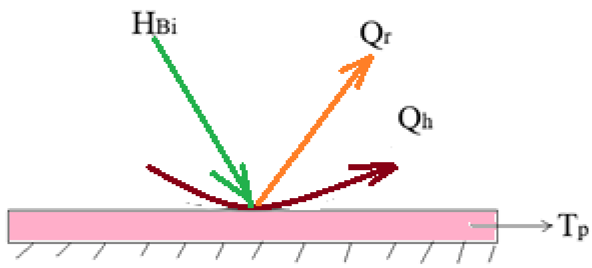
Energía reflejada

$W = 200\ W = \rho \cdot H_{Bi}$

Radiosidad

$B_i = W + \rho \cdot H_{Bi} = 10.346{,}5 + 200 = 10.546{,}5\ W$

Una placa de metal está colocada a la luz del sol. La energía radiante es de 250 (BTU/hr·pie^2). El aire y los alrededores están a 50 °F. El coeficiente de transferencia de calor para convección libre de la superficie superior de la placa es de 3 (BTU/hr·pie^2·°F). La placa tiene una emisividad de 0,9 en las longitudes de onda solares y 0,1 en las longitudes de onda larga. Despreciando las pérdidas por conducción de la superficie inferior, determinar la temperatura de equilibrio de la placa.



En el equilibrio el balance de calor es:

Calor absorbido = Calor perdido por convección + calor perdido por radiación

$$Q_{abs} = Q_h + Q_r$$

$$\alpha H_{Bi} = h\cdot(T_p - T_\infty) + \varepsilon\cdot\sigma\cdot(T_p^4 - T_\infty^4)$$

$\alpha = \varepsilon = 0{,}9$ en las longitudes de onda solares

$\varepsilon = 0{,}1$ para el calor emitido por radiación (infrarrojo)

Reemplazando:

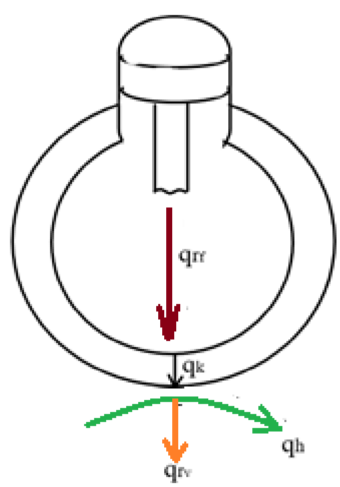
$$0{,}9\cdot 250 = 3\cdot(T_p - 510) + 0{,}1714\cdot 10^{-8}\ (\text{BTU/ hr}\cdot\text{pie}^2\cdot{}^\circ\text{R}^4)\cdot 0{,}1\cdot(T_p^4 - 510^4)$$

$T_p = 582\ °R = 122\ °F$ $\qquad$ $T\infty = 50°F + 460 = 510\ °R$

En una ampolleta de vidrio el filamento de tungsteno es llevado a la temperatura de 3000 °C. Determine:

a) El flujo emitido por radiación por el filamento
b) El espesor del vidrio de la ampolleta
c) La temperatura de la pared externa de la ampolleta

Datos:
Temperatura ambiente: T∞ = 20 °C
Diámetro de la ampolleta: D = 5 cm
Factor de emisión del W: ε_W = 0,39
Factor de emisión del vidrio: ε_v = 0,93
Coeficiente de conductividad térmica del vidrio: k = 1,15 W/m·°C
Diferencia de temperatura entre las dos paredes de la ampolleta: 1 °C
Coeficiente de convección exterior: h = 23 (W/m^2·°C)
Diámetro del filamento: 2/10 mm
Largo del filamento: 3,75 cm



Balance de calor:

$$q_{r_f} = q_k = q_{r_v} + q_h$$

a) Flujo de calor emitido por radiación por el filamento

$$q_{r_f} = \varepsilon_W \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_f^4 - T_\infty^4)$$

$$= 0{,}39 \cdot 5{,}72 \cdot 10^{-8} \cdot \Pi \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}0375 \cdot (3273)^4$$; T_∞^4 se desprecia

$q_{r_f} = 60\ W$ Se trata de una ampolleta de 60 W.

b) <u>Cálculo del espesor del vidrio de la ampolleta</u>

$$q_{r_f} = q_k = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad ; \quad A = 4\Pi r^2 = \frac{4 \cdot \Pi \cdot D^2}{4} = \Pi \cdot D^2$$

$$60 = \frac{1{,}15 \cdot \Pi \cdot (5 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 1}{\Delta x} \rightarrow \Delta x = 0{,}15\ mm$$

c) <u>Temperatura de la pared externa de la ampolleta</u>

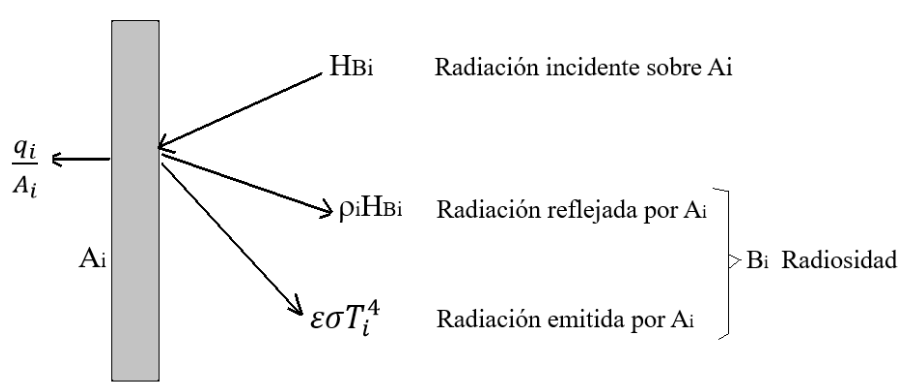
$$q_k = q_h + q_{r_v}$$

$$\frac{q_k}{A} = h \cdot (T_v - T_\infty) + \varepsilon_v \cdot \sigma \cdot [T_v^4 - (293)^4] \rightarrow T_v = 500\ K = 227\ °C$$

<u>Procedimiento para resolver problemas con intercambio de calor por radiación entre superficies</u>

$W_N = \boldsymbol{\sigma} \cdot T^4$ Radiación emitida por un cuerpo negro

$W = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$ Radiación emitida por un cuerpo gris



Bi: flujo de energía que abandona la superficie Ai por reflexión y por emisión

$$B_i = \rho_i H_{B_i} + W = \rho_i H_{B_i} + \varepsilon_i \sigma T_i^4 = \rho H_{B_i} + \varepsilon_i W_N$$

Qi = energía que sale - energía que llega

$$Q_i = B_i - H_{B_i}$$

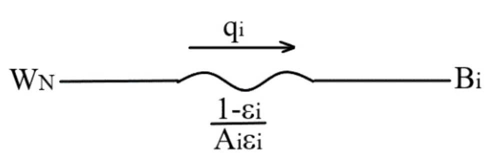
$$B_i = \rho H_{B_i} + \varepsilon_i W_N \rightarrow H_{B_i} = \frac{B_i - \varepsilon_i W_N}{\rho_i} = \frac{B_i - \varepsilon_i W_N}{1-\varepsilon_i}$$

$$Q_i = B_i - H_{B_i} = B_i - \frac{B_i - \varepsilon_i W_N}{1-\varepsilon_i} = \frac{(1-\varepsilon_i)B_i - B_i + \varepsilon_i W_N}{1-\varepsilon_1}$$

$$Q_i = \frac{\varepsilon_i}{1-\varepsilon_i}\{W_N - B_i\}$$

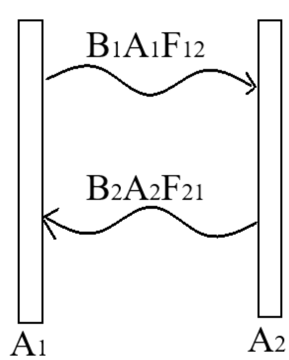
$$Q_i = \frac{q_i}{A_1} \rightarrow q_i = \frac{W_N - B_i}{\frac{1-\varepsilon_i}{A\varepsilon_i}}$$

Haciendo la analogía con una resistencia eléctrica se tendrá:



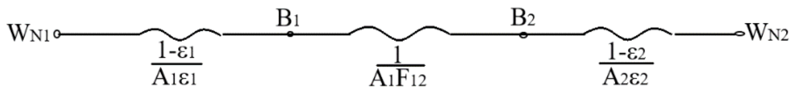
$$q_i = \frac{W_N - B_i}{\frac{1-\varepsilon_i}{A\varepsilon_i}}$$; Luego la resistencia será: $\frac{1-\varepsilon_i}{A_i\varepsilon_i}$

<u>Dos cuerpos grises que intercambian calor por radiación</u>



$q_{12} = B_1 A_1 F_{12} - B_2 A_2 F_{21}$; pero como por reciprocidad: $A_1 F_{12} = A_2 F_{21}$

$q_{12} = (B_1 - B_2) \cdot A_1 F_{12} \quad \rightarrow \quad q_{12} = \frac{B_1 - B_2}{\frac{1}{A_1 F_{12}}} \quad \rightarrow$ La resistencia es: $\frac{1}{A_1 F_{12}}$



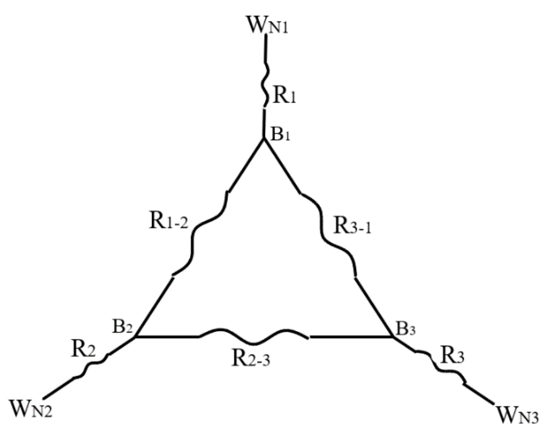
$$q_{12} = \frac{W_{N1} - W_{N2}}{\frac{1-\varepsilon_1}{A_1 \varepsilon_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1-\varepsilon_2}{A_2 \varepsilon_2}} \qquad \text{donde: } W_{N1} - W_{N2} = \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

Caso de dos placas paralelas e infinitas

$q_{12} = \frac{W_{N1} - W_{N2}}{\frac{1-\varepsilon_1}{A_1 \varepsilon_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1-\varepsilon_2}{A_2 \varepsilon_2}}$; en este caso: $F_{12} = 1$ y $A_1 = A_2$ por ser placas paralelas e infinitas

Por lo tanto: $q_{1 \to 2} = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \varepsilon_2} \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$

Caso de tres cuerpos grises



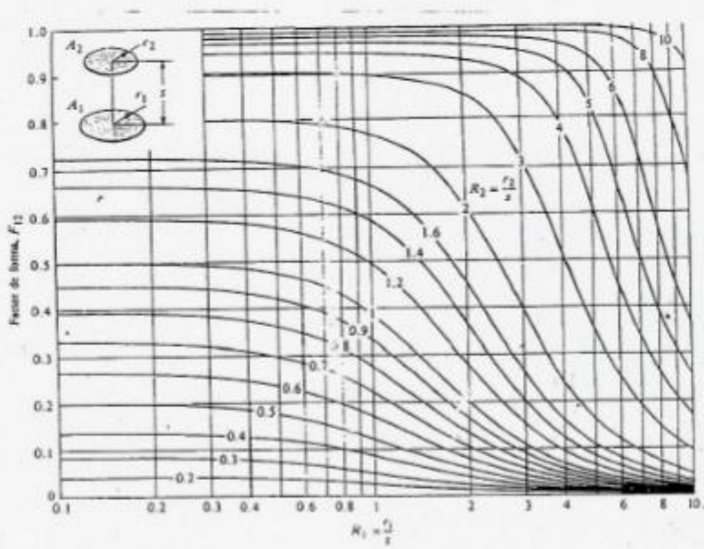
$$R_1 = \frac{1-\varepsilon_1}{A_1 \varepsilon_1} \quad ; \quad R_2 = \frac{1-\varepsilon_2}{A_2 \varepsilon_2} \quad ; \quad R_3 = \frac{1-\varepsilon_3}{A_3 3}$$

$$R_{1-2} = R_{2-1} = \frac{1}{A_1 F_{12}} = \frac{1}{A_2 F_{21}}$$

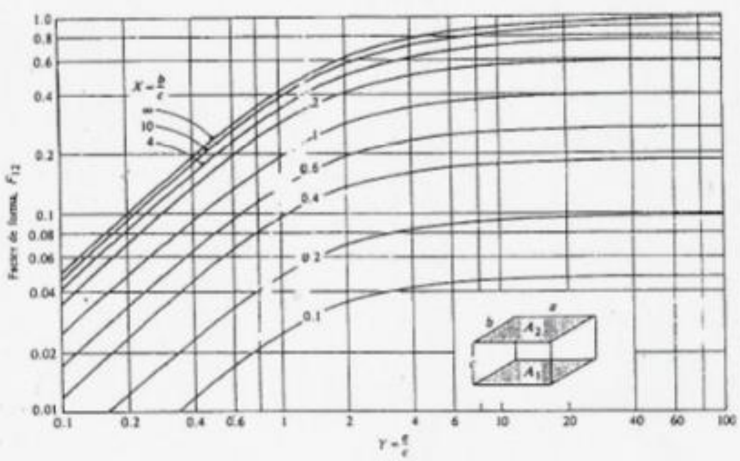
$$R_{1-3} = R_{3-1} = \frac{1}{A_1F_{13}} = \frac{1}{A_3F_{31}}$$

$$R_{2-3} = R_{3-2} = \frac{1}{A_2F_{23}} = \frac{1}{A_3F_{32}}$$

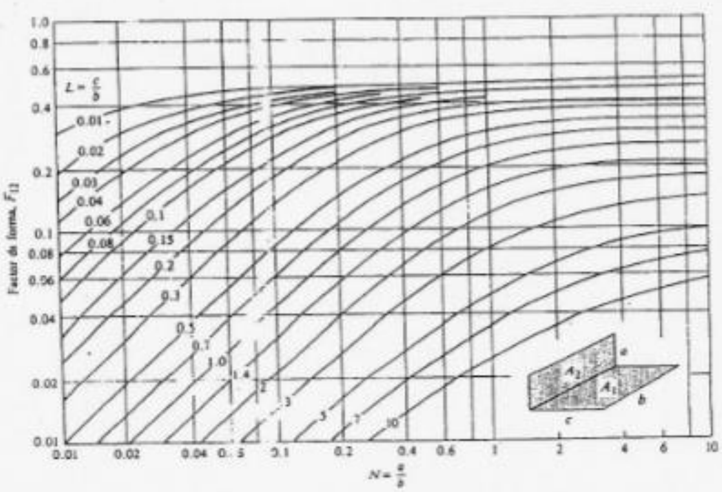
Gráficos para determinar factores de posición de algunas superficies



Factor de forma, F_{12}
$R_2 = \frac{r_2}{s}$
$R_1 = \frac{r_1}{s}$
A_2
A_1



Factor de forma, F_{12}
$X = \frac{b}{c}$
$Y = \frac{a}{c}$

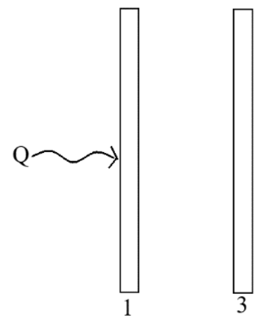


Factor de forma, F_{12}
$L = \frac{c}{b}$
$N = \frac{a}{b}$

Dos paredes metálicas paralelas de un horno de cocina tienen temperaturas T_1 = 450 °F y T_3 = 80 °F, y emisividades $\varepsilon_1 = \varepsilon_3 = 0{,}9$. El espacio entre las paredes está lleno con un aislamiento de lana mineral. Suponiendo que este material aislante es transparente a la radiación térmica, calcular la rapidez de transferencia de calor radiante por unidad de área entre las dos paredes:

a) Sin pantalla de radiación
b) Con una pantalla intermedia de radiación de lámina de aluminio de $\varepsilon_2 = 0{,}09$.

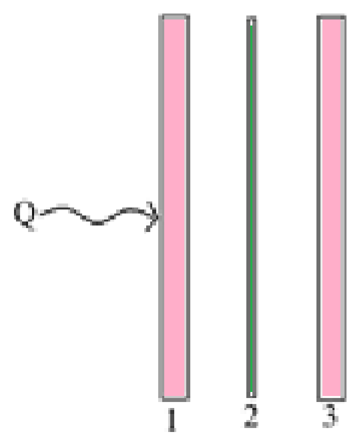
a) Sin pantalla de radiación



$$Q_{1-3} = \frac{\sigma\cdot(T_1^4 - T_3^4)}{R_1+R_2+R_3} \quad ; \quad R_1 = R_3 = \frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1} = \frac{1-0{,}9}{0{,}9} = 0{,}111 \quad ; \quad R_2 = \frac{1}{F_{13}} = \frac{1}{1} = 1$$

$$Q_{1-3} = \frac{0{,}1714\cdot 10^{-8}\left[(910)^4-(540)^4\right]}{0{,}111+1+0{,}111} = 181{,}7 \ \frac{BTU}{hr\cdot pie^2}$$

b) Con pantalla intermedia de radiación



$$Q_{1-2} = Q_{2-3}$$

$$\frac{\sigma\cdot(T_1^4-T_2^4)}{\frac{1-\varepsilon_1}{\varepsilon_1}+\frac{1}{F_{12}}+\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2}} = \frac{\sigma\cdot(T_2^4-T_3^4)}{\frac{1-\varepsilon_2}{\varepsilon_2}+\frac{1}{F_{23}}+\frac{1-\varepsilon_3}{\varepsilon_3}}$$

Como $F_{12} = F_{23} = 1$ y $\varepsilon_1 = \varepsilon_3$ los denominadores son iguales

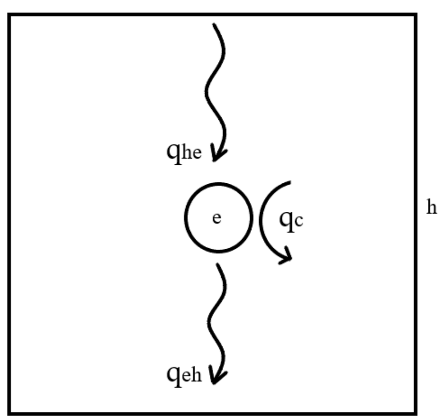
$$\rightarrow\ T_1^4 - T_2^4 = T_2^4 - T_3^4$$

$$T_2^4 = ½(T_1^4 + T_3^4) = ½(910^4 + (540)^4) \quad \rightarrow\ T_2 = 787{,}91\ °R$$

$$Q_{1-2} = \frac{0{,}1714 \cdot 10^{-8}\left[(910)^4 - (787{,}91)^4\right]}{\frac{1-0{,}9}{0{,}9} + 1 + \frac{1-0{,}09}{0{,}09}} = 38{,}29\left(\frac{BTU}{hr \cdot pie^2}\right)$$

Una esfera (k= 185 W/m·K, $\alpha = 7{,}25 \cdot 10^{-5}\ m^2/s$) de 30 mm de diámetro, cuya superficie es difusa y gris, con una emisividad de 0,8, se coloca en un horno grande cuyas paredes negras están a una temperatura uniforme de 600 K. La temperatura del aire en el horno es de 400 K y el coeficiente de transferencia de calor por convección entre la esfera y el horno es 15 ($W/m^2 \cdot K$).

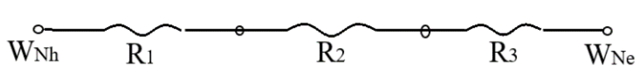
a) Determine la transferencia neta de calor a la esfera cuando su temperatura es de 300 K.
b) ¿Cuál será la temperatura de estado estable de la esfera?



a) <u>Transferencia de calor a la esfera</u>

$q_e = q_{he} + q_c$; e = esfera; h = horno ; c = convección

Cálculo de q_{he}:



$$R_1 = \frac{1-\varepsilon_h}{A_h \varepsilon_h} = 0$$ ya que $\varepsilon_h = 1$ (horno de paredes negras)

$$R_2 = \frac{1}{A_h F_{he}} = \frac{1}{A_e F_{eh}} = \frac{1}{4 \cdot \Pi \cdot \left(\frac{0,03}{2}\right)^2 \cdot 1} = 353,67$$

$F_{eh} = 1$ ya que todo el calor que emite la esfera lo recibe el horno

$$R_3 = \frac{1-\varepsilon_e}{A_e \varepsilon_e} = \frac{1-0,8}{4 \cdot \Pi \cdot \left(\frac{0,03}{2}\right)^2 \cdot 0,8} = 88,42$$

$$q_{he} = \frac{W_{Nh} - W_{Ne}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{5,67 \cdot 10^{-8}[(600)^4 - (300)^4]}{0+353,67+88,42} = 15,58\ W$$

Cálculo de q_c:

$$q_c = h \cdot A \cdot (T_\infty - T_e) = 15 \cdot 4 \cdot \Pi \cdot \left(\frac{0,03}{2}\right)^2 \cdot (400 - 300) = 4,24\ W$$

Cálculo de q_e :

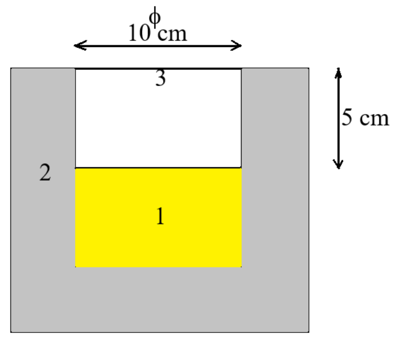
$$q_e = q_{he} + q_c = 15,58 + 4,24 = 19,82\ W$$

Temperatura de estado estable de la esfera

$$\frac{q}{A} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot [T_h^4 - T_e^4] + h \cdot (T_\infty - T_e) = 0$$

$$0,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8}[(600)^4 - T_e^4] + 15 \cdot (400 - T_e) = 0 \quad \rightarrow \quad T_e = 538,2\ K$$

Un bloque de grafito tiene una cavidad cilíndrica de 10 cm de diámetro que sirve como crisol para experimentos de laboratorio. El bloque es calentado por la parte inferior y las paredes están bien aisladas. La cavidad se llena con un material fundido a 600 K hasta 5 cm por debajo de la abertura. ¿Cuál será la velocidad de pérdida de calor por radiación desde el material fundido, si el medio ambiente está a 300 K y las superficies se suponen negras? Suponga que las paredes son adiabáticas ($q_{paredes} = 0$)



Flujo de calor a través de la superficie 1

$q_1 = q_{12} + q_{13}$

$$q_1 = \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{A_1 F_{12}}} + \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_3^4)}{\frac{1}{A_1 F_{13}}}$$

$T_1 = 600$ K ; $T_3 = 300$ K ; $T_2 = ?$

Cálculo de A_1:

$$A_1 = \frac{\Pi \cdot D^2}{4} = \frac{\Pi \cdot (0{,}1)^2}{4} = 0{,}00785\ m^2$$

Cálculo de F_{13}:

$r_1 = 5$ cm $\quad R_1 = \frac{r_1}{s} = \frac{5}{5} = 1$

$r_2 = 5$ cm $\quad$ Gráficamente: $F_{13} \approx 0{,}38$

$s = 5$ cm $\quad R_2 = \frac{r_2}{s} = \frac{5}{5} = 1$

Cálculo de F_{12}:

$F_{12} + F_{13} = 1 \rightarrow F_{12} = 1 - F_{13} = 1 - 0{,}38 \rightarrow F_{12} = 0{,}62$

Cálculo de T_2:

Debido a que las paredes son adiabáticas se tiene que $q_2 = 0$

$$q_2 = q_{21} + q_{23} = \frac{\sigma \cdot (T_2^4 - T_1^4)}{\frac{1}{A_2 F_{21}} +} + \frac{\sigma \cdot (T_2^4 - T_3^4)}{\frac{1}{A_2 F_{23}}} = 0$$

Por simetría: $F_{21} = F_{23}$

$$\rightarrow (T_2^4 - T_1^4) + (T_2^4 - T_3^4) = 0$$

$$[T_2^4 - (600)^4] + [T_2^4 - (300)^4] = 0 \quad \rightarrow \quad T_2 = 512{,}2\ K$$

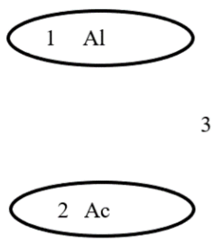
<u>Cálculo de q_1:</u>

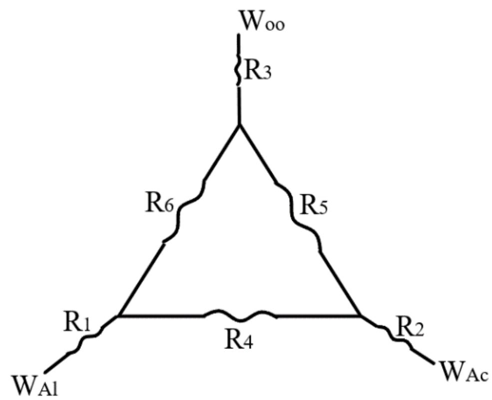
$$q_1 = \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{A_1 F_{12}}} + \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_3^4)}{\frac{1}{A_1 F_{13}}} = \frac{5{,}72 \cdot 10^{-8} \cdot [(600)^4 - (512{,}2)^4]}{\frac{1}{0{,}00785 \cdot 0{,}62}} + \frac{5{,}72 \cdot 10^{-8} \cdot [(600)^4 - (300)^4]}{\frac{1}{0{,}00785 \cdot 0{,}38}} =$$

$$= 16{,}92 + 20{,}73 = 37{,}65\ W$$

Dos placas circulares y paralelas entre sí, ambas de 1,5 m de diámetro, están espaciadas a 60 cm. Una de ellas es de aluminio (cuerpo 1, ε = 0,25) y se mantiene a 500 °C y la otra es de acero inoxidable pulido (cuerpo 2, ε =0,25) y está a 90 °C. Se puede suponer que el medio ambiente absorbe toda la energía que escapa a este sistema (cuerpo 3). Encontrar:

a) La pérdida de energía neta de la superficie caliente
b) La ganancia (o pérdida) de energía neta de la superficie de acero inoxidable
c) El intercambio de energía neta entre las dos superficies circulares
d) La energía total perdida al medio ambiente





$$R_1 = \frac{1-\varepsilon_1}{A_1\varepsilon_1} = \frac{1-0{,}09}{\frac{\Pi\cdot(1{,}5)^2}{4}\cdot 0{,}09} = 5{,}7217$$

$$R_2 = \frac{1-\varepsilon_2}{A_2\varepsilon_2} = \frac{1-0{,}25}{\frac{\Pi\cdot(1{,}5)^2}{4}\cdot 0{,}25} = 1{,}6977$$

$R_3 = \frac{1-\varepsilon_3}{A_3\varepsilon_3} = 0$; $\varepsilon_3 = 1$ y además A_3 es grande

$$R_4 = \frac{1}{A_1F_{12}} = \frac{1}{\frac{\Pi\cdot(1{,}5)^2}{4}\cdot 0{,}47} = 1{,}2040$$

$s = 0{,}6$ $\quad R_1 = \frac{r_1}{s} = \frac{0{,}75}{0{,}6} = 1{,}25$

$r_1 = 0{,}75$ $\quad$ Gráficamente $F_{12} \approx 0{,}47$

$r_2 = 0{,}75$ $\quad R_2 = \frac{r_2}{s} = \frac{0{,}75}{0{,}6} = 1{,}25$

$$R_5 = \frac{1}{A_2F_{23}} = \frac{1}{\frac{\Pi\cdot(1{,}5)^2}{4}\cdot 0{,}53} = 1{,}067$$

$$F_{12} + F_{13} = 1 \rightarrow F_{13} = 0{,}53$$

$$F_{12} = F_{21} = 0{,}47 \; ; \; F_{21} + F_{23} = 1 \rightarrow F_{23} = 0{,}53$$

$$R_6 = \frac{1}{A_1F_{13}} = \frac{1}{\frac{\Pi\cdot(1{,}5)^2}{4}\cdot 0{,}53} = 1{,}067$$

a) Pérdida de energía de la superficie caliente

$$q_1 = q_{12} + q_{13} = \frac{\sigma \cdot \left(T_1^4 - T_2^4\right)}{R_1 + R_4 + R_2} + \frac{\sigma \cdot \left(T_1^4 - T_3^4\right)}{R_1 + R_6 + R_3} =$$

$$= \frac{5{,}67 \cdot 10^{-8} \left[(773)^4 - (363)^4\right]}{5{,}7217 + 1{,}2040 + 1{,}6977} + \frac{5{,}67 \cdot 10^{-8} \left[(773)^4 - (298)^4\right]}{5{,}7217 + 1{,}067 + 0}$$

$$q_1 = 2233{,}42 + 2918{,}20 = 5151{,}63 \ W$$

b) Ganancia (o pérdida) de energía de la superficie de acero inoxidable

$$q_2 = q_{21} + q_{23} = \frac{\sigma \cdot \left(T_2^4 - T_1^4\right)}{R_2 + R_4 + R_1} + \frac{\sigma \cdot \left(T_2^4 - T_3^4\right)}{R_2 + R_5 + R_3} =$$

$$= \frac{5{,}67 \cdot 10^{-8} \left[(363)^4 - (773)^4\right]}{1{,}6977 + 1{,}2040 + 5{,}7217} + \frac{5{,}67 \cdot 10^{-8} \left[(363)^4 - (298)^4\right]}{1{,}6977 + 1{,}067 + 0}$$

$$q_2 = -2233{,}42 + 194{,}43 = -2039 \ W$$

c) Intercambio de energía neto entre las dos superficies circulares

$$q_{12} = \frac{\sigma \cdot \left(T_1^4 - T_2^4\right)}{R_1 + R_4 + R_2} = \frac{5{,}67 \cdot 10^{-8} \left[(773)^4 - (363)^4\right]}{5{,}7217 - + 1{,}2040 + 1{,}6977} = 2233{,}42 \text{ W}$$

d) Energía total perdida al medio ambiente

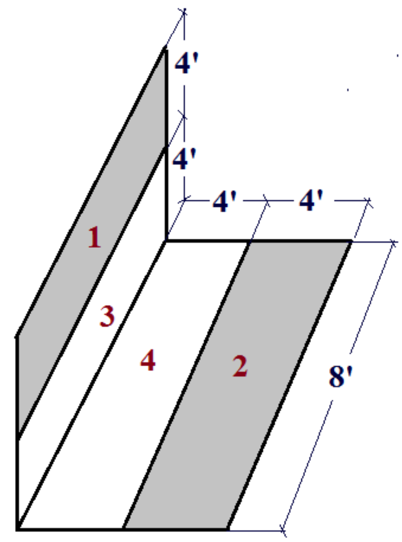
$$q_3 = q_{13} + q_{23} = + \frac{\sigma \cdot \left(T_1^4 - T_3^4\right)}{R_1 + R_6 + R_3} + \frac{\sigma \cdot \left(T_2^4 - T_3^4\right)}{R_2 + R_5 + R_3} =$$

$$= \frac{5{,}67 \cdot 10^{-8} \left[(773)^4 - (298)^4\right]}{5{,}7217 + 1{,}067 + 0} + \frac{5{,}67 \cdot 10^{-8} \left[(363)^4 - (298)^4\right]}{1{,}6977 + 1{,}067 + 0}$$

$$= 2918{,}20 + 194{,}43 = 3112{,}63$$

Se cumple que $q_1 = q_2 + q_3 \rightarrow$ 5151,63 = 2039 + 3112,63

Determine el factor de posición F_{12} para las superficies siguientes:



$$A_{13}F_{(13)2} = A_{13}F_{(13)(42)} - A_{13}F_{(13)4}$$

$$A_1F_{12} = A_{13}F_{(13)2} - A_3F_{32}$$

$$A_3F_{3(42)} = A_3F_{34} + A_3F_{32}$$

<u>Determinación de</u> $F_{(13)42}$

a = 8 ; b = 8 ; c = 8 ; $\Rightarrow N = \frac{a}{b} = \frac{8}{8} = 1$; $L = \frac{c}{b} = \frac{8}{8} = 1$

$\Rightarrow$ Gráficamente: $F_{(13)42} = 0{,}2$

<u>Determinación de</u> $F_{(13)4}$

a = 4 ; b = 8 ; c = 8 ; $\Rightarrow N = \frac{a}{b} = \frac{4}{8} = 0{,}5$; $L = \frac{c}{b} = \frac{8}{8} = 1$

$\Rightarrow$ Gráficamente: $F_{(13)4} = 0{,}15$

Determinación de $F_{3(42)}$

a = 8 ; b = 8 ; c = 4 ; ⇒ $N = \frac{a}{b} = \frac{8}{8} = 1$; $L = \frac{c}{b} = \frac{4}{8} = 0{,}5$

⇒ Gráficamente: $F_{3(42)} = 0{,}3$

Determinación de F_{34}

a = 4 ; b = 8 ; c = 4 ; ⇒ $N = \frac{a}{b} = \frac{4}{8} = 0{,}5$; $L = \frac{c}{b} = \frac{4}{8} = 0{,}5$

⇒ Gráficamente: $F_{34} = 0{,}25$

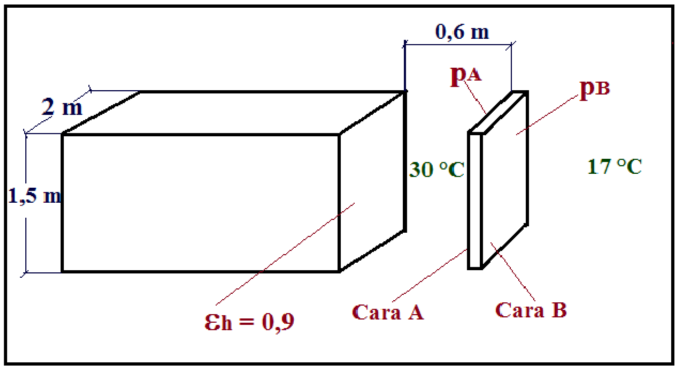
$$F_{32} = F_{3(42)} - F_{34} = 0{,}3 - 0{,}25 = 0{,}05$$

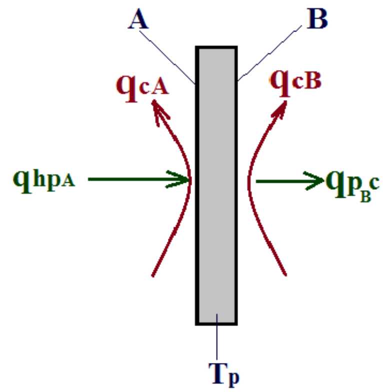
$$A_{13}F_{(13)2} = A_{13}F_{(13)(42)} - A_{13}F_{(13)4} = 64 \cdot 0{,}2 - 64 \cdot 0{,}15 = 3{,}2$$

$$A_1F_{12} = A_{13}F_{(13)2} - A_3F_{32} \Rightarrow F_{12} = \frac{A_{13}F_{(13)2} - A_3F_{32}}{A_1}$$

$$F_{12} = \frac{3{,}2 - 3{,}2 \cdot 0{,}05}{32} = 0{,}05 \Rightarrow \boldsymbol{F_{12} = 0{,}05}$$

Se tiene un horno cuyas paredes están a una temperatura de 327 °C. Para proteger al personal que circula por los costados se ha colocado una plancha de acero. La cara A tiene una $\varepsilon_A = 0{,}3$ y la cara B una $\varepsilon_B = 0{,}85$. La temperatura del aire, al igual que la de las paredes, el techo y el piso puede ser estimada en 17 °C, salvo el aire entre el horno y la placa que tiene 30 °C. Determine la temperatura que alcanza la placa considerando convección y radiación, despreciando la conducción en la placa. El coeficiente de convección entre el horno y la placa es de 8 $(kcal/hr \cdot m^2 \cdot °C)$.

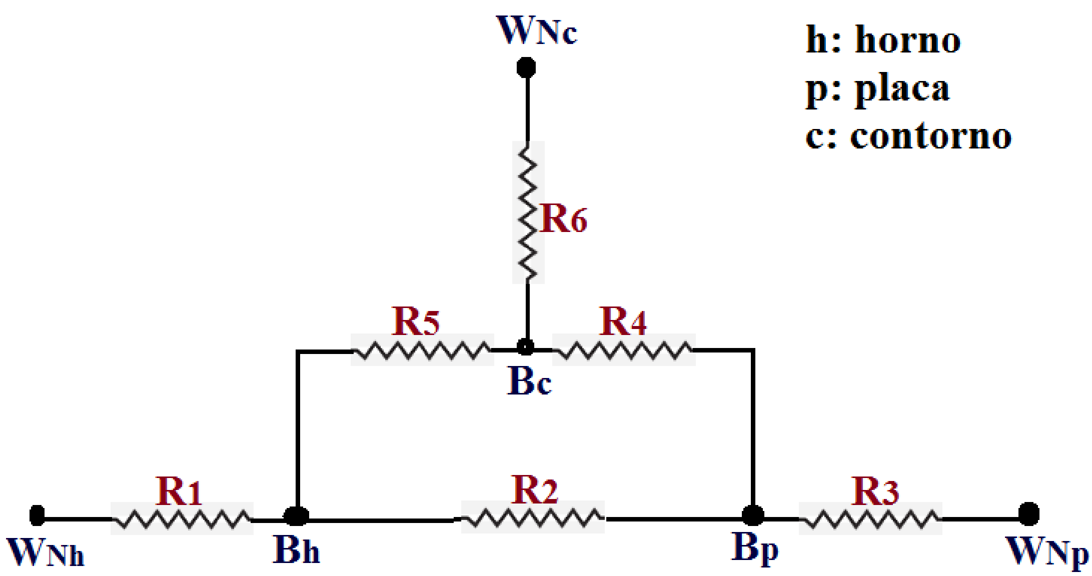




El balance de calor en la placa es:

$$q_{hp_A} \; + \; q_{c_A} \; = \; q_{p_B c} \; + \; q_{c_B}$$

1°/ Cálculo de $q_{h_{pA}}$



$$q_{h_{pA}} = \frac{W_{Nh} - W_{Np}}{R_1 + R_{eq} + R_3}$$

$$R_1 = \frac{1-\varepsilon_h}{A_h \varepsilon_h} = \frac{1-0,9}{3\cdot 0,9} = 0,037\ (1/m^2)$$

$$R_2 = \frac{1}{A_h \cdot F_{hp_A}} = \frac{1}{3 \cdot 0{,}53} = 0,629 \ (1/m^2)$$

$c = 0,6$; $a = 1,5$; $b = 2$ $\Rightarrow$ $\gamma = \frac{a}{c} = 2,5$; $x = \frac{b}{c} = 3,33$

Gráficamente: $F_{hp_A} \approx 0,53$

$$R_3 = \frac{1-0{,}3}{3 \cdot 0{,}3} = 0{,}777 \ (1/m^2)$$

$$R_4 = \frac{1}{A_c \cdot F_{cp_A}} = \frac{1}{A_{p_A} \cdot F_{p_A c}} = \frac{1}{3 \cdot 0{,}47} = 0,71 \ (1/m^2)$$

$A_c F_{cp_A} = A_{p_A} \cdot F_{p_A c}$ $\quad$ $A_{p_A} \cdot F_{p_A h} = A_h \cdot F_{hp_A}$ $\quad$ $A_{p_A} = A_h$

$F_{p_A h} + F_{p_A c} = 1$ $\quad$ $F_{p_A h} = F_{hp_A} = 0,53$

$F_{p_A c} = 1 - 0{,}53 = 0{,}47$

$$R_5 = \frac{1}{A_c F_{ch}} = \frac{1}{A_h \cdot F_{hc}} = \frac{1}{3 \cdot 0{,}47} = 0,71 \ (1/m^2)$$

$F_{hc} + F_{hp_A} = 1 \quad \Rightarrow \quad F_{hc} = 1 - F_{hp_A} = 1 - 0,53 = 0,47$

$F_{hc} = 0,47$

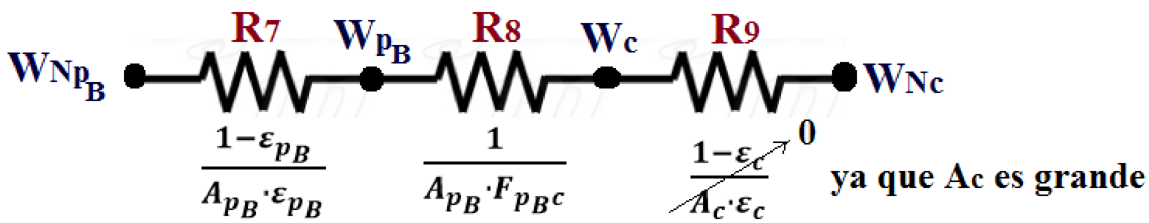
$$\frac{1}{R_{equiv}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4 + R_5} = \frac{1}{0,629} + \frac{1}{0,71 + 0,71}$$

$$\Rightarrow \quad R_{equiv} = 0,43 \ (1/m^2)$$

$$q_{h_{pA}} = \frac{W_{Nh} - W_{Np}}{R_1 + R_{eq} + R_3} = \frac{\sigma\left(T_h^4 - T_p^4\right)}{R_1 + R_{eq} + R_3} = \frac{5{,}77 \cdot 10^{-8}\left(T_h^4 - T_p^4\right)}{0{,}037 + 0{,}43 + 0{,}777}$$

$$\Rightarrow \ q_{h_{pA}} = 4,714 \cdot \left(T_h^4 - T_p^4\right)$$

2°/ Cálculo de $q_{p_B c}$



$$\boldsymbol{q_{p_B c} = \frac{W_{Np_B} - W_{Nc}}{R_7 + R_8 + R_9}}$$

$$R_7 = \frac{1-\varepsilon_{p_B}}{A_{p_B}\cdot\varepsilon_{p_B}} = \frac{1-0{,}85}{3\cdot 0{,}85} = 0{,}1275\ (1/m^2)$$

$$R_8 = \frac{1}{A_{p_B}\cdot F_{p_B}} = \frac{1}{3\cdot 1} = 0{,}333\ (1/m^2)$$

$R_9 = \frac{1-\varepsilon_c}{A_c\cdot\varepsilon_c} \approx 0$ ya que Ac es grande

$$q_{p_B c} = \frac{W_{Np_B} - W_{Nc}}{R_7 + R_8 + R_9} = \frac{5{,}77\cdot 10^{-8}\left(T_p^4 - T_c^4\right)}{0{,}1275+0{,}333+0}$$

$$\boldsymbol{\Rightarrow\ q_{p_B c} = 12{,}53\cdot 10^{-8}\left(T_p^4 - T_c^4\right)}$$

3°/ Cálculo de q_{cA}

$$q_{cA} = h\cdot A_{p_A}\left(T_{\infty 1} - T_p\right) = 8\cdot 3\left(T_{\infty 1} - T_p\right)$$

$$\boldsymbol{\Rightarrow q_{cA} = 24\left(T_{\infty 1} - T_p\right)}$$

4°/ Cálculo de q_{cB}

$$q_{cB} = h\cdot A_{p_B}\left(T_p - T_{\infty 2}\right) = 8\cdot 3\left(T_p - T_{\infty 2}\right)$$

$$\Rightarrow \boldsymbol{q_{cB} = 24\,(T_p - T_{\infty 2})}$$

5°/ Cálculo de $\boldsymbol{T_p}$

$$\boldsymbol{q_{hp_A} \; + \; q_{c_A} \; = \; q_{p_B c} \; + \; q_{c_B}}$$

$$4{,}714 \cdot (T_h^4 - T_p^4) + 24\,(T_{\infty 1} - T_p) = 12{,}53 \cdot 10^{-8}\,(T_p^4 - T_c^4) + 24\,(T_p - T_{\infty 2})$$

Donde

$T_h = 327\ °C$
$T_c = 17°C$
$T_{\infty 1}$ = 30 °C
$T_{\infty 2} = 17°C$

Iterando se tiene que: $\boldsymbol{T_p = 93\ °C}$