

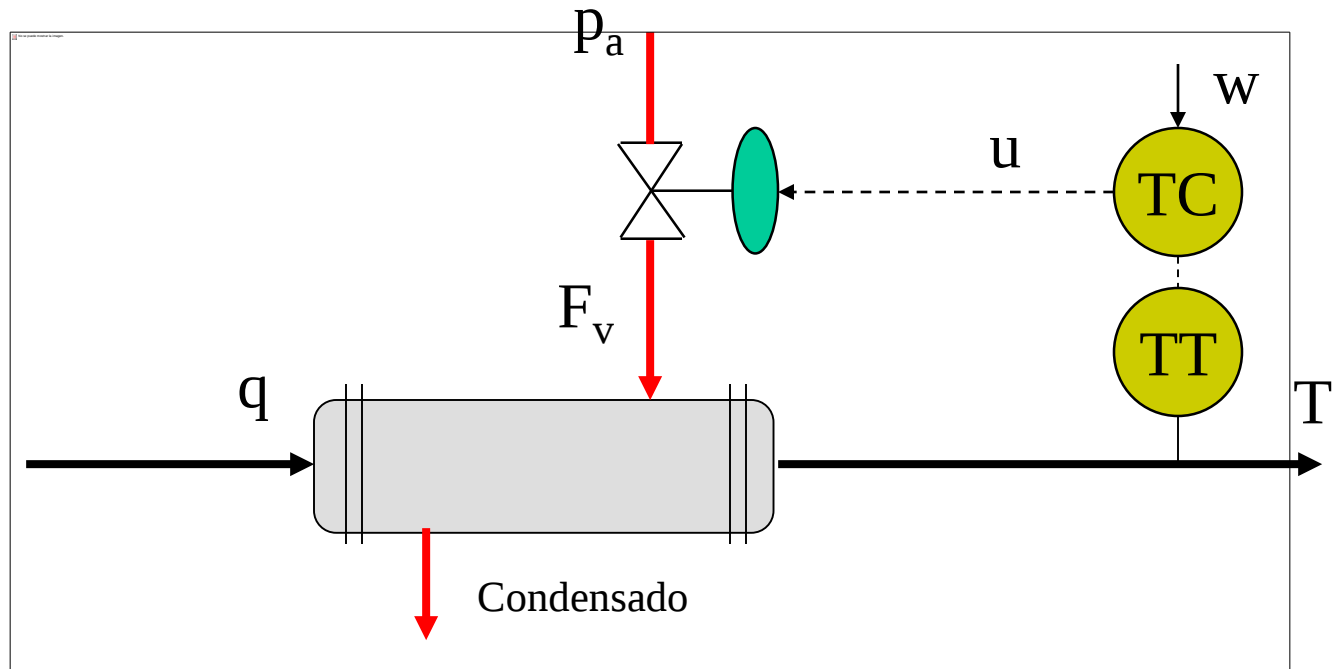
Estructuras de control

(Control avanzado)

Prof. Cesar de Prada

Dpto. Ing. de Sistemas, UVA

Lazo de control simple



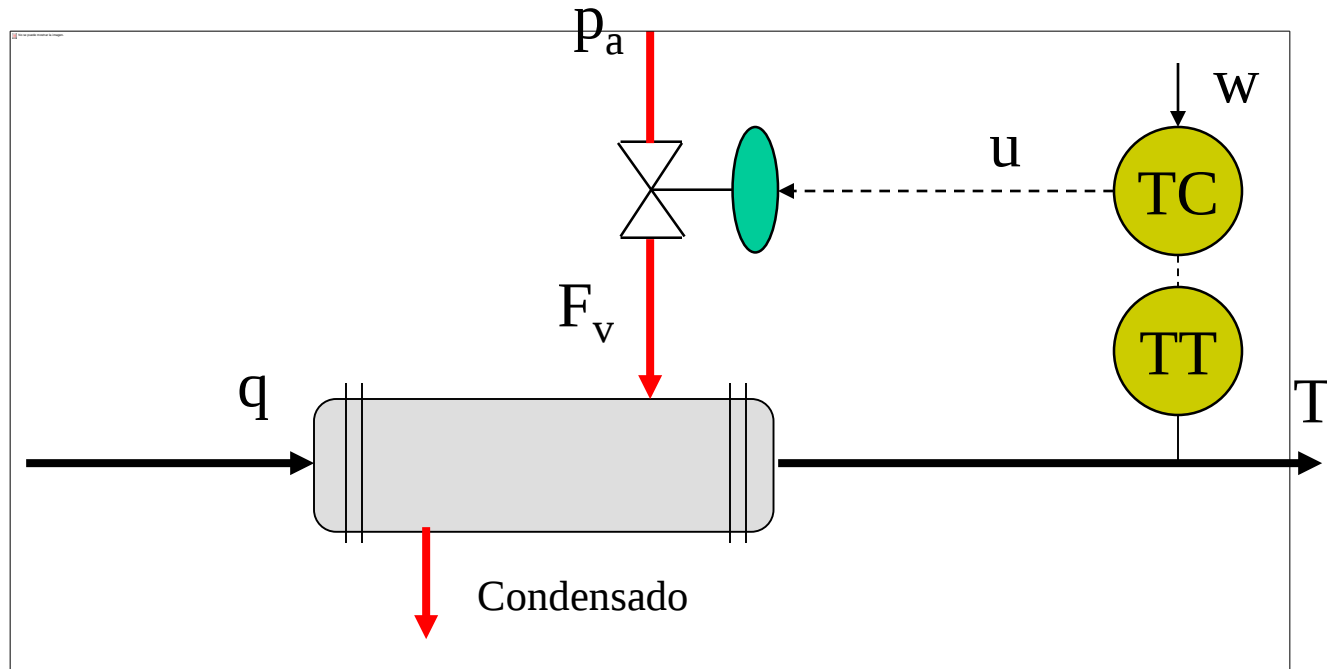
Estructuras de control

- Modificaciones de lazos de control convencionales para mejorar:
 - Rechazo de perturbaciones
 - Mantenimiento de proporciones
 - Operación con varios objetivos
 - Operación con varios controladores
 - Operación con varios actuadores
 - Etc.

Estructuras de Control

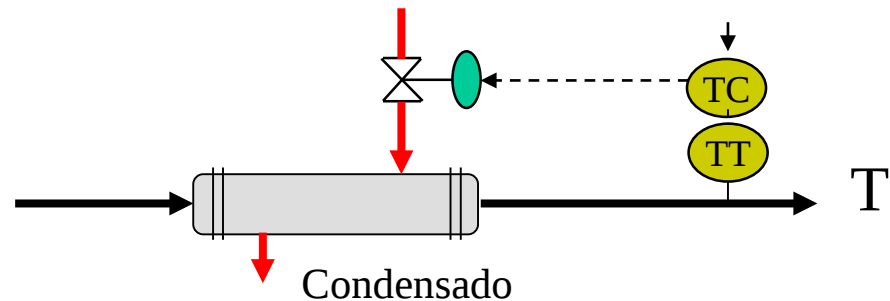
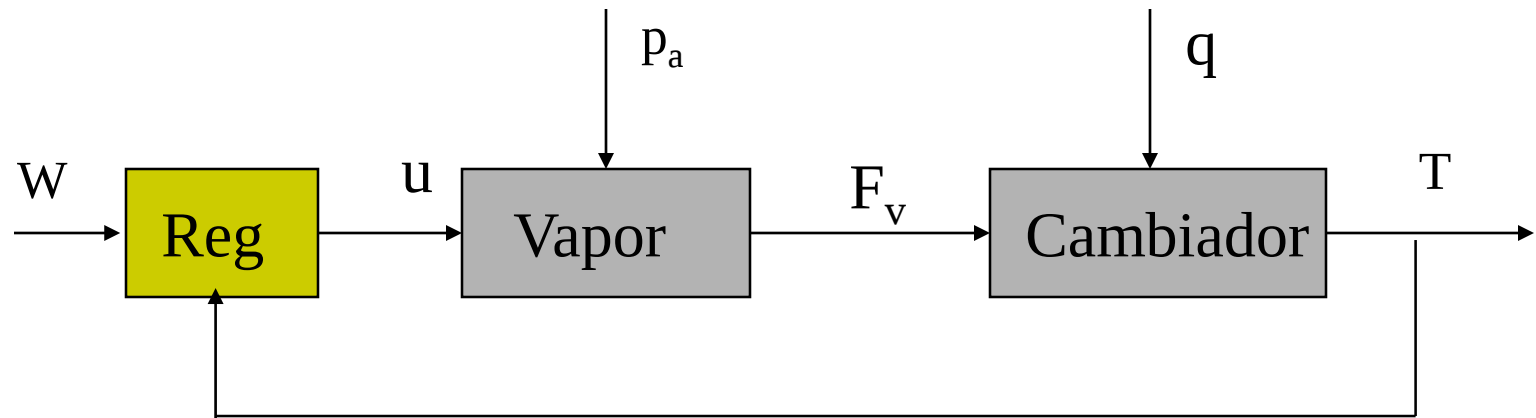
- Cascadas
- Compensadores Feedforward
- Control Ratio
- Control Selectivo
- Control Override
- Control de rango partido
- Control Inferencial
- Ejemplos
- Metodología de Diseño

Lazo de control simple

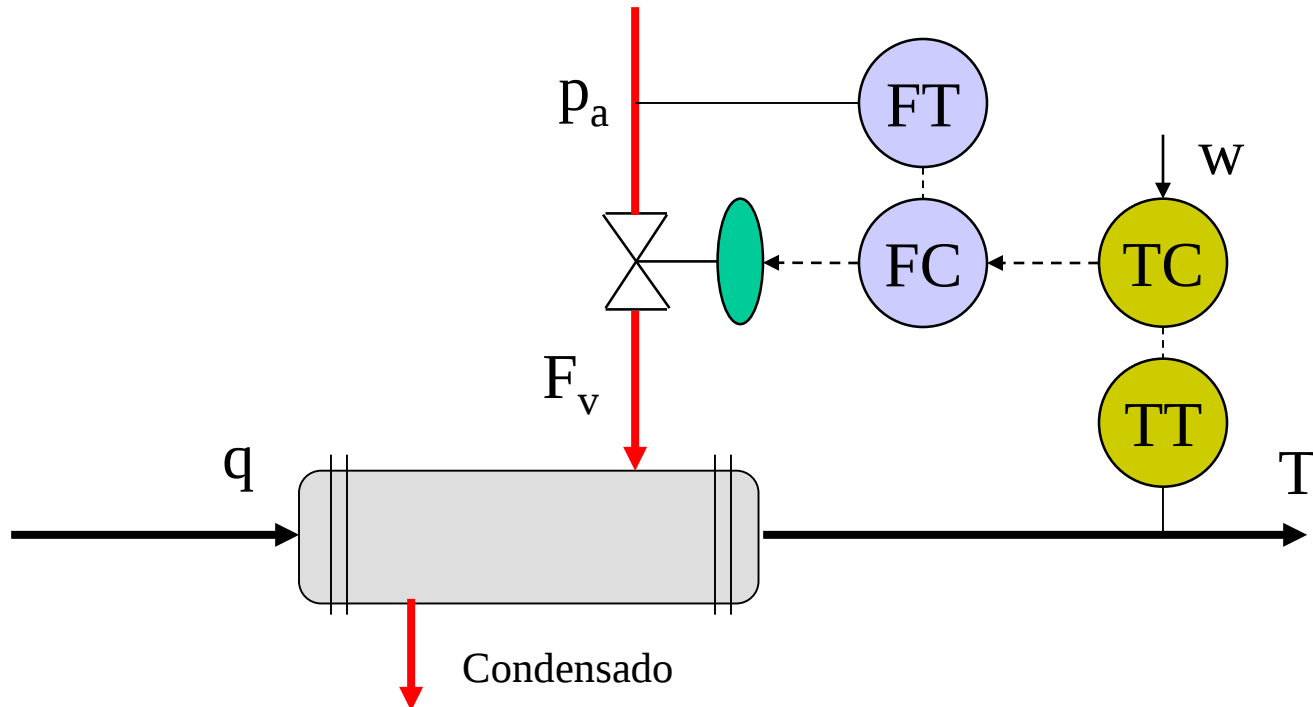


Respuesta ante cambios en la presión de alimentación:
Su efecto se traduce a un cambio de T que es
corregido por el regulador modificando u

Diagrama de bloques

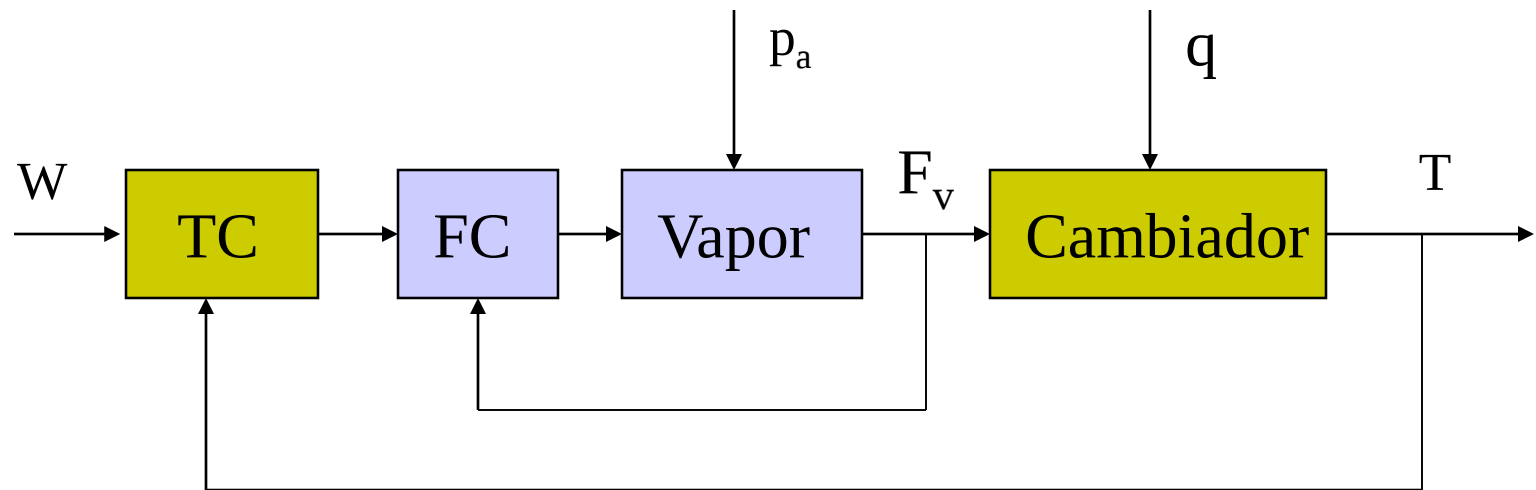


Reguladores en Cascada



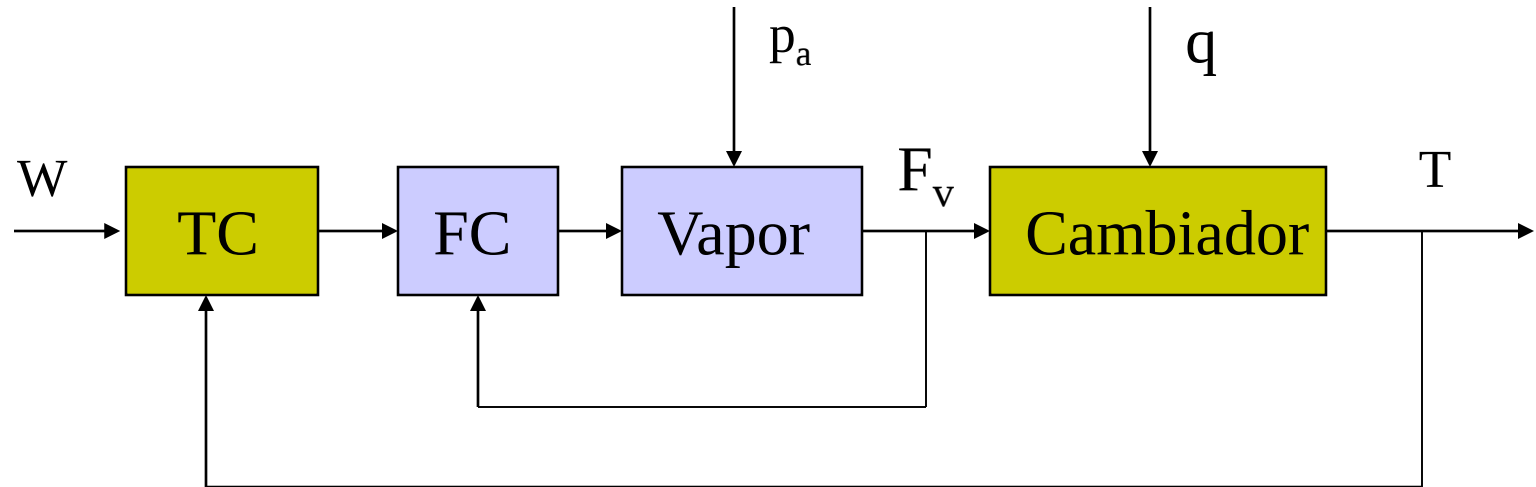
El regulador externo (TC) fija la consigna del regulador interno (FC) el cual corrige el efecto del cambio en p_a sobre F_v antes de que alcancen al cambiador significativamente

Reguladores en cascada



El regulador externo (TC) fija la consigna del regulador interno (FC) el cual corrige el efecto del cambio en p_a sobre F_v antes de que alcancen al cambiador significativamente

Reguladores en cascada



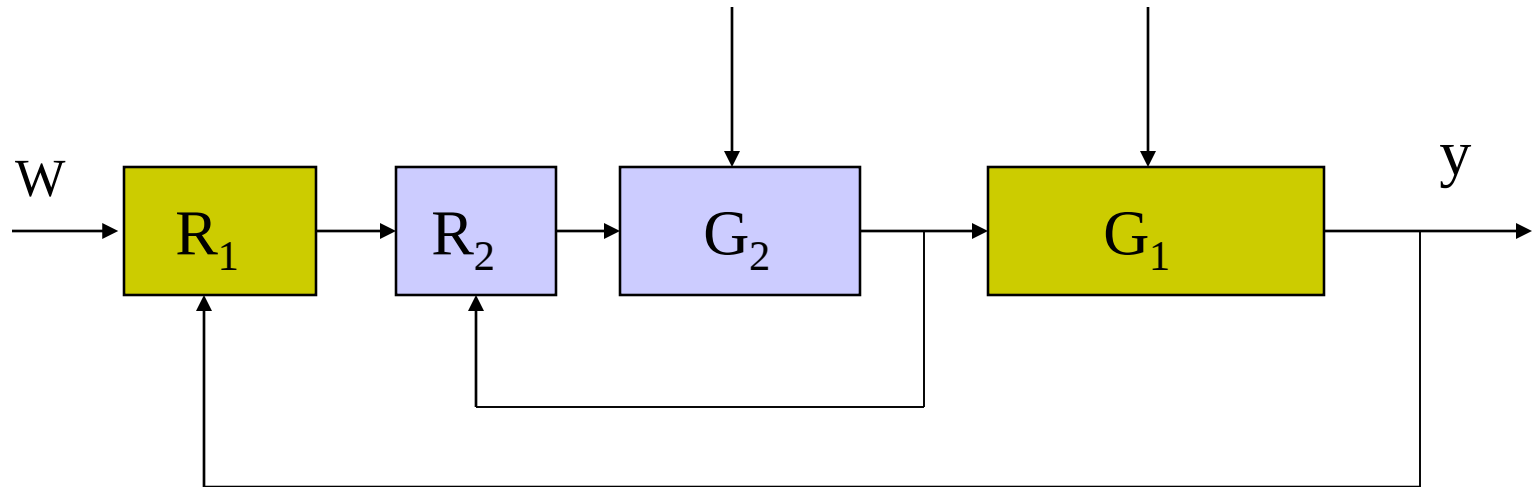
Proceso principal (TC-Cambiador) lento

Proceso secundario (FC-Vapor) rápido

Perturbaciones sobre el proceso secundario de efecto controlable

Más instrumentación

Sintonía/Operación

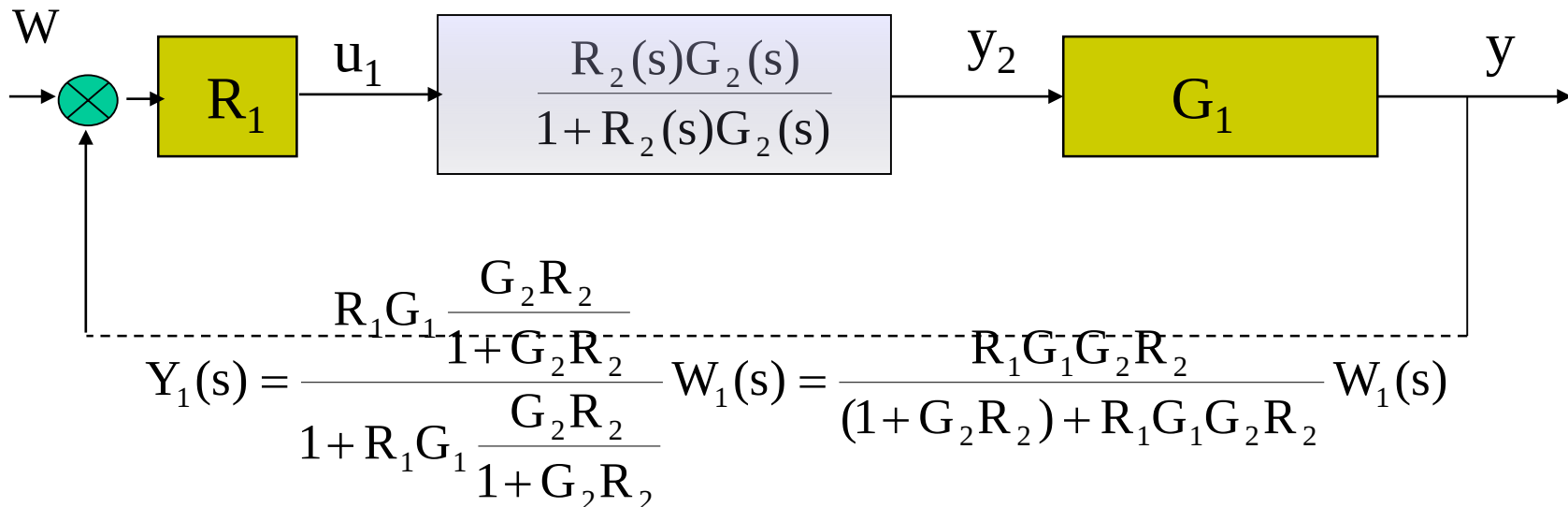
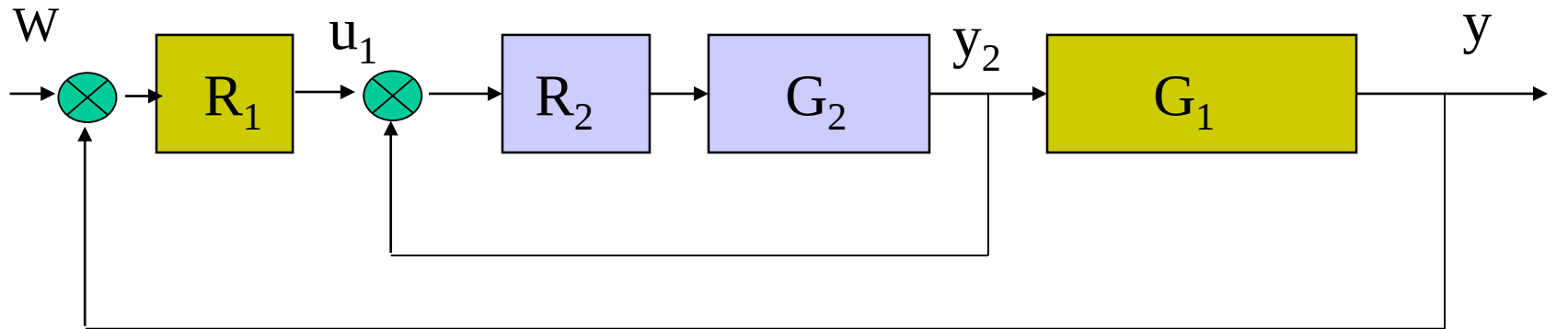


Sintonizar primero los lazos interiores, luego los exteriores

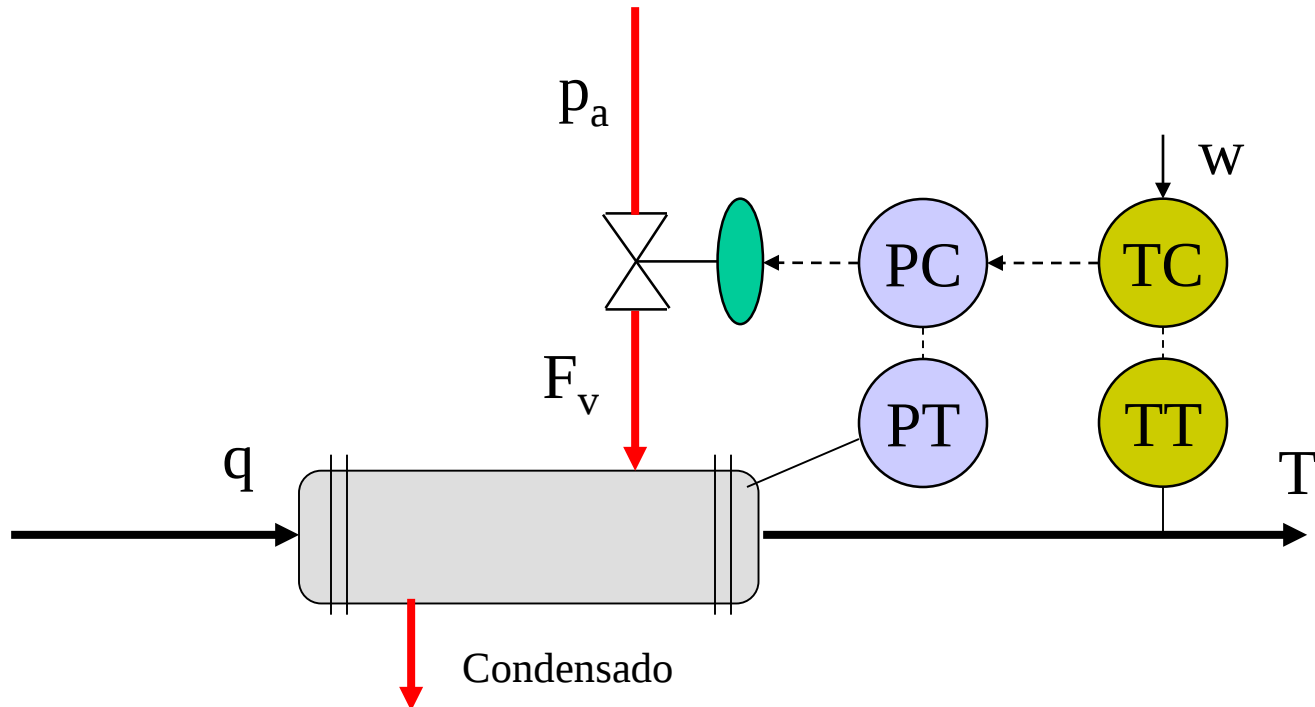
En general, un sistema en cascada resulta mas rápido que uno simple

Si un lazo está en manual, todos los externos a el deben estar en manual

Diagrama equivalente

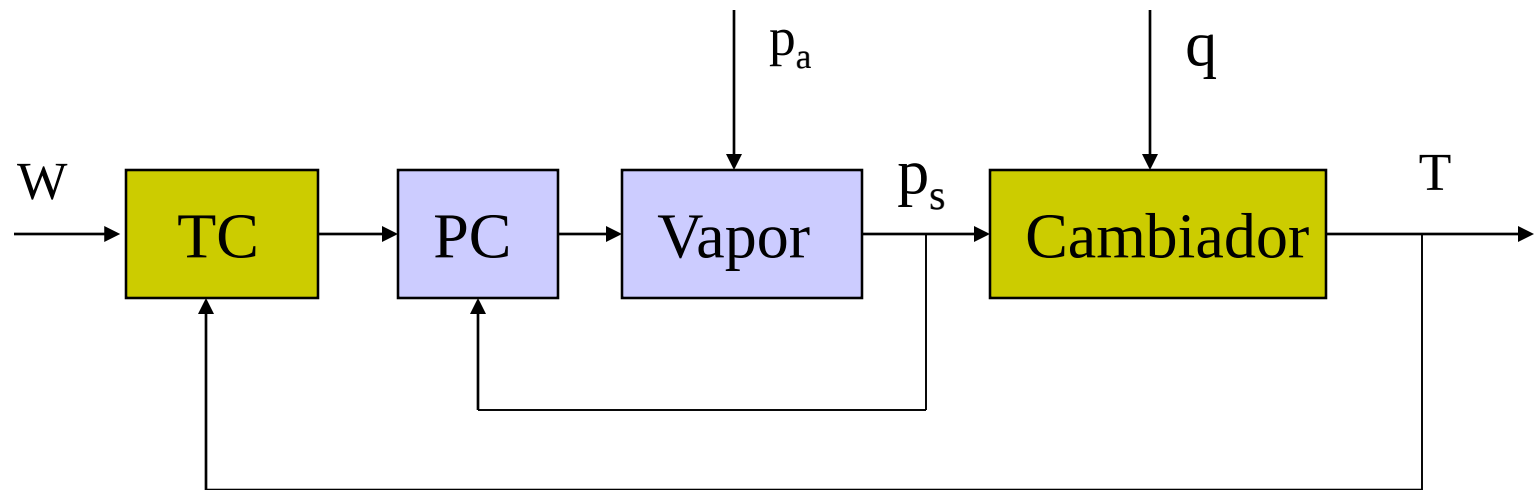


Cascada Temp-Presión



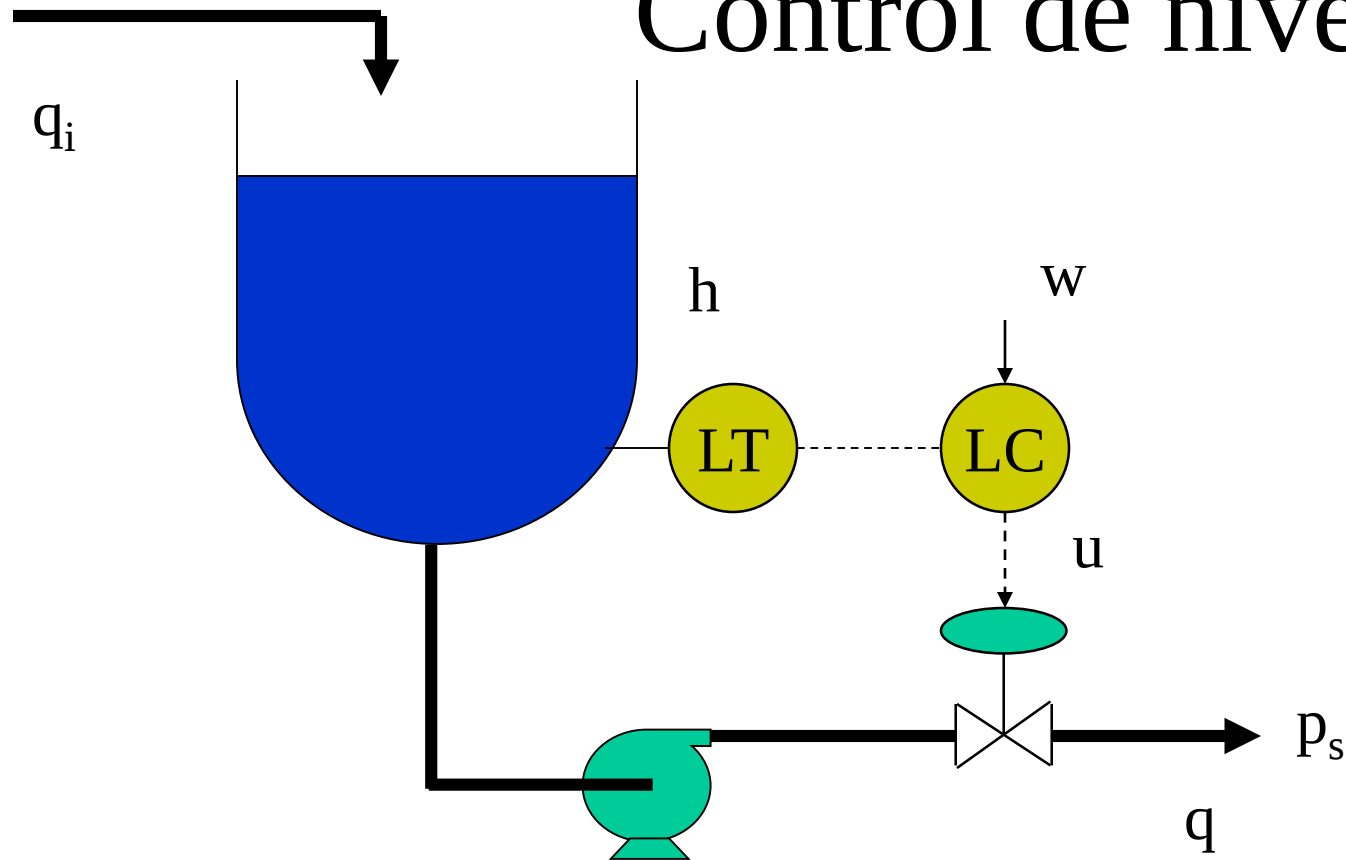
El regulador interno (PC) de presión corrige mas perturbaciones y de forma mas eficaz

Reguladores en cascada



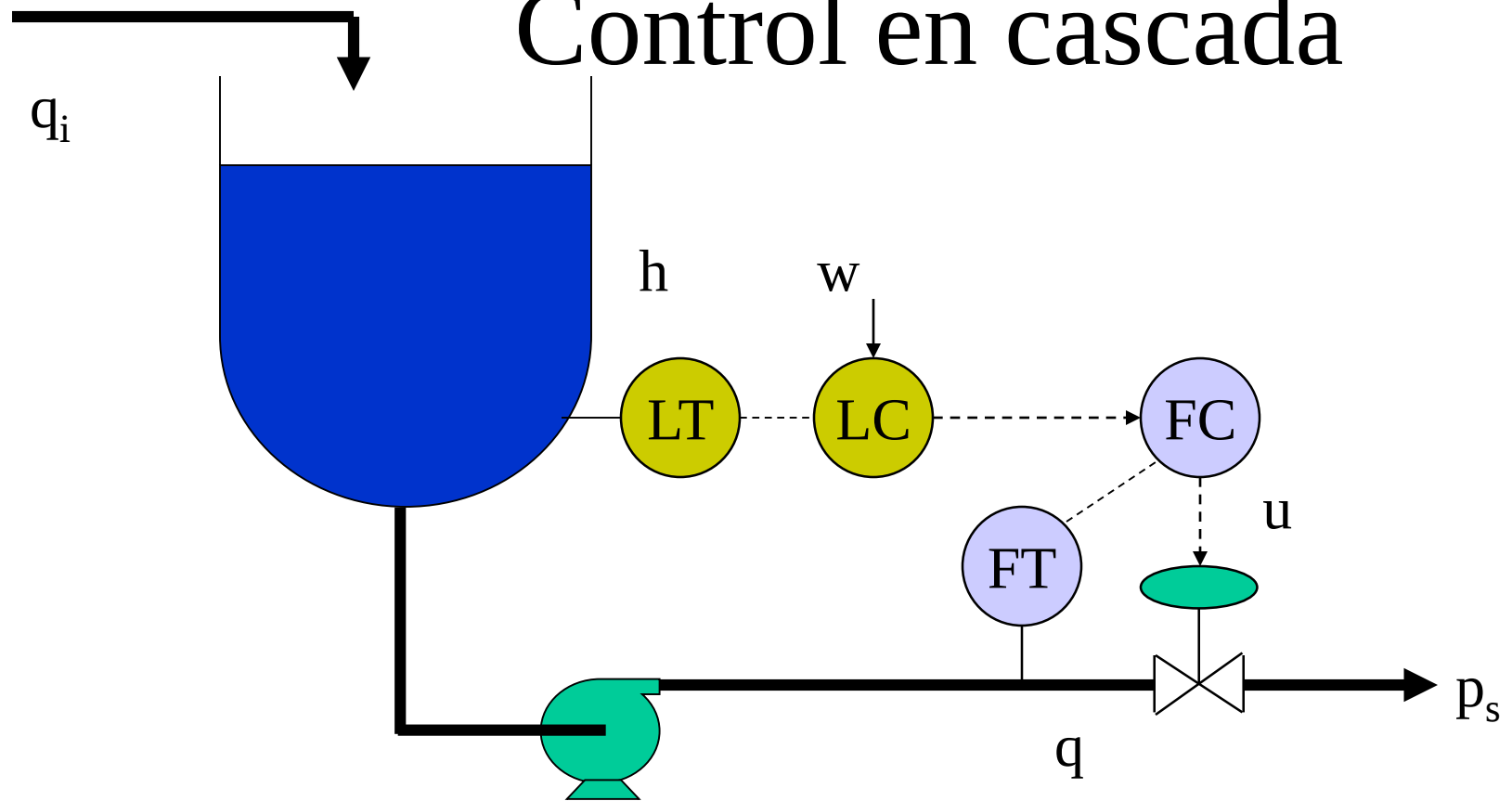
El regulador externo (TC) fija la consigna del regulador interno (PC) el cual corrige el efecto de los cambios en p_a sobre p_s antes de que alcancen al cambiador

Control de nivel



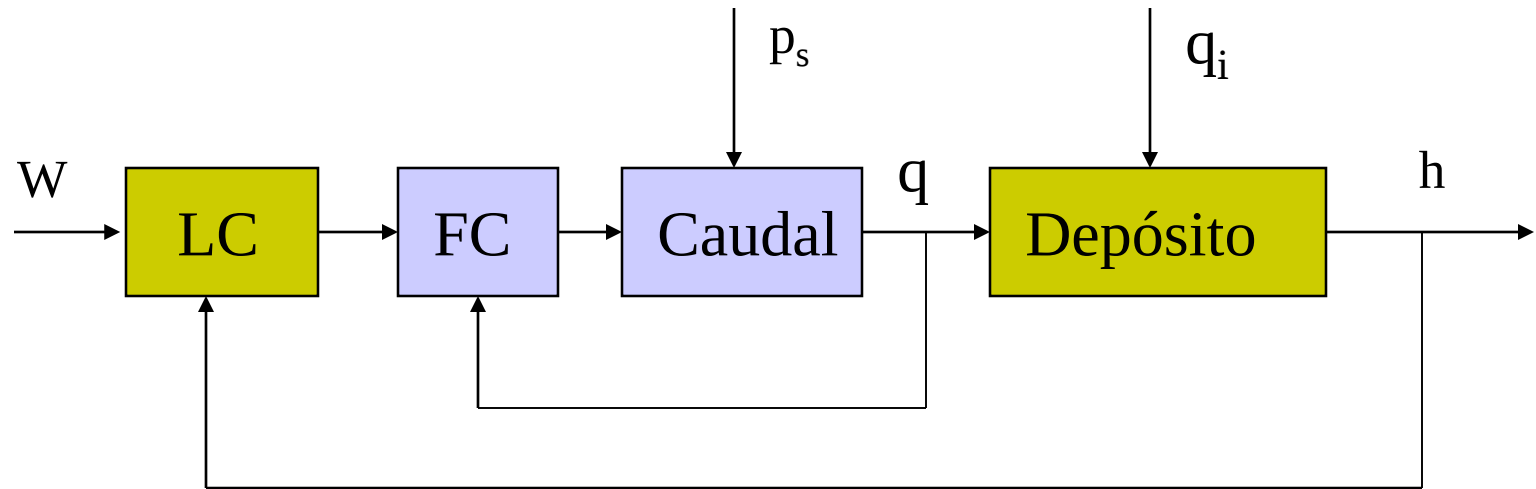
Respuesta ante cambios en la presión en la línea de descarga:
Su efecto se traduce a un cambio de h que es corregido por el
regulador modificando u

Control en cascada



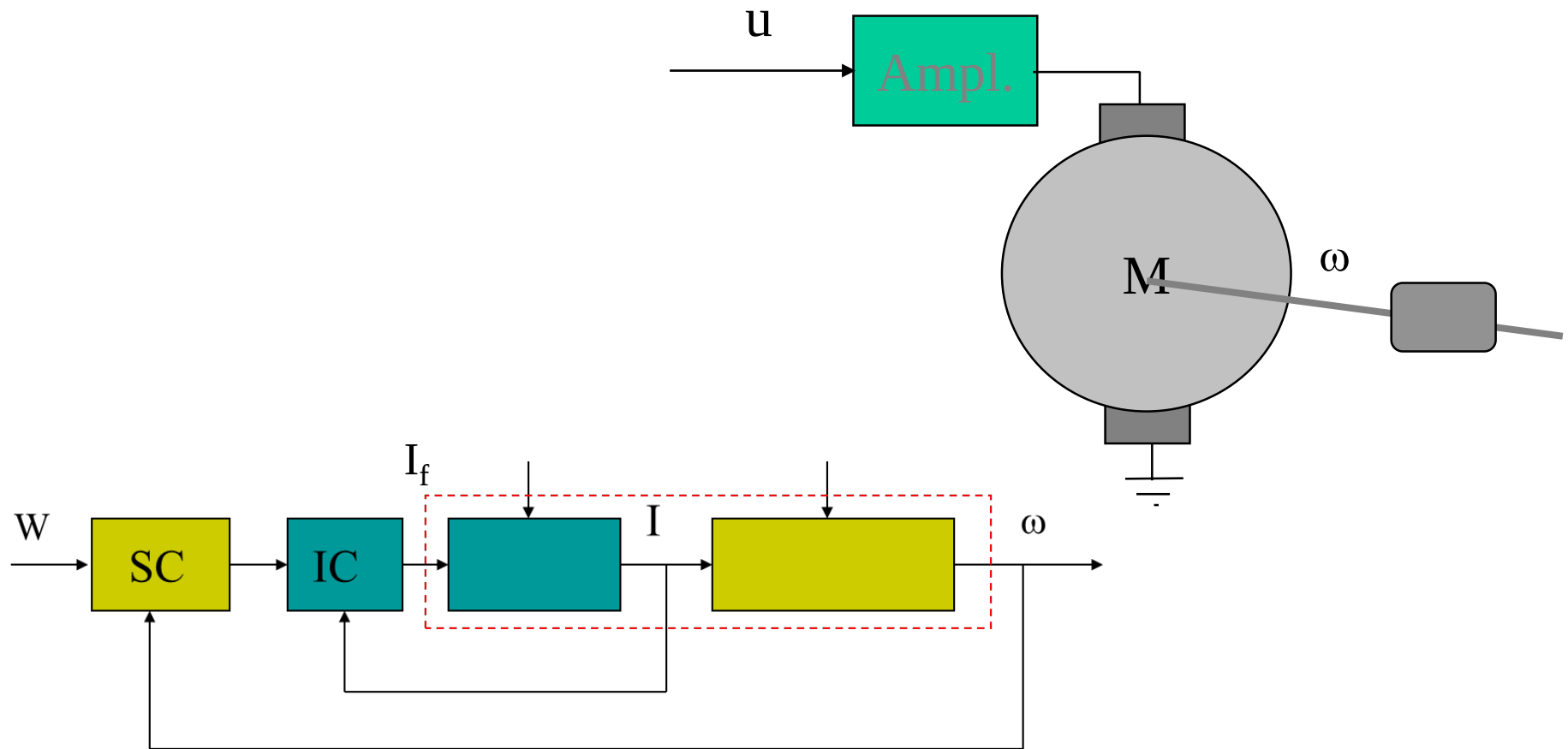
El regulador externo (LC) fija la consigna del regulador interno (FC) el cual corrige el efecto de las perturbaciones p_s sobre q antes de que alcancen significativamente al nivel del depósito

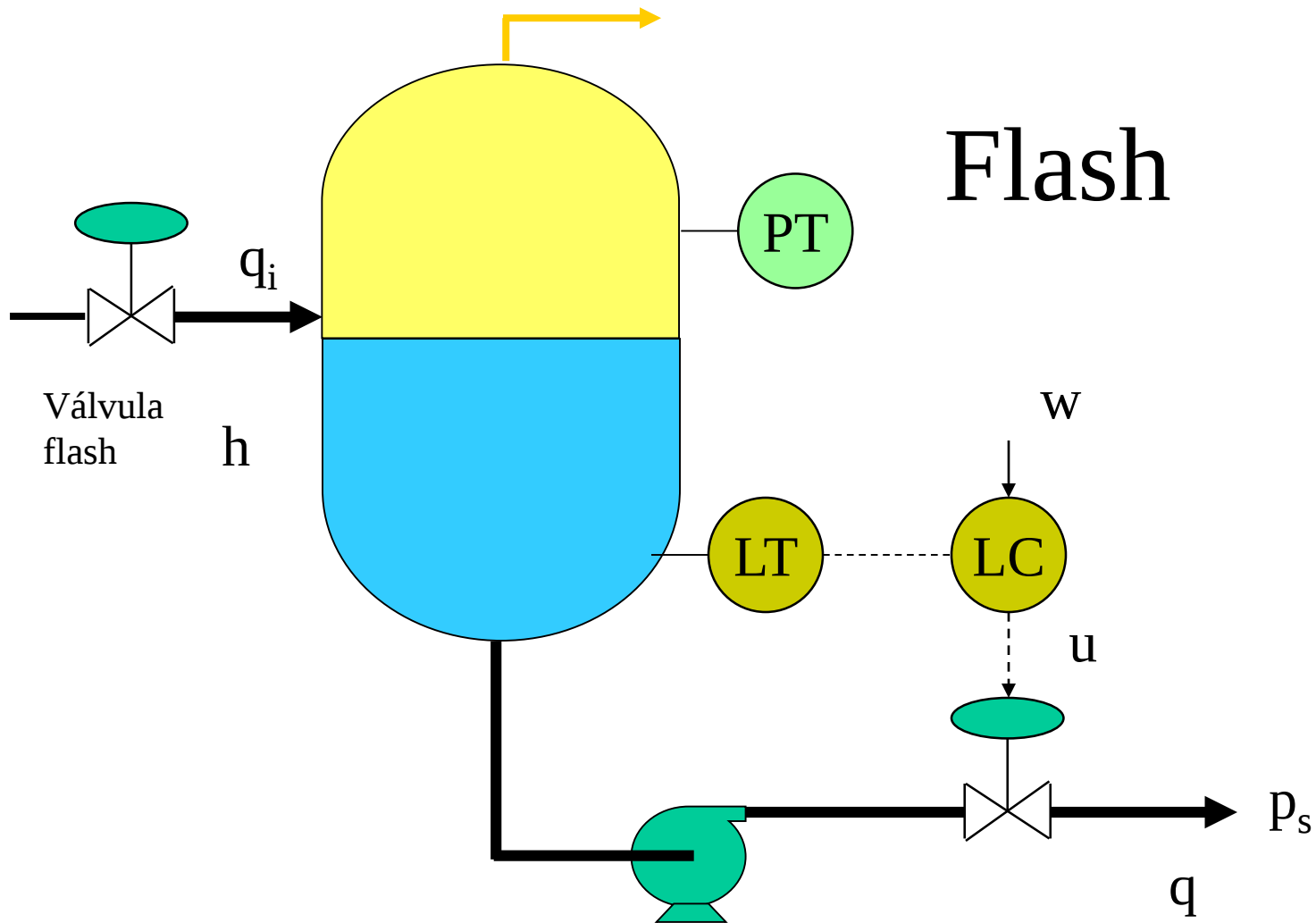
Cascada Nivel-caudal



El regulador externo (LC) fija la consigna del regulador interno (FC) el cual corrige las perturbaciones sobre q antes de que alcancen significativamente al nivel del depósito

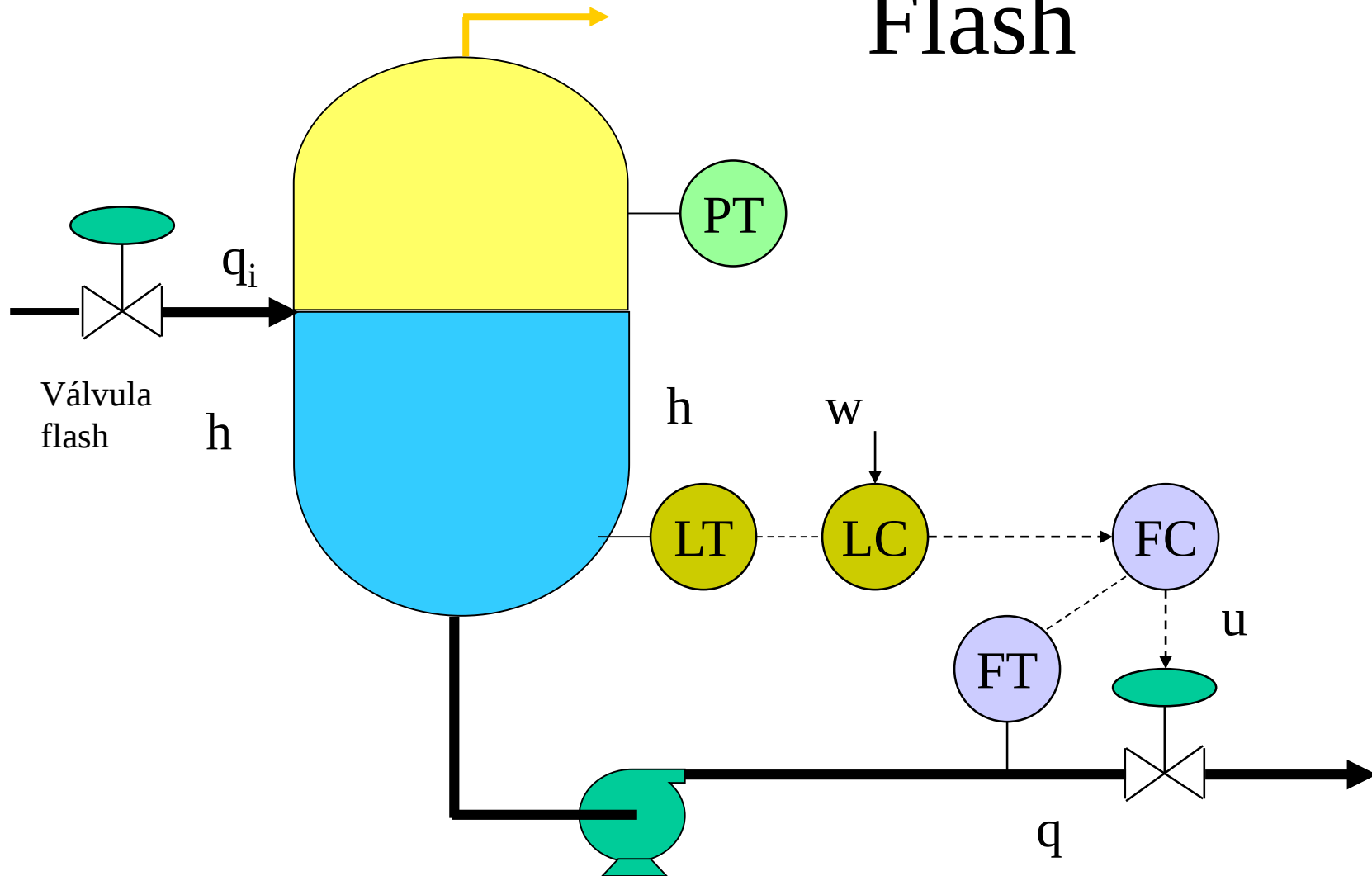
Par – velocidad Motor CC



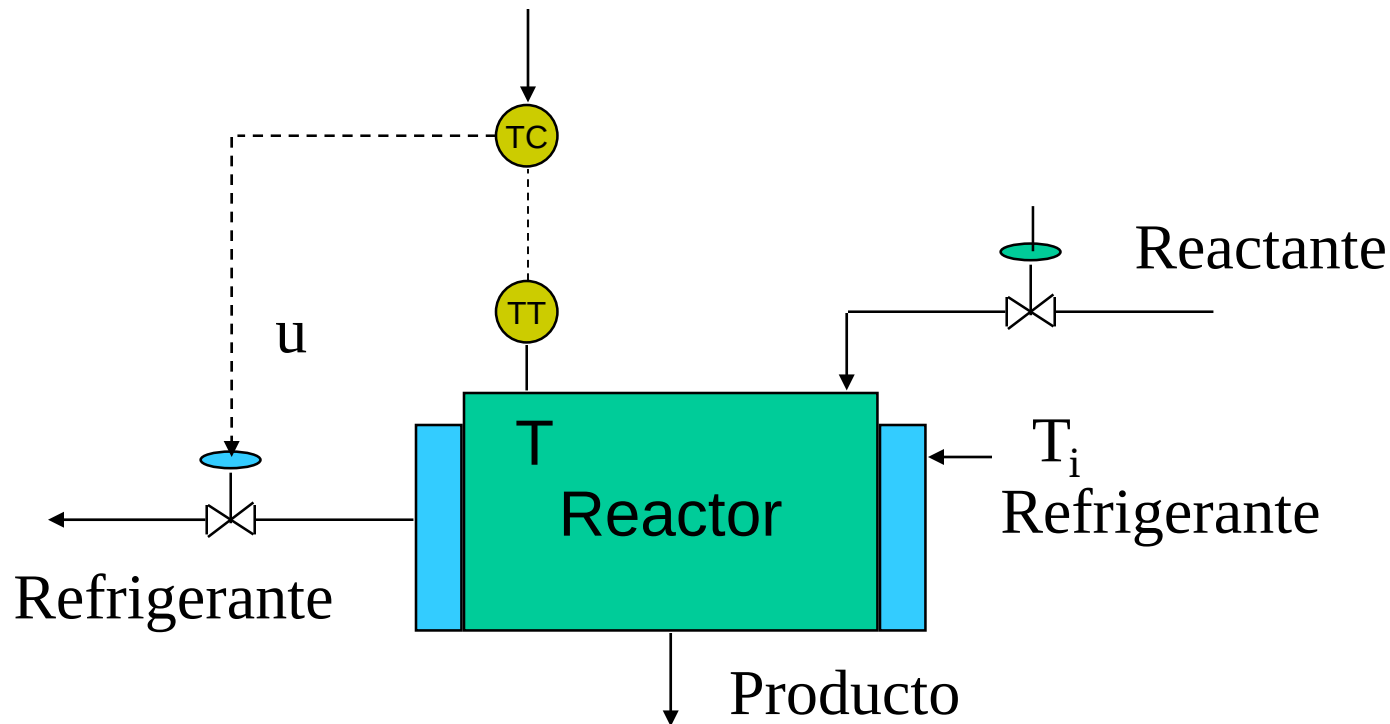


Cambios en la demanda de la fase vapor modifican la presión en el flash

Flash

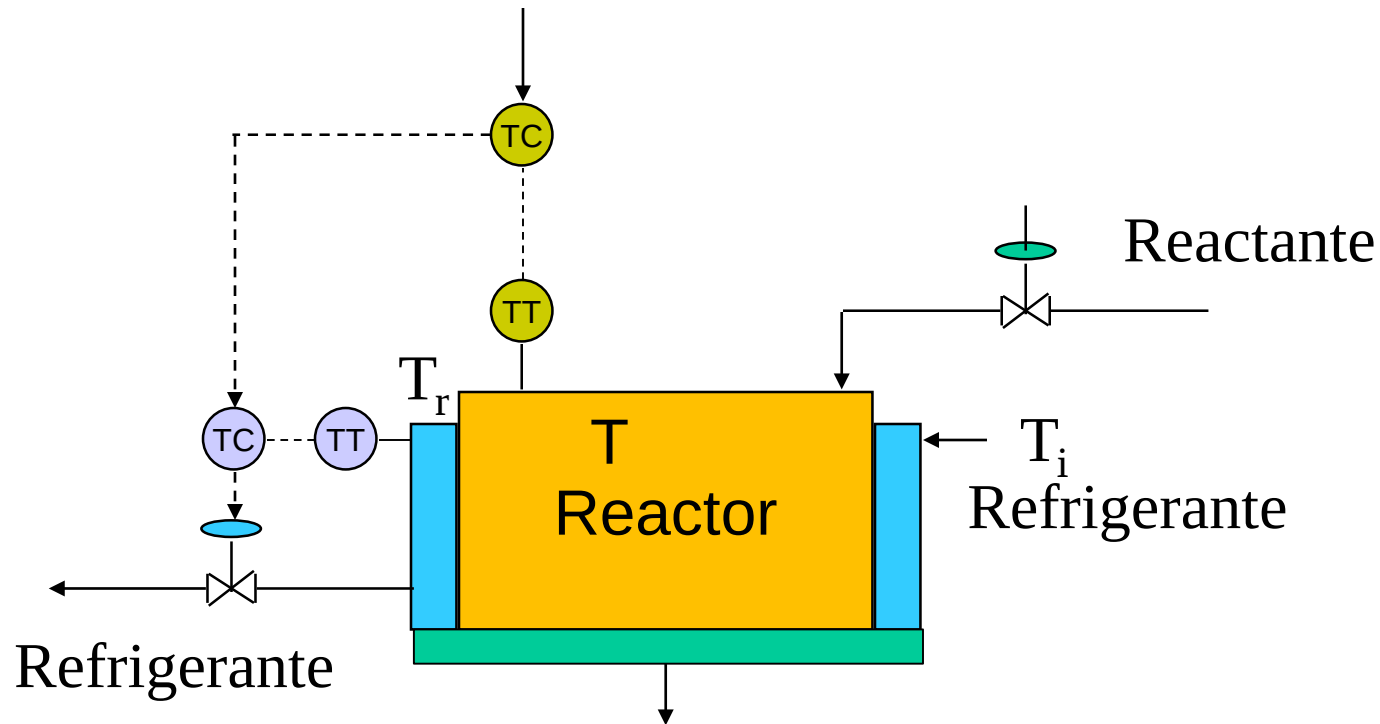


Temperatura- Reactor



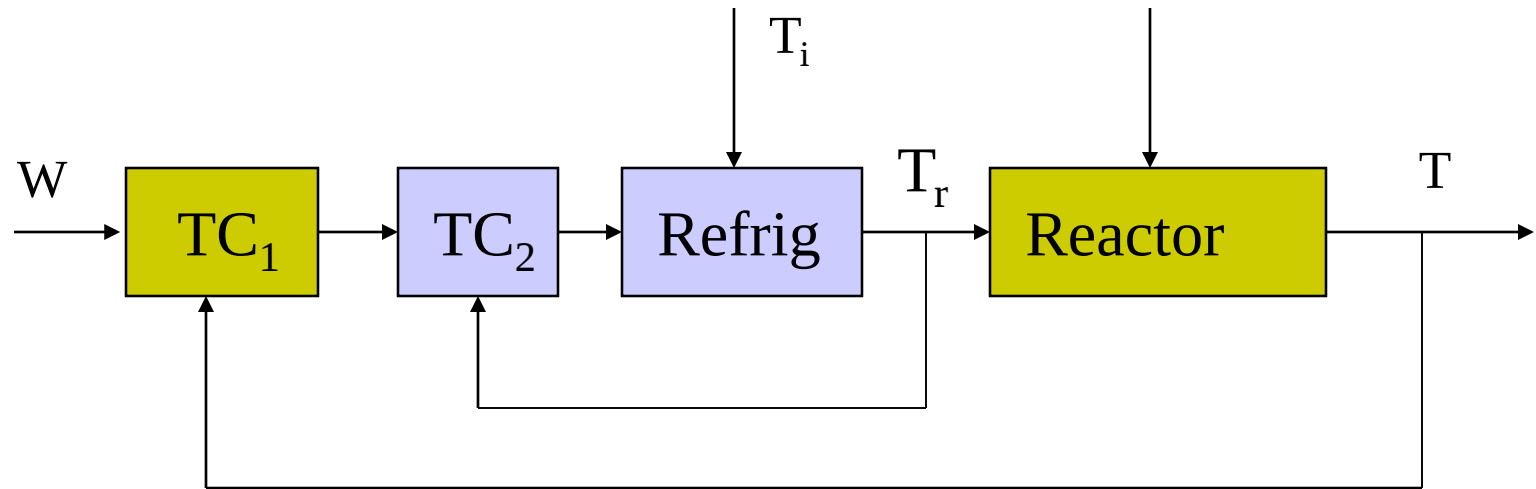
Respuesta ante cambios en la temperatura de refrigerante T_i :
Su efecto se traduce a un cambio de T que es corregido por el regulador modificando u

Cascada Temp-Temp



El regulador externo (TC_1) fija la consigna del regulador interno (TC_2) el cual corrige las perturbaciones en T_r antes de que alcancen significativamente a la temperatura T

Cascada Temp-Temp



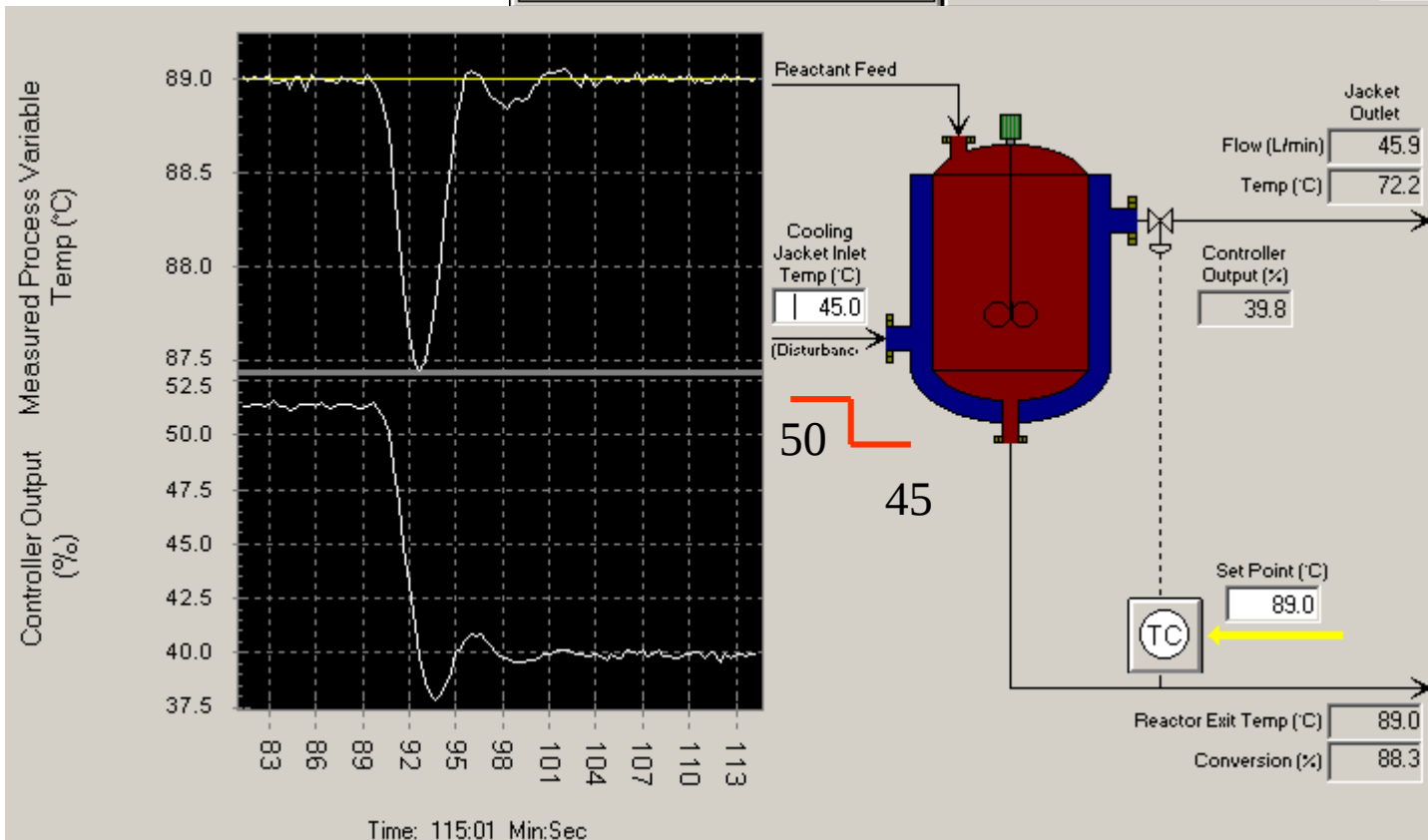
El regulador externo (TC_1) fija la consigna del regulador interno (TC_2) el cual corrige las perturbaciones en T_r antes de que alcancen significativamente a la temperatura T

Control de temperatura en el reactor

Model Parameters	
Process Gain, K	-0.3197
Overall Time Constant, τ	1.79
Dead Time, θ	0.7437
Sum of Squared Error (SSE)	0.2868
Goodness of Fit (R ²)	0.9989

Standard PID		Conservative PID		DMC Tuning	
Using IMC (Lambda) Correlations	K _c	τ_i	τ_D	α	
P-Only	-1.84				
PI	-4.18	1.79			
PID Ideal (Non-interacting)	-6.99	2.16	0.308		
PID Interacting	-5.79	1.79	0.372		
PID Ideal with Filter	-5.05	2.16	0.308	0.537	
PID Interacting with Filter	-4.18	1.79	0.372	0.444	

User Specified Closed Loop Time Constant:	0.595
---	-------



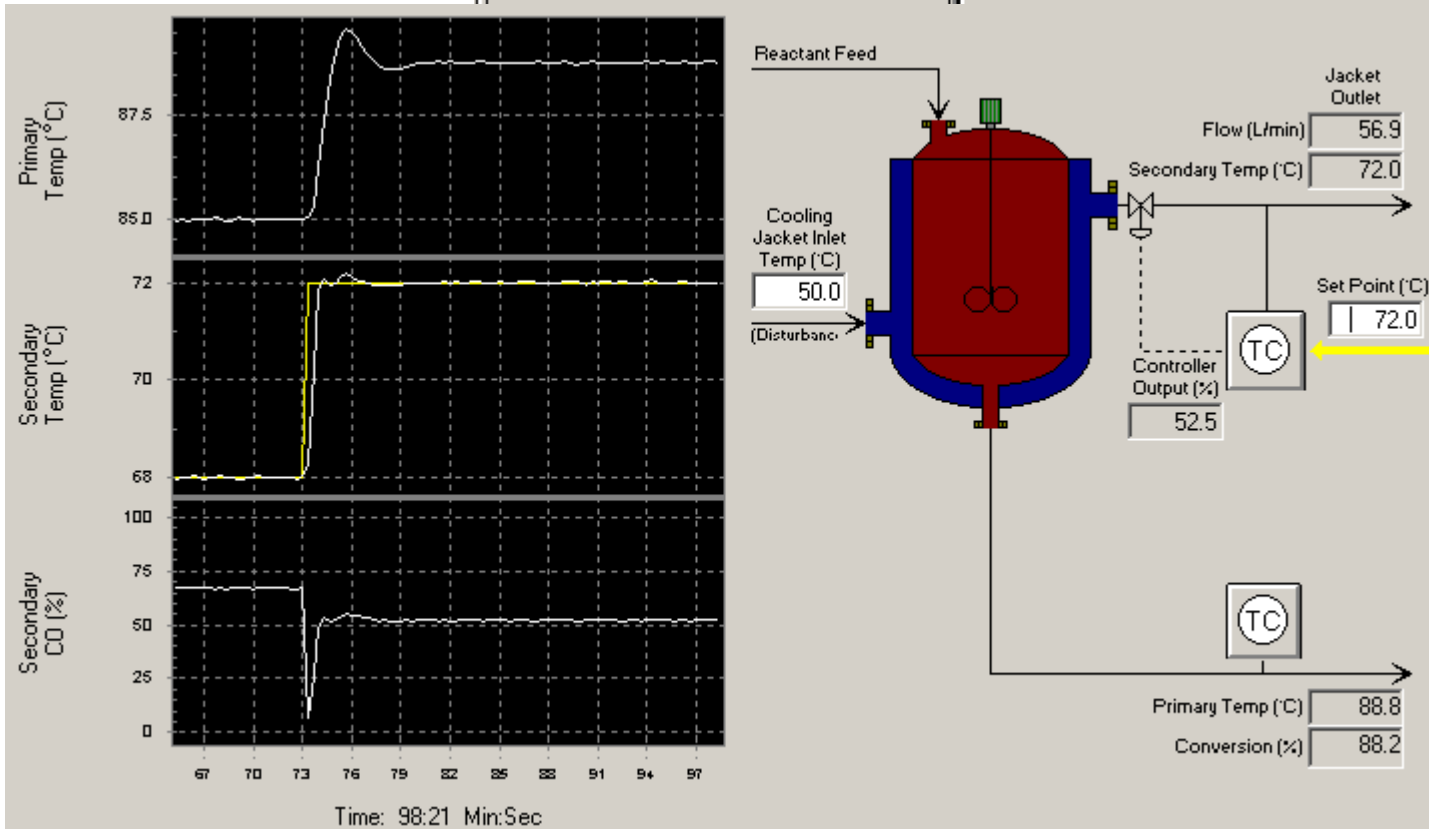
1.5 °C
10 min.

Control de temperatura en la camisa

Model Parameters	
Process Gain, K	-0.3545
Overall Time Constant, τ	1.85
Dead Time, θ	0.1726
Sum of Squared Error (SSE)	0.1797
Goodness of Fit (R^2)	0.9995

Standard PID	Conservative PID		DMC Tuning	
Using IMC (Lambda) Correlations	K_c	τ_i	τ_D	α
P-Only	-10.28			
PI	-14.6	1.85		
PID Ideal (Non-interacting)	-20.14	1.94	0.082	
PID Interacting	-19.24	1.85	0.086	
PID Ideal with Filter	-15.28	1.94	0.082	0.542
PID Interacting with Filter	-14.6	1.85	0.086	0.518

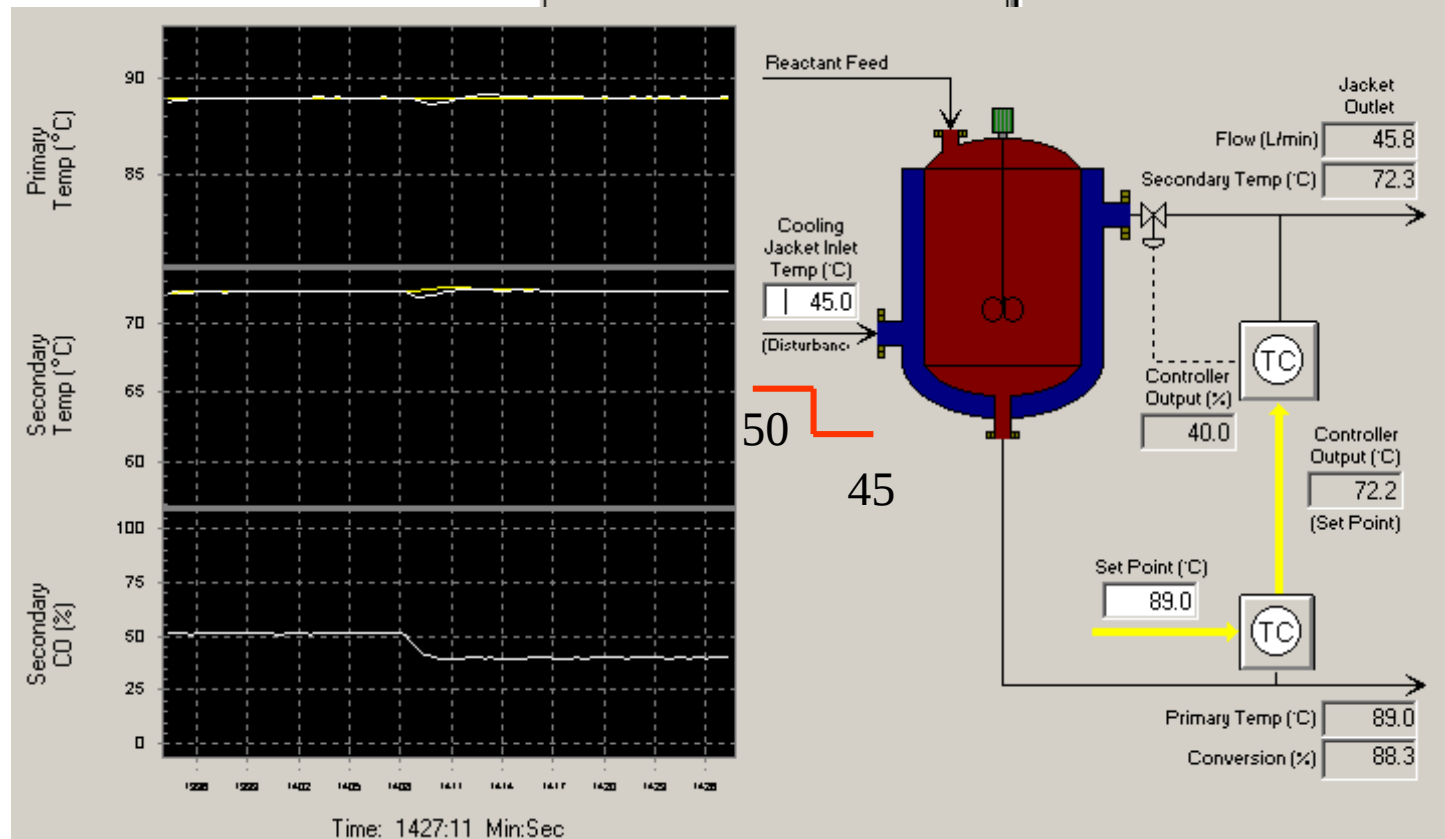
0.1852



Control de temp en el reactor /cascada

Model Parameters	
Process Gain, K	0.9535
Overall Time Constant, τ	0.4492
Dead Time, θ	0.5491
Sum of Squared Error (SSE)	1.40
Goodness of Fit (R^2)	0.9863

Standard PID	Conservative PID		DMC Tuning	
Using IMC (Lambda) Correlations	K_c	τ_i	τ_D	α
P-Only	0.166			
PI	0.477	0.449		
PID Ideal (Non-interacting)	1.06	0.724	0.17	
PID Interacting	0.66	0.449	0.275	
PID Ideal with Filter	0.768	0.724	0.17	0.716
PID Interacting with Filter	0.477	0.449	0.275	0.444

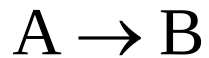


0.4393

0.3 °C

4 min.

Control de un Reactor

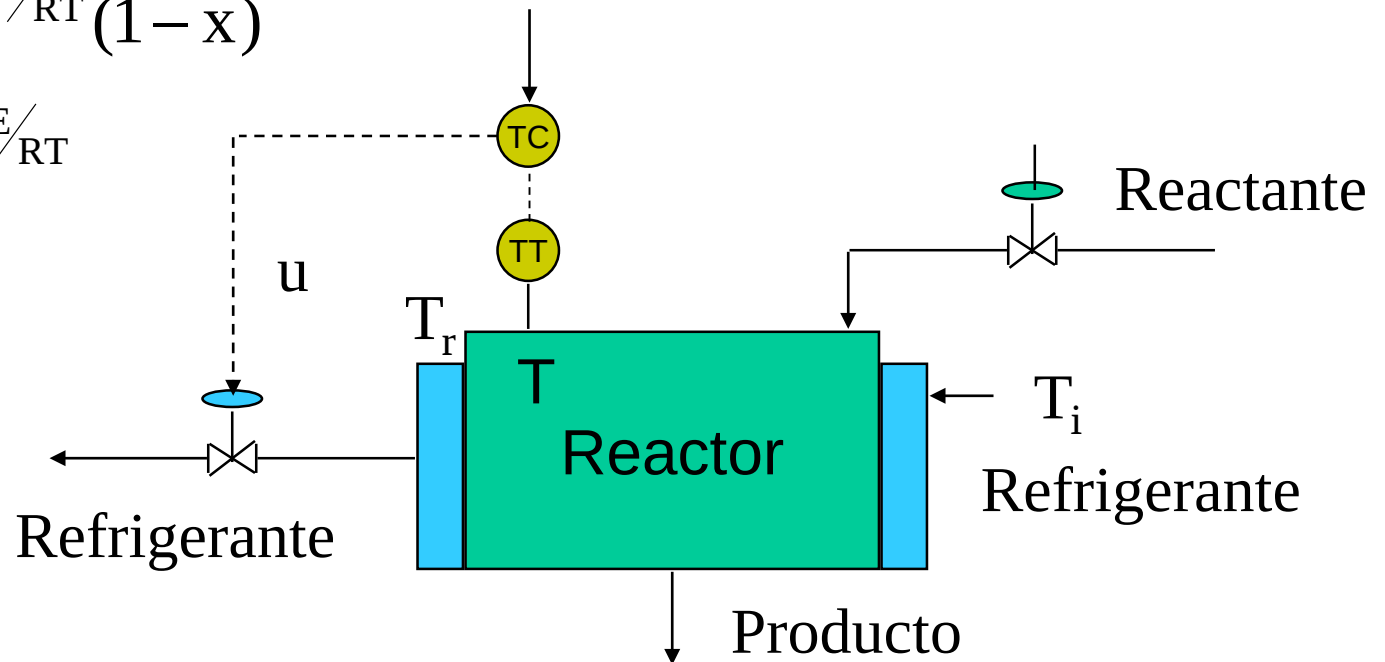


$$c_A = (1-x)c_{Ai}$$

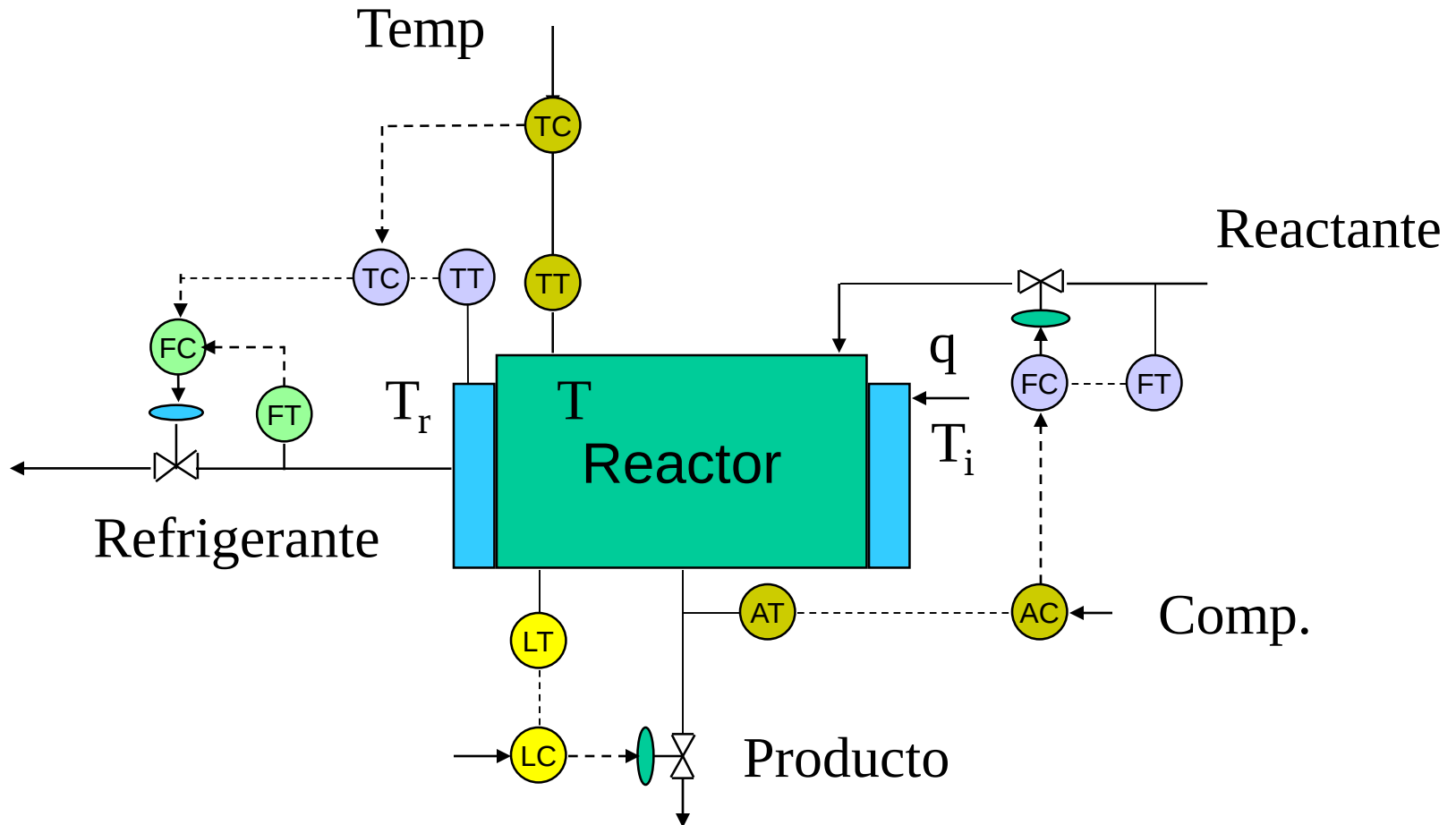
$$0 = Fc_{Ai} - Fc_A - Vke^{-E/RT}c_A \text{ utilizando la conversion } x :$$

$$0 = xF - Vke^{-E/RT}(1-x)$$

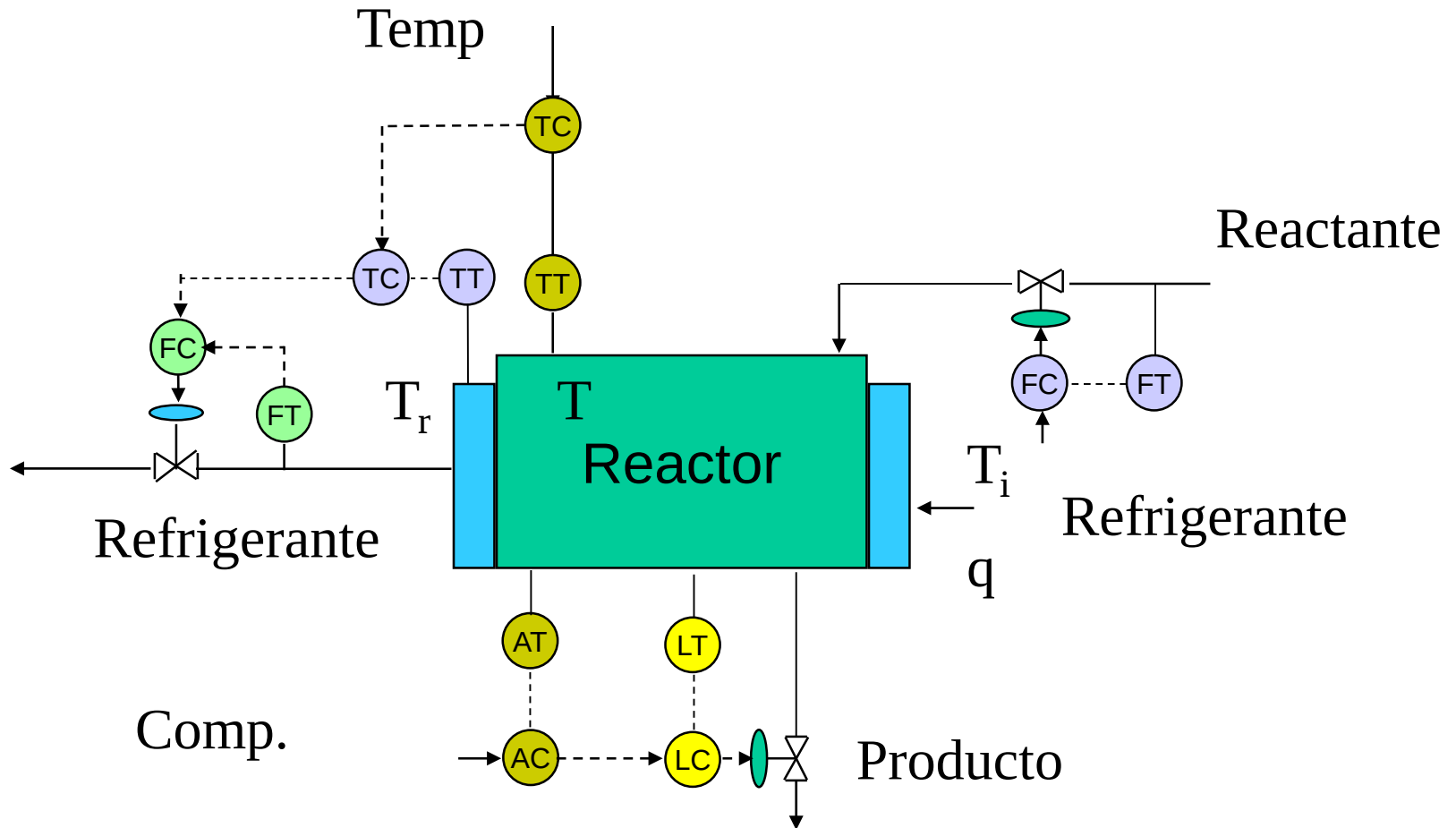
$$\frac{x}{1-x} = \frac{V}{F}ke^{-E/RT}$$



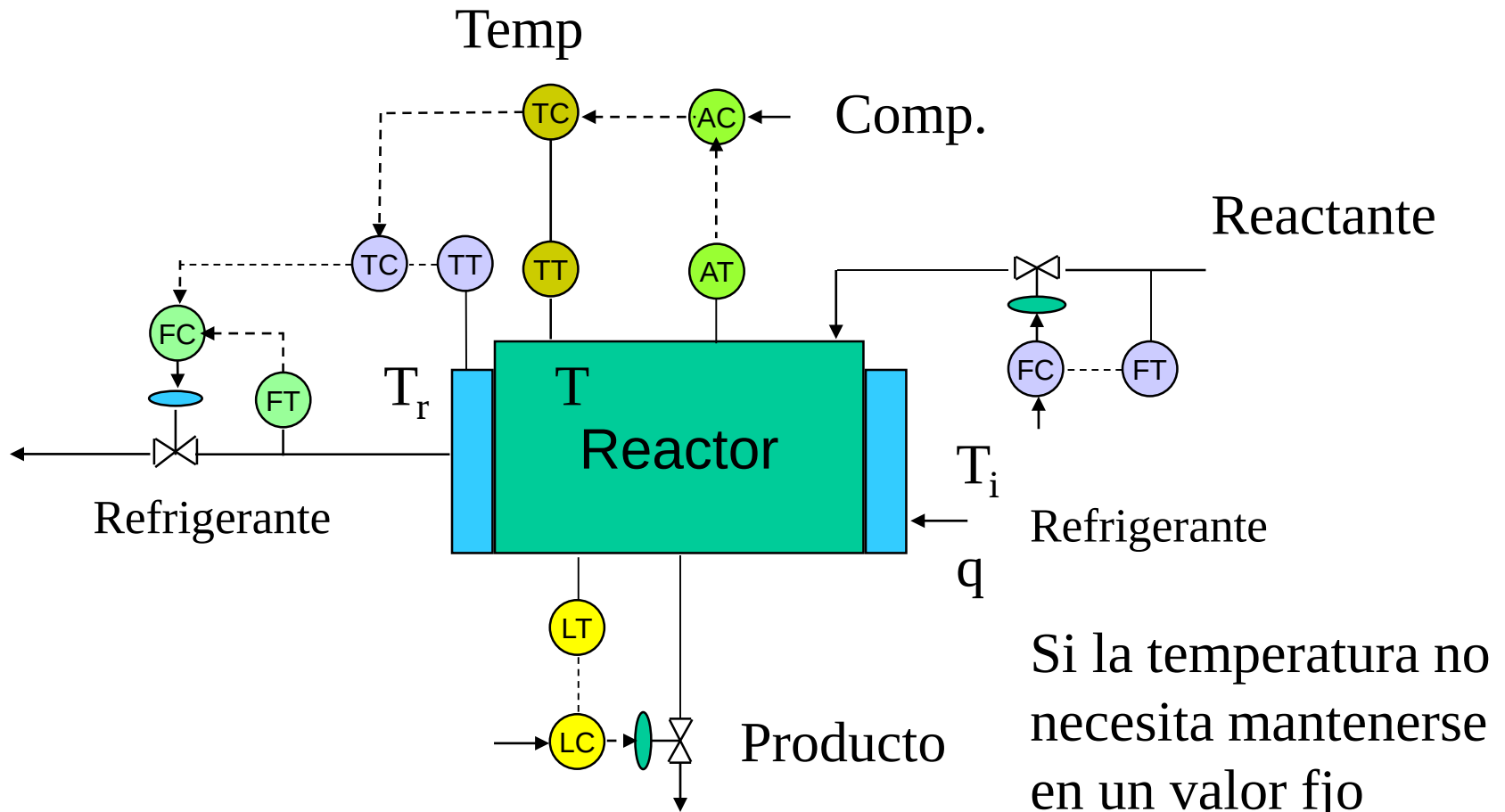
Control de un reactor



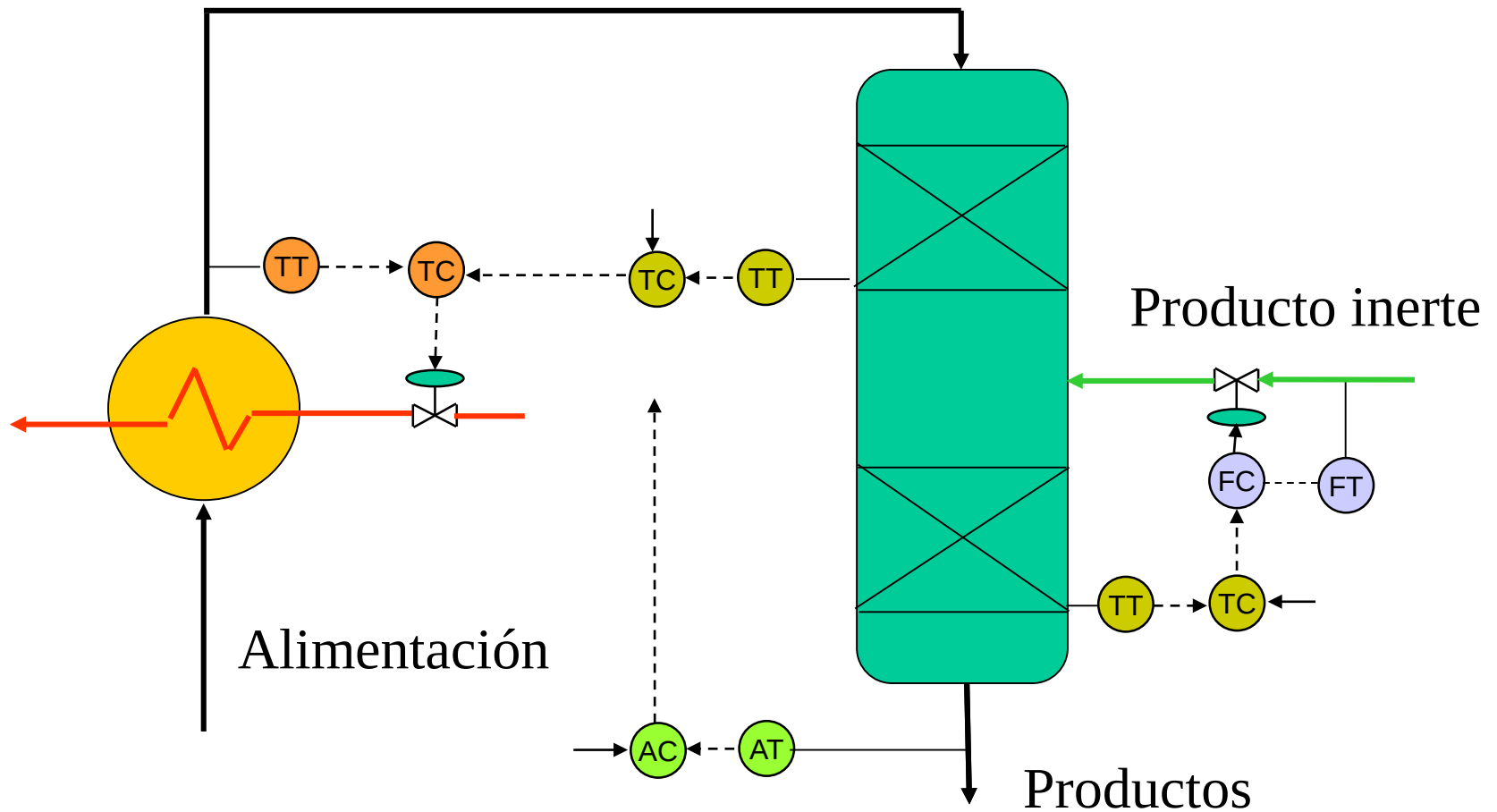
Control de un reactor



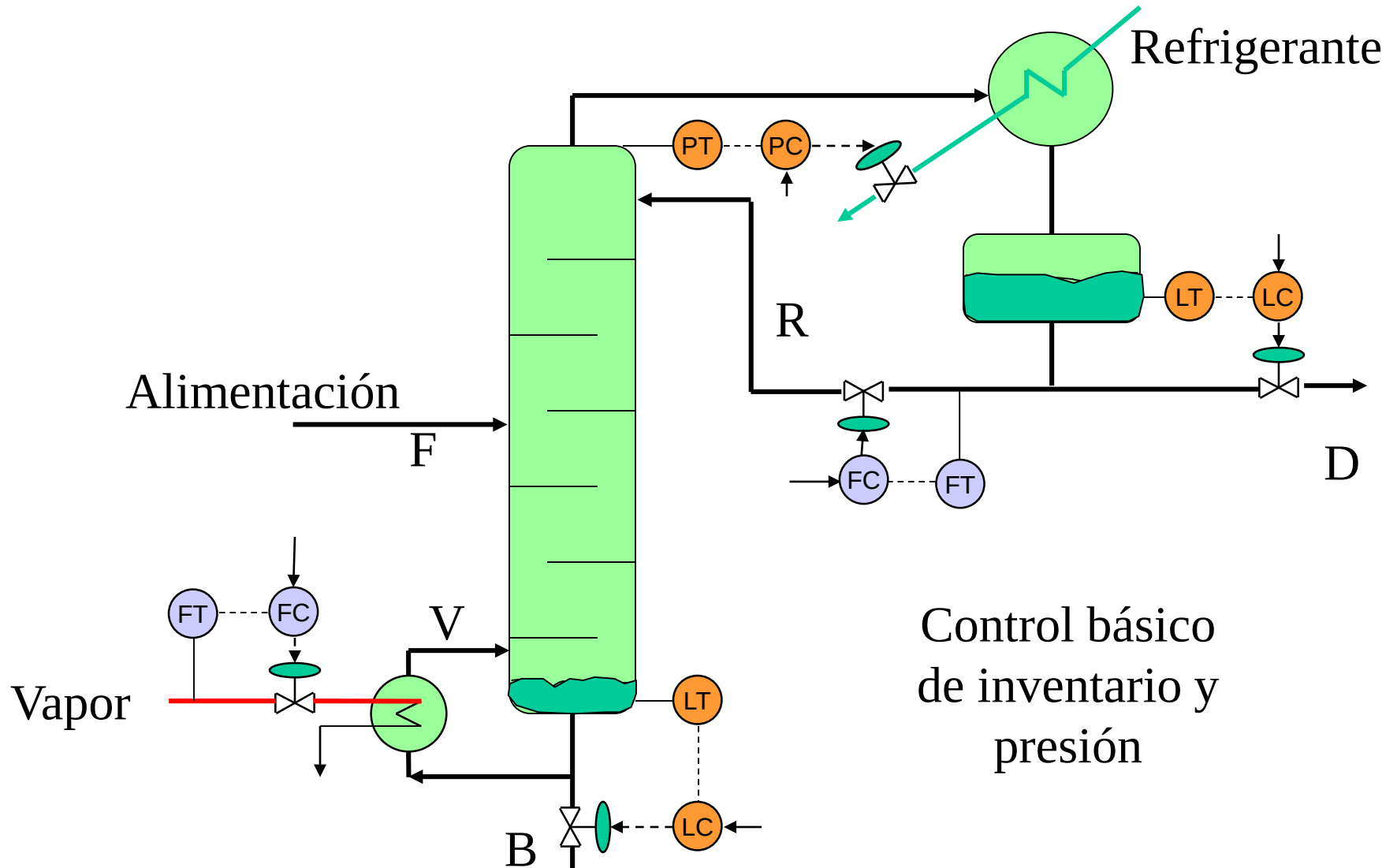
Control de un reactor



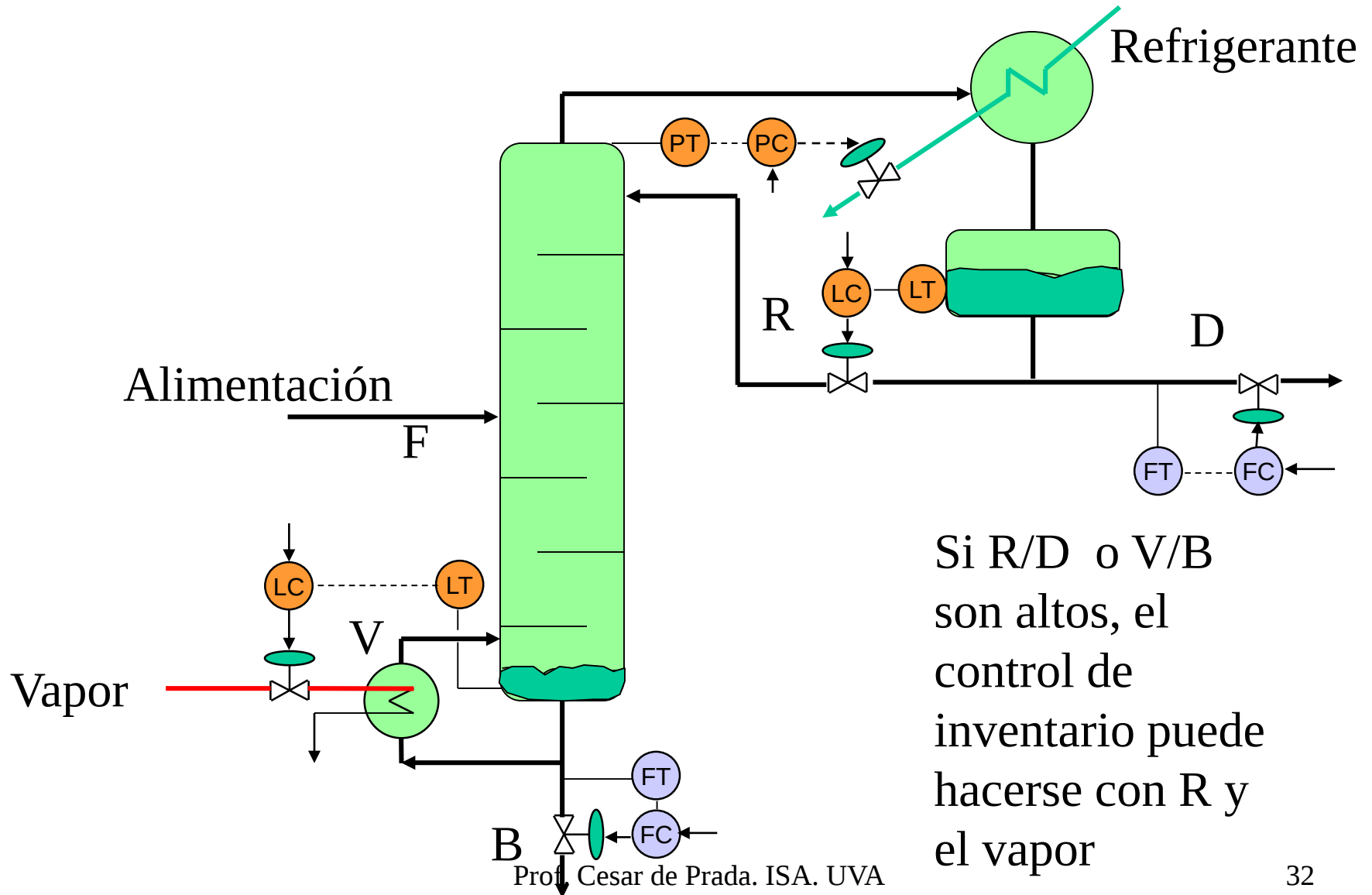
Control de un reactor de lecho



Columna de destilación

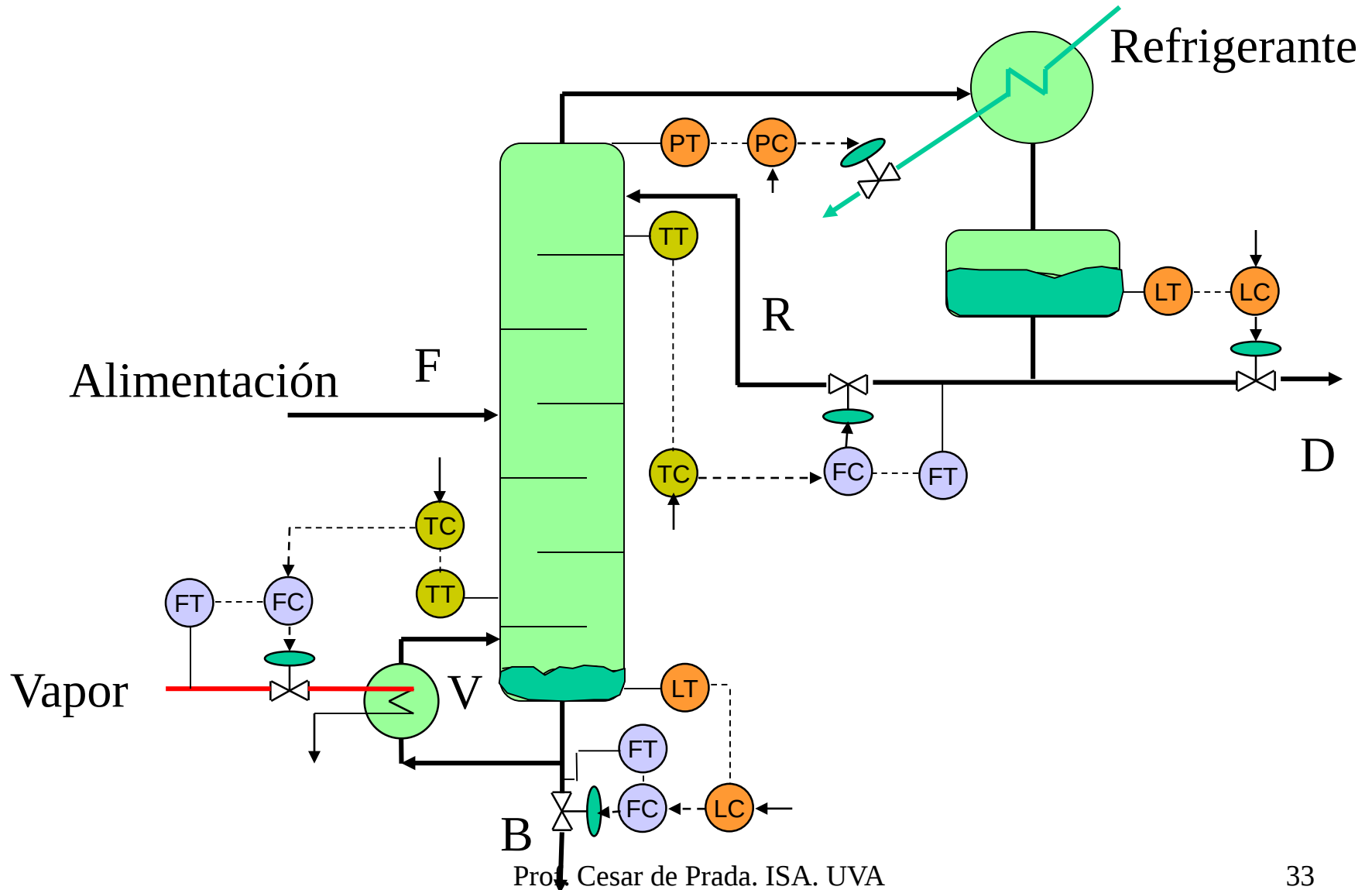


Alternativas

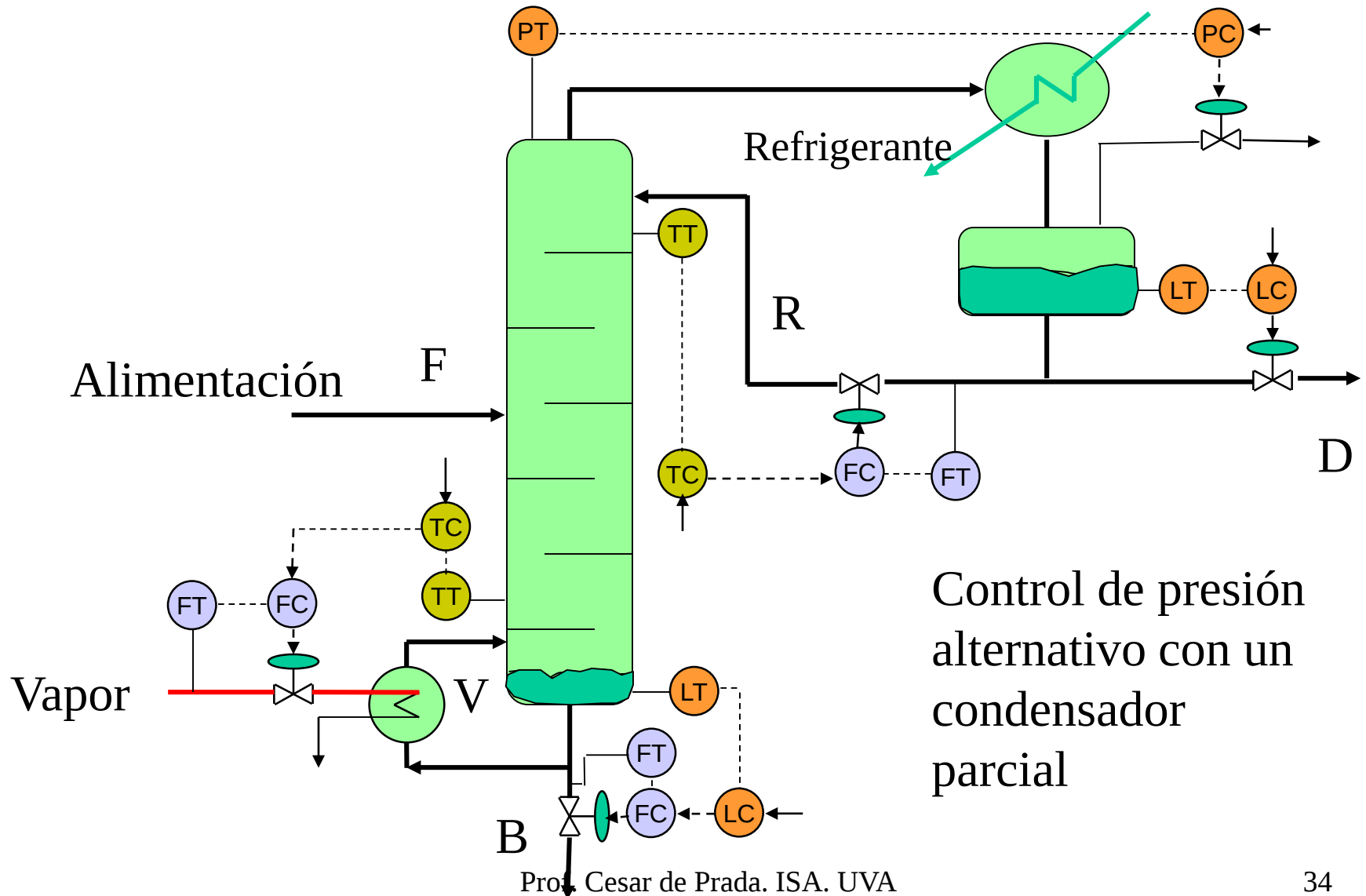


Si R/D o V/B son altos, el control de inventario puede hacerse con R y el vapor

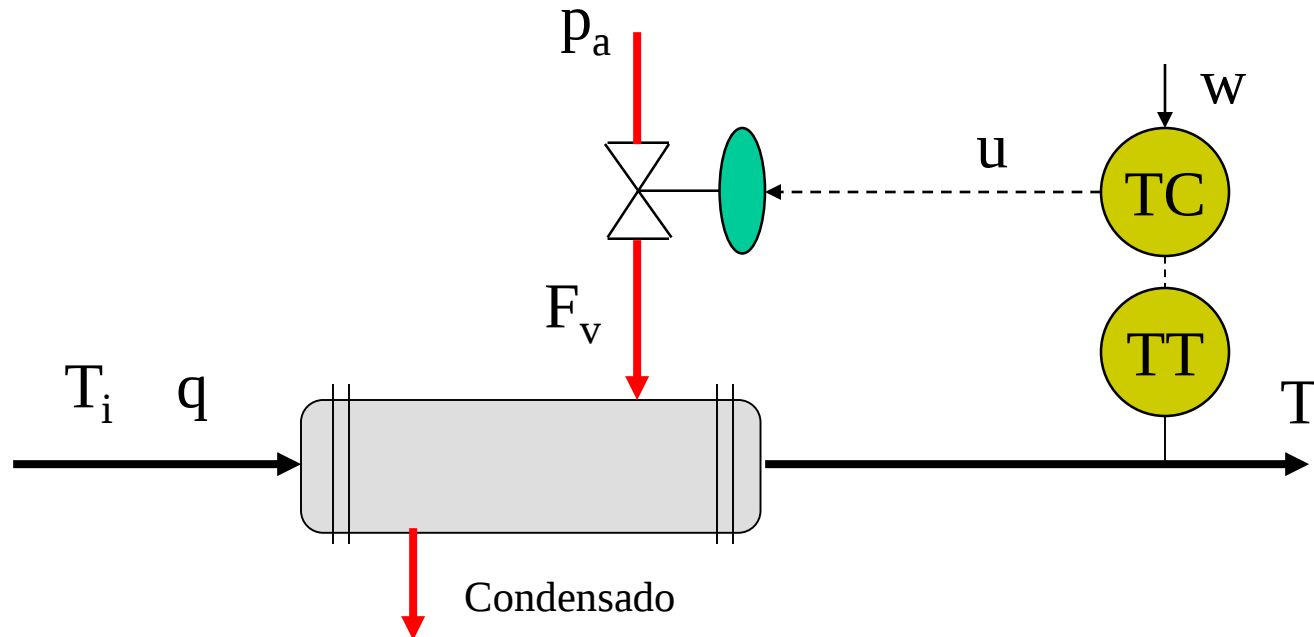
Columna de destilación



Columna de destilación

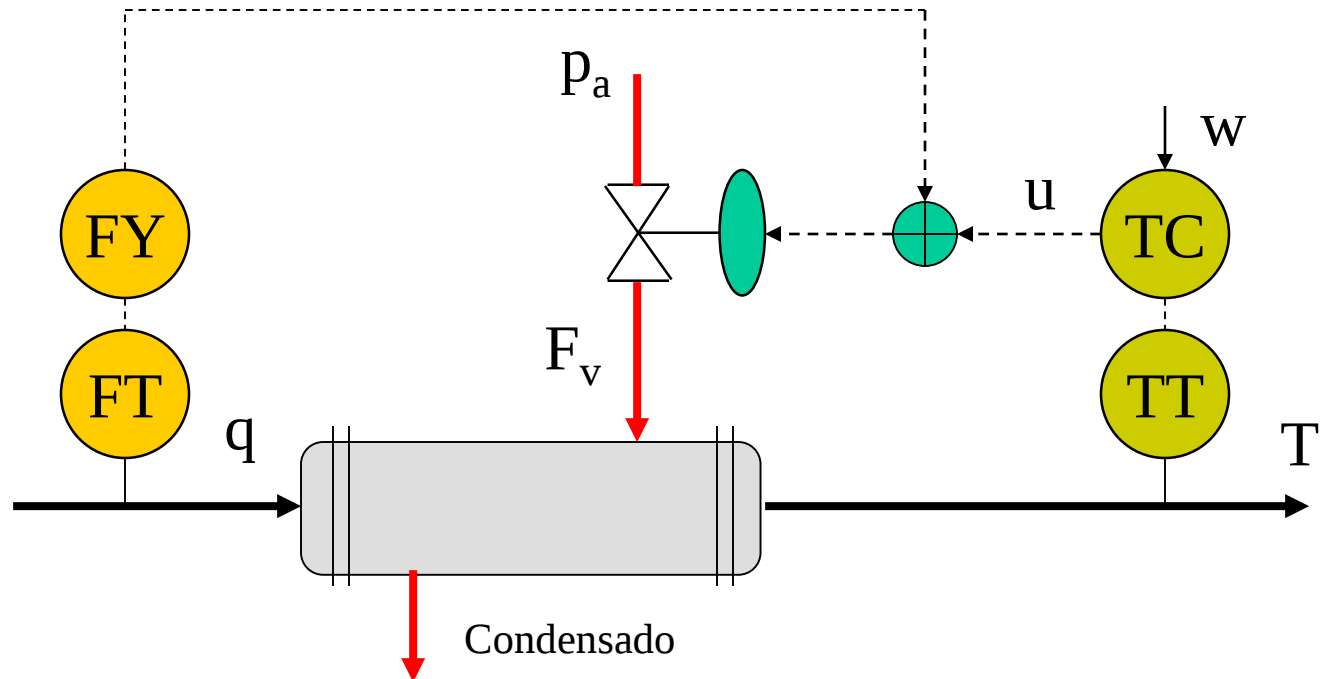


Compensación en adelante



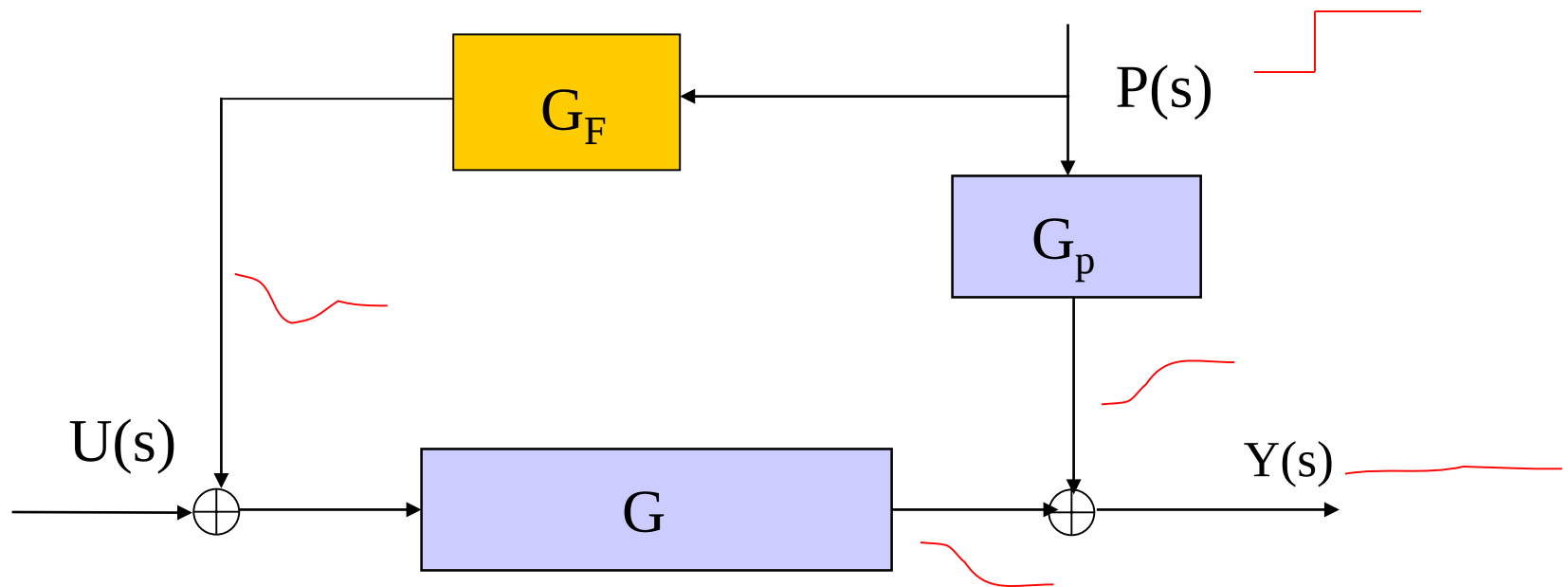
Respuesta ante cambios en el caudal q ó en T_i :
El regulador solo empieza a corregir cuando T se ha modificado.

Feedforward



Respuesta ante cambios en el caudal q :
La salida del regulador se modifica de acuerdo a los cambios de q para compensar su efecto en T

Feedforward

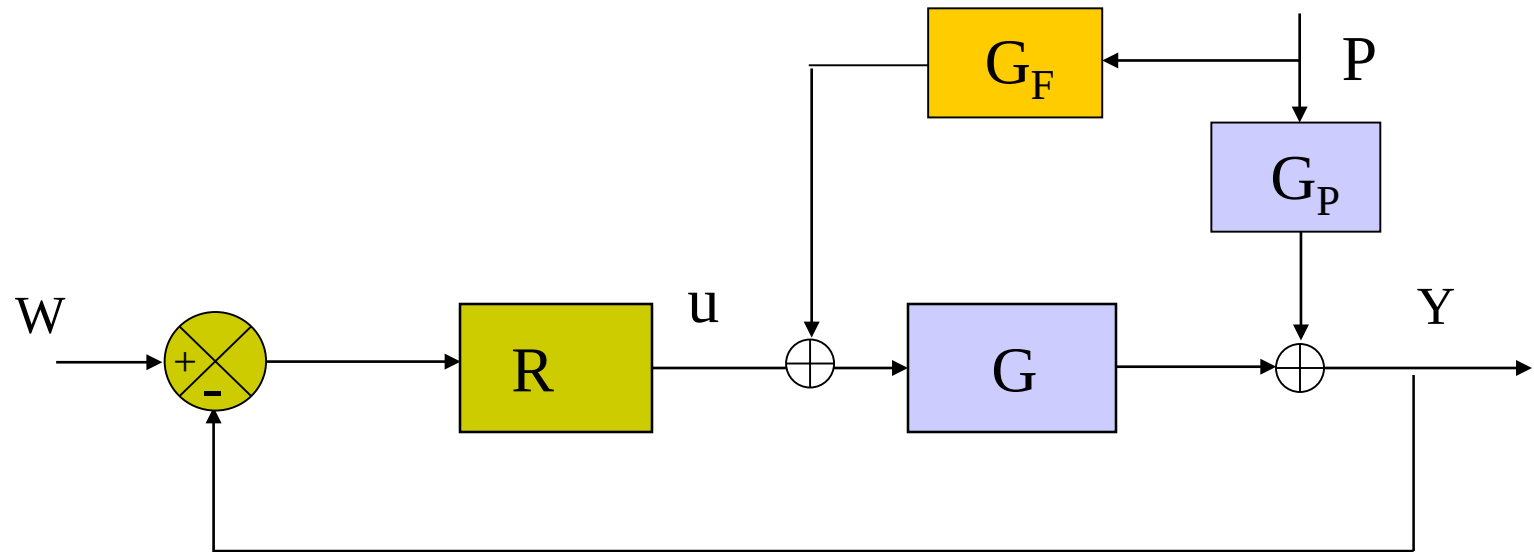


Producir a traves de G_F y G un cambio en $Y(s)$ igual y de sentido contrario al que se produce a traves de G_p al cambiar $P(s)$ para compensar este

Feedforward

- Perturbaciones medibles y de efecto no controlable directamente
- Necesita instrumentación y cálculo adicional
- G_p debe ser mas lenta que G
- Es una compensación en lazo abierto que debe emplearse normalmente junto a un regulador en lazo cerrado

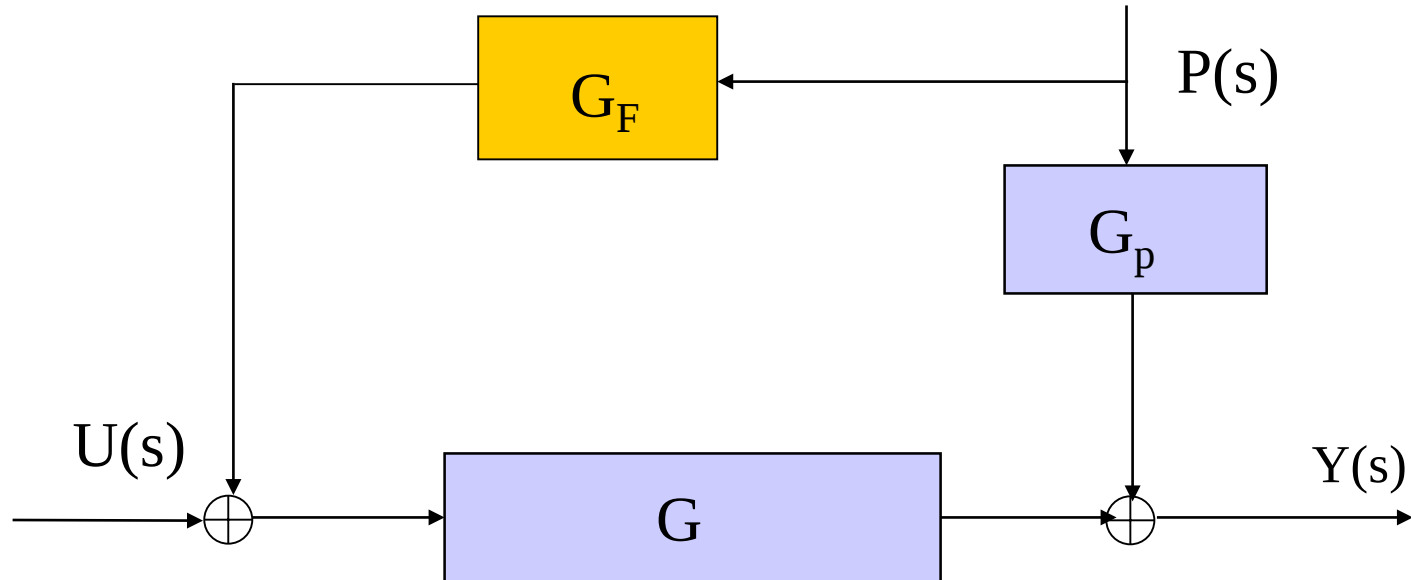
Diagrama de bloques



No se modifica
la dinámica en
lazo cerrado

$$\begin{aligned} Y(s) &= G(s)[U(s) + G_F(s)P(s)] + G_P(s)P(s) = \\ &= G(s)R(s)[W(s) - Y(s)] + [G(s)G_F(s) + G_P(s)]P(s) \\ Y(s) &= \frac{G(s)R(s)}{1 + G(s)R(s)} W(s) + \frac{G(s)G_F(s) + G_P(s)}{1 + G(s)R(s)} P(s) \end{aligned}$$

Cálculo de G_F



$$\begin{aligned} Y(s) &= G(s)[U(s) + G_F(s)P(s)] + G_p(s)P(s) = \\ &= G(s)U(s) + [G(s)G_F(s) + G_p(s)]P(s) \\ 0 &= G(s)G_F(s) + G_p(s) \end{aligned}$$

$$G_F = -\frac{G_p(s)}{G(s)}$$

G_F práctica

$$G_F = -\frac{G_P(s)}{G(s)}$$

No tiene la realizabilidad asegurada

Puede ser de alto orden

Validez limitada al rango de validez de G_P y G

G_F practica:

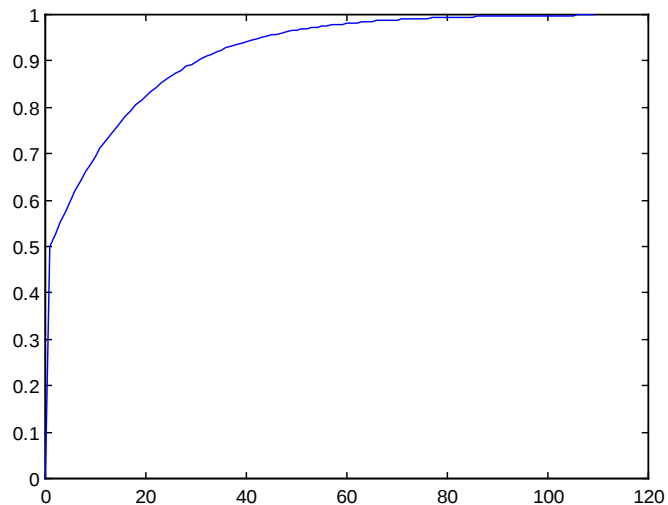
$$G_F = -\frac{K_F(bs + 1)}{(as + 1)}$$

$$K_F = \frac{K_P}{K}$$

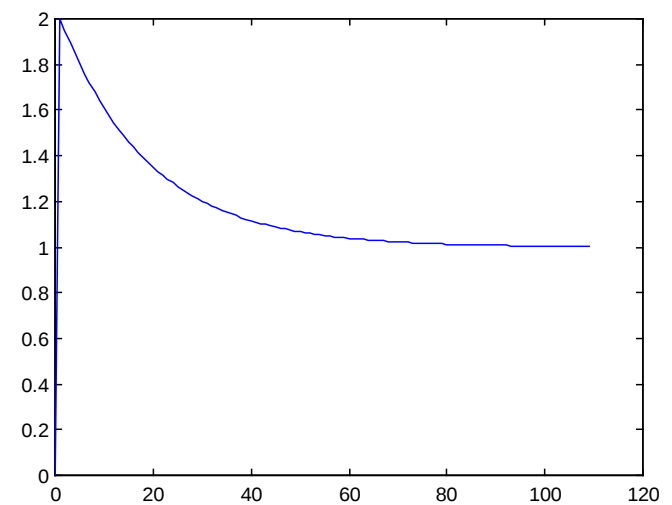
Lead/Lag

$$G_F = -\frac{K_F(bs+1)}{(as+1)}$$

$b < a$



$b > a$

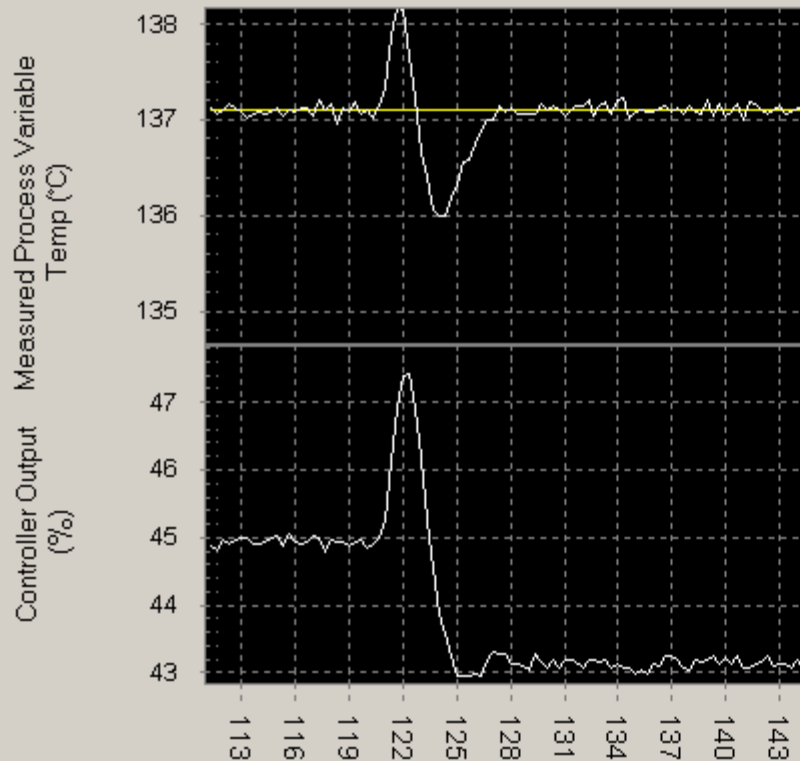


Cambiador - perturbación

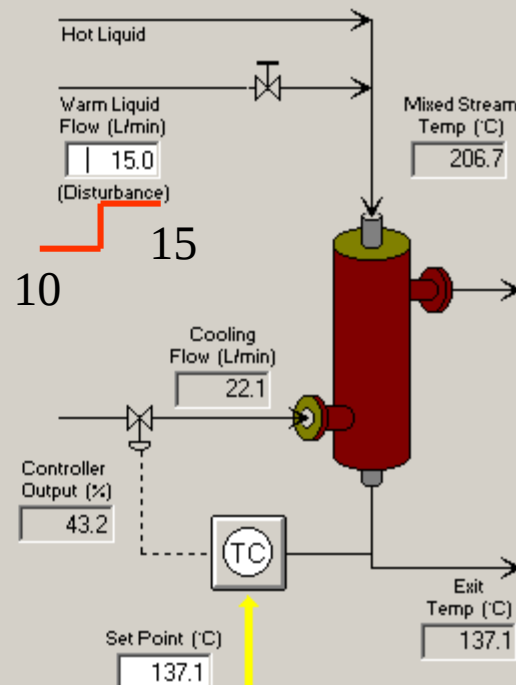
Model Parameters	
Process Gain, K	-0.4605
Overall Time Constant, τ	0.9582
Dead Time, θ	0.8781
Sum of Squared Error (SSE)	1.19
Goodness of Fit (R^2)	0.9977

Standard PID	Conservative PID		DMC Tuning	
Using IMC (Lambda) Correlations	K_c	τ_i	τ_D	α
P-Only	-0.488			
PI	-1.32	0.958		
PID Ideal (Non-interacting)	-2.66	1.40	0.301	
PID Interacting	-1.82	0.958	0.439	
PID Ideal with Filter	-1.92	1.40	0.301	0.648
PID Interacting with Filter	-1.32	0.958	0.439	0.444

0.7025



Time: 144:31 Min:Sec

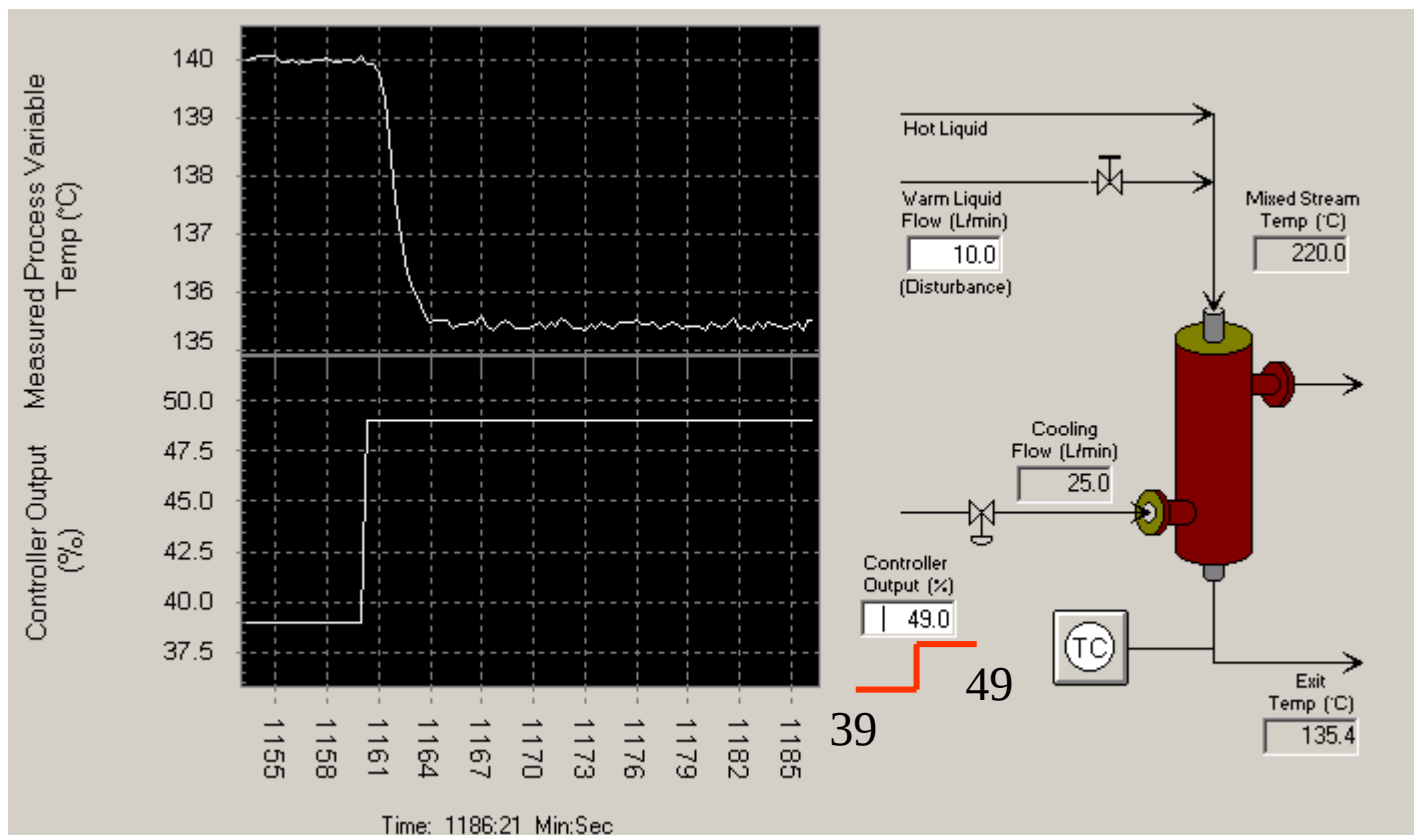


2 °C

7 min.

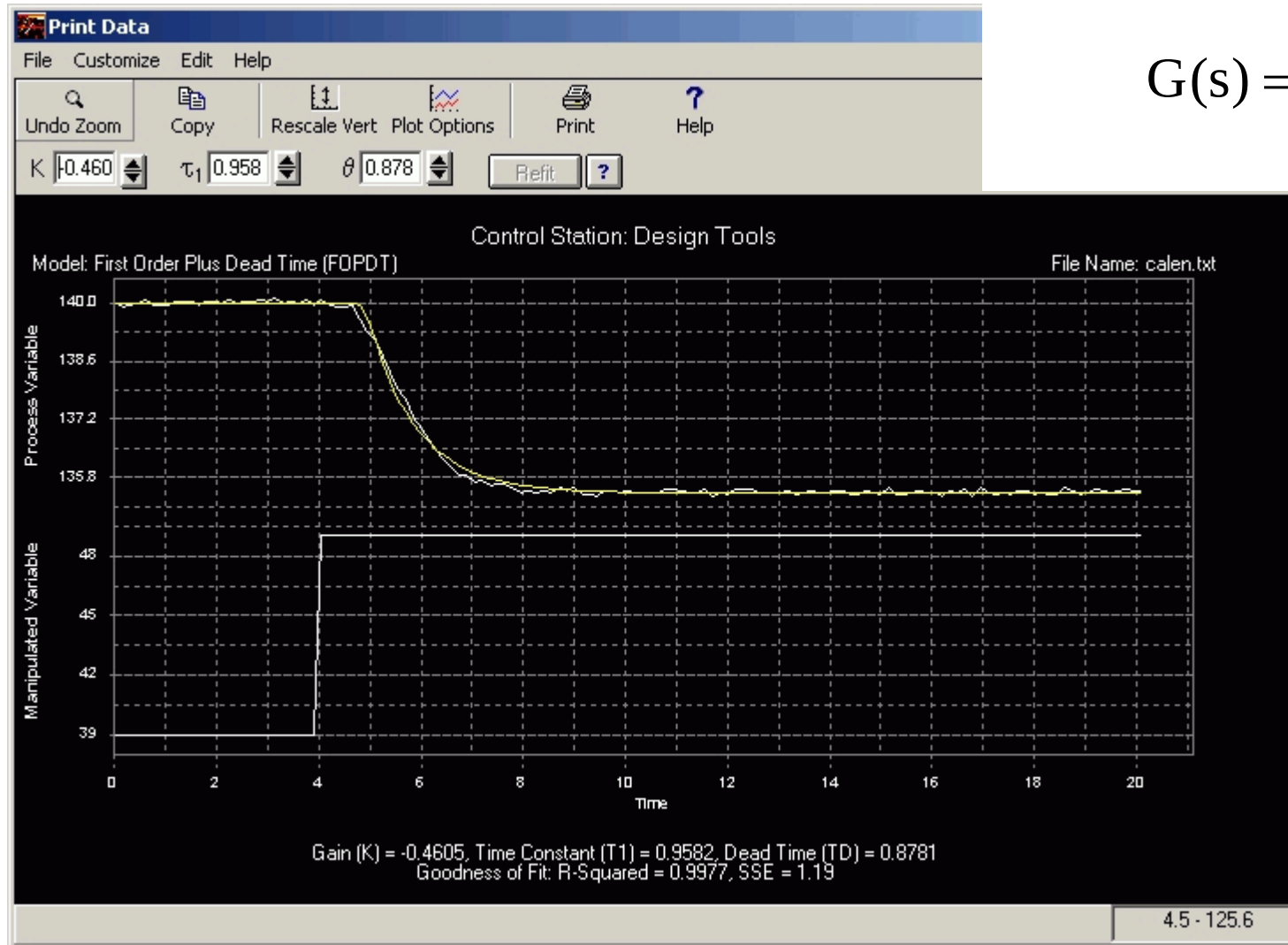
Modelo Temp - u

Test en lazo abierto



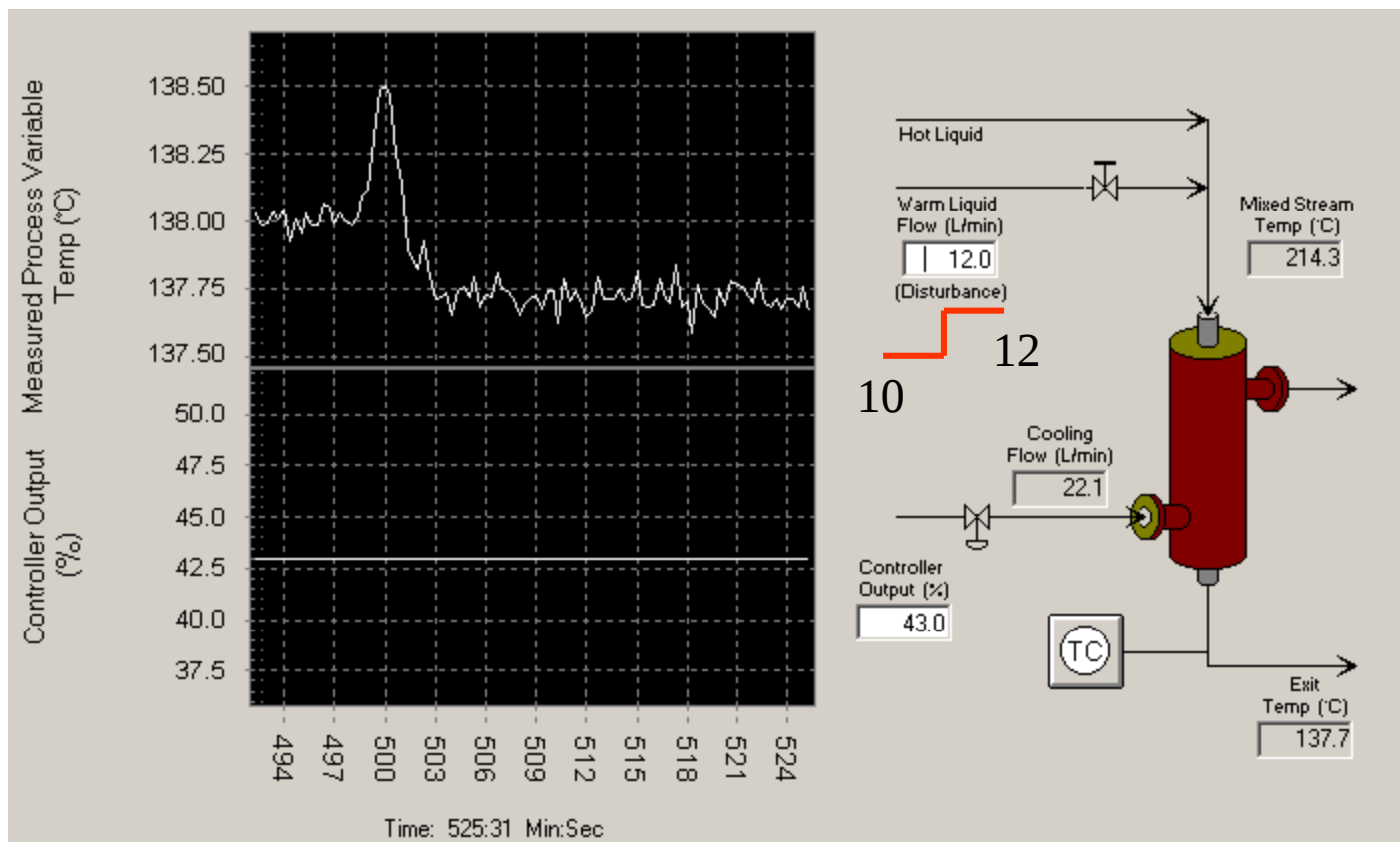
Modelo Temp - u

$$G(s) = \frac{ke^{-sd}}{(\tau s + 1)}$$

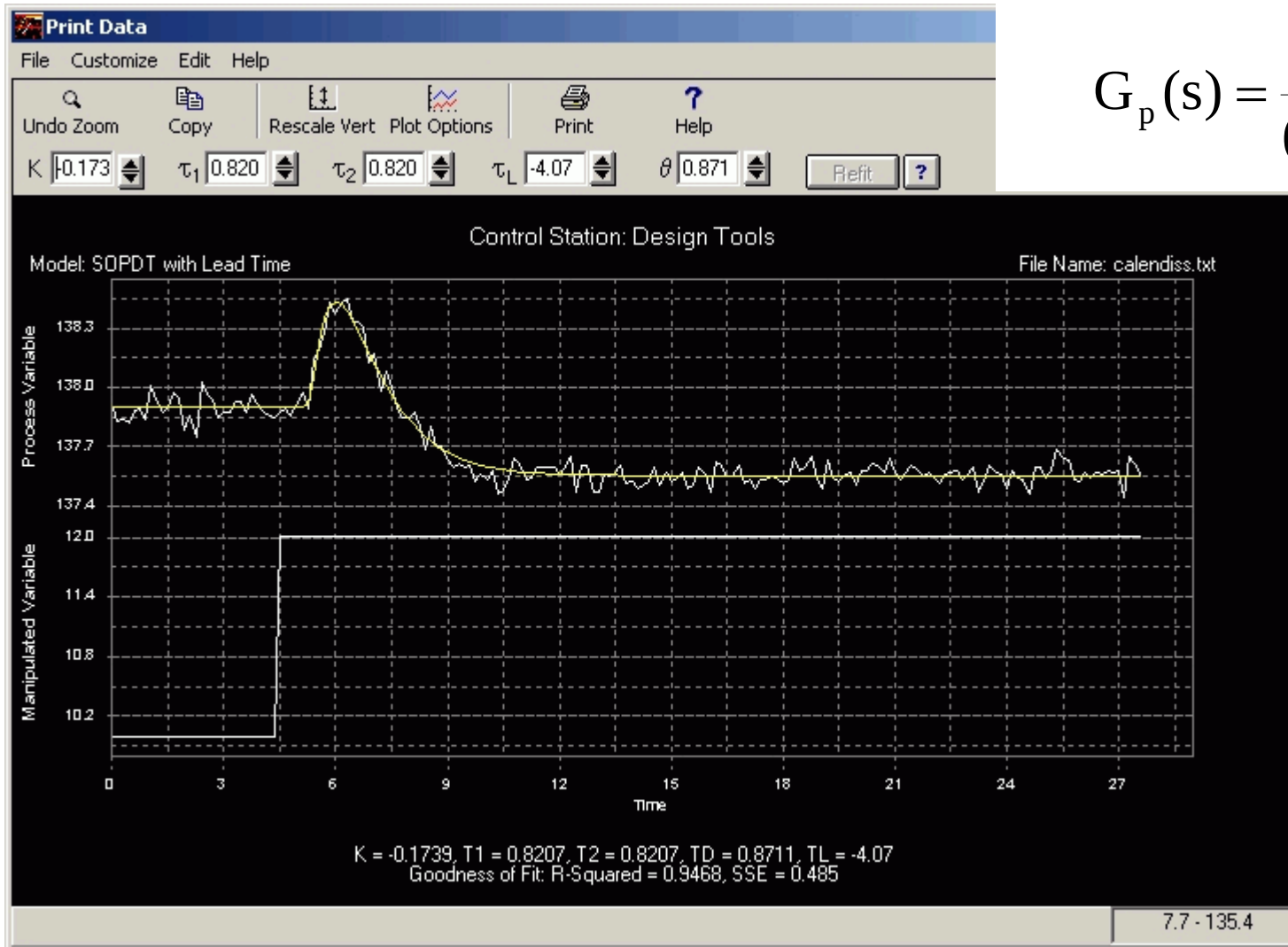


Modelo temp-warm flow

Test en lazo abierto



Modelo Temp- warm flow



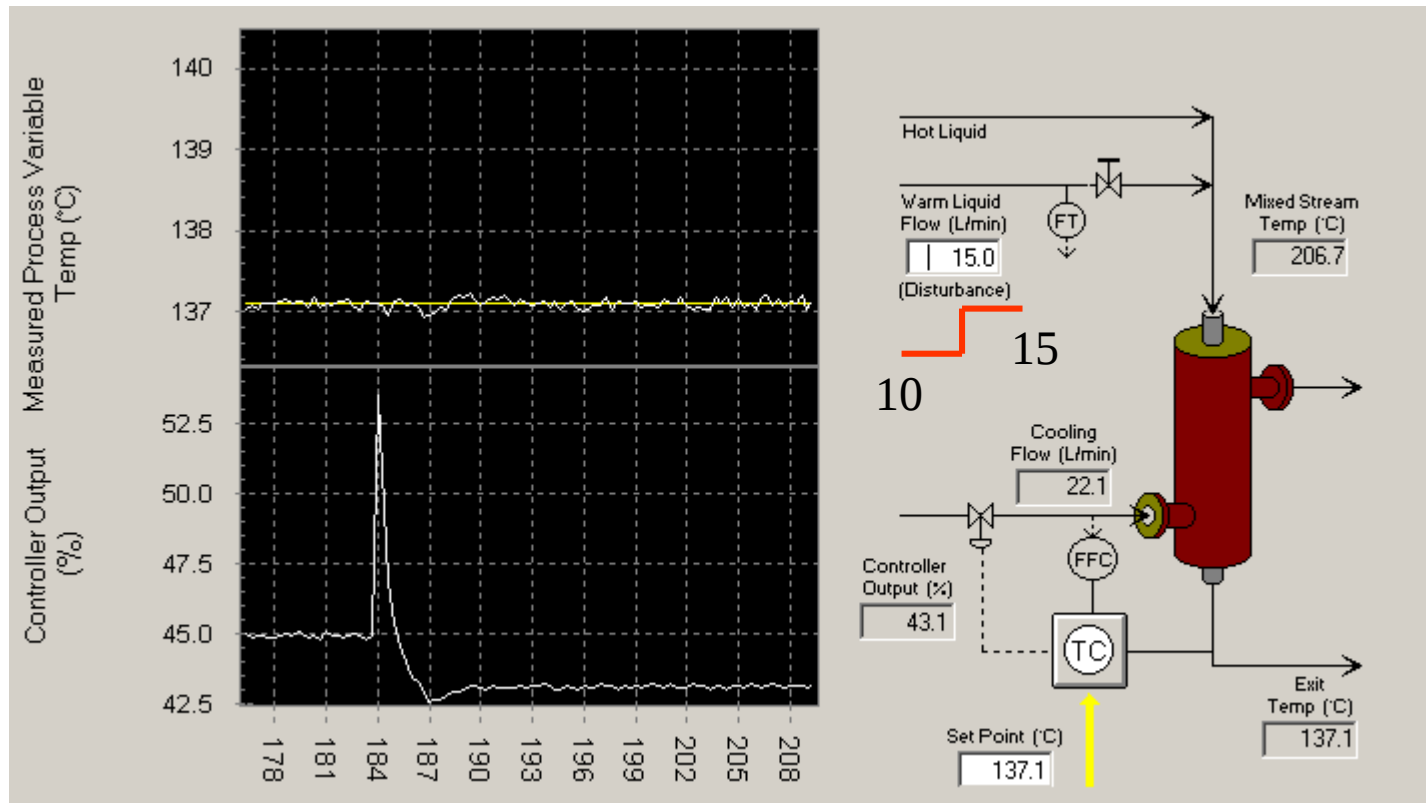
$$G_p(s) = \frac{k(\tau_L s + 1)e^{-sd}}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$$

Cambiador compensador Feedforward

[illegible]

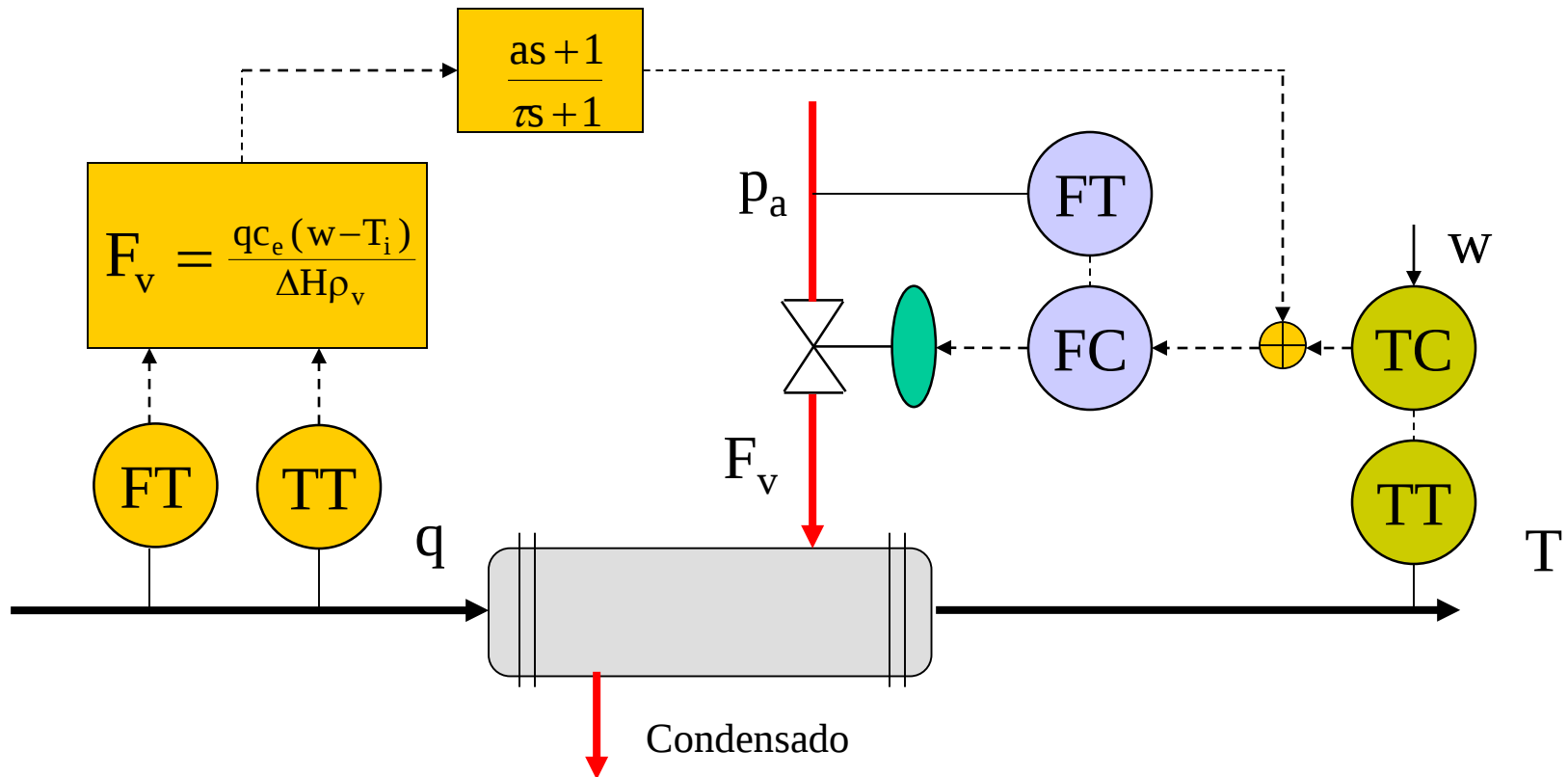
$$G_F = -\frac{G_P(s)}{G(s)} = \frac{\frac{-0.17(-4s+1)e^{-0.87s}}{(0.82s+1)^2}}{\frac{-0.46e^{-0.87s}}{0.96s+1}} = \frac{0.34(0.96s+1)(-4s+1)}{(0.82s+1)^2}$$

Cambiador con feedforward



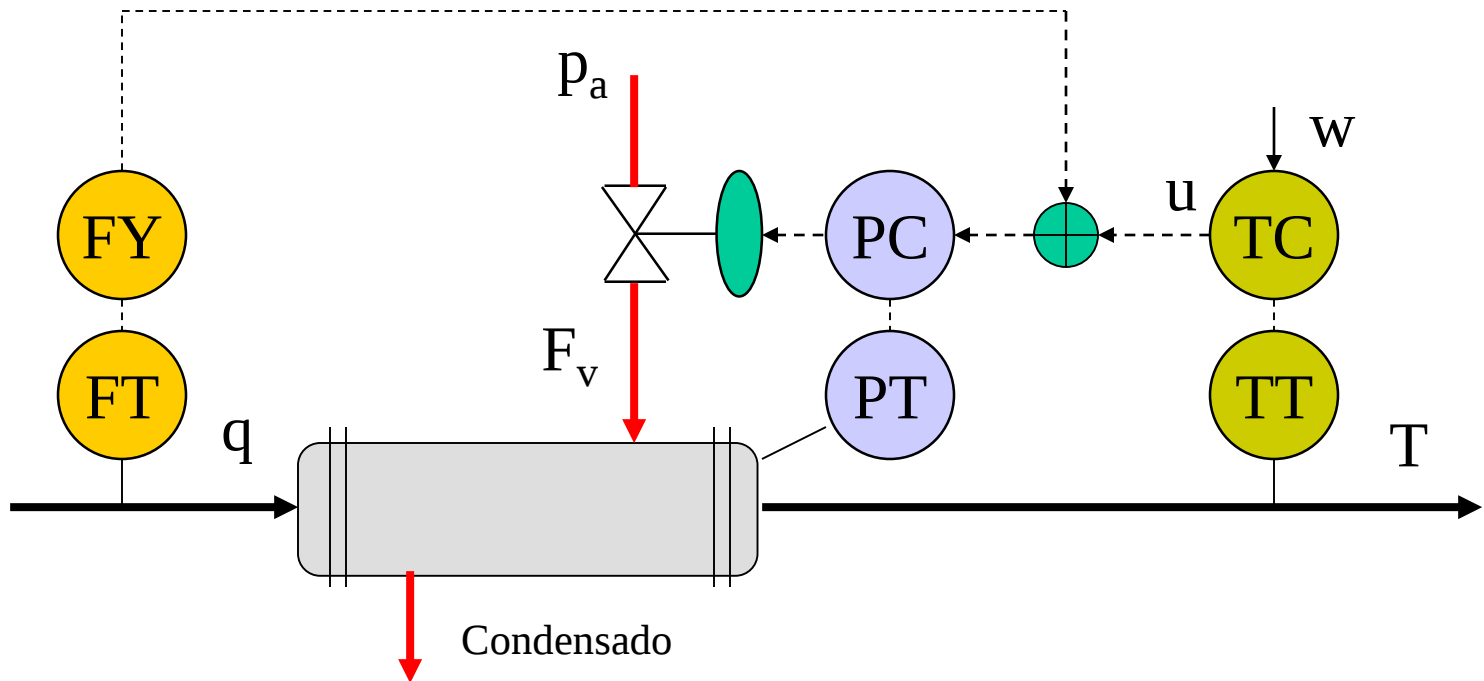
0.2 °C
? min.

Compensación estática / modelo

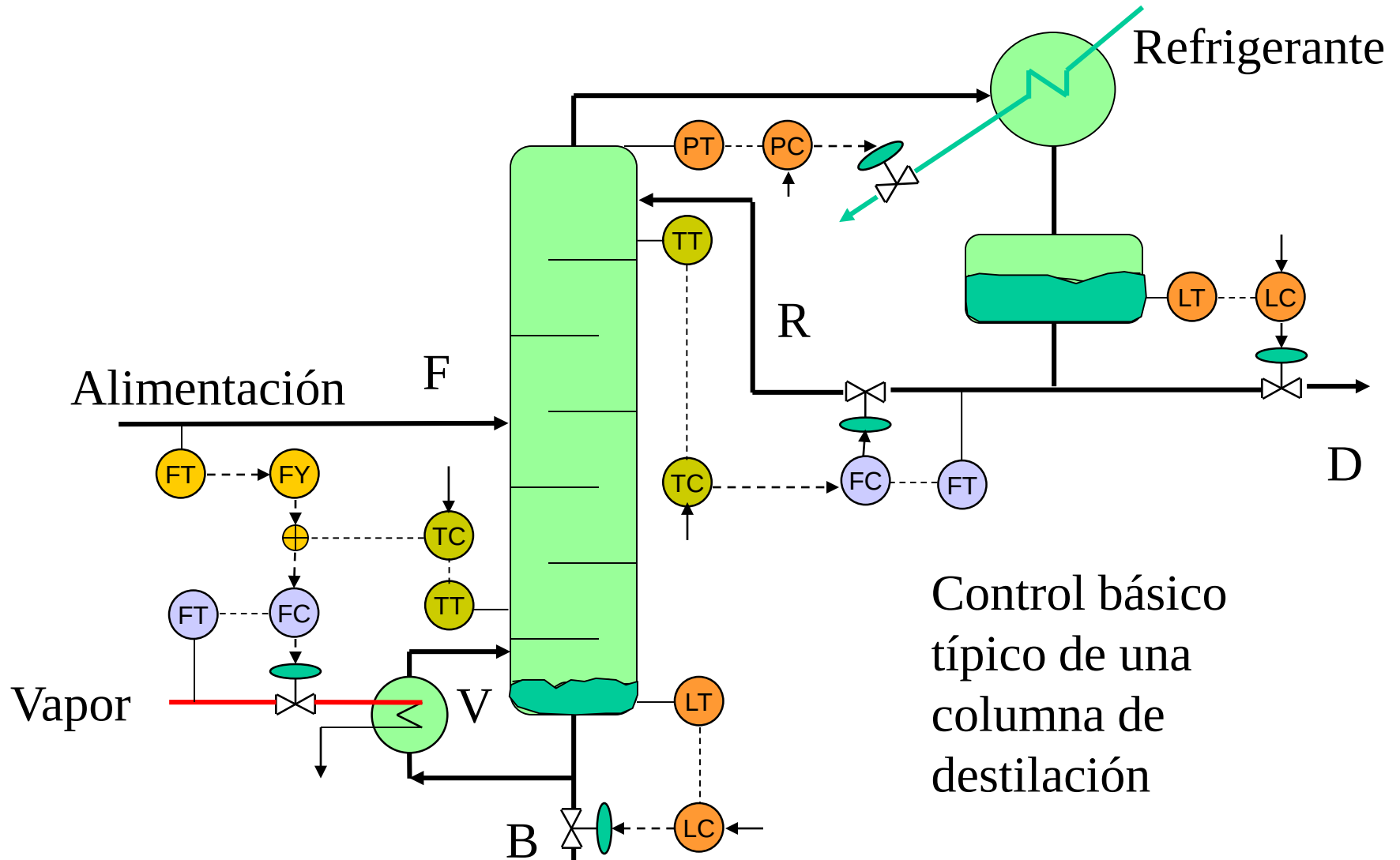


Debe incorporarse la dinámica del proceso
El modelo estático puede usarse en lugar de K_F

Cascade+Feedforward

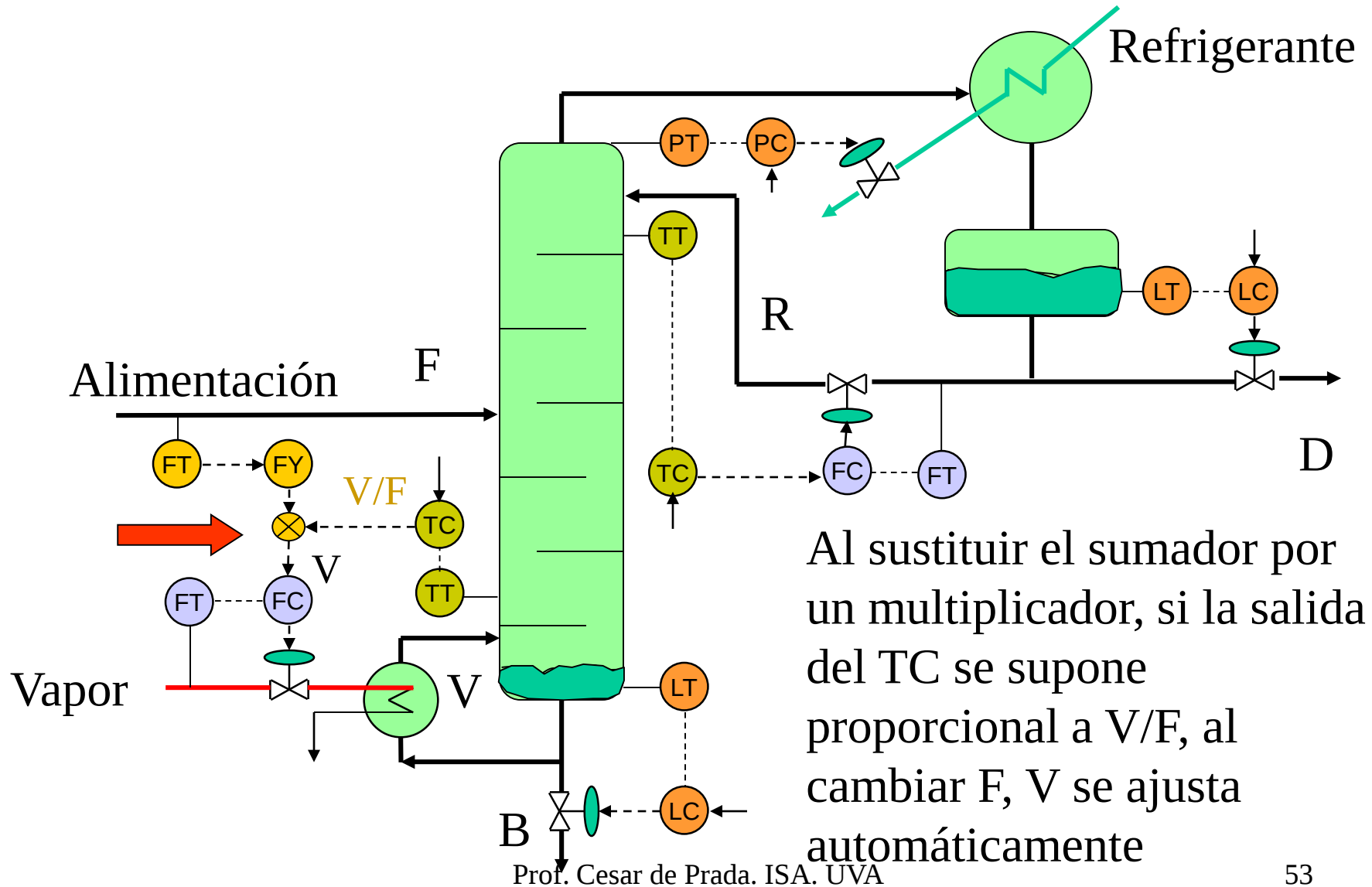


Feedforward cambio F

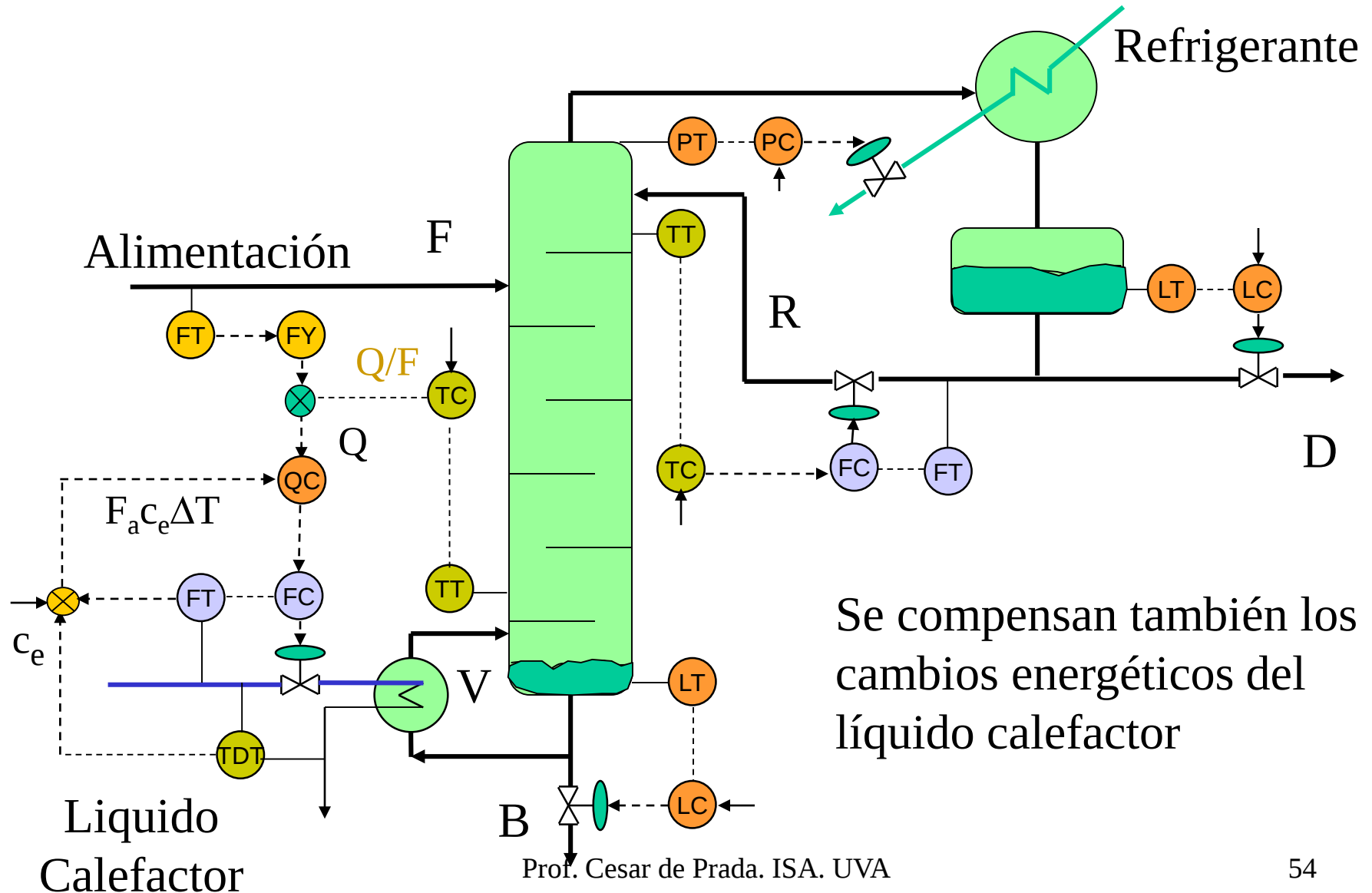


Control básico
típico de una
columna de
destilación

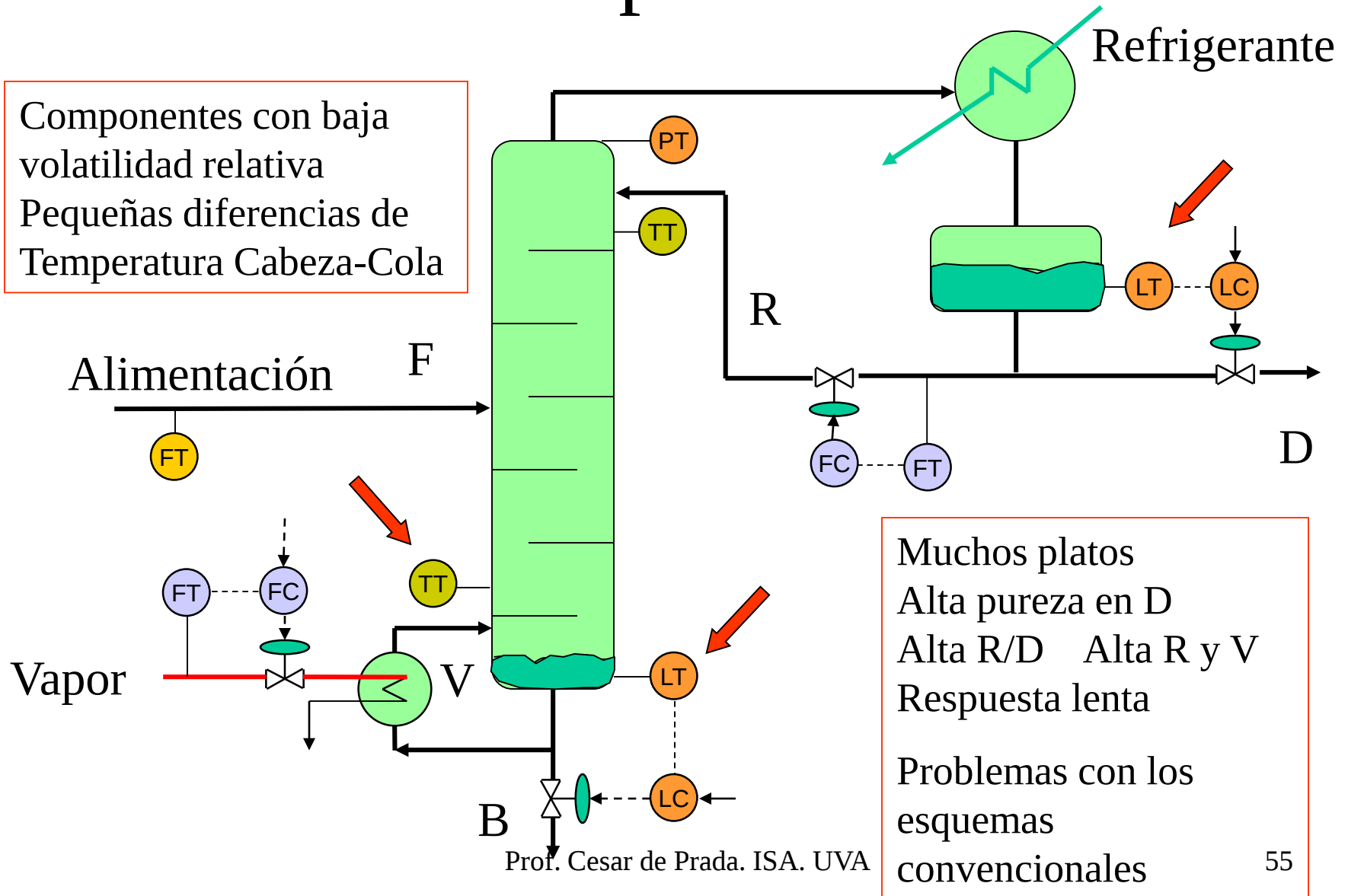
Feedforward cambio F



Feedforward cambio calefactor



Columna Superfraccionadora

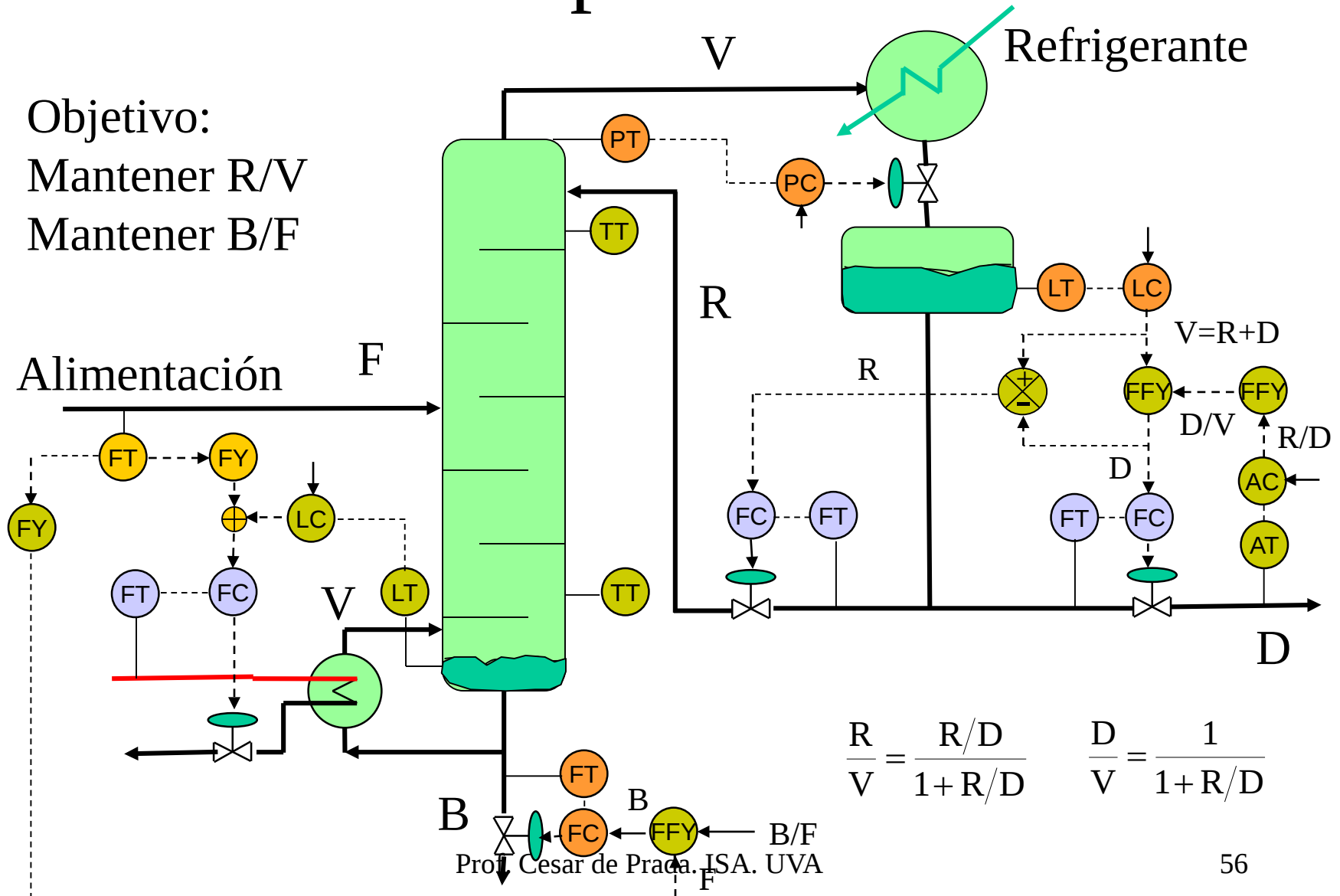


Columna Superfraccionadora

Objetivo:

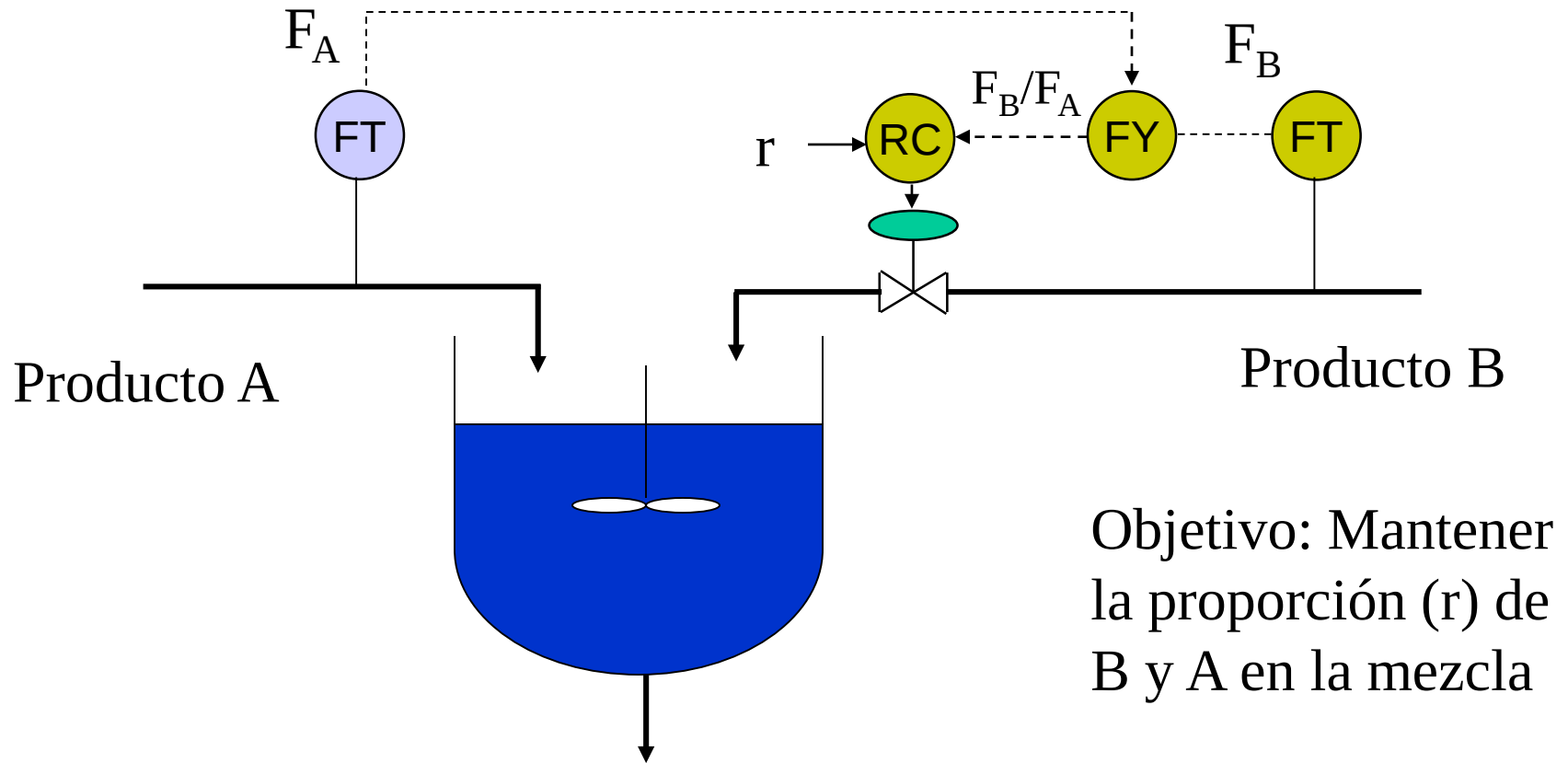
Mantener R/V

Mantener B/F

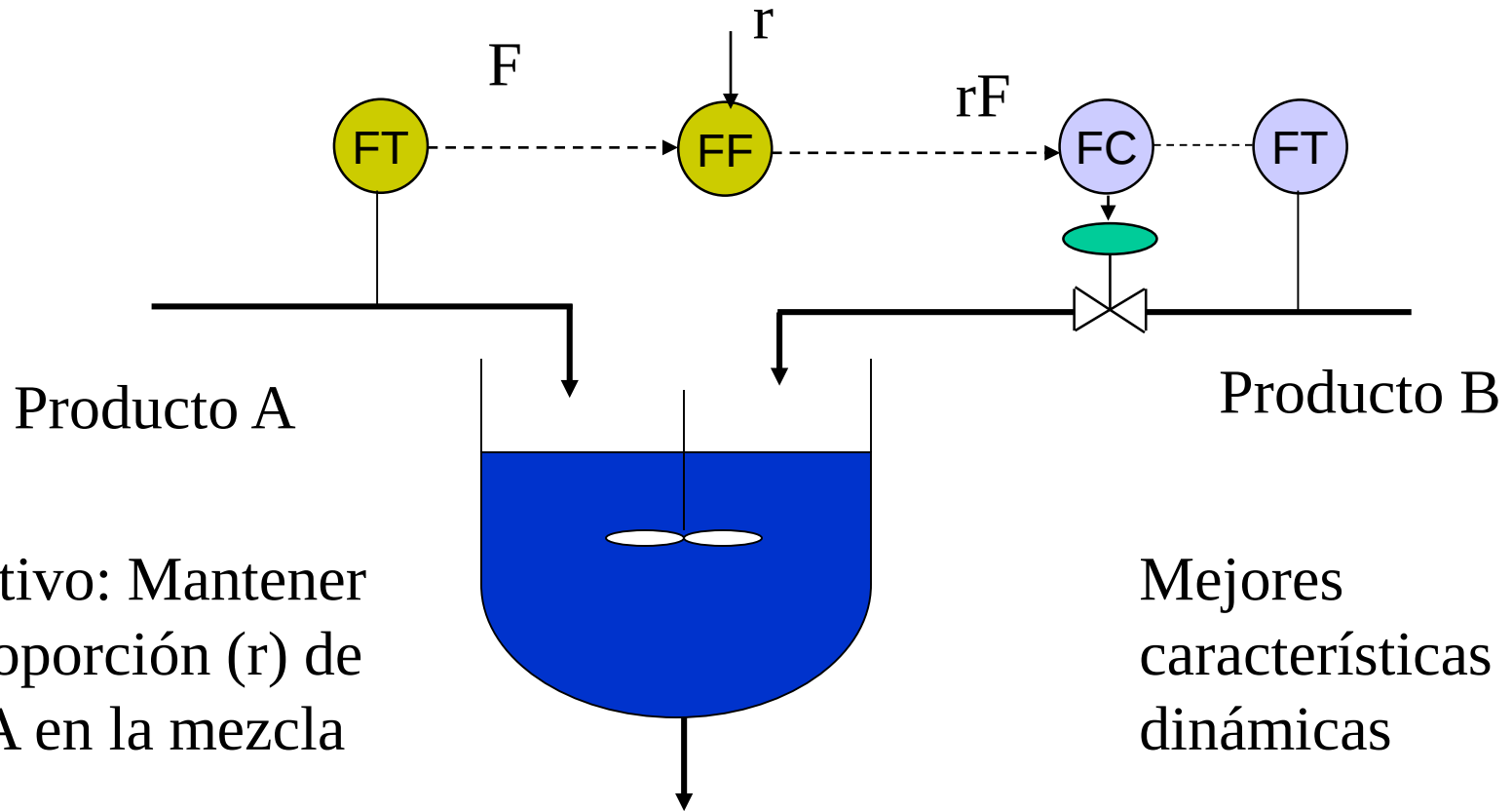


$$\frac{R}{V} = \frac{R/D}{1 + R/D} \quad \frac{D}{V} = \frac{1}{1 + R/D}$$

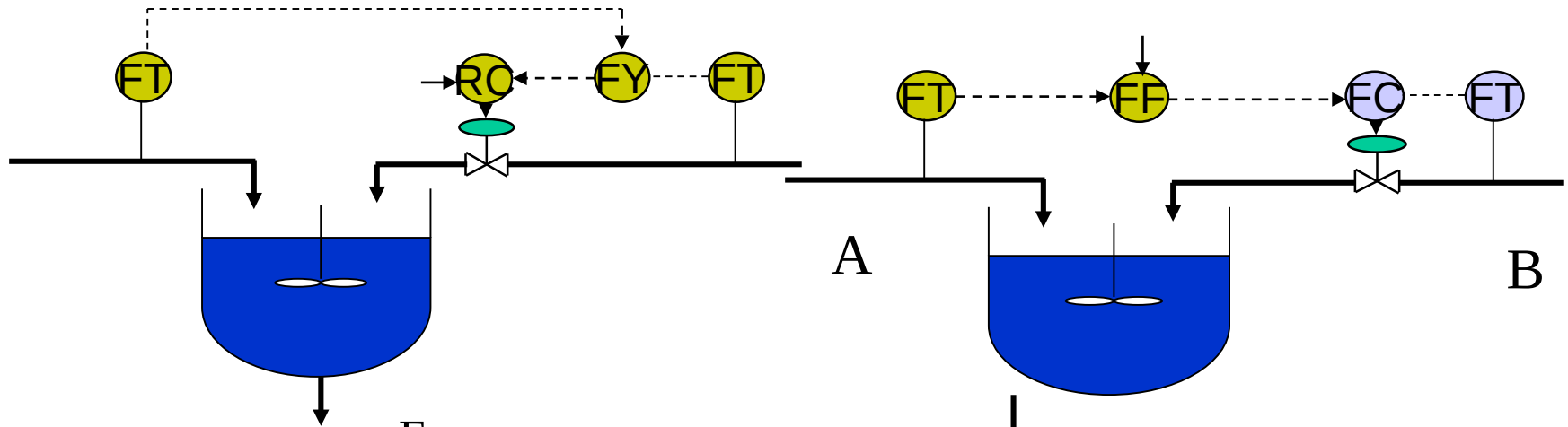
Control de proporciones



Control ratio



Control ratio/relación



$$r = \frac{F_B}{F_A}$$

Gan. variable

$$\frac{\partial r}{\partial F_A} = -\frac{F_B}{F_A^2}$$

$$\frac{\partial r}{\partial F_B} = \frac{1}{F_A}$$

Variable controlada

Gan. perturbación

Gan. Var. manipulada

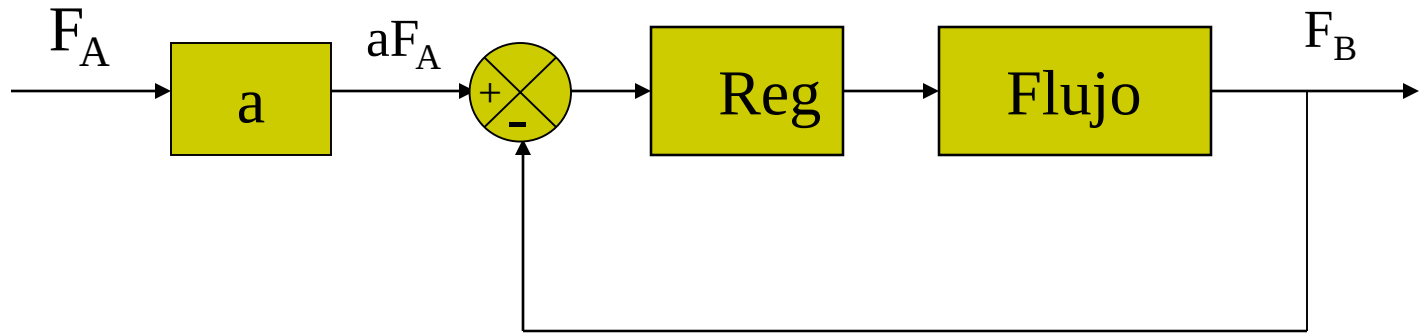
$$F_B = rF_A$$

$$\frac{\partial F_B}{\partial F_A} = r$$

$$\frac{\partial F_B}{\partial F_B} = 1$$

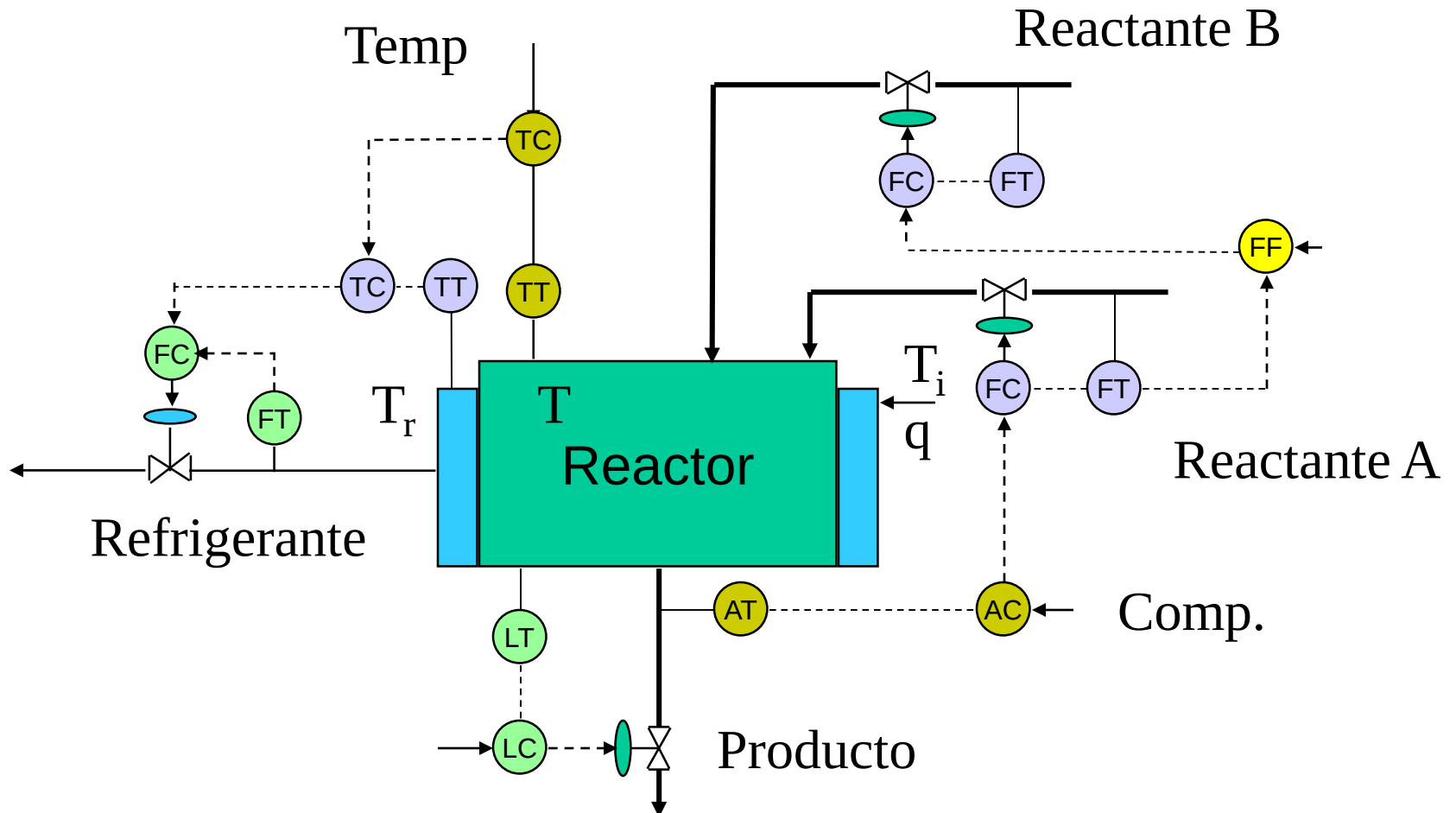
Gan. cte

Diagrama de bloques

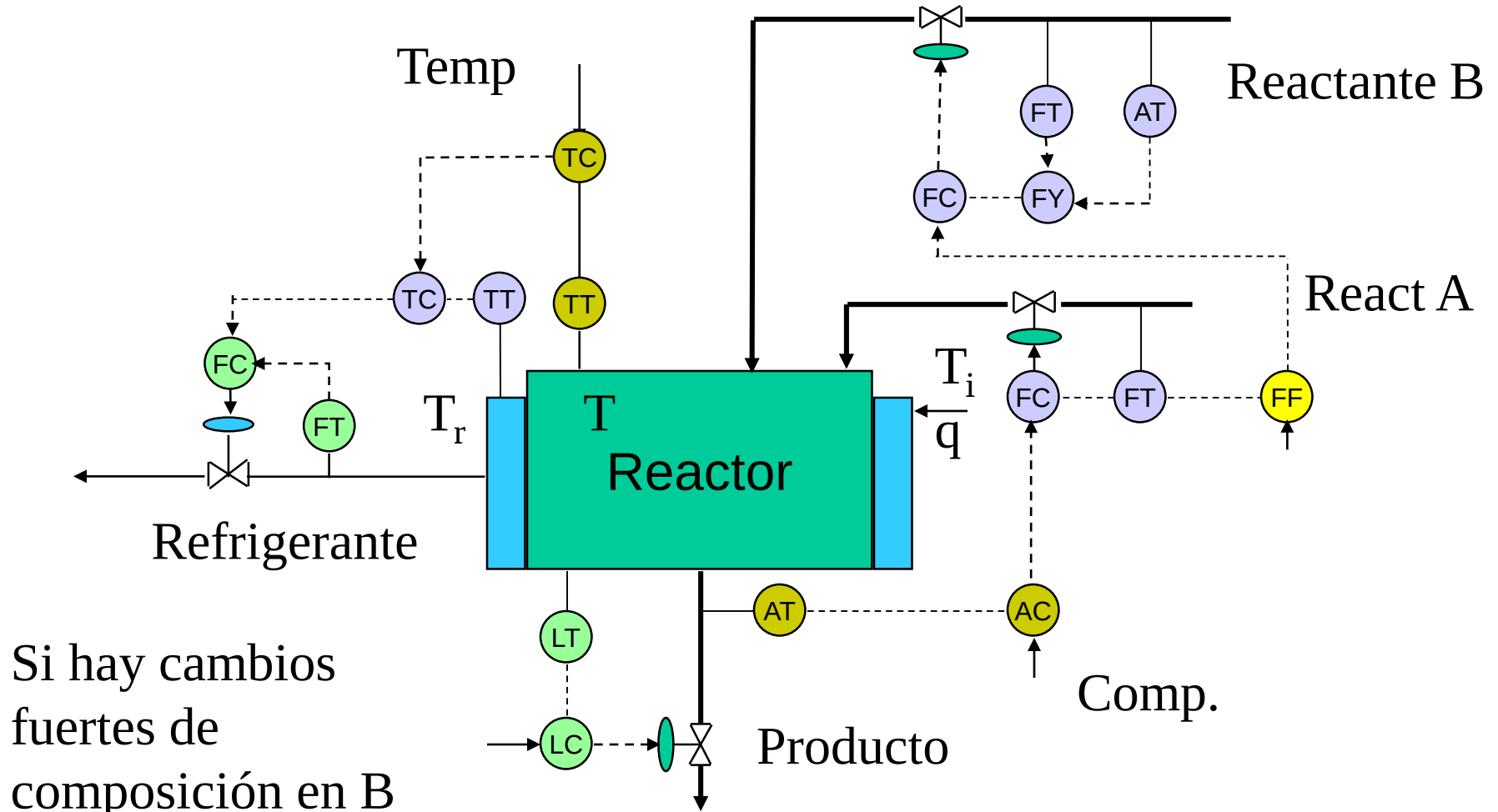


Se fija la consigna del lazo de control de flujo F_B en proporción al flujo medido F_A

Control de un reactor

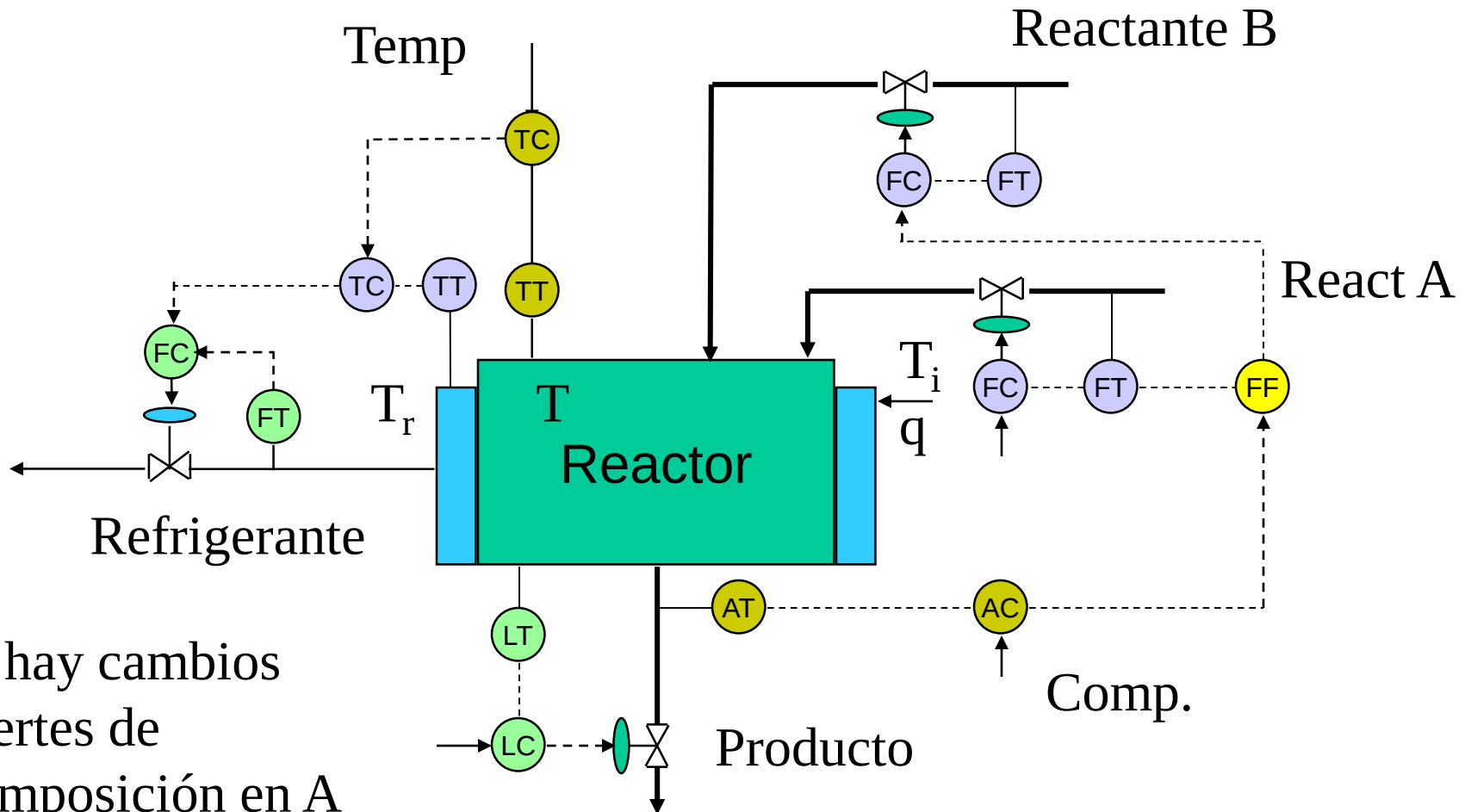


Control de un reactor



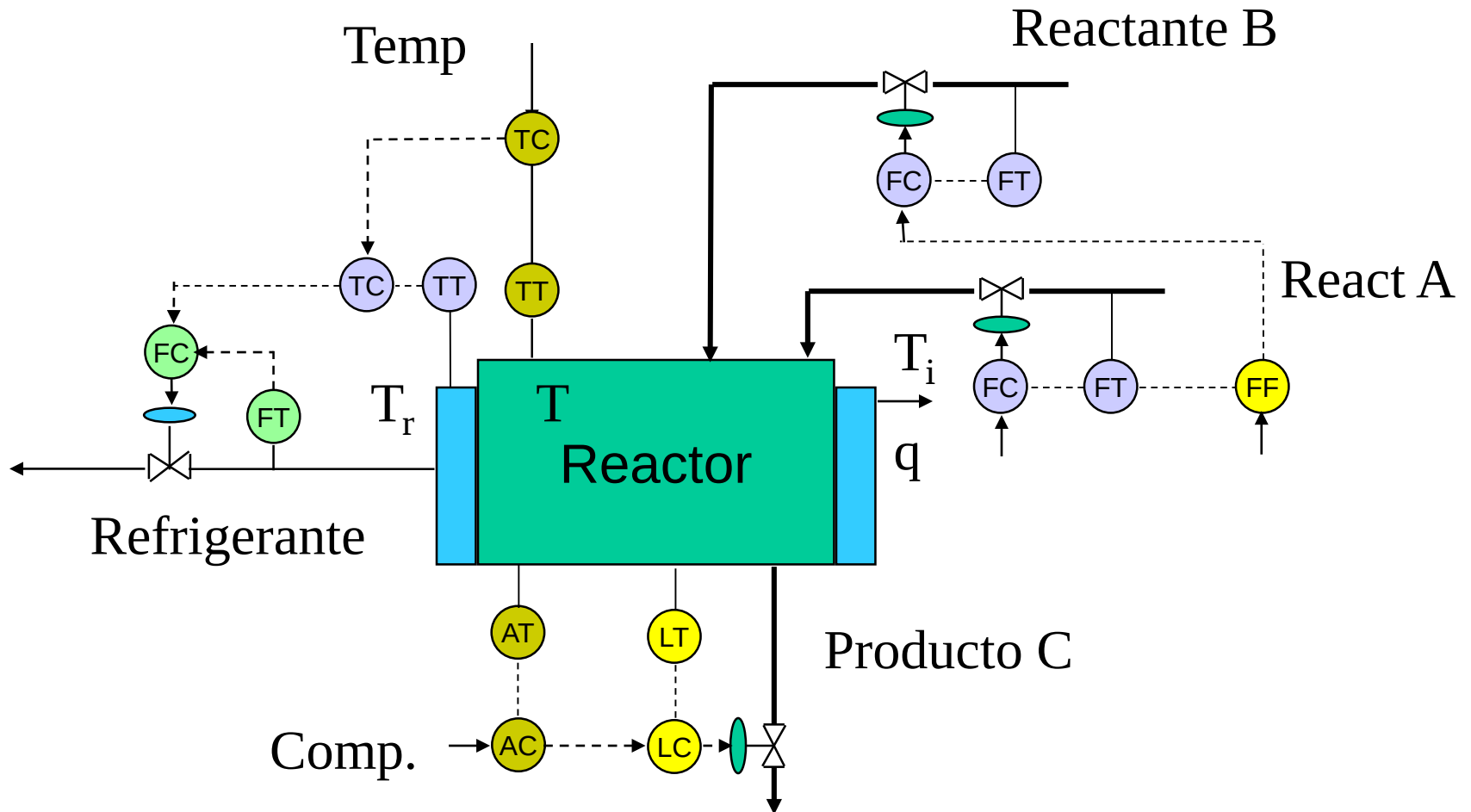
Si hay cambios fuertes de composición en B

Control de un reactor

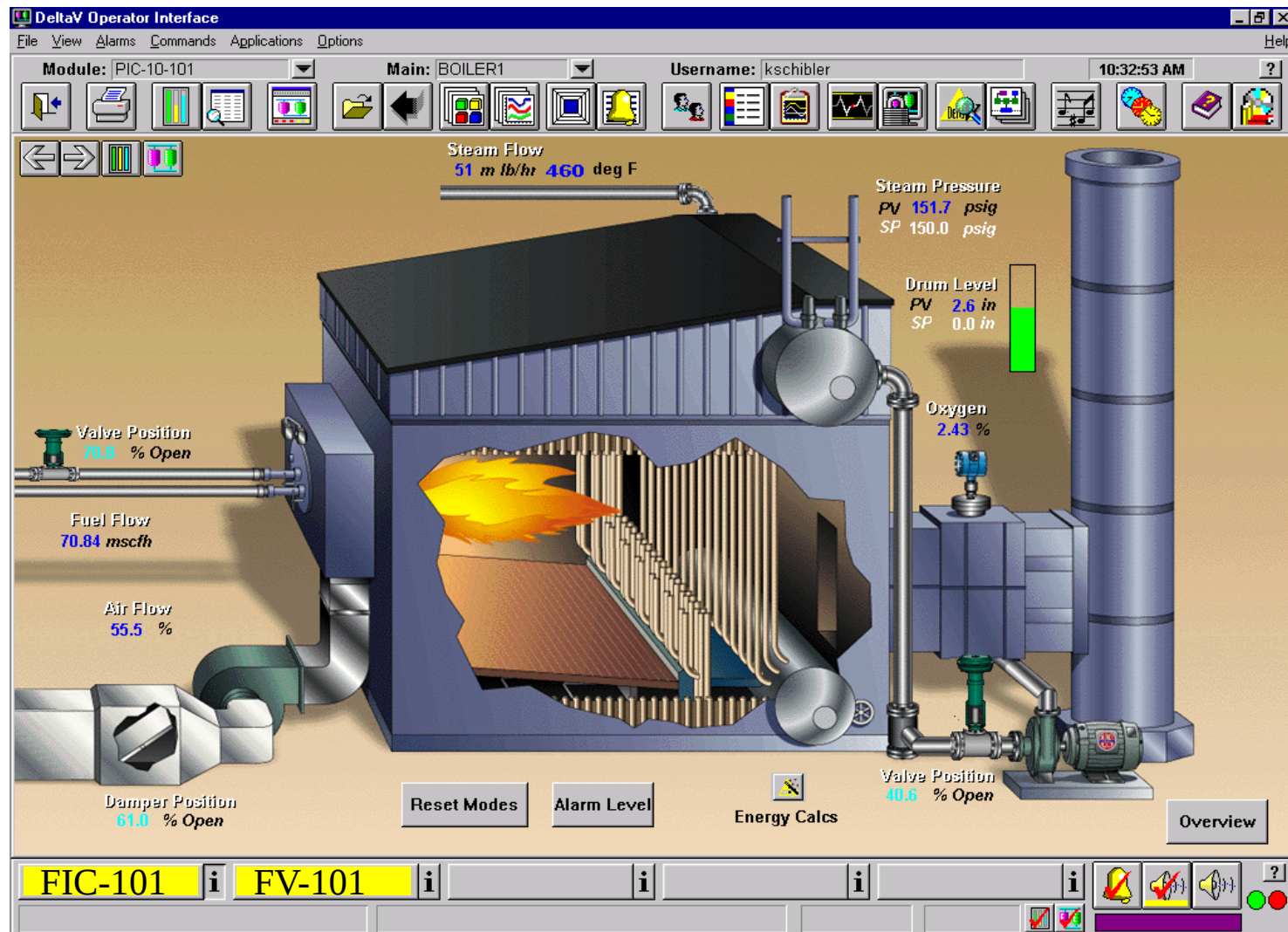


Si hay cambios fuertes de composición en A o B no medibles

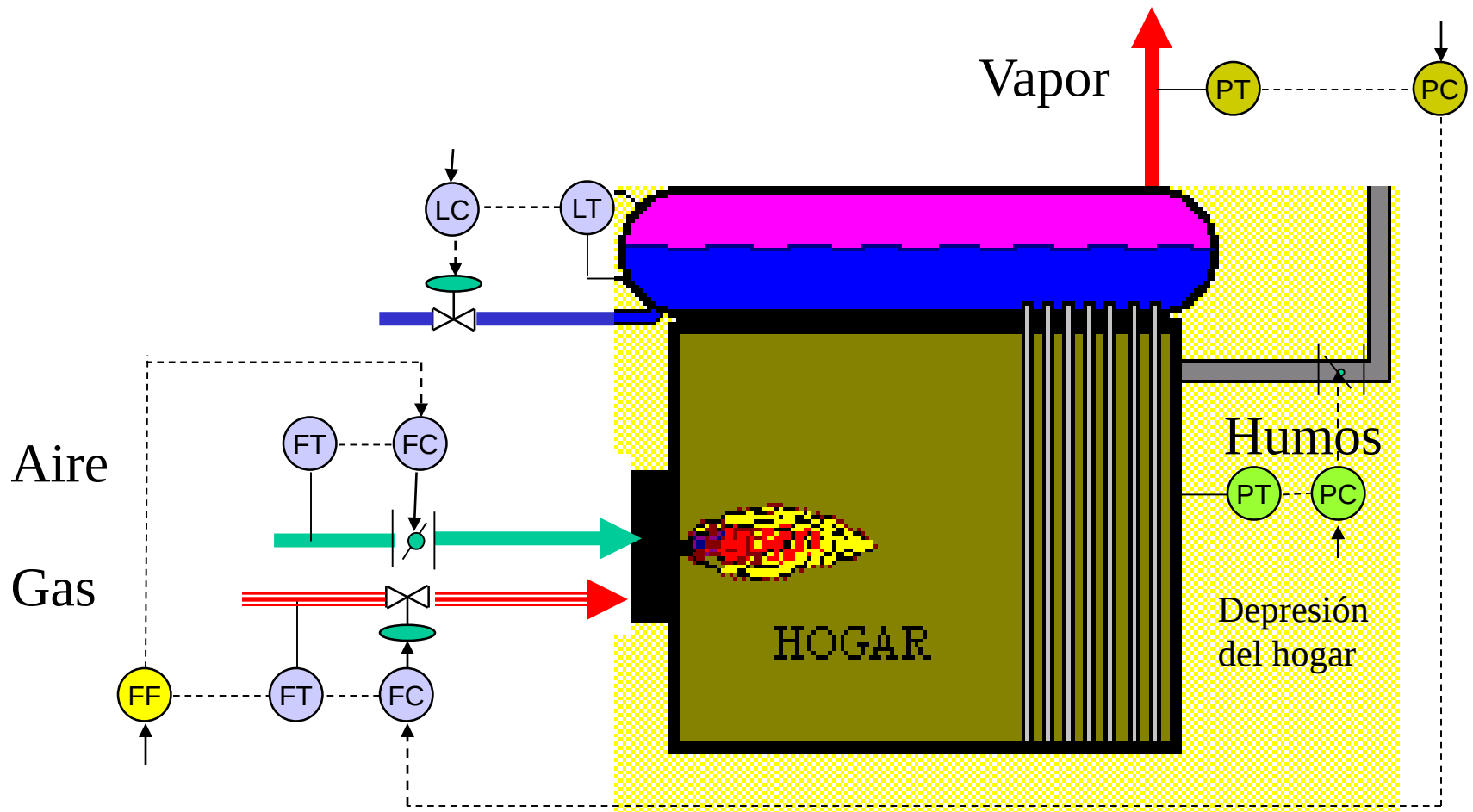
Control de un reactor



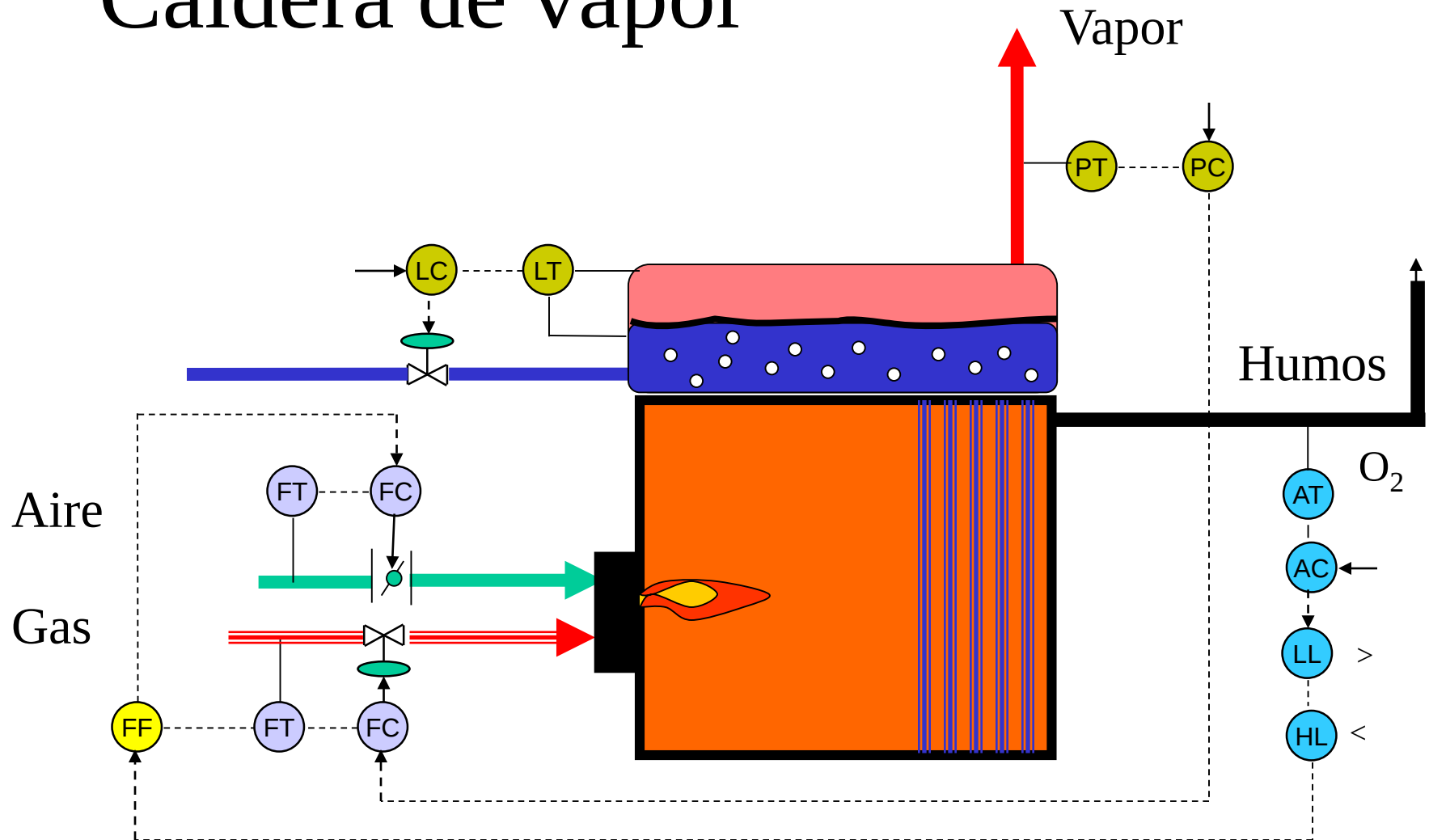
Caldera de vapor



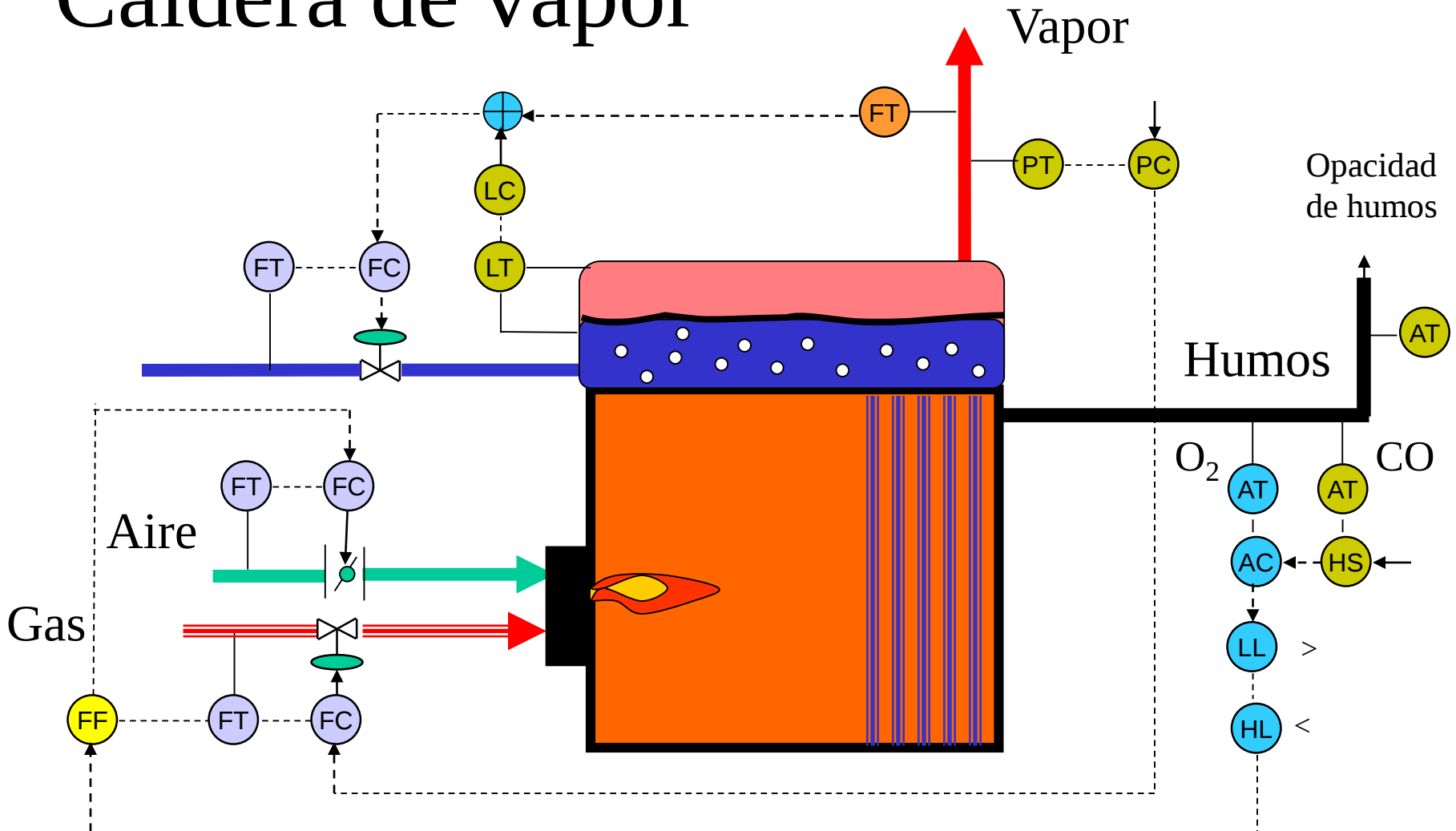
Caldera de vapor



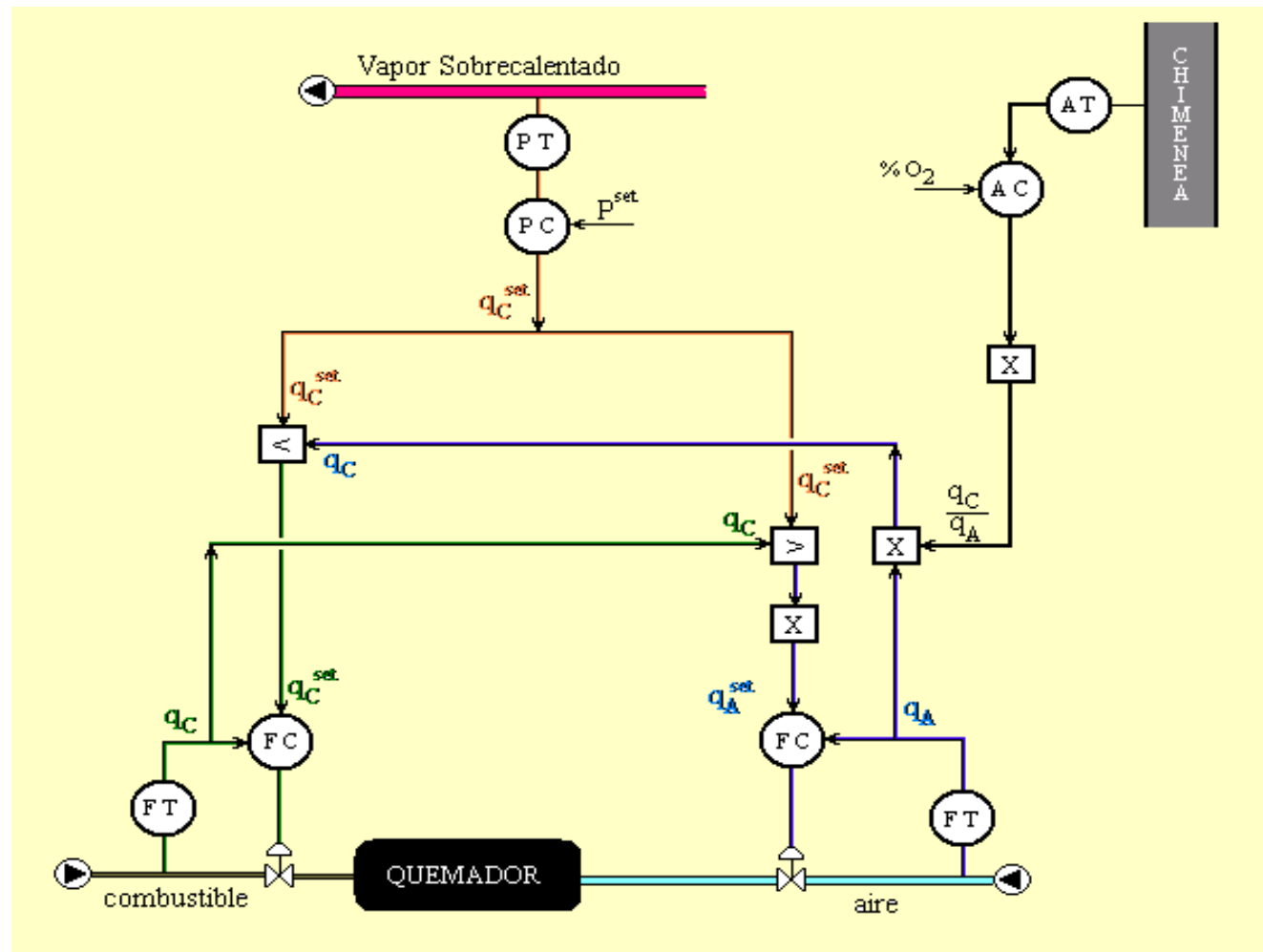
Caldera de vapor



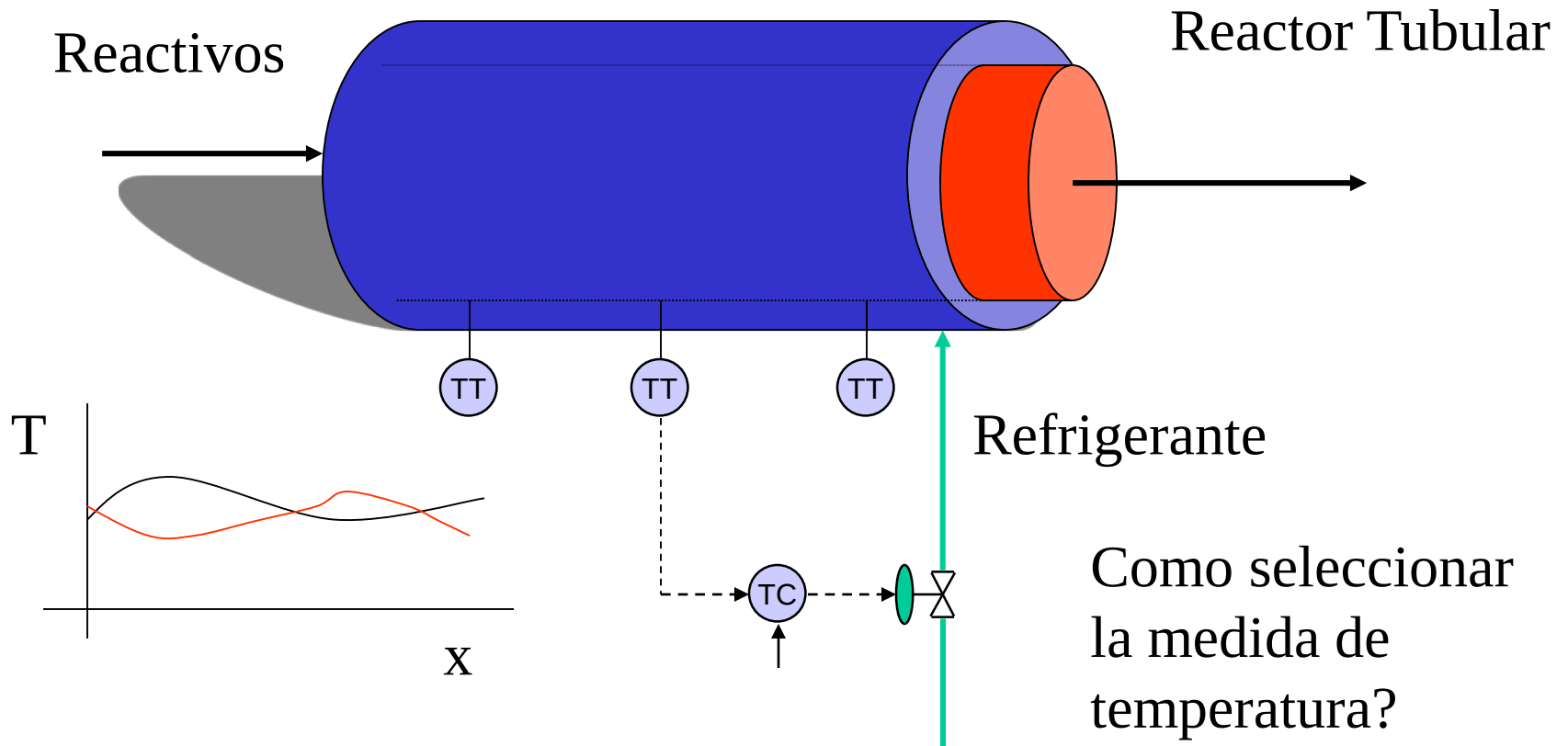
Caldera de vapor



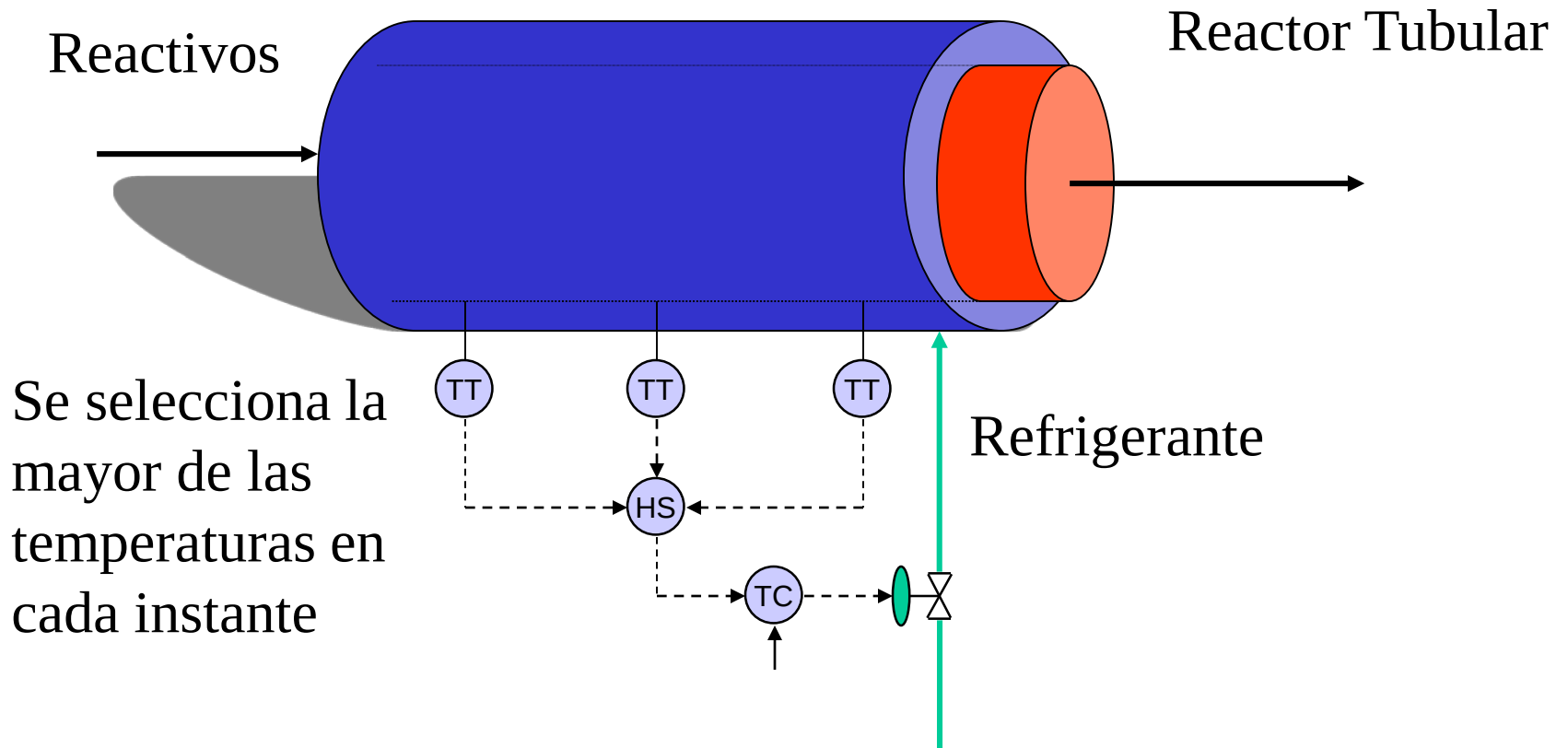
Seguridad / Fuel/Aire



Control Selectivo

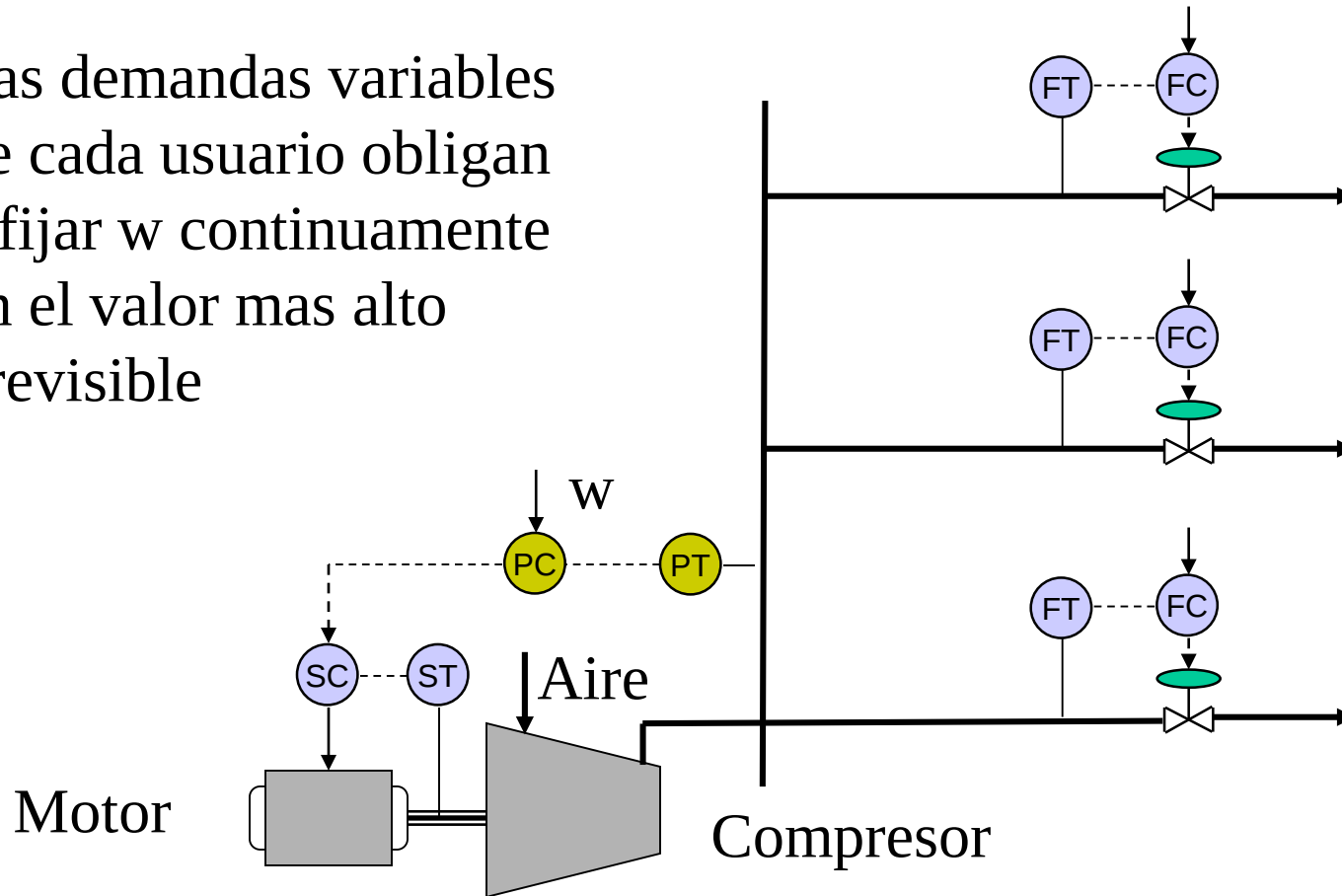


Control Selectivo



Control Selectivo

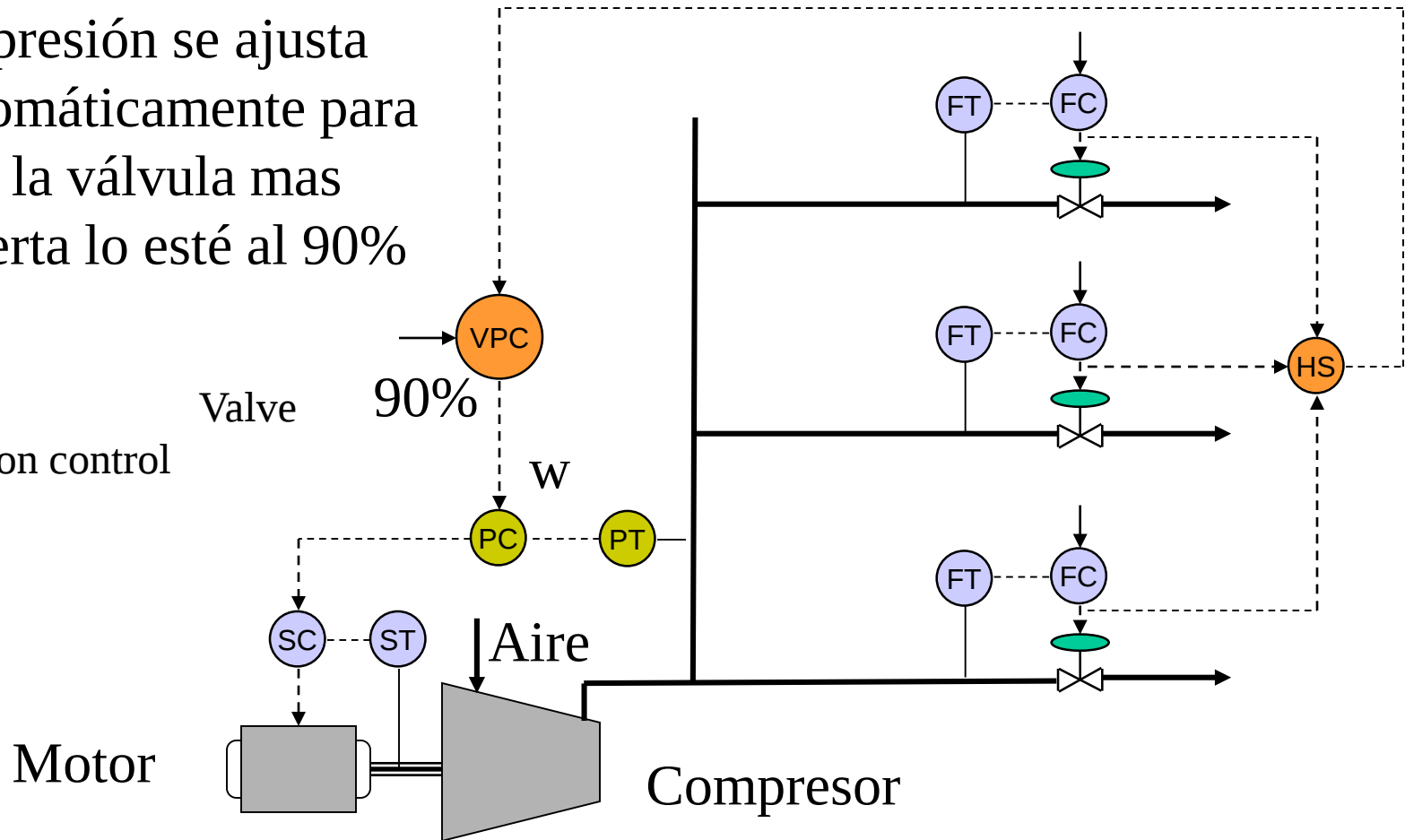
Las demandas variables de cada usuario obligan a fijar w continuamente en el valor mas alto previsible



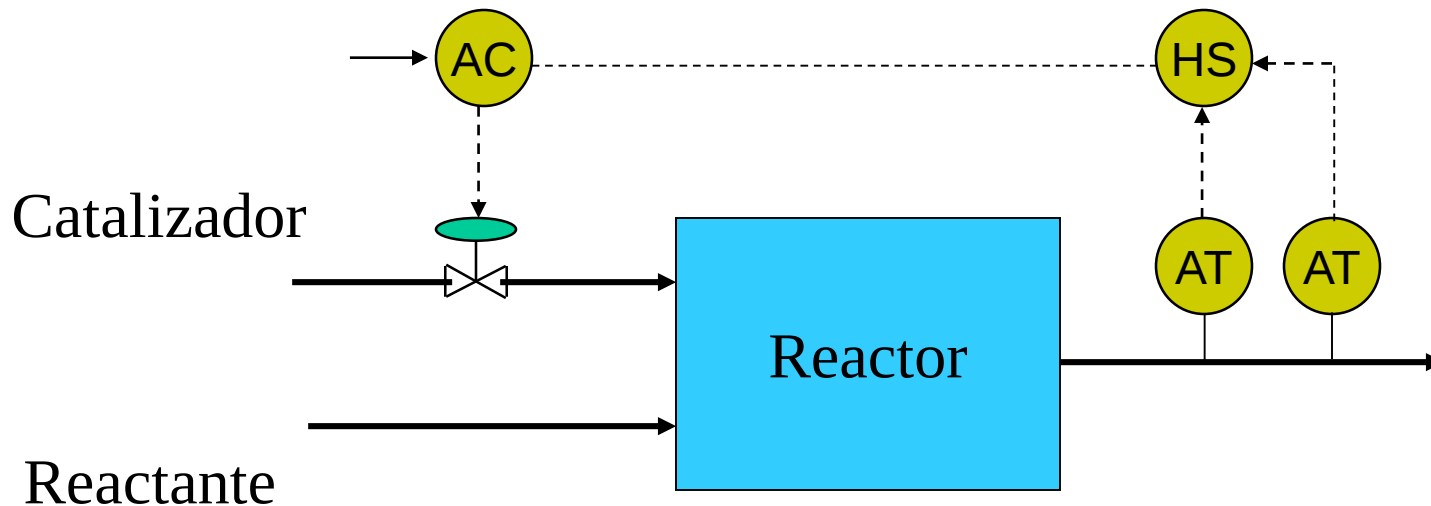
Control Selectivo / VPC

La presión se ajusta automáticamente para que la válvula mas abierta lo esté al 90%

VPC:
position control

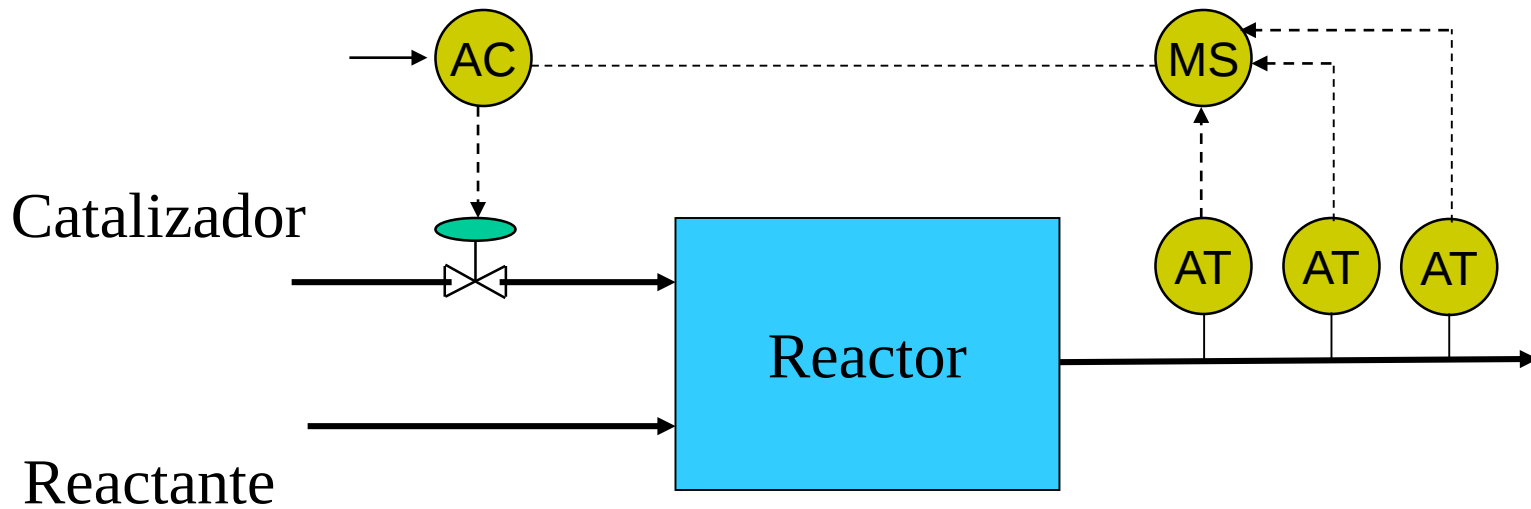


Control selectivo / Seguridad

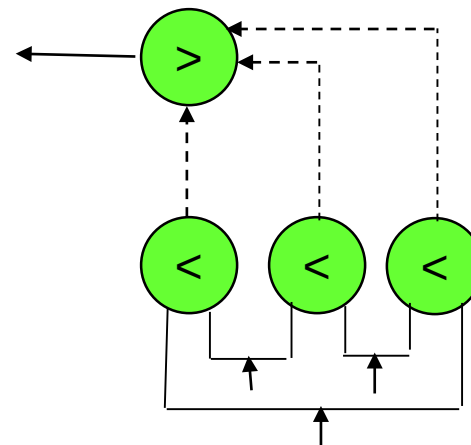


Ante un fallo (lectura a cero) en un analizador se mantiene la señal del otro al controlador. En un fallo de lectura a 100% el controlador (AC) pararía la planta

Control selectivo / Seguridad

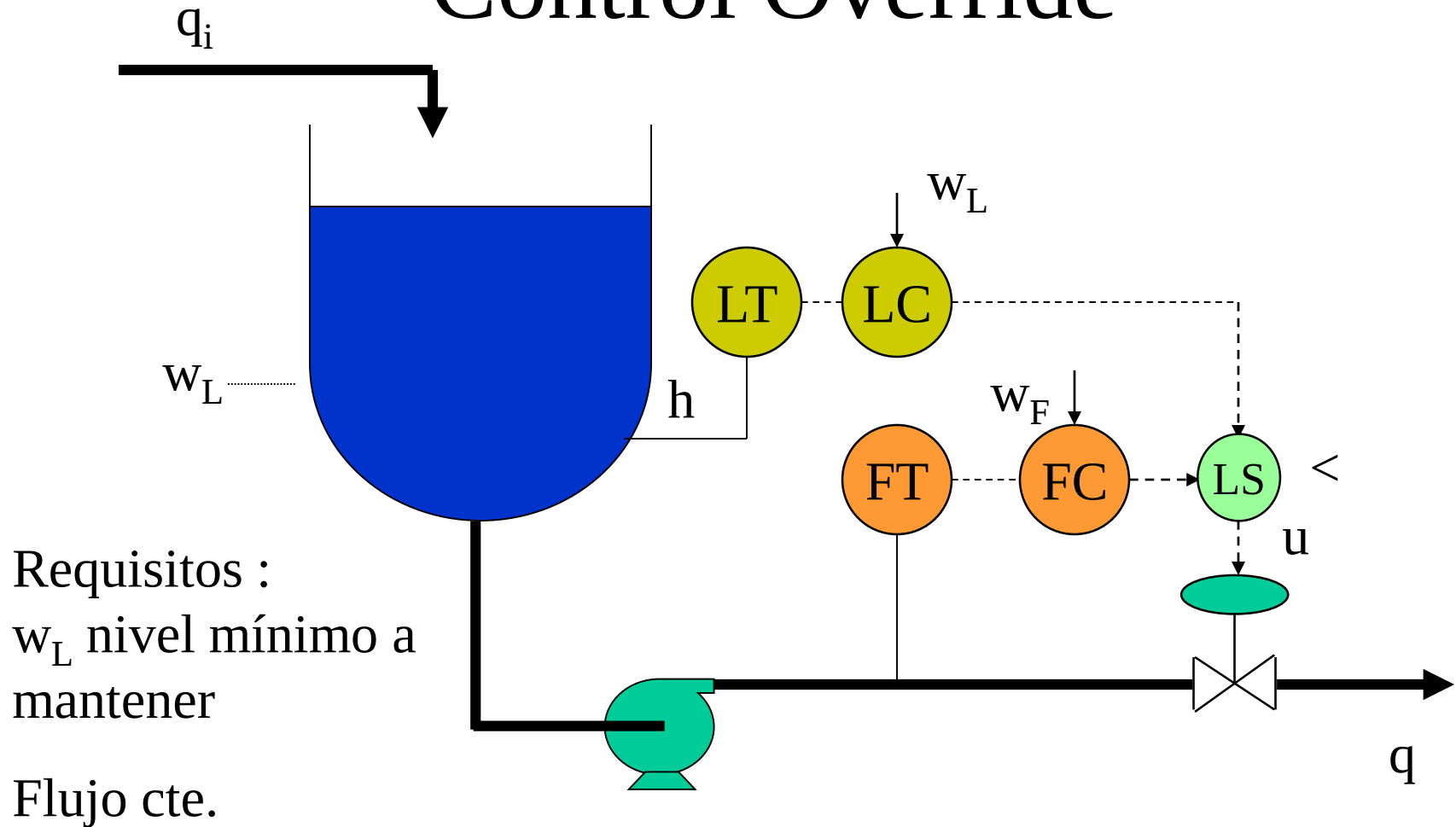


Otra opción es utilizar políticas de 2 contra uno, o de selección del valor medio

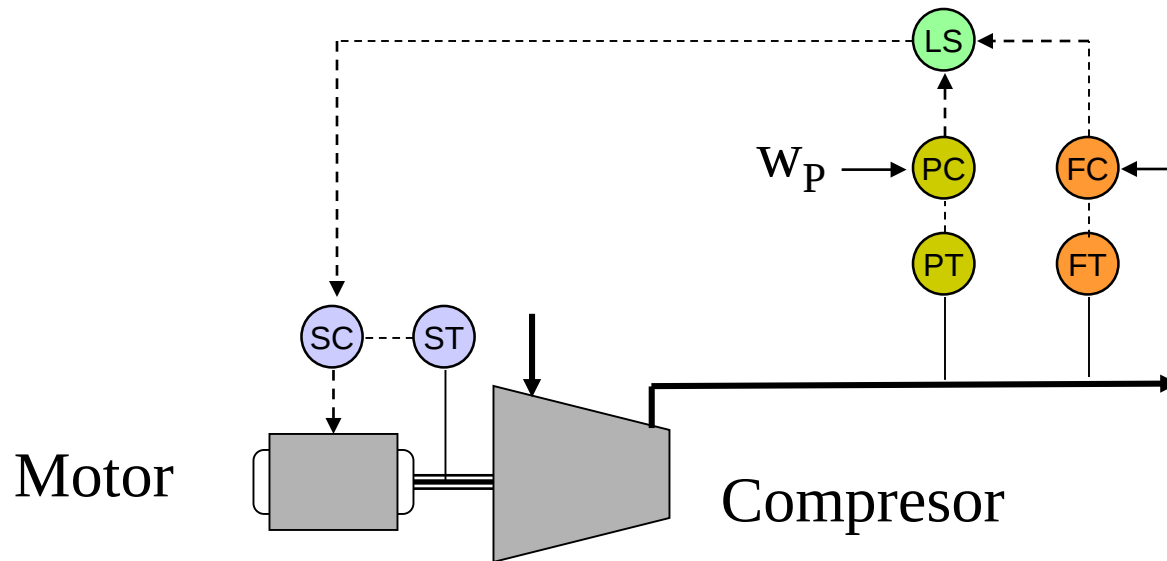


Selector de valor medio

Control Override

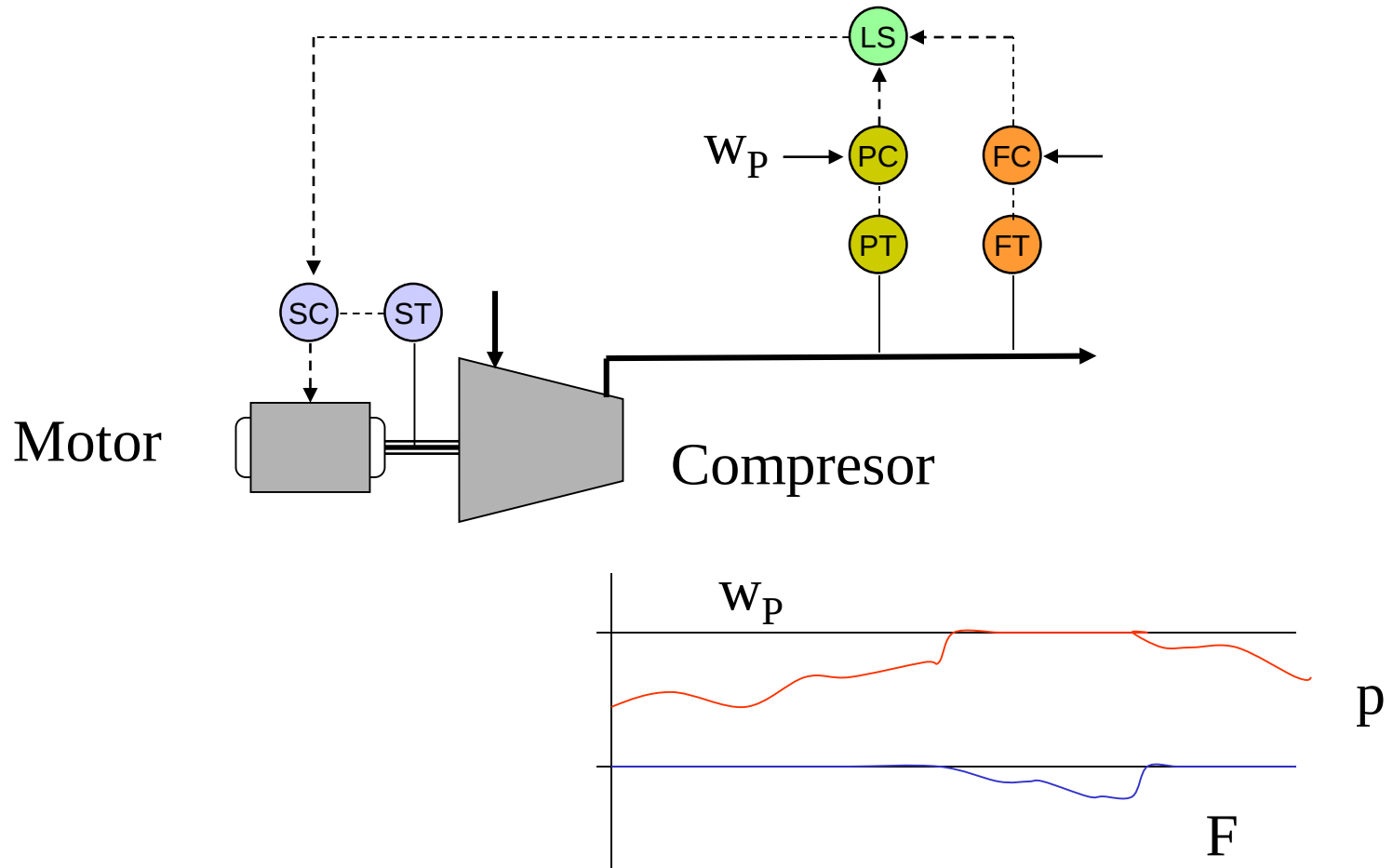


Control override



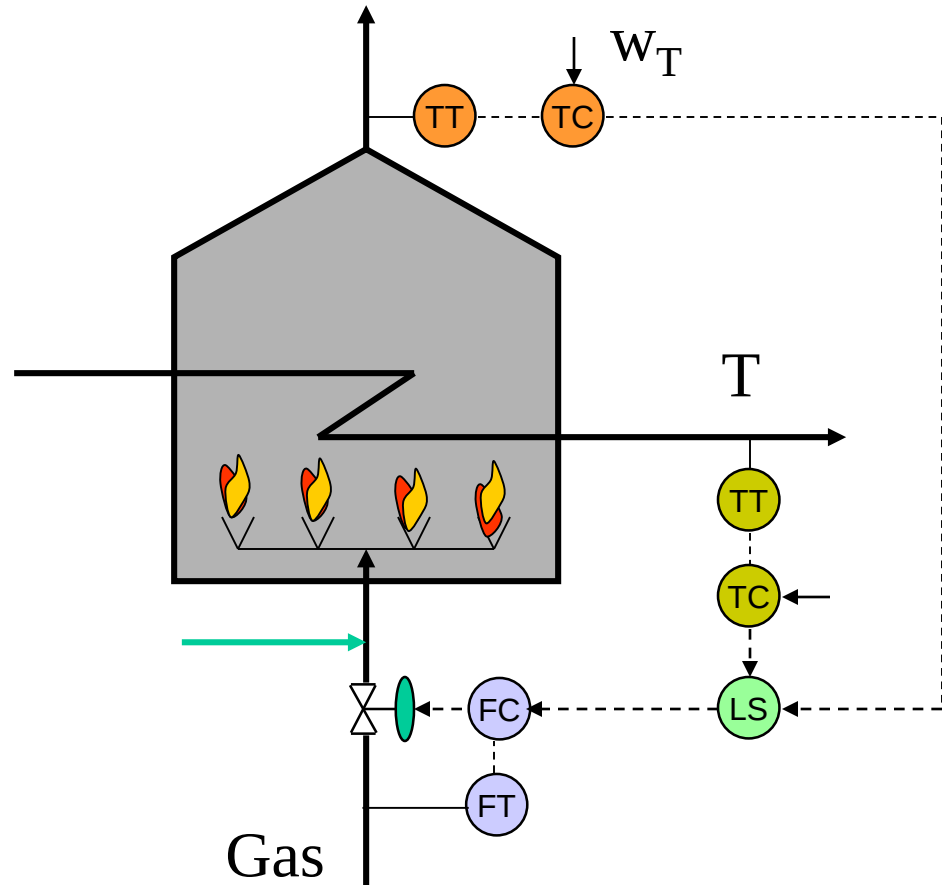
Requisitos: Flujo tan constante como sea posible, sin que se sobrepase una presión máxima w_p en la línea a pesar de las demandas variables

Control override



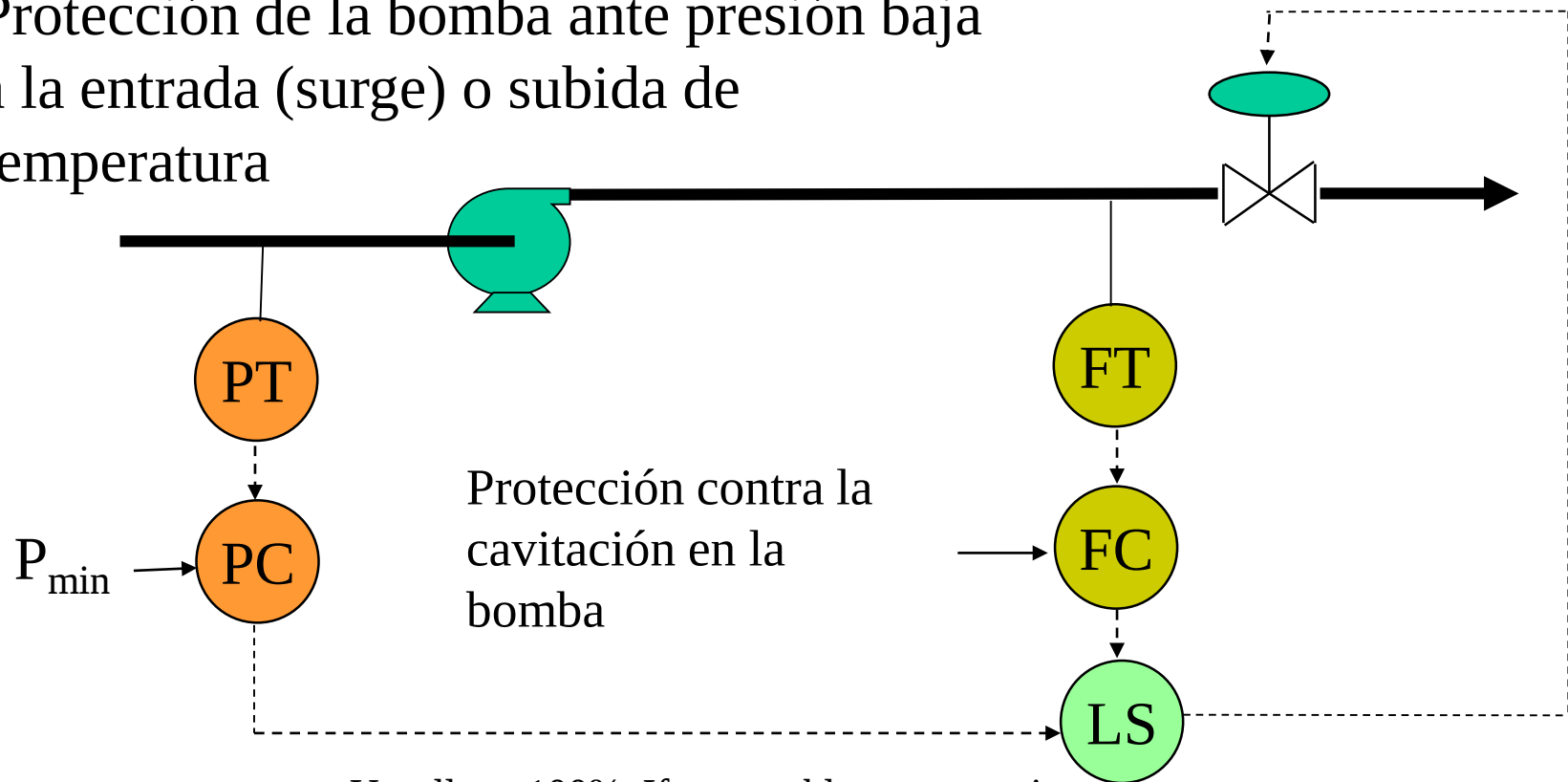
Control Override

Mantener la temperatura T sin que se sobrepase una temperatura máxima w_T en los humos del horno



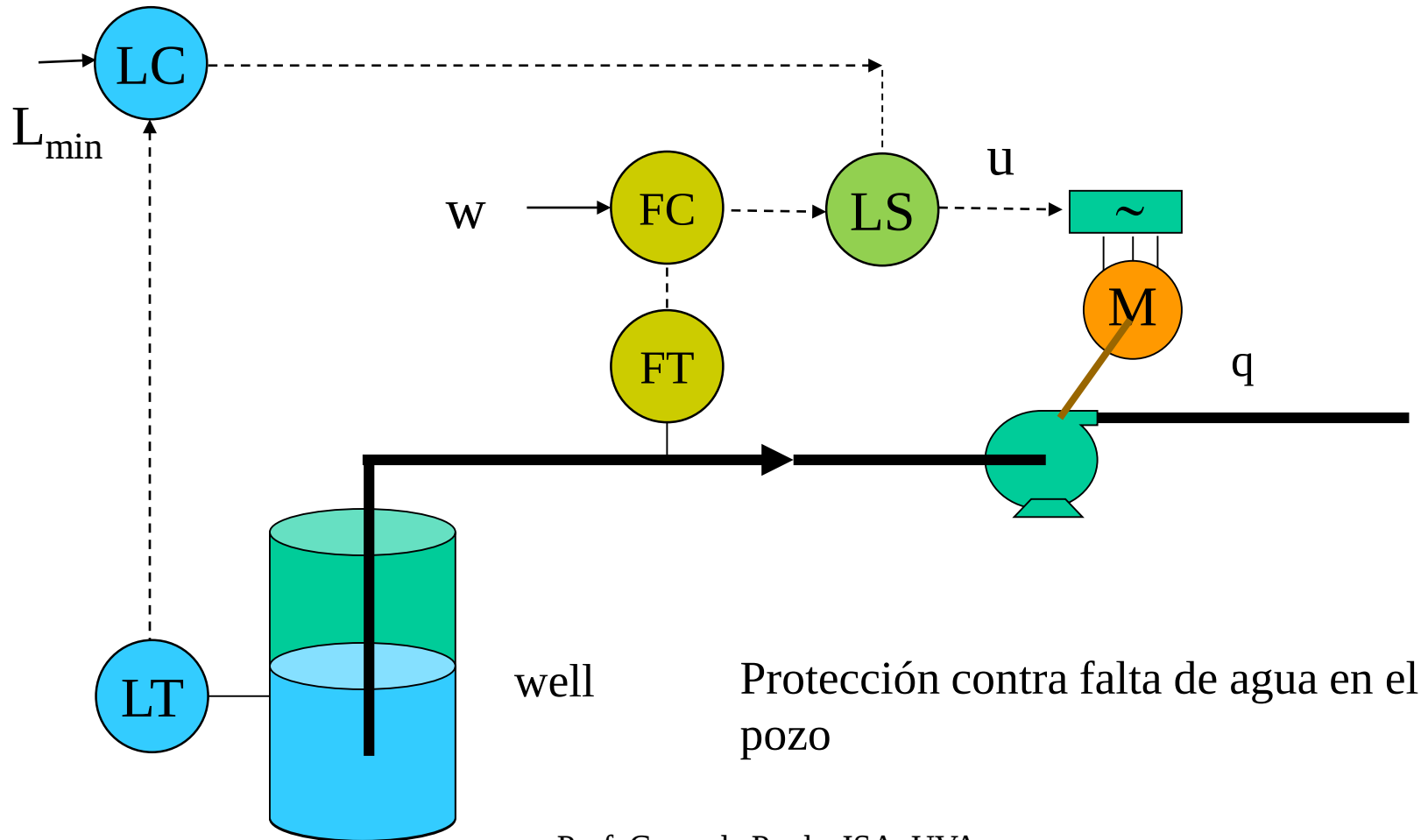
Control override

Protección de la bomba ante presión baja a la entrada (surge) o subida de temperatura

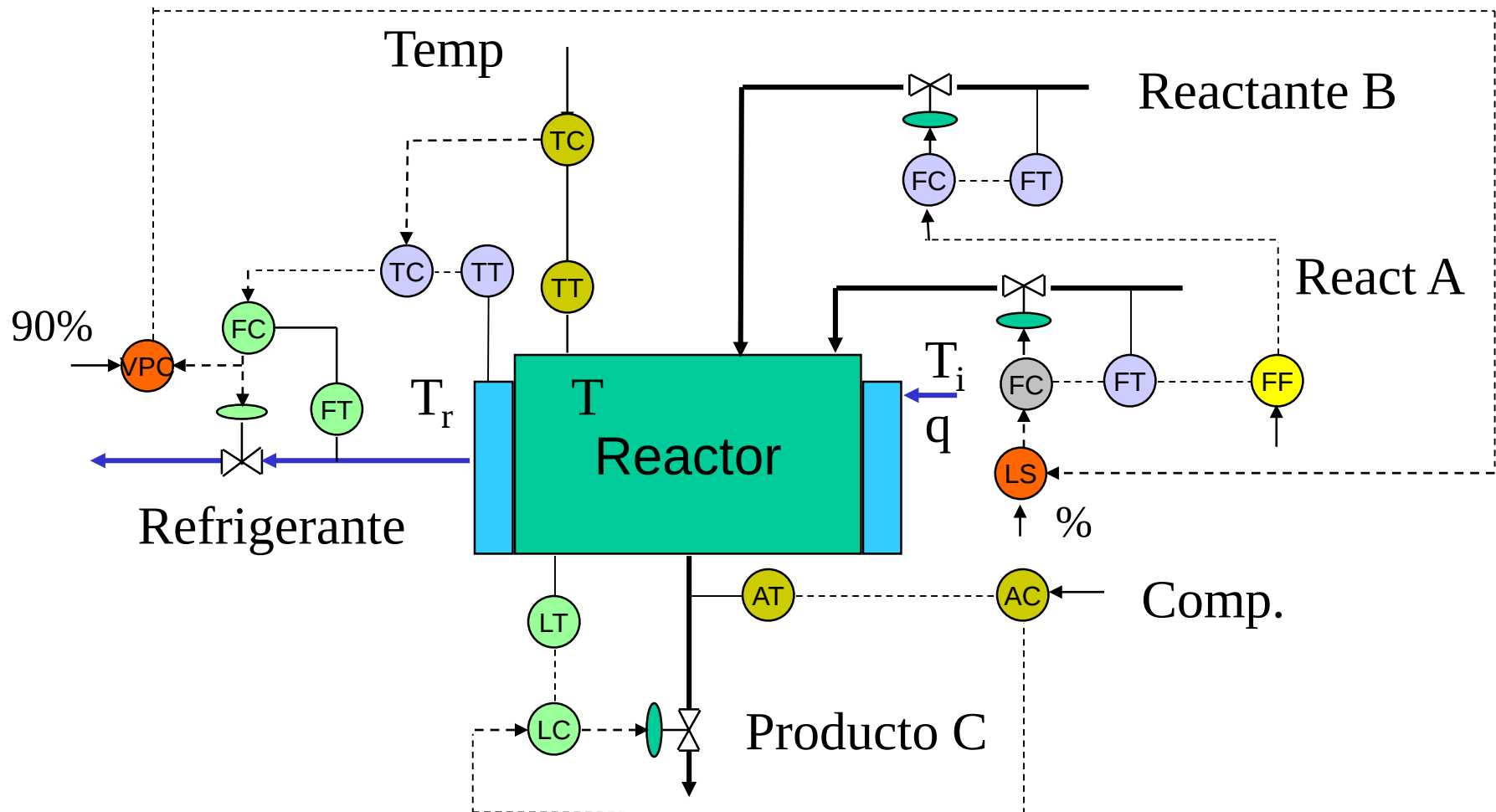


Usually at 100%. If any problem appears it will decrease until the controller overrides the FC

Control override

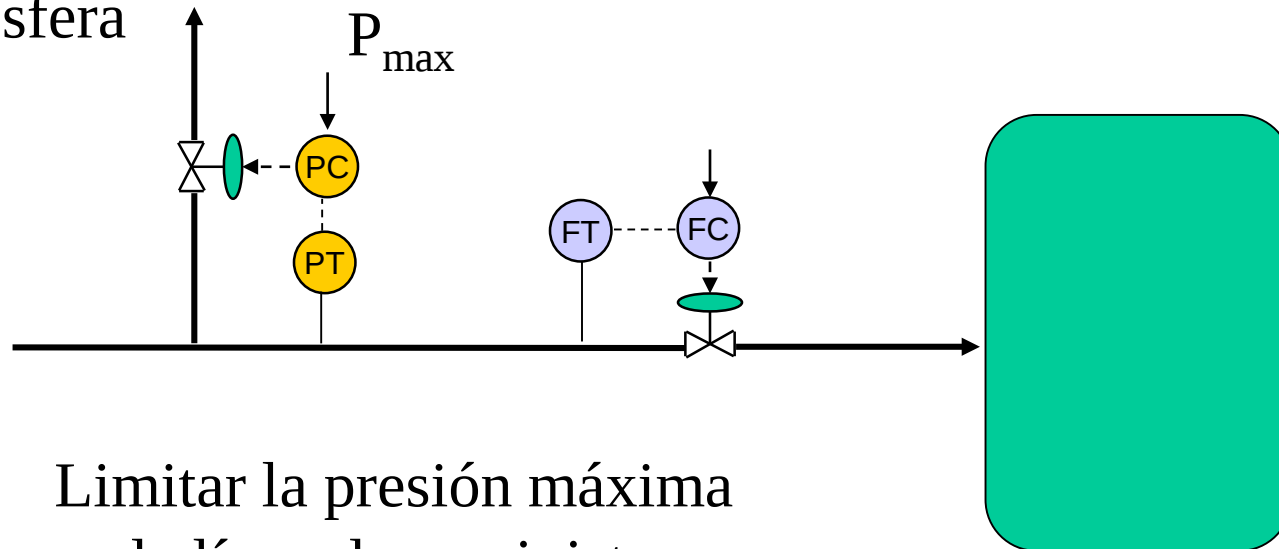


Reactor: límite de producción



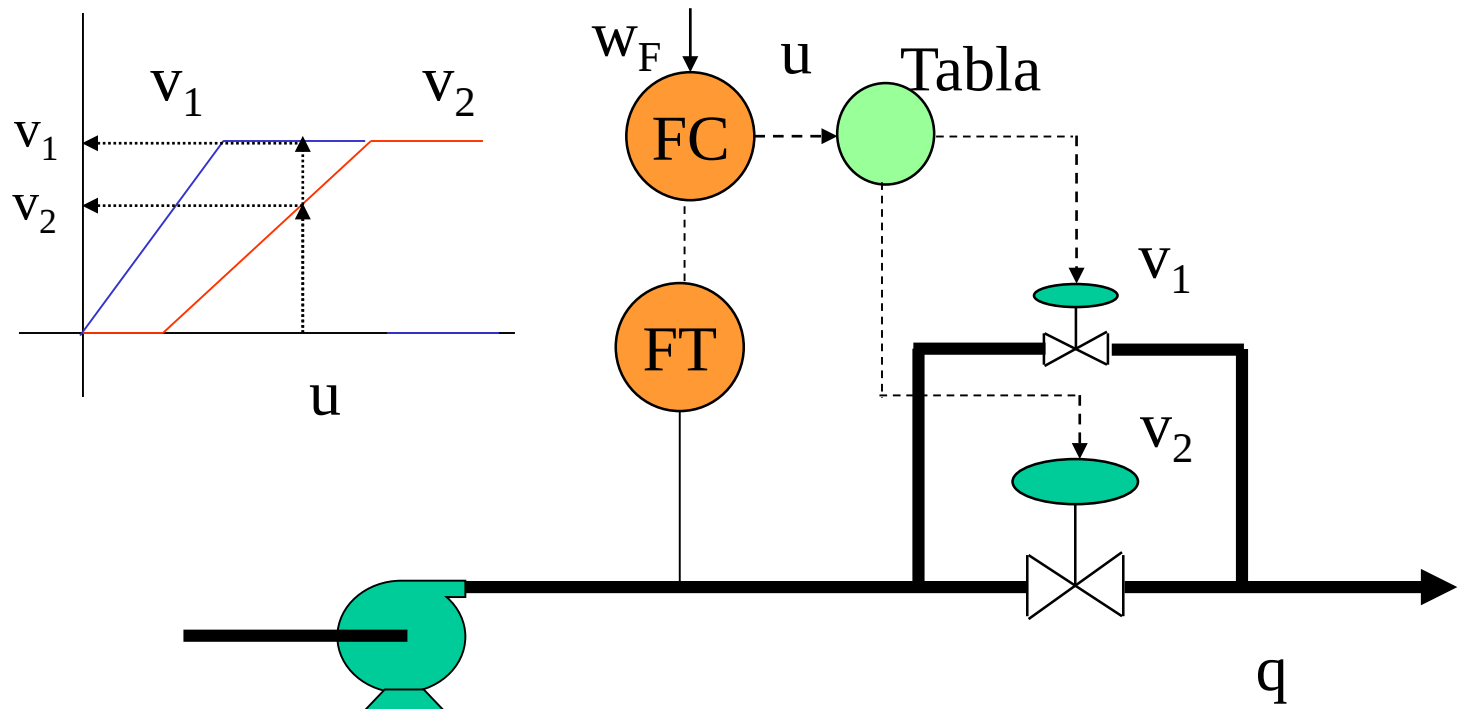
Seguridad

A la
atmósfera

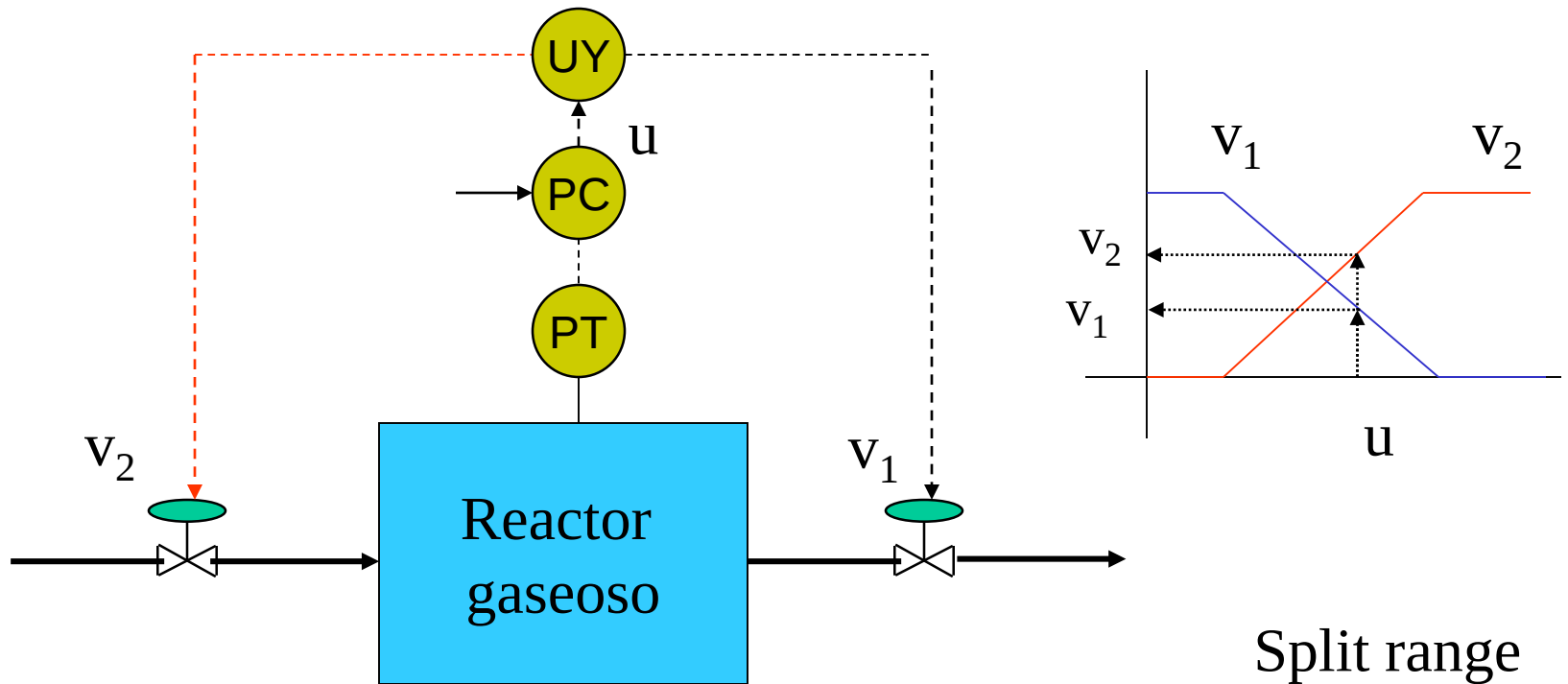


Limitar la presión máxima
en la línea de suministro

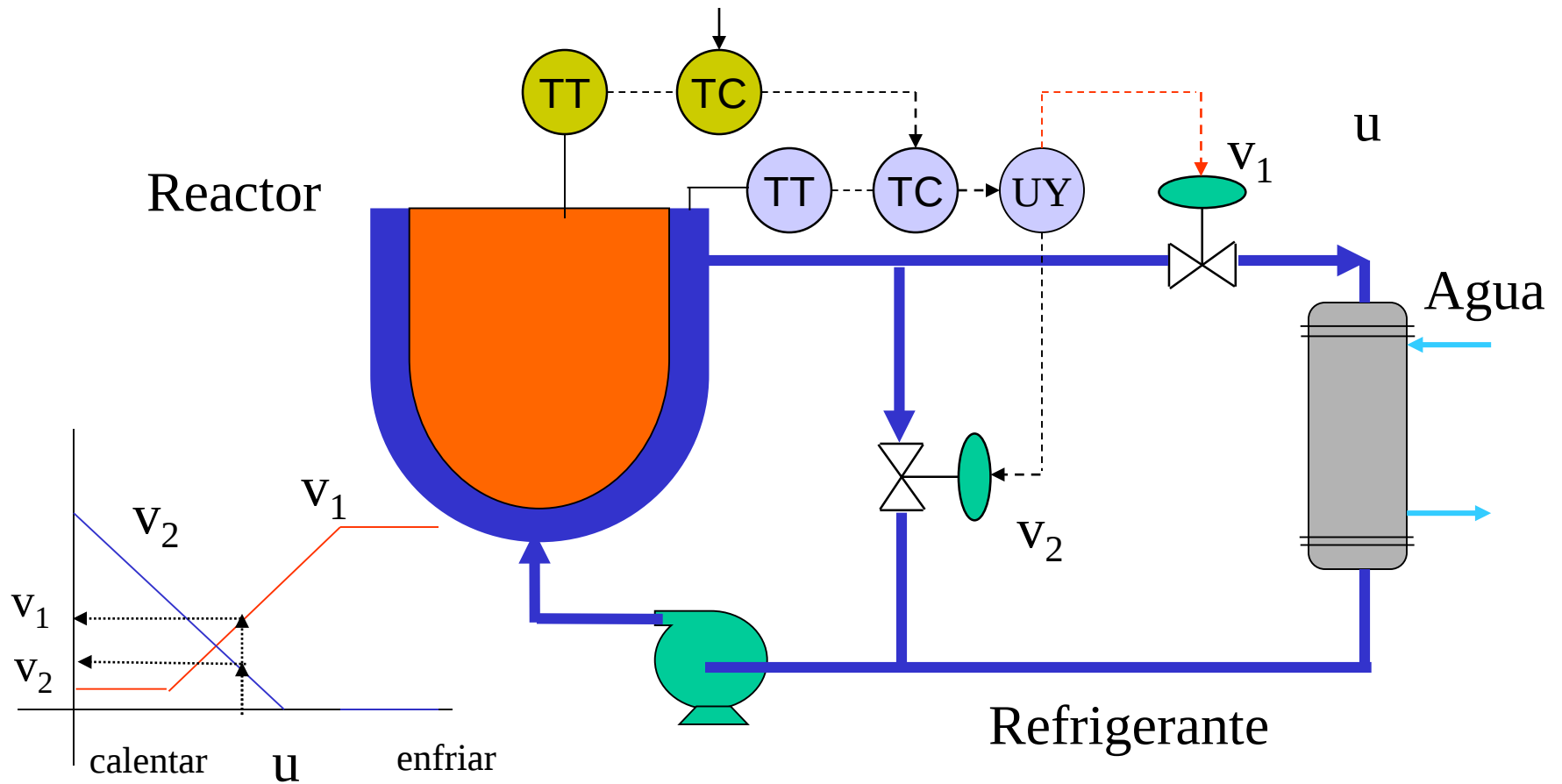
Control de rango partido



Control de rango partido

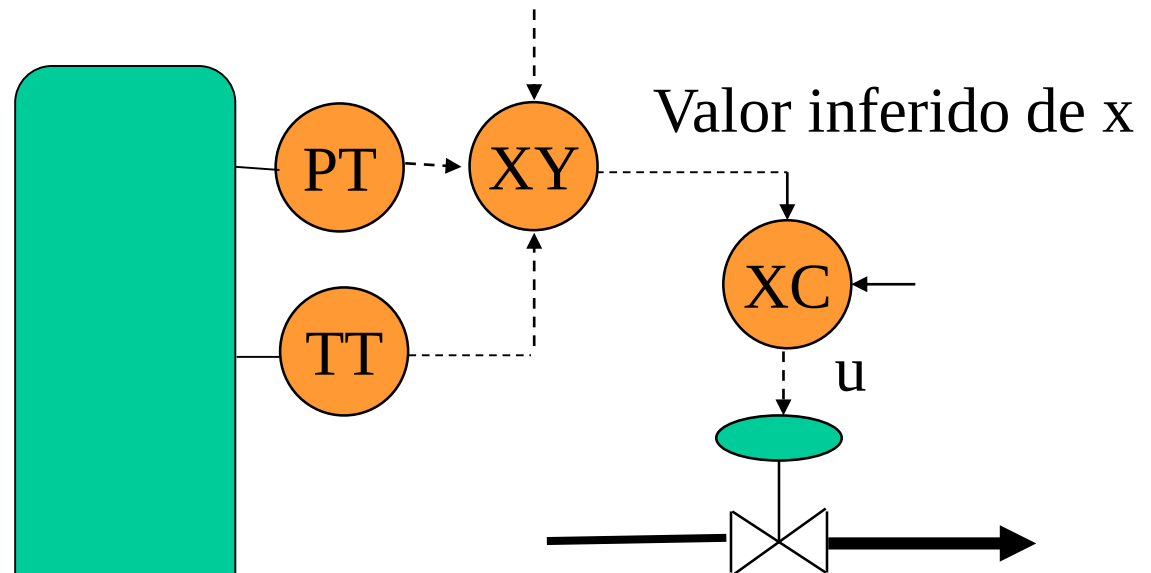


Control split range

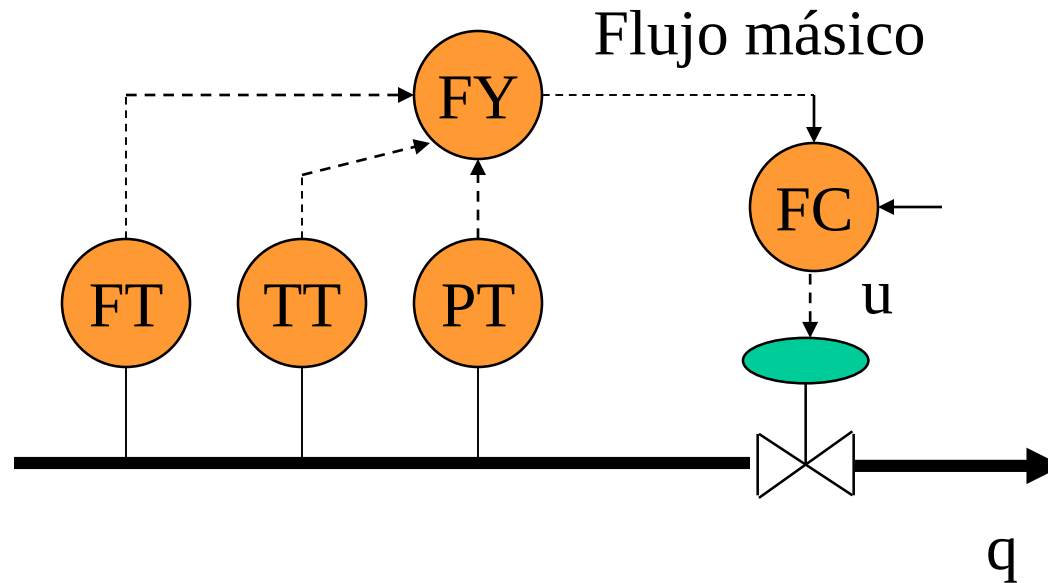


Control inferencial

A menudo hay variables, como las composiciones de una columna, para las que es caro o difícil disponer de medidas fiables y rápidas, por lo que su valor se estima, o infiere, a partir de medidas de proceso, leyes físicas, modelos tipo NN o equivalentes,...

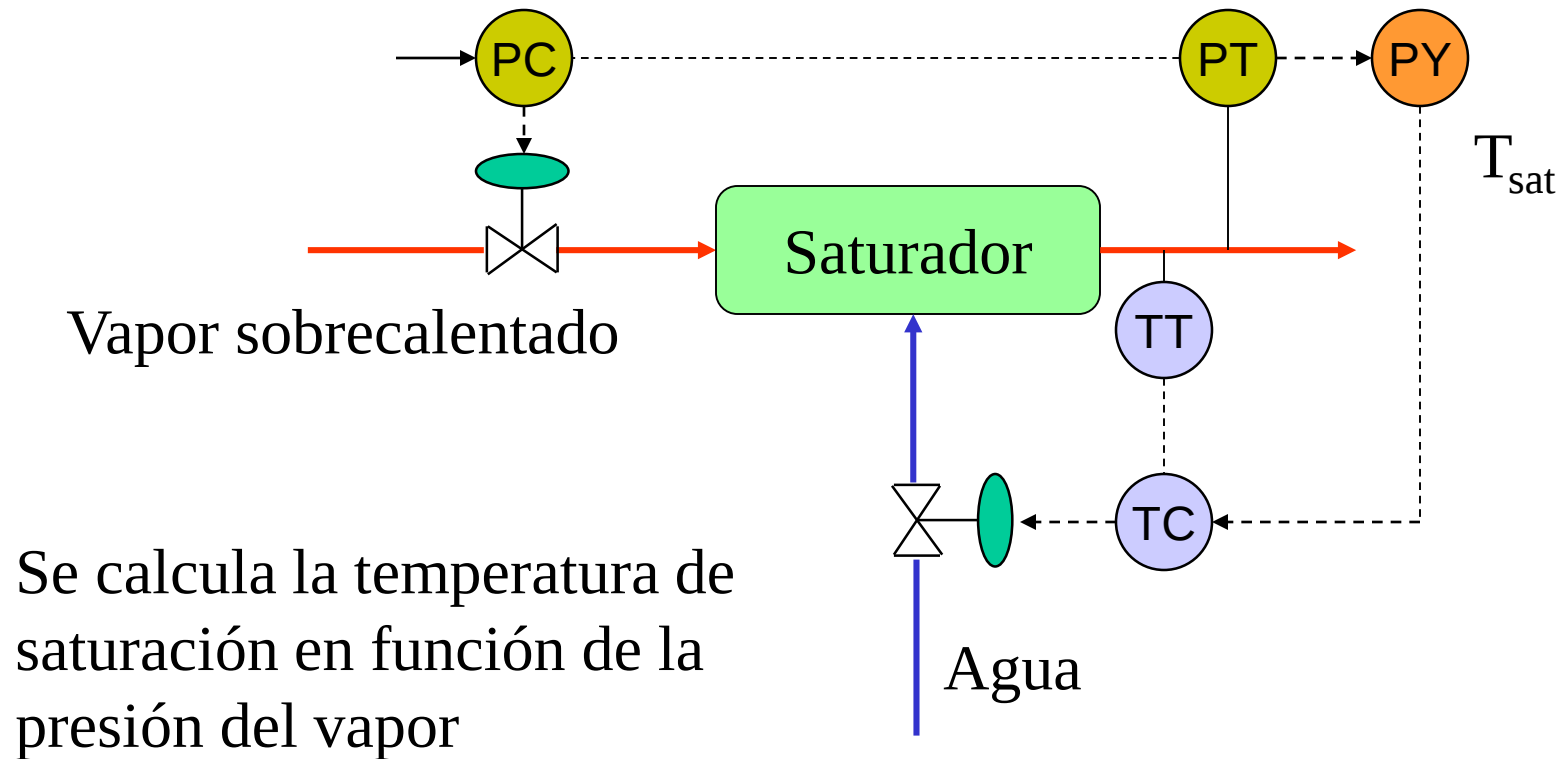


Control Inferencial

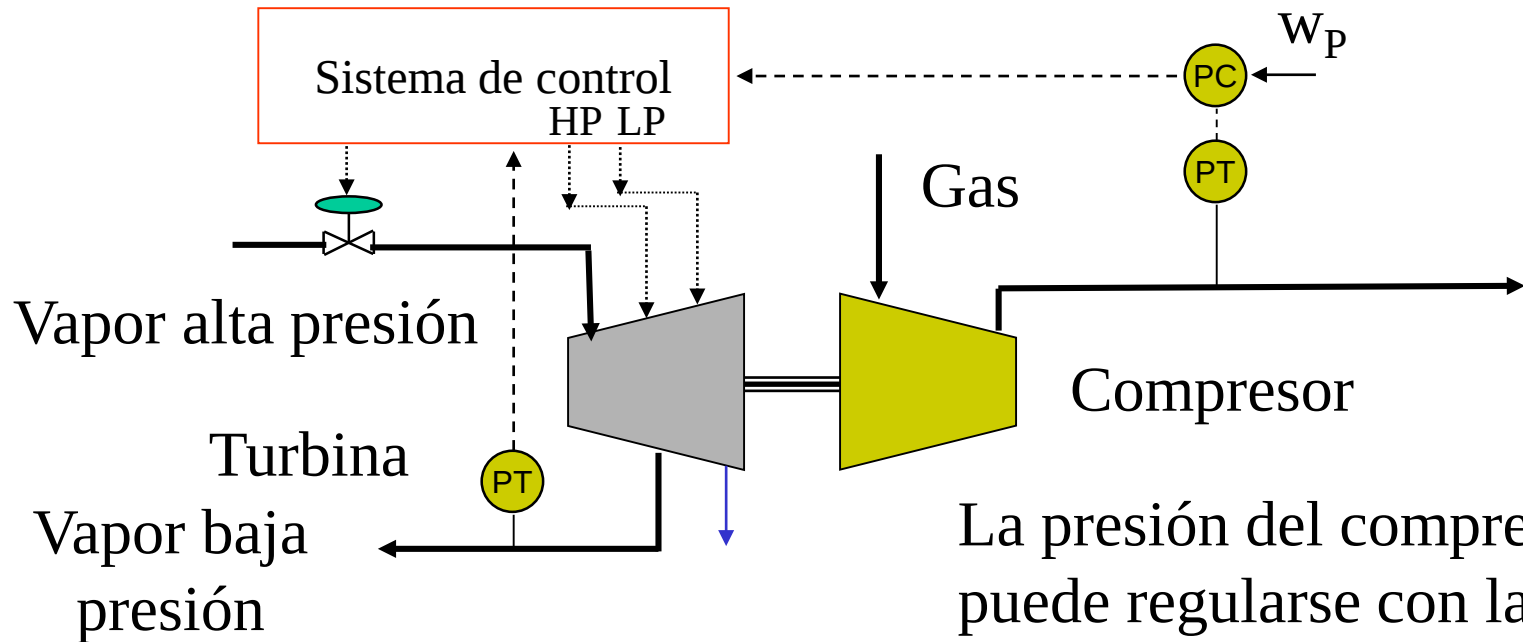


Se calcula el flujo másico a partir de las medidas de flujo volumétrico, presión y temperatura

Cálculos auxiliares



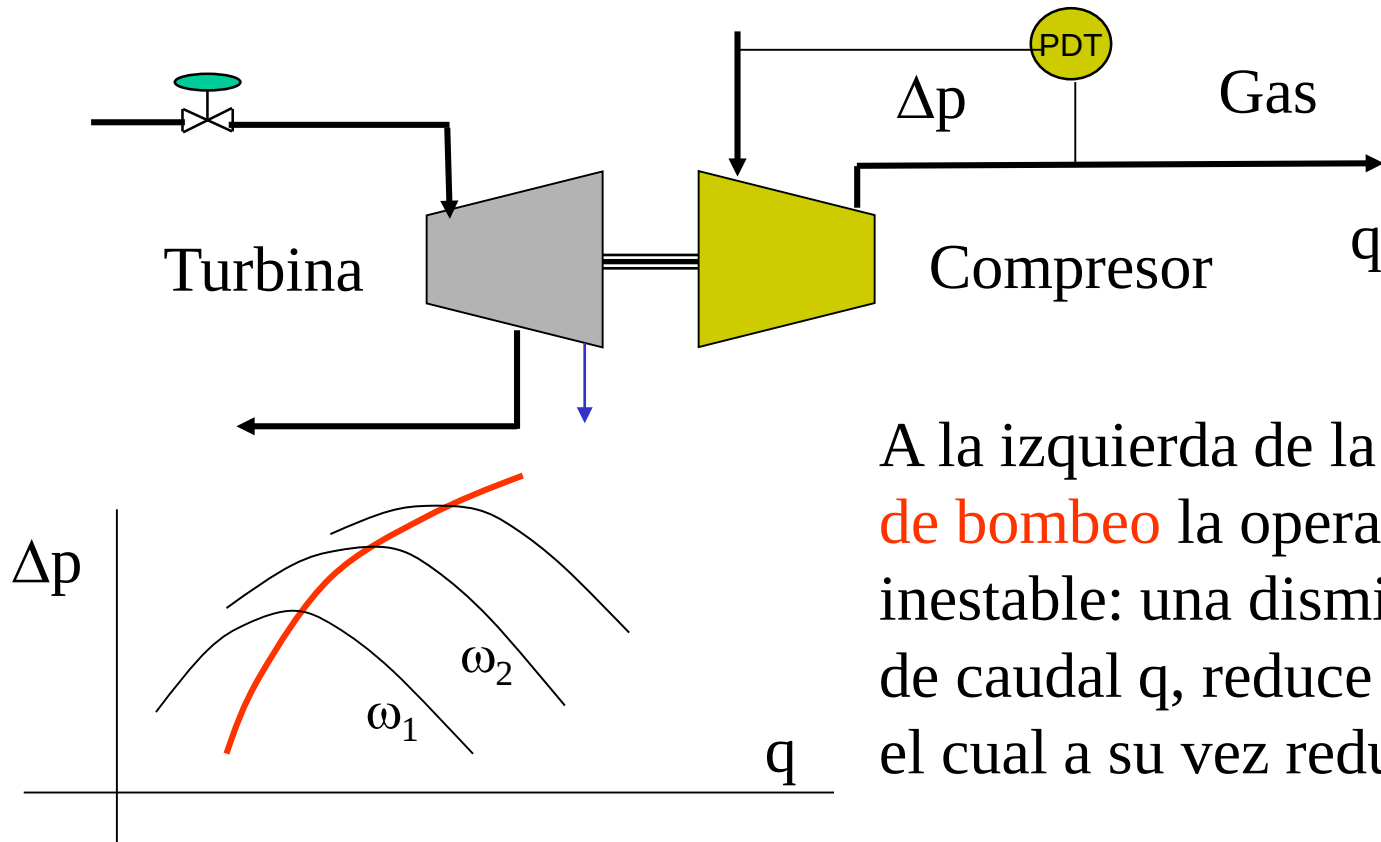
Compresores centrífugos



La presión del compresor puede regularse con la velocidad de la turbina o motor

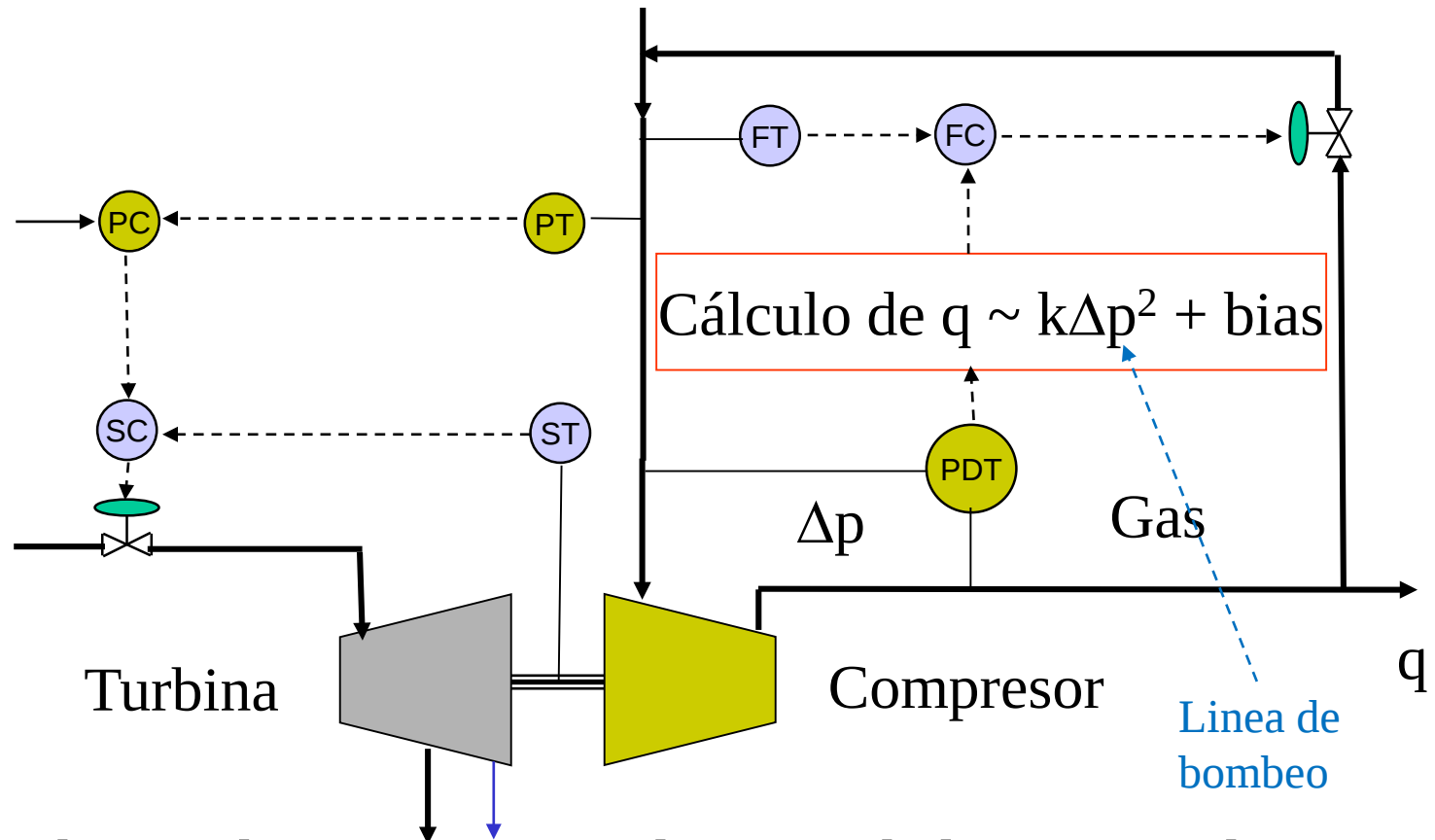
La turbina se arranca con la automática
Luego la regulación se hace con el
actuador de la válvula de alta presión HP

Control anti-bombeo (anti-surge)



A la izquierda de la **línea de bombeo** la operación es inestable: una disminución de caudal q , reduce el Δp , el cual a su vez reduce q

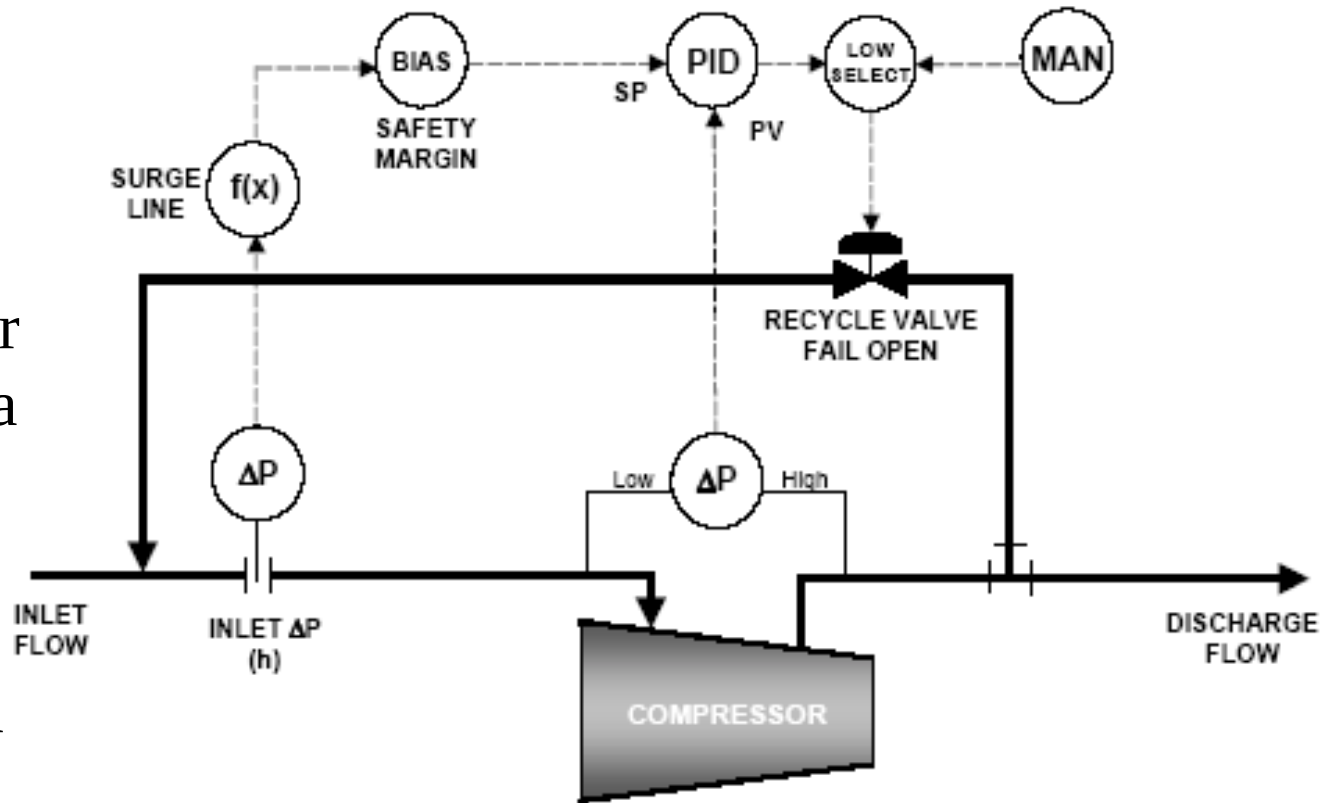
Control anti-bombeo (anti-surge)



El cálculo de q incluye un margen de seguridad y, a menudo usa una aproximación lineal

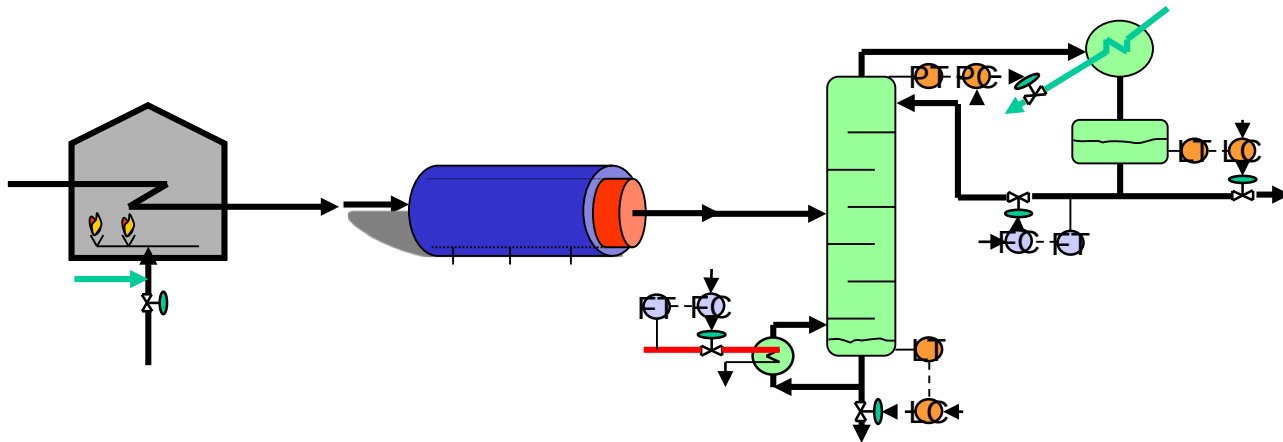
Control anti-bombeo

Se recircula una cantidad de gas para mantener el caudal a través del compresor por encima de la línea de bombeo, (o la presión diferencial por debajo de la línea de bombeo).



Control de una Planta Completa

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



Metodología

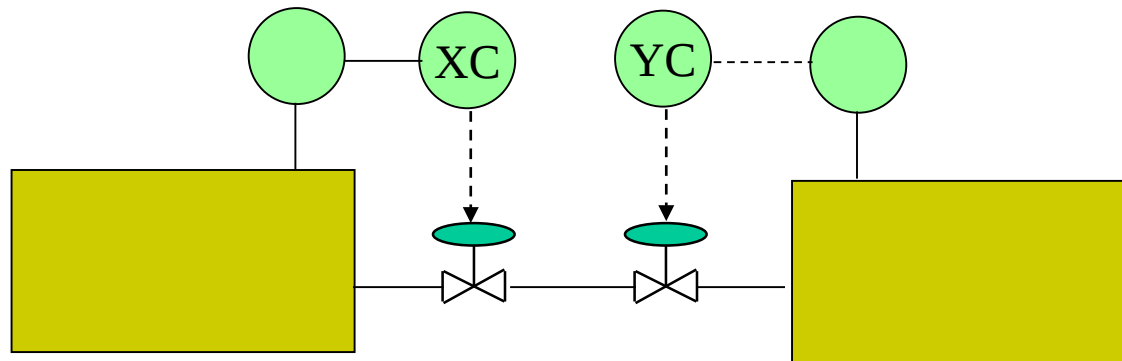
El número de válvulas de regulación, o actuadores, constituye el número de grados de libertad del mismo que se usarán para fijar la producción, calidad de los productos, mantener la seguridad ó restricciones ambientales, los niveles en tanques, etc.

Un orden a seguir para asignar lazos es:

- 1 Escoger 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

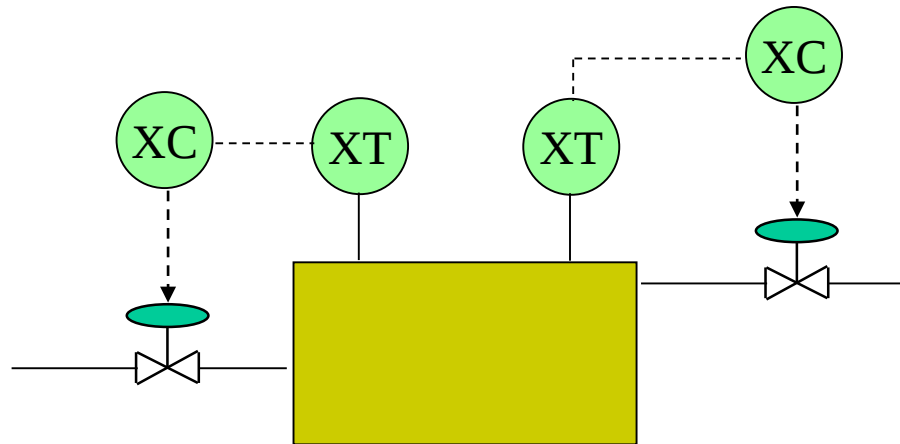
Control de una planta completa

Plant Wide Control



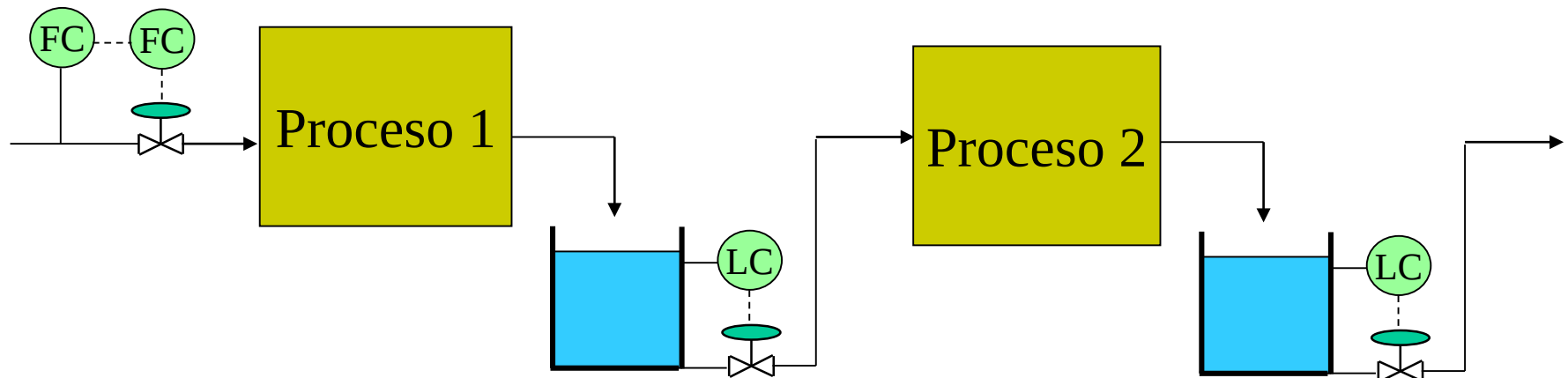
No puede haber dos válvulas de control en una misma tubería

Control de una planta completa



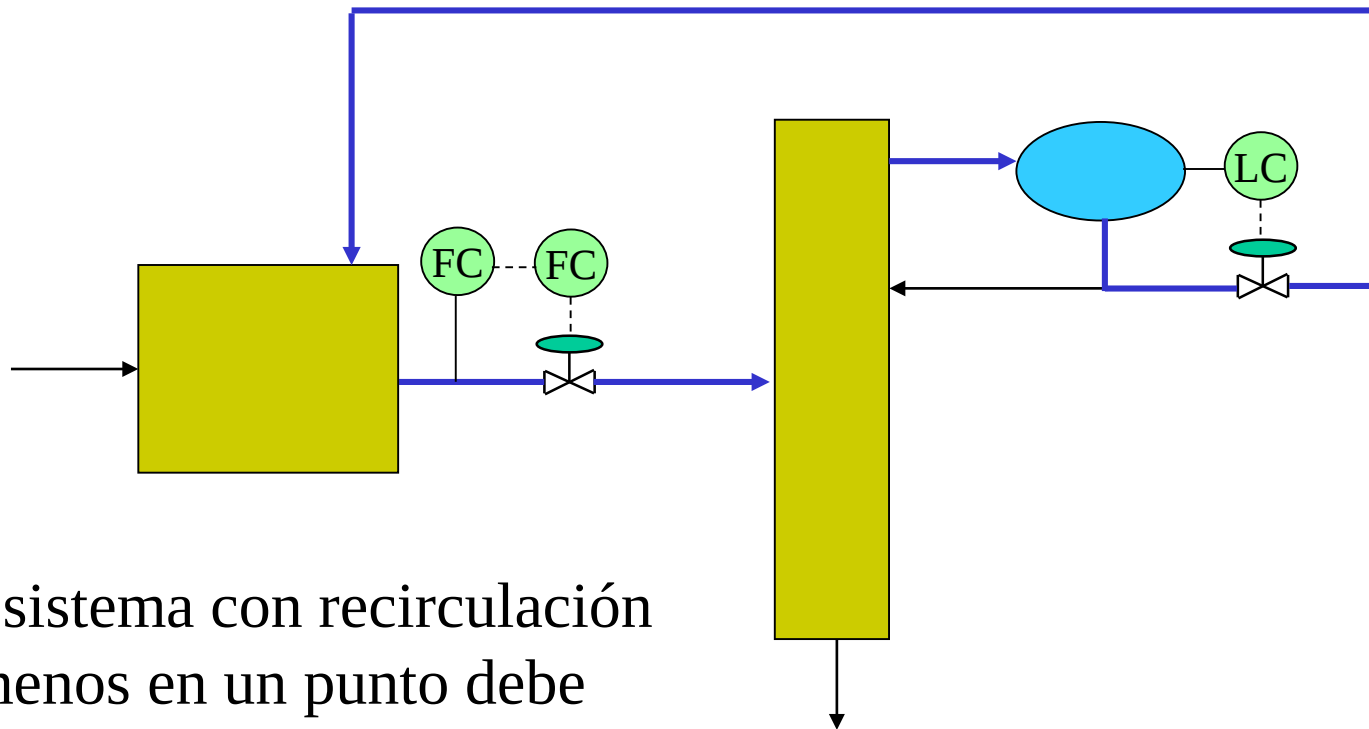
La misma variable no debe controlarse
con dos lazos de regulación distintos

Control de una planta completa



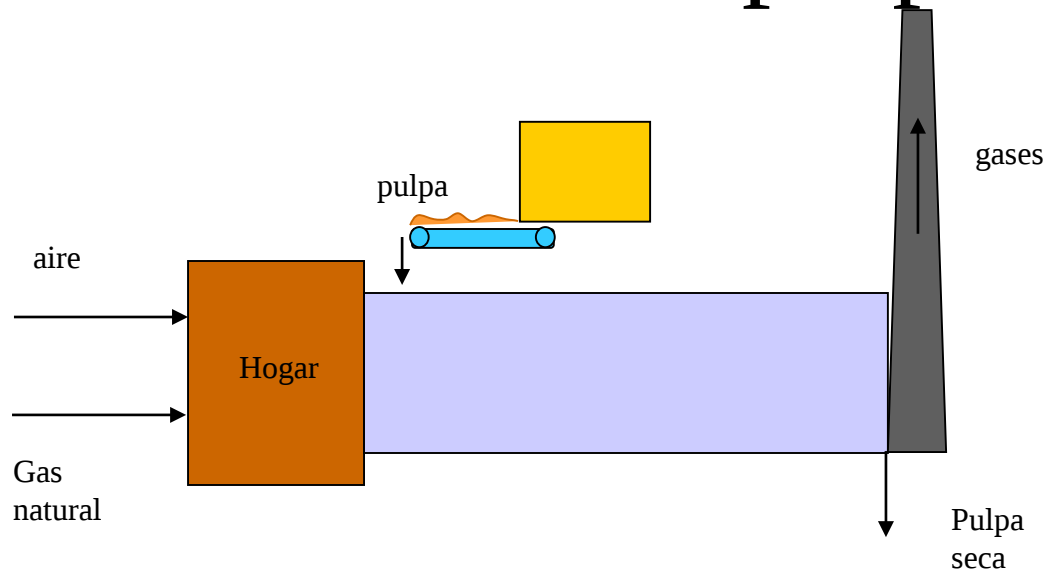
Los lazos de control de nivel deben seguir todos la misma dirección a partir de un punto en que se fije el caudal

Control de una planta completa

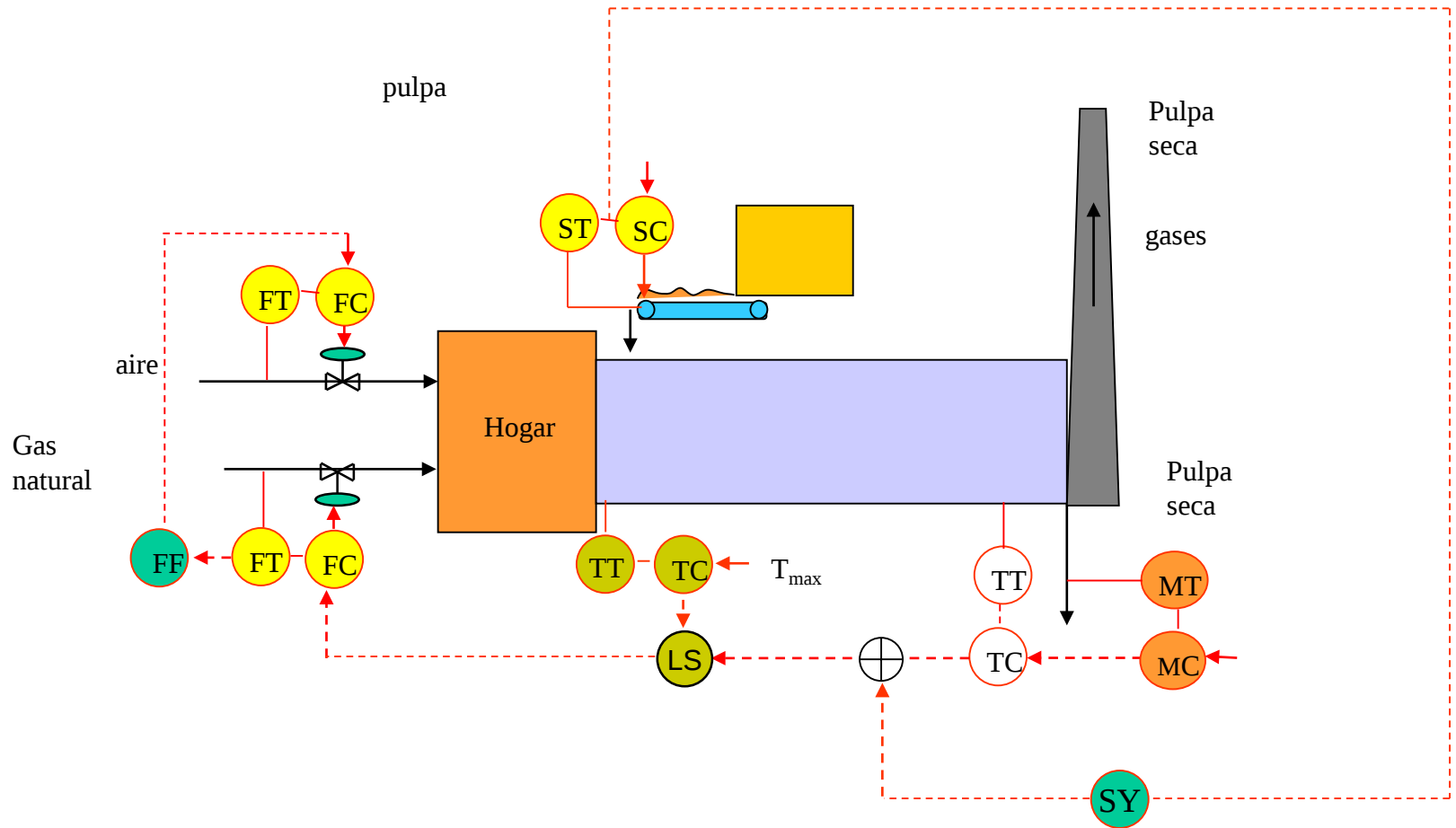


En un sistema con recirculación
al menos en un punto debe
haber un controlador de flujo

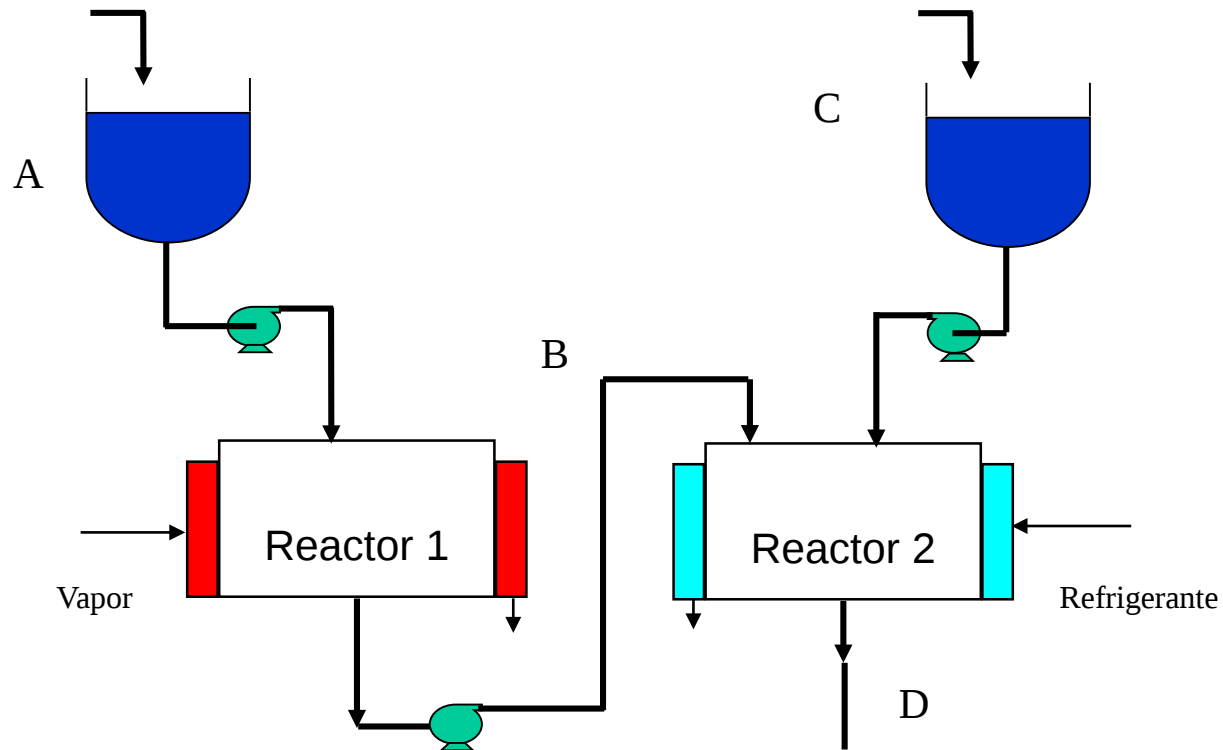
Secadero de pulpa



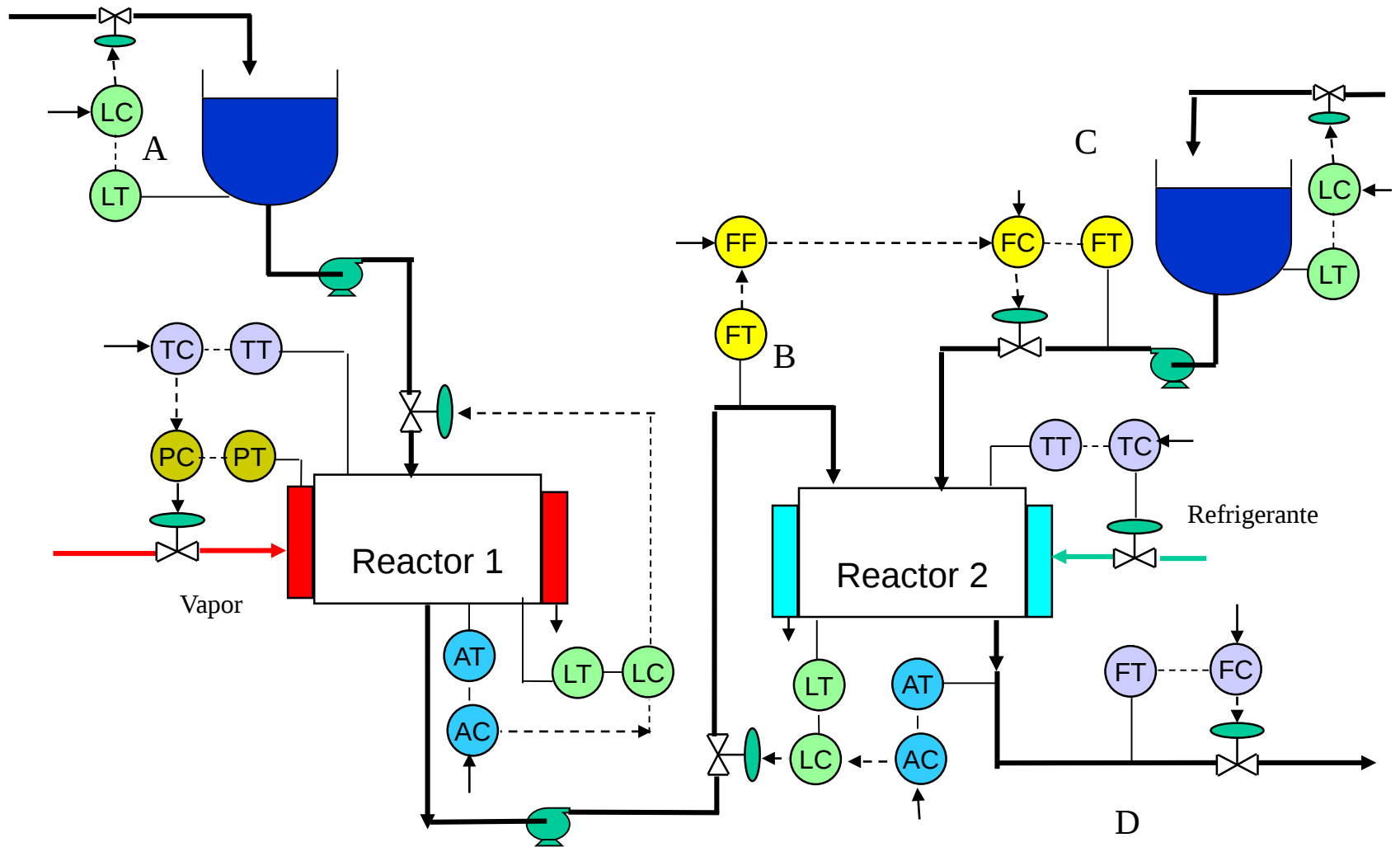
El diagrama de la figura representa un secadero de pulpa que se desea secar hasta una determinada humedad. La cantidad de pulpa que entra al secadero es proporcional a la velocidad de una cinta transportadora alimentada por una tolva de producto, y se desea poder fijarla de acuerdo con las necesidades de fabricación al igual que el grado de secado, el cual se quiere mantener con precisión. El secadero consiste en un hogar donde se quema gas natural para producir una corriente de gases calientes y una cámara de secado rotatoria de velocidad de giro constante a lo largo de la cual se mueve la pulpa arrastrada por los gases. Además se desea garantizar la seguridad del proceso, evitando que la temperatura de los gases a la salida del hogar pueda ser excesiva. Se sabe que la presión de alimentación del gas natural sufre cambios considerable.

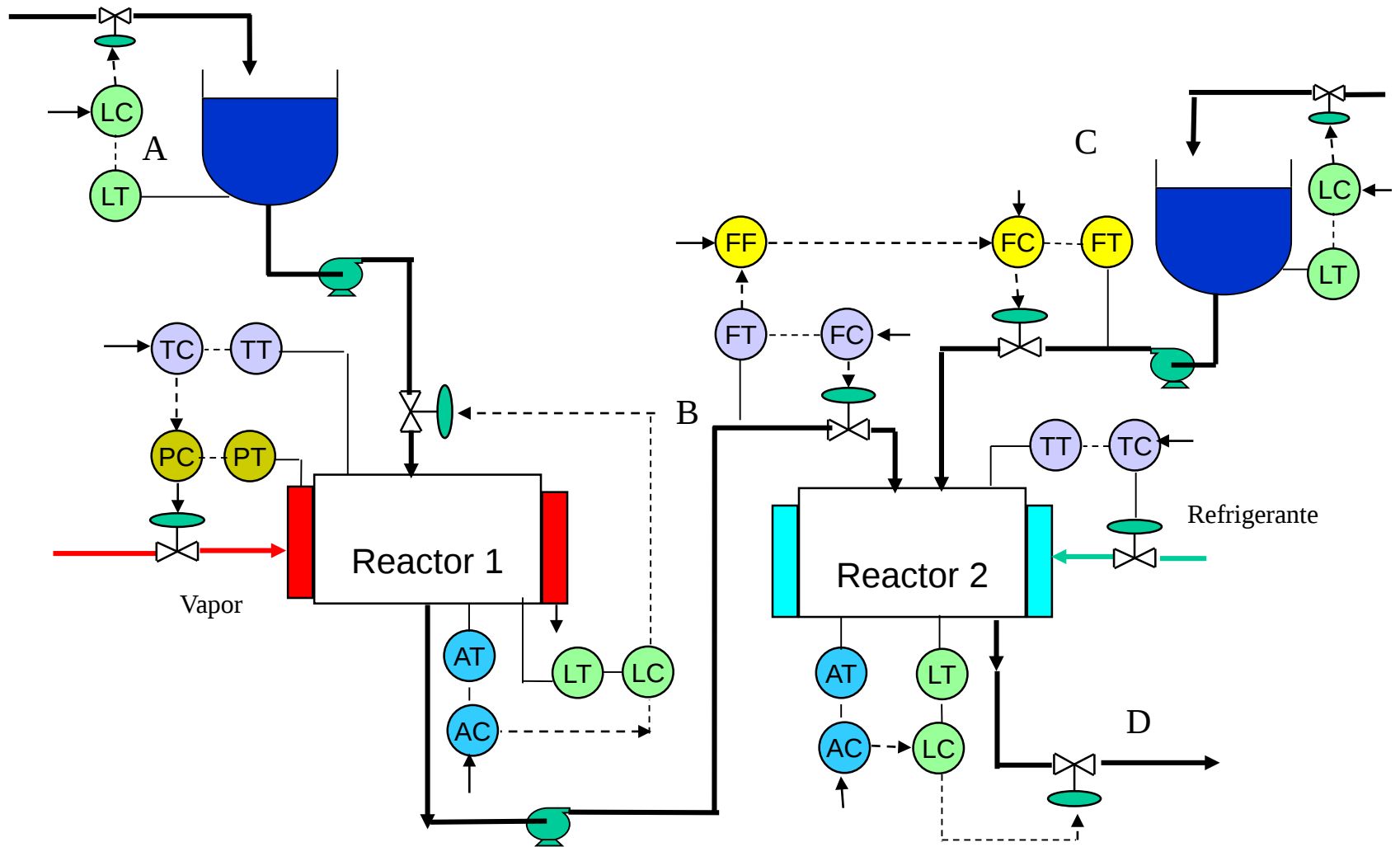


Reactores en serie

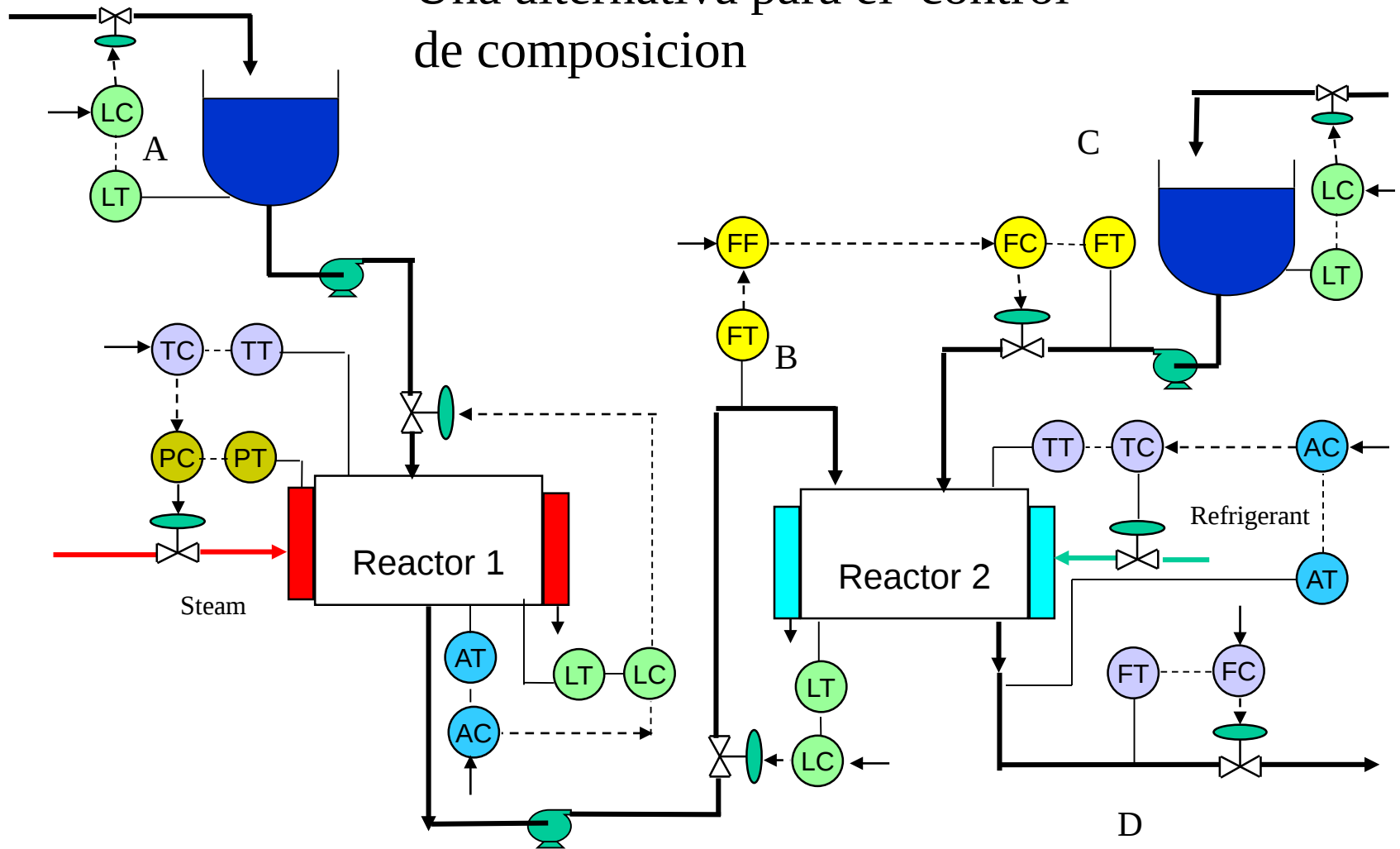


En el proceso de la figura un producto A reacciona en el reactor endotermico 1 para dar un producto B el cual se introduce al reactor exotermico 2 donde reacciona con el producto C para dar lugar al producto deseado D. Los productos A y C se obtienen de dos depósitos de alimentación y el nivel en los reactores puede evolucionar de acuerdo a las cantidades de productos que se adicionan o extraen. Las reacciones que tienen lugar en ambos reactores son sensibles a la temperatura y que el vapor experimenta cambios apreciables de presión. Se pide diseñar un esquema de control, dibujando el correspondiente diagrama con nomenclatura ISA para mantener con precisión la concentración de producto D además de cubrir los otros requisitos operativos que el alumno considera necesarios.

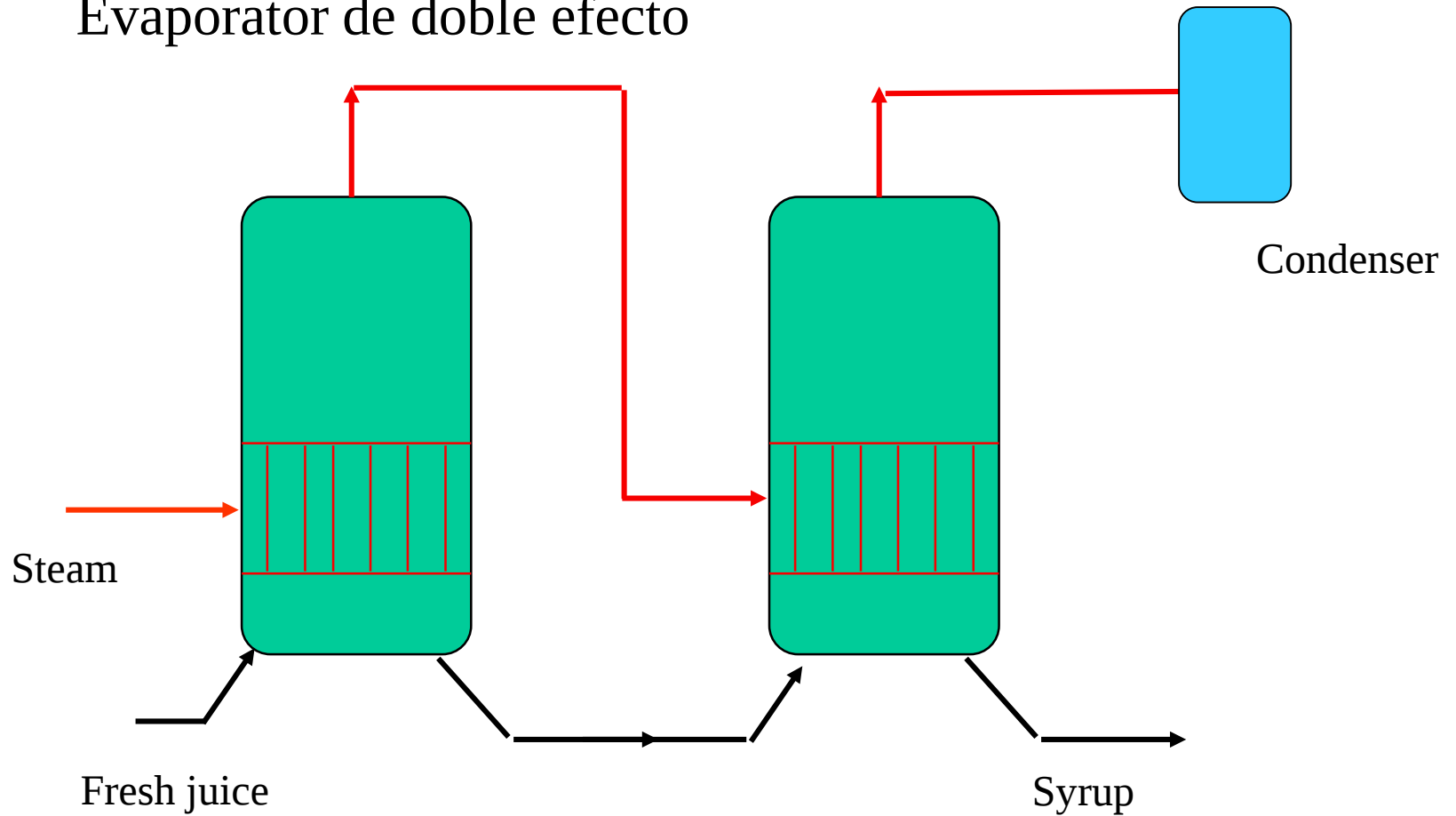




Una alternativa para el control de composicion

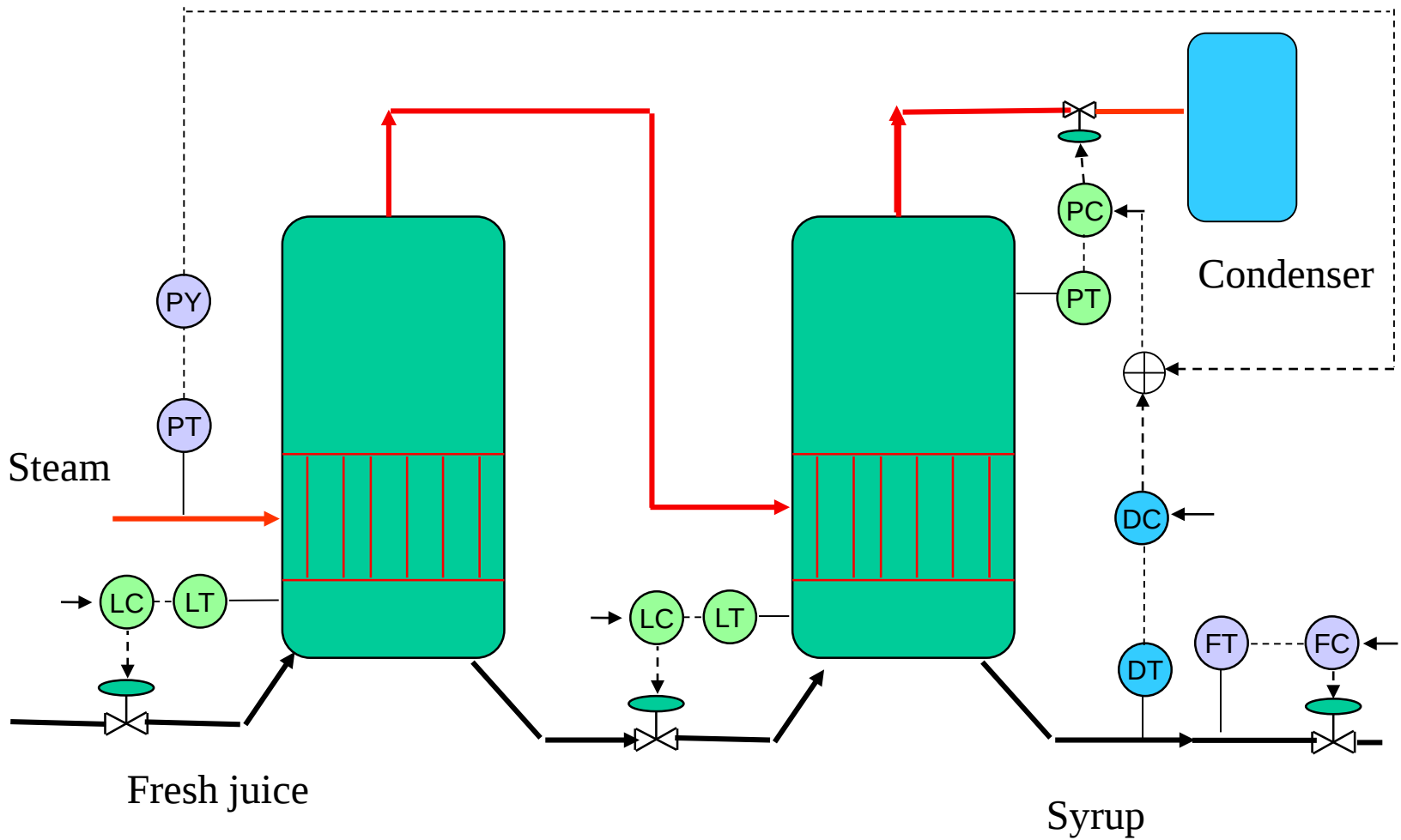


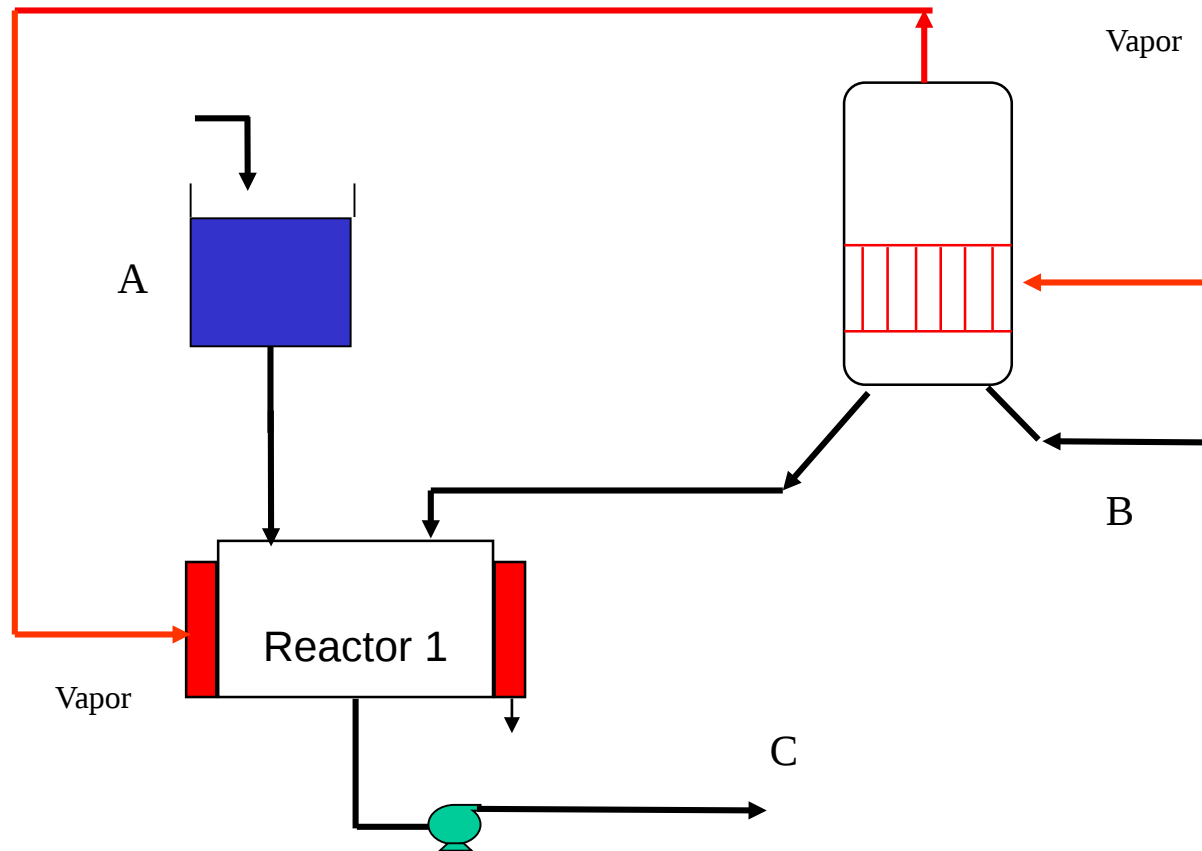
Evaporator de doble efecto



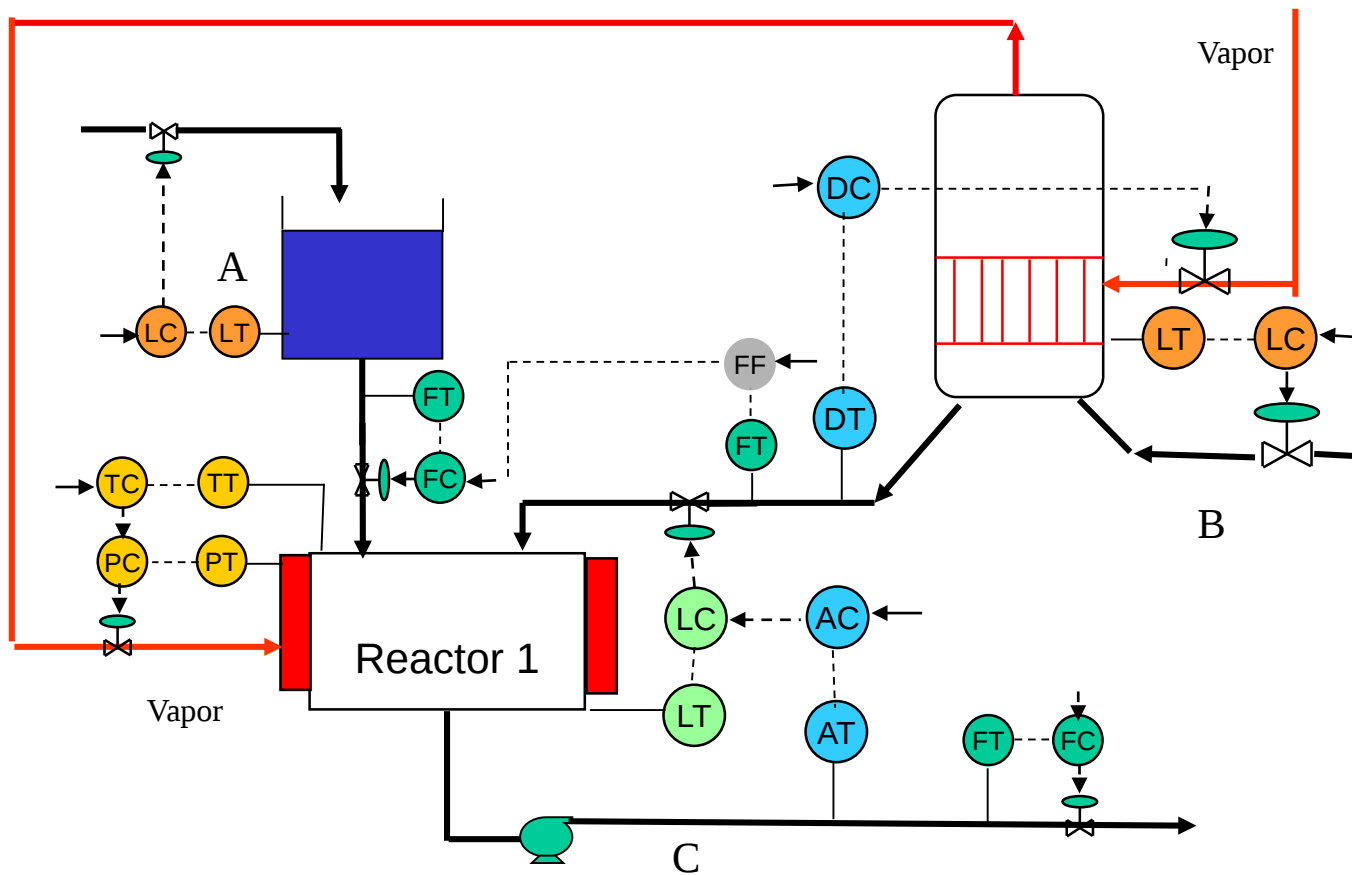
El esquema de la figura muestra un evaporador de doble efecto que procesa un jugo para convertirlo en un jarabe de concentración mas elevada. El primer efecto se calienta con un vapor que proviene de otro proceso que no puede ser manipulado y que experimenta cambios significativos de presión. Los vahos que salen del segundo efecto van a un condensador que puede experimentar tambien cambios de presión. Diseñar un sistema de control que sea capaz de proporcionar un caudal deseado de jarabe a concentración constante a pesar de las posibles perturbaciones que actuan sobre el proceso y proporcione seguridad de funcionamiento a la planta.

Evaporador de doble efecto

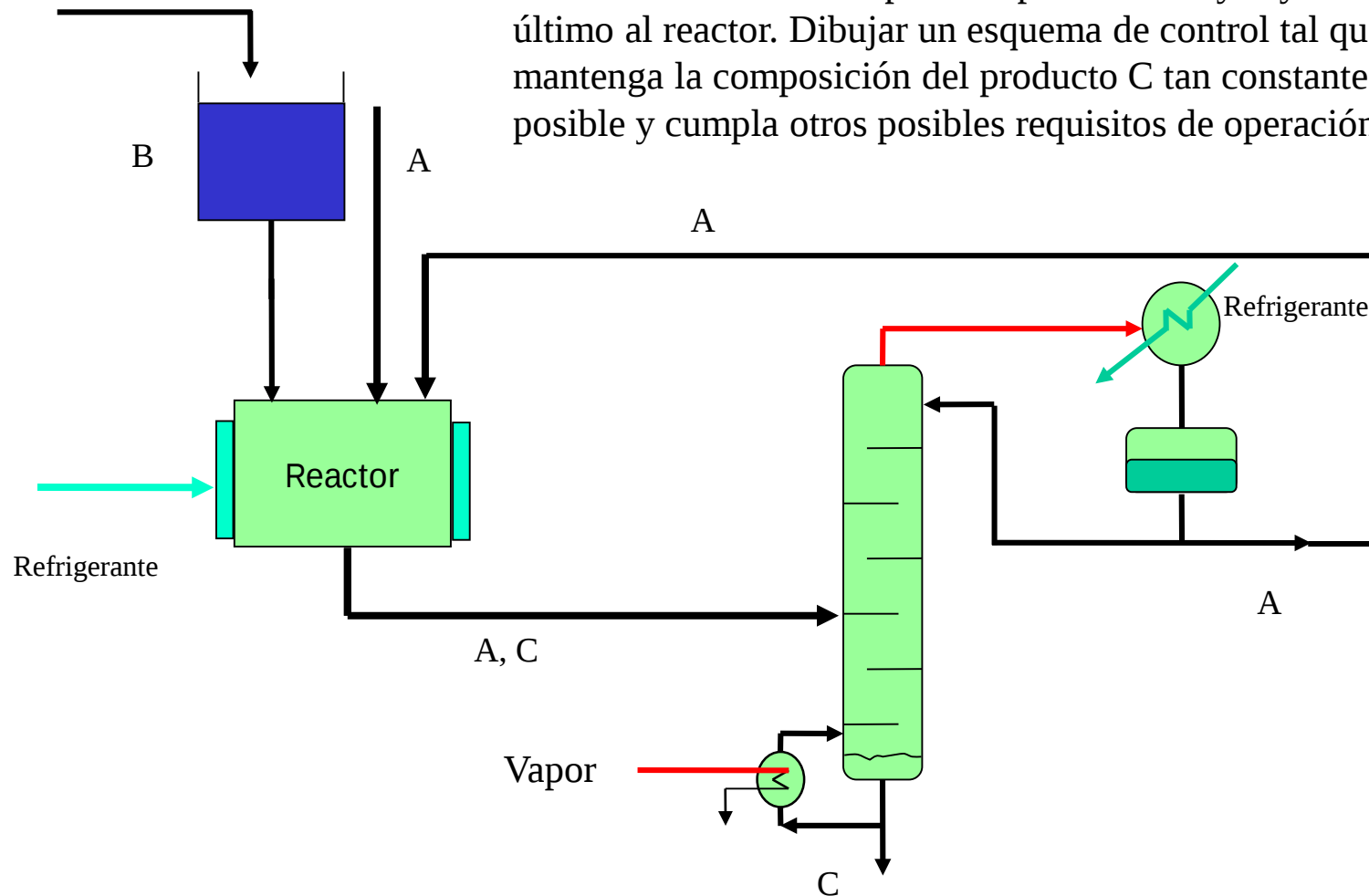


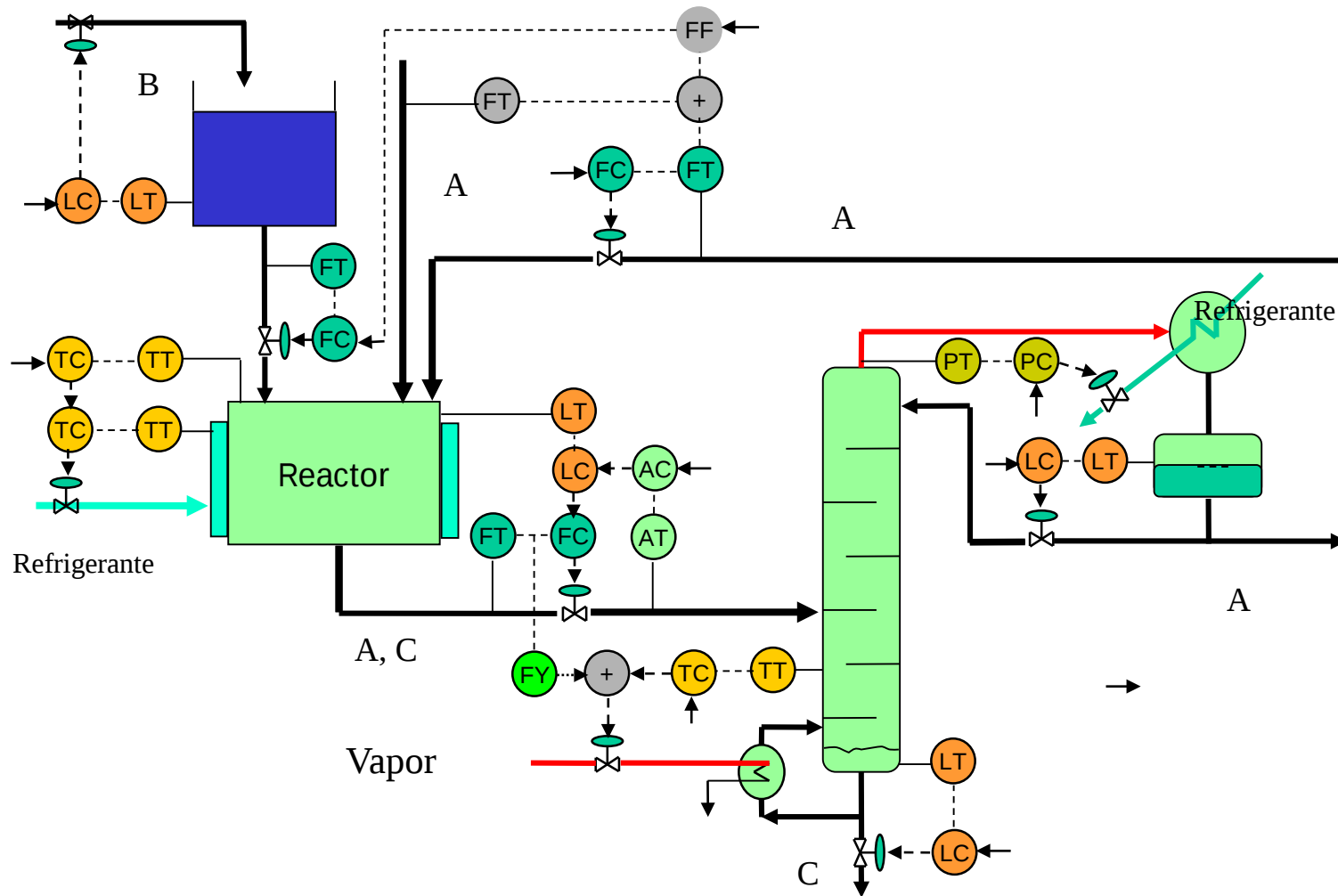


El diagrama de la figura representa un sistema de producción del producto C a partir de los A y B mediante una reacción que tiene lugar en el reactor endotérmico continuo. El producto A tiene una concentración sensiblemente constante y se obtiene de un depósito de almacenamiento, mientras que el producto B tiene una concentración mas variable y debe ser concentrado en un evaporador hasta un cierto punto antes de entrar al reactor. El evaporador recibe vapor saturado de una línea de suministro, mientras que, con objeto de ahorrar energía, el sistema de calefacción del reactor utiliza vapor de la cámara de ebullición del evaporador. Se desea producir cantidades especificadas de C a determinadas concentraciones que deben mantenerse con precisión.



El proceso de la figura recibe un flujo no manipulable de producto A de otras parte de la fábrica. El reactor exotérmico combina A y B (con un pequeño exceso de A) para producir C. El refrigerante esta sometido a cambios de temperatura a la entrada . La columna separa los productos C y A y recicla este último al reactor. Dibujar un esquema de control tal que mantenga la composición del producto C tan constante como sea posible y cumpla otros posibles requisitos de operación.

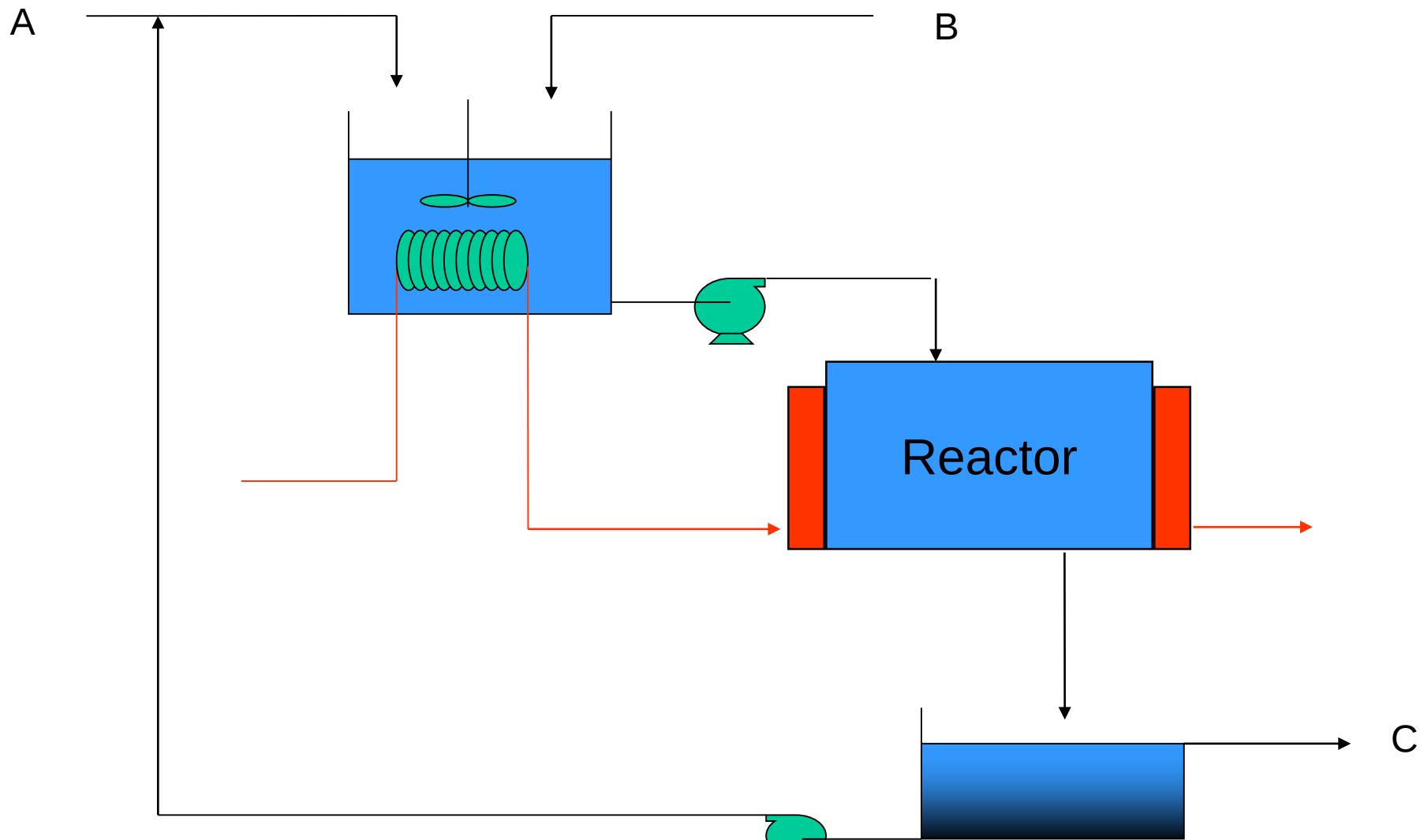


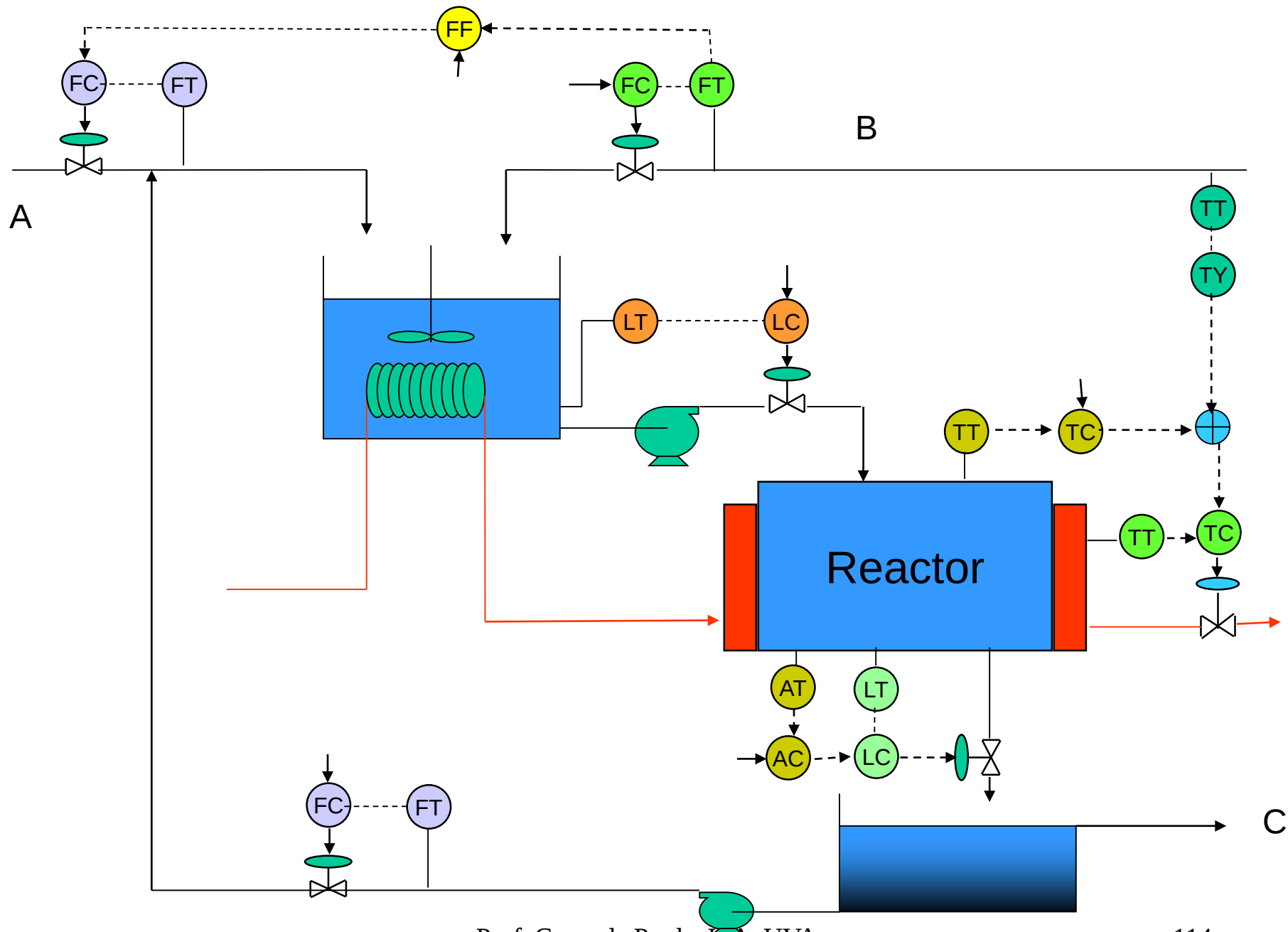


Un reactor químico continuo se alimenta desde un depósito donde se mezclan dos reactivos A y B en una determinada proporción (con un pequeño exceso de A) y se precalientan utilizando el mismo fluido calefactor (aceite) que se usa para calentar el reactor.

En el reactor tiene lugar la reacción endotérmica $A+B \rightarrow C$ en un rango estrecho de temperaturas, de modo que ésta debe ser mantenida con precisión. El flujo de producto final C, mas el exceso de A, salen del reactor a un depósito donde se separa el producto mas pesado A y se le recicla a la entrada del proceso, mientras que el producto C sale del depósito por rebose.

Deseamos procesar cantidades predeterminadas de B y obtener el correspondiente producto C con una calidad determinada. El producto B experimenta de vez en cuando cambios significativos de temperatura. Proponer un esquema de la estructura de control adecuada que cumpla con los requisitos del problema. Explicar que tipo de instrumentación se propone para los transmisores y actuadores.





Concentración

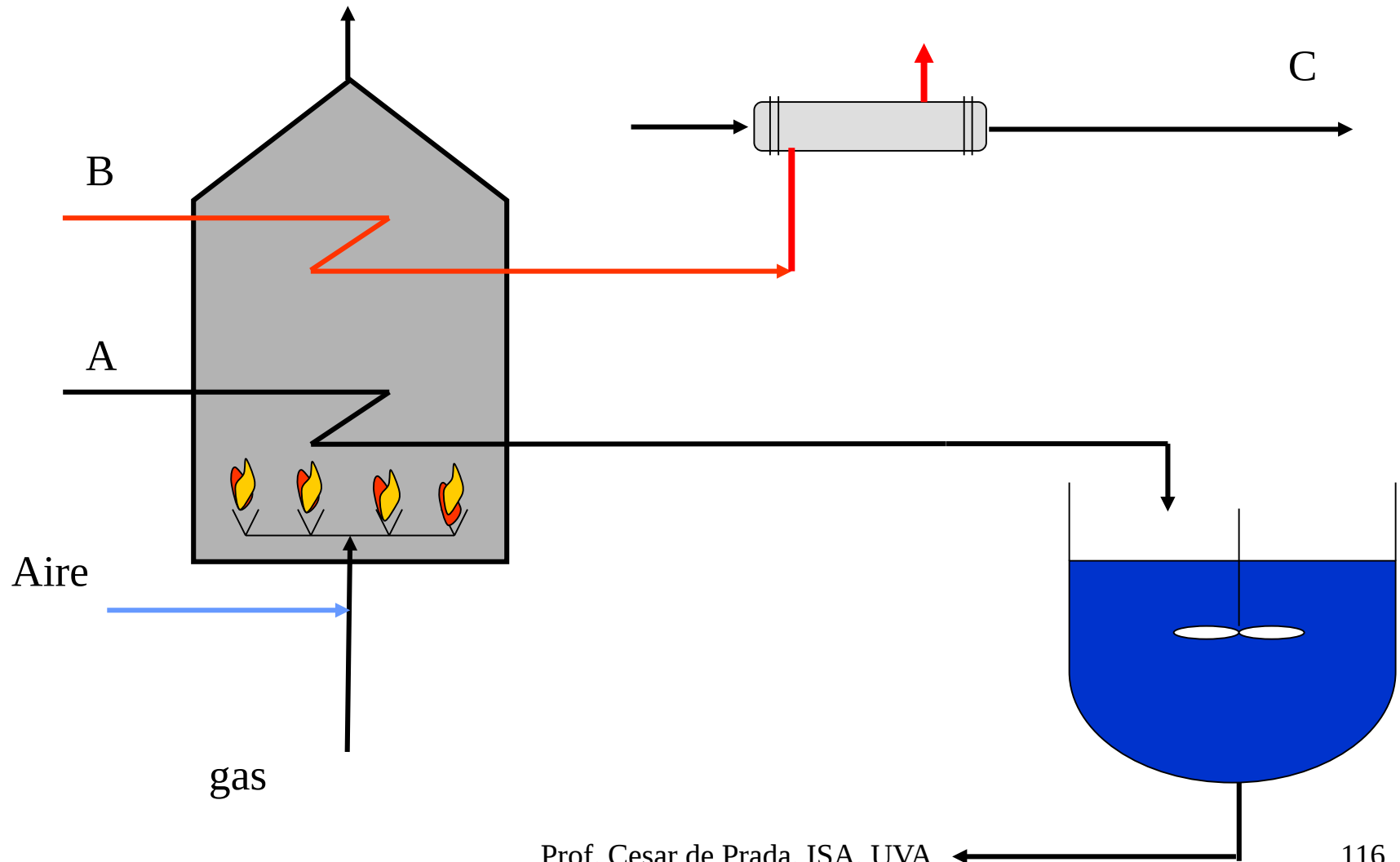
Se desea procesar ciertas cantidades del producto líquido A, que requiere calentarlo hasta una temperatura de 90°C en un horno alimentado por gas y mantener el producto en un tanque un tiempo de residencia de 20 min. La presión de suministro del gas experimenta cambios apreciables.

El horno calienta simultáneamente una corriente no manipulable de otro producto B que debe mantenerse siempre a una temperatura superior a 80°C y que se utiliza para calentar una tercera corriente C hasta 40°C , temperatura que debe mantenerse con precisión a pesar de posibles perturbaciones en la corriente de calefacción.

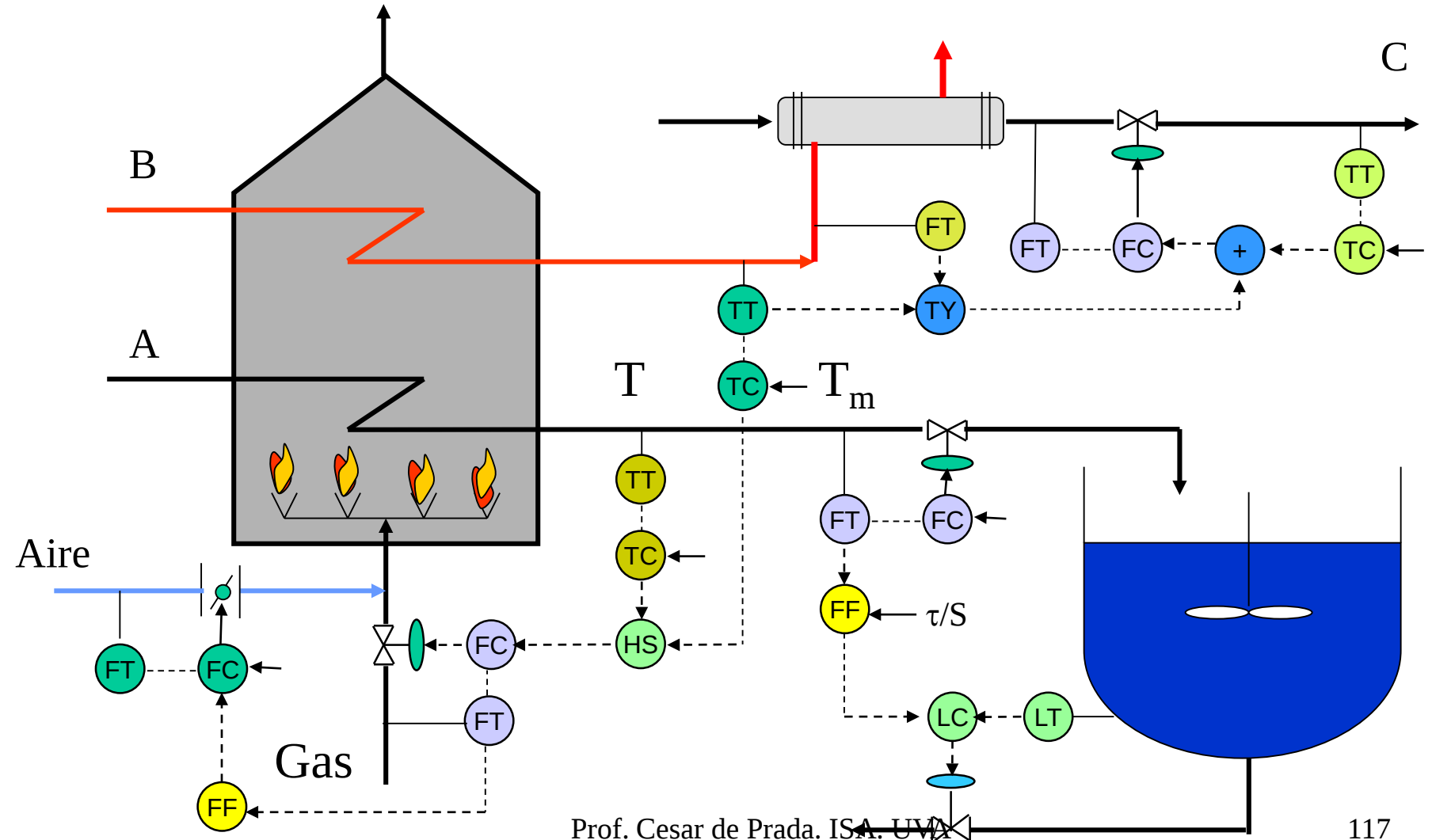
Se pide:

Dibujar un diagrama de control del proceso, con nomenclatura ISA, que cumpla con las especificaciones anteriores y explicar su funcionamiento.

Calentamiento



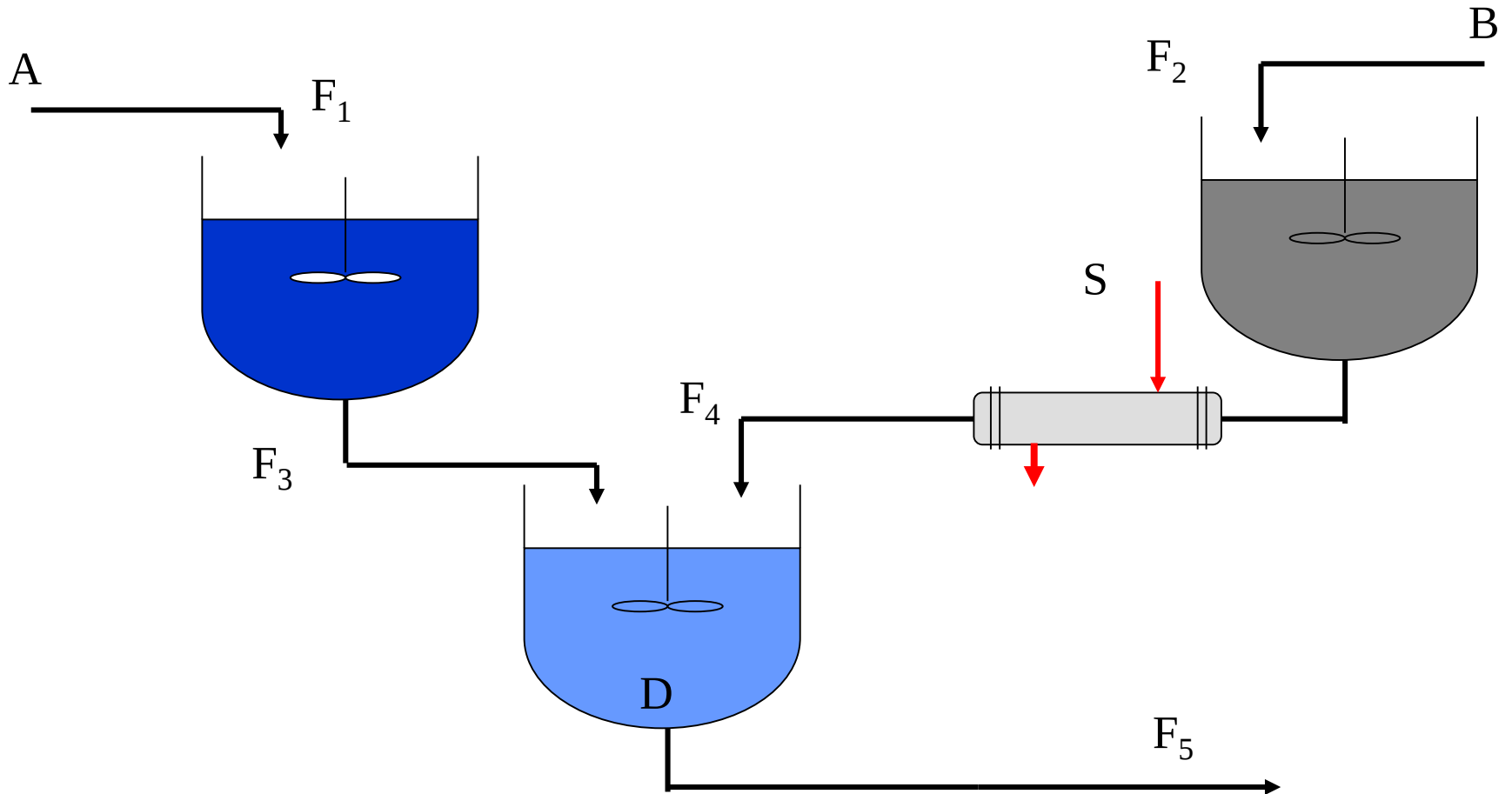
Calentamiento



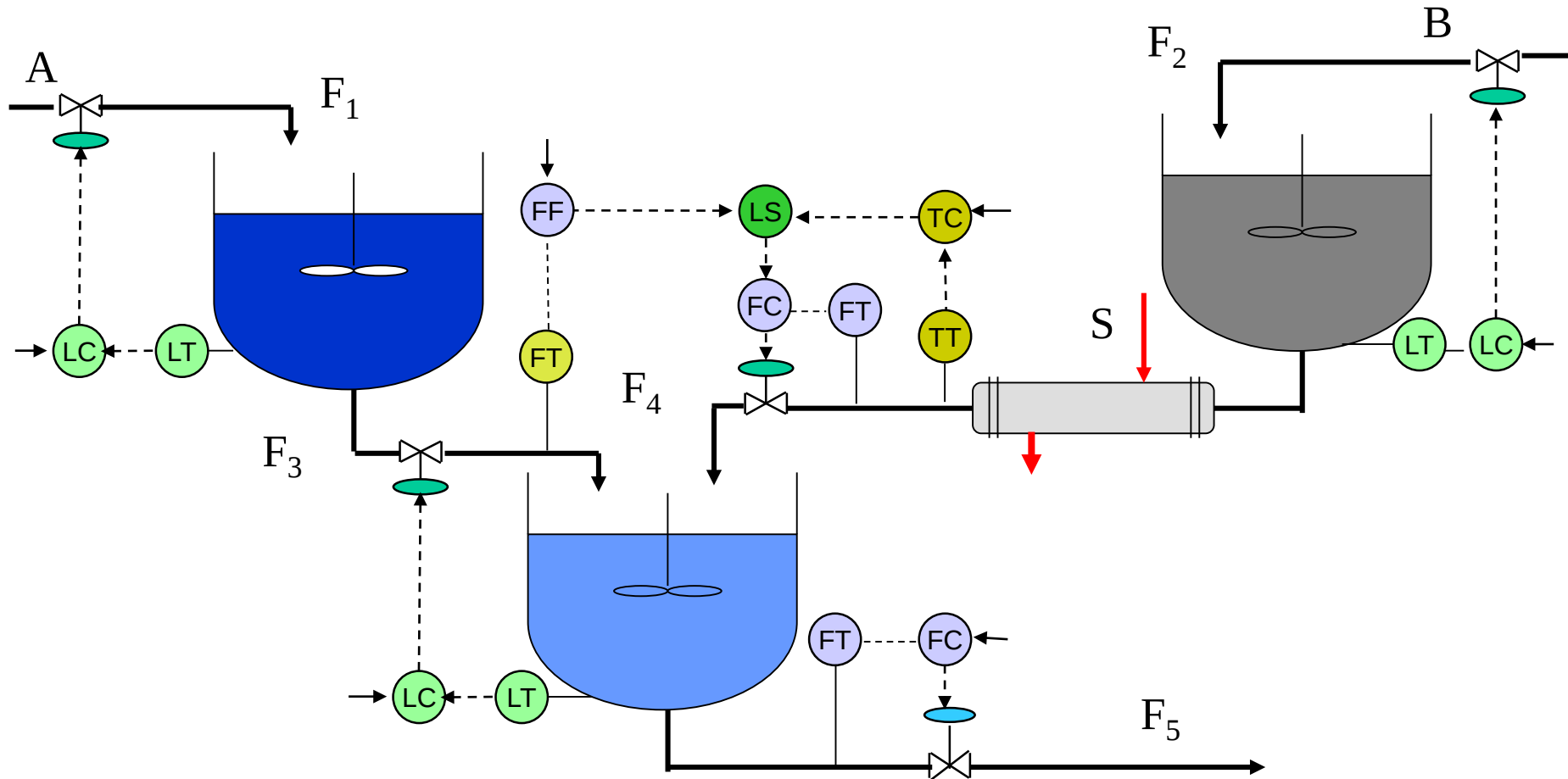
Mezcla

En el esquema de la figura se muestra un proceso en el que dos productos A y B, deben mezclarse en un depósito D en una determinada proporción, disponiéndose de dos depósitos de almacenamiento de los mismos. Antes de mezclarlo, el producto A se calienta mediante un cambiador de calor con otra corriente S que no puede ni manipularse ni alterarse de ningún modo. Debido a razones tecnológicas, en ningún caso la temperatura de A tras el cambiador debe bajar de 50 °C. Se desea instalar un sistema de control automático para la operación segura del proceso que permita fijar la producción del mismo. Dibujar el correspondiente esquema de instrumentación y control con nomenclatura ISA y explicar su funcionamiento.

Mezcla



Mezcla



Ejercicio 1

El esquema de la figura corresponde a un proceso cuyo objetivo es concentrar hasta una determinada densidad la mezcla de un par de corrientes A y B. La corriente A va primero a un tanque de almacenamiento (1) y posteriormente eleva su temperatura mediante un cambiador de calor antes de mezclarse con la corriente B en el tanque (2). En este tanque se desea mantener tanto la temperatura como la proporción de ambos productos A y B en valores especificados. Es importante mantener la temperatura con precisión y se sabe que la temperatura de la corriente B llega con valores razonablemente constantes mientras que la corriente A experimenta cambios significativos de temperatura.

Desde el tanque 2, la mezcla se envía a un evaporador donde se eleva su densidad. El evaporador es una unidad de proceso con dos cámaras: en la de vapor, un flujo de vapor condensa alrededor de un conjunto de tubos dentro de los cuales circula el líquido a concentrar. En la otra cámara fluye el producto a concentrar, que alcanza un cierto nivel en el interior de los tubos, donde recibe calor y hierve. Por tanto, un flujo de vahos sale por la parte superior del evaporador, mientras el líquido sale más concentrado.

Se desea producir un cierto caudal F del producto concentrado a una cierta densidad. El evaporador se calienta con vapor que puede experimentar cambios de presión, mientras que los vahos producidos se usan en el cambiador de calor, donde condensan.

Dibujar un esquemático de un sistema de control con la instrumentación adecuada, usando la nomenclatura ISA, que pueda cumplir los objetivos mencionados, y explicar como funciona.

