

**Problema 1**

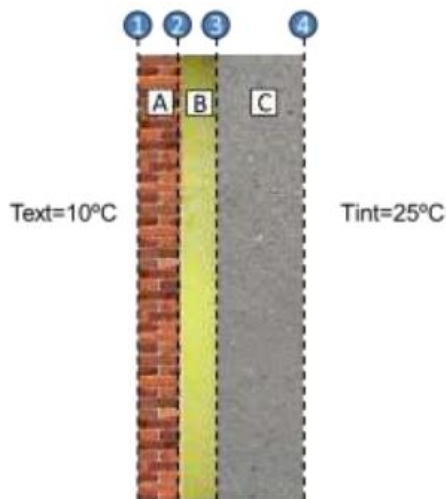
Un muro de ladrillo de conductividad  $k=0.6 \text{ kcal/h}\cdot\text{m}\cdot^\circ\text{C}$  tiene un espesor de 20 cm y sus superficies se encuentran a  $20^\circ\text{C}$  y  $10^\circ\text{C}$  respectivamente.

- a. Calcule el flujo de calor en  $\text{W/m}^2$
- b. Si el área del muro es de  $9\text{m}^2$ , calcule el flujo de calor total.
- c. Suponiendo que estas condiciones permanecieran invariables durante un mes de 31 días. ¿Cuál sería la energía transmitida a través del muro? (dé el valor en kWh, MJ y  $\text{kWh/m}^2$ )

**Problema 2**

Un muro se compone de tres capas tal como se ve en la figura. La temperatura del aire en el interior es de 25°C y en el exterior de 10°C. La transferencia de calor se encuentra en estado estable.

- Calcule la resistencia térmica del muro ( $R_{1-4}$ )
- Calcule el Coeficiente global de transferencia de calor ( $U_{\text{aire-aire}}$ )
- Calcule el flujo de calor en  $\text{W/m}^2$
- Calcule las temperaturas de las superficies 1,2,3,4
- Haga un esquema aproximado del perfil de temperaturas



$$k_A = 0.8 \text{ W/mK (ladrillo)}$$

$$k_B = 0.04 \text{ W/mK (aislamiento)}$$

$$k_C = 1.1 \text{ W/mK (hormigón)}$$

$$e_A = 0.1 \text{ m}$$

$$e_B = 0.06 \text{ m}$$

$$e_C = 0.25 \text{ m}$$

$$h_{cvi} = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{cve} = 20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**Problema 3 (febrero de 2013)**

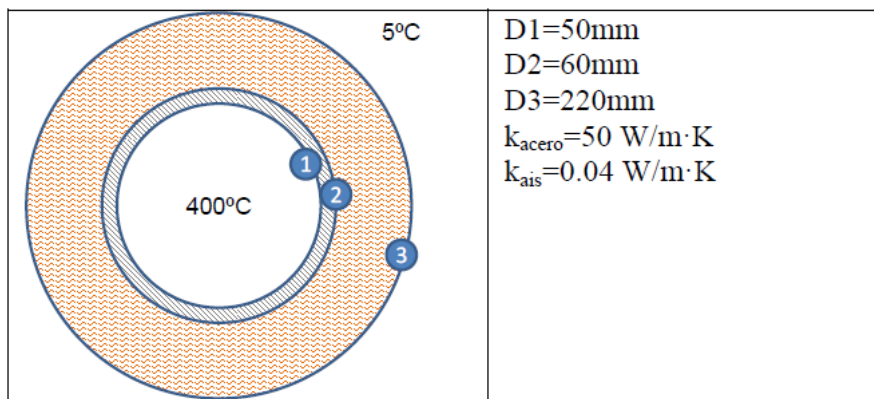
Una tubería por la que circula vapor a  $400^{\circ}\text{C}$  se encuentra expuesta al ambiente exterior que está a  $5^{\circ}\text{C}$ , no hay ni radiación que incida sobre la superficie exterior.

Calcule:

1. Temperatura superficial exterior ( $T_3$ ) (una iteración)
2. Coeficiente de película convectivo exterior (una iteración)
3. El flujo total de calor por metro lineal de tubería (pérdidas de calor)

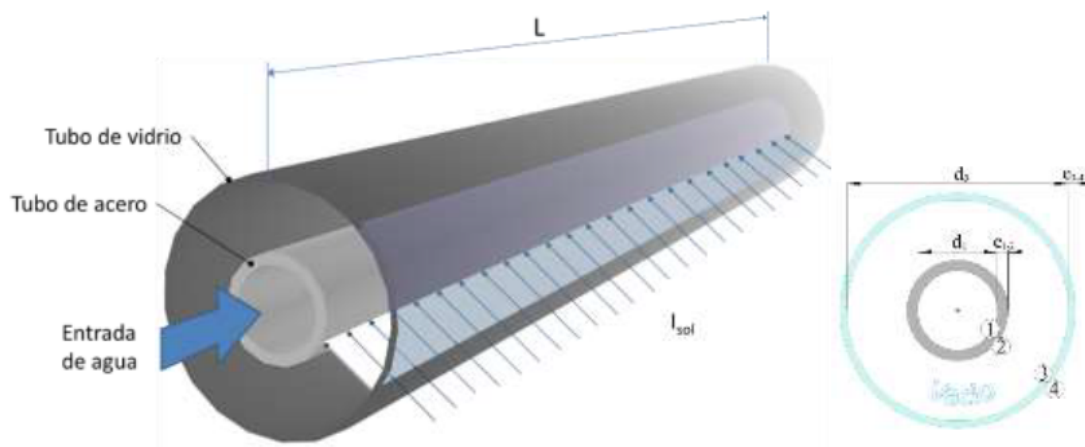
Suponga que la temperatura superficial interior de la tubería es igual a la del vapor.

(Para el cálculo de las propiedades que se encuentran en las tablas, no es necesario interpolar)



**Problema 4**

El tubo absorbedor de una instalación solar se compone de un tubo de acero rodeado por un tubo de cristal dejando un espacio entre los dos que se encuentra al vacío. Por el tubo de acero fluye agua. Sobre el tubo de cristal incide una radiación solar 5.0 kW por cada metro de longitud del tubo. Parte de ese calor se transfiere al agua lo que produce su incremento de temperatura. Resuelva el problema de transferencia de calor (flujos de calor y temperaturas) del tubo que se describe a continuación



Longitud de la tubería = 50m	$T_{\text{aire exterior}} = 20^{\circ}\text{C}$
$d_1 = 55\text{mm}$	$T_{\text{radiante entorno exterior}} = 15^{\circ}\text{C}$
$e_{1,2} = 3\text{mm}$	$T_{\text{entrada agua}} = 60^{\circ}\text{C}$
$d_3 = 125\text{mm}$	Velocidad agua de entrada = 1m/s
$e_{3,4} = 4\text{mm}$	Conductividad cristal = 0.5 W/m·K
No hay viento en el exterior (aire en calma)	Conductividad acero = 60 W/m·K
Emisividad superficie 2 = 0.6	Emisividad superficie 3 = 0.3
Absortividad solar superficie 2 = 0.9	Emisividad superficie 4 = 0.7
Transmitancia solar cristal = 0.87	
Los datos que se quiere conocer son: Temperatura de salida del agua Pérdidas de calor (flujo de calor desde 4 hacia el exterior) Eficiencia del tubo = $\text{Incremento de energía interna del agua} \div \text{Radiación solar incidente}$	
Suponga despreciable la resistencia de la tubería de acero. Suponer que la radiación solar incide sobre el tubo desde todas las direcciones con una intensidad uniforme. (Este supuesto puede ser cercano a la realidad los casos en los que se cuente con un reconcentrador solar, dado que la radiación incide desde todas las direcciones sobre el tubo)	

### Problema 5

Un muro de un edificio de 3 m de altura, está compuesto de 3 capas: Una capa de ladrillo de 11.5 cm de espesor, seguida por una capa de vacío de 5 cm de espesor, y una última de ladrillo de 11.5 cm de espesor. Considerando que el aire interior se encuentra a 22°C y el aire exterior a 15°C y que sobre la cara exterior del muro incide una radiación solar (onda corta) de 200 W/m<sup>2</sup>. Calcular:

- Los flujos de calor por área de muro (densidad de flujo). [40%]
- Temperaturas intermedias encada capa del muro. [35%]
- La generación de entropía dentro de la capa exterior de ladrillo por área de muro. [25%]

DATOS: Absortividad de corta del ladrillo ( $\alpha$ ) = 0.2  
Emisividad ladrillo ( $\epsilon$ ) = 0.85  
Conductividad ladrillo ( $k$ ) = 0.991 W/(mK)

AYUDA: Coeficiente de película radiante equivalente entre dos superficies planas:

$$h_{rd} = \frac{4\sigma T_m^3}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

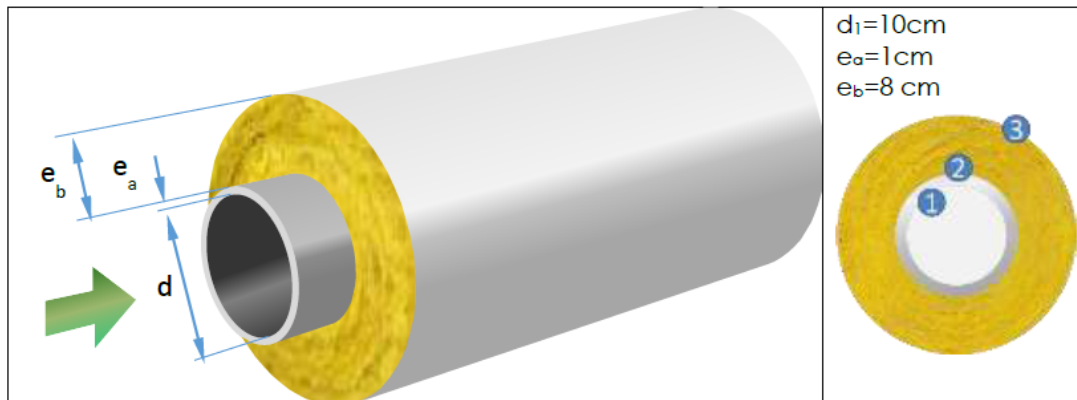
NOTA:  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$   
Realizar como mínimo una iteración completa, indicando los valores que se usarían para la segunda iteración.

**Problema 6 (junio de 2014)**

A una tubería de 50m de longitud ingresa un flujo de vapor saturado a 100 bares de presión y una tasa de 1 kg/s. La tubería es de acero ( $k_s = 55\text{W/m}\cdot\text{K}$ ) y se encuentra recubierta por un aislamiento de conductividad  $k_a = 0.08\text{W/m}\cdot\text{K}$ . La superficie exterior del aislamiento se encuentra recubierta por una capa cuya emisividad de onda larga es de 0.4 y una absorptividad solar de 0.3. Las condiciones exteriores son:  $T_{\text{air}} = 10^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{radiante, exterior}} = 0^\circ\text{C}$  y existe un viento perpendicular a la tubería de 5 m/s. Considere que por cada metro de longitud de tubería incide una radiación solar ( $I_{\text{sol}}$ ) de 100 W.

*Ayudas: considere que el coeficiente convectivo interior es de  $5000\text{ W/m}^2\text{K}$  (No lo calcule), y para la primera aproximación tome un coeficiente convectivo exterior de  $80\text{ W/m}^2\text{K}$  (este último sí debe calcularlo)*

$$h_{rde} = 4\sigma\epsilon T^3 \quad \sigma = 5.6704 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4}$$



Calcule:

1	Resistencia térmica desde el interior de la tubería hasta la superficie 3	0.03374	K/W	0.5
2	Calor generado por la radiación solar sobre superficie 3	1500	W	0.5
3	Calor perdido por el vapor con la primera aproximación	8858	W	1.0
4	Temperatura superficie 3 con la primera aproximación	12.18	$^\circ\text{C}$	1.0
5	Correlación utilizada para el cálculo del coeficiente convectivo exterior $h_{cve}$	$2. Nu = c * Re^\wedge n * Pr^\wedge (1/3)$		0.5
6	Valor del coeficiente convectivo exterior $h_{cve}$ (calculado)	22.14	W/m <sup>2</sup> K	2.0
7	Valor coeficiente radiante exterior $h_{rde}$ (calculado)	1.975	W/m <sup>2</sup> K	1.0
8	Calor perdido por el vapor con los valores calculados	8663	W	1.0
9	Temperatura superficie 3 con los valores calculados	18.76	$^\circ\text{C}$	1.0
10	Velocidad de generación de entropía en el volumen de control comprendido entre las superficies 1 y 3	14.84	W/K	1.5

### Problema 7

Las temperaturas en las superficies interior y exterior de una pared plana de 0,60 m de espesor se mantienen constantes a 773 y 323 K, respectivamente. El material tiene una conductividad calorífica que varía linealmente con la temperatura, de acuerdo con la expresión  $k = 0.42(0.454 + 0.002 T)$  kJ/h m k. Determinar:

- a. El punto en que diferirá más el perfil real de temperaturas del que existiría si la pared fuera de conductividad constante e igual a 0.42 kJ/h m k, y la diferencia de temperaturas en dicho punto.
- b. Calcular el flujo de calor para ambos casos.

### Problema 8

Agua procedente de una fuente termal circula por una tubería a una velocidad de 1 m/s. El agua sale del manantial a 80°C y ha de recorrer una distancia de 500 m. de forma que la temperatura no baje de 75°C. La temperatura ambiente exterior es de 5°C. Para la conducción se utiliza una tubería de plomo de 30/40 mm ( $K=30 \text{ kcal/hm}^{\circ}\text{C}$ ) y se dispone de aislante de lana mineral ( $K=0.046 \text{ kcal/hm}^{\circ}\text{C}$ ). Calcular el espesor del aislante necesario en los siguientes supuestos:

- a. Aire exterior en reposo.
- b. Aire se mueve transversalmente a una velocidad de 4.5 m/s.



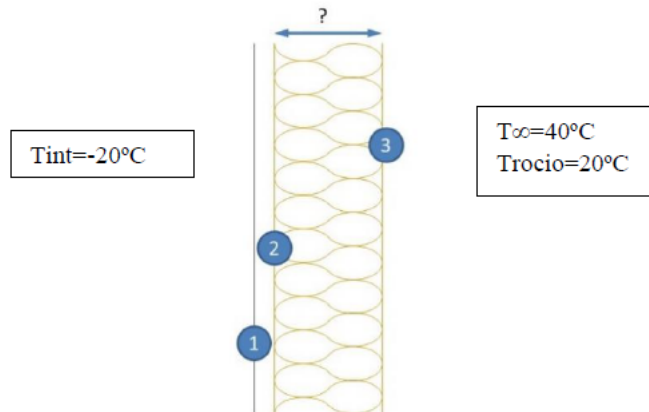
### Problema 9

El cerramiento vertical de 3 m de un edificio está compuesto por una capa exterior de ladrillo revestido ( $k=1.31\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ ) de 10 cm de espesor seguida por 15 cm de ladrillo corriente ( $k=0.7\text{W/m}^{\circ}\text{C}$ ). La temperatura ambiente exterior es de  $38^{\circ}\text{C}$  y la interior de  $21^{\circ}\text{C}$ . Se puede considerar en reposo el aire en ambas caras del cerramiento. Determinar:

- a. Densidad de flujo de calor en régimen estable.
- b. Temperaturas superficiales exterior e interior.

**Problema 10 (junio de 2013)**

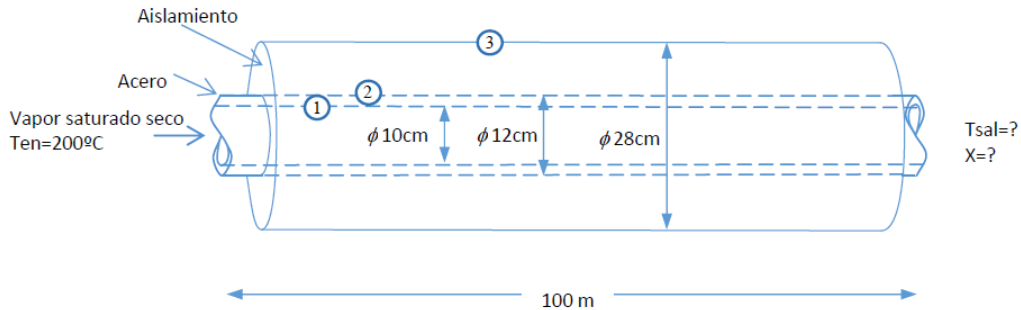
Una cámara frigorífica mantiene una temperatura interior de  $-20^{\circ}\text{C}$  y tiene una pared de 3m de alto y 5 de ancho expuesta al ambiente exterior. Dicha pared se recubre con aislamiento de conductividad  $0.05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  y cuyo espesor debe ser tal que evite la condensación de agua en su superficie exterior cuando la temperatura del aire es de  $40^{\circ}\text{C}$  y la temperatura de punto de rocío es  $20^{\circ}\text{C}$  y no hay viento. Determine el espesor mínimo del aislamiento suponiendo que la temperatura superficial interior de la capa de aislamiento ( $T_2$ ) tiene el mismo valor que la temperatura interior de la cámara.



Ecuaciones básicas de flujo de calor para este caso: calor por conducción y por convección-	$q = \frac{1}{r_{2-3}} (T_3 - T_2) = \frac{k_{aisl}}{e_{aisl}} (T_3 - T_2)$ $q = \frac{1}{r_{3-\infty}} (T_{\infty} - T_3) = h_{cve} (T_{\infty} - T_3)$			20%
T2	-20	°C		2%
T3	20	°C		10%
Correlación utilizada para convección	$\bar{Nu}_L = c \cdot Ra_L^n$ (Correlación 6)			15%
Temperatura media de película	30	°C		10%
Longitud característica	3	m		4%
Valor del número de Rayleigh	$4.92 \cdot 10^{10}$	-		10%
Valor de número de Nusselt	366	-		8%
Valor del coeficiente de película	3.16	$\text{W/m}^2\text{K}$		8%
Densidad de flujo de calor	63.2	$\text{W/m}^2$		4%
Flujo de calor total	948	W		4%
Espesor de aislamineto	3.16	cm		5%

**Problema 11 (junio de 2013)**

Por una tubería de 100 metros de longitud y 10cm de diámetro interior, circula un flujo másico de vapor de agua de 2222 kg/h. A la entrada el vapor es saturado seco y tiene una temperatura de 200°C. Suponiendo que las pérdidas de presión a lo largo de la tubería son despreciables (presión constante), y que la temperatura de la superficie exterior de la capa de aislamiento ( $T_3$ ) es de 10°C, determine el título de vapor a la salida de la tubería. Suponga que para todos los efectos relacionados con la convección en el interior de la tubería, el fluido se comporta como vapor saturado seco debido a la poca cantidad de agua líquida que se espera que se produzca.



Conductividad acero = 50W/m·K. Conductividad aislamiento= 0.08W/m·K

Tomar como aproximación inicial del coeficiente convectivo interior, el valor más bajo dado por el rango expuesto en la tabla "Ordenes de Magnitud del Coeficiente de Película", para el caso de convección aplicable a este ejercicio.

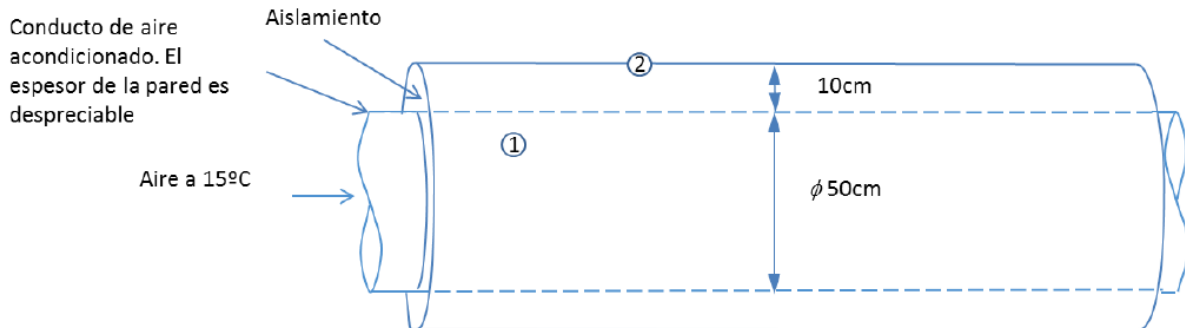
**Tabla de propiedades del vapor saturado seco**

T	$\rho$	$\mu \cdot 10^6$	$\nu \cdot 10^7$	$k \cdot 10^3$	$\alpha \cdot 10^7$	Pr
°C	kg/m <sup>3</sup>	Nt·s/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /s	W/m·K	m <sup>2</sup> /s	
194	6.946	15.51	22.32	38.82	20.57	1.085
196	7.239	15.58	21.52	39.19	19.74	1.090
198	7.541	15.65	20.75	39.56	18.94	1.095
200	7.854	15.71	20.01	39.93	18.19	1.100
202	8.177	15.78	19.30	40.31	17.46	1.105
204	8.511	15.85	18.63	40.69	16.77	1.111

Tsal	200	°C	4%
Tmedia_vapor $\bar{T}_{vap}$	200	°C	4%
Resistencia tubo acero $R_{tubo}$	5.80e-6	K/W	4%
Resistencia aislamiento $R_{aisla}$	1.69e-2	K/W	4%
Resistencia total con la aproximación inicial	1.69e-2	K/W	8%
Flujo de calor con la aproximación inicial	11.23	kW	8%
Velocidad del vapor en la tubería	10	m/s	8%
Temperatura media de película	199.6 ≈ 200	°C	8%
Correlación utilizada	$Nu_D = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3}$		8%
Longitud característica	0.1	m	4%
Número de Nusset (iteración 1)	860.5		8%
Coefficiente convectivo interior (iteración 1)	344	W/m <sup>2</sup> K	8%
Resistencia total (iteración 1)	1.70e-2	K/W	4%
Flujo de calor (iteración 1)	11.21	kW	4%
Entalpia a la entrada	2793	kJ/kg	4%
Entalpia a la salida	2775	kJ/kg	4%
Título de vapor a la salida	0.98		8%

**Problema 12 (septiembre de 2013)**

Por un conducto circular de aire acondicionado de 50 cm de diámetro interior, circula aire a una velocidad de 1 m/s y una temperatura de 15°C. El conducto tiene un recubrimiento de aislamiento de conductividad  $k=0.032 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  y de 10cm de espesor. Bajo ciertas condiciones, la temperatura de la superficie exterior de la capa de aislamiento es 30°C. Calcule las pérdidas de calor por metro de longitud de tubería, suponiendo que el espesor del conducto es despreciable. Suponga, como primera aproximación, un coeficiente de película interior de  $500 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$



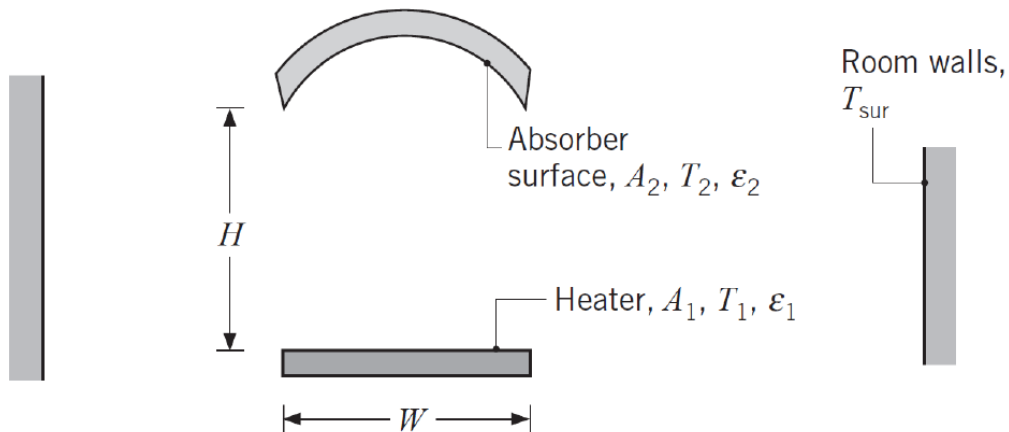
**Problema 13 (problema de clase 28.10.2015)**

Se hace circular agua por el interior de un tubo de 5 mm de diámetro a razón de 0.02 kg/s. La temperatura de entrada del agua es de 20°C. Sabiendo que el tubo se encuentra sumergido en un baño de agua a 50°C, calcular cuál debe ser la longitud del tubo para que el agua del tubo salga a 38°C.

Resultados: Longitud del tubo: 4.5 m.

**Problema 14 (problema de clase 11.11.2015)**

En fabricación, el recubrimiento especial sobre una superficie curva de absorción solar de área  $A_2 = 15 \text{ m}^2$  se cura mediante su exposición a un calentador infrarrojo de ancho  $W = 1 \text{ m}$ . El absorbedor y el calentador son cada uno de longitud  $L = 10 \text{ m}$  y están separados por una distancia  $H = 1 \text{ m}$ . El calentador está a  $T_1 = 1000 \text{ K}$  y tiene una emisividad de  $\varepsilon_1 = 0.9$ , mientras el absorbedor está a  $T_2 = 600 \text{ K}$  y tiene una emisividad de  $\varepsilon_2 = 0.5$ . El sistema se encuentra en un cuarto grande cuyas paredes están a  $T_{\text{sur}} = 300 \text{ K}$ . ¿Cuál es la transferencia neta de calor para la superficie de absorción? ¿Cuál es la temperatura del aire del cuarto?

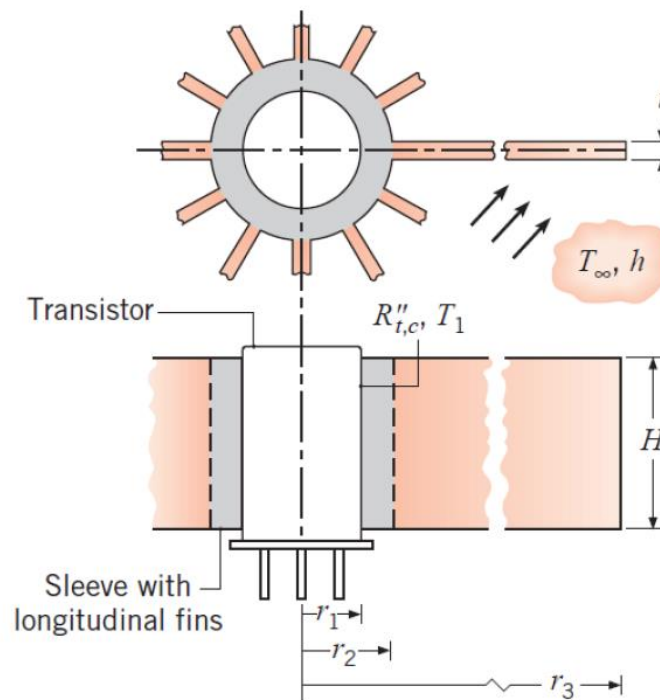

Datos adicionales:

- Coeficiente de película convectivo entre la superficie del absorbedor y el aire del cuarto:  $h_{cv_2} = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Resistencia térmica convectiva entre las superficies del cuarto y el aire del cuarto:  $R_{cv,sur} = 9.1 \cdot 10^{-3} \text{ K/W}$

**Problema 15 (problema de clase 13.01.2016)**

La transferencia de calor de un transistor se puede aumentar insertándolo en una base de aluminio ( $k = 200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ) que tiene 12 aletas longitudinales fabricadas integralmente sobre su superficie externa. El radio del transistor y la altura son 2 mm y 6 mm respectivamente, mientras que las aletas tienen una longitud de 10 mm y espesor uniforme de 0.7 mm. El espesor de la base de la manga es 1 mm, y la resistencia de contacto de la interfaz base-transistor es  $10^{-3} \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ . Aire a  $20^\circ\text{C}$  fluye sobre la superficie de la aleta, lo que proporciona un coeficiente de convección aproximadamente uniforme de  $25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ .

1. Suponiendo una transferencia unidimensional en la dirección radial, dibuje el circuito equivalente para la transferencia de calor de la caja del transistor al aire. Marque claramente cada resistencia.
2. Evalúe cada una de las resistencias en el circuito anterior. Si la temperatura de la caja del transistor es  $80^\circ\text{C}$ , ¿cuál es la rapidez de transferencia de calor de la base?

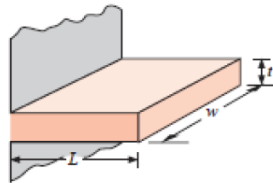


**Tabla de eficiencia de aletas**
**Straight Fins**
*Rectangular<sup>a</sup>*

$$A_f = 2wL_c$$

$$L_c = L + (t/2)$$

$$A_p = tL$$

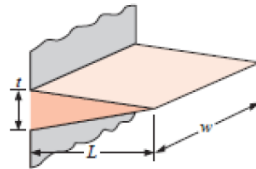


$$\eta_f = \frac{\tanh mL_c}{mL_c} \quad (3.94)$$

*Triangular<sup>a</sup>*

$$A_f = 2w[L^2 + (t/2)^2]^{1/2}$$

$$A_p = (t/2)L$$



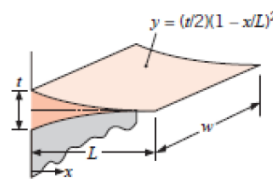
$$\eta_f = \frac{1}{mL} \frac{I_1(2mL)}{I_0(2mL)} \quad (3.98)$$

*Parabolic<sup>a</sup>*

$$A_f = w[C_1L + (L^2/t)\ln(t/L + C_1)]$$

$$C_1 = [1 + (t/L)^2]^{1/2}$$

$$A_p = (t/3)L$$



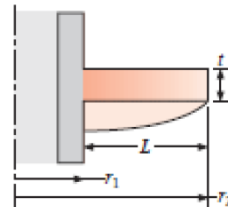
$$\eta_f = \frac{2}{[4(mL)^2 + 1]^{1/2} + 1} \quad (3.99)$$

**Circular Fin**
*Rectangular<sup>a</sup>*

$$A_f = 2\pi(r_{2c}^2 - r_1^2)$$

$$r_{2c} = r_2 + (t/2)$$

$$V = \pi(r_{2c}^2 - r_1^2)t$$



$$\eta_f = C_2 \frac{K_1(mr_1)I_1(mr_{2c}) - I_1(mr_1)K_1(mr_{2c})}{I_0(mr_1)K_1(mr_{2c}) + K_0(mr_1)I_1(mr_{2c})} \quad (3.96)$$

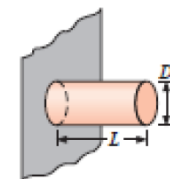
$$C_2 = \frac{(2r_1/m)}{(r_{2c}^2 - r_1^2)}$$

**Pin Fins**
*Rectangular<sup>b</sup>*

$$A_f = \pi DL_c$$

$$L_c = L + (D/4)$$

$$V = (\pi D^2/4)L$$

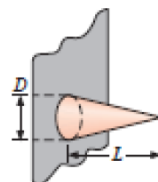


$$\eta_f = \frac{\tanh mL_c}{mL_c} \quad (3.100)$$

*Triangular<sup>b</sup>*

$$A_f = \frac{\pi D}{2} [L^2 + (D/2)^2]^{1/2}$$

$$V = (\pi/12)D^2L$$



$$\eta_f = \frac{2}{mL} \frac{I_2(2mL)}{I_1(2mL)} \quad (3.101)$$

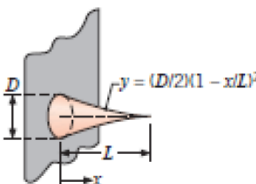
*Parabolic<sup>b</sup>*

$$A_f = \frac{\pi L^3}{8D} \{C_3 C_4 - \frac{L}{2D} \ln[(2DC_4/L) + C_3]\}$$

$$C_3 = 1 + 2(D/L)^2$$

$$C_4 = [1 + (D/L)^2]^{1/2}$$

$$V = (\pi/20)D^2L$$



$$\eta_f = \frac{2}{[4/9(mL)^2 + 1]^{1/2} + 1} \quad (3.102)$$

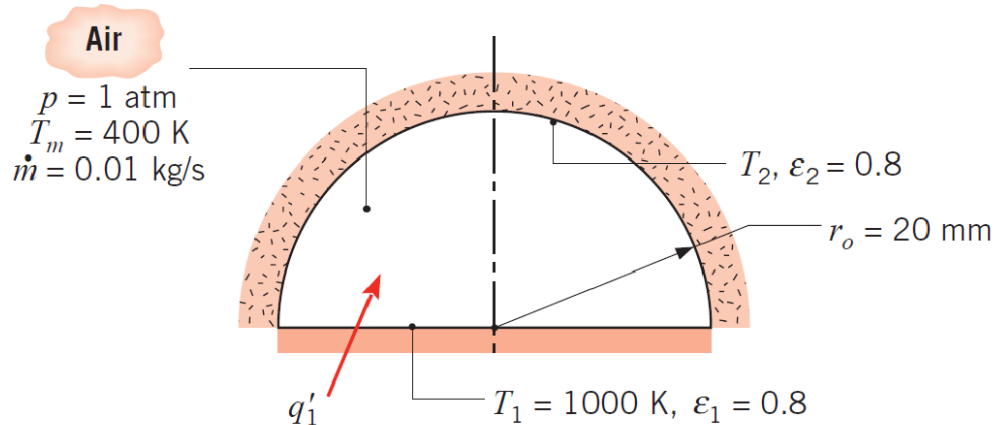
<sup>a</sup> $m = (2h/kt)^{1/2}$ .

<sup>b</sup> $m = (4h/kD)^{1/2}$ .



**Problema 16 (problema de clase 20.01.2016)**

Considere un calentador de aire de 1 m de longitud que consiste en un tubo semicircular para el que la superficie plana se mantiene a 1000 K y la otra superficie está bien aislada. El radio del tubo es 20 mm, y ambas superficies tienen una emisividad de 0.8. Si aire atmosférico fluye a través del tubo a 0.01 kg/s y la temperatura de entrada del aire es de 400 K, ¿cuál es la rapidez a la que se debe suministrar calor para mantener la superficie plana a 1000 K? ¿Cuál es la temperatura de la superficie aislada? Por último, ¿cuál es la temperatura de salida del aire?



Utilice la ecuación de Dittus-Boelter para el cálculo del coeficiente de película convectivo interior:

$$Nu_{Dh} = 0.023 \cdot Re_{Dh}^{4/5} \cdot Pr^{0.4}$$

siendo la longitud característica el diámetro hidráulico  $D_h$ :

$$D_h = 4 \cdot A/P$$

donde A es el área de la sección transversal del conducto y P su perímetro.

*Nota: Calcule las propiedades del aire a la temperatura de entrada.*

**Resultados:**

Flujo de calor suministrado: 2332 W

Temperatura de la superficie aislada: 766.7 K

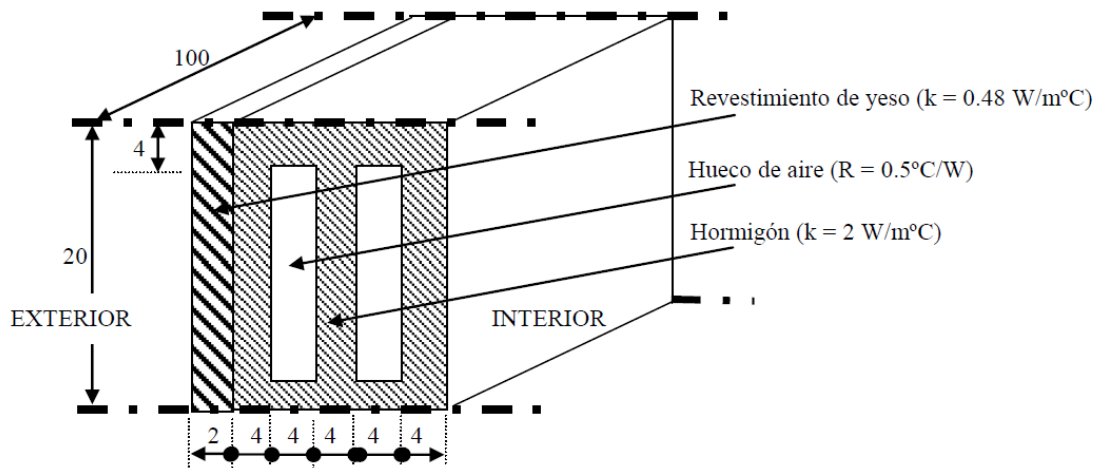
Temperatura de salida del aire: 618.3 K

**Problema 17 (problema de clase 14.10.2015)**

La pared exterior de una casa está compuesta por un revestimiento exterior de yeso y un bloque de hormigón como se ve en la figura.

Calcular la resistencia térmica ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ) de la sección de pared de la figura entre la superficie exterior del revestimiento y la interior del bloque de hormigón.

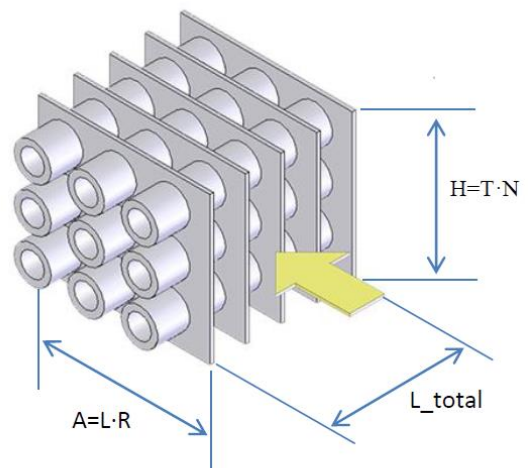
Calcular las temperaturas superficiales exterior e interior sabiendo que las temperaturas de aire exterior e interior son  $35^{\circ}\text{C}$  y  $25^{\circ}\text{C}$  respectivamente, y que sobre la cara exterior se tiene una radiación solar absorbida de  $20 \text{ W}/\text{m}^2$ . Suponer un coeficiente de película interior de  $2 \text{ W}/\text{m}^2\text{C}$ .



**Problema 18 (problema de clase 21.10.2015)**

Se desea diseñar el radiador de un coche para enfriar 1000 kg/h de agua que entra a 90°C cediéndole calor al aire impulsado por un ventilador a una velocidad máxima de 3.5 m/s y a una temperatura media de 30°C. El diseño buscado de radiador consiste en un banco de tubos aleteado con distribución en línea, en el que en cada tubo el agua recorre una única vez el ancho del radiador de izquierda a derecha. Sabiendo que el radiador consta de 35 tubos por fila (N) y 2 filas (R), con una separación entre filas (L) y entre tubos de una misma fila (T) de 25 mm, y que el diámetro interior de cada tubo es de 12.5 mm de un material conductor del que se puede despreciar su resistencia térmica, se pide:

1. Área total de aletas $A_a = \underline{\hspace{2cm}}$ (m <sup>2</sup> )	1
2. Área de transferencia total $A_T = \underline{\hspace{2cm}}$ (m <sup>2</sup> )	0.5
3. Coeficiente de película exterior $h_e = \underline{\hspace{2cm}}$ (W/m <sup>2</sup> K)	1
4. Eficiencia de una aleta $\eta_a = \underline{\hspace{2cm}}$ (-)	1
5. Eficiencia modificada de aletas $\eta'_a = \underline{\hspace{2cm}}$ (-)	1
6. Velocidad del agua en cada tubo $V_w = \underline{\hspace{2cm}}$ (m/s)	0.5
7. Coeficiente de película interior $h_i = \underline{\hspace{2cm}}$ (W/m <sup>2</sup> K)	1
8. Coeficiente global de transferencia $U = \underline{\hspace{2cm}}$ (W/m <sup>2</sup> K)	1
9. Flujo de calor intercambiado $\dot{Q} = \underline{\hspace{2cm}}$ (W)	1
10. Temperatura de salida del agua $T_{w_s} = \underline{\hspace{2cm}}$ (°C)	1
11. Temperatura media del agua $T_w = \underline{\hspace{2cm}}$ (°C)	1



Rellenad los resultados en la tabla anterior

Para el cálculo de la eficiencia modificada de aletas utilizar la siguiente expresión:

Siendo:

Datos adicionales:

- Longitud total del radiador,  $L_{total} = 1053$  mm
- Conductividad térmica del material de aletas,  $k_a = 235$  W/mK
- Espesor de aletas,  $e_a = 0.2$  mm
- Número total de aletas,  $n_a = 70$

**NOTA:** Calcular las propiedades del agua a las condiciones de entrada.

**Problema 19 (parcial diciembre de 2016)**

Un colector solar de alta temperatura se utiliza para calentar vapor de agua desde una temperatura de 500 °C hasta 700 °C (considérese una  $C_p = 2.56 \text{ kJ/kg.K}$ ), y para ello la superficie de captación (superficie 2 en la figura 2.1) debe estar a 750 °C. la geometría del colector es semi-cilíndrica. De radio 1 m y de alto 2 m. la superficie 1 es un cristal de transmisividad solar 0.9 y emisividad 0.6, por donde entra una cierta radiación solar que se proyecta completamente sobre la superficie interior del cilindro o superficie de captación. Esta superficie de captación tiene una absorptividad de 0.85 y una emisividad de 0.2.

Suponiendo que: los espesores del cristal y la superficie de captación son despreciables, que todo el calor absorbido por esta última es aprovechado para calentar el vapor, y que también son despreciables los intercambios radiantes y convectivos con las superficies superior e inferior que cierran el colector.

Otros datos:

- La temperatura de aire exterior es de 20 °C
- La temperatura radiante exterior es de 10 °C
- El coeficiente de película en el vapor de agua es de  $500 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , y en el aire interior del captador de  $30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Se pide:

- Factores de forma despreciando el intercambio radiante con las superficie superior e inferior
- Representar la analogía eléctrica
- Calcular  $\mathcal{E}'_{12}$
- Planteamiento de sistema de ecuaciones e incógnitas
- Explicación esquemática del procedimiento de cálculo
- Radiación solar incidente en la cara exterior de  $1 I_{\text{sol}} \text{ (kW/m}^2\text{)}$
- Coeficiente de película convectivo exterior  $h_{\text{cv,ext}} \text{ (W/m}^2\text{K)}$
- Coeficientes de película radiantes interior y exterior  $h_{\text{rd}} \text{ (W/m}^2\text{K)}$
- Temperatura del aire en el interior del colector
- Calcular el flujo másico de vapor  $m_{\text{vapor}} \text{ (kg/s)}$

**Problema 20 (febrero de 2017)**

Para limitar las pérdidas en una tubería horizontal por la que circula refrigerante a una temperatura constante de  $-20^{\circ}\text{C}$ , se coloca exteriormente un aislante de 2 cm de espesor que tiene una conductividad térmica  $0.08 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . La tubería tiene un radio interior de 5 cm y un espesor de 5 mm, y es de cobre de una conductividad térmica de  $380 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . La temperatura de aire exterior y la temperatura radiante exterior es de  $10^{\circ}\text{C}$  y  $-2^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Sabiendo que el refrigerante circula a una velocidad de 2 m/s, y que se forma una capa de hielo en la superficie exterior del aislante. se pide:

1. Dibujar la analogía eléctrica indicando claramente cada una de las resistencias térmicas que aparecen y cómo se calculan	0.5 p.
2. Correlación para el cálculo del coeficiente de película convectivo interior Correlación: _____	0.5 p.
3. Coeficiente de película convectivo interior $h_{cv\_int} = \text{_____} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	0.5 p.
4. Correlación para el cálculo del coeficiente de película convectivo exterior Correlación: _____	0.5 p.
5. Coeficiente de película convectivo exterior $h_{cv\_ext} = \text{_____} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	0.5 p.
6. Expresión del coeficiente de transferencia radiante de larga exterior $h_{rd\_ext} = \text{_____}$	0.5 p.
7. Pérdidas de calor por metro de longitud $\dot{q}_{\text{pérdidas}} = \text{_____} \text{ W/m}$	1 p.
8. Espesor de hielo que se forma en el exterior $e_{\text{hielo}} = \text{_____} \text{ mm}$	1 p.

Los resultados deben aparecer en la tabla anterior

Datos adicionales:

Conductividad del hielo:  $k_{\text{hielo}} = 2.22 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , emisividad de onda larga del hielo:  $\varepsilon = 0.9$ , conductividad del refrigerante:  $k_{\text{refrigerante}} = 0.071 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , viscosidad cinemática del refrigerante:  $\nu_{\text{refrigerante}} = 2.35 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , número de Prandtl del refrigerante:  $Pr_{\text{refrigerante}} = 4.4$

Ayuda:

Intercambio radiante de onda larga entre dos superficies 1 y 2 que forman un recinto en W (constante de Stefan-Boltzmann:  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4$ )

$$\dot{Q}_{12}^{rd} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1 - \varepsilon_1}{A_1 \varepsilon_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1 - \varepsilon_2}{A_2 \varepsilon_2}}$$

**Propiedades del aire seco a presión atmosférica:**

T ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$c_p$ ( $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$ )	$\mu \cdot 10^6$ ( $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$ )	$\nu \cdot 10^6$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	$k \cdot 10^3$ ( $\text{W/m}\cdot\text{K}$ )	$\alpha \cdot 10^6$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	Pr
5	1.269	1.006	17.54	13.82	24.01	18.8	0.735

Nusselt	$Nu = \frac{h L_c}{k}$	Relación entre la convección y conducción en un fluido.
Reynolds	$Re = \frac{u L_c}{\nu}$	Relación entre las fuerzas de inercia y viscosas.
Rayleigh	$Ra = Gr Pr = \frac{g \beta \Delta T L_c^3}{\nu \alpha}$	Relación entre el transporte de energía por conducción y por transporte en el seno de un fluido.
Grashof	$Gr = \frac{g \beta \Delta T L_c^3}{\nu^2}$	Relación entre las fuerzas de empuje y viscosas. (Convección libre o forzada)
Prandtl	$Pr = \frac{\nu}{\alpha}$	

### 3.1 Flujo externo

Convección Forzada		
1	Placa Plana	$\overline{Nu} = (0.037 Re^{0.8} - 871) Pr^{1/3}$
2	Conducto Circular	$\overline{Nu}_L = c Re_D^n Pr^{1/3}$ (Tabla 1)
3	Conducto no Circular	$\overline{Nu}_L = c Re_{De}^n Pr^{1/3}$ (Tabla 2)
4	Esfera	$\overline{Nu}_D = 2 + (0.48 Re_D^{1/2} + 0.06 Re_D^{2/3}) Pr^{0.4} \frac{\mu}{\mu_s}$
5	Banco de Tubos	$\overline{Nu}_D = 1.13 C_1 C_2 Re_{Dmax}^m Pr^{1/3}$ (Tabla 3 y 4)
Convección Libre		
6	Placa Plana Vertical	$\overline{Nu}_L = c Ra_L^n$ (Tabla 5)
7	Placa Plana Horizontal	$\overline{Nu}_L = c Ra_L^n$ (Tabla 6)
8	Placa Plana Inclinada	$\overline{Nu}_L = c (Ra_L \cos \theta)^n$ (Tabla 5)
9	Cilindro Vertical	$\overline{Nu}_L = c Ra_L^n$ (Tabla 5)
10	Cilindro Horizontal	$\overline{Nu}_D = c Ra_D^n$ (Tabla 5)

### 3.2 Flujo interno

Convección Forzada		
11	Conducto Circular	$\overline{Nu}_D = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3}$
12	Conducto no Circular	$\overline{Nu}_D = 0.023 Re_{De}^{0.8} Pr^{1/3}$ $De = 4A/P$
Convección Libre		
13	Recinto Rectangular	$\overline{Nu}_L = 0.069 Ra_L^{1/3} Pr^{0.074}$
14	Recinto Cilíndrico (Hor.)	$\overline{Nu}_D = 0.55 Ra_D^{1/4}$
15	Recinto Cilíndrico (Ver.)	$\overline{Nu}_D = 0.55 Ra_D^{1/4}$
16	Recinto Esférico	$\overline{Nu}_D = 0.13 Ra_D^{1/3}$

Tabla 5: Coeficientes de las correlaciones (6), (8), (9), y (10)

TIPO DE FLUJO	$Ra_L$	c	n
Laminar	$10^4$ a $10^9$	0.59	1/4
Turbulento	$10^9$ a $10^{13}$	0.10	1/3

**Problema 21 (febrero de 2017)**

Se pretende calentar separadamente una corriente de agua y una corriente de aire que circulan a presión atmosférica por el interior y exterior de un tubo de acero, respectivamente. Para ello, el tubo es calentado mediante una resistencia eléctrica situada en su superficie exterior. El tubo tiene un radio exterior de 30 mm y su espesor y resistencia térmica se consideran despreciables. Para mejorar la transferencia de calor en el lado del aire se añaden aletas circulares de perfil rectangular a la superficie exterior del tubo, fijadas mediante un adhesivo. Las aletas son de aluminio, con una conductividad térmica de 180 W/m·K y un radio de 55 mm, y el adhesivo tiene una resistencia de contacto de 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>·K/W. Sabiendo que el paquete aleteado es diseñado para que el espesor de aletas sea igual a la distancia entre aletas, que el flujo de calor aportado por la resistencia eléctrica es de 89.433 kW/m, y que las temperaturas del agua y del aire deben ser mantenidas a 27°C, se pide:

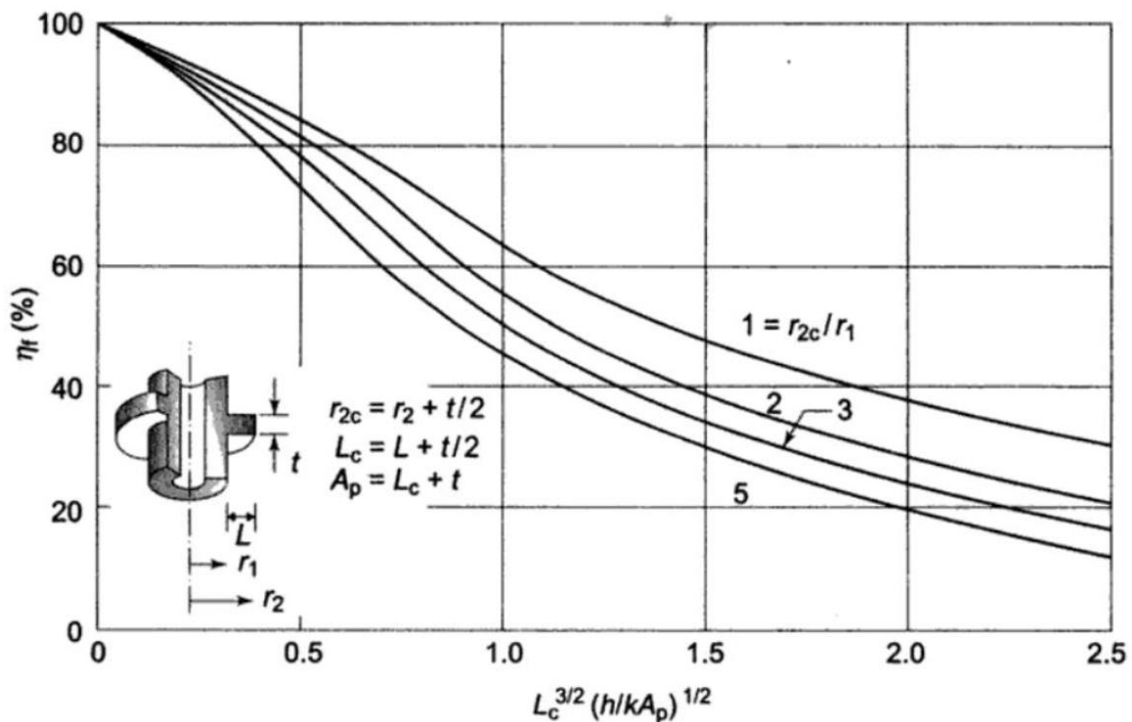
1. Dibujar la analogía eléctrica indicando claramente cada una de las resistencias térmicas que aparecen y cómo se calculan	0.5 p.
2. Espesor de aletas para que la temperatura de la superficie del tubo no exceda la temperatura de ebullición del agua t <sub>aletas</sub> = _____ mm	1.5 p.
3. Eficiencia de una aleta para el caso del punto 2 eta <sub>aletas</sub> = _____	1.5 p.
4. Número de aletas por metro de longitud de tubo para el caso del punto 2 n <sub>aletas</sub> = _____	1 p.
5. Temperatura que alcanzaría la superficie del tubo si no se hubieran añadido las aletas T <sub>sup_tubo_sin_aletas</sub> = _____ °C	0.5 p.

Los resultados deben aparecer en la tabla anterior

Datos adicionales:

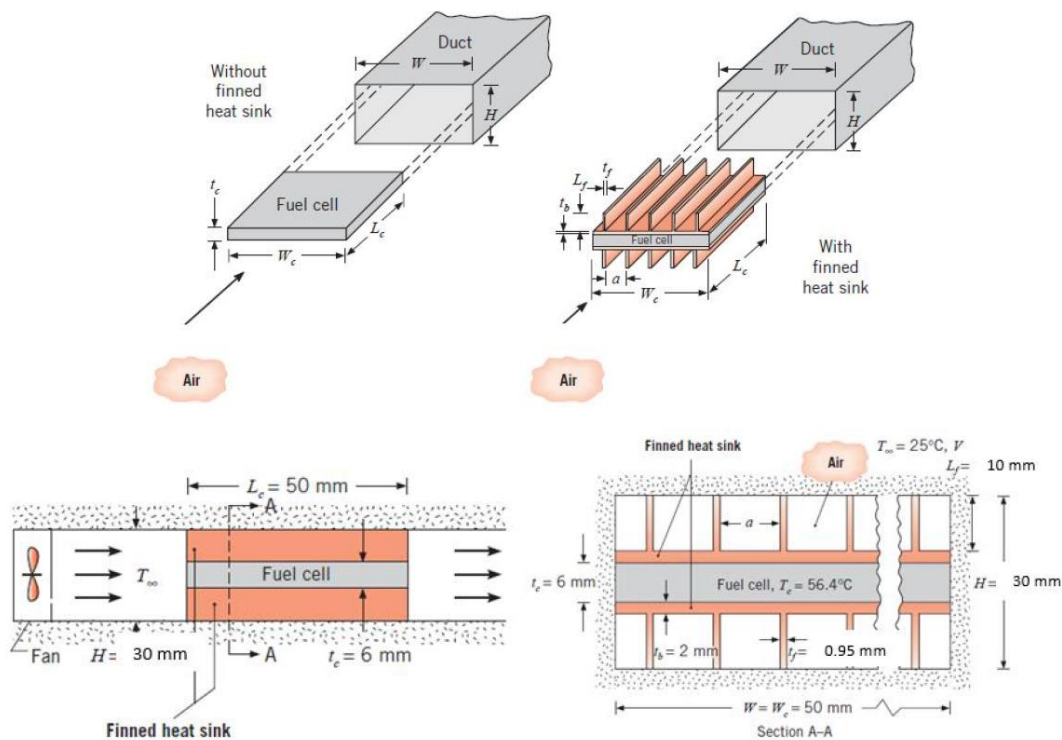
Coefficiente de película convectivo interior: hcv<sub>int</sub> = 2000 W/m<sup>2</sup>·K

Coefficiente de película convectivo exterior: hcv<sub>ext</sub> = 100 W/m<sup>2</sup>·K



**Problema 22 (problema de clase 19.10.2016)**

Para generar una potencia eléctrica de 9 W, la temperatura de una pila de combustible de membrana de intercambio protónico (PEM) tiene que ser mantenida a una temperatura concreta, lo cual implica la necesidad de disipar calor al ambiente. Para lograr la disipación de calor, la pila de combustible, de dimensiones  $W_c = 50 \text{ mm}$  y  $L_c = 50 \text{ mm}$ , se introduce en un conducto rectangular cuyas paredes están bien aisladas térmicamente, tal y como se muestra en la figura adjunta. Un pequeño ventilador, accionado por la propia pila de combustible, hace pasar una corriente de aire exterior que se encuentra a  $25^\circ\text{C}$  a través del conducto, absorbiendo una potencia eléctrica de 9.4 W. Para reducir la potencia eléctrica absorbida por el ventilador a la mitad, se añaden aletas rectas de sección rectangular a ambos lados del cuerpo de la pila de combustible (ver figura). Las aletas son de aluminio con conductividad térmica  $k = 200 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ , y están unidas a la base del paquete aleteado mediante un adhesivo con una resistencia térmica de contacto de  $10^{-3} \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ . El espesor de la base del paquete aleteado es  $t_b = 2 \text{ mm}$ . Cada aleta tiene una longitud  $L_f = 8 \text{ mm}$  y espesor  $t_f = 1 \text{ mm}$ , y se extiende a lo largo de toda la longitud del cuerpo de la pila de combustible  $L_c$ .



La velocidad del aire dentro del paquete aleteado es de 7.5 m/s, y la relación entre la potencia eléctrica absorbida por el ventilador y el flujo volumétrico es:

$$P_{\text{elec,abs}}/V_{\text{dot,aire}} = 1000 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s}).$$

Sabiendo que el flujo de calor disipado es de 11 W, se pide:



1. Dibujar la analogía eléctrica indicando claramente cada una de las resistencias térmicas que aparecen y cómo se calculan.	1.5 p.
2. Número de aletas necesarias y distancia entre aletas. $n_{\text{aletas}} = 22$ , $a = 3.6 \text{ mm}$	0.5 p.
3. Eficiencia de una aleta. $\text{Eta}_{\text{aleta}} = 0.99$	0.5 p.
4. Temperatura del cuerpo de la pila de combustible, temperatura de la base expuesta, temperatura de salida del aire y potencia eléctrica neta generada por la pila de combustible. $T_{\text{pila\_comb}} = 59.65^\circ\text{C}$ , $T_{\text{base\_exp}} = 59.63^\circ\text{C}$ , $T_{\text{salida\_aire}} = 26.97^\circ\text{C}$ , $P_{\text{elec\_neta}} = 4.3 \text{ W}$	1.5 p.

Los resultados deben aparecer en la tabla anterior

Datos adicionales:

El coeficiente de película convectivo está relacionado con la geometría mediante la siguiente expresión:

$$h_{\text{cv}} = 1.78 \cdot k_{\text{aire}} \cdot (L_f + a) / (L_f \cdot a), \text{ donde } a \text{ es la distancia entre aletas (ver figura)}$$

Conductividad térmica del aire:

$$k_{\text{aire}} = 0.0255 \text{ W/m}\cdot\text{K}$$

Calor específico del aire a presión constante:

$$C_p_{\text{aire}} = 1005 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

Densidad del aire:

$$\rho_{\text{aire}} = 1.18 \text{ kg/m}^3$$

Eficiencia de una aleta recta de sección rectangular:

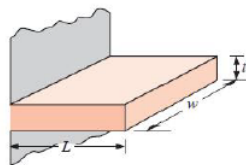
**Straight Fins**

*Rectangular<sup>a</sup>*

$$A_f = 2wL_c$$

$$L_c = L + (t/2)$$

$$A_p = tL$$



$$\eta_f = \frac{\tanh mL_c}{mL_c}$$

$$^a m = (2h/kt)^{1/2}.$$

**Problema 23 (problema de clase 02.11.2016)**

Un conducto de cobre de 200 m atraviesa un espacio exterior en el que la temperatura del aire es de 0°C. Por el interior del conducto circula agua, siendo la temperatura de entrada igual a 60°C. Calcular la velocidad a la que debe circular para que la temperatura de salida sea de 55°C. El diámetro interior del conducto es de 4 cm y 2 mm de espesor, y está recubierto por 1 cm de aislamiento. La conductividad del cobre es de 404 W/mK y la del aislante de 0.025 W/mK.

Resultados:

Coefficientes de película convectivos:

$$h_{cv,int} = 1069 \text{ W/m}^2\text{K}$$

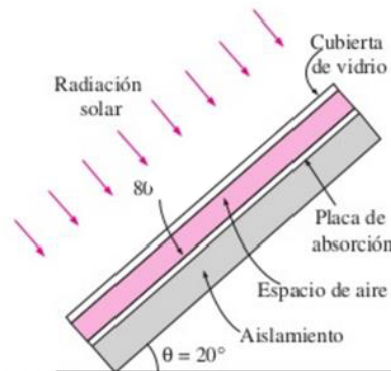
$$h_{cv,ext} = 14.67 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Velocidad a la que circula el agua:

$$v = 0.16 \text{ m/s}$$

**Problema 24 (problema de clase 16.11.2016)**

Considere un captador solar de 1.5 m de alto que está inclinado formando un ángulo de 20° con respecto a la horizontal. El lado posterior de la placa de absorción se encuentra bien aislado térmicamente (ver figura). La emisividad de larga longitud de onda de la cubierta de vidrio tanto en su cara exterior como interior es 0.9 y la de la placa de absorción es 0.8. La transmisividad de corta longitud de onda de la cubierta de vidrio es 0.85 y la absorptividad de onda corta de la placa de absorción es 0.89. La irradiación solar incidente es de 600 W/m<sup>2</sup>, la temperatura de aire exterior es de 22°C, la temperatura de cielo es de 7°C y la velocidad de aire exterior es de 9 m/s. Sabiendo que la placa de absorción se mantiene a 80°C, y considerando iguales los coeficientes de película convectivos en el espacio de aire entre la cubierta de vidrio y la placa de absorción, determinar:



1. Dibujar la analogía eléctrica indicando claramente cada una de las resistencias térmicas que aparecen y cómo se calculan.	1 p.
2. Correlación a utilizar para el cálculo del coeficiente de película convectivo exterior (entre la cara exterior de la cubierta de vidrio y el aire exterior) así como su valor. Correlación: _____ $h_{cv\_ext} = 21.28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	0.5 p.
3. Deducir, a partir de la ecuación suministrada en la ayuda, la expresión de la emisividad equivalente para el cálculo del coeficiente de transferencia radiante entre la cara exterior de la cubierta de vidrio y el cielo, y entre la cara interior de la cubierta de vidrio y la placa de absorción. Calcular el valor de cada una de ellas.  $\epsilon^*_{ext} = \frac{\quad}{\text{(expresión)}} = 0.9$ , $\epsilon^*_{int} = \frac{\quad}{\text{(expresión)}} = 0.735$	1 p.
4. Temperatura de la cubierta de vidrio y temperatura del aire entre la cubierta de vidrio y la placa de absorción. $T_{vidrio} = 36.17^\circ\text{C}$ , $T_{aire\_int} = 58.08^\circ\text{C}$	3 p.
5. Flujo de calor por metro cuadrado que se pierde al exterior por convección y por radiación de onda larga. $q_{dot\_cv\_ext} = 301.5 \text{ W/m}^2$ , $q_{dot\_rd\_ext} = 152.4 \text{ W/m}^2$	0.5 p.

Los resultados deben aparecer en la tabla anterior

Ayuda:

Intercambio radiante de onda larga entre dos superficies 1 y 2 que forman un recinto (en W):

$$Q_{12}^{rd} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1 - \epsilon_1}{A_1 \epsilon_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{1 - \epsilon_2}{A_2 \epsilon_2}}$$

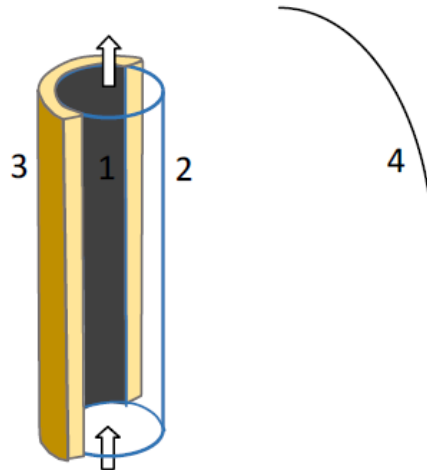
Datos adicionales:

Constante de Stefan-Boltzmann

$$\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

**Problema 25 (problema de clase 16.11.2016)**

Una chimenea solar de 1.5 m de altura y diámetro 20 cm está compuesta por dos superficies, tal y como se muestra en la figura adjunta. La cara interior de la superficie 1 es de un material de color negro, con una absorptividad de onda corta de 0.9 y una emisividad de onda larga de 0.7, mientras que su cara exterior está recubierta por un material aislante de 30 cm de diámetro exterior y con una conductividad térmica de 0.036 W/m·K y una emisividad de onda larga en su cara exterior de 0.9 (superficie 3). La superficie 2 es de cristal, con una transmisividad de onda corta de 0.85, una emisividad de onda larga en su cara interior de 0.7, y una emisividad de onda larga en su cara exterior de 0.9.



Considerando que la temperatura del aire exterior y de entrada a la chimenea es igual a 20°C, que la temperatura radiante exterior (correspondiente a la superficie 4) es de 10°C, que la velocidad del aire dentro de la chimenea es de 1m/s, y que la radiación solar incidente en la superficie 2 es de 500 W/m<sup>2</sup>, se pide:

1. Dibujar la analogía eléctrica indicando claramente cada una de las resistencias térmicas que aparecen y cómo se calculan	0.25 p.
2. Plantear el sistema de ecuaciones completo indicando claramente las incógnitas	2 p.
3. Factores de forma $F_{1-1} = 0.3634$ , $F_{1-2} = 0.6366$ , $F_{2-2} = 0.3634$ , $F_{2-1} = 0.6366$	0.25 p.
4. Correlación a utilizar para el cálculo del coeficiente de película convectivo exterior en el lado de la superficie 2 (entre la cara exterior de la superficie 2 y el aire exterior)	0.25 p.
5. Coeficiente de película convectivo exterior en el lado de la superficie 2 (entre la cara exterior de la superficie 2 y el aire exterior) $h_{cv\_ext\_2} = 2.232 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	0.25 p.
6. Temperaturas $T_{sup\_1} = 65.51^\circ\text{C}$ , $T_{sup\_2} = 26.24^\circ\text{C}$ , $T_{sup\_ext\_aislante} = 17.14^\circ\text{C}$ , $T_{salida\_aire} = 23.03^\circ\text{C}$	2 p.
7. Flujo de calor aportado al aire de la chimenea $Q_{dot\_aire\_chimenea} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$ Flujo de calor convectivo entre la cara exterior de la superficie 2 y el aire exterior $Q_{dot\_cv\_ext\_2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$ Flujo de calor intercambiado por radiación de onda larga entre las superficies 1 y 2 $Q_{dot\_rd\_1\_2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ W}$	1 p.

Los resultados deben aparecer en la tabla anterior

Datos adicionales:

Coeficiente de película convectivo interior (entre la cara interior de la superficie 1 y el aire interior de la chimenea y entre la cara interior de la superficie 2 y el aire interior de la chimenea):

$$h_{cv,int} = 5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Coeficiente de película convectivo exterior en el lado del aislante (entre la cara exterior del aislante y el aire exterior):

$$h_{cv,ext,3} = 2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$$

Constante de Stefan-Boltzmann  $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

*NOTA: Resolver el problema mediante el método de las radiosidades.*