Índice

3. Superficies adicionales

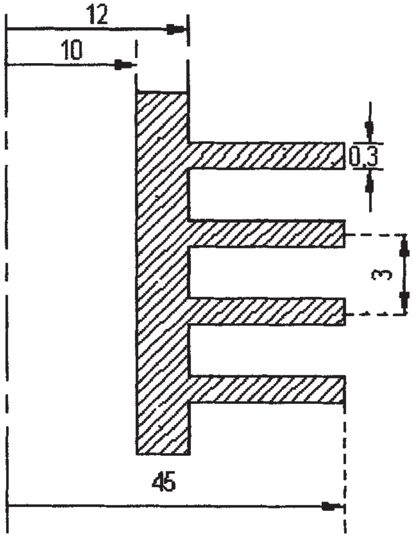
n.° 23

Un radiador para calentamiento de aire, está compuesto por tubos de acero 1% de C de diámetros 24/20 mm, con aletas anulares de Al, de 45 mm de radio extremo y 0,3 mm de espesor, espaciadas 3 mm.

Si por el interior del tubo, circula agua a 80°C y velocidad 0,5 m/s, determinar el flujo de calor disipado por metro lineal de tubo aleteado. Considérese 20°C, la temperatura del aire exterior y 50 W/m$^2 \cdot$ °C el coeficiente de película exterior.

SOLUCIÓN:

Para hallar h_i:



Datos agua a 80°C:

c_p = 4,195 kJ/kg·°C
ρ = 971,6 kg/m^3
μ = 0,355·10^{-3} kg/m·s
k = 0,6668 W/m·°C
Pr = 2,23

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,5 \cdot 0,02 \cdot 971,6}{0'355 \cdot 10^{-3}} = 27369,01 \text{ turbulento}$$

[8.45]: $Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} = 103,75$

$$h_i = \frac{103,75.0,6668}{0,02} = 3459,02 W/m^2.°C$$

$$\dot{Q} = A_0 \cdot U_0 \cdot (t_i - t_\infty)$$

siendo:

$$U_0 = \frac{1}{(\frac{A_0}{A_i}) \cdot \frac{1}{h_i} + \frac{A_0}{2 \cdot \pi \cdot L} \cdot \frac{\ln r_0 / r_i}{k} + \frac{1}{h_e \cdot \chi_{an}}}$$

$$n = \frac{1}{0,003} = 333,3 = 334 \text{ aletas}$$

para hallar χ_{an}, en fig.4.14:

$$\left.\begin{array}{l} R_0 = \frac{r_0}{r_1} = \frac{12}{45} = 0'26 \\ \beta = \sqrt[2]{\frac{2 \cdot h_e \cdot r_1^2}{k \cdot \omega}} = \sqrt[2]{\frac{2 \cdot 50 \cdot 0,045^2}{236 \cdot 0,0003}} = 1,7 \end{array}\right\} \chi_{an} = 0,53$$

sabemos que:

$$A_i = 2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot L = 0'062L$$

$$A_0 = 2 \cdot \pi \cdot (r_1^2 - r_0^2) \cdot n \cdot L + 2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot (1 - n \cdot \omega) \cdot L = 4'0039 \cdot L$$

y sustituyendo en la expresión de U_0:

$$U_0 = \frac{1}{\frac{4,0039 \cdot L}{0,062 \cdot L \cdot 3459,02} + \frac{4,0039 \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot L} . \frac{\ln 12/10}{43} + \frac{1}{50.0'53}} = 16,91 W/m^2.''C$$

y volviendo a sustituir:

$$\frac{\dot{Q}}{L} = 16,91 \cdot 4,0039 \cdot (80 - 20) = 4062,35 W/m$$

n.° 24

Una varilla de cobre puro, de 45,2 cm de longitud y 4,15 mm de diámetro, se calienta por sus dos extremos, de modo que éstos permanezcan a 134°C. La temperatura ambiente es de 18,6°C y el coeficiente de transmisión superficial es de 25,3 W/m^2·K.

Una vez alcanzado el régimen estacionario, determinar:

1) Temperatura en el punto medio de la varilla y en un punto situado a una distancia del extremo igual a la quinta parte de la longitud total.

2) Flujo de calor disipado desde la varilla hacia el aire ambiente.

SOLUCIÓN:

El problema puede asimilarse a dos espinas cilíndricas con temperatura en la base dada y flujo de calor nulo en el extremo y de longitud la mitad de la varilla, es decir: 22,6 cm.

1 a) Se sabe que:

$$C = \pi \cdot D, \quad A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad S = C \cdot x$$

$$\beta^2 = \frac{h \cdot L^2 \cdot C}{k \cdot A} = \frac{h \cdot L^2}{k} \cdot \frac{\pi \cdot D}{\frac{\pi \cdot D^2}{4}} = \frac{4 \cdot h \cdot L^2}{k \cdot D}$$

de donde: $\beta = 1{,}8$

En fig. 4.5 con:

$$\left.\begin{aligned} X &= \frac{x}{L} = 0 \\ \beta &= 1{,}8 \end{aligned}\right\} \frac{\theta_1}{\theta} = 0{,}32$$

$$0,32=\frac{t_c-t_\infty}{t_0-t_\infty};0,32=\frac{t_c-18,6}{134-18,6}$$

$t_{centro} = 5,55°C$

1 b) En fig. 4.5:

$$\left.\begin{array}{l} X=\dfrac{x}{L}=\dfrac{4/5L}{2L}=0,4 \\ \beta=1,8 \end{array}\right\}\frac{\theta_1}{\theta}=0,6$$

$$0,6=\frac{t\text{ - }18,6}{134\text{ - }18,6};t=87,8°C$$

2) En fig. 4.6 con:

$\beta = 1,8$, se obtiene: $\chi_m = 0,53$

$$\dot{Q}=\dot{Q}_M\cdot\chi_{un}=C\cdot L\cdot h\cdot(t_0-t_\infty)\cdot\chi_{un}$$

$$\dot{Q}=\pi\cdot D\cdot L\cdot h\cdot(t_0-t_\infty)\cdot\chi_{un}$$

$$\dot{Q}_T=2\cdot\pi\cdot D\cdot L\cdot h\cdot(t_0-t_\infty)\cdot\chi_{un}$$

Sustituyendo quedará:

$$\dot{Q}_T=2\cdot\pi\cdot 0,00415\cdot 0,226\cdot 25,3\cdot(134-18,6)\cdot 0,53$$

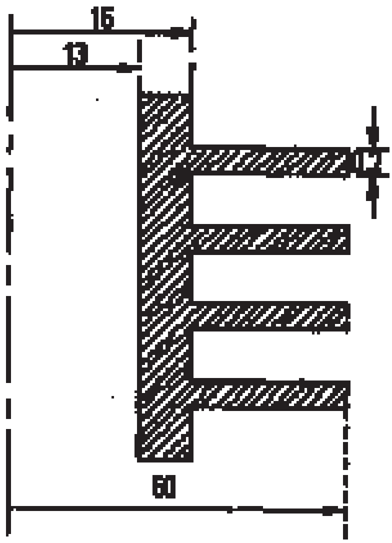
$$\dot{Q}_T=9,11W$$

n.° 25

Se quiere construir un radiador para enfriar aceite SAE-50, que se encuentra a 100°C y para ello se dispone de tubo de bronce de aluminio de 30/26 mm de diámetro, así como de aletas anulares del mismo material, con un radio extremo de 60 mm y un espesor de 0,2mm.

Sabiendo que la velocidad del aceite por el interior del tubo será de 1,8 m/s, que el fluido exterior será aire a 20°C, que el coeficiente de película exterior (aire-bronce) vale 220 W/m²·°C, calcular el n.° de aletas necesario para disipar 2.800 W/m de tubo aleteado.

SOLUCIÓN:



Datos aceite a 100°C:

ρ = 840 kg/m³
c_p = 2219 J/m·K
k = 0,137 W/m·K
μ = 17,1·10⁻³ kg/m·s reg. turbulento
Pr = 276

$$\mathrm{Re} = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{1{,}8 \cdot 0{,}026 \cdot 840}{17{,}1 \cdot 10^{-3}} = 2652{,}63$$

régimen turbulento

[8.45]: $Nu = 0{,}023 \cdot \mathrm{Re}^{0,8} \cdot Pr^{0,3} = 68{,}06$

$$h_i = \frac{68{,}06 \cdot 0{,}137}{0{,}03} = 310{,}8 W / m^2 \cdot °C$$

$$\frac{\dot{Q}}{L} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (t_i - t_\infty)}{\dfrac{1}{r_i \cdot h_i} + \dfrac{\ln r_0 / r_i}{k} + \dfrac{1}{[(r_1^2 - r_0^2)n + r_0(1 - n \cdot \omega)]\, h_e \cdot \chi_{an}}}$$

Para conocer el valor de χ_{an}, se usa la fig. 4.14:

$$\left.\begin{aligned} R_0 &= \frac{r_0}{r_1} = \frac{15}{60} = 0,26 \\ \beta &= \sqrt[2]{\frac{2 \cdot 220 \cdot 0,06^2}{83 \cdot 0,0002}} = 9,7 \end{aligned}\right\} \chi_{an} = 0,06$$

Sustituyendo tenemos:

$$2800 = \frac{2 \cdot \pi \cdot (100-20)}{\dfrac{1}{0,013.310,8} + \dfrac{\ln 15/13}{83} + \dfrac{1}{[(0,06^2 - 0,015^2) \cdot n + 0,015 \cdot (1 - 0,0002 \cdot n)] \cdot 220 \cdot 0,06}}$$

de donde: n = 289,1; 290 aletas/m

n.° 26

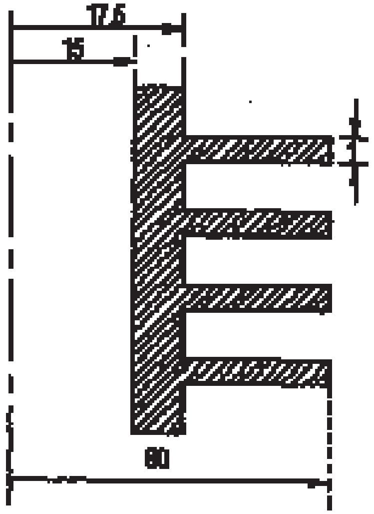
Se pretende dotar de calefacción a una nave industrial en la que se dispone de agua caliente a 80°C, empleando para ello, tubo de 35/30 mm de acero al 1% de C, con aletas anulares del mismo material, de radio extremo 60 mm y 1 mm de espesor.

Considerando que los coeficientes de película interior y exterior son respectivamente 1200 y 12 W/m^2 · °C. Se quiere saber:

1) ¿Qué n.° de aletas será necesario emplear para disipar 1200 W/m en el tubo aleteado?
2) Efectividad de la aleta.
3) Proporción de calor cedido por tubos y aletas.
4) Temperatura en los puntos situados a 1/3 y 2/3 entre base y extremo de la aleta.

La temperatura interior de la nave es de 20°C.

SOLUCIÓN:



Usaremos la expresión:

$$\frac{\dot{Q}}{L} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (t_i - t_\infty)}{\dfrac{1}{r_i \cdot h_i} + \dfrac{\ln r_0 / r_i}{k} + \dfrac{1}{[(r_1^2 - r_0^2) n + r_0 (1 - n \cdot \omega)]\, h_e \cdot \chi_{an}}}$$

En primer lugar necesitamos hallar el valor de χ_{an}, en fig.4.14:

$$\left.\begin{aligned} R_0 &= \frac{r_0}{r_1} = \frac{17,5}{60} = 0,29 \\ \beta &= \sqrt[2]{\frac{2 \cdot h_e \cdot r_1^2}{k \cdot \omega}} = \sqrt[2]{\frac{2 \cdot 12 \cdot 0,06^2}{43 \cdot 0,001}} = 1,41 \end{aligned}\right\} \chi_{an} = 0,58$$

Sustituyendo arriba:

$$1200 = \frac{2 \cdot \pi \cdot (80 - 20)}{\dfrac{1}{0,015 \cdot 1200} + \dfrac{\ln 17,5/15}{43} + \dfrac{1}{[(0,06^2 - 0,0175^2) \cdot n + 0,0175 \cdot (1 - 0,001 \cdot n)] \cdot 12 \cdot 0,58}}$$

De donde operando: n = 172,2; 173 aletas/m

3)

$$\left(\frac{\dot{Q}}{L}\right)_{sin} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (80 - 20)}{\dfrac{1}{0,015 \cdot 1200} + \dfrac{\ln 17,5/15}{43} + \dfrac{1}{0,0175 \cdot 12}}$$

$$\left(\frac{\dot{Q}}{L}\right)_{sin} = 78,197 W/m$$

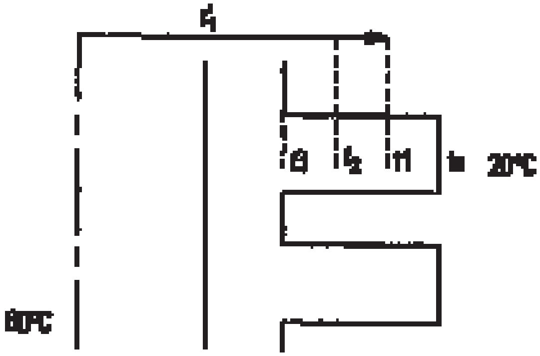
$$\left(\frac{\dot{Q}}{L}\right)_{tuboaleteado} = 1200 \mathrm{W/m}$$

$$\left(\frac{\dot{Q}}{L}\right)_{con} = 1200 - 78,197 = 1121,8 W/m$$

Si 1200 W/m ———— 100%
1121,8 W/m ———— x   x = 93,48% (aletas)

100 – 93,48 = 6,51 % (sin aletas)

4) siendo t_0 la temperatura en el extremo de la aleta, t_1 la temperatura a 1/3 del extremo, t_2 la temperatura a 2/3 del extremo y t_3 la temperatura en la base (que suponemos es igual a 60°C), para hallar la primera, usaremos la fig. 4.13:



$$\left.\begin{array}{l} R_0 = \dfrac{r_0}{r_1} = 0,29 \\ \beta = 1,41 \end{array}\right\} \dfrac{\theta_1}{\theta} = 0,59$$

$$\frac{t_0 - t_\infty}{t_3 - t_\infty} = 0,59; \qquad 0,59 = \frac{t_0 - 20}{60 - 20} \qquad t_0 = 43,6°C$$

suponemos una t_s de 60°C:

$$r_0' = 17,5 + \frac{60 - 17,5}{3} = 31,66\ mm$$

Para hallar t_1 (temperatura a 1/3 del extremo) en fig. 4.13:

$$\left.\begin{array}{l} R_0 = \dfrac{0,03166}{0,06} = 0,52 \\ \beta = 1,41 \end{array}\right\} \dfrac{\theta_1}{\theta} = 0,76$$

$$0,76 = \frac{43,6 - 20}{t_1 - 20}$$

de donde: t_1 = 51,05°C

Para hallar t_2 (temperatura a 2/3 del extremo):

$$r_0'' = 17,5 + \frac{(60 - 17,5) \cdot 2}{3} = 45,83\ mm$$

$$\left.\begin{array}{l} R_0 = \dfrac{0,04583}{0,06} = 0,76 \\ \beta = 1,41 \end{array}\right\} \dfrac{\theta_1}{\theta} = 0,93$$

$$0,93 = \frac{51,05 - 20}{t_2 - 20} \qquad t_2 = 53,38°C$$

n.° 27

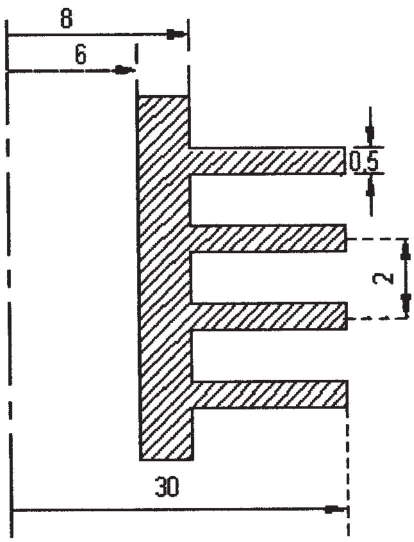
Se pretende construir un radiador para calentamiento de aire, empleando tubo de Cu puro de 16/12 mm, con aletas anulares de Al. de 30 mm de radio extremo y 0,5 mm de espesor, espaciadas 2 mm.

Sabiendo que por el interior del tubo circulará agua a temperatura uniforme de 60°C, con velocidad de 1 m/s, que la temperatura del aire exterior deberá ser de 20°C y que el coeficiente de transmisión superficial exterior vale 23 W/m²·°C, determinar el flujo de calor disipado por metro de tubería aleteada.

SOLUCIÓN:

N.° de aletas: 1 aleta ———— 0,002 m
x ———— 1 m x = 500 aletas/m

Para hallar h_i:



Datos agua a 60°C:

c_p = 4,186 kJ/kg·°C
ρ = 983,1 kg/m³
μ = 0,4668·10⁻³ kg/m·s
k = 0,6507 W/m·°C
Pr = 3

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{1 \cdot 0{,}012 \cdot 983{,}1}{0{,}4668 \cdot 10^{-3}} = 25272{,}49$$

régimen turbulento

según [8.45]: $Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} = 106,41$

$$h_i = \frac{106,41.0,6507}{0,012} = 5770,08 W / m^2.°C$$

en fig. 4.14:

$$\left.\begin{array}{l} \beta = \sqrt{\dfrac{2 \cdot h_e \cdot r_1^2}{k \cdot \omega}} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot 23 \cdot 0,03^2}{236 \cdot 0,0005}} = 0,59 \\ R_0 = \dfrac{r_0}{r_1} = \dfrac{8}{30} = 0,86 \end{array}\right\} \chi_{an} = 0,87$$

sustituiremos estos valores en:

$$\frac{\dot{Q}}{L} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (t_i - t_\infty)}{\dfrac{1}{r_i \cdot h_i} + \dfrac{\ln r_0 / r_i}{k} + \dfrac{1}{[(r_1^2 - r_0^2)n + r_0(1 - n \cdot \omega)]\, h_e \cdot \chi_{an}}}$$

$$\frac{\dot{Q}}{L} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (60 - 20)}{\dfrac{1}{0,006 \cdot 5770,08} + \dfrac{\ln 8/6}{399} + \dfrac{1}{[(0,03^2 - 0,008^2)500 + 0,008(1 - 500 \cdot 0,0005)]23 \cdot 0,87}}$$

$$\frac{\dot{Q}}{L} = 1705,98\ W / m$$