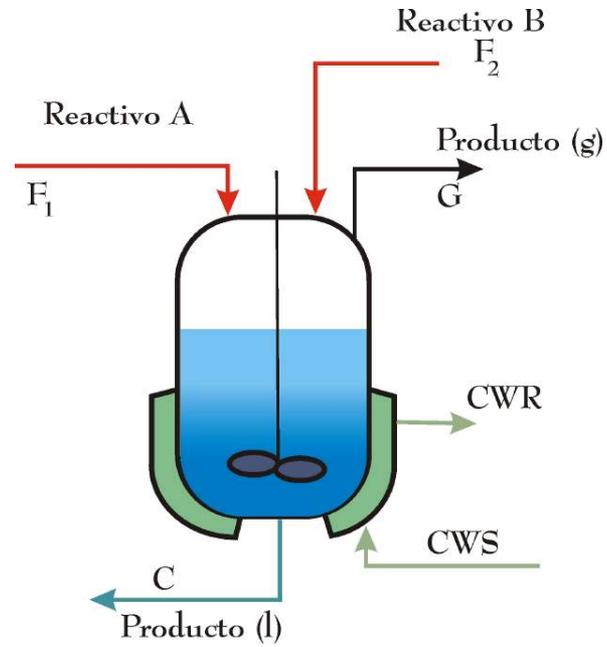
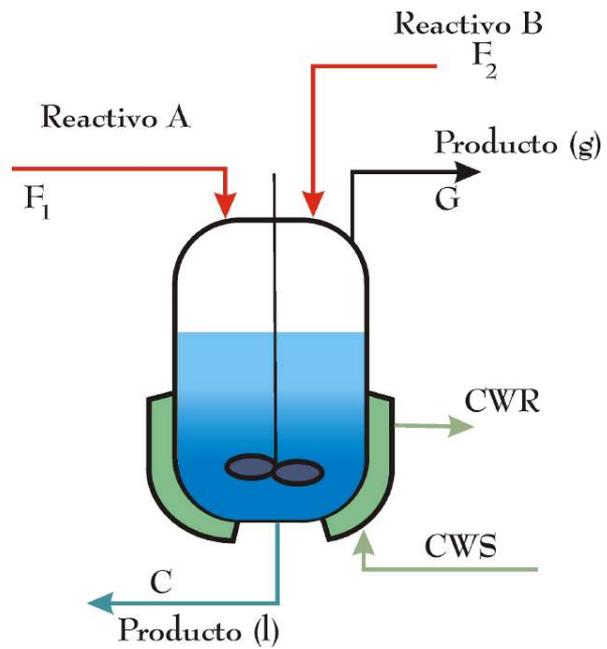


CONTROL DE REACTORES

- Reactores de tanque agitado
 - Grados de libertad
 - Control de presión
 - Control de temperatura
 - Control de calidad
- Reactores de flujo pistón
- Reactores batch

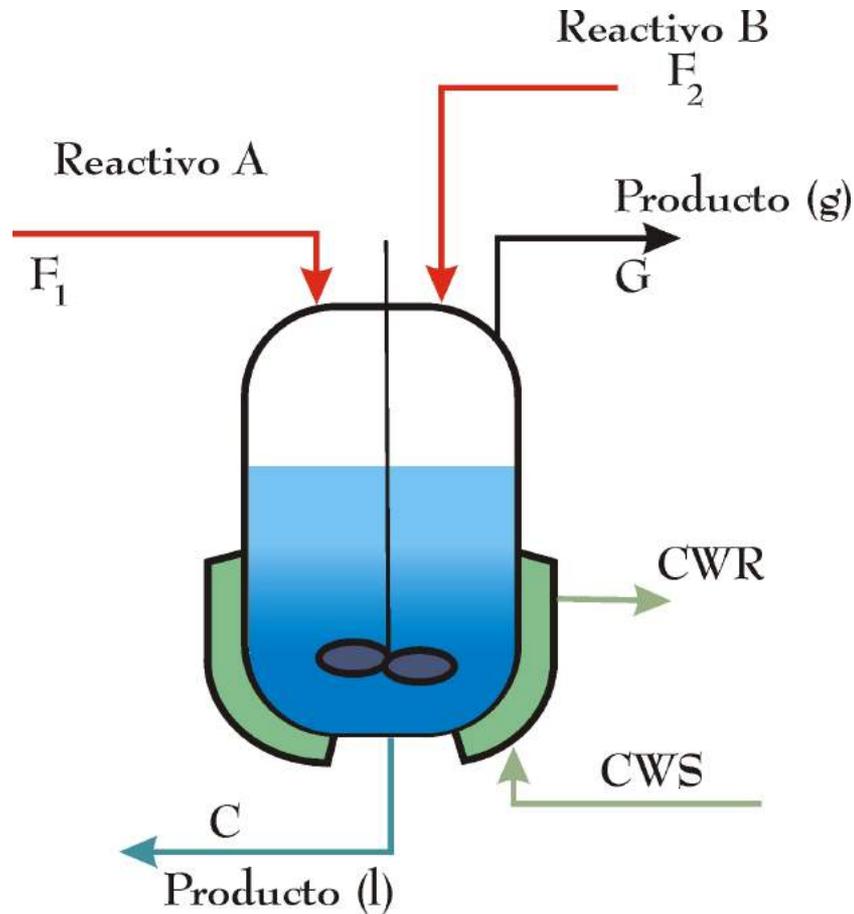


¿grados de libertad?



Variables CV's y MV's

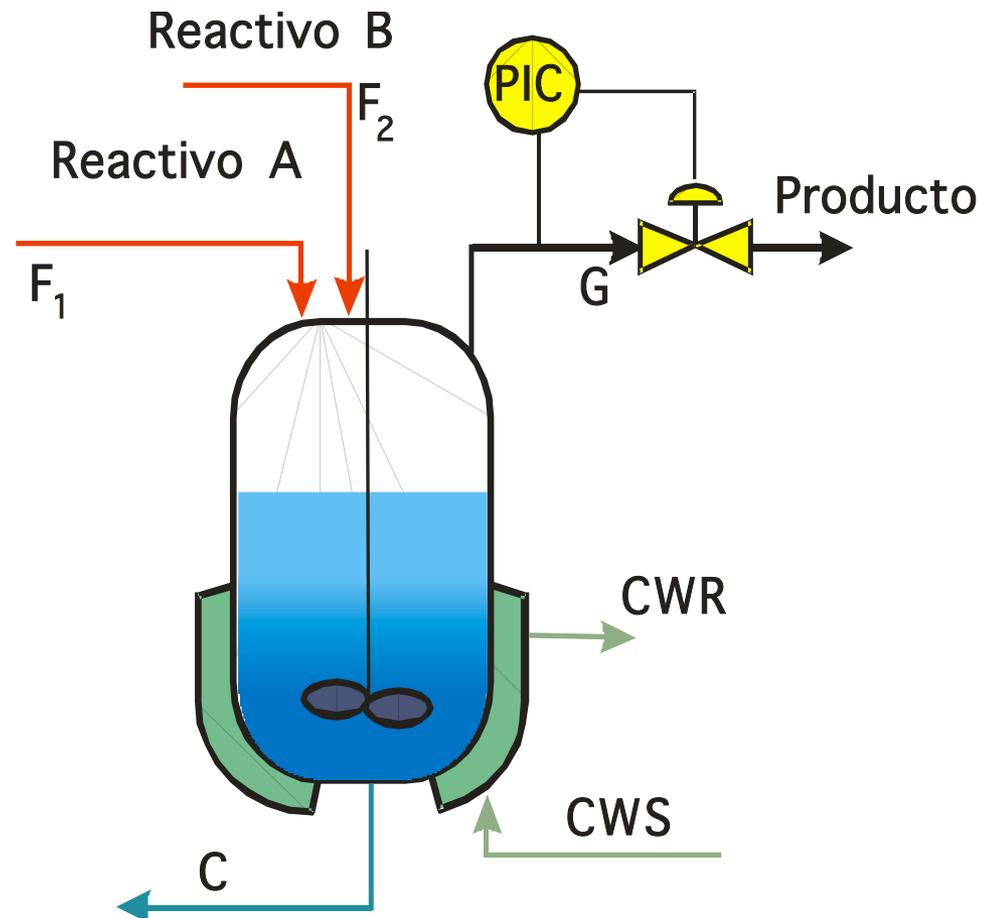
CSTR: Control de presión



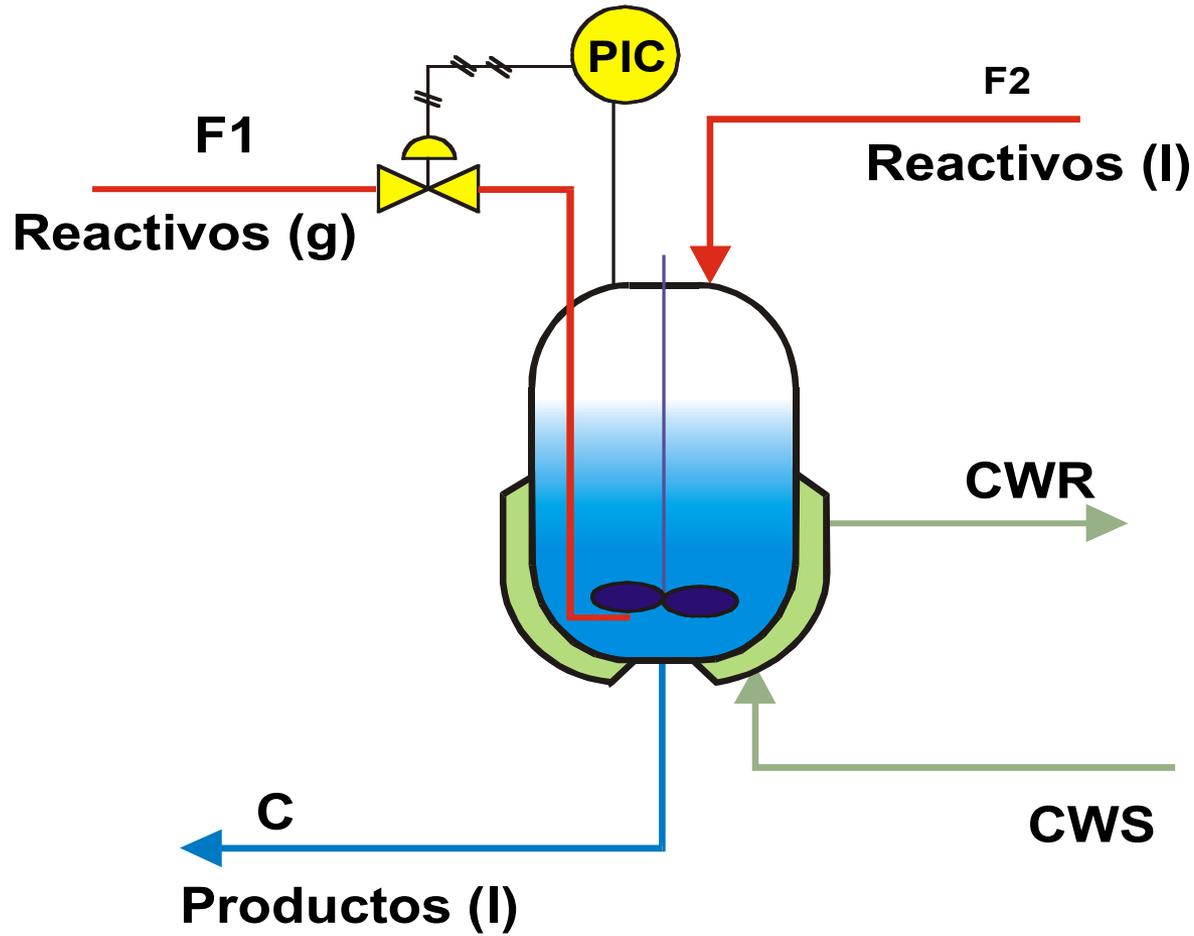
Si existe equilibrio normalmente no se controla la presión y se controla únicamente la temperatura.

¿Por qué?

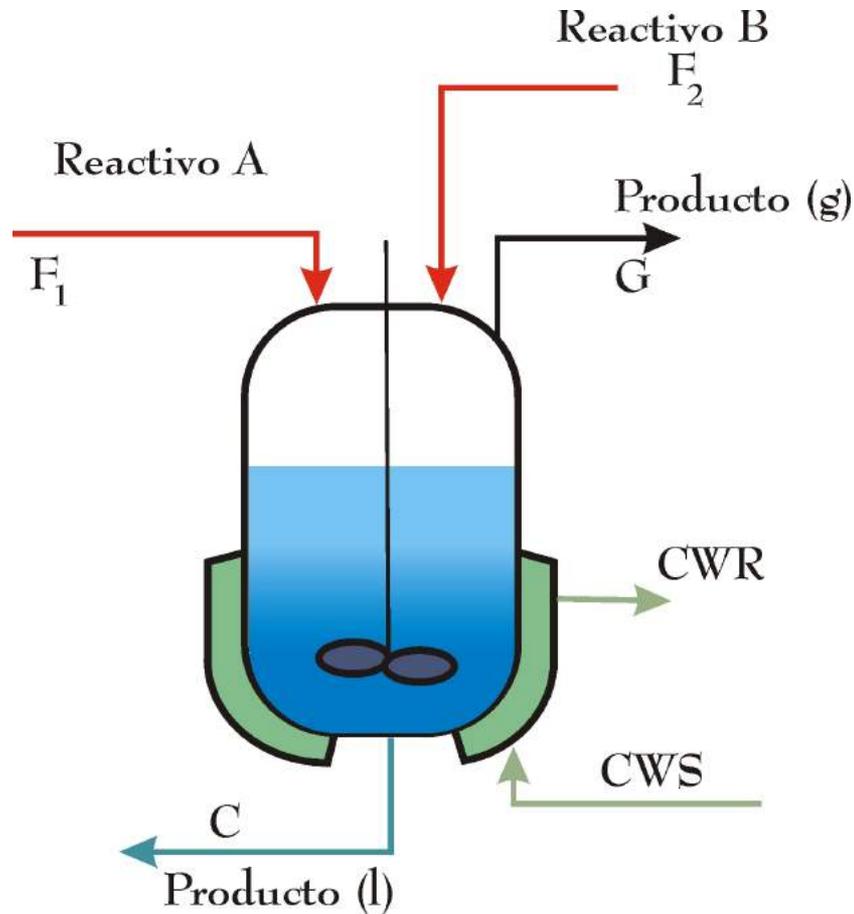
Con salida de gases



Sin salida de gases



CSTR: Control de temperatura



¿Cuáles son las variables manipuladas más efectivas para el control de la temperatura?



*A reactivo limitante
Volumen de reacción constante*

Reacciones exotérmicas

Cinética según la expresión de Arrhenius

$$r = k_0 e^{\frac{-E_a}{RT}}$$

k_0 Constante preexponencial
 E_a energía activación
 R constante universal de los gases
 T temperatura de la reacción

Reacción exotérmica desprende calor

Fenómeno de RUNAWAY

Calor generado en el reactor

$$Q_{\text{generado}} = \Delta H_{\text{reac}} F x_A \alpha$$

$$\alpha = f(r)$$

$$r = f(T)$$

$$\longrightarrow \alpha = f(T)$$

$$Q_{\text{generado}} = f(T)$$

Calor eliminado en el reactor

$$Q_{\text{eliminado}} = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{(T - T_{ref,in}) - (T - T_{ref,out})}{\ln \frac{T - T_{ref,in}}{T - T_{ref,out}}}$$

Tomando T_{ref} constante:

$$Q_{\text{eliminado}} = U \cdot A \cdot (T - T_{ref})$$

Balance de entalpía al reactor

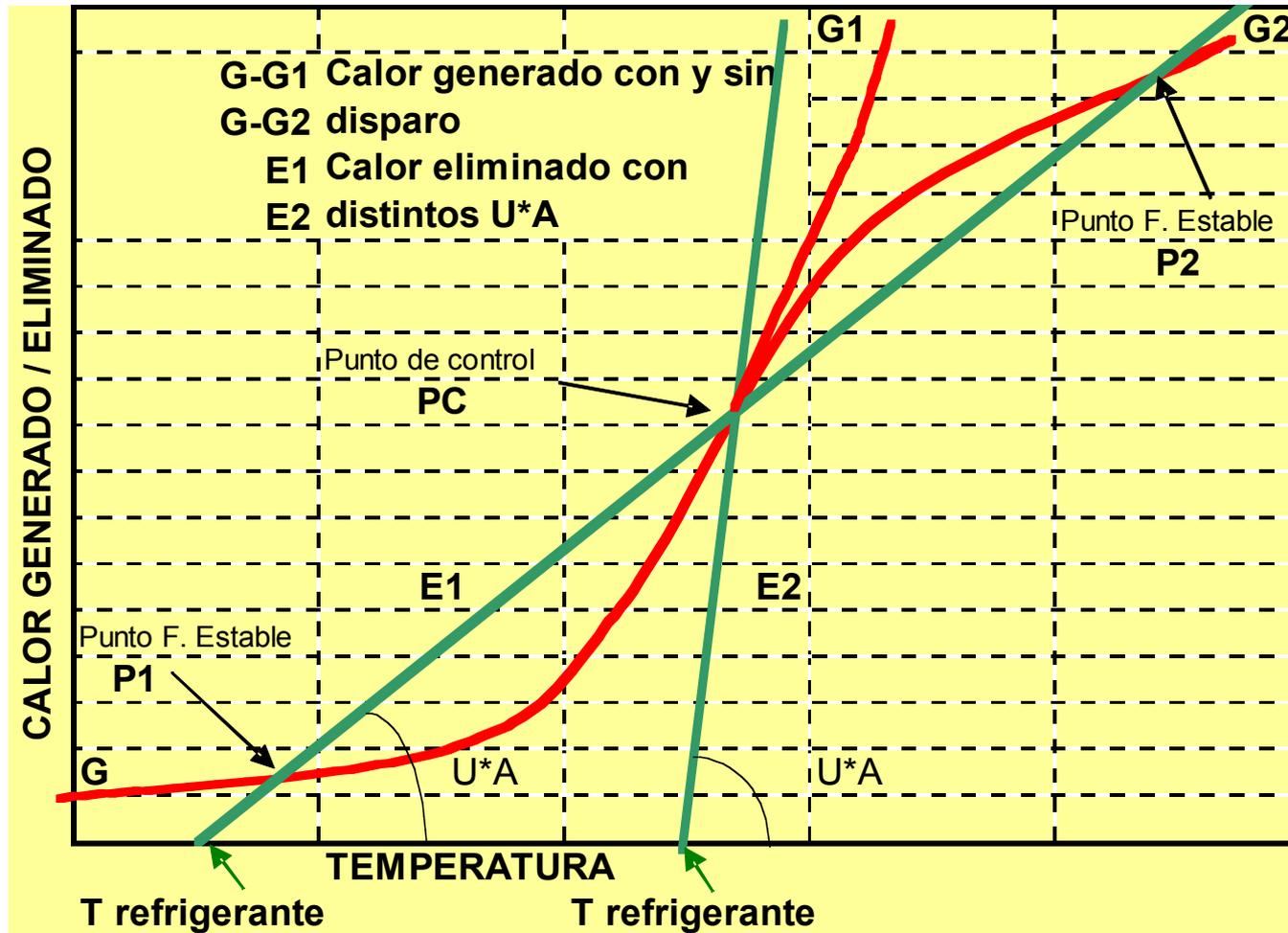
$$F_1 h_{F_1} + F_2 h_{F_2} + Q_{\text{generado}} = F_C h_{F_C} + Q_{\text{eliminado}}$$

Si queremos T constante (controlada)

$$Entalpia_{\text{reactivos}} \approx Entalpia_{\text{productos}}$$

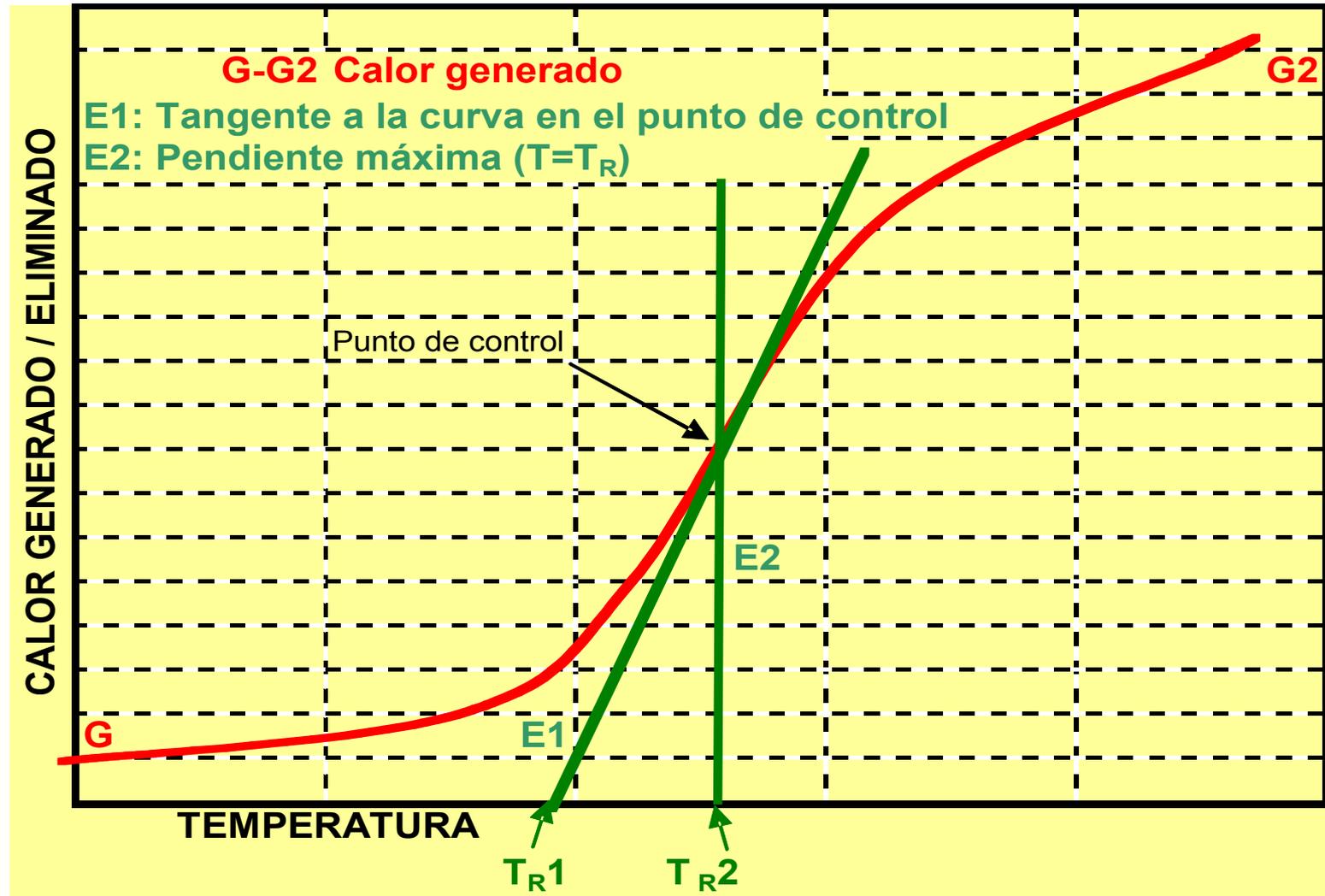
$$Q_{\text{generado}} = Q_{\text{eliminado}}$$

Balance entálpico (gráficamente)



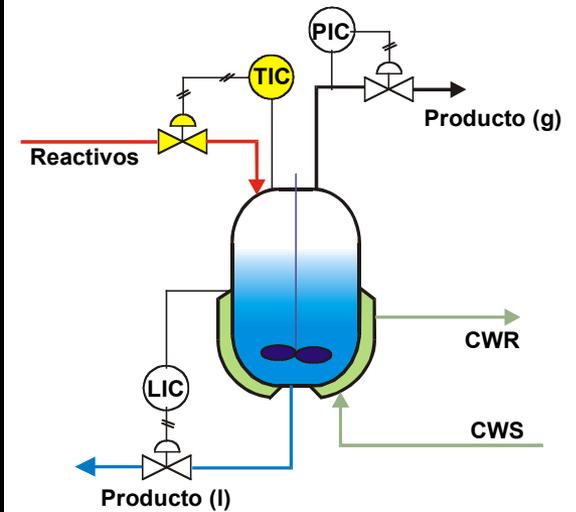
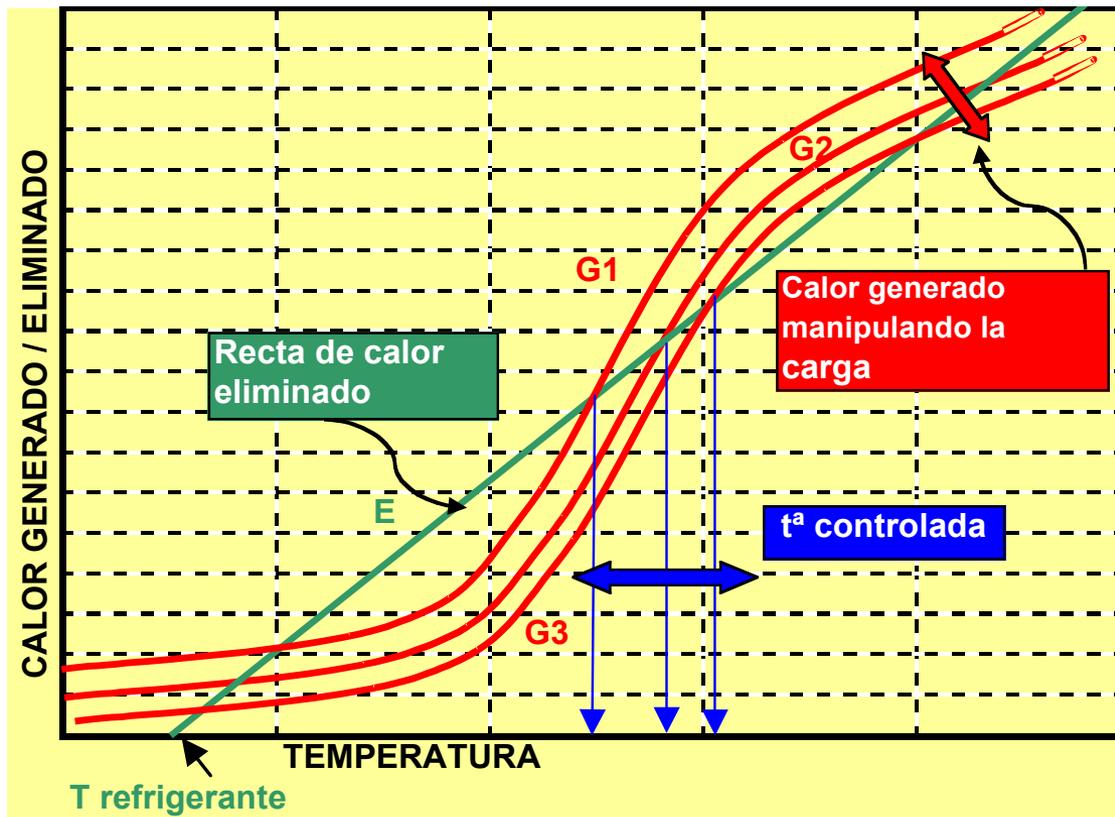
Un mejor control parte de un mejor diseño

Horquilla de estabilidad



Control actuando sobre el calor generado

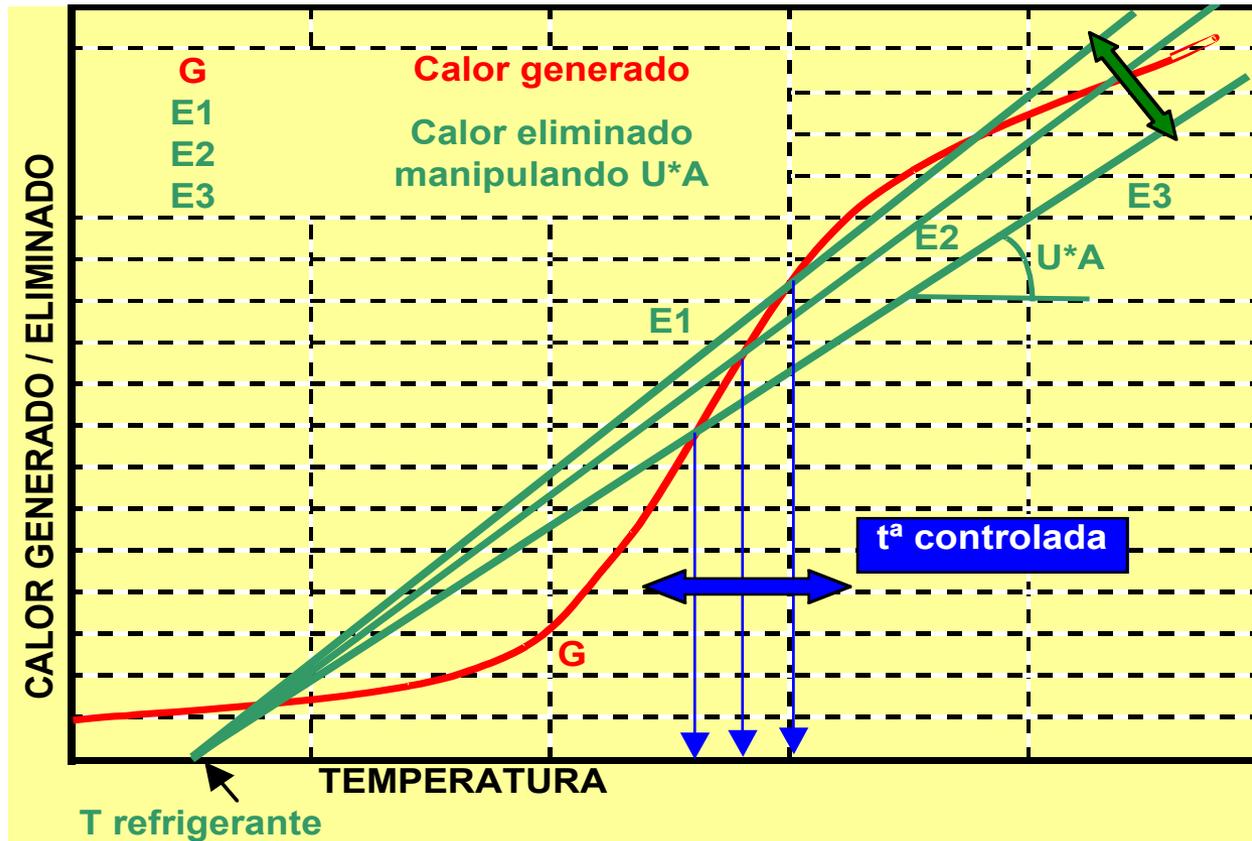
Actuar **sobre la carga**, es decir, sobre la capacidad de producción.



Control actuando sobre el calor eliminado

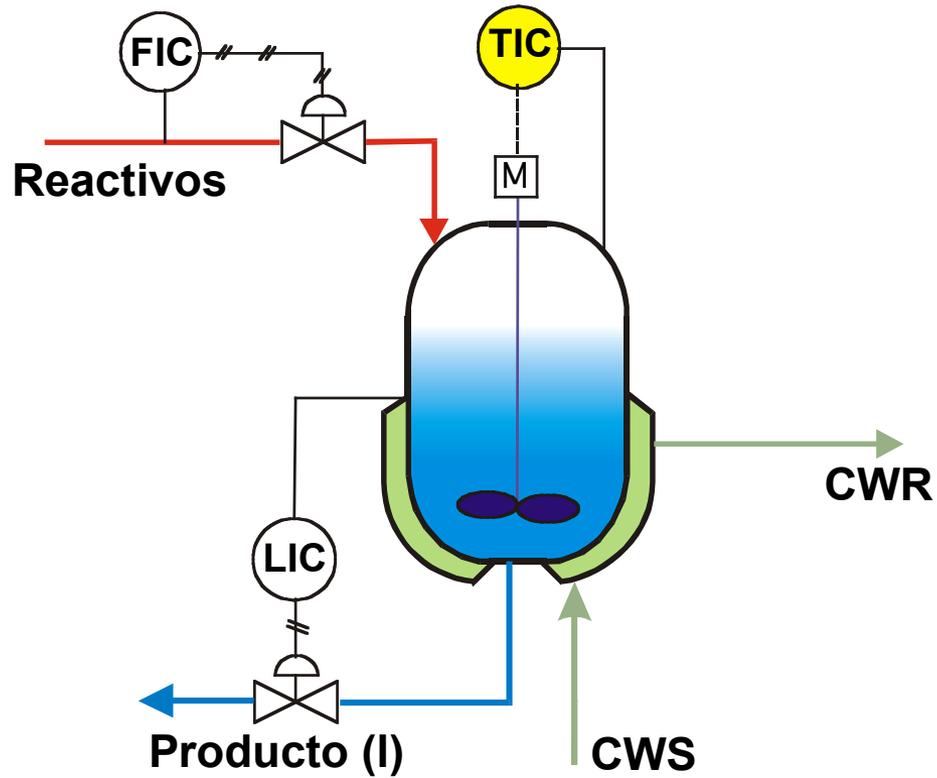
Se puede actuar sobre uno de los 3 factores: U A ΔT_{lm}

Actuación sobre U (coef. Global de transmisión de calor)

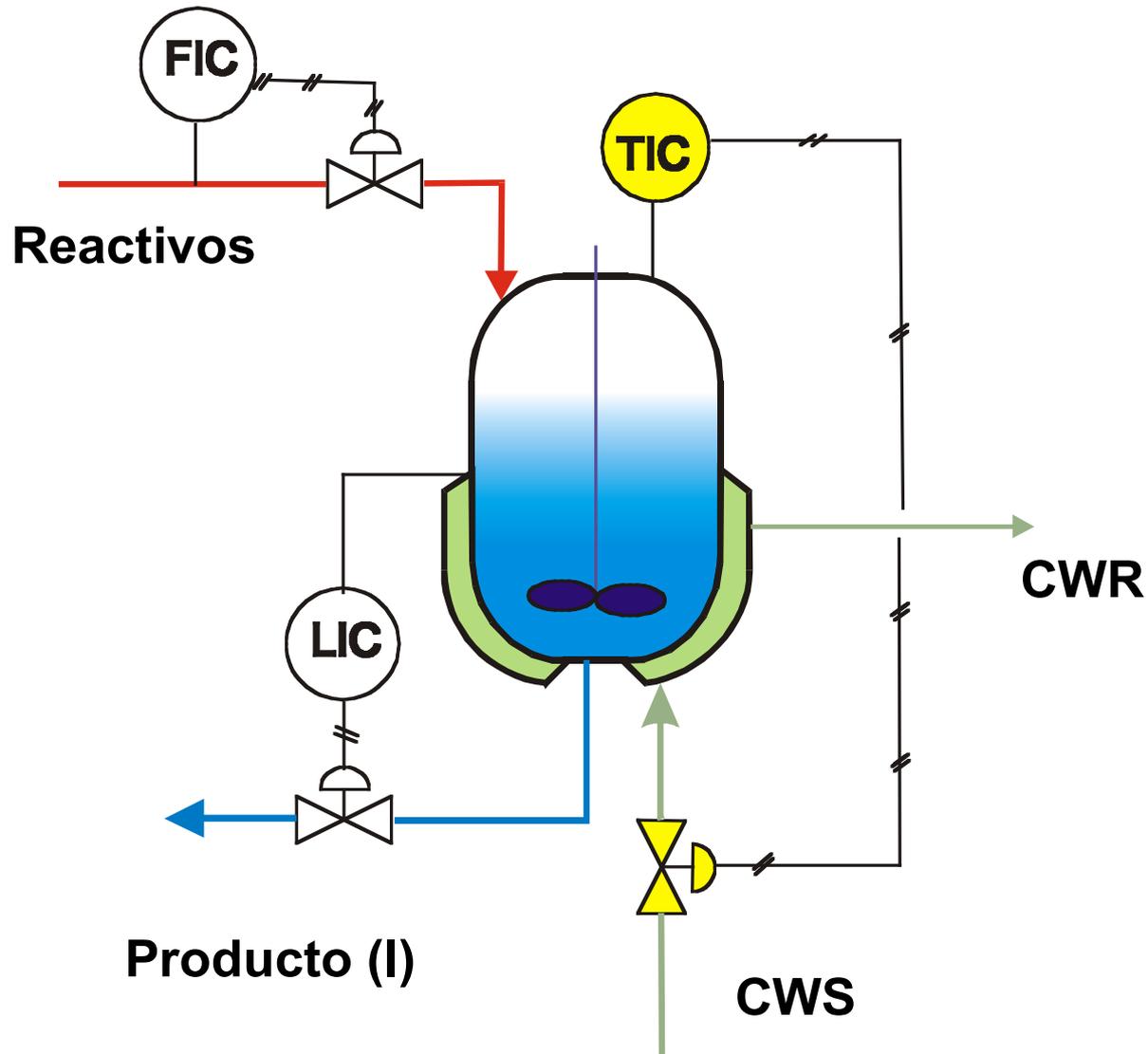


$$U \cong \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

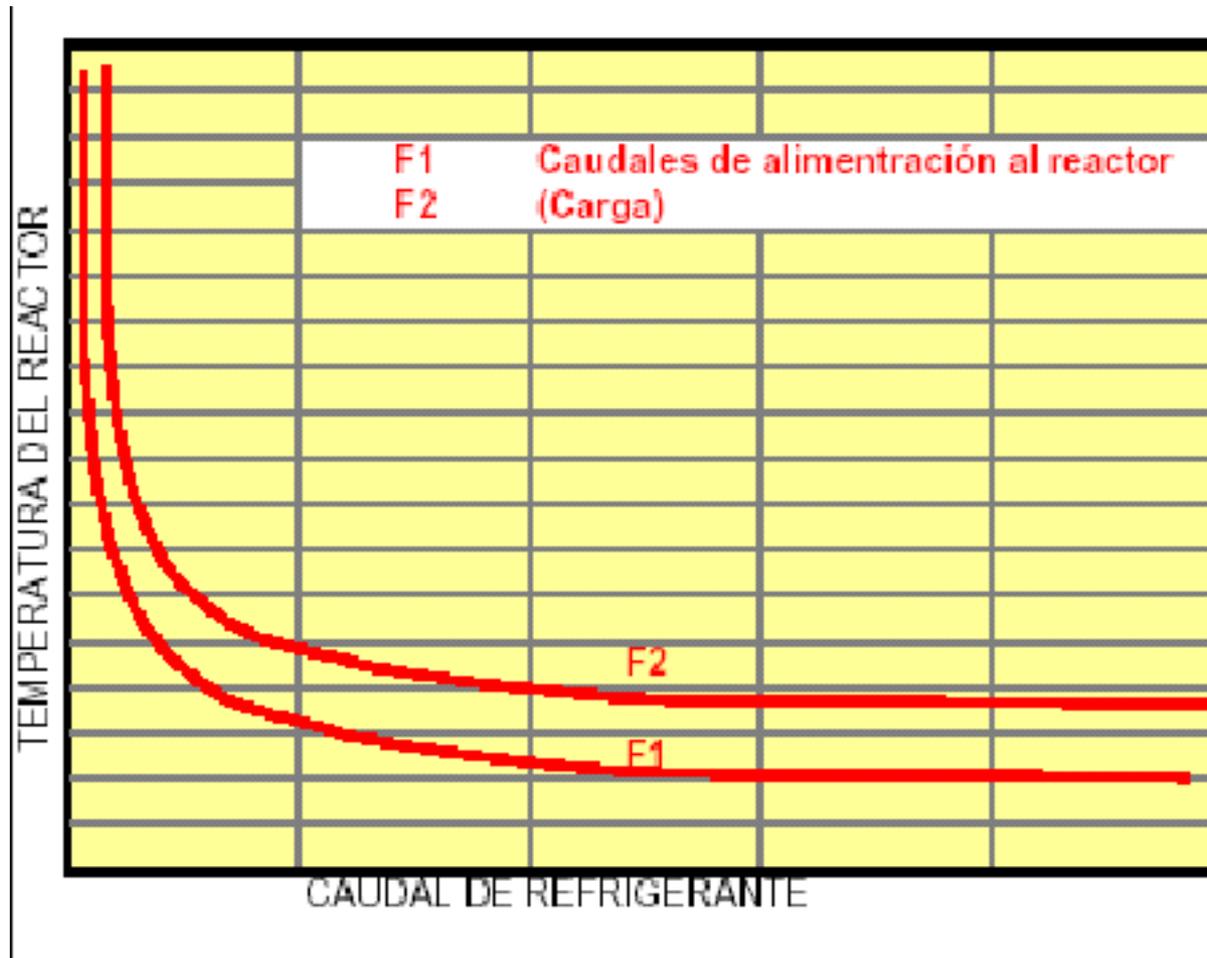
Manipular la velocidad de agitación



Manipular caudal de refrigerante

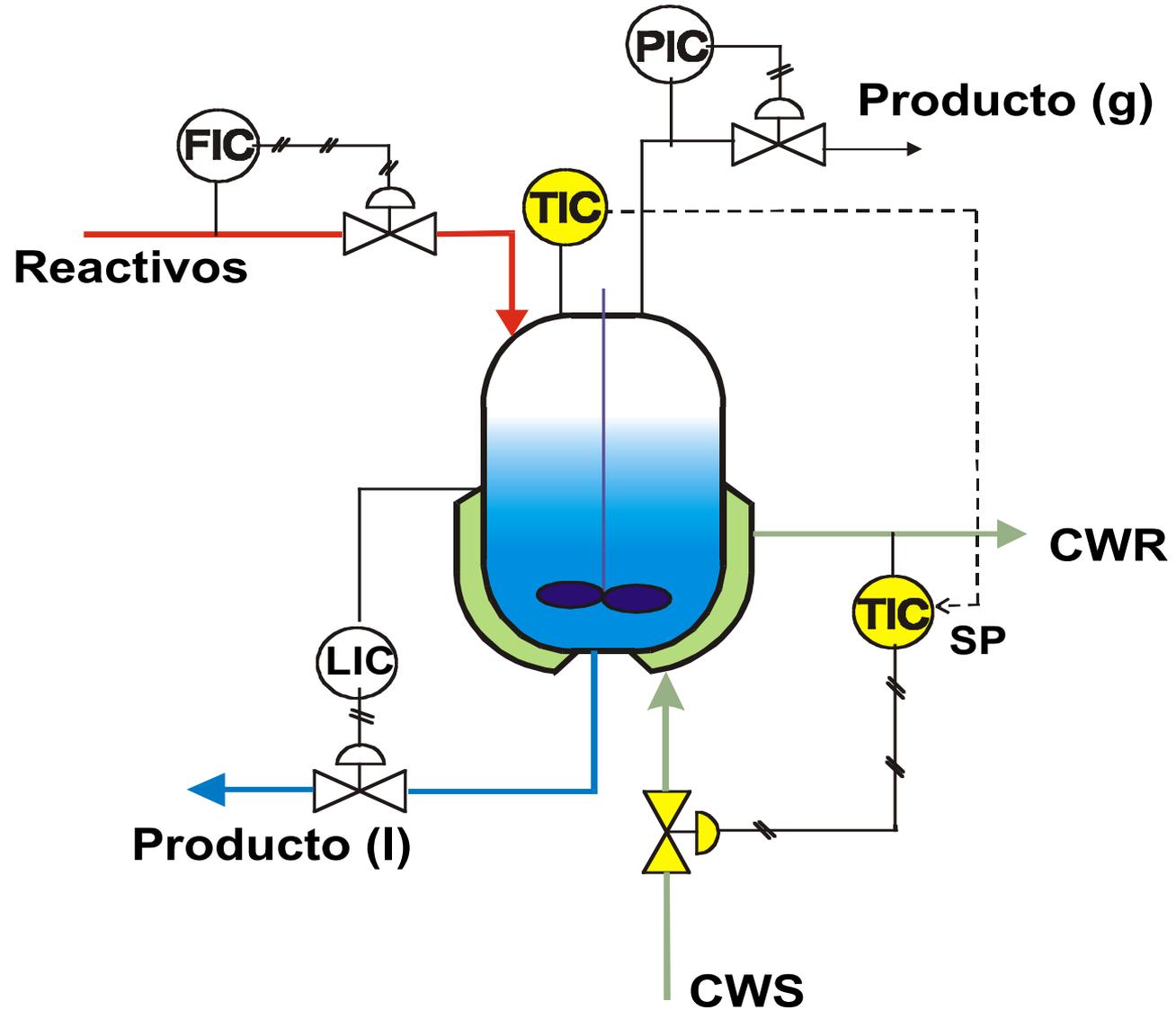


Problemas en la variación del caudal de refrigerante

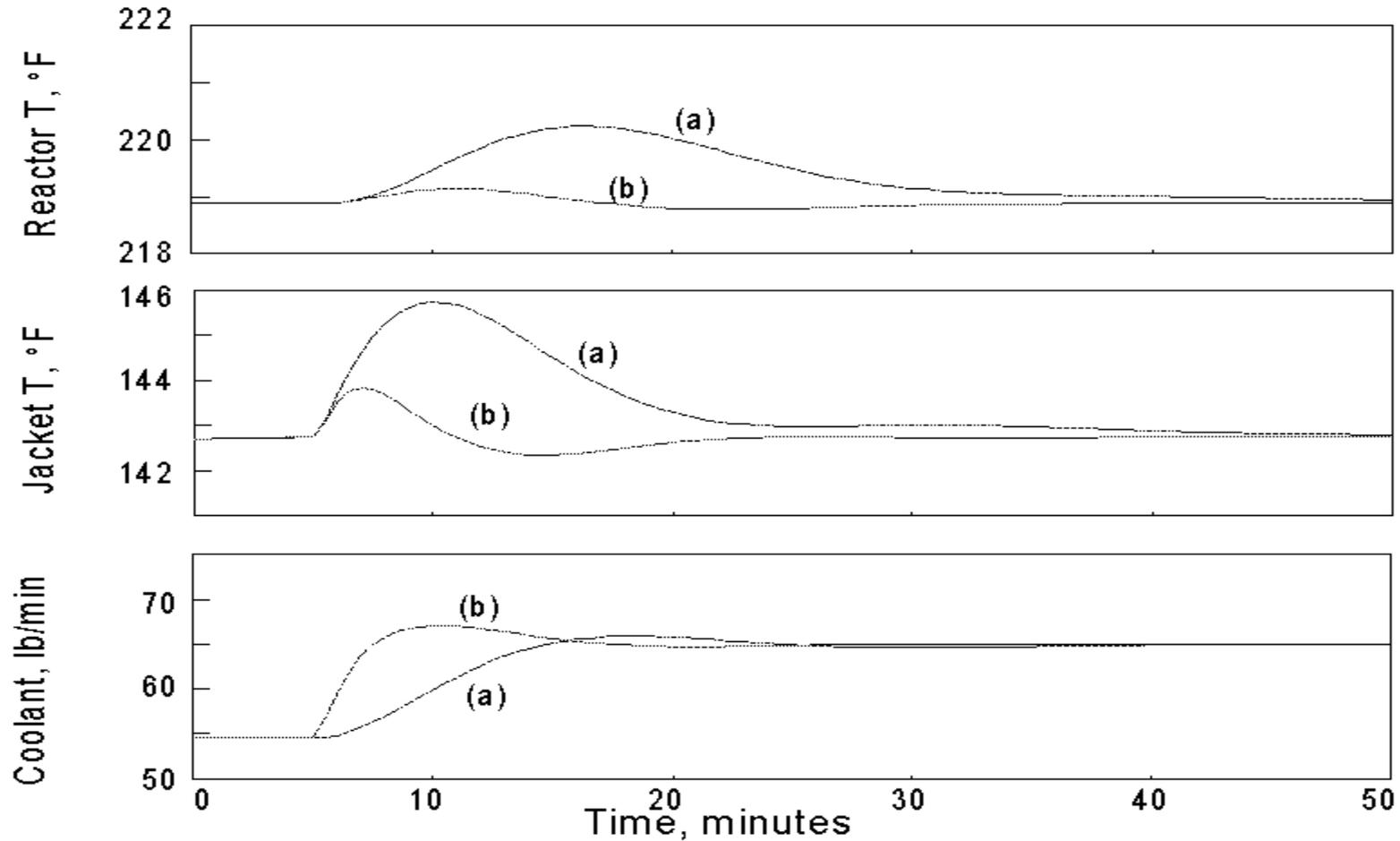


- Variación muy no lineal
- Rango limitado de aplicación (ganancia)

Manipular caudal de refrigerante: lazo en cascada

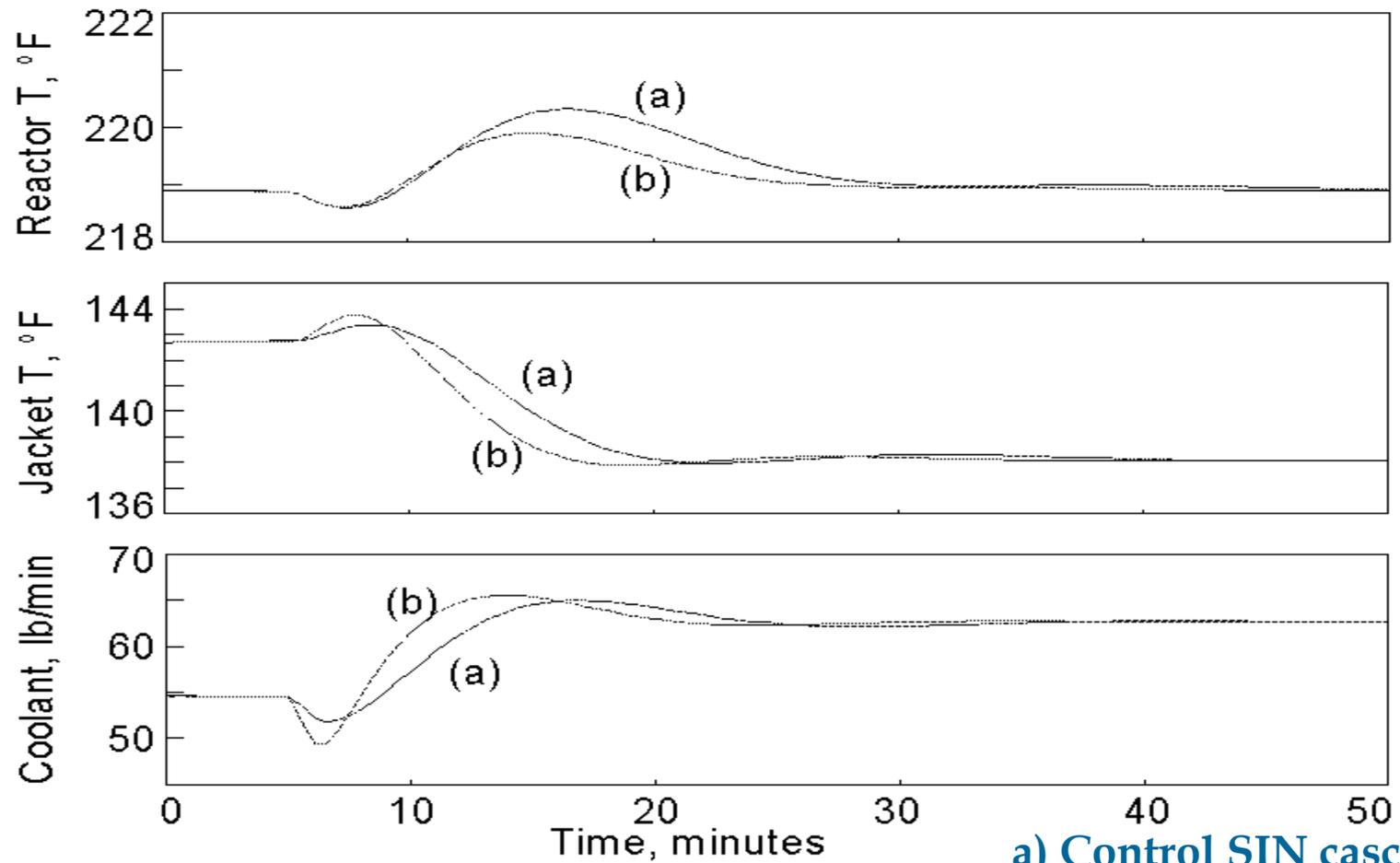


Respuesta ante un escalón en la temperatura de entrada del refrigerante



- a) Control SIN cascada
b) Control CON cascada

Respuesta ante un cambio en la entrada de reactivos



a) Control SIN cascada
b) Control CON cascada

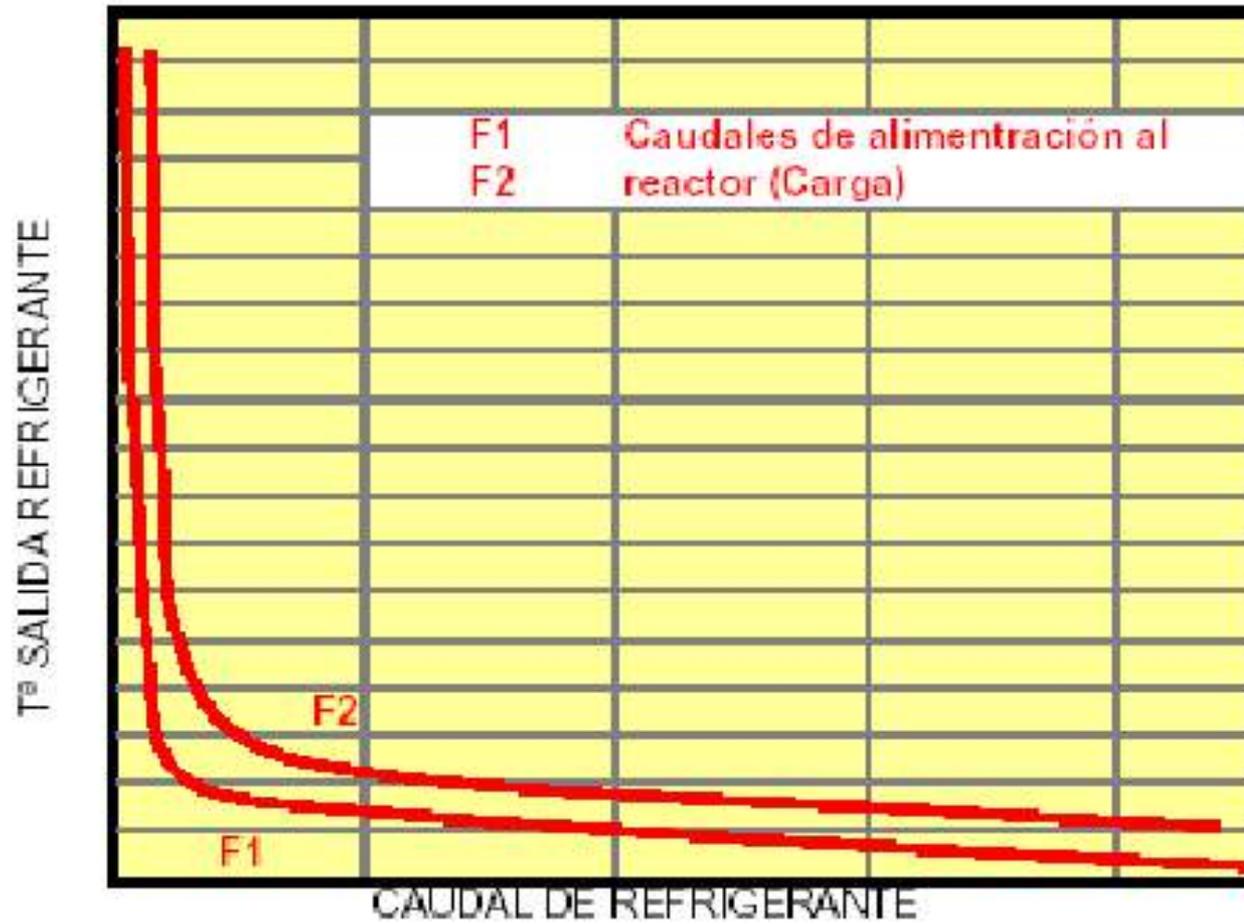
Lazos en cascada

Técnica de control que emplea DOS controladores con **un lazo de control dentro del otro**.

El lazo interior se denomina lazo secundario (o esclavo) y es el que **actúa sobre el elemento final** (válvula de control).

El lazo exterior se denomina lazo primario (o maestro) y su labor es **fijar el set-point del lazo secundario**.

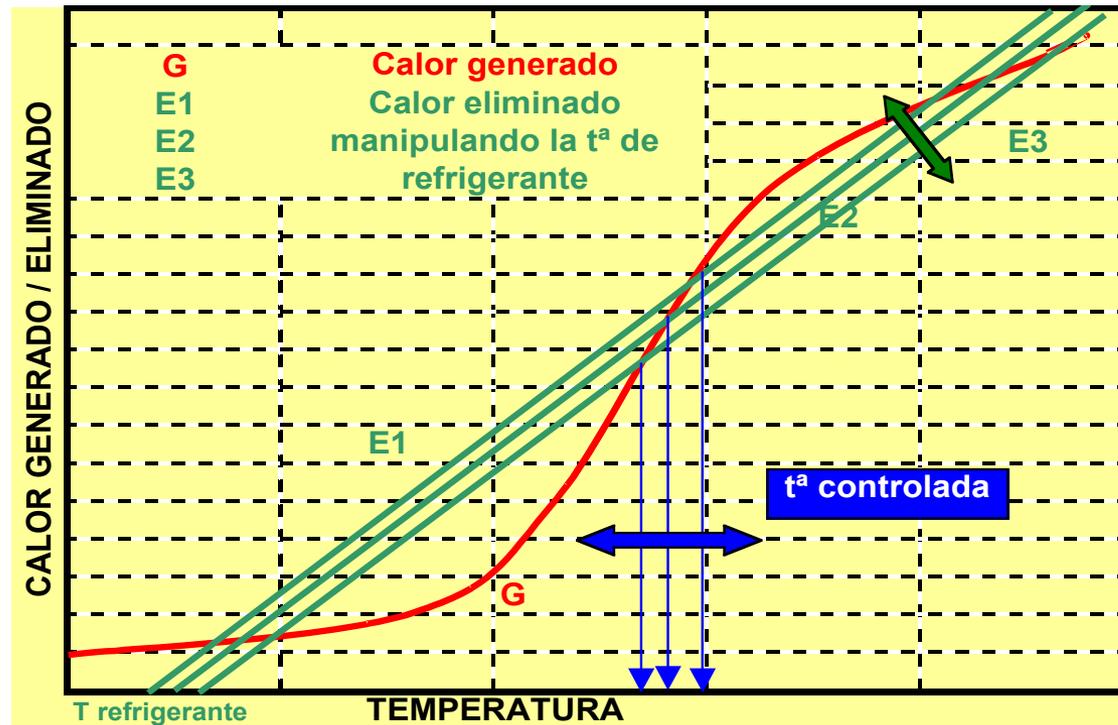
¿Es importante la respuesta de los lazos para que funcione?



Actuación sobre A (área de transferencia)

Esto no es posible para un reactor dado. Sólo es posible actuar sobre este parámetro en la fase de diseño del reactor.

Actuación sobre ΔT (diferencia de temperaturas)

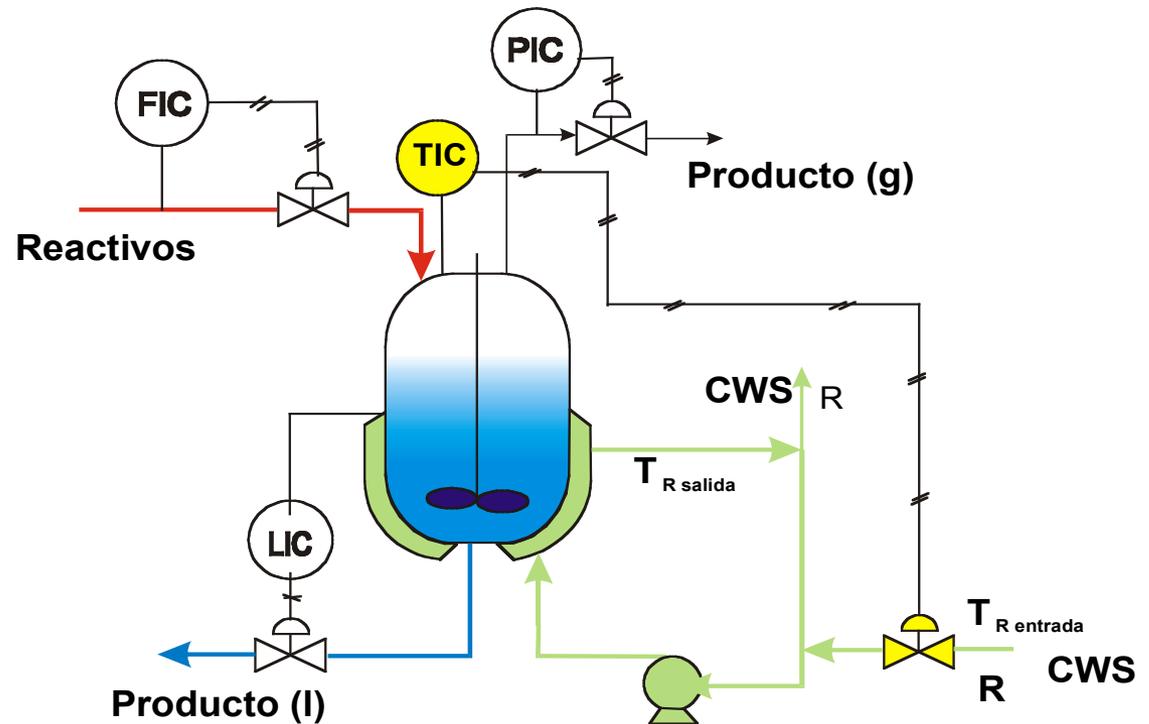


Recirculación con bomba (manipulación del aporte)

$$Q_{\text{eliminado}} = U \cdot A \cdot \Delta T_{\text{In}} \approx U \cdot A (T - T_{R \text{ salida}})$$

$$Q_{\text{generado}} = Q_{\text{eliminado}} = R \cdot c_e (T_{R \text{ salida}} - T_{R \text{ entrada}})$$

$$T_{R \text{ salida}} = T_{R \text{ entrada}} - Q_{\text{generado}} / (R \cdot c_e)$$



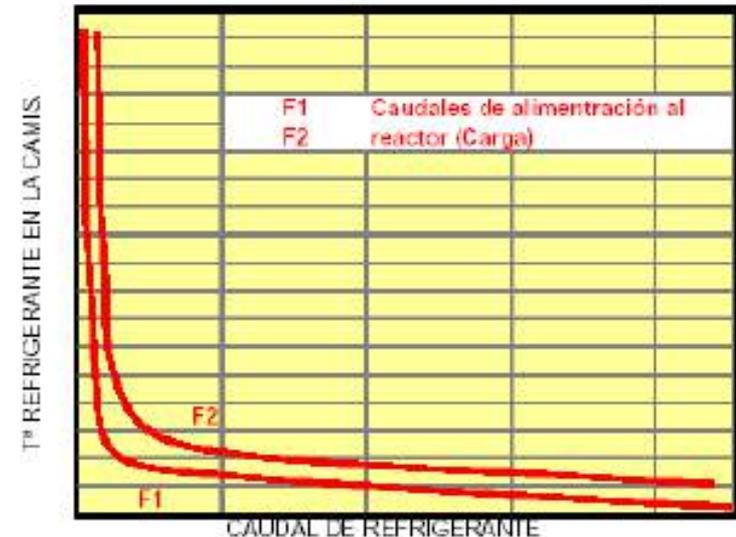
Dibuja el esquema de recirculación con control en cascada.

Ganancias ppal y secundaria



$$T = T_{R \text{ salida}} - [Q_{\text{generado}} / (U \cdot A)]$$

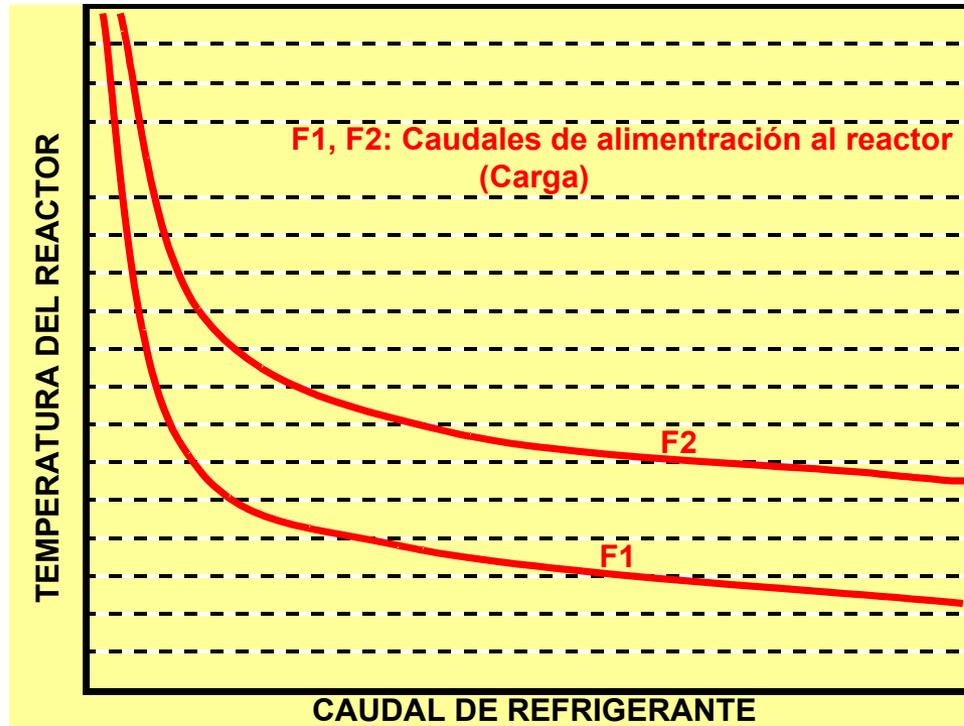
$$\delta T / \delta (T_{R \text{ salida}}) = 1$$



$$T_{R \text{ salida}} = T_{R \text{ entrada}} - Q_{\text{generado}} / (R \cdot c_e)$$

$$\delta T_{R \text{ salida}} / \delta R = Q_{\text{generado}} / (2 R^2 \cdot c_e)$$

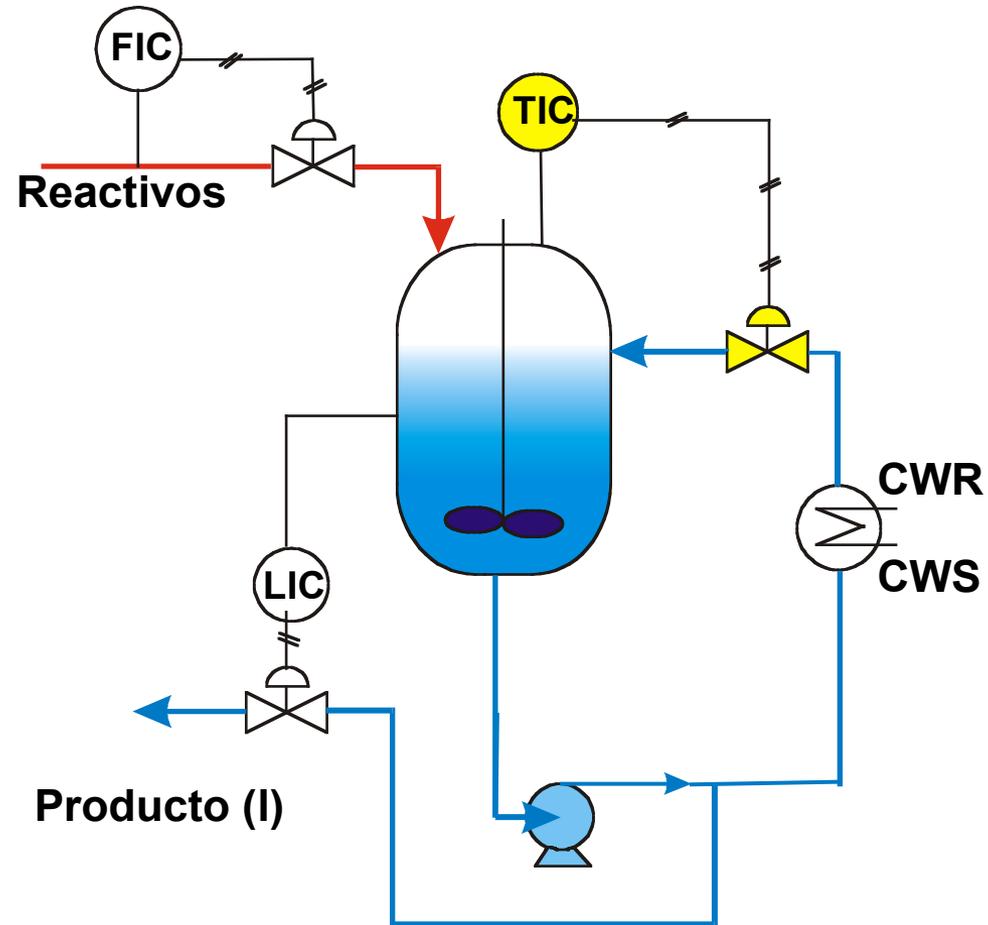
Ganancia con manipulación del aporte



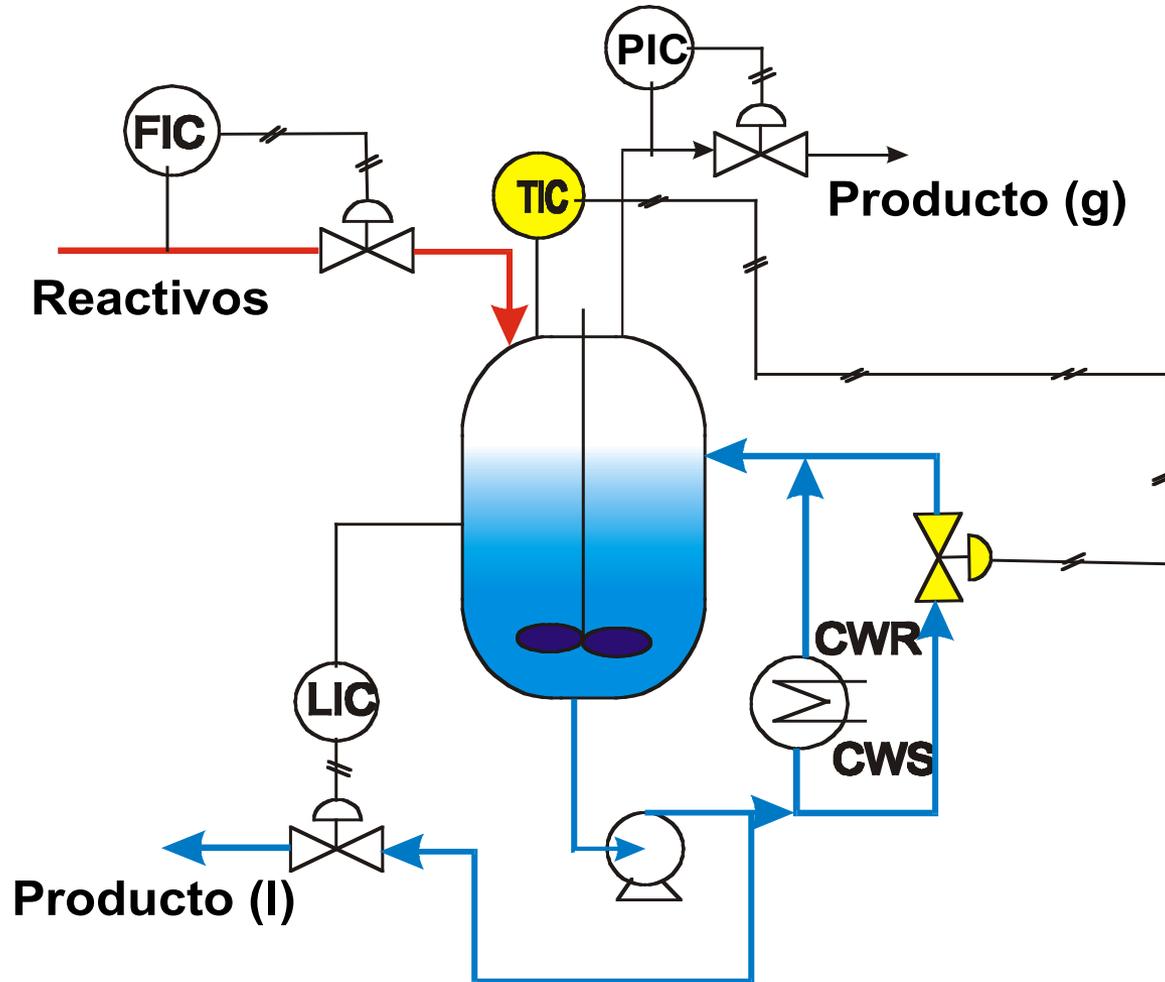
$$\delta T / \delta R = \delta T / \delta (T_{R \text{ salida}}) \cdot \delta T_{R \text{ salida}} / \delta R = 1 \cdot \delta T_{R \text{ salida}} / \delta R = Q_{\text{generado}} / (2 R^2 \cdot c_e)$$

Funcionamiento similar al visto sin recirculación pero permite menor caudal de refrigerante.

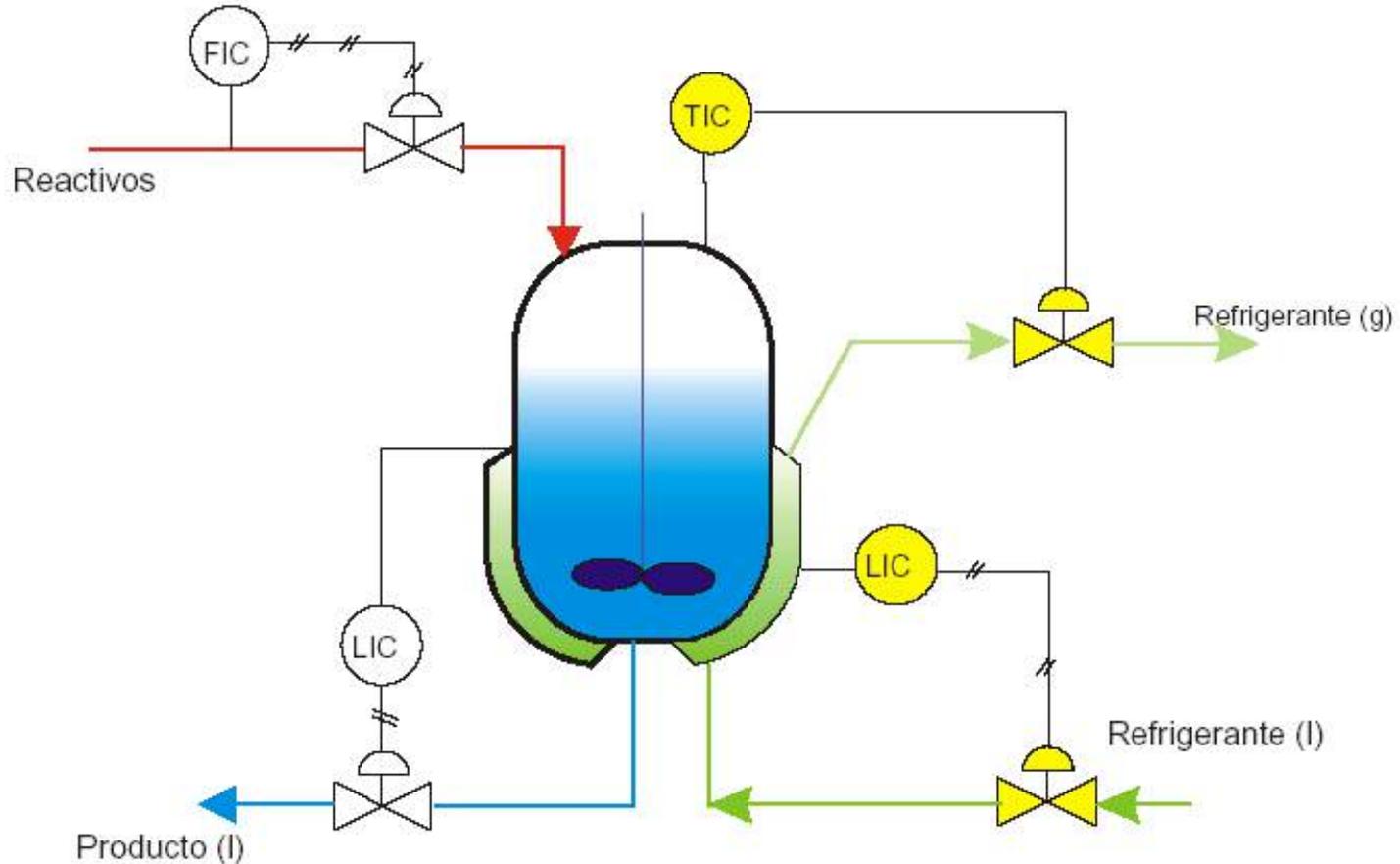
Circulación a través de cambiador de carcasa-tubos externo



Circulación a través de cambiador externo y by-pass



Control mediante fluido en evaporación

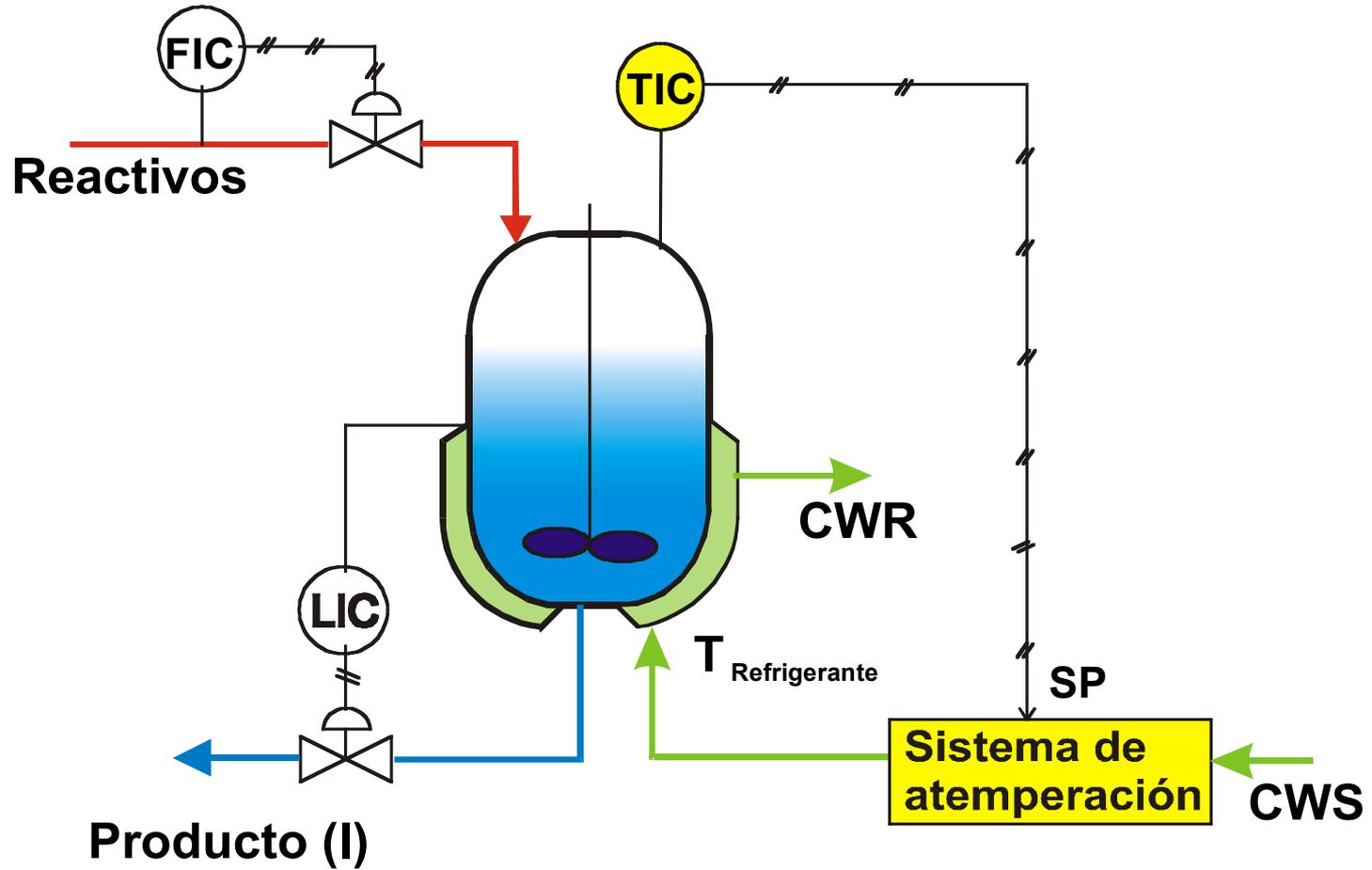


¿por qué es necesario el lazo de nivel en el refrigerante?

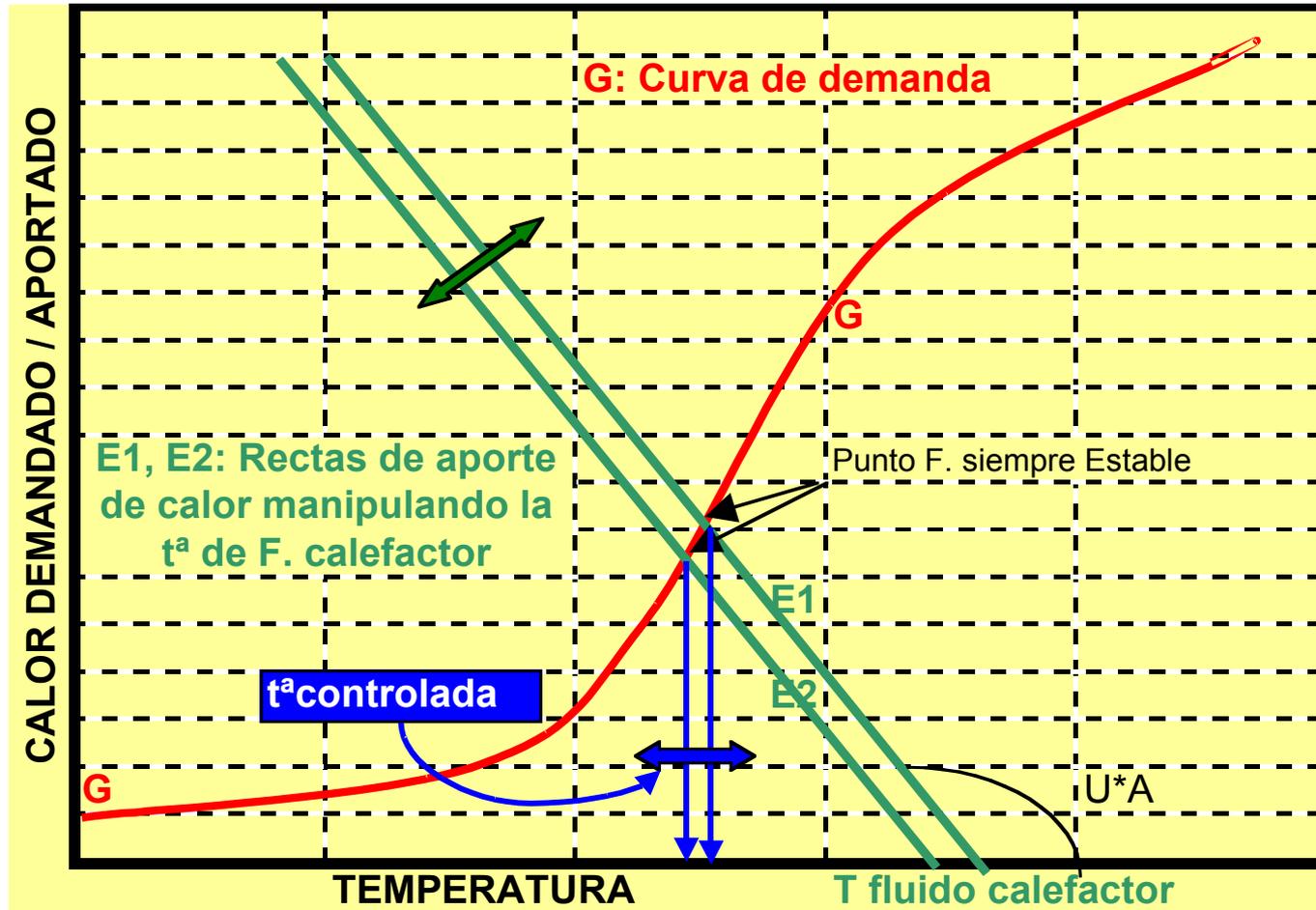
¿Se podría controlar con la ebullición de un reactivo? Dibuja un esquema de control

Reactivo en evaporación

Reactivo en evaporación

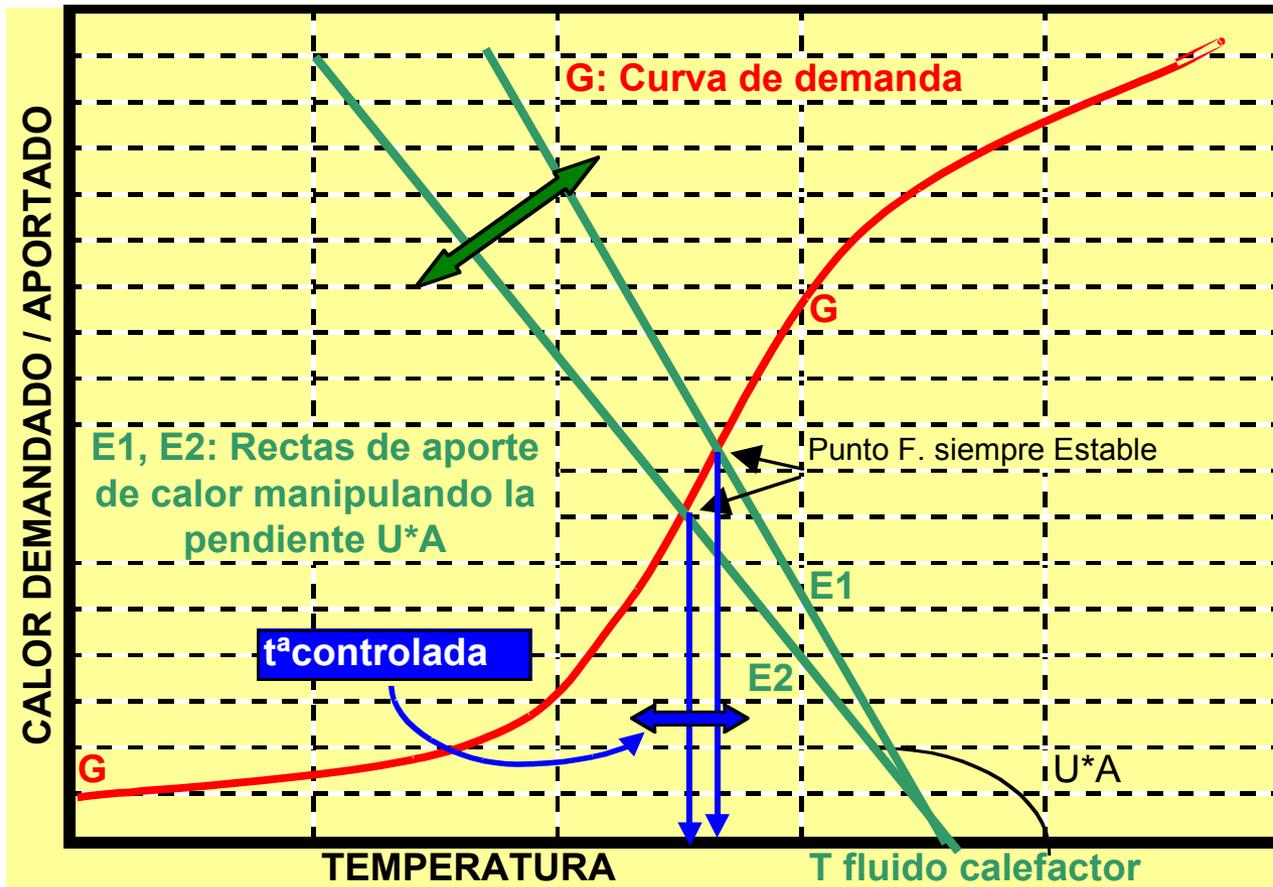


Reacciones endotérmicas



Siempre hay un único punto de corte: control estable y más sencillo.

Manipulación de U^*A



Se aplican los mismos principios que los explicados para reacciones exotérmicas.

Si se controla por condensación de un vapor hay que tener en cuenta que al actuar sobre el caudal se actúa sobre la presión y por tanto la temperatura.

CSTR: Control de calidad

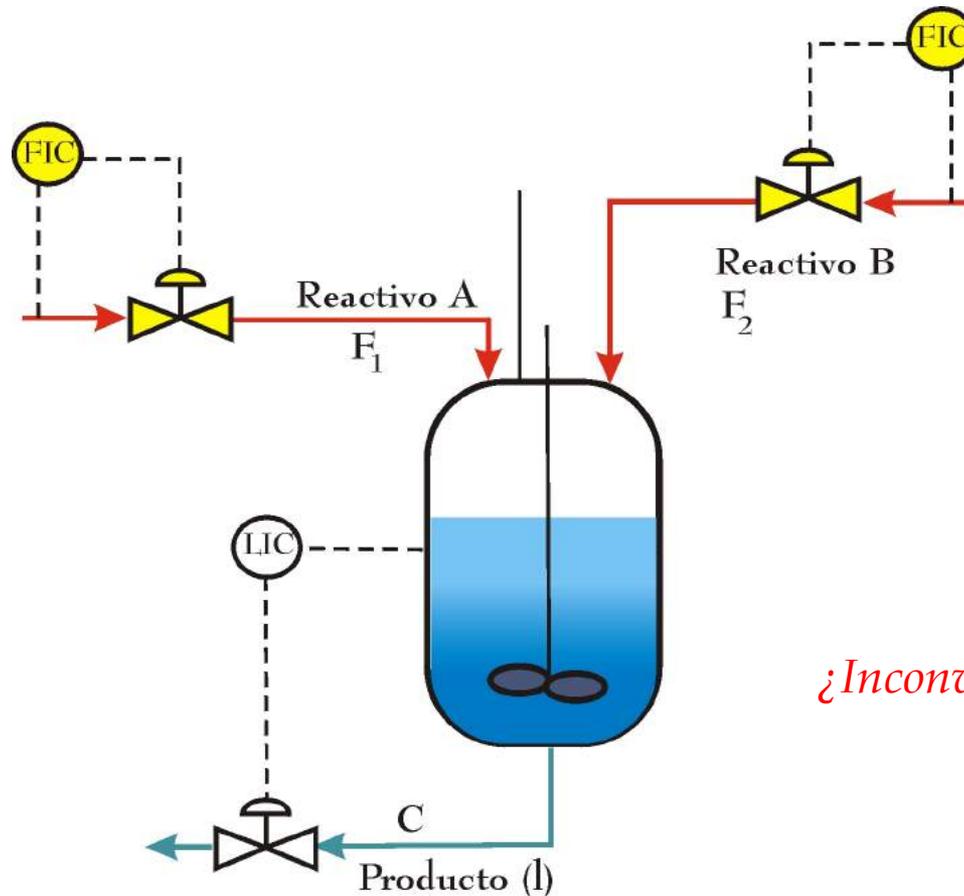
El control de la carga (capacidad de producción) se fija mediante un lazo FIC sobre una corriente de entrada (reactivo limitante) o sobre la salida (producto). El nivel se controla con la salida (o una entrada).

Variables manipuladas	Variables controladas
F1	T
F2	P
C	L
G	Carga o capacidad de la unidad
$Q_{\text{térmica}}$	X_C : Composición

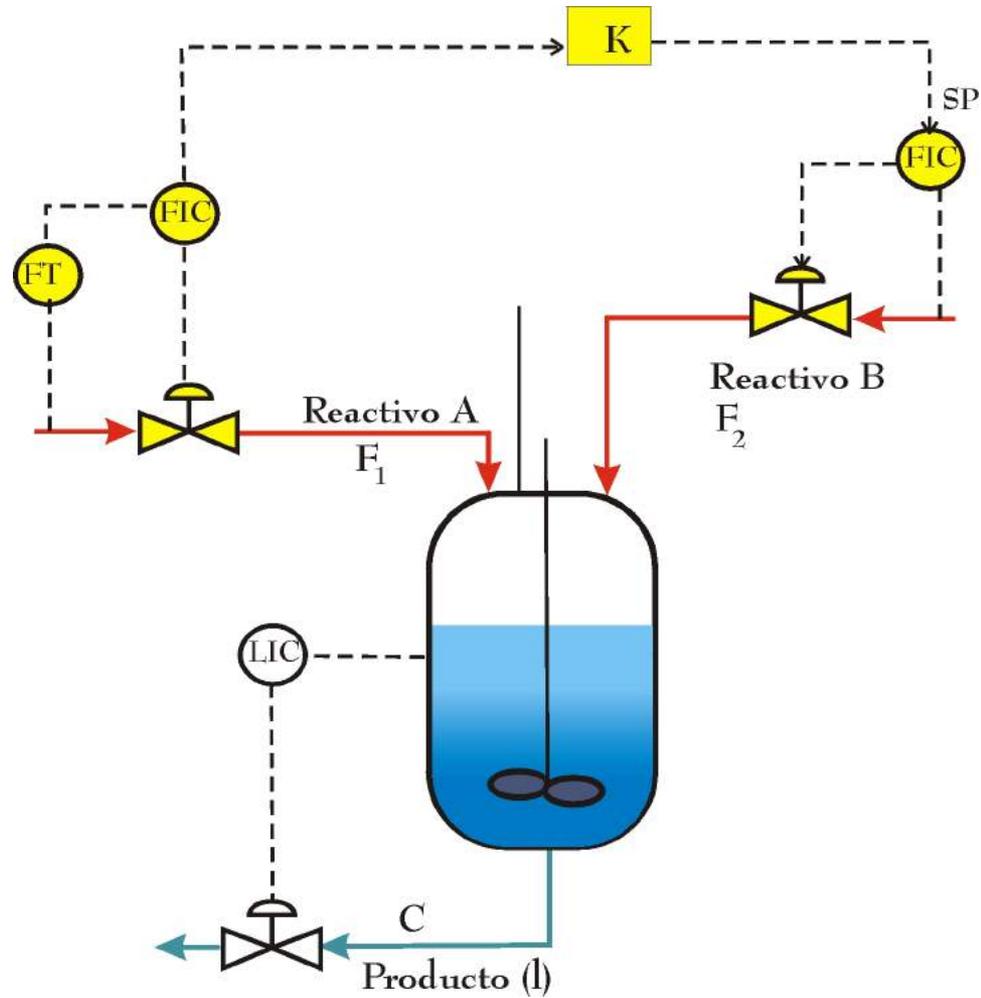
El control de calidad se hará ajustando la relación entre los reactivos

Reactor de paso único

Cuando hay altas conversiones en el reactor



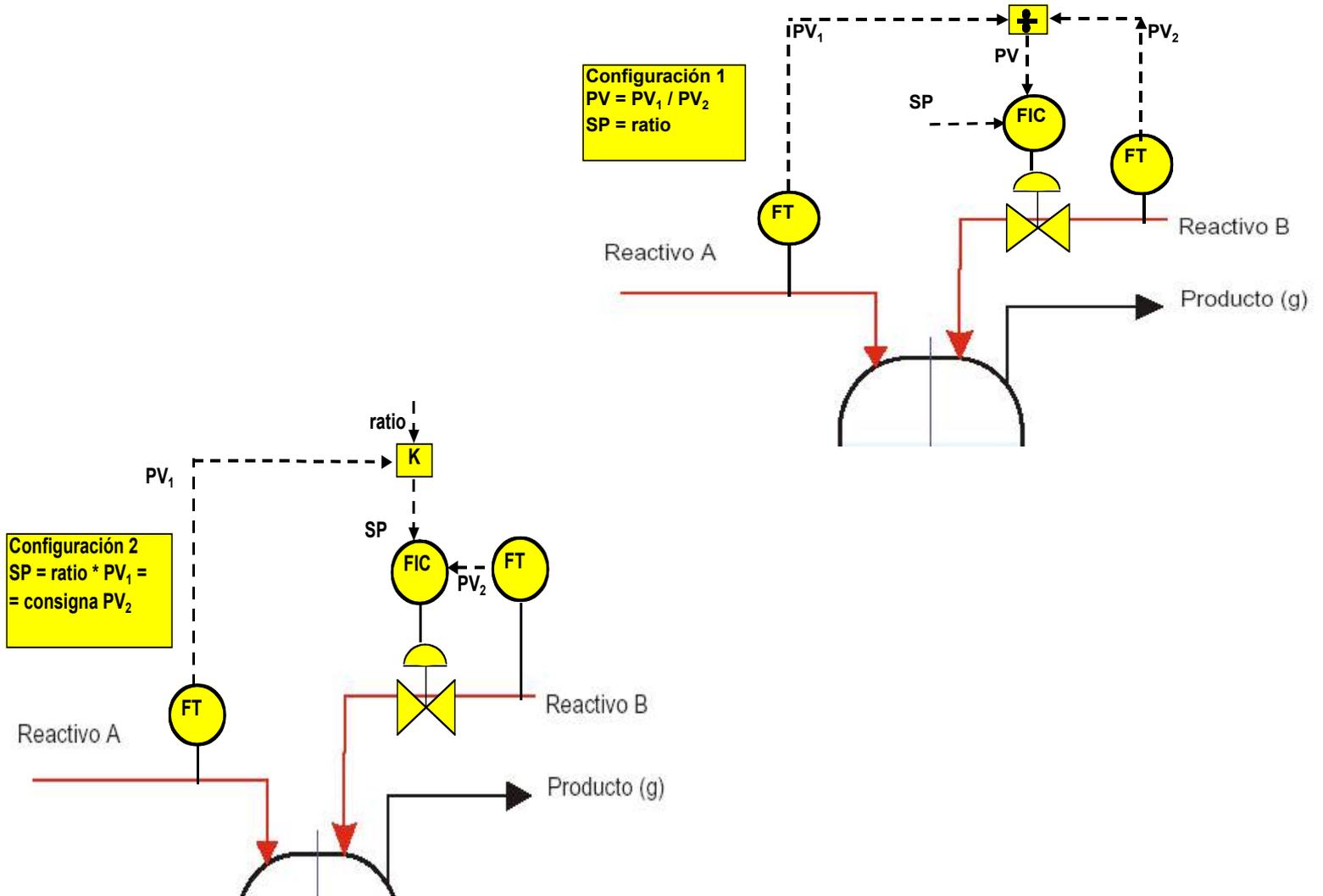
Ratio control

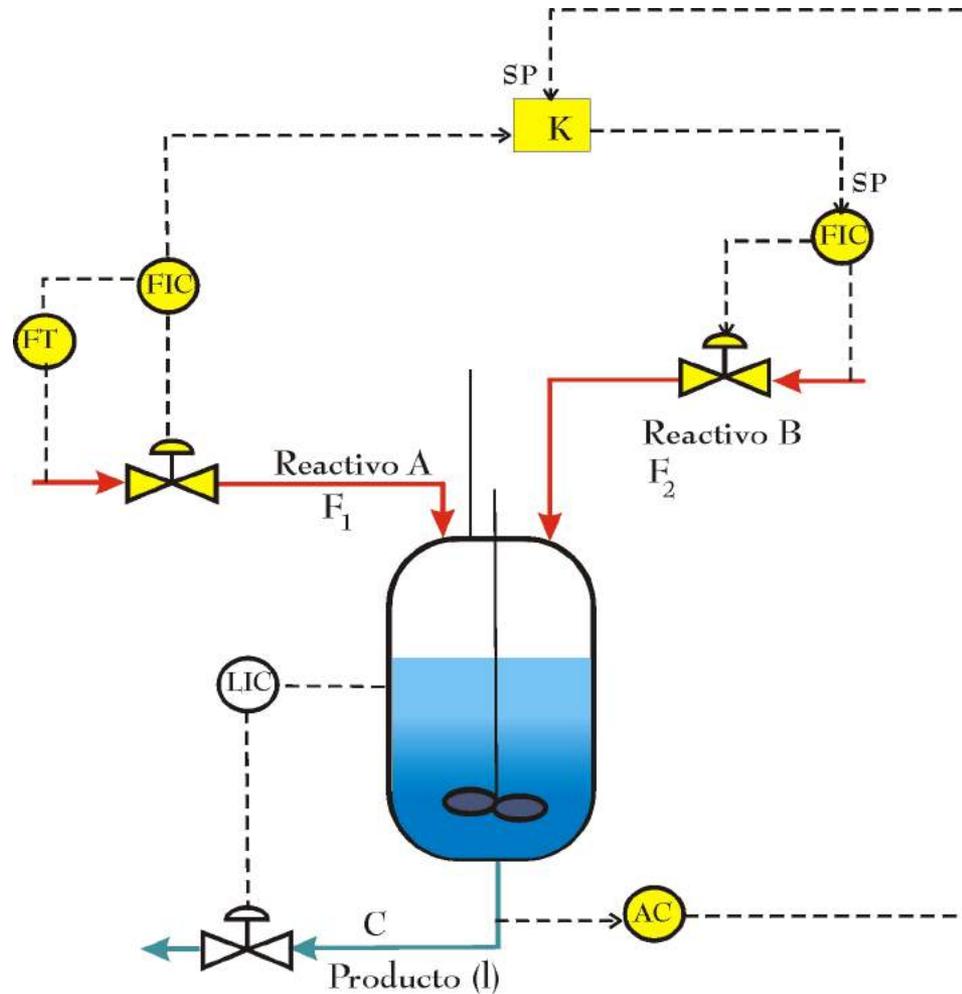


Control de relación (ratio control)

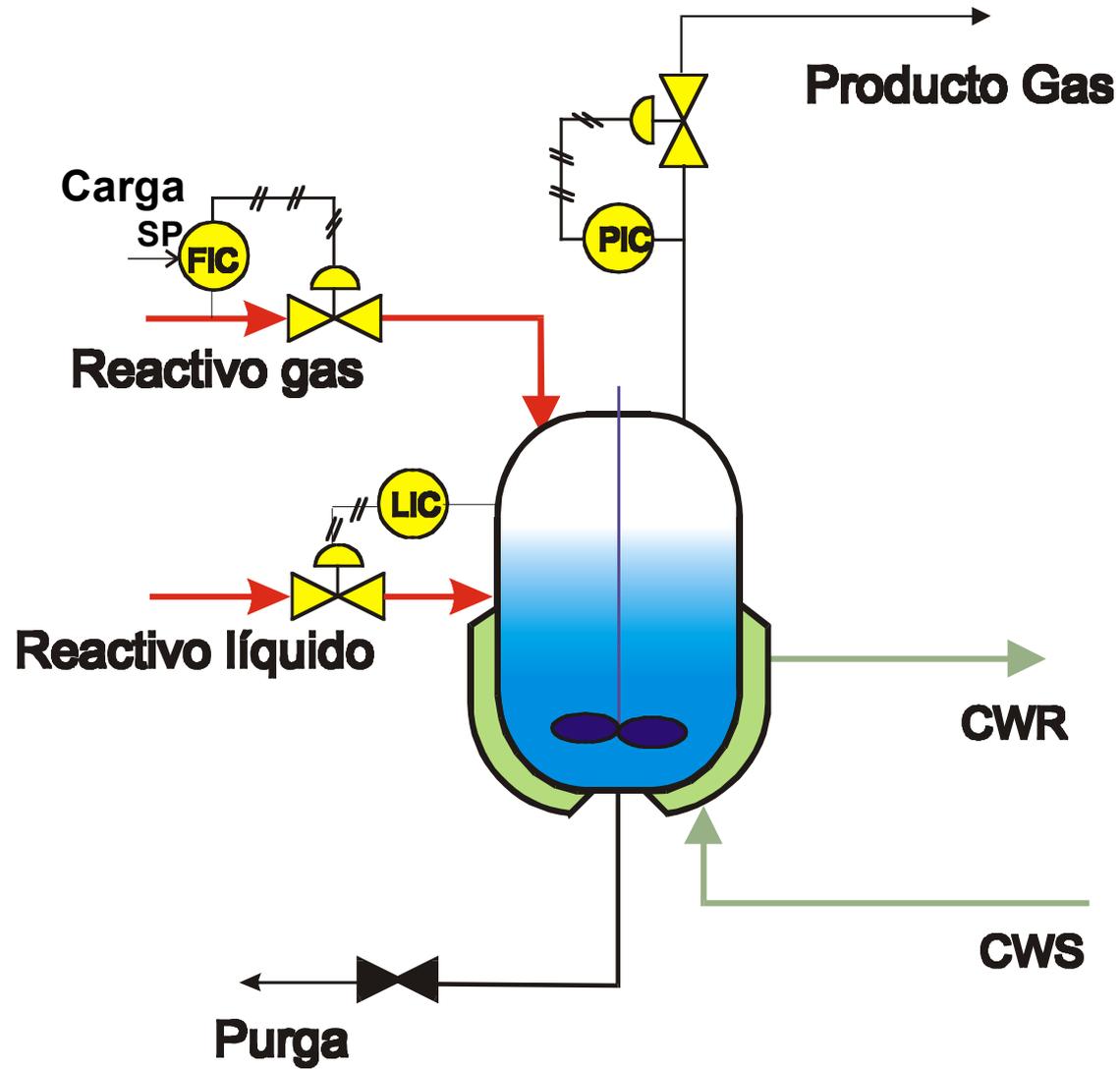
- Busca mantener fija la relación entre dos variables.
- Dos configuraciones:
 - Dividir las señales y obtener el ratio como variable a controlar (el set-point es un ratio)
 - Multiplicar una señal por el ratio, este es el set-point que se compara con la otra señal de proceso.

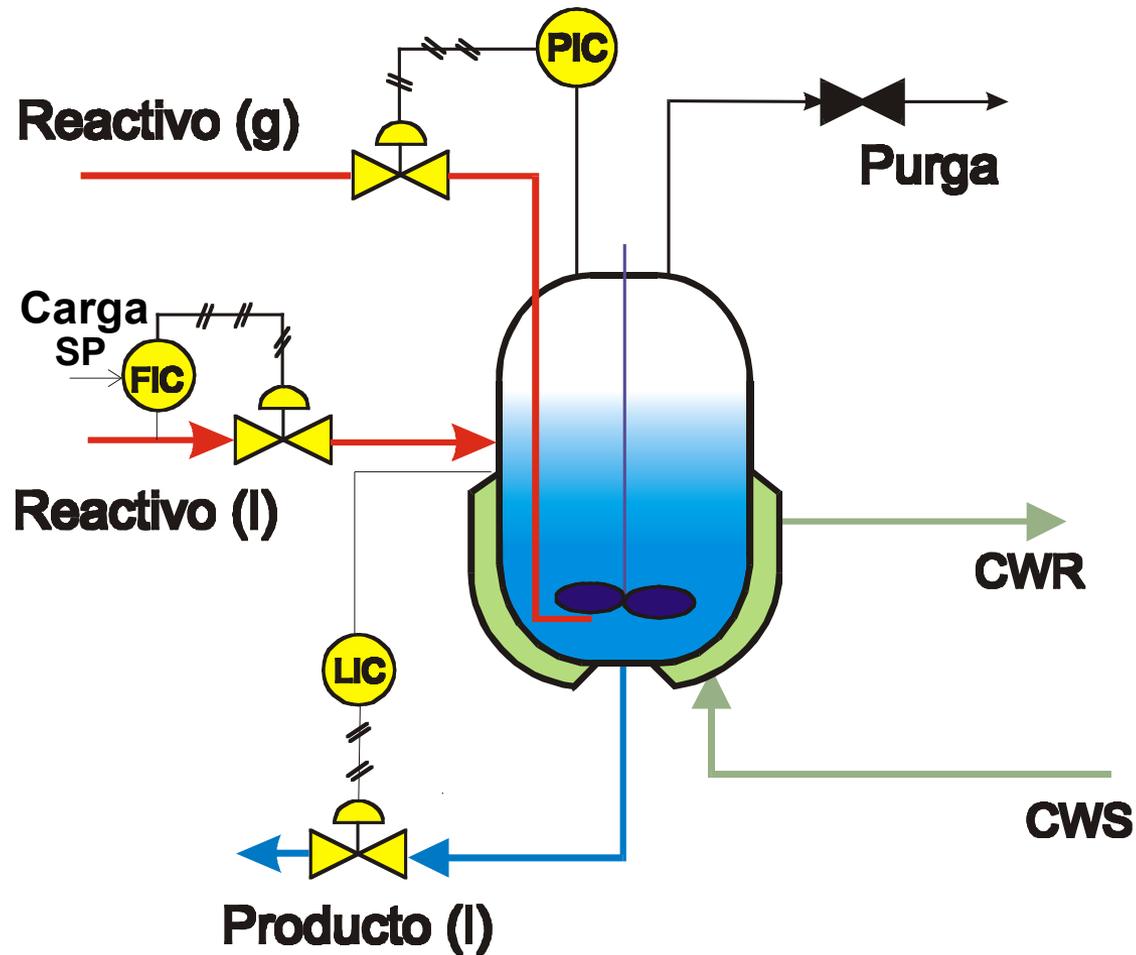
Ratio control





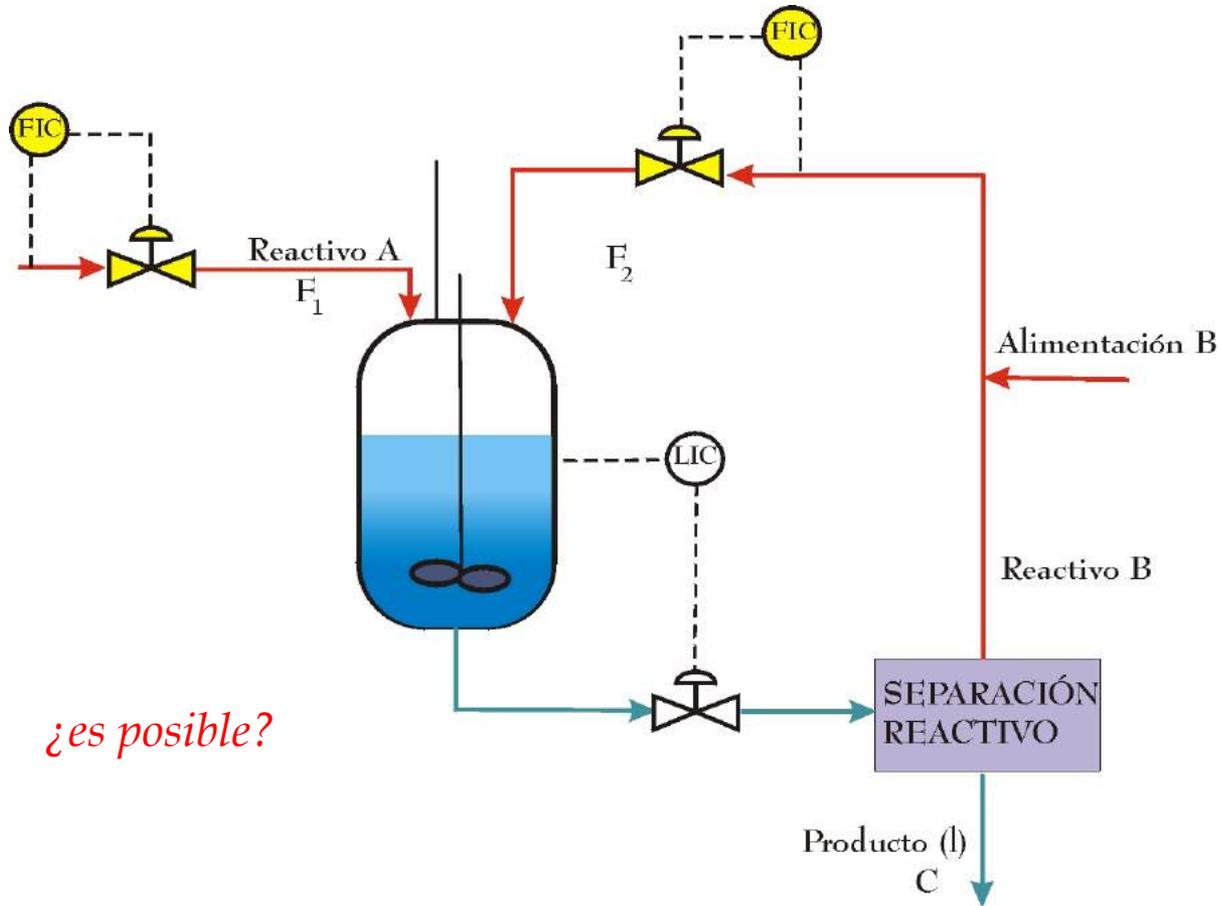
¿Cuál puede ser el esquema de control si un reactivo está en una fase distinta al otro reactivo y a los productos?



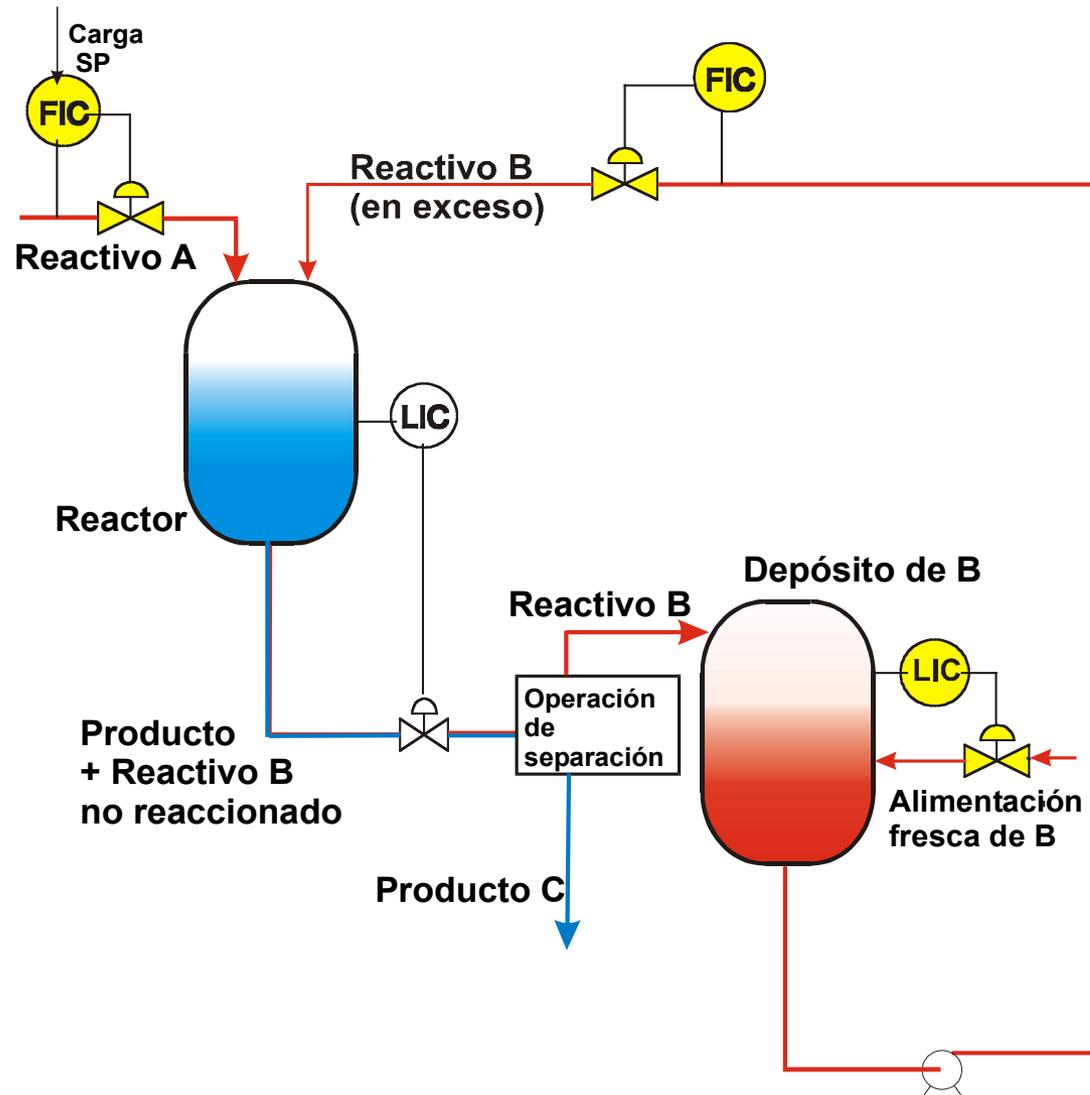


Reactor con reciclo de reactivos

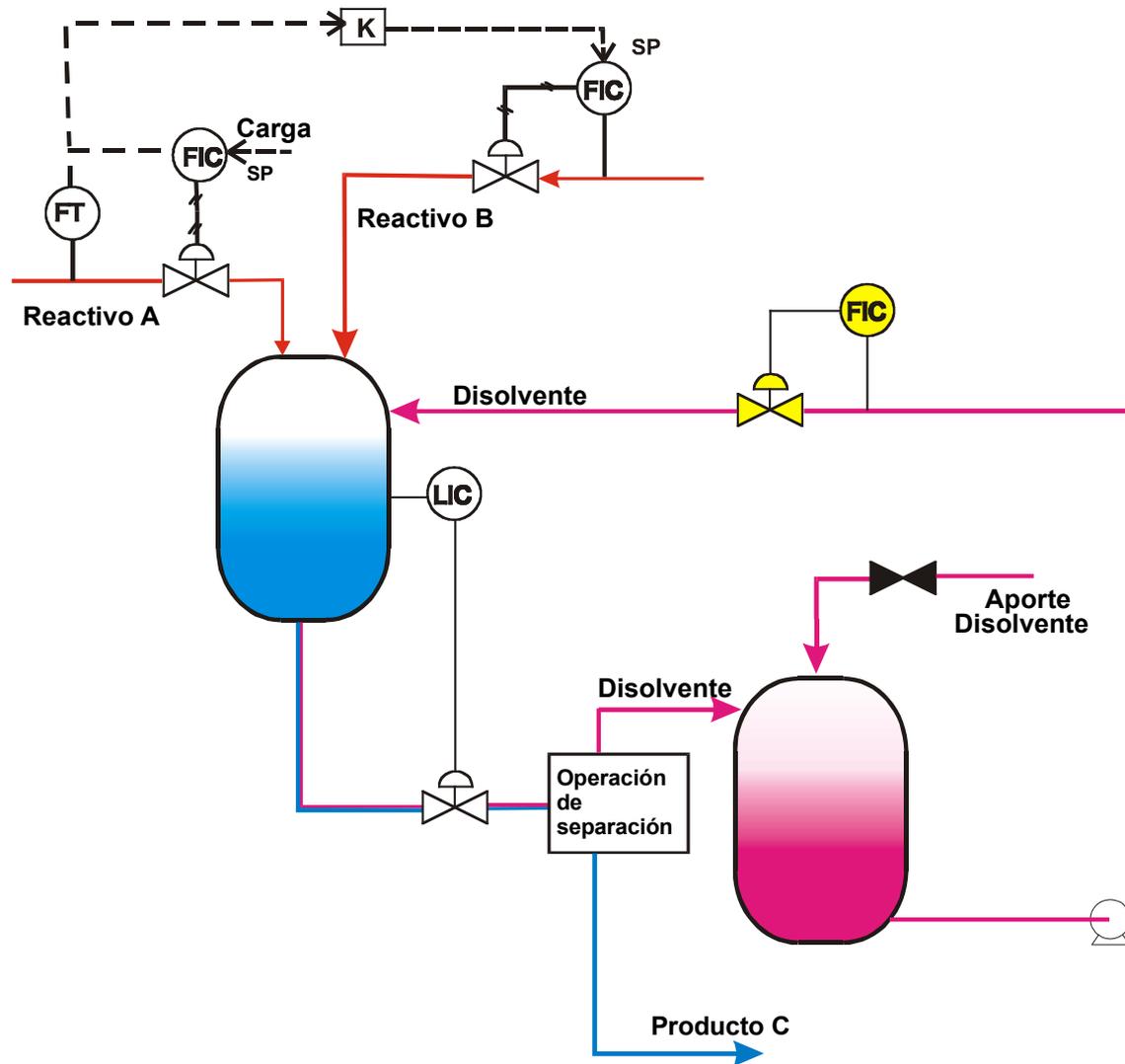
Cuando la conversión por paso en el reactor es baja es necesario reciclar para aprovechar el reactivo no consumido.



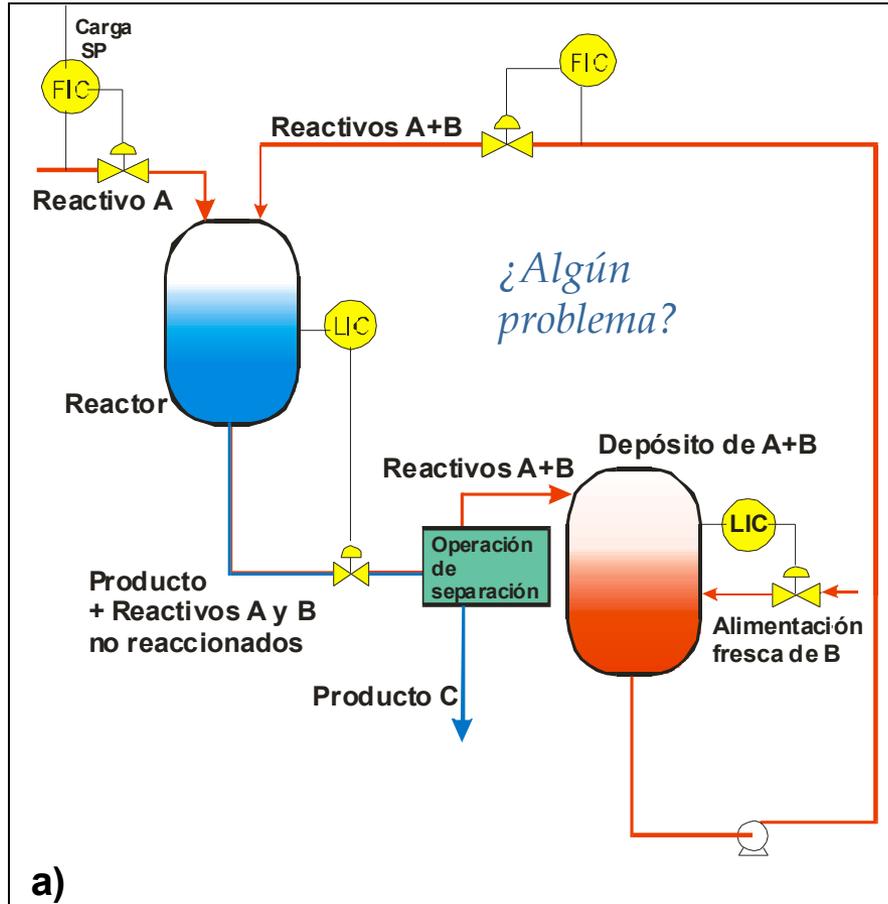
Ctrl. Calidad. Reciclo 1 reactivo



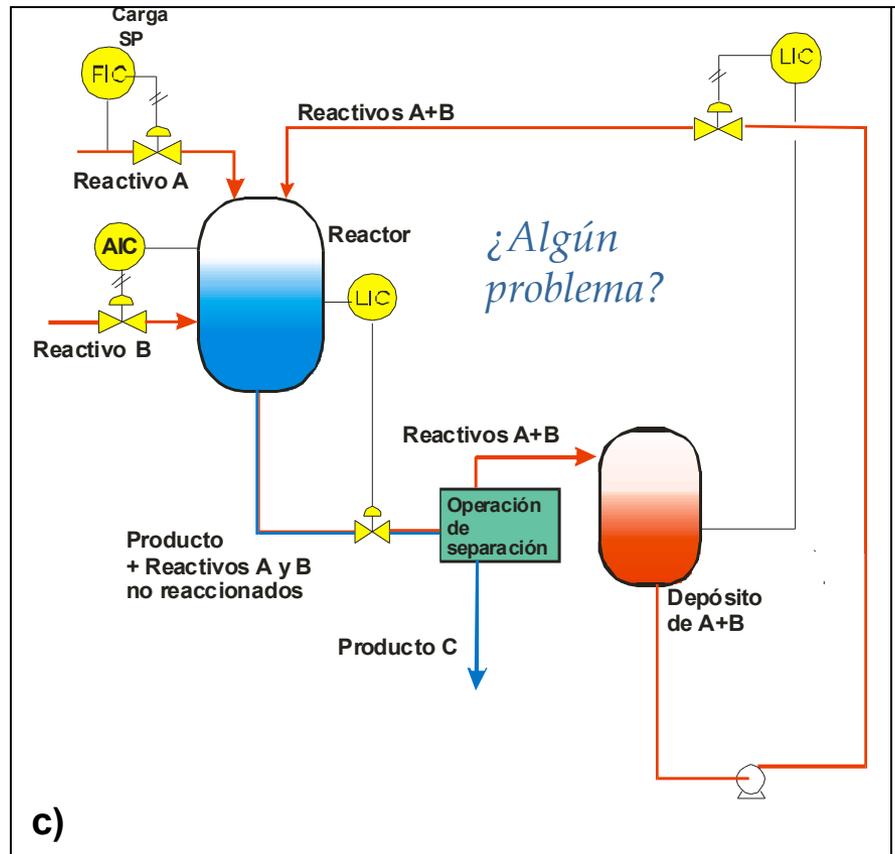
Reactor con reciclo de inertes



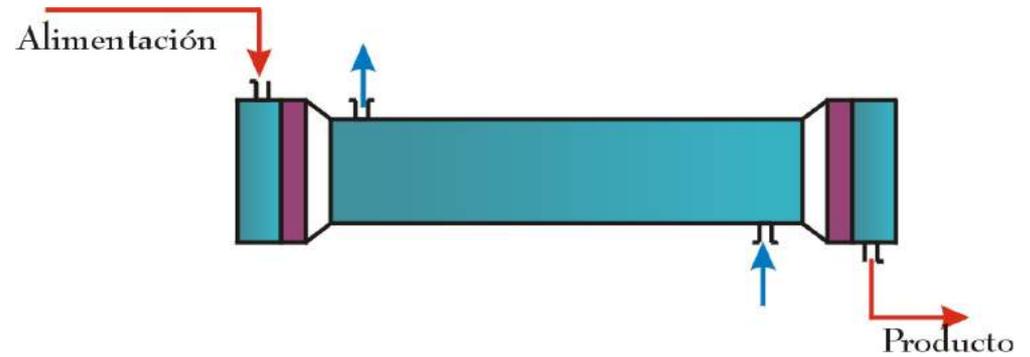
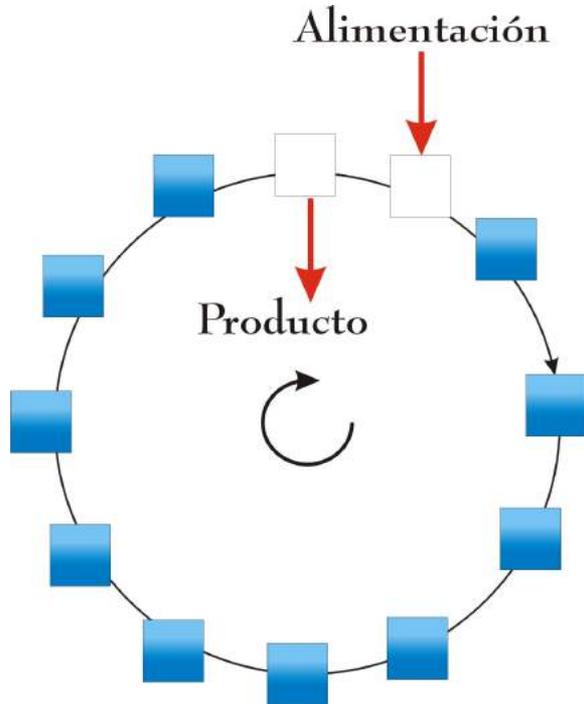
Ctrl. Calidad. Reciclo 2 reactivos

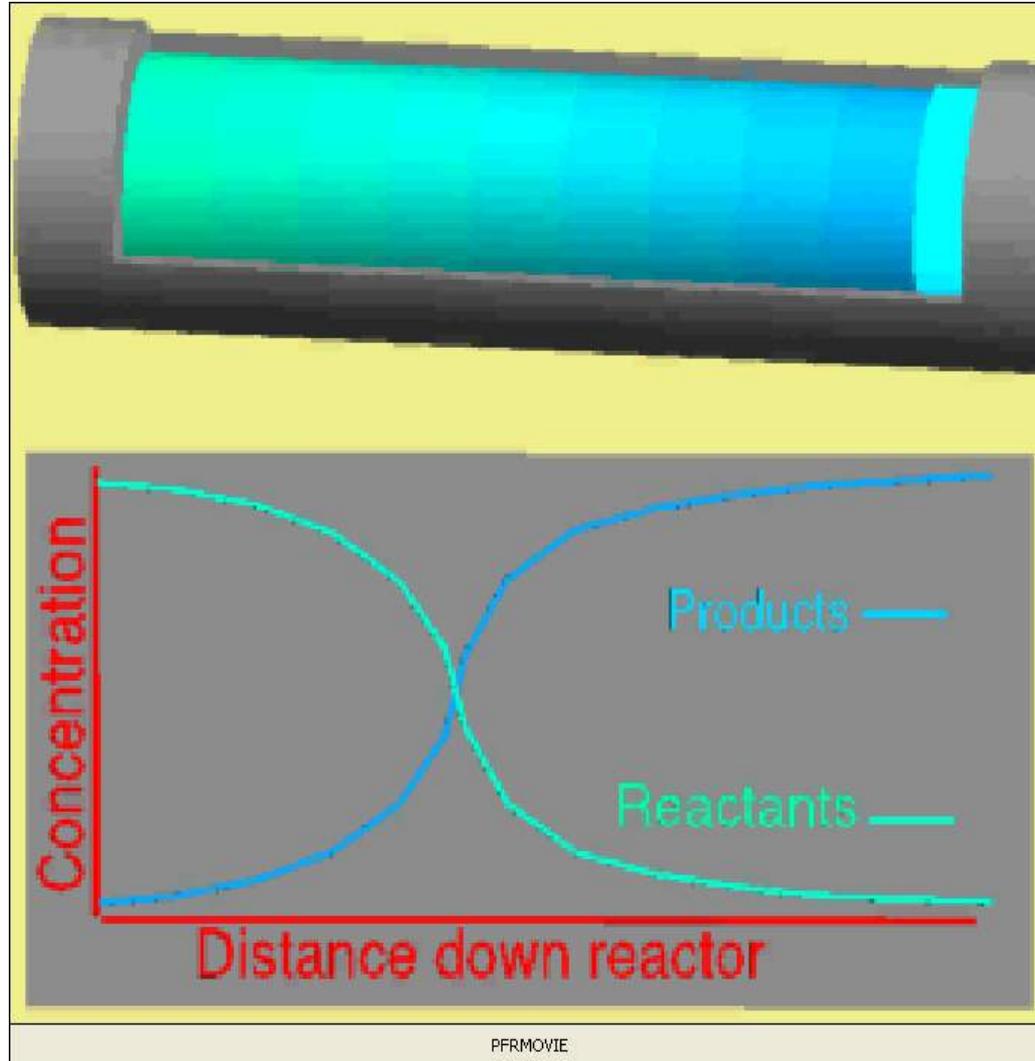


Ctrl. Calidad. Reciclo 2 reactivos



Reactor de flujo pistón





Problemas de funcionamiento

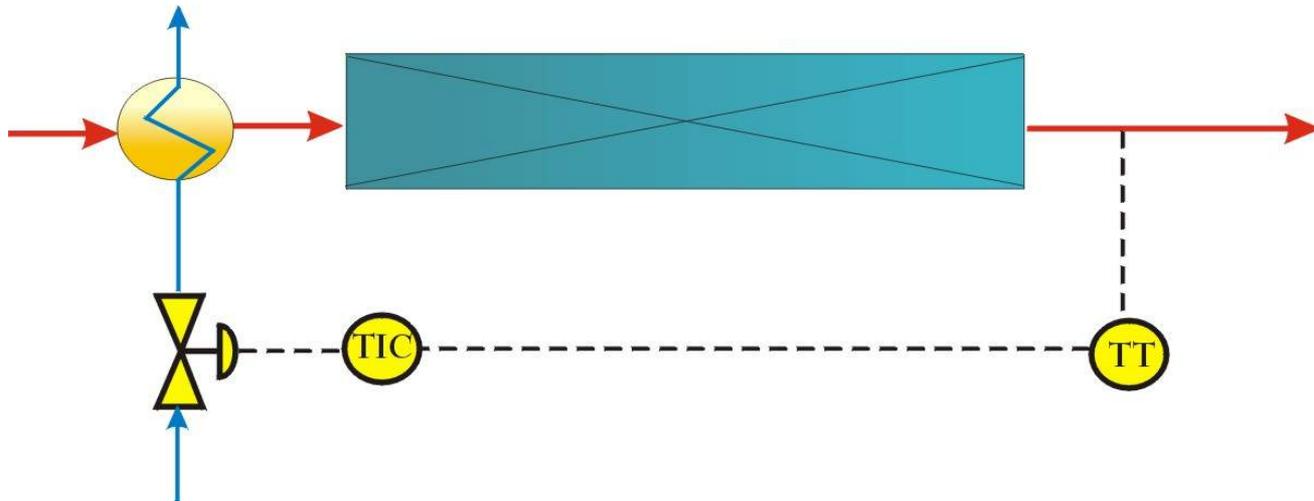
Hot Spot

Zona de temperatura máxima dentro del reactor tubular. Hay que controlarlo para evitar runaway.

Respuesta inversa

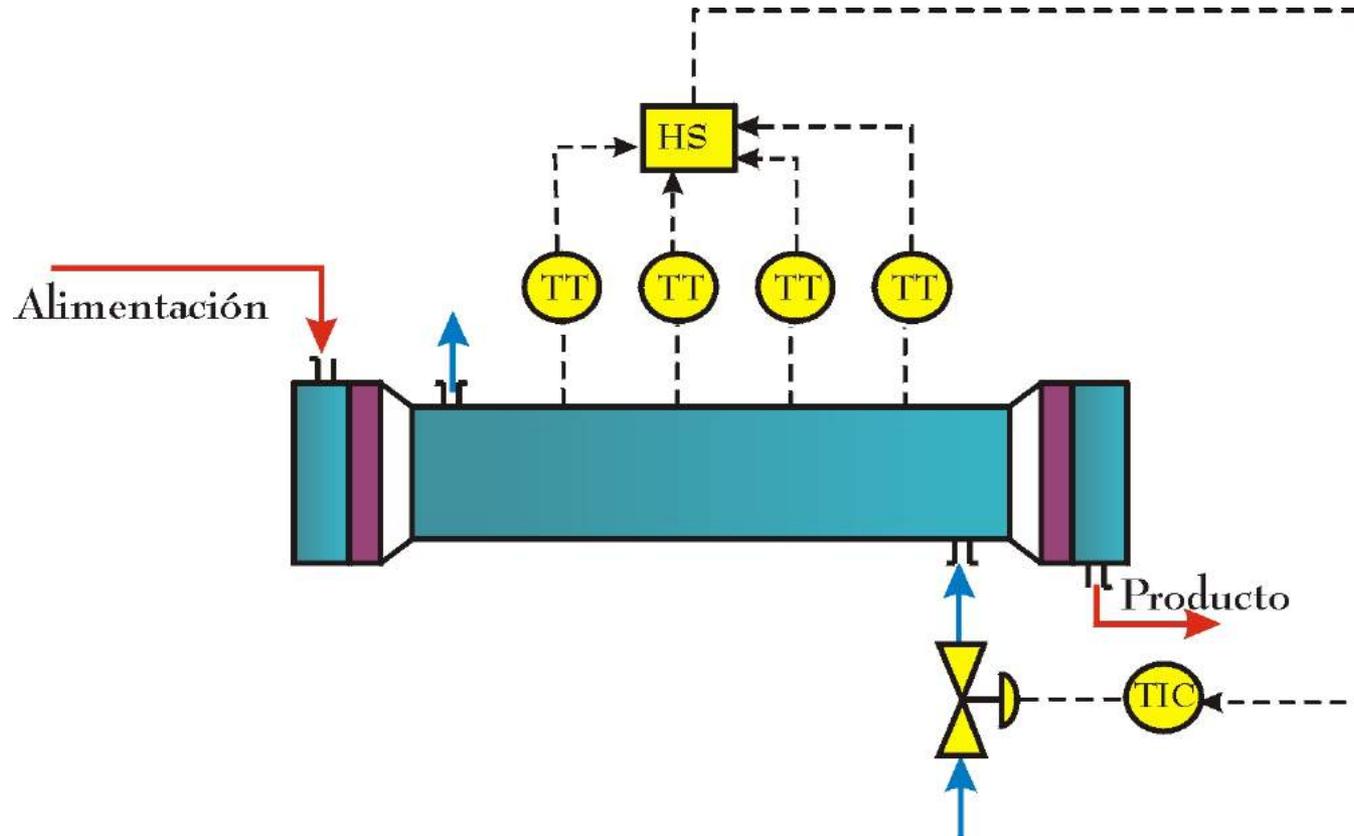
Calentamiento ante un enfriamiento de los reactivos a la entrada, debido a las diferentes velocidades de propagación de las perturbaciones de concentración y temperatura.

Este esquema funcionaría en estado estacionario, pero ante una perturbación y debido al problema de respuesta inversa no funcionaría de forma adecuada.



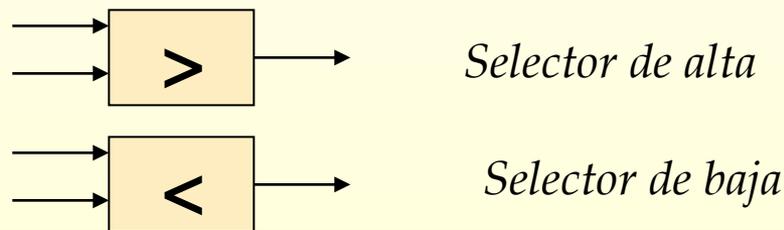
Si la temperatura de la alimentación baja y hay respuesta inversa la temperatura sube por lo que la acción de control es enfriar más lo cual va en contra de la perturbación.

Control selectivo por temperatura máxima

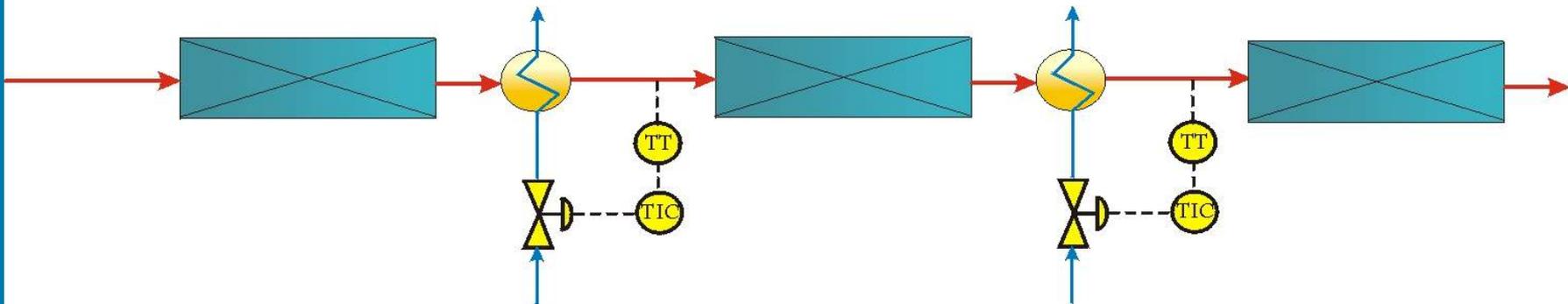


Control selectivo

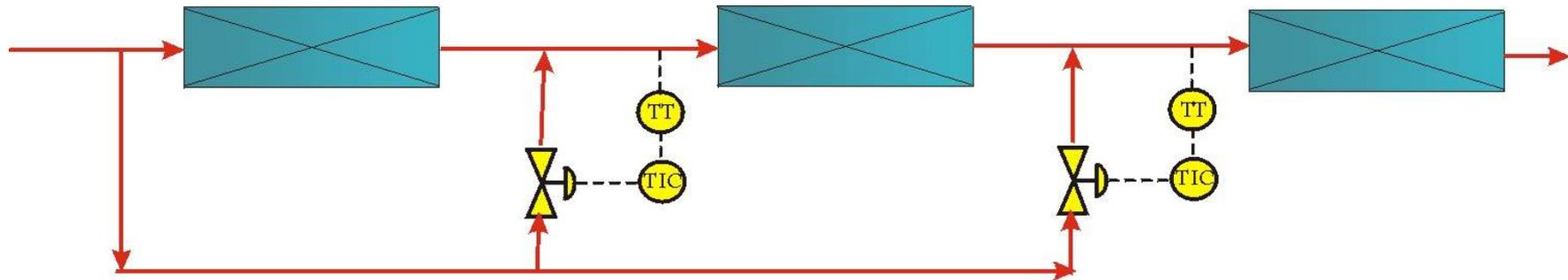
- Surge cuando hay especificaciones en más variables controladas que las que pueden satisfacerse con las variables manipuladas.
- Debido a esto es necesario **hacer una selección** entre las variables controladas.
- Hay selectores de alta y de baja.
- Tienen básicamente 4 áreas de aplicación:
 - Selección entre múltiples entradas (auctioneering)
 - Redundancia de instrumentación
 - Seguridad, protección de equipos y personal
 - Satisfacción de restricciones



Control por enfriamientos intermedios



Control por inyección directa de reactivo



Reactor batch

Procesos discontinuos (farmacia, plásticos)

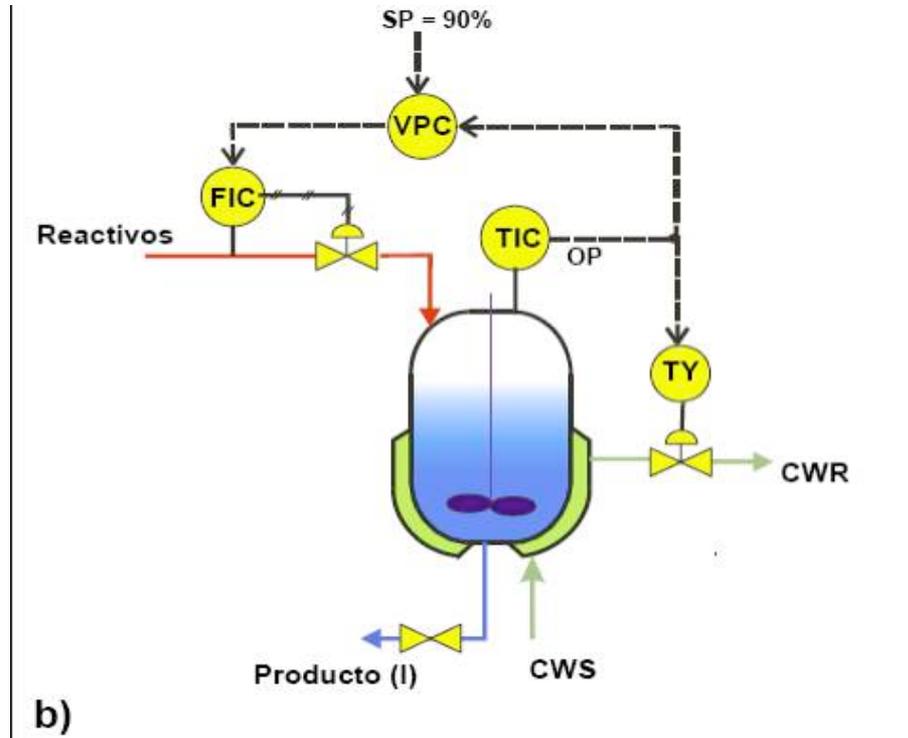
Con operaciones de puesta en marcha y parada diarias (el control tiene que intentar minimizar su duración).

No se dispone de las variables de los caudales para actuar, tan sólo de la corriente de energía.

Normalmente se lleva el reactor a la temperatura de reacción y luego se añade (el o los reactivos) según si es catalizada o no.

Son procesos que necesitan tanto calentamiento (para llevar el reactor a la temperatura de reacción) como enfriamiento (para disipar el calor en reacciones exotérmicas).

Reactor semi batch



Control por rango partido

