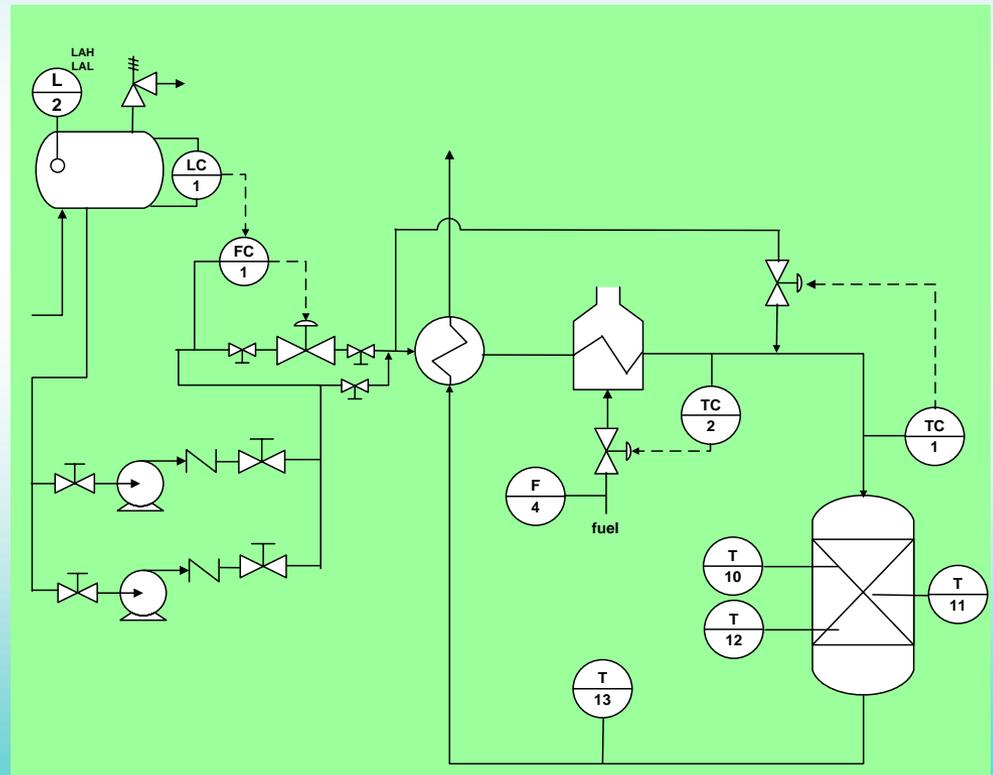
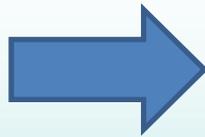
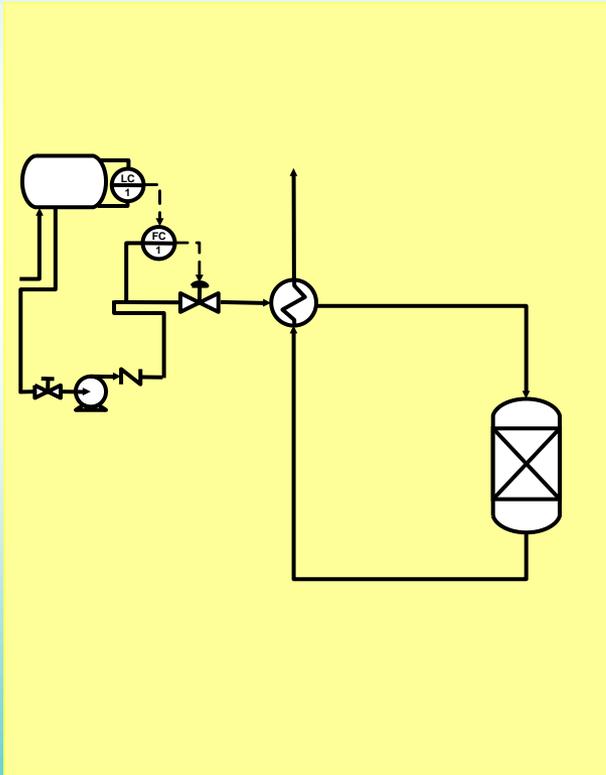


Control de Plantas

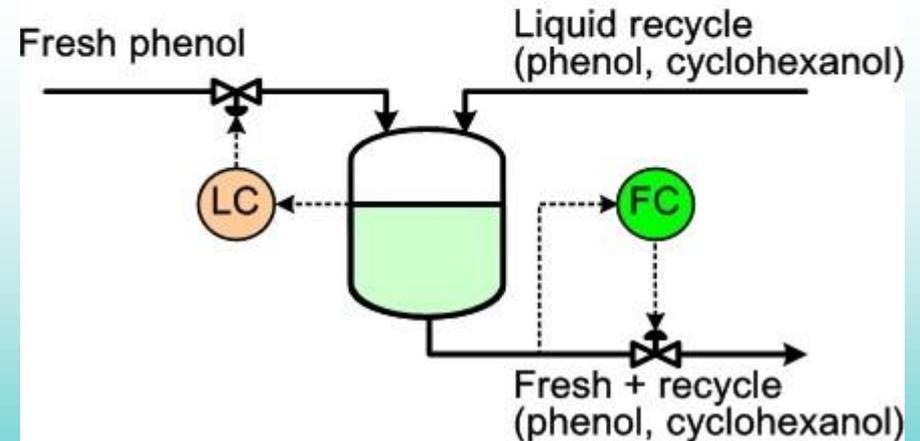
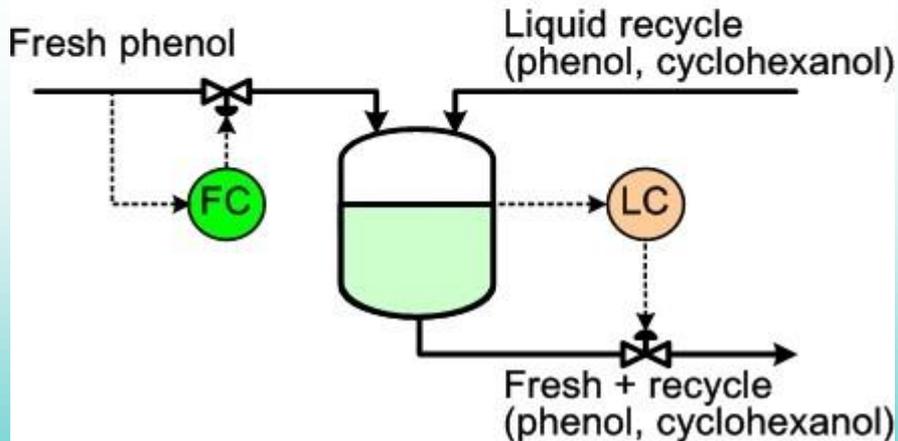
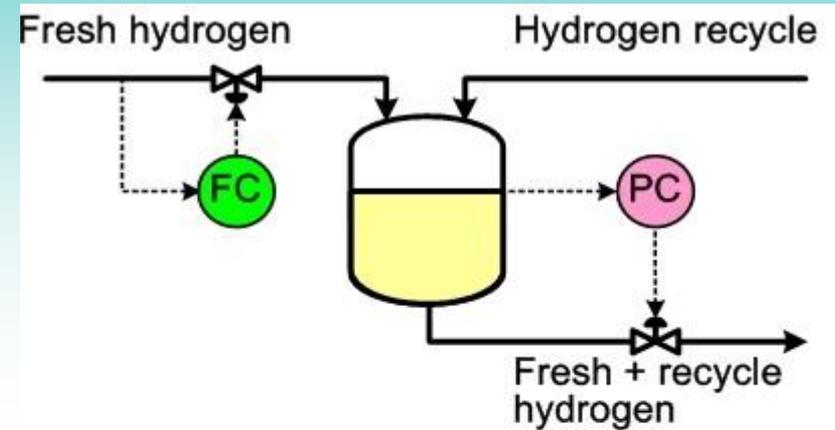
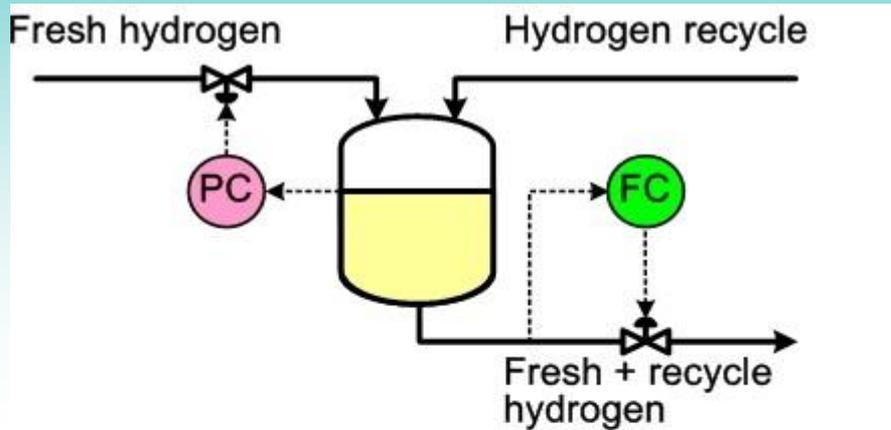
Regulación de Condiciones de Proceso



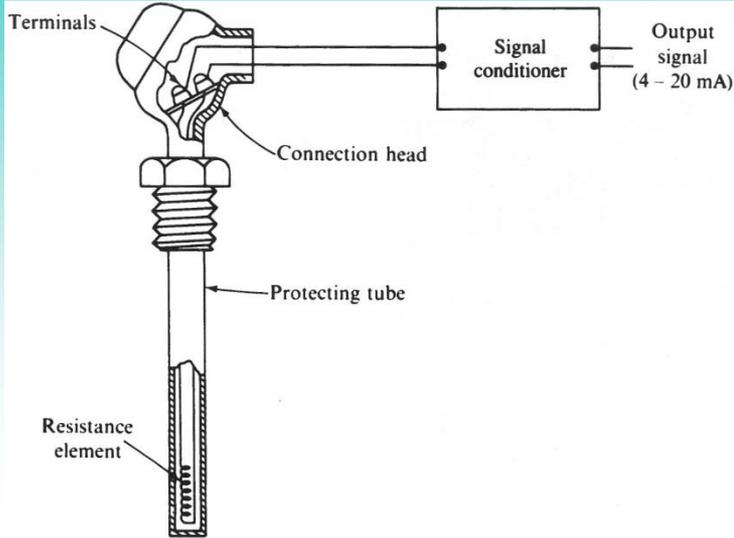
Objetivos

- Brindar herramientas para el análisis de sistemas de control en *flowsheet* como una parte integral del proceso del diseño.
- Proveer un enfoque cualitativo para la selección de variable de control y variables manipuladas.
- Conocer métodos cualitativos de selección de estructura de control de plantas.
- Resolver problemas relacionados con control de plantas.
- Conocer los aspectos de operabilidad de plantas químicas.

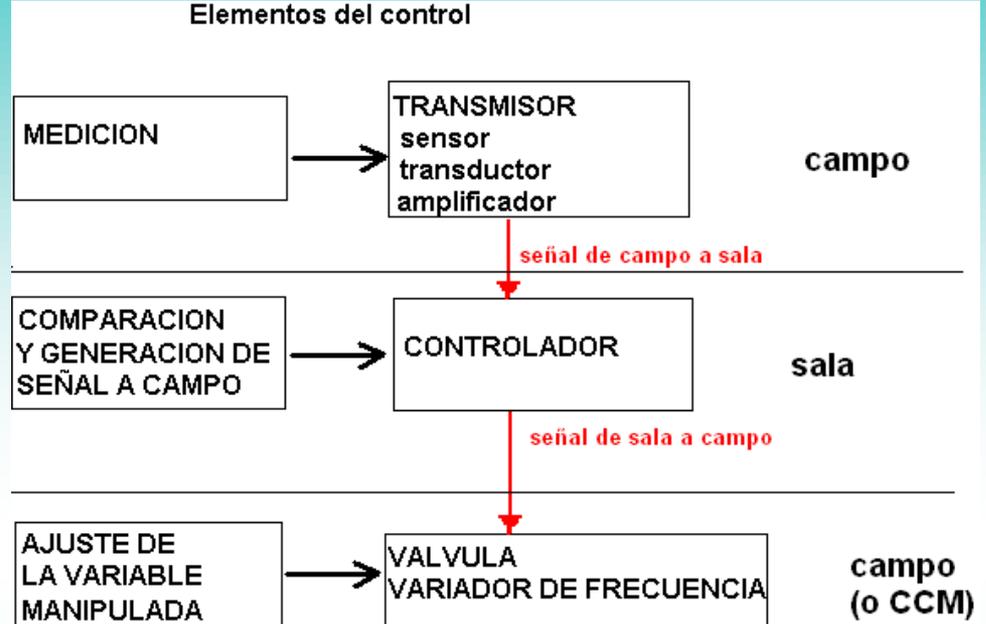
Casos de estudio. Inventarios



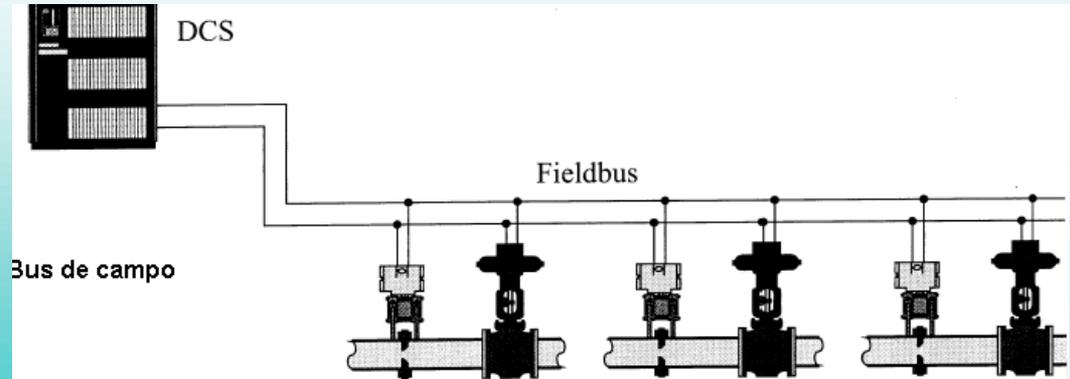
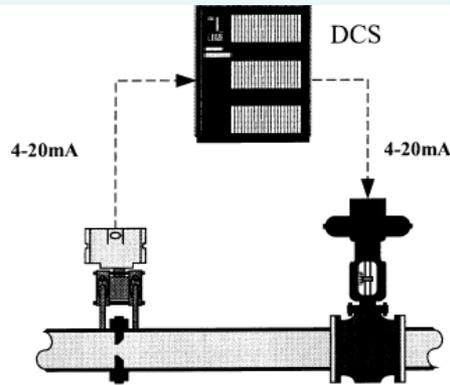
Elementos de control



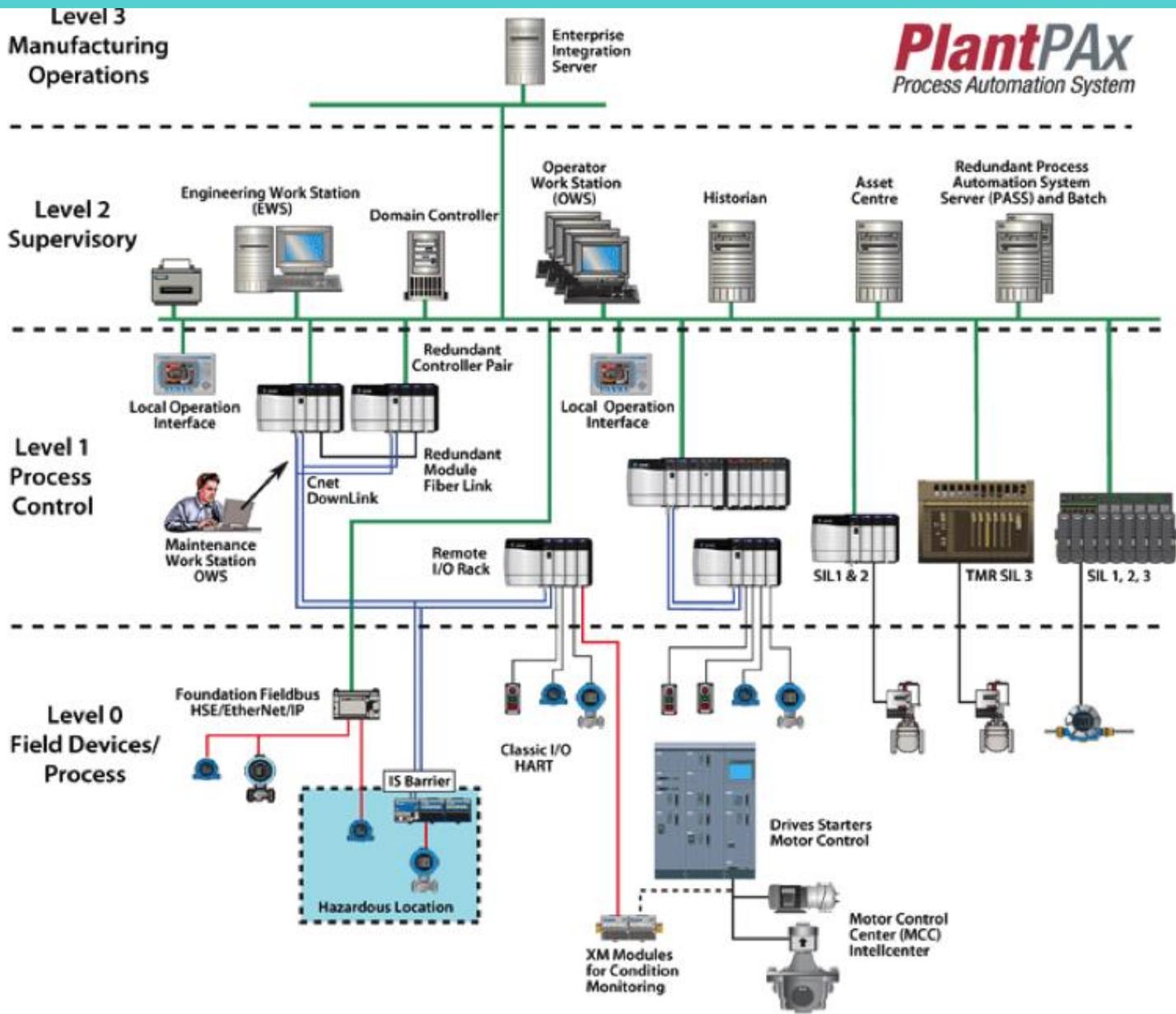
Typical RTD temperature transmitter.



Esquema en 4-20 mA



Sistema de control distribuido (DCS)



nivel operaciones

(donde se encuentran PCs con softwares especializados para planificación y administración de producción de la planta)

nivel supervisión

(donde se encuentran las Estaciones de Operación y los Servidores de Proceso)

nivel control

(donde se encuentran los PLCs o las Estaciones de Automatización))

nivel campo

(donde se encuentran los sensores y actuadores)

multicable



cable de señal

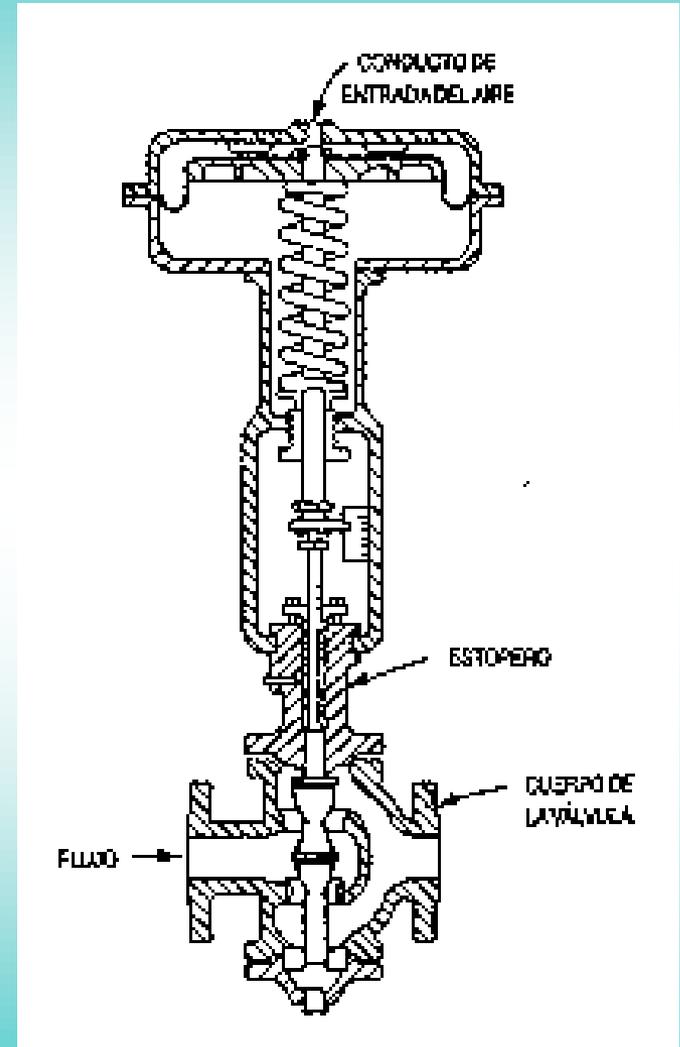
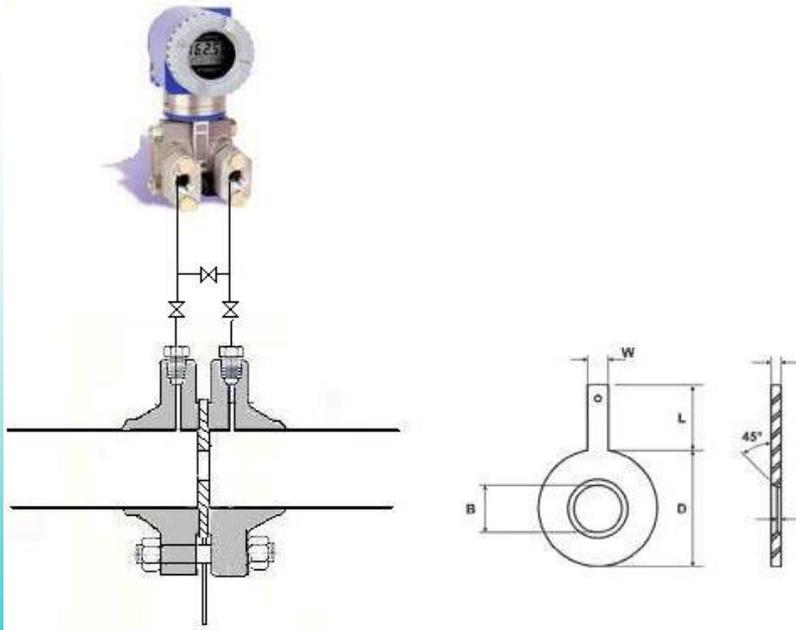
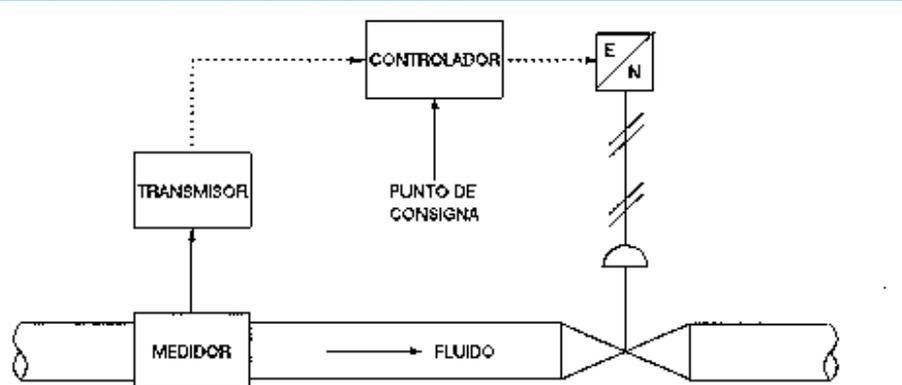
cable de señal



suministro de aire

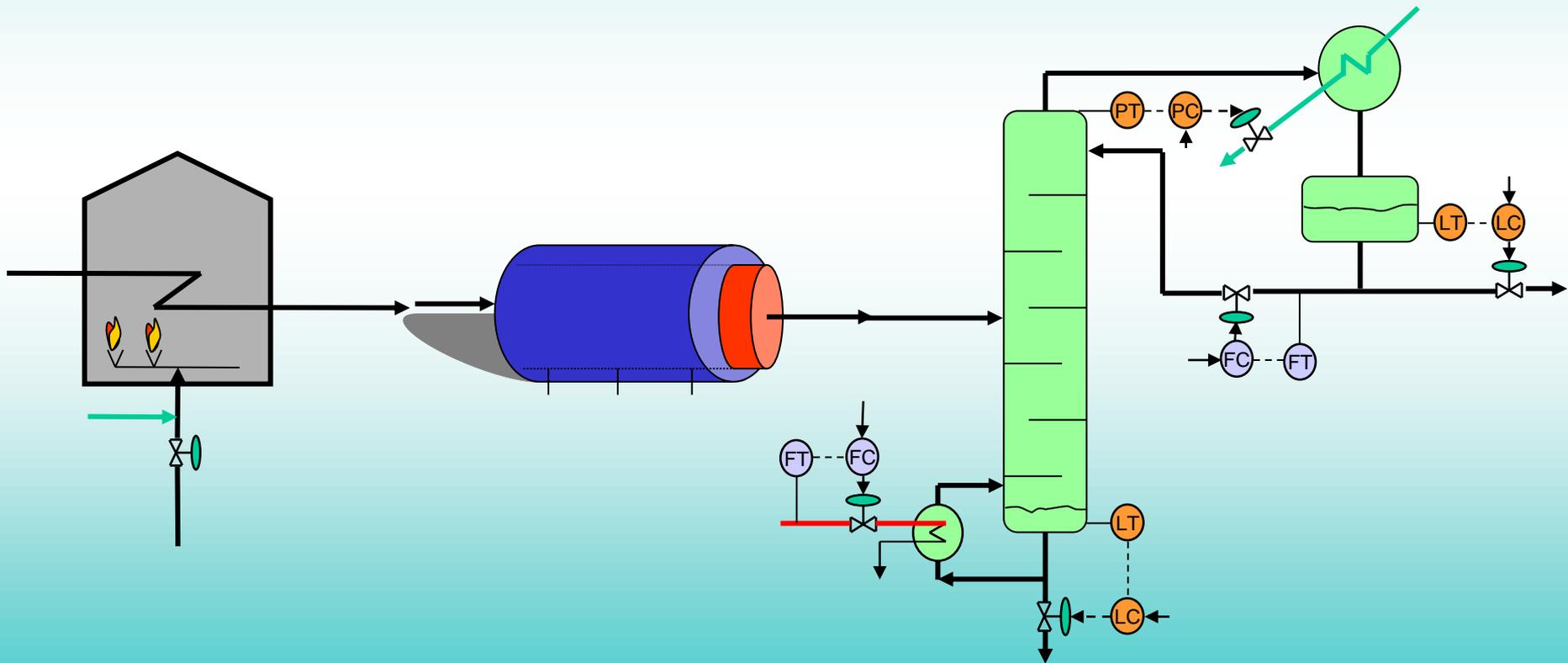
Ejemplos de lazos de control

Control de caudal



Control de una Planta Completa

- Diseño de los distintos lazos de control de una planta para asegurar los distintos objetivos de funcionamiento de la misma



Regulación de condiciones de proceso

- Es importante en la vida de una planta, la regulación de las condiciones para la operación en el estado estable y producir productos de calidad en forma eficiente y económica.
- La regulación establece la estrategia por la cual el proceso puede ser controlado.
- La regulación también implica la dinámica de la respuesta del proceso a cambios en las variables de operación.
- La regulación de operaciones de proceso implica comprensión de dos hechos:
 - En muchas situaciones los procesos son regulados, directa o indirectamente, por manipulación de los flujos de servicios y de corrientes de procesos.
 - Cambios en el flujo se realizan por apertura o cierre de válvulas.
 - Cualquier presión o flujo (no ambos simultáneamente) puede ser regulada cambiando la apertura de una válvula.

Objetivos de control

- Desde el punto de vista de control de todo el proceso se debe asegurar:
 1. Operación segura, incluido puesta en marcha y parada,
 2. Producción a capacidad nominal con flexibilidad de $\pm 10\%$.
 3. Cumplir con la calidad (pureza) de producto, de mínimo 98%, según el producto.
 4. Mínima pérdidas en residuos y emisiones de gases.
 5. Mínimo tiempo de transiciones entre puntos de operación.
- El primer punto se cumple si el planta hace no opera en puntos inestables o condiciones peligrosas.
 -  En este proceso el mayor riesgo está en reactor, dónde hay zonas caliente.
 -  Hay riesgo de fuego y explosión, pero estos deben ser normalmente administrado por medidas estándares de seguridad.

Objetivos de control

- El segundo ítem se refiere al balance material de toda la planta.
 - La cantidad de materia prima debe ser alimentado solo en cantidades requerido por el objetivo producción y selectividad.
- *La estructura de control de alimentación fresca debe permitir flexibilidad, dentro de límites predefinidos, tanto en el ritmo de producción como en selectividad, pero evitando grandes variación de reciclo que podría superar valores permitidos de algunas unidades de proceso (efecto bola de nieve).*
- El *control de la pureza del producto* debe cumplir con los requisitos de flexibilidad. Excesiva pureza impacta en más alto costos de operación, pero más bajo pureza es inaceptable.
 - El problema puede ser resuelto en principio por adecuado lazo de control local.
- Lo mismo es válido *para minimización de residuos*. Sin embargo, cuando los separadores son involucrados en los circuitos de reciclaje, tanto el diseño como el control deben tener en cuenta el efecto de interacciones.
- Finalmente, *sensibilidad y rápido dinámica de transiciones* puede ser logrado por suprimiendo innecesario almacenamiento tanques y optimizando el inventarios de unidades.

Objetivos de control

- *La simulación dinámica empieza por adecuado dimensionamiento de unidades y por el evaluación de la estructura clave de toda la planta.*
- *La variable manipulada debe tener suficiente fuerza para atenuar las perturbaciones y a camino de las variables controladas en nuevo puntos de ajuste.*
 - *El selección de variables controladas debe cumplir con el requisitos de sensibilidad y linealidad con respecto a variables manipuladas.*
- *Unidades con rápido dinámica, tal como el evaporador o algún intercambiador de calor, pueden ser manejado como estado estable.*
- *El implementación de lazo de control para la unidad operación clave, reactor químico y columnas de destilación , tienen en cuenta algunas cuestiones específicas de toda la perspectiva de la planta (Luyben y Alabama).*

Objetivos de control de planta

El diseño de un sistema de control de una planta química tiene el propósito de **maximizar las ganancias** como resultado de la transformación de las materias primas en productos que cumplen con los siguientes criterios:

1. **Seguridad.**
2. **Regulaciones ambientales:** en la calidad de aire y agua como en el tratamiento de los residuos.
3. **Restricciones de operación (protección de equipos).** Para hacer frente a las limitaciones operativas.
4. **Buen funcionamiento y velocidad de producción**
5. **Especificaciones de producto:** calidad, cantidad.
6. **Para ahorrar energía.**
7. **Para mejorar la operabilidad.** Monitoreo y diagnóstico

Metodología

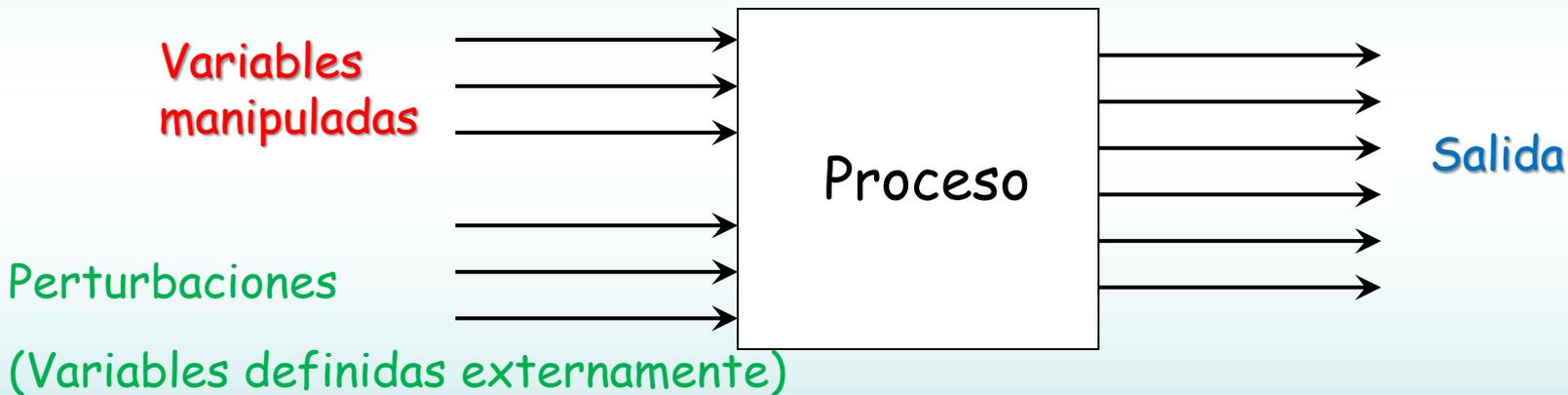
El número de válvulas de control (actuadores) constituye el número de variables manipuladas que se usarán para fijar la **producción, calidad de los productos, mantener la seguridad o restricciones ambientales, los niveles en tanques**, etc.

Un orden a seguir para asignar lazos es:

1. Seleccionar el lazo que fija la producción (cabeza, cola,...)
2. Lazos de control de calidad y seguridad
3. Lazos de almacenamiento de productos
4. Comprobar que los balances pueden satisfacerse
5. Utilizar el resto de los grados de libertad para optimizar
6. Validar el diseño mediante simulación dinámica

Clasificación de variables

- Las variables involucradas en un proceso se pueden clasificar en variables manipuladas, perturbaciones y variables de salida.



- Generalmente no es posible controlar todas las salidas (¿Por qué?)
- Una vez que se define el número de variables manipuladas, se selecciona qué salidas deben ser las variables controladas.

Selección de **variables controladas**

- 1: Seleccionar variables que no son de regulación automática.
- 2: Seleccione variables de salida que pueden exceder restricciones del equipo y de operación sin control.
- 3: Seleccione **variables de salida** que son una **medida directa** de la calidad del producto o **que afecte fuertemente a la misma**.
- 4: Elegir variables de salida que interactúan con otras variables controladas.
- 5: Elegir variables de salida que tienen respuestas estáticas y dinámicas favorables a las variables de control disponibles.

Selección de variables manipuladas

- 6: Seleccionar entradas que afectan significativamente a las variables controladas.
- 7: Seleccionar entradas que afectan **rápidamente** a las variables controladas.
- 8: Las variables manipuladas deben afectar las variables controladas directamente más que indirectamente.
- 9: Evitar reciclar perturbaciones.

Selección de variables medidas.

10: Las mediciones confiables y precisas son esenciales para el buen control.

11: Los puntos seleccionados de medida deben ser de alta sensibilidad.

12: Seleccione puntos de medida que minimizan constantes del tiempo y retrasos.

Análisis de los grados de libertad

Antes de seleccionar las variables controladas y manipuladas para un sistema de control, se debe determinar el número de variables permitidas. El número de variables manipuladas no puede exceder los **grados de libertad**, que son determinados usando un modelo del proceso:

$$N_D = N_{\text{Variables}} - N_{\text{Ecuaciones}}$$

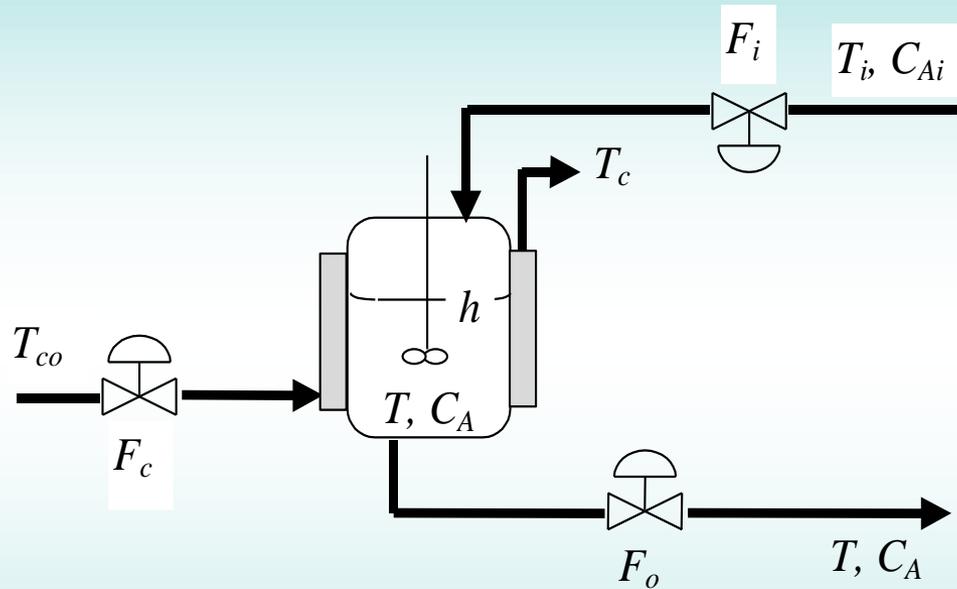
Grados de libertad Numero de variables Numero de ecuaciones

$$N_D = N_{\text{manipulada}} + N_{\text{Definida externamente}}$$

$$N_{\text{Manipulada}} = N_{\text{Variables}} - N_{\text{Definida externamente}} - N_{\text{Ecuaciones}}$$

Ejemplo 1: CONTROL de CSTR

Numero de variables.

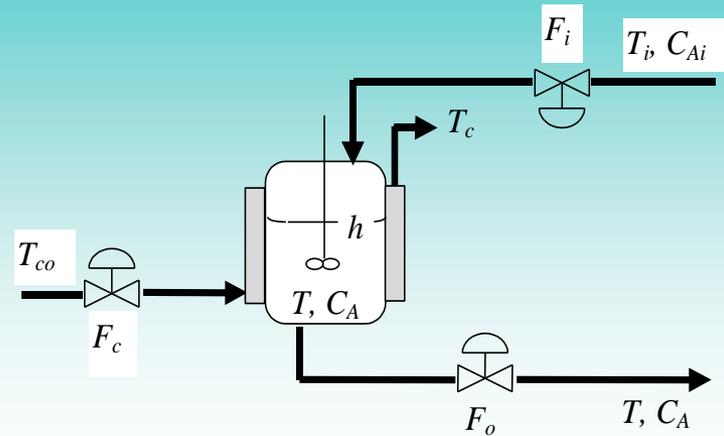


$$N_{\text{variables}} = 10$$

Definidas externamente (perturbaciones): C_{Ai} , T_i , and T_{co}

Ejemplo 1: CONTROL de CSTR

Balance de materia y energía



$$A\rho \frac{dh}{dt} = \rho F_i - \rho F_o$$

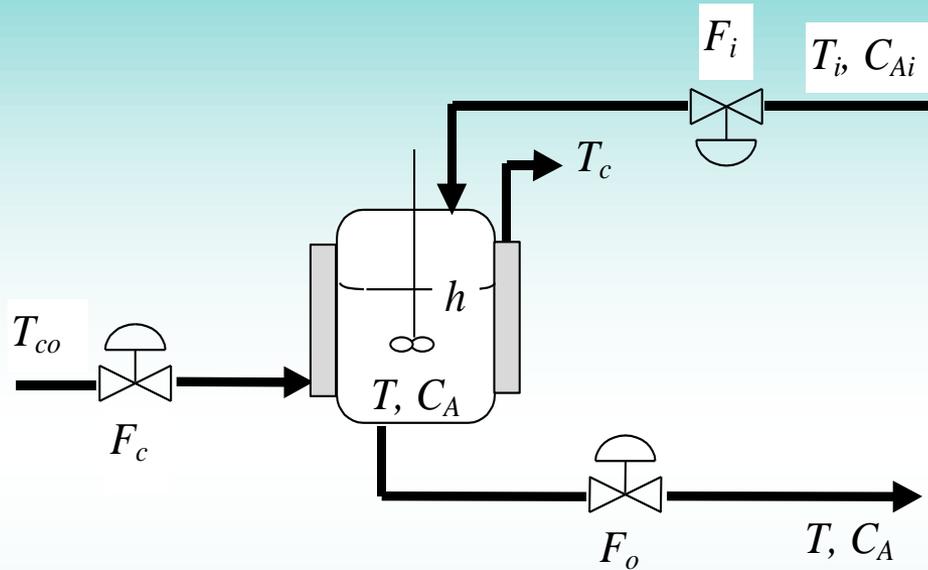
$$A \frac{d}{dt} (h C_A) = F_i C_{Ai} - F_o C_A - Ah \cdot r \{C_A, T\}$$

$$A \cdot C_p \frac{d}{dt} (h \cdot T) = F_i C_p T_i - F_o C_p T + Ah \cdot r \{C_A, T\} (-\Delta H) - UA_s (T - T_c)$$

$$V_c C_{p_c} \frac{dT_c}{dt} = F_c C_{p_c} T_{co} - F_c C_{p_c} T_c + UA_s (T - T_c)$$

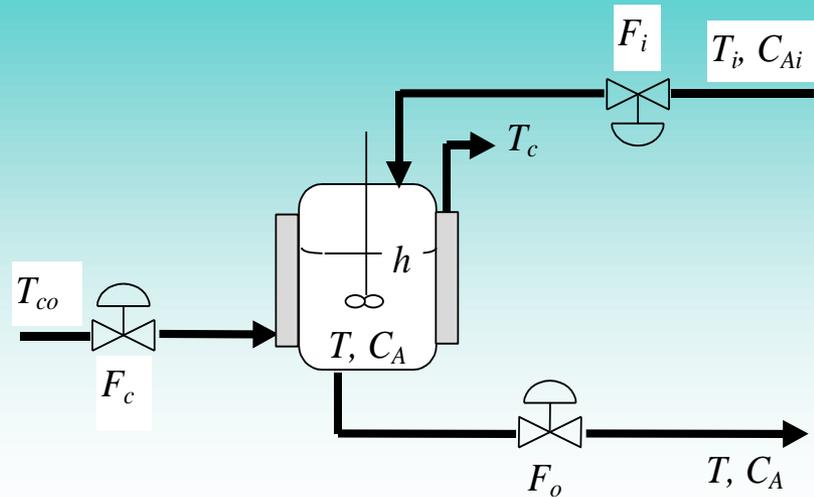
$$N_{\text{Ecuaciones}} = 4$$

Ejemplo 1: CONTROL de CSTR



$$\begin{aligned} N_{\text{Manipuladas}} &= N_{\text{Variables}} - N_{\text{Definida ext.}} - N_{\text{Ecuaciones}} \\ &= 10 - 3 - 4 = 3 \end{aligned}$$

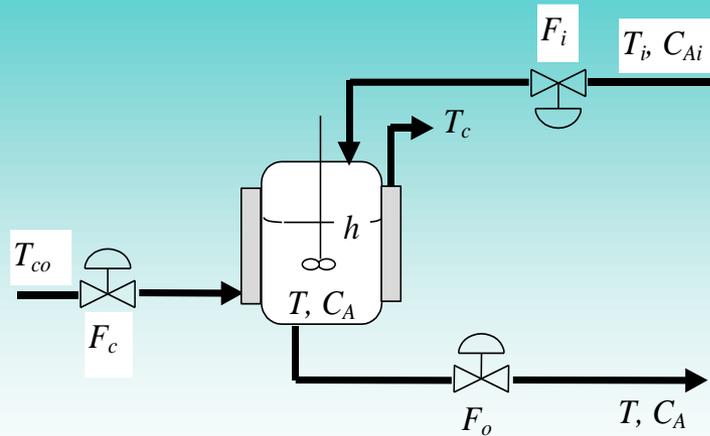
Ejemplo 1: CONTROL de CSTR



Selección de variables controladas.

- C_A debe seleccionarse ya que afecta directamente la calidad del producto. (3).
- T debe seleccionarse debido a que debe ser regulada para evitar problemas de seguridad. (2) y debido a que interactúa con C_A (4).
- h debe seleccionarse como variable controlada debido a que no se autorregula. (1).

Ejemplo 1: CONTROL de CSTR

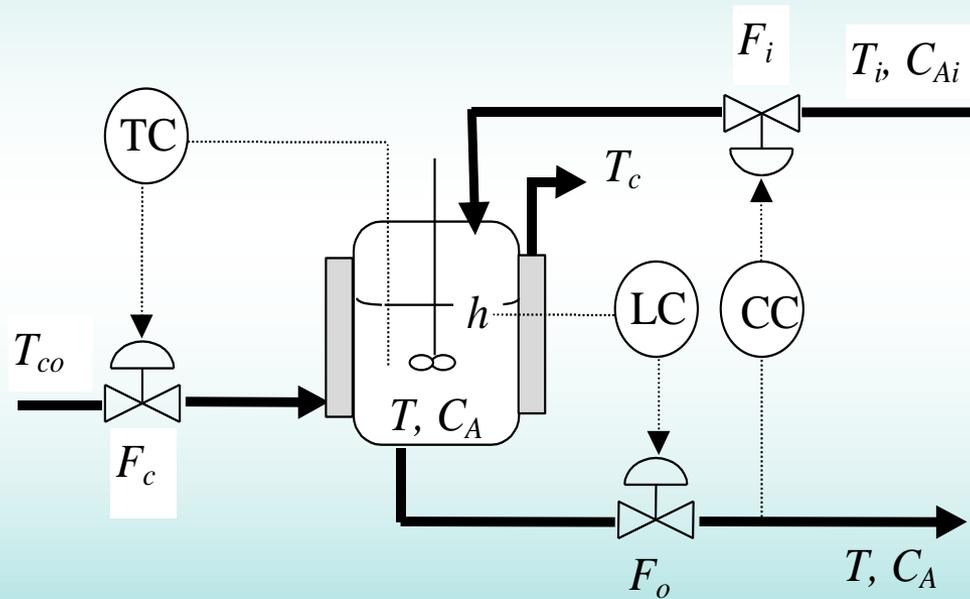


Selección de variables manipuladas.

- ★ F_i debe ser seleccionada ya que afecta directa y rápidamente C_A (6, 7 y 8).
- ★ F_c debe ser seleccionada ya que afecta directa y rápidamente T (6, 7 y 8).
- F_o debe ser seleccionada ya que afecta directa y rápidamente h (6, 7 y 8).

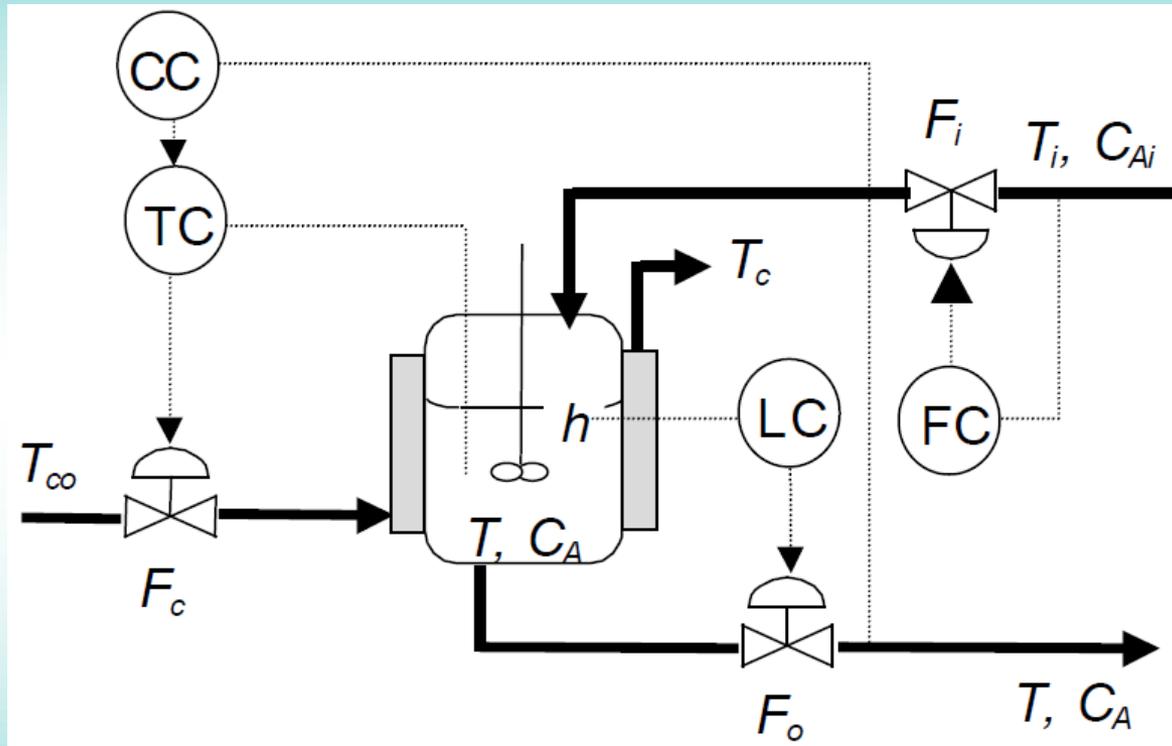
Ejemplo 1: CONTROL de CSTR

Configuración de **caso base** de control:



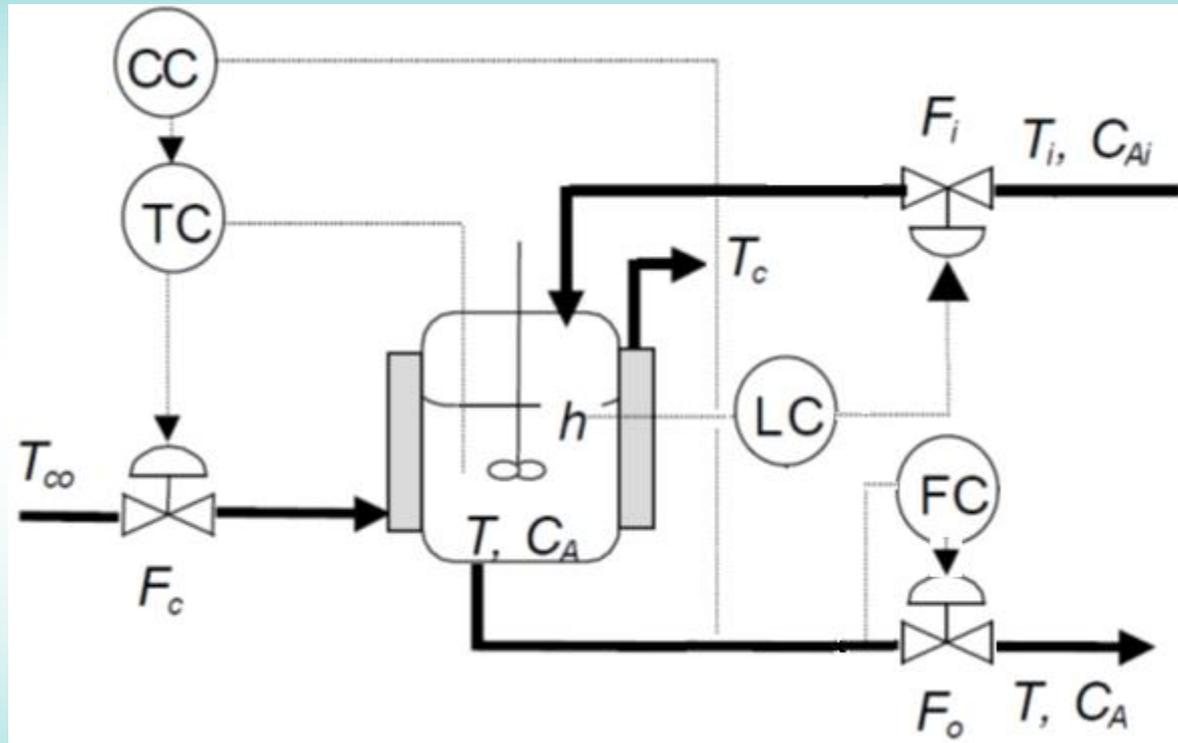
Ejemplo 1: CONTROL de CSTR

Configuración de una alternativa de control (**alimentación fija**):



Ejemplo 1: CONTROL de CSTR

Configuración de una alternativa de control (producto a pedido):



Niveles de seguridad

- **Controladores:**

Intentan suprimir los efectos de una perturbación.

- **Alarmas:**

Notifican que los efectos no pudieron ser suprimidos.

- **Sistemas de enclavamiento:**

Actúan deteniendo parcial o totalmente el proceso.

- **Sistemas de alivio y seguridad**

Disponer corrientes materiales en forma segura.

Componentes de seguridad.

Protección contra sobrepresión o vacío

Válvulas de seguridad y alivio: Válvulas que permanecen cerradas por acción de un resorte. Cuando la presión a la entrada vence la fuerza del resorte la válvula se abre descargando hacia un lugar seguro. Se calibran para que abran a la presión de diseño del recipiente que protegen



Discos de ruptura: Elemento fusible que se instala en una boca del recipiente, calculado para que rompa a una presión algo menor que la que soporta el recipiente

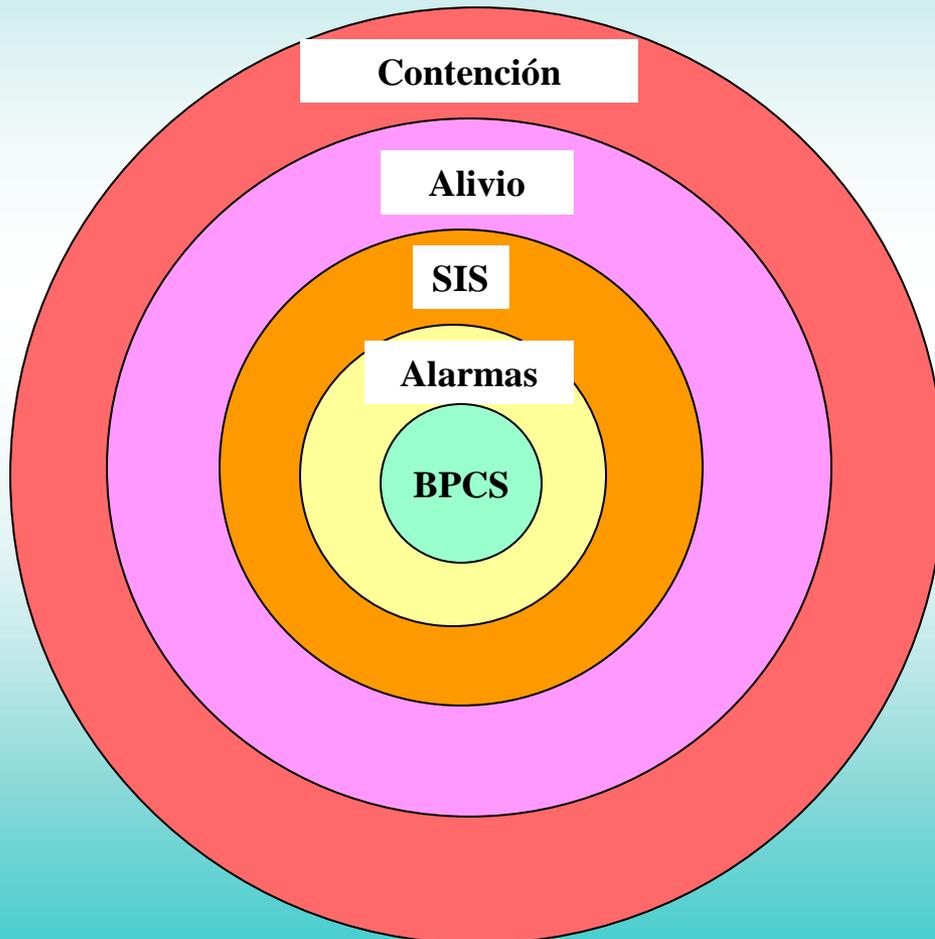


Válvulas de presión y vacío. Para protección de tanques atmosféricos. Poseen clapetas que abren a muy baja sobrepresión o vacío permitiendo aliviar gases o admitir aire en el tanque



La seguridad implica muchas capas para proporcionar una alta confiabilidad.

Respuesta de emergencia



C
o
n
t
r
o
l

- **BPCS** – Control básico de proceso
- **Alarmas** – llamar atención
- **SIS** - sistema de enclavamiento de seguridad de marcha/parada de equipos
- **Alivio** – Prevenir presión excesiva
- **Contención** - Evitar que los materiales lleguen a trabajadores, comunidad o medio ambiente
- **Respuesta de Emergencia** - evacuación, lucha contra incendios, emergencia médica, etc.

Respuesta de emergencia



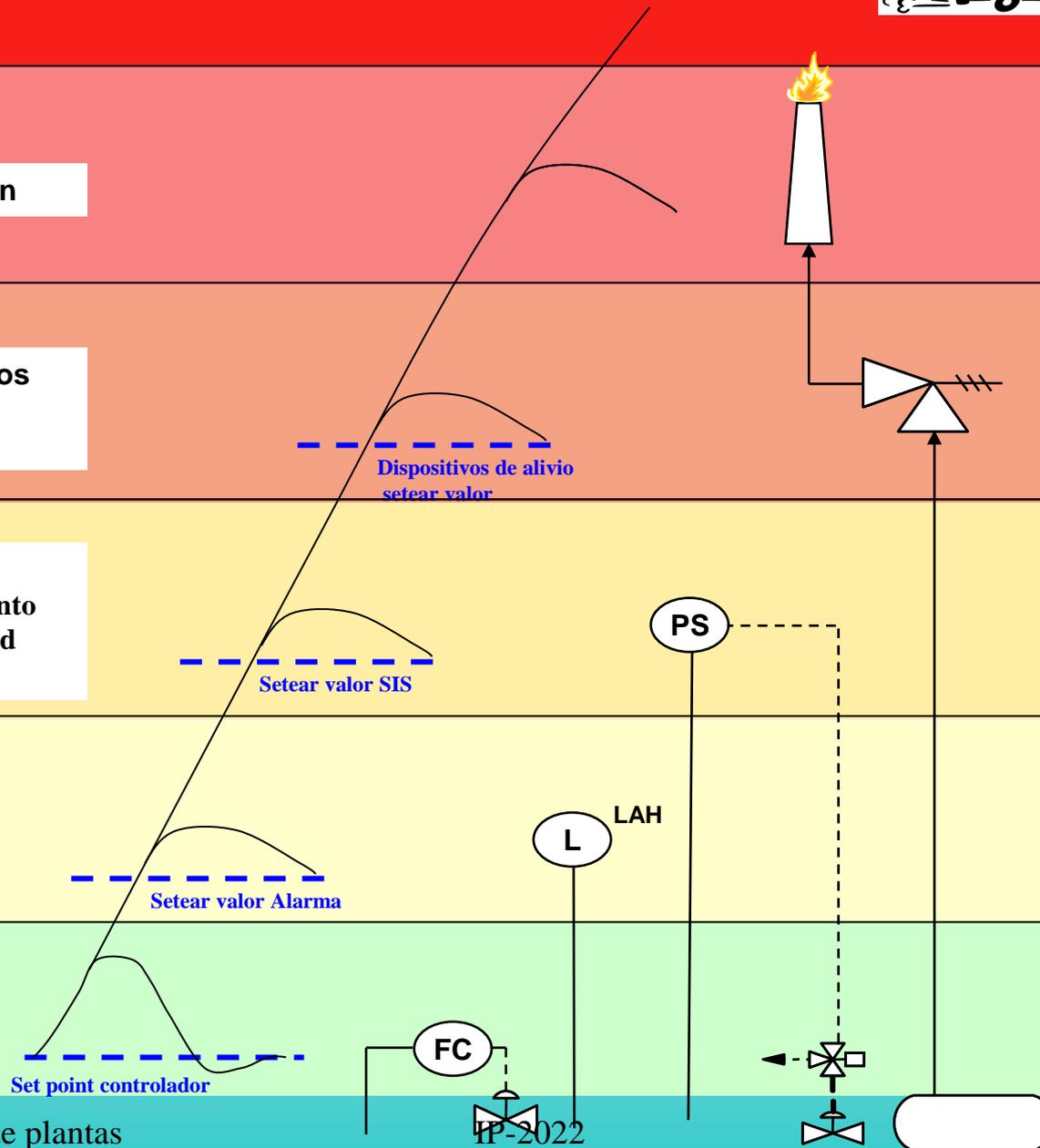
Contención

Dispositivos de alivio y seguridad

Sistema de enclavamiento de seguridad (SIS)

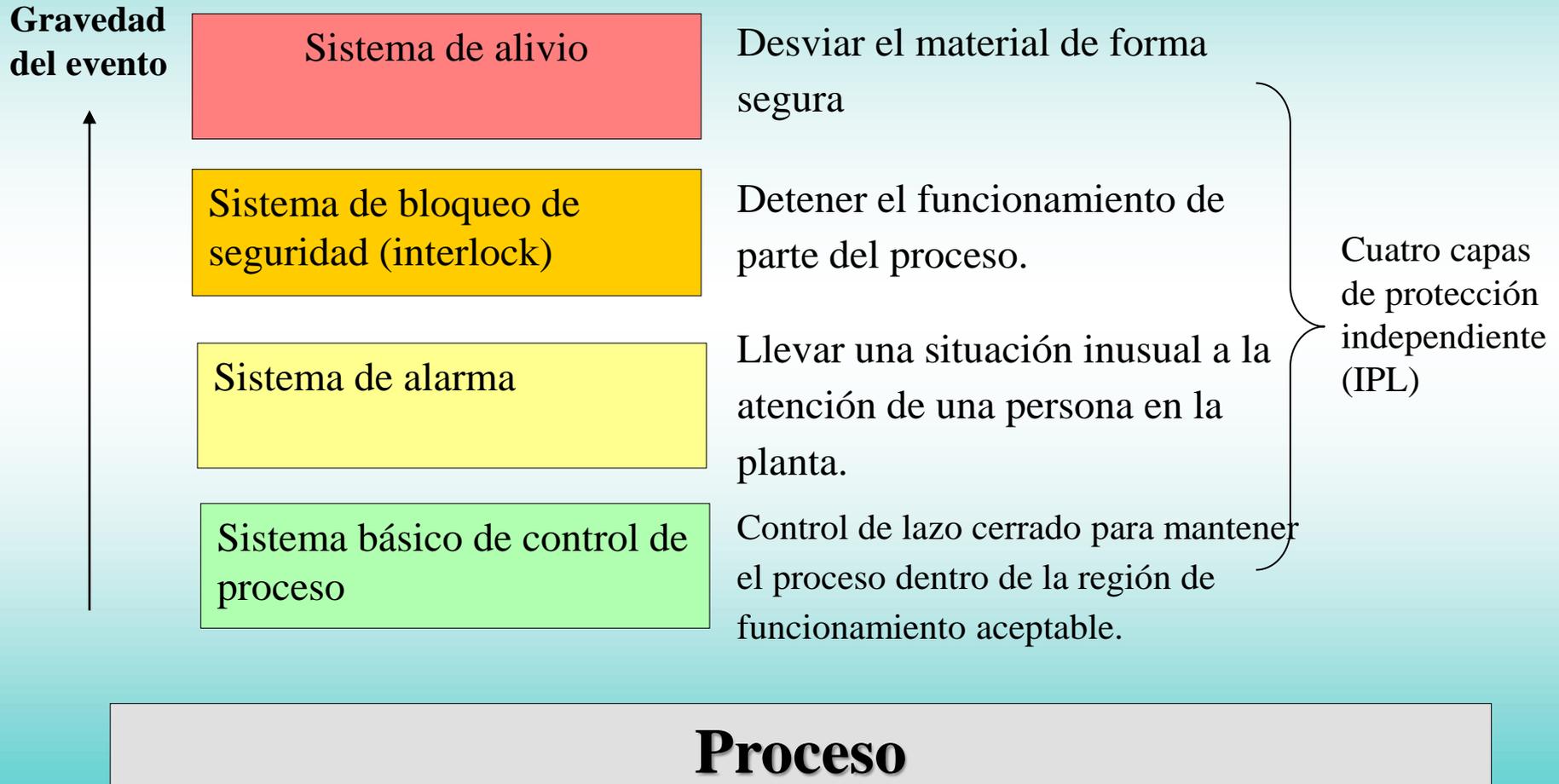
Alarmas

Sistema de control básico de procesos



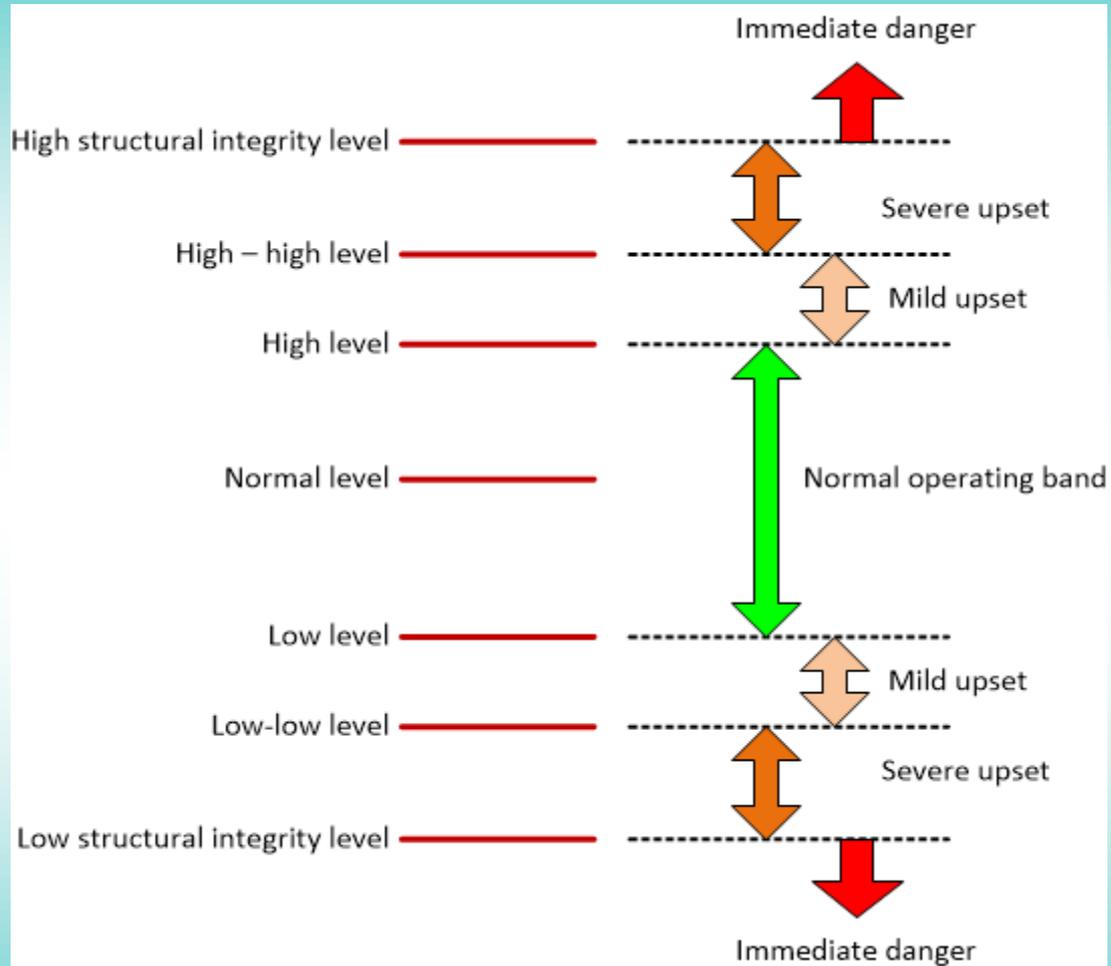
Concepto clave en la seguridad de proceso: Redundancia

Niveles de seguridad



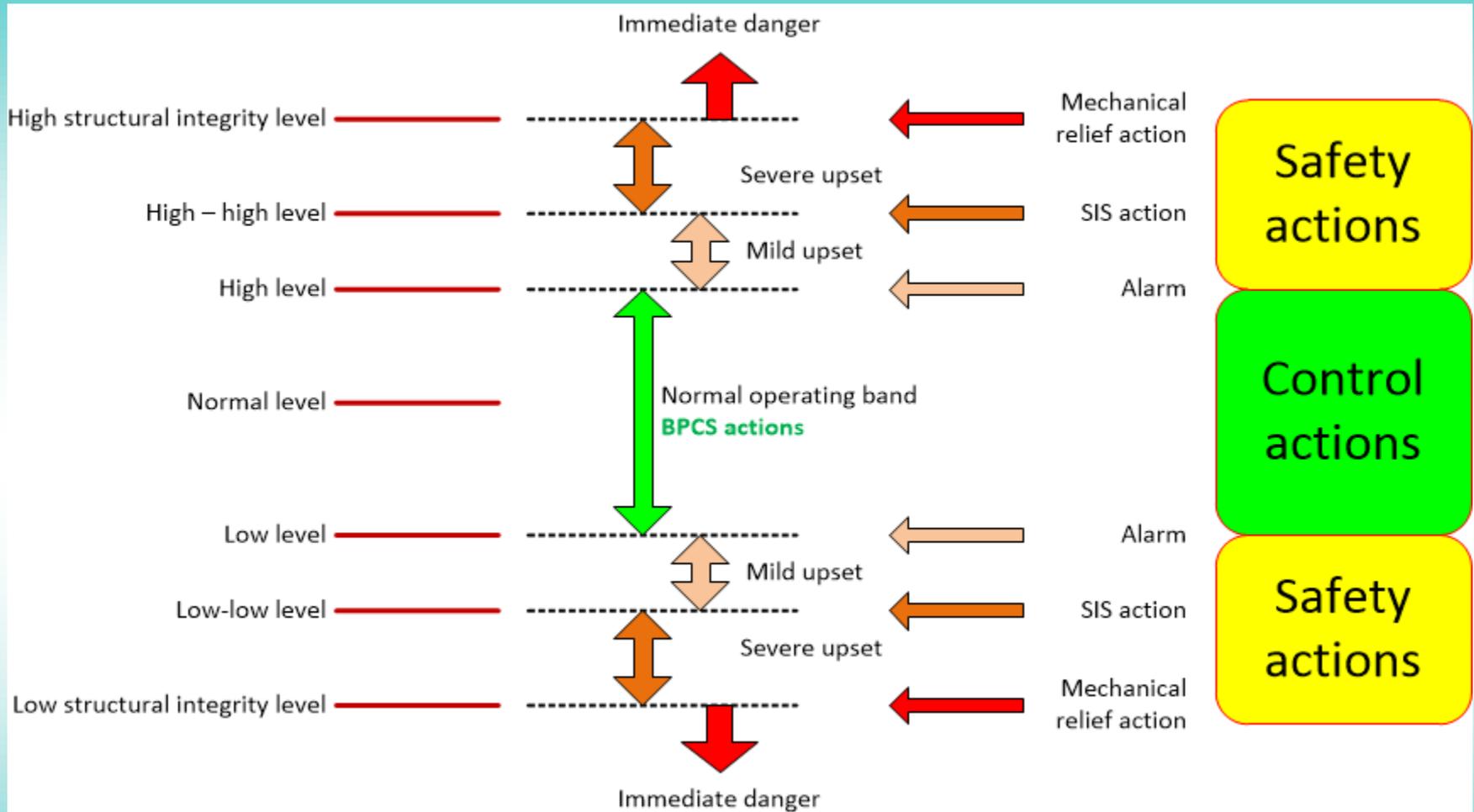
Niveles de seguridad

Bandas principales de operación



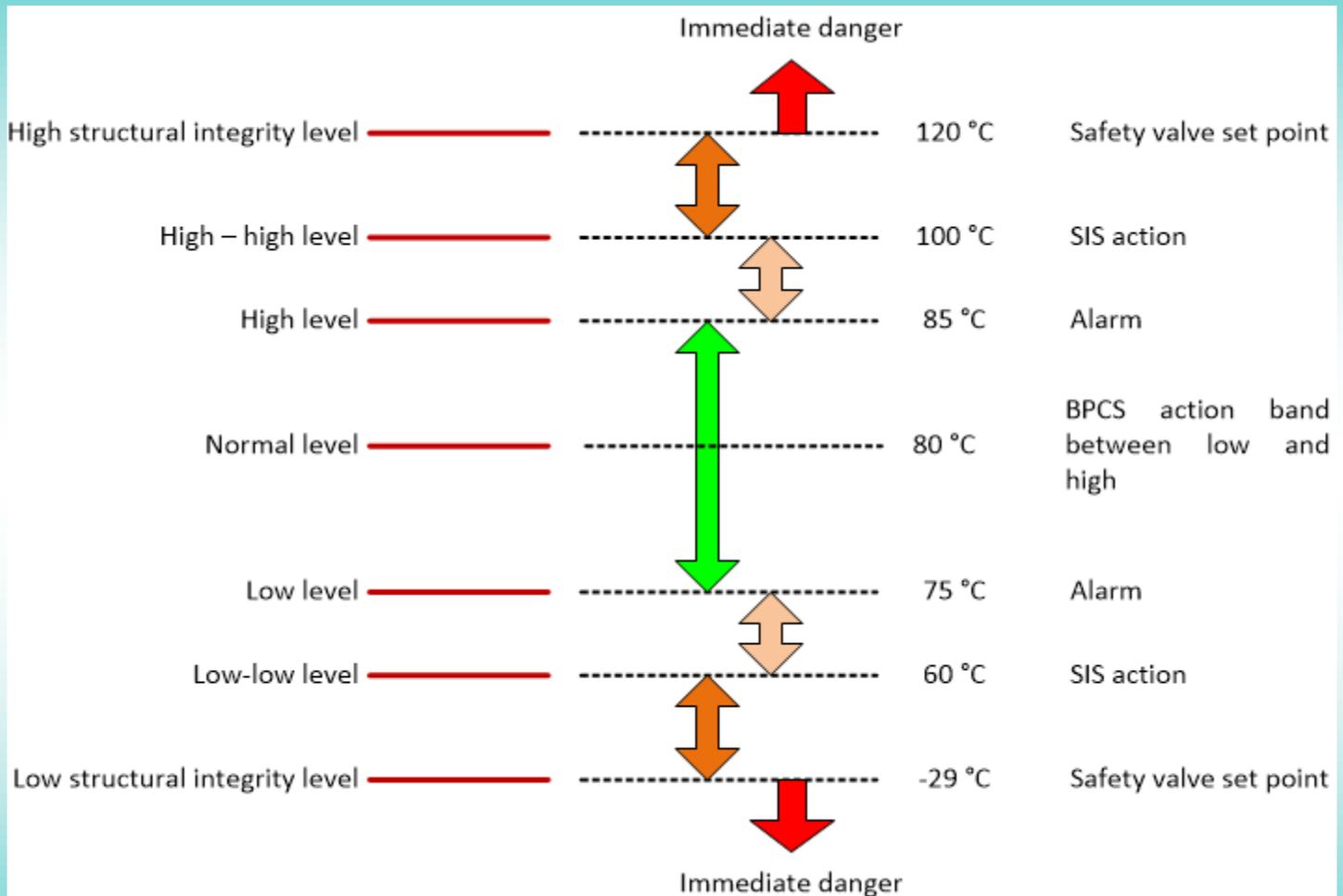
Niveles de seguridad

Niveles de decisión o bandas para protección del proceso



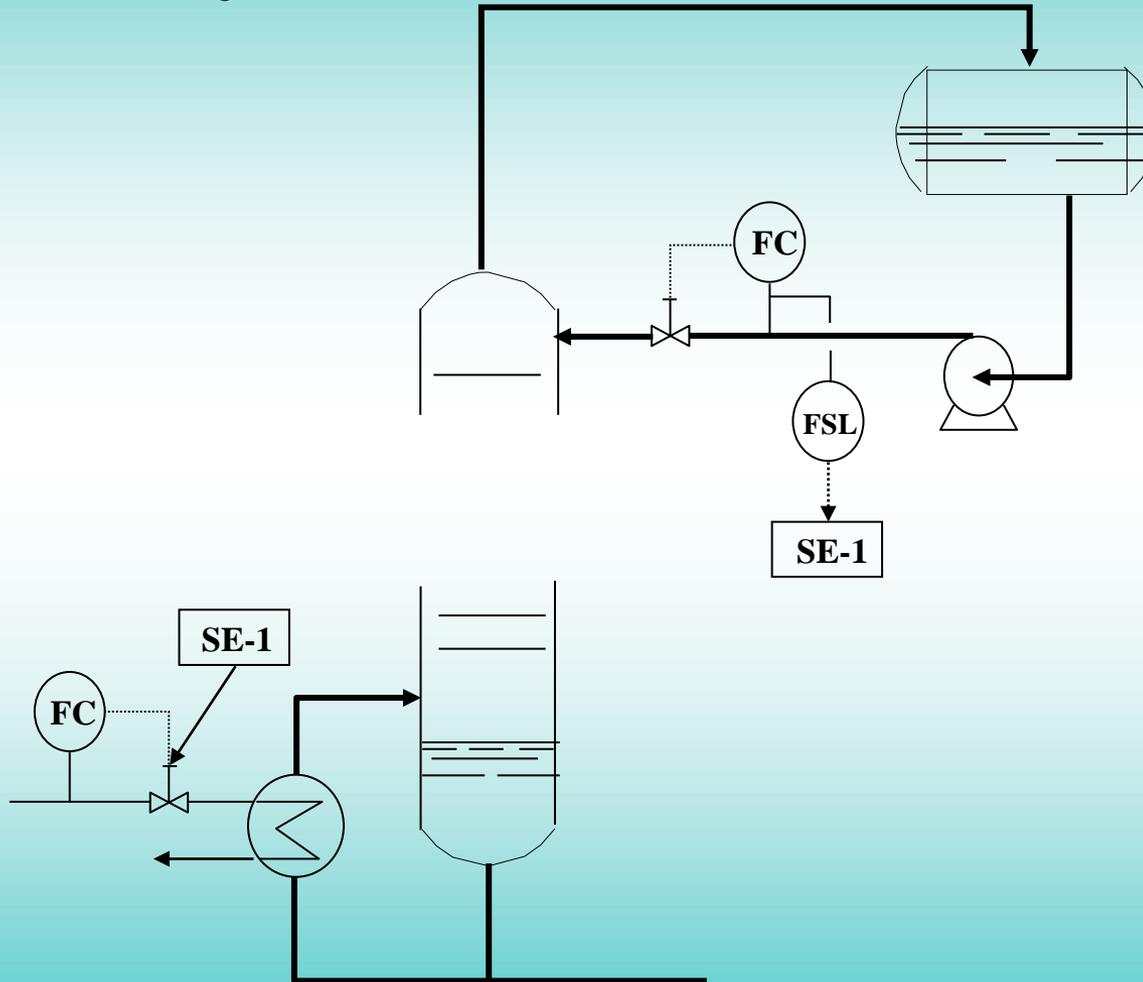
Niveles de seguridad

Ejemplo: Niveles de temperatura



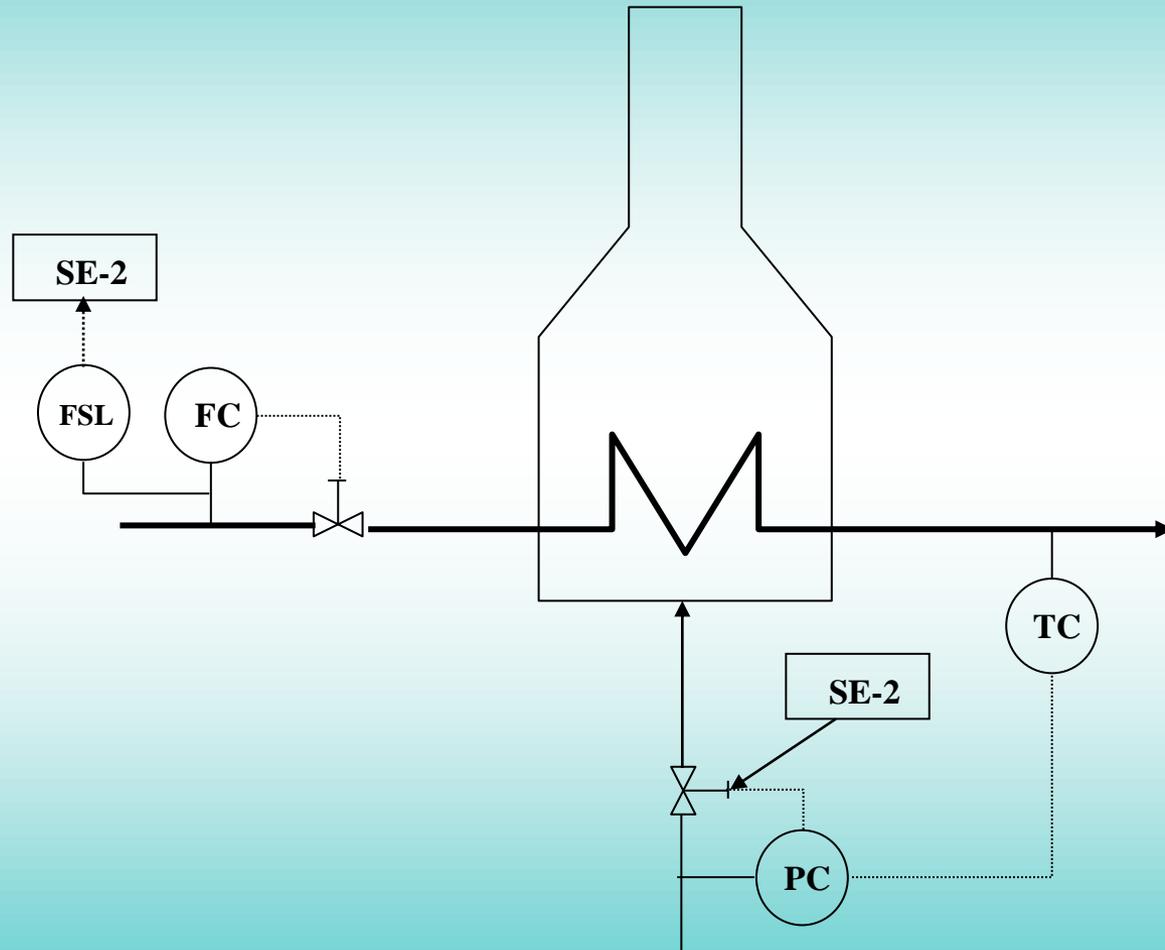
Sistemas de enclavamiento

- Fallo de reflujo - Corte de calor al *reboiler*

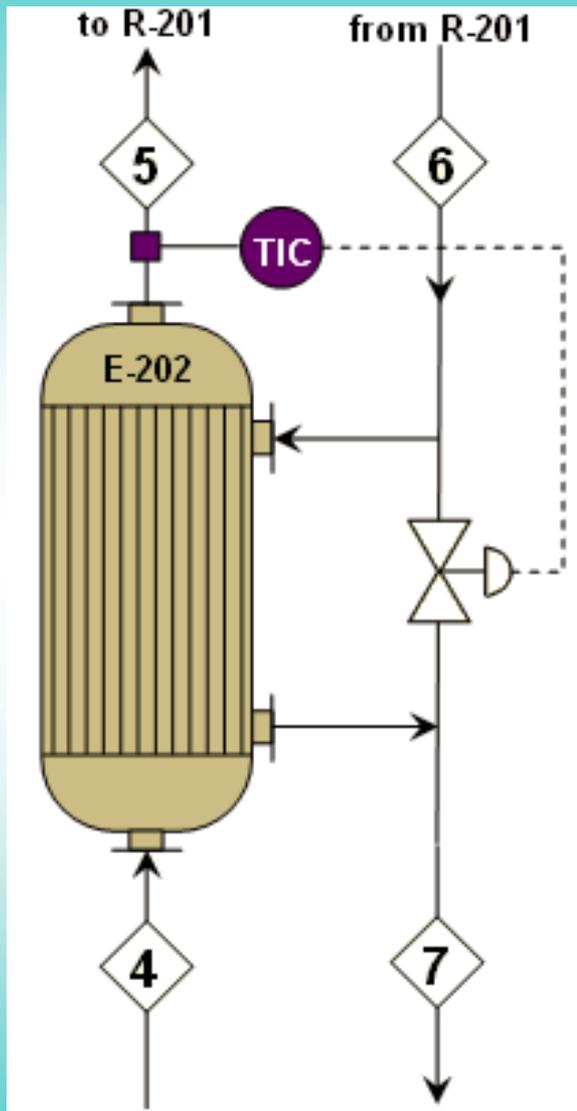


Sistemas de enclavamiento

- Protección de un horno por bajo caudal de proceso.

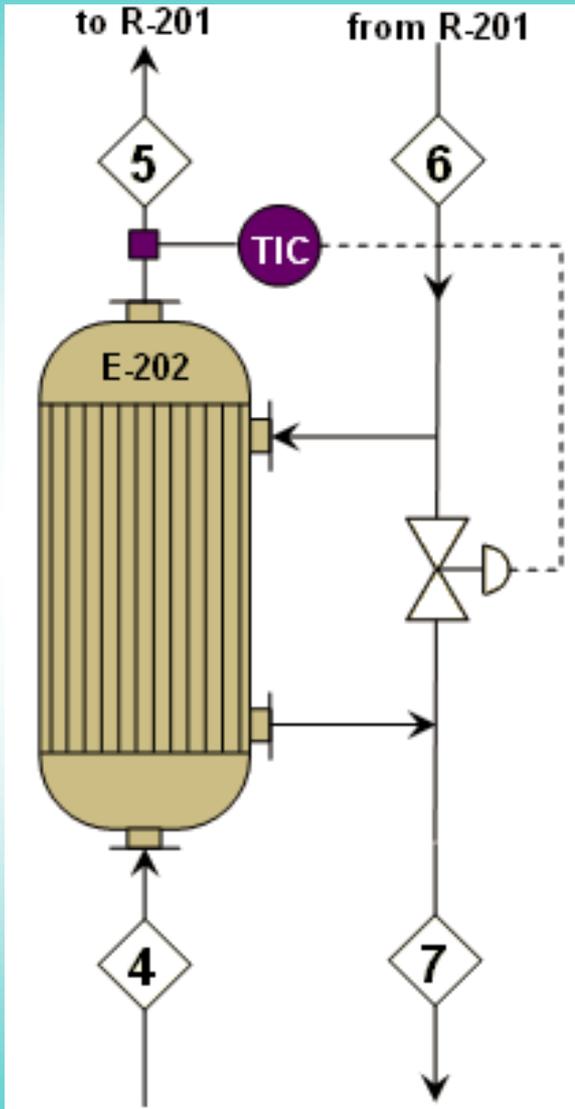


Ejemplo sistema de control



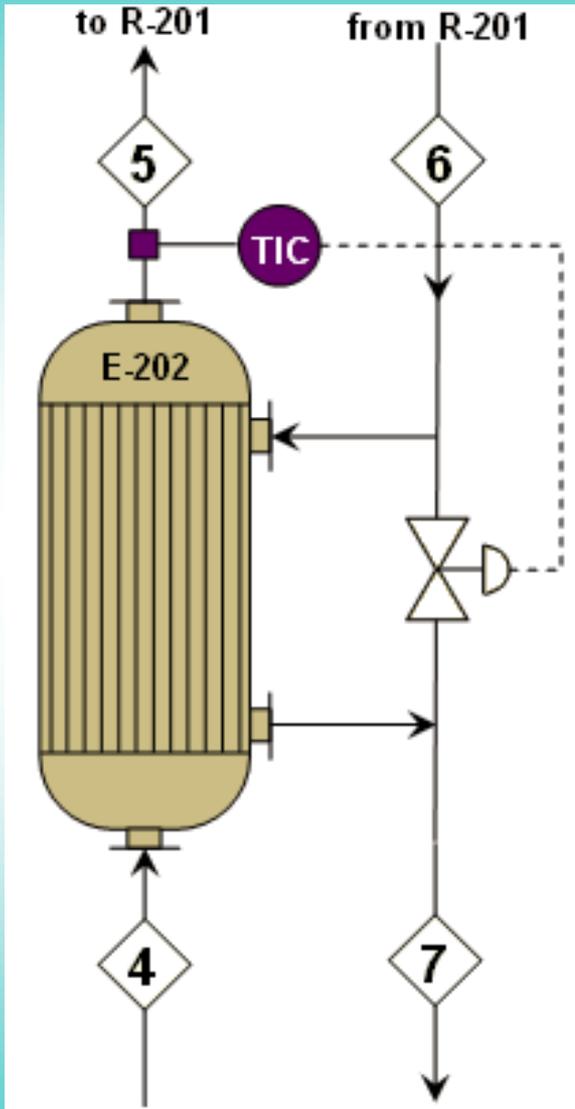
- Explicar la operación de calentamiento de la alimentación en el proceso de DME.
- Si T5 se incrementa, el TIC responde por apertura de la válvula reduciendo la cantidad de la corriente 6 derivada a E-202 y esto incrementa T5.

Ejemplo



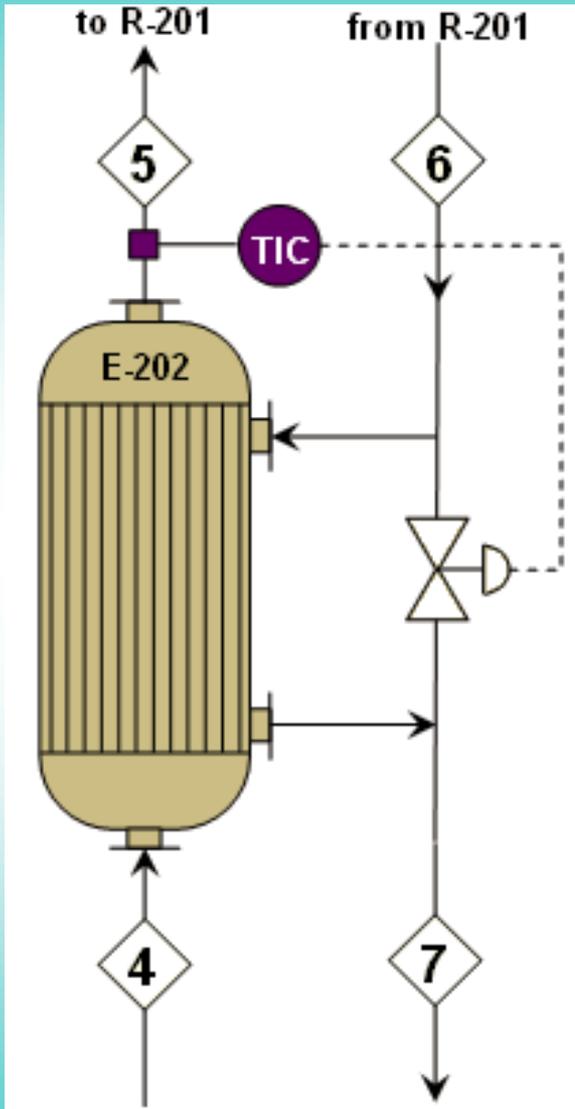
- ¿Cómo respondería este sistema a un ensuciamiento de E-202 o para una pérdida de actividad del catalizador en R-201?
- Ensuciamiento: El coeficiente U se reduce. La cantidad de calor está dada por: $Q = UAF\Delta T_{lm}$, la única forma de afectar Q es incrementando ΔT_{lm} . Esto puede realizarse por incremento del flujo de la corriente 6 (cerrando la válvula).
- Si el ensuciamiento llega a ser excesivo, la válvula estará completamente cerrada, y se pierde su acción correctiva.

Ejemplo



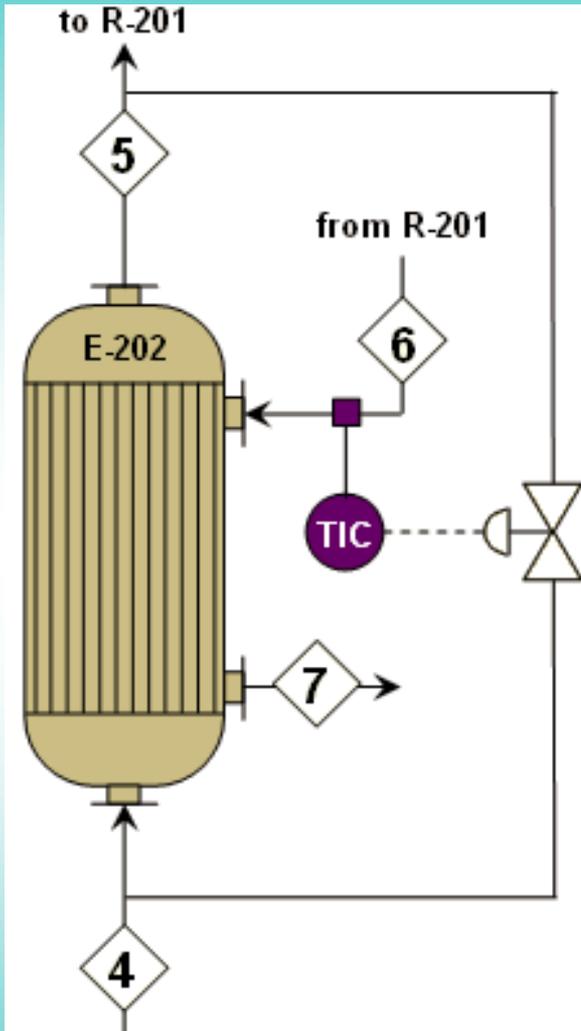
- ¿Cómo respondería este sistema a un ensuciamiento de E-202 o para una pérdida de actividad del catalizador en R-201?
- Catalizador: la pérdida de actividad causa que la conversión disminuya.
- La temperatura de 5 y 6 disminuirán, lo que hará que el TIC cierre la válvula, el flujo y U de E-202 aumentan.
- Esto tiene más efecto aguas abajo ya que los cambios de concentración de DME, afectan la operación de columna T-201 y T-202.

Ejemplo



- Diseñe un sistema de control que regularía la temperatura de salida del reactor, corriente 6, en vez de la corriente 5, entrada al reactor.
- Método directo: mover al by-pass a la entrada.

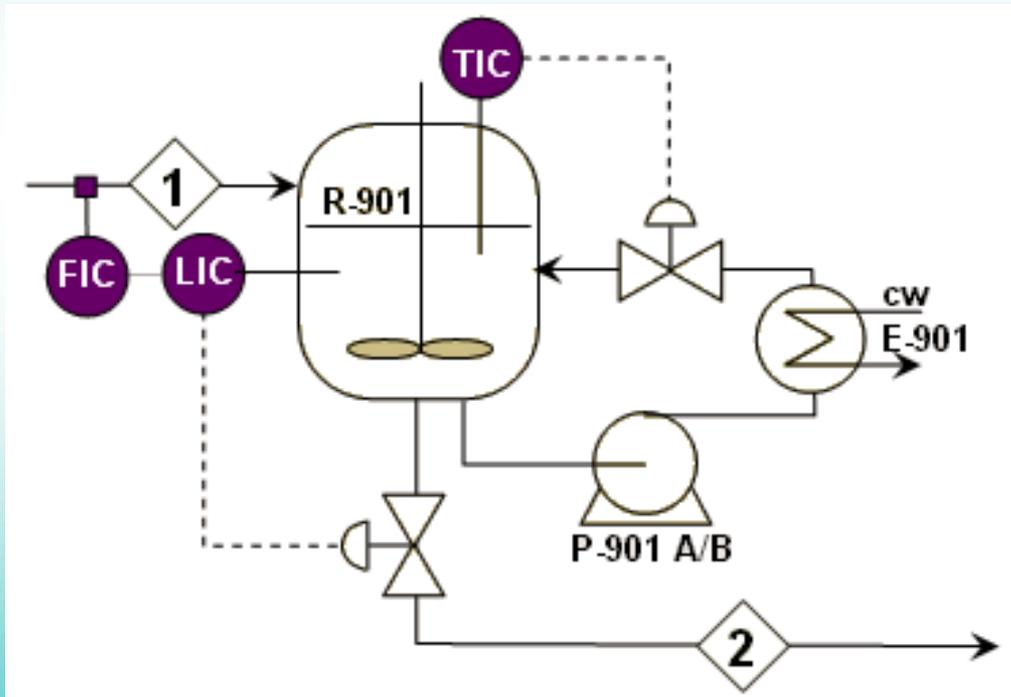
Ejemplo



- Diseñe un sistema de control que regularía la temperatura de salida del reactor, corriente 6, en vez de la corriente 5, entrada al reactor.
- Método directo: mover al by-pass a la entrada.
- Este método tiene la ventaja de poder controlar directamente la conversión en el reactor, ya que T6 es una medida directa de conversión.

Reactor

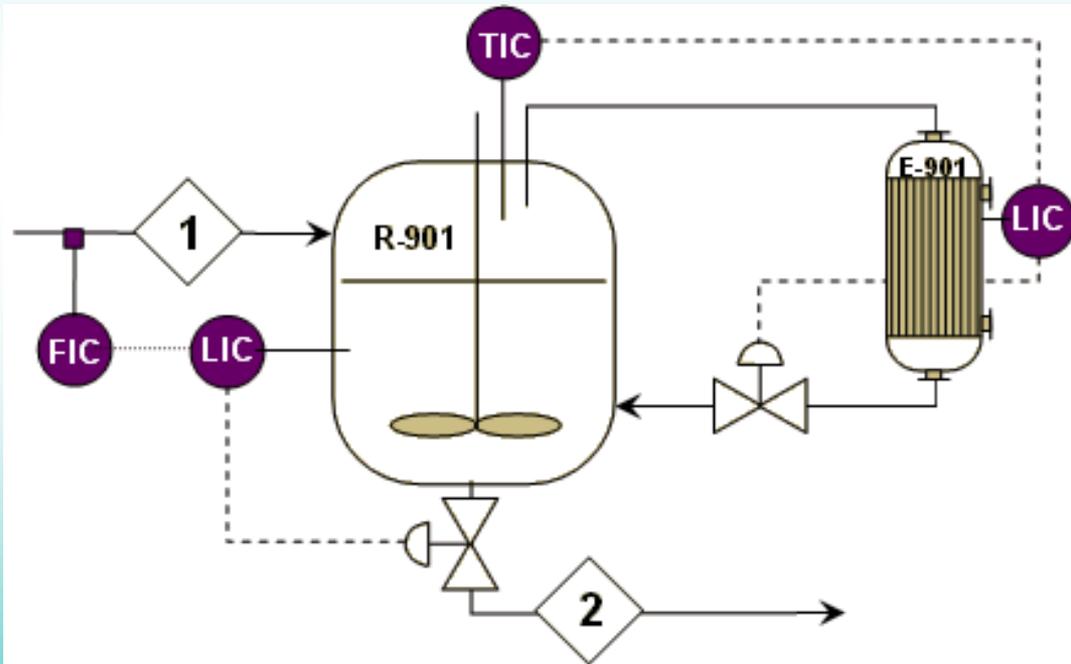
- Fase líquida, reacción exotérmica.
- Alimentación es la corriente 1 (varía).
- Calor de reacción es removido por E-901



- Regulación de T de salida.
- Regulación de nivel
- Regulación de cambio de flujo.

Reactor

- Fase líquida, reacción exotérmica.
- ΔH_{rxn} vaporiza parcialmente el contenido.
- Vapor condensado en E-901 y retornado a R-901.
- R-901 opera en el punto de ebullición.



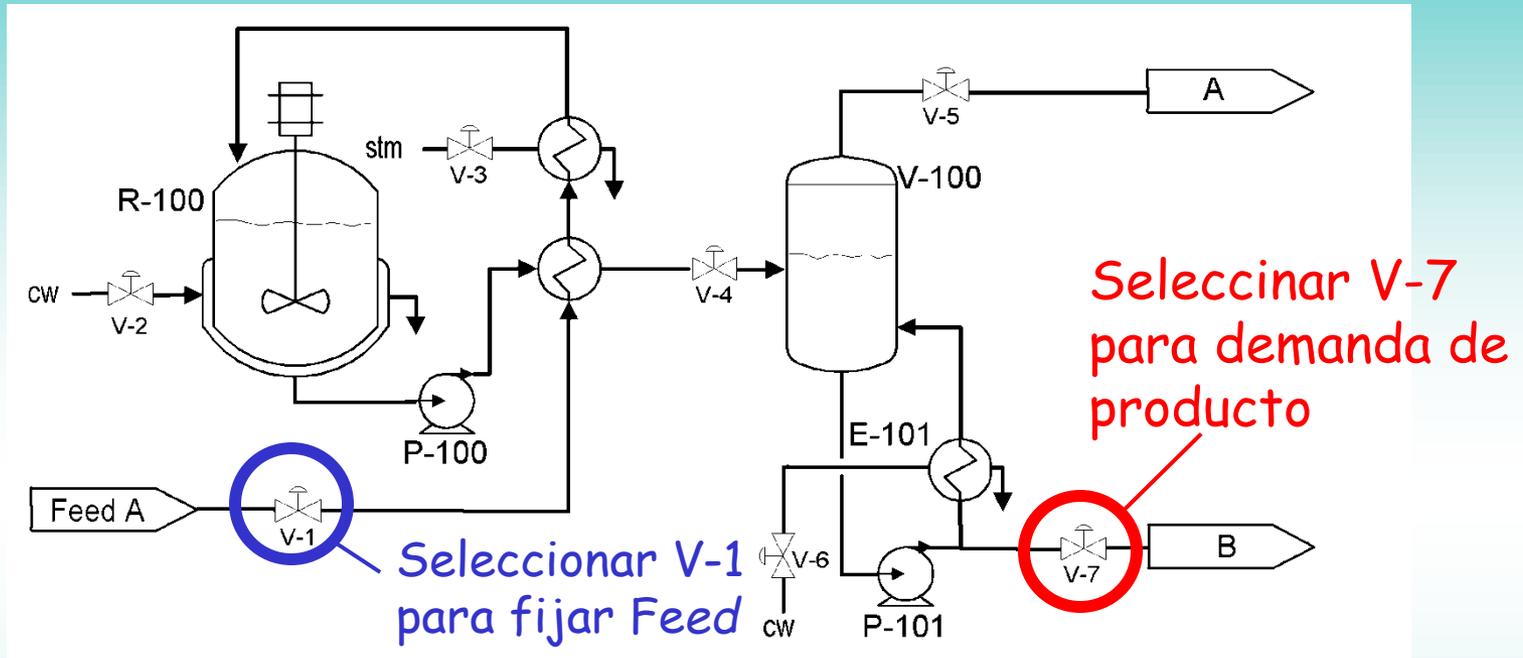
- Regulación de T de salida.
- Regulación de nivel
- Regulación de cambio de flujo.

Control de plantas (varios equipos)

Luyben et al. (1999) sugieren un método para el diseño conceptual de sistemas de control de plantas, que consta de los siguientes pasos:

- **Paso 1:** *Establecer los objetivos de control.*
- **Paso 2:** *Determinar los grados de libertad de control ($U=GL-D$). Citar – el número de válvulas de control y adicionales.*
- **Paso 3:** *Establecer el sistema de gestión de energía.* Regulación de reactores exotérmicos o endotérmicos, y la colocación de controladores para atenuar perturbaciones de temperatura.
- **Paso 4:** *Establecer velocidad de producción (alimentación fija o producto a pedido).*
- **Paso 5:** *Controlar la calidad del producto (AI), seguridad, medio ambiente, y las restricciones operacionales.*
- **Paso 6:** *si hay reciclaje, fijar el caudal de reciclaje en cada lazo y controle inventarios de vapor y líquidos (presión de recipientes y niveles).*
- **Paso 7:** *Verificar el balance de componente. Establecer control para prevenir la acumulación de las distintas especies químicas en el proceso.*
- **Paso 8:** *Controle las unidades individuales de proceso.* Utilice restantes grados de libertad para mejorar el control local, pero sólo después de resolver los problemas más importantes de toda la planta.
- **Paso 9:** *Optimice la economía y mejore controlabilidad.* Cuando la válvula de control queda por asignarse, se utilizan para mejorar los resultados económicos y dinámicos del proceso.

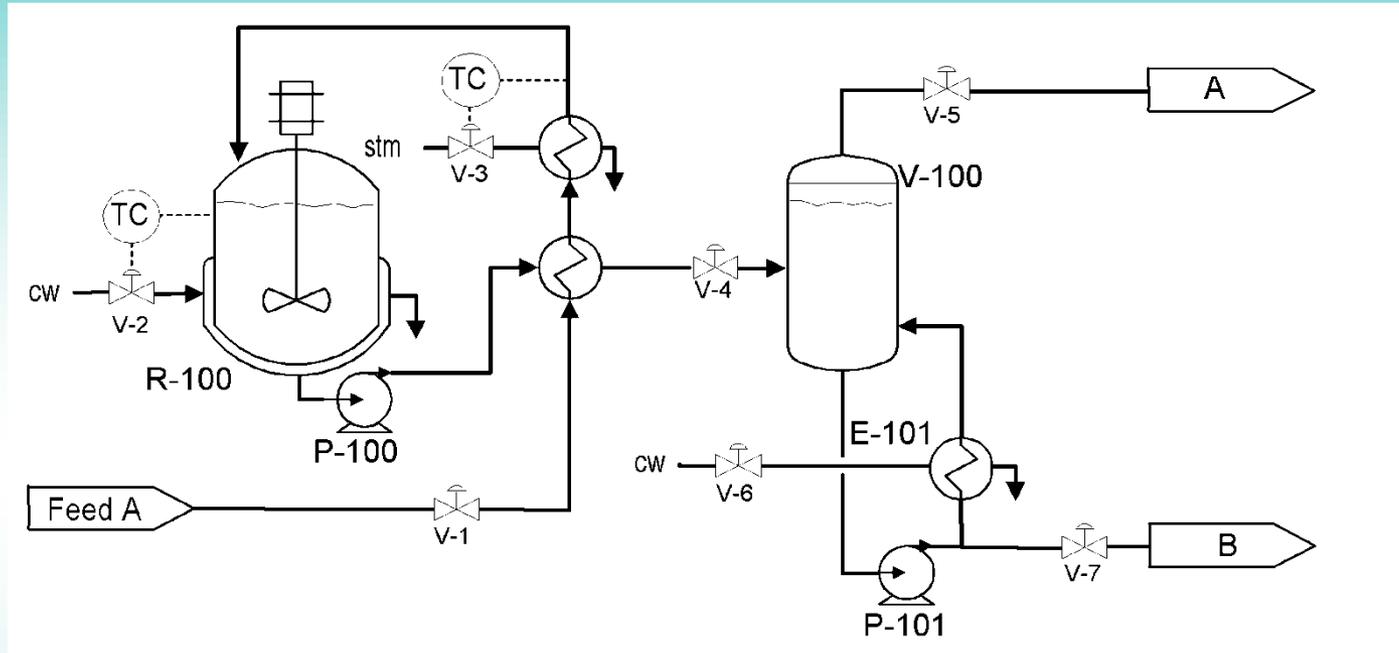
Caso de estudio. Proceso sin reciclo



Pasos 1 y 2: *Establecer los objetivos de control y grados de libertad:*

- ☆ Mantener la velocidad de producción constante.
- ☆ Lograr una composición constante en el efluente líquido del separador del flash.
- ☆ Mantenga la conversión de la planta en su valor más alto permitido.

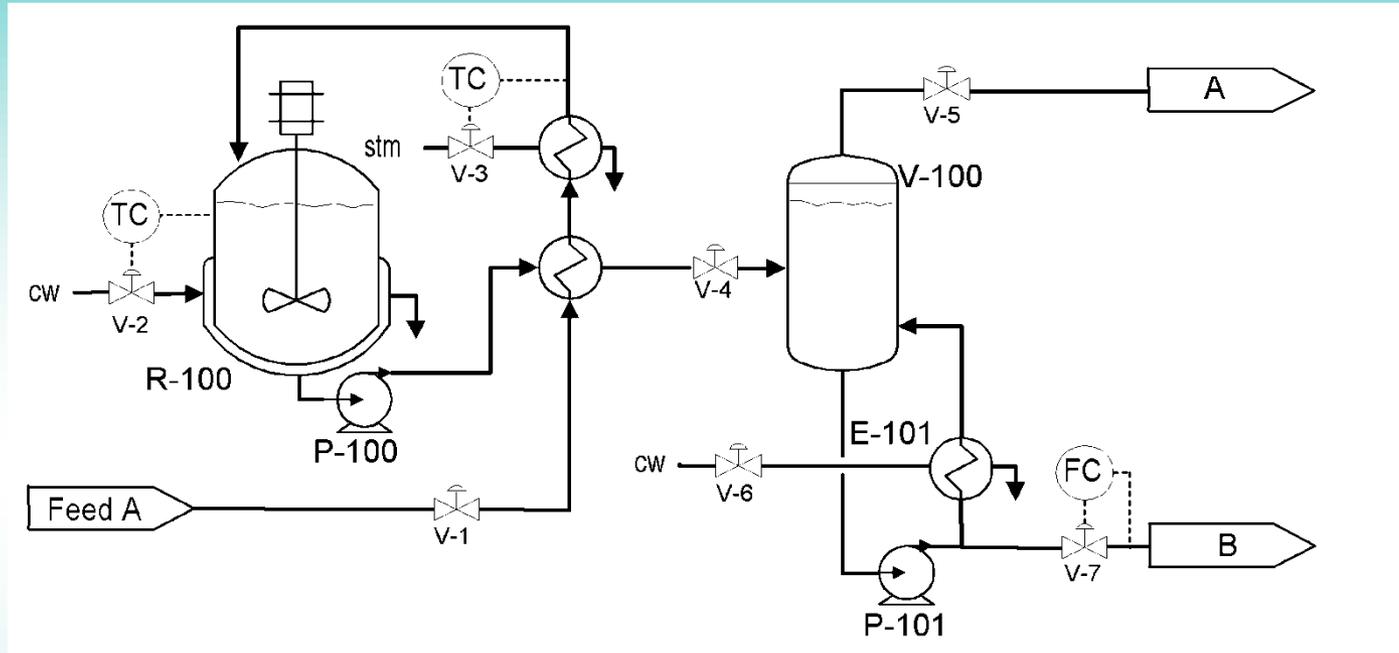
Caso de estudio. Proceso sin reciclo



Paso 3: *Establecer la gestión de energía del sistema.*

- ★ Se necesita controlar la temperatura del reactor: Use V-2.
- ★ Se necesita controlar la temperatura de alimentación del reactor: Use V-3.

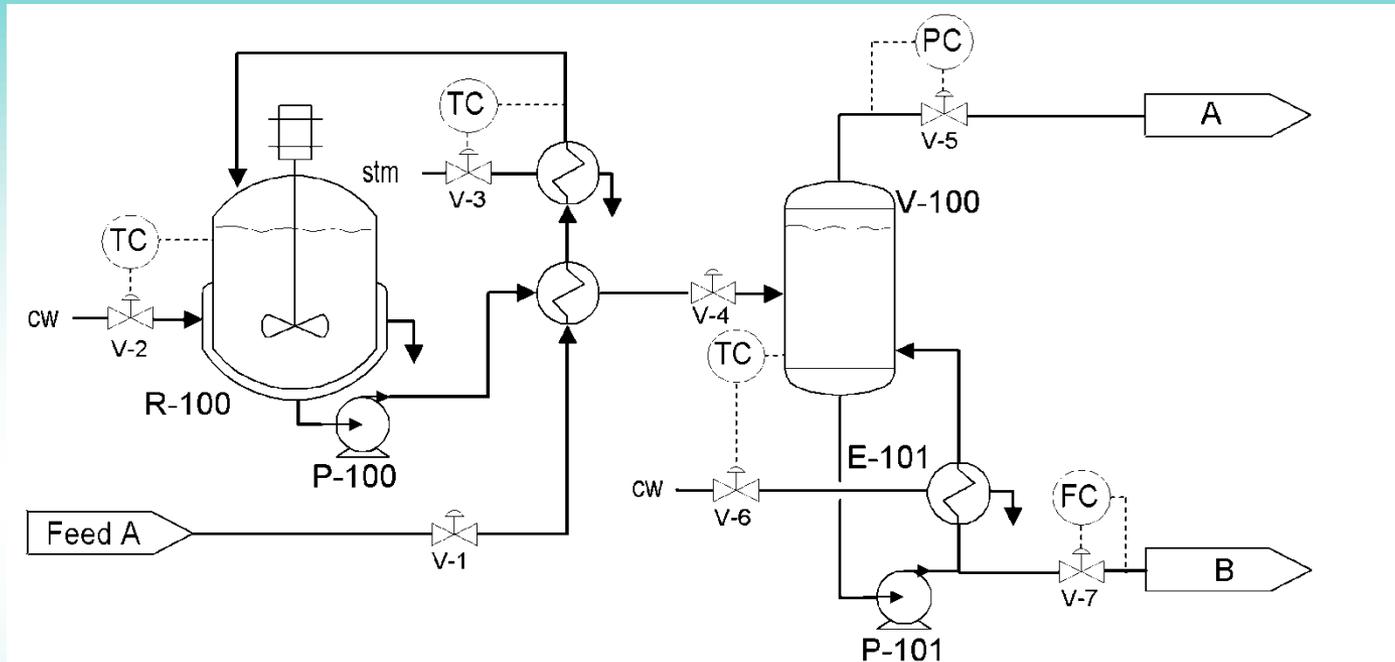
Caso de estudio. Proceso sin reciclo



Paso 4: Fijar la velocidad de producción.

★ Para demanda de producto: Use V-7.

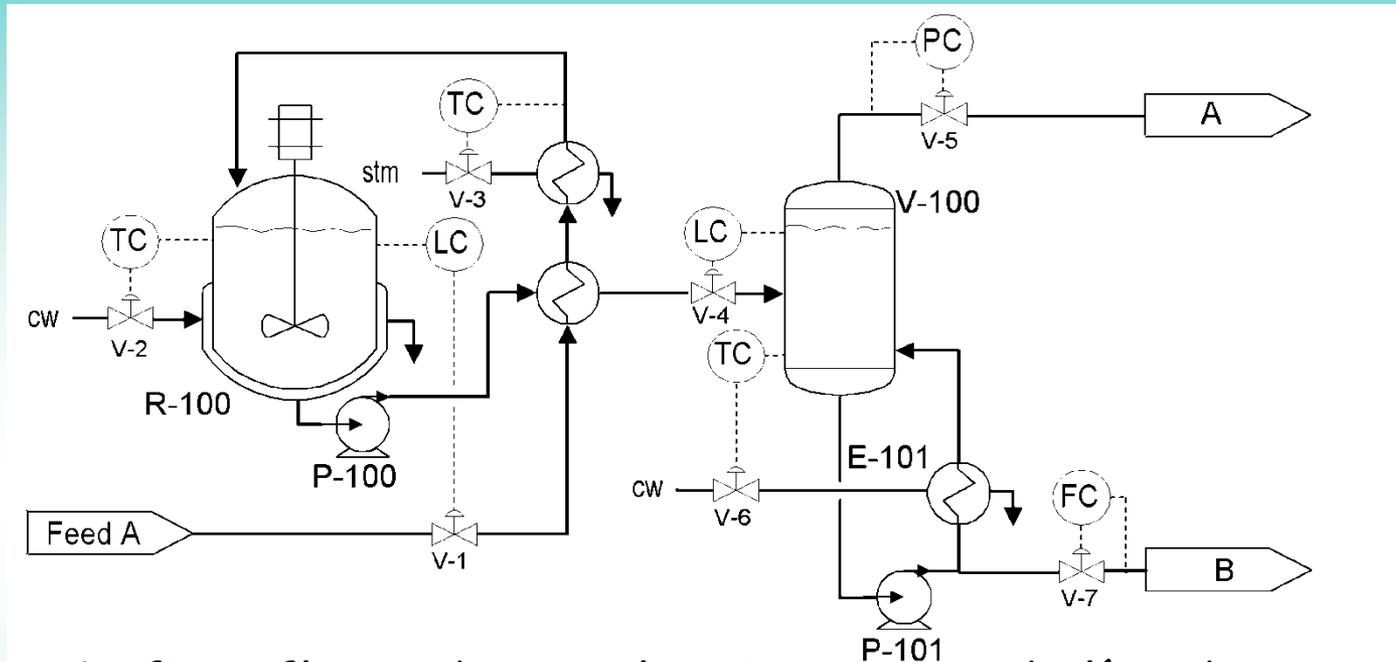
Caso de estudio. Proceso sin reciclo



Paso 6: Controlar la calidad del producto, la seguridad, restricción ambiental y restricciones operativas.

- ★ Para regular la presión de V-100: Use V-5
- ★ Para regular la temperatura de V-100: Use V-6

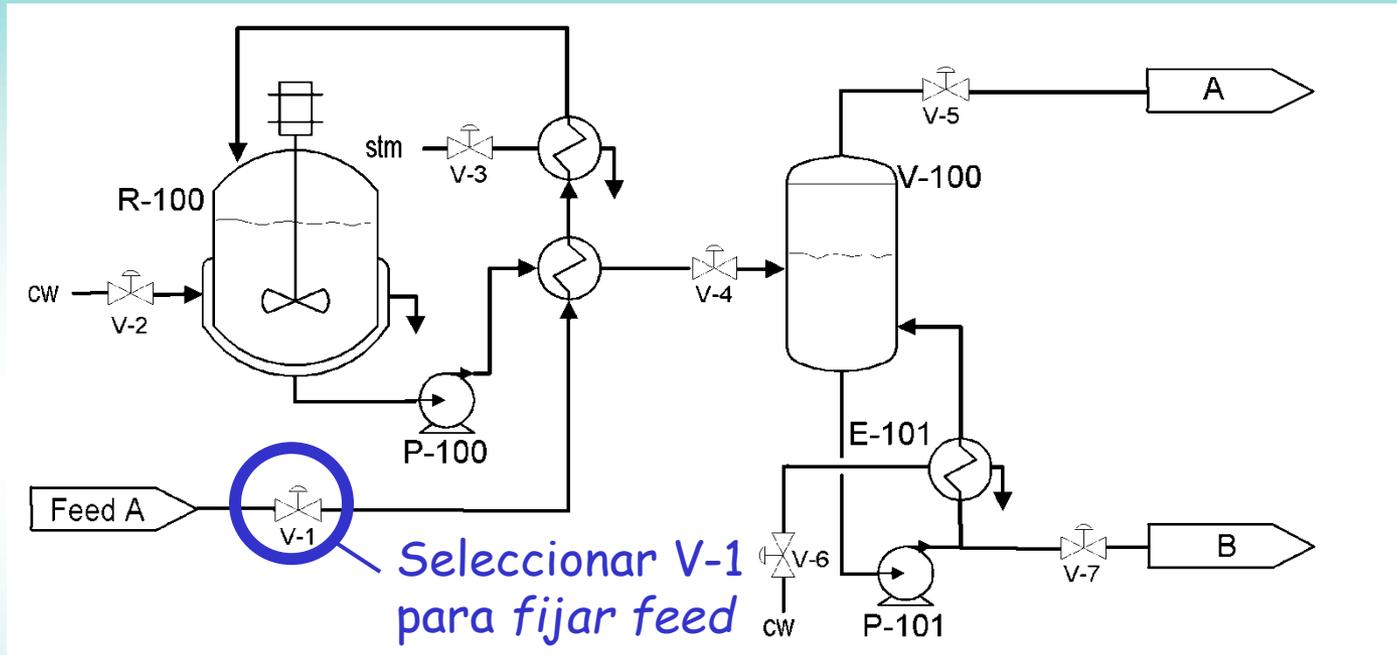
Caso de estudio. Proceso sin reciclo



Paso 6: fijar flujos de reciclo e inventario de líquidos y vapor.

- ☆ Se necesita para controlar los inventarios de vapor en V-100: Use V-5 (ya instalado)
- ☆ Se necesita para controlar inventario de líquidos en V-100: Use V-4
- ☆ Se necesita para controlar el nivel de inventarios en R-100: Use V-1

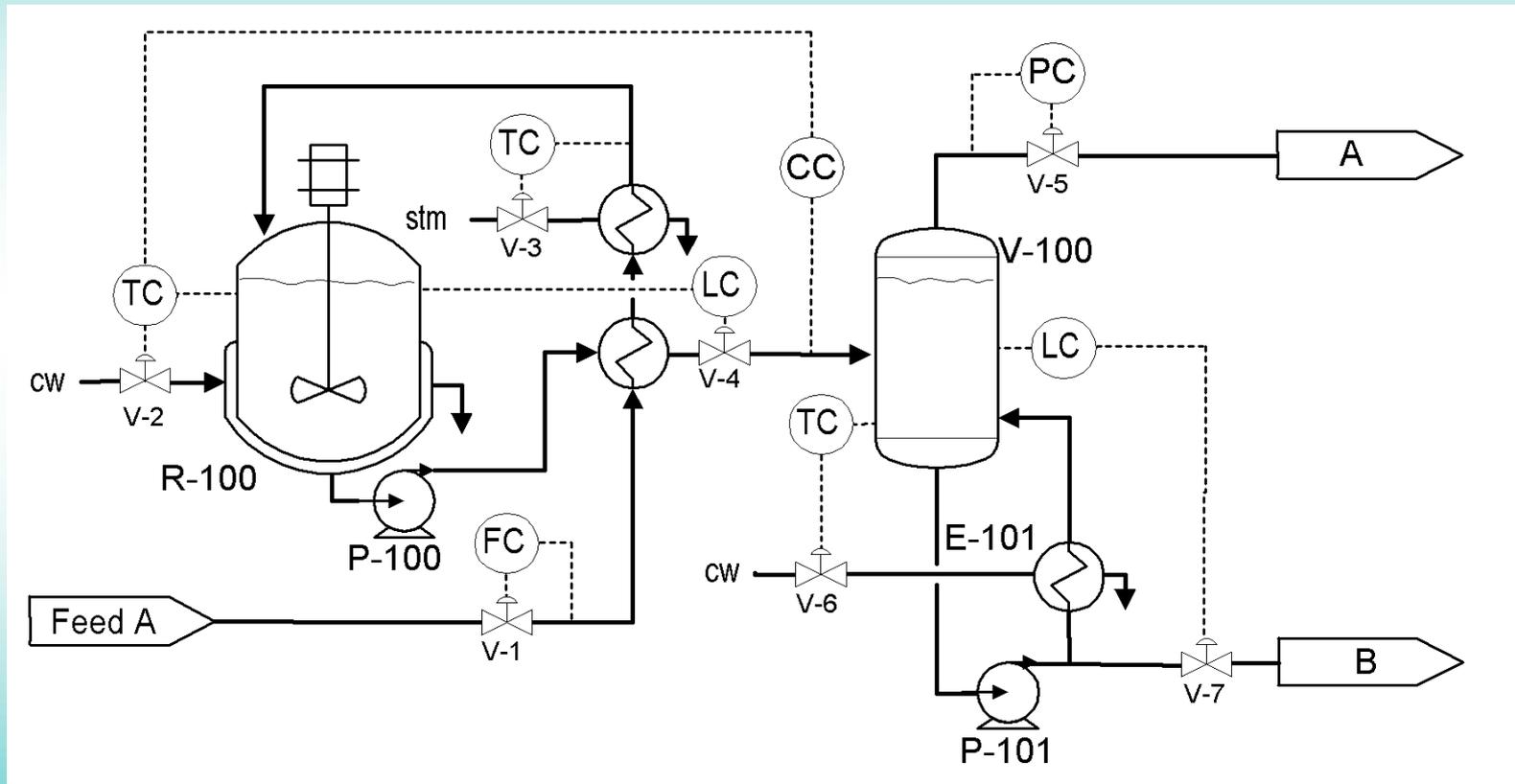
Caso de estudio. Proceso sin reciclo



Pruebe el diseño del sistema de control de planta para una velocidad fija de producción.

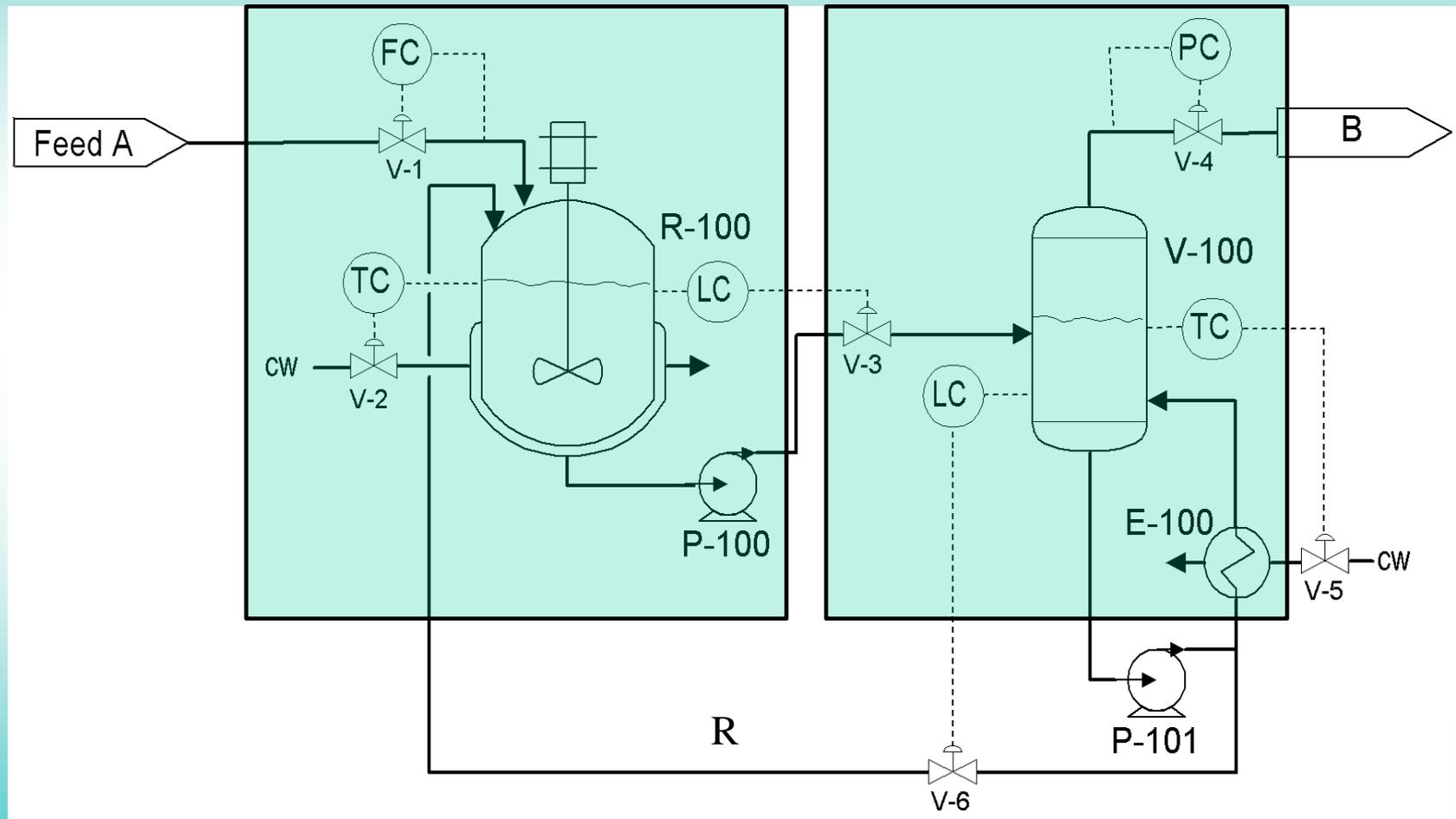
Caso de estudio. Proceso sin reciclo

Posible solución.



Ejemplo 3: proceso cíclico

El sistema de control tiene un problema ¿cuál es el problema?



Ejemplo 3: Proceso cíclico

Alimentación combinada al CSTR: $F_0 + R$

Balance en el flash: $F_0 + R = B + R$

Balance global de materia: $F_0 = B$

Balance en CSTR:

$$-\frac{1}{V_R} \frac{dn_A}{dt} = kx_A c_{total} \Rightarrow (1 - x_A)(F_0 + R) = kx_A c_{total} V_R$$

$$c_{total} V_R = n_T$$

$$(1 - x_A)(F_0 + R) = kx_A c_{total} V_R \Rightarrow (1 - x_A)(F_0 + R) = kx_A n_T$$

De donde surge:
$$R = \frac{x_A (F_0 + kn_T) - F_0}{1 - x_A}$$

Balance de A en el separador para separación total: $F_0 = kx_A n_T$


$$R = \frac{F_0^2}{kn_T - F_0}$$

Ejemplo 3: Proceso cíclico

$$R = \frac{F_0^2}{kn_T - F_0}$$

Efecto bola de nieve

Ej., suponiendo $kn_T = 200$:

F_0	R
50	16.7
75	45
100	100
125	208
150	450

Se utiliza un número adimensional, número de Damköhler:

$$Da = kn_T/F_0$$

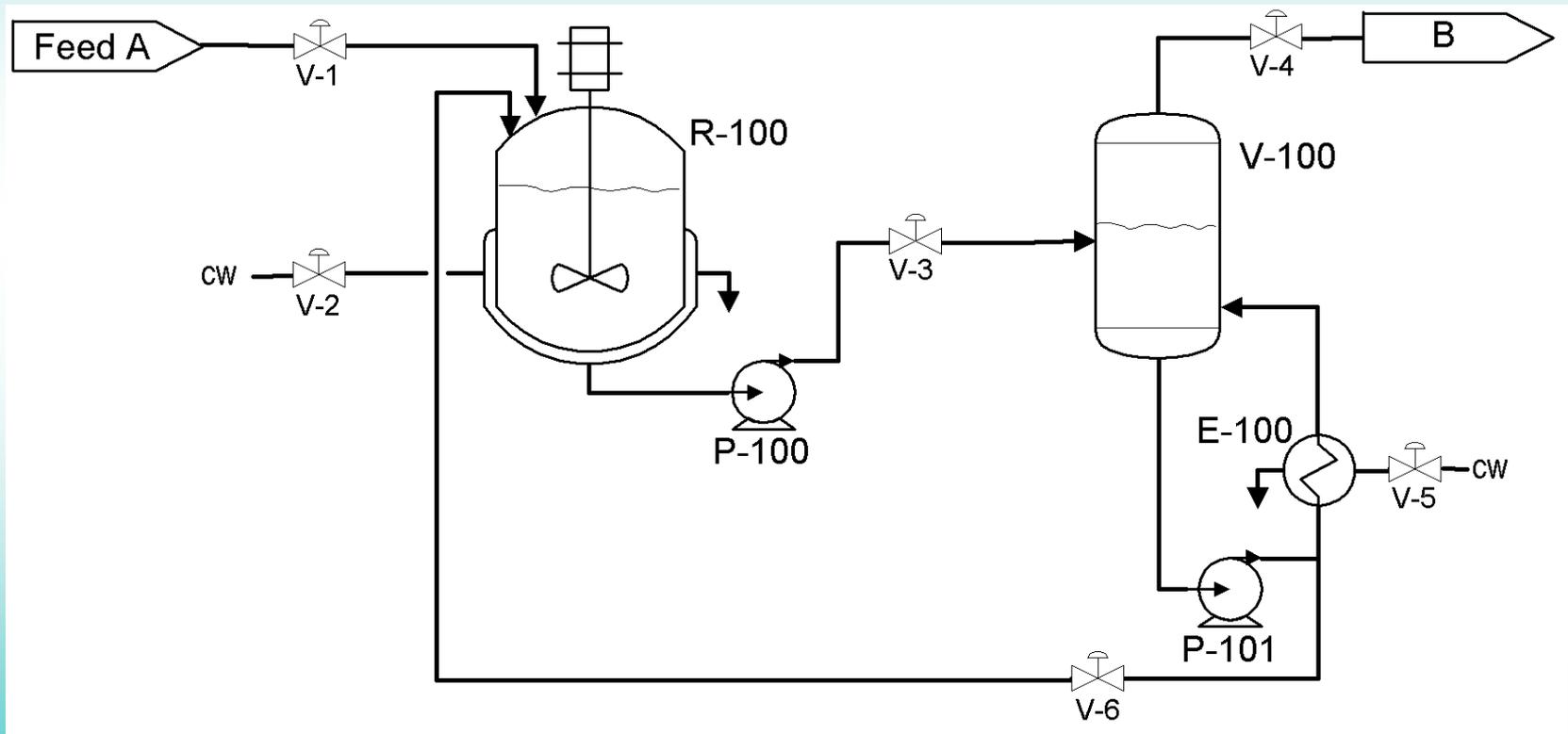
$$R = \frac{F_0}{Da - 1}$$

Efecto bola de nieve para $Da \rightarrow 1$

Ejemplo 3: proceso cíclico

Paso 1 y 2: Establecer los objetivos de control del proceso.

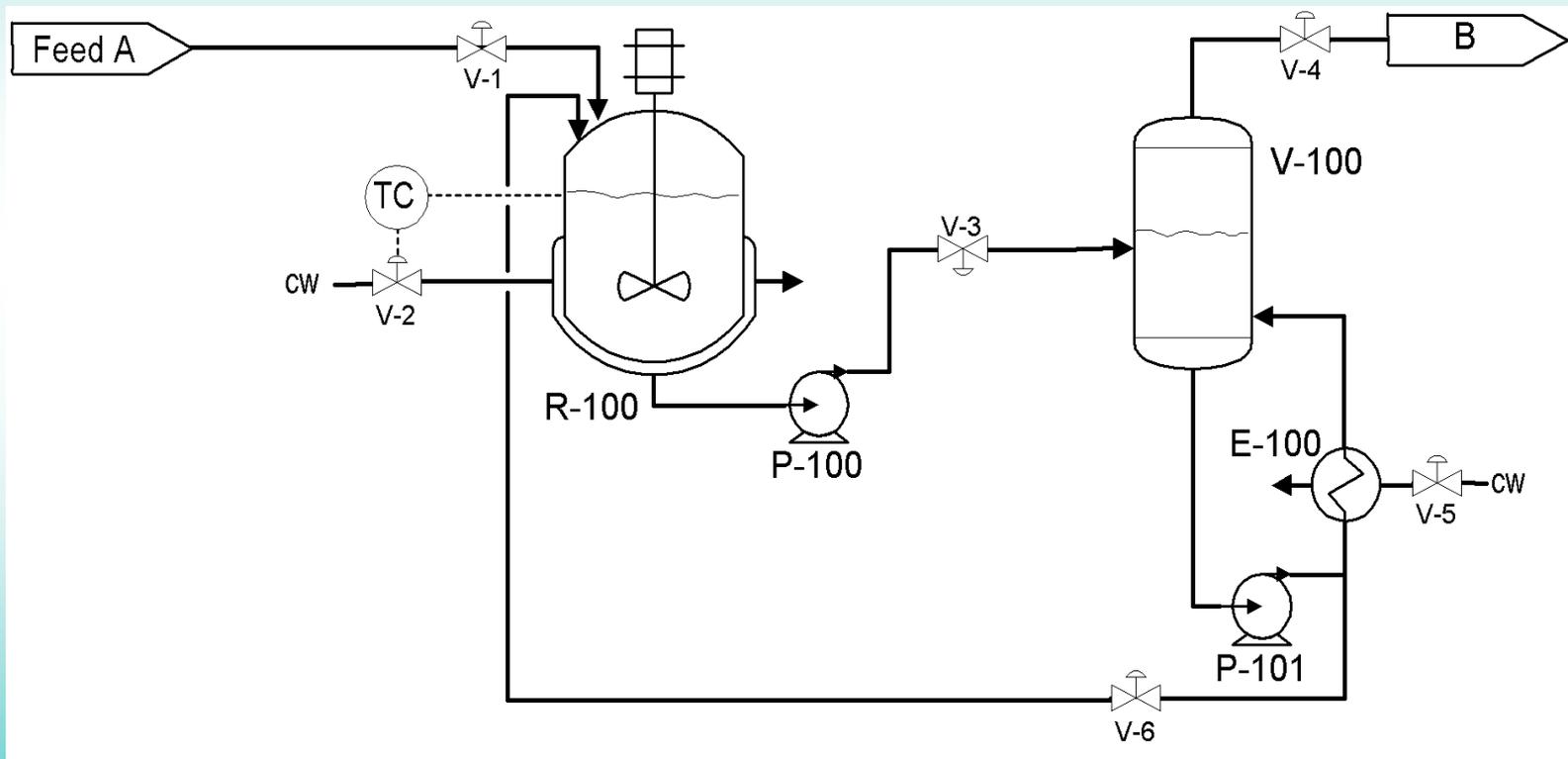
- Mantener la velocidad de producción deseada.
- Mantener la conversión en el valor más alto posible



Ejemplo 3: proceso cíclico

Paso 3: Establecer el sistema de gestión de energía.

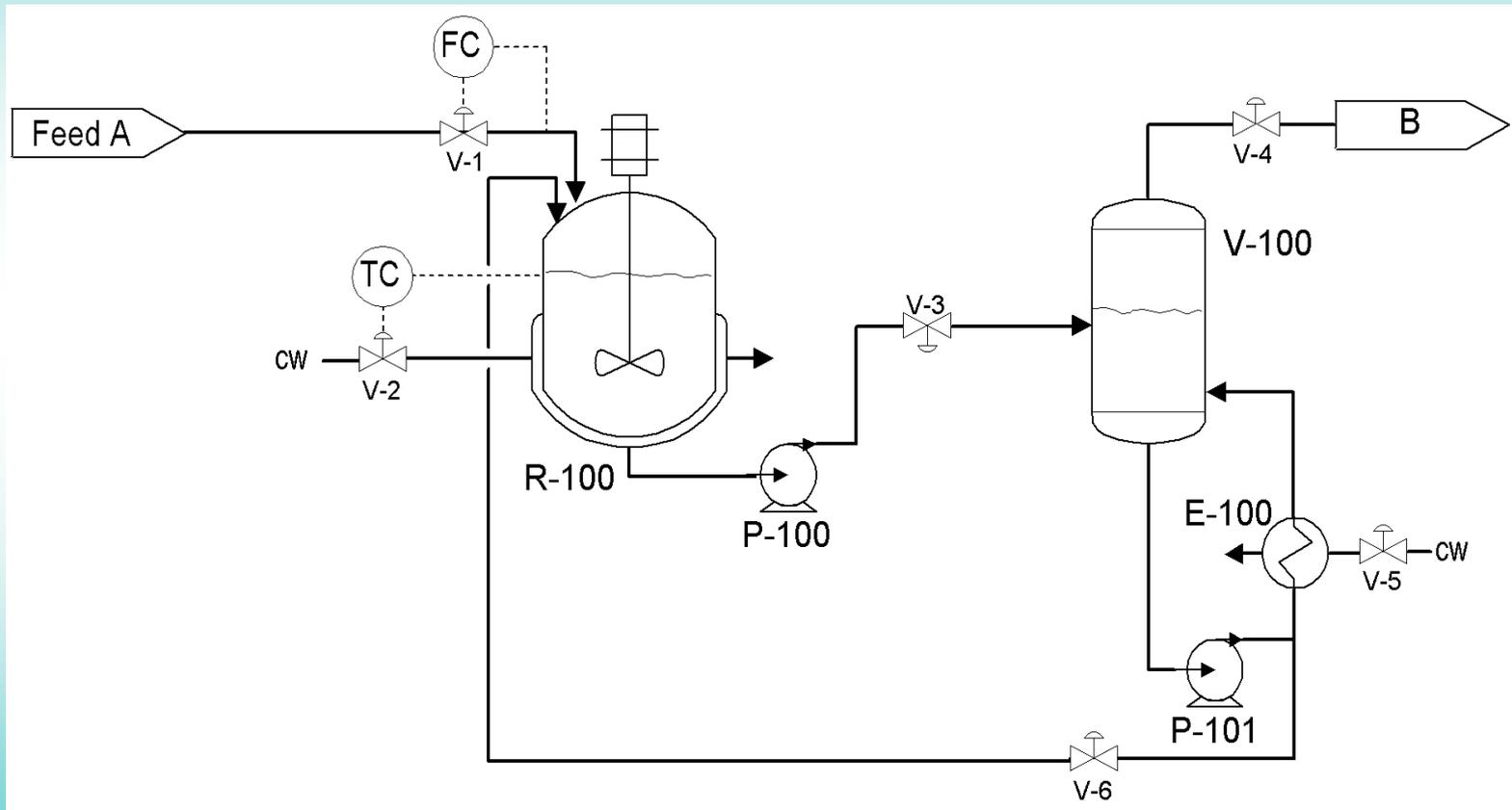
- Se necesita controlar la temperatura. Use V-2



Ejemplo 3: proceso cíclico

Paso 4: Establecer la velocidad de producción.

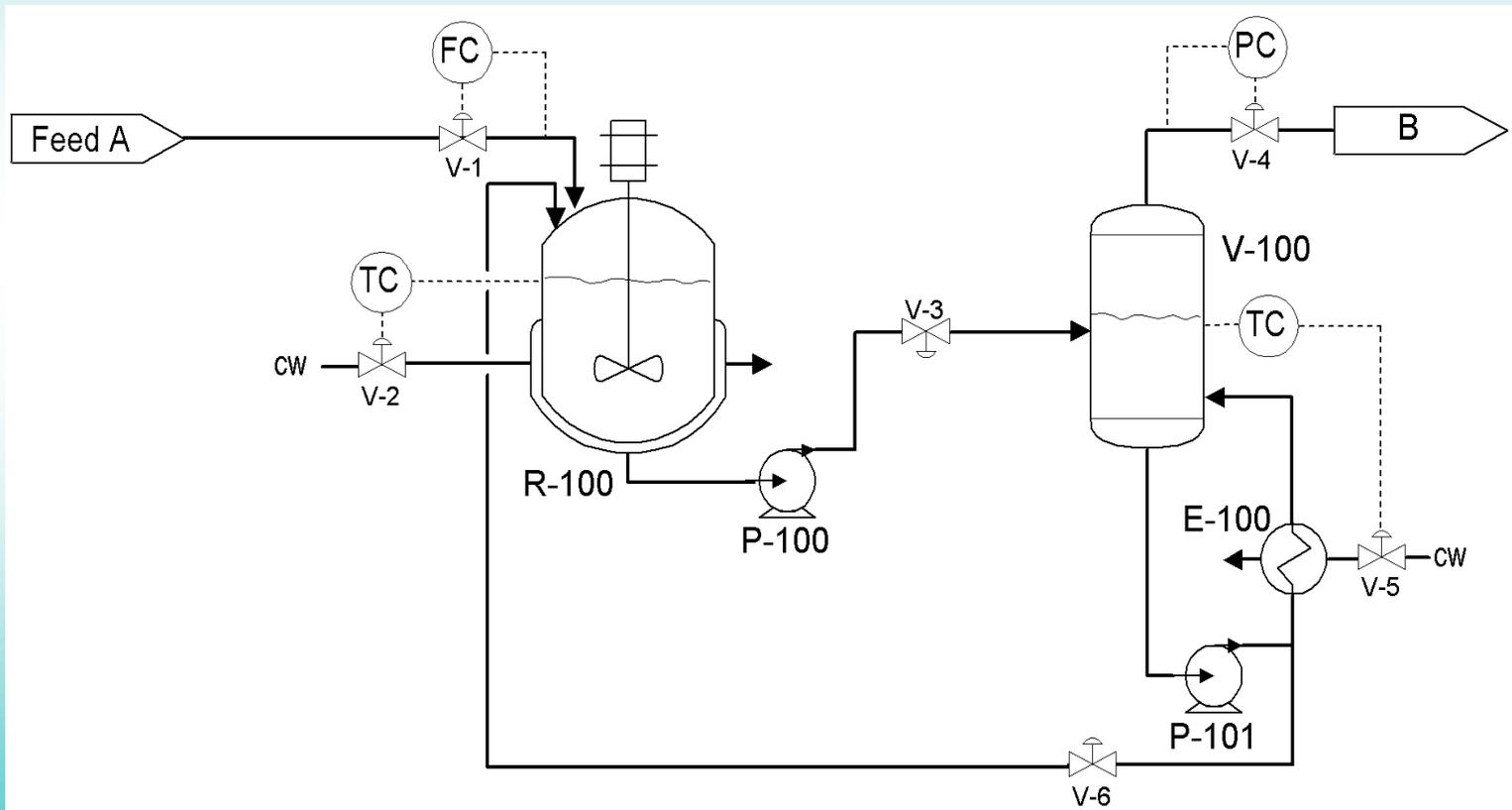
- Para la demanda de producto. Use V-1



Ejemplo 3: proceso cíclico

Paso 5: Controlar la calidad del producto, y *seguridad conveniente, ambiental*, y *restricciones operativas*.

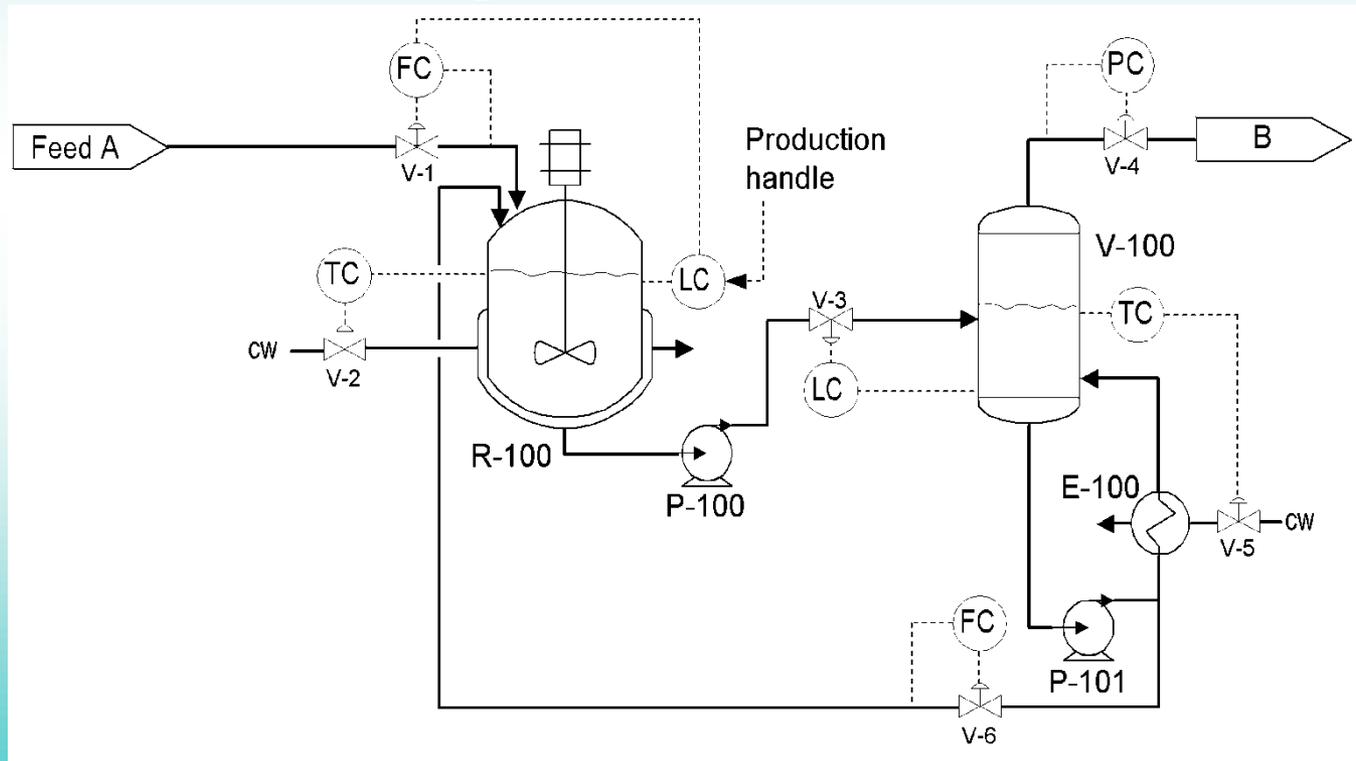
- Para regular la presión de V-100: Use V-4
- Para regular la temperatura de V-100: Use V-5



Ejemplo 3: proceso cíclico

Paso 6: fijar flujos de reciclo e inventario de vapor y líquido.

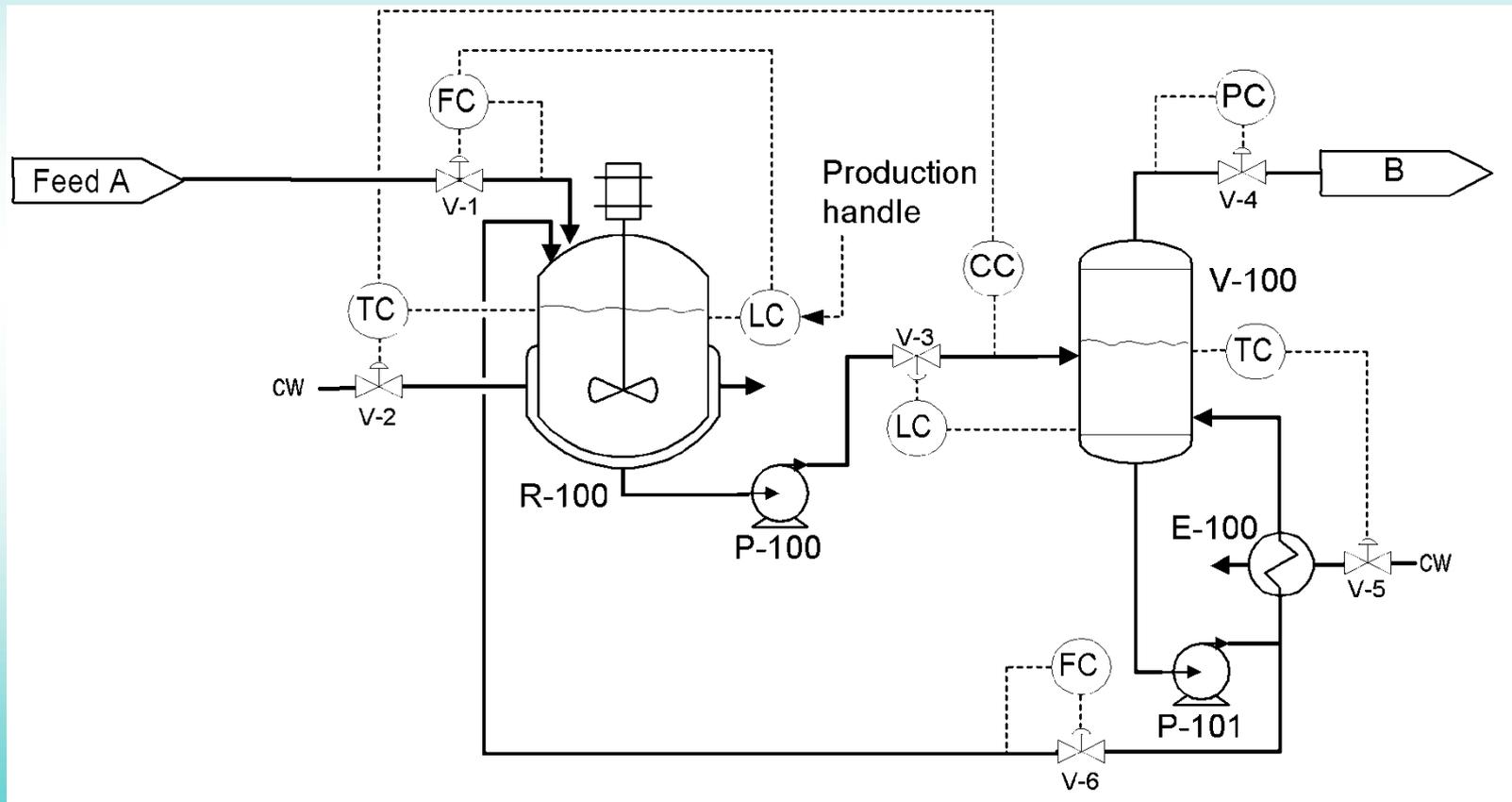
- Necesita controlar el flujo de reciclo: Use V-6
- Necesita controlar la cantidad de vapor en V-100: Use V-4
- Necesita controlar el nivel de líquido en V-100: Use V-3
- Necesita controlar el nivel de líquido en R-100: control en cascada FC sobre V-1



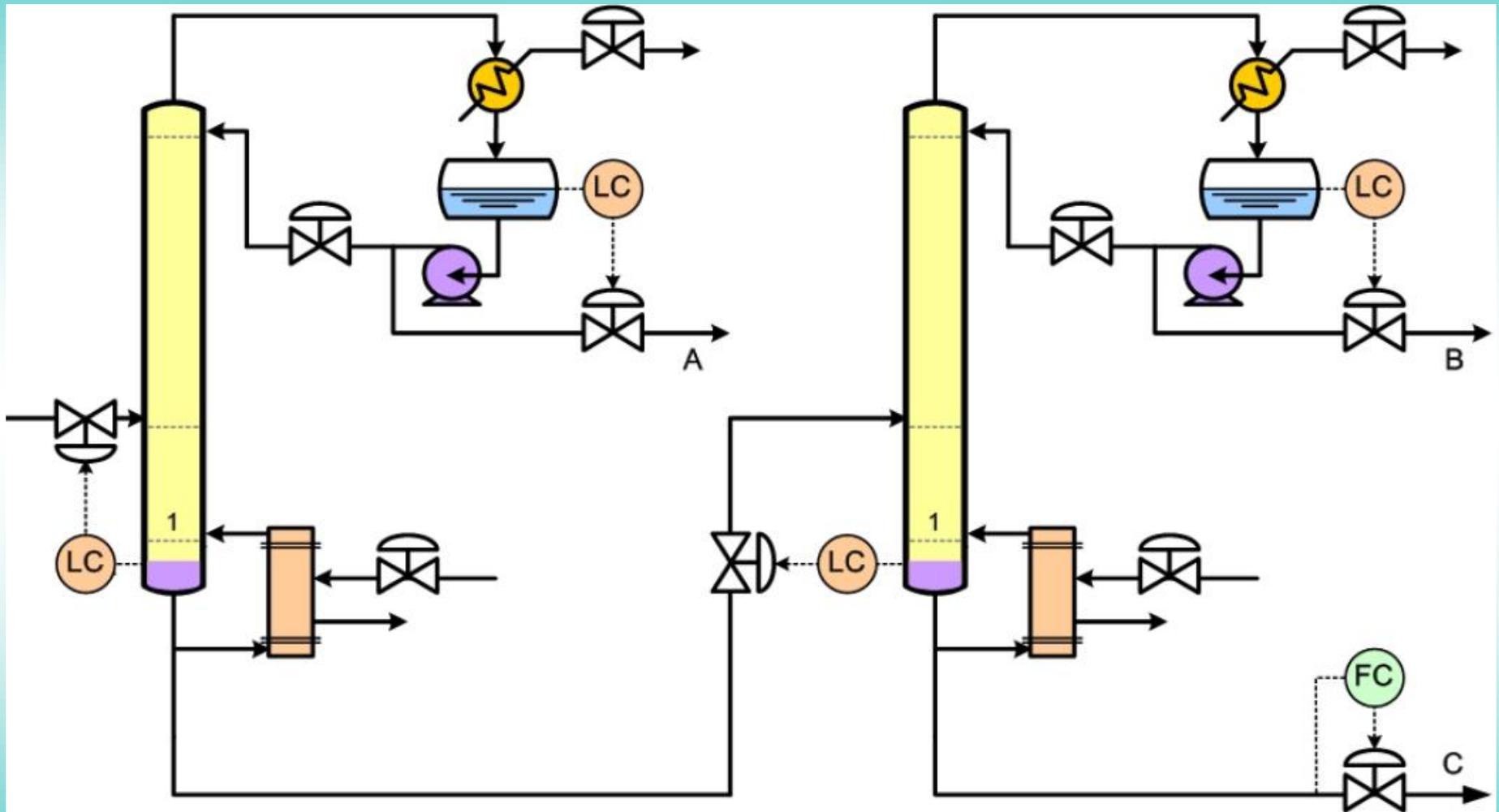
Ejemplo 3: proceso cíclico

Paso 7, 8 y 9: Mejoras

- Instalar controladores de composición en cascada en el reactor con TC.

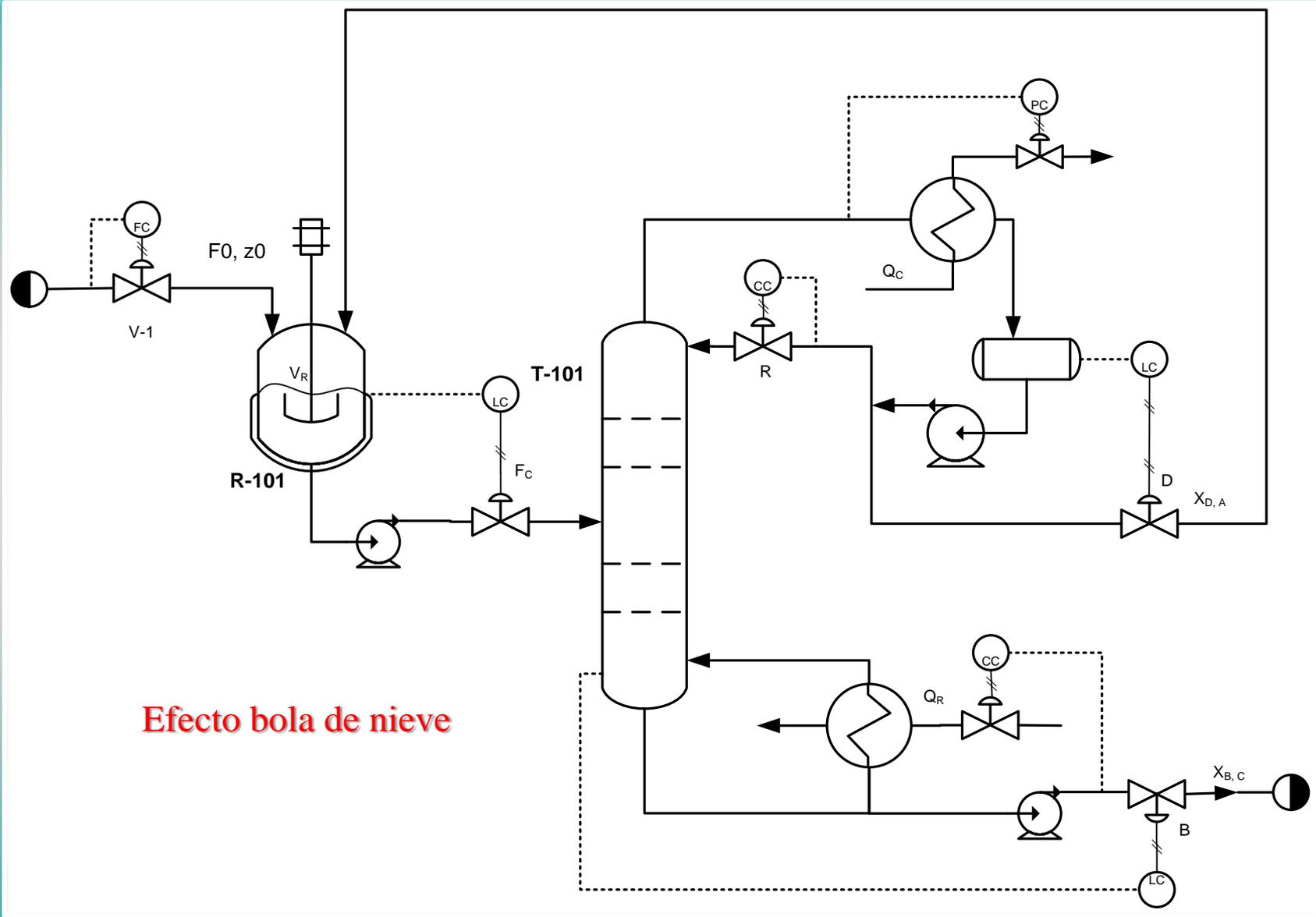


Proceso cíclico. Efecto reciclo



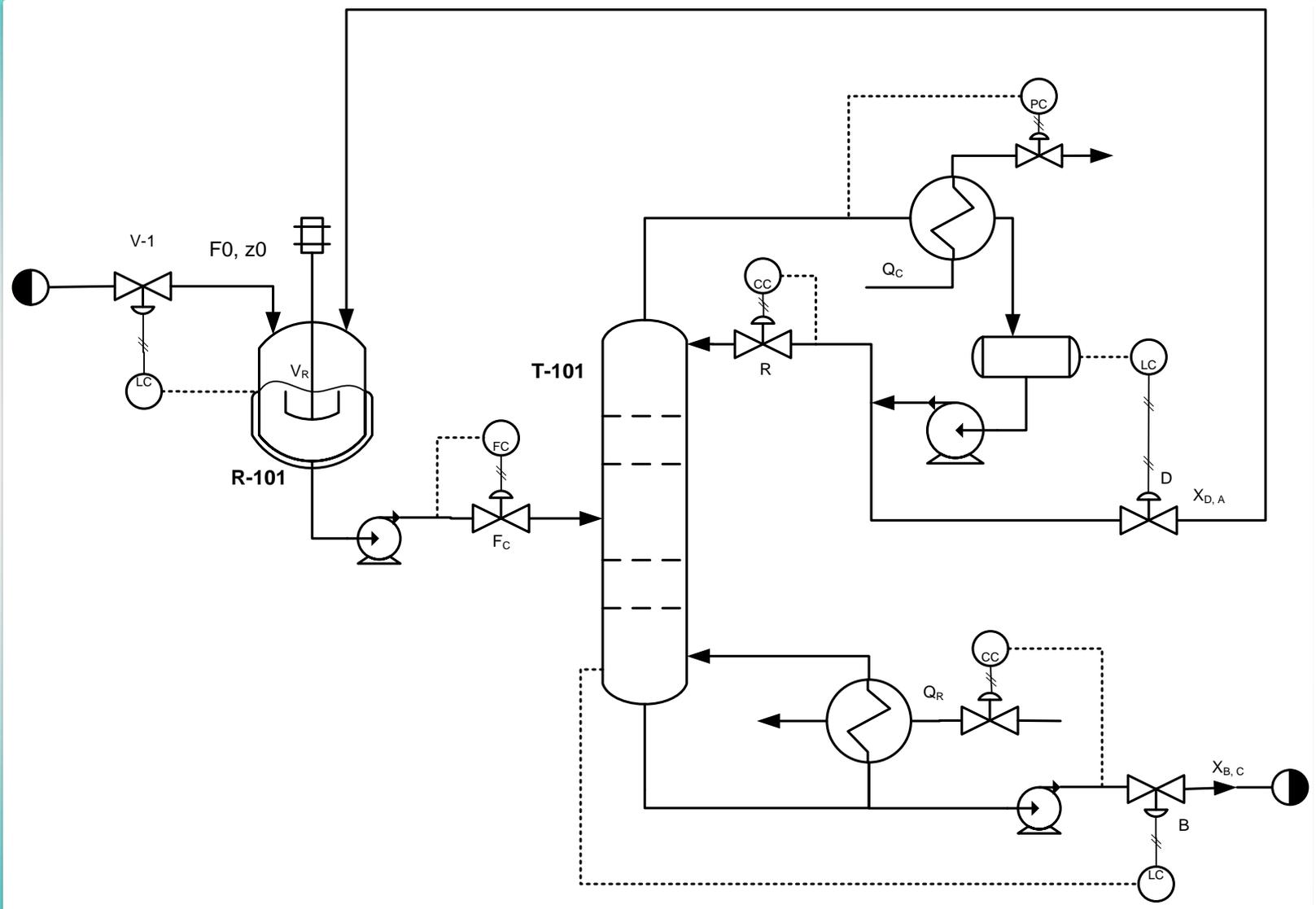
Control de nivel de flujo en dirección opuesta

Proceso cíclico. Efecto reciclo



Efecto bola de nieve

Proceso cíclico



Operabilidad de plantas: Aspectos básicos

- **Controlabilidad**, puede ser definida como la facilidad con la cual un proceso continuo puede ser mantenido en un estado estable específico o deseado.
- **Flexibilidad**, implica la capacidad del diseño de un sistema de obtener una operación en estado estacionario estable para un rango de condiciones inciertas que pueden encontrarse durante la operación de la planta; y es el primer paso que se debe considerar para la operabilidad de un diseño.
- **Confiabilidad**, hace referencia a la capacidad de todos los elementos que conforman la planta de funcionar continuamente por un periodo de tiempo según un conjunto de especificaciones o condiciones.
- **Robustez**, es la capacidad de un sistema de hacer mínima la variación de la medida de calidad de los productos ante variaciones de las condiciones de operación.

Para estudiar la operabilidad es necesario la información temporal de los estados intermedios por los cuales atraviesa el sistema hasta llegar al estado estacionario de régimen. Tanto la información temporal como la evolución del estado tienen importancia cuando se desea optimizar el diseño y los procedimientos de operación, y sobre todo en el momento de diseñar el sistema de control.