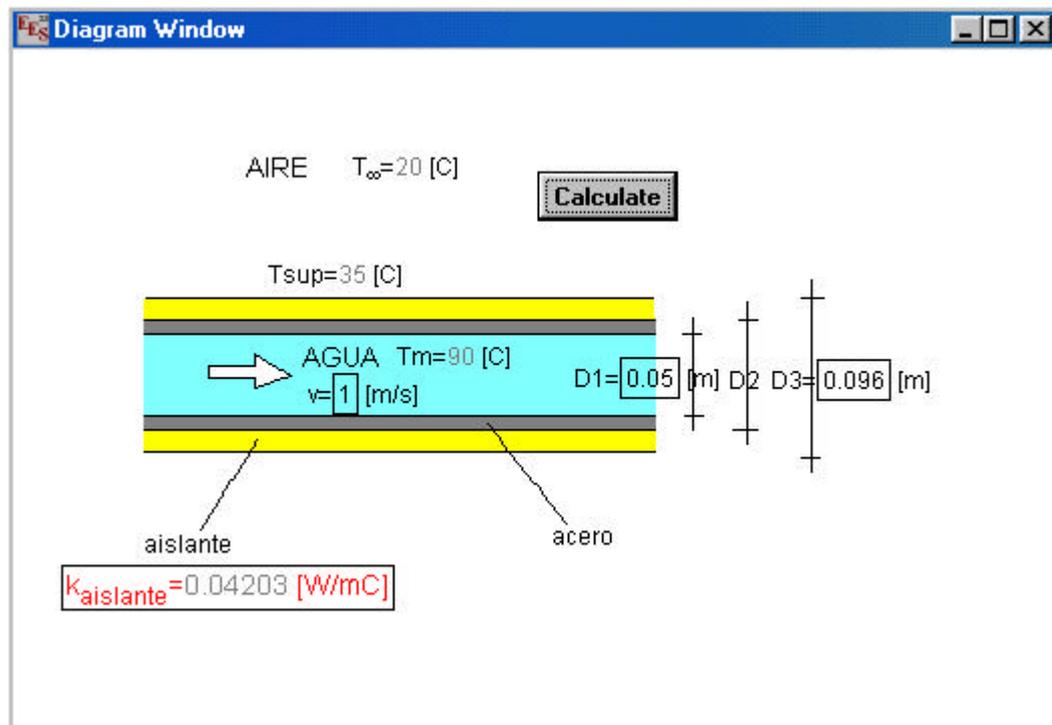


6.2. Problema 9

Por el interior de una tubería horizontal de acero de diámetro interior 50 mm y espesor 3 mm, circula agua a 90 C con una velocidad de 1 m/s. La tubería está aislada con una coquilla de 2 cm de espesor y discurre por una nave que se encuentra a 20 C. Para comprobar las características del aislamiento, se mide la temperatura superficial del mismo mediante un termómetro de contacto, observándose una temperatura de 35 C. Calcular la conductividad térmica del aislante. No considerar el intercambio radiante.



En esta ocasión hemos insertado un botón para calcular en **Diagram Window**, sólo picando ahí obtenemos la solución, que hará remarcar la solución en la ventana, ya que hemos utilizado también la opción de salida de datos por **Diagram Window**. Antes de poner la solución veamos la ventana de ecuaciones.



"Datos del problema"

$T_m=90$ {Temperatura de masa en el interior de la tubería}

$T_{sup}=35$ {Temperatura medida en la superficie del aislamiento}

$T_{\infty}=20$ {Temperatura ambiente}

$D_2=D_1+0.006$ {Diámetro exterior de la tubería, el interior y exterior del aislante se han introducido mediante el Diagram Window}

"Propiedades del agua usando 'thermophysical properties functions'"

$\rho=DENSITY(\text{Water}, T=T_m, P=1)$ {Densidad}

$\mu=VISCOSITY(\text{Water}, T=T_m, P=1)$ {Viscosidad}

$Pr_i=PRANDTL(\text{Water}, T=T_m, P=1)$ {Número de Prandtl}

$k_{\text{agua}}=CONDUCTIVITY(\text{Water}, T=T_m, P=1)$ {Conductividad térmica del agua}

```

Re=rho*v*D1/mu {Número de Reynolds}
"Correlaciones mediante las funciones de librería"
Nu#_i=CFFI14(Re,Pr_i,60) { Número de Nusselt interno mediante función
de 'User library routines'}
Nu#_i=h_i*D1/k_agua {Número de Nusselt interno en función del coeficiente
de película interno}
"Propiedades del aire usando 'thermophysical properties functions'"
Tmp=(Tsup+T_infinity)/2 { Temperatura media de película}
beta=1/(Tmp+273) {coeficiente de dilatación volumétrica}
Pr_e=PRANDTL(Air,T=Tmp) {Número de Prandtl}
nu=VISCOSITY(Air,T=Tmp)/DENSITY(Air,T=Tmp,P=1) {Viscosidad
cinemática}
k_aire=CONDUCTIVITY(Air,T=Tmp) {Conductividad térmica del aire}
Ra=(beta*9.81*(Tsup-T_infinity)*D3^3*Pr_e)/(nu^2) {Número de Rayleigh}
"Correlaciones mediante las funciones de librería"
Nu#_e=CLFE14(Ra) { Número de Nusselt externo mediante función de 'User
library routines'}
Nu#_e=h_e*D3/k_aire {Número de Nusselt interno en función del coeficiente
de película interno}
(Tm-
Tsup)/((1/(h_i*pi*D1))+(ln(D3/D2)/(2*pi*k_aislante))+(1/(h_e*pi*D3)))=h_e*pi*
D3*(Tsup-T_infinity) {Ecuación global de balance}

```

Picando en **Solve**, en el menú **Calculate**, o bien en el botón de **Diagram Window** obtenemos la solución.

The screenshot shows the 'EES Solution' window with the following content:

Unit Settings: [C]/[bar]/[kg]/[degrees]

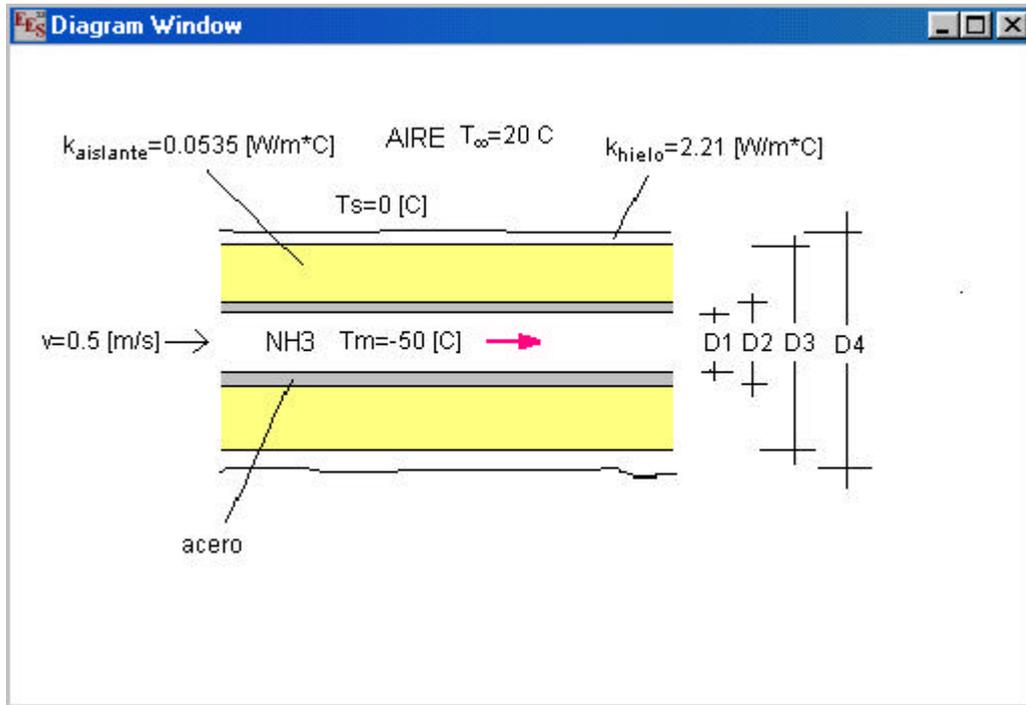
Variables in MAIN program

$\beta = 0.003328$ [1/K]	$D1 = 0.05$ [m]	$D2 = 0.056$ [m]
$D3 = 0.096$ [m]	$h_e = 4.329$ [W/m ² C]	$h_i = 5475$ [W/m ² C]
$k_{agua} = 0.6755$ [W/mC]	$k_{aire} = 0.02612$ [W/mC]	$k_{aislante} = 0.04203$ [W/mC]
$\mu = 0.0003146$ [kg/m-s]	$\nu = 0.00001601$ [m ² /s]	$Nu\#_e = 15.92$
$Nu\#_i = 405.3$	$Pr_e = 0.7153$	$Pr_i = 1.958$
$Ra = 1.209E+06$	$Re = 153439$	$\rho = 965.5$ [kg/m ³]
$Tm = 90$ [C]	$Tmp = 27.5$ [C]	$Tsup = 35$ [C]
$T_\infty = 20$ [C]	$v = 1$ [m/s]	

Calculation time = .0 sec

6.3. Problema 10

Por el interior de una tubería de acero de 5 cm de diámetro y 3 mm de espesor circula amoníaco líquido a -50 C , a una velocidad de 30 m/min . La tubería está recubierta por una coquilla de aislante ($k=0.0535\text{ W/mC}$) de 1 cm de espesor y atraviesa un local que se encuentra a 20 C . Calcular el espesor de la capa de hielo que se forma suponiendo una conductividad térmica del hielo constante de 1.9 W/mC .



Equations Window

"Datos del problema"

$T_m = -50$ { Temperatura de masa }

$T_s = 0$ { Temperatura superficial de la tubería, 0 C por ser hielo }

$T_\infty = 20$ { Temperatura ambiente del local }

$D1 = 0.05$ { diámetro interno de la tubería }

$D2 = 0.056$ { diámetro externo de la tubería de acero }

$D3 = 0.076$ { diámetro externo de la tubería incluyendo la coquilla de aislante }

$e = (D4 - D3) / 2$ { espesor de la capa de hielo }

$v = 0.5$ { velocidad del flujo }

$k_{\text{aislante}} = 0.0535$ { conductividad térmica del aislante }

$k_{\text{hielo}} = 2.2097$ { conductividad térmica del hielo }

"propiedades del fluido interior, NH_3 , a temperatura de masa"

$\nu_i = 0.435\text{E-}6$ { Viscosidad cinemática }

$Pr_i = 2.60$ { Número de Prandtl }

$k_i = 0.547$ { conductividad térmica interior }

$Re = v * D1 / \nu_i$ { número de Reynolds interior }

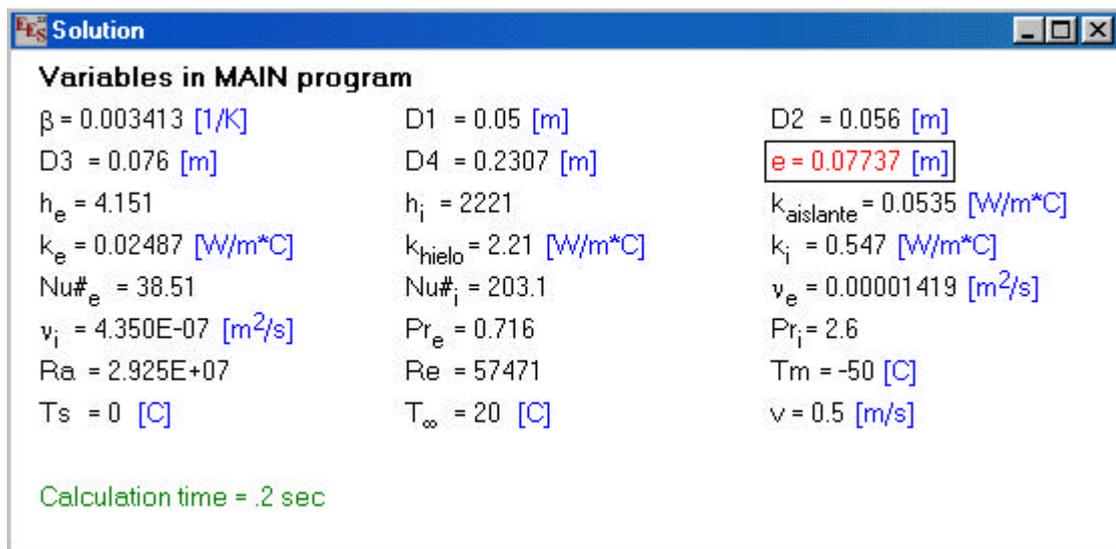
"Correlaciones usando 'User library routines'"

```

Nu#_i=CFFI14(Re,Pr_i,60)    { Número de Nusselt mediante función de 'User
library routines'}
Nu#_i=h_i*D1/k_i           {expresión del número de Nusselt interior}
"propiedades del aire exterior a Tmp=10C"
beta=1/(T_infinity+273)    { coeficiente de dilatación volumétrica, T_infinity en C}
nu_e=14.19E-6              { Viscosidad}
Pr_e=0.716                 {Número de Prandtl}
k_e=24.87E-3               { conductividad térmica exterior}
Ra=9.81*beta*(T_infinity-Ts)*D4^3*Pr_e/nu_e^2  { número de Rayleigh}
"Correlaciones usando 'User library routines'"
Nu#_e=CLFE14(Ra)           { Número de Nusselt mediante función de 'User
library routines'}
Nu#_e=h_e*D4/k_e           {expresión del número de Nusselt exterior}
"ecuación de balance global"
(T_infinity-
Tm)/((1/h_i*pi*D1)+(ln(D3/D2)/(2*pi*k_aislante))+(ln(D4/D3)/(2*pi*k_hielo)))+(1
/h_e*pi*D4)=(T_infinity-Ts)*h_e*pi*D4  {ecuación de balance global}

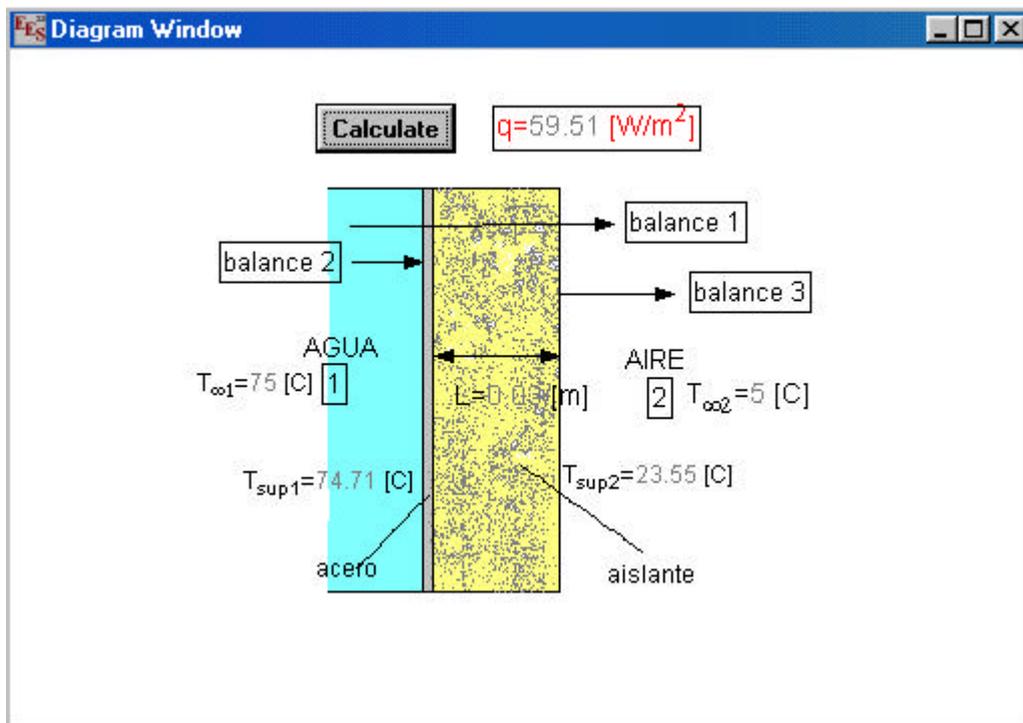
```

Picar en **Solve**, en el menú **Calculate**, para ver la solución.



6.4. Problema 11

Un depósito vertical de agua a 75 C situado en el exterior se aísla con 3 cm de fibra de vidrio ($k=0.0349$ W/mC). El depósito, de diámetro suficientemente grande, está construido en chapa de acero de 3 mm de espesor. Calcular las pérdidas de calor laterales por unidad de superficie si la temperatura del aire ambiente en reposo es 5 C. Suponer régimen turbulento en ambas superficies y despreciar el intercambio radiante.



Se ha introducido en **Diagram Window** el botón para calcular y se ha utilizado también como salida de datos, aunque eso no quita que tengamos nuestra ventana de solución como veremos después de mostrar la ventana de ecuaciones.

Equations Window

Nota: el orden de las 'Ecuaciones de balance' y los valores iniciales de algunas variables como coeficientes de películas y T_{mp} (con la que se calculan las propiedades en este caso) en 'Variable Info' del menú 'Options', es importante para obtener la solución sin problemas de convergencia o rangos de validez de algunas variables. La altura del depósito la he tomado de 3 m, para el cálculo de Ra y de h .

Picar en 'Solve' del menú 'Calculate', o en el botón 'Calculate' de "Diagram Window" para obtener la solución. }

"Datos del problema"

$T_{infinity1} = 75$ {Temperatura de agua}
 $T_{infinity2} = 5$ {Temperatura de aire}
 $L = 0.03$ {Espesor de aislante}
 $k_{aislante} = 0.0349$ {Conductividad térmica del aislante}

"Ecuaciones de balance"

$$\frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{\left(\frac{1}{h_1} + \frac{L}{k_{\text{aislante}}} + \frac{1}{h_2}\right)} = h_1 \cdot (T_{\infty 1} - T_{\text{sup1}})$$
 { Balance de energía desde el agua hasta la superficie del depósito, balance 2 del diagrama }

$$\frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{\left(\frac{1}{h_1} + \frac{L}{k_{\text{aislante}}} + \frac{1}{h_2}\right)} = h_2 \cdot (T_{\text{sup2}} - T_{\infty 2})$$
 { Balance de energía desde la superficie del aislante hasta el aire, balance 3 del diagrama }

$$q = \frac{(T_{\infty 1} - T_{\infty 2})}{\left(\frac{1}{h_1} + \frac{L}{k_{\text{aislante}}} + \frac{1}{h_2}\right)}$$
 { Calor transferido desde el seno del agua hasta el seno del aire, balance 1 del diagrama }

"Cálculo de coeficiente de película interno"

$$T_{\text{mp1}} = \frac{(T_{\text{sup1}} + T_{\infty 1})}{2}$$
 { Temperatura media de película }

"Propiedades del agua a T_{mp1} "

$$\beta_1 = 0.619 \times 10^{-3}$$
 { Coeficiente de dilatación volumétrica }

$$\nu_1 = \frac{\text{VISCOSITY}(\text{Water}, T=T_{\text{mp1}}, P=1)}{\text{DENSITY}(\text{Water}, T=T_{\text{mp1}}, P=1)}$$
 { Viscosidad cinemática }

$$\text{Pr}_1 = \text{PRANDTL}(\text{Water}, T=T_{\text{mp1}}, P=1)$$
 { Número de Prandtl }

$$k_1 = \text{CONDUCTIVITY}(\text{Water}, T=T_{\text{mp1}}, P=1)$$
 { Conductividad térmica del agua }

$$\text{Ra}_1 = \frac{9.81 \cdot \beta_1 \cdot (T_{\infty 1} - T_{\text{sup1}}) \cdot 3^3 \cdot \text{Pr}_1}{\nu_1^2}$$
 { Número de Rayleigh }

$$\text{Nu}\#_1 = \text{CLFE1}(\text{Ra}_1)$$
 { Número de Nusselt externo mediante función de 'User library routines' }

$$\text{Nu}\#_1 = h_1 \cdot 3 / k_1$$
 { Número de Nusselt en función del coeficiente de película }

"Cálculo de coeficiente de película externo"

$$T_{\text{mp2}} = \frac{(T_{\text{sup2}} + T_{\infty 2})}{2}$$
 { Temperatura media de película }

"Propiedades del agua a T_{mp2} "

$$\beta_2 = 1 / (T_{\text{mp2}} + 273)$$
 { Coeficiente de dilatación volumétrica }

$$\nu_2 = \frac{\text{VISCOSITY}(\text{Air}, T=T_{\text{mp2}})}{\text{DENSITY}(\text{Air}, T=T_{\text{mp2}}, P=1)}$$
 { Viscosidad cinemática }

$$\text{Pr}_2 = \text{PRANDTL}(\text{Air}, T=T_{\text{mp2}})$$
 { Número de Prandtl }

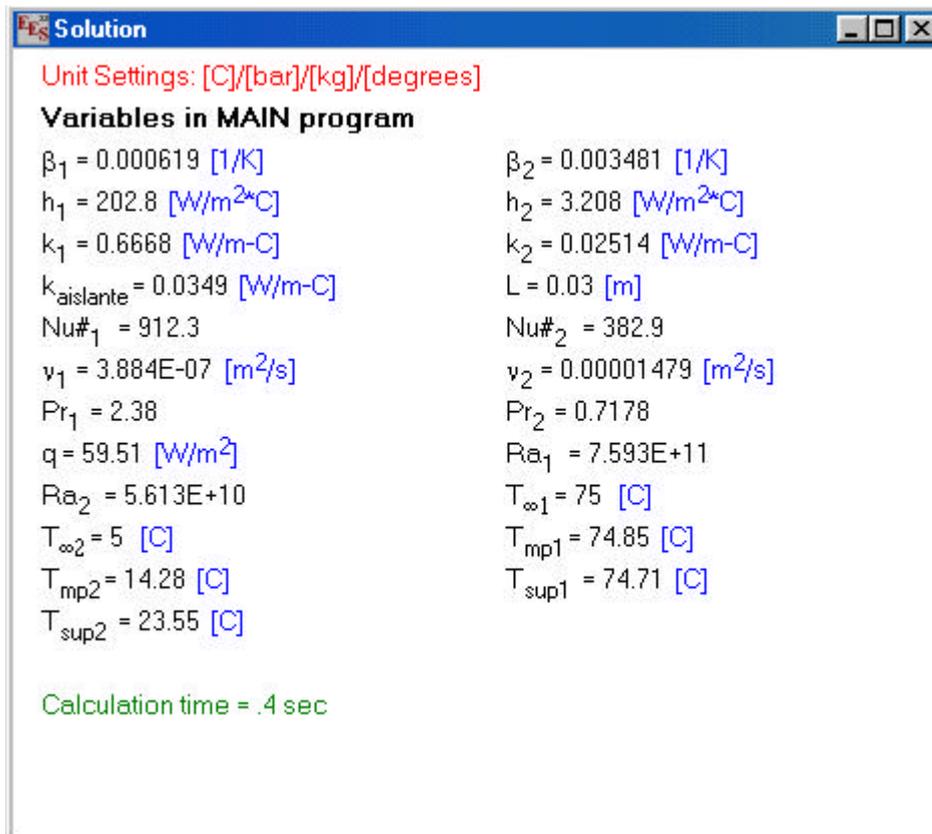
$$k_2 = \text{CONDUCTIVITY}(\text{Air}, T=T_{\text{mp2}})$$
 { Conductividad térmica del aire }

$$\text{Ra}_2 = \frac{9.81 \cdot \beta_2 \cdot (T_{\text{sup2}} - T_{\infty 2}) \cdot 3^3 \cdot \text{Pr}_2}{\nu_2^2}$$
 { Número de Rayleigh }

$$\text{Nu}\#_2 = \text{CLFE1}(\text{Ra}_2)$$
 { Número de Nusselt externo mediante función de 'User library routines' }

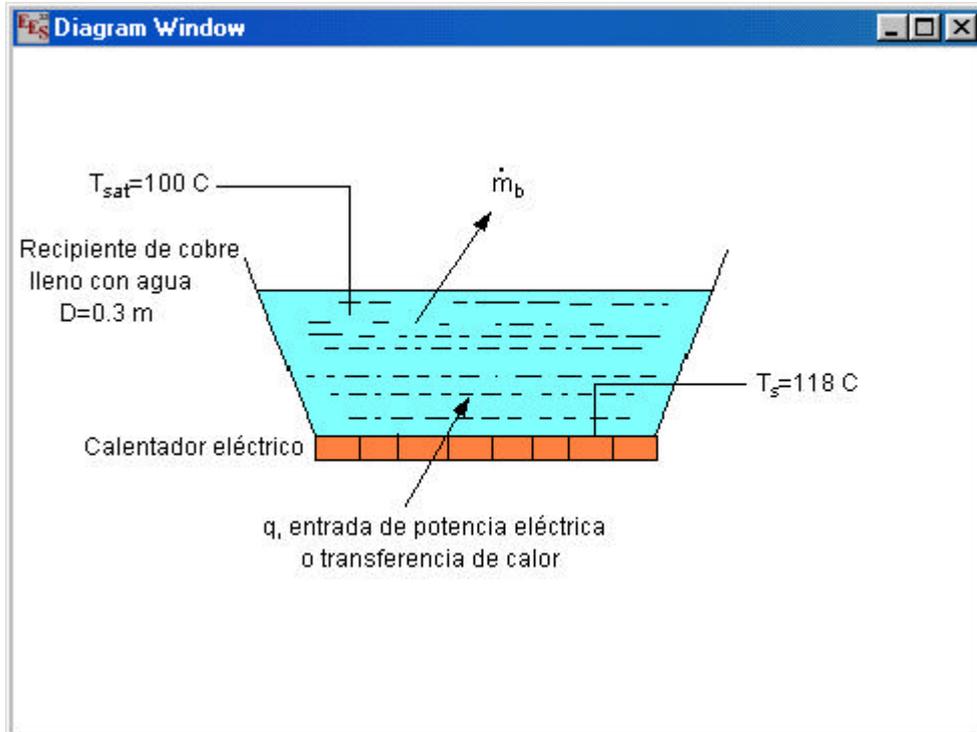
$$\text{Nu}\#_2 = h_2 \cdot 3 / k_2$$
 { Número de Nusselt en función del coeficiente de película }

Resolviendo obtenemos la ventana de solución.



6.5. Problema 12

La parte inferior de un recipiente de cobre, de 0.3 m de diámetro, se mantiene a 118 C mediante un calentador eléctrico. Estime la potencia que se requiere para hervir agua en este recipiente. ¿Cuál es la rapidez de evaporación? Estime el flujo crítico de calor.



Equations Window

"Solución"

{Suposiciones:

- 1.- Condiciones de estado estable.
- 2.- Agua expuesta a presión atmosférica estándar, 1.01 bar.
- 3.- Agua a temperatura uniforme $T_{sat}=100\text{ C}$.
- 4.- Superficie inferior del recipiente de cobre pulido.
- 5.- Pérdidas insignificantes del calentador a los alrededores.}

"Propiedades"

rho_liq=957.9
 Cpl=4217
 mu_liq=279E-6
 Pr_l=1.76
 h_lg=2257E3
 sigma=58.9E-3
 rho_vap=0.5955

"Datos"

$T_s=118$
 $T_{sat}=100$
 $D=0.3$

"Ecuaciones para la solución"

$$\text{DELTA}T_e = T_s - T_{\text{sat}}$$

$q = \text{EBULLICION1}(\mu_{\text{liq}}, h_{\text{lg}}, \rho_{\text{liq}}, \rho_{\text{vap}}, \sigma, C_{\text{pl}}, C_{\text{s,f}}, \text{Pr}_l, n, \text{DELTA}T_e)$ { función que nos devuelve el calor por unidad de área de la superficie de la placa, para ebullición nucleada }

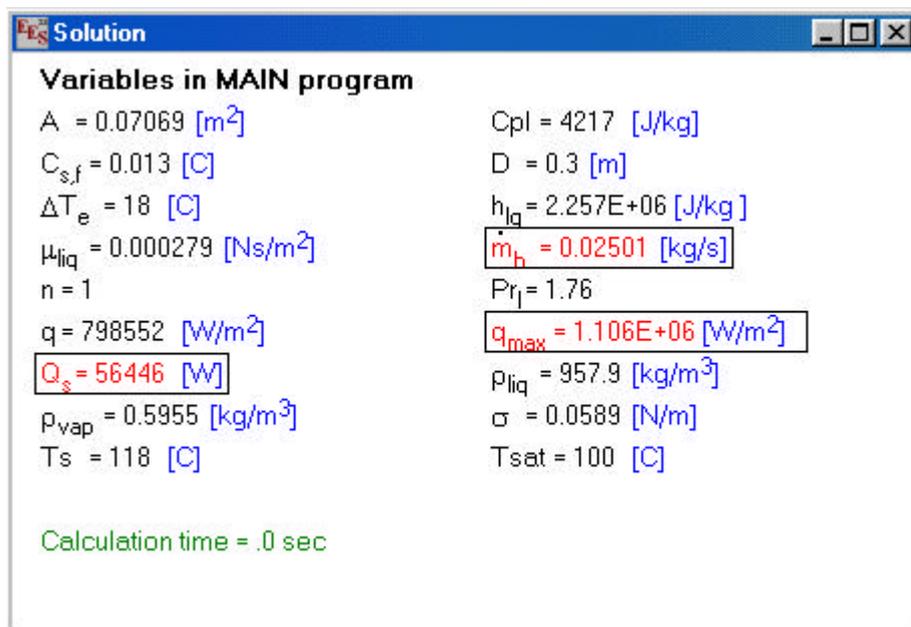
$C_{\text{s,f}} = 0.0130$; $n = 1$; $A = (\pi \cdot (D^2)) / 4$ { valores que corresponde a la combinación superficie pulida de cobre-agua, y A es el área de transferencia de calor }

$$Q_s = q \cdot A$$

$Q_s = \dot{m}_b \cdot h_{\text{lg}}$ { de aquí obtenemos la rapidez a la que se evapora agua desde la superficie libre al ambiente }

$q_{\text{max}} = \text{EBULLICION2}(h_{\text{lg}}, \rho_{\text{liq}}, \rho_{\text{vap}}, \sigma)$ { flujo de calor crítico }

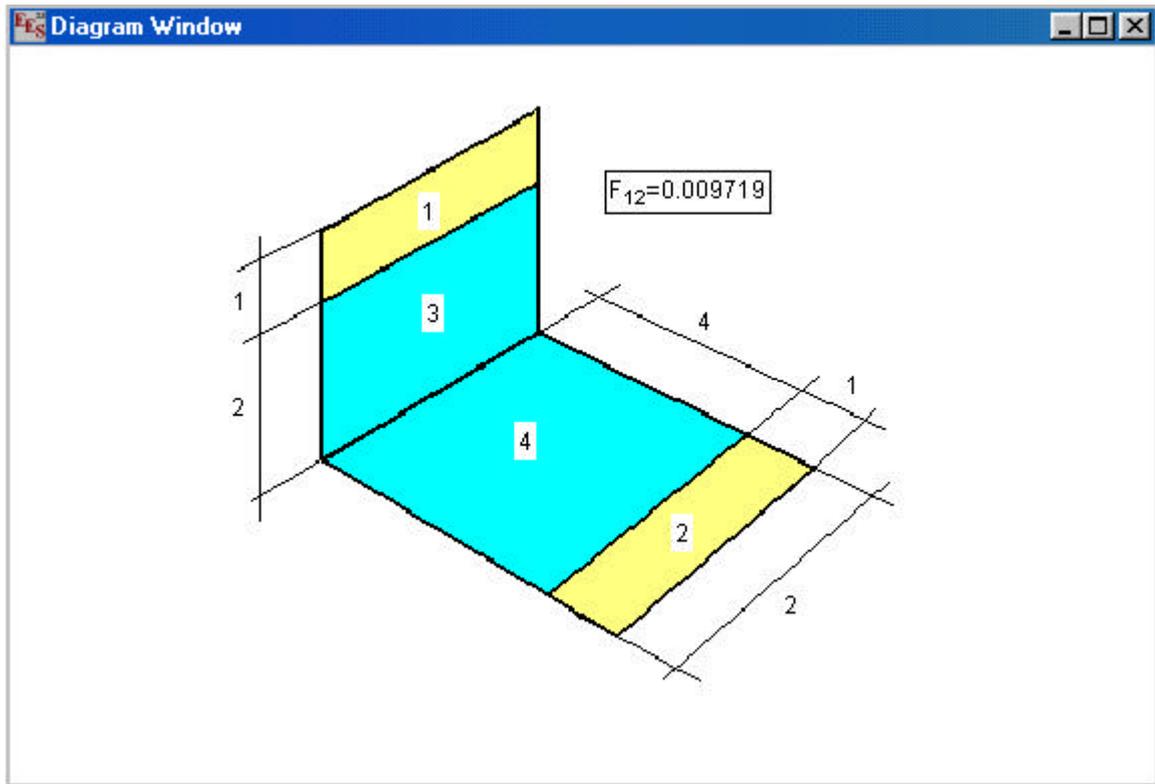
Picando en **Solve**, en el menú **Calculate**, obtenemos la solución.



7. Radiación

7.1. Problema 13

Calcular el Factor de forma F_{12} de la figura de **Diagram Window**.



{Para aclarar la nomenclatura, $F_{13\#24}$ significa factor de forma de la superficie 13 sobre la 24, el símbolo # indica la separación entre dos superficies, pero F_{12} indica factor de forma de 1 sobre 2, ya que no hay suma de superficies. }

$$A_{13} * F_{13\#24} = A_1 * F_{12} + A_1 * F_{14} + A_3 * F_{3\#42} \quad \{\text{adición}\}$$

$$A_{13} * F_{13\#4} = A_1 * F_{14} + A_3 * F_{34} \quad \{\text{adición}\}$$

$$A_1 = 2$$

$$A_3 = 4$$

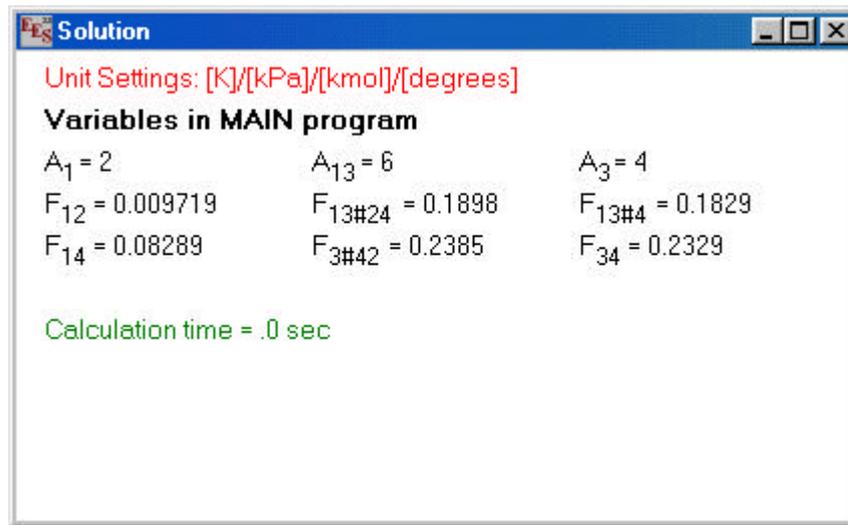
$$A_{13} = 6$$

$$F_{3\#42} = \text{FFORMA3D9}(2,2,5) \quad \{\text{funciones de librería de factores de forma 3D}\}$$

$$F_{13\#4} = \text{FFORMA3D9}(3,2,4)$$

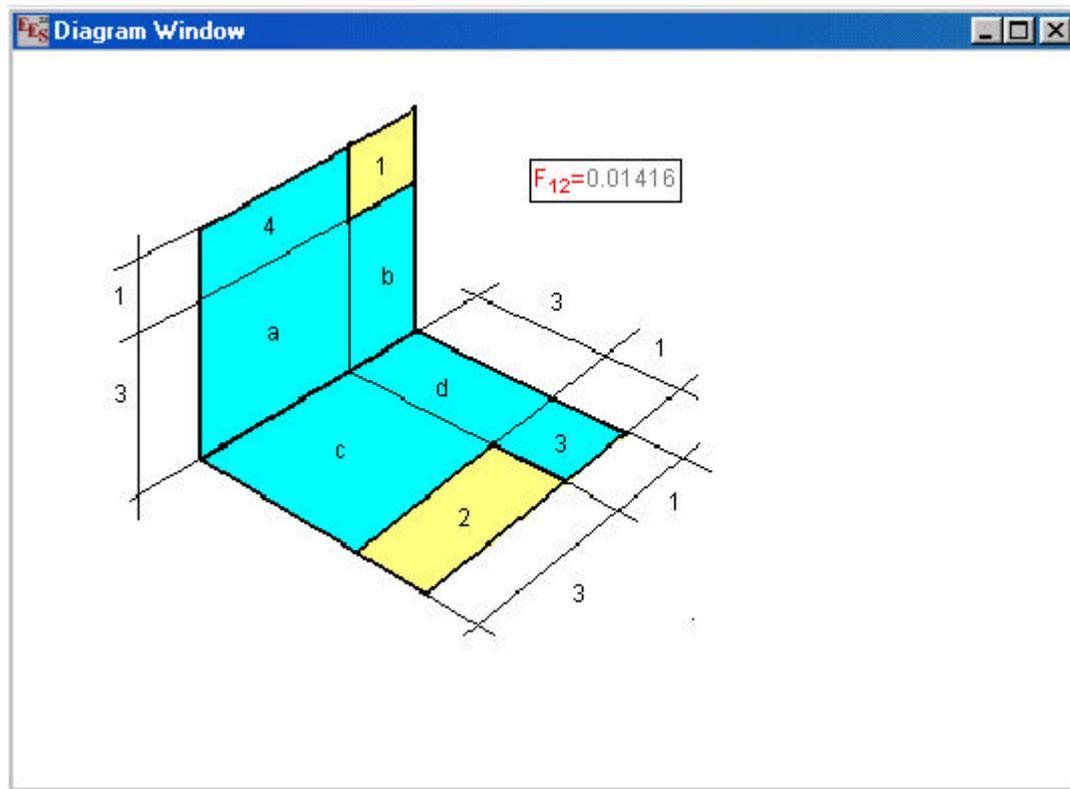
$$F_{34} = \text{FFORMA3D9}(2,2,4)$$

$$F_{13\#24} = \text{FFORMA3D9}(3,2,5)$$



7.2 Problema 14

Calcular el Factor de forma F_{12} de la figura de **Diagram Window**.



Equations Window

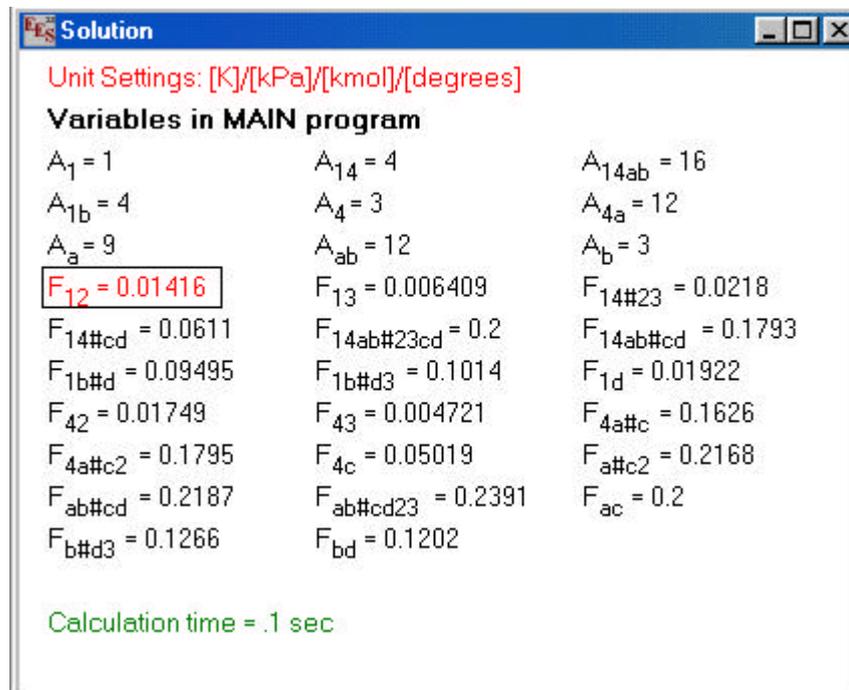
```

A_14=4; A_1=1; A_4=3                                { áreas }
A_14*F_14#23=A_1*F_12+A_1*F_13+A_4*F_42+A_4*F_43    { adición }
A_1*F_12=A_4*F_43                                    { reciprocidad }
A_14ab=16; A_ab=12                                   { áreas }
A_14ab*F_14ab#23cd=A_14*F_14#23+A_14*F_14#cd+A_ab*F_ab#cd23 {
adición }
F_ab#cd23=FFORMA3D9(3,4,4)                          { funciones de librería para factor de
forma (w,l,h) }
F_14ab#23cd=FFORMA3D9(4,4,4)                        { funciones de librería para factor de
forma (w,l,h) }
A_14ab*F_14ab#cd=A_14*F_14#cd+A_ab*F_ab#cd          { adición }
F_14ab#cd=FFORMA3D9(4,4,3)                          { funciones de librería para factor de
forma (w,l,h) }
F_ab#cd=FFORMA3D9(3,4,3)                            { funciones de librería para factor
de forma (w,l,h) }
A_1b=4; A_b=3                                        { áreas }
A_1b*F_1b#d3=A_1*F_1d+A_1*F_13+A_b*F_b#d3          { adición }
F_1b#d3=FFORMA3D9(4,1,4)                            { funciones de librería para factor
de forma (w,l,h) }
F_b#d3=FFORMA3D9(3,1,4)                            { funciones de librería para factor
de forma (w,l,h) }
A_1b*F_1b#d=A_1*F_1d+A_b*F_bd                      { adición }

```

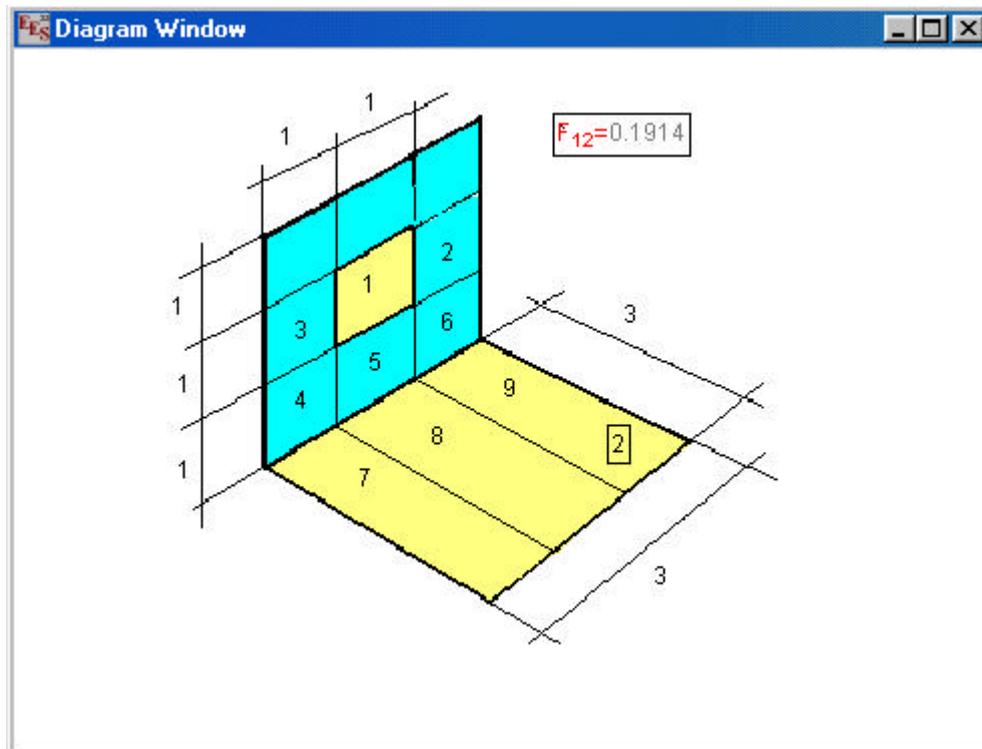
$F_{1b\#d} = \text{FFORMA3D9}(4,1,3)$ { funciones de librería para factor de forma (w,l,h)}
 $F_{bd} = \text{FFORMA3D9}(3,1,3)$ { funciones de librería para factor de forma (w,l,h)}
 $A_{4a} = 12; A_a = 9$ {áreas}
 $A_{4a} * F_{4a\#c2} = A_4 * F_{4c} + A_4 * F_{42} + A_a * F_{a\#c2}$ {adición}
 $F_{4a\#c2} = \text{FFORMA3D9}(4,3,4)$ { funciones de librería para factor de forma (w,l,h)}
 $F_{a\#c2} = \text{FFORMA3D9}(3,3,4)$ { funciones de librería para factor de forma (w,l,h)}
 $A_{4a} * F_{4a\#c} = A_4 * F_{4c} + A_a * F_{ac}$ {adición}
 $F_{4a\#c} = \text{FFORMA3D9}(4,3,3)$ { funciones de librería para factor de forma (w,l,h)}
 $F_{ac} = \text{FFORMA3D9}(3,3,3)$ { funciones de librería para factor de forma (w,l,h)}

Resolviendo, obtenemos la solución.



7.3. Problema 15

Calcular el Factor de forma F_{12} de la figura de **Diagram Window**.



Equations Window

$$A_1 * F_{12} = 2 * A_1 * F_{17} + A_1 * F_{18} \quad \{\text{adición}\}$$

"Cálculo de F_{18} "

$$A_1 * F_{18} = A_{15} * F_{15\#8} - A_5 * F_{58} \quad \{\text{adición}\}$$

$$F_{15\#8} = \text{FFORMA3D9}(2,1,3) \quad \{\text{funciones de librería para factor de forma (w,l,h)}\}$$

$$F_{58} = \text{FFORMA3D9}(1,1,3) \quad \{\text{funciones de librería para factor de forma (w,l,h)}\}$$

"Cálculo de F_{17} "

$$A_{13} * F_{13\#78} = A_1 * F_{17} + A_1 * F_{18} + A_3 * F_{37} + A_3 * F_{38} \quad \{\text{adición}\}$$

$$A_1 * F_{17} = A_3 * F_{38} \quad \{\text{reciprocidad espacial}\}$$

$$A_1 * F_{18} = A_3 * F_{37} \quad \{\text{reciprocidad espacial}\}$$

$$A_{13} * F_{13\#78} = A_{1345} * F_{1345\#78} - A_{45} * F_{45\#78}$$

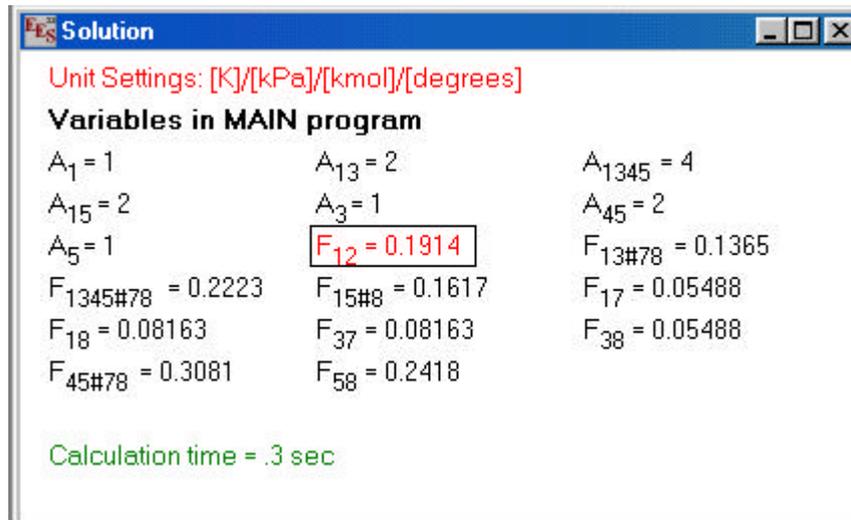
$$F_{1345\#78} = \text{FFORMA3D9}(2,2,3) \quad \{\text{funciones de librería para factor de forma (w,l,h)}\}$$

$$F_{45\#78} = \text{FFORMA3D9}(1,2,3) \quad \{\text{funciones de librería para factor de forma (w,l,h)}\}$$

"Datos de las áreas"

$$A_1 = 1; A_{13} = 2; A_{15} = 2; A_3 = 1$$

$$A_{45} = 2; A_5 = 1; A_{1345} = 4$$



7.4. Problema 16

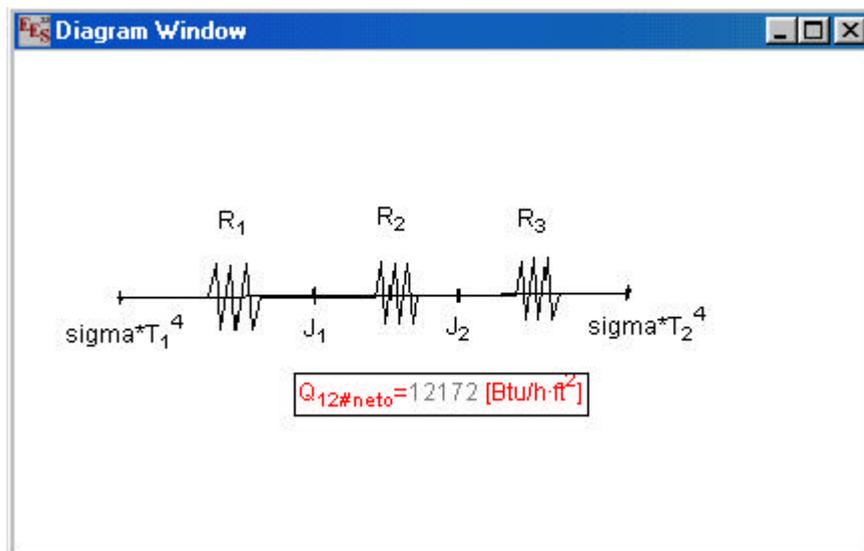
Se emplea una barra cilíndrica como calefactor; su diámetro es de 2 pulgadas, su emisividad efectiva es de 0.7 y se mantiene a 1640 F por efecto de calentamiento de una resistencia eléctrica.

- Determinar la energía que se debe proporcionar por pie de longitud de la barra.
- Determinar la energía que se debe proporcionar por pie de longitud de la barra si se coloca un reflector aislado, semicircular de 18 pulgadas de diámetro de la forma mostrada en la segunda **Diagram Window**.

Las paredes de la habitación en que está colocada la barra de calefacción está a 60 F con emisividad efectiva de 0.6.

Vamos a utilizar la analogía eléctrica.

a)



Equations Window

"Datos"

$$T_1 = 1640 + 460$$

$$\epsilon_1 = 0.7$$

$$T_2 = 60 + 460$$

$$\epsilon_2 = 0.6$$

$$D = 2$$

$$S_1 = \pi * D / 12 \quad \{ \text{área por pie de longitud de barra} \}$$

$$F_{12} = 1 \quad \{ \text{la barra solo ve a la habitación} \}$$

$$\sigma = 0.1714 \text{E-}8$$

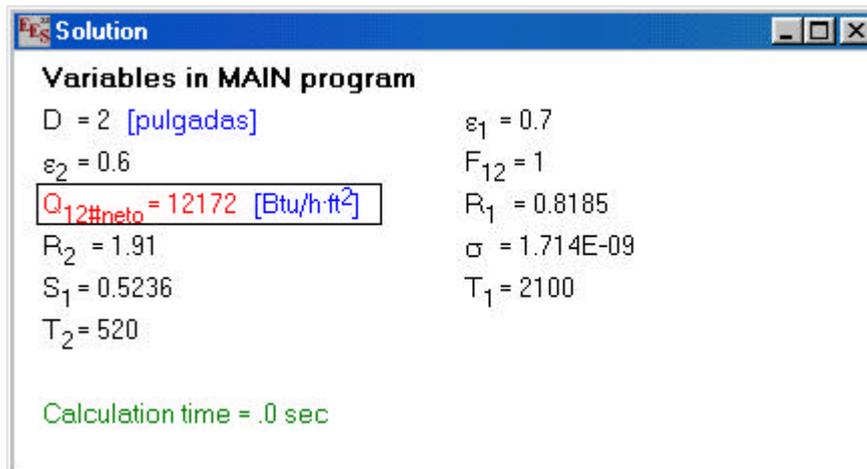
{ Teniendo en cuenta que la superficie 2 es mucho mayor que la 1, la resistencia R_2 será despreciable frente a las demás, y el circuito se simplifica }

$$R_1 = (1 - \epsilon_1) / (\epsilon_1 * S_1)$$

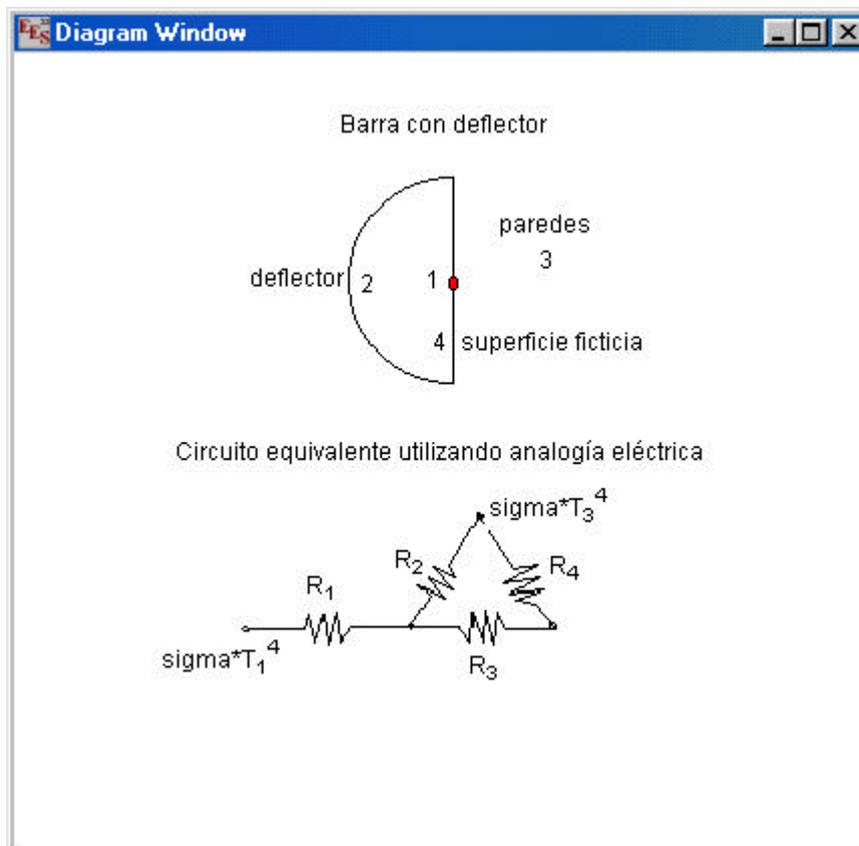
$$R_2 = 1 / (S_1 * F_{12})$$

$$Q_{12\#neto} = (\sigma * (T_1^4 - T_2^4)) / (R_1 + R_2)$$

Picando en **Solve**, en el menú **Calculate**, obtenemos la solución.



b)



Equations Window

"Datos"

$$T_1 = 1640 + 460$$

$$\epsilon_1 = 0.7$$

$$T_3 = 60 + 460$$

{ en este problema las paredes es la superficie 3 }

$$\epsilon_2 = 0.6$$

$$D_1 = 2$$

$$D_2 = 18$$

$$S_1 = \pi * D_1 / 12$$

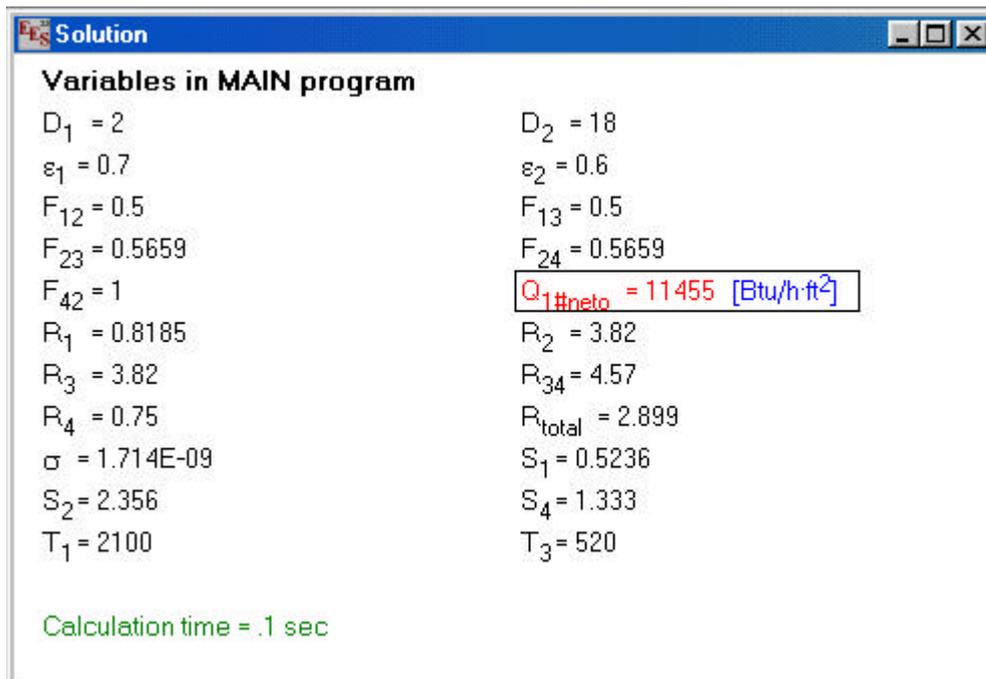
{ área de superficie 1 por unidad de longitud de barra }

```

S_2=(pi*D_2)/(12*2)      { área de superficie 2 por unidad de longitud de barra
}
S_4=16/12                { área de superficie 4 por unidad de longitud de barra }
sigma=0.1714E-8
"Cálculo de factores de forma"
F_12+F_13=1              {adición}
F_12=F_13
F_42=1                   {superficie 4 es ficticia}
S_2*F_24=S_4*F_42       {reciprocidad}
F_24=F_23
"solución del circuito"
R_1=(1-epsilon_1)/(epsilon_1*S_1)
R_2=1/(S_1*F_13)
R_3=1/(S_1*F_12)
R_4=1/(S_2*F_23)
R_34=R_3+R_4
R_total=R_1+((R_34*R_2)/(R_34+R_2))
Q_1#neto=(sigma*(T_1^4-T_3^4))/R_total

```

La solución en este apartado es



7.5. Problema 17

En la figura de **Diagram Window** se muestra un esquema de un receptor solar de cavidad.

Las superficies 2 y 4 constituyen la zona de evaporación, su temperatura es de 400 C y pueden suponerse negras.

La superficie 3 es el sobrecalentador, se encuentra a 600 C y puede suponerse negra.

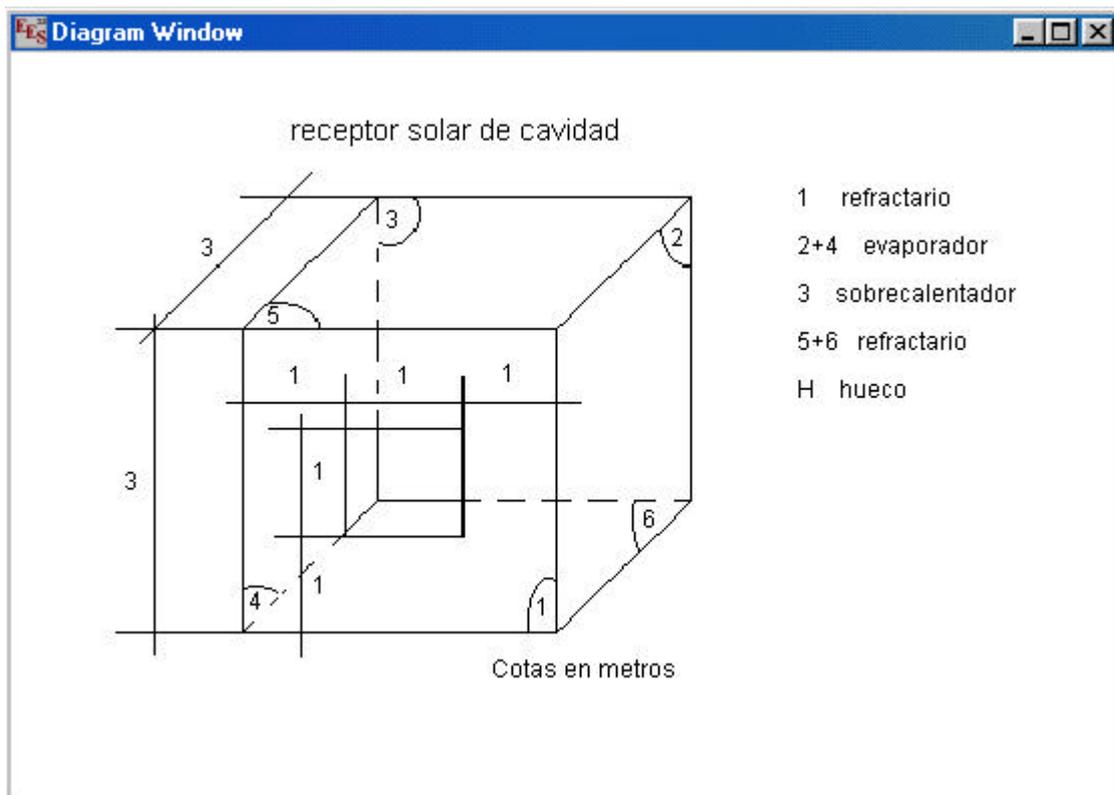
El suelo y el techo (superficies 5 y 6) son rerradiantes y se encuentran a igual temperatura.

La superficie 1 (cara frontal menos el hueco) es rerradiante y se encuentra a una temperatura distinta de la de las superficies 5 y 6.

Determinar:

- 1.- Temperatura de las superficies rerradiantes 1, 5 y 6.
- 2.- Calor perdido por el sobrecalentador.
- 3.- Cantidad de calor cedido al ambiente.

Supóngase que el ambiente está a una temperatura de 10 C, que el régimen es permanente y que el receptor se encuentra en una etapa de enfriamiento (radiación solar nula).



Equations Window

{SOLUCIÓN:

En el problema existen las siguientes superficies distintas:

1	refractario	T_1	rerradiante
2+4	evaporador	T_24=400 C	negra
3	sobrecalentador	T_3=600 C	negra
5+6	refractario	T_56	rerradiante
H	hueco	T_H=10 C	negra}

"Temperaturas conocidas"

$$T_{24}=400+273$$

$$T_3=600+273$$

$$T_H=10+273$$

$$\sigma=\sigma\#$$

$$S_1=8; S_3=9; S_H=1; S_{24}=18; S_{56}=18; S_{1H}=9 \quad \{\text{superficies}\}$$

"Ecuaciones de balance de energía radiante en cada superficie"

$$J_1-(F_{1\#24}*J_{24}+F_{1\#3}*J_3+F_{1\#56}*J_{56}+F_{1H}*J_H)=0$$

$$J_{24}=\sigma*T_{24}^4$$

$$J_3=\sigma*T_3^4$$

$$J_{56}-(F_{56\#1}*J_1+F_{56\#24}*J_{24}+F_{56\#56}*J_{56}+F_{56\#3}*J_3+F_{56\#H}*J_H)=0$$

$$J_H=\sigma*T_H^4$$

$$J_1=\sigma*T_1^4$$

$$J_{56}=\sigma*T_{56}^4$$

"Calor cedido por el sobrecalentador"

$$Q_{3\#neto}=(S_3*\sigma*T_3^4)-$$

$$(S_1*F_{1\#3}*J_1+S_{24}*F_{24\#3}*J_{24}+S_{56}*F_{56\#3}*J_{56}+S_H*F_{H3}*J_H)$$

"Calor cedido al ambiente"

$$Q_{H\#neto}=(S_H*\sigma*T_H^4)-$$

$$(S_{56}*F_{56\#H}*J_{56}+S_{24}*F_{24\#H}*J_{24}+S_3*F_{3H}*J_3)$$

{A la vista de las ecuaciones necesitamos calcular los siguientes factores de forma:

$$F_{1\#24}, F_{1\#3}, F_{1\#56}, F_{1H}, F_{56\#1}, F_{56\#24}, F_{56\#56}, F_{56\#3}, F_{56\#H},$$

$$F_{24\#3},$$

$$F_{H3}, F_{24\#H}, F_{3H}\}$$

$$F_{1H}=0$$

"Cálculo de F_3H, F_H3"

$$F_{H3}=0.1914 \quad \{\text{calculado en problema 15 de la colección}\}$$

$$F_{H2}+F_{H4}+F_{H5}+F_{H6}+F_{H3}=1 \quad \{\text{adición}\}$$

$$F_{H2}=F_{H5}$$

$$F_{H4}=F_{H5}$$

$$F_{H6}=F_{H5}$$

$$F_{3H}=(S_H*F_{H3})/S_3 \quad \{\text{reciprocidad}\}$$

"Cálculo de F_24#H, F_56#H"

$$F_{H\#24}+F_{H\#56}+F_{H3}=1 \quad \{\text{adición}\}$$

$$F_{H\#24}=F_{H\#56}$$

$$F_{24\#H}=(S_H*F_{H\#24})/S_{24} \quad \{\text{reciprocidad}\}$$

$$F_{56\#H}=F_{24\#H}$$

"Cálculo de F_56#56"

$$F_{56\#56}=\text{FFORMA3D8}(3,3,3) \quad \{\text{función de librería para factores de forma}\}$$

"cálculo de F_13"

$$S_{1H}*F_{1H\#3}=S_1*F_{1\#3}+S_H*F_{H3}$$

$F_{1H\#3} = \text{FFORMA3D8}(3,3,3)$ { función de librería para factores de forma }
 "Cálculo de $F_{1\#24}$, $F_{1\#56}$, $F_{56\#1}$ "
 $F_{1\#24} + F_{1\#56} + F_{13} = 1$ { adición }
 $F_{1\#24} = F_{1\#56}$
 $F_{56\#1} = (S_1 * F_{1\#56}) / S_{56}$
 "Cálculo de $F_{24\#3}$, $F_{56\#3}$, $F_{56\#24}$ "
 $F_{3\#24} + F_{3\#56} + F_{3\#1H} = 1$ { adición }
 $F_{3\#24} = F_{3\#56}$
 $F_{3\#1H} = F_{1H\#3}$
 $F_{56\#3} = (S_3 * F_{3\#56}) / S_{56}$ { reciprocidad }
 $F_{24\#3} = F_{56\#3}$
 $F_{56\#3} + F_{56\#56} + F_{56\#24} + F_{56\#1H} = 1$ { adición }
 $F_{56\#1H} = F_{56\#3}$

Picando en **Solve**, en el menú **Calculate**, obtenemos la solución.

Solution

Unit Settings: [C]/[kPa]/[kmol]/[degrees]

Variables in MAIN program

$F_{1\#24} = 0.4022$	$F_{1\#56} = 0.4022$	$F_{13} = 0.1955$
$F_{1H} = 0$	$F_{1H\#3} = 0.1998$	$F_{24\#3} = 0.2$
$F_{24\#H} = 0.02127$	$F_{3\#1H} = 0.1998$	$F_{3\#24} = 0.4001$
$F_{3\#56} = 0.4001$	$F_{3H} = 0.02604$	$F_{56\#1} = 0.1788$
$F_{56\#1H} = 0.2$	$F_{56\#24} = 0.4001$	$F_{56\#3} = 0.2$
$F_{56\#56} = 0.1998$	$F_{56\#H} = 0.02127$	$F_{H\#24} = 0.3828$
$F_{H\#56} = 0.3828$	$F_{H2} = 0.1914$	$F_{H3} = 0.2344$
$F_{H4} = 0.1914$	$F_{H5} = 0.1914$	$F_{H6} = 0.1914$
$J_1 = 18428 \text{ [W/m}^2\text{]}$	$J_{24} = 11631 \text{ [W/m}^2\text{]}$	$J_3 = 32931 \text{ [W/m}^2\text{]}$
$J_{56} = 18175 \text{ [W/m}^2\text{]}$	$J_H = 363.7 \text{ [W/m}^2\text{]}$	$Q_{3\#neto} = 160151 \text{ [W]}$
$Q_{H\#neto} = -18765 \text{ [W]}$	$\sigma = 5.670E-08 \text{ [W/m}^2\text{K}^4\text{]}$	$S_1 = 8 \text{ [m}^2\text{]}$
$S_{1H} = 9 \text{ [m}^2\text{]}$	$S_{24} = 18 \text{ [m}^2\text{]}$	$S_3 = 9 \text{ [m}^2\text{]}$
$S_{56} = 18 \text{ [m}^2\text{]}$	$S_H = 1 \text{ [m}^2\text{]}$	$T_1 = 755.1 \text{ [K]}$
$T_{24} = 673 \text{ [K]}$	$T_3 = 873 \text{ [K]}$	$T_{56} = 752.5 \text{ [K]}$
$T_H = 283 \text{ [K]}$		

Calculation time = .1 sec

8. Mecanismos Combinados

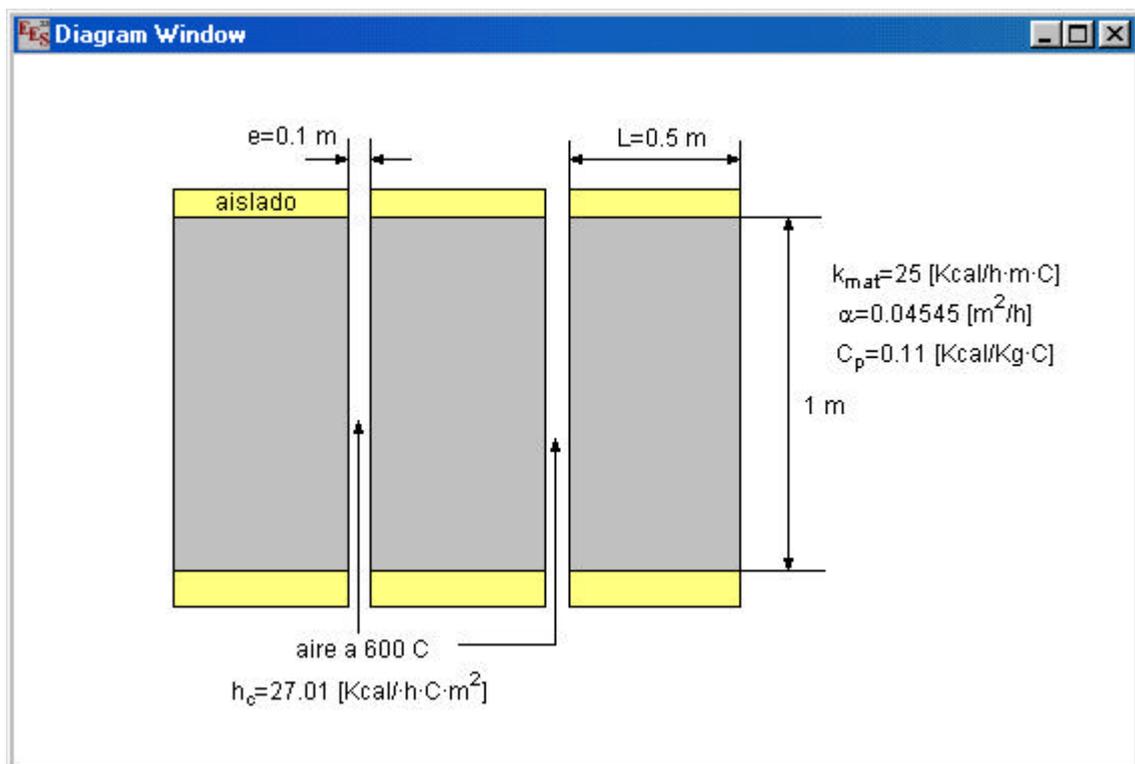
8.1. Problema 18

En la figura se representa un sistema de almacenamiento de energía, bien aislado del exterior, constituido por capas alternativas del material de acumulación y canales de 10 cm de espesor por los que circula aire a una velocidad de 20 m/s.

El material utilizado para almacenar energía ($k=25 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}\cdot\text{C}$) se dispone en capas de 0.5 m de espesor, inicialmente a 25 C. Durante la etapa de acumulación, circula por los canales a 600 C.

¿Al cabo de cuánto tiempo se alcanzará el 75% de la capacidad de acumulación del sistema en estas condiciones? ¿Cuál es la temperatura del material en este instante?

El material de acumulación tiene una densidad de 5000 Kg/m^3 , una conductividad térmica de $25 \text{ Kcal/h}\cdot\text{m}\cdot\text{C}$ y un calor específico de $0.11 \text{ Kcal/Kg}\cdot\text{C}$.



Equations Window

"Solución"

{El problema de régimen transitorio se puede resolver una vez conocido el coeficiente de transferencia convectivo entre el aire y el material de acumulación. El aire circula por un canal, que se supone suficientemente largo como para despreciar los efectos de la región de entrada térmica, de 1 m de alto por 0.1 m de ancho}

{Conocido el coeficiente de transferencia, resolveremos el problema de conducción transitorio, y para ello necesitamos el module, groberplaca}

```

MODULE groberplaca(Bi,Fo,Q#Q_0p)
Bi*cos(y)=y*sin(y)
A_n=(2*sin(y))/(y+sin(y)*cos(y))
B_n=sin(y)/y
Q#Q_0p=1-(A_n*exp(-y^2*Fo)*B_n)
END
"Datos"
v=20
e=0.1
k_mat=25
L=0.5
T_i=25 ; T_m=600
rho_mat=5000
C_p=0.11
"Cáculo del coeficiente de transferencia convectivo"
D_e=4*A/P {diámetro equivalente}
A=0.1*1 {área de paso}
P=0.1*2+1*2 {perímetro}
"Propiedades del agua usando 'termophysical properties functions'"
rho_aire=DENSITY(Air,T=T_m,P=1) {Densidad}
mu=VISCOSITY(Air,T=T_m) {Viscosidad}
k_aire=CONDUCTIVITY(Air,T=T_m) {Número de Prandtl}
Pr=PRANDTL(Air,T=T_m) {Conductividad térmica del
agua}
Re=(rho_aire*v*D_e)/mu {Número de Reynolds}
Nu#=CFFI14(Re,Pr,60) { Número de Nusselt mediante función de 'User
library routines'}
Nu#=((h*D_e)/(k_aire)) {Número de Nusselt en función del coeficiente de
película}
h_c=h*(Convert(J,Kcal)/Convert(s,h)) {conversión de unidades de W/m^2 C a
Kcal/h-m-C}
"Solución del problema de conducción"
alpha=k_mat/(rho_mat*C_p) {difusividad térmica}
Q#Q_0p=0.75
Bi=h_c*(L/2)/k_mat { número de Biot}
Fo=(alpha*t)/(L/2)^2 {número de Fourier}
CALL groberplaca(Bi,Fo,Q#Q_0p) {llamada al module groberplaca}

```

Picando en **Solve**, en el menú **Calculate**, obtenemos la solución.

The screenshot shows the 'Solution' window from the EES software. The window title is 'EES Solution'. Below the title bar, the unit settings are listed as [C]/[bar]/[kg]/[radians]. The main section is titled 'Variables in MAIN program' and displays a list of variables with their values and units. Some variables are highlighted with red boxes: $h = 31.42$ [W/m²C], $h_c = 27.01$ [Kcal/h·C·m²], and $t = 7.695$ [h]. At the bottom left, the calculation time is shown as .3 sec.

Unit Settings: [C]/[bar]/[kg]/[radians]

Variables in MAIN program

A = 0.1 [m ²]	α = 0.04545 [m ² /h]	Bi = 0.2701
C _p = 0.11 [Kcal/Kg·C]	D _e = 0.1818 [m]	e = 0.1 [m]
Fo = 5.596	h = 31.42 [W/m²C]	h_c = 27.01 [Kcal/h·C·m²]
k _{aire} = 0.06088 [W/m·C]	k _{mat} = 25 [Kcal/h·m·C]	L = 0.5 [m]
μ = 0.00003846 [kg/m·s]	Nu# = 93.83	P = 2.2 [m]
Pr = 0.7043	Q#Q _{0p} = 0.75	Re = 37729
ρ _{aire} = 0.399 [Kg/m ³]	ρ _{mat} = 5000 [Kg/m ³]	t = 7.695 [h]
T _i = 25 [C]	T _m = 600 [C]	v = 20 [m/s]

Calculation time = .3 sec

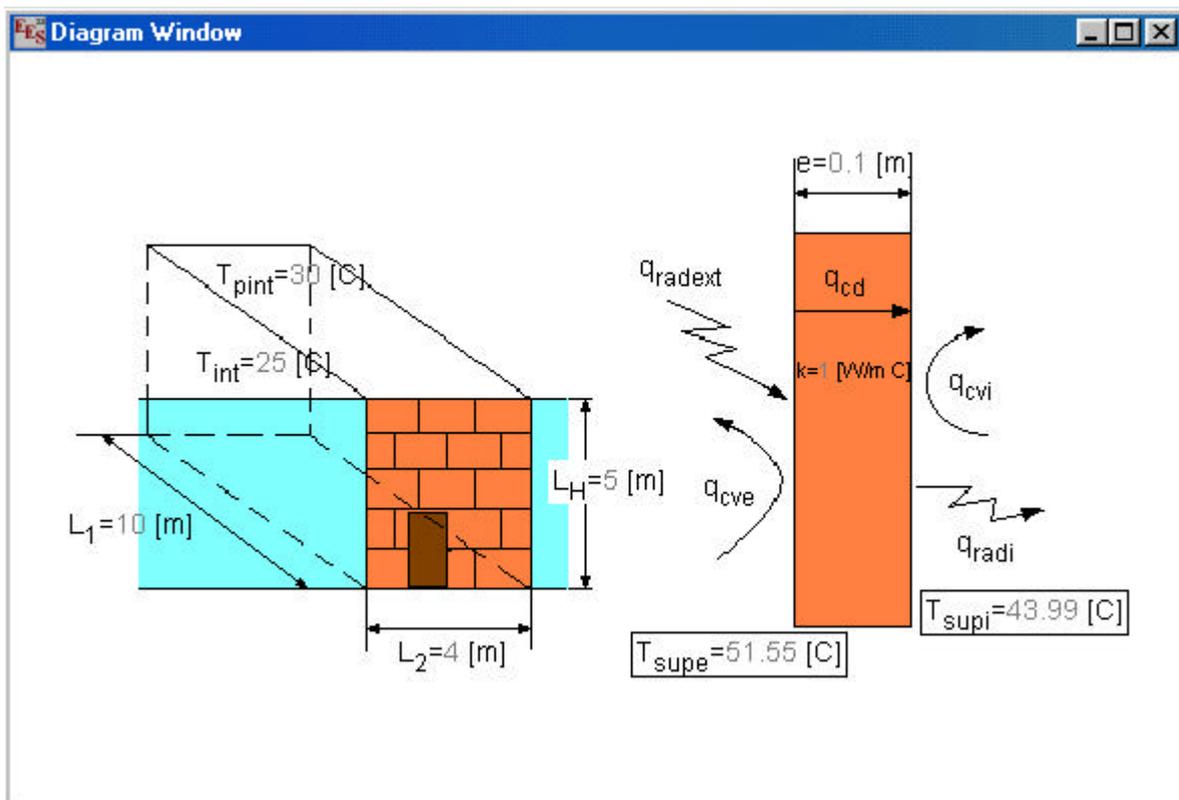
8.2. Problema 19

El aire interior de un local de 10 x 4 m de superficie y 5 m de altura, se mantiene a una temperatura de 25 C mediante un sistema de climatización. El local tiene un solo cerramiento exterior de 5 x 4 m, sobre el que incide una radiación solar de 500 W/m². La temperatura superficial interior del resto de cerramientos es igual a 30 C.

El cerramiento exterior está constituido por dos ladrillos macizos de 5 cm de espesor cada uno ($k=1$ W/mK), con una absorptividad de corta de 0.4. La emisividad de larga de todas las superficies es de 0.8. El aire ambiente exterior se encuentra a 40 C y se mueve con una velocidad de 5 m/s paralelo a la superficie exterior en sentido ascendente. Calcular:

- La transferencia de calor a través del cerramiento exterior.
- El calor que es necesario aportar o extraer al aire para mantenerlo a 25 C.

Considerar que la radiación solar incidente es radiación corta y que la resistencia de contacto entre los elementos del cerramiento exterior es despreciable. Suponer que el fenómeno de convección libre en las superficies interiores se puede asimilar a un problema de convección flujo externo.



Equations Window

"Solución"

"Datos"

T_pint=30; T_int=25; T_ext=40

alpha=0.4; epsilon=0.8; e=0.10

q_radext=500

k=1

v=5

L_1=10; L_2=4; L_H=5

"Ecuaciones de balance"

$(T_{\text{supe}} - T_{\text{supi}}) / (e/k) = \alpha * q_{\text{radext}} + h_e * (T_{\text{ext}} - T_{\text{supe}})$

$(T_{\text{supe}} - T_{\text{supi}}) / (e/k) = (h_i * (T_{\text{int}} - 25)) + (\sigma * \epsilon * ((T_{\text{supi}} + 273)^4 -$

$(T_{\text{pint}} + 273)^4))$

"Cálculo de h_e "

$T_{\text{mpe}} = (T_{\text{ext}} + T_{\text{supe}}) / 2$

$\rho_e = \text{DENSITY}(\text{Air}, T = T_{\text{mpe}}, P = 1)$

$\mu_e = \text{VISCOSITY}(\text{Air}, T = T_{\text{mpe}})$

$k_e = \text{CONDUCTIVITY}(\text{Air}, T = T_{\text{mpe}})$

$Pr_e = \text{PRANDTL}(\text{Air}, T = T_{\text{mpe}})$

$Re_e = (\rho_e * v * L_H) / \mu_e$

$Nu\#_e = \text{CLFE1}(Re_e, Pr_e)$

$Nu\#_e = h_e * L_H / k_e$

"Cálculo de h_i "

$T_{\text{mpi}} = (T_{\text{int}} + T_{\text{supi}}) / 2$

$\beta = 1 / (T_{\text{int}} + 273)$

$k_i = \text{CONDUCTIVITY}(\text{Air}, T = T_{\text{mpi}})$

$Pr_i = \text{PRANDTL}(\text{Air}, T = T_{\text{mpi}})$

$\nu_i = \text{VISCOSITY}(\text{Air}, T = T_{\text{mpi}}) / \text{DENSITY}(\text{Air}, T = T_{\text{mpi}}, P = 1)$

$Ra = (9.81 * \beta * (T_{\text{supi}} - T_{\text{int}}) * L_H^3 * Pr_i) / (\nu_i^2)$

$Nu\#_i = \text{CLFE1}(Ra)$

$Nu\#_i = (h_i * L_H) / k_i$

"a) transferencia de calor a través del cerramiento exterior"

$q_{\text{cd}} = (T_{\text{supe}} - T_{\text{supi}}) / (e/k)$

{Tenemos que calcular tres coeficientes de película más, suelo, techo y las paredes laterales.

y $Q = \text{Sumatorio}(A_i * h_i * (T_i - T_{\text{int}}))$

"Cálculo de h_{lateral} "

$T_{\text{mplat}} = (T_{\text{int}} + T_{\text{pint}}) / 2$

$k_{\text{lat}} = \text{CONDUCTIVITY}(\text{Air}, T = T_{\text{mplat}})$

$Pr_{\text{lat}} = \text{PRANDTL}(\text{Air}, T = T_{\text{mplat}})$

$\nu_{\text{lat}} = \text{VISCOSITY}(\text{Air}, T = T_{\text{mplat}}) / \text{DENSITY}(\text{Air}, T = T_{\text{mplat}}, P = 1)$

$Ra_{\text{lat}} = (9.81 * \beta * (T_{\text{pint}} - T_{\text{int}}) * L_H^3 * Pr_{\text{lat}}) / (\nu_{\text{lat}}^2)$

$Nu\#_{\text{lat}} = \text{CLFE1}(Ra_{\text{lat}})$

$Nu\#_{\text{lat}} = (h_{\text{lateral}} * L_H) / k_{\text{lat}}$

"Cálculo de h_{suelo} y h_{techo} "

$T_{\text{mpsuelo}} = (T_{\text{int}} + T_{\text{pint}}) / 2$

$k_{\text{suelo}} = \text{CONDUCTIVITY}(\text{Air}, T = T_{\text{mpsuelo}})$

$Pr_{\text{suelo}} = \text{PRANDTL}(\text{Air}, T = T_{\text{mpsuelo}})$

$\nu_{\text{suelo}} = \text{VISCOSITY}(\text{Air}, T = T_{\text{mpsuelo}}) / \text{DENSITY}(\text{Air}, T = T_{\text{mpsuelo}}, P = 1)$

$$L_{\text{suelo}} = (L_1 * L_2) / (2 * (L_1 + L_2))$$

$$Ra_{\text{suelo}} = (9.81 * \beta * (T_{\text{pint}} - T_{\text{int}}) * L_{\text{suelo}}^3 * Pr_{\text{suelo}}) / ((\nu_{\text{suelo}})^2)$$

$$Nu_{\# \text{suelo}} = CLFE5(Ra_{\text{suelo}}, 0)$$

$$Nu_{\# \text{suelo}} = (h_{\text{suelo}} * L_{\text{suelo}}) / k_{\text{suelo}}$$

$$Nu_{\# \text{techo}} = CLFE5(Ra_{\text{suelo}}, 1)$$

$$Nu_{\# \text{techo}} = (h_{\text{techo}} * L_{\text{suelo}}) / k_{\text{suelo}}$$

"b) El calor que es necesario aportar o extraer al aire para mantenerlo a 25 C"

$$A_{\text{suelo}} = L_1 * L_2; \quad A_{\text{techo}} = A_{\text{suelo}}; \quad A_{\text{lateral}} = (L_2 * L_H) + (2 * L_1 * L_H)$$

$$A_e = L_2 * L_H; \quad A_i = A_e$$

$$Q = ((A_{\text{lateral}} * h_{\text{lateral}} + A_{\text{suelo}} * h_{\text{suelo}} + A_{\text{techo}} * h_{\text{techo}}) * (T_{\text{pint}} - T_{\text{int}})) + (A_i * h_i * (T_{\text{supi}} - T_{\text{int}}))$$

Resolviendo, obtenemos la solución.

Solution

Unit Settings: [C]/[bar]/[kg]/[degrees]

Variables in MAIN program

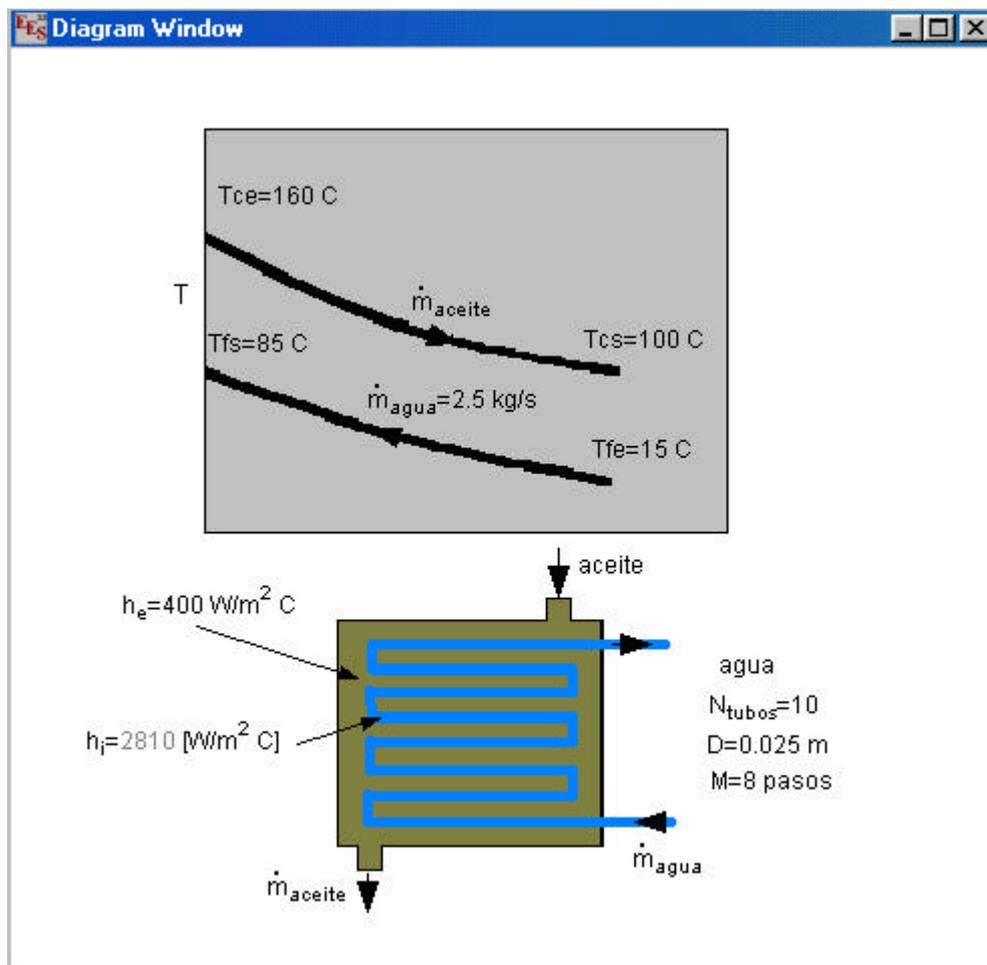
$\alpha = 0.4$	$A_e = 20 \text{ [m}^2\text{]}$	$A_i = 20 \text{ [m}^2\text{]}$
$A_{\text{lateral}} = 120 \text{ [m}^2\text{]}$	$A_{\text{suelo}} = 40 \text{ [m}^2\text{]}$	$A_{\text{techo}} = 40 \text{ [m}^2\text{]}$
$\beta = 0.003356 \text{ [1/K]}$	$e = 0.1 \text{ [m]}$	$\varepsilon = 0.8$
$h_e = 10.77 \text{ [W/m}^2\text{ C]}$	$h_i = 3.117 \text{ [W/m}^2\text{ C]}$	$h_{\text{lateral}} = 2.015 \text{ [W/m}^2\text{ C]}$
$h_{\text{suelo}} = 3.022 \text{ [W/m}^2\text{ C]}$	$h_{\text{techo}} = 0.9441 \text{ [W/m}^2\text{ C]}$	$k = 1 \text{ [W/m C]}$
$k_e = 0.02744 \text{ [W/m C]}$	$k_i = 0.02663 \text{ [W/m C]}$	$k_{\text{lat}} = 0.02612 \text{ [W/m C]}$
$k_{\text{suelo}} = 0.02612 \text{ [W/m C]}$	$L_1 = 10 \text{ [m]}$	$L_2 = 4 \text{ [m]}$
$L_H = 5 \text{ [m]}$	$L_{\text{suelo}} = 1.429 \text{ [m]}$	$\mu_e = 0.00001941 \text{ [kg/m s]}$
$Nu_{\#e} = 1962$	$Nu_{\#i} = 585.4$	$Nu_{\#\text{lat}} = 385.7$
$Nu_{\#\text{suelo}} = 165.3$	$Nu_{\#\text{techo}} = 51.65$	$\nu_i = 0.00001668 \text{ [m}^2\text{/s]}$
$\nu_{\text{lat}} = 0.00001601 \text{ [m}^2\text{/s]}$	$\nu_{\text{suelo}} = 0.00001601 \text{ [m}^2\text{/s]}$	$Pr_e = 0.7121$
$Pr_i = 0.7141$	$Pr_{\text{lat}} = 0.7153$	$Pr_{\text{suelo}} = 0.7153$
$Q = 3186 \text{ [W]}$	$q_{\text{cd}} = 75.63 \text{ [W/m}^2\text{]}$	$q_{\text{radext}} = 500 \text{ [W/m}^2\text{]}$
$Ra = 2.006E+11$	$Ra_{\text{lat}} = 5.739E+10$	$Ra_{\text{suelo}} = 1.339E+09$
$Re_e = 1.407E+06$	$\rho_e = 1.092 \text{ [kg/m}^3\text{]}$	$T_{\text{ext}} = 40 \text{ [C]}$
$T_{\text{int}} = 25 \text{ [C]}$	$T_{\text{mpe}} = 45.77 \text{ [C]}$	$T_{\text{mpi}} = 34.49 \text{ [C]}$
$T_{\text{mplat}} = 27.5 \text{ [C]}$	$T_{\text{mpsuelo}} = 27.5 \text{ [C]}$	$T_{\text{pint}} = 30 \text{ [C]}$
$T_{\text{supe}} = 51.55 \text{ [C]}$	$T_{\text{supi}} = 43.99 \text{ [C]}$	$\nu = 5 \text{ [m/s]}$

Calculation time = .6 sec

9. Intercambiadores De Calor

9.1. Problema 20

Se debe diseñar un intercambiador de calor de coraza y tubos para calentar 2.5 kg/s de agua de 15 C a 85 C. El calentamiento se realiza al hacer pasar aceite de motor caliente, que está disponible a 160 C, a través del lado de la coraza del intercambiador. Se sabe que el aceite proporciona un coeficiente promedio de convección $h=400 \text{ W/m}^2\text{K}$ en el exterior de los tubos. Diez tubos conducen el agua a través de la coraza. Cada tubo tiene pared delgada, de $D=25 \text{ mm}$, y ha sido dispuesto para efectuar ocho pasos por la coraza. Si el aceite sale del intercambiador a 100 C, ¿cuál es el flujo necesario? ¿De qué longitud deben ser los tubos para llevar a cabo el calentamiento que se desea?



Equations Window

"Solución"

{Suposiciones:

- 1.- Pérdida de calor a los alrededores y cambios de energía cinética y potencial insignificantes.
- 2.- Propiedades constantes.
- 3.- Resistencia térmica de la pared del tubo y efectos de impurezas insignificantes.
- 4.- Flujo de atgua completamente desarrollado en los tubos.}

"Datos"

Tfe=15 {temperatura de entrada del fluido frío}
 Tfs=85 {temperatura de salida del fluido frío}
 Tce=160 {temperatura de entrada del fluido caliente}
 Tcs=100 {temperatura de salida del fluido caliente}
 h_e=400 {coeficiente de película exterior (aceite)}
 N_tubos=10 {número de tubos}
 D=0.025 {diámetro de los tubos}
 M=8 {número de pasos de los tubos}
 m_dot_agua=2.5 {flujo del fluido frío (agua)}

"Propiedades"

Tm_aceite=130 {propiedades del aceite a temperatura media de 130 C}
 Cp_c=2350
 Tm_agua=50 {propiedades del agua a temperatura media de 50 C}
 Cp_f=4181
 mu_agua=548E-6 {viscosidad del agua}
 k_agua=0.643 {conductividad térmica del agua}
 Pr_agua=3.56 {número de Prandtl del agua}

"Ecuaciones para la resolución"

$q = m_{\text{dot_agua}} * C_{p_f} * (T_{fs} - T_{fe})$ {Balance global de energía}
 $m_{\text{dot_aceite}} = q / (C_{p_c} * (T_{ce} - T_{cs}))$ {Flujo necesario de aceite}

"Longitu de tubo necesaria"

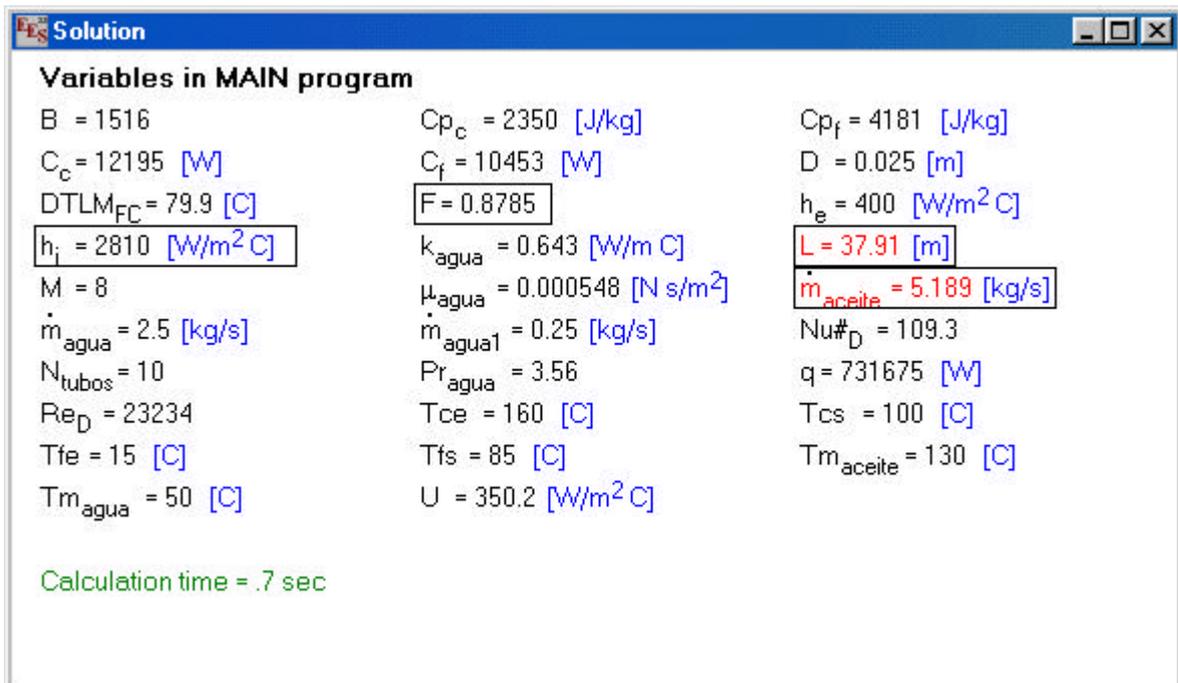
$q = U * (N_{\text{tubos}} * \pi * D * L) * F * DTLM_FC$ {área total de los tubos,
 $A = N_{\text{tubos}} * \pi * D * L$
 $U = 1 / ((1/h_i) + (1/h_e))$
 $C_c = m_{\text{dot_aceite}} * C_{p_c}$ {capacitancia térmica del fluido caliente}
 $C_f = m_{\text{dot_agua}} * C_{p_f}$ {capacitancia térmica del fluido frío}
 $F = \text{FactordecorreccionDTLM}(T_{ce}, T_{cs}, T_{fe}, T_{fs}, C_c, C_f, 3, 1)$ {Facor de corrección de la DTLM}

$DTLM_FC = DTLM_FC(T_{ce}, T_{cs}, T_{fe}, T_{fs})$ {función de librería interna que nos devuelve la DTLM en contraflujo}

"Cálculo de h_i"

$m_{\text{dot_agua1}} = m_{\text{dot_agua}} / N_{\text{tubos}}$ {flujo por cada tubo}
 $Re_D = (4 * m_{\text{dot_agua1}}) / (\pi * D * \mu_{\text{agua}})$ {númro de Reynolds en el interior de los tubos}
 $B = L / D$ {longitud del conducto entre su diámetro(flujo completamente desarrollado)}
 $Nu\#_D = CFFI14(Re_D, Pr_{\text{agua}}, B)$ {el 60 es porque consideramos flujo totalmente desarrollado, cuando tengamos la solución podemos comprobar que es cierto, $L/D > 60$ }
 $Nu\#_D = h_i * D / k_{\text{agua}}$ {número de Nusselt, de aquí se obtiene h_i}

Resolviendo, obtenemos la solución



EES Solution

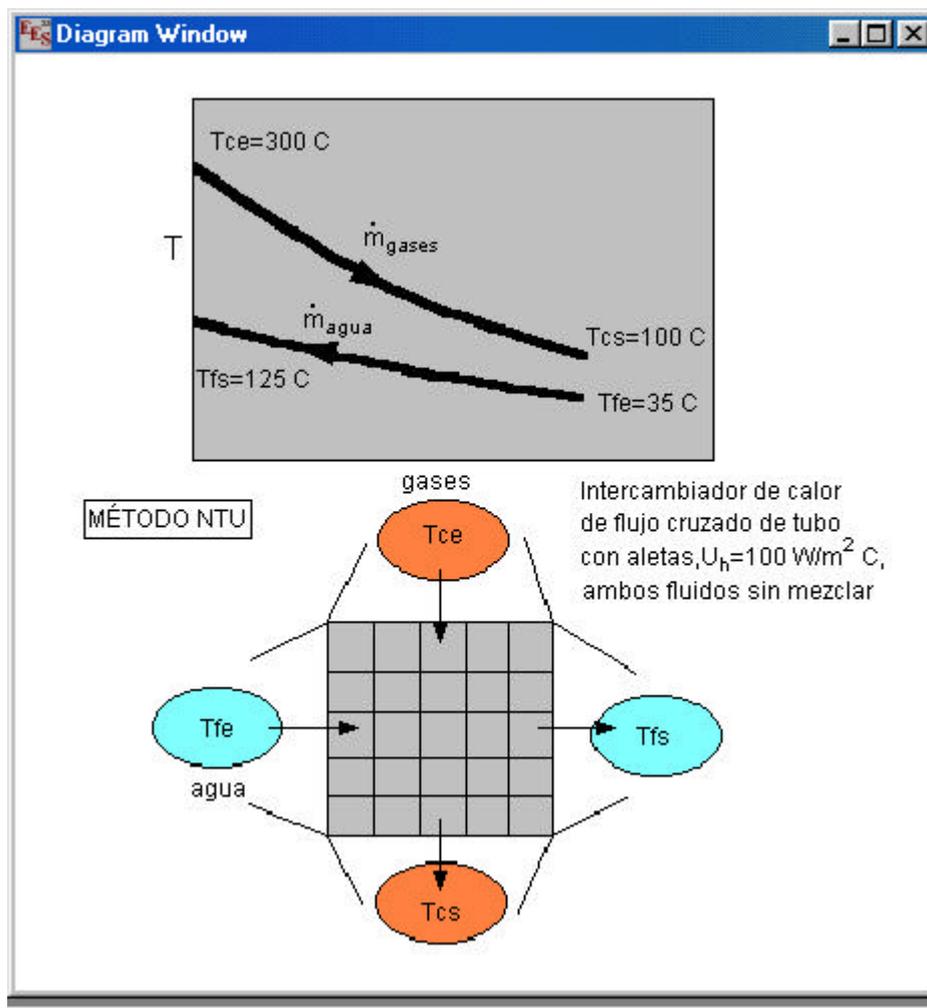
Variables in MAIN program

B = 1516	$C_{p_c} = 2350$ [J/kg]	$C_{p_f} = 4181$ [J/kg]
$C_c = 12195$ [W]	$C_f = 10453$ [W]	D = 0.025 [m]
$DTLM_{FC} = 79.9$ [C]	$F = 0.8785$	$h_e = 400$ [W/m ² C]
$h_i = 2810$ [W/m ² C]	$k_{agua} = 0.643$ [W/m C]	$L = 37.91$ [m]
M = 8	$\mu_{agua} = 0.000548$ [N s/m ²]	$\dot{m}_{aceite} = 5.189$ [kg/s]
$\dot{m}_{agua} = 2.5$ [kg/s]	$\dot{m}_{agua1} = 0.25$ [kg/s]	Nu# _D = 109.3
N _{tubos} = 10	Pr _{agua} = 3.56	q = 731675 [W]
Re _D = 23234	T _{ce} = 160 [C]	T _{cs} = 100 [C]
T _{fe} = 15 [C]	T _{fs} = 85 [C]	T _{m_aceite} = 130 [C]
T _{m_agua} = 50 [C]	U = 350.2 [W/m ² C]	

Calculation time = .7 sec

9.2 Problema 21

Gases de escape calientes, que entran a un intercambiador de calor de tubo con aletas de flujo cruzado a 300 C y salen a 100 C, se usan para calentar agua presurizada a una velocidad de flujo de 1 kg/s de 35 a 125 C. El calor específico del gas de escape es aproximadamente 1000 J/kgK, y el coeficiente global de transferencia de calor se basa en el área superficial del lado del gas es $U_h=100 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Determine con el uso del método NTU el área superficial A_h del lado del gas que se requiere. Analizar la variación del área superficial necesaria con la variación del flujo de fluido frío.



Equations Window

"Solución" {ver 'Plot windows'}

{Suposiciones:

1.- Pérdidas de calor a los alrededores y cambios de energía cinética y potencial insignificantes.

2.- Propiedades constantes.}

"Datos"

Tfe=35

{temperatura de entrada del fluido frío}

Tfs=125

{temperatura de salida del fluido frío}

Tce=300

{temperatura de entrada del fluido caliente}

Tcs=100

{temperatura de salida del fluido caliente}

{m_dot_agua=1}

{flujo del fluido frío (agua)}

U_h=100

{coeficiente global de transferencia}

Cp_gases=1000

{Cp de los gases}

Cp_agua=4197

{Cp del agua a temperatura media de 80 C}

"Ecuaciones para la resolución"

$C_f = m_{\text{dot_agua}} \cdot C_{p_agua}$

{capacitancia térmica del fluido frío}

$C_c = C_f \cdot ((T_{fs} - T_{fe}) / (T_{ce} - T_{cs}))$

{capacitancia térmica del fluido caliente}

$C_{\text{min}} = \min(C_c, C_f)$

$q_{\text{max}} = C_{\text{min}} \cdot (T_{ce} - T_{fe})$

{calor máximo}

$q = C_f \cdot (T_{fs} - T_{fe})$

{calor intercambiado}

$\epsilon = q / q_{\text{max}}$

{eficiencia}

$\epsilon = \text{EFICIENCIA}(C_c, C_f, NTU, 5, 1)$

{Función interna de librería, tipo=5 ,

ambos fluidos sin mezclar}

$NTU = (U_h \cdot A_h) / C_{\text{min}}$

Vamos a presentar la solución con un estudio paramétrico del área necesaria cuando varía el gasto y lo representaremos mediante un gráfico.

1..10	1 \dot{m}_{agua} [kg/s]	2 A_h [m ²]
Run 1	0.25	9.556
Run 2	0.5	19.11
Run 3	0.75	28.67
Run 4	1	38.22
Run 5	1.25	47.78
Run 6	1.5	57.34
Run 7	1.75	66.89
Run 8	2	76.45
Run 9	2.25	86
Run 10	2.5	95.56

