


# **BLOQUE III. APLICACIONES DEL CONTROL EN EQUIPOS INDUSTRIALES RELACIONADOS CON LA INGENIERÍA AMBIENTAL**

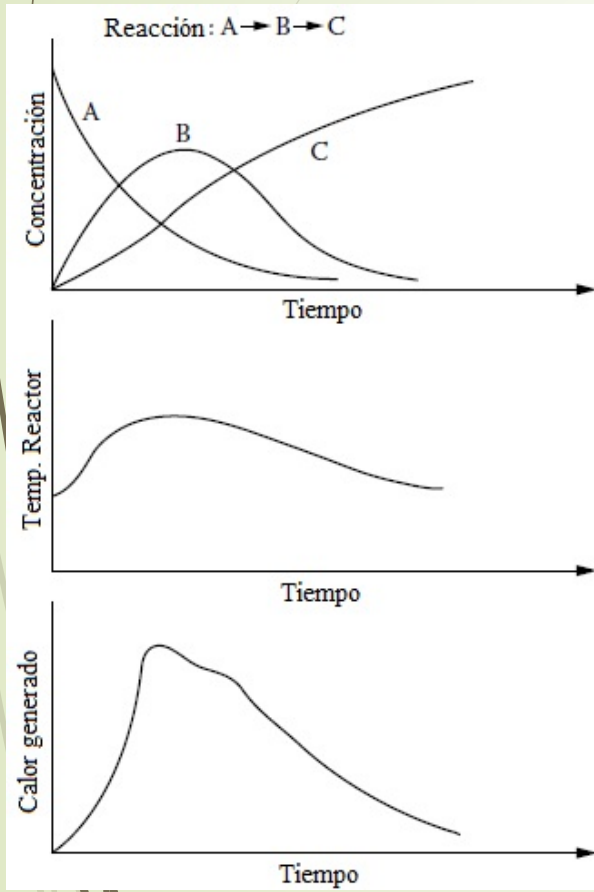


## **TEMA 8: CONTROL DE REACTORES QUÍMICOS Y TORRES DE ABSORCIÓN**



# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

**Objetivo:** la productividad máxima (máximo rendimiento) en unas condiciones de operación seguras y estables → Control de temperatura, presión y concentración de reactivos y productos dentro del reactor.



## CONTROL DE TEMPERATURA:

La temperatura influye exponencialmente en la velocidad de reacción. Todas las reacciones químicas absorben o liberan calor. Reacciones exotérmicas/endotérmicas.

## CONTROL DE LA ALIMENTACIÓN

Otro concepto importante cuando se trabaja en reactores continuos es el de velocidad espacial o tiempo de residencia. El tiempo de residencia se puede definir como la relación existente entre el volumen del reactor respecto al caudal en continuo que pasa a su través.



# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

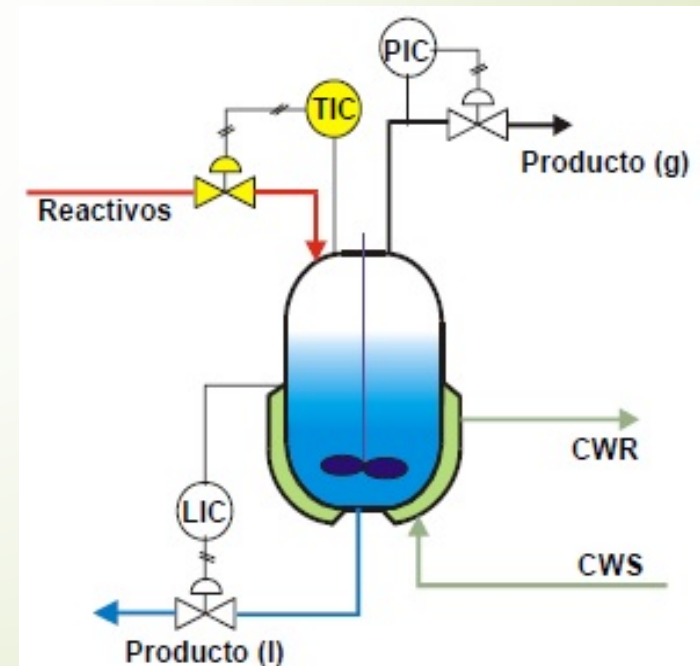
## A. CONTROL DE TEMPERATURA

**REACCIONES EXOTÉRMICAS** → liberará calor continuamente, tendiendo a incrementar la temperatura del medio de reacción.

**OBJETIVO:** mantener una temperatura constante en el medio de reacción, eliminando el calor generado. Seguridad de operación: fuego o explosiones, aumento incontrolado de la producción y/o desactivación del catalizador.

### A.1. Control de T mediante la adición de reactivos

- Se modifica el calor generado en la reacción mediante la manipulación de la carga, para un sistema de refrigeración dado.
- Se modifica tanto la cantidad de reactivos como el tiempo de residencia de los mismos en el reactor.
- Esta estrategia de control no es muy utilizada ya que requiere que se pueda manipular la carga del reactor y esto no suele ser habitual.





# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

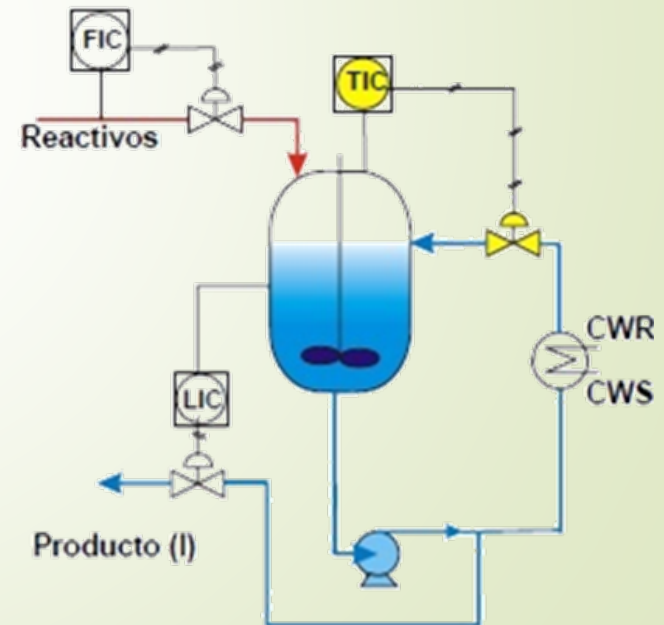
## A. CONTROL DE TEMPERATURA

### A.2. Control sobre el calor eliminado mediante la modificación del coeficiente global de transporte, $U$ .

Teniendo en cuenta que  $Q = U \cdot A \cdot \Delta T$ , se puede controlar el calor de reacción a través de la modificación de  $U$ . Este parámetro no se puede manipular directamente, sino alguna variable que influya sobre su valor.

#### A.2.1 Control de $T$ mediante regulación del caudal de reciclo

- La **manipulación del caudal de reciclo** será una buena opción cuando el valor de  $U$  sea sensible en el rango de velocidades de recirculación que pueda darse.
- Hay que tener en cuenta que cuanto mayor es el reciclo, menor producto se obtiene, lo que condiciona el caudal máximo de reciclo posible.

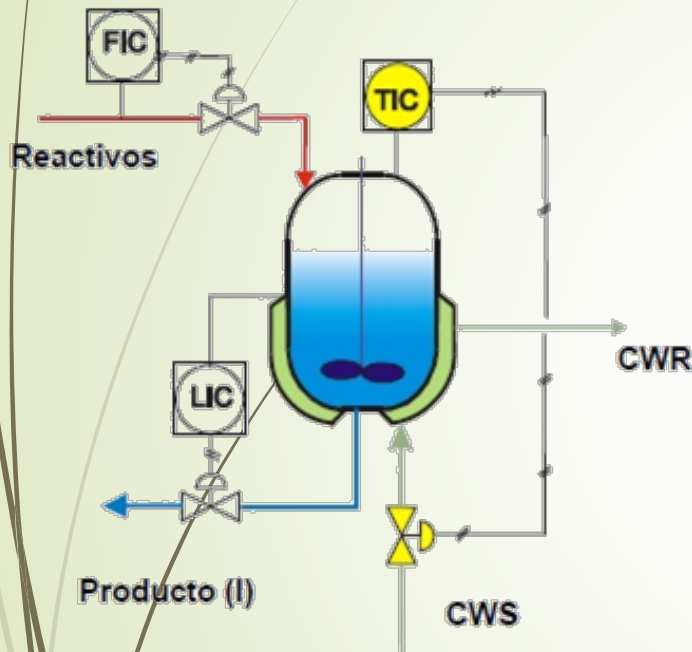




# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

## A. CONTROL DE TEMPERATURA

### A.2.2 Control de $T$ mediante caudal de líquido refrigerante



La manipulación del caudal de refrigerante posiblemente sea la opción más sencilla y más intuitiva. Sin embargo, esta estrategia no se emplea con mucha frecuencia por muchos motivos:

- El efecto del caudal de refrigeración sobre  $h_{ext}$  prácticamente es nulo en régimen turbulento.
- Aunque  $h_{ext}$  se vea afectado por el caudal de refrigerante, su efecto es despreciable comparado con el  $h_{int}$ .
- Esta estrategia de control provoca una modificación constante del tiempo de residencia del refrigerante en la camisa, modificándose el tiempo muerto del proceso de refrigeración.
- Hay muy poca linealidad entre la temperatura de reacción y el caudal de refrigerante (dificultad de control)



Recirculación  
del  
refrigerante

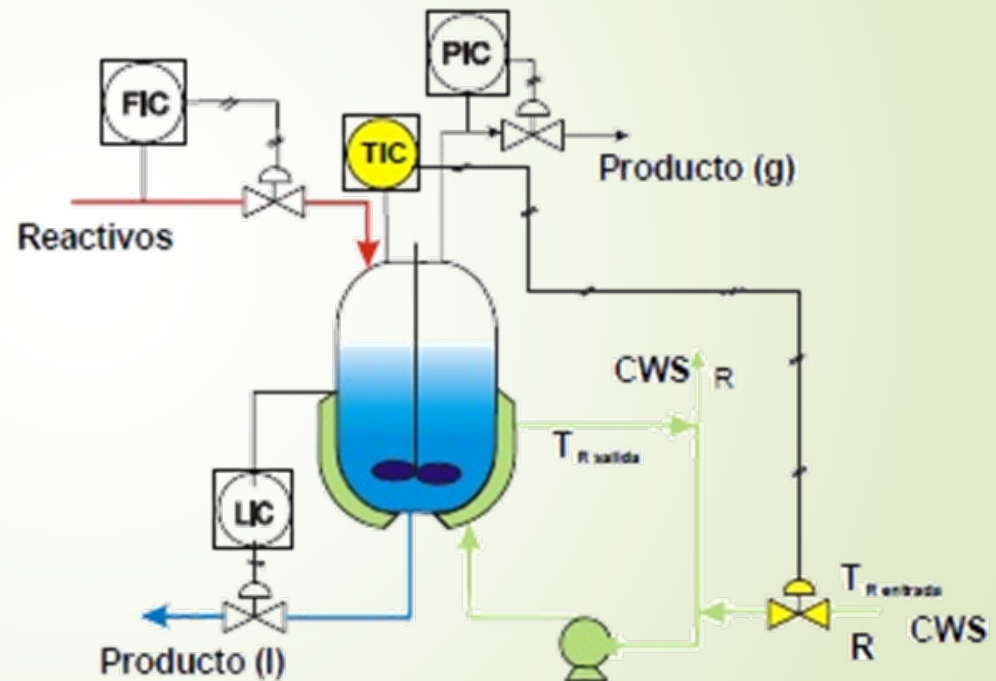


# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

## A. CONTROL DE TEMPERATURA

### A.2.3 Control de $T$ mediante caudal de líquido refrigerante con recirculación

- Permite mantener constante el tiempo muerto del proceso de refrigeración y la temperatura del refrigerante, evitando la generación de perfiles en la camisa.
- El coeficiente global de transporte se mantendrá en un valor adecuado

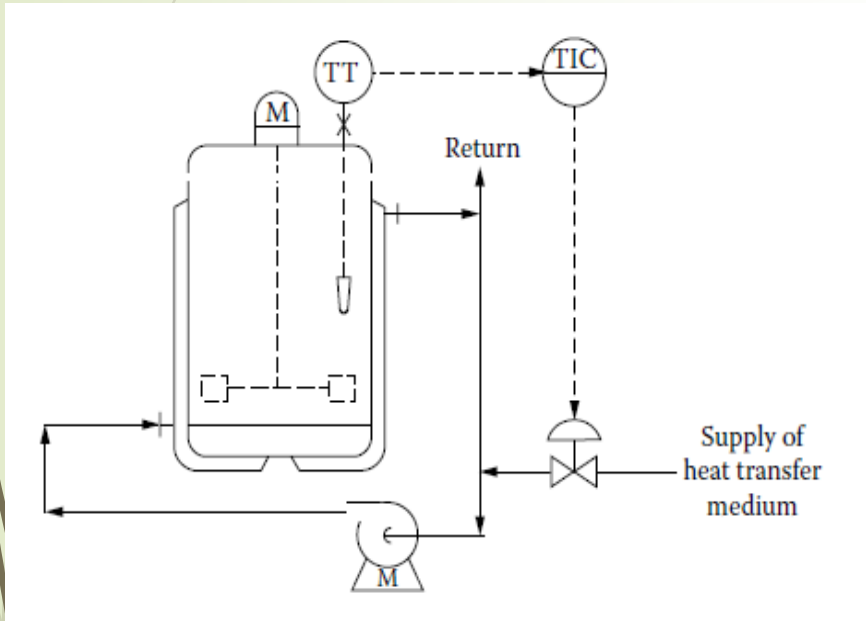




# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

## A. CONTROL DE TEMPERATURA

### A.2.3 Control de $T$ mediante caudal de líquido refrigerante con recirculación



- El control de temperatura se puede realizar manipulando tanto el caudal de refrigerante recirculado como el aporte de refrigerante fresco.
- La manipulación del refrigerante recirculado, manteniendo una velocidad de reciclo constante apenas conduce a cambios de  $U$ , sin embargo afecta en gran medida a  $\Delta T$ .
- El calor de reacción eliminado se ve muy afectado por la temperatura del refrigerante recirculado.

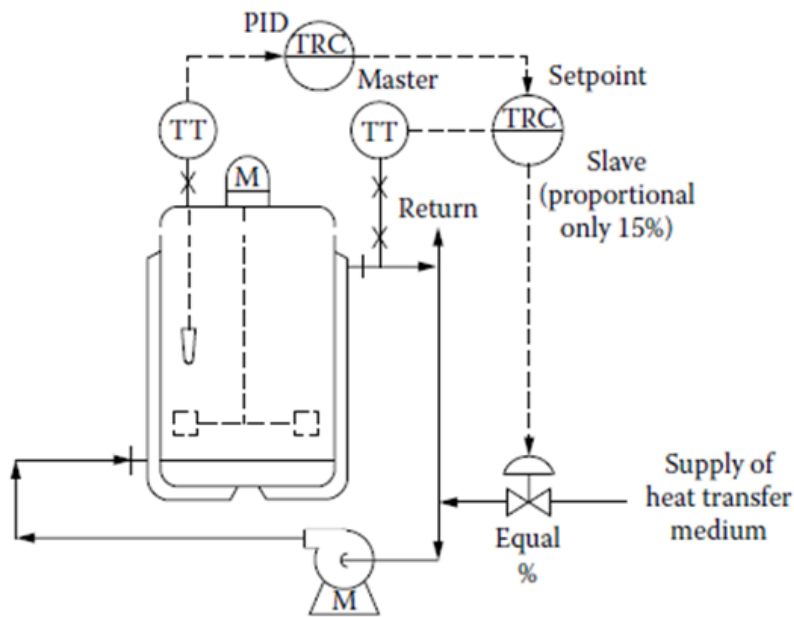
**Lazo en cascada  
con la temperatura  
del refrigerante**



# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

## A. CONTROL DE TEMPERATURA

### A. 2.4. Control de $T$ mediante caudal de líquido refrigerante con recirculación en cascada



Se mide la temperatura en el interior del reactor y en función de la misma se determina si ha de eliminarse más o menos calor del reactor. Ello se traducirá en una nueva temperatura del refrigerante recirculado, requerida para tener un  $\Delta T$  óptimo, que se obtendrá mediante la manipulación del aporte de refrigerante fresco.

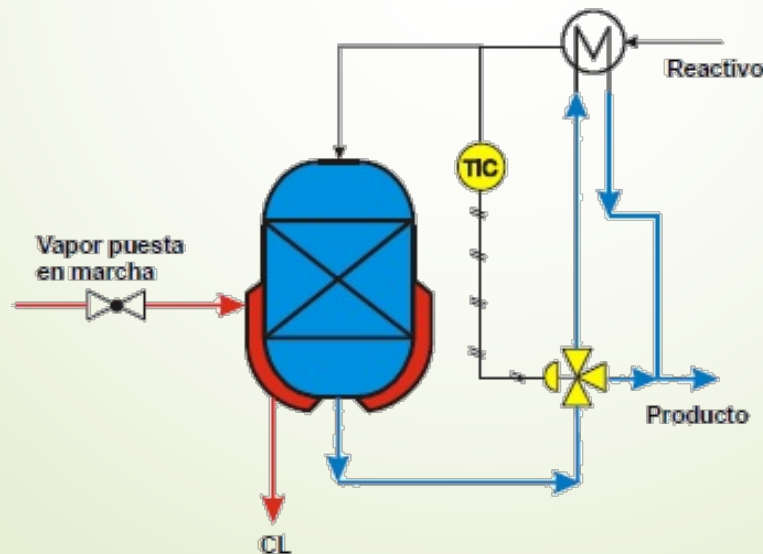


# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

## A. CONTROL DE TEMPERATURA

**Reacciones endotérmicas.** Son autorregulables. Requieren un aporte constante de calor para llevarse a cabo, si se corta el suministro de calor, la reacción se detiene. El control de temperatura debe garantizar una energía de activación óptima. Para ello ha de asegurarse que los reactivos entran al reactor con una determinada temperatura, que puede conseguirse de formas muy diversas:

- Calentando cada reactivo de forma independiente.
- Calentando conjuntamente ambos reactivos.
- ***Calentando los reactivos empleando como fluido calefactor el propio producto de salida de la reacción.***
- Control en cascada del fluido calefactor





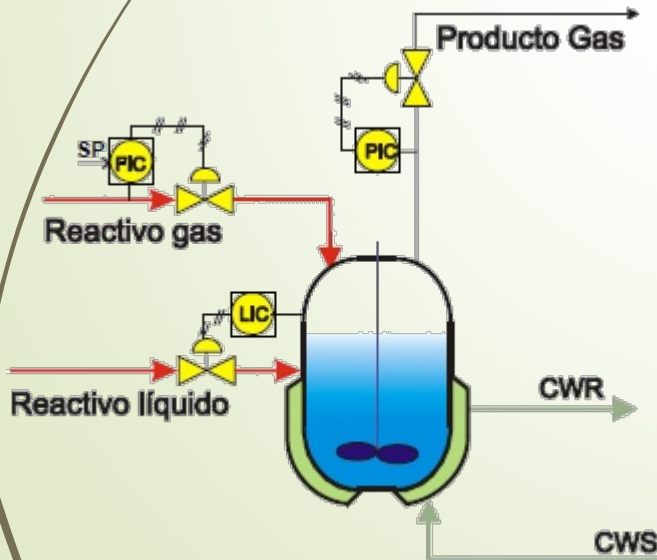
# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

## B. CONTROL DE LA ALIMENTACIÓN

Una vez establecidas las condiciones de presión o temperatura con la que debe trabajar un reactor, maximizar tanto la conversión de reactivos como la producción del reactor está fuertemente relacionado con la relación estequiométrica de los reactivos que participan en la reacción. Por lo que controlar la forma que en los diferentes reactivos se alimentan al reactor se convierte en una tarea muy importante.

### B.1. Uno de los reactivos (L) difiere en fase del otro (G) y de los productos (G)

Cuando alguno de los reactivos se encuentra en un estado de agregación diferente al del resto de reactivos y productos, se adiciona automáticamente a medida que se va consumiendo en el medio de reacción.



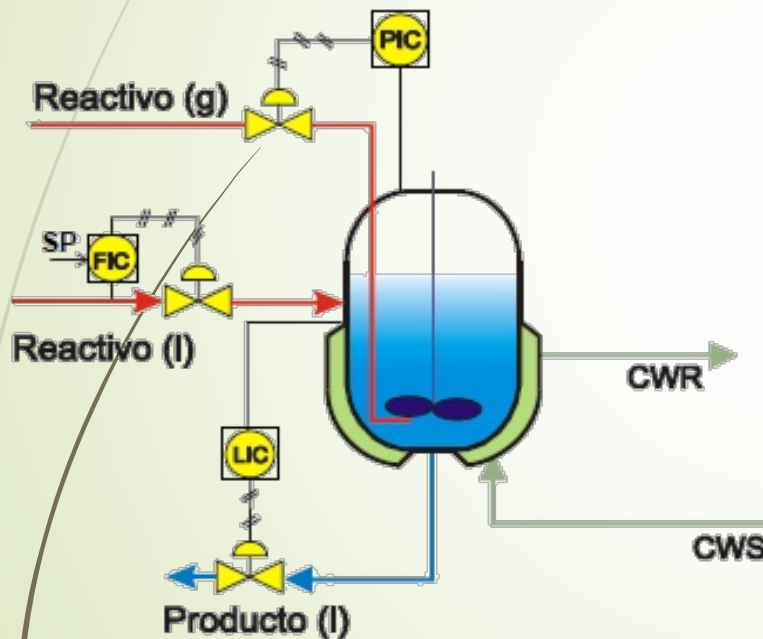
- Con un reactivo líquido, la adición del reactivo se llevará a cabo mediante el control del nivel del reactor.
- Así, el descenso del nivel en el reactor, como consecuencia del consumo de dicho reactivo, se compensará inmediatamente añadiendo más reactivo.
- El resto de reactivos, al ser gaseosos, se podrán controlar con los correspondientes controladores de presión.



# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

## B. Control de la alimentación

### B.2. Uno de los reactivos (G) difiere en fase del otro (L) y de los productos (L)



Por el contrario cuando se empleé un reactivo en estado gaseoso, siendo tanto el resto de reactivos como el producto de reacción compuestos líquidos, el consumo de reactivo gaseoso se evaluará través de la presión en el interior del reactor. De modo que si la presión baja, se aportaría mayor caudal del reactivo gaseoso.

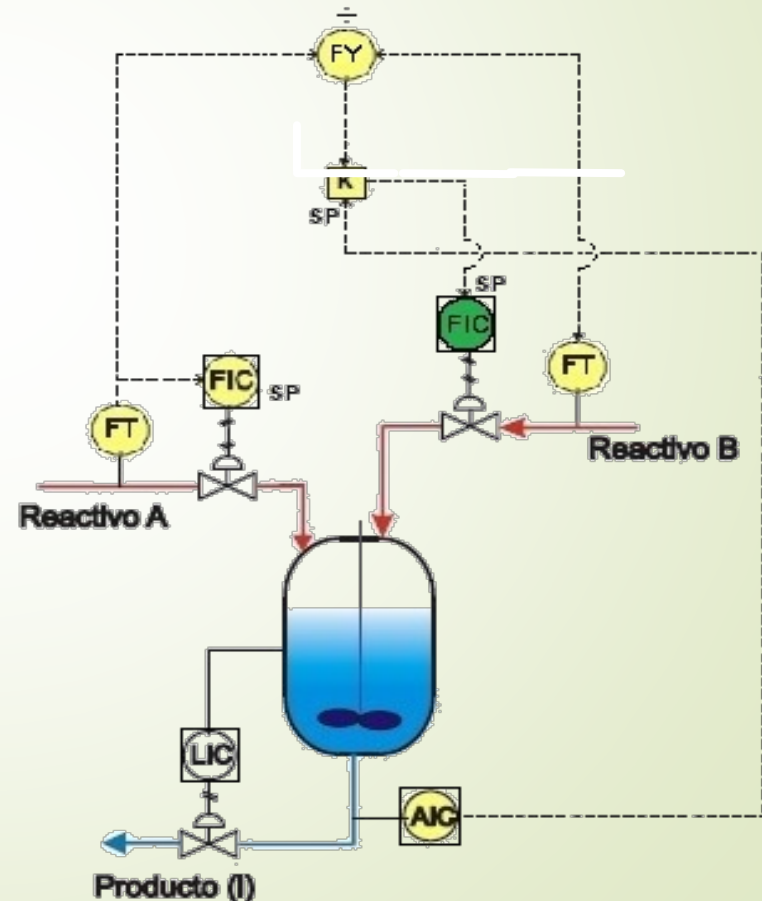
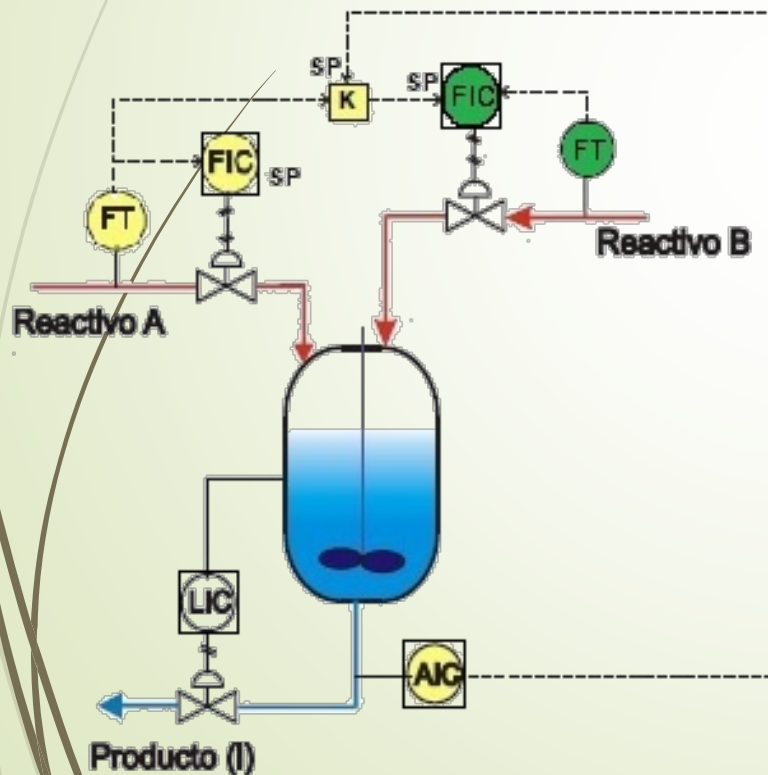


# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

## B. Control de la alimentación

### B.3. Dos reactivos con el mismo estado de agregación sin reciclo.

La estrategia de control más ampliamente empleada para mantener una determinada relación entre diferentes reactivos es el **control en proporción**.



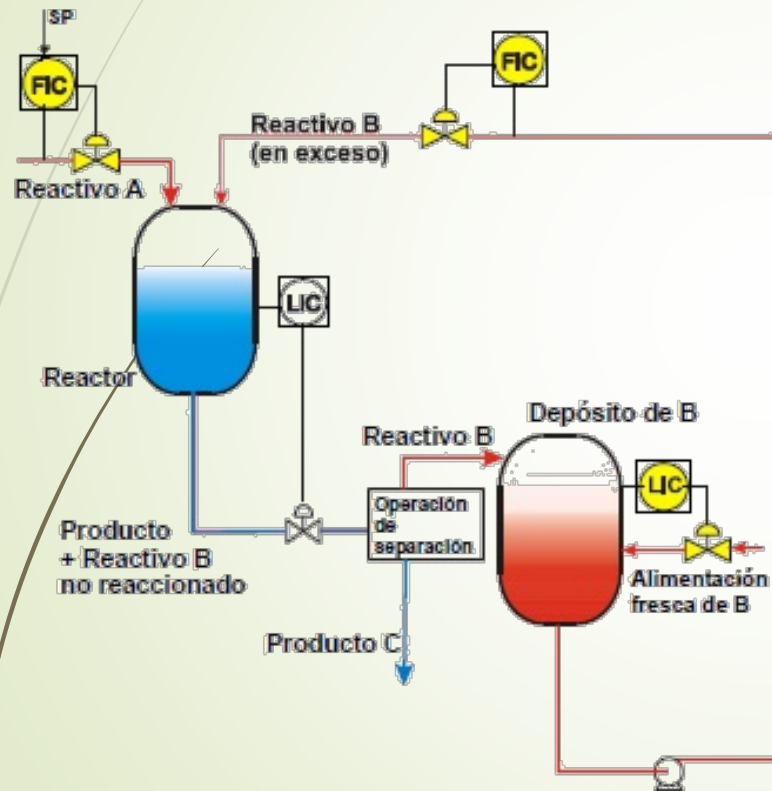


# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

## B. Control de la alimentación

### B.4. Dos reactivos con el mismo estado de agregación con reciclo.

#### Reciclo de reactivo en exceso



El control del reactivo limitante se hará de forma independiente para asegurar la producción deseada, y por otro lado se controlará el caudal del reactivo en exceso (cuyo control no será muy crítico al estar en exceso) para que se alimente con caudal constante. Dicho caudal del reactivo en exceso estará formado por la fracción del reactivo separada del producto más un aporte de reactivo fresco.

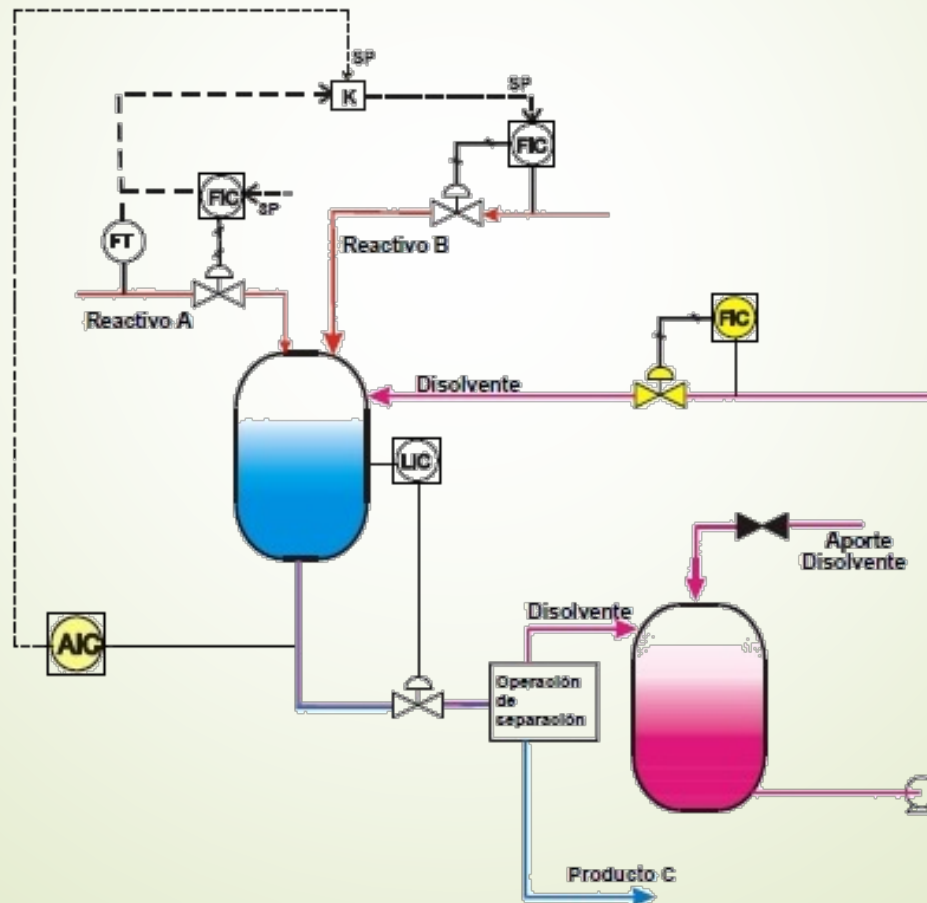


# 1. CONTROL DE REACTORES CONTINUOS

## B. Control de la alimentación

### B.4. Dos reactivos con el mismo estado de agregación con reciclo.

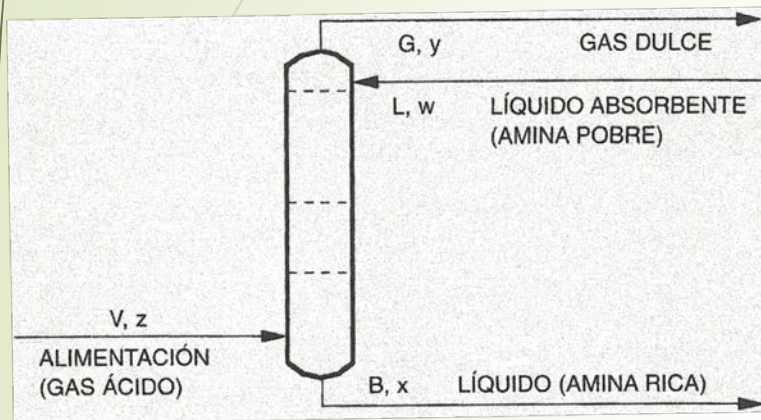
Reciclo de reactivo de inerte (disolvente).



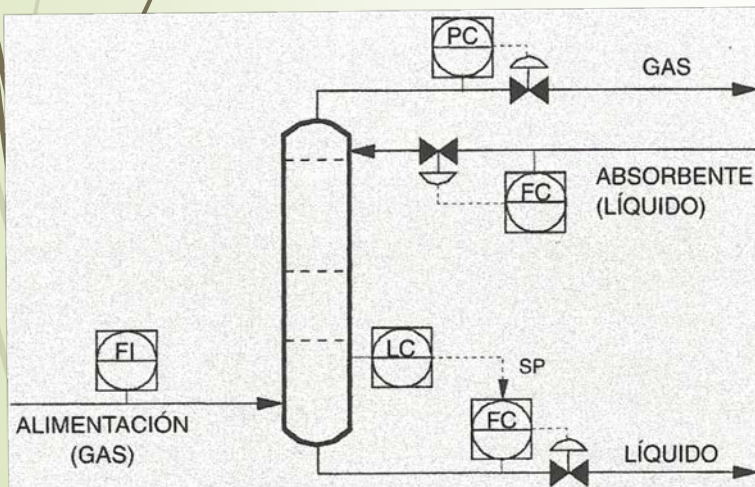


## 2. CONTROL EN TORRES DE ABSORCIÓN/STRIPPING

Los procesos de absorción se basan en la captura de determinados compuestos presentes en una corriente gaseosa, por medio de un absorbente líquido.



- El proceso de transferencia de materia depende fuertemente de la presión de vapor de los componentes → **Temperatura**.
- La correcta selección de la temperatura permitirá trabajar en régimen de absorción o desorción (stripping)
- Para favorecer el proceso de absorción, la temperatura del absorbente debe mantenerse lo más baja posible y la presión en la columna lo más alta posible.



*Lazo simple de control de una columna de absorción.*

*(Se controlan las corrientes  $L$  y  $B$  para cerrar el balance de materia)*



## 2. CONTROL EN TORRES DE ABSORCIÓN/STRIPPING

### A. Control de la alimentación.

Se trata de controlar la calidad del producto de cabeza, mediante la manipulación del caudal de alimentación del absorbente (L).

$$V + L = G + B$$

B.M.Total

$$V \cdot z + L \cdot w = G \cdot y + B \cdot x$$

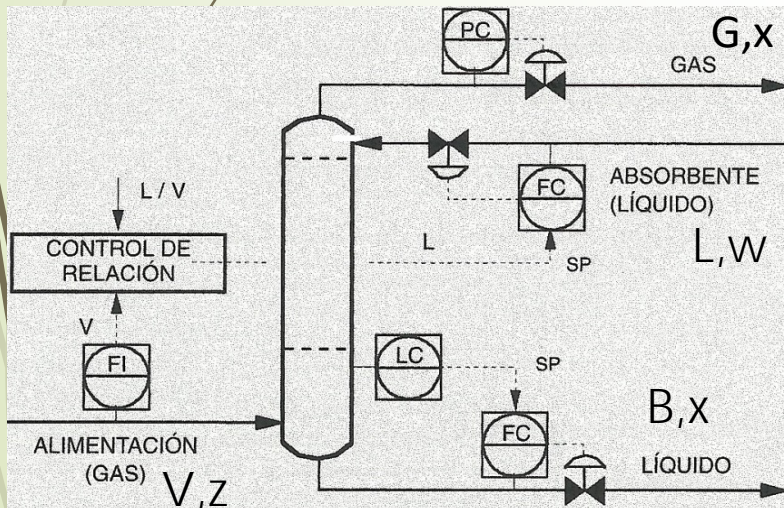
Balance por componente

$$G(1 - y) = V(1 - z)$$

Solo se absorbe y y z

$$\frac{L}{V} = \frac{(z-y)(1-x)}{(x-w)(1-y)}$$

Combinando

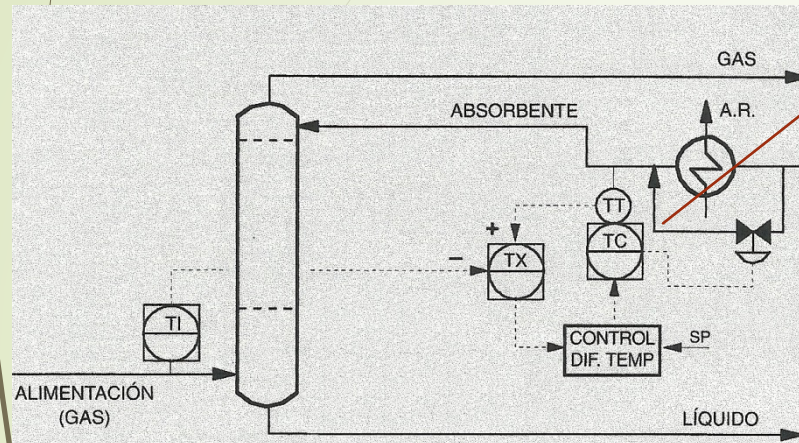


- Realizando el balance de materia por componente se obtiene que para controlar el caudal de L, en realidad se debe controlar la relación L/V.
- Se trata de una estrategia de control de relación. A partir del caudal de alimentación, y de la relación L/V deseada, se manipulará el caudal del absorbente.
- EL nivel de líquido en la torre se controla con un lazo en cascada nivel-caudal de producto.

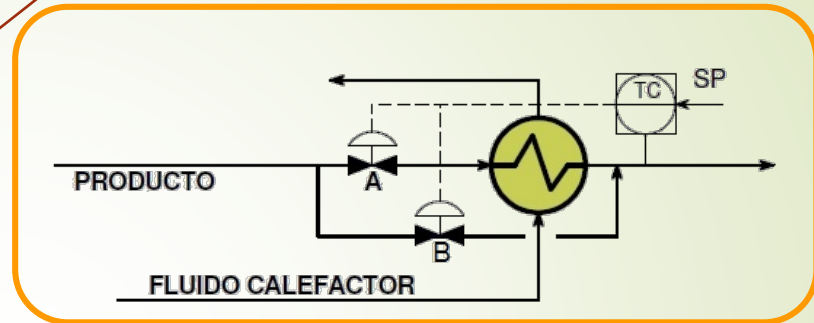


## 2. CONTROL EN TORRES DE ABSORCIÓN/STRIPPING

### B. Control de temperatura del absorbente.



Falta una válvula (control en Split range) (TEMA 6)



- Es necesario mantener la temperatura del absorbente lo mas baja posible. (Hay un límite, la temperatura de V)
- El objetivo es mantener constante un  $\Delta T$  entre la alimentación y el absorbente.
- Se miden ambas temperaturas y se calcula el  $\Delta T$  real con **(TX)**. Dicho  $\Delta T$  se compara con el SP deseado (**control dif. de temp.**) y en función del resultado se determina si hay que  $\uparrow$  o  $\downarrow$  la temperatura del absorbente, actuando el controlador TC sobre el *by pass* del enfriador.

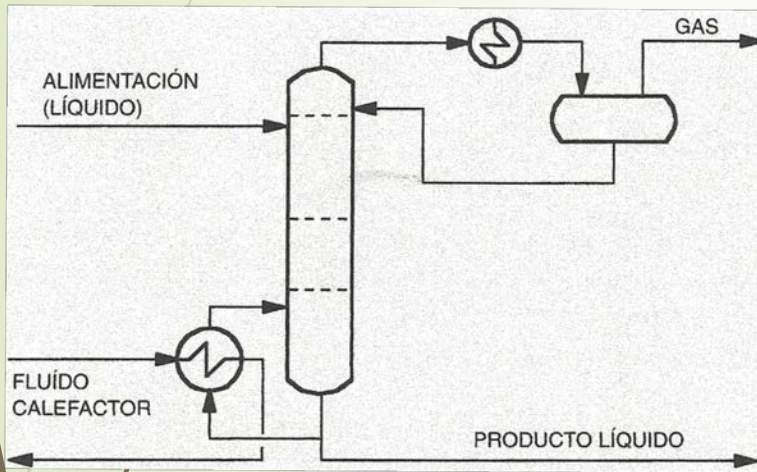
***¿Cómo responderá el sistema si disminuye la temperatura de V?***



## 2. CONTROL EN TORRES DE ABSORCIÓN/STRIPPING

### Desorción / Stripping

El objetivo de la desorción (o *stripping*) es eliminar o recuperar los compuestos gaseosos previamente absorbidos en una corriente líquida. Por tanto se alimenta una corriente líquida a través de la cual se hace pasar una corriente gaseosa que arrastrará consigo los componentes gaseosos disueltos en la corriente líquida.



En este caso, el absorbente procedente de la etapa de absorción se alimenta por cabeza. El producto de fondo se calienta en un *reboiler*, con el objetivo de aumentar la presión de vapor de todos los componentes y se devuelve a la columna en fase gas. El gas va ascendiendo y se le va transfiriendo el componente gaseoso a recuperar.

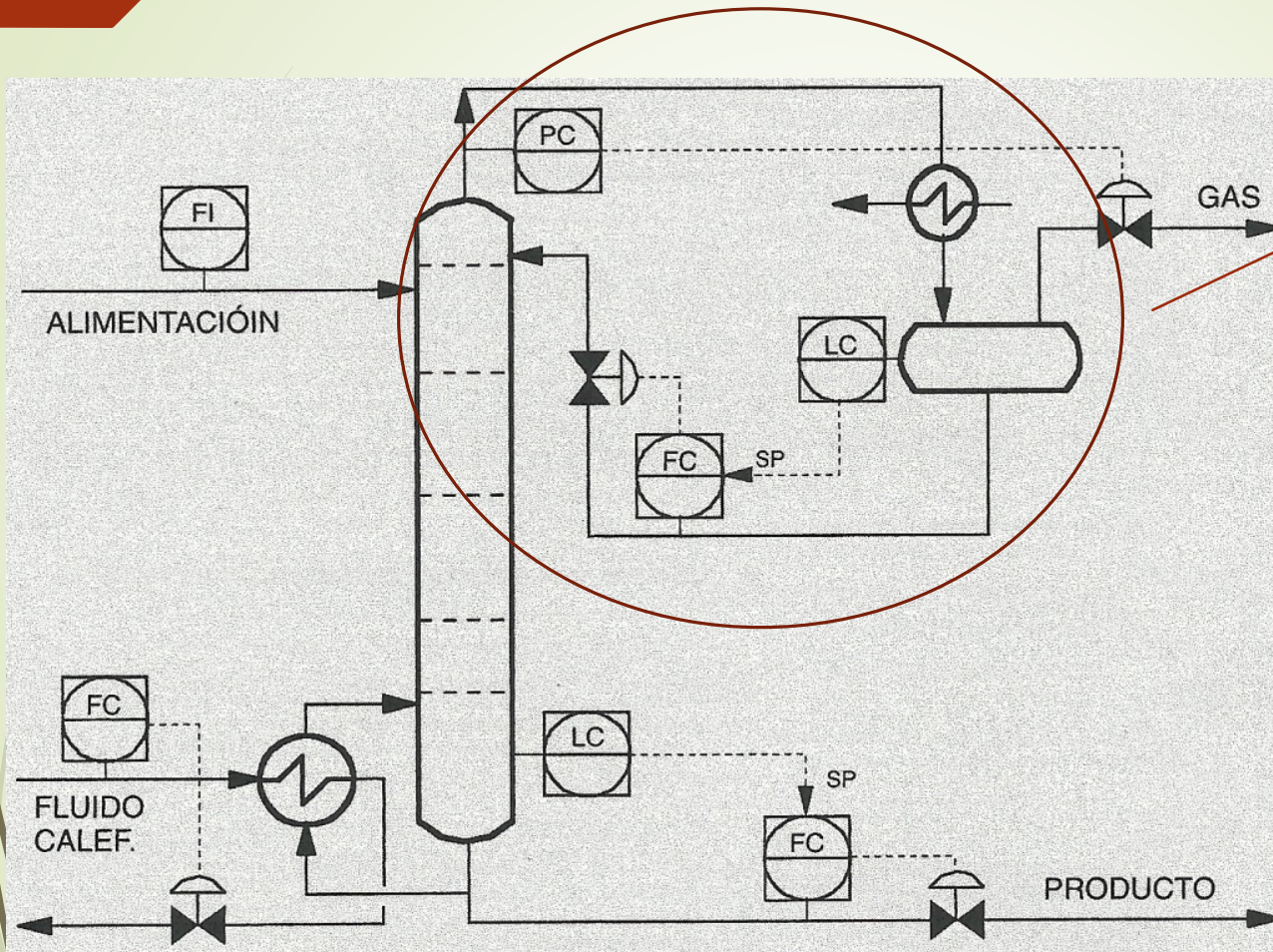
Por ultimo, en cabeza de columna, el gas de salida (absorbente más componente gaseoso a recuperar) pasa por un condensador. El objetivo es condensar el absorbente, que se devuelve a la columna como reflujo, mientras que el componente gaseoso a recuperar se extrae puro del condensador.

***Configuración típica en ciclos cerrados de absorción/desorción.***



## 2. CONTROL EN TORRES DE ABSORCIÓN/STRIPPING

### Desorción / Stripping



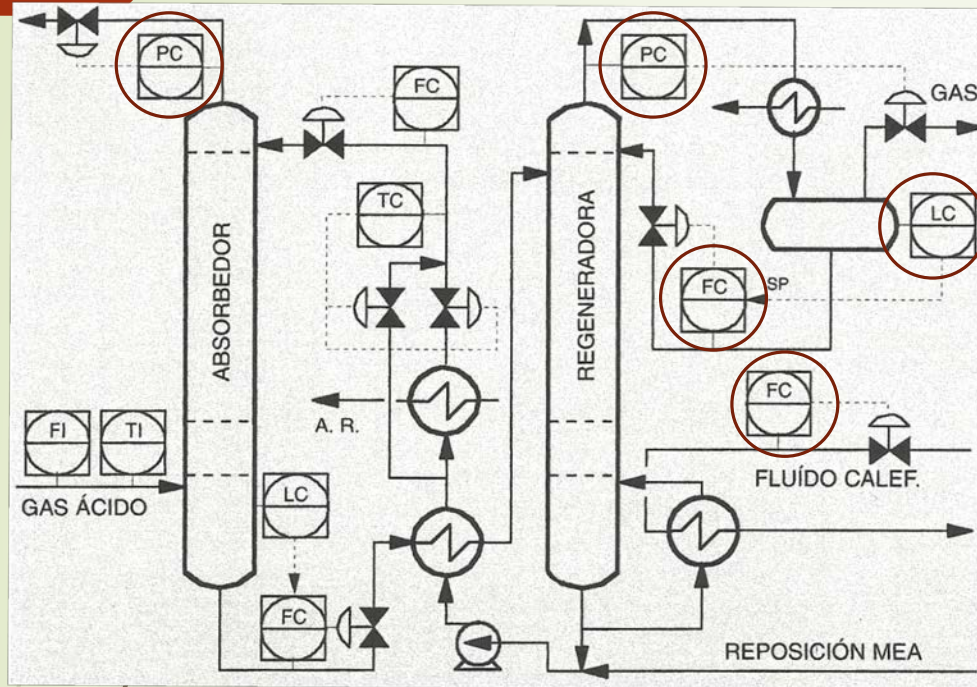
La labor del condensador es devolver el absorbente a la columna, en forma de reflujo, para evitar que se elimine con el gas de cabeza.

*Esquema de control simple de una columna de desorción.*



## 2. CONTROL EN TORRES DE ABSORCIÓN/STRIPPING

### Conjunto absorción-desorción



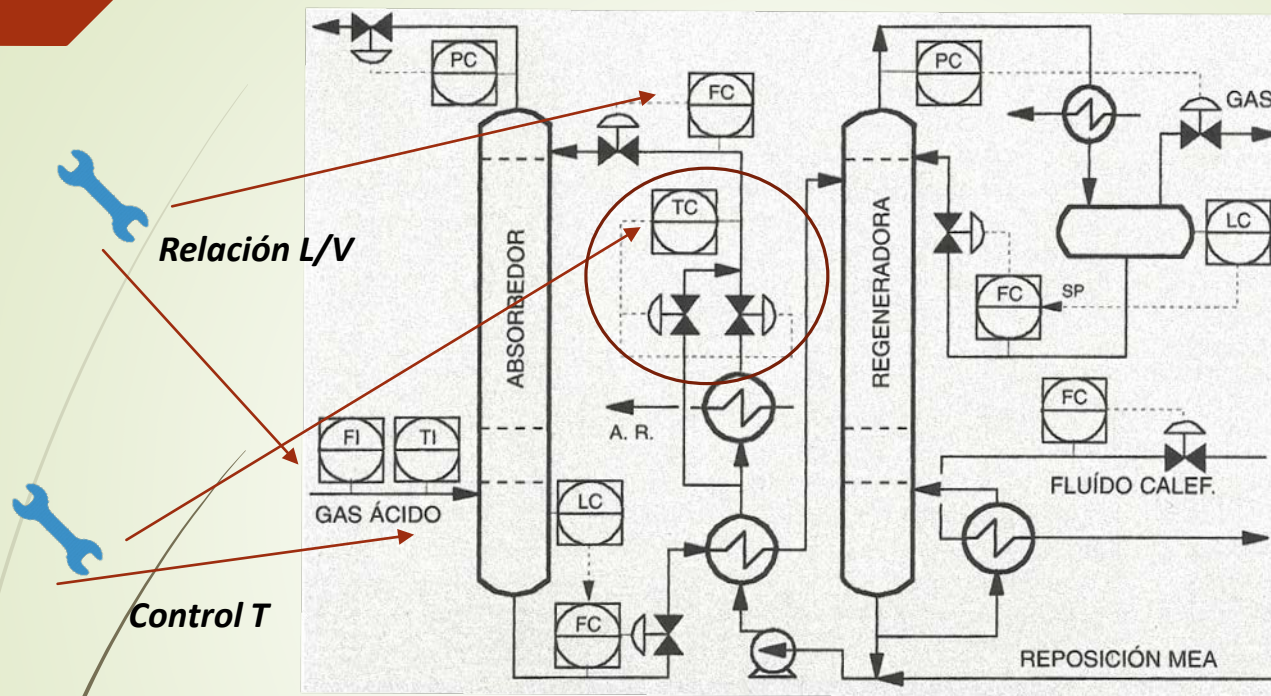
- Control de nivel del condensador en cascada con el caudal de alimento del absorbente regenerado a la torre regeneradora.
- Control de presión en ambas columnas por cabeza.
- Control del caudal de fluido calefactor.

Por tanto, cuando una columna de *stripping* funciona conjuntamente con una columna de absorción, el producto gaseoso a capturar sale a través del acumulador de la columna de *stripping*, mientras que la corriente de fondo de la columna regeneradora (absorbente regenerado) se recircula a la columna de absorción.



## 2. CONTROL EN TORRES DE ABSORCIÓN/STRIPPING

### Conjunto absorción-desorción



En la figura se muestran los lazos más simples que podrían emplearse para el control del conjunto absorción-desorción. Se puede observar cómo se enfría la corriente de absorbente que sale por el fondo de la columna regeneradora, para mejorar la capacidad de absorción. También existe una bomba de impulsión en el circuito de fondo de la columna regeneradora, ya que la columna de absorción opera a mayor presión que la columna de *stripping*.

Junto con estos lazos simples, podrían incluirse las estrategias de control, vistas anteriormente, para mantener la relación  $L/V$  o la diferencia de temperatura óptimas en la columna de absorción.