

DSOySP

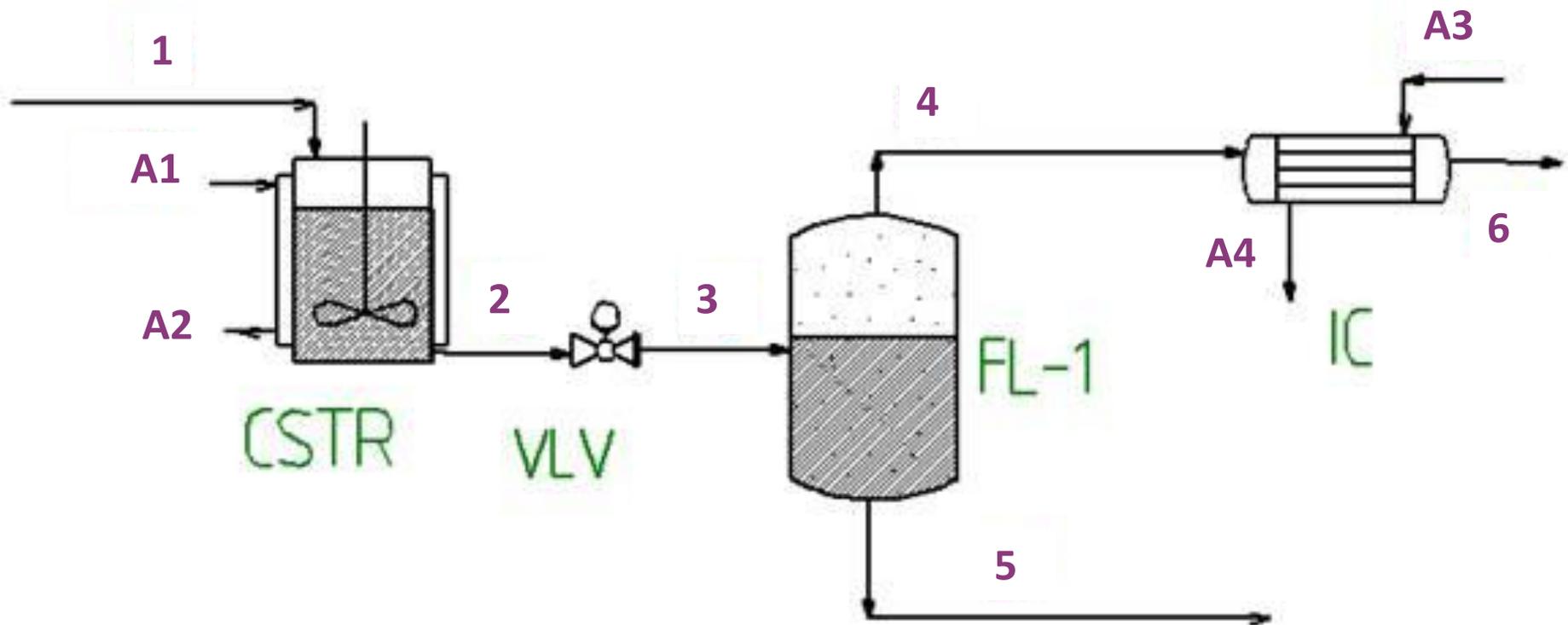
Modelado de Equipos de una Planta
según la Filosofía Modular Secuencial.
Ejemplo de aplicación I.

2025

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

Flowsheet

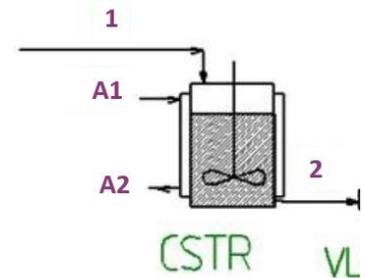
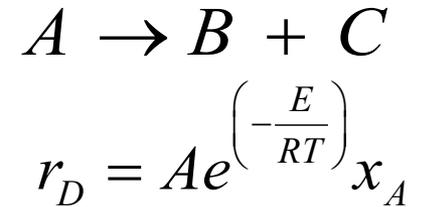
Dado el proceso representado en el diagrama de flujo de la figura, el conjunto de hipótesis de los equipos involucrados y sus correspondientes modelos matemáticos, realizar las actividades propuestas.



Reactor

Hipótesis:

- 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)

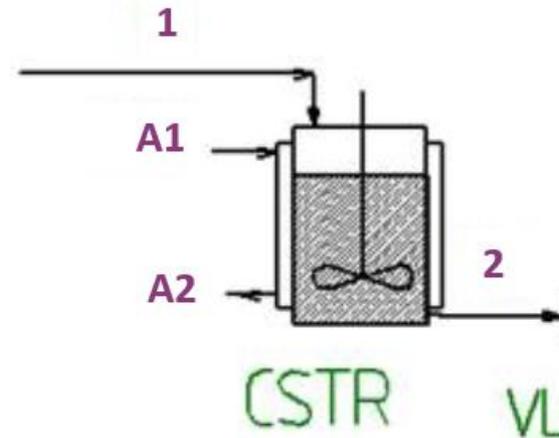
$$m_1 x_{1,i} + r_i V_R - m_2 x_{2,i} = 0 \quad i = A, B, C$$

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

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

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

$$f(T_2, P_2, H_2, x_2) = 0$$



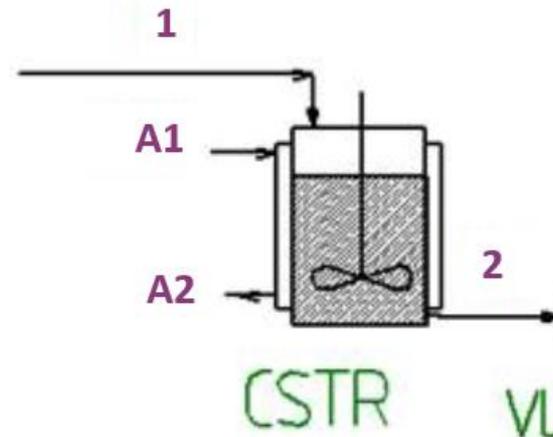
Ecuaciones de la camisa (MS)

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

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

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

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



Reactor refrigerado con agua (MS)

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

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

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

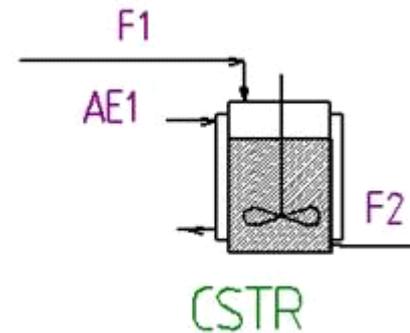
$$m_1 H_1 - Q_R - m_2 H_2 = 0$$

$$f(T_2, P_2, H_2, x_2) = 0$$

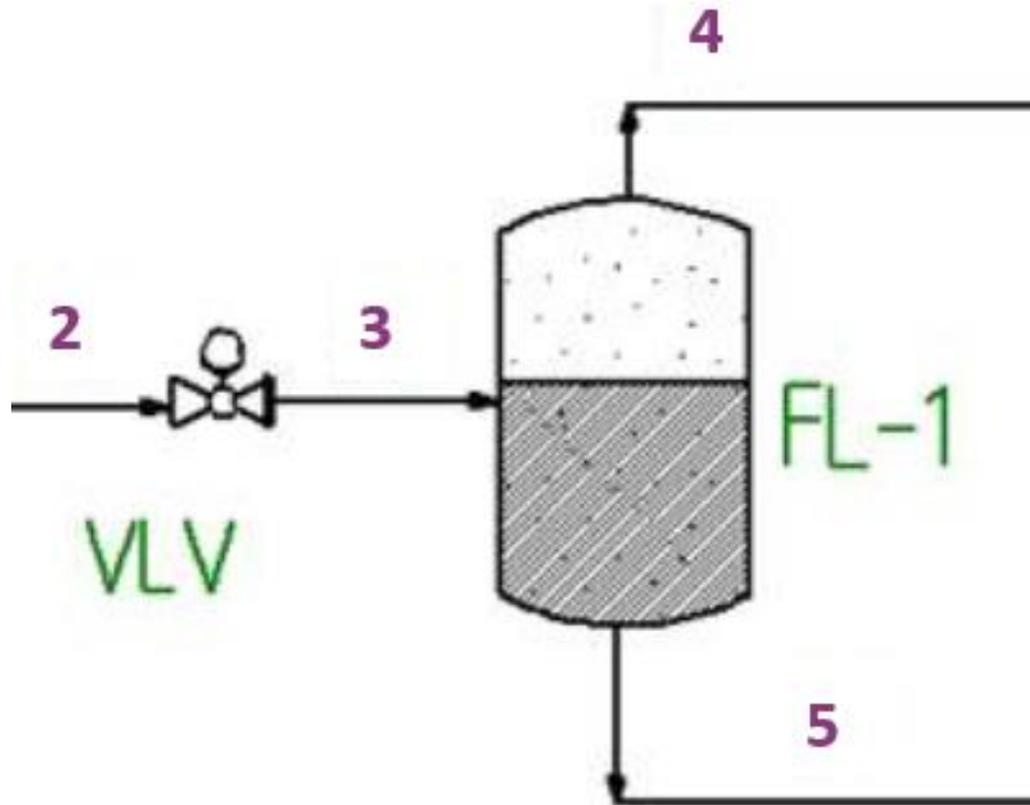
$$m_{A1} - m_{A2} = 0$$

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

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



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)

$$m_2 x_{2,i} - m_4 x_{4,i} - m_5 x_{5,i} = 0 \quad \forall i$$

$$\sum_i x_{4,i} = 1 \quad \sum_i x_{5,i} = 1$$

$$m_2 H_2 - m_4 H_4 - m_5 H_5 = 0 \quad \text{iAdiabático!}$$

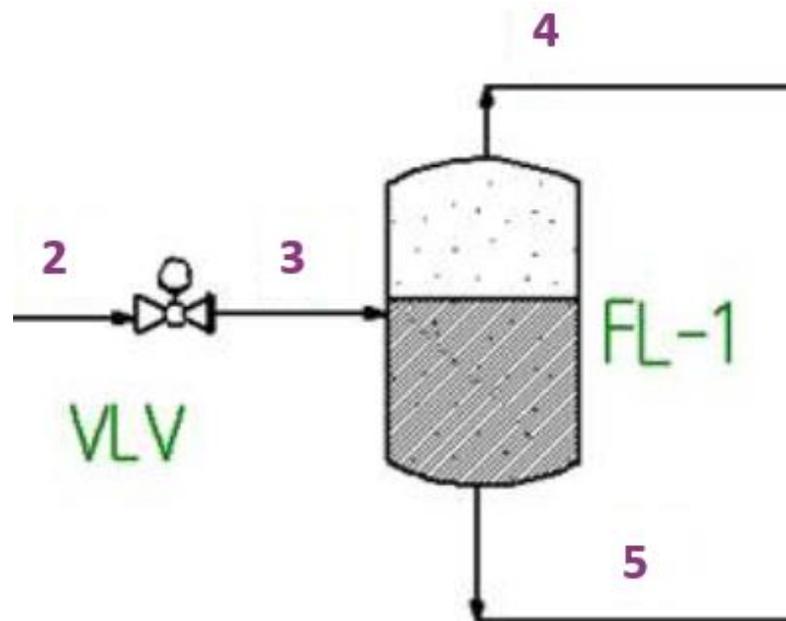
$$y_i = K_i x_i \quad \forall i$$

$$H_4 = f(T_4, P_4, x_4)$$

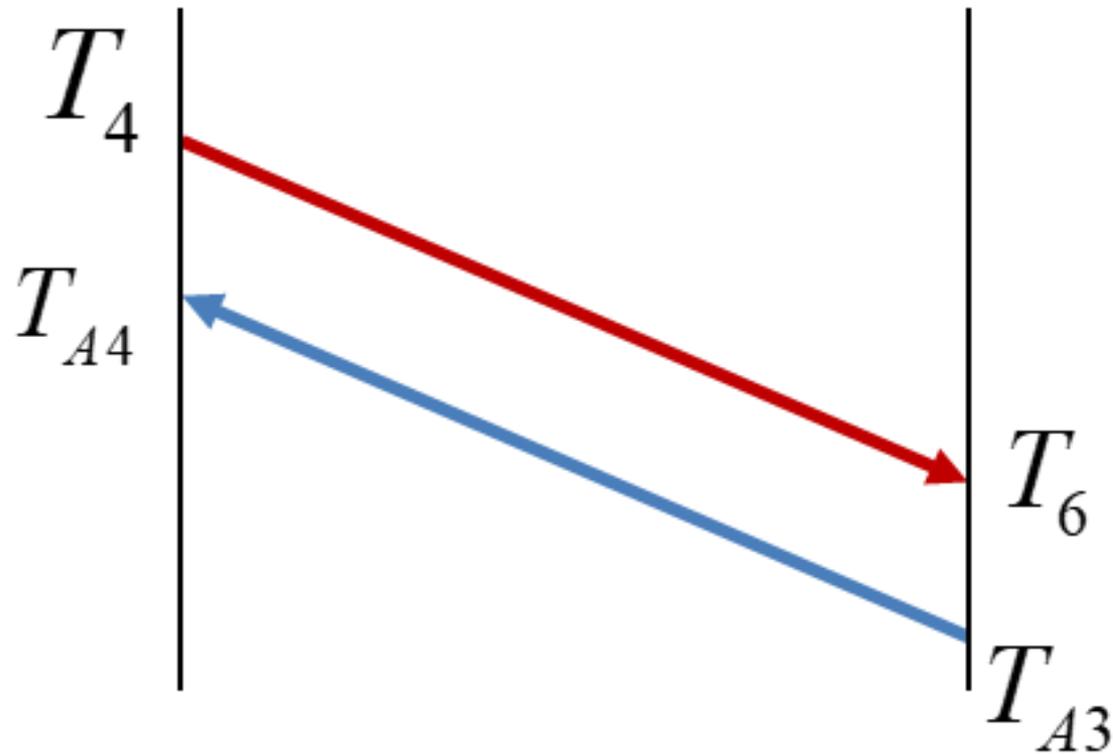
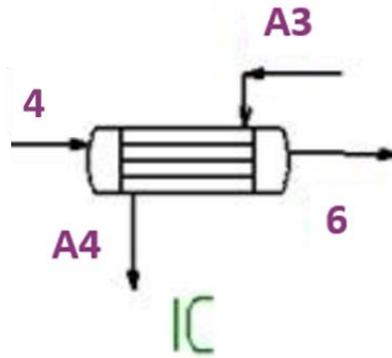
$$H_5 = f(T_5, P_5, x_5)$$

$$K_i = f(T_4, P_4) \quad \forall i \quad \text{iIdeal!}$$

$$T_4 = T_5 \quad P_4 = P_5$$



Condensador Total



Condensador

Hipótesis:

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

Condensador (MS)

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

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

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

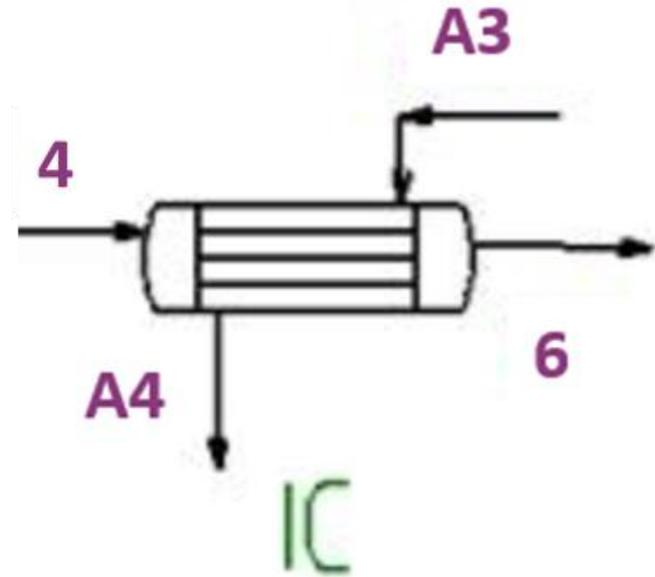
$$m_{A3} - m_{A4} = 0$$

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

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

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

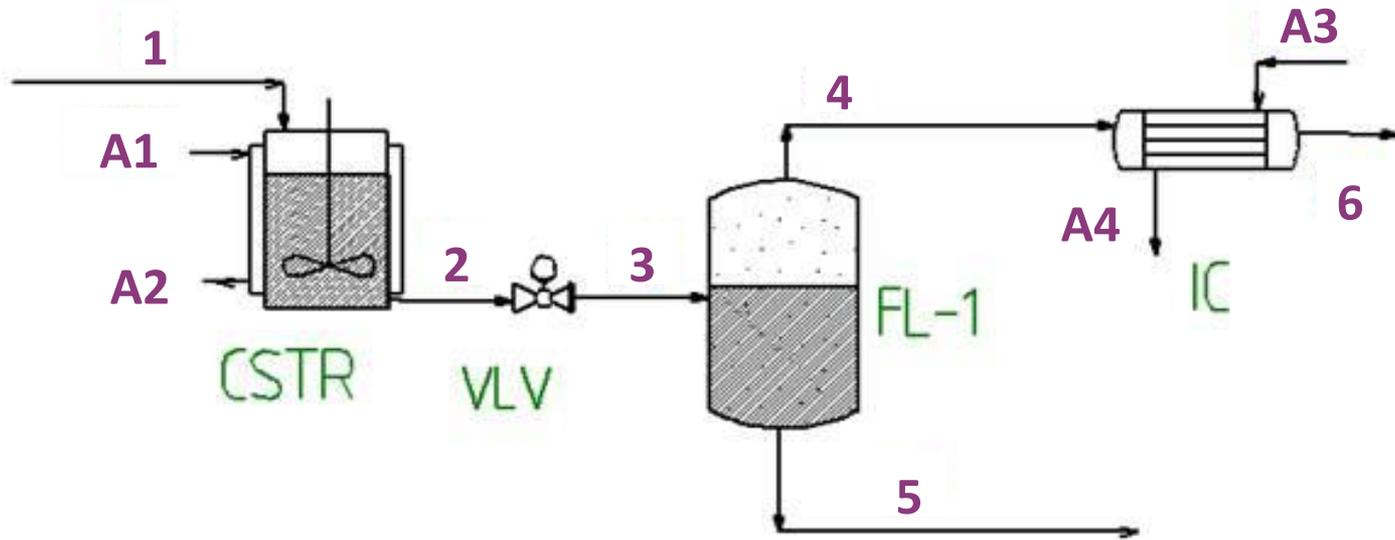
$$f(T_6, P_6, x_6, H_6) = 0 \quad f(T_{A4}, P_{A4}, H_{A4}) = 0$$



Corrientes de entrada

1: Corriente de reactivo A de especificación conocida.

A1 y A3: Corrientes de agua pura de especificación conocida.



Actividades

- Presentar el DFI del proceso adoptando la filosofía modular secuencial.
- Proponer una estrategia para su resolución determinando el conjunto mínimo de corrientes de corte y el orden de resolución de los equipos (no es necesario aplicar algún algoritmo de particionado, rasgado y ordenamiento).

Actividades

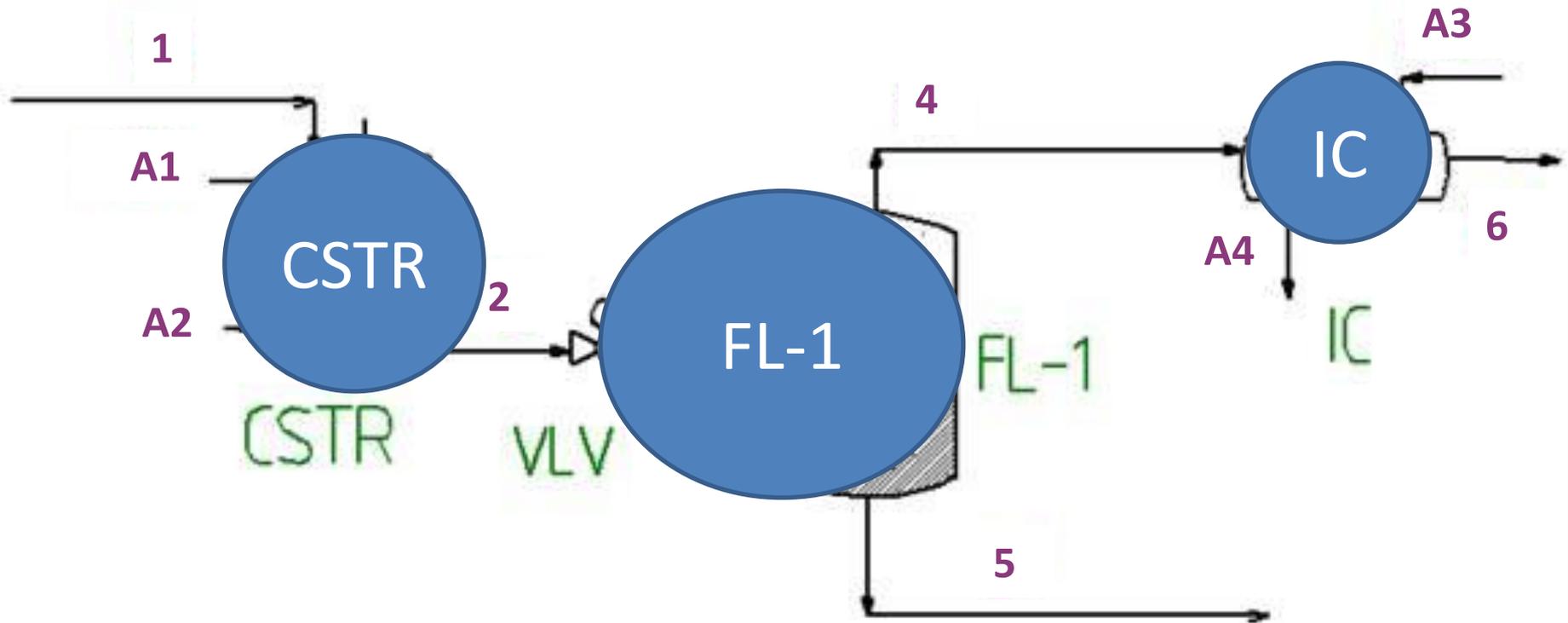
- En base a las hipótesis elegir (marcar con una x) las variables **mínimas** para especificar las corrientes de entrada al proceso y las eventuales corrientes de corte.

Corrientes	m (flujo molar)	x (fracción molar)	P (presión)	T (temperatura)	H (entalpía)	θ (fracción vaporizada)
1						
A1						
A3						

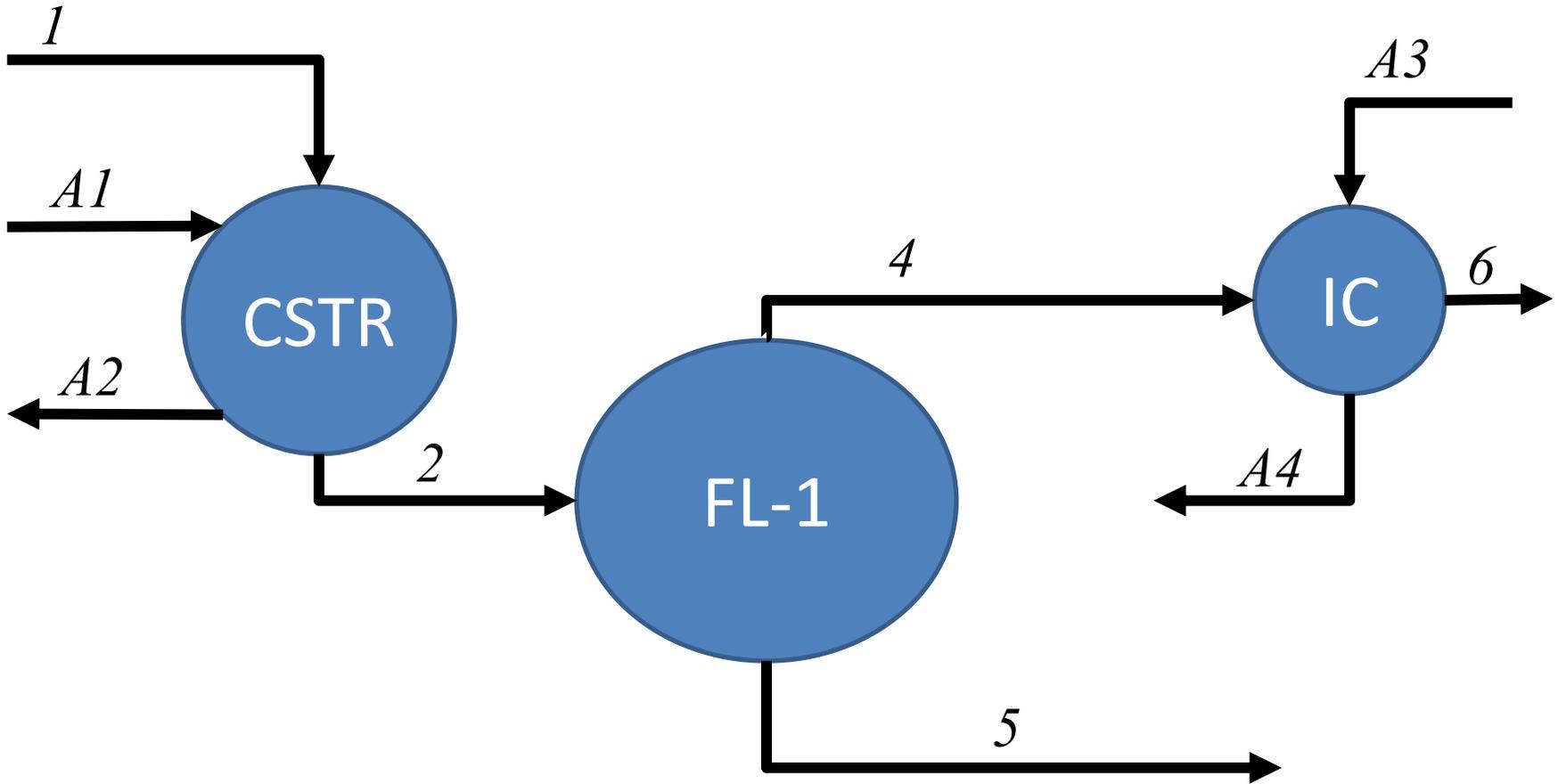
Actividades

- A partir de las hipótesis y modelos, proponer una secuencia de resolución para cada equipo. Si es necesario, agregar las ecuaciones que considere pertinentes.

Flowsheet

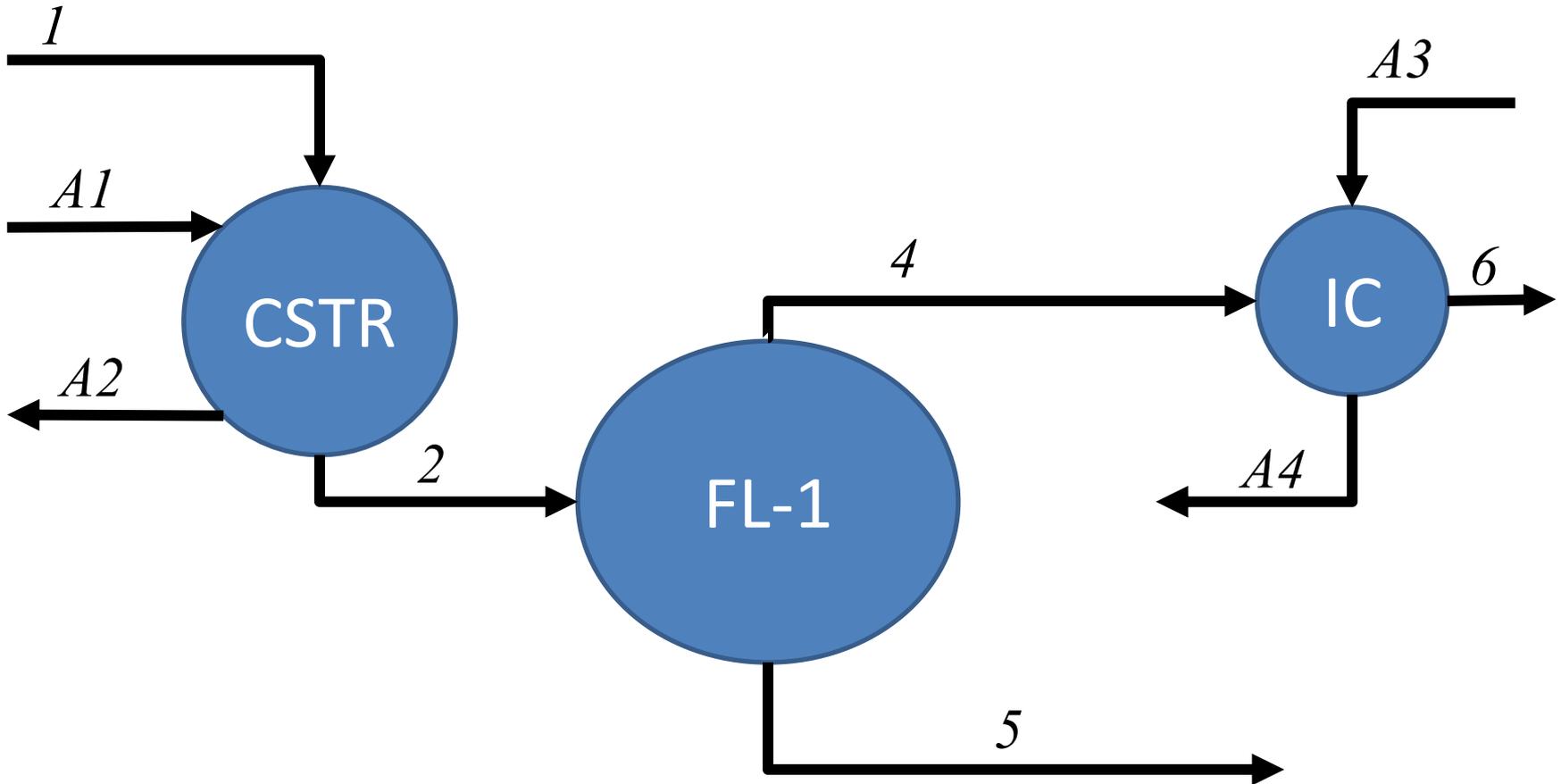


DFI



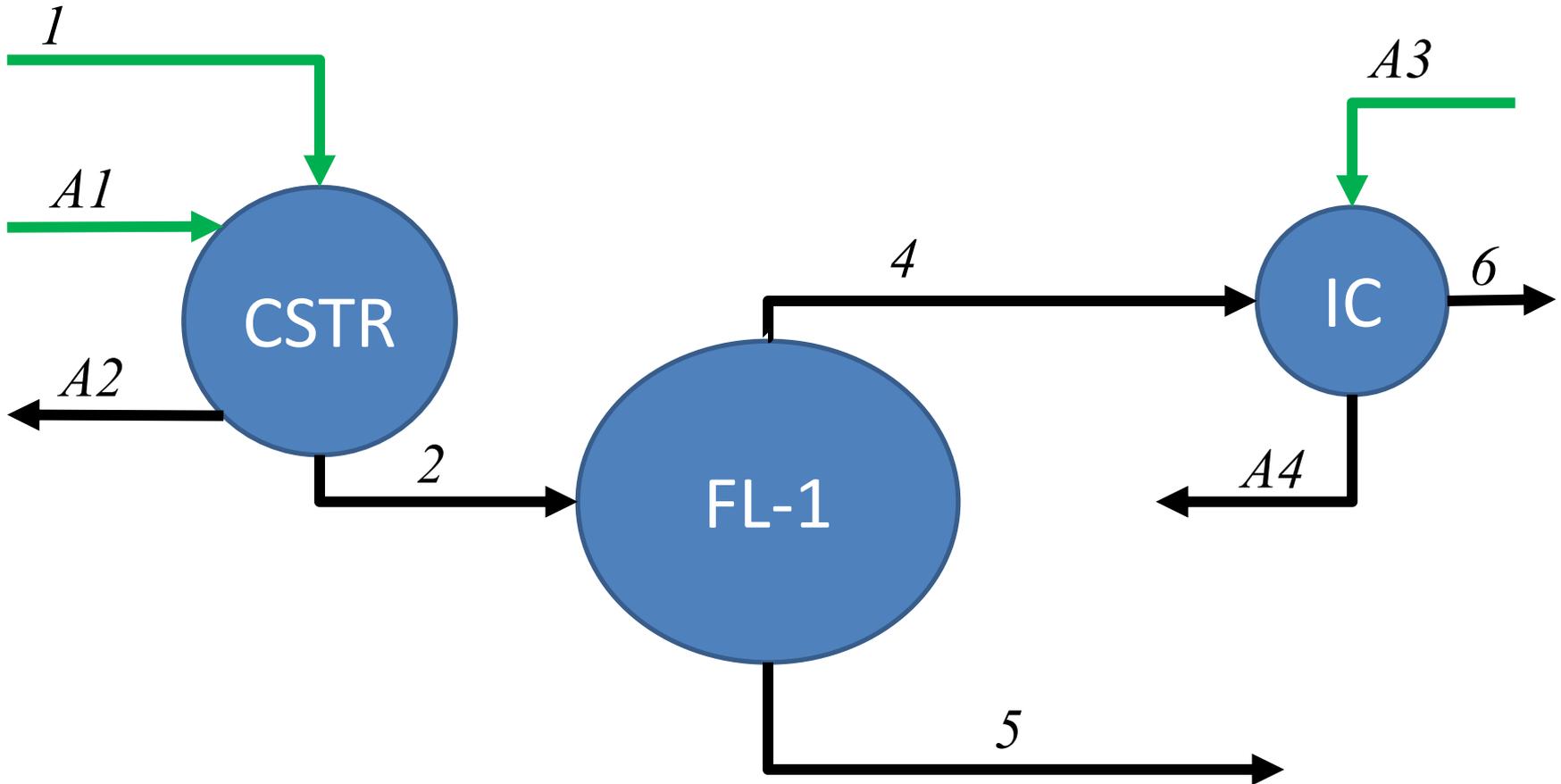
Orden de resolución

1- Se especifican las entradas al proceso.



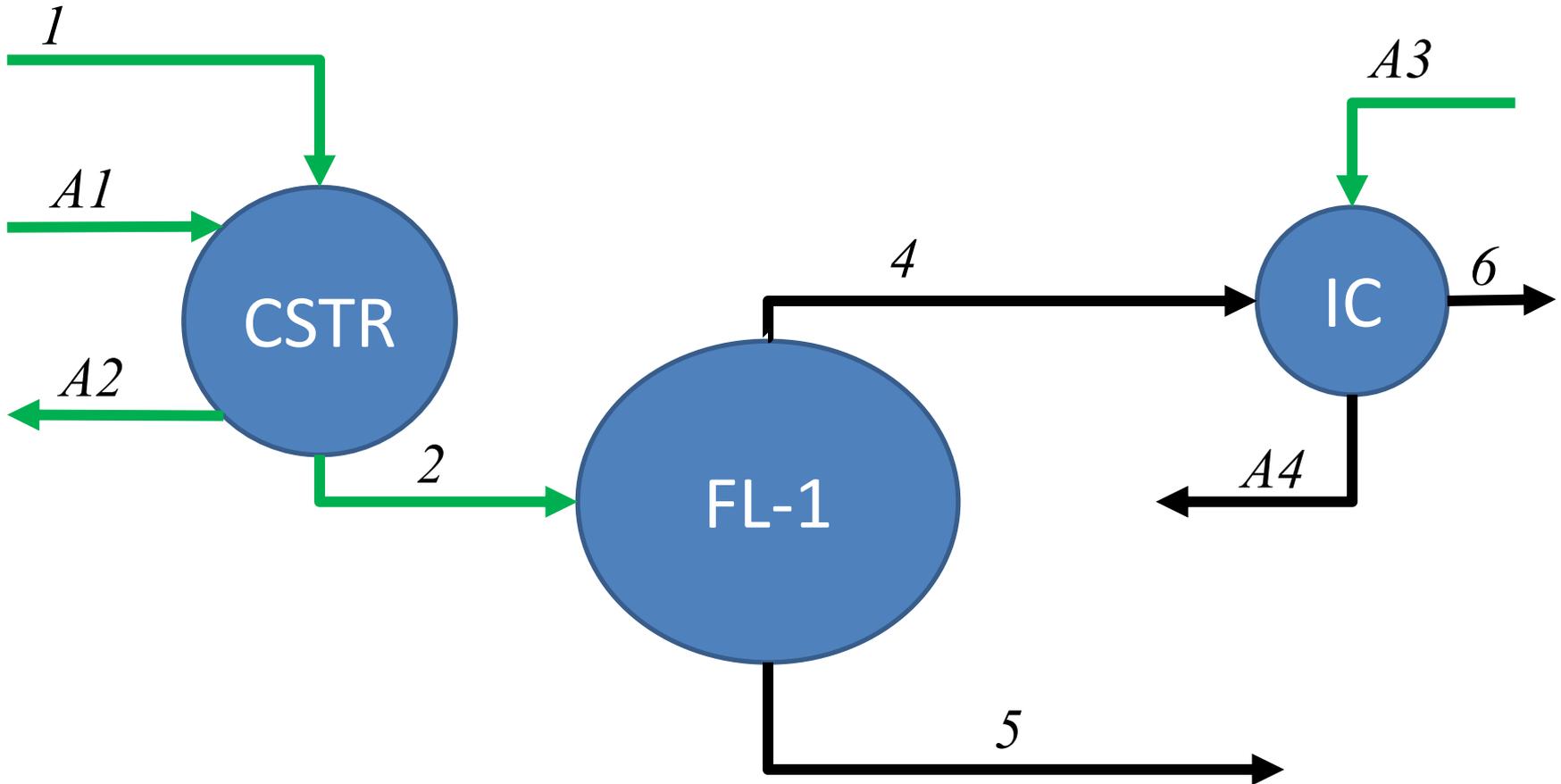
Orden de resolución

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



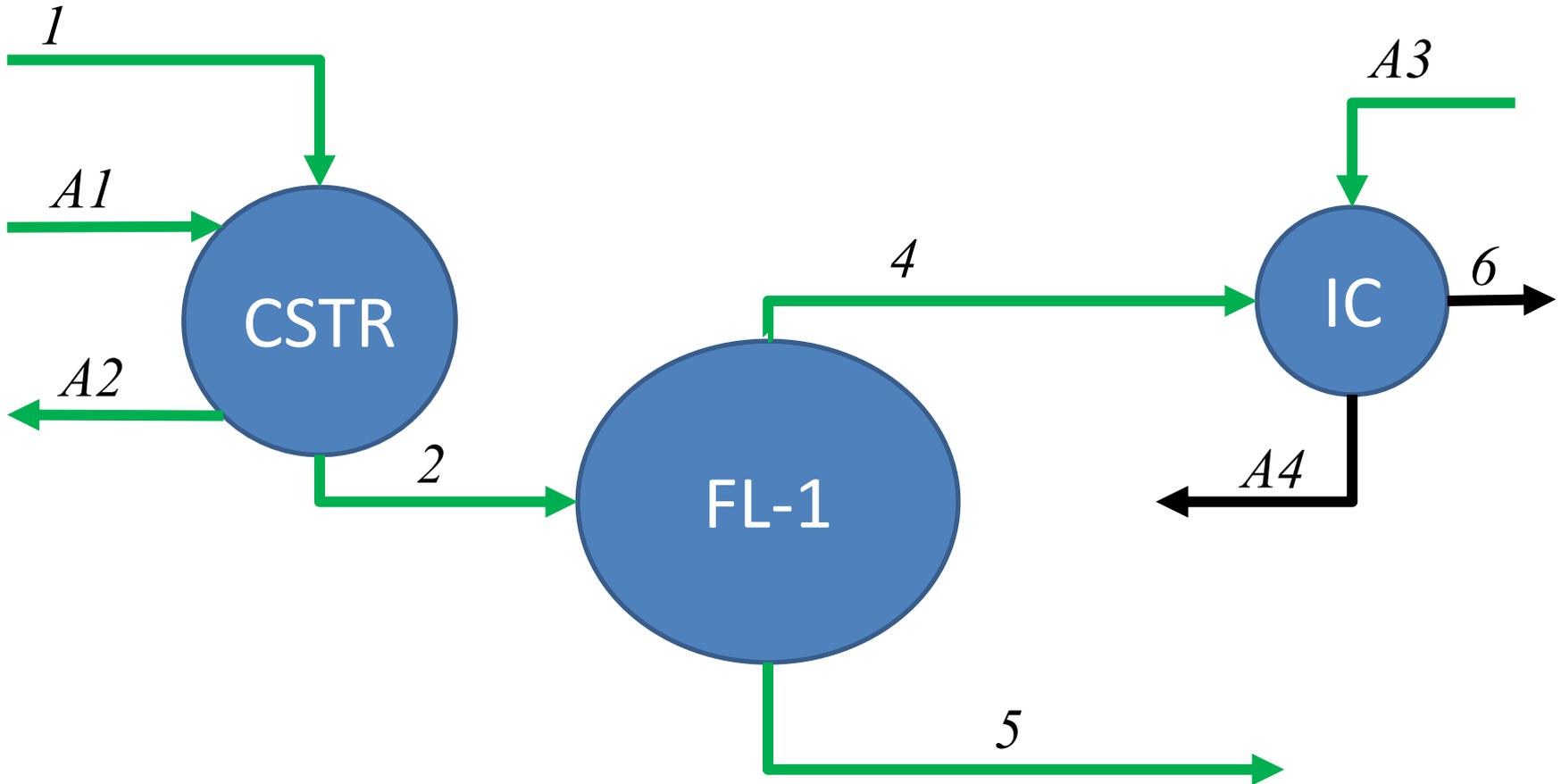
Orden de resolución

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

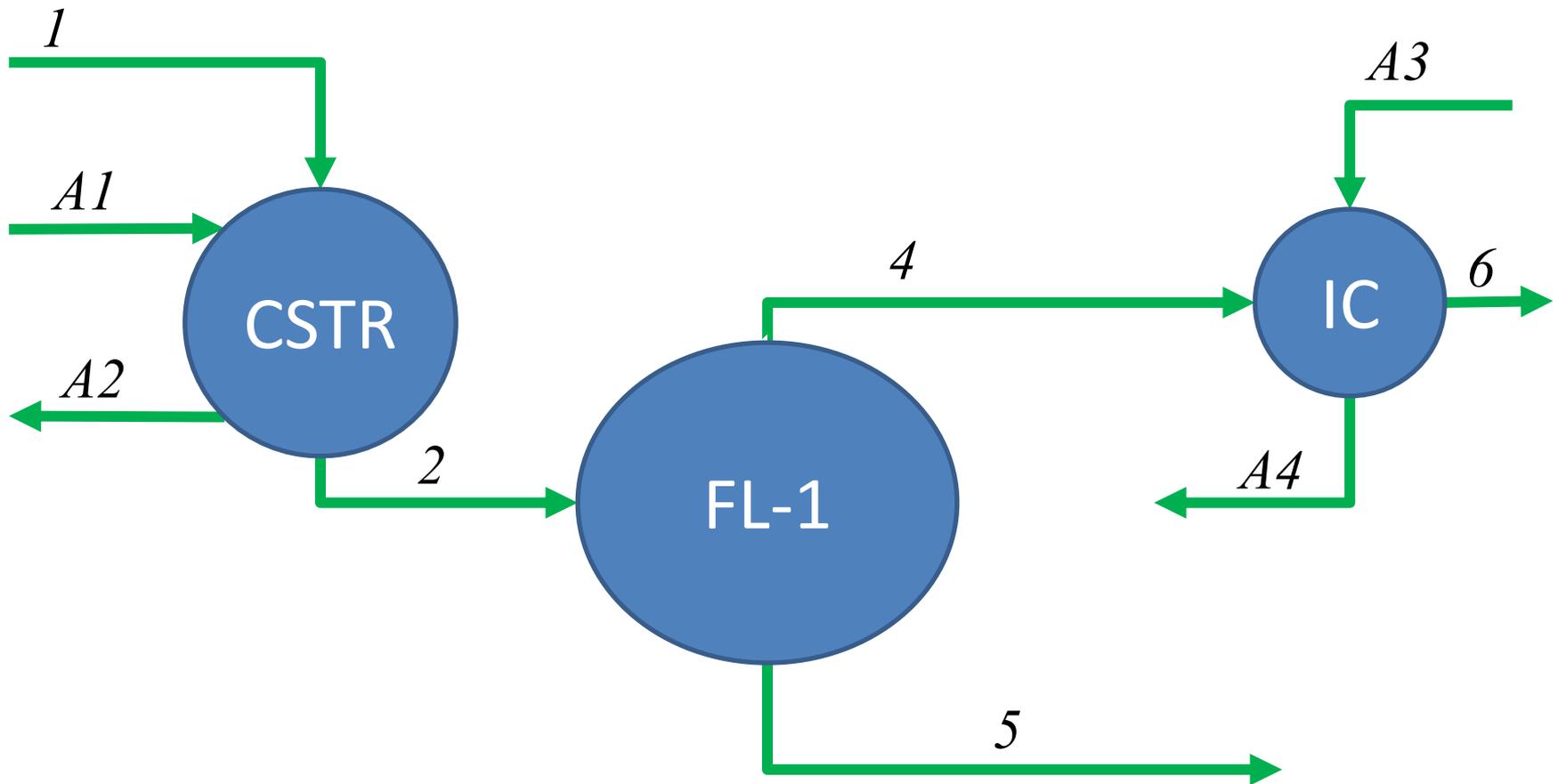


Orden de resolución

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



Orden de resolución



Resolución del Reactor CSTR

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

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

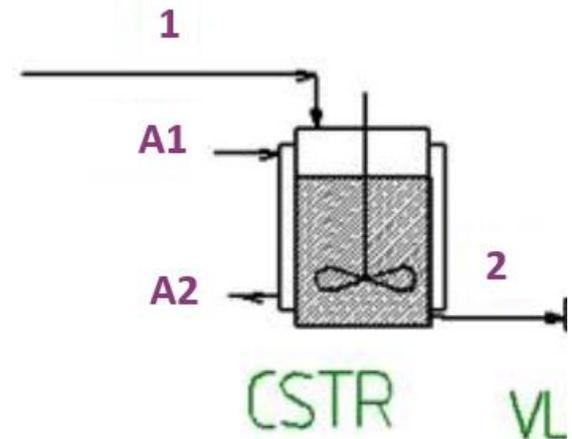
A partir del QR del reactor se resuelve la camisa de refrigeración.

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

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

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

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



Flash Adiabático (Resolución)

$$K_i = f_{ideal}(T_4^*, P_4) \quad \forall i \quad T_4^* \leftarrow$$
$$\sum_i \frac{(K_i - 1)x_{2,i}}{\theta(K_i - 1) + 1} = 0 \quad \rightarrow \theta \text{ (método iterativo)}$$

$$x_{5,i} = \frac{x_{2,i}}{\theta(K_i - 1) + 1}$$

$$x_{4,i} = K_i x_{5,i} \quad \forall i$$

$$H_5 = f(T_5 = T_4^*, P_5, x)$$

$$H_4 = f(T_4^*, P_4, x_{4,i})$$

$$\left\| 1 - \theta \frac{H_4}{H_2} - (1 - \theta) \frac{H_5}{H_2} \right\| \leq tol$$

Propongo un nuevo T_4^*

Aclarar de donde o
proponer otra secuencia

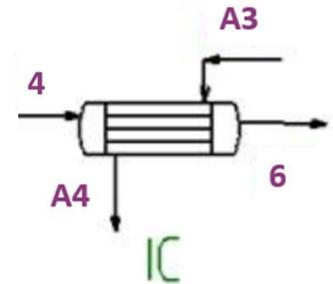
Condensador (Resolución)

El balance de materia es de simple resolución

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

$$m_6 = m_4$$

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



De las condiciones de salida: *FLASH* ($P_6, \theta_6 = 0, x_6$) $\rightarrow T_6$ 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

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

Condensador (Resolución)

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

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

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