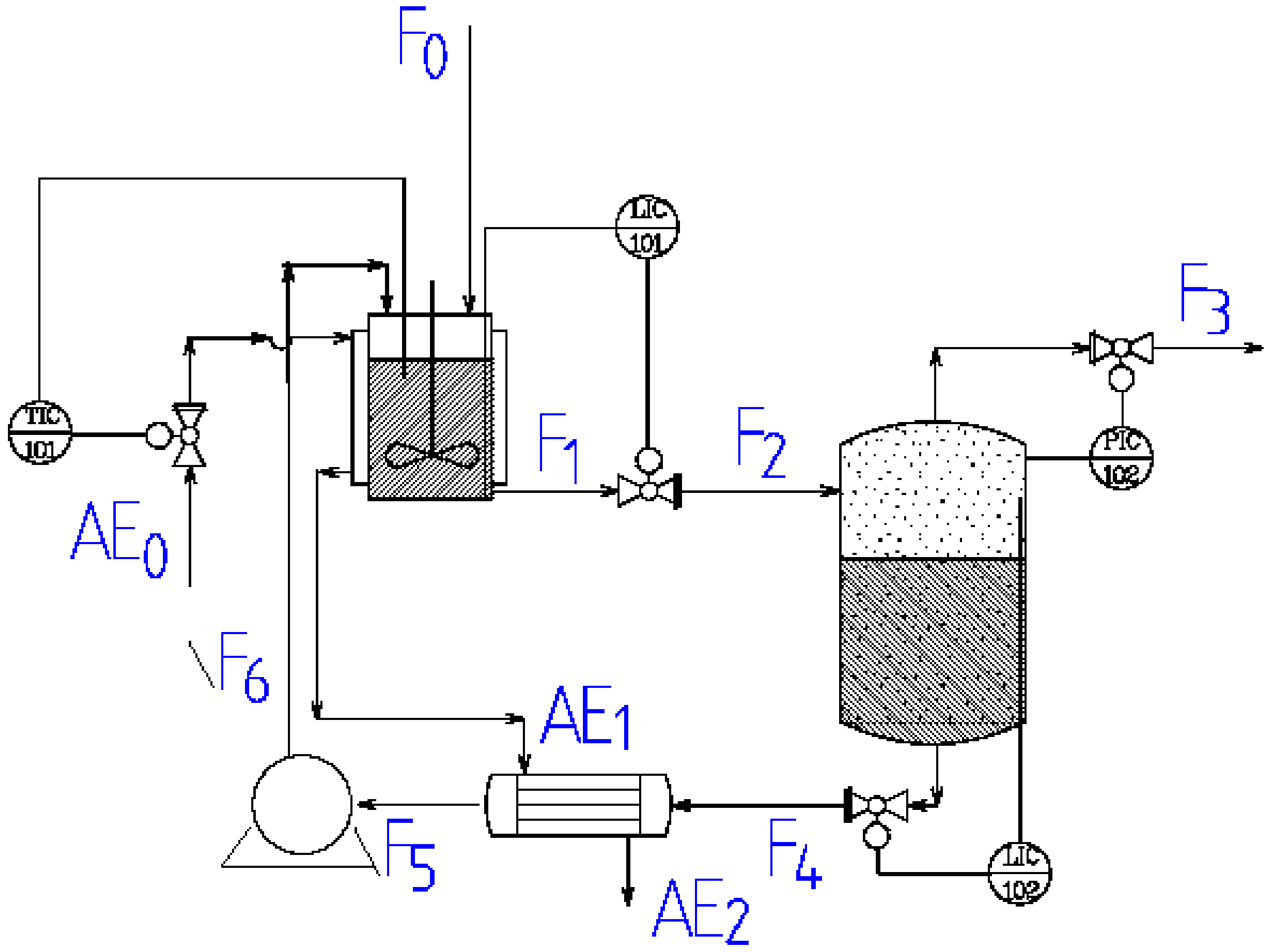
DSOySP

Ejemplo de Modelado de Equipos de una Planta en Estado Dinámico (I)

2024

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

Planta Completa



Hipótesis - Reactor

- Reacción reversible exotérmica cuando se desplaza hacia el producto C. $A + B \leftrightarrow C$
- Cinética con A como base: $r_A = -k_D C_A C_B + k_I C_C$
- Reactor Mezcla completa. La camisa de refrigeración también se considera mezcla completa.
- Los coeficientes cinéticos son función de la temperatura (funcional tipo Arrhenius).
- Presión en el cuerpo de vapor del reactor es conocida (P_{R1}^0)
- UA es dato
- Tanque cilíndrico de área AT.
- C=[moles/lt]; ρ: densidad molar
- Caída de presión a través de la camisa nula

Hipótesis – Válvulas de Control

- De igual porcentaje, según la ley:

$$Q = \alpha^{x-1} K_{V\,\max} \sqrt{\frac{\Delta P}{G}}$$

- La apertura (x) está fija o manipulada por un controlador PID según se indica en el flowsheet.

Hipótesis – Flash

- No se producen reacciones químicas
- Adiabático
- Opera en equilibrio
- Hold up de vapor despreciable
- Las presiones de descargas son conocidas y constantes
- Líquido con mezcla perfecta

Hipótesis – Intercambiador de calor

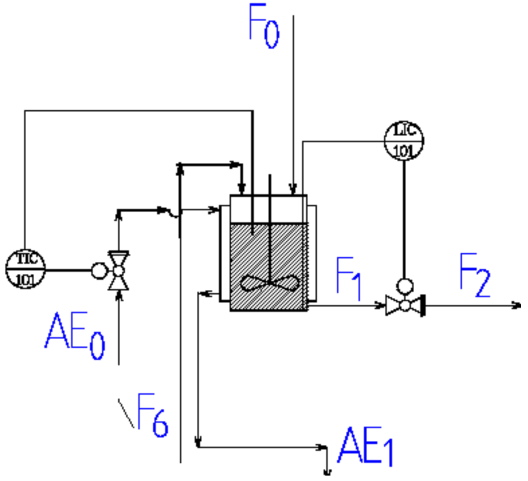
- UA conocido y constante
- No se considera cambio de fase ni reacción química en ninguna de sus corrientes
- Modelar en estado pseudoestacionario (identifique los equipos que puede considerar bajo esta hipótesis)
- Caída de presión nula

Balance molar por componentes en el reactor

$$\frac{dM_A}{dt} = m_{F_6} x_{A,F_6} + m_{F_0} x_{A,F_0} + r_A V - m_{F_1} x_{A,F_1}$$

$$\frac{dC_A A_R h_R}{dt} = m_{F_6} x_{A,F_6} + m_{F_0} x_{A,F_0} + r_A A_R h_R - m_{F_1} x_{A,F_1}$$

$$A_R C_A \frac{dh_R}{dt} + A_R h_R \frac{dC_A}{dt} = m_{F_6} x_{A,F_6} + m_{F_0} x_{A,F_0} + r_A A_R h_R - m_{F_1} x_{A,F_1}$$

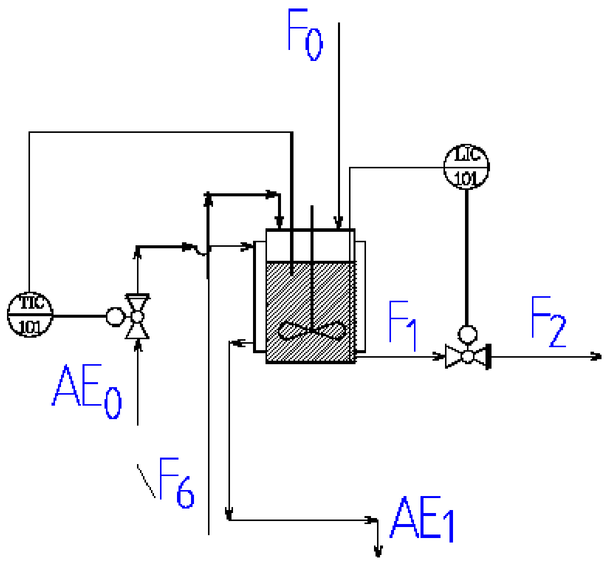


Modelado - Reactor

$$A_R C_A \frac{dh_R}{dt} + A_R h_R \frac{dC_A}{dt} = m_{F_6} x_{A,F_6} + m_{F_0} x_{A,F_0} + r_A A_R h_R - m_{F_1} x_{A,F_1}$$

$$A_R C_B \frac{dh_R}{dt} + A_R h_R \frac{dC_B}{dt} = m_{F_6} x_{B,F_6} + m_{F_0} x_{B,F_0} + r_B A_R h_R - m_{F_1} x_{B,F_1}$$

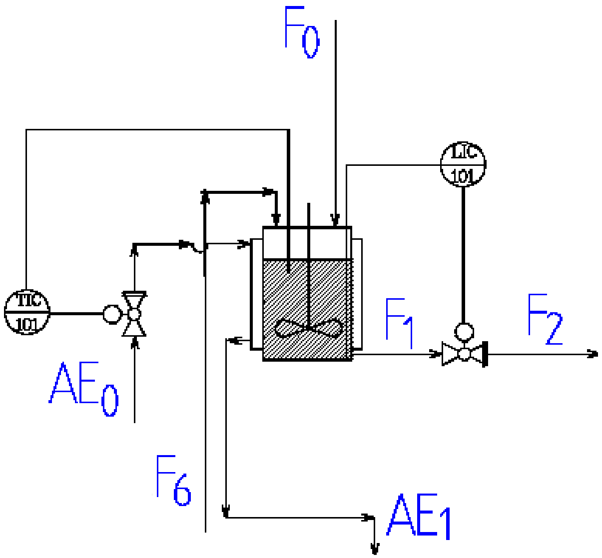
$$A_R C_C \frac{dh_R}{dt} + A_R h_R \frac{dC_C}{dt} = m_{F_6} x_{C,F_6} + m_{F_0} x_{C,F_0} + r_C A_R h_R - m_{F_1} x_{C,F_1}$$



Modelado - Reactor

Balance molar total en el reactor

$$\frac{dM}{dt} = m_{F_6} + m_{F_0} - m_{F_1} + \sum_{i=A}^{C} r_i V$$



$$\frac{d\rho_{F_1} V}{dt} = m_{F_6} + m_{F_0} - m_{F_1} + r_A V$$

$$\frac{d\rho_{F_1} A_R h_R}{dt} = m_{F_6} + m_{F_0} - m_{F_1} + r_A A_R h_R$$

$$\boxed{\rho_{F_1} A_R \frac{dh_R}{dt} = m_{F_6} + m_{F_0} - m_{F_1} + r_A A_R h_R}$$

Modelado - Reactor

Balance de energía en el reactor

$$\frac{dMH}{dt} = m_{F_6} H_{F_6} + m_{F_0} H_{F_0} - m_{F_1} H_{F_1} + (-r_A) V (-\Delta H_{rD}) - Q_R$$

$$\frac{d\rho_{F1} A_R h_R H_{F_1}}{dt} = m_{F_6} H_{F_6} + m_{F_0} H_{F_0} - m_{F_1} H_{F_1} + (-r_A) A_R h_R (-\Delta H_{rD}) - Q_R$$

$$\rho_{F_1} A_R h_R \frac{dH_{F_1}}{dt} + \rho_{F_1} A_R H_{F_1} \frac{dh_R}{dt} = m_{F_6} H_{F_6} + m_{F_0} H_{F_0} - m_{F_1} H_{F_1} + (-r_A) A_R h_R (-\Delta H_{rD}) - Q_R$$

Modelado - Reactor

$$\rho_{F_1} = f\left(T_{F_1}, x_{F_1}\right)$$

$$C_i = \rho_{F_1} x_{F_1,i} \qquad \forall i$$

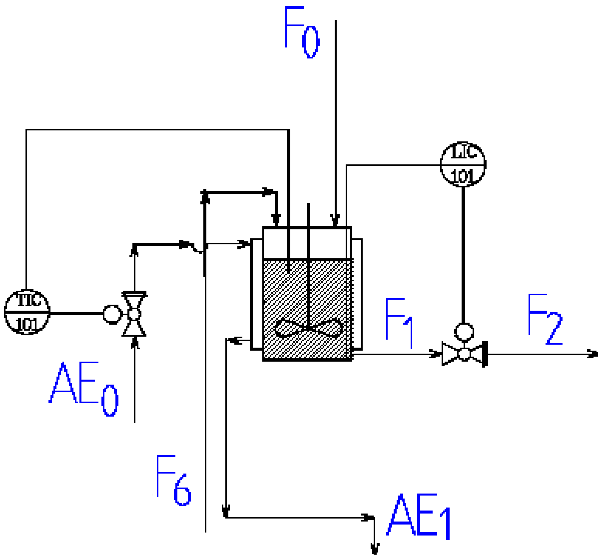
$$r_A = -k_D C_A C_B + k_I C_C$$

$$r_B = -k_D C_A C_B + k_I C_C$$

$$r_C = k_D C_A C_B - k_I C_C$$

$$k_D = f\left(T\right)$$

$$k_I = f\left(T\right)$$



$$H_{F_0} = f\left(T_{F_0}, x_{F_0}\right)$$

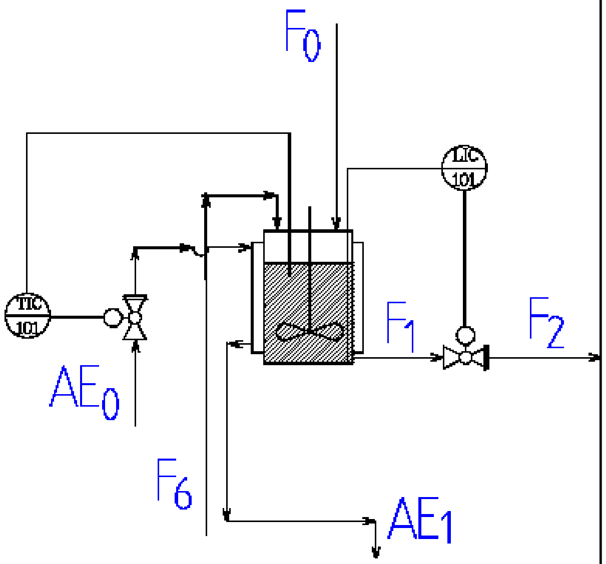
$$H_{F_6} = f\left(T_{F_6}, x_{F_6}\right)$$

$$H_{F_1} = f\left(T_{F_1}, x_{F_1}\right)$$

$$\Delta H_{rD} = f\left(T_{F_1}\right)$$

Modelado – Reactor (camisa)

Considerando el hold up y densidad del agua de enfriamiento constantes:



$$m_{AE1} = m_{AE0}$$

$$\frac{dM_a H_a}{dt} = m_{AE1}\left(H_{AE1} - H_{AE2}\right) + Q_R$$

$$\boxed{M_a \frac{dH_a}{dt} = m_{AE1}\left(H_{AE1} - H_{AE2}\right) + Q_R}$$

$$Q_R = (UA)_R\left(T_{F_1} - T_{AE1}\right)$$

$$H_{AE0} = f\left(T_{AE0}\right)$$

$$H_{AE1} = f\left(T_{AE1}\right)$$

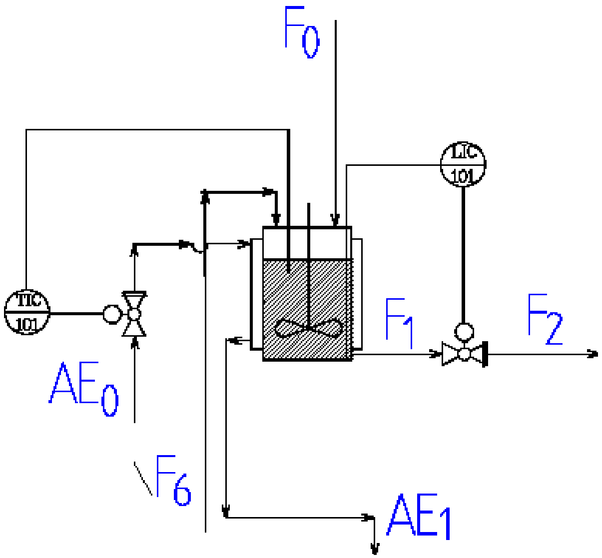
Modelado - Reactor

$$m_{AE0} = \rho_{AE0}\alpha^{x_{V1}-1}K_{V1}\sqrt{\frac{\Delta P_{V1}}{G_{V1}}}$$

$$m_{F_1} = \rho_{F_1}\beta^{x_{V2}-1}K_{V2}\sqrt{\frac{\Delta P_{V2}}{G_{V2}}}$$

$$\Delta P_{V1} = P_{AE0} - P_{AE1}$$

$$\Delta P_{V2} = P^0_{R1} + \tilde{\rho}_{F_1} g h_R - P^0_{FL}$$



Modelado - Reactor

$$\varepsilon_T = T_{F_1} - T_{sp}$$ Control directo

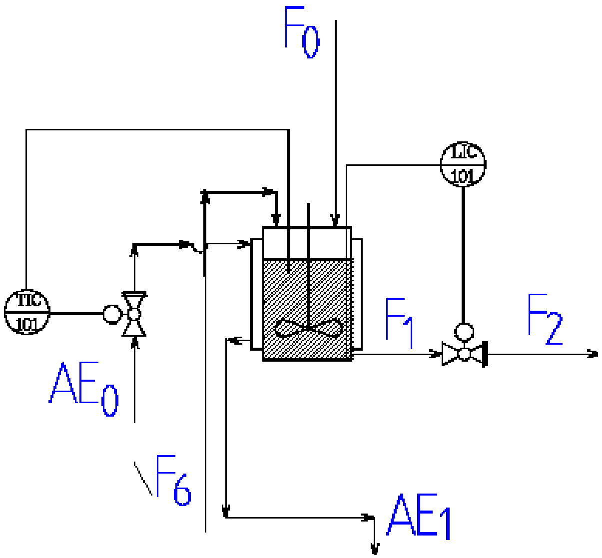
$$A_p^T = K_p^T \, \varepsilon_T$$

$$A_D^T = K_D^T \frac{dT_{F_1}}{dt}$$

$$\boxed{\frac{dA_I^T}{dt} = K_I^T \varepsilon_T}$$

$$AC^T = A_P^T + A_I^T + A_D^T + A_0^T$$

$$x_{V1} = \max\left(0, \min\left(1, AC^T\right)\right)$$



Modelado - Reactor

$$\varepsilon_L = h_R - h_{sp}$$ Control directo

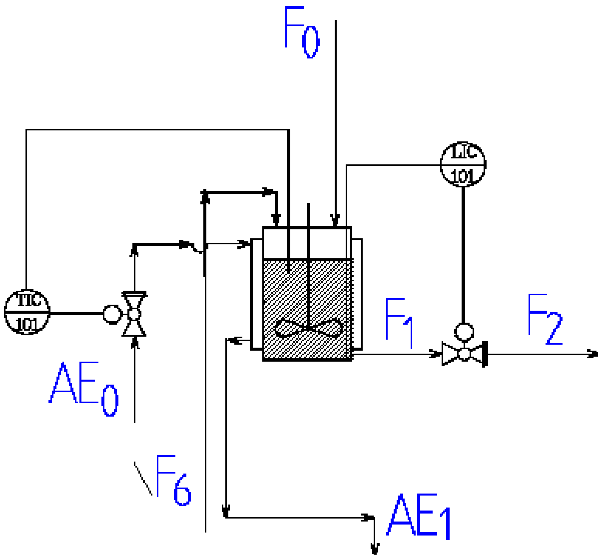
$$A_p^L = K_p^L \, \varepsilon_L$$

$$A_D^L = K_D^L \frac{dh_R}{dt}$$

$$\boxed{\frac{dA_I^L}{dt} = K_I^L \varepsilon_L}$$

$$AC^L = A_P^L + A_I^L + A_D^L + A_0^L$$

$$x_{V2} = \max\left(0, \min\left(1, AC^L\right)\right)$$



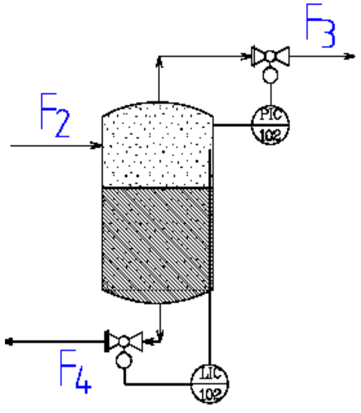
Modelado - Flash

- Balance molar en el líquido:

$$\frac{dM_{FL}}{dt} = m_{F1} - m_{F3} - m_{F4}$$

$$\frac{d\rho_{F4} A_{FL} h_{FL}}{dt} = m_{F1} - m_{F3} - m_{F4}$$

$$\boxed{\rho_{F4} A_{FL} \frac{dh_{FL}}{dt} = m_{F1} - m_{F3} - m_{F4}}$$



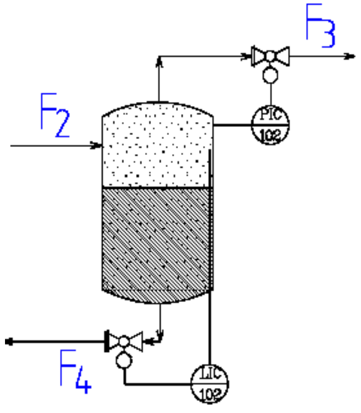
Modelado - Flash

- Balance por componentes:

$$\frac{dM_{FL}x_{F4,i}}{dt} = m_{F1}x_{F1,i} - m_{F3}y_{F3,i} - m_{F4}x_{F4,i} \qquad \forall i$$

$$\frac{d\rho_{F4}A_{FL}h_{FL}x_{F4,i}}{dt} = m_{F1}x_{F1,i} - m_{F3}y_{F3,i} - m_{F4}x_{F4,i} \qquad \forall i$$

$$\rho_{F4}A_{FL}h_{FL}\frac{dx_{F4,i}}{dt} + \rho_{F4}A_{FL}x_{F4,i}\frac{dh_{FL}}{dt} = m_{F1}x_{F1,i} - m_{F3}y_{F3,i} - m_{F4}x_{F4,i} \qquad \forall i$$

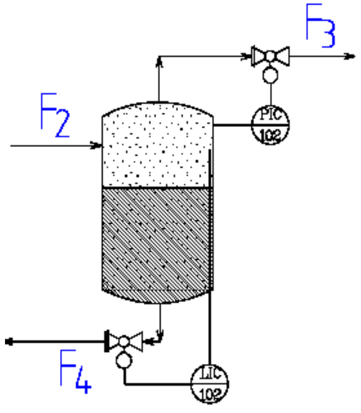


Modelado - Flash

$$\rho_{F4} A_{FL} h_{FL} \frac{dx_{F4,A}}{dt} + \rho_{F4} A_{FL} x_{F4,A} \frac{dh_{FL}}{dt} = m_{F1} x_{F1,A} - m_{F3} y_{F3,A} - m_{F4} x_{F4,A}$$

$$\rho_{F4} A_{FL} h_{FL} \frac{dx_{F4,B}}{dt} + \rho_{F4} A_{FL} x_{F4,B} \frac{dh_{FL}}{dt} = m_{F1} x_{F1,B} - m_{F3} y_{F3,B} - m_{F4} x_{F4,B}$$

$$\rho_{F4} A_{FL} h_{FL} \frac{dx_{F4,C}}{dt} + \rho_{F4} A_{FL} x_{F4,C} \frac{dh_{FL}}{dt} = m_{F1} x_{F1,C} - m_{F3} y_{F3,C} - m_{F4} x_{F4,C}$$



Modelado - Flash

- Balance de energía:

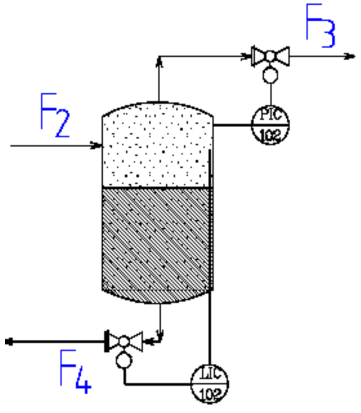
$$\frac{dM_{FL}H_{F4}}{dt} = m_{F1}H_{F1} - m_{F3}H_{F3} - m_{F4}H_{F4}$$

$$\frac{d\rho_{F4}A_{FL}h_{FL}H_{F4}}{dt} = m_{F1}H_{F1} - m_{F3}H_{F3} - m_{F4}H_{F4}$$

$$\boxed{\rho_{F4}A_{FL}h_{FL}\frac{dH_{F_4}}{dt} + \rho_{F4}A_{FL}H_{F_4}\frac{dh_{FL}}{dt} = m_{F_1}H_{F_1} - m_{F_3}H_{F_3} - m_{F_4}H_{F_4}}$$

$$H_{F_3} = f\left(T_{F_3}, y_{F_3}\right)$$

$$H_{F_4} = f\left(T_{F_4}, x_{F_4}\right)$$



Evaporador Flash

$$\varepsilon_{L2} = h_{FL} - h_{sp}$$ Control directo

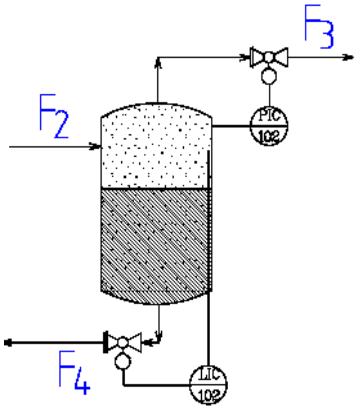
$$A_P^{L2} = K_P^{L2}\,\varepsilon_{L2} \qquad \boxed{\frac{dA_I^{L2}}{dt} = K_I^{L2}\varepsilon_{L2}} \qquad A_D^{L2} = K_D^{L2}\,\frac{dh}{dt}$$

$$AC^{L2} = A_P^{L2} + A_I^{L2} + A_D^{L2} + A_0^{L2}$$

$$x_{V4} = \max\left(0, \min\left(1, AC^{L2}\right)\right)$$

$$\Delta P_{V4} = P_{FL}^0 + \rho_{F_4} g h_{FL} - P_{F4} \qquad P_{FL}^0 = \sum_{i=1}^{NC} x_{F_4,i} Pv_i\left(T_{F_4}\right)$$

$$m_{F_4} = \rho_{F_4}\gamma^{x_{V4}-1} K_{V4}\sqrt{\frac{\Delta P_{V4}}{G_{V4}}}$$



Evaporador Flash

$$\varepsilon_{PR} = P_{FL1}^{0} - P_{sp}$$ Control directo

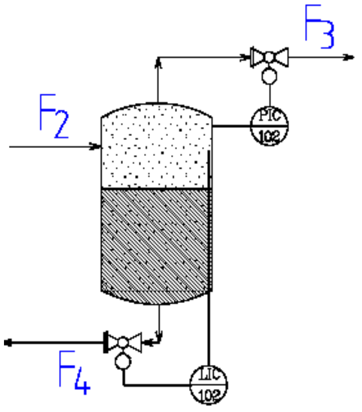
$$A_P^{PR} = K_P^{PR}\,\varepsilon_{PR} \qquad \boxed{\frac{dA_I^{PR}}{dt} = K_I^{PR}\varepsilon_{PR}} \qquad A_D^{PR} = K_D^{PR}\frac{dP_0}{dt}$$

$$AC^{PR} = A_P^{PR} + A_I^{PR} + A_D^{PR} + A_0^{PR}$$

$$x_{V3} = \max\left(0, \min\left(1, AC^{PR}\right)\right)$$

$$\Delta P_{V3} = P_{FL}^{0} - P_{F_3}$$

$$m_{F_3} = \rho_{F_3}\delta^{x_{V3}-1}K_{V3}\sqrt{\frac{\Delta P_{V3}}{G_{V3}}}$$



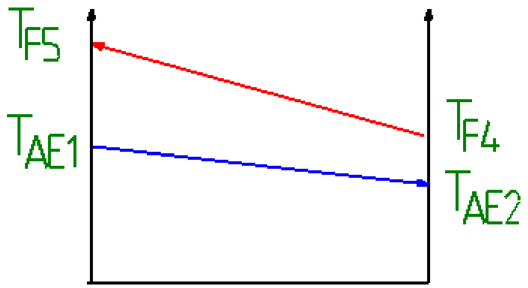
Modelado – Intercambiador de calor

- Se asume la variación instantánea de las variables involucradas respecto a las variaciones de las variables diferenciales (equipos de mayor holdup, por ejemplo).
- Esta hipótesis se la conoce como estado pseudoestacionario.

$$m_{F5} = m_{F4}$$

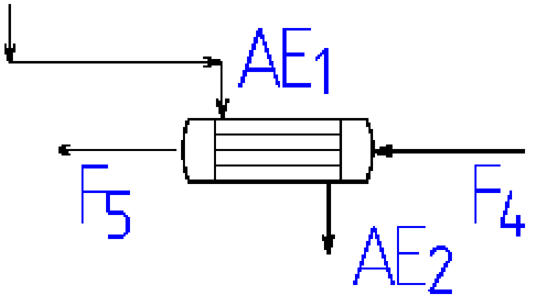
$$x_{F_5,i} = x_{F_4,i} \qquad \forall i$$

$$m_{AE1} = m_{AE2}$$



$$Q_{IC} = m_{F4}\left(H_{F4} - H_{F5}\right) = m_{AE1}\left(H_{AE2} - H_{AE1}\right)$$

$$\Delta T_c = \frac{\left(T_{F5} - T_{AE1}\right) - \left(T_{F4} - T_{AE2}\right)}{\ln \dfrac{\left(T_{F5} - T_{AE1}\right)}{\left(T_{F4} - T_{AE2}\right)}}$$



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

Modelado – Bomba Centrifuga

- Solo incrementa la presión para permitir la recirculación. Como la contrapresión es dato y constante (P_R^0) y asumiendo como dato y constante el incremento de presión de la bomba (ΔP_{BC}):

$$m_{F_6} = m_{F_5}$$

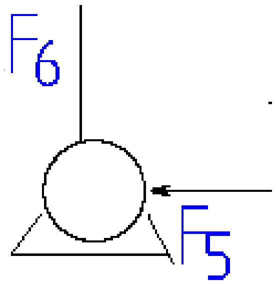
$$x_{F_6,i} = x_{F_5,i} \qquad \forall i$$

$$T_{F_6} = T_{F_5}$$

$$P_{F_5} = P_{F_4}$$

$$P_{F_6} = P_R^0$$

$$W_{BC} = m_{F_5} \frac{\Delta P_{BC}}{\eta \rho_{F_5}}$$



Resumen

- Nos queda un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias acopladas a un sistema de ecuaciones algebraicas.
- Para resolver el problema se necesitan los valores iniciales de las variables diferenciales (o sea a tiempo inicial).
- En este caso algunas derivadas de las variables diferenciales se encuentran también en el miembro derecho de las ecuaciones que conforman el sistema.

Resumen

$$\rho_{F_1} A_R \frac{dh_R}{dt} = m_{F_6} + m_{F_0} - m_{F_1} + r_A A_R h_R$$

$$\boxed{\frac{dh_R}{dt} = f_1\left(\frac{dh_R}{dt}, \frac{dh_{FL}}{dt}\right)}$$

$$A_R C_A \frac{dh_R}{dt} + A_R h_R \frac{dC_A}{dt} = m_{F_6} x_{A,F_6} + m_{F_0} x_{A,F_0} + r_A A_R h_R - m_{F_1} x_{A,F_1}$$

$$\boxed{\begin{aligned} \frac{dC_A}{dt} &= f_2\left(\frac{dh_R}{dt}, \frac{dh_{FL}}{dt}\right) \\ \frac{dC_B}{dt} &= f_3\left(\frac{dh_R}{dt}, \frac{dh_{FL}}{dt}\right) \\ \frac{dC_C}{dt} &= f_4\left(\frac{dh_R}{dt}, \frac{dh_{FL}}{dt}\right) \end{aligned}}$$

Resumen

$$\rho_{F_1} A_R h_R \frac{dH_{F_1}}{dt} + \rho_{F_1} A_R H_{F_1} \frac{dh_R}{dt} = m_{F_6} H_{F_6} + m_{F_0} H_{F_0} - m_{F_1} H_{F_1} + (-r_A) A_R h_R (-\Delta H_{rD}) - Q_R$$

$$\boxed{\frac{dH_{F_1}}{dt} = f_5\left(\frac{dh_R}{dt}, \frac{dh_{FL}}{dt}\right)}$$

$$M_a \frac{dH_a}{dt} = m_{AE1}\left(H_{AE1} - H_{AE2}\right) + Q_R$$

$$\boxed{\frac{dH_a}{dt} = f_6\left(\frac{dT_{F_1}}{dt}\right)}$$

Resumen

$$\rho_{F4} A_{FL} \frac{dh_{FL}}{dt} = m_{F1} - m_{F3} - m_{F4}$$

$$\boxed{\frac{dh_{FL}}{dt} = f_7\left(\frac{dh_R}{dt}, \frac{dh_{FL}}{dt}, \frac{dP^0_{FL}}{dt}\right)}$$

$$\rho_{F4} A_{FL} h_{FL} \frac{dx_{F4,A}}{dt} + \rho_{F4} A_{FL} x_{F4,A} \frac{dh_{FL}}{dt} = m_{F1} x_{F1,A} - m_{F3} y_{F3,A} - m_{F4} x_{F4,A}$$

$$\boxed{\begin{aligned}
\frac{dx_{F4,A}}{dt} &= f_8\left(\frac{dh_R}{dt}, \frac{dh_{FL}}{dt}, \frac{dP^0_{FL}}{dt}\right) \\
\frac{dx_{F4,B}}{dt} &= f_9\left(\frac{dh_R}{dt}, \frac{dh_{FL}}{dt}, \frac{dP^0_{FL}}{dt}\right) \\
\frac{dx_{F4,C}}{dt} &= f_{10}\left(\frac{dh_R}{dt}, \frac{dh_{FL}}{dt}, \frac{dP^0_{FL}}{dt}\right)
\end{aligned}}$$

Resumen

$$\rho_{F4} A_{FL} h_{FL} \frac{dH_{F_4}}{dt} + \rho_{F4} A_{FL} H_{F_4} \frac{dh_{FL}}{dt} = m_{F_1} H_{F_1} - m_{F_3} H_{F_3} - m_{F_4} H_{F_4}$$

$$\boxed{\frac{dH_{F_4}}{dt} = f_{11}\left(\frac{dh_R}{dt}, \frac{dh_{FL}}{dt}, \frac{dP^0_{FL}}{dt} \right)}$$

$$\frac{dA_I^T}{dt} = f_{12}(\quad)$$

$$\frac{dA_I^L}{dt} = f_{13}(\quad)$$

$$\frac{dA_I^{PR}}{dt} = f_{14}(\quad)$$

$$\frac{dA_I^{L2}}{dt} = f_{15}(\quad)$$

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

- En primer lugar debe demostrarse que pueden resolverse todos los términos del miembro derecho de todas las ecuaciones diferenciales, para asegurar que el método de resolución seleccionado pueda calcular los valores de las variables diferenciales en el tiempo posterior.
- Para ello tenemos los datos/parámetros conocidos y el valor de las variables diferenciales (a tiempo t_0).

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

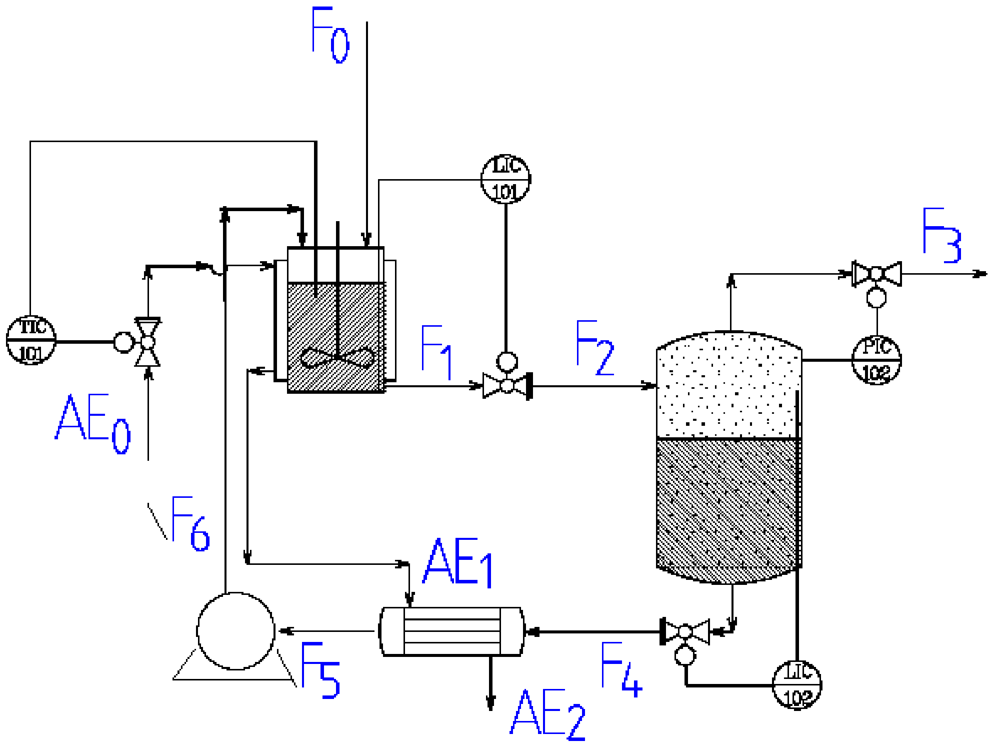
Entradas (Datos o parámetros del problema):

$$m_{F_0} \;\; x_{F_0} \; T_{F_0} \; P_{F_0} \rightarrow H_{F_0}$$

$$T_{AE0} \;\; P_{AE0} \;\; P_{AE2} \rightarrow P_{AE_1} \; H_{AE_0}$$

$$P_R^0 \;\; \Delta P_{BC}$$

$$A_R \; (UA)_R \;\; A_{FL} \; (UA)_{IC}$$



Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

Condiciones iniciales:

$$h_R^{(0)} \quad C_A^{(0)} \quad C_B^{(0)} \quad C_C^{(0)} \quad H_{F_1}^{(0)} \quad H_a^{(0)}$$

$$h_{FL}^{(0)} \quad x_{F_4,A}^{(0)} \quad x_{F_4,B}^{(0)} \quad x_{F_4,C}^{(0)} \quad H_{F_4}^{(0)}$$

$$A_I^{L(0)} \quad A_I^{T(0)} \quad A_I^{PR(0)} \quad A_I^{L2(0)}$$

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

$$x_{F_1,i} = \frac{C_i}{C_A + C_B + C_C} \qquad \forall i \rightarrow x_{F_1,i}{}^{(0)}$$

$$H_{F_1} = f\left(T_{F_1}, x_{F_1}\right) \rightarrow T_{F_1}{}^{(0)}$$

$$H_{F_4} = f\left(T_{F_4}, x_{F_4}\right) \rightarrow T_{F_4}{}^{(0)}$$

$$\left.\begin{aligned}
\rho_{F_1} &= f\left(T_{F_1}, x_{F_1}\right) \\
k_D &= f\left(T\right) \\
k_I &= f\left(T\right) \\
r_A &= -k_D C_A C_B + k_I C_C \\
r_B &= -k_D C_A C_B + k_I C_C \\
r_C &= k_D C_A C_B - k_I C_C
\end{aligned}\right\} \rho_{F_1}{}^{(0)} \qquad r_A{}^{(0)} \qquad r_B{}^{(0)} \qquad r_C{}^{(0)}$$

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

$$P_{FL}^{0} = \sum_{i=1}^{NC} x_{F_4,i} Pv_i\left(T_{F_4}\right) \rightarrow {P_{FL}^{0}}^{(0)}$$

$$\Delta P_{V2} = P_{R1}^{0} + \rho_{F_1} g h_R - P_{FL}^{0} \rightarrow \Delta P_{V2}^{(0)}$$

$$\varepsilon_L = h_R - h_{sp} \rightarrow \varepsilon_L^{(0)}$$

$$A_p^L = K_p^L\, \varepsilon_L \rightarrow A_p^{L(0)}$$

Para chequear

$$A_D^L = K_D^L \frac{dh_R}{dt} \rightarrow \text{proponemos} \boxed{\left(\frac{dh_R}{dt}\right)^{*}} \Rightarrow A_D^{L(0)} = K_D^L \left(\frac{dh_R}{dt}\right)^{*}$$

$$AC^L = A_P^L + A_I^L + A_D^L + A_0^L \rightarrow AC^{L(0)}$$

$$x_{V2} = \max\left(0, \min\left(1, AC^L\right)\right) \rightarrow x_{V2}^{(0)}$$

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

$$\varepsilon_T = T_{F_1} - T_{sp} \rightarrow \varepsilon_T{}^{(0)}$$

$$A_p^T = K_p^T \, \varepsilon_T \rightarrow A_p^{T(0)}$$

Para chequear

$$A_D^T = K_D^T \frac{dT_{F_1}}{dt} \rightarrow \text{proponemos} \boxed{\left(\frac{dT_{F_1}}{dt}\right)^*} \Rightarrow A_D^{T(0)} = K_D^T \left(\frac{dT_{F_1}}{dt}\right)^*$$

$$AC^T = A_P^T + A_I^T + A_D^T + A_0^T \rightarrow AC^{T(0)}$$

$$x_{V1} = \max\left(0, \min\left(1, AC^T\right)\right) \rightarrow x_{V1}{}^{(0)}$$

$$\Delta P_{V1} = P_{AE0} - P_{AE1} \rightarrow \Delta P_{V1}{}^{(0)}$$

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

$$m_{AE0} = \rho_{AE0}\alpha^{x_{V1}-1}K_{V1}\sqrt{\frac{\Delta P_{V1}}{G_{V1}}} \rightarrow m_{AE0}{}^{(0)}$$

$$m_{F_1} = \rho_{F_1}\beta^{x_{V2}-1}K_{V2}\sqrt{\frac{\Delta P_{V2}}{G_{V2}}} \rightarrow m_{F_1}{}^{(0)}$$

$$Q_R = \left(UA\right)_R\left(T_{F_1} - T_{AE1}\right) \rightarrow Q_R{}^{(0)}$$

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

$$\varepsilon_{L2} = h_{FL} - h_{sp} \rightarrow \varepsilon_{L2}{}^{(0)}$$

$$A_P^{L2} = K_P^{L2}\,\varepsilon_{L2} \rightarrow A_P^{L2(0)}$$

Para chequear

$$A_D^{L2} = K_D^{L2}\frac{dh_{FL}}{dt} \rightarrow \text{proponemos } \boxed{\left(\frac{dh_{FL}}{dt}\right)^*} \Rightarrow A_D^{L2(0)} = K_D^{L2}\left(\frac{dh_{FL}}{dt}\right)^*$$

$$AC^{L2} = A_P^{L2} + A_I^{L2} + A_D^{L2} + A_0^{L2} \rightarrow AC^{L2(0)}$$

$$x_{V4} = \max\left(0, \min\left(1, AC^{L2}\right)\right) \rightarrow x_{V4}{}^{(0)}$$

$$\rho_{F_4} = f\left(T_{F_4}, x_{F_4}\right) \rightarrow \rho_{F_4}{}^{(0)}$$

$$\Delta P_{V4} = P_{FL}^0 + \rho_{F_4} g h_{FL} - P_{F4} \rightarrow \Delta P_{V4}{}^{(0)}$$

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

$$\varepsilon_{PR} = P_{FL1}^{0} - P_{sp} \rightarrow \varepsilon_{PR}^{(0)}$$

$$A_P^{PR} = K_P^{PR}\, \varepsilon_{PR} \rightarrow A_P^{PR(0)}$$

Para chequear

$$A_D^{PR} = K_D^{PR} \frac{dP_0}{dt} \rightarrow \text{proponemos} \boxed{\left(\frac{dP_0}{dt}\right)^{*}} \Rightarrow A_D^{PR(0)} = K_D^{PR} \left(\frac{dP_0}{dt}\right)^{*}$$

$$AC^{PR} = A_P^{PR} + A_I^{PR} + A_D^{PR} + A_0^{PR} \rightarrow AC^{PR(0)}$$

$$x_{V3} = \max\left(0, \min\left(1, AC^{PR}\right)\right) \rightarrow x_{V3}^{(0)}$$

$$\Delta P_{V3} = P_{FL}^{0} - P_{F_3} \rightarrow \Delta P_{V3}^{(0)}$$

$$\rho_{F_3} = \frac{P_{FL}^{0}}{RT_{F4}} \rightarrow \rho_{F_3}^{(0)}$$

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

$$m_{F_3} = \rho_{F_3} \delta^{x_{V3}-1} K_{V3} \sqrt{\frac{\Delta P_{V3}}{G_{V3}}} \rightarrow m_{F_3}^{(0)}$$

$$m_{F_4} = \rho_{F_4} \gamma^{x_{V4}-1} K_{V4} \sqrt{\frac{\Delta P_{V4}}{G_{V4}}} \rightarrow m_{F_4}^{(0)}$$

$$H_{F_3} = f\left(T_{F_3}, y_{F_3}\right) \rightarrow \begin{matrix} y_{F_3,i} = K_i x_{F_3,i} \\ T_{F_3} = T_{F_4} \end{matrix} \rightarrow H_{F_3}^{(0)}$$

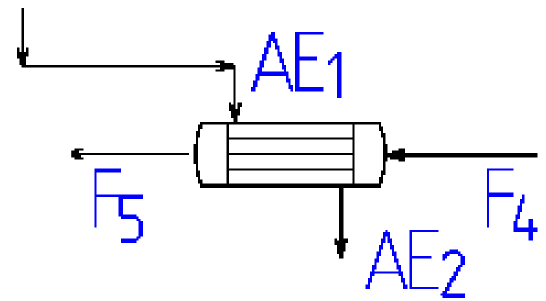
$$m_{F_5} = m_{F_4}$$

$$H_{AE1} = f\left(T_{AE1}\right) \rightarrow T_{AE1}^{(0)}$$

$$x_{F_5,i} = m_{F_4,i} \qquad \forall i$$

$$m_{AE2} = m_{AE1}$$

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo



$$m_{F5} = m_{F4}$$

$$x_{F_5,i} = x_{F_4,i} \qquad \forall i$$

$$m_{AE1} = m_{AE2}$$

$$Q_{IC} = m_{F4}\left(H_{F4} - H_{F5}\right) = m_{AE1}\left(H_{AE2} - H_{AE1}\right)$$

$$\Delta T_c = \frac{\left(T_{F5} - T_{AE1}\right) - \left(T_{F4} - T_{AE2}\right)}{\ln \frac{\left(T_{F5} - T_{AE1}\right)}{\left(T_{F4} - T_{AE2}\right)}}$$

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

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

$$Q_{IC} = m_{F4}\left(H_{F4} - H_{F5}\right)$$

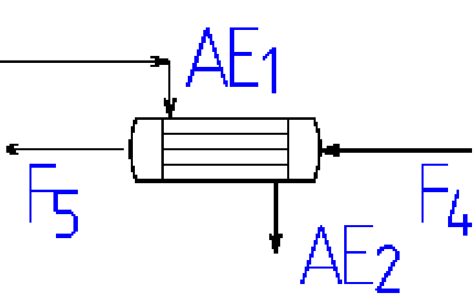
$$Q_{IC} = m_{AE1}\left(H_{AE2} - H_{AE1}\right)$$

$$\Delta T_c = \frac{\left(T_{F5} - T_{AE1}\right) - \left(T_{F4} - T_{AE2}\right)}{\ln \dfrac{\left(T_{F5} - T_{AE1}\right)}{\left(T_{F4} - T_{AE2}\right)}}$$

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

$$H_{F_5} = f\left(T_{F_5}, x_{F_5}\right)$$

$$H_{AE2} = f\left(T_{AE2}\right)$$



H_{F5}

H_{AE2}

Q_{IC}

ΔT_c

T_{F5}

T_{AE2}

Plantear secuencia de resolución

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

$$m_{F_6} = m_{F_5}$$

$$x_{F_6,i} = x_{F_5,i} \qquad \forall i$$

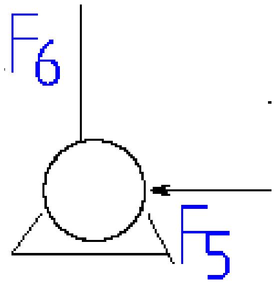
$$T_{F_6} = T_{F_5}$$

$$P_{F_5} = P_{F_4}$$

$$P_{F_6} = P_R^0$$

$$W_{BC} = m_{F_5} \frac{\Delta P_{BC}}{\eta \rho_{F_5}}$$

$$P_{F_6} = P_R^{\ 0}$$



Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

- A partir de los valores calculados (si se observan las ecuaciones diferenciales) junto a los datos y parámetros conocidos, más los valores de las variables diferenciales, cualquier algoritmo de resolución de ecuaciones diferenciales nos brinda el valor de las variables diferenciales en el tiempo t+Δt.

- Como los valores de las derivadas los hemos inicializados (con valores semillas) los miembros derechos quedan definidos. No obstante, todo el cálculo se ha realizado estimando el valor de las derivadas.

- Debemos ahora verificar el valor de las mismas respectos de los valores supuestos; esto es, si están dentro del margen de error, podemos pasar al cálculo de las variables diferenciales en el tiempo siguiente. De lo contrario debe proponerse un nuevo valor para las mismas y seguir iterando hasta lograr la convergencia.

$$\left(\frac{dh_R}{dt}\right)^{(0)} \left(\frac{dT_{F_1}}{dt}\right)^{(0)} \left(\frac{dh_{FL}}{dt}\right)^{(0)} \left(\frac{dP_0}{dt}\right)^{(0)}$$

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

- A partir de lo anterior generamos un nuevo valor de los diferenciales para poder comparar con los valores propuesto.

$$\left(\frac{dh_R}{dt}\right)^{(0)} = \frac{m_{F_6} + m_{F_0} - m_{F_1} + r_A A_R h_R}{\rho_{F_1} A_R}$$

$$\left(\frac{dh_{FL}}{dt}\right)^{(0)} = \frac{m_{F1} - m_{F3} - m_{F4}}{\rho_{F4} A_{FL}}$$

$$\left(\frac{dT_{F1}}{dt}\right)^{(0)} = \frac{T_{F1}^{(1)} - T_{F1}^{(0)}}{\Delta t}$$

Especificar como los obtenemos

$$\left(\frac{dP_{FL}^0}{dt}\right)^{(0)} = \frac{P_{FL}^{0\ (1)} - P_{FL}^{0\ (0)}}{\Delta t}$$

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

$$G_1 = \left| \left(\frac{dh_R}{dt} \right)^{*} - \left(\frac{dh_R}{dt} \right)^{(0)} \right|$$

$$G_2 = \left| \left(\frac{dh_{FL}}{dt} \right)^{*} - \left(\frac{dh_{FL}}{dt} \right)^{(0)} \right|$$

$$¿\max\left(G_1, \ldots, G_4\right) < tol\,?$$

$$G_3 = \left| \left(\frac{dT_{F1}}{dt} \right)^{*} - \left(\frac{dT_{F1}}{dt} \right)^{(0)} \right|$$

$$G_4 = \left| \left(\frac{dP_{FL}^{0}}{dt} \right)^{*} - \left(\frac{dP_{FL}^{0}}{dt} \right)^{(0)} \right|$$

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

$$¿\max\left(G_1,\ldots,G_4\right) < tol\,? \rightarrow SI$$

Calculamos los restantes diferenciales y aplicando Euler obtenemos:

$$h_R^{(1)} \quad C_A^{(1)} \quad C_B^{(1)} \quad C_C^{(1)} \quad H_{F_1}^{(1)} \quad H_a^{(1)}$$

$$h_{FL}^{(1)} \quad x_{F_4,A}^{(1)} \quad x_{F_4,B}^{(1)} \quad x_{F_4,C}^{(1)} \quad H_{F_4}^{(1)}$$

$$A_I^{L(1)} \quad A_I^{T(1)} \quad A_I^{PR(1)} \quad A_I^{L2(1)}$$

Y resolvemos nuevamente para el nuevo instante (1)…

Estrategia de Resolución del Modelo Dinámico completo

$$¿\max\left(G_1,\ldots,G_4\right) < tol\,? \rightarrow NO$$

Reemplazamos el valor de los diferenciales propuestos por los que calculamos:

$$\left(\frac{dh_R}{dt}\right)^* = \left(\frac{dh_R}{dt}\right)^{(0)}$$

$$\left(\frac{dT_{F_1}}{dt}\right)^* = \left(\frac{dT_{F_1}}{dt}\right)^{(0)}$$

$$\left(\frac{dh_{FL}}{dt}\right)^* = \left(\frac{dh_{FL}}{dt}\right)^{(0)}$$

$$\left(\frac{dP_0}{dt}\right)^* = \left(\frac{dP_0}{dt}\right)^{(0)}$$

Y resolvemos nuevamente el instante actual (0)…