



# **BLOQUE I. TEORIA DE CONTROL**

## **TEMA 3: LAZOS MULTIPLES**

- 1. Introducción**
- 2. Control en cascada**
- 3. Control Feedback-Feedforward**
- 4. Control en proporción**
- 5. Control selectivo o con restricciones**
- 6. Control en Rango Partido**

# I. INTRODUCCIÓN

**Lazos simples de control:** una única variable de proceso a controlar y una única variable manipulada.

## LAZOS MÚLTIPLES: Estructuras de control complejas (o avanzadas)

Se caracterizan por medir más de una variable del proceso con el objetivo de controlar una única variable actuando sobre una sola variable manipulada

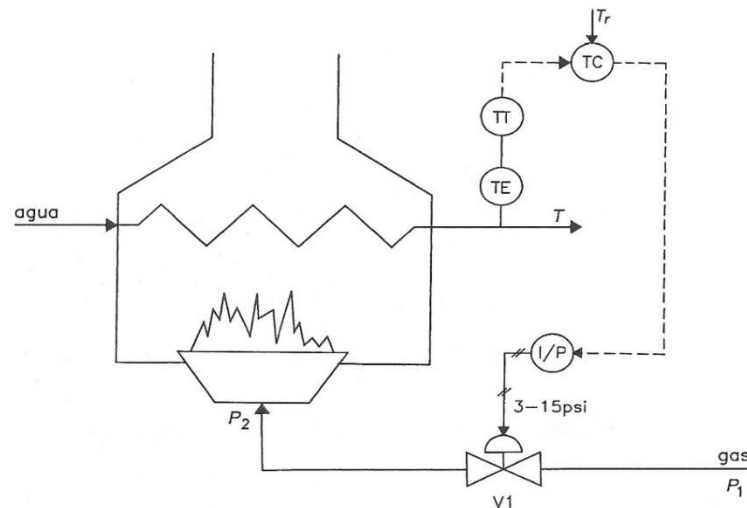
- **CONTROL EN CASCADA**
- **CONTROL FEEDBACK-FEEDFORWARD**
- **CONTROL DE RELACIÓN**
- **CONTROL SELECTIVO**

Se caracterizan por emplear varios elementos finales de control actuando sobre varias variables manipuladas para controlar una única variable de proceso

- **CONTROL DE RANGO PARTIDO**

## 2. CONTROL EN CASCADA

El **control en cascada** es una estructura de control avanzada que emplea la **medición de variables internas** del proceso para **detectar más rápidamente el efecto de las perturbaciones** y de esa manera iniciar antes las **acciones correctoras**.



**Ej.1) calentador de agua.** Un lazo de control simple por realimentación podría ser como el mostrado en la figura. Se mide la variable de proceso (temperatura del agua caliente a la salida) y se controla en base al caudal de gas (variable manipulada).

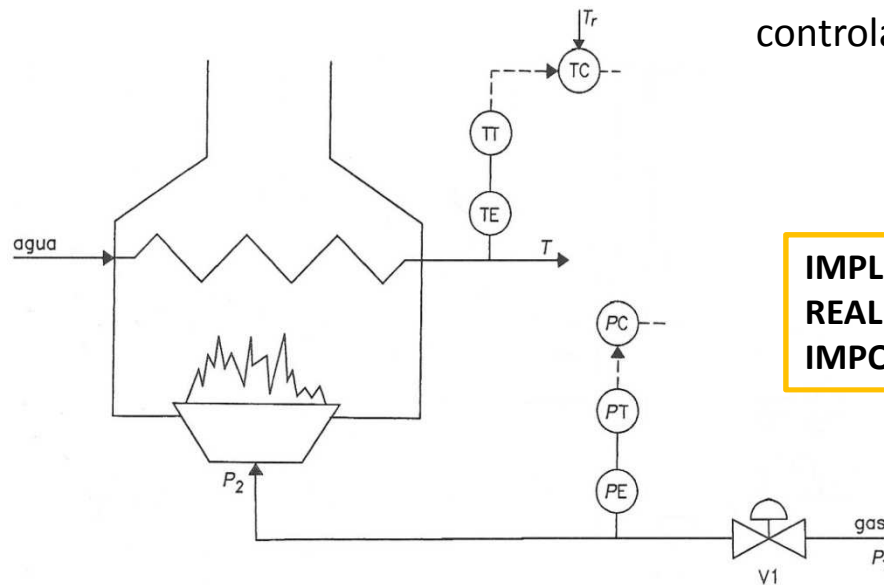
Supóngase ahora que por cuestiones ajenas al proceso, el **caudal de gas sufre variaciones** como consecuencia, por ejemplo, de un incremento en la demanda de gas por otros usuarios.

- 1) Disminución del caudal de gas disponible.
- 2) Disminución del poder de calefacción.
- 3) Disminución de la temperatura del agua caliente → **ERROR**

**El lazo empezará a actuar una vez que se ha propagado el error**

## 2. CONTROL EN CASCADA

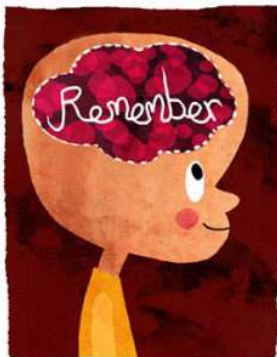
**Lazo de control en cascada**  $\Rightarrow$  controlar las posibles perturbaciones del proceso con el objeto de corregir éstas antes de que lleguen a generar un error en la variable de proceso.



Para ello, lo primer que se debe hacer es medir y controlar la posible variable de perturbación

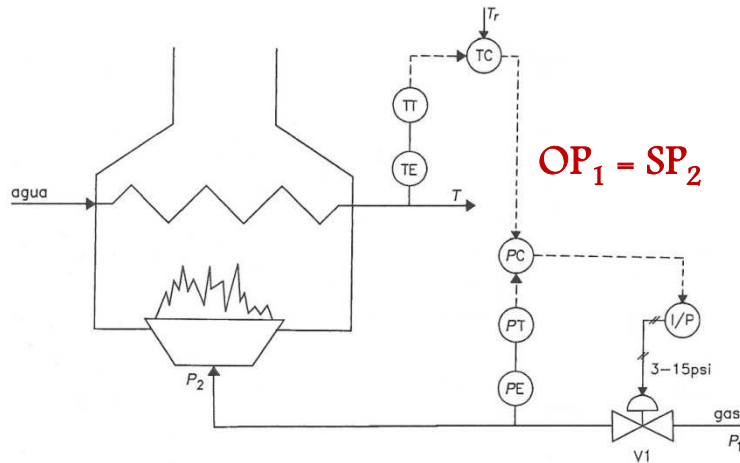


**IMPLEMENTAR SEGUNDO LAZO DE CONTROL POR REALIMENTACIÓN PARA LA PERTUBACIÓN MÁS IMPORTANTE (EN ESTE CASO LA P DE GAS)**



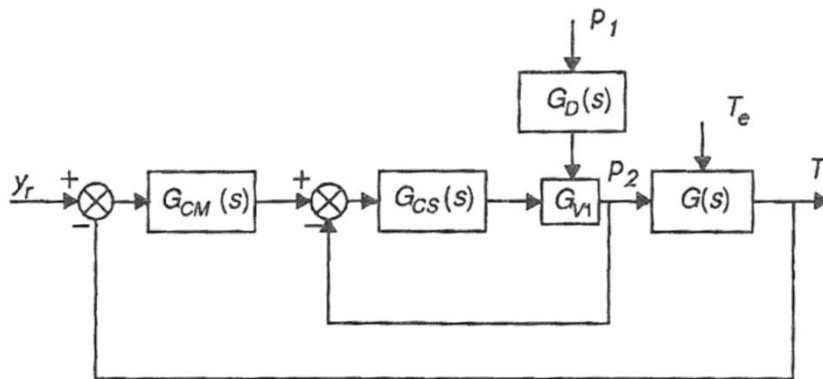
Recordemos que un lazo de control en cascada pertenece al grupo de lazos múltiples en los que se miden varias variables pero solo existe un elemento final de control... → **¿CÓMO ENLAZAMOS ENTONCES AMBOS LAZOS DE REALIMENTACIÓN?**

## 2. CONTROL EN CASCADA



De forma general, aquellos lazos múltiples de control en los que **la salida de un controlador se convierte en la entrada del siguiente controlador** se denominan lazos de control en cascada

Existen dos bucles en el diagrama de bloques: un bucle externo o bucle primario (**maestro o master**) y otro interno o bucle secundario (**esclavo o slave**).

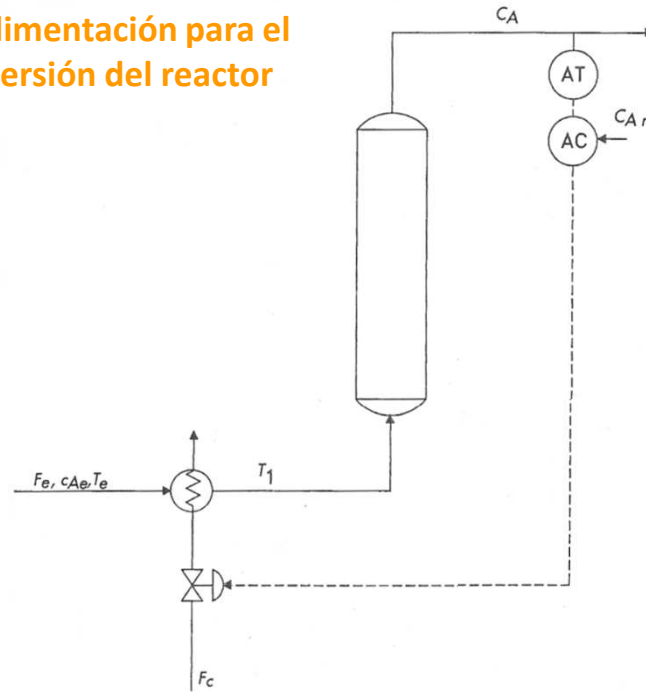


Para que los lazos de control en cascada sean eficaces es necesario que la dinámica del lazo secundario sea al menos tan rápida (y preferiblemente mucho más rápida) que la dinámica del lazo primario

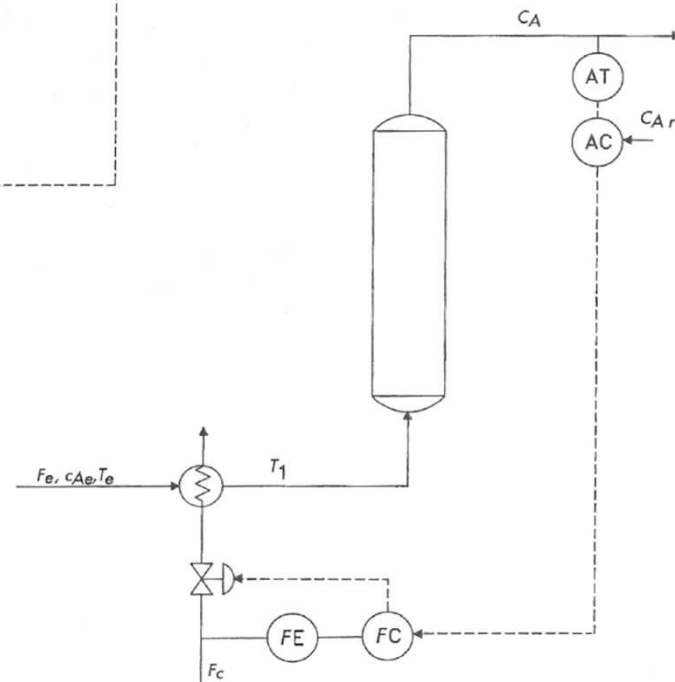
## 2. CONTROL EN CASCADA

### Ej. 2) Control de un reactor químico con alimentación precalentada

Lazo simple de realimentación para el control de la conversión del reactor



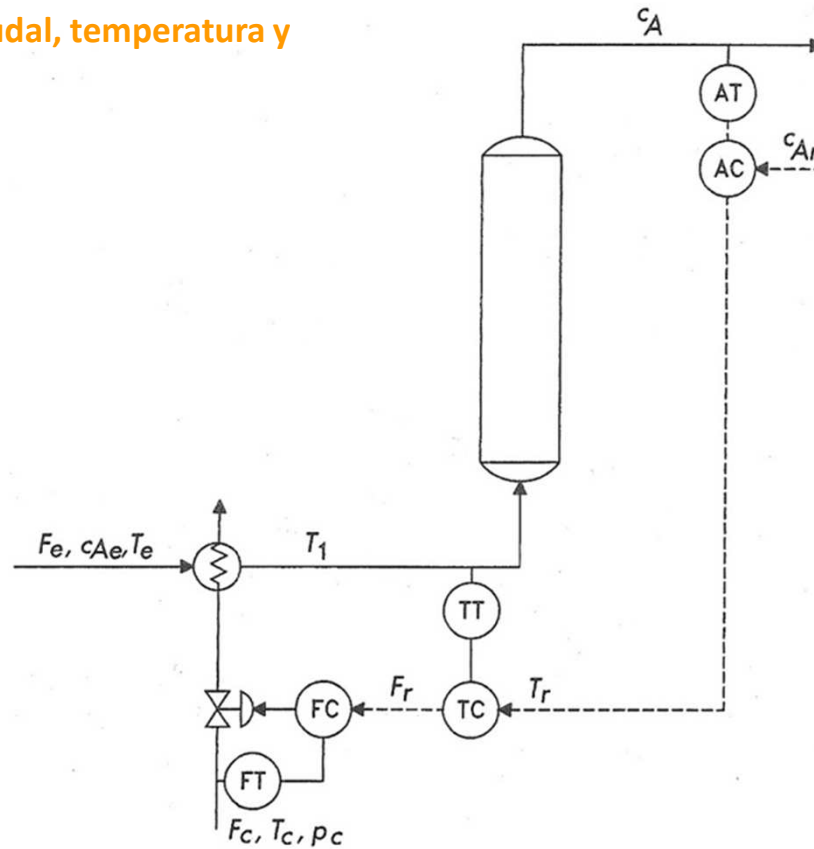
Lazo en cascada de control de caudal y composición del reactor.



## 2. CONTROL EN CASCADA

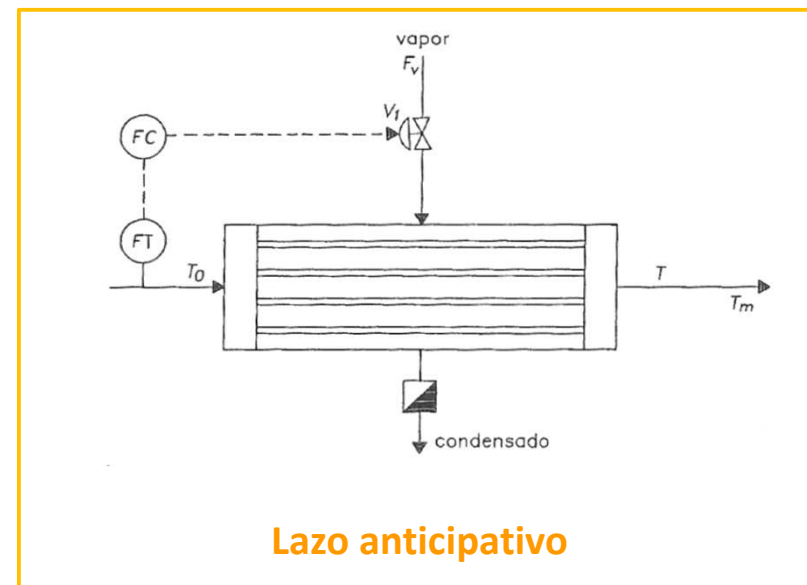
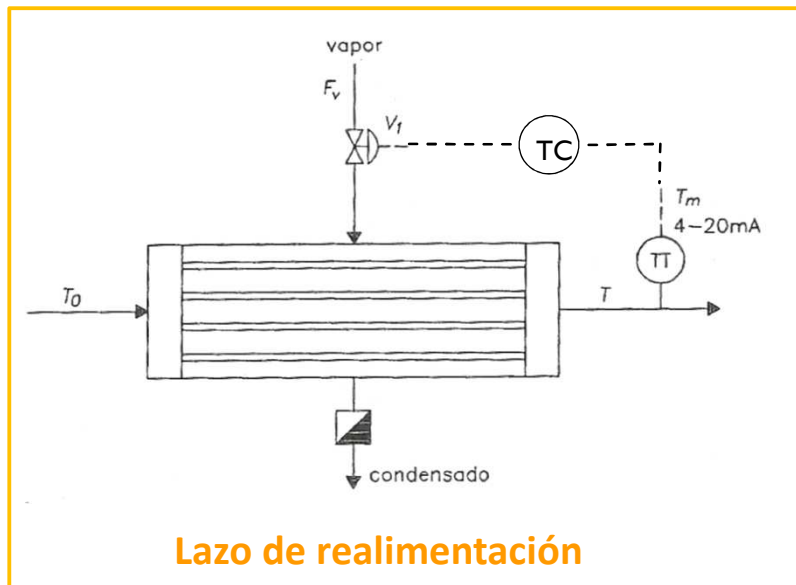
### Ej. 2) Control de un reactor químico con alimentación precalentada

Lazo en cascada de control de caudal, temperatura y composición del reactor.



### 3. CONTROL FEEDBACK-FEEDFORWARD

El **control anticipativo** (también denominado control en adelante o control por feedforward) consiste básicamente en corregir las perturbaciones que afecten al proceso en cuanto éstas se produzcan, sin esperar a que generen un error en la variable controlada.



A priori, los lazos anticipativos serían perfectos, en la realidad son muy difíciles de implementar debido a:

- El elevado número de variables de perturbación existentes en un proceso industrial
- Complejidad para conocer los modelos dinámicos que describen el comportamiento de los procesos en base a las perturbaciones.

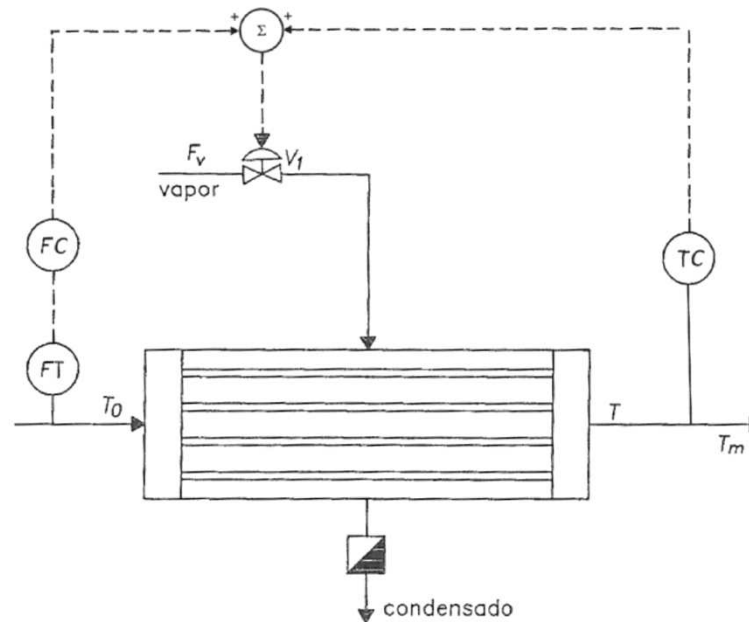
**Los lazos de control anticipativos no se implementan nunca solos, sino que siempre se integran con lazos de realimentación.**



### 3. CONTROL FEEDBACK-FEEDFORWARD

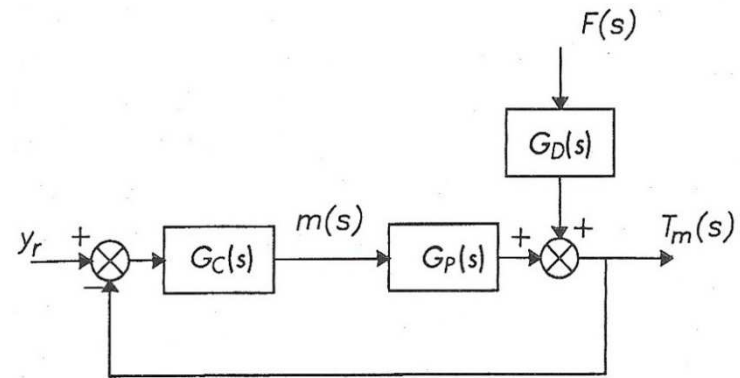
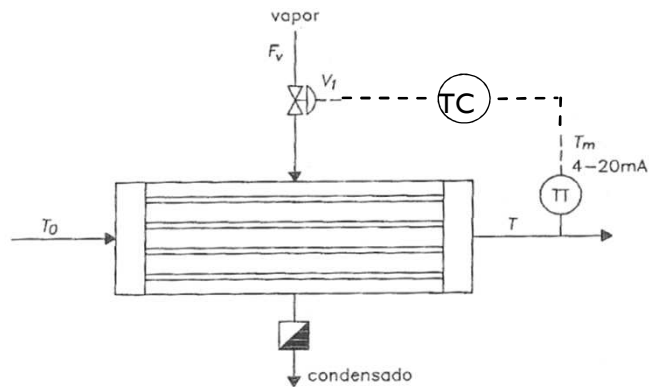
#### LAZO DE CONTROL REALIMENTACIÓN – ADELANTO (FEEDBACK-FEEDFORWARD)

De forma general el lazo de control anticipativo se encarga de corregir las perturbaciones más significativas, mientras que el lazo de realimentación se encarga de compensar el efecto del resto de variables de perturbación.

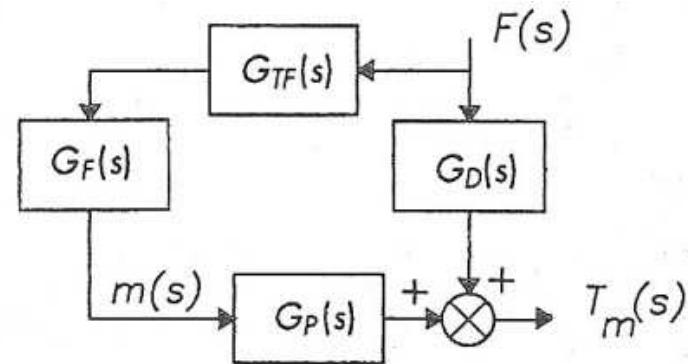
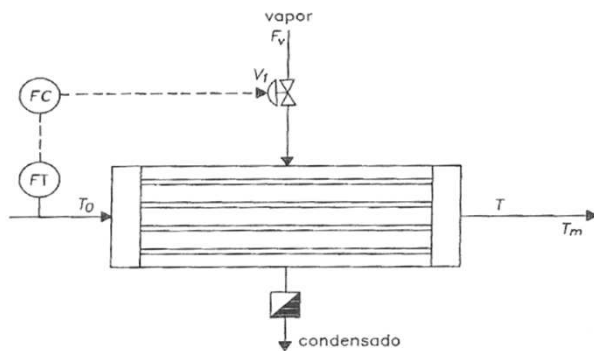


### 3. CONTROL FEEDBACK-FEEDFORWARD

#### Lazo de realimentación



#### Lazo anticipativo

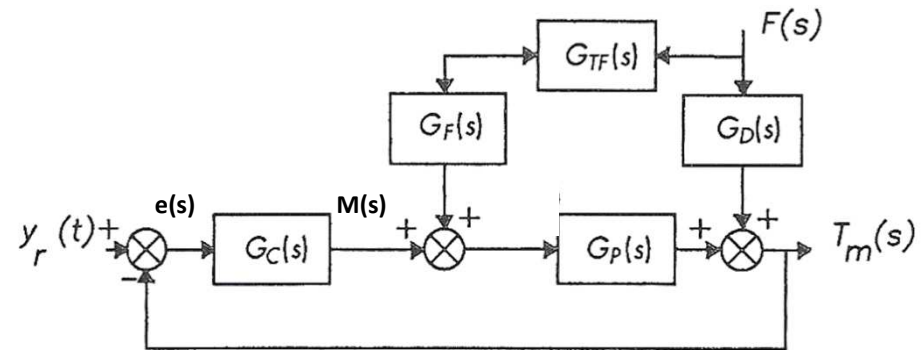
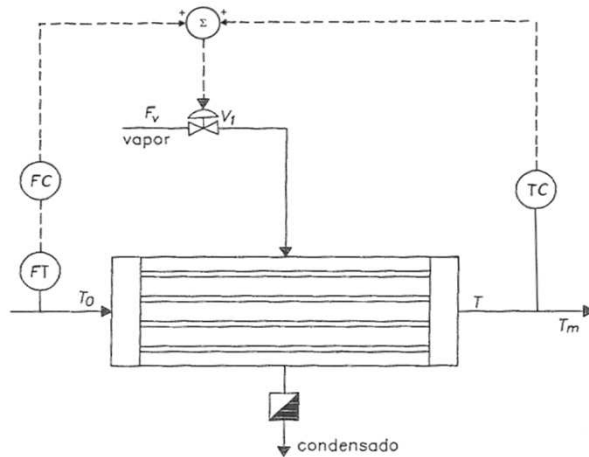


$$T_m(s) = [G_D(s) + G_P(s)G_F(s)G_{TF}(s)] \cdot F(s)$$

$$G_F(s) = -\frac{G_D(s)}{G_P(s)G_{TF}(s)}$$

### 3. CONTROL FEEDBACK-FEEDFOWARD

#### LAZO DE CONTROL REALIMENTACIÓN – ADELANTO (FEEDBACK-FEEDFOWARD)



#### Ventajas:

- Actúa antes de que la perturbación haya afectado al sistema
- Adecuado para sistemas lentos
- No introduce inestabilidad en la respuesta
- No necesita identificar todas las perturbaciones

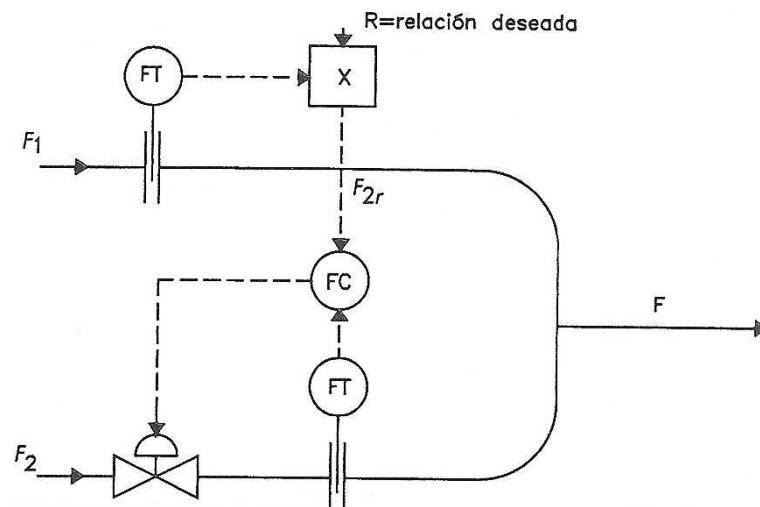
#### Inconvenientes:

- El coste del sistema de control que aumenta notablemente

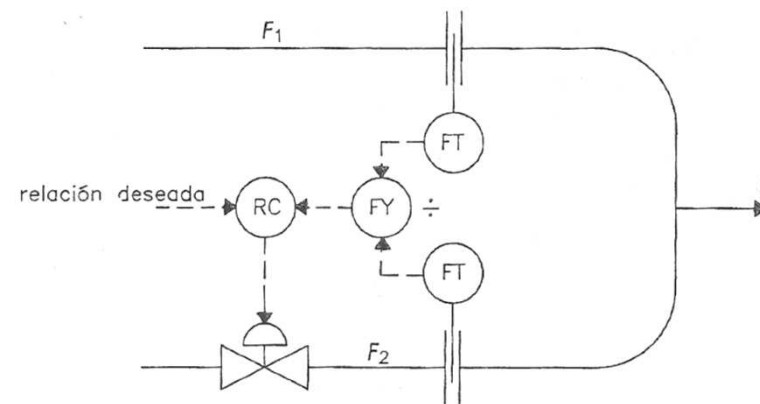
## 4. CONTROL DE PROPORCIÓN

El **control de relación (o de proporción)** es un tipo especial de control anticipativo, utilizado cuando hay que mantener una relación constante entre algunas de sus variables.

Este tipo de control se suele emplear en procesos de mezcla de dos corrientes con distinta composición o temperatura, para conseguir una corriente de mezcla con una composición o temperatura intermedia



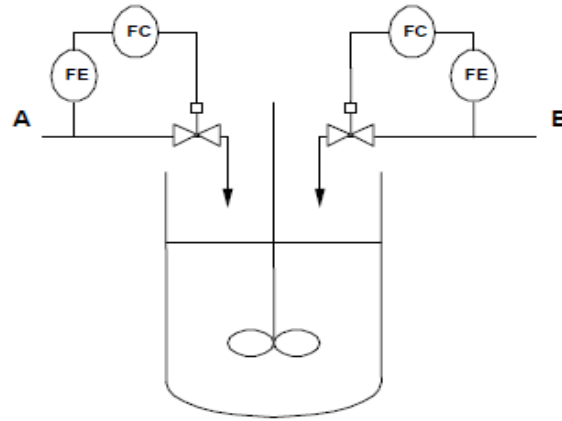
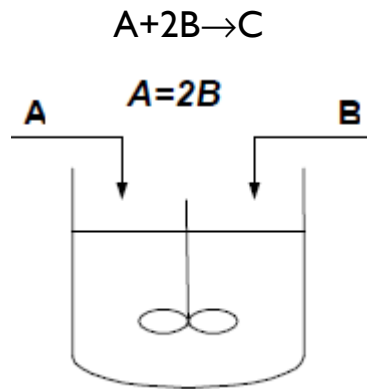
Se mide el caudal de la corriente no manipulable y con él y la relación deseada, se determina el caudal necesario en la otra corriente, que se convertirá en el punto de consigna del lazo de control de caudal



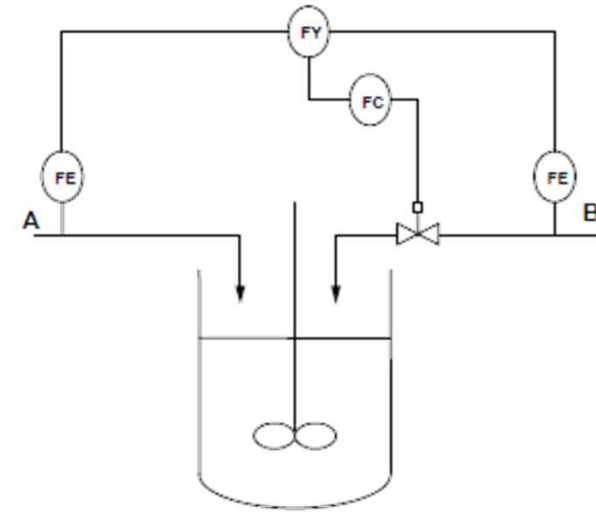
Se calcula la relación real entre ambos caudales de manera que la variable controlada sería en este caso dicha relación, que sería enviada al controlador de realimentación, cuyo set point sería la relación deseada entre ambos caudales

## 4. CONTROL DE PROPORCIÓN

Ej. Adición de dos caudales líquidos en un tanque



Control en Común



Control en Proporción

### Aplicaciones:

- Controlar la cantidad relativa de componentes en operaciones de mezcla.
- Mantener una relación estequiométrica en la adición de reactivos a un reactor.
- Ajustar la cantidad de combustible a aire en un horno entorno a un valor óptimo.

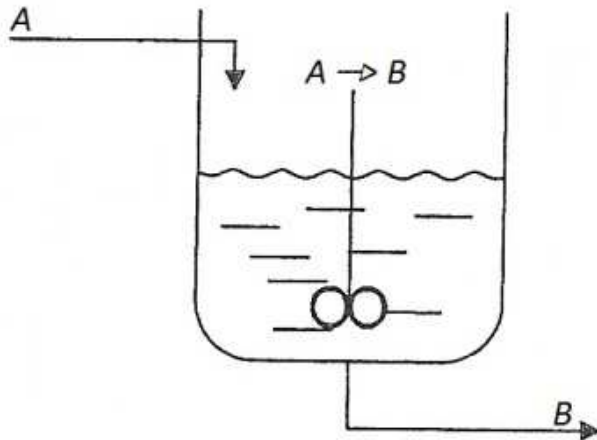
## 5. CONTROL SELECTIVO O CON RESTRICCIONES

**Objetivo:** mantener bajo control varias variables manipulando sólo una de ellas.

Estrictamente, sólo se puede controlar una variable, pero se puede conseguir que las otras variables no superen unos determinados límites.

La actuación depende de una de ellas que domina en función de un selector, pero se intenta que, antes de alcanzar niveles peligrosos, se produzca el cambio en la variable dominante.

**Ejemplo reactor.**

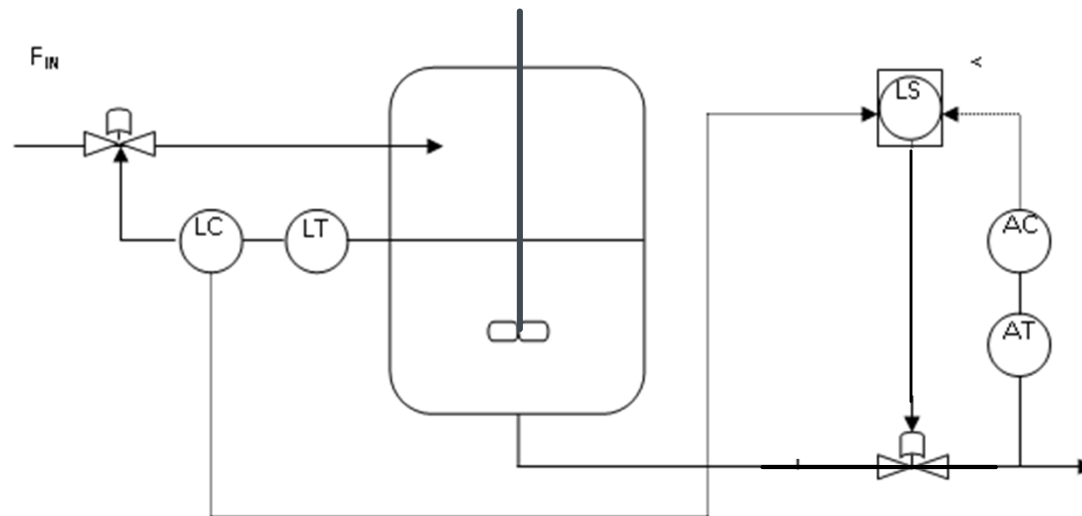


**¿QUÉ QUIERO?** → Maximizar la producción de  $B$

- Minimizar la cantidad de  $A$  a la salida del reactor  $\Rightarrow V$  reactor (nivel) constante

## 5. CONTROL SELECTIVO O CON RESTRICCIONES

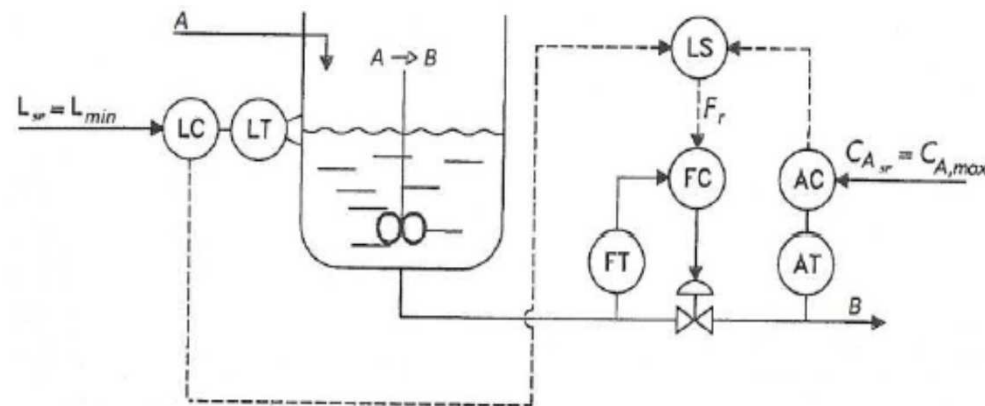
El nivel como la concentración de A han de controlarse para que no sobrepasen unos determinados **valores, ambas variables van a medirse y la señal medida va a enviarse a sendos controladores de nivel y composición**. El controlador de composición, AC intentará imponer un valor de **Fin** para ajustarse a  $C_{A,SP}$ . y al mismo tiempo el controlador LC tratará también de imponer un valor de **Fout** para ajustarse al valor  $L_{SP}$ .



En este caso, el conflicto entre los dos controladores se resuelve mediante un **selector de baja (LS)** que elige la menor de las dos señales de control.

## 5. CONTROL SELECTIVO O CON RESTRICCIONES

El nivel como la concentración de A han de controlarse para que no sobrepasen unos determinados **valores, ambas variables van a medirse y la señal medida va a enviarse a sendos controladores de nivel y composición**. El controlador de composición, AC intentará imponer un valor de **Fin** para ajustarse a  $C_{A,SP}$ . y al mismo tiempo el controlador LC tratará también de imponer un valor de **Fout** para ajustarse al valor  $L_{SP}$ .



En este caso, el conflicto entre los dos controladores se resuelve mediante un **selector de baja (LS)** que elige la menor de las dos señales de control.



## 6. CONTROL DE RANGO PARTIDO

Los **lazos de control de rango partido** son aquellos en los que se tiene una variable controlada y más de un elemento final de control sobre el que actuar, existiendo **más variables manipuladas que variables controladas**.

En este caso únicamente se mide una variable (variable controlada) por lo que se tiene un único controlador. Sin embargo, en función del rango que se encuentre la señal del error, y por tanto, en **función del rango en el que se encuentre la señal de salida del controlador**, esta señal de salida irá destinada a un elemento final de control o a otro, manipulando en cada caso una variable distinta

Control de presión de un tanque por rango partido

PV	PIC	V-1	V-2
0	0	100%	0%
25	25	50%	0%
50	50	0%	0%
75	75	0%	50%
100	100	0%	100%

