



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

TEORÍA DE CONTROL

Silvia Marcaida, Ion Zaballa

Departamento de Matemática Aplicada
y Estadística e Investigación Operativa
Euskal Herriko Unibertsitatea

Nota importante : Estas notas son una versión provisional, en desarrollo, que pueden contener erratas e imprecisiones.

Capítulo 1

Introducción: ¿Qué es control?

El contenido de los tres primeros capítulos está basado en los siguientes libros de referencia sobre sistemas y control: [1], [9], [11] y [12].

1.1. Sistemas de control

Comenzaremos introduciendo algunas definiciones básicas sobre conceptos de control. Un **sistema** es una combinación de componentes (físicos o conceptuales) que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un **sistema dinámico** es un sistema que evoluciona con el tiempo. La siguiente es una definición de sistema de control recogida en [18]:

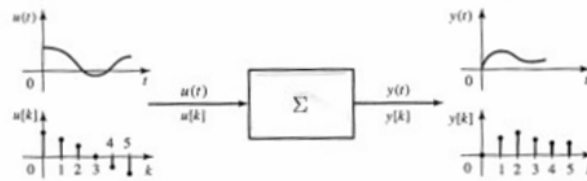
A **Control System** is a device, or a collection of devices that manage the behavior of other devices. Some devices are not controllable. A control system is an interconnection of components connected or related in such a manner as to command, direct, or regulate itself or another system. A **controller** is a control system that manages the behavior of another device or system.

Ejemplos de sistemas de control son los siguientes:

- Coche: el acelerador controla la cantidad de combustible que se pasa al motor y produce el desplazamiento del coche.
- Frigorífico: el termostato controla la puesta en marcha y parada del motor eléctrico que produce la refrigeración.

Los sistemas de control pueden ser de diferente naturaleza: mecánicos, eléctricos, biológicos, económicos, etc.

Trabajaremos bajo la suposición general de que los sistemas aceptan **entradas** y producen **salidas**, es decir, operan sobre las entradas para producir salidas. La **respuesta del sistema** es el modo en que el sistema opera sobre las entradas para producir salidas.



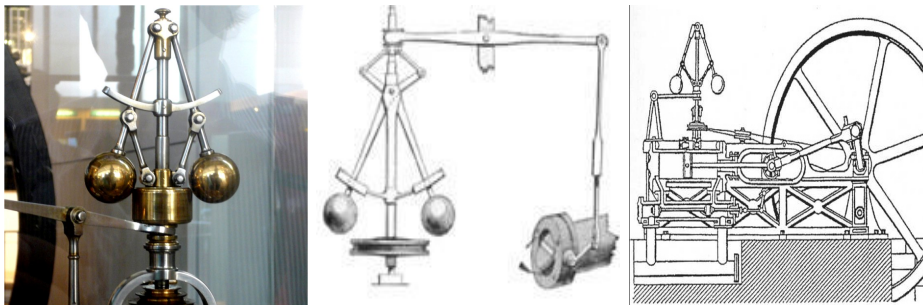
El objetivo de un sistema de control es controlar las salidas con las entradas de alguna forma prescrita a través de los elementos del sistema de control.

Los **sistemas matemáticos de control** son modelos matemáticos (normalmente ecuaciones) que, para un sistema de control, explican la respuesta del sistema relacionando variables de entrada y de salida.

1.2. Ejemplos de sistemas de control

Veamos ahora algunos ejemplos de sistemas de control.

Ejemplo 1.1 (Controlador centrífugo)

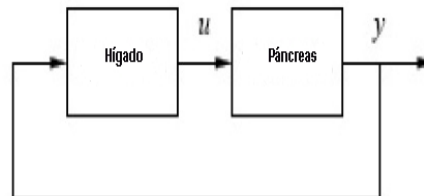


El controlador centrífugo en una máquina de vapor mantiene la velocidad constante. El eje de la máquina de vapor está conectado al controlador centrífugo, que a su vez está conectado a la válvula de la máquina de vapor. Su funcionamiento es el siguiente: cuando la velocidad aumenta (una cuesta abajo, por ejemplo) las bolas se separan y causan el cierre de la válvula de admisión de vapor. Esto hace que la velocidad disminuya y las bolas se junten volviendo a abrir la válvula de vapor.

Ejemplo 1.2 (Termostato)

Un termostato mide la temperatura ambiente, compara la temperatura medida con la temperatura deseada (que previamente se le ha indicado) y usa el error para encender o apagar el sistema de calefacción.

Ejemplo 1.3 (Regulación de la glucosa en sangre) El cuerpo humano intenta mantener la concentración de glucosa constante (entre 0.7 y 1.1 gr. por litro de sangre). Si el nivel de glucosa aumenta el páncreas segrega insulina y la insulina hace que el hígado almacene el exceso de glucosa. Si el nivel de glucosa disminuye el páncreas segrega glucagón y el glucagón hace que el hígado libere glucosa. Esto lo podemos modelizar usando un diagrama de bloques donde u representa la concentración de glucosa en sangre e y la cantidad de insulina o glucagón. El páncreas actúa de controlador.

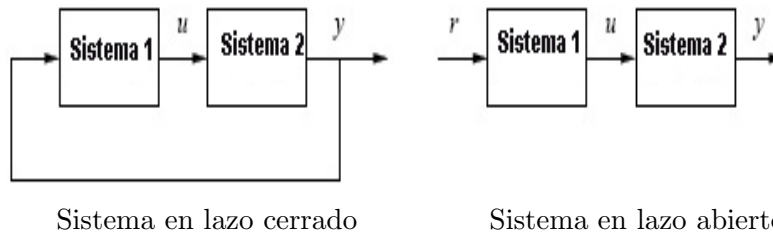
**1.3. Sistemas en lazo cerrado y abierto**

Un **sistema de control en lazo cerrado** es un sistema que compara la salida y un valor de referencia y usa la diferencia como medio de control (*feedback system*).

Los ejemplos de la sección anterior son todos sistemas en lazo cerrado.

Un **sistema de control en lazo abierto** es un sistema en que la salida no tiene efecto sobre la acción de control (no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada).

Un ejemplo de sistema en lazo abierto es una lavadora o el control del tráfico mediante semáforos cuyas señales cambian en base al tiempo (y no al tráfico existente en ese momento, por ejemplo).



Las ventajas de un sistema en lazo abierto son:

1. Su construcción en general es más simple (tiene menos componentes) y tiene mayor facilidad de mantenimiento, con lo que el coste de construcción y mantenimiento es menor.
2. No tiene problemas de estabilidad pues no actúa en función de la salida.
3. Es conveniente cuando la salida es difícil de medir o cuando medir la salida de manera precisa no es económicamente viable.

Y sus desventajas son:

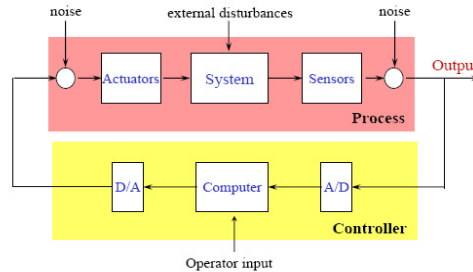
1. Si hay perturbaciones o cambios en la calibración se originan errores que producen que la salida sea diferente de lo que se desea.
2. Hay que recalibrar.

1.4. Funcionamiento del control

Actualmente los controladores ya no son solamente mecánicos, como el controlador centrífugo, sino que la mayoría consisten en software y hardware. Un controlador moderno recoge la salida del sistema a través de sensores, la compara con el comportamiento deseado o entrada de referencia, determina la desviación, calcula las acciones correctivas basadas en un modelo (mediante un algoritmo diseñado para que el comportamiento del sistema sea el deseado) y actúa para llevar a cabo el cambio deseado. Es decir,

$$\text{Control} = \text{Detección} + \text{Cálculo} + \text{Actuación}$$

En la siguiente figura se muestran los componentes de un sistema controlado por ordenador. La caja superior representa la dinámica del proceso, que incluye los sensores, actuadores y la dinámica del propio sistema que está siendo controlado. Puede haber perturbaciones externas y ruido o incertidumbre que afecten a la dinámica del sistema. En la caja inferior se representa el controlador. Consiste en convertidores analógicos/digitales y digitales/analógicos así como en un ordenador en el que está implementado el algoritmo de control.



Un sensor o elemento de medición es un dispositivo que convierte la variable de salida en otra variable manejable, como un desplazamiento, una presión o un voltaje. Esta variable manejable tendrá que ser convertida a digital, mediante un conversor A/D, para que el ordenador pueda compararla con la entrada de referencia.

Un actuador es un dispositivo de potencia, como un motor o una válvula. Recibe la señal del ordenador, tras haber sido convertida a analógica por un conversor D/A, y produce la entrada al sistema.

Las características deseables de un sistema son:

- Estabilidad: poder mantener el comportamiento deseado del sistema de tal forma que a pequeñas variaciones en la entrada correspondan pequeñas variaciones en la salida.
- Rapidez en la respuesta a los cambios.
- Robustez: tolerar perturbaciones.

1.5. Algunas aplicaciones del control

Algunos dispositivos iniciales de control fueron el controlador centrífugo (1788), el termostato (1953) y la velocidad de crucero en automóviles (1958). La proliferación del control ocurrió en la segunda mitad del siglo XX. Actualmente el control, dependiendo de la rama del conocimiento, se usa en:

- Biología/Medicina:
 - regulación fisiológica (homeostasis): temperatura corporal, glucosa en sangre, tensión arterial, colesterol, ...
 - ecosistemas: plagas de medusas, ...
 - farmacocinética: fármacos para el cáncer (descontrol en el crecimiento y división de células), ...
- Ingeniería:

- robots,
 - vehículos autónomos,
 - sistemas de espacio y militares: aviones, misiles, satélites, ...
 - sistemas electrónicos,
 - procesos químicos,
 - sistemas de información y comunicaciones.
- Economía:
- bolsa y mercados,
 - cadenas de suministro y servicios.

Por ejemplo, una empresa en la que ha descendido el número de ventas puede pensar en hacer publicidad. Un gobierno en época de crisis puede subir impuestos, bajar el sueldo de sus funcionarios, aumentar la edad de la jubilación, devaluar la moneda,