DSOySP

Modelado de Equipos de una Planta según la Filosofía Modular Secuencial. Ejemplo de aplicación I.

2024

Profesor: Dr. Nicolás J. Scenna
Profesor: Dr. Néstor H. Rodríguez
JTP: Dr. Juan I. Manassaldi

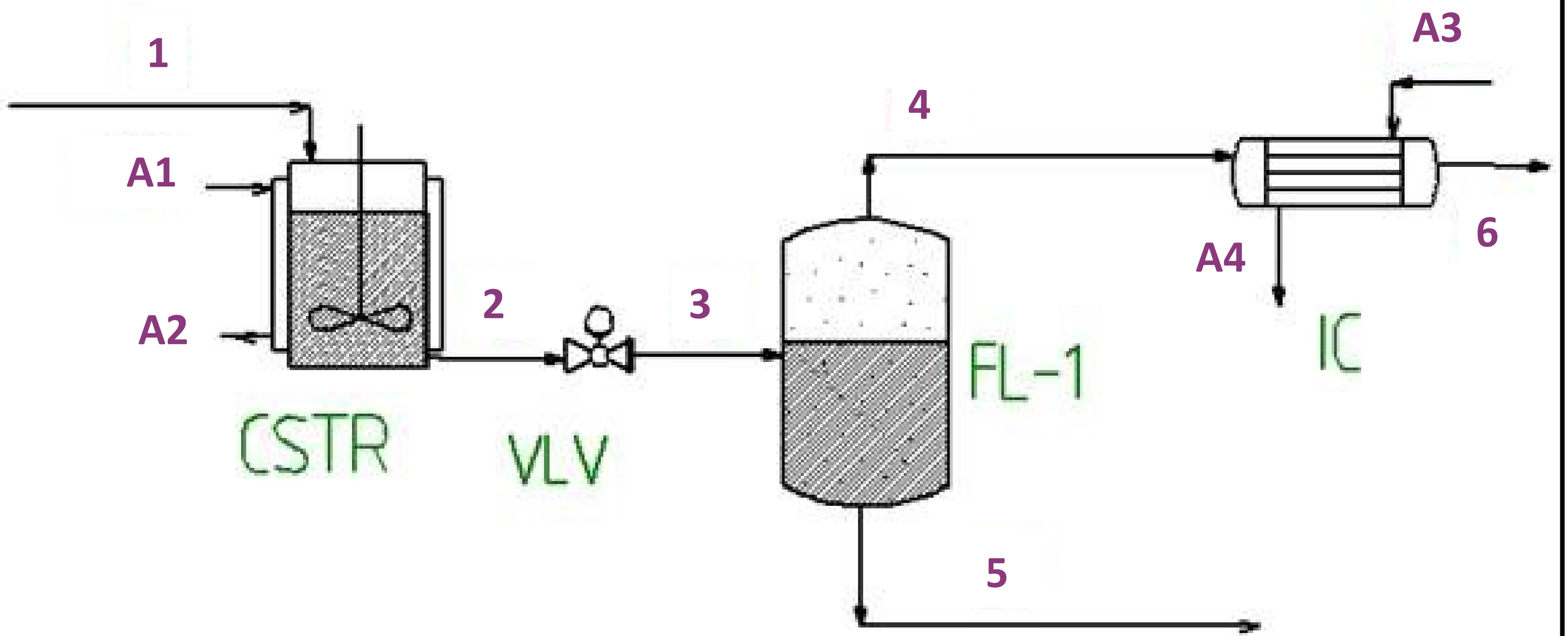
Introducción

Sea el proceso cuyo diagrama de flujo se presenta en la figura. Plantear un modelo en **estado estacionario** que lo represente y proponer una estrategia para su resolución determinando el conjunto mínimo de corrientes de corte y su orden de resolución (no es necesario aplicar algún algoritmo de particionado, rasgado y ordenamiento). Adoptar una estrategia modular secuencial y asumir el perfil de presiones conocido.

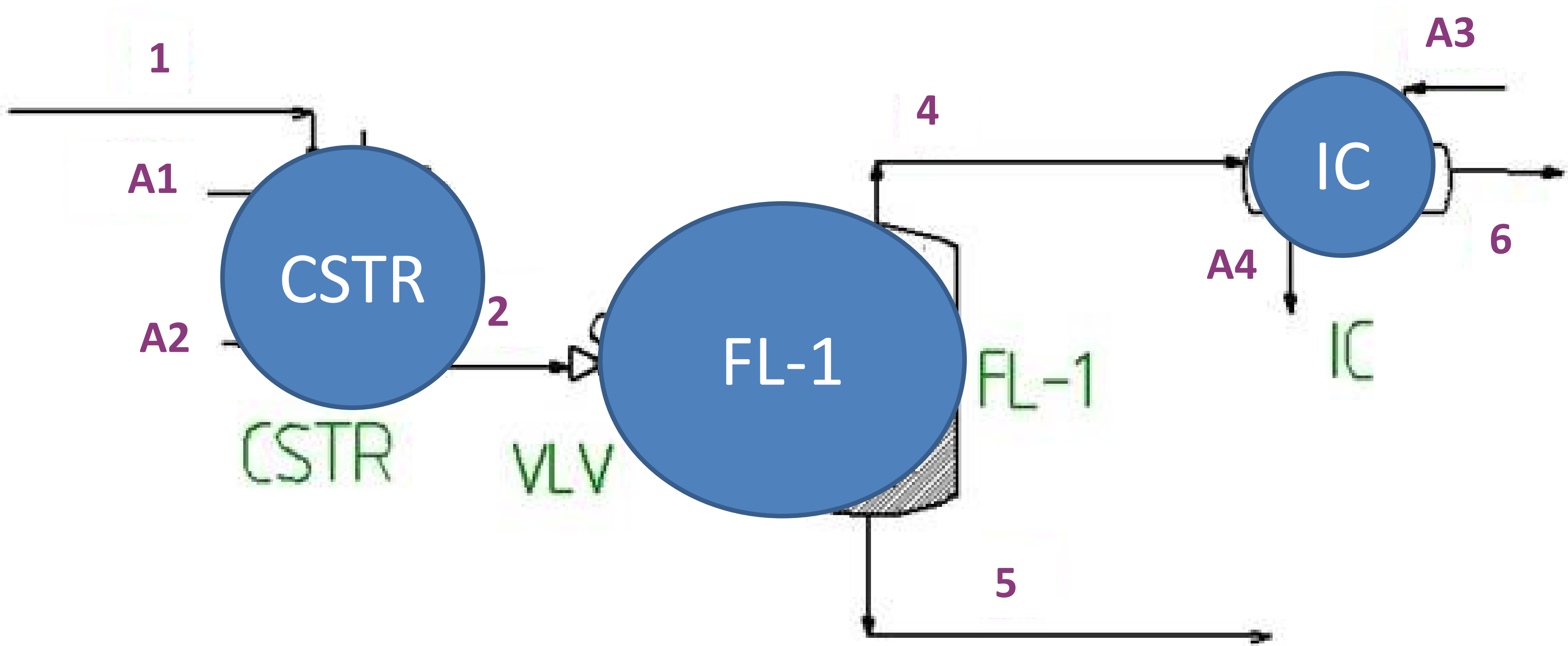
Lineamientos generales

- Presentar de manera clara el conjunto de ecuaciones y variables que representan a cada equipo asumiendo la filosofía modular secuencial.
- Proponer una estrategia de resolución para cada equipo identificando claramente cuáles son las variables que se obtienen en cada paso y a partir de que ecuaciones se las obtiene. De ser necesario definir los criterios de tolerancia y variables de corte seleccionadas.
- Presentar el DFI del proceso y la estrategia de resolución general referenciando los módulos de cálculo antes definidos (equipos individuales).
- En alguna/s corriente/s se puede recurrir a la resolución de un flash hipotético, no es necesario presentar su secuencia de resolución.

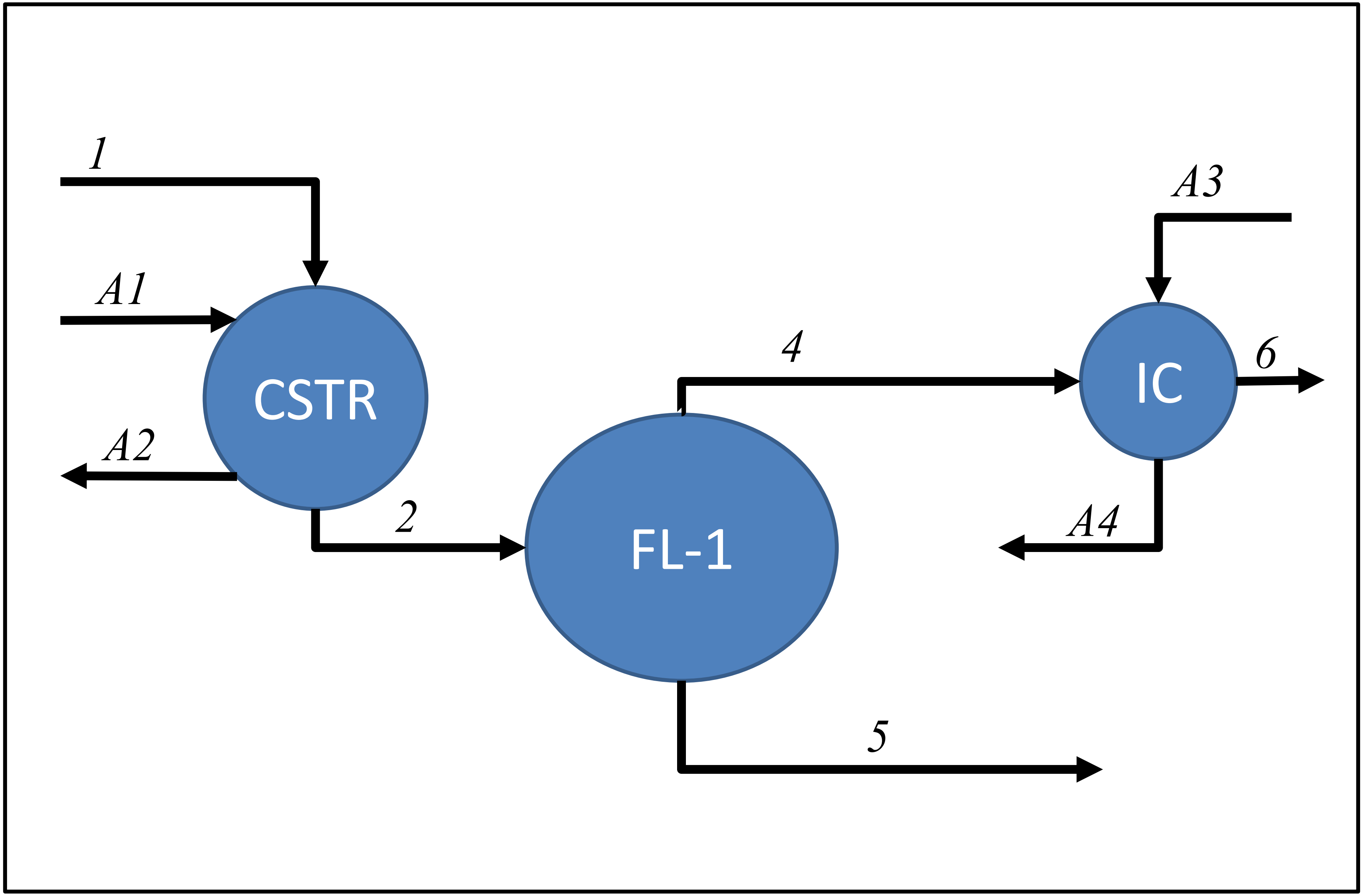
Flowsheet



Flowsheet



DFI

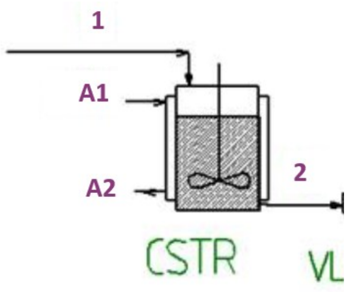


Reactor

Hipótesis:

$$A \rightarrow B + C$$

$$r_D = Ae^{\left(-\frac{E}{RT}\right)} x_A$$



- Reacción exotérmica
- Reactor Mezcla completa.
- Camisa de refrigeración mezcla completa.
- Cinética conocida (función tipo Arrhenius).
- Hold up de vapor despreciable.
- Evaporación del líquido despreciable.
- Presión en el cuerpo de vapor del reactor es conocida.
- UA es el necesario.
- Tanque cilíndrico de área A_T.
- Caída de presión a través de la camisa nula
- Fluido de la camisa compuesto puro (agua).
- La temperatura de operación del reactor es conocida.

Ecuaciones del Reactor (MS)

$$m_1\, x_{1,i} + r_i V_R - m_2\, x_{2,i} = 0 \qquad i = A, B, C$$

$$r_A = -Ae^{\left(-\frac{E}{RT_2}\right)} x_{2,A} \qquad r_B = Ae^{\left(-\frac{E}{RT_2}\right)} x_{2,A} \qquad r_C = Ae^{\left(-\frac{E}{RT_2}\right)} x_{2,A}$$

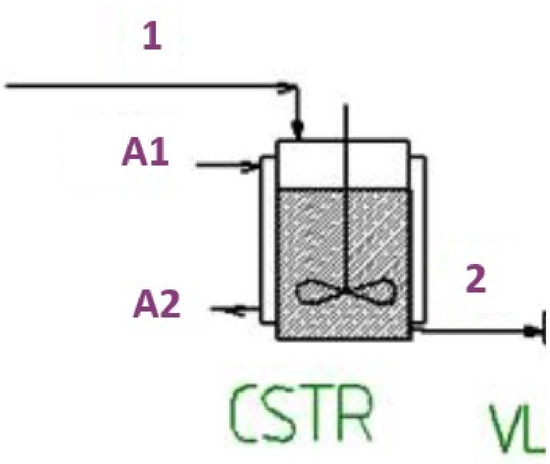
$$x_{2,A} + x_{2,B} + x_{2,C} = 1$$

$$m_1\, H_1 - Q_R - m_2\, H_2 = 0$$

$$f\left(T_2, P_2, H_2, x_2\right) = 0$$

$r_i \;\; V_R \;\; m_2 \;\; x_{2,i}$

$H_2 \;\; T_2 \;\; P_2 \;\; Q_R$



Variables: 12

Ecuaciones: 9

Ecuaciones de la camisa (MS)

$$m_{A1} - m_{A2} = 0$$

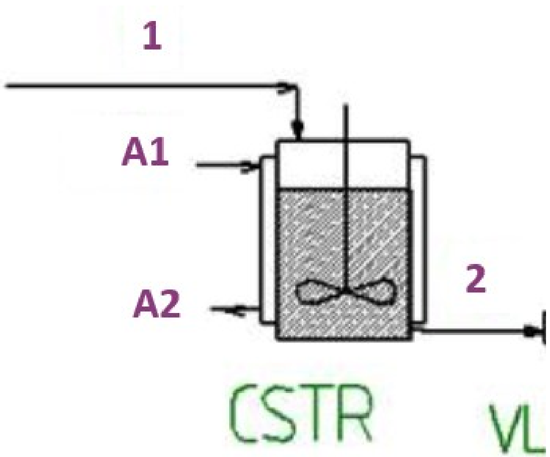
$$m_{A1} H_{A1} + Q_R - m_{A2} H_{A2} = 0$$

$$f\left(T_{A2}, P_{A2}, H_{A2}\right) = 0$$

$$Q_R = (UA)_R \left(T_2 - T_{A2}\right)$$

$$m_{A2} \quad T_{A2} \quad P_{A2} \quad H_{A2}$$

$$(UA)_R$$

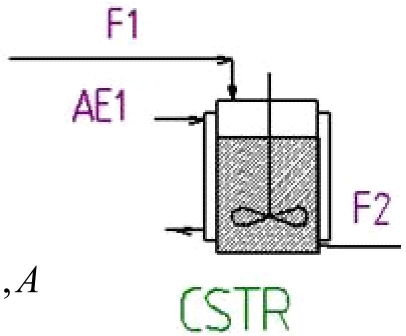


Variables: 5

Ecuaciones: 4

Reactor refrigerado con agua (MS)

$$m_1\, x_{1,i} + r_i V_R - m_2\, x_{2,i} = 0 \qquad i = A, B, C$$



$$r_A = -Ae^{\left(-\frac{E}{RT_2}\right)} x_{2,A} \quad r_B = Ae^{\left(-\frac{E}{RT_2}\right)} x_{2,A} \quad r_C = Ae^{\left(-\frac{E}{RT_2}\right)} x_{2,A}$$

$$x_{2,A} + x_{2,B} + x_{2,C} = 1$$

$$m_1\, H_1 - Q_R - m_2\, H_2 = 0$$

$$f\left(T_2, P_2, H_2, x_2\right) = 0$$

$$m_{A1} - m_{A2} = 0$$

$$m_{A1}\, H_{A1} + Q_R - m_{A2}\, H_{A2} = 0$$

$$f\left(T_{A2}, P_{A2}, H_{A2}\right) = 0 \qquad Q_R = (UA)_R \left(T_2 - T_{A2}\right) = 0$$

r_i V_R m_2 $x_{2,i}$

H_2 T_2 P_2 Q_R

m_{A2} T_{A2} P_{A2} H_{A2}

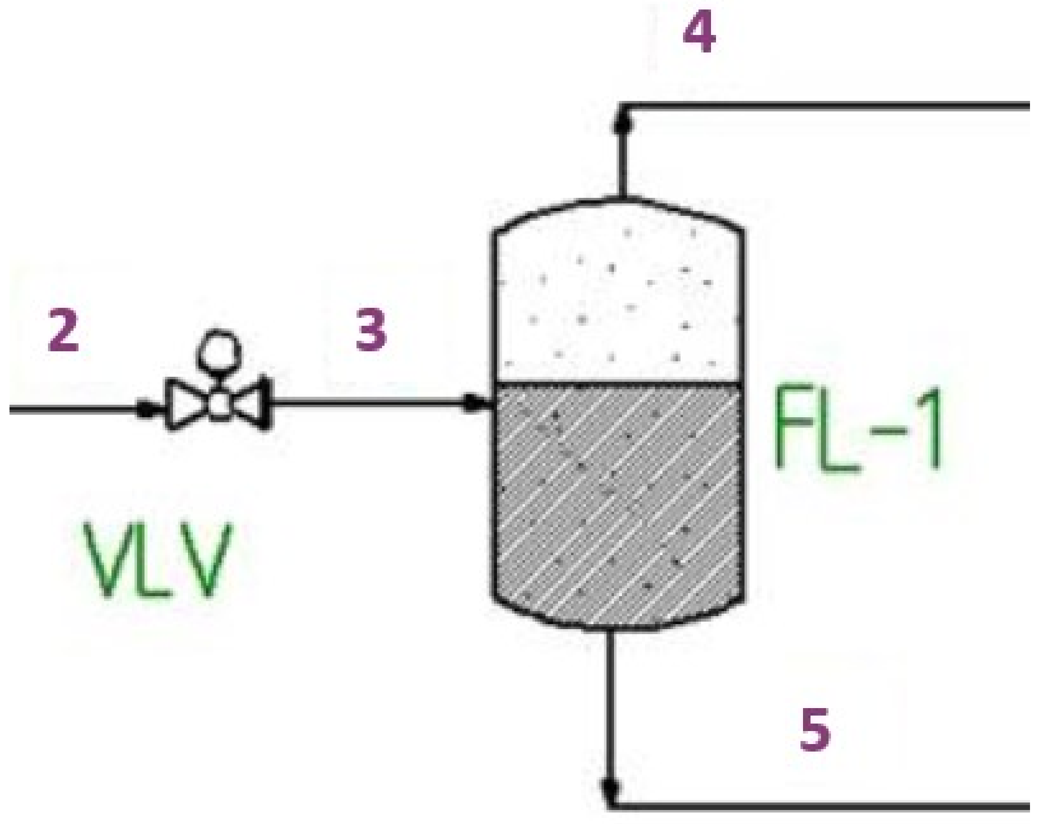
$(UA)_R$

Variables: 17

Ecuaciones: 13

GL: 4

FLASH



Flash

Hipótesis:

- El vapor y líquido tienen el tiempo de contacto suficiente para lograr equilibrio (no se tienen en cuenta los parámetros geométricos).
- La presión de líquido y vapor son las del tambor separador ($\Delta P = 0$).
- Existe sólo una fase líquida y vapor (L-V).
- No existen reacciones químicas.
- Puede considerarse equilibrio ideal.
- La presión de operación del equipo es conocida.
- El equipo no intercambia calor con el medio

Flash Adiabático (MS)

$$m_2\, z_i - m_4\, y_i - m_5\, x_i = 0 \qquad \forall i$$

$$\sum_i y_i = 1 \qquad \sum_i x_i = 1$$

$$m_2 H_2 - m_4 H_4 - m_5 H_5 = 0$$ ¡Adiabático!

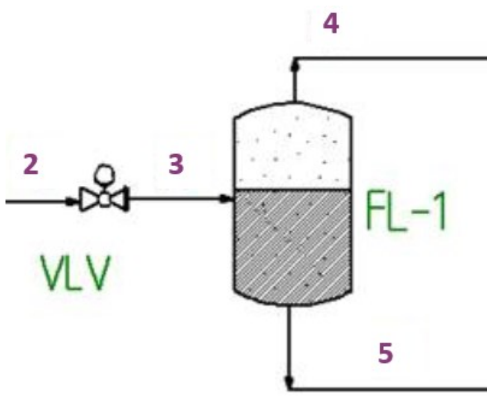
$$y_i = K_i x_i \qquad \forall i$$

$$H_4 = f\left(T_{FL}, P_{FL}, y\right)$$

$$H_5 = f\left(T_{FL}, P_{FL}, x\right)$$

$$K_i = f\left(T_{FL}, P_{FL}\right) \quad \forall i$$

¡Ideal!



$$m_4 \quad y_i \quad H_4$$

$$m_5 \quad x_i \quad H_5$$

$$K_i \quad T_{FL} \quad P_{FL}$$

aclaración

$$z_i \equiv x_{2,i}$$

$$y_i \equiv x_{4,i}$$

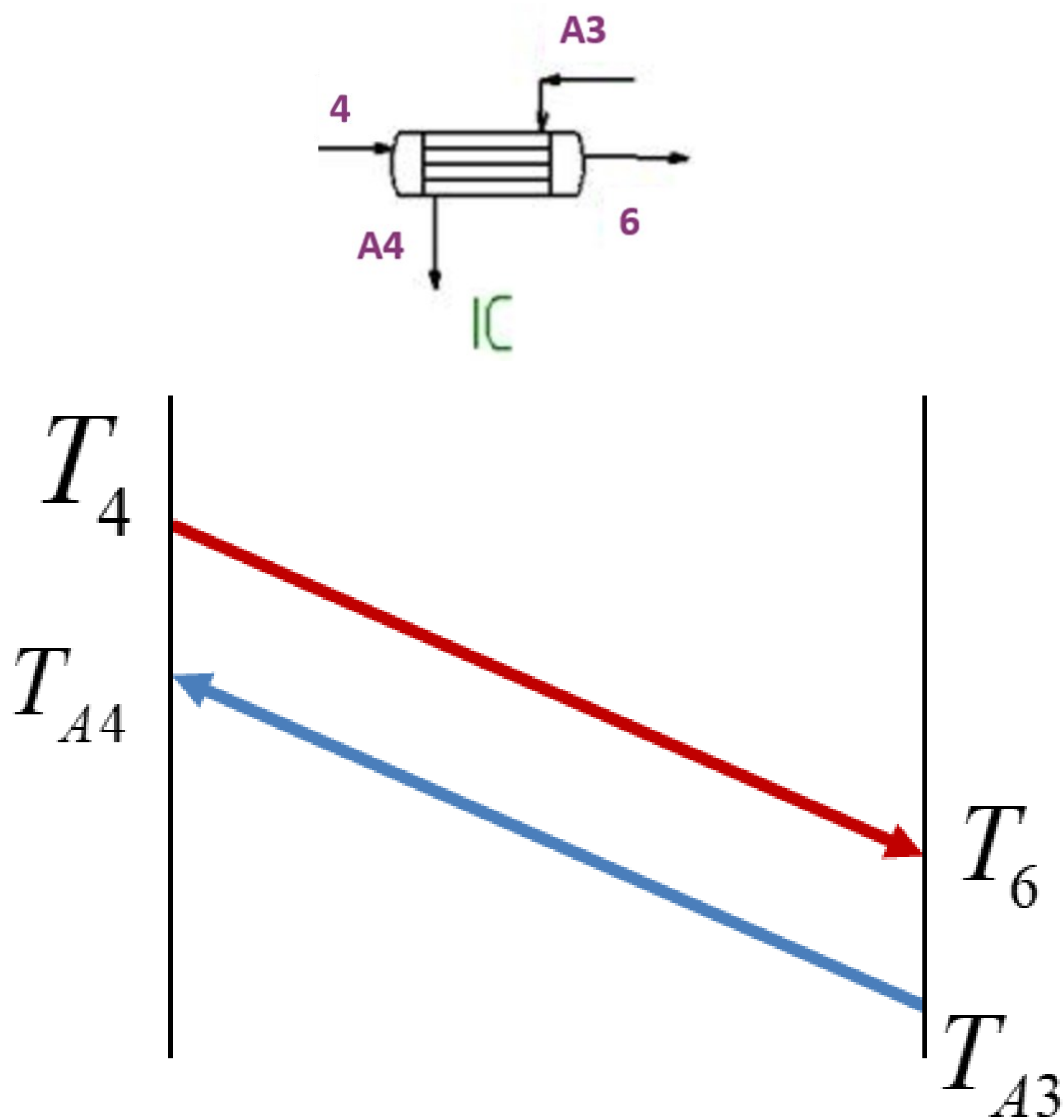
$$x_i \equiv x_{5,i}$$

Variables: 15

Ecuaciones: 14

GL: 1

Condensador Total



Condensador

Hipótesis:

- Tipo tubo y coraza
- Las corrientes operan a contracorriente.
- El (UA) tiene el valor justo para logar la condensación total del vapor.
- El vapor proveniente del flash sale como liquido saturado (punto de burbuja).
- No existen reacciones químicas.
- Se desprecian las caídas de presión.

Condensador (MS)

$$m_4\, x_{4,i} - m_6\, x_{6,i} = 0 \qquad i = A, B, C$$

$$x_{6,A} + x_{6,B} + x_{6,C} = 1$$

$$Q_{IC} = m_4\, H_4 - m_6\, H_6$$

$$m_{A3} - m_{A4} = 0$$

$$Q_{IC} = m_{A4}\, H_{A4} - m_{A3}\, H_{A3}$$

$$Q_{IC} = (UA)_{IC}\, \Delta t_{IC}$$

$$\Delta t_{IC} = \frac{(T_4 - T_{A4}) - (T_6 - T_{A3})}{Ln \dfrac{(T_4 - T_{A4})}{(T_6 - T_{A3})}}$$

$$f(T_6, P_6, x_6, H_6) = 0 \quad f(T_{A4}, P_{A4}, H_{A4}) = 0$$

¡Saturado!

$$m_6\, x_{6,i}\, T_6\, P_6\, H_6$$

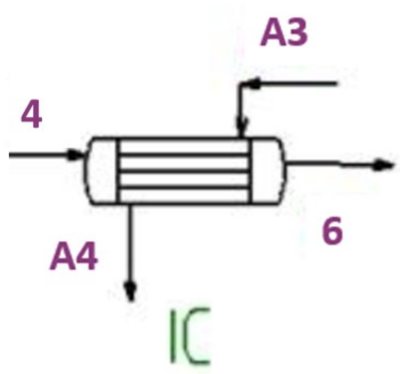
$$m_{A4}\, T_{A4}\, P_{A4}\, H_{A4}$$

$$(UA)_{IC}\quad \Delta t_{IC}\quad Q_{IC}$$

Variables: 14

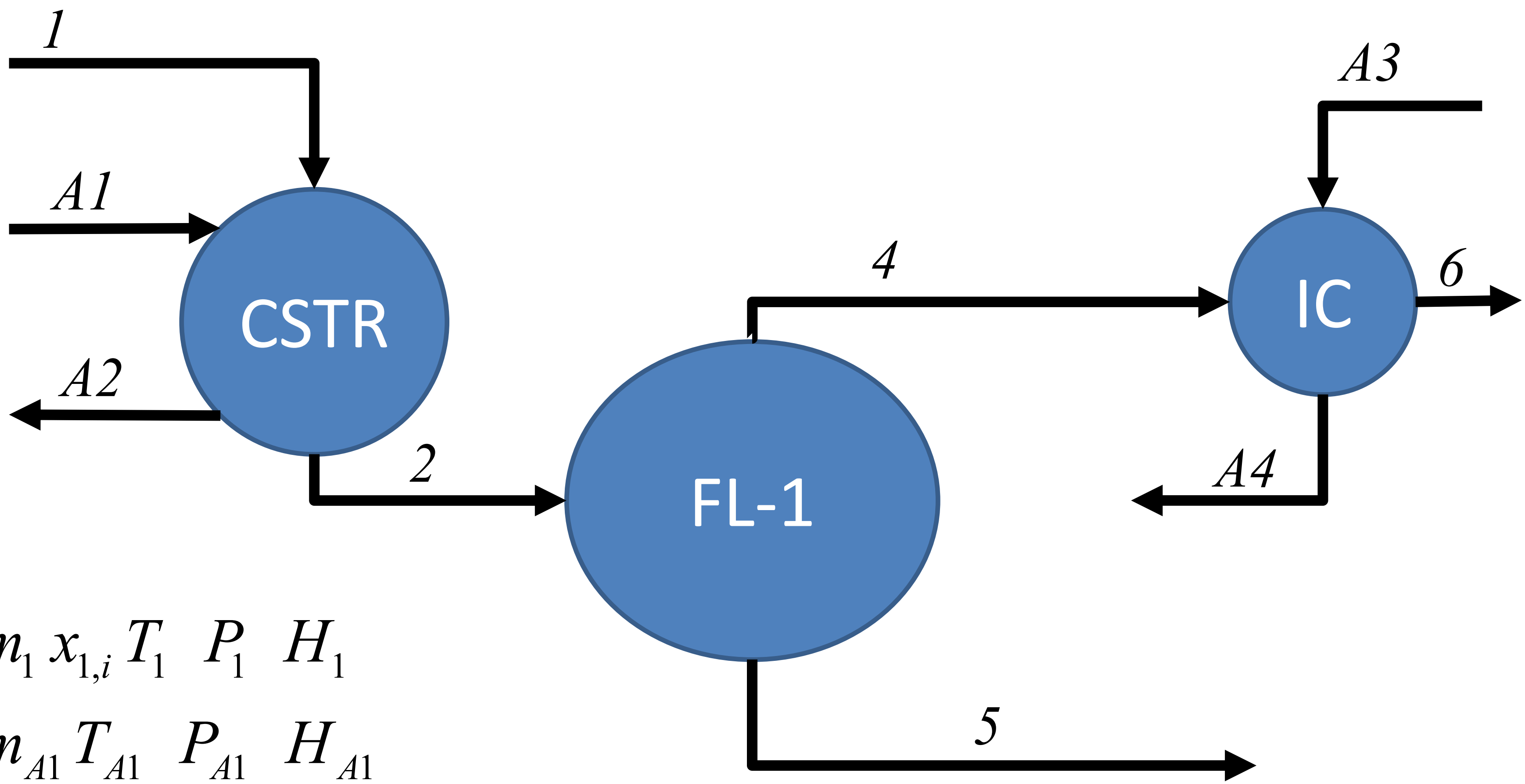
Ecuaciones: 11

GL: 3



Orden de resolución

1- Se especifican las entradas al proceso.



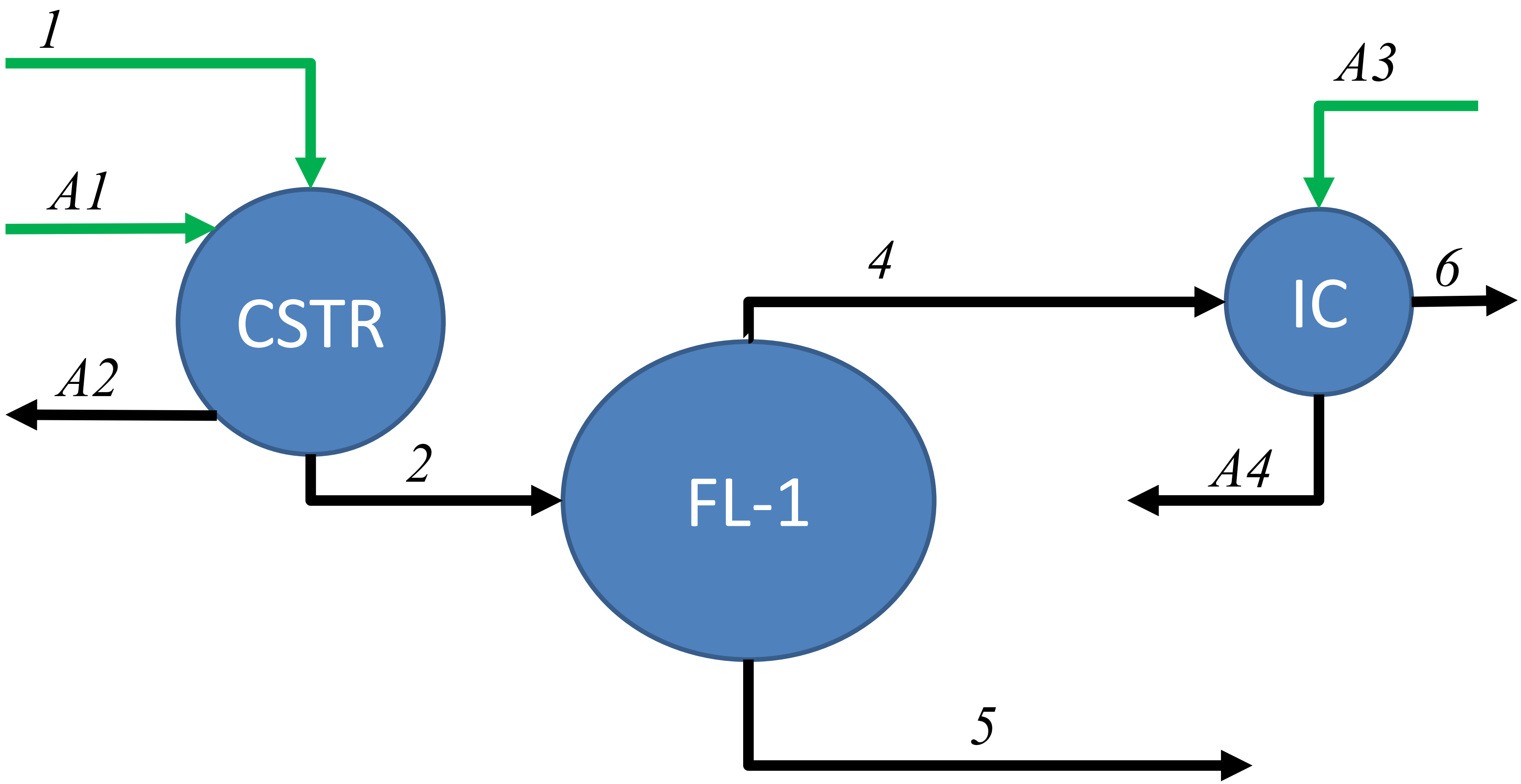
$m_1 \; x_{1,i} \; T_1 \quad P_1 \quad H_1$

$m_{A1} \; T_{A1} \quad P_{A1} \quad H_{A1}$

$m_{A3} \; T_{A3} \quad P_{A3} \quad H_{A3}$ **Se conocen algunas y se calcula el resto**

Orden de resolución

2- Se resuelve el reactor y quedan especificadas las corrientes 2 y A2.



Resolución del Reactor CSTR

Se resuelve el reactor a la temperatura de operación (proponer una estrategia) y obtenemos las siguientes variables **(PLANTEAR)**:

$$r_i \;\; m_2 \;\; x_{2,i} \; H_2 \;\; Q_R$$

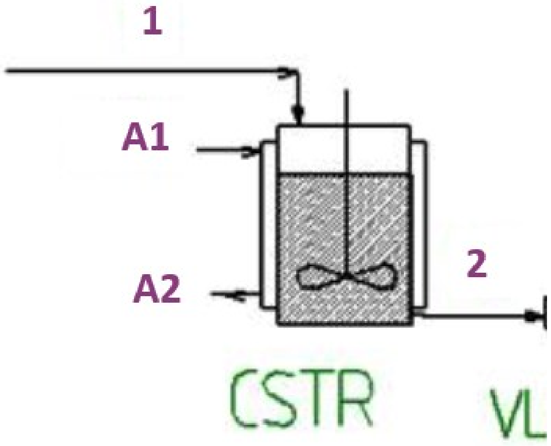
A partir del QR del reactor se resuelve la camisa de refrigeración.

$$m_{A2} = m_{A1}$$

$$H_{A2} = \frac{m_{A1} H_{A1} + Q_R}{m_{A2}}$$

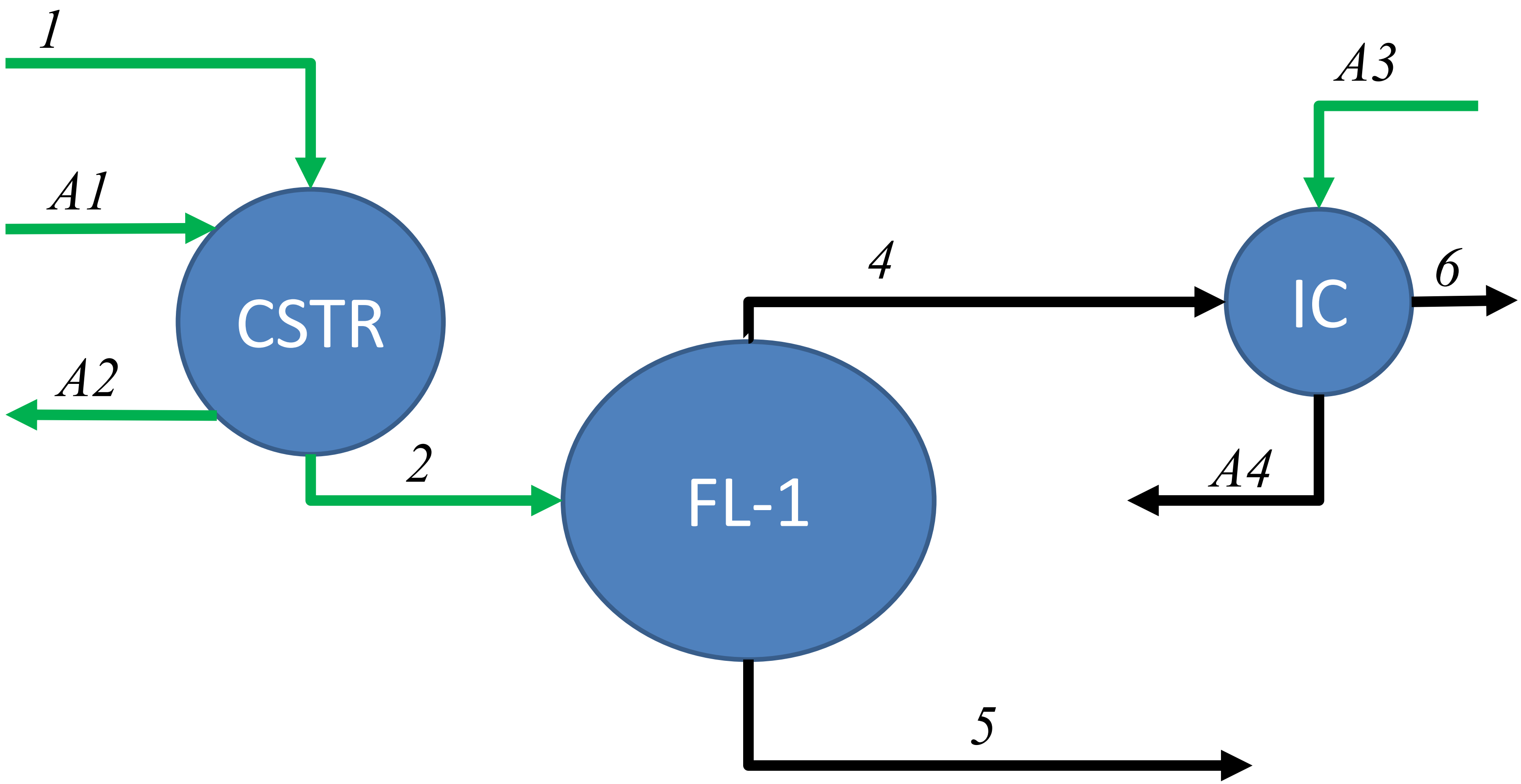
$$f\left(T_{A2}, P_{A2}, H_{A2}\right) = 0 \rightarrow T_{A2}$$ Fase líquida

$$\left(UA\right)_R = \frac{Q_R}{\left(T_2 - T_{A2}\right)}$$



Orden de resolución

3- Se resuelve el flash y quedan especificadas las corrientes 4 y 5.



Flash Adiabático (Resolución)

$$K_i = f_{ideal}\left(T_{FL}^*, P_{FL}\right) \qquad \forall i$$ T*

$$\sum_i \frac{\left(K_i - 1\right) z_i}{\theta\left(K_i - 1\right) + 1} = 0 \qquad \rightarrow \theta$$ (método iterativo)

$$x_i = \frac{z_i}{\theta\left(K_i - 1\right) + 1}$$

$$y_i = K_i x_i \qquad \forall i$$

$$H_5 = f\left(T_{FL}^*, P_{FL}, x\right)$$

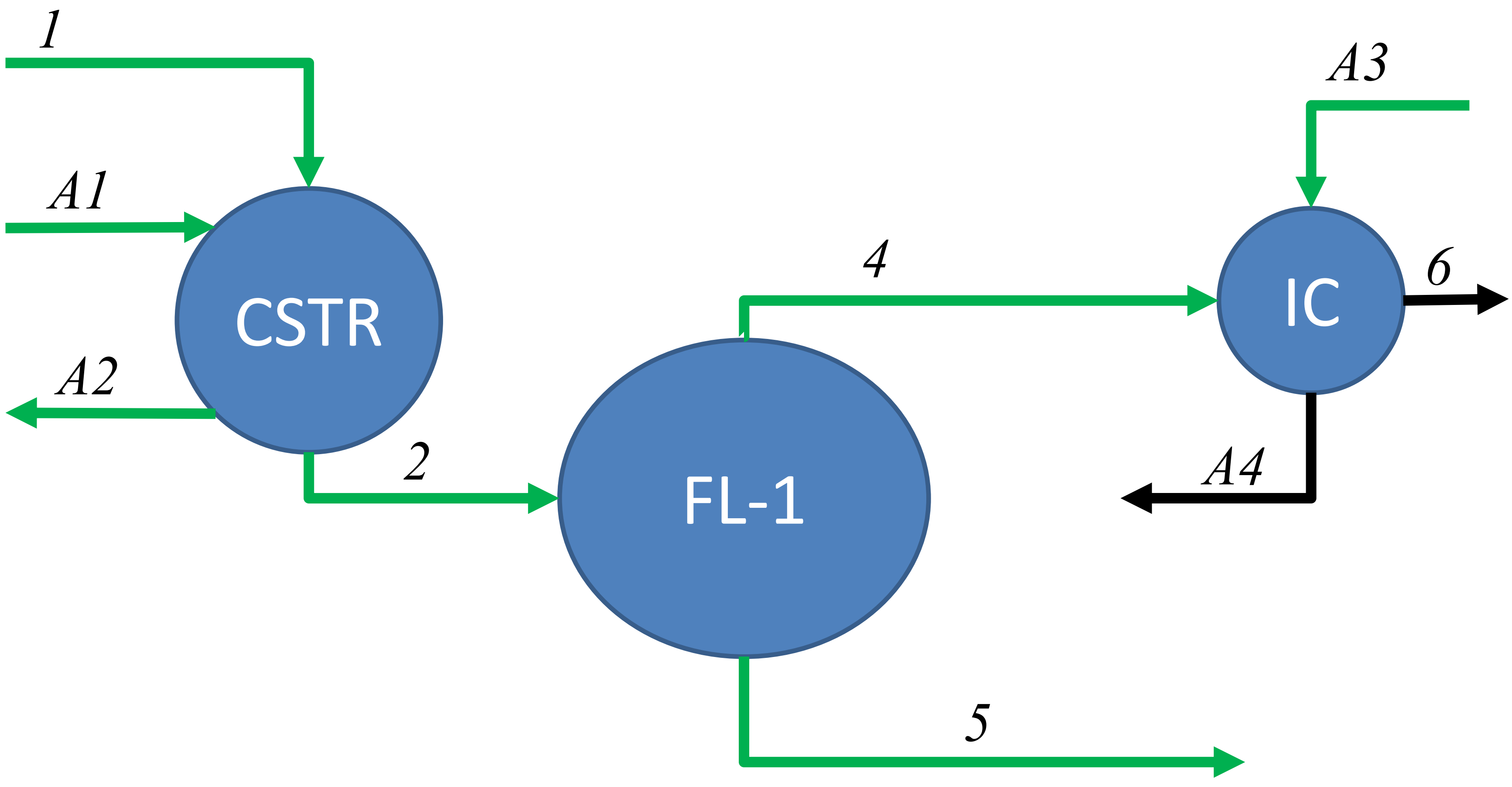
$$H_4 = f\left(T_{FL}^*, P_{FL}, y\right)$$

$$\left\| 1 - \theta \frac{H_4}{H_2} - \left(1 - \theta\right) \frac{H_5}{H_2} \right\| \le tol$$ Propongo un nuevo T*

Aclarar de donde o proponer otra secuencia

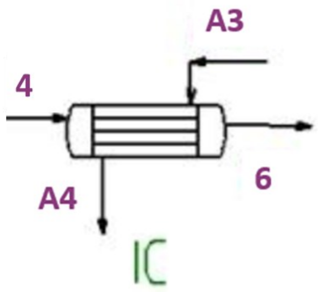
Orden de resolución

4- Se resuelve condensador y quedan especificadas las corrientes A4 y 6.



Condensador (Resolución)

El balance de materia es de simple resolución



$$m_{A4} = m_{A3}$$

$$m_6 = m_4$$

$$x_{6,i} = x_{4,i} \qquad i = A, B, C$$

De las condiciones de salida: $FLASH\left(P_6, \theta_6 = 0, x_6\right) \rightarrow T_6 \ y \ H_6$

Del balance de energía obtenemos el calor intercambiado

$$Q_{IC} = m_4 \, H_4 - m_6 \, H_6$$

Obtenemos la temperatura de salida del agua de enfriamiento

$$H_{A4} = \left(m_{A3} \, H_{A3} - Q_{IC}\right) / m_{A4} \qquad f\left(T_{A4}, P_{A4}, H_{A4}\right) = 0 \rightarrow T_{A4}$$ Fase líquida

Condensador (Resolución)

Finalmente, obtenemos la diferencia de temperatura media logarítmica y el UA necesario

$$\Delta t_{IC} = \frac{\left(T_4 - T_{A4}\right) - \left(T_6 - T_{A3}\right)}{Ln \frac{\left(T_4 - T_{A4}\right)}{\left(T_6 - T_{A3}\right)}}$$

$$\left(UA\right)_{IC} = \frac{\Delta t_{IC}}{Q_{IC}}$$