

**Universidad de Los Andes
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ing. Mecánica
Dept. de Ciencias Térmicas**

PROBLEMARIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Prof. Manuel V. Avila M.

Mérida, 03-02-98

1. MODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

1.1. Una sección de panel aislante de 10 m^2 de superficie y 2.5 cm de espesor, conduce 3 kW de potencia calorífica. La superficie interna (caliente) del panel está a 415°C y la conductividad térmica del material es $0.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Calcule la temperatura de la superficie externa del panel.

1.2. Una pared de concreto (de $1.0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ de conductividad térmica), de 30 m^2 de superficie y 30 cm de espesor, separa el aire de una habitación del ambiente exterior. La superficie interior se encuentra a 20°C , mientras la exterior está a 30°C . Calcule la ganancia de calor a través de la pared.

1.3. Se ha determinado que el flujo de calor a través de una tabla de madera es de 40 W/m^2 . La tabla tiene 50 mm de espesor y sus dos caras se encuentran a 40 y 20°C . Calcule la conductividad térmica de éste tipo de madera.

1.4. Una ventana rectangular de $1 \times 3 \text{ m}$, está hecha de vidrio de conductividad térmica $1.4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, de 5 mm de espesor. Calcule las pérdidas de calor a través de la ventana si las dos caras del vidrio se encuentran a 20 y 10°C .

1.5. Un cuarto frío consiste en una caja metálica de forma cúbica de 2 m de lado. Se desea limitar la ganancia de calor del cuarto frío a 500 W, empleando un cierto espesor de láminas de "styrofoam" (anime), de $k = 0.03 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Calcule el espesor mínimo de aislamiento que debe aplicarse a las paredes laterales y al techo del cuarto frío, suponiendo que las superficies internas y externas de las paredes y techo se encuentran a -10 y 35°C . Desprecie la resistencia de la lámina metálica y la ganancia de calor a través del piso.

1.6. Se tiene una pared de material aislante, de $k = 0.25 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ y 100 mm de espesor. Se desea reemplazar esta pared por una de ladrillo de $k = 0.75 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, de tal manera que el flujo de calor se reduzca en un 20 %. Las dos paredes estarían sujetas a las mismas temperaturas superficiales. Calcule el espesor que debe tener la pared de ladrillo.

1.7. Un "chip" electrónico de silicón ($k = 15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) tiene dimensiones $5 \times 5 \text{ mm}$ de cara por 1 mm de espesor y está montado con una de sus caras cuadradas sobre una superficie perfectamente aislada, mientras que sobre la superficie cuadrada opuesta fluye un líquido refrigerante. Si los circuitos electrónicos montados sobre la superficie aislada disipan una potencia de 4 W, calcule la diferencia de temperatura que se establece a través del espesor del "chip".

1.8. El coeficiente de convección entre la superficie de una placa a 40°C y el aire ambiente a 20°C es de $20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Calcule el flujo de calor que disipa la placa sobre el aire ambiente.

1.9. La superficie superior de una placa rectangular de 0.5×0.25 m se mantiene a 40°C y está expuesta a una corriente de aire a 300°C , cuyo coeficiente de convección es de $250 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Determine la potencia calorífica que recibe la placa desde el aire caliente.

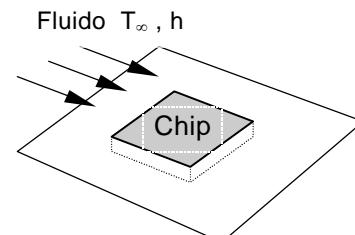
1.10. Una resistencia eléctrica consiste en un alambre empotrado dentro de un cilindro de 30 mm de diámetro externo. Cuando la resistencia está sumergida dentro de una corriente transversal de agua a 25°C y 1.0 m/s de velocidad, se requiere una potencia de 2.8 kW/m de longitud, para mantener la superficie del cilindro a una temperatura uniforme de 90°C . Cuando la resistencia está en aire, también a 25°C , pero ahora a 10 m/s de velocidad transversal, se requieren 400 W/m para mantener la misma temperatura superficial. Calcule y compare los coeficientes de convección para los dos casos.

1.11. Una resistencia eléctrica empotrada dentro de un tubo cilíndrico de 200 mm de longitud y 20 mm de diámetro exterior, está diseñada para disipar 2 kW de calor cuando se encuentre sumergida en un flujo de agua a 20°C y con un coeficiente de convección $h = 5000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Determine la temperatura superficial del tubo; desprecie el calor transmitido por los extremos del cilindro.

¿Cuál sería la temperatura superficial del tubo en caso de que se seca el agua y el calentador siguiera operando expuesto al aire ambiente, también a 20°C , pero con un $h = 50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$?

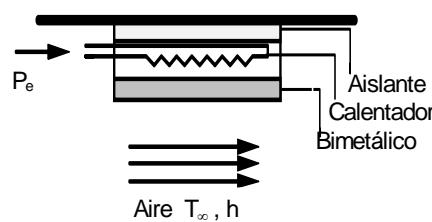
1.12. Un “chip” electrónico de cara cuadrada ($5 \times 5 \text{ mm}$) y 1 mm de espesor está montada dentro de una matriz aislante, con una de sus caras cuadradas expuesta a una corriente de aire a $T_\infty = 15^\circ\text{C}$ y con un $h = 200 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Si, por seguridad, la temperatura superficial del “chip” no puede ser mayor de $T_s = 85^\circ\text{C}$, determine la máxima potencia calorífica que puede disipar el chip.

¿Cómo variaría la respuesta anterior si el medio de enfriamiento fuese un aceite dieléctrico, a 15°C , con un $h = 3000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$?



1.13. El control de temperatura de una secadora de ropa consiste en un switch bimetálico montado sobre un calentador eléctrico adosado a la pared de la máquina. El switch controla la resistencia principal de la secadora y está ajustado para abrirse a una temperatura de referencia $T_r = 70^\circ\text{C}$.

Para operar la secadora a menores temperaturas de aire ($T_\infty < 70^\circ\text{C}$), se debe suministrar suficiente potencia eléctrica (P_e) al calentador auxiliar. Calcule la potencia eléctrica (P_e) necesaria para calentar el bimetálico hasta la temperatura de referencia $T_r = 70^\circ\text{C}$,



cuando se quiera mantener una temperatura de aire $T_\infty = 50^\circ\text{C}$. Suponga que el coeficiente de convección entre el aire y el switch bimetálico es $h = 25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y que el área expuesta del bimetálico es de 30 mm^2 .

1.14. El coeficiente de convección entre una placa caliente vertical y aire tranquilo puede estimarse registrando la variación de temperatura de la placa con el tiempo a medida que ésta se enfriá. Calcule el coeficiente de convección en el instante cuando la temperatura de la placa es de 225°C y la razón de enfriamiento (dT/dt) es 0.022 K/s . La temperatura del aire ambiente es de 25°C , la placa mide $0.3 \times 0.3 \text{ m}$, su masa es de 3.75 kg y su calor específico es $2770 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.

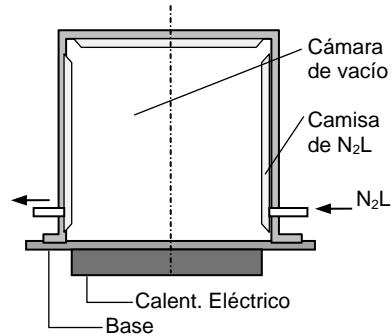
1.15. Un objeto esférico de $10 \text{ mm} \varnothing$ y 0.9 de emisividad, se mantiene a 80°C mediante circulación interna de agua. Este objeto está ubicado dentro de un horno al vacío, de grandes dimensiones, cuyas paredes se mantienen a 400°C . Calcule la potencia calorífica neta (kW) transferida de las paredes al objeto.

1.16. Una placa cuya superficie es de 0.5 m^2 , 0.8 de emisividad y 150°C se coloca en una cámara al vacío, cuyas paredes se mantienen a 25°C . ¿Qué potencia calorífica emite la placa? ¿Cuál es el calor neto intercambiado entre la placa y las paredes de la cámara?

1.17. Para las condiciones del problema 1.12 para las cuales el “chip” puede disipar una potencia máxima de 0.35 W , solo por convección de calor al aire. Tome ahora en consideración la transferencia neta de calor por radiación del chip a las paredes del recinto a 15°C , suponiendo que la superficie expuesta del chip tiene una emisividad de 0.9 . Calcule el porcentaje en que se incrementa la potencia permisible del chip como efecto de la disipación radiante.

1.18. En la cámara experimental de vacío de la figura, se mantiene la base circular a 300 K por medio de un calentador eléctrico y la cubierta o cámara se mantiene a 77 K por medio de una camisas interiores refrigeradas con Nitrógeno líquido ($N_2\text{L}$). Si la base está aislada por debajo y por encima tiene un diámetro útil de 30 cm y una emisividad de 0.25 , calcule:

- La potencia del calentador
- El consumo de N_2 líquido si su calor de vaporización (h_{fg}) es 125 kJ/kg .
- El consumo de N_2 líquido si se recubre el interior de la base con papel de aluminio ($\varepsilon = 0.09$).



1.19. Una esfera de aluminio de emisividad ε , radio r , densidad ρ y calor específico c , se encuentra inicialmente a alta temperatura T_i y se deja enfriar dentro de una cámara cuyas paredes se mantienen a una temperatura T_p ($< T_i$). Dentro de la cámara también fluye aire a T_∞ ($< T_i$) con un coeficiente de convección h .

Deduzca una expresión que permita calcular la variación de temperatura de la esfera con el tiempo $T(t)$.

1.20. Una lámina de aluminio de 4 mm de espesor descansa sobre una mesa aislada. La superficie superior de la lámina tiene un recubrimiento que absorbe el 80 % de la radiación incidente (refleja el 20%). Para el aluminio $\rho = 2.7 \text{ kg/dm}^3$ y $c = 0.94 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$.

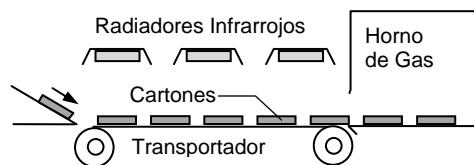
Si la lámina tiene una temperatura inicial (uniforme) de 30°C y la cara superior se expone a una radiación solar incidente de 400 W/m^2 y a una corriente de aire que tiene $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ y $h = 30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, calcule la velocidad de cambio inicial de temperatura [$dT/dt(t=0)$] y la temperatura de estado estable de la lámina [$T(t \rightarrow \infty)$].

1.21. Un alambre de cobre de 25 m de largo y de $2 \text{ mm } \varnothing$ tiene una resistencia eléctrica por unidad de longitud de $0.25 \Omega/\text{m}$ y está conectada a una fuente de 120 V. La resistencia está sumergida en una corriente de aire de $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ y $h = 8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Calcule la temperatura estable de la superficie del alambre. ¿Es segura o razonable?

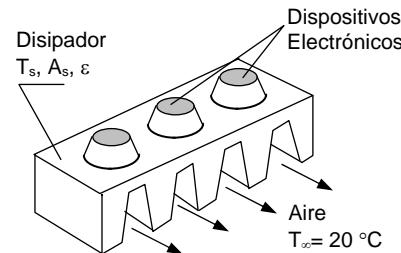
1.22. Un recipiente esférico de pared delgada de $0.6 \text{ m } \varnothing$ y de emisividad superficial $\epsilon = 0.2$, contiene Oxígeno líquido cuyo punto de ebullición es 90 K y su entalpía de evaporación es $h_{fg} = 215 \text{ kJ/kg}$. Si el recipiente está en un ambiente en el cual las paredes y el aire se mantienen a 30°C y el coeficiente de convección entre el aire y el recipiente es de $20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, calcule el caudal de vapor de Oxígeno (g/s) que debe dejarse escapar para que no aumente la temperatura (y presión) en el recipiente.

1.23. Sobre una banda transportadora de caucho se desplazan láminas de hielo a 0°C , de $30 \times 30 \text{ cm}$ de lado y 1 cm de espesor. Suponga que la banda es un buen aislante y desprecie el calor transferido por los bordes de las láminas. Si el aire ambiente tiene $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ y $h = 30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, calcule el tiempo que tardan las láminas de hielo en derretirse completamente. Para el hielo $h_{ic} = 335 \text{ kJ/kg}$ y $\rho = 920 \text{ kg/m}^3$.

1.24. En una planta de pulpa de papel se elaboran cartones de empaque de huevos. Antes del secado definitivo en un horno de gas, se aplica un pre-secado con calentadores infrarrojos durante un recorrido de 18 segundos. Los radiadores producen un flujo uniforme de calor de 5000 W/m^2 , cada cartón tiene un área expuesta de 625 cm^2 y una masa inicial de 22 gramos con un 75% de humedad (masa $\text{H}_2\text{O}/\text{masa total}$). Se desea saber si este precalentamiento es capaz de bajar la humedad de cada cartón hasta que sea 65%. Para el agua $h_{fg} = 2400 \text{ kJ/kg}$.



1.25. Tres dispositivos electrónicos están montados sobre un disipador de calor que tiene un área expuesta $A_s = 0.05 \text{ m}^2$ y una emisividad $\epsilon = 0.8$. Cuando los dispositivos producen 30 W de potencia total disipada y la temperatura del aire y de las paredes de los alrededores es de 20°C , la temperatura promedio del disipador es de 50°C . ¿Cuál será la temperatura promedio del disipador cuando los dispositivos produzcan 60 W de potencia total a las mismas condiciones de temperatura del aire y las paredes del medio.



1.26. El recubrimiento anticorrosivo de una placa se seca por exposición a un flujo uniforme de radiación de 2000 W/m^2 , proveniente de un grupo de lámparas infrarrojas. El recubrimiento absorbe un 80% de la radiación incidente y tiene una emisividad de 0.70. Las paredes del ambiente son grandes comparadas con la placa y se mantienen a 30°C . El aire ambiente tiene $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ y $h = 18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Determine la temperatura estable de la placa.

1.27. La superficie externa de la pared de una caldera tiene una temperatura de 400°C y se recubre con una lámina de aislamiento de $k = 0.1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, de 25 mm de espesor. El aire exterior tiene $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ y $h = 540 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Calcule la temperatura de la superficie exterior del aislamiento y el flujo unitario de calor (kW/m^2).

1.28. Una superficie de una lámina de acero inoxidable de 5 mm de espesor se mantiene a 90°C por condensación de vapor. La otra superficie está expuesta a una corriente de aire con $T_\infty = 20^\circ\text{C}$ y $h = 30 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Calcule la temperatura de la superficie de la placa expuesta al aire y el calor transferido por unidad de área.

1.29. Se desea construir una resistencia de calefacción con un alambre de Cupro-Níquel de $1 \text{ mm}\varnothing$, cuya resistencia eléctrica por unidad de longitud es de $0.7 \Omega/\text{m}$. La resistencia debe conectarse a una toma de 120 V. La resistencia va a estar sumergida en una corriente de aire con $T_\infty = 30^\circ\text{C}$ y $h = 12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Desprecie la radiación de calor. Calcule la longitud (m) que debe tener el alambre y el calor (W) que puede disipar, si su temperatura superficial no puede sobrepasar de 800°C .

1.30. Una cava de refrigeración tiene forma cúbica de $3 \times 3 \times 3 \text{ m}$. Las paredes se deben construir con aislamiento de lana de vidrio en sándwich entre dos láminas de acero inoxidable de 2mm de espesor c/u. Las condiciones del aire interno se mantienen a $T_{\infty i} = -20^\circ\text{C}$ con un coeficiente de convección $h_i = 18 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, mientras que el ambiente externo permanece a $T_{\infty e} = 30^\circ\text{C}$ con un $h_e = 4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Determine el espesor de aislamiento que deben tener las cuatro paredes laterales, de tal manera que la ganancia de calor por cada una de ellas no supere los 300 W.

1.31. Un recipiente de aluminio de $40 \text{ cm}\varnothing$, 40 cm de alto y 1mm de espesor, está lleno de agua a 100°C . Las condiciones del agua en el interior son de $T_{\infty i} = 100^\circ\text{C}$

con un $h_i = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, mientras que el aire ambiente se mantiene a $T_{\infty e} = 30^\circ\text{C}$ con un $h_e = 4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

- Calcule el calor (W) perdido a través de la superficie lateral del recipiente y su temperatura externa, si se desprecian la curvatura de la pared y los efectos radiantes.
- Calcule el calor perdido a través de la superficie lateral del recipiente y su temperatura externa, si además se toman en cuenta las pérdidas por radiación. Suponga que el aluminio tiene una emisividad $\epsilon = 0.4$ y que las paredes del recinto donde está el recipiente tienen una temperatura de 30°C .

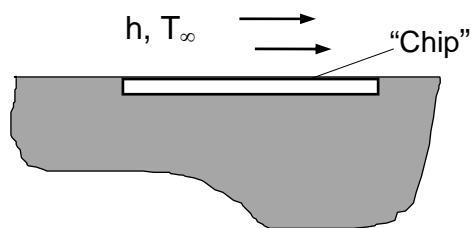
1.32. Una tubería de acero de 4.5" DE, conduce agua caliente a 80°C . Si se desprecian las resistencias térmicas de convección interior y de conducción en el acero del tubo,

- Calcule las pérdidas de calor, por metro de longitud, por convección al aire ambiente caracterizado por $T_\infty = 25^\circ\text{C}$ y $h = 5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.
- Calcule las pérdidas de calor, por metro de longitud, por radiación a las paredes del recinto las cuales se encuentran a $T_p = 20^\circ\text{C}$. La emisividad superficial del acero es $\epsilon = 0.8$.

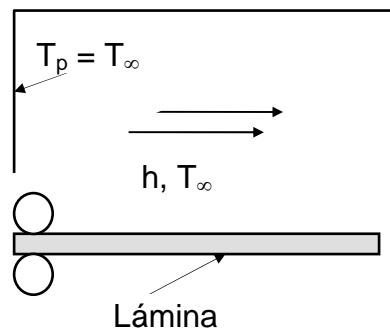
1.33. Una bombona de almacenamiento de Oxígeno líquido tiene forma cilíndrica de 2m de diámetro externo y 3m de altura y está construido de lámina de acero inoxidable de 12mm de espesor. En el interior, el Oxígeno líquido se encuentra a $T_{\infty i} = 70\text{K}$ y tiene un $h_i = 80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, mientras que el aire ambiente externo se mantiene a $T_{\infty e} = 30^\circ\text{C}$ y con un $h_e = 10 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

- Despreciando la curvatura de las paredes cilíndricas, calcule la ganancia total de calor (en W) que recibe el Oxígeno en el recipiente y la temperatura de la superficie externa del tanque.
- Calcule el espesor de aislamiento de Lana de Vidrio que debe colocarse sobre la bombona para reducir las ganancias de calor a un 25 % del valor calculado en a).
- Calcule el espesor de Llana de Vidrio necesario para que no se condense vapor de agua en su superficie exterior (punto de rocío del aire ambiente = 10°C).

1.34. Un circuito electrónico compacto ("chip") tiene base cuadrada ($10\times10\text{mm}$) y 2 mm de espesor y está empotrado en una base aislante, con su cara superior expuesta al aire ambiente con $T_\infty = 25^\circ\text{C}$ y $h = 5 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Si el circuito disipa una potencia de 0.5 W y su cara superior tiene una emisividad $\epsilon = 0.6$ y las paredes del ambiente se encuentran a 25°C , calcule la temperatura de la cara expuesta del "chip".



1.35. De un tren de laminación de vidrio sale la lámina a $700\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta lámina se enfriá soplando aire sobre ella, de tal manera que $h = 25\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Para evitar el agrietamiento del material (vidrio), debe limitarse su gradiente de temperatura a menos de $40\text{ }^{\circ}\text{C/mm}$ durante el proceso de enfriamiento. La emisividad superficial del vidrio es 0.8 y su conductividad térmica $0.81\text{ W/m}\cdot\text{K}$. Calcule la temperatura mínima del aire (T_{∞}) que puede emplearse para iniciar el proceso de enfriamiento. Suponga que el aire y las paredes de los alrededores tienen la misma temperatura.

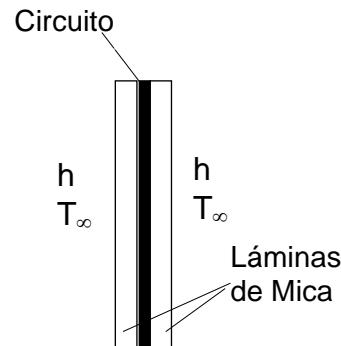


1.36. Examine el diseño de la parte frontal de una vitrina refrigerada de carnes, en la cual el aire interior tiene $h_i = 10\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty i} = -2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el aire exterior $h_e = 5\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $T_{\infty e} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un punto de rocío de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

¿Qué resulta mejor, una lámina de vidrio de 5mm de espesor o una pared compuesta de dos láminas de vidrio de 1mm de espesor, con un espacio intermedio de 1 mm de aire (quieto)?. Justifique su respuesta.

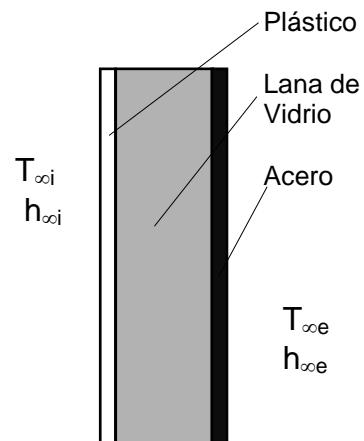
1.37. Un circuito electrónico de dimensiones 3×4 cm y espesor despreciable, debe disipar una potencia total de 20 W . Las dos caras deben aislarse eléctricamente con láminas de MICA. El aire ambiente tiene $T_{\infty} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $h = 5\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, la Mica tiene una emisividad $\varepsilon = 0.6$ y las paredes del recinto se mantienen a $T_p = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Calcule el máximo espesor que pueden tener las láminas de Mica sin que la temperatura del circuito sobrepase los $420\text{ }^{\circ}\text{C}$. Incluya los efectos radiantes.



1.38. La figura anexa muestra una sección de la pared de una nevera, conformada por una lámina interna de plástico (polietileno) de 1 mm de espesor, una lámina intermedia de lana de vidrio de 20 mm de espesor y una lámina externa de acero inoxidable de 1 mm de espesor. El aire interior se mantiene a $T_{\infty i} = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $h_i = 10\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y el aire exterior tiene $T_{\infty e} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (TBS), $TBH = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ (punto de rocío) y $h_e = 5\text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Determine si hay condensación o no, en las superficies interna o externa de la pared de la nevera y en caso afirmativo, calcule el espesor de lana de vidrio que se requiere para evitar la formación de condensado.



1.39. El coeficiente de convección entre una placa caliente vertical y aire tranquilo puede estimarse registrando la variación de temperatura de una placa delgada con el tiempo a medida que ésta se enfriá. Calcule el coeficiente de convección en el instante en que la temperatura de la placa es de 180 °C y se le cronometra una velocidad de enfriamiento (dT/dt) de 0.5 °C/s. La temperatura del aire ambiente es de 20 °C, la placa mide 2.0x1.0 m, su masa es de 14.0 kg y su calor específico es 1.8 kJ/kg·K.

a) Calcule el coeficiente de convección despreciando el calor radiante.

b) Calcule el coeficiente de convección si se considera que las dos caras de la placa tienen una emisividad $\varepsilon = 0.7$ y que las paredes del cuarto donde está la placa se mantienen a la misma temperatura del aire (20 °C).

1.40. Una resistencia eléctrica consiste en un alambre empotrado dentro de un cilindro de 5 mm \varnothing y 2 m de longitud y consume una potencia eléctrica de 1000 W.

a) Calcule la temperatura superficial del cilindro cuando ésta se encuentra sumergida en aceite hirviendo a 200 °C, con un coeficiente de convección $h = 500 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. (No hay efectos radiantes).

b) Calcule la temperatura superficial si ahora la resistencia se expone al aire ambiente a 40 °C con $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. La superficie externa de la resistencia tiene una emisividad $\varepsilon = 0.6$ y las paredes del cuarto tienen una temperatura de 20 °C.

1.41. Las paredes laterales de un cuarto frío miden 2.5x2.5 m y están construidas de ladrillo común de 10 cm de espesor. Se desea limitar la ganancia de calor de cada pared a 400 W, utilizando para ello un recubrimiento exterior de láminas de "anime" (styrofoam) de $k = 0.05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. El aire ambiente exterior tiene $T_{\infty e} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ con $h_e = 20 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, mientras que el aire frío interior tiene $T_{\infty i} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ con $h_i = 40 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

a) Calcule el espesor mínimo necesario de "anime".

b) Si la temperatura de rocío del aire exterior es $TBH = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, determine el espesor de "anime" necesario para evitar condensación de humedad en la pared.

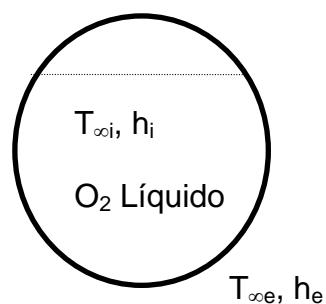
1.42. Examine la posibilidad de que se congelen las hojas de un árbol durante una noche despejada. Para ello, utilice los siguientes datos :

Las hojas tienen 0.2 mm de espesor y 20 cm² de área (cada cara) y una emisividad $\varepsilon = 0.4$. El aire ambiente tiene durante la noche un promedio de $T_\infty = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ con $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. La bóveda celeste tiene una temperatura de

0 °K.

1.43. Una bombona esférica de acero de 5 m de diámetro y 10 mm de espesor, contiene Oxígeno líquido a $T_{\infty i} = 150 \text{ }^\circ\text{K}$ y $h_i = 80 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. El aire exterior tiene $h_e = 9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $TBS = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ y $TBH = 24 \text{ }^\circ\text{C}$.

a) Despreciando la curvatura de la superficie y los efectos radiantes, calcule el espesor de hielo o escarcha que se forma sobre la superficie exterior por condensación y congelamiento de la humedad del aire



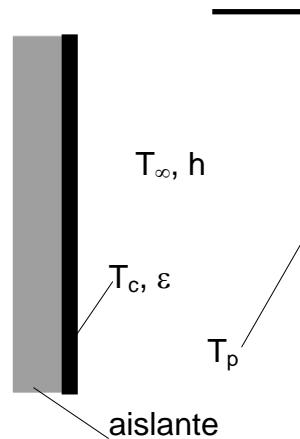
ambiente y determine el calor que se transfiere desde el ambiente al Oxígeno.

b) Calcule el espesor de aislamiento de Magnesia 85% que debe emplearse para evitar la condensación de humedad sobre su superficie exterior y calcule el calor transferido al Oxígeno.

1.44. Una cara de una placa vertical de dimensiones 20X15 cm y espesor despreciable, contiene un circuito electrónico que disipa calor al aire ambiente ($T_{\infty} = 30^{\circ}\text{C}$) por convección y a las paredes del recinto ($T_p = 20^{\circ}\text{C}$) por radiación. La superficie expuesta de la placa tiene una emisividad $\varepsilon = 0.7$. Se sabe que cuando la placa disipa un total de 30 W de calor, su temperatura $T_c = 80^{\circ}\text{C}$. La otra cara está aislada.

a) Calcule el coeficiente de transferencia de calor por convección para estas condiciones.

b) Si el coeficiente de convección es proporcional a la diferencia de temperatura entre la superficie de la placa y el aire elevada a la potencia 1/3, es decir, $[h = C(T_c - T_{\infty})^{1/3}]$, calcule la temperatura de la placa cuando ésta disipe 100 W.

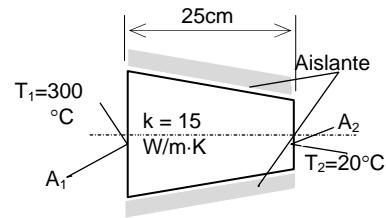


Respuestas a los Problemas del Capítulo 1:

1.1. 377.5 °C	1.2. 1.00 kW	1.3. 0.1 W/m·K	1.4. 8.4 kW
1.5. 54 mm	1.6. 375 mm	1.7. 10.67 °C	1.8. 400 W/m ²
1.9. 8.13 kW	1.10. 495 vs 71	1.11. 52 °C	1.12. 3200 °C !
1.13. 15 mW	1.14. 6.35 W/m ² ·K	1.15. 3.04 W	1.16. 726; 547 W
1.17. 3.5 %	1.18. 8.08 W; 233 g/hr; 84 g/hr		1.20. 2E-3 °C/s; 30.7°C
1.21. 1854 °C	1.22. 23 g/s	1.23. 85.6 min.	1.24. No
1.25. 78 °C	1.26. 89.43 °C	1.27. 22.8 °C; 1.51 W/m ²	
1.28. 89.6 °C; 2.09 W/m ²		1.29. 26.62 m; 773 W	1.30. 84 mm
1.31. 117 W y 88 °C; 187 W y 81.4 °C		1.32. 8.75 y 132.87 W/m	
1.33. 97.45K; 1"; 3"		1.34. 307.3 °C	1.35. 476°C
1.36. 94 vs 104.5 W/m ² ; 9 vs 11°C		1.37. 1.03 mm	1.38. Ext. 42 mm
1.39. 19.7 y 11.1 W/m ² ·K	1.40. 264 y 661 °C		1.41. 30 y 3.75 mm
1.42. Si, $t > 1.12$ hr	1.43. 1 m; 21.7 cm, 4.24 kW	1.44. 13.5 W/m ² ·K; 155 °C	

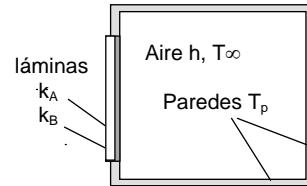
2. CONDUCCION UNIDIRECCIONAL ESTABLE

2.1. Suponiendo conducción unidireccional estable a través del cono truncado de la figura. Halle una expresión para la resistencia térmica del cono y calcule el calor transferido entre T_1 y T_2 . A_1 y A_2 son 60 y 25 cm^2 respectivamente.



2.2. Una barra cilíndrica tiene 20 cm de longitud y 25 mm \varnothing . La superficie cilíndrica está bien aislada, mientras que las bases circulares se mantienen a 0 y 100 °C. Calcule el calor transferido a lo largo de la barra si ésta es de a) Duraluminio, b) Acero inoxidable 18Cr-8Ni, c) Baquelita, d) Magnesia 85%.

2.3. La puerta (ventana) de un horno de cocina ha de construirse de forma compuesta por dos láminas de plástico de espesores L_A y L_B y conductividades térmicas $k_A = 0.20$ y $k_B = 0.10 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ respectivamente. Por razones de costo, L_A debe ser el doble de L_B ($L_A = 2L_B$). El aire en el interior del horno tiene $h_i = 25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty i} = 400 \text{ }^\circ\text{C}$. Las paredes internas del horno están a 400 °C y tienen con respecto a la superficie interna de la puerta, un coeficiente de transferencia por radiación equivalente a $h_r = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. El aire exterior tiene $h_e = 35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty e} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Calcule el espesor total ($L = L_A + L_B$) mínimo que garantice una temperatura segura (60 °C) sobre la superficie exterior de la puerta.



2.4. Para desempañar el parabrisas de un automóvil, se hace circular sobre su superficie interior una corriente de aire con $h_i = 35 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty i} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$. Las condiciones del aire exterior son $h_e = 75 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty e} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$. El parabrisas es de vidrio de 5 mm de espesor. Calcule las temperaturas de las superficies interna y externa del vidrio. ¿Cuáles serían estas temperaturas si en el interior $h_i = 5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty i} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$?.

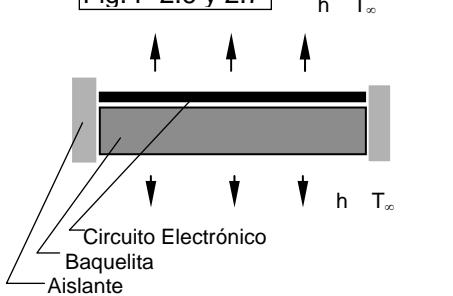
2.5. Las puertas de un refrigerador-exhibidor están formadas por dos láminas de vidrio de 5 mm de espesor, separadas por un espacio de aire de 5 mm de espesor. El ambiente interior del refrigerador se mantiene a $T_{\infty i} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ y $h_i = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, mientras que el ambiente exterior tiene $h_e = 90 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty e} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Suponga que el aire encerrado por los vidrios se mantiene quieto (con $k = 0.02624 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) y calcule la ganancia de calor a través de las puertas, las cuales tienen un área total de 2 m^2 .

2.6. Un circuito electrónico está adherido a una placa de baquelita de 5 mm de espesor. El circuito disipa una potencia de 10^4 W/m^2 . Tanto la superficie superior del circuito como la superficie inferior de la placa de baquelita, están expuestos al aire ambiente, el cual tiene $h = 50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$. Despreciando los efectos radiantés, determine la temperatura de funcionamiento permanente del circuito.

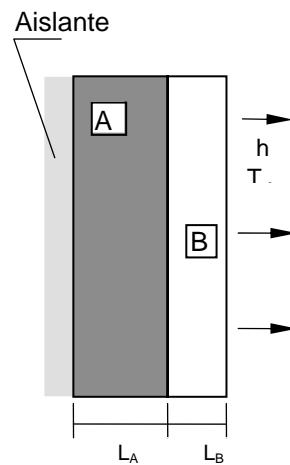
2.7. Repita el problema 2.6 tomando además en cuenta los efectos radiantes de la cara superior del circuito electrónico con una emisividad de 0.6 y con las paredes del ambiente a 30 °C.

2.8. Un recipiente esférico de 150 cmØ, metálico y de pared delgada, contiene Nitrógeno líquido a 77 K ($h_{fg} = 200 \text{ kJ/kg}$ y $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$). El recipiente está recubierto por una capa de polvo de sílice comprimido y evacuado ($k = 0.002 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) de 25 mm de espesor y su superficie externa está expuesta al aire ambiente a $h_e = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty e} = 30^\circ\text{C}$. Calcule la potencia calorífica (W) transferida al Nitrógeno y su razón de evaporación en litros/día.

Fig. P 2.6 y 2.7



2.9. Una pared plana está compuesta por dos materiales diferentes, A y B. La parte A tiene un espesor $L_A = 10 \text{ cm}$, una generación uniforme de calor $q = 1.5 \times 10^6 \text{ W/m}^3$ y una conductividad $k_A = 75 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. La pared de material B tiene espesor $L_B = 4 \text{ cm}$, $k_B = 150 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ y no tiene generación interna. La superficie interna del material A está perfectamente aislada y la superficie externa del material B está expuesta a una corriente de agua con $h = 1000 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty} = 30^\circ\text{C}$. Dibuje el perfil de temperatura a estable a través de la pared compuesta y calcule las temperaturas de las superficies de los materiales A y B.



2.10. Una pared de 5 m de ancho por 3 m de alto está compuesta por dos materiales de conductividades $k_A = 0.1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ y $k_B = 0.04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ y de espesores $L_A = 10 \text{ cm}$ y $L_B = 20 \text{ cm}$. La resistencia de contacto entre los dos materiales es de $0.3 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. La parte de material A está en contacto con un fluido con $h_A = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty A} = 200^\circ\text{C}$ y la parte B con un fluido de $h_B = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty B} = 30^\circ\text{C}$. Dibuje la distribución de temperatura y calcule la transferencia de calor a través de la pared.

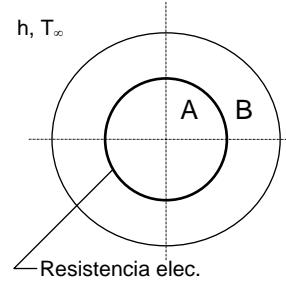
2.11. Un tubo de acero de 2"DN Cédula 40 (DI = 2.067" y DE 2.375"), transporta internamente vapor de agua a $T_{\infty i} = 150^\circ\text{C}$ y $h_i = 4500 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y externamente está "aislado" con cañuelas de lana mineral de 25 mm de espesor. El aire exterior tiene $h_e = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty e} = 30^\circ\text{C}$. Compare las resistencias térmicas de convección y conducción y calcule las pérdidas de calor (W/m) y la temperatura externa del conjunto, sin aislamiento y con aislamiento. En ambos casos, desprecie los efectos radiantes.

2.12. Repita el problema 2.11, pero ahora tomando en cuenta los efectos radiantes, con las paredes del recinto a 30 °C. El tubo sin aislamiento tiene emisividad 0.8 y el aislamiento está recubierto de papel de aluminio de emisividad 0.2.

2.13. Un depósito cilíndrico de agua caliente tiene 0.9 mØ y 2 m de altura. La pared lateral y las tapas de piso y techo están construidas con dos láminas metálicas

delgadas separadas por 2" de espesor de "poliuretano" de $k = 0.03 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. El agua caliente en el interior se mantiene a $T_{\infty i} = 60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $h_i = 50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y el ambiente exterior permanece a $T_{\infty e} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $h_e = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. La resistencia térmica de las láminas metálicas puede despreciarse. Si el precio de la energía es de Bs. 10/kW·hr, calcule el costo diario de mantener el agua en el depósito a $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.14. La figura muestra un conjunto formado por un cilindro sólido A (interior) de 20 mm de diámetro y $k_A = 0.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ y un cilindro hueco B de diámetro interno 20 mm y diámetro externo 50 mm, este último tiene $k_B = 2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. En el interface entre A y B, está enrollada y ajustada una resistencia eléctrica delgada. La superficie externa del cilindro B está expuesta a un fluido de $T_{\infty e} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $h_e = 40 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Calcule la potencia unitaria (W/m de longitud de cilindro) que debe disipar la resistencia eléctrica para mantener la superficie exterior del cilindro B a $T_s = 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Para ese caso, calcule también la temperatura en el centro del cilindro A.



2.15. Dado un tubo largo de conductividad térmica k , de radio interior r_1 y radio exterior r_2 , sometido desde el exterior a un flujo de calor uniforme y constante q_o (W/m^2) y mantenido internamente a una temperatura $T(r_1) = T_1$ constante, deduzca analíticamente la función de distribución de temperatura estable $T(r)$.

2.16. Un alambre conductor eléctrico de $10 \text{ mm}\varnothing$, tiene una resistencia eléctrica unitaria de $10^{-4} \Omega/\text{m}$ y está recubierto con un aislante plástico de 2 mm de espesor y de conductividad térmica $k = 0.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Externamente, el aislante está expuesto al aire ambiente con $T_{\infty e} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $h_e = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Calcule la máxima corriente eléctrica que puede llevar el conductor si el aislante plástico no puede sobreponer una temperatura de $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.17. Un alambre de acero inoxidable de $5 \text{ mm}\varnothing$ tiene una resistencia eléctrica de $6 \times 10^{-4} \Omega/\text{m}$ (por metro de longitud de alambre) y lleva una corriente de 300 A. El ambiente tiene $T_{\infty} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $h = 25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. (Desprecie los efectos radiantes).

a) Calcule la temperatura superficial del alambre desnudo.

b) Si se recubre el alambre con caucho vulcanizado ($k = 0.16 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), Calcule el espesor de este aislante que produce el mínimo nivel de temperatura en el recubrimiento. Para ese espesor, calcule la máxima temperatura en el aislante.

2.18. Un tubo acero de 12"DN Cédula 40 (DE = 12"), transporta vapor saturado de agua a 20 bar ($212 \text{ }^{\circ}\text{C}$). El aire ambiente tiene $T_{\infty} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $h = 25 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Pueden despreciarse las resistencias térmicas por convección (condensación) en el interior del tubo y por conducción a través del metal. Las paredes del recinto permanecen a $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

a) Calcule el calor perdido (W/m) por el tubo sin aislamiento, si su emisividad es de 0.2.

b) Calcule el calor perdido (W/m) si el tubo se recubre con un espesor de 2" de Magnesita 85% ($k = 0.08 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) con cubierta de lienzo pintado de emisividad 0.2.

c) El costo de la generación de vapor es de Bs. 1.00 por cada 1000 kJ de energía entregados al vapor, el costo de adquirir e instalar el aislamiento es de Bs. 40000 por metro de longitud de tubería y la tubería trabaja 20 hr/día. Calcule el tiempo (días) necesario para que se pague la inversión del aislamiento.

2.19. Un alambre de cobre calibre 14 (1.626 mm°), de resistividad eléctrica $\rho_e = 2 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ y conductividad térmica $k = 380 \text{ W/m} \cdot \text{K}$, conduce una corriente eléctrica de 20 A. El conductor está sumergido en un fluido de $T_{\infty} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $h = 50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

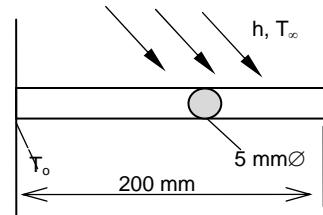
- Calcule la temperatura máxima en el alambre y el calor transferido al fluido por metro de longitud.
- Suponga que el alambre se aísla con caucho vulcanizado ($k_A = 0.16 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) y calcule el radio crítico de aislamiento correspondiente a este material y para este espesor, determine la temperatura máxima del alambre para la misma corriente eléctrica.

2.20. Derive una expresión para el radio de aislamiento crítico de una esfera.

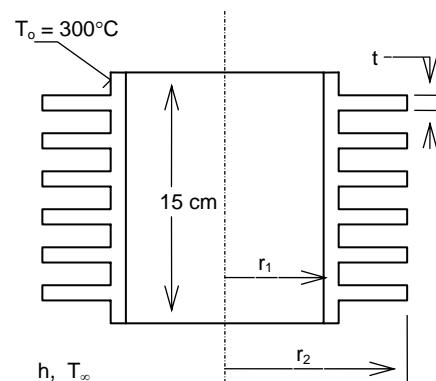
2.21 Considere el fraguado de un muro de concreto de 20 cm de espesor, encofrado por dos tablas de madera de 2 cm de espesor cada una. Durante el proceso de fraguado, el concreto tiene $k_C = 1.2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ y una generación uniforme de calor $q_0 = 2 \times 10^3 \text{ W/m}^3$. Las tablas de madera tienen $k_M = 0.30 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. El aire ambiente tiene $T_{\infty} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $h = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Calcule las temperaturas en el centro del muro de concreto y en las dos superficies del concreto en contacto con las tablas del encofrado.

2.22. Una barra circular de 5 mm° y 200 mm de longitud está expuesta a una corriente de aire a $T_{\infty} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $h = 15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. La raíz de la barra está en contacto con una superficie a $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

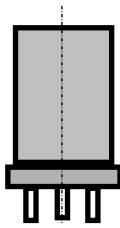
Compare el calor disipado por la barra para los casos de que ésta sea de acero inoxidable ($k = 14 \text{ W/m} \cdot \text{K}$) o de cobre ($k = 384 \text{ W/m} \cdot \text{K}$).



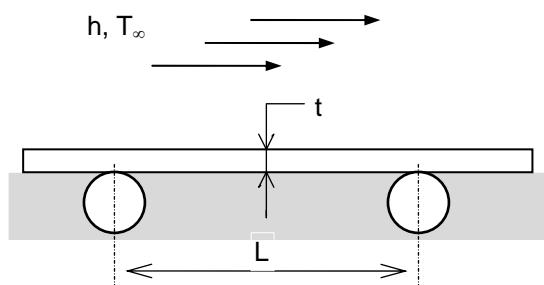
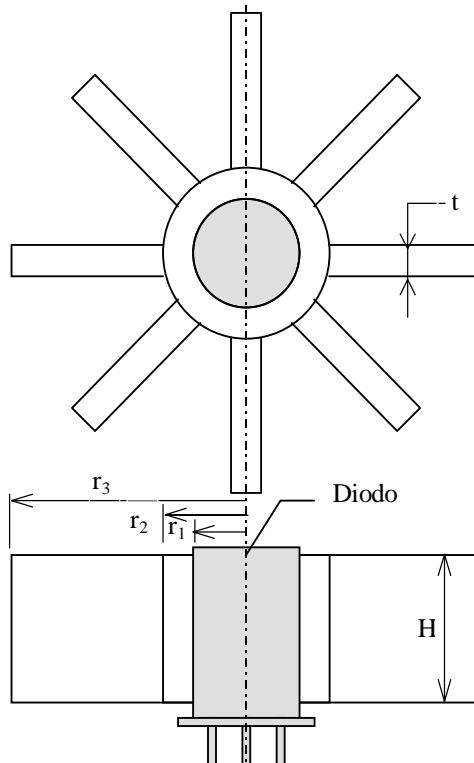
2.23. El cilindro del motor de una motocicleta es de Duraluminio y tiene 15 cm de altura y radio exterior $r_2 = 6 \text{ cm}$. El cilindro tiene 6 aletas anulares de espesor uniforme $t = 6 \text{ mm}$ y 2 cm de longitud ($r_1 = 4 \text{ cm}$), también de Duraluminio. La base de las aletas se mantiene a $T_o = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y éstas están expuestas al aire a $T_{\infty} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$, el cual fluye entre las aletas con $h = 50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Calcule el calor disipado por el cilindro con aletas.



2.24. La figura inicial muestra un diodo electrónico de forma cilíndrica de 12 mm de alto y 10 mm de diámetro, el cuál debe disipar una potencia de 15 W al aire ambiente de $T_{\infty} = 40^{\circ}\text{C}$ y $h = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

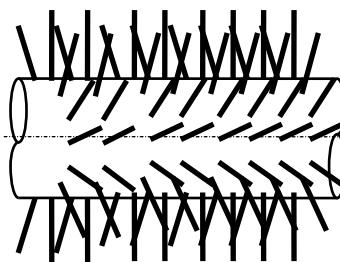


- a) Calcule la temperatura de la superficie del diodo, despreciando el calor por radiación y suponiendo que la base y el tope del diodo están bien aislados.
- b) Calcule la temperatura superficial del diodo si ahora se le coloca un "dissipador de calor" de Aluminio, el cual consiste en un anillo de 2 mm de espesor y 12 mm de altura (H) sobre el cual se disponen 8 aletas radiales planas, de 1 mm de espesor (t), 20 mm de longitud radial y 12 mm de alto. ($r_1 = 5 \text{ mm}$, $r_2 = 7 \text{ mm}$ y $r_3 = 27 \text{ mm}$)



y la cara posterior está aislada. Calcule el calor absorbido por cada metro de longitud de tubo y por toda la pared. Suponga que los tubos tienen la misma temperatura del agua y que a esta temperatura (250°C) está el punto de contacto entre la lámina y cada tubo.

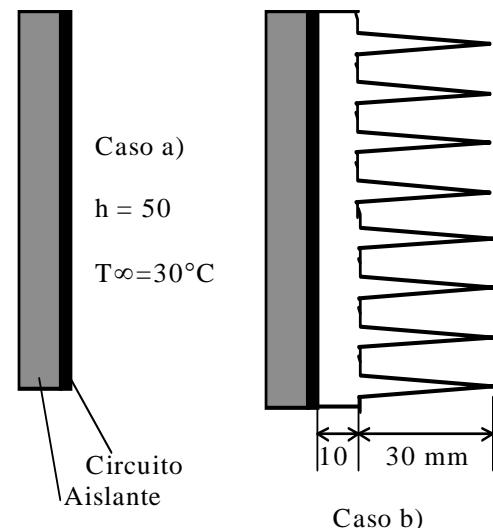
2.26. El tubo de un condensador es de cobre, de DN 2" peso standard (DI = 2.063" DE = 2.375") y conduce Freón 12 a 60°C . El ambiente exterior es aire a $T_{\infty} = 25^{\circ}\text{C}$ y para el tubo sin aletas, el coeficiente de convección es $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Para incrementar la expulsión de calor hacia el exterior, sobre la superficie externa del tubo se dispone de aletas de acero en forma de púas de $1 \text{ mm} \varnothing$ y 30 mm de longitud, con una densidad de aplicación de 25 aletas por cm^2 de área exterior del tubo. Calcule el incremento en el flujo de calor que se obtiene con las aletas respecto al caso sin aletas.



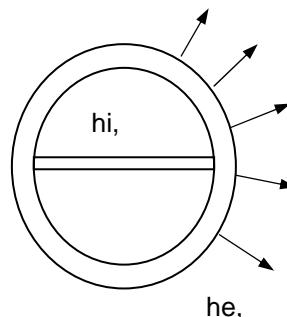
2.27. a) Un circuito electrónico integrado debe disipar una potencia calorífica de 180 W al aire ambiente, como se indica en la figura del caso a). El aire ambiente tiene $T_{\infty} = 30^{\circ}\text{C}$ y $h = 50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. El circuito tiene forma cuadrada de 12cm x 12cm de lado y una de las caras está perfectamente aislada. Determine la temperatura estable de operación del circuito tomando en cuenta los efectos convectivos y radiantes (suponga que las paredes del recinto están a la misma temperatura del aire y que la emisividad del circuito es $\varepsilon = 0.5$).

b) Despreciando los efectos radiantes, determine la temperatura del circuito si se le agrega un dissipador de Latón Rojo compuesto por una placa de 10 mm de espesor y 25 Aletas de perfil triangular de 2 mm de espesor (en la base) y 30 mm de longitud, como se indica en la figura del caso b).

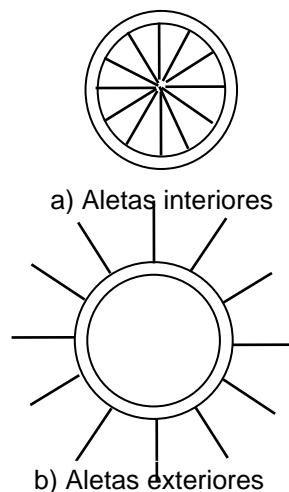
c) Despreciando radiación, determine el número de aletas necesario para que la temperatura del circuito se mantenga a 85°C .



2.28. Un tubo de acero inoxidable de una caldera pirotubular tiene 30 mm de diámetro interior y 5 mm de espesor. Por el interior circula una corriente de gases calientes con $T_{\infty i} = 1000^{\circ}\text{C}$ y $h_i = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y en el exterior circula agua caliente con $T_{\infty e} = 70^{\circ}\text{C}$ y $h_e = 50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Calcule el porcentaje en que aumenta la transferencia de calor cuando en el interior del tubo se ajusta una lámina plana de acero inoxidable de 1 mm de espesor y 30 mm de ancho.



2.29. Un tubo de acero inoxidable de una caldera pirotubular tiene 30 mm de diámetro interior y 5 mm de espesor. Por el interior circula una corriente de gases calientes con $T_{\infty i} = 1000^{\circ}\text{C}$ y $h_i = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y en el exterior circula agua caliente con $T_{\infty e} = 70^{\circ}\text{C}$ y $h_e = 50 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Calcule la transferencia de calor por metro de longitud de tubo si a este se agregan 12 aletas planas radiales de acero inoxidable, de 1 mm de espesor y 14 mm de longitud (medida normal al tubo), a todo lo largo del tubo, a) si las aletas se agregan del lado interior y b) si las aletas se agregan del lado exterior.



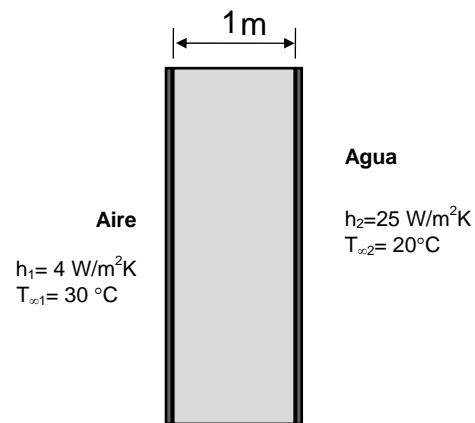
2.30. Un tubo de acero (baja aleación) de 2"DN Cédula 40 (DI = 2.067" y DE = 2.375"), transporta internamente vapor de agua a 200°C

y $h_i = 900 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Se desea recubrir externamente el tubo con cañuelas de lana mineral, de tal manera que las pérdidas de calor se reduzcan en un 80 % (sin tomar en cuenta las pérdidas por radiación). El aire exterior tiene $h_e = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ y $T_{\infty e} = 30^\circ\text{C}$. Calcule el espesor de aislamiento que debe emplearse.

2.31. Un muro de contención de concreto, de 1 m de espesor, fragua entre dos formaletas de acero de 0.5 cm de espesor. La reacción química de fraguado genera un $q_g = 2420 \text{ W/m}^3$.

Externamente, las formaletas están expuestas a ambientes de Aire y Agua como se indica en la figura.

Calcule las temperaturas estables de las dos caras del muro y su máxima temperatura durante el fraguado.



2.32. Una tubería de acero (de baja aleación), de 3"DN calibre 80, DE = 3.5" y DI = 2.9", conduce internamente aceite a $T_{\infty i} = 300^\circ\text{C}$ con un $h_i = 180 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. El ambiente exterior es aire tranquilo con $T_{\infty e} = 30^\circ\text{C}$ y un $h_e = 4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Determine el espesor de aislamiento de "lana mineral" necesario para que su superficie exterior tenga una temperatura "segura" (70°C) para protección del personal.

2.33. Durante el proceso de fraguado de una columna de concreto de $30 \text{ cm}\varnothing$, se produce una generación interna de calor $q_g = 2000 \text{ W/m}^3$. Las condiciones del aire ambiente son $T_{\infty e} = 30^\circ\text{C}$ y un $h_e = 4.5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Determine el espesor que debe tener el encofrado de madera ($k = 0.8 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), de tal manera que la temperatura del concreto sea la mínima posible durante el fraguado. Para ese caso, calcule la temperatura central de la columna.

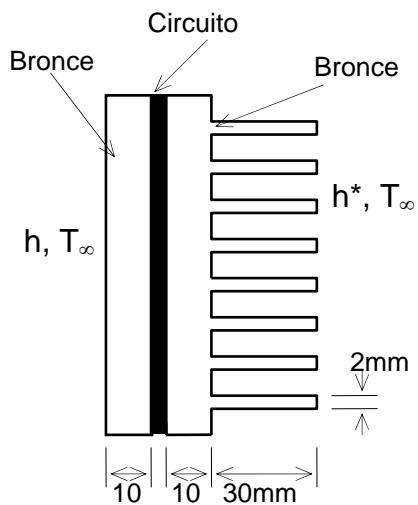
2.34. Una tubería de acero inoxidable de $3/4"$ DN (DE = 1.050" y DI = 0.920"), conduce internamente Amoniaco con $T_{\infty i} = -35^\circ\text{C}$ y $h_i = 125 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

El aire ambiente externo tiene $T_{\infty e} = 15^\circ\text{C}$ y $h_e = 12 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

a) Investigue la posibilidad de formación de hielo por congelamiento de la humedad del aire ambiente y calcule la transferencia de calor resultante por metro de longitud del tubo (W/m).

b) Examine la conveniencia de agregar aislamiento de caucho vulcanizado para reducir la transferencia de calor y evitar la formación de hielo sobre el tubo; en caso afirmativo calcule el espesor necesario y la transferencia de calor.

2.35. Un circuito electrónico integrado debe disipar una potencia calorífica de 100 W al aire ambiente cuyas condiciones son $T_{\infty} = 30^{\circ}\text{C}$ y $h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. El circuito forma una placa cuadrada de espesor despreciable de 10cm x 10cm de lado y está montado entre dos láminas de Bronce de 10 mm de espesor. Una de las placas de bronce tiene 8 aletas planas, también de Bronce, de 2 mm de espesor y 30 mm de largo como se indica en la figura. Determine la temperatura de funcionamiento estable del circuito integrado sin aletas y con las aletas.



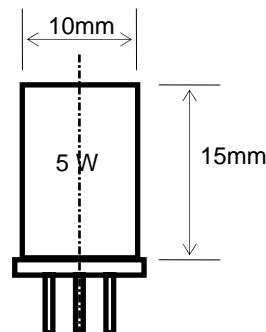
- 2.36. Se desea construir un alambre fusible de una aleación de Estaño de conductividad $k = 50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, de temperatura de fusión $T_f = 200^{\circ}\text{C}$ y de Resistividad Eléctrica $\rho_e = 0.12 \times 10^{-6} \Omega\cdot\text{m}$.
- Calcule el diámetro que debe tener el fusible para que opere con una corriente de 40 amperios en un ambiente de aire con $T_{\infty} = 40^{\circ}\text{C}$ y con un $h = 20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.
 - Examine la conveniencia de colocarle al fusible un recubrimiento aislante de plástico de $k_p = 0.15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. ¿Qué espesor recomendaría?

2.37. Una tubería de Latón Rojo de DE = 25 mm y DI = 23 mm, conduce internamente refrigerante-12 a $T_{\infty i} = -20^{\circ}\text{C}$ con un $h_i = 500 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$. El aire ambiente se mantiene a $T_{\infty e} = +30^{\circ}\text{C}$ con un $h_e = 10 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$.

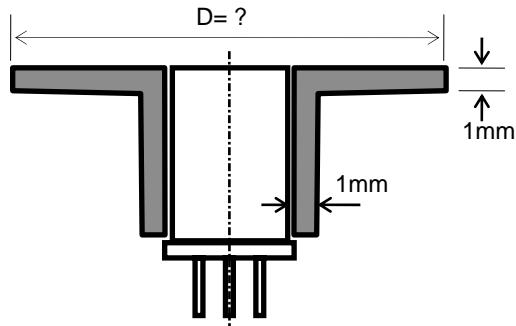
Despreciando los efectos radiantes, calcule :

- El espesor de hielo que puede formarse sobre el tubo y el calor transferido en esas condiciones.
- El espesor de caucho vulcanizado que debe emplearse para evitar la formación de hielo sobre el tubo y el calor transferido en estas condiciones.

- 2.38. La figura inicial muestra un “diodo” de forma cilíndrica, de 10 mm de diámetro y 15 mm de alto el cual debe disipar una potencia de 5 W al aire ambiente de $T_{\infty} = +30^{\circ}\text{C}$ con un $h = 20 \text{ W/m}^2\cdot^{\circ}\text{C}$.
- Calcule la temperatura de la superficie exterior del diodo, despreciando el calor radiante y suponiendo que la base y el tope del diodo están aislados.



- b) Se coloca el disipador de calor de acero corriente que se muestra en la segunda figura, el cual consiste en un anillo de contacto de 1 mm de espesor y una arandela, también de 1 mm de espesor. Calcule el diámetro externo de la aleta (arandela), necesario para que la temperatura de la superficie exterior del diodo sea inferior a 200 °C.

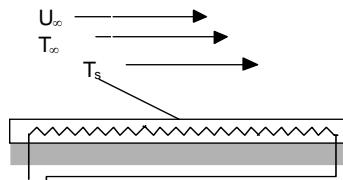


Respuestas a los Problemas del Capítulo 2 :

- | | | |
|--|--|---|
| 2.1. $L/[k(A_1 \cdot A_2)^{0.5}]$, 65W | 2.2. 42.22; 3.44; 0.06; 0.02W | 2.3. 45 mm |
| 2.4. 19.2 y 14.7; 5.9 y 5.6 °C | 2.5. 255 W | 2.6. 165 °C |
| 2.8. 68.74 l/día | 2.9. 320; 220; 180 °C | 2.10. 395.35 W |
| 2.11. 226.65 y 53.74W/m | 2.12. 426.76 y 54.58 W/m | 2.13. Bs. 41.26 |
| 2.14. 125.66 y 44.16 °C | 2.16. 465.21 A | 2.17. 167.5 °C; 3.9 mm, 134.2 °C |
| 2.18. 4866 W; 302 W; 92 días | 2.19. 45 °C; 3.85 W; 39 °C | 2.20. 2k/h |
| 2.21. 71.7; 63.3; 50 °C | 2.22. 1.77 vs 750 W | 2.23. 1247.41 W |
| 2.24. 2029; 456 °C | 2.25. 825 kW | 2.26. 426.23 vs 66.33 W/m (543%) |
| 2.27. 244°C; 92 °C; 33 | 2.28. 747 a 934 W/m (25%) | 2.29. 1518 vs 806 W/m |
| 2.30. 34 mm | 2.31. 277.6; 77.4; 461.6 °C | 2.32. 50 mm |
| 2.33. 27.7 mm; 73.13 °C | 2.34. 134.7 W/m; 18.54 mm; 36 W/m | |
| 2.35. 530.78 y 285.13 °C | 2.36. 2.9 mm; 0.00 mm | |
| 2.37. 59.5 mm, 136 W/m; 8 mm, 39 W/m | 2.38. 560.5 °C; 41 mm | |

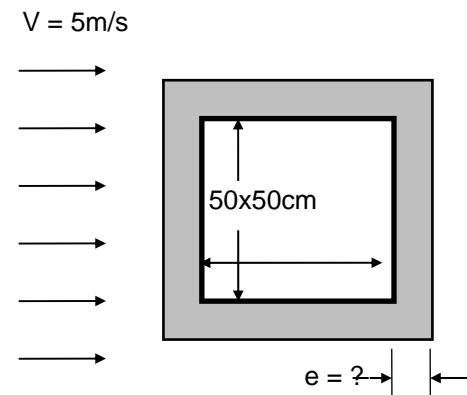
3. CONVECCION

3.1. Sobre un calentador horizontal, en forma de placa plana, fluye paralela una corriente de aire a 1 atm, con velocidad uniforme $U_\infty = 40 \text{ m/s}$ y temperatura de $T_\infty = 25^\circ\text{C}$. La superficie expuesta de la placa tiene dimensiones de $0.5 \times 0.5 \text{ m}$. Determine la potencia eléctrica que debe suministrarse al calentador para mantener su superficie a $T_s = 120^\circ\text{C}$.



3.2. Un conducto horizontal de sección cuadrada, tiene dimensiones internas de $50 \times 50 \text{ cm}$, está construido de lámina de acero galvanizado de 2 mm de espesor y externamente debe aislarse con una capa de "lana de vidrio". Al conducto entra un caudal de $0.90 \text{ m}^3/\text{s}$ de aire frío a -20°C y 102 kPa de presión y por el exterior el aire ambiente tiene una velocidad transversal de 5 m/s, con $T_\infty = 30^\circ\text{C}$ y $P_{\text{atm.}} = 1 \text{ atm}$.

Determine el espesor de aislamiento necesario para limitar el calentamiento del "aire frío" a 5°C por cada 100 m de longitud de conducto.



3.3. Un tubo horizontal de acero negro, de 25 mm de DI y 30 mm de DE, conduce internamente aire caliente el cual en promedio tiene una temperatura de 80°C , presión absoluta de 300 kPa y velocidad de 10 m/s. La tubería pasa por un cuarto cuya temperatura ambiente y presión son de 20°C y 101.3 kPa respectivamente. Calcule las pérdidas de calor por metro de longitud de tubo y la temperatura de la superficie exterior del tubo.

3.4. El serpentín de calentamiento de un termo instantáneo (calentador de agua), conduce internamente un caudal de agua de 20 litros/minuto y recibe externamente un flujo de calor uniforme. El serpentín consiste en un tubo continuo de latón, de $5/8''\text{DN}$ tipo K (0.75"DE y 0.049" de espesor). Determine la longitud que debe tener el serpentín (tubo), de tal manera que el agua se caliente de 15 a 60°C , y que la temperatura promedio de la superficie externa del tubo no sobrepase un valor seguro de 100°C .

3.5. Por el interior de cada uno de los tubos de un condensador circula agua de enfriamiento a 2 m/s de velocidad. El agua de enfriamiento entra a los tubos a 25°C y debe salir a 35°C , como máximo. Los tubos son de cobre de 25 mm DI y 30 mm DE y en su superficie externa se condensa vapor de agua a 48 kPa (80°C), el cual tiene un $h_{fg} = 2305 \text{ kJ/kg}$. Despreciando la resistencia térmica del proceso de condensación exterior ($h \rightarrow \infty$) y la de conducción a través de la pared de cobre del tubo, determine la longitud mínima que debe tener cada tubo y la cantidad de vapor (kg/hr) que puede condensarse sobre el exterior de cada tubo.

3.6. Un tubo de acero de 4" DN, cédula 40 (DE = 4.5" DI = 4.026"), transporta internamente vapor saturado a 7 bar (165 °C). El ambiente es aire tranquilo con $T_\infty = 25^\circ\text{C}$ y $P_{\text{atm}} = 85 \text{ kPa}$ y el tubo tiene aislamiento de lana mineral de 1.5" de espesor. Calcule las pérdidas de calor en 100 m de longitud, la temperatura de la superficie externa del conjunto y la formación de condensado (kg/hr) en el interior. Para el vapor de agua a 7 bar, $h_{fg} = 2066.3 \text{ kJ/kg}$ y $v_g = 0.2727 \text{ m}^3/\text{kg}$.

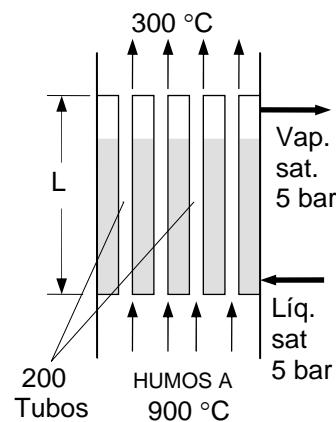
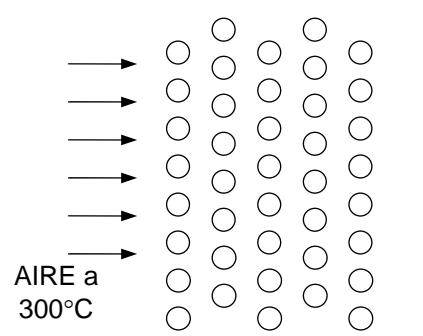
3.7. Un alambre de alta tensión, de cobre, de 10 mm de diámetro, tiene una resistencia eléctrica de $10^{-4} \Omega/\text{m}$ y transporta una corriente eléctrica de 650 A. Desprecie los efectos radiantes y calcule la temperatura superficial del conductor para los siguientes casos:

- Alambre desnudo en una corriente transversal de aire con $T_\infty = 30^\circ\text{C}$ y $V = 5 \text{ m/s}$.
- Alambre desnudo en un ambiente de aire tranquilo con $T_\infty = 30^\circ\text{C}$.
- Alambre aislado con 2 mm de espesor de caucho vulcanizado ($k = 0.16 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), en aire tranquilo con $T_\infty = 30^\circ\text{C}$.

3.8. Calcule la fracción de potencia que disipa como calor convectivo y radiante una bombilla incandescente de 50 W. Suponga que la bombilla tiene forma aproximadamente esférica de 50 mmØ, una temperatura superficial de 140 °C y una emisividad $\epsilon = 0.1$ y está ubicada en un ambiente donde el aire (tranquilo) y las paredes tienen una temperatura de 30 °C.

3.9. El banco de tubos de un intercambiador de calor está formado por cinco (5) filas de diez (10) tubos cada una, con arreglo escalonado como se indica en la figura. Los tubos son de bronce (CuSn6), de DE = 20 mm y DI = 16 mm. Los pasos longitudinal y transversal del arreglo son de 30 mm c/u. Por el interior de los tubos circula un caudal total de 1800 kg/hr de AGUA, el cual entra a 20 °C y debe salir a 40 °C. Por el exterior de los tubos fluye un caudal total de 360 kg/hr de aire caliente, el cual entra al intercambiador a 300 °C y 100 kPa. Calcule la longitud que deben tener los tubos del intercambiador.

3.10. La caldera vertical de la figura debe producir 1000 kg/hr de vapor saturado a 5 bar, a partir de agua (líquido saturado) a 5 bar. Los humos de combustión entran a los tubos a 900 °C y salen de éstos a 200 °C. El banco de tubos consta de 200 tubos de acero de DE= 1.315" y DI = 0.957". Para el vapor de agua a 5 bar, $T_{\text{sat}} = 152^\circ\text{C}$, $h_{fg} = 2108 \text{ kJ/kg}$ y $v_g = 0.3749 \text{ m}^3/\text{kg}$. Las propiedades de los humos de combustión pueden asumirse iguales a las del aire a



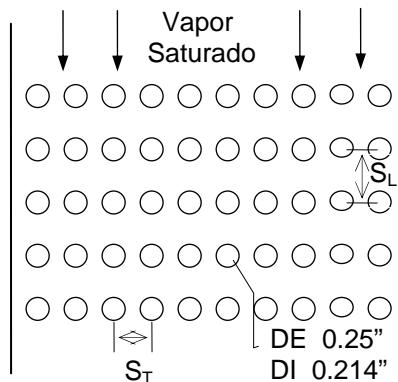
las mismas temperaturas.

Calcule el caudal de humos necesario y la longitud (L) que deben tener los tubos.

3.11. En el intercambiador de calor de la figura se deben calentar 5000 kg/hr de agua (líquida) de 30 a 90 °C, mediante la condensación de vapor saturado a 180 °C ($h_{fg} = 2015 \text{ kJ/kg}$ y $v_g = 1.94 \text{ m}^3/\text{kg}$).

El agua se reparte por el interior de un banco de 50 tubos horizontales de bronce ($k = 64 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) de 1/4"DN, con el arreglo indicado ($S_L = 19 \text{ mm}$ y $S_T = 12.7 \text{ mm}$).

Calcular la longitud que deben tener los tubos y el caudal (kg/hr) de vapor condensado.



3.12. Una de las paredes laterales de una cava de refrigeración mide 5 m de largo por 2 m de alto y está construida de ladrillo aislante ($k = 0.4 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) de 10 cm de espesor. El ambiente interior es aire tranquilo a 10 °C bajo cero, mientras que sobre el exterior se estima un viento horizontal paralelo de 8 m/s y 30°C de temperatura. La presión atmosférica es de 101 kPa.

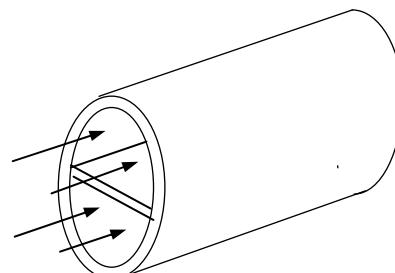
Calcule la temperatura de la superficie externa y la ganancia de calor de la pared.

3.13. Los tubos horizontales de una caldera son de acero negro, de $DE = 2.375"$ y $DI = 1.939"$. Por el interior de cada tubo circulan "humos calientes" a 120 kPa, a una temperatura promedio de 500 °C y a 10 m/s de velocidad. Suponga que los humos tienen las mismas propiedades que el aire a las mismas temperaturas de interés. En el exterior de los tubos hay agua en ebullición a 10 atm y 180 °C (temperatura de saturación).

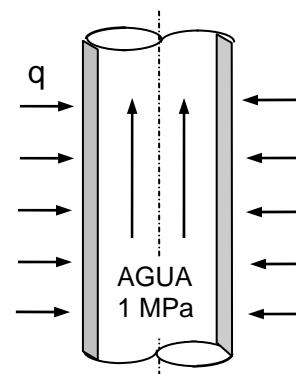
a) Calcule la transferencia de calor unitaria (W/m) y la temperatura de la superficie interna del tubo (Tmáx. del metal).

b) Calcular la transferencia de calor (W/m) y la temperatura máxima del tubo si sobre la superficie externa del mismo se forma una capa de 2 mm de espesor de CaCO_3 de $k = 0.1 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$.

c) Calcular la transferencia de calor unitaria (W/m) y la temperatura máxima del tubo si en el interior y en toda su longitud, el tubo posee una lámina de acero de 2 mm de espesor. (En éste caso no hay Carbonato de Calcio).



3.14 En una caldera, cada tubo vertical de acero negro de $DE = 2.875"$ y $DI = 2.125"$, recibe por convección y radiación un flujo de calor externo $q = 200 \text{ kW}$ por cada m^2 de superficie

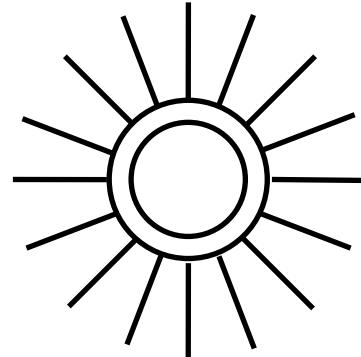


expuesta. Por el interior de los tubos circula agua en ebullición a 1 MPa ($311.1\text{ }^{\circ}\text{C}$) y a una velocidad promedio de 10 m/s.

- Calcule la temperatura máxima en el tubo de acero (en condiciones limpias).
- Calcule la temperatura máxima en el tubo de acero si en su interior se deposita una capa de CaCO_3 ($k = 0.2\text{ W/m}\cdot\text{K}$) de 0.5 mm de espesor.

3.15. Un tubo de bronce al Al, de 1 m de longitud tiene externamente 16 aletas planas radiales. El tubo tiene 0.875" DE y 0.745" DI. Por el interior del tubo fluye agua con una velocidad promedio $U = 5\text{ m/s}$ y con una temperatura media $\bar{T}_b = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$. El aire externo se hace circular en forma paralela a la dirección de las aletas a una velocidad $U_{\infty} = 10\text{ m/s}$, a 1 atm y con $T_{\infty} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las aletas también son de bronce, de 1 mm de espesor y 25 mm de largo (en dirección radial).

Calcule el calor que se transfiere entre los dos fluidos.



3.16. La chimenea de una caldera es un tubo vertical de acero (DI = 61 cm y 2 mm de espesor) de 20 m de altura. A la base de la chimenea entra un caudal de humos de 9000 kg/hr a $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, a 1 atm. de presión y sus propiedades térmicas pueden tomarse como si se tratara de aire a las mismas temperaturas. El aire ambiente tiene 1 atm y $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una velocidad (viento) de 5 m/s.

Determine la temperatura de descarga de los humos y la temperatura de la superficie externa de la chimenea.

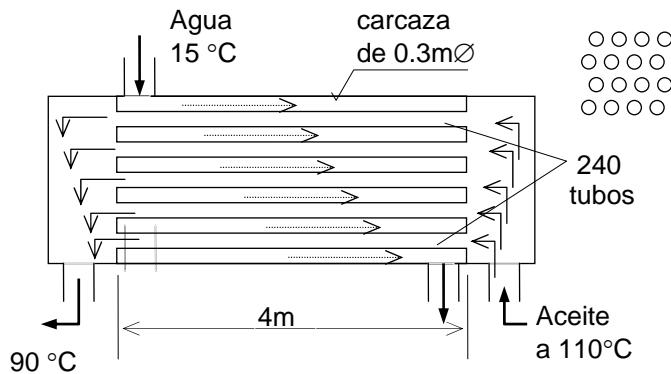
3.17. Se desea construir una resistencia de calefacción con un alambre de Cupro-Níquel de 0.8 mm \varnothing , cuya resistencia eléctrica por unidad de longitud es de $1.0\text{ }\Omega/\text{m}$. La resistencia debe conectarse a una toma de 220 V. La resistencia va a estar sumergida en una corriente transversal de aire a 1 atm, con $T_{\infty} = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 15 m/s de velocidad.

a) Despreciando la radiación de calor, calcule la longitud (m) que debe tener el alambre y el calor (W) que puede disipar, si su temperatura superficial no puede pasar de $700\text{ }^{\circ}\text{C}$.

b) Examine la conveniencia de recubrir el alambre con cerámica. Si conviene, calcule el espesor necesario de cerámica y la longitud de la resistencia, para disipar la misma potencia del caso anterior.

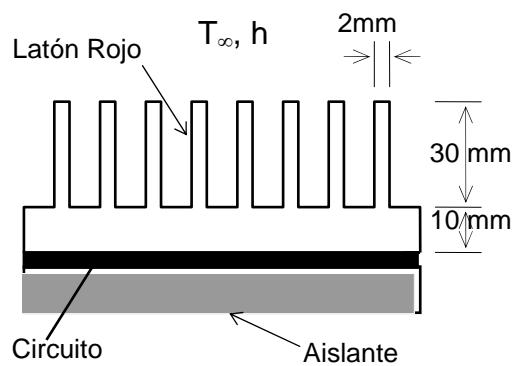
3.18. En el intercambiador de la figura se desea enfriar 2 l/s de aceite de 110 °C a 90 °C, con agua a 15 °C. La carcaza tiene 0.3 m Ø y contiene 240 tubos de cobre de DE = 5/8", DI = 0.545" y 4 m de longitud, regularmente espaciados. La carcaza no tiene bafles y puede despreciarse la resistencia térmica del cobre.

Calcule el caudal de agua necesario (kg/s).



3.19. Un circuito electrónico integrado debe disipar una potencia calorífica de 120 W al ambiente de aire tranquilo a $T_{\infty} = 30^{\circ}\text{C}$ y 1 atm. de presión. El circuito forma una placa cuadrada horizontal de espesor despreciable de 10cm x 10cm de lado y está montado entre una lámina muy gruesa de "aislante" y otra de Latón Rojo de 10 mm de espesor. La placa de Latón tiene 30 aletas planas, también de Latón Rojo, de 2 mm de espesor y 30 mm de largo como se indica en la figura.

Determine la temperatura de operación del circuito electrónico (desprecie los efectos radiantes).



3.20. Un tubo horizontal de acero aleado de DE = 2.5" y DI = 2.204", conduce internamente un caudal de 6400 kg/hr de aceite a una temperatura promedio de 150 °C. El tubo recorre un ambiente de aire tranquilo a 25 °C y 85 kPa de presión atmosférica. Para efectos de protección del personal de planta se requiere recubrir el tubo con aislamiento de lana mineral, de tal manera que la superficie externa tenga una temperatura "segura" de 60 °C.

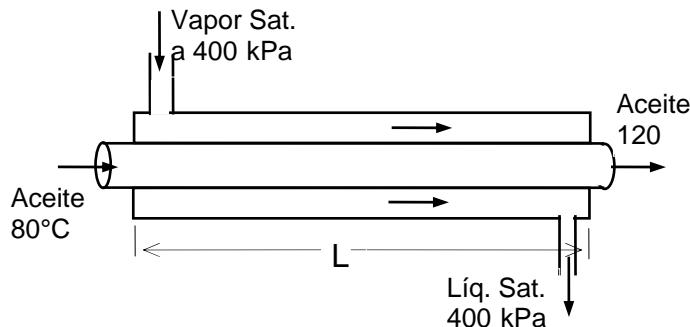
Calcule el espesor necesario de lana mineral y las pérdidas unitarias de calor (W/m).

3.21. A un ducto horizontal de sección circular (de 30 cm DI) entra un caudal volumétrico de 0.25 m³/s de aire frío a 15°C bajo cero y a una presión de 150 kPa. El ducto está construido de lámina de acero galvanizado ($k = 50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) de 2 mm de espesor, y está recubierto externamente por una capa de 25 mm de espesor de "lana de vidrio" ($k = 0.07 \text{ W/m}\cdot\text{K}$). Externamente el ducto está expuesto a un ambiente de aire tranquilo con una temperatura $T_{\infty} = 30^{\circ}\text{C}$ y una presión de 80 kPa.

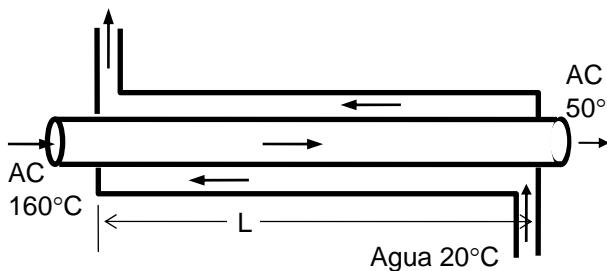
Calcule la longitud de ducto en la cual el aire interior (frío) recibe una ganancia de calor de 5 kW.

3.22. En un tubo de acero de 2"DN calibre 40 (DE = 60.3 mm y DI = 52.5 mm) se desea calentar un caudal de 5 kg/s de aceite de 80 a 120 °C, mediante una camisa concéntrica de vapor saturado, como se indica en la figura.

El tubo exterior (camisa) también es de acero de DE = 101.6 mm y DI = 90.1 mm. A 400 kPa $T_{sat} = 143.6^\circ\text{C}$, $h_{fg} = 2133.8 \text{ kJ/kg}$ y $v_g = 0.4625 \text{ m}^3/\text{kg}$. Suponga que externamente todo el conjunto está bien aislado y calcule la longitud (L) que debe tener la camisa de calentamiento.

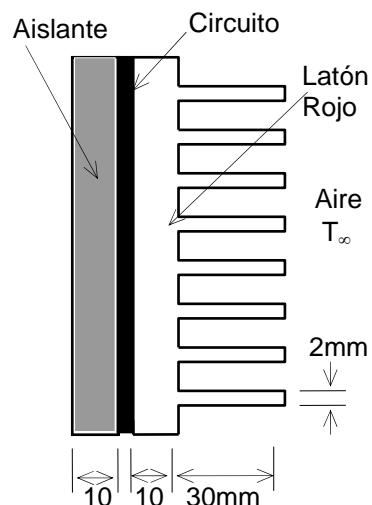


3.23. La figura muestra un enfriador de aire comprimido que utiliza agua como fluido refrigerante. El tubo interior es de latón de DI = 18 mm y DE = 22 mm y conduce 50 kg/hr de aire comprimido a una presión de 7 atm absolutas, el cual debe enfriarse desde 160 °C hasta 50 °C. El tubo exterior (camisa) es de latón de DE = 35 mm y DI = 30 mm y tiene una longitud total de $L = 3 \text{ m}$. El agua disponible tiene una temperatura de 20 °C. Calcule el caudal de agua que debe utilizarse.



3.24. Un circuito electrónico integrado debe disipar una potencia calorífica de 200 W al aire ambiente ($T_\infty = 30^\circ\text{C}$ y 1 atm. de presión). El circuito forma una placa cuadrada vertical de espesor despreciable de 10cm x 10cm de lado y está montado entre una lámina gruesa de "aislante" y otra de Latón Rojo de 10 mm de espesor. La placa de Latón tiene aletas planas, también de Latón, de 2 mm de espesor y 30 mm de largo como se indica en la vista de planta de la figura.

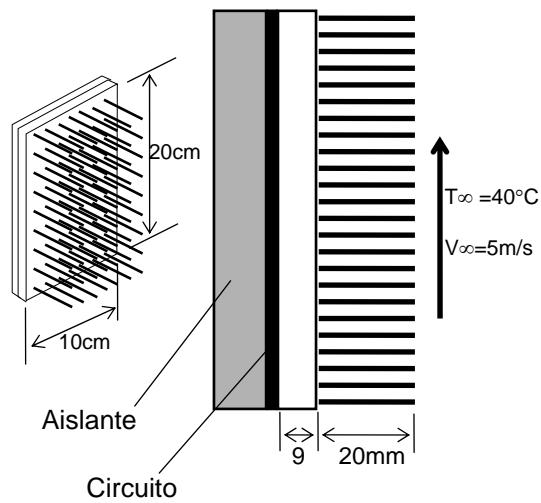
Determine el número de aletas necesaria para que el circuito mantenga una temperatura de 100 °C.



3.25. Un tubo horizontal de acero negro (poco aleado) de 2" DN, cédula 40 (DE = 60 mm y DI = 52 mm), conduce 120 kg/hr de vapor saturado de agua a 1 MPa, en un ambiente de aire tranquilo de 1 atm y 30 °C. Determine el espesor de aislamiento de Lana Mineral que debe emplearse para limitar las pérdidas unitarias de calor al ambiente a menos de 80 W/m.

Para 1 MPa : $T_{\text{sat}} = 180^\circ\text{C}$, $h_{fg} = 2015 \text{ kJ/kg}$ y $v_g = 0.1944 \text{ m}^3/\text{kg}$.

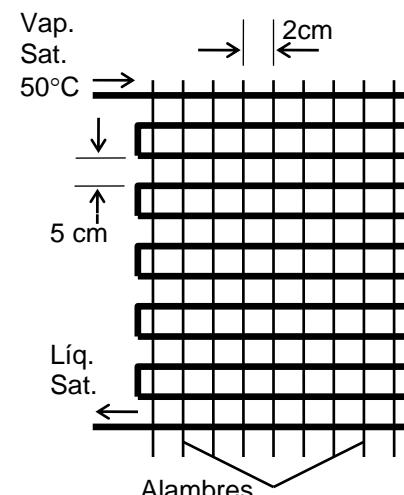
3.26. Un circuito electrónico vertical debe disipar una potencia calorífica de 150 W a una corriente de aire paralela de $T_\infty = 40^\circ\text{C}$ y $V_\infty = 5 \text{ m/s}$. El circuito tiene forma de placa rectangular de 10 cm de ancho y 20 cm de alto (espesor despreciable) y tiene de respaldo una lámina aislante gruesa. En la otra cara tiene un dissipador de acero inoxidable formado por una lámina de 9 mm de espesor dotado de aletas en forma de púas, también de acero inoxidable, de 20 mm de largo y 0.5 mm de diámetro, con densidad de aplicación de 64 púas/cm² de superficie base. Calcule la temperatura de operación del circuito.



3.27. El condensador de una nevera doméstica está conformado por un serpentín (tubo continuo) de aluminio de DE = 9.5 mm y DI = 7.5 mm. A manera de protección mecánica y también como superficies extendidas, el serpentín tiene soldados tramos verticales de alambre de acero de 3 mmØ, con 2 cm de espaciamiento horizontal, como se indica en la figura. El área de soldadura entre el alambre y el tubo en cada punto de contacto es igual a la sección del alambre.

Al condensador entra un caudal de 20 kg/hr de vapor saturado de Freón-12 a 50 °C, y de él debe salir como líquido saturado, también a 50 °C. El aire ambiente es aire tranquilo a 1 atm y 20 °C.

Calcule la longitud total que debe tener el serpentín.



3.28. Una tubería de Latón Rojo de DE = 25 mm y DI = 23 mm, conduce internamente salmuera eutéctica 29.9% CaCl₂ a velocidad y temperatura promedios de 2 m/s y -20 °C. El ambiente es aire quieto a 85 kPa y $T_\infty = +30^\circ\text{C}$.

Despreciando los efectos radiantes, calcule :

- El espesor de hielo que puede formarse sobre el tubo y el calor transferido en esas condiciones.

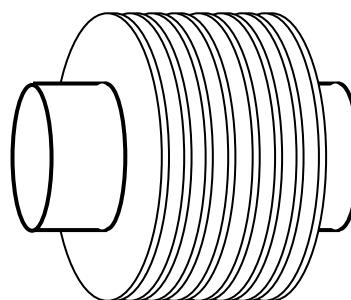
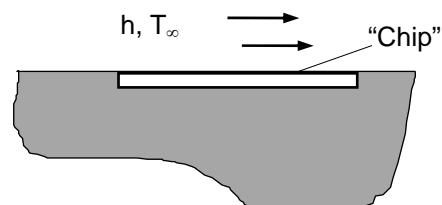
b) El espesor de caucho vulcanizado que debe emplearse para evitar la formación de hielo sobre el tubo y el calor transferido en estas condiciones.

3.29. El tubo de un evaporador de refrigeración es de cobre, de $DI = 13 \text{ mm}$ y $DE = 15 \text{ mm}$ y conduce 200 kg/hr de Freón 12 a -30°C (1 bar) el cual debe cambiar de fase de $X = 0$ a 1. En el exterior circula una corriente transversal de aire a 6 m/s , 100 kPa y $T_\infty = 15^\circ\text{C}$. Para incrementar la captación de calor del exterior, sobre la superficie externa del tubo se dispone de aletas anulares de acero de 0.5 mm de espesor y 30 mm de diámetro exterior, con una densidad de aplicación de 4 aletas por cm de longitud de tubo.

Para el R-12 a -30°C , $h_{fg} = 165.33 \text{ kJ/kg}$.

Calcule la longitud total que debe tener el serpentín del evaporador y examine la posibilidad de formación de hielo sobre el tubo (o aletas).

3.30. Un circuito electrónico compacto ("chip") tiene base cuadrada ($10 \times 10 \text{ mm}$) y 2 mm de espesor y está empotrado en una base aislante, con su cara superior expuesta al ambiente de aire quieto, con $T_\infty = 25^\circ\text{C}$ y 85 kPa . Si el circuito disipa una potencia de 0.5 W y su cara superior tiene una emisividad $\epsilon = 0.6$ y las paredes del ambiente se encuentran a 25°C , calcule la temperatura de la cara expuesta del "chip".



Respuestas a los Problemas del Capítulo 3

- | | | | |
|---|--|--|-------------------------------|
| 3.1. 1762 W | 3.2. 96 mm | 3.3. 46 W/m; 75°C | 3.4. 2.48 m |
| 3.5. 13.83 m; 64 | 3.6. 6.94 kW; 52°C ; 12 | 3.7. 50; 137; 126°C | 3.8. 22.5 % |
| 3.9. 2.8 m | 3.10. 3152 kg/hr; 1.51 m | 3.11. 0.75 m; 623 | 3.12. 25.9 °C; 757W |
| 3.13. 1504, 767 y 1946 W/m; 183.3, 333.9 y 184°C | | | 3.14. 376.5; 1059.4 °C |
| 3.15. 216 W | 3.16. 262; 174°C | 3.17. 8.1 m, 5975 W ; $\pm 10 \text{ mm}$ | |

3.18. 0.29 kg/s **3.19.** 254 °C **3.20.** 19 mm; 59 **3.21.** 85 m **3.22.** 123 m
3.23. 60.5 kg/hr **3.24.** 30 **3.25.** 15.5 mm **3.26.** 125.7 °C **3.27.** 53.8 m
3.28. **3.29.** **3.30.** 228 °C

4. INTERCAMBIADORES DE CALOR

4.1. El banco de tubos de un intercambiador de calor está formado por diez (10) filas de cinco (5) tubos cada una, con arreglo escalonado como se indica en la figura. Los tubos son de latón CuZn37 de 2.0 m de longitud, de $DE = 20 \text{ mm}$ y $DI = 16 \text{ mm}$. Los pasos longitudinal y transversal del arreglo son de 30 mm c/u. Por el interior de los tubos circula un caudal total de 1800 kg/hr de ACEITE, el cual entra a 20°C . Por el exterior de los tubos fluye un caudal de 360 kg/hr de AIRE caliente, el cual entra al intercambiador a 290°C y 100 kPa.

Calcule las temperaturas de salida del agua y del aceite.

4.2. Una caldera de vapor esta formada por un banco de 36 tubos verticales. Los tubos son de acero de conductividad térmica $k = 40 \text{ W/m} \cdot \text{C}$, de $DE = 2.375"$, $DI = 1.939"$ y de 2 m de longitud.

Por el interior de cada tubo entran "humos calientes" a una temperatura de 400°C , a 1 atm. y a 10 m/s de velocidad. Suponga que los humos tienen las mismas propiedades que el aire a las mismas temperaturas de interés.

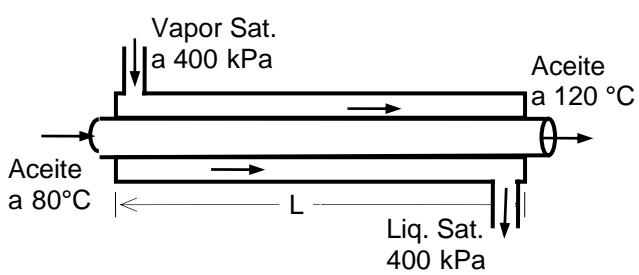
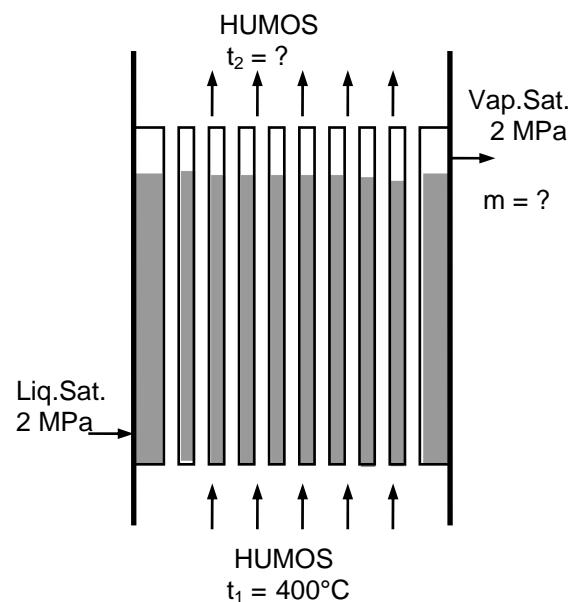
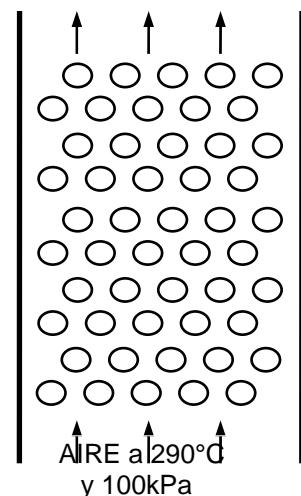
En el exterior de los tubos hay agua en ebullición a 2 Mpa (temperatura de saturación = 212.5°C) con $h_{fg} = 1891 \text{ kJ/kg}$.

a) Calcule el caudal de vapor (kg/s) que puede producir la caldera.

b) Calcule el caudal de vapor producido y la temperatura de la superficie interna del tubo si sobre la superficie externa del mismo se forma una capa de 1mm de espesor de Carbonato de Calcio ($k = 0.3 \text{ W/m} \cdot \text{C}$).

c) Calcule el caudal de vapor producido y la temperatura de la superficie interna del tubo si en el interior y en toda su longitud, el tubo posee una lámina de acero de 2 mm de espesor y 1.939" de ancho. (En éste caso no hay CaCO_3).

4.3. En un tubo de acero de 2"DN calibre 40 ($DE = 60.3 \text{ mm}$ y $DI = 52.5 \text{ mm}$) se desea calentar un caudal de 5 kg/s de aceite de 80 a 120 °C, mediante una camisa concéntrica de vapor saturado, como se indica en la figura. El vapor tiene las siguientes propiedades: $P = 400 \text{ kPa}$, $T_{sat} = 143.6^\circ\text{C}$, $h_{fg} = 2133.8 \text{ kJ/kg}$ y

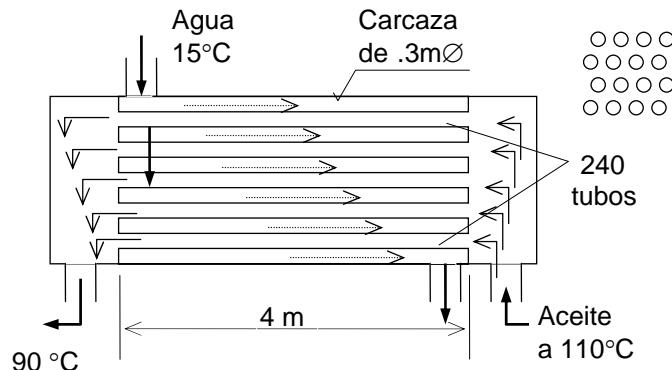


$v_g = 0.4625 \text{ m}^3/\text{kg}$. El tubo exterior (camisa) también es de acero y tiene $3\frac{1}{2}\text{DN}$ calibre 40 de $\text{DE} = 101.6 \text{ mm}$ y $\text{DI} = 90.1 \text{ mm}$.

Suponga que externamente todo el conjunto está bien aislado y calcule la longitud (L) que debe tener la camisa de calentamiento.

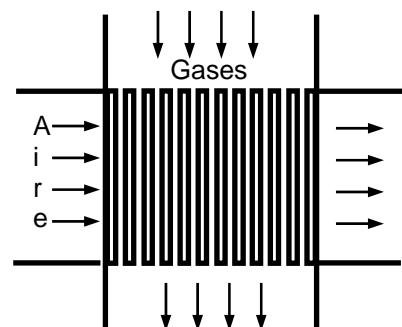
4.4. En el intercambiador de la figura se desea enfriar 2 l/s de aceite de 110°C a 90°C , con agua a 15°C . La carcasa tiene 0.3 m de diámetro interior, está perfectamente aislada externamente y contiene 240 tubos de Cobre de $5/8\text{DN}$ ($\text{DE} = 0.625"$ y $\text{DI} = 0.545"$) de 4 m de longitud, uniformemente espaciados. En la carcasa no hay bafles o deflectores.

Calcule el caudal de agua necesario (kg/s ó litros/hora).

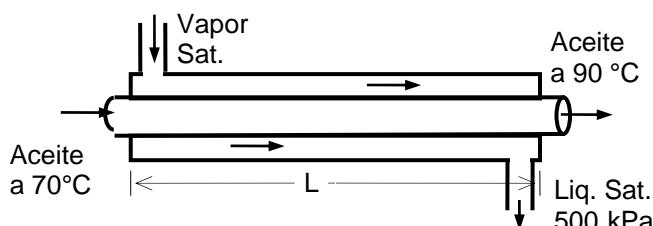


4.5. En el precalentador de aire de una caldera debe calentarse aire (38 kg/s a 101.3 kPa) desde 25°C hasta 165°C , con una corriente de gases de escape (40 kg/s a 100 kPa) disponible a 330°C . El intercambiador es de flujo cruzado y está conformado por tubos de acero de $2"$ DE y $0.148"$ de espesor, en 53 filas de 41 tubos c/u, con arreglo en línea de $2\frac{1}{2}"$ de paso longitudinal y $3\frac{1}{2}"$ de paso transversal.

Calcule la longitud que deben tener los tubos.



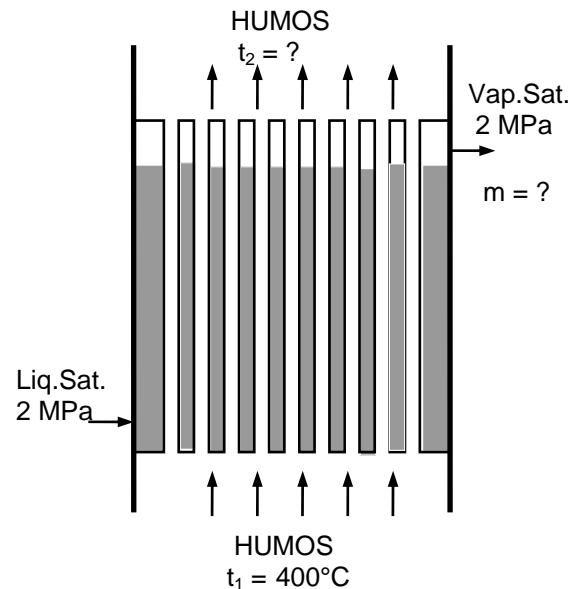
4.6. En el intercambiador de calor de la figura se desea calentar un caudal de 4 kg/s de aceite de 70°C a 90°C , utilizando vapor saturado a 500 kPa . El tubo interior es de acero de baja aleación, de $1\frac{1}{2}\text{ DN}$ calibre 40 ($\text{DE} = 48.3 \text{ mm}$ y $\text{DI} = 40.9 \text{ mm}$) y el tubo exterior, del mismo material, es de $2\frac{1}{2}\text{ DN}$ calibre 40 ($\text{DE} = 73 \text{ mm}$ y $\text{DI} = 62.7 \text{ mm}$).



Calcule la longitud (L) que debe tener el intercambiador. Suponga que el intercambiador está bien aislado externamente.

4.7. La figura representa una caldera de vapor, formada por 36 tubos verticales de acero inoxidable de $DE = 60$ mm, $DI = 49$ mm y de 2 m de longitud. Por el interior de los tubos circula un caudal de 1.2 kg/s de humos calientes, los cuales entran a 400°C y a 1 atm. Suponga que las propiedades de los humos son iguales a las del aire a las mismas temperaturas. En el exterior de los tubos (carcaza) hay agua en ebullición a 2 MPa (propiedades de saturación: $T = 212.4^\circ\text{C}$, $h_{fg} = 1891 \text{ kJ/kg}$, $v_g = 0.1 \text{ kg/m}^3$ y $v_f = 1.18E-3 \text{ kg/m}^3$).

Calcule la producción de vapor (m) de la caldera.

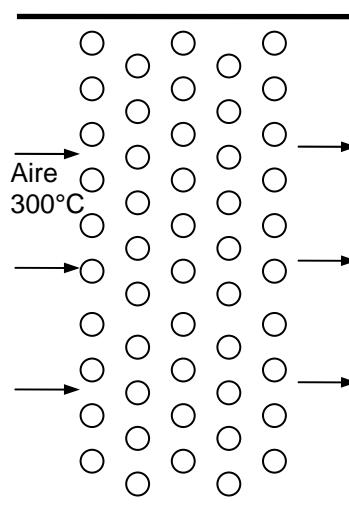


4.8. El banco de tubos de un intercambiador de calor está formado por cinco (5) filas de diez (10) tubos cada una, con arreglo escalonado como se indica en la figura.

Los tubos son de bronce (CuSn6), de $DE = 20$ mm y $DI = 16$ mm. Los pasos longitudinal y transversal del arreglo son de 30 mm c/u.

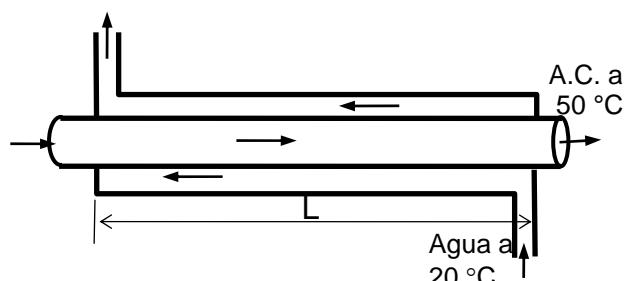
Por el interior de los tubos circula un caudal total de 1800 kg/hr de AGUA, el cual entra a 20°C y debe salir a 40°C . Por el exterior de los tubos fluye un caudal total de 360 kg/hr de AIRE caliente, el cual entra al intercambiador a 300°C y 100 kPa.

Calcule la longitud que deben tener los tubos del intercambiador.



4.9. La figura muestra un enfriador de aire comprimido que utiliza agua como fluido refrigerante. El tubo interior es de latón de $DI = 18$ mm y $DE = 22$ mm y conduce 50 kg/hr de aire comprimido a una presión de 7 atm absolutas, el cual debe enfriarse desde 160°C hasta 50°C . El tubo exterior (camisa) es de latón de $DE = 35$ mm y $DI = 30$ mm y tiene una longitud total de $L = 3$ m. El agua disponible tiene una temperatura de 20°C .

Calcule el caudal de agua que debe utilizarse.

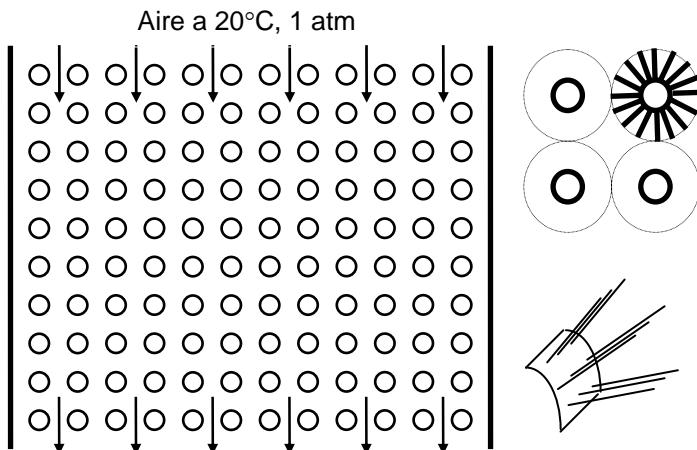


4.10. Se desea enfriar un caudal de 0.4 kg/s de aceite de motor a 120°C , utilizando un caudal de aire de 0.2 kg/s de aire a 1 atm. y 20°C . Para tal fin se dispone de un intercambiador de calor formado por un banco de 10 filas x 12 tubos de 1.5m de lar-

go c/u, con arreglo "en línea" y el arreglo tiene pasos longitudinal y transversal de 48 mm c/u.

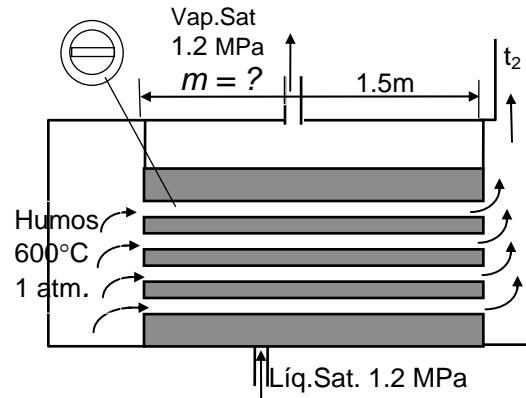
El aceite circula dentro de los tubos (un solo paso) y el aire por el exterior de los tubos. Los tubos son de Níquel, de DE = 16 mm y DI = 13 mm y están dotados externamente de alertas en forma de agujas de Níquel de 0.2 mm Ø y 16 mm de largo aplicadas con una densidad de 25 aletas/cm² de superficie de tubo.

Calcule la temperatura de salida del aceite.



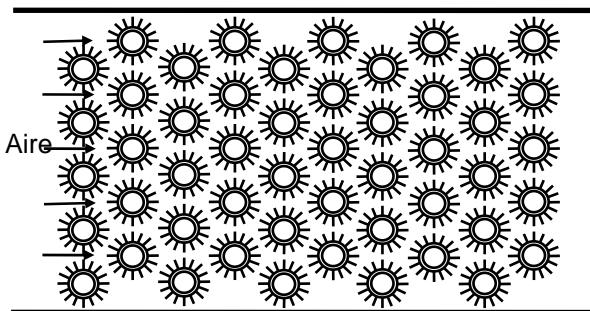
4.11. Una caldera de vapor está formada por 50 tubos horizontales de acero negro de DE = 36 mm y DI = 30 mm y de 1.5 m de longitud. Cada tubo tiene en el interior una lámina de acero de 2 mm de espesor, 30 mm de ancho y 1.5 m de longitud, como aleta interior. A los tubos entran humos calientes a 600 °C y 1 atm con una velocidad de 20 m/s (sus propiedades pueden tomarse iguales a las del aire) y en el exterior de los tubos (carcaza) hay agua en ebullición a 1.2 MPa.

Calcule el caudal de vapor (kg/hr) producido por la caldera.



4.12. El banco de tubos de un intercambiador de calor está formado por diez (10) filas de cinco (5) tubos cada una, con arreglo escalonado. Los tubos son de Bronce "AL", de 3 m de longitud, DI = 20 mm y DE = 24 mm, con pasos longitudinal y transversal de 54 mm. Externamente, los tubos están cubiertos con púas o agujas mismo metal, de 0.3 mm de diámetro y 12 mm de longitud, con una densidad de aplicación de 100 agujas por cm² de superficie exterior de tubo. Por el interior de los tubos circula un caudal total de 3000 kg/hr de aceite de motor, el cual entra a una temperatura de 20 °C. Por el exterior de los tubos fluye un caudal de 600 kg/hr de aire caliente, el cual entra al intercambiador a 300 °C y 1 atm.

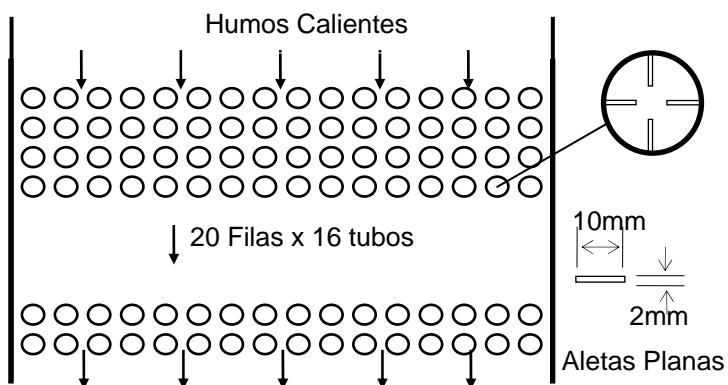
Calcule la temperatura de salida de los dos fluidos.



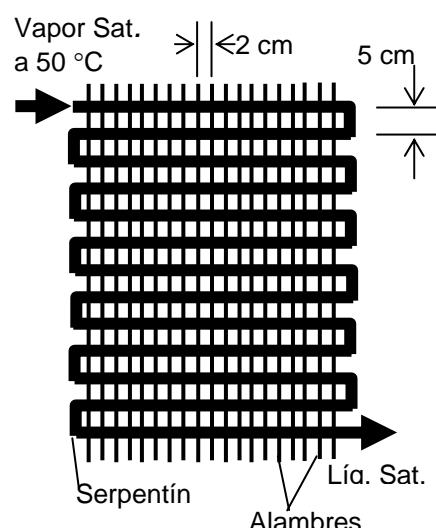
4.13. Un intercambiador de calor se emplea para calentar aire por medio de humos calientes. Por el interior de los tubos circula un caudal total de 1.8 kg/s de aire, el

cual entra a 40°C y 1 atm, mientras que por el exterior circula un caudal de 2.0 kg/s de humos calientes, los cuales ingresan al intercambiador a 300°C y 1 atm. Utilice para los humos las mismas propiedades térmicas del aire. Los tubos son de acero de baja aleación con DE = 38 mm, DI = 32 mm y 1.5 m de longitud y conforman un banco de 20 filas de 16 tubos cada una, con arreglo en línea con pasos longitudinal y transversal de 57 mm. Los tubos poseen internamente (del lado del aire) cuatro aletas planas de 10 x 2 mm, también de acero de baja aleación, a todo lo largo de cada uno de los tubos.

Calcule la temperatura de salida del aire.

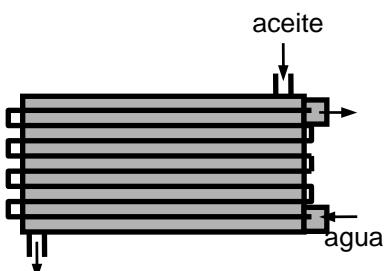


4.14. El condensador de una nevera doméstica está conformado por un serpentín (tubo continuo) de aluminio de DE = 9.5 mm y DI = 7.5 mm. A manera de protección y como superficies extendidas, el serpentín tiene soldados tramos de alambre de acero de 3 mm de diámetro con un espaciamiento de 2 cm, como se indica. Suponga que el área de soldadura entre el alambre y el tubo en cada punto de contacto es igual a la sección del alambre. Al condensador entra un caudal de 20 kg/hr de vapor saturado de Freón-12 a 50°C y de él debe salir como líquido saturado también a 50°C . El ambiente es de aire tranquilo a 1 atm. y 20°C . Para el Freón-12: $P_{\text{sat}}(50^{\circ}\text{C}) = 1.22 \text{ MPa}$, $h_{fg}(50^{\circ}\text{C}) = 120 \text{ kJ/kg}$ y $P_{\text{crítica}} = 4.12 \text{ MPa}$. Determine la longitud total que debe tener el serpentín de aluminio.



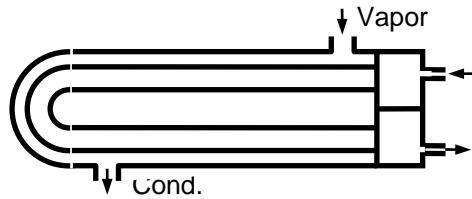
4.15. Un intercambiador de flujo cruzado consiste de un banco de 32 tubos lisos paralelos, dispuestos dentro de un ducto rectangular de 1m x 0.6 m de sección. Por los tubos de acero, de DE = 12.5 mm y DI = 10.2 mm, circula agua a 0.5 m/s, la cual entra a 150°C . En el ducto entra $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ de aire a 100 kPa y 15°C . Calcule las temperaturas de salida de los dos fluidos.

4.16. Se quiere diseñar un intercambiador de calor de "carcaza y tubos", para calentar 2.5 kg/s de agua de 15 a 85°C por medio de aceite disponible a 160°C , el cual puede enfriarse hasta 100°C . El aceite hace un recorrido de un paso por la carcaza sobre la superficie exterior de los tubos. Los tubos conforman 8 serpentines, cada uno de los cuales



realiza un recorrido de 8 pasos a lo largo de la carcaza. Los tubos son de Cobre, de DE = 25 mm y 1 mm de espesor y la carcaza tiene sección cuadrada de 25x25 cm de lado. Calcule la longitud de cada serpentín y la longitud aproximada de la carcaza.

4.17. El condensador de una planta de vapor es un intercambiador de carcaza y tubos, en el cual se condensa vapor de agua a 50 °C sobre el exterior de los tubos. El banco de tubos consta de 30000 tubos de cobre en "U", de 25 mm DE y 1 mm de espesor; cada uno de los cuales tiene un recorrido de dos pasos a lo largo de la carcaza. El coeficiente de convección asociado al proceso de condensación puede suponerse infinito. El caudal total de agua de enfriamiento es de 3×10^4 kg/s (1 kg/s por cada tubo) y entra a 20 °C. La carga total del condensador es $Q = 2000$ MW. Calcule la temperatura de salida del agua de enfriamiento y la longitud promedio de cada tubo.

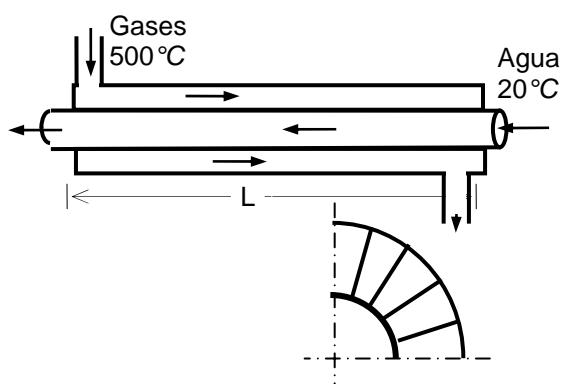


4.18. Repita el problema 4.17, pero en este caso emplee el coeficiente de convección correspondiente al proceso de condensación sobre el exterior de un banco de tubos horizontales con arreglo triangular.

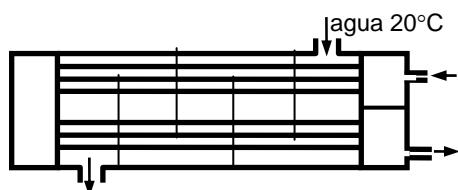
4.19. Se desea emplear un intercambiador de tubos concéntricos, en contraflujo (como el del problema 4.20), para enfriar 0.1 kg/s de aceite lubricante de 100 a 70 °C empleando agua disponible a 20 °C. El aceite circula por el espacio anular y el agua por el tubo interior. El tubo interior tiene un diámetro $D_i = 25$ mm. es de cobre y tiene un espesor muy delgado (puede despreciarse su resistencia térmica), el tubo exterior tiene un diámetro $D_o = 45$ mm, está aislado externamente y la longitud del conjunto es $L = 50$ m. Examine la posibilidad de usar el intercambiador para el fin propuesto, y de ser posible, calcule el caudal (kg/s) de agua necesario y la temperatura de salida del agua.

4.20. Los gases de escape de una turbina de gas (2 kg/s a 500 °C y 2 atm.) se emplean para calentar agua (0.1 kg/s a 20 °C) en un intercambiador de doble tubo en contraflujo de 5 m de longitud (L). El tubo central tiene 25 mm DI y 1mm de espesor y el tubo exterior es de 35 mm DI y 2 mm de espesor; los dos son de acero inoxidable.

- Calcule la temperatura de descarga del agua en esas condiciones.
- En cuanto aumentaría la temperatura de descarga del agua si se agregan 20 láminas radiales de acero inoxidable de 1 mm de espesor en el espacio anular, como se indica en la figura.



4.21. El refrigerador de la figura se emplea para enfriar aire comprimido (1.1 kg/s y 6 atm) desde 180 hasta 40 °C mediante agua (0.6 kg/s) a 20 °C. El banco



de tubos está compuesto por un total de 128 tubos de 10 mmDI, 1 mm de espesor, de acero inoxidable y dispuestos en arreglo cuadrado con paso de 18 mm. La carcaza tiene un diámetro interno de 240 mm y la separación entre bafles es de 70 mm. Estime el caudal de agua (kg/s) necesario y la longitud de los tubos del refrigerador.

4.22. Un intercambiador de carcaza y tubos con la configuración de la figura del problema anterior (4.21) se utiliza para enfriar aceite SAE-30 (18 kg/s por la carcaza) a 65 °C con agua (9 kg/s por los tubos) disponible a 30 °C. El banco de tubos está compuesto por un total de 38 tubos (19/paso) de Monel de 0.75"DE, 0.049" de espesor y 4.75 m de longitud, con arreglo de triángulo equilátero de 0.9375" de espaciamiento entre centros. La carcaza tiene un diámetro interno de 2.35 m y la separación entre bafles es de 25 cm.

Determine la temperatura de descarga del aceite.

4.23. Los humos de escape de una caldera se emplean para calentar el aire de combustión, mediante un intercambiador de flujo cruzado de dos secciones iguales (dos bancos de tubos iguales) como se indica en la figura. El caudal de humos (40 kg/s y 1 atm), entra a 300 °C, mientras que el caudal de aire (35 kg/s y 1 atm), entra a 30 °C. Los tubos son de acero de baja aleación (2"DE, 0.083" de espesor y 5 m de largo) y no tienen alejas. Cada banco de tubos está formado por 50 filas de 40 tubos c/u en arreglo cuadrado de 3" de espaciamiento entre centros.

Calcule las temperaturas de descarga del aire y los humos.

