

Problemas de repaso 2

1) Un local comercial de 4m de altura y que se encuentra a 20°C, tiene una única fachada de 10x4m². El 40% de la fachada está acristalada, siendo el coeficiente global de transmisión de calor del cristal, $H=5 \text{ kcal/ hm}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. El resto de la fachada está formado por un muro compuesto de: ladrillo macizo de 25 cm de espesor y conductividad $k_l = 0,6 \text{ kcal/hm}^{\circ}\text{C}$, 5 cm de lana de vidrio ($k_v = 0,028 \text{ kcal/hm}^{\circ}\text{C}$) ladrillo macizo de 12 cm de espesor y finalmente una capa de 2 cm de enlucido de yeso ($k_v = 0,4 \text{ kcal/ hm}^{\circ}\text{C}$). Los coeficientes de transmisión de calor en el interior y exterior son respectivamente 8 y 30 kcal/h m² °C. Cuando en el exterior la temperatura sea de 0°C: Calcular el flujo de calor perdido a través de la fachada. Determinar la longitud de una tubería ($k_t = 37 \text{ kcal/hm}^{\circ}\text{C}$) de 30 mm de diámetro externo y 2,5 mm de espesor necesaria para mantener el local a 20°C, si por la tubería circula agua a 90°C. Los coeficientes de transmisión de calor de la tubería en el interior y exterior son respectivamente 1000 y 5 kcal/ hm²°C. (Sol: $l = 54,81\text{m}$; $\dot{q} = 2071.26\text{W}$)

2) Se construye un iglú de forma semiesférica, con un radio interno de 1,8m y paredes de nieve compacta de 0,5m de espesor. El coeficiente de transmisión de calor en el interior del iglú es de 6W/ m²K y en el exterior, en condiciones de viento normal, es de 15 W/ m²K. La conductividad de la nieve compacta es de 0,15 W/m K. La temperatura de la capa de hielo sobre la cual está situada el iglú es de -20°C y tiene la misma conductividad térmica que la nieve compacta. Suponiendo que el cuerpo de los ocupantes desprenden continuamente un calor de 320W dentro del iglú, calcular la temperatura del aire interior cuando la temperatura del aire en el exterior es de -40°C. (Considerar las pérdidas a través del suelo del iglú). (Sol: -17,43°C)

3) Se quiere enfriar petróleo desde 120°C hasta 50°C mediante un intercambiador de calor en contracorriente. El intercambiador tiene 15 m de largo y está formado por un tubo central de 1 cm de diámetro y de espesor despreciable, rodeado por otro tubo de diámetro mayor. En el tubo central se hace circular petróleo con un caudal de 5 litros/minuto. Por el tubo periférico se hace circular agua, que entra a 14°C. a) Determinar el flujo de calor que debe evacuar el agua para enfriar al petróleo. b) Calcular el número de Nusselt para el enfriamiento del petróleo admitiendo la relación $Nu = 0,0225 Re^{0.8} Pr^{0.4}$. c) Obtener el coeficiente de transmisión de calor

por convección del petróleo con la pared del tubo. d) Si la temperatura de salida del agua es 25°C, deducir el coeficiente de intercambio global de calor entre el petróleo y el agua.

Datos: Para el petróleo: $\mu = 6.0 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m s}$; $c_p = 0,5 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$; $\rho = 0,9 \text{ kg/dm}^3$; $k = 0,12 \text{ kcal/hm } ^\circ\text{C}$. Para el agua: $\mu = 3.110^{-4} \text{ kg/m s}$; $k = 0,12 \text{ kcal/hm } ^\circ\text{C}$.

(Sol: a) $\phi = 10972 \text{ W}$; b) $Re = 1,59 \times 10^4$ c) $h = 1734 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$; d) $\Delta t_m = 60,8^\circ\text{C}$)

4) Un aceite lubricante con $C_p = 0,5 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$ se enfría con agua en un intercambiador ideal. El aceite entra a 93°C, sale a 71°C y fluye a razón de 2000 kg/h. El agua entra a 10°C y se utilizan 750 kg/h. Si el flujo es en contracorriente, determinar: a) la temperatura de salida del agua, b) el área de transferencia de calor necesaria si el coeficiente global de transmisión de calor del cambiador es 220 kcal/hm² °C. (Sol: a) $t = 39,332^\circ\text{C}$; b) $S = 1,75 \text{ m}^2$)

5) En una tubería de 0,02 cm de diámetro, penetra agua a razón de 0,01 kg/s y a temperatura de 10 °C que debe ser calentada hasta 40 °C. El exterior de la tubería está recubierto de un elemento calefactor eléctrico aislado, que produce un flujo uniforme de 15 000 W/m² sobre la superficie. Despréciense los efectos de entrada. Determinar: a) el número de Reynolds; b) el coeficiente de transmisión del calor; c) la longitud de tubería necesaria para el incremento deseado de la temperatura del agua.

(Datos: 1) propiedades del agua: densidad = 997 kg/m³; calor específico a presión constante, $c_p = 4180 \text{ J/(kg K)}$; conductividad térmica, $k = 0,608 \text{ W/(m K)}$; viscosidad (dinámica), $\mu = 910 \times 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$; 2) en este problema el número de Nusselt que utiliza el diámetro como dimensión lineal permanece constante y vale 4,36.

(Solución: a) 699; b) 132,5 W/(m² K); c) 1,33 m)

6) Una pared compuesta de dos capas de espesores e_1 y e_2 de materiales de conductividad k_1 y k_2 , separa un recinto con aire en reposo a la temperatura T_1 de otro en el que existe una corriente de aire a la temperatura T_2 que barre la cara exterior de la pared con velocidad v .

a) Calcular la velocidad v del aire exterior para que puedan transmitirse W_s watios por metro cuadrado de pared, desde el interior hacia el exterior.

b) Calcula la pérdida de calor por m² de pared si el aire exterior estuviera casi en reposo, lo cual admitiremos equivale a reducir h_2 a la décima parte del valor que tiene en a).

Supóngase que el coeficiente de convección interno es h_1 y que los números de Nusselt y Reynolds para la convección externa son $Nu = 2.8 \cdot h_2$ y $Re = 4100 \cdot v$ donde h_2 y v son respectivamente, el coeficiente de convección externo y la velocidad del aire exterior. Además admitiremos que la relación entre los números adimensionales de Nusselt, Reynolds y Prandtl para este problema es $Nu = 1.12 \cdot (Pr \cdot Re)^{1/2}$.

Datos numéricos: $e_1=50\text{cm}$, $e_2=10\text{cm}$, $k_1=20\text{W/m}^\circ\text{K}$, $k_2=10\text{W/m}^\circ\text{K}$, $T_1=30^\circ\text{C}$, $T_2=20^\circ\text{C}$, $W=100\text{W/m}^2$, $h_1=50\text{W/m}^2\text{K}$, Numero de Prandtl $Pr=0.716$.

Soluciones: a) $v=1.05 \text{ m/s}$ b) $W_s=19.8 \text{ W/m}^2$

7) El muro exterior de una vivienda consta de una capa externa de ladrillo de espesor $e_1=20\text{cm}$ y conductividad térmica $k_1=1.3\text{W/m}^\circ\text{K}$, seguida de un hueco lleno de aire de espesor $e_2=30\text{cm}$ y conductividad k_a y por ultimo una capa interior de “pladur” de espesor $e_3=5\text{cm}$ y conductividad térmica $k_3=0.5\text{W/m}^\circ\text{K}$. Los coeficientes de convección interior y exterior son respectivamente $h_1=5\text{W/m}^2\text{K}$ y $h_2=2\text{W/m}^2\text{K}$. Si en el interior de la vivienda hay una temperatura $T_1=25^\circ\text{C}$ cuando en el exterior es $T_2=8^\circ\text{C}$, calcula

a) La pérdida de calor por m^2 de pared suponiendo que el aire del hueco de la pared esté completamente en reposo.

b) Calcula de nuevo la pérdida de calor pero supóngase ahora que el aire circula en el hueco de abajo a arriba con una velocidad $v=0.1\text{m/s}$ y que el intercambio convectivo con las dos paredes del hueco se realiza bajo el mismo coeficiente de convección h . Tómesese como válida la relación $Nu = 1.12(Pr \cdot Re)^{1/2}$ donde tanto en el número de Nusselt como en el número de Reynolds se ha de tomar como longitud característica el espesor del hueco.

c)Cuál será la temperatura interior en las condiciones del apartado b) si el flujo transmitido corresponde al del apartado a) y la temperatura exterior no cambia?

Datos: viscosidad cinemática del aire $\nu=2.1 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$, número de Prandtl para el aire $Pr=0.701$, conductividad térmica del aire $k_a=26,08 \times 10^{-2} \text{W/m}^\circ\text{K}$

Soluciones: a) 8.08 W/m^2 , b) 16.69 W/m^2 , c) 16.23°C

8) Una tubería cilíndrica de radios $R_{\text{int}}=10\text{cm}$ y $R_{\text{ext}}=15\text{cm}$, se expone a una corriente transversal de aire frío a $T=2^\circ\text{C}$ a una velocidad de 10Km/h . El material de la tubería tiene una conductividad térmica de $k=1.3\text{W/m}^\circ\text{K}$. Para el calculo del coeficiente de

convección exterior, tómese como válida la relación $Nu = 1.12(Pr \cdot Re)^{1/2}$ donde tanto en el número de Nusselt como en el número de Reynolds se ha de tomar como longitud característica el diámetro exterior de la tubería. Si la temperatura de la superficie cilíndrica interna es de **180 °C**, calcule:

a) Pérdida de calor por segundo y metro lineal de tubería.

b) Temperatura de la superficie cilíndrica exterior.

Para reducir las pérdidas de calor un 50%, se rodea la tubería de una capa aislante de conductividad **0.1 W/m°K**. Si la temperatura de la superficie cilíndrica exterior del aislante se ha reducido también a la mitad de la que tenía la tubería sin aislante, calcule:

a) El espesor de la capa aislante.

b) La nueva temperatura de la superficie cilíndrica interior.

c) ¿Se produce reducción de flujo térmico para cualquier espesor de aislante?. Justifique la respuesta.

Datos: viscosidad cinemática del aire $\nu=2.1 \times 10^{-5} \text{m}^2/\text{s}$, número de Prandtl para el aire $Pr=0.701$, conductividad térmica del aire $k_a=26,08 \times 10^{-2} \text{W/m}^\circ\text{K}$

Soluciones: a) 3168.8 W/m, b) 22.7 °C, c) 1.6 cm, d) 345.58 °C, e) $6.2 \times 10^{-2} \text{cm}$

9) Se tiene un depósito esférico de radios interno y externo $a=3\text{m}$ y $b=3.05\text{m}$ respectivamente fabricado con un material de conductividad $k=1.3\text{W/m}^\circ\text{K}$. Dicho depósito contiene un gas licuado a la temperatura $T_{\text{int}}=-150^\circ\text{C}$, siendo la temperatura del aire exterior $T_{\text{ext}}=30^\circ\text{C}$. Con el propósito de disminuir las pérdidas de calor, se reviste el depósito con una capa de espesor $e=1\text{cm}$ de un material aislante de conductividad $k_a=0.163\text{W/m}^\circ\text{K}$. El coeficiente de convección exterior h es una función de la velocidad del aire y del diámetro esférico sin aislante, el cual ha de tomarse como longitud característica para la convección. Dicha función puede deducirse debido a que la relación entre los números adimensionales para la convección forzada en esta configuración, encaja con la expresión empírica $Nu = 1.12(Re \cdot Pr)^{1/3}$. Además, puede demostrarse fácilmente que el radio crítico para el aislante en una geometría esférica vale el doble del correspondiente a la geometría cilíndrica. Admitiendo que la temperatura de la pared interna del depósito es igual a la del gas licuado y con los datos que se suministran al final de este enunciado, cuando la velocidad del aire es de $v=2\text{m/s}$, se pide que calcule:

a) El flujo térmico que entra al depósito sin tener en cuenta el aislante.

- b) El flujo térmico teniendo en cuenta el espesor dado e de aislante.
- c) Qué espesor de aislante produce una disminución de flujo del 90% respecto del calculado sin aislante?
- d) Dado que h depende de la velocidad del viento, para qué valor de la velocidad del aire exterior se produce una disminución del flujo térmico del 20% con el espesor inicial de aislante?

Datos: viscosidad cinemática del aire $\nu=2.1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, número de Prandtl para el aire $Pr=0.701$, conductividad térmica del aire $k_A=26,08 \times 10^{-2} \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Soluciones: a) 65.582 kW, b) 55.084 kW, c) 57.54 cm, d) 5.57 m/s

10) Una porción de **5m** de longitud de una tubería cilíndrica de radios **a=6mm** y **b=6.3 mm** y conductividad térmica **k=1.3W/m°K**, la cual transporta líquido refrigerante de una instalación climatizadora a la temperatura $T_{\text{int}}=-20^\circ\text{C}$, ha de pasar por una zona a la intemperie donde el viento, a la temperatura $T_{\text{ext}}=30^\circ\text{C}$, sopla a la velocidad $v=2\text{m/s}$. Para evitar el calentamiento del refrigerante se dispone de solo **4m** de un material aislante de espesor **e=1mm** y conductividad **ka=0.0363W/m°K** con el que forrar la tubería. Para el cálculo del coeficiente de convección exterior, admítase como válida la expresión empírica $Nu = 1.12(Re \cdot Pr)^{1/3}$, donde se considera como longitud característica la longitud total de la tubería. Admitiendo que la temperatura de la pared interna de la tubería es igual a la del fluido refrigerante y con los datos suministrados al final de este enunciado, se pide que calcule:

- a) Flujo térmico absorbido por el refrigerante cuando la tubería no lleva aislante.
- b) Flujo térmico cuando se colocan los **4m** de aislante. Y si se pudiera forrar la tubería completa?
- c) Calcule valor de la conductividad térmica que debería tener el aislante para que, con el mismo espesor inicial, se produzca una disminución del 20% respecto del flujo sin aislante. Cuánto vale el radio crítico asociado a la nueva conductividad del aislante.
- d) Dado que h depende de la velocidad del viento, para qué valor de esa velocidad cualquier espesor de aislante produce una disminución del flujo térmico absorbido?

Datos: viscosidad cinemática del aire $\nu=2.1 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, número de Prandtl para el aire $Pr=0.701$, conductividad térmica del aire $k_A=26,08 \times 10^{-2} \text{ W/m}^\circ\text{K}$

Soluciones: a) 40.07 W b) 41.17 W , 41.45 W c) 0.008 W/m°K, 2 mm d) 5.75 m/s

11) Un cable conductor cilíndrico desnudo de radio $r=40$ mm, conductividad térmica $k=16.3$ W/m.K, y conductividad eléctrica $\sigma=10^{-4}$ ($\mu\Omega\cdot\text{cm}$)-1, transporta una corriente de $I=250$ A. El cable está forrado de una capa cilíndrica de plástico de 1mm de espesor y conductividad térmica $k_p=0.2$ W/m.K. El cable se refrigera mediante una corriente transversal de aire a la velocidad de $v=0.1$ m/s. Para el cálculo del coeficiente de convección h tómese la relación siendo $Pr=0.7$, $\rho=1.21\cdot 10^{-3}$ kg/l, $\eta=1.91\cdot 10^{-7}$ kg/cm.s, $k_a=0.0287$ W/m.K y $C_p=1008$ J/Kg.°C para el aire. Cuando la temperatura exterior es de $T_e=8^\circ\text{C}$,

a) Calcula la temperatura de la superficie del cable y la de la cubierta de plástico. ¿Cuál es la máxima temperatura soportada por el cable y en qué parte del mismo tiene lugar?. (Téngase presente que es un cilindro macizo con fuentes internas de calor)

(Soluciones: $T_{\max}=97.40^\circ\text{C}$, $T_{\text{cable}}=93.49^\circ\text{C}$, $T_{\text{plas}}=69.06^\circ\text{C}$)

Se recubre ahora el cable con otra capa cilíndrica de espesor $e=4$ mm de un material “aislante” de conductividad para el que se admite que tiene un coeficiente de convección externo h igual al calculado para el cable plastificado. En estas nuevas condiciones,

b) Calcula de nuevo las temperaturas del cable, de la cubierta plástica bajo el aislante y la temperatura máxima soportada por el cable, en la nueva situación, es decir, para el cable con aislante.

(Soluciones: $T_{\max}=92.44^\circ\text{C}$, $T_{\text{cable}}=88.53^\circ\text{C}$, $T_{\text{plas}}=64.09^\circ\text{C}$)

c) Dé una explicación de por qué baja la temperatura del cable al poner el aislante. Si se desea que la temperatura máxima del cable con el aislante sea un 50% más baja que la del cable sin aislante cuando se pone un espesor de aislante equivalente al radio crítico del apartado b), ¿qué coeficiente de conductividad deberá tener dicho aislante?

(Soluciones: $k_A=67.32$ W/mK)

12) Un contenedor cilíndrico de acero de diámetro interno $D=1$ m, espesor $e=10$ cm y conductividad térmica $k=10$ W/mK, almacena residuos radiactivos compactados que tienen una conductividad térmica $k_r=20$ W/mK. El calor generado por los residuos es $w=104$ W/m³. Para refrigerar el contenedor, se coloca transversalmente a una corriente de agua a la temperatura $T_a=5^\circ\text{C}$ y con un caudal específico de $Q_s=100$ l/m².s. Para el cálculo del coeficiente de convección externo h del contenedor, tómese siendo los datos necesarios para el agua, $Pr=4.1$, $\rho=0.990$ kg/l, $\eta=598\cdot 10^{-8}$ kg/cm.s, $k_a=0.635$ W/m.K y $C_p=4137$ J/Kg.°C. Con estos datos calcule:

a) Las temperaturas de las superficies interna y externa del contenedor y la temperatura máxima que alcanzarán los residuos. (Téngase en cuenta que los residuos conforman un cilindro macizo con fuentes internas de calor)

(Soluciones: $T_{\max}=960.32^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{in}}=929.07^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ex}}=906.28^{\circ}\text{C}$)

b) Se envuelve el contenedor en una capa cilíndrica de 90cm de espesor de un aislante de conductividad térmica para el que se admite que tiene el mismo coeficiente de convección externo h que el calculado para el contenedor desnudo. Calcula de nuevo las temperaturas de las superficies interna y externa del contenedor y la temperatura máxima que alcanzarán los residuos.

(Soluciones: $T_{\max}=667.30^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{in}}=636.05^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ex}}=613.26^{\circ}\text{C}$)

c) ¿Puede explicar por qué ha bajado la temperatura de los residuos al poner aislante?. Con un espesor de aislante equivalente al radio crítico del apartado anterior, calcula la conductividad térmica que debe tener dicho aislante para poder reducir la temperatura máxima de los residuos a la mitad de la que tienen sin poner aislante. Tómese, como se hizo antes, el mismo valor para el coeficiente de convección externo h .

(Soluciones: $k_A=9.9842 \text{ W/mK}$)

13) Un muro de espesor $2L = 40 \text{ mm}$ y conductividad térmica $k = 5 \text{ W/mK}$ posee fuentes internas de calor $\dot{\epsilon}$, (W/m^3) y está sometido a un proceso de convección en sus dos superficies ($x = -L$, $x = L$) con un fluido a temperatura $T_f = 20^{\circ}\text{C}$. En condiciones de estado estacionario la distribución de temperaturas en el muro es de la forma $T(x) = a + bx + cx^2$, siendo $a = 82^{\circ}\text{C}$, $b = -210^{\circ}\text{C/m}$ y $c = -2 \cdot 10^4^{\circ}\text{C/m}^2$. El origen de coordenadas se encuentra en el plano medio del muro.

a) Calcular el valor de las fuentes internas de calor $\dot{\epsilon}$;

b) Calcular los valores de los flujos de calor en las dos superficies del muro en W/m^2 ;

c) Demostrar la relación que existe entre los flujos de calor que salen por ambas superficies y el generado en el interior del muro.

14)-Una tubería de cobre de 50m de longitud está situada en el exterior de un edificio a la temperatura ambiente de 0°C . Por el interior de la misma circula un fluido que

entra en la tubería a 90°C y sale a 88°C a la velocidad de 1m/s . Con estos datos, determinar:

a) La pérdida de calor en Watios de la tubería.

Se rodea ahora la tubería con una capa de aislante de 40 mm de espesor. Suponiendo que el coeficiente de convección exterior no cambia al poner el aislante, se pide:

b) Nueva temperatura de salida del fluido si se mantienen la misma temperatura de entrada en la tubería.

c) La pérdida de calor en Watios de la tubería aislada.

AYUDA: Tómesese como temperatura del fluido en los cálculos del flujo saliente, la temperatura media entre la de entrada y la de salida.

DATOS:

Tubería: $k=400\text{ W/mK}$, diámetro interior= 26 mm , diámetro exterior= 28 mm .

Aislante: $k=0.04\text{ W/mK}$.

Fluido: $C_p=4179\text{ J/KgK}$, $\rho=1000\text{ Kg/m}^3$.

Coefficiente de convección interno $h_i=2300\text{ W/m}^2\text{K}$