



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Introducción a *Engineering Equation Solver* (EES)

Colección de Prácticas

Antonio Atienza-Márquez



Universidad de Málaga



CC BY-NC-ND
4.0 DEED

Práctica 1: Introducción

Práctica 2: Ciclo Rankine con recalentamiento

Práctica 3: Conducción

Práctica 4: Aletas e introducción a la convección





UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Práctica 1

Introducción



Práctica 1

1. Introduction to Engineering Equation Solver (EES)

1.1 **Why** using EES?

1.2 **Interface** of the EES

1.3 Calculating **properties**

1.4 **Parametric** analysis

1.5 **Plot**

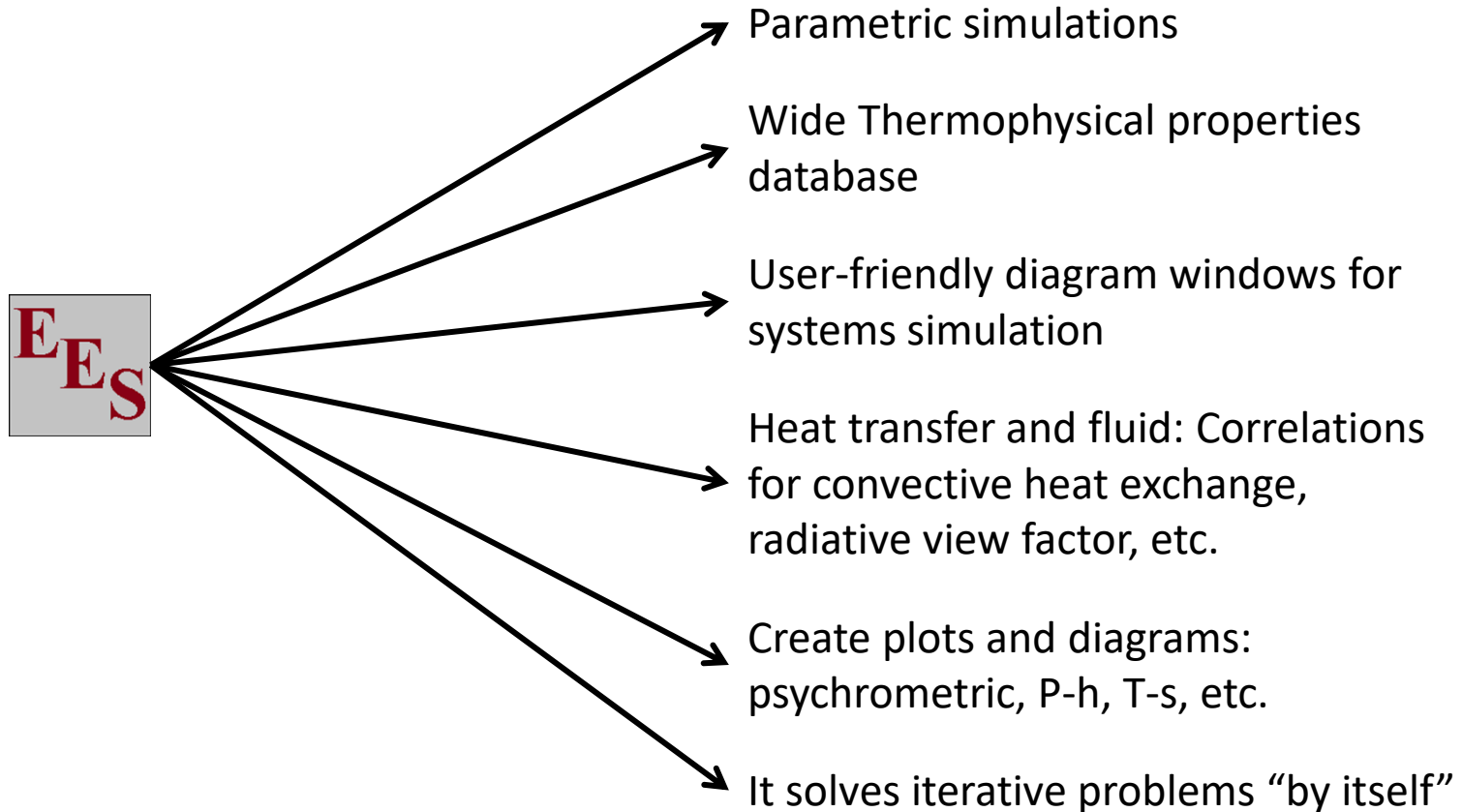
1.6 **Arrays**

1.7 Property **plots**

1.8 **Exercise**



1.1 Why using EES?



1.2 Interface of the EES: general appearance

The screenshot shows the EES Academic Professional software interface. The title bar reads "EES Academic Professional: - [Equations Window]". The menu bar includes File, Edit, Search, Options, Calculate, Tables, Plots, Windows, Help, and Examples. The toolbar contains various icons for file operations, calculations, and plotting. A red circle highlights the "Options" menu item. A red box on the right lists the contents of the Options menu: Thermophysical properties, Mathematical functions, Heat transfer & fluid (correlations, radiation view factors...), Constants database, and Preferences (Unit system, display...). Callout boxes with arrows point to specific features: "Check equations" points to the checkmark icon; "Check units" points to the unit check icon; "Solve" points to the calculator icon; "Property plot" points to the plot icon; "Formatted window" points to the window icon; "Equations window" points to the equation editor icon; and "Parametric table" points to the table icon. The status bar at the bottom shows "US Line: 1 Char: 1 Wrap: On Insert Caps Lock: Off SI C Pa J mass deg Warnings: On Unit Chk: Auto Complex: Off Syntax Highlic".

Check equations

Check units

Solve

Options

- Thermophysical properties
- Mathematical functions
- Heat transfer & fluid (correlations, radiation view factors...)
- Constants database
- Preferences (Unit system, display...)

Property plot

Formatted window

Equations window

Parametric table

US Line: 1 Char: 1 Wrap: On Insert Caps Lock: Off SI C Pa J mass deg Warnings: On Unit Chk: Auto Complex: Off Syntax Highlic

1.2 Interface of the EES: Typical code structure

```

File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
[Icons]
"PROBLEM 1.2.1: A mass of 200 g of saturated liquid water is completely vaporized at 100 kPa.
.Determine (a) volume change and (b) the amount of energy transferred to water"

$UnitSystem SI MASS kJ C DEG bar
"Data"
M = 200 [g]*convert(g,kg)
p = 100 [kPa]*convert(kPa,bar)
x_l= 0 [-]
x_g= 1 [-]

"Solution"
v_l = volume(Water,P=P,x=x_l)
v_g = volume(Water,P=P,x=x_g)

DELTA_v\m = v_l-v_g
DELTA_V = M*(v_l-v_g)

h_l = enthalpy(Water,P=P,x=x_l)
h_g = enthalpy(Water,P=P,x=x_g)

e_esp = (h_l-h_g)
E = M*(h_l-h_g)

"****"
    
```

Select your units

*Advice: some comments Will help you to organize your ideas

Equations

1.3 Calculating properties

The screenshot shows the EES Academic Professional interface. The 'Options' menu is open, with 'Function Info' selected. A red arrow points from this menu item to the 'Function Information' dialog box. In the dialog, 'Thermophysical properties' is selected under the 'Function Info' tab. The 'Real fluids' option is selected under the 'Fluid Info' section. The 'Enthalpy [J/kg]' property is highlighted in the list of available functions. The 'Independent Properties' section shows 'Temperature [C]' and 'Pressure [Pa]' selected. The example text at the bottom reads: `Ex: h=Enthalpy(Acetone,T=T,P=P)`.

1.4 Parametric analysis

Code in the background:

```

$UnitSystem SI MASS DEG kPa.kJ
p=1[bar]*convert(bar,kPa)
$IFNOT parametric table
T = 20 [C]
$endif
h = enthalpy('water',T=T,p=p)
    
```

Table 1

	1	2	3
	T [C]	h [kJ/kg]	p [kPa]
Run 1	20	83.93	100
Run 2	28.89	121.1	100
Run 3	37.78	158.3	100
Run 4	46.67	195.5	100
Run 5	55.56	232.6	100
Run 6	64.44	269.8	100
Run 7	73.33	307	100
Run 8	82.22	344.3	100
Run 9	91.11	381.6	100
Run 10	100	2676	100

New Parametric Table

No. of Runs: 10 Table: Table 2

Variables in equations: h, p, T

Variables in table:

Show Array Variables

OK Cancel

1.5 Plot

EES File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples

\$UnitSystem SI MASS DEG kPa kJ

```
p=1[bar]*convert(bar,kPa)
$IFNOT parametric table
T = 20 [C]
$endif
h = enthalpy('water',T=T,p=p)
```

1..10	T [C]	h [kJ/kg]	p [kPa]
Run 1	20	83.93	100
Run 2	28.89	121.1	100
Run 3	37.78	158.3	100
Run 4	46.67	195.5	100
Run 5	55.56	232.6	100
Run 6	64.44	269.8	100
Run 7	73.33	307	100
Run 8	82.22	344.3	100
Run 9	91.11	381.6	100
Run 10	100	2676	100

New Plot Setup

Tab Name: Plot 2 Print Description with plot

Description:

X-Axis

T
h
p

Format A 4

Minimum 20

Maximum 100

Interval 20

Linear Log

Grid lines

Y-Axis

T
h
p

Format A 4

Minimum 0

Maximum 3000

Interval 1000

Linear Log

Grid lines

Table

Parametric Table

Table 1

First Run 1

Last Run 10

Spline fit

Automatic update

Add legend item

Show array indices

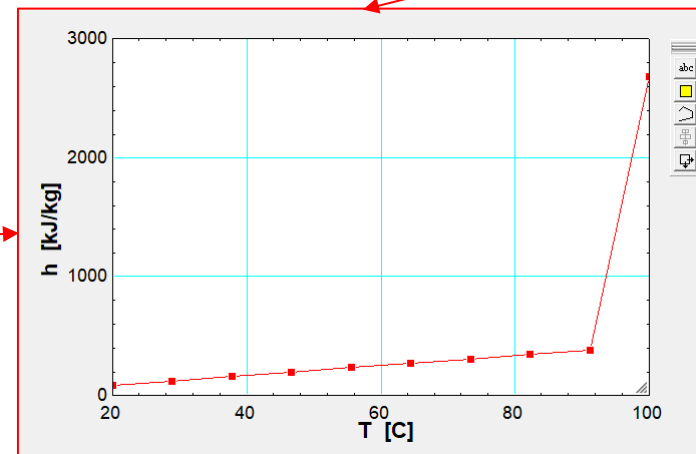
Show error bars

Line

Symbol

Color

OK Cancel



1.6 Arrays

```

EES File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
$UnitSystem SI MASS DEG kPa kJ
N = 2
p=1[bar]*convert(bar,kPa)
T[1..N] = [20.5 [C], 25.3 [C]]

duplicate i=1,N
h[i] = enthalpy('water',T=T[i],p=p)
p[i] = p
end
    
```

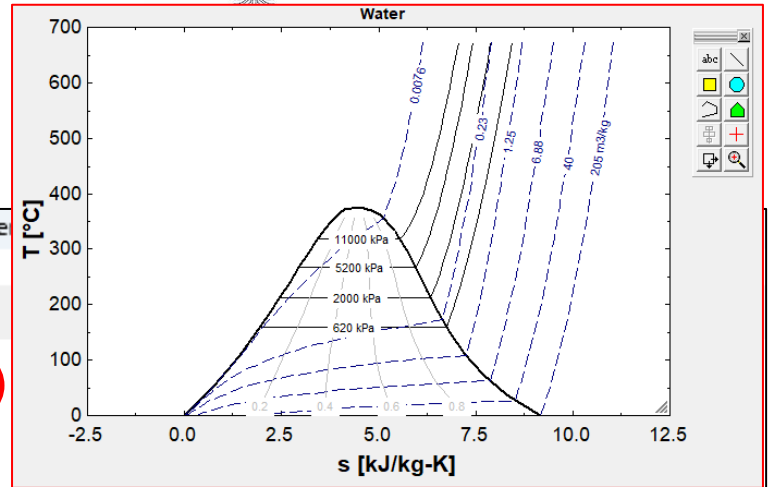
Array's table

Sort	1 T _i [C]	2 h _i [kJ/kg]	3 p _i [kPa]
[1]	20.5	86.02	100
[2]	25.3	106.1	100

1.7 Property plot

```

EES Professional: C:\Users\atien\OneDrive - Universidad de Málaga\2023-2024_UMA_AYD\Doce
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
$UnitSystem SI MASS DEG kPa kJ
N = 2
p[1..N] = [1 [bar], 2[bar]]
T[1..N] = [20.5 [C], 250[C]]
duplicate i=1,N
p_SI[i] = p[i]*convert(bar,kPa)
h[i] = enthalpy('water',T=T[i],p=p_SI[i])
P[i] = PHASE$(Water, T=T[i], P=P_SI[i])
end
    
```



Property Plot Information

Fluid Info: **Water**

Type: T - s

Include lines of:

<input checked="" type="checkbox"/>	P = 11000	[kPa]
<input checked="" type="checkbox"/>	P = 5200	[kPa]
<input checked="" type="checkbox"/>	P = 2000	[kPa]
<input checked="" type="checkbox"/>	P = 620	[kPa]
<input type="checkbox"/>	P =	[kPa]
<input type="checkbox"/>	P =	[kPa]

<input checked="" type="checkbox"/>	v = 0.0076	[m ³ /kg]
<input checked="" type="checkbox"/>	v = 0.23	[m ³ /kg]
<input checked="" type="checkbox"/>	v = 1.25	[m ³ /kg]
<input checked="" type="checkbox"/>	v = 6.88	[m ³ /kg]
<input checked="" type="checkbox"/>	v = 40	[m ³ /kg]
<input checked="" type="checkbox"/>	v = 205	[m ³ /kg]

Show lines of constant quality

Buttons: OK, Cancel

1.7 Property plot

```

EES Professional: C:\Users\atien\OneDrive - Universidad de Málaga\2023-2024_UMA_AYD\Docencia\Te
File Edit Search Options Calculate Tables Plots Windows Help Examples
$UnitSystem SI MASS DEG kPa kJ
N = 2
p[1..N] = [1 [bar], 2[bar]]
T[1..N] = [20.5 [C], 250[C]]

duplicate i=1,N

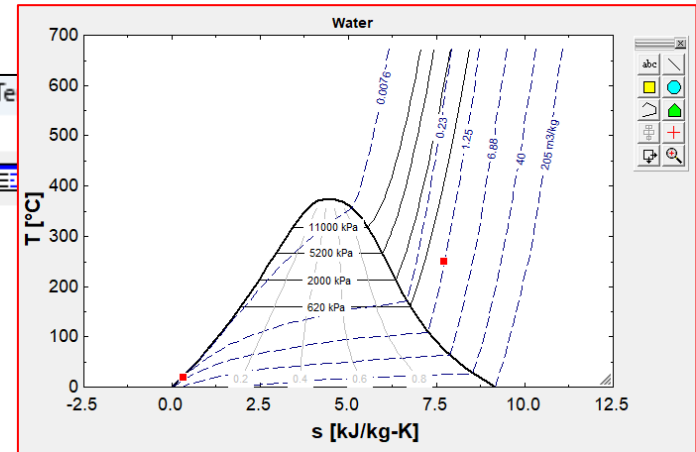
p_SI[i] = p[i]*convert(bar,kPa)

h[i] = enthalpy('water',T=T[i],p=p_SI[i])

P$(i) = PHASE$(Water, T=T[i], P=P_SI[i])

end
    
```

2



Setup Overlay on T-s: Water

Tab Name: T-s: Water Print Description with plot

Description:

X-Axis	Y-Axis
T[i]	T[i]
h[i]	h[i]
p[i]	p[i]
p_SI[i]	p_SI[i]
P\$(i)	P\$(i)
x[i]	x[i]
s[i]	s[i]

X1 (lower X-scale) Y2 (right Y-scale)

Format	Minimum	Maximum	Interval
A 1	-2.5	12.5	2.5
A 0	0	700	100

Table: Arrays Table, Main

First Run: 1, Last Run: 2

Spline fit
 Automatic update
 Add legend item
 Show array indices
 Show error bars

Line: [dropdown], Symbol: [dropdown], Color: [dropdown]

OK Cancel

1.8 Exercise

1.-Completar la tabla siguiente para el agua. Dibujar cada estado en un diagrama pv y Ts.

Estado	T(°C)	P(MPa)	v(m ³ /kg)	x (Título)
1	400	0.8		
2	200		0.005	
3		3.4	0.05	
4		0.01	20	
5		0.2		0.3
6	100	5		
7	300		0.5	
8	70			0.6
9	250	0.12		

(1: $384,28 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$, vapor sobrecalentado. 2: 1,5549 MPa, 0,0305. 3: 240,897°C, 0,848. 4: 160,5°C, vapor sobrecalentado. 5: 120,21°C, 0,2664 m³/kg. 6: $1,04098 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$, liquido comprimido. 7: 0,5235 MPa, vapor sobrecalentado. 8: 0,031201 MPa, 3,0241 m³/kg. 9: 2,0037 m³/kg, vapor sobrecalentado).



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

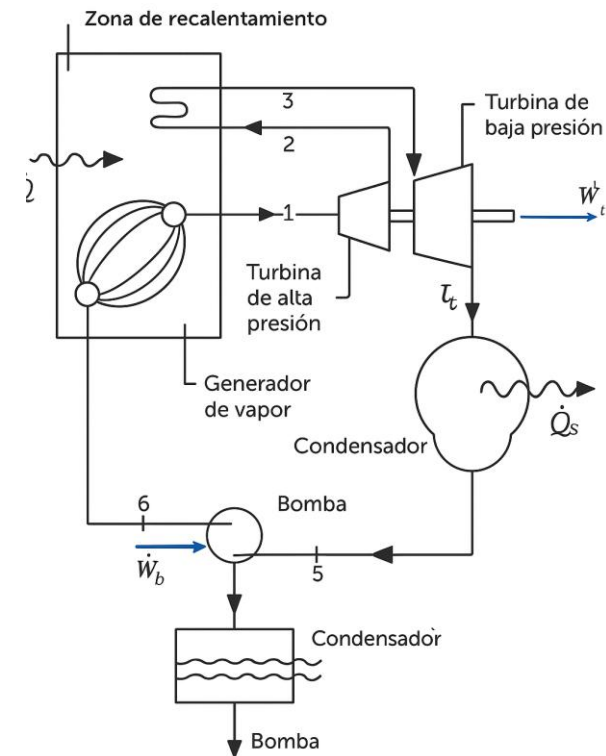


Práctica 2

Ciclo Rankine con recalentamiento



Una instalación de potencia produce 100 MW netos y funciona según un ciclo de Rankine con recalentamiento intermedio. El ciclo funciona entre las temperaturas de 650 °C y 20 °C. El vapor llega a la primera turbina a 480°C y 8 MPa. Se expande en ella hasta 0.7 MPa, desde donde se envía a la caldera y se recalienta hasta 440°C. Desde allí pasa a la segunda turbina donde se expande hasta la presión del condensador 0.008 MPa, de donde sale como líquido saturado.



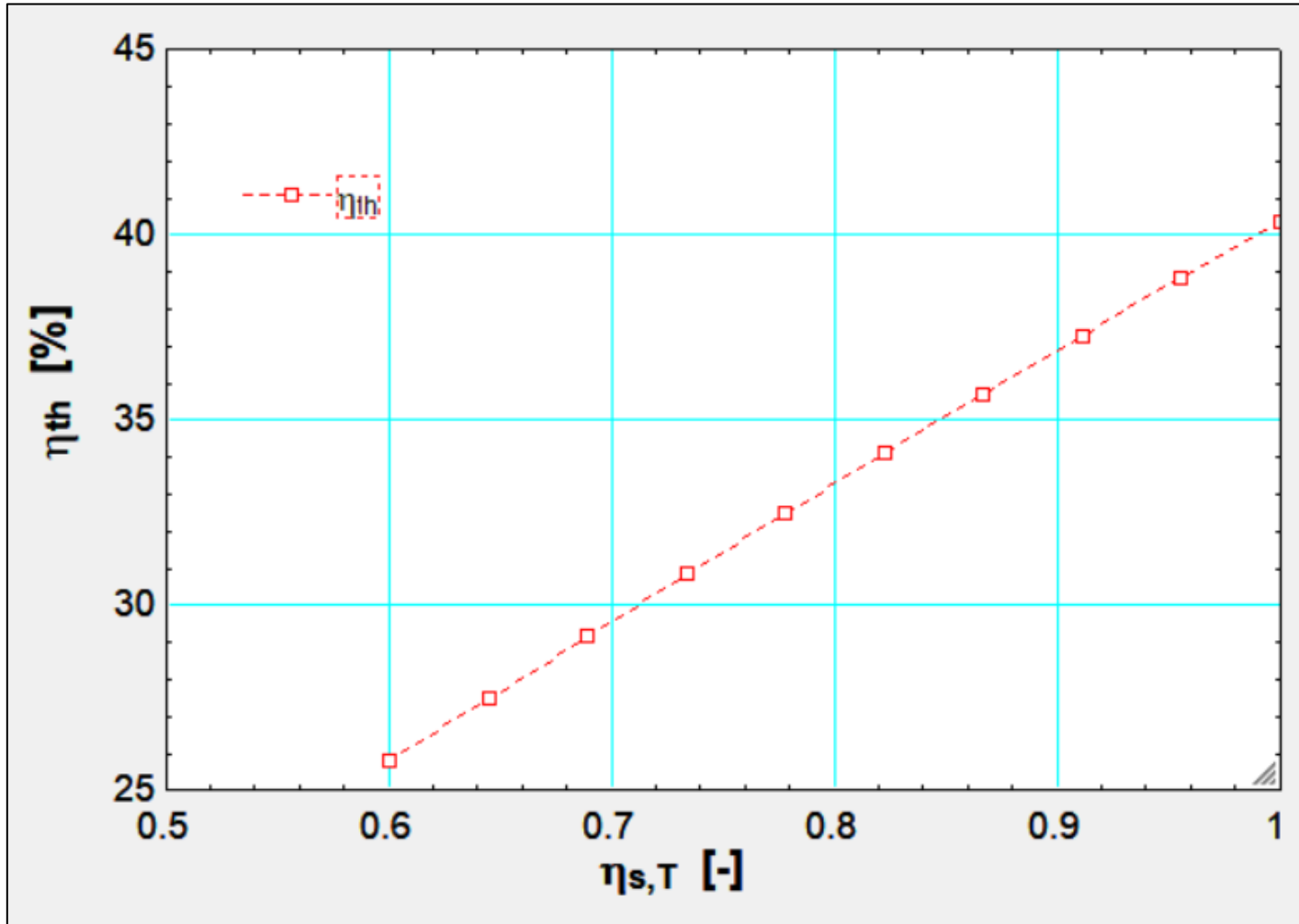
Realizar:

- **Análisis de primera ley**
 - a) **Asumiendo que los procesos de expansión en turbina y bombeo son isentrópicos.**
 - b) **Analizar cómo afecta al rendimiento térmico la variación del rendimiento isentrópico de turbina entre 1 – 0.6. Representar los resultados gráficamente.**
 - c) **Diagrama T-s del ciclo**
- **Análisis de segunda ley**

Resultados análisis primera ley. Tabla paramétrica para rendimientos isentrópicos entre 0.6-1 correspondiente a las etapas de expansión en turbina

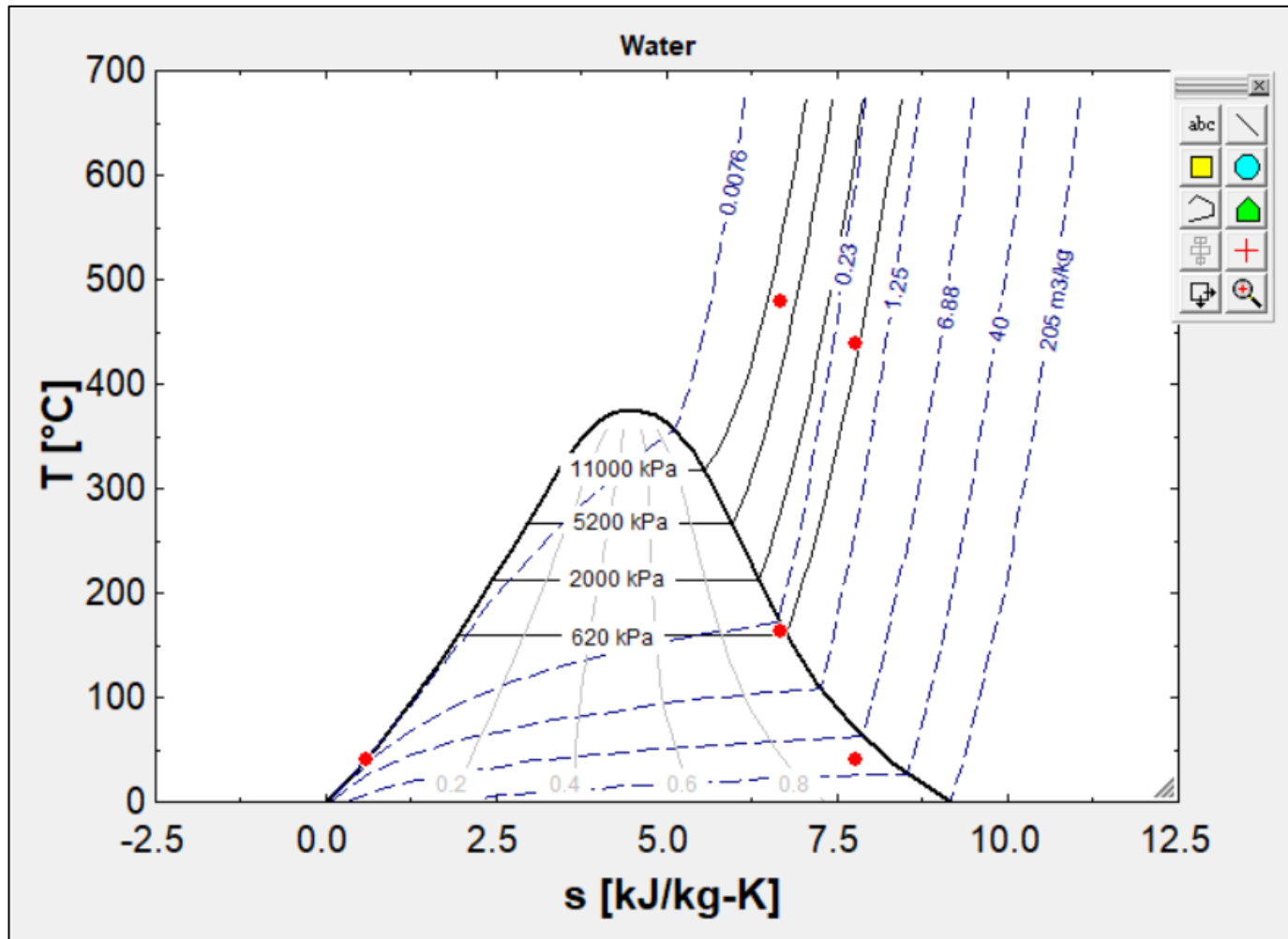
1..10	$\eta_{s,T}$ [-]	\dot{m}_{vap} [kg/s]	\dot{Q}_{cal} [kJ/s]	\dot{Q}_{con} [kJ/s]	\dot{W}_D [kW]	\dot{W}_T [kW]	x_2 [-]	x_4 [-]	η_{th} [%]
Run 1	1	65.63	247954	147954	528.1	100528	0.9896	0.9385	40.33
Run 2	0.9556	68.7	257698	157698	552.7	100553	100	0.9556	38.81
Run 3	0.9111	72.07	268398	168398	579.9	100580	100	0.9727	37.26
Run 4	0.8667	75.79	280203	180203	609.8	100610	100	0.9898	35.69
Run 5	0.8222	79.91	293291	193291	643	100643	100	100	34.1
Run 6	0.7778	84.51	307885	207885	679.9	100680	100	100	32.48
Run 7	0.7333	89.67	324262	224262	721.5	100721	100	100	30.84
Run 8	0.6889	95.49	342767	242767	768.4	100768	100	100	29.17
Run 9	0.6444	102.1	363846	263846	821.8	100822	100	100	27.48
Run 10	0.6	109.8	388076	288076	883.2	100883	100	100	25.77

Resultados análisis primera ley. Variación del rendimiento térmico en función del rendimiento isentrópico de las etapas de expansión en turbina



Resultados análisis primera ley.

Diagrama T-s para procesos de expansión isentrópica





UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Práctica 3

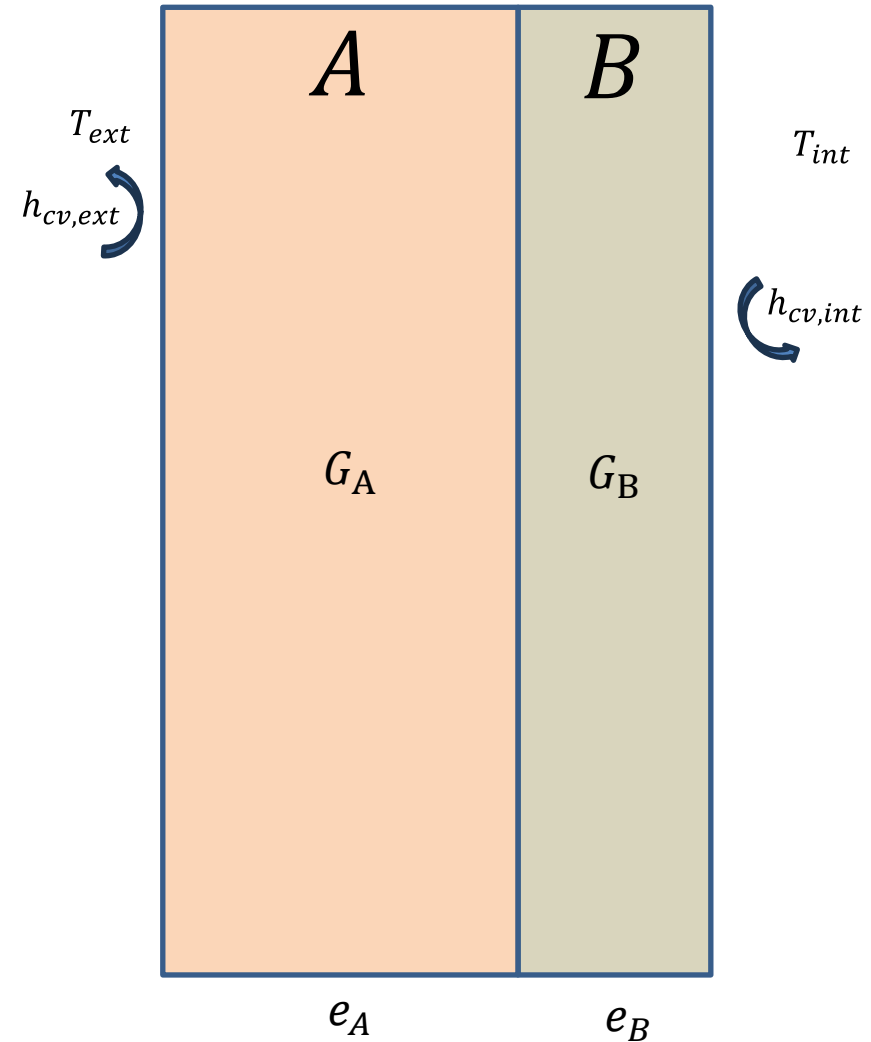
Conducción



$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right) = -\frac{G}{k}$$

$$T(x) = -\frac{G}{2k}x^2 + C_1x + C_2$$

$$q(x) = -\frac{G}{2k}x + C_1$$



"Pared multicapa. Uso de MODULE en EES"

!"Añadir una tercera capa y dibujar el perfil de temperatura de todo el muro."

```
MODULE T_perfil(x,e,k,G,T1,T2:T_x,q_x)
  $CheckUnits OFF
  T1 = -G/(2*k)*0[m]^2+C1*0[m]+C2 "Condición de contorno en x = 0 (izquierda de la placa)"
  T2 = -G/(2*k)*e^2+C1*e+C2 "Condición de contorno en x = e (derecha de la placa)"
  T_x = -G/(2*k)*x^2+C1*x+C2 "Perfil de temperatura"
  q_x = -G/k*x+C1*k
  $CheckUnits ON
END

$UnitSystem SI MASS DEG kPa kJ C
T_ext = 35[C]
T_int = 10 [C]
h_cv_ext = 15 [W/m^2-K]
h_cv_int = 5 [W/m^2-K]

"Capa A"
e_A = 20[cm]*convert(cm,m)
k_A = 1 [W/m-C]
G_A = 2000 [W/m^3]

"Capa B"
e_B = 20[cm]*convert(cm,m)
k_B = 1 [W/m-C]
G_B = 100 [W/m^3]

!"Capa C"
```

```
x_dim = x_A/e_A
x_dim = x_B/e_B

x_B_p = e_A+x_B

$IFNOT PARAMETRIC TABLE
x_dim = 0.5
$ENDIF
"Condición de contorno de A a la izquierda"
-h_cv_ext*(T_ext-T1_A) = -G_A/k_A*0+C1*k_A

T1_A = -G_A/(2*k_A)*0[m]^2+C1*0[m]+C2 "Condición de contorno en x = 0 (izquierda de la placa)"
T2_A = -G_A/(2*k_A)*e_A^2+C1*e_A+C2 "Condición de contorno en x = e (derecha de la placa)"

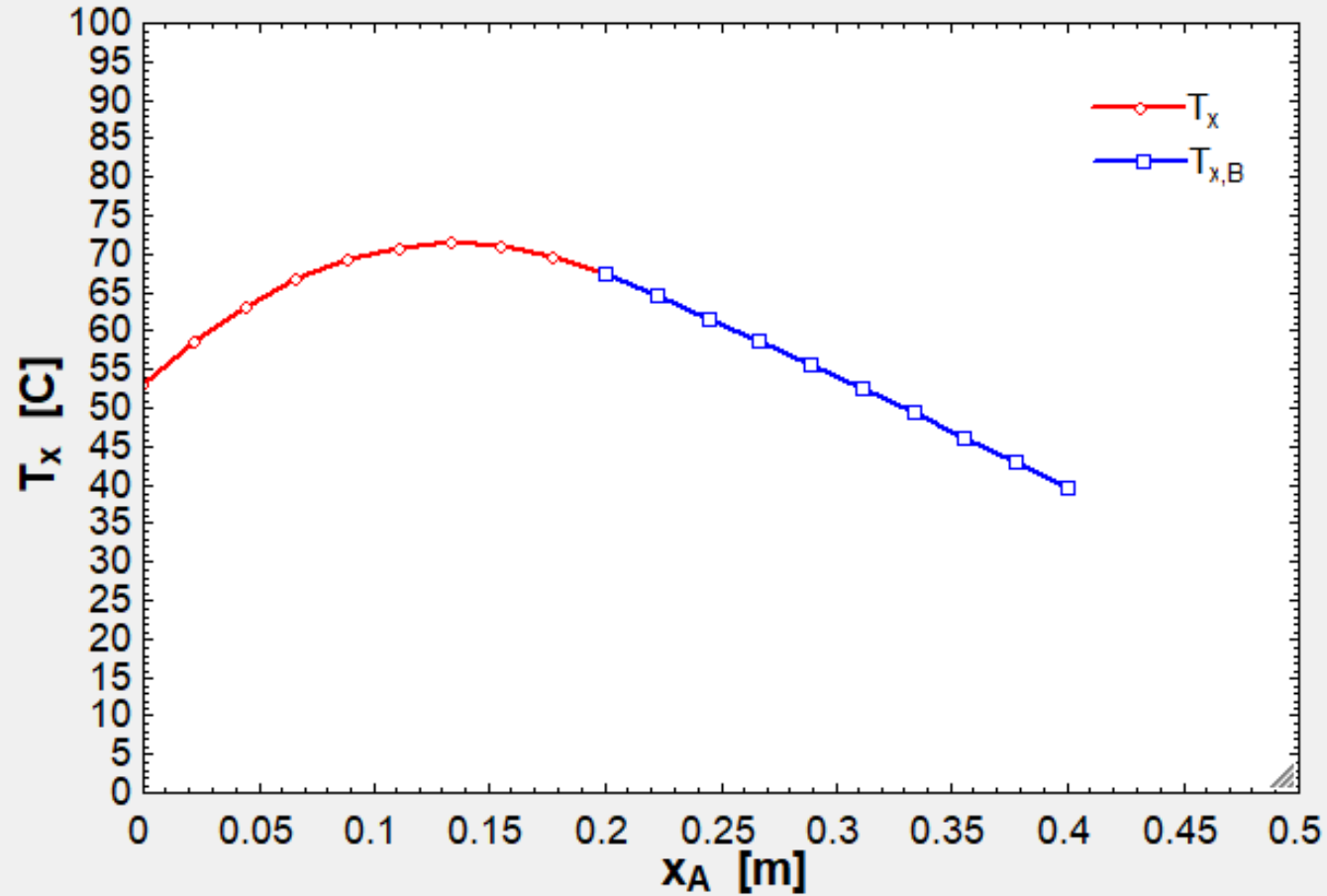
"Condición de contorno en la interfase entre A y B"
T2_A = T1_B
-G_A/k_A*e_A+C1*k_A = -G_B/k_B*0+C1_B*k_B

"Condición de contorno de B a la derecha"
-G_B/k_B*e_B+C1_B*k_B = -h_cv_int*(T2_B-T_int)

T1_B = -G_B/(2*k_B)*0[m]^2+C1_B*0[m]+C2_B "Condición de contorno en x = 0 (izquierda de la placa)"
T2_B = -G_B/(2*k_B)*e_B^2+C1_B*e_B+C2_B "Condición de contorno en x = e (derecha de la placa)"

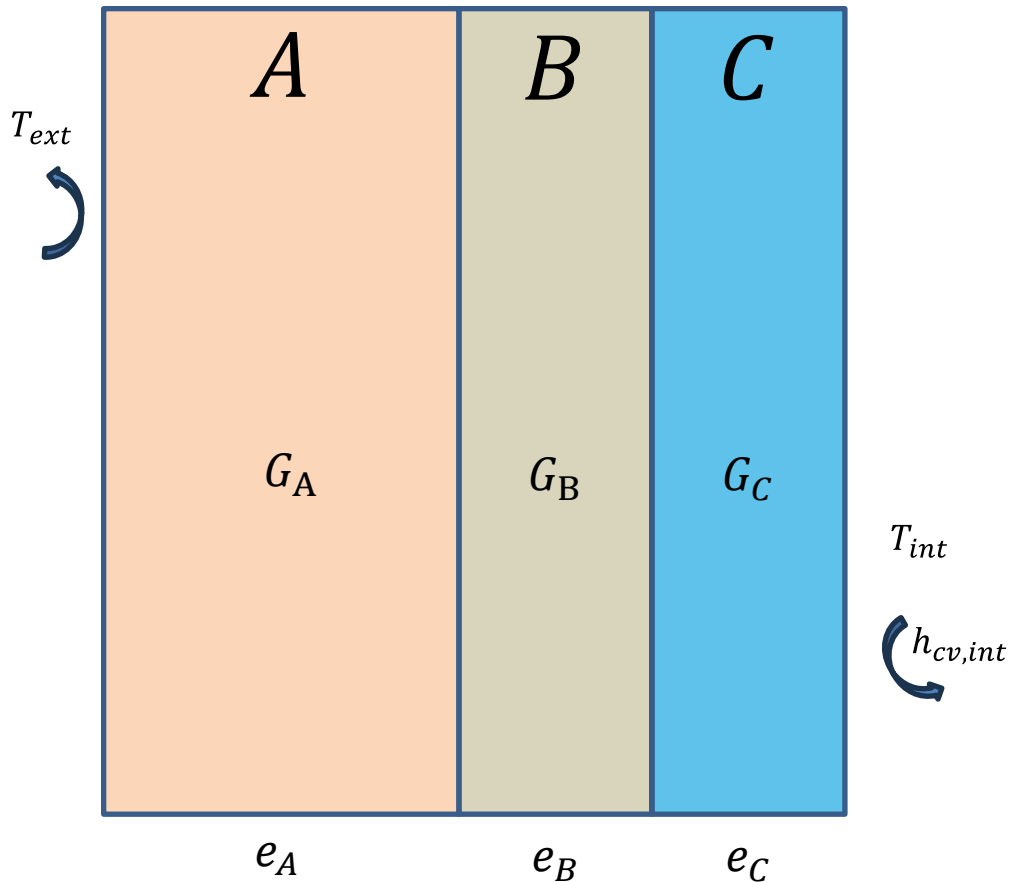
"Call to the temperature profile"
CALL T_perfil(x_A,e_A,k_A,G_A,T1_A,T2_A:T_x,q_x)
CALL T_perfil(x_B,e_B,k_B,G_B,T1_B,T2_B:T_x_B,q_x_B)
```

▶ 1...10	1 X_{dim} [-]	2 X_A [m]	3 X_B [m]	4 $X_{B,p}$ [m]	5 T_x [C]	6 $T_{x,B}$ [C]
Run 1	0	0	0	0.2	53.1	67.4
Run 2	0.1111	0.02222	0.02222	0.2222	58.64	64.52
Run 3	0.2222	0.04444	0.04444	0.2444	63.19	61.59
Run 4	0.3333	0.06667	0.06667	0.2667	66.76	58.61
Run 5	0.4444	0.08889	0.08889	0.2889	69.33	55.58
Run 6	0.5556	0.1111	0.1111	0.3111	70.92	52.5
Run 7	0.6667	0.1333	0.1333	0.3333	71.52	49.38
Run 8	0.7778	0.1556	0.1556	0.3556	71.14	46.2
Run 9	0.8889	0.1778	0.1778	0.3778	69.76	42.98
Run 10	1	0.2	0.2	0.4	67.4	39.7



Objetivo:

- Añadir una tercera capa C al muro y dibujar el perfil de temperaturas variando los distintos parámetros.





UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

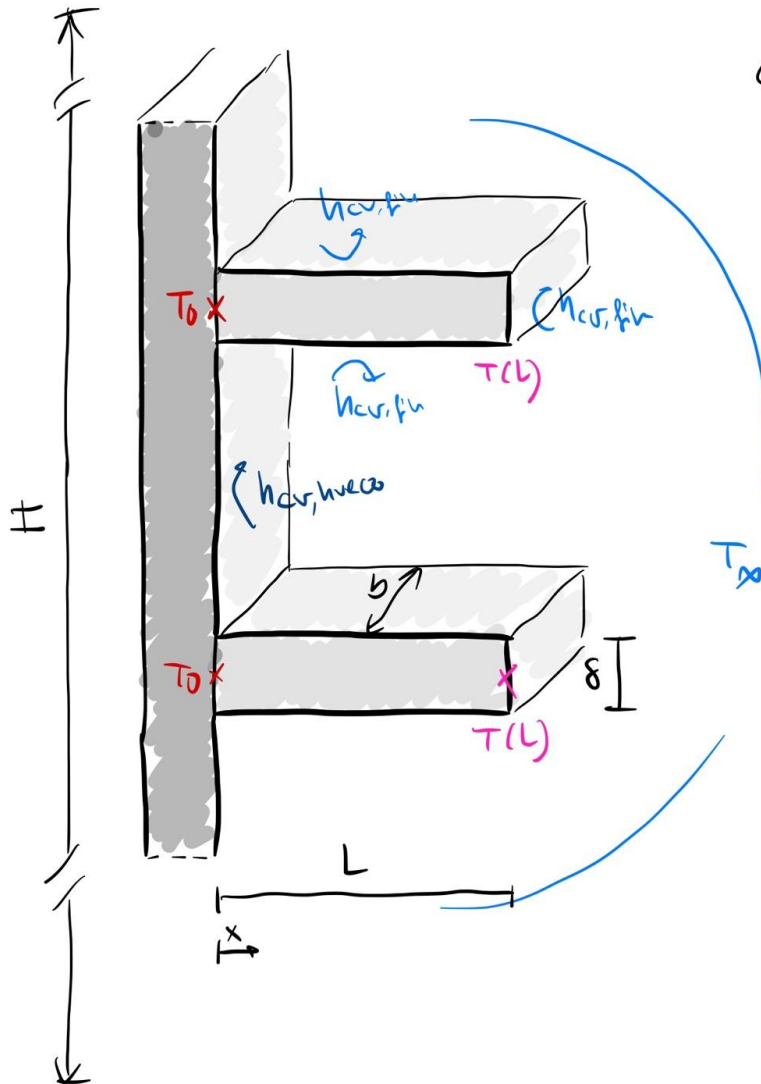


Práctica 4

Aletas e introducción a la convección



Aletas rectas, espesor constante



$$Q_{total} = Q_{wecor} + Q_{aletas}$$

$$Q_{aletas} = h_{conv,fin} \times A_{fin} \times \eta_{fin} \times \Delta T$$

$$\Delta T = T_0 - T_{\infty}$$

$$Q_{wecor} = A_{wecor} \times h_{conv,wecor} \cdot \Delta T$$

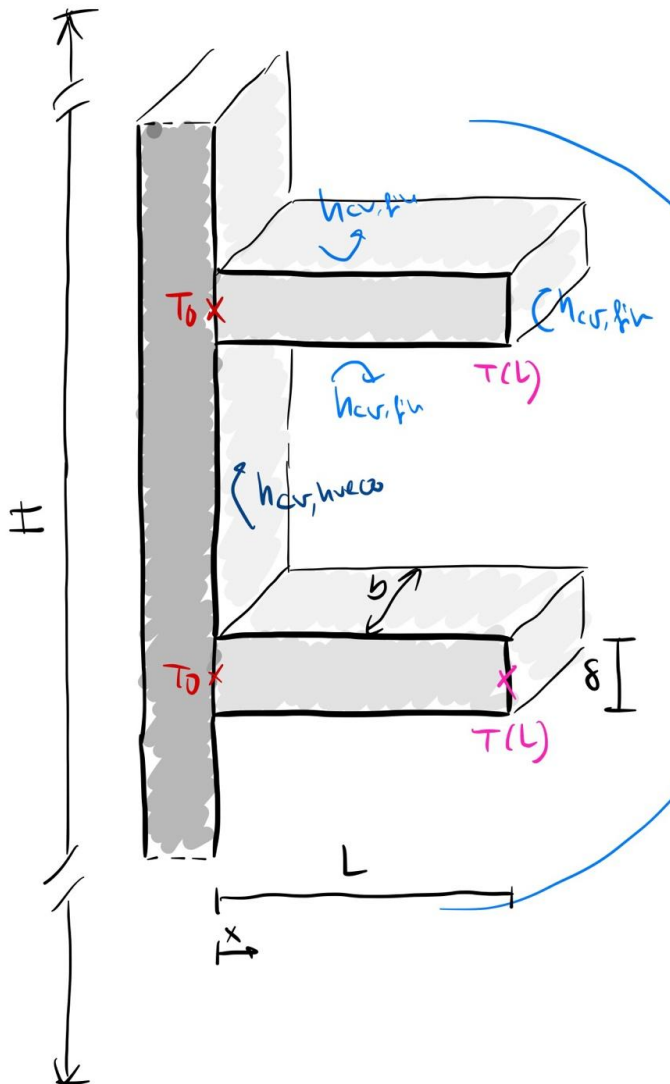
$$X = \frac{x}{L}$$

$$\Theta(X) = \frac{T(x) - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}}$$

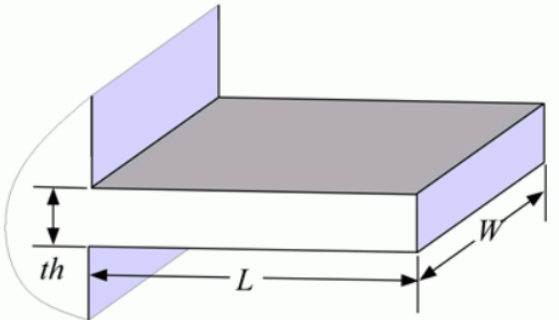
Aletas rectas, espesor constante

"Datos"

- $H = 1$ [m] "Altura total de la placa"
 $N_{fin}/H = 10$ [1/m] "Número de aletas por metro"
 $L = 20$ [cm]*convert(cm,m) "Longitud de la aleta"
 $h_{cv_pared} = 30$ [W/m²-K]
 $h_{cv_fin} = 40$ [W/m²-K] "Coeficiente de transferencia de calor por convección"
 $\delta_{fin} = 5$ [mm]*convert(mm,m) "Espesor de la aleta"
 $k_{fin} = 200$ [W/m-K]"Conductividad térmica de la aleta"
 $b = 20$ [cm]*convert(cm,m) "Ancho de la aleta, que se asume igual al ancho de la placa"
 $T_{infinity} = 20$ [C] "Temperatura exterior, del fluido que rodea las aletas"
 $T_0 = 120$ [C]"Temperatura en la base de la aleta"



Straight-Base Rectangular Fin



Dimensional: eta_fin_straight_rect(th, L, h, k)

Function eta_fin_straight_rect calculates the fin efficiency of a straight fin with a rectangular base. This function is applicable for a fin where $W \gg th$ (i.e., the fin is infinitely long into the page). To account for the convection from the tip, the function will use a corrected length where:

$$L_c = L + (t/2)$$

The function then calls a corresponding [non-dimensional](#) function, which determines the fin efficiency in terms of the fin parameter mL , described below. Note that the fin surface area that should be used with this fin efficiency is:

$$A_{s,fin} = 2WL$$

Inputs:

- L - length of the fin [m or ft]
- th - thickness of the fin [m or ft]
- h - heat transfer coefficient [W/m²-K or Btu/hr-ft²-R]
- k - conductivity of fin material [W/m-K or Btu/hr-ft-R]

The units for the inputs to the function are based on the unit setting in EES.

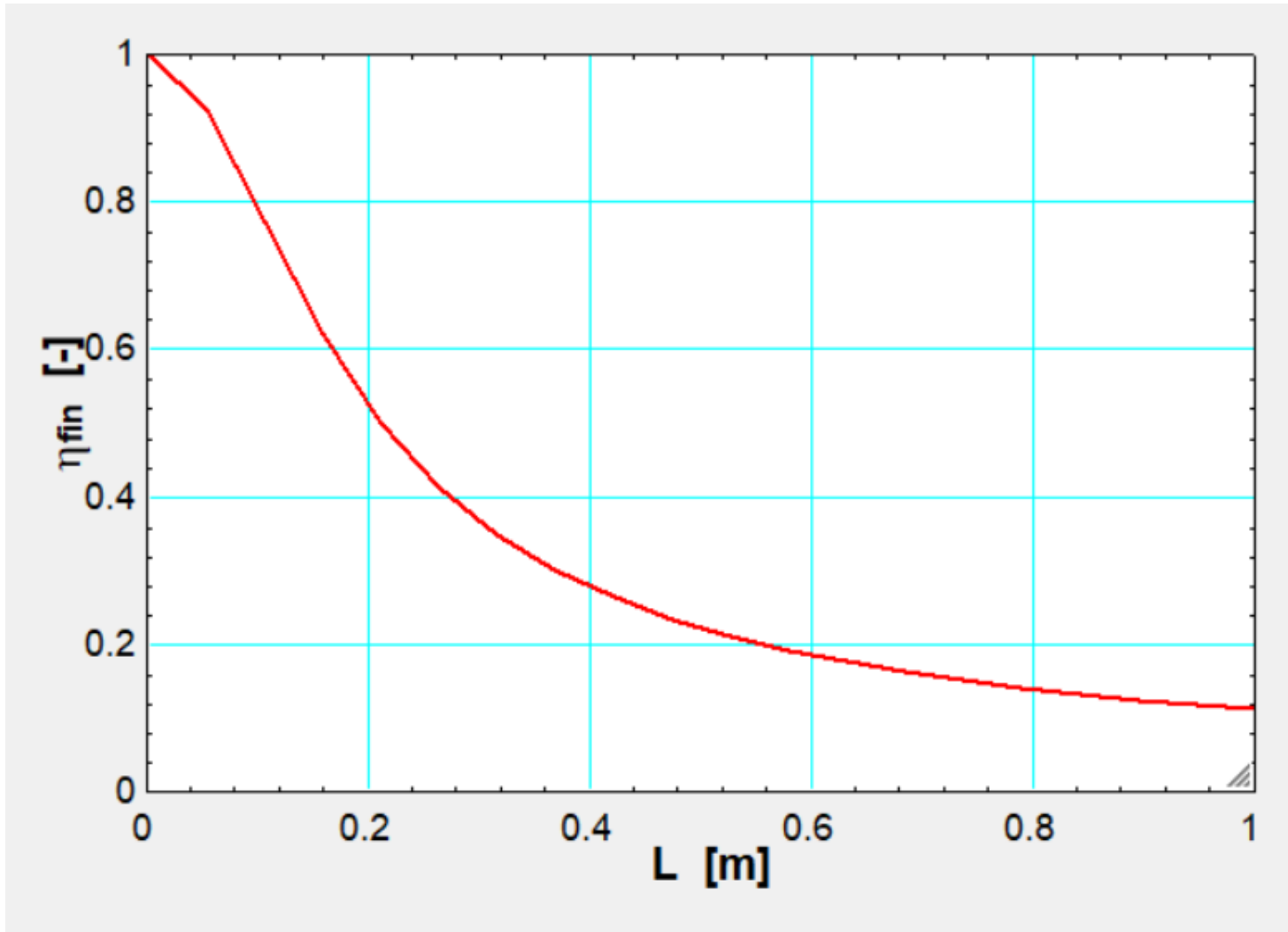


Calcular

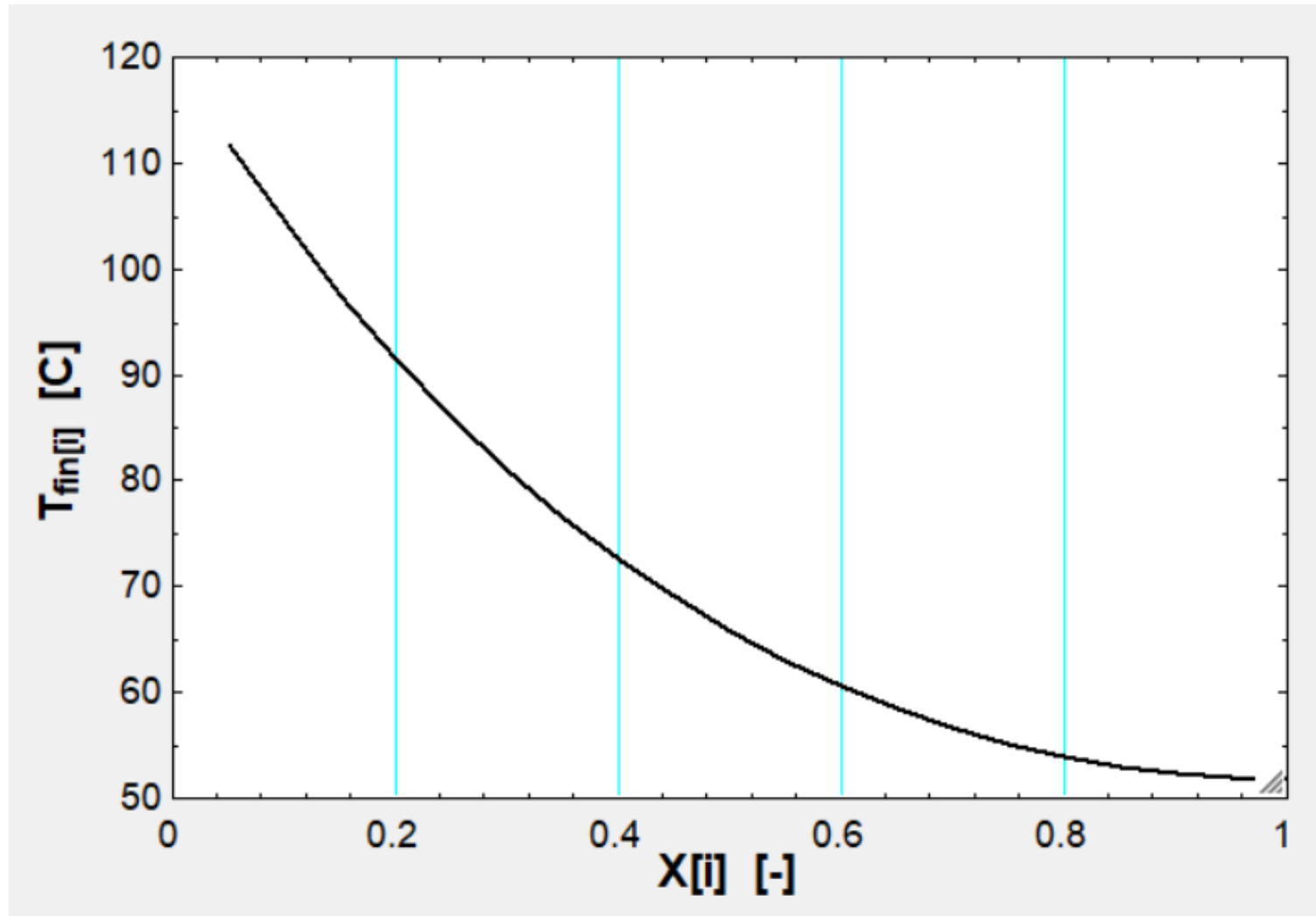
- a) Calcular la eficiencia de aleta y utilizando los datos y correlaciones disponibles en EES (correlación adimensional). ¿Cómo afecta la variación de la longitud y espesor de aleta a la eficiencia de aleta? Hacer varias tablas paramétricas y overlay plots.
- b) Calcular el calor evacuado por las aletas, los huecos y total. Comprobar cómo varía el calor evacuado por las aletas con respecto del total al variar las dimensiones (longitud y espesor) y el número de aletas"
- c) Representar gráficamente el campo de temperatura en aleta (utilizando la solución aproximada). Ver qué pasa si cambio el material y, por tanto, la conductividad de la aleta"
- d) Comparar y discutir los perfiles de temperatura obtenidos utilizando aluminio o madera de pino Probar con dos longitudes de aleta, una corta y otra larga, a elegir. Evaluar la conductividad térmica a la temperatura media de la aleta"



Variación de la eficiencia de aleta en función de su longitud



Perfil de temperature en la aleta





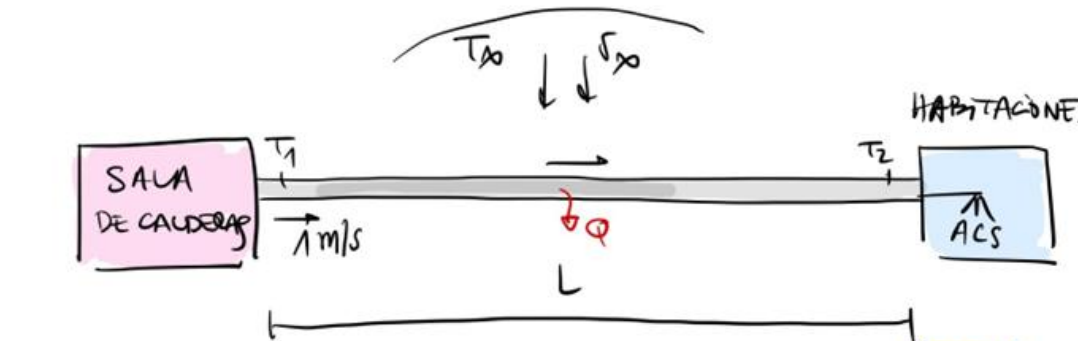
Ejercicio

Tenemos un tramo de tubería aislada que pertenece al conjunto de tuberías principales que suministran agua caliente sanitaria en un hospital. La tubería transcurre, por el exterior del edificio, desde la sala de calderas hasta las habitaciones.

"Objetivos:

- a) Determinar el espesor de aislamiento mínimo para que la temperatura del agua que llega a las habitaciones sea de 60°C para las siguientes longitudes de tubería: 100, 300 y 700 m. Temperatura de impulsión: 70°C
- b) Discutir cómo afecta un aumento de la velocidad del viento o la disminución de la temperatura ambiente exterior"



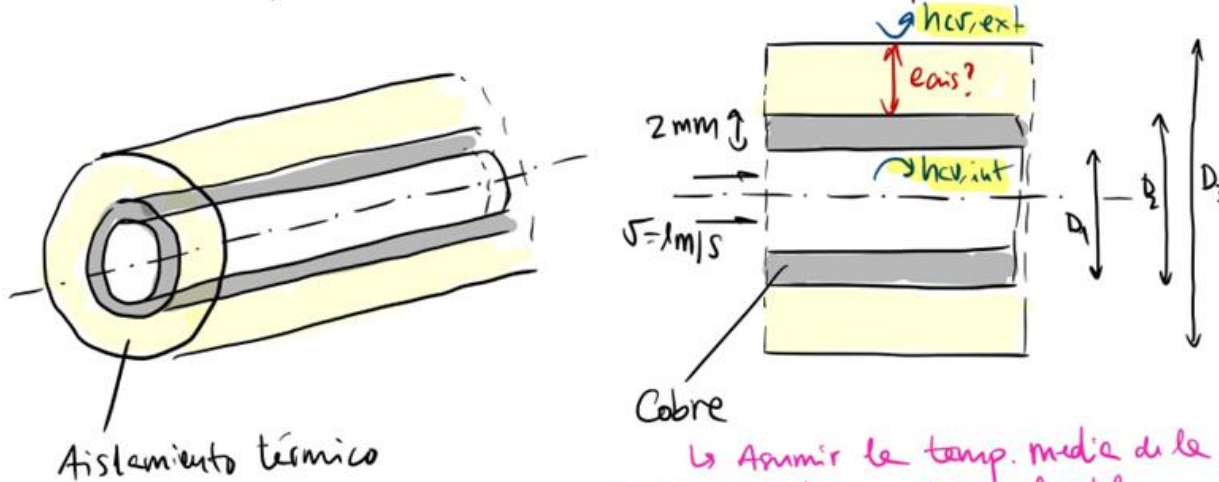


$$Q = UA \cdot \text{LMTD} = \dot{m} c_p (T_1 - T_2)$$

$$\text{LMTD} = \frac{\Delta T_{in} - \Delta T_{out}}{\ln\left(\frac{\Delta T_{in}}{\Delta T_{out}}\right)}$$

$$\frac{1}{UA} = R_{eq} = \frac{1}{h_{conv,i} \cdot A_i} + \frac{\ln(D_2/D_1)}{2 \cdot \pi \cdot k_t \cdot L} + \frac{\ln(D_3/D_2)}{2 \pi k_a \cdot L} + \frac{1}{h_{conv,o} \cdot A_o}$$

$$D_3 = D_2 + 2 \times e_{ais} = 1 \text{ [eais]}$$



↳ Assumir la temp. media de la pared de tubo igual que la del fluido



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA



Introduction to *Engineering Equation Solver* (EES)

Colección de Prácticas

Antonio Atienza-Márquez



Universidad de Málaga



CC BY-NC-ND
4.0 DEED