

10 ANEXOS

ANEXO 1: COMPROBACIÓN DE QUE NO HAY CRUCE DE TEMPERATURAS

Con el software SAM se comprueba que la temperatura de entrada del fluido térmico al intercambiador tiene variación de temperatura por lo que se va a comprobar a partir de qué temperatura de entrada del fluido térmico se producirá cruce de temperaturas.

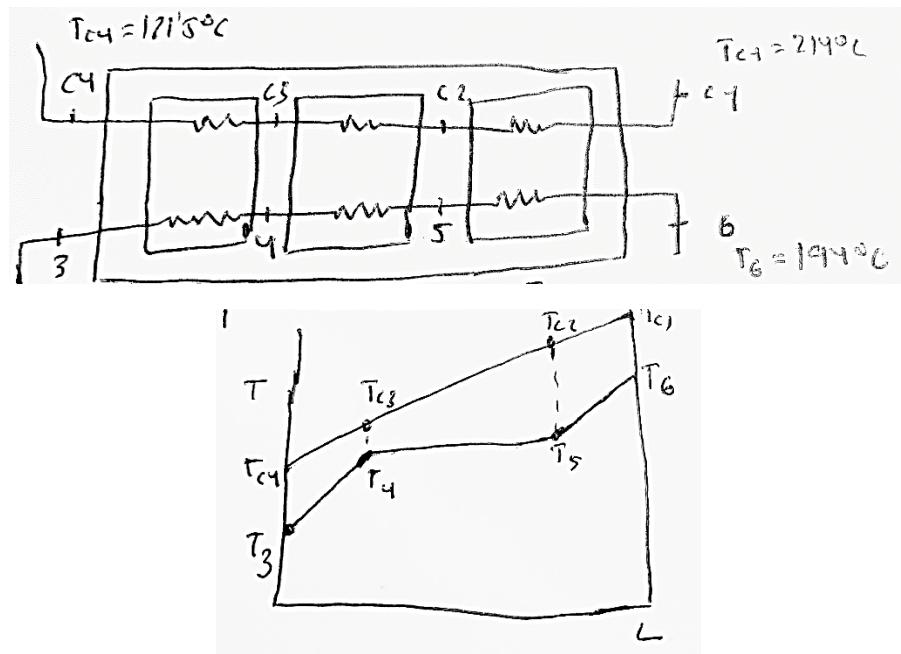


Figura 10.1. Disposición de temperaturas en el Intercambiador

Para comprobar que en el ciclo subcrítico no hay cruce de temperaturas entre el fluido térmico y el refrigerante R245fa en el intercambiador de calor se realizan los siguientes cálculos mediante el software EES.

Se conoce el flujo masico de R245fa y el flujo másico de Therminol 66 se obtiene a partir de SAM. En las gráficas obtenidas de SAM se comprueba que el flujo másico de Therminol 66 pasa en un corto periodo de tiempo de 0 kg/s a su valor de funcionamiento de 31 – 37 kg/s, dependiendo de las condiciones climáticas existentes. Por ello se supone que siempre opera a un valor constante y se introduce en EES el valor más desfavorable, 31 kg/s.

Jan	3.7147	0	32.284
Feb	6.1086	0	36.1668
Mar	10.9503	0	37.2454
Apr	13.4911	0	36.3708
May	16.5307	0	36.5124
Jun	18.2563	0	36.1661
Jul	20.6842	0	35.7958
Aug	17.5275	0	36.5349
Sep	13.6188	0	36.9236
Oct	7.2895	0	35.8553
Nov	4.7221	0	31.5463

Figura 10.2. Flujos máximos media, mínimo y máximo para cada mes

En EES se introduce:

```

{T_c1=140}
T_c4=121,5
m_R245fa=22,1
m_therminol=31
h_c1=enthalpy(Therminol_66; T=T_c1; P=P_circuito)
h_c4=enthalpy(Therminol_66; T=T_c4; P=P_circuito)
P_circuito=10

P_4=P_5
P_5=P_6
P_6=P_3
P_3=30,28
T_6=194
h_4=enthalpy(R245fa; P=P_4; x=0)
T_4=t_sat(R245fa;P=P_4)
h_6=enthalpy(R245fa; T=T_6; P=P_6)
{h_3=Enthalpy(R245fa; T=T_3; P=P_3)}
m_therminol*(h_c1-h_c3)=m_R245fa*(h_6-h_4)
T_aux=(t_c1+t_c3)/2
c=cp(Therminol_66; T=T_aux)
c=(h_c1-h_c3)/(t_c1-t_c3) "suponiendo que c no varia con la temperatura"

```

A continuación, se realiza un análisis paramétrico variando la temperatura T_{c1} para calcular la temperatura T_{c3} y que en ningún caso sea inferior a t_4 , si fuera inferior habría cruce de temperaturas y el funcionamiento no sería posible.

En el análisis paramétrico se obtiene que para una temperatura de entrada del fluido térmico T_{c1} inferior a 199°C se produce cruce de temperaturas por lo en el caso se pone la restricción de que cuando la temperatura sea inferior a 199°C el sistema no opere. Esto no afecta demasiado a la producción de energía ya que a temperaturas inferiores en carga parcial el rendimiento del ciclo Rankine está fuera de la curva de carga parcial.

1..50	1	T_{c1}	2	t_{c3}	3	T_4
Run 37	194,4	140,1	144			
Run 38	195,9	141,8	144			
Run 39	197,4	143,4	144			
Run 40	198,9	145,1	144			
Run 41	200,4	146,7	144			
Run 42	201,9	148,4	144			
Run 43	202,4	150	144			

Figura 10.3. Tabla paramétrica con variación de T_{c1}

En la Figura 10.3 se aprecian las variaciones de temperatura de t_{c1} y se ve que en muy pocas ocasiones se supera la temperatura límite.

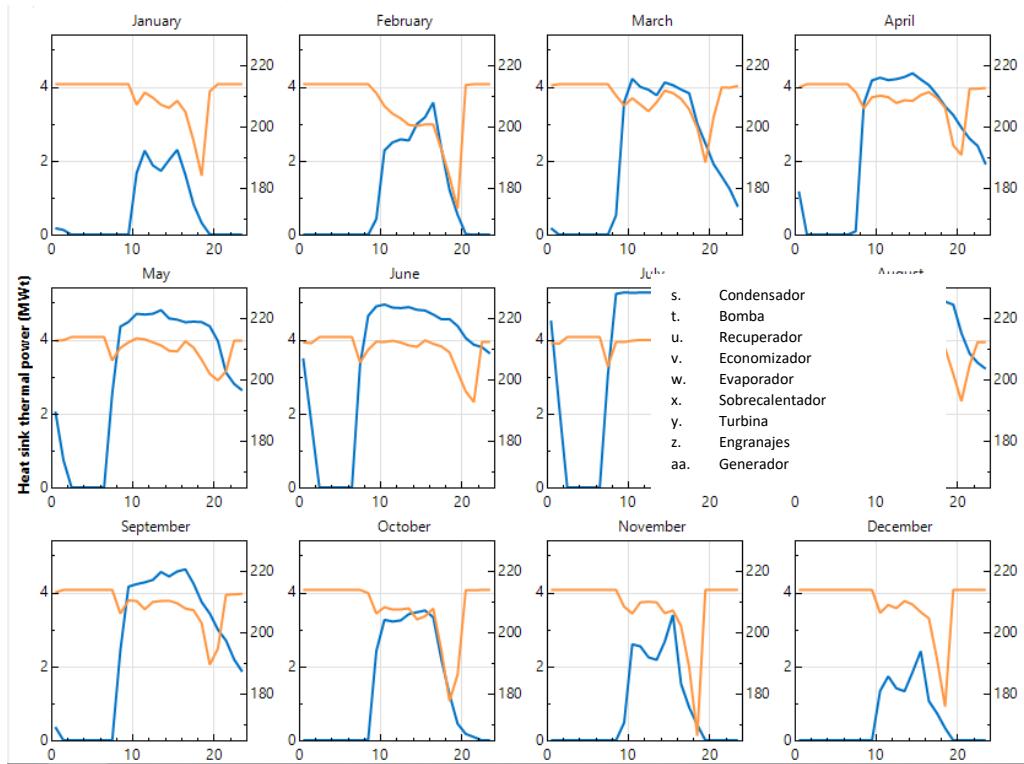


Figura 10.4. En azul la potencia térmica y en naranja la temperatura de entrada del HTF

ANEXO 2: COMPROBACIÓN DE QUE ES POSIBLE UN RENDIMIENTO DE 21,5%

Para comprobar que un ORC con temperaturas de entrada del fluido térmico de 280°C y de salida de 220°C es viable obtener un rendimiento superior al 20% se introducen los datos del ciclo en EES con unas eficiencias de los equipos realistas:

- Rendimiento turbina: 80%
 - Rendimiento bomba: 70%
 - Rendimiento motor: 90%

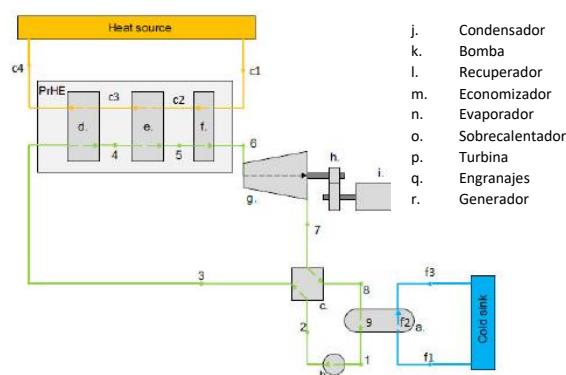


Ilustración 10.1. Esquema de ORC

En el software EES se introducen los siguientes datos:

```
{Turbina}
rtot = 0,8
{Bomba y motor}
rtob = 0,7
rtom = 0,90
{Intercambiador}
{rtoi = 0,9}

W_neta=500
{Sustancia de trabajo}
R$ = 'R245fa'
TC = t_crit(R$)
PC = p_crit(R$)

T[6]=240
p[1]=3,5

{Turbina}
P[6]=40
h[6]=enthalpy(R245fa;T=T[6];P=P[6])
s[6]=entropy(R245fa;T=T[6];P=P[6])
P[7]=p[1]
h_7s=enthalpy(R245fa;P=P[7];s=s[6])
rtot=(h[6]-h[7])/(h[6]-h_7s)
T[7]=temperature(R245fa;P=P[7];h=h[7])
x[7]=quality(R245fa;T=T[7];h=h[7])
s[7]=entropy(R245fa;T=T[7];h=h[7])
W_turb=h[6]-h[7]

{Condensador}
T[1]=t_sat(R$;P=P[1])
h[1]=enthalpy(R245fa;x=0;P=P[1])
s[1]=entropy(R245fa;x=0;P=P[1])

{Intercambiador}
rtoi=(h[7]-h[8])/(h[7]-h[2])
x[8]=1
p[8]=p[7]
h[8]=enthalpy(R245fa;x=x[8];P=p[8])
s[8]=entropy(R245fa;P=p[8];h=h[8])
h[7]-h[8]=h[3]-h[2]
T[8]=temperature(R245fa;P=P[8];x=x[8])
x[3]=quality(R245fa;P=p[3];h=h[3])
p[3]=p[6]
T[3]=temperature(R245fa;P=P[3];h=h[3])
s[3]=entropy(R245fa;P=p[3];h=h[3])

{Bomba}
p[2]=p[6]
h_2s=enthalpy(R245fa;P=P[2];s=s[1])
rtob=(h_2s-h[1])/(h[2]-h[1])
T[2]=temperature(R245fa;P=P[2];h=h[2])
x[2]=quality(R245fa;T=T[2];h=h[2])
s[2]=entropy(R245fa;T=T[2];h=h[2])
W_bomb=h[2]-h[1]

{Caldera}
Q_cald=m_R245fa*(h[6]-h[3])
```

$$W_{neta} = (W_{turb} - W_{bomb}) * m_{R245fa}$$

$$\text{rend_ciclo} = W_{neta} / (Q_{cald})$$

Para comprobar la variación del rendimiento y los valores con los que se obtiene se realizan diferentes tablas paramétricas variando los valores más influyentes y sobre los que se puede trabajar. Estos valores son P6, T6 y T1.

1..10	P ₆	T ₃	T ₆	T ₇	rtoi	rend_ciclo
Run 1	60	129,5	250	161	0,4178	0,2456
Run 2	57,78	130,5	250	162,9	0,4214	0,2454
Run 3	55,56	131,5	250	164,8	0,425	0,2451
Run 4	53,33	132,5	250	166,7	0,4287	0,2446
Run 5	51,11	133,5	250	168,6	0,4323	0,244
Run 6	48,89	134,4	250	170,5	0,436	0,2432
Run 7	46,67	135,4	250	172,5	0,4396	0,2422
Run 8	44,44	136,3	250	174,5	0,4433	0,2411
Run 9	42,22	137,2	250	176,6	0,447	0,2397
Run 10	40	138,1	250	178,7	0,4507	0,2381

Figura 10.5. Variación de P6 en una tabla paramétrica

1..10	P ₆	T ₃	T ₆	T ₇	rtoi	rend_ciclo
Run 1	50	133,9	250	169,6	0,4341	0,2436
Run 2	50	129,9	244,4	163,4	0,4213	0,2399
Run 3	50	125,7	238,9	157,1	0,4078	0,236
Run 4	50	121,4	233,3	150,7	0,3935	0,232
Run 5	50	117	227,8	144,2	0,3783	0,2277
Run 6	50	112,5	222,2	137,6	0,3621	0,2233
Run 7	50	107,7	216,7	130,7	0,3448	0,2187
Run 8	50	102,9	211,1	123,7	0,326	0,2137
Run 9	50	97,73	205,6	116,3	0,3054	0,2083
Run 10	50	92,31	200	108,6	0,2825	0,2024

Figura 10.6. Variación de T6 en una tabla paramétrica

1..10	P ₁	P ₆	T ₁	T ₃	T ₆	T ₇	rtoi	rend_ciclo
Run 1	2,5	40	40,05	131,5	240	168	0,4294	0,2322
Run 2	2,778	40	43,28	133,9	240	170,1	0,432	0,227
Run 3	3,056	40	46,27	136,1	240	172,1	0,4344	0,2222
Run 4	3,333	40	49,05	138	240	173,9	0,4367	0,2177
Run 5	3,611	40	51,66	139,8	240	175,6	0,4388	0,2135
Run 6	3,889	40	54,12	141,5	240	177,2	0,4409	0,2095
Run 7	4,167	40	56,45	143,1	240	178,7	0,4429	0,2058
Run 8	4,444	40	58,66	144,5	240	180,1	0,4449	0,2022
Run 9	4,722	40	60,77	145,8	240	181,4	0,4467	0,1987
Run 10	5	40	62,79	147,1	240	182,7	0,4486	0,1955

Figura 10.7. Variación de P1 en una tabla paramétrica

Se eligen valores coherentes para el ciclo y se obtiene que para una $P_1=3,5$ bar, $P_6=40$ bar y $T_6=240^\circ\text{C}$ se tiene un rendimiento del 21,52%, por lo que el ciclo comercial de la empresa Enertime es posible.

Sort	1 h_i	2 p_i	3 s_i	4 T_i	5 x_i
[1]	267,2	3,5	1,225	50,64	
[2]	271,3	40	1,237	53,11	0,003885
[3]	403,9	40	1,587	139,1	100
[4]					
[5]					
[6]	625,9	40	2,079	240	
[7]	574	3,5	2,109	175	100
[8]	441,4	3,5	1,763	50,64	1

Figura 10.8. Valores obtenidos para el rendimiento de 21,5% y los parámetros seleccionados

En la siguiente figura se puede ver el diagrama T-s del ciclo supercrítico para las temperaturas de entrada y de salida del aceite térmico de 280°C y 220°C respectivamente

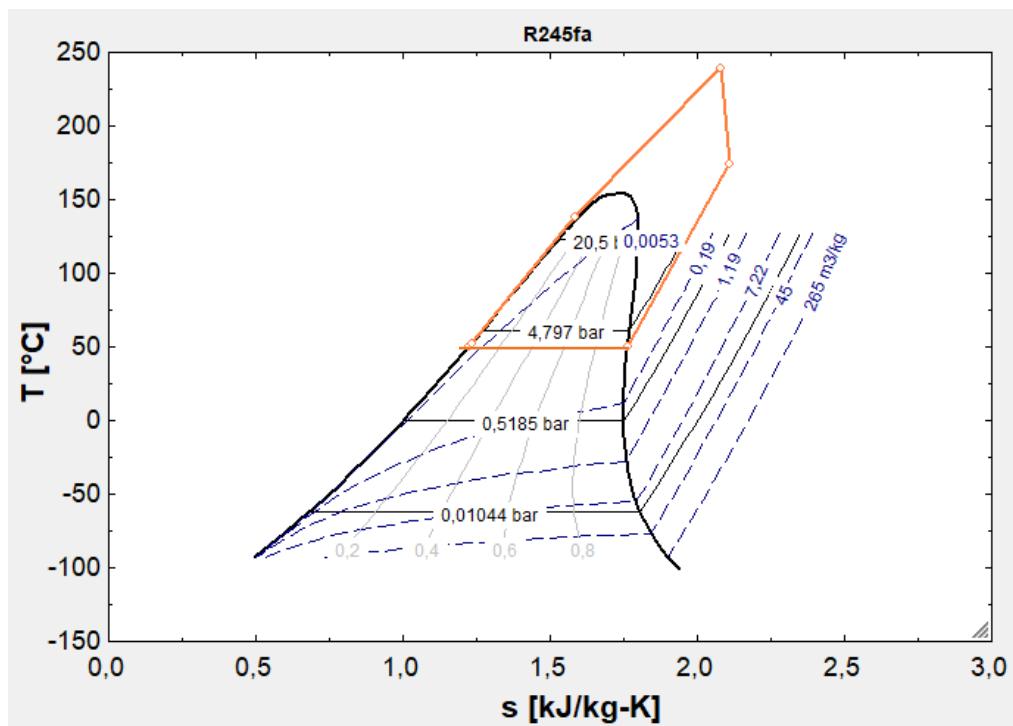


Figura 10.9. Diagrama T-s del ciclo supercrítico