

3.3 Fundamentos de la ingeniería de control

La ingeniería de control tiene por objeto el manejo automático de un proceso que de otra manera tendría que ser controlado manualmente. En muchas aplicaciones donde existe se requiere un fino control o existen muchas variables, la automatización es fundamental para asegurar la calidad y aumentar la eficiencia.

Según el tipo de variables, el control puede ser de procesos continuos o de procesos discretos. El control de procesos discretos trata con sistemas que manejan variables discretas, es decir que cada una sólo puede tomar 2 valores. El control de procesos continuos trata con sistemas de variables que toman una infinidad de valores.

En este capítulo se expondrán los fundamentos de procesos de variables continuas.

Terminología básica de los sistemas automáticos

- **Variable controlada:** ésta es la variable que se debe mantener o controlar dentro de un valor deseado
- **Punto de control:** es el valor al cual se quiere mantener la variable controlada

- **Variable manipulada:** ésta es la variable que utiliza el sistema para mantener en el punto de control a la variable controlada
- **Perturbación:** cualquier variable causante de desviaciones en la variable controlada
- **Error:** diferencia entre el punto de control y la variable controlada

3.3.1 Componentes físicos en un sistema de control

Todo sistema de control está formado por cuatro elementos básicos:

- Sensor o elemento primario
- Transmisor o elemento secundario
- Controlador o cerebro del sistema
- Elemento final de control

Estos componentes están destinados a realizar las siguientes operaciones:

- **Medición:** etapa en la que mediante un sensor se mide el valor de la variable controlada y se la transmite al controlador

- **Decisión:** etapa en la que el controlador o cerebro decide que acción tomar según la información que recibe del sensor-transmisor y el punto de control predeterminado. La decisión está dada por la señal de corrección.
- **Acción:** como resultado de la decisión del controlador el elemento final de control ejecuta la acción en el sistema mediante la variable manipulada.

SENSORES

Los sensores realizan la función de medición de la variable controlada en los sistemas por retroalimentación. La variable en contacto con el sensor provoca un fenómeno físico que va de acuerdo a la intensidad de la variable.

Las variables que más comúnmente se miden en línea en los procesos industriales son: temperatura, presión, flujo y nivel. Las características principales de los sensores aparte de su aplicación son: el rango, la precisión, la repetibilidad y la respuesta dinámica.

Entre los sensores de temperatura se tiene los siguientes:

- **Termocuplas:** sensor que trabaja con el principio de la generación de fuerza electromotriz debido a la diferencia de temperaturas en las 2 juntas de 2 metales distintos. Una de las juntas se mantiene a temperatura conocida (ambiente) y la otra está en contacto con el medio que se requiere medir. La fem generada está en relación a la diferencia de temperaturas. Generalmente se utilizan para valores de temperatura extremos por ser más precisos en estos rangos.



Fig.26a Termocuplas

Fig.26b Termocuplas

- **RTD:** sensor que trabaja con el principio del cambio de la resistencia eléctrica en función de la temperatura. El transmisor mide la resistencia de la RTD en contacto con el medio que se requiere medir y genera una señal.

Generalmente se utilizan para valores de temperatura de rango medio por ser más precisos en estos intervalos.



Fig.27 RTD con cabezal de conexión

Tanto termocuplas como rtd consisten generalmente en una punta de prueba rígida de una longitud y diámetro determinados (dependiendo de la aplicación) y un cable conductor flexible.

Otros dispositivos de medición de temperaturas son los termómetros de mercurio*, bimetálicos, a gas, a vapor e infrarrojos pero estos no se utilizan generalmente para aplicaciones de control automático modernas.

TRANSMISORES

Son elementos que reciben la señal de entrada de termocuplas (fem) y de las rtds (resistencia) para generar una señal proporcional de corriente que sirve como señal de entrada al controlador.



Fig.28 Transmisores o "transmitters"

CONTROLADORES

Como se dijo anteriormente el controlador es el que toma la decisión en el sistema de control y para ello:

1. Compara el valor de la señal del proceso que le llega del sensor-transmisor contra el valor del punto de control
2. Envía la señal apropiada al elemento final de control para que este ejecute la acción de control

Existen varios tipos de controladores:

- **Controladores analógicos:** trabajan con variables continuas (señales analógicas)

- **Controladores digitales (PLC):** trabajan con variables binarias (señales digitales)
- **Controladores neumáticos:** su señal de salida hacia el elemento de control es neumática. Controladores electrónicos: su señal de salida hacia el elemento de control es electrónica.
- **Controladores universales:** son controladores que reciben señales de entrada provenientes de termocuplas, rtd, corriente (mA) y voltaje (mV o V).
- **Controladores multilazo:** son controladores que pueden recibir varias señales a la vez y ejecutar varias acciones diferentes a la vez. Son varios controladores integrados en uno solo.



Fig. 29 a) Controlador electrónico Fig. 29 b) Controlador electrónico

Los controladores generalmente están provistos de:

- Visor, ya sea análogo o de pantalla digital
- Controles o botones para programación y modos de visualización
- Clavijas para la conexión de señales de entradas y salida
- Clavijas para conexión de la alimentación (neumática o eléctrica)

Según la forma como responden los controladores a las señales de entrada, se pueden dividir de la siguiente manera:

- **Control Proporcional:** En este tipo de control, la señal de corrección se obtiene multiplicando la diferencia o error entre la variable controlada y el punto de control por una constante. Entre mayor sea el error y mayor sea la constante mayor será el valor de la señal de corrección y mayor será la rapidez de respuesta del controlador a los cambios en las condiciones de la variable controlada.
- **Control Integral:** Este tipo de control es utilizado para eliminar el error de estado estacionario el cual no puede ser eliminado con el control proporcional, dado que este

error es lo suficientemente pequeño como para que la señal de corrección no sea lo suficientemente potente para cambiar la variable manipulada y por consecuencia la variable que se quiere controlar. El controlador integral, multiplica una constante por la integral del error a través del tiempo hasta generar una señal de corrección lo suficientemente grande para disminuir a cero el error de estado estacionario y mantenerlo así.

- **Control derivativo:** Este tipo de control deriva el error con respecto al tiempo y lo multiplica por una constante. De esta manera se pueden anticipar los cambios bruscos en el proceso y obtener una respuesta más rápida. Sin embargo al ser derivativo, no da señal alguna si el error se mantiene en un valor constante.
- **Control proporcional-integral (PI):** Este controlador tiene una respuesta de corrección proporcional al error y elimina el error de estado estacionario.
- **Control proporcional--derivativo (PD):** Este controlador tiene una respuesta de corrección proporcional al error y

una respuesta proporcional a la velocidad de cambio del error para anticipar cambios bruscos.

- **Control proporcional-integral-derivativo (PID):** Este tipo de control es el más completo ya que se anticipa a los cambios bruscos, tiene una respuesta de corrección proporcional al error y elimina el error de estado estacionario.

TRANSDUCTORES

Son elementos que generalmente transforman la señal eléctrica del controlador en una señal neumática proporcional para el elemento final de control. No se utilizan cuando el elemento final de control trabaja con señales eléctricas o cuando la salida del controlador es neumática. (Controladores antiguos)



Fig. 30a) Transductor TIP



Fig. 30b) Transductor TIP

ELEMENTO DE CONTROL FINAL

Las válvulas de control y los variadores de frecuencia son generalmente los elementos de control más usuales en los procesos con variables continuas.

Las válvulas actúan como elementos de resistencia variable al paso de un fluido cuyo valor de caudal se convierte en la variable manipulada.



Fig.31 Válvulas proporcionales

Las válvulas automáticas pueden clasificarse por su tipo de control en:

- **Válvulas ON/OFF:** válvulas que sólo manejan 2 posiciones: abierta o cerrada. Por lo general funcionan

con una señal eléctrica y son de bola o mariposa. También se les llama válvulas solenoide.

- **Válvulas proporcionales:** válvulas que manejan rangos de apertura/cierre. Por lo general funcionan con una señal neumática y son de compuerta o globo. Según su respuesta a la señal de entrada pueden ser lineales, porcentuales o de apertura rápida.

y por su posición de fallo en:

- **ATO (Air to open) o FC (Fail closed) :** permanecen normalmente cerradas y se abren según el valor de la señal de entrada.
- **ATC (Air to close) o FO (Fail opened) :** permanecen normalmente abiertas y se cierran según el valor de la señal de entrada.

Otra característica importante de las válvulas de control es la **presión del actuador** que es el rango de presión de aire dentro de los cuales trabaja el actuador de la válvula.

Las otras características son inherentes a las válvulas manuales como materiales, capacidad o Cv, temperatura y presión de trabajo del fluido.

Las partes que conforman las válvulas de control son las siguientes:

- **Cuerpo de la válvula:** es la parte que se coloca en la tubería y es igual a la de una válvula manual pero desprovista del manubrio o llave.
- **Actuador:** Elemento que mediante un sistema de pistón y diafragma abre o cierra la válvula según la presión neumática que recibe de un transductor de corriente-presión (TIP).
- **Posicionador:** Elemento opcional que es utilizado en ciertas aplicaciones donde se necesita un mejor control.

3.3.2 Estrategias de control automático

Dependiendo del tipo de proceso se pueden elegir entre tres tipos básicos de control:

- Control por retroalimentación:** En estos sistemas, se mide la variable controlada y según su desviación del punto de control, se la regula mediante la variable manipulada. Esta estrategia tiene la ventaja de que se puede regular el proceso según el valor real de la variable controlada. Su desventaja radica en que sólo se puede tomar acciones correctivas después de que la variable controlada se ha desviado del punto de control.

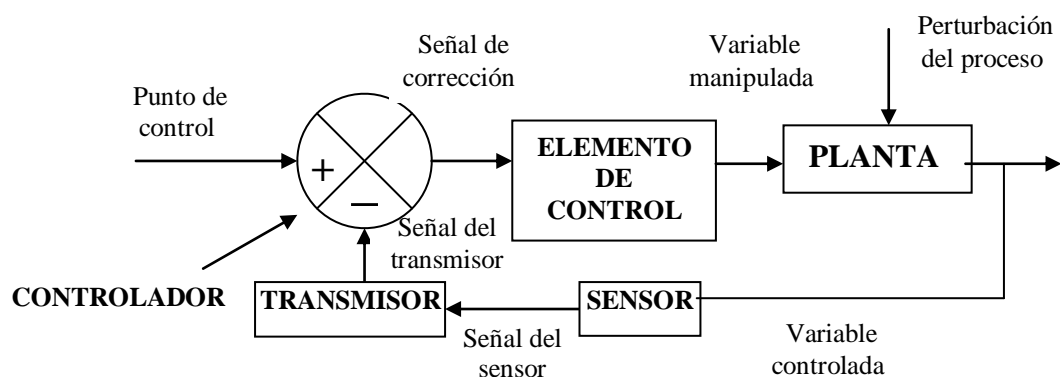


Fig.32 Control por retroalimentación

- Control por acción precalculada:** En estos sistemas, se establece primeramente la relación de dependencia de la variable controlada con respecto a una variable medida de manera tal de poder anticipar el comportamiento de la variable controlada y evitar su desviación del punto de control mediante la variable manipulada. La ventaja de este sistema es que se puede anticipar los cambios en la variable controlada y su desventaja es que al no trabajar directamente con la variable controlada existe la posibilidad de error en la acción precalculada.

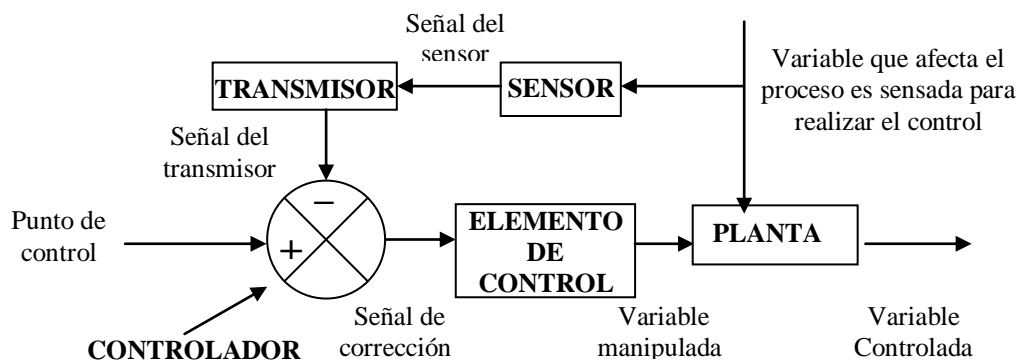


Fig.33 Control por acción precalculada

- **Control mixto:** Este tipo de control combina los 2 anteriores de manera tal de tener un control anticipado y corregido por retroalimentación.

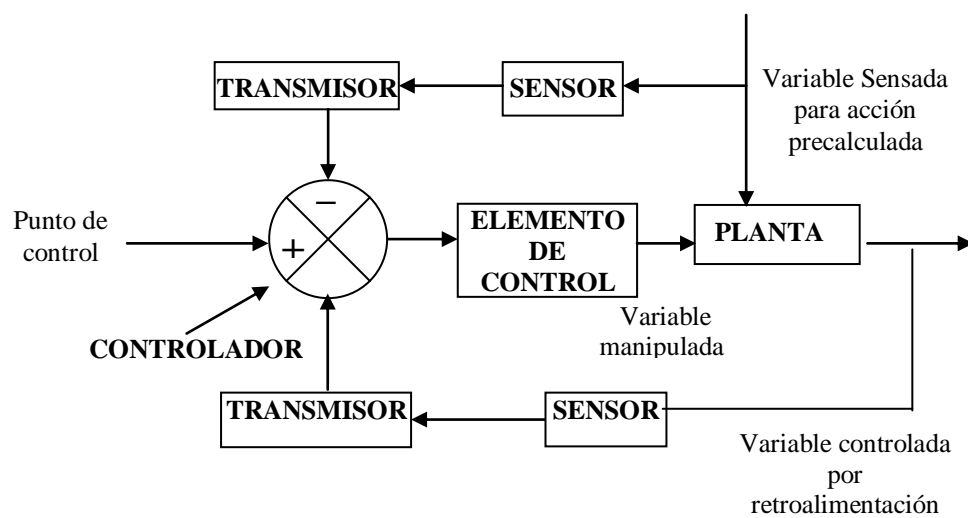


Fig.34 Control mixto