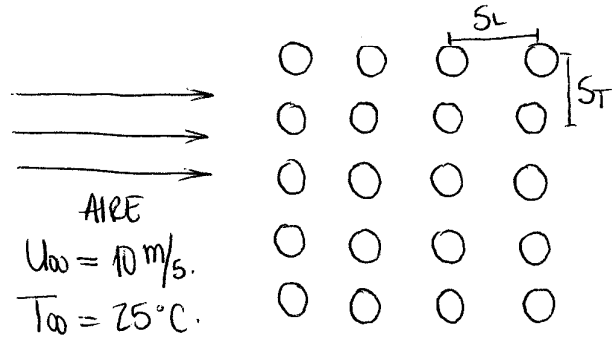


PROBLEMA. FLUJO EXTERNO A TRAVÉS DE BANCO DE TUBOS. RADIADOR DE CARRO BÁSICO.



$S_L = S_T = 20 \text{ mm}$ .

$d_{ext} = 1,2 \text{ cm}$  ;  $\epsilon = 1 \text{ mm}$ .

$L_{TUBO} = 0,6 \text{ m}$ .

FLUJO INTERNO. AGUA.

$\dot{m}_{TOTAL} = 20 \text{ kg/min}$  ;  $T_{IN} = 85^\circ\text{C}$ .

TEMP. SALIDA DESEADA :  $T_{OUT} = 70^\circ\text{C}$ .

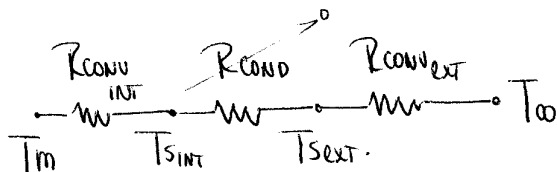
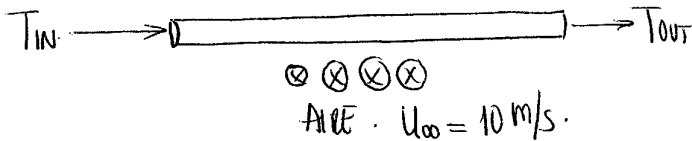
- CALCULAR.
- $T_{OUT}$ . ¿SE CUMPLE LA TEMP. DE SALIDA REQUERIDA?
  - $\dot{Q}$  RETIRADO.

SUPONER.  $T_{\infty}$  SE MANTIENE CONSTANTE.

TUBOS MUY CONDUCTORES ( $k_{TUBO} \rightarrow \infty$ ). TUBERÍA DE COBRE.

SOLUCIÓN

1 TUBO.



BALANCE DE ENERGÍA.

$\dot{Q}_{TOTAL} = \dot{m}_{TOTAL} C_{p,AGUA} (T_{IN} - T_{OUT}) = N^{\circ} TUBOS \dot{m}_{TUBO} C_p (T_{IN} - T_{OUT})$ .

$\dot{Q}_{TUBO} = \dot{m}_{TUBO} C_{p,AGUA} (T_{IN} - T_{OUT})$ .

ECUACION DE CALOR.

$$\dot{Q}_{TOTAL} = \frac{\Delta T_{ml}}{R_{conv_{int}} + R_{cond} + R_{conv_{ext}}} = \frac{\Delta T_{ml}}{\frac{1}{h_{int} A_{int_{TOTAL}}} + \frac{1}{h_{ext} A_{ext_{TOTAL}}}}$$

$0 (k \rightarrow \infty)$

DONDE  $A_{int_{TOTAL}} = A_{int} N^{\circ} TUBOS = \pi d_{int} L N^{\circ} TUBOS$

$A_{ext_{TOTAL}} = A_{ext} N^{\circ} TUBOS = \pi d_{ext} L N^{\circ} TUBOS$ .

$$\dot{Q}_{\text{TUBO}} = \frac{\Delta T_{ML}}{\frac{1}{h_{INT} A_{INT}} + \frac{1}{h_{EXT} A_{EXT}}} \quad \text{DONDE } \Delta T_{ML} = \frac{\Delta T_{OUT} - \Delta T_{IN}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{OUT}}{\Delta T_{IN}}\right)} ; \quad \begin{aligned} \Delta T_{OUT} &= T_{CO} - T_{OUT} \\ \Delta T_{IN} &= T_{CO} - T_{IN} \end{aligned}$$

CÁLCULO  $h_{INT}$ . CONVECCIÓN FORZADA INTERNA.

PROPIEDADES DEL AGUA A  $T_m = \frac{T_{IN} + T_{CO}}{2} = \frac{25 + 85}{2} = 55^\circ C = 328 K$ .

$\nu_f = 1,0148 \times 10^{-3} m^2/kg$  ;  $C_p = 4183 J/kgK$  ;  $\mu = 504 \times 10^{-6} Ns/m^2$  ;  $k = 648 \times 10^{-3} W/mK$  ;  $Pr = 3,258$ .

$$Re_{D,INT} = \frac{\psi \dot{m}_{TUBO}}{\pi d_{INT} \mu} = \frac{\psi \dot{m}_{TOTAL}}{\pi d_{INT} N_{TUBOS} \mu} = \frac{\psi \cdot 20 kg/min \cdot 1 min/60s}{\pi \cdot 0,01 m \cdot 20 \cdot 504 \times 10^{-6} Ns/m^2}$$

$Re_{D,INT} = 4212,6$ . RÉGIMEN TURBULENTO.

CRITERIO  $L/D = \frac{0,6 m}{0,01 m} = 60 > 10$  FLUJO COMPLETAMENTE DESARROLLADO.

CORRELACIÓN PARA  $3000 \leq Re \leq 5 \times 10^6$   $Nu_D = \frac{(f/8) (Re - 1000) Pr}{1 + 12,7 (f/8)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)}$

ROUGESIDAD DEL COBRE, TUBERÍA USA.  $\epsilon = 0,015 \times 10^{-3} m$ .

ROUGESIDAD RELATIVA  $\epsilon/d = 0,0015$  } DIAGRAMA DE MOODY  
 $Re = 4212,6$  }  $f = 0,041$ .

$$Nu_D = \frac{h \cdot d_{INT}}{\nu_f} = \frac{(0,041/8) (4212,6 - 1000) 3,258}{1 + 12,7 (0,041/8)^{1/2} (3,258^{2/3} - 1)} = 25,68$$

$h_{INT} = 1664,00 W/m^2K$

CÁLCULO  $h_{EXT}$ . FLUJO EXTERNO A TRAVÉS DE BANCO DE TUBOS.

VELOCIDAD MÁXIMA PARA ARRANQUE CUADRADO

$$U_{max} = \left(\frac{S_T}{S_T - d_{EXT}}\right) U_\infty = \left(\frac{0,02 m}{0,02 m - 0,012 m}\right) 10 m/s$$

$$U_{max} = 25 m/s$$

PROPIEDADES DEL AIRE A  $T_{oo} = 25^{\circ}\text{C} = 298\text{K} \approx 300\text{K}$ .

$\rho = 1,1614\text{ kg/m}^3$  ;  $C_p = 1007\text{ J/kgK}$  ;  $\mu = 184,6 \times 10^{-7}\text{ Ns/m}^2$  ;  $k = 26,3 \times 10^{-3}\text{ W/mK}$  ;  $Pr = 0,707$ .

$Re_{d_{ext}, \text{max}} = \frac{\rho U_{\text{máx}} d_{ext}}{\mu} = \frac{1,1614\text{ kg/m}^3 \cdot 25\text{ m/s} \cdot 0,012\text{ m}}{184,6 \times 10^{-7}\text{ Ns/m}^2} = 18874,3$ .

CORRECCIÓN DE EMISIÓN PARA  $Nu \geq 10$  ;  $2000 \leq Re \leq 40000$  ;  $Pr = 0,7$ .

$Nu_{0, Nu \geq 10} = 1,13 C_1 Re_{d_{\text{máx}}}^m Pr^{1/3}$ .

NÚMERO DE LÍNEAS DE TUBOS.  $N_L = 4$ . SE DEBE APLICAR FACTOR DE CORRECCIÓN.

$Nu_{0, N_L < 10} = C_2 Nu_{0, N_L \geq 10}$ .

$Nu_{0, N_L < 10} = C_2 1,13 C_1 Re_{d_{\text{máx}}}^m Pr^{1/3}$ .

$C_1, m$  SE VEN DE TABLA 7,5. PÁG 379. INCORPORA 4ª EDICIÓN.

CON  $St/d_{ext} = St/d_{ext} = 1,07$  SE DEBE INTERPOLAR.

$St/d$	$St/d$					
	1,5		1,07		2,0	
	$C_1$	$m$	$C_1$	$m$	$C_1$	$m$
1,50	0,250	0,670	0,199	0,648	0,101	0,702
1,07			0,225	0,636		
2,0	0,299	0,602	0,275	0,612	0,229	0,632

$C_2$  SE VE TABLA 7,6. PÁG 379. PARA  $N_L = 4$  ,  $C_2 = 0,90$ .

$Nu_{0, N_L < 10} = \frac{h_{d_{ext}}}{k_{\text{AIRE}}} = 0,90 \cdot 1,13 \cdot 0,225 \cdot 18874,3^{0,636} \cdot 0,707^{1/3} = 106,8$ .

$h_{d_{ext}} = 234,2\text{ W/m}^2\text{K}$ .

FINALMENTE SE IGUALAN ECUACIONES.  
PARA 1 TURBO.

$$\dot{m}_{\text{AGUA}} C_{p \text{ AGUA}} (T_{\text{IN}} - T_{\text{CO}}) = \frac{(T_{\text{CO}} - T_{\text{OUT}}) - (T_{\text{CO}} - T_{\text{IN}})}{\frac{1}{h_{\text{INT}} A_{\text{INT}}} + \frac{1}{h_{\text{EXT}} A_{\text{EXT}}}} \ln\left(\frac{T_{\text{CO}} - T_{\text{OUT}}}{T_{\text{CO}} - T_{\text{IN}}}\right)$$

DONDE  $R_{\text{CONV INT}} = \frac{1}{h_{\text{INT}} \pi d_{\text{INT}} L} = \frac{1}{1664 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot \pi \cdot 0,01 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}} = 3,18 \times 10^{-2} \text{ K/W}$ .

$R_{\text{CONV EXT}} = \frac{1}{h_{\text{EXT}} \pi d_{\text{EXT}} L} = \frac{1}{234,2 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot \pi \cdot 0,012 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m}} = 0,1889 \text{ W/W}$ .

DESPEJANDO TOUT SE TIENE

$$T_{\text{OUT}} = T_{\text{CO}} + (T_{\text{IN}} - T_{\text{CO}}) \frac{1}{(R_{\text{CONV INT}} + R_{\text{CONV EXT}}) \cdot \dot{m}_{\text{AGUA}} \cdot C_{p \text{ AGUA}}}$$

$T_{\text{OUT}} = 81,22^\circ \text{C}$

SE RECALCULA TODO CON NUEVAS PROPIEDADES DEL AGUA A  $T_m = \frac{T_{\text{IN}} + T_{\text{OUT}}}{2} = 83,1^\circ \text{C} = 356 \text{ K}$ .

$C_p = 4199,8 \text{ J/kgK}$ ;  $\mu = 339,2 \times 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$ ;  $k = 671,6 \times 10^{-3} \text{ W/mK}$ ;  $Pr = 2,116$ .

$Re_{\text{PINT}} = 6259,3$  } MOODY  
 $\epsilon/d = 0,0015$  }  $f = 0,038$ .

$Nu_0 = \frac{h \cdot d_{\text{INT}}}{k_{\text{AGUA}}} = 33,72 \Rightarrow h_{\text{INT}} = 2265,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

$R_{\text{CONV INT}} = 2,34 \times 10^{-2} \text{ K/W}$ .

LAS PROPIEDADES DEL AGUA NO AFECTAN LA RESISTENCIA DE CONVECCION EXTERNA  $R_{\text{CONV EXT}}$

$T_{\text{OUT}} = 81,1^\circ \text{C}$

 NO CUMPLE CON LA TEMP DE SALIDA REQUERIDA.

$\dot{Q}_{\text{TOTAL}} = \dot{m}_{\text{TOTAL}} C_{p \text{ AGUA}} (T_{\text{IN}} - T_{\text{OUT}}) = 25058,8 \text{ W}$ .

ALTERNATIVAS PARA OBTENER LA TONI DESEADA :

1. AUMENTAR LA LONGITUD DE LOS TUBOS.
2. AUMENTAR EL NÚMERO DE TUBOS EN EL ARREGLO.
3. AUMENTAR LA VELOCIDAD DEL AIRE.

¿CUÁL ES LA MEJOR OPCIÓN? DEPENDE DE LAS CONDICIONES DEL CASO.

GENERALMENTE EL EQUIPO SE FABRICA CON UNAS DIMENSIONES DEFINIDAS QUE NO PUEDEN SER ALTERADAS. EN ESTE CASO LO MÁS FACTIBLE ES AUMENTAR LA VELOCIDAD DEL AIRE REGULANDO LA VELOCIDAD DE GIRO DE UN VENTILADOR.

POR OTRO LADO, SI SE CONSIDERA AUMENTAR LA LONGITUD DE LOS TUBOS O LA CANTIDAD, SE DEBE TOMAR EN CUENTA LOS COSTOS INVOLUCRADOS. ¿VALE LA PENA?

ESTE ÚLTIMO CORRESPONDE AL CASO DE DISEÑO DE UN EQUIPO.