

Intercambiadores de calor: Conceptos

Son equipos acondicionadores de temperatura, esto es, que ajustan o cambian corrientes de procesos para llevarlas a las temperaturas requeridas en la planta. Esto puede lograrse mediante corrientes auxiliares de refrigeración (agua de enfriamiento, fluidos criogénicos, etc) o calefacción (vapor de agua saturada o recalentada, gases de hornos, etc) o bien entre las propias corrientes de procesos (corrientes calientes y frías) si sus diferencias de temperatura lo permiten. Cabe acotar que una corriente caliente no es aquella que simplemente tiene una temperatura elevada sino aquella que se requiere enfriar (entrega calor). Por otro lado las corrientes frías son aquellas que deban ser aumentadas en su temperaturas (calentadas).

Existen numerosos tipos de equipos de intercambio pero en todos los casos podemos decir que se tratan de dispositivos que suministran una superficie de contacto térmico sin que, en realidad, se mezclen físicamente. El más sencillo de doble tubo se identifica rápidamente en un laboratorio químico (y en películas de terror) como el refrigerante donde el fluido caliente pasa por el tubo central mientras que el agua de enfriamiento por el ánulo. En la industria no será necesaria la transparencia del equipo siendo más importante su eficiencia por lo que (salvo excepciones) será metálico.

Una extensión del equipo anterior es el de tubos y coraza en donde la cantidad de conductos puede ser de cientos o quizás de miles pero al no entrar en detalles de diseño con lo expuesto será suficiente.

Lo que si es dable señalar que existen además dos configuraciones de acuerdo a si las corrientes ingresan en un mismo sentido (cocorriente) o invertidos (contracorriente).

Contracorriente:

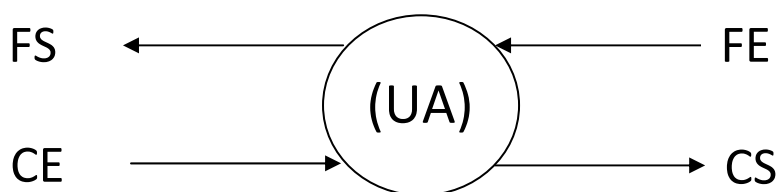


Figura 1

La figura 1 esquematiza el equipo en formato grafo. Se trata de un equipo en contracorriente. Las temperaturas de ingreso y egreso establecen dos perfiles de temperaturas como se aprecia en la figura 2.

Cabe aclarar en este caso como en el siguiente que las temperaturas de piel de tubo (interior) no son rectas como se ilustran ahí sino curvas ya que la tendencia al intercambio de calor será mayor en los puntos en donde la diferencia local de temperatura será mayor.

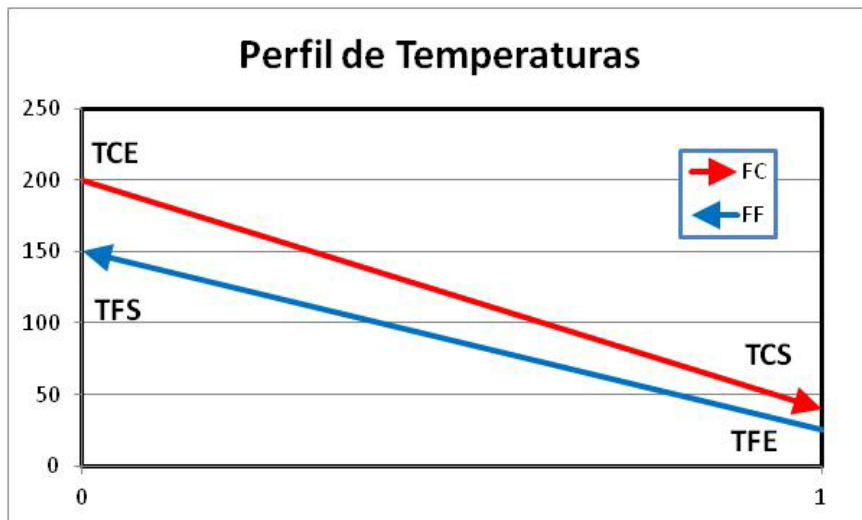


Figura 2

El otro esquema, es decir en cocorriente se ilustra en la figura 3 y su perfil en la 4. Vale la tarea de comparar ambos casos: así vemos que la transferencia en los equipos del 1º tipo es más uniforme a lo largo del mismo. Vemos que en cocorriente a medida que las corrientes se desplazan sus temperaturas se acercan no pudiendo igualarse nunca o ya no habría transferencia de calor. En la práctica siempre debe haber una diferencia de temperatura mínima a satisfacer. Por otro lado en contracorriente se da la posibilidad de que la corriente fría salga más caliente que la caliente (siempre y cuando sea más fría que la entrada) como se aprecia en la figura 2.

Co-corriente

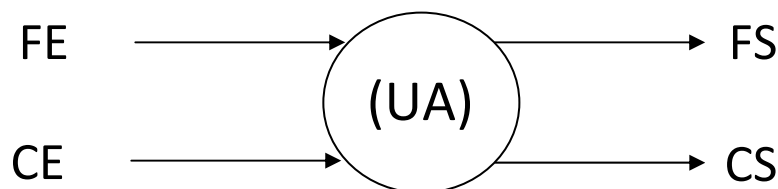


Figura 3

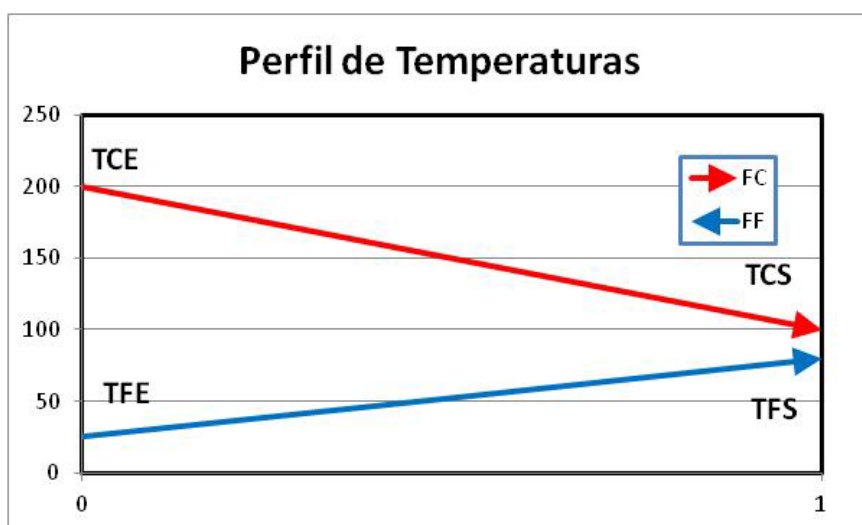


Figura 4

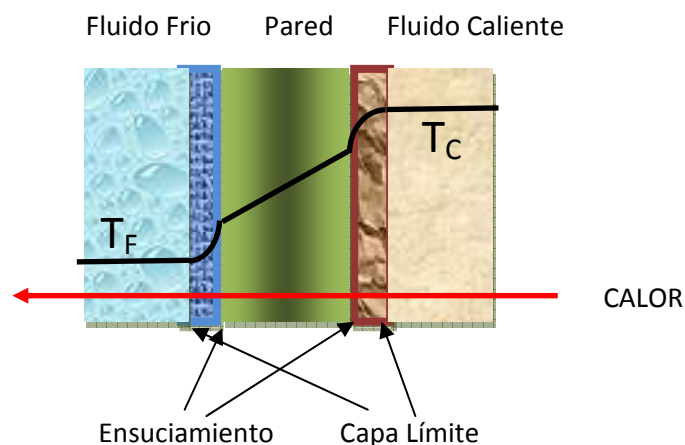
Para finalizar esta pequeña introducción mencionemos que el calor debe pasar desde el fluido caliente a través de una serie de resistencias en serie que son:

- 1) El coeficiente pelicular del fluido, esto es la capa del mismo que parece “pegarse” a la pared disminuyendo su velocidad y capacidad de transporte de calor (“capa límite”).
- 2) Luego debe atravesar el ensuciamiento (“Fouling”) que es suciedad proveniente del mismo fluido que se adhiere a la pared y se engrosa con el tiempo disminuyendo su rendimiento. Esto exige una tarea constante de mantenimiento (limpieza) cuya frecuencia dependerá de lo sucio del fluido.
- 3) Esta es quizás la menos importante en general porque las paredes en general son metales y su conductividad de calor alta.
- 4) Es la contraparte del fluido frío del ensuciamiento.
- 5) La capa límite del fluido frío.

Así la capacidad de la pared, una vez seleccionada es constante (si despreciamos la variación de su conductibilidad térmica de la temperatura).

Las resistencias debida a las capas límites dependen de las propiedades térmicas de los fluidos y de su velocidad. A más velocidad mejor conduce el calor pero aumenta la pérdida de carga requiriendo de más potencia de bombeo para su operación. En general esta velocidad suele acotarse por requisitos de diseño.

Lo que realmente modifica el rendimiento del equipo en forma constante es el ensuciamiento de ambos fluidos lo que exige su limpieza periódica. Cabe aclarar que se acuerdo al diseño de equipo se suele destinar la zona más accesible al fluido más sucio.



Dejando de lado los balance de materia globales y por componentes de ambas corrientes daba la obviedad de que lo que sale en cantidad y composición es igual a lo que entra y suponiendo que no hay cambio de fases en ninguna de las dos corrientes el modelo puede formularse a través del sistema de 4 ecuaciones y 4 incógnitas como se indica a continuación:

Fluido caliente:
$$Q = F_C \times \overline{\Delta H}_C$$

Fluido frío:
$$Q = F_F \times \overline{\Delta H}_F$$

Intercambiado:
$$Q = (UA) \times DTLN$$

Contracorriente:
$$DTLN = \frac{(T_{CE} - T_{FS}) - (T_{CS} - T_{FE})}{\ln \frac{(T_{CE} - T_{FE})}{(T_{CS} - T_{FS})}}$$

Co-corriente:
$$DTLN = \frac{(T_{CE} - T_{FE}) - (T_{CS} - T_{FS})}{\ln \frac{(T_{CE} - T_{FS})}{(T_{CS} - T_{FE})}}$$

Entalpías:

$$\overline{\Delta H}_C = \int_{T_{CS}}^{T_{CE}} \overline{Cp}_C \times dT$$

$$\overline{\Delta H}_F = \int_{T_{FE}}^{T_{FS}} \overline{Cp}_F \times dT$$

Capacidades caloríficas:

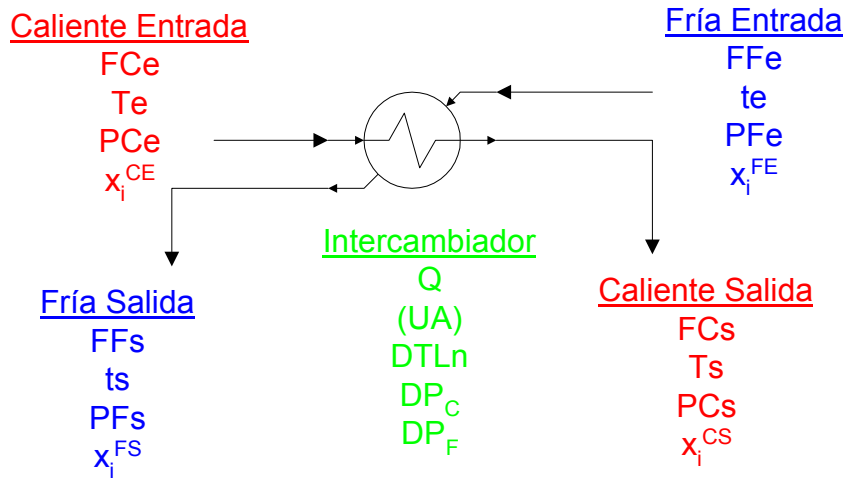
$$\overline{Cp}_C = \sum_{i=1}^{NC} x_i^C \times \overline{Cp}_i$$

$$\overline{Cp}_F = \sum_{i=1}^{NC} x_i^F \times \overline{Cp}_i$$

Intercambiadores de calor: Modelado

Aplicación del cambio de entalpía en corrientes.

Esquema:



Hipótesis:

- Sin reacción química
- Sin cambio de fases
- Adiabético
- Estado estacionario
- Mezclas de NC componentes

Modelo:

Balances de masa global:

$$FC_s = FC_e$$

$$FF_s = FF_e$$

Balance de masa por componente:

$$x_i^{CS} = x_i^{CE} \quad i = 1 \text{ a } NC$$

$$x_i^{FS} = x_i^{FE}$$

Presiones:

$$PC_s = PC_e - \Delta P_C$$

$$PF_s = PFe - \Delta P_F$$

Balances de Energía:

$$Q = FC_e \times [HC_E(Te) - HC_S(Ts)]$$

$$Q = FF_e \times [HF_S(ts) - HF_e(te)]$$

$$Q = (UA) \times \Delta T \ln$$

Propiedades fisicoquímicas:

$$HC_E = \sum_{i=1}^{NC} x_i^{CE} \times H_i(Te)$$

$$HC_S = \sum_{i=1}^{NC} x_i^{CS} \times H_i(Ts)$$

$$HF_E = \sum_{i=1}^{NC} x_i^{FE} \times H_i(te)$$

$$HF_S = \sum_{i=1}^{NC} x_i^{FS} \times H_i(Ts)$$

TR: temperatura de referencia:

$$H_i(Te) = \int_{TR}^{Te} Cp_i \times dT$$

$$H_i(Ts) = \int_{TR}^{Ts} Cp_i \times dT$$

$$H_i(te) = \int_{TR}^{te} Cp_i \times dT$$

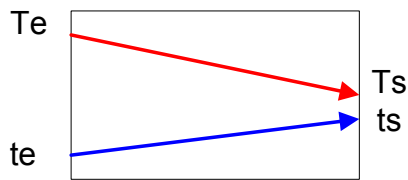
$$H_i(Te) = \int_{TR}^{Ts} Cp_i \times dT$$

Otras Relaciones:

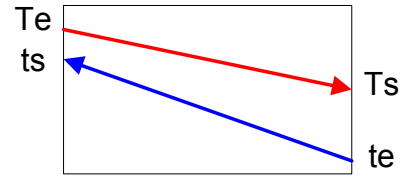
$$\Delta T \ln = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln \frac{\Delta T1}{\Delta T2}}$$

$$\text{Cocorriente} : \Delta T1 = Te - te \quad \Delta T2 = Ts - ts$$

$$\text{Contracorriente} : \Delta T1 = Te - ts \quad \Delta T2 = Ts - te$$



Perfil Cocorriente



Perfil Contracorriente

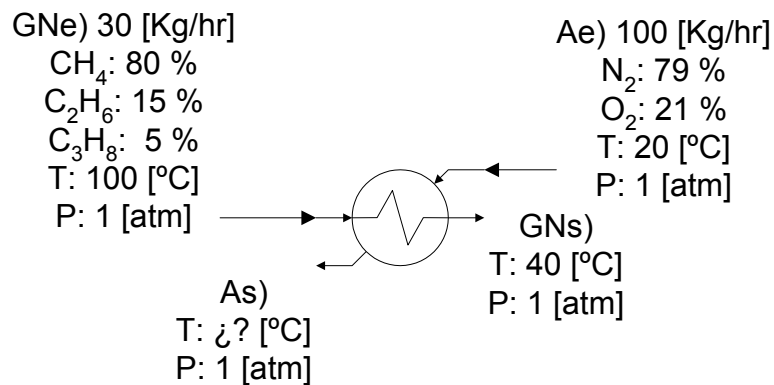
Ejemplo numérico:

Una corriente de gas de 30 Kg/hr cuya composición es de 80 % de metano, 15 % de etano y 5 % de propano (base molar) y 1 atm de presión, se enfría con aire desde 100 °C hasta 40 °C en un intercambiador en contracorriente. Para ello se emplea una corriente de aire frío cuyo flujo es de 100 Kg/hr, 1 atm de presión y una temperatura de 20 °C.

- Calcular la temperatura de salida de la corriente de aire
- Calcular el valor de (UA) y el ΔT_{ln}

Datos:

Comp	$x_i \left[\frac{Kg}{Kmol} \right]$	$C_{p_i} \left[\frac{Kcal}{^\circ C Kmol} \right] [^\circ C]$
CH_4	16	$8,2 + 1,307 \times 10^{-2} \times t$
C_2H_6	30	$11,8 + 3,326 \times 10^{-2} \times t$
C_3H_8	44	$16,26 + 5,398 \times 10^{-2} \times t$
N_2	28	$6,919 + 0,136 \times 10^{-2} \times t$
O_2	32	$7,129 + 0,1407 \times 10^{-2} \times t$



Solución:

Corriente Caliente)

Comp	$x_i \left[\frac{Kmol}{Kmol} \right]$	$M_i \left[\frac{Kg}{kmol} \right]$	$x_i \times M_i$
CH_4	0,800	16	12,8
C_2H_6	0,150	30	4,5
C_3H_8	0,050	44	2,2
Total	1,000		19,5

Me= 19,5 [Kg/kmol]

$$F_{GN}^E = F_{GN}^S = \frac{30 \left[\frac{Kg}{hr} \right]}{19,5 \left[\frac{Kg}{Kmol} \right]} = 1,538 \left[\frac{Kmol}{hr} \right]$$

Comp	$x_i \left[\frac{Kg}{Kmol} \right]_i$	$Cp_i \left[\frac{Kcal}{^\circ C Kmol} \right] [^\circ C]$
CH_4	0,800	$8,2 + 1,307 \times 10^{-2} \times t$
C_2H_6	0,150	$11,8 + 3,326 \times 10^{-2} \times t$
C_3H_8	0,050	$16,26 + 5,398 \times 10^{-2} \times t$
N_2	0,000	$6,919 + 0,136 \times 10^{-2} \times t$
O_2	0,000	$7,129 + 0,1407 \times 10^{-2} \times t$
Total	1,000	$9,143 + 1,814 \times 10^{-2} \times t$

Corriente fría)

Comp	$x_i \left[\frac{Kmol}{Kmol} \right]$	$M_i \left[\frac{Kg}{Kmol} \right]$	$x_i \times M_i$
N_2	0,790	28	22,12
O_2	0,210	32	6,72
Total	1,000		28,84

Ma= 28,84 [Kg/Kmol]

$$F_{AIRE}^E = F_{AIRE}^S = \frac{100 \left[\frac{Kg}{hr} \right]}{28,84 \left[\frac{Kg}{Kmol} \right]} = 3,467 \left[\frac{Kmol}{hr} \right]$$

Comp	$x_i \left[\frac{Kg}{Kmol} \right]_i$	$Cp_i \left[\frac{Kcal}{^\circ C Kmol} \right] [^\circ C]$
CH_4	0,0000	$8,2 + 1,307 \times 10^{-2} \times t$
C_2H_6	0,000	$11,8 + 3,326 \times 10^{-2} \times t$
C_3H_8	0,000	$16,26 + 5,398 \times 10^{-2} \times t$
N_2	0,790	$6,919 + 0,136 \times 10^{-2} \times t$
O_2	0,210	$7,129 + 0,1407 \times 10^{-2} \times t$
Total	1,000	$6,963 + 1,369 \times 10^{-3} \times t$

Balances de energía:

$$Q = F_{GN}^E \times (H_{GN}^E - H_{GN}^S)$$

$$Q = F_{AIRE}^E \times (H_{AIRE}^S - H_{AIRE}^E)$$

$$Q = (UA) \times \Delta T \ln$$

$$Q = F_{GN}^E \times \int_{40}^{100} CP_{GN} \times dt = 1,538 \left[\frac{Kmol}{hr} \right] \times \int_{40}^{100} (9,143 + 1,814 \times 10^{-2} \times t) dt = 960,0 \left[\frac{Kcal}{hr} \right]$$

$$Q = F_{AIRE}^E \times \int_{20}^t CP_{AIRE} \times dt = 3,467 \left[\frac{Kmol}{hr} \right] \times \int_{20}^t (6,963 + 1,369 \times 10^{-3} \times t) dt$$

$$Q = 3,467 \times \left[6,963 \times t + \frac{1,369 \times 10^{-3}}{2} \times t^2 \right]_{20}^t$$

$$Q = 3,467 \times \left[6,963 \times (t - 20) + \frac{1,369 \times 10^{-3}}{2} \times (t^2 - 20^2) \right]$$

$$Q = 3,467 \times \left[6,963 \times t - 6,963 \times 20 + 6,845 \times 10^{-4} \times t^2 - 6,845 \times 10^{-4} \times 20^2 \right]$$

$$Q = 3,467 \times \left[6,963 \times t - 139,26 + 6,845 \times 10^{-4} \times t^2 - 0,2738 \right]$$

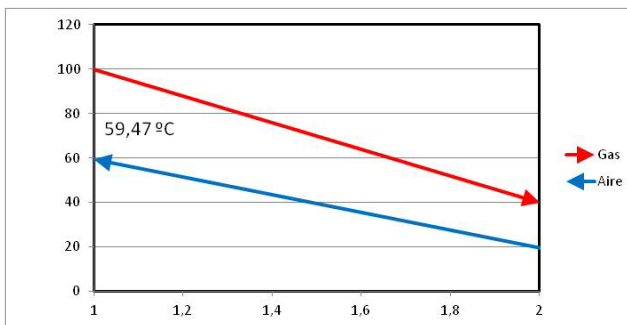
$$Q = 3,467 \times \left[6,845 \times 10^{-4} \times t^2 + 6,963 \times t - 139,5 \right]$$

$$Q = 2,373 \times 10^{-3} \times t^2 + 24,14 \times t - 483,6$$

$$960,9 = 2,373 \times 10^{-3} \times t^2 + 24,14 \times t - 483,6$$

$$0 = 2,373 \times 10^{-3} \times t^2 + 24,14 \times t - 1444$$

$$t = 59,47 \text{ [}^\circ\text{C]}$$



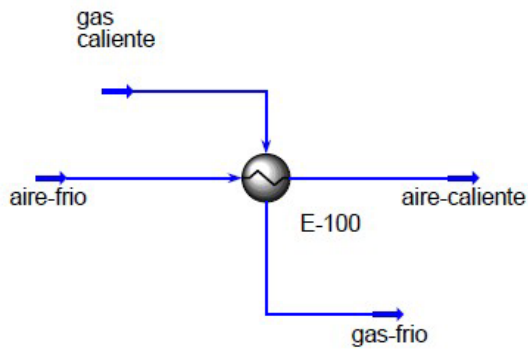
$$\Delta T \ln = \frac{(100 - 59,47) - (40 - 20)}{\ln \frac{100 - 59,47}{40 - 20}} = 29,06 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$Q = (UA) \times \Delta T \ln$$

$$(UA) = \frac{Q}{\Delta T \ln}$$

$$(UA) = \frac{960,9 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{hr}} \right]}{29,06 \text{ [}^\circ\text{C}]} = 33,06 \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{hr } ^\circ\text{C}} \right]$$

Resultados en Hysys

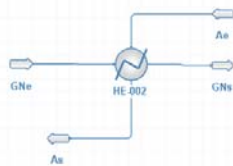


E-100		
Duty	952.4	kcal/h
Tube Inlet Temperature	20.00	C
Tube Outlet Temperature	60.04	C
Shell Inlet Temperature	100.0	C
Shell Outlet Temperature	40.00	C
UA	33.03	kcal/C-h
LMTD	28.84	C

Resultados en dwsim:

Gas Natural Entrada		
GNe	Temperature	100 C
GNe	Pressure	1 atm
GNe	Mass Flow	30 kg/h
GNe	Molar Fraction (Mixture) / Methane	0,8
GNe	Molar Fraction (Mixture) / Ethane	0,15
GNe	Molar Fraction (Mixture) / Propane	0,05

Aire Salida		
As	Temperature	58,6271 C
As	Pressure	1 atm
As	Mass Flow	100 kg/h
As	Molar Flow	3,4661 kmol/h



Aire Entrada		
Ae	Temperature	20 C
Ae	Pressure	1 atm
Ae	Mass Flow	100 kg/h
Ae	Molar Fraction (Mixture) / Nitrogen	0,79
Ae	Molar Fraction (Mixture) / Oxygen	0,21

Gas Natural Salida		
GNa	Temperature	40 C
GNa	Pressure	1 atm
GNa	Mass Flow	30 kg/h
GNa	Molar Flow	1,53455 kmol/h

HE-002	Global Heat Transfer Coefficient (U)	36,9507	W/[m2.K]
HE-002	Heat Exchange Area (A)	1	m2
HE-002	Heat Load	934,189	kcal/h
HE-002	Logarithmic mean temperature difference LMTD	29,403	C

Problema preliminar: Una corriente de aire de 4 [kmol/hr] a una presión de 1 atm se calienta desde 30 °C. Para ello se le incorpora 4000 [Kcal/hr]. Si no hay caída de presión, calcular la temperatura de salida.

Comp	$x_i \left[\frac{\text{Kmol}}{\text{Kmol}} \right]$	$M_i \left[\frac{\text{Kg}}{\text{Kmol}} \right]$	$x_i \times M_i$
N_2	0,790	28	22,12
O_2	0,210	32	6,72
Total	1,000		28,84

Temp de referencia: 25 °C

Comp	x_i	$C_{p_i} \left[\frac{\text{Kcal}}{^\circ\text{C} \text{Kmol}} \right] [^\circ\text{C}]$	$H_i \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kmol}} \right]$
N_2	0,790	$6,919 + 0,136 \times 10^{-2} \times t$	$-173,4 + 6,919 \times t + 6,800 \times 10^{-4} \times t^2$
O_2	0,210	$7,129 + 0,1407 \times 10^{-2} \times t$	$-178,7 + 7,129 \times t + 7,035 \times 10^{-4} \times t^2$
Total	1,000		$-174,5 + 6,963 + 6,849 \times 10^{-4} \times t^2$

$$Q = F_A \times [H_A^S(T_S) - H_A^E(T_E)]$$

$$4000 = 4 \times [(-174,5 + 6,963 \times T_S + 6,849 \times 10^{-4} \times T_S^2) - (-174,5 + 6,963 \times T_E + 6,849 \times 10^{-4} \times T_E^2)]$$

$$4000 = 4 \times [(-174,5 + 6,963 \times T_S + 6,849 \times 10^{-4} \times T_S^2) - (-174,5 + 6,963 \times 30 + 6,849 \times 10^{-4} \times 30^2)]$$

$$4000 = 4 \times [(-174,5 + 6,963 \times T_S + 6,849 \times 10^{-4} \times T_S^2) - (35,00)]$$

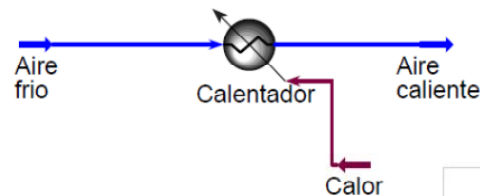
$$4000 = [(-698,0 + 27,85 \times T_S + 2,740 \times 10^{-3} \times T_S^2) - (140,0)]$$

$$4000 = -838 + 27,85 \times T_S + 2,740 \times 10^{-3} \times T_S^2$$

$$0 = -4838 + 27,85 \times T_S + 2,740 \times 10^{-3} \times T_S^2$$

$$T_S = 170,8 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Resultados en Hysys



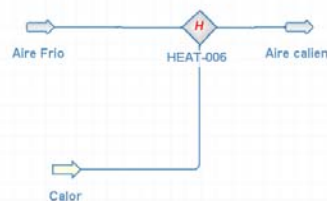
Aire frio		
Temperature	30.00	C
Pressure	1.000	atm
Molar Flow	4.000	kgmole/h

Calor		
Heat Flow	4000	kcal/h

Aire caliente		
Temperature	173.6	C
Pressure	1.000	atm
Molar Flow	4.000	kgmole/h

Resultados en dwsim:

Aire frio		
Aire Frio	Temperature	30 C
Aire Frio	Pressure	1 atm
Aire Frio	Mass Flow	115,403 kg/h
Aire Frio	Molar Flow	4 kmol/h
Aire Frio	Molar Fraction (Mixture) / Nitrogen	0,79
Aire Frio	Molar Fraction (Mixture) / Oxygen	0,21



Aire caliente		
Aire calien	Temperature	172,471 C
Aire calien	Pressure	1 atm
Aire calien	Mass Flow	115,403 kg/h
Aire calien	Molar Flow	4 kmol/h

Calor	Energy Flow	4000 kcal/h
-------	-------------	-------------

Enfoque generalizado:

Intercambiadores de calor

Aplicación del cambio de entalpía en corrientes.

A partir del Cp de la forma: $Cp = a + b \times t + c \times t^2$

Tomando Tr como temperatura de referencia, calculamos las entalpías:

$$\Delta H(t) = \int_{Tr}^t Cp \times dt = \int_{Tr}^t (a + b \times t + c \times t^2) dt$$

$$\Delta H(t) = \left[a \times t + \frac{b}{2} \times t^2 + \frac{c}{3} \times t^3 \right]_{Tr}^t = a \times (t - Tr) + \frac{b}{2} \times (t^2 - Tr^2) + \frac{c}{3} \times (t^3 - Tr^3)$$

$$\Delta H(t) = a \times t - a \times Tr + \frac{b}{2} \times t^2 - \frac{b}{2} \times Tr^2 + \frac{c}{3} \times t^3 - \frac{c}{3} \times Tr^3$$

$$\Delta H(t) = \left(-a \times Tr - \frac{b}{2} \times Tr^2 - \frac{c}{3} \times Tr^3 \right) + a \times t + \frac{b}{2} \times t^2 + \frac{c}{3} \times t^3$$

$$\Delta H(t) = A + B \times t + C \times t^2 + D \times t^3$$

$$A = - \left(\frac{a}{1} \times Tr + \frac{b}{2} \times Tr^2 + \frac{c}{3} \times Tr^3 \right)$$

Siendo:

$$B = \frac{a}{1}$$

$$C = \frac{b}{2}$$

$$D = \frac{c}{3}$$

De esta manera es fácil pasar de la tabla de Cp's a las de entalpías.

Volviendo al TP nº 1 y tomando 25 °C como temperatura de referencia:

Comp	x_i	$Cp_i \left[\frac{Kcal}{^\circ C \text{ Kmole}} \right] [^\circ C]$	$H_i(t) = \left[\frac{Kcal}{Kmol} \right]$
CH_4	x_1	$8,2 + 1,307 \times 10^{-2} \times t$	$-209,1 + 8,200 \times t + 6,535 \times 10^{-3} \times t^2$
C_2H_6	x_2	$11,8 + 3,326 \times 10^{-2} \times t$	$-305,4 + 11,80 \times t + 1,663 \times 10^{-2} \times t^2$
C_3H_8	x_3	$16,26 + 5,398 \times 10^{-2} \times t$	$-423,4 + 16,26 \times t + 2,699 \times 10^{-4} \times t^2$
N_2	x_4	$6,919 + 0,1360 \times 10^{-2} \times t$	$-173,4 + 6,919 \times t + 6,800 \times 10^{-4} \times t^2$
O_2	x_5	$7,129 + 0,1407 \times 10^{-2} \times t$	$-178,7 + 7,129 \times t + 7,035 \times 10^{-4} \times t^2$
Total	1,000		

Para el gas:

Comp	x_i	$H_i(t) = \left[\frac{Kcal}{Kmol} \right]$	$x_i \times H_i(t)$
CH_4	0,800	$-209,1 + 8,200 \times t + 6,535 \times 10^{-3} \times t^2$	$-167,3 + 6,560 \times t + 5,228 \times 10^{-3} \times t^2$
C_2H_6	0,150	$-305,4 + 11,80 \times t + 1,663 \times 10^{-2} \times t^2$	$-45,81 + 1,770 \times t + 2,495 \times 10^{-3} \times t^2$
C_3H_8	0,050	$-423,4 + 16,26 \times t + 2,699 \times 10^{-2} \times t^2$	$-21,17 + 0,8130 \times t + 1,350 \times 10^{-2} \times t^2$
N_2	0,000	$-173,4 + 6,919 \times t + 6,800 \times 10^{-4} \times t^2$	0
O_2	0,000	$-178,7 + 7,129 \times t + 7,035 \times 10^{-4} \times t^2$	0
Total	1,000		$-234,2 + 9,143 \times t + 9,072 \times 10^{-3} \times t^2$

Para el aire:

Comp	x_i	$H_i(t) = \left[\frac{Kcal}{Kmol} \right]$	$x_i \times H_i(t)$
CH_4	0,000	$-209,1 + 8,200 \times t + 6,535 \times 10^{-3} \times t^2$	0
C_2H_6	0,000	$-305,4 + 11,80 \times t + 1,663 \times 10^{-2} \times t^2$	0
C_3H_8	0,000	$-423,4 + 16,26 \times t + 2,699 \times 10^{-2} \times t^2$	0
N_2	0,790	$-173,4 + 6,919 \times t + 6,800 \times 10^{-4} \times t^2$	$-137,0 + 5,466 \times t + 5,372 \times 10^{-4} \times t^2$
O_2	0,210	$-178,7 + 7,129 \times t + 7,035 \times 10^{-4} \times t^2$	$-37,52 + 1,497 \times t + 1,477 \times 10^{-4} \times t^2$
Total	1,000		$-174,5 + 6,963 \times t + 6,849 \times 10^{-4} \times t^2$

Los flujos, composición y presión de salida son iguales a los de entrada y sólo la temperatura se modifica en ambos fluidos.

Tenemos un sistema de 4 ecuaciones independientes con 4 incógnitas (Q, t_s , $\Delta T \ln$ y UA).

$$Q = FC_e \times [HC_E(T_e) - HC_S(T_s)]$$

$$Q = FF_e \times [HF_S(t_s) - HF_e(t_e)]$$

$$Q = (UA) \times \Delta T \ln$$

$$\Delta T \ln = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Fluido caliente. Ingres a 100 °C y egresa a 40 °C. Habiendo calculado su PM y su flujo molar correspondiente, el calor que cede es:

$$Q = FC_e \times [HC_E(T_e) - HC_S(T_s)]$$

$$Q = 1,538 \left[\frac{Kmol}{hr} \right] \times [(-234,2 + 9,143 \times 100 + 9,072 \times 10^{-3} \times 100^2) - (-234,2 + 9,143 \times 40 + 9,072 \times 10^{-3} \times 40^2)]$$

$$Q = 1,538 \left[\frac{Kmol}{hr} \right] \times [(770,8) - (146,0)] \left[\frac{Kcal}{Kmol} \right] = 960,9 \left[\frac{Kcal}{Kmol} \right]$$

Fluido frío. Ingres a 20°C. Sabiendo su PM y su flujo molar, su balance de energía queda:

$$Q = 3,467 \left[\frac{Kmol}{hr} \right] \times [(-174,5 + 6,963 \times t_s + 6,849 \times 10^{-4} \times t_s^2) - (-174,5 + 6,963 \times 20 + 6,849 \times 10^{-4} \times 20^2)]$$

$$Q = 3,467 \times [(-174,5 + 6,963 \times t_s + 6,849 \times 10^{-4} \times t_s^2) - (-174,5 + 139,3 + 0,274)]$$

$$Q = 3,467 \times [-139,6 + 6,963 \times t_s + 6,849 \times 10^{-4} \times t_s^2]$$

$$960,9 = 3,467 \times [-139,6 + 6,963 \times t_s + 6,849 \times 10^{-4} \times t_s^2]$$

$$960,9 = -483,9 + 24,14 \times ts + 2,375 \times 10^{-3} \times ts^2$$
$$2,375 \times 10^{-3} \times ts^2 + 24,14 \times ts - 1445 = 0$$

$$ts = 59,51 [^{\circ}C]$$

$$\Delta T \ln = \frac{(100 - 59,51) - (40 - 20)}{\ln \frac{100 - 59,51}{40 - 20}} = 29,05 [^{\circ}C]$$

$$(UA) = \frac{960,9 \left[\frac{Kcal}{hr} \right]}{29,05 [^{\circ}C]} = 33,08 \left[\frac{Kcal}{hr \cdot ^{\circ}C} \right]$$

Problema Preliminar

Código EMSO

```
## Balance ##
```

```
using "types";
```

```
FlowSheet Calculo_entalpia
```

```
PARAMETERS
```

```
a(2) as Real;
```

```
b(2) as Real;
```

```
c(2) as Real;
```

```
Fe as Real;
```

```
x(2) as Real;
```

```
M(2) as Real;
```

```
VARIABLES
```

```
A as Real;
```

```
B as Real;
```

```
C as Real;
```

```
Te as Real;
```

```
Hae as Real;
```

```
Me as Real;
```

```
Ts as Real;
```

```
Has as Real;
```

```
Q as Real;
```

```
EQUATIONS
```

```
Te=30;
```

```
Me=x(1)*M(1)+x(2)*M(2);
```

```
A=x(1)*a(1)+x(2)*a(2);
```

```
B=x(1)*b(1)+x(2)*b(2);
```

```
C=x(1)*c(1)+x(2)*c(2);
```

```
Hae=A+B*Te+C*Te^2;
```

```
Has=A+B*Ts+C*Ts^2;
```

```
Q=Fe*(Has-Hae);
```

```
Q=4000;
```

```
SET
```

```
a(1)=-173.4;
```

```
b(1)=6.919;
```

```
c(1)=6.8e-4;
```

```
a(2)=-178.7;
```

```
b(2)=7.129;
```

```
c(2)=7.035e-4;
```

```
x(1)=0.79;
```

x(2)=0.21;

M(1)=28;

M(2)=32;

Fe= 4;

INITIAL

GUESS

OPTIONS

TimeStart=0;

TimeEnd=100;

TimeStep=1;

TimeUnit='h';

DAESolver(File="dassl");

Dynamic=false;

End

Resultados:

Variable	Valor
a(1)	-173,4000
a(2)	-178,7000
b(1)	6,9190
b(2)	7,1290
c(1)	0,0007
c(2)	0,0007
Fe	4,0000
x(1)	0,7900
x(2)	0,2100
M(1)	28,0000

Variable	Valor
M(2)	32,0000
A	-174,5130
B	6,9631
C	0,0007
Te	30,0000
Hae	34,9964
Me	28,8400
Ts	170,8320
Has	1035,0000
Q	4000,0000

Trabajo Práctico nº 1:

Código EMSO

**** Balance ****

using "types";

FlowSheet Calculo_entalpia

PARAMETERS

a(5) as Real;
b(5) as Real;
c(5) as Real;
FmG as Real;
FmA as Real;
xG(5) as Real;
xA(5) as Real;
M(5) as Real;

VARIABLES

GAS

FG as Real;
AG as Real;
BG as Real;
CG as Real;

TGe as Real;
HGe as Real;
TGs as Real;
HGs as Real;

MG as Real;

AIRE

FA as Real;
AA as Real;
BA as Real;
CA as Real;

MA as Real;
TAe as Real;
HAe as Real;
TAs as Real;
HAs as Real;

Q as Real;
DTIn as positive;
UA as positive;

EQUATIONS

GAS

TGe=100;
TGs=40;
MG=xG(1)*M(1)+xG(2)*M(2)+xG(3)*M(3)+xG(4)*M(4)+xG(5)*M(5);

$AG=xG(1)*a(1)+xG(2)*a(2)+xG(3)*a(3)+xG(4)*a(4)+xG(5)*a(5);$
 $BG=xG(1)*b(1)+xG(2)*b(2)+xG(3)*b(3)+xG(4)*b(4)+xG(5)*b(5);$
 $CG=xG(1)*c(1)+xG(2)*c(2)+xG(3)*c(3)+xG(4)*c(4)+xG(5)*c(5);$

$HGe=AG+BG*TGe+CG*TGe^2;$
 $HGs=AG+BG*TGs+CG*TGs^2;$
 $FG=FmG/MG;$

AIRE

$T Ae = 20;$
 $MA=xA(1)*M(1)+xA(2)*M(2)+xA(3)*M(3)+xA(4)*M(4)+xA(5)*M(5);$

$AA=xA(1)*a(1)+xA(2)*a(2)+xA(3)*a(3)+xA(4)*a(4)+xA(5)*a(5);$
 $BA=xA(1)*b(1)+xA(2)*b(2)+xA(3)*b(3)+xA(4)*b(4)+xA(5)*b(5);$
 $CA=xA(1)*c(1)+xA(2)*c(2)+xA(3)*c(3)+xA(4)*c(4)+xA(5)*c(5);$

$H Ae = AA+BA*T Ae + CA*T Ae^2;$
 $H As = AA+BA*T As + CA*T As^2;$
 $FA=FmA/MA;$

Balances

$Q=FG*(HGe-HGs);$
 $Q=FA*(HAs-HAe);$
 $DTln=((TGe-TAs)-(TGs-TAe))/ln((TGe-TAs)/(TGs-TAe));$
 $Q=UA*DTln;$

SET

$a(1)=-209.1;$
 $b(1)=8.2;$
 $c(1)=6.535e-3;$

$a(2)=-305.4;$
 $b(2)=11.80;$
 $c(2)=1.663e-2;$

$a(3)=-423.4;$
 $b(3)=16.26;$
 $c(3)=2.699e-2;$

$a(4)=-173.4;$
 $b(4)=6.919;$
 $c(4)=6.8e-4;$

$a(5)=-177.7;$
 $b(5)=7.129;$
 $c(5)=7.035e-4;$

$xG(1)=0.80;$
 $xG(2)=0.15;$
 $xG(3)=0.05;$
 $xG(4)=0.00;$
 $xG(5)=0.00;$

xA(1)=0.00;
 xA(2)=0.00;
 xA(3)=0.00;
 xA(4)=0.79;
 xA(5)=0.21;

M(1)=16;
 M(2)=30;
 M(3)=44;
 M(4)=28;
 M(5)=32;

FmG=30;
 FmA=100;

INITIAL

GUESS

OPTIONS

TimeStart=0;
 TimeEnd=100;
 TimeStep=1;
 TimeUnit='h';
 DAEsolver(File="dassl");
 Dynamic=false;

end

Resultados

Variable	Valor
a(1)	-209,1000
a(2)	-305,4000
a(3)	-423,4000
a(4)	-173,4000
a(5)	-177,7000
b(1)	8,2000
b(2)	11,8000
b(3)	16,2600
b(4)	6,9190
b(5)	7,1290
c(1)	0,0065
c(2)	0,0166
c(3)	0,0270
c(4)	0,0007
c(5)	0,0007
FmG	30,0000
FmA	100,0000
xG(1)	0,8000
xG(2)	0,1500

Variable	Valor
M(1)	16,0000
M(2)	30,0000
M(3)	44,0000
M(4)	28,0000
M(5)	32,0000
FG	1,5385
AG	-234,2600
BG	9,1430
CG	0,0091
TGe	100,0000
HGe	770,7600
TGs	40,0000
HGs	145,9750
MG	19,5000
FA	3,4674
AA	-174,3030
BA	6,9631
CA	0,0007
MA	28,8400

Variable	Valor
xG(3)	0,0500
xG(4)	0,0000
xG(5)	0,0000
xA(1)	0,0000
xA(2)	0,0000
xA(3)	0,0000
xA(4)	0,7900
xA(5)	0,2100

Variable	Valor
TAe	20,0000
HAe	-34,7670
TAs	59,5027
HAs	242,4450
Q	961,2070
DTIn	29,0535
UA	33,0841