

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


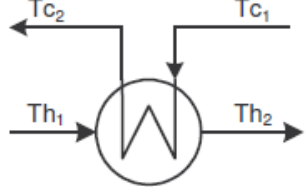


TEMA 6: CONTROL DE CAMBIADORES

1. INTRODUCCIÓN

Un cambiador de calor es cualquier dispositivo a través del cual se produce un intercambio de calor entre dos fluidos separados por una pared.

Regla descriptiva de Hanson: Para describir un proceso, el número de variables independientes que deben especificarse es igual al número que se puede establecer por construcción o que pueden ser controladas durante la operación por medios externos independientes. De este modo se puede establecer el número, pero no las variables particulares que dependerán en cada caso.

| | | |
|---|--|---|
| $Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml}$ | $Q = F_h \cdot C_{p_h} \cdot (T_{h1} - T_{h2})$ | $Q = F_c \cdot C_{p_c} \cdot (T_{c2} - T_{c1})$ |
| $\frac{1}{U} = \frac{1}{h_t} + \frac{1}{h_s}$ | $h_t = f(F_c^{0,8})$ | $h_c = f(F_h^{0,8})$ |
|  | $\Delta T_{ml} = \frac{(T_{h2} - T_{c1}) - (T_{h1} - T_{c2})}{\ln \left(\frac{T_{h2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{c2}} \right)}$ |  |

Se tienen:

Como variables independientes:

$Q, U, A, F_h, F_c, T_{h1}, T_{h2}, T_{c1}, T_{c2}$

Como ecuaciones L. indep:

4 ecuaciones linealmente independientes

Términos o variables fijas:

$A, F_h, F_c, T_{h1}, T_{c1}$

Términos o variables calculadas:

Q, U, T_{h2}, T_{c2}

Normalmente se pretende controlar la temperatura T_2 de un fluido, es decir, que se fija una variable calculada y se varía una variable fija

El proceso es bastante estable, ya que si varía el caudal de uno de los fluidos varía también el coeficiente global de transmisión de calor así como la fuerza impulsora. El coeficiente global y la F.I varían de forma opuesta de modo que existe cierta autoregulación. Sin embargo esto tiene un límite para altos caudales.

1. INTRODUCCIÓN

Un cambiador de calor es cualquier dispositivo a través del cual se produce un intercambio de calor entre dos fluidos separados por una pared.

1. **Intercambiador:** Su función es recuperar calor mediante el intercambio entre dos corrientes de proceso. Sin cambio de fase.
2. **Enfriador:** Se emplean para enfriar corrientes de proceso, normalmente con agua de refrigeración. Sin cambio de fase
3. **Calentador:** Se utiliza fundamentalmente para calentar corrientes de proceso, empleando generalmente vapor de agua como fuente de calor (de alta o baja presión).
4. **Condensador:** Se trata de un tipo concreto de enfriador, cuya función principal es eliminar calor latente de condensación ⇒ **Aircoolers.**
5. **Evaporador:** Se emplean para concentrar soluciones, mediante evaporación de agua. Si en lugar de agua se vaporiza cualquier otro fluido, entonces se habla de vaporizador.

2. CONTROL EN CAMBIADORES SIN CAMBIO DE FASE

a) Variación del caudal del fluido del que no se requiere controlar la temperatura

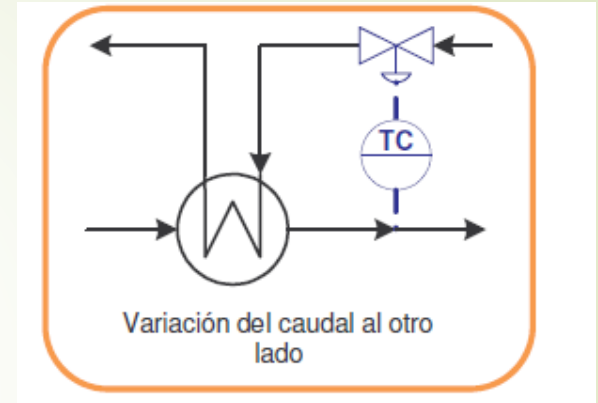
Dificultades del control de temperatura:

Respuesta especialmente lenta

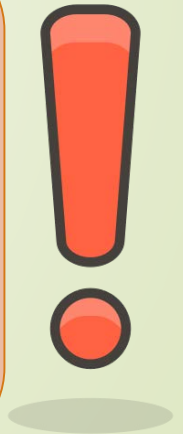
Gran inercia térmica de los sistemas de control

Precauciones:

- Acción derivada. El controlador de T ha de tener acción derivada, porque ésta agiliza la respuesta.
- Control en cascada. Ayuda a filtrar la entrada de perturbaciones externas.

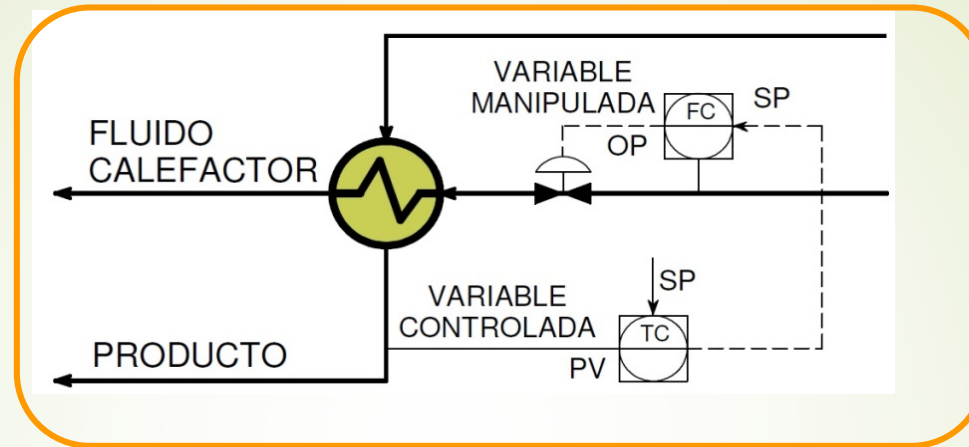


- No tiene mucho sentido modificar el caudal de la corriente del proceso, puesto que esta variable normalmente está sujeta a otros condicionantes del proceso.
- Es complicado ejercer modificaciones sobre el servicio de calor (vapor) puesto que introduce modificaciones y cambios en la presión de la corriente, pudiendo afectar a otras partes de la misma instalación.



2. CONTROL EN CAMBIADORES SIN CAMBIO DE FASE

Posible mejora. Control en cascada con control de caudal del fluido calefactor.



Mejora de la dinámica mediante control en cascada

Ventajas:

Es simple y económica.

No perturba el caudal del fluido de proceso.

No introduce una pérdida de carga adicional (la de la válvula) en la corriente principal.

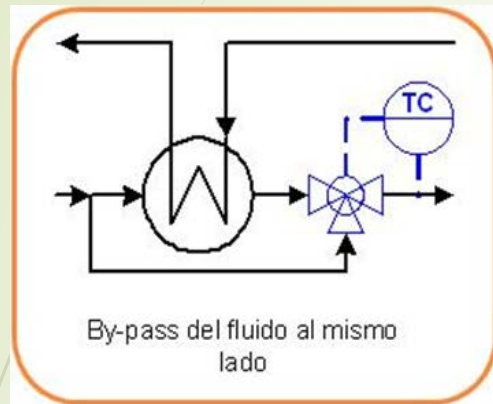
Inconvenientes:

Lentitud de la respuesta

Modificar el caudal de la corriente de servicio (AR o AC) → **No se suele emplear.**

2. CONTROL EN CAMBIADORES SIN CAMBIO DE FASE

b) By-pasar el fluido del mismo lado utilizando una válvula de tres vías.



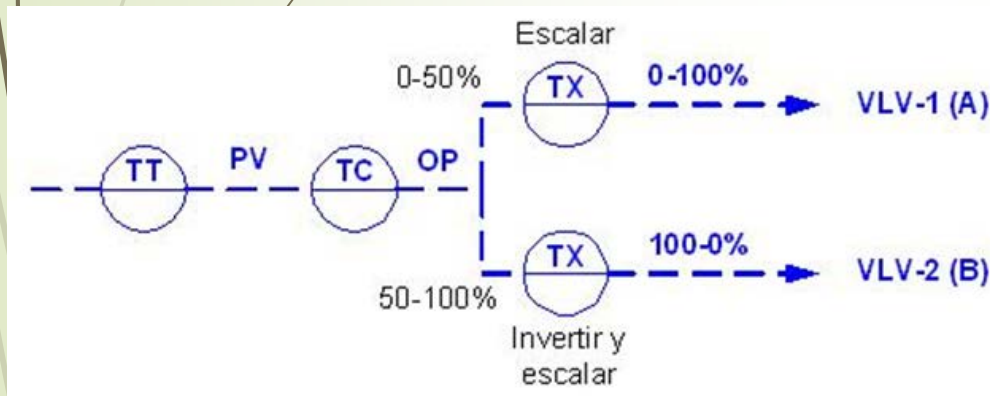
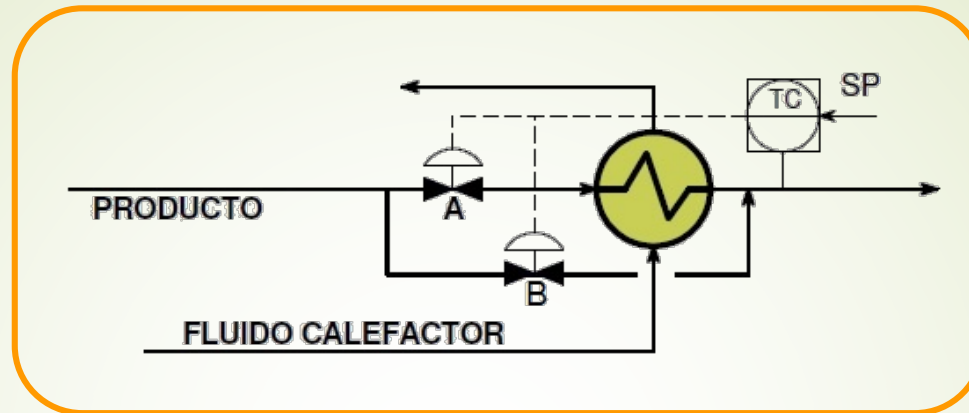
- Es una de las formas mas utilizadas, puesto que no ejerce cambios ni en el caudal total ni en la corriente de vapor.
- El problema es que a muchas veces la pérdida de carga a lo largo de la válvula es mayor que en el propio cambiador, por lo que requiere una restricción adicional en este último.



Rango partido (Split Range)

2. CONTROL EN CAMBIADORES SIN CAMBIO DE FASE

c) Control de temperatura con rango partido. Split Range



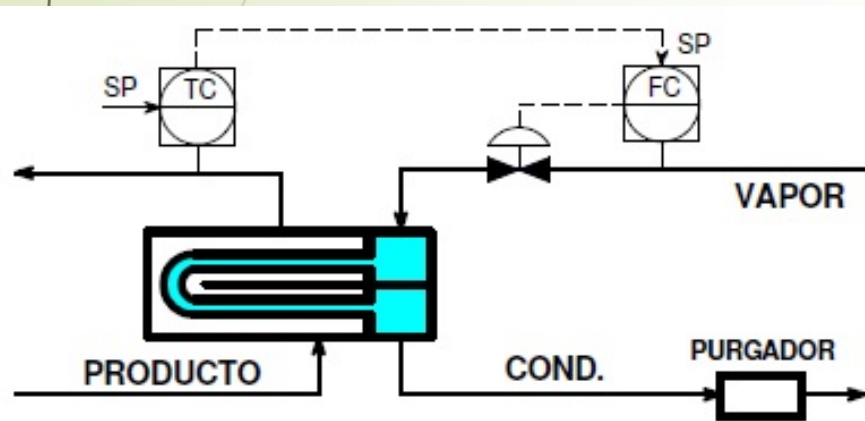
| $e(t)$ | OP | VLV-A | VLV-B |
|-------------------------|-----|-------|-------|
| $e(t) \ll 0, PV \gg SP$ | 0 | 0 | 100 |
| $e(t) < 0, PV > SP$ | 25 | 50 | 100 |
| $e(t) = 0$ | 50 | 100 | 100 |
| $e(t) > 0, PV < SP$ | 75 | 100 | 50 |
| $e(t) \gg 0, PV \ll SP$ | 100 | 100 | 0 |

¿Qué válvula actúa con acción directa y cual con inversa?

3. CAMBIADORES CON CAMBIO DE FASE

Desde el punto de vista del diseño de los lazos de control, generalmente se puede actuar sobre dos puntos del circuito: la entrada de vapor al cambiador y la salida del condensado:

a) Válvula de control en la línea de vapor (Modificación de la presión de condensación)



El vapor cede su calor sensible y su calor latente de condensación al entrar en contacto con la pared del serpentín. En función de las necesidades energéticas, se dejaría pasar más o menos vapor, calentando más o menos la corriente de producto.

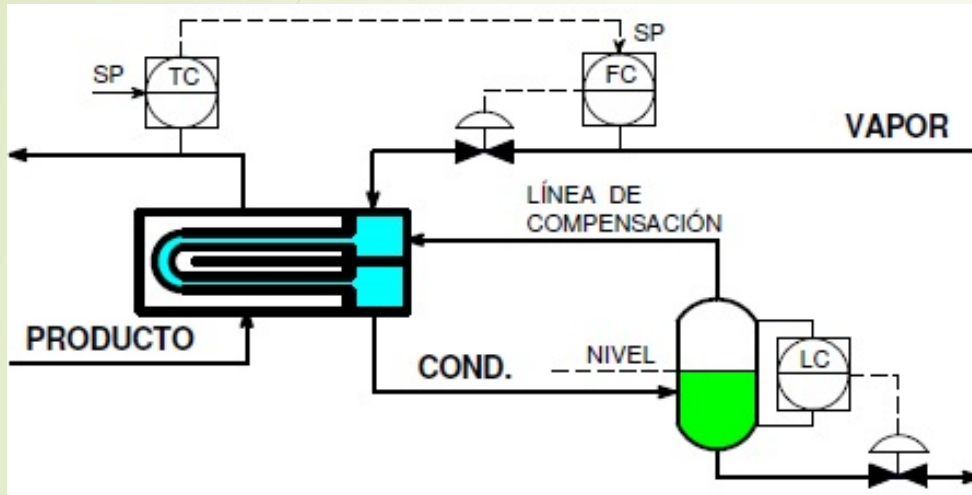
Problemas de Operación con el purgador.

- No son estables.
- Problemas de ensuciamiento.
- Se quedan abiertos.

Sustitución del purgador por un depósito con control de nivel

3. CAMBIADORES CON VAPOR DE AGUA

(a) Válvula de control en la línea de vapor (Modificación de la presión de condensación)



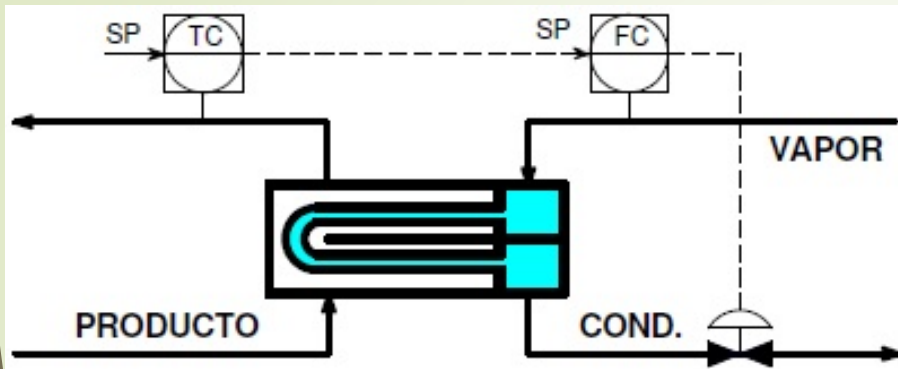
- Se emplea normalmente cuando la corriente de servicio es vapor de alta presión.
- El depósito se encuentra situado a una cota más baja que el cambiador.

Las principales características de este sistema son las siguientes:

- Se consigue una respuesta muy rápida del proceso al actuar sobre la válvula de control situada en la línea del vapor.
- Se eliminan las oscilaciones que podría producir el purgador.
- El coste de la instalación es relativamente alto.

3. CAMBIADORES CON VAPOR DE AGUA

(b) Válvula de control en la línea de condensado (Inundación de tubos)



Se emplea normalmente cuando la corriente de servicio es vapor de baja presión.

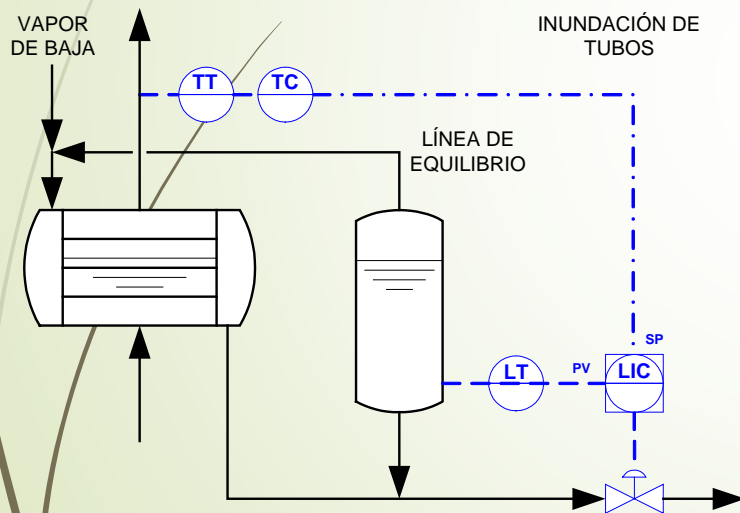
Con este procedimiento, se consigue la variación en el calor aportado por medio de la inundación parcial del haz tubular del cambiador \Rightarrow **Modificación del área de intercambio**

- Si el caudal de proceso se corresponde al 100% del diseño del cambiador \Rightarrow éste tendrá todos los tubos descubiertos, desalojando condensado al mismo tiempo que se va produciendo.
- Si el caudal de producto va disminuyendo \Rightarrow se necesita un menor aporte de calor \Rightarrow la válvula se irá cerrando, provocando una inundación parcial de los tubos, disminuyendo el área efectiva de intercambio de calor.

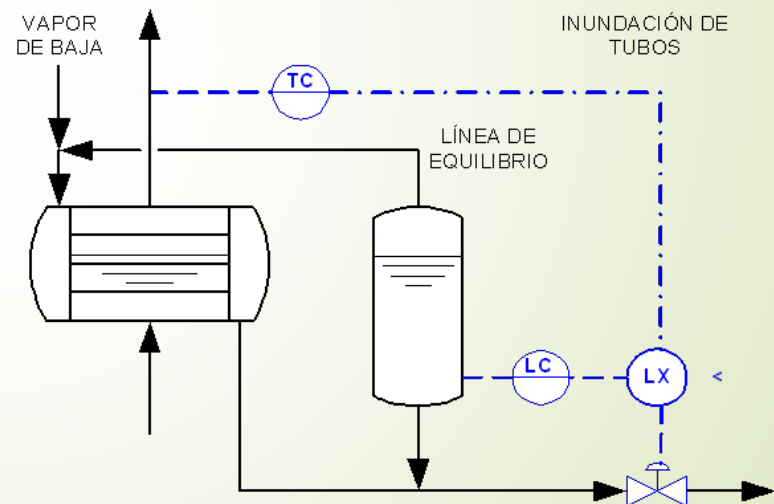
3. CAMBIADORES CON VAPOR DE AGUA

(b) Válvula de control en la línea de condensado (Inundación de tubos)

Para evitar problemas de operación y la pérdida de vapor, se suele poner un recipiente con control de nivel a la salida del cambiador. El cambiador no debe vaciarse nunca (No debe salir vapor). Para solventar esta situación, se instala un tanque conectado al cambiador que tendrá, por vasos comunicantes, el mismo nivel que el cambiador. Con esta configuración se pueden establecer varias estrategias de control, un **control en cascada con el nivel y la temperatura controlada**, un **control selectivo** o un **control que combine ambas acciones de control**.



Inundación de tubos con cascada

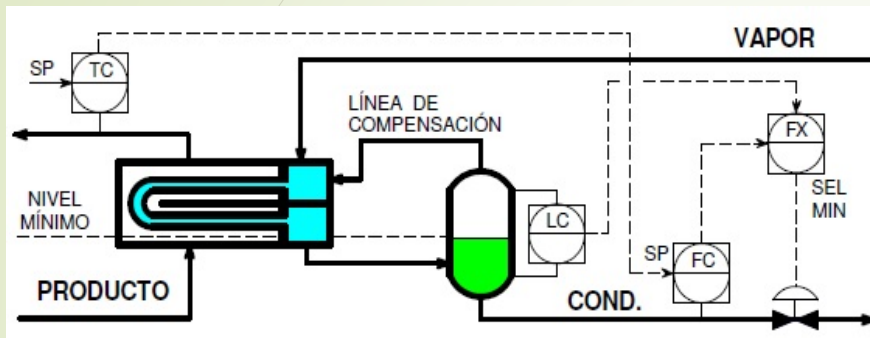


Inundación de tubos con control selectivo

El punto de consigna del controlador de nivel se fija a un valor en el que todos los tubos se encuentren descubiertos

3. CAMBIADORES CON VAPOR DE AGUA

(b) Válvula de control en la línea de condensado (Inundación de tubos)



Inundación de tubos con control por cascada y restricciones

1. El controlador de temperatura de salida de producto actúa en cascada sobre el controlador de caudal de condensado.
2. Se incluye un selector que selecciona la señal mínima de salida entre el controlador de nivel y de caudal de condensado. **Cuando se alcanza el nivel mínimo la salida de su controlador prevalece sobre la salida del controlador de caudal.**
3. El punto de consigna del controlador de nivel se fija a un valor en el que todos los tubos se encuentren descubiertos.
4. Al alcanzar el nivel mínimo, la válvula solo permite extraer el condensado necesario para mantener este nivel.

4. AERORREFRIGERANTES

Los aerorrefrigerantes son cambiadores de calor de carcasa y tubos, en los que la propia estructura del aerorrefrigerante daría lugar a la carcasa del cambiador. El paso del aire a través de los aerorrefrigerantes se fuerza mediante el empleo generalmente de ventiladores.



- El ventilador suele tener como mínimo cuatro aspas, las cuales suelen tener la posibilidad de variar su ángulo de inclinación o “Pitch” para ajustarse a las condiciones variables de operación.



- Además de los ventiladores, existe otro elemento que se suele montar en la parte superior. Se trata de persianas o “Louver” y el objeto de montarse en la parte superior es para ofrecer cierta protección frente a la lluvia.

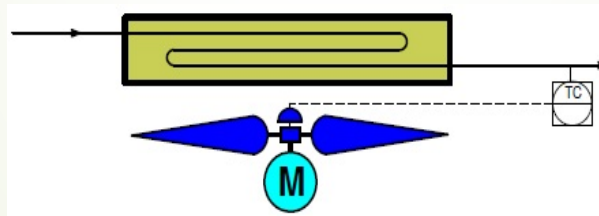
4. AERORREFRIGERANTES

Los air-coolers son uno de los sistemas de refrigeración más empleados debido al uso del aire como fluido refrigerante (razones económicas)

De forma general, el control sobre los aerorrefrigerantes se realiza empleando alguna de las siguientes estrategias:

- Control del ángulo de inclinación de las aspas del ventilador.
- Control del ángulo de inclinación de las persianas.
- Control de la velocidad de motor de giro de los ventiladores.
- Control por by-pass de la corriente de proceso.

a) Control del ángulo de inclinación de las palas

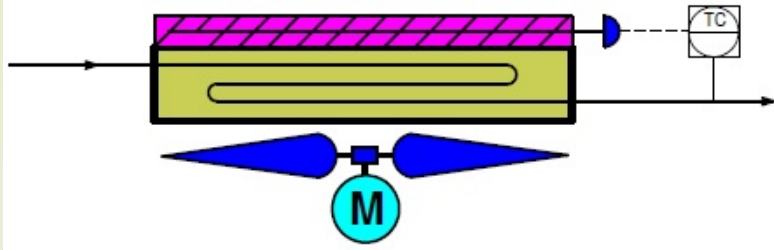


Limitaciones:

Presentan un pequeño margen de regulación. Cuando el grado de inclinación está entre 30-40%, se pierde ya la capacidad de regulación. Si el ángulo de inclinación es nulo, sigue entrando aire. Se emplea para air-coolers de tamaño pequeño.

4. AERORREFRIGERANTES

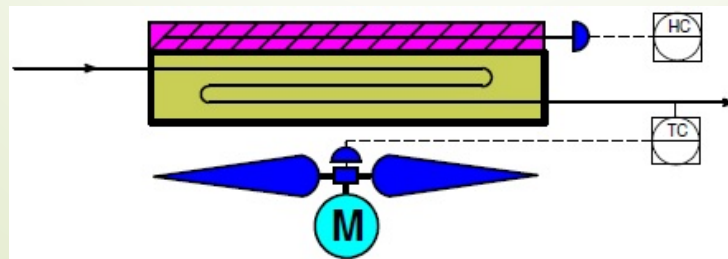
b) Control del ángulo de inclinación de las persianas



Limitaciones:

Poco eficiente. Con esta estrategia de control, los ventiladores funcionan siempre a su máxima potencia y, por lo tanto, consumen la máxima energía posible.

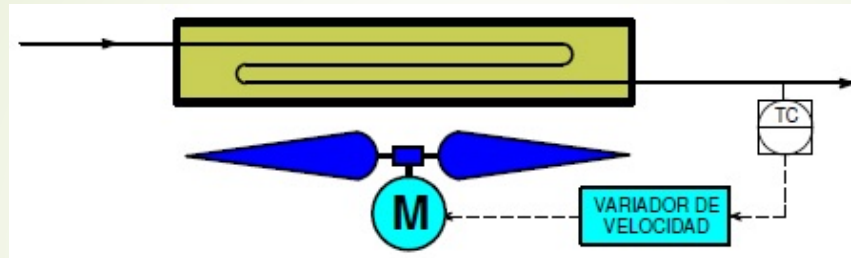
Una **alternativa** al control por inclinación de persianas, es el **control simultáneo de la inclinación tanto de las palas de los ventiladores como de las persianas**. En este caso, el controlador automático regula la posición de las palas mientras que la inclinación de las persianas se suele hacer de forma manual.



4. AERORREFRIGERANTES

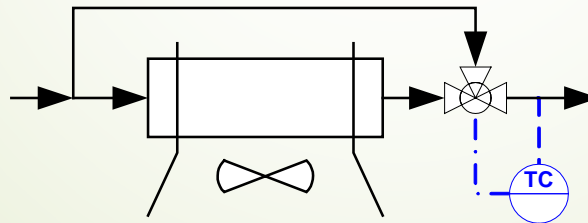
c) Control de velocidad del motor

En este caso, la salida del controlador lo que hará será modificar la velocidad de giro de los ventiladores, con el consecuente ahorro energético que ello conlleva.



d) Uso de un by-pass en la corriente de proceso.

Semejante al control en carcasa y tubos.



BY-PASS Y VÁLVULA DE TRES
VÍAS