

TEORÍA DE CONTROL.

Tema 1. Introducción a los Sistemas de Control

Sistema de Control

Los controles automáticos o sistemas de control constituyen una parte muy importante en los procesos industriales modernos, donde se les usa principalmente para regular variables tales como la presión, temperatura, nivel, flujo, viscosidad, densidad etc.

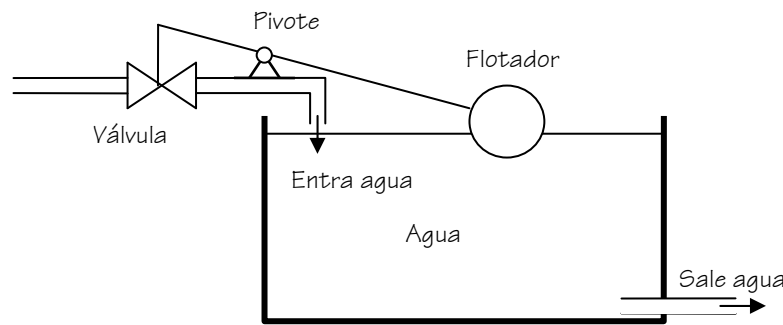
Definición

Una definición de un sistema de control puede ser:

“Es un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera, que el arreglo pueda comandar, dirigir o regular a sí mismo o a otro sistema”.

Ejemplo de un Sistema de Control.

Control de nivel de un tanque de agua.



Ventajas de un control automático

Las ventajas de un control automático son principalmente económicas, ya que permite:

- Mejorar la calidad de los productos.
- Disminuir los tiempos de operación.
- Reducir la dependencia de operarios para manejar procesos.
- Reducir costos de producción.

Términos Básicos

Planta. Es un equipo o conjunto de equipos que permiten realizar una operación determinada. Cuando se tiene un conjunto de equipos interactuando para generar un producto se tiene una planta industrial.

Proceso. Está constituido por una serie de operaciones coordinadas sistemáticamente para producir un resultado final que puede ser un producto.

Sistema. Es una combinación de componentes físicos que actúan conjuntamente para cumplir un determinado objetivo.

Elementos de un Sistema de Control

Proceso a controlar. Es como su nombre lo indica el proceso que se quiere controlar o regular. En el ejemplo del tanque se trata de un proceso flujo a través de un tanque en donde se quiere un nivel dado.

Variable controlada. Es aquella que se mantiene en una condición específica deseada, es la que se quiere controlar. En el ejemplo es el nivel del líquido.

Variable manipulada. Es la señal sobre la cual se actúa o se modifica con el fin de mantener la variable controlada en su valor. Esta cambia continuamente para hacer que la variable controlada vuelva al valor deseado. En el ejemplo es el flujo de entrada del líquido o la apertura de la válvula.

Señal de referencia (set point). Es el valor en el cual se quiere mantener la variable controlada. En el ejemplo sería el nivel deseado del tanque.

Error o señal actuadora. Es la diferencia entre la señal de referencia y la variable controlada. En el ejemplo sería el error en el nivel deseado.

Perturbación. Es un agente indeseable que tiende a afectar adversamente el valor de la variable controlada. En el ejemplo podría ser un cambio en el flujo de salida, lluvia, evaporación, etc.

Elemento de medición. Es el encargado de determinar el valor de la variable controlada. En el ejemplo es el flotador.

Controlador. Es el encargado de determinar el error y determinar qué tipo de acción tomar. En el ejemplo sería el juego de barras y pivote que une el flotador con la válvula. Este si el nivel baja hace abrir la válvula, por el contrario si el nivel sube hace cerrar la válvula.

Elemento final de control. Es el encargado de realizar la acción de control modificando la variable manipulada. En el ejemplo es la válvula.

Entrada. Es el estímulo o excitación que se aplica a un sistema desde una fuente de energía externa, generalmente con el fin de producir, de parte del sistema, una respuesta específica. En el ejemplo existen dos entradas: la apertura de la válvula y la perturbación.

Salida. Es la respuesta obtenida de parte del sistema. En el ejemplo la salida es el nivel de líquido.

Clases de sistemas de control

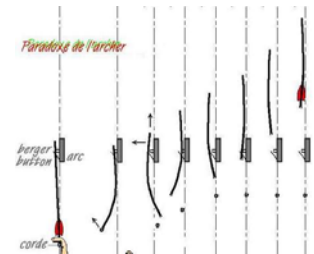
Existen diversas formas de clasificar un sistema de control entre las cuales están:

Sistema de control Pasivo, sistema de control de Lazo Abierto y sistema de control Retroalimentado.

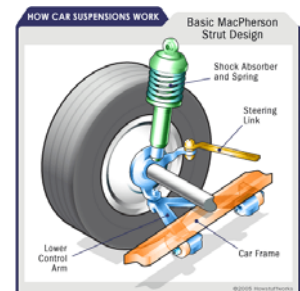
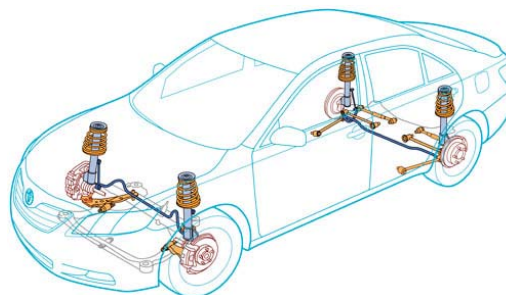
Sistema de control Pasivo

Es cuando la variable el sistema se diseña para obtener una determinada respuesta ante entradas conocidas, una vez diseñado el elemento no existe ningún elemento que realice o modifique la acción de control. No existe un sistema de que modifique la acción de control en función de las variables del sistema. Algunos ejemplos de control pasivo son:

El direccionamiento de flechas o cohetes pirotécnicos. En este caso el diseño de los elementos con una vara larga y unas plumas en la parte posterior permite direccionar las flechas o cohetes en dirección longitudinal.



Los sistemas de suspensión de vehículos. En este caso se diseña un sistema de resorte y amortiguador que permite absorber el efecto de los defectos de la vía. En algunos casos se ha sustituido este sistema pasivo por un sistema activo.



Sistema de control de lazo abierto

Es cuando el sistema de control utiliza la información de la entrada para realizar una acción de control, sin tomar en cuenta el valor de la variable controlada.

Este se puede esquematizar en el siguiente diagrama de bloques

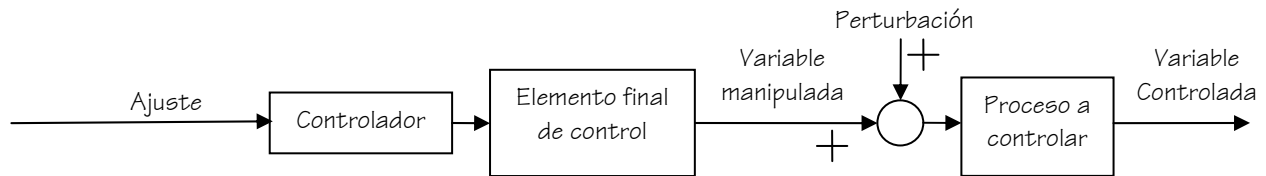
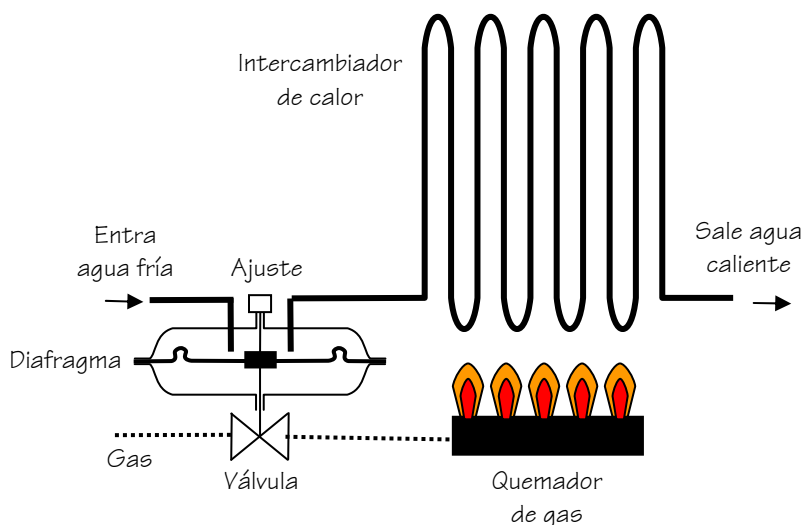


Diagrama de bloques típico de un sistema de control de lazo abierto

Un ejemplo de este tipo de control es un calentador de agua a gas.



Esquema de un calentador de agua a gas

El funcionamiento del calentador es el siguiente: Cuando se consume agua el diafragma siente una disminución de presión y se desplaza hacia arriba de manera que la válvula permite el paso de gas hacia el quemador, haciendo que este encienda, y caliente el agua. La lama será proporcional al flujo de agua que pase por el calentador según el ajuste dado previamente al tornillo de ajuste. Pero este no mide si se está llegando o no al valor de la temperatura deseada.

Otro ejemplo de este tipo de sistemas de control es por ejemplo una lavadora automática. En este caso el aparato tiene un control que permite seleccionar el tipo de programa de lavado, selección que realiza el usuario en función del tipo y condiciones de la ropa a lavar. Una vez seleccionado el programa este se ejecuta independientemente de la limpieza obtenida para la ropa.



Sistema de control retroalimentado (Activo)

Es cuando la variable controlada se compara continuamente con la señal de referencia y cualquier diferencia produce una acción que tiende a reducir la desviación existente. En otras palabras la acción de control realizada por el sistema de control depende del valor de la variable controlada en todo instante, por lo tanto también toma el nombre de control dinámico.

Esto se puede representar en forma de un diagrama de bloques que muestra la interacción lógica de los elementos que conforman un sistema de control retroalimentado.

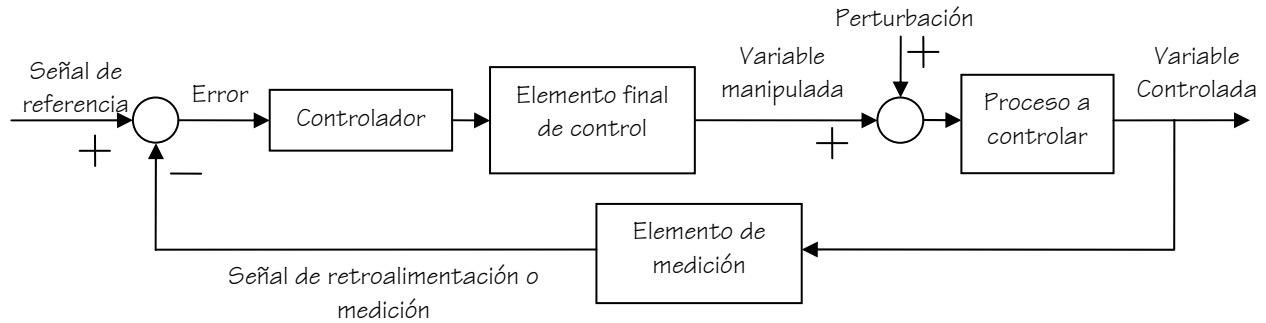
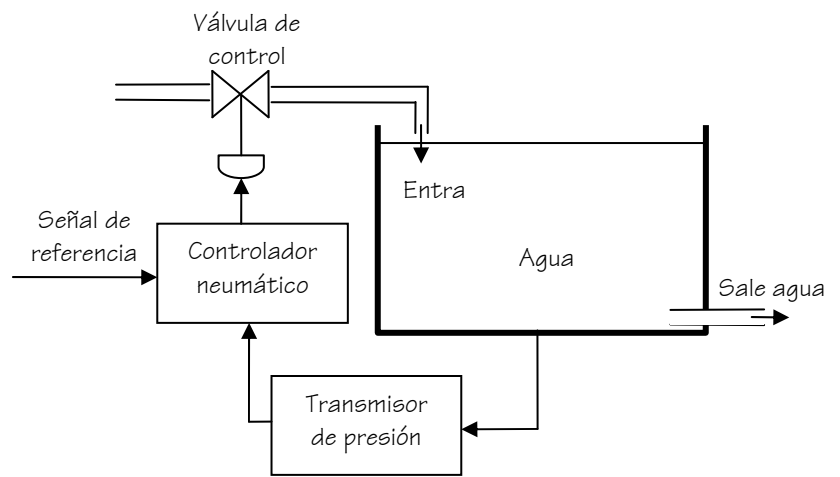


Diagrama de bloques típico de un sistema de control retroalimentado

Un ejemplo de sistema de control retroalimentado

En donde:

- Proceso es el flujo de nivel a través del tanque con un nivel constante.
- Controlador es el controlador neumático.
- Elemento final de control es la válvula de control.
- La variable manipulada es el caudal de entrada.
- Perturbación puede ser un cambio en el caudal de salida, evaporación o lluvia.
- Variable controlada es el nivel.
- Elemento de medición es el transmisor de presión.
- Señal de referencia es la presión de referencia.
- Error es la diferencia entre la presión de referencia y la presión medida.



Sistema neumático de control de nivel

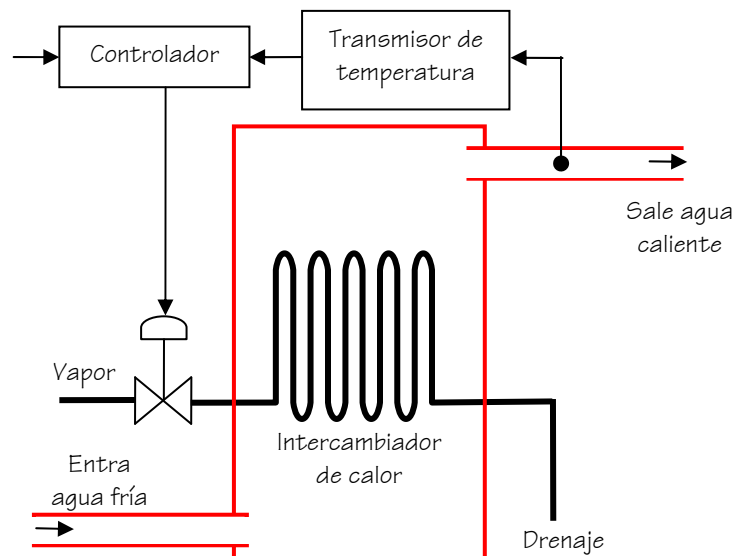
Sistema de Control Continuo vs. Sistema de Control Discontinuo

Sistema de control continuo

Es aquel en que la modificación de la variable manipulada se efectúa continuamente.

Por ejemplo un controlador de temperatura con vapor.

Este instrumento calienta el agua con la ayuda de un serpentín por el cual pasa un flujo de vapor. Este flujo de vapor es aumentado o disminuido por una válvula de control, la cual se abre o cierra suavemente en una cierta proporción según el mensaje enviado por el controlador, el cual trabaja con la diferencia entre una señal de referencia y el valor de la temperatura

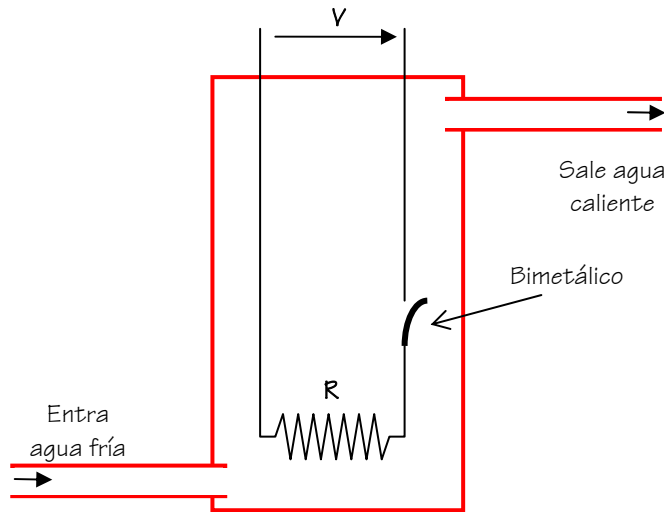


Esquema de un calentador de agua a vapor

del agua de salida. La temperatura del agua es medida por un transmisor de temperatura.

Como la apertura de la válvula puede tomar una infinidad de valores entre totalmente cerrada y totalmente abierta, entonces el control es continuo.

Sistema de control discontinuo (ON-OFF)



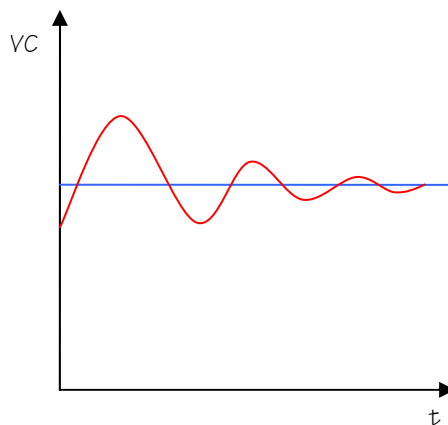
Esquema de un calentador de agua eléctrico

Es aquel en que la modificación de la variable manipulada no es continua sino que solo puede tomar un valor máximo o un valor mínimo. Estos valores pueden ser: abierto o cerrado, conectado o desconectado, etc.

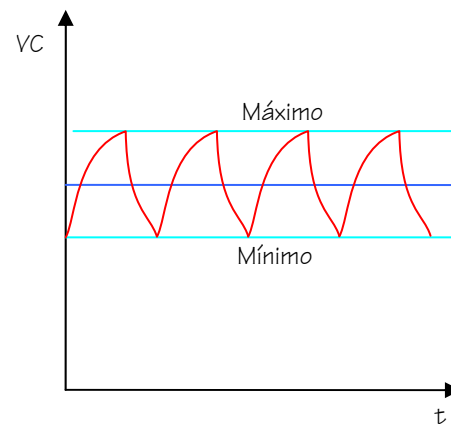
Un ejemplo de estos sistemas es el calentador de agua eléctrico.

El sistema funciona calentando agua mediante una resistencia eléctrica la cual se conecta o se desconecta, según el valor de la temperatura en el recipiente, por la acción de un bimetálico (comúnmente conocido como termostato), el cual al calentarse se deforma. Este elemento sirve a la vez de instrumento de medición, controlador y elemento final de control. Ya que cuando el agua se calienta hasta el valor deseado su deformación hace que se desconecte el circuito eléctrico apagando la

resistencia eléctrica y cuando el agua se enfría se vuelve a enderezar conectando de nuevo el circuito con lo cual la resistencia vuelve a calentar el agua.



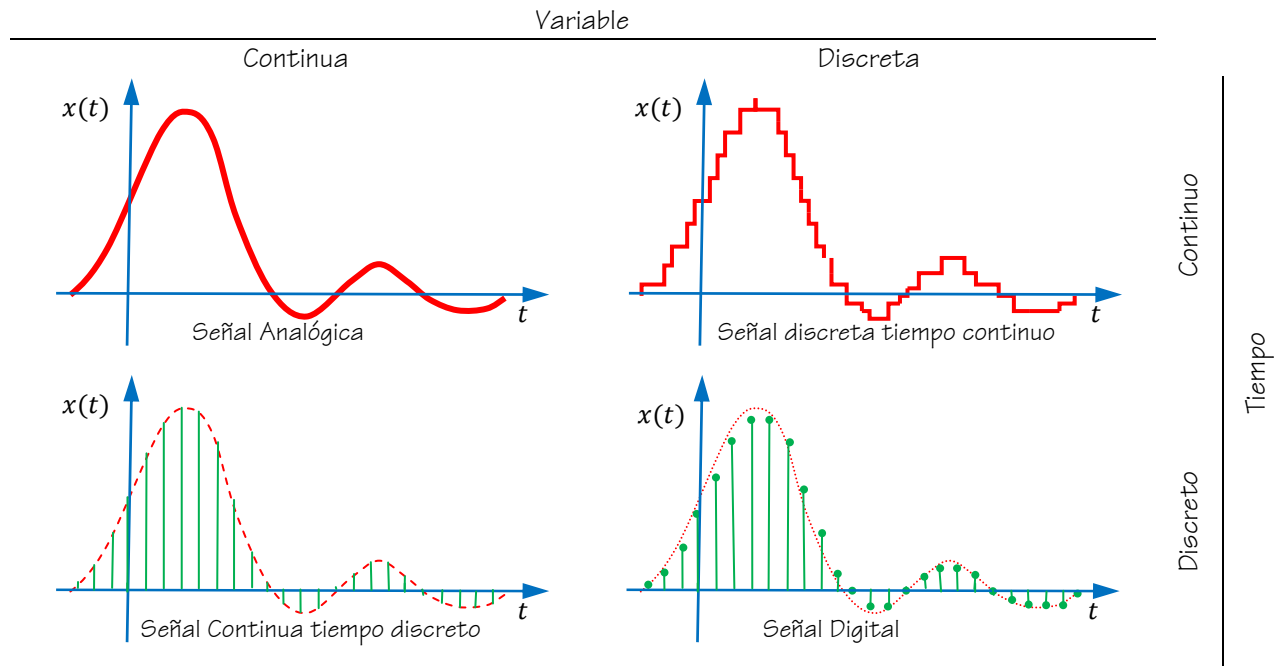
Sistema continuo



Sistema discontinuo

Sistemas de Control Analógicos vs. Sistemas de Control Digitales

Un sistema de control Analógico es aquel en que todas las variables son continuas y en función de un tiempo continuo. En cambio, en un sistema de control digital las variables son discretas, es decir solo pueden tomar valores predeterminados en función de la precisión del sistema, y estas variables se conocen solo en algunos instantes de tiempo. Los sistemas de control que usan una computadora son en esencia sistemas digitales.



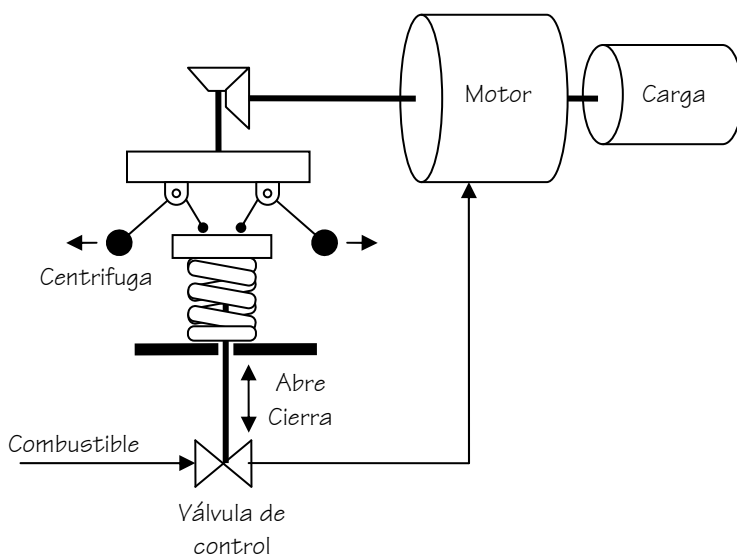
Sistemas de Control Reguladores vs. Sistemas de Control Seguidores

Sistema Regulador

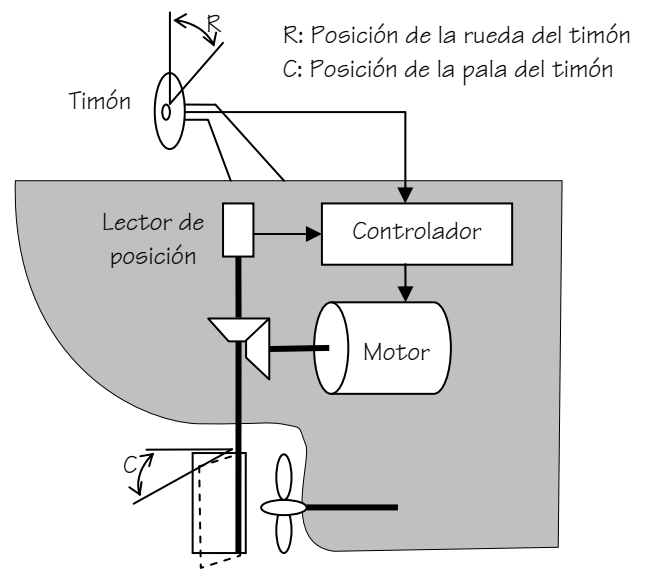
Es aquel cuya función es mantener la variable controlada en un valor constante

Un ejemplo de este tipo de control es el regulador de Watt, que permite controlar la velocidad de motor, manteniéndola en un valor constante cualquiera sea la carga.

En este sistema el motor está conectado mecánicamente a un sistema de centrífugas. Si la velocidad del motor aumenta entonces la fuerza centrífuga ejerce una fuerza que hace cerrar la válvula de paso de combustible, esto hasta que la velocidad se estabilice nuevamente en el valor deseado. Lo contrario ocurre si la velocidad del motor disminuye.



Esquema de un regulador de velocidad de Watt



Control de dirección de un barco

Sistema seguidor

Es cuando la señal de referencia varía constantemente y el sistema de control trata de mantener la igualdad entre la variable controlada y la señal de referencia. El control trata de seguir el punto de ajuste.

Por ejemplo el control de dirección de un barco.

En un barco grande es imposible llevar el timón en forma manual. Luego el movimiento se realiza mediante un sistema hidráulico. La rueda del timón indica la posición deseada (señal de referencia que en este caso cambia continuamente) y es el motor hidráulico el que se encarga de mover la pala.

Sistemas de control invariantes en el tiempo vs. Sistemas de control variable en el tiempo

Un sistema de invariante en el tiempo (con coeficientes constantes) es aquel en que los parámetros no varían en el tiempo. En cambio para un sistema de control variable en el tiempo los parámetros varían en el tiempo. Por ejemplo en un sistema de control de vehículo espacial, en el cual la masa disminuye al consumirse el combustible durante el vuelo.



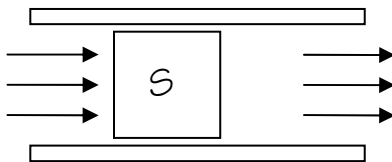
Sistema Invariante en el Tiempo



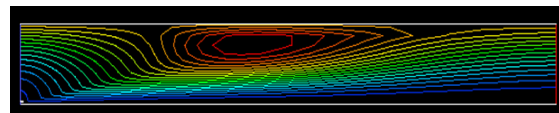
Sistema Variable en el Tiempo

Sistemas de control con parámetros concentrados vs. Sistemas de control con parámetros distribuidos

Los sistemas de control que pueden describirse mediante ecuaciones diferenciales ordinarias son sistemas de control de parámetros concentrados. Mientras que los sistemas que requieren la utilización de ecuaciones diferenciales parciales para su representación son sistemas de control de parámetros distribuidos.



Parámetros Concentrados



Parámetros Distribuidos

Sistemas de control lineales vs. Sistemas de control no lineales

Se denomina sistema lineal aquel la relación entre la entrada y la salida puede definirse mediante una ecuación lineal.

$$\text{Sistema Lineal: } y = ax + b$$

$$\text{Sistema No lineal: } y = x^3$$

Se dice que una ecuación es lineal si a esta se le puede aplicar el principio de superposición.

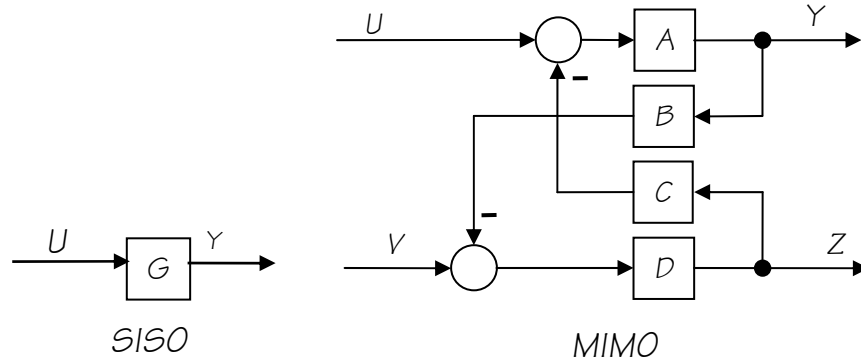
El principio de superposición establece que la respuesta producida por dos funciones excitadoras distintas es la suma de las respuestas individuales.

$$\text{Si } s = f(e) \text{ entonces } e = a + b \rightarrow s = f(a) + f(b)$$

Es de notar que los sistemas reales son todos no lineales, sin embargo en muchos casos la extensión de la variación de las variables del sistema no es amplia y se puede linealizar el sistema dentro de un rango relativamente estrecho de valores de variables.

Sistemas de control una entrada y una salida (SISO) vs. Sistemas de control de múltiples entradas y salidas (MIMO)

Un sistema puede tener una entrada y una salida, por ejemplo los controles de temperatura vistos anteriormente. Pero existen también sistemas con múltiples entradas y salidas, por ejemplo el control de una caldera en donde las variables controladas (salidas) son la temperatura y la presión, las cuales son controladas a través de un flujo y del calentamiento.



Sistemas de control determinísticos vs. Sistemas de control estocásticos

Un sistema de control es determinístico si la respuesta a la entrada es predecible y repetible. De no serlo el sistema de control es estocástico.



Sistema determinístico



Sistema Estocástico

Características de los sistemas de control

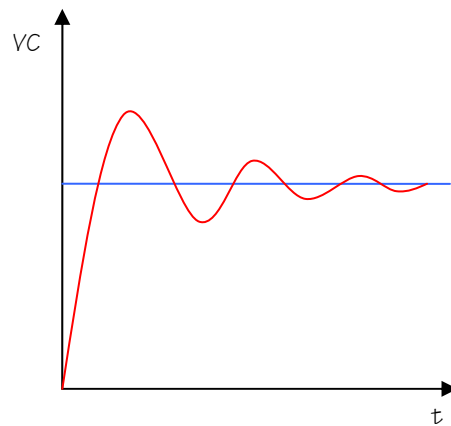
En un sistema de control existen tres características fundamentales que son: La estabilidad, la exactitud y la velocidad de respuesta.

Estabilidad

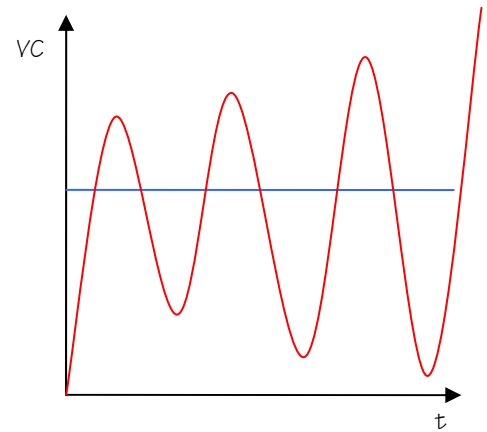
Se dice que un sistema de control estable es aquel que responde en forma limitada a cambios limitados en la variable controlada.

Es decir si ocurre un cambio en la señal de referencia o se produce una perturbación el sistema al principio se desviara de su valor y volverá luego a alcanzar el valor correcto.

Un sistema inestable en cambio producirá oscilaciones persistentes o de gran amplitud de la variable controlada.

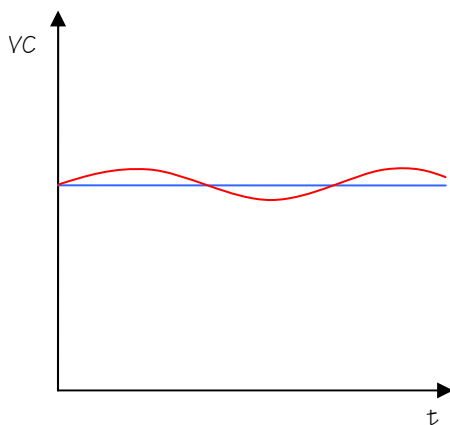


Estable

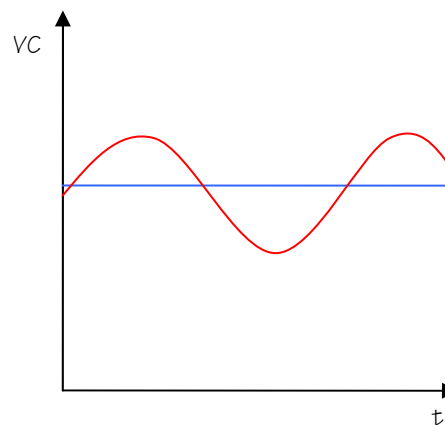


Inestable

Exactitud



Exacto



Inexacto

Un sistema exacto es aquel capaz de mantener el error en un valor mínimo, o en todo caso aceptable.

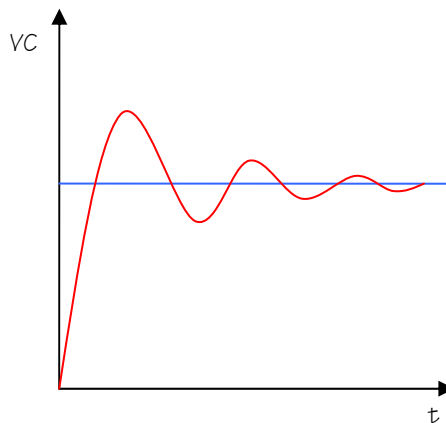
En la realidad no existen sistemas absolutamente exactos debido a las pequeñas imperfecciones de sus componentes, pero se consideran sistemas exactos aquellos que satisfacen los requerimientos del sistema. Por lo general el costo de un sistema tiende a

aumentar con la exactitud.

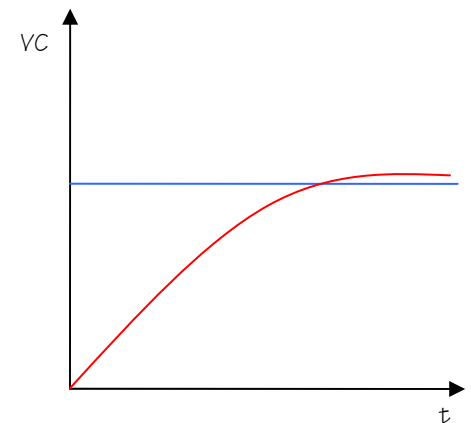
Velocidad de Respuesta

Es la rapidez con que la variable controlada se aproxima a la señal de referencia.

Un sistema debe responder a cualquier entrada en un tiempo aceptable, ya que aunque un sistema sea estable y tenga la exactitud requerida, si este es demasiado lento no tiene ningún valor.



Alta velocidad de respuesta



Baja velocidad de respuesta

Por lo general la estabilidad y la velocidad de respuesta son características que se contraponen, es decir mientras más rápido sea un sistema mayor será la tendencia a la inestabilidad y viceversa.

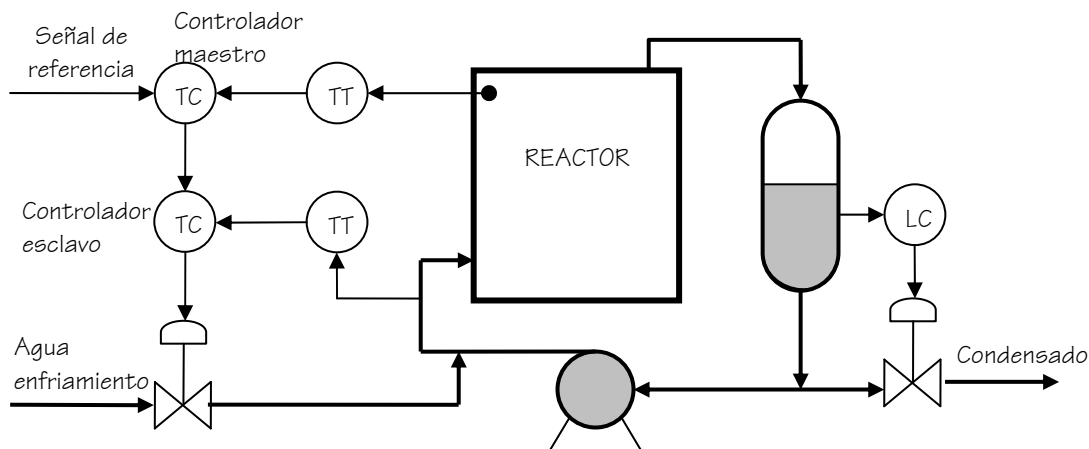
Lazos de control comúnmente utilizados en procesos industriales

Existen disposiciones de los sistemas de control diferentes a la básica, en donde pueden por ejemplo coexistir varios controladores, elementos de medición u algún otro componente. Estas disposiciones o comúnmente llamados lazos de control permiten controlar sistemas más complejos de una manera práctica. Los lazos más comunes son.

Control en cascada

Es aquel en el cual un controlador primario (maestro) manipula el punto de ajuste (señal de referencia) de un controlador secundario (esclavo).

Por ejemplo el control de temperatura de un control isotérmico



Control de temperatura en cascada para reactor isotérmico

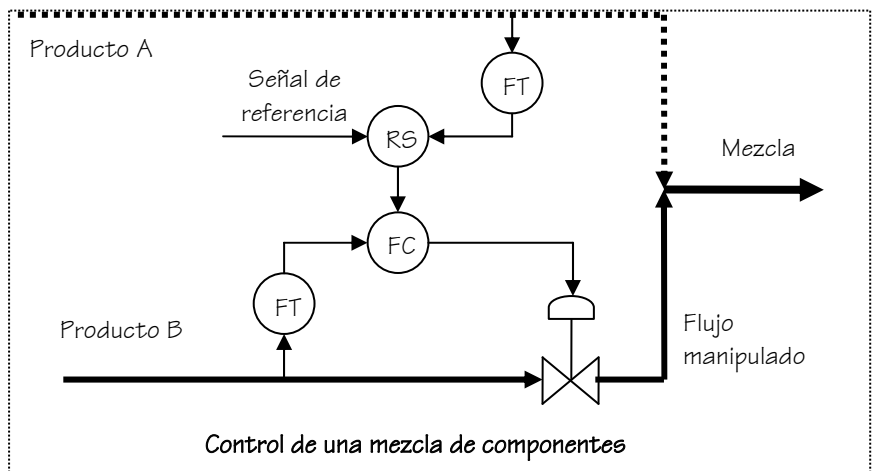
En este caso el controlador maestro actúa de acuerdo a la diferencia entre el valor deseado y la temperatura del reactor, dando como señal de salida el valor deseado en el controlador esclavo, es decir la temperatura necesaria para el agua de enfriamiento que se introducir al reactor. Este controlara la temperatura del agua de enfriamiento por intermedio de una válvula de control que controla la proporción de agua fría y agua caliente (recirculación).

Control de relación

Es aquel en el que se controla una variable en relación a otra. El objetivo es mantener la relación entre dos variables en un valor específico. El control se efectúa manipulando una válvula que afecta a una de las variables mientras que la otra permanece constante.

Por ejemplo en un control de una mezcla de componentes se controla la proporción de uno (o varios) de ellos en función del componente principal para así mantener constante la proporción.

En este caso una de las variables es la controlada mientras que la otra se utiliza para generar el valor deseado. La no controlada es multiplicada por un coeficiente ajustable en un instrumento llamado estación de relación (RS). La señal de salida de la estación de



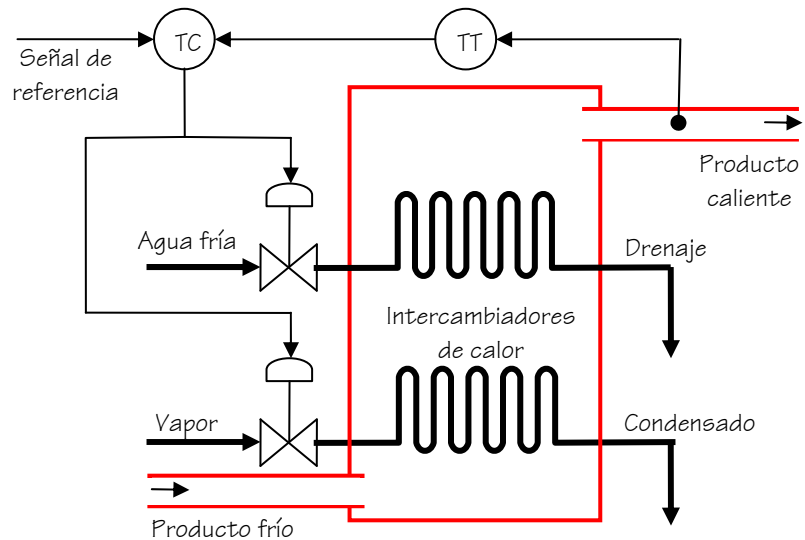
relación es la señal de referencia del controlador de flujo.

Control de rango partido

En este caso el controlador tiene una entrada y dos salidas. Una de las salidas actuará desde un valor A hasta uno B y el otro desde uno B hasta uno C. Por ejemplo en un control de rango partido de temperatura.

En este la señal de salida del controlador se conecta a dos válvulas de control. Si la señal de salida del controlador esta en el rango de 3 a 15 psi, se ajustan las válvulas de la siguiente forma:

1. La válvula de vapor se mueve desde completamente abierta hasta completamente cerrada cuando la señal oscile entre 3 y 9 psi.
2. La válvula de agua fría se mueve entre completamente cerrada y completamente abierta cuando la señal oscile entre 9 y 15 psi.



Esquema de un control de temperatura de rango partido

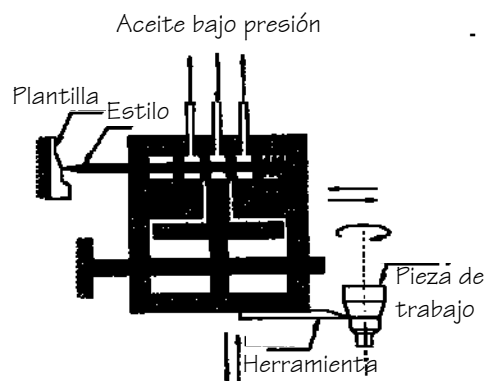
El controlador se ajusta de tal manera que produzca una señal de 9 psi cuando error sea nulo.

En este momento las dos válvulas estarán cerradas, cualquier variación en el error abra una u otra válvula para enfriar o calentar el producto.

Ejercicios

- 1) Muchas máquinas, tales como tornos, fresadoras y esmeriles, están provistos de trazadores para reproducir el contorno de las plantillas. La figura es un diagrama esquemático de un trazador hidráulico en el la herramienta duplica la forma de la plantilla sobre la pieza de trabajo.

- a) Explique el funcionamiento del sistema
- b) Haga el diagrama de bloque e identifique elementos del sistema
- c) Clasifique el sistema de control



cual

los

- 2) Las neveras para mantener el producto a una temperatura dada poseen un sistema de control.
 - a) Explique como es o como cree que debe ser el sistema de control (Haga un esquema).
 - b) Haga el diagrama de bloque típico de un sistema de control e identifique los componentes en el sistema de la nevera.
 - c) Clasifique el sistema de control.

- 3) Los motores de combustión interna requieren, para funcionar correctamente, de un sistema de enfriamiento, que mantenga la temperatura del motor en un valor adecuado. Ni muy alto ni muy bajo. Existen varios sistemas para controlar esa temperatura, los dos mas conocidos son:
- El clásico que usa un termostato que regula el flujo de refrigerante (agua), y donde el ventilador esta acoplado mecánicamente al motor.
 - En los vehiculos más recientes se usa, además del termostato, un controlador de temperatura que prende y apaga un electroventilador.
- Seleccione uno de los dos sistemas antes mencionados y:
- a) Explique su funcionamiento, utilizando figuras.
 - b) Haga el diagrama de bloque típico de un sistema de control retroalimentado identificando los componentes del sistema.
 - c) Clasifique el sistema de control.