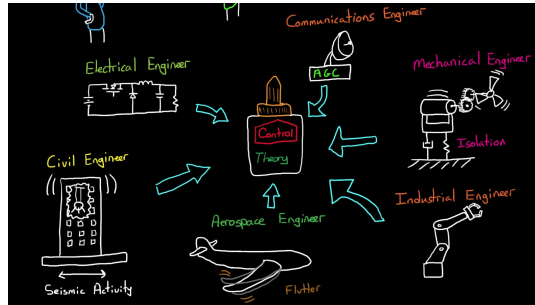


Instrumentación y Control - SISTEMAS DE CONTROL

31 de Octubre de 2018



Contenido

Tipos de sistemas de control

ON/OFF

PID

Otras estrategias de control

¿Qué es un sistema de control?

Sistema de control

- ▶ Conjunto de elementos cuya finalidad es fijar condiciones específicas en un determinado proceso, máquina o sistema particular
- ▶ Teoría de control es la rama matemática específica que estudia las estrategias específicas para alcanzar el estado deseado

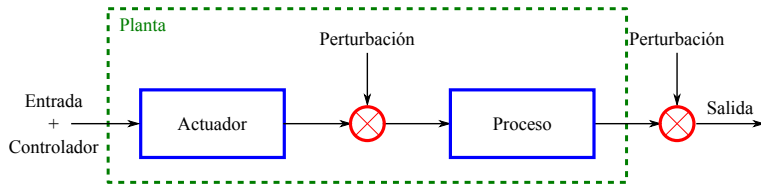
Elementos involucrados

- ▶ **Algoritmo de control:** manuales, realimentación, ON-OFF
- ▶ **Actuadores:** motores, solenoides, resistencias, ...
- ▶ **Sensores:** amperímetros, medidores de presión, ...
- ▶ **Sistema:** experimento, proceso industrial, ...

¿Qué es un sistema de control?

Lazo abierto

- ▶ Son aquellos en los cuales la señal de salida no influye en el proceso

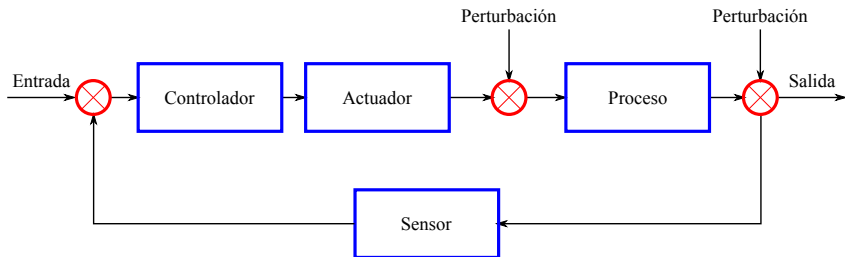


- ▶ Sistemas de lazo abierto no pueden corregir las perturbaciones que se introducen

¿Qué es un sistema de control?

Lazo cerrado

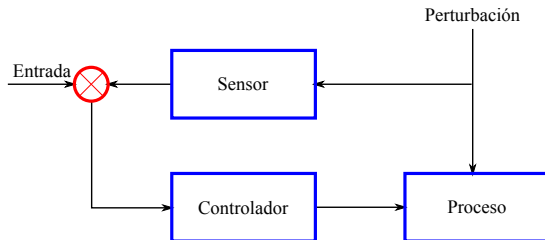
- ▶ En éstos la señal de salida influye en la señal de entrada
- ▶ **Control por retroalimentación:** se minimiza la diferencia entre la variable controlada y el punto de trabajo deseado
- ▶ **Control anticipativo:** monitorear perturbaciones de la señal antes de entrar al sistema y ajustar la etapa de control
- ▶ Las perturbaciones son neutralizadas por el lazo de control



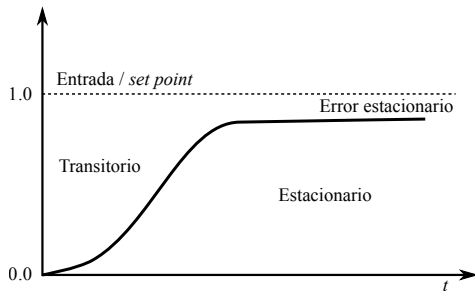
¿Qué es un sistema de control?

Lazo cerrado

- ▶ En éstos la señal de salida influye en la señal de entrada
- ▶ **Control por retroalimentación:** se minimiza la diferencia entre la variable controlada y el punto de trabajo deseado
- ▶ **Control anticipativo:** monitorear perturbaciones de la señal antes de entrar al sistema y ajustar la etapa de control
- ▶ Las perturbaciones son neutralizadas por el lazo de control



Respuesta y rendimiento

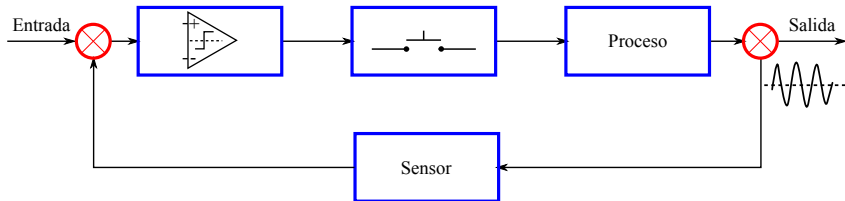


Rendimiento del sistema

- ▶ Respuesta transitoria
- ▶ Estabilidad
- ▶ Error estacionario

Controladores ON/OFF

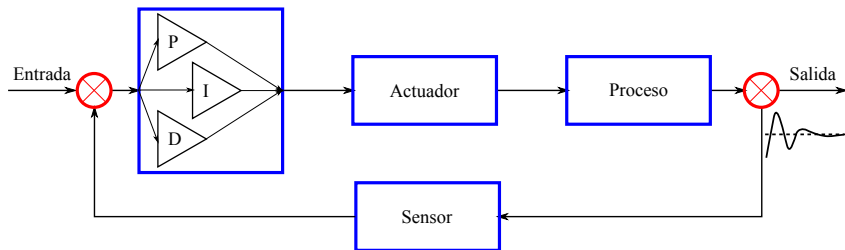
- ▶ Es el ejemplo más sencillo de un controlador con retroalimentación



- ▶ La salida presenta un comportamiento oscilatorio no deseado

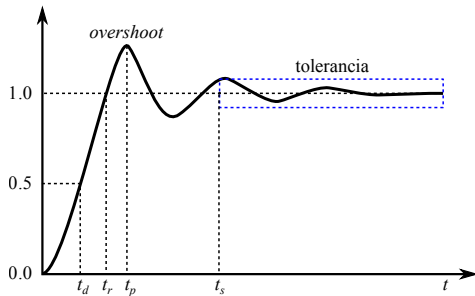
Controladores PID

- P La acción del controlador es proporcional a la señal de error
- I Elimina errores sistemáticos originados en la etapa proporcional
- D Introduce una corrección basada en la tasa de cambio de la señal error



Evolución temporal: respuesta escalón

- ▶ La señal de respuesta está compuesta por un período transitorio y uno estacionario



t_d tiempo de retraso

t_r tiempo de subida

t_p tiempo de pico

t_s tiempo de ajuste

Controlador P

Proporcional

$$P = K_P e(t)$$

- + Fácil de implementar, bajo costo de cómputo
- Oscilaciones, *overshoot*, error estacionario

Controlador PI

Proporcional + Integral

$$P + I = K_P e(t) + K_I \int_t e(\tau) d\tau$$

- + Error estacionario tiende a cero
- Aumenta el tiempo de respuesta de control

Controlador PD

Proporcional + Derivativo

$$P + D = K_P e(t) + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

- + Minimiza el *overshoot*, respuesta rápida
- Error estacionario, amplifica ruido

PID

Proporcional + Integral + Derivativo

$$P + I + D = K_P e(t) + K_I \int_t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

- + Bajo *overshoot*, sin error estacionario
- Mayor dificultad en implementar, ajuste de constantes

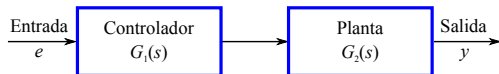
PID

Pseudocódigo

```
lastError = 0
integral = 0
start:
    error = setPoint - actualPoint
    integral = integral + error*dt
    derivative = (error - lastError)/dt
    output = Kp*error + Ki*integral + Kd*derivative
    lastError = error
    goto start
```

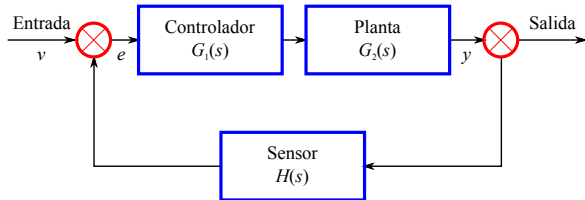
Función transferencia: espacio de frecuencia compleja

Lazo abierto



$$Y(s) = G_2(s) G_1(s) E(s)$$

Lazo cerrado



$$Y(s) = \frac{G_1(s) G_2(s)}{1 + G_1(s) G_2(s) H(s)} V(s)$$

Función de transferencia: PID

$$w(t) = K_P e(t) + K_I \int_t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

Aplicando la transformada de Laplace

$$W(s) = \left(K_P + \frac{K_I}{s} + s K_D \right) E(s)$$

$$W(s) = G(s) E(s)$$

- ▶ En general, se puede obtener una expresión para cualquier tipo de sistema (electrónico, mecánico, etc)

Función de transferencia: estabilidad del sistema

- ▶ La respuesta transitoria debe extinguirse
- ▶ El estado estacionario es una consecuencia de la componente forzante

$$Y(s) = \frac{K_1}{s + p_1} + \frac{K_2}{s + p_2} + \dots + \frac{K_n}{s + p_n}$$

Teorema de estabilidad

Un sistema será estable si y solo si todos los polos de la función de salida se encuentran en el plano izquierdo del espacio s ($\Re(p_i) < 0$)

PID: métodos de ajuste

- ▶ En la práctica, no se suele buscar los valores de K_p , K_i y K_d de forma analítica
- ▶ Por lo contrario, se utilizan procedimientos preestablecidos de ajuste
- ▶ Ajuste fino *in situ* o por medio de simulaciones
- ▶ No es necesario conocer en detalle el modelo matemático de la planta
- ▶ Se estudia la respuesta del sistema al excitar con una señal tipo escalón

PID: métodos de ajuste

- ▶ Manual: cambiar los parámetros hasta alcanzar el comportamiento deseado (experiencia y tiempo)
- ▶ Ziegler-Nichols: principio heurístico solo modificando P (tiempo, inestable, *overshoot*)
- ▶ Cohen-Coon: otro principio heurístico basado en parámetros definidos a partir de la respuesta del sistema bajo control (mejor tiempo de respuesta que ZN)

PID: ajuste manual

Parámetro	<i>Overshoot</i>	Error estacionario	Estabilidad	t_r	t_s
K_p / \uparrow	\uparrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	s/ efecto
K_i / \uparrow	\uparrow	0	\downarrow	\downarrow	\uparrow
K_d / \uparrow	\downarrow	s/ efecto	\uparrow	s/ efecto	\downarrow

PID: Ziegler-Nichols

Receta

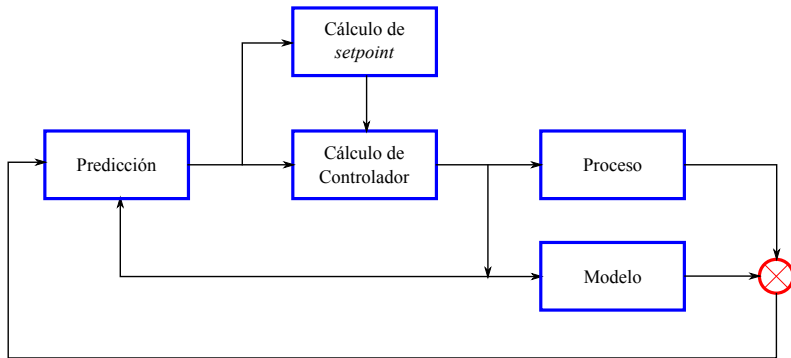
1. Solo habilitar control proporcional
2. Aumentar la ganancia hasta que se produzcan oscilaciones estables
3. Guardar K_{crit} (ganancia crítica) y P_{crit} (período de oscilación)
4. Ajustar los parámetros de control según

Tipo de control	K_p	K_i	K_d
P	$0.50 K_{\text{crit}}$		
PI	$0.45 K_{\text{crit}}$	$1.2 K_p / P_{\text{crit}} dt$	
PID	$0.60 K_{\text{crit}}$	$2.0 K_p / P_{\text{crit}} dt$	$K_p P_{\text{crit}} / 8 dt$

Otras estrategias de control

- ▶ Control adaptativo: se modifican los parámetros de ganancia de forma dinámica obteniendo sistemas de control robustos
- ▶ Inteligencia artificial: se utilizan enfoques del tipo cognitivos para controlar el sistema dinámico tales como: redes neuronales artificiales, probabilidad Bayesiana, algoritmos genéticos
- ▶ Control óptimo: técnicas que optimizan el costo de mantener al sistema en funcionamiento. Un caso particular es el control predictivo por modelo
- ▶ Control robusto: son desarrollados con el objetivo de ser robustos a diferencias entre el sistema real y el modelo de diseño.
- ▶ Control estocástico: se consideran fluctuaciones aleatorias en los modelos de planta y controlador

Control predictivo por modelo



- ▶ Modelo del sistema permite predecir el comportamiento a futuro
- ▶ Satisfacer restricciones
- ▶ Optimizar objetivos (tasa, costo, provecho)

Links & Biblio

Video motivacional

▶ Atlas

▶ Péndulo invertido

Applet PID

▶ PID demo

Control Systems Engineering

NS Nise, John Wiley & Sons, 2007

Feedback Control Systems

J Van de Vegte, Prentice-Hall, 1994

Process dynamics and control

DE Seborg, *et al.*, John Wiley & Sons, 2010