

# TEMA 1. Introducción a los sistemas de control

## **OBJETIVOS**

- Reconocer en un sistema las variables de entrada, de salida y de perturbación.
- Distinguir un sistema de control en lazo abierto y en lazo cerrado.
- Reconocer en un sistema de control, lazo abierto o cerrado, las variables de entrada, salida y perturbación.
- Reconocer las tareas que se realizan en un sistema de control, y los elementos que lo integran.
- Distinguir el control automático del manual.
- Enumerar las ventajas y desventajas del control automático frente al control manual.
- Enumerar las ventajas y desventajas del control en lazo abierto frente al control en lazo cerrado.
- Clasificar los sistemas de control.
- Explicar el funcionamiento de sistemas de control sencillos.
- Dado un sistema sencillo proponer algún sistema de control para él.
- Saber que etapas deben seguirse en la realización de un sistema de control.

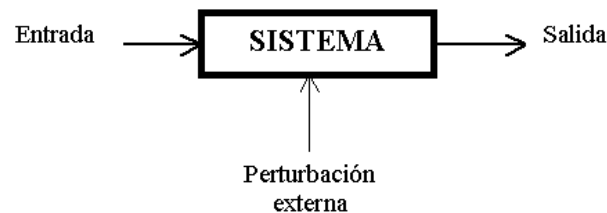
# TEMA 1. Introducción a los sistemas de control

## **CONTENIDOS**

- Definiciones básicas
- Sistemas de control en lazo abierto y lazo cerrado.
- Tipos de control
- Ejemplos ilustrativos de sistemas de control.
  - Sistema de control de presión
  - Sistema de control de velocidad
  - Servosistema (sincros)
  - Sistema de control de temperatura (control por ordenador)
  - Sistema de control de temperatura en la cabina de un coche (control prealimentado)
  - Control de la posición del brazo del robot
  - Control de la fuerza de agarre de la mano del robot
- Etapas en la realización de un sistema de control

# Definiciones básicas

**Sistema:** es la combinación de componentes que actúan conjuntamente y cumplen un determinado objetivo.



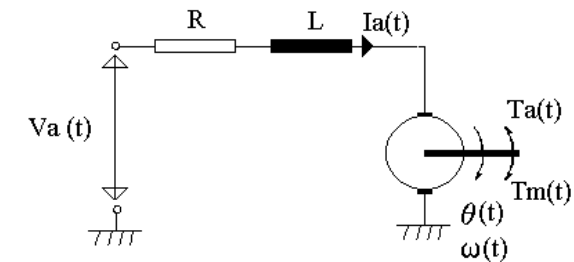
**Variable de entrada:** es una variable del sistema tal que una modificación de su magnitud o condición puede alterar el estado del sistema.

**Variable de salida:** es una variable del sistema cuya magnitud o condición se mide.

**Perturbación:** es una señal que tiende a afectar el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se la denomina interna, mientras que una perturbación externa se genera fuera del sistema y constituye una entrada.

# Ejemplos de sistema

## Motor DC



**Variables de entrada**  
Tensión de armadura

**Variables de salida**  
Velocidad de giro del eje  
Posición del eje  
¿Intensidad de armadura?

**Perturbaciones**  
Externa: par de carga  
Interna: temperatura dentro del motor

Una habitación en la que se dispone de un calentador eléctrico que se puede encender o apagar, de un termómetro para medir la temperatura y de una puerta que puede estar abierta o cerrada

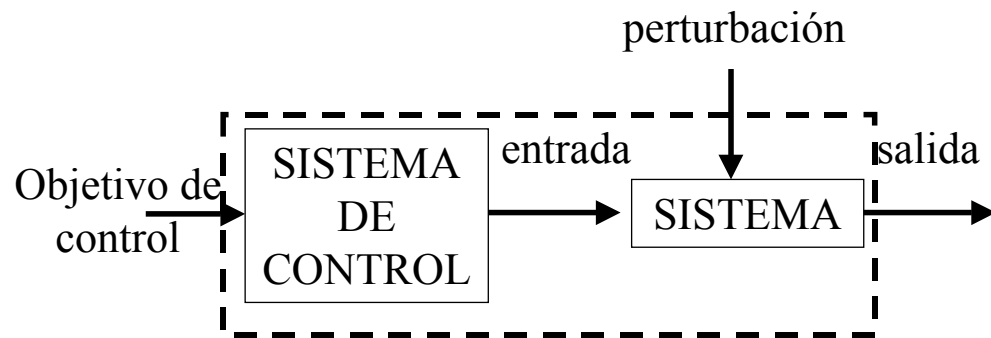
**Variables de entrada**  
Interruptor del calentador eléctrico

**Variables de salida**  
Temperatura en la habitación

**Perturbaciones**  
Externas:  
• Temperatura del exterior de la habitación  
• Estado de la puerta  
Interna: actividad de las personas dentro de la habitación

# Sistemas de control

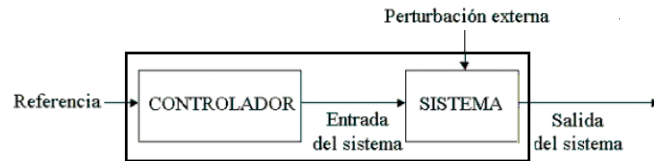
- Definición
  - Sistema de control es el conjunto de dispositivos que actúan juntos para lograr un objetivo de control



## Sistemas de control en lazo abierto y en lazo cerrado

- Ejemplos de sistemas con control:
  - Motor DC controlado por armadura
    - Objetivo: velocidad o posición deseadas
    - Variables de control: voltaje o intensidad de armadura
    - Perturbaciones: par de carga
  - Cualquier planta de proceso continuo tiene muchos sistemas de control
    - Control de nivel en depósitos
    - Control de flujo en tuberías
  - Cuerpo humano:
    - A nivel microscópico: planta industrial y red de transporte con numerosos sistemas de control
    - A nivel macroscópico: control de la temperatura corporal
  - Sistema económico mundial
    - ¿Objetivo?, ¿Variables de control?, ¿Perturbaciones?
- Clasificación: Lazo abierto o cerrado

## Sistemas de control en lazo abierto



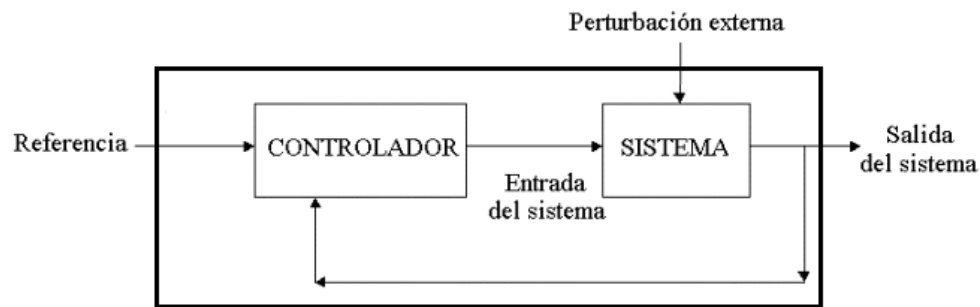
- Aquellos en los que la variable de salida (**variable controlada**) no tiene efecto sobre la acción de control (**variable de control**).
- Características
  - No se compara la salida del sistema con el valor deseado de la salida del sistema (referencia).
  - Para cada entrada de referencia le corresponde una condición de operación fijada.
  - La exactitud de la salida del sistema depende de la calibración del controlador.
  - En presencia de perturbaciones estos sistemas de control no cumplen su función adecuadamente.
- Ejemplo:
  - Control en lazo abierto por tensión de armadura de un motor DC de excitación independiente.

## Sistemas de control en lazo abierto

- El control en lazo abierto suele aparecer en dispositivos con **control secuencial**, en el que no hay una regulación de variables sino que se realizan una serie de operaciones de una manera determinada. Esa secuencia de operaciones puede venir impuesta por eventos (event-driven) o por tiempo (time-driven). Se programa utilizando PLCs (controladores de lógica programable)
- Ejemplos:
  - Lavadora:
    - Funciona sobre una base de tiempos
    - Variable de salida “limpieza de la ropa” no afecta al funcionamiento de la lavadora.
  - Semáforos de una ciudad
    - Funcionan sobre una base de tiempo
    - Variable de salida “estado del tráfico” no afecta la funcionamiento del sistema.

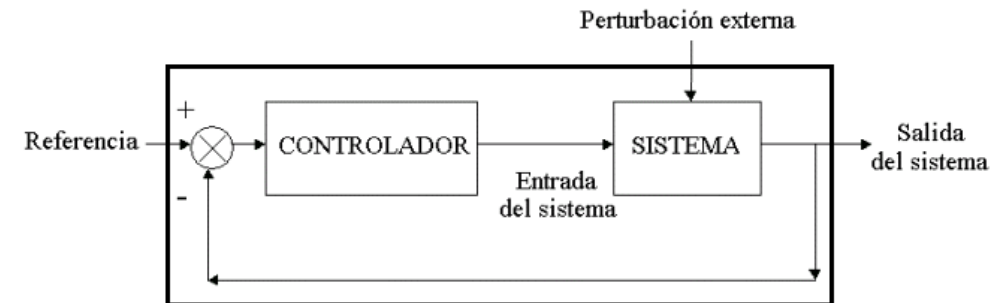
# Sistemas de control en lazo cerrado

- **Definición: sistema de control en lazo cerrado**
  - Aquellos en los que la señal de salida del sistema (**variable controlada**) tiene efecto directo sobre la acción de control (**variable de control**).



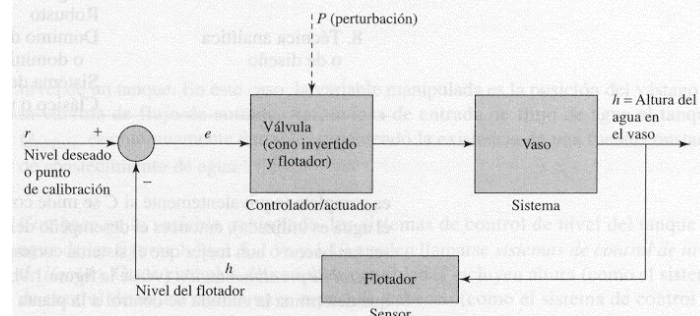
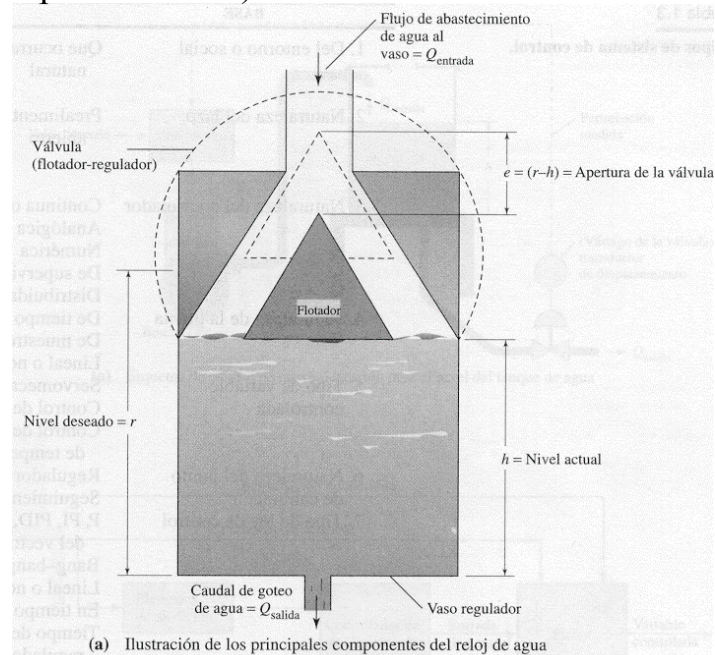
# Sistemas de control en lazo cerrado

- **Definición: control retroalimentado**
  - Operación que en presencia de perturbaciones tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia. Esta reducción se logra manipulando alguna variable de entrada del sistema, siendo la magnitud de dicha variable de entrada función de la diferencia entre la variable de referencia y la salida del sistema.



- **Ej: Reloj de agua**

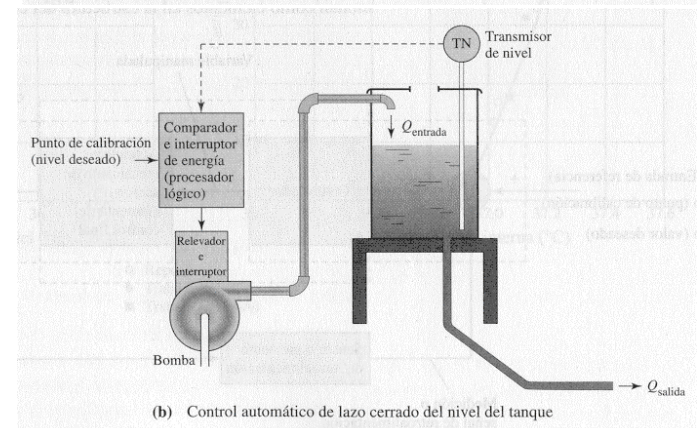
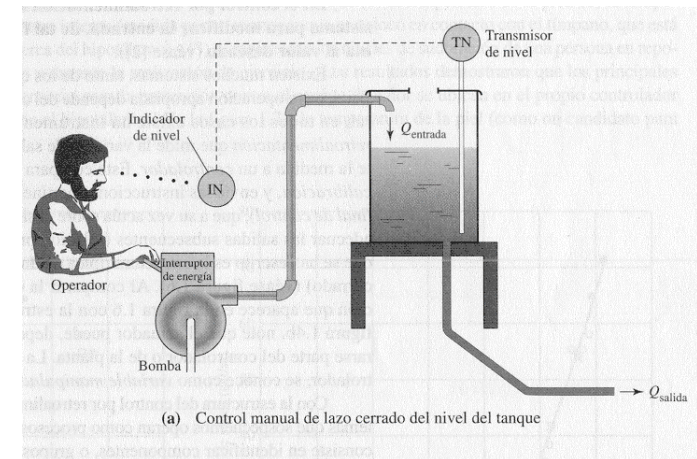
- Probablemente el primer sistema de retroalimentación creado por el hombre.
- Inventado por Ctesibios de Alejandria (Egipto, aprox. 260 a.c.)



## Sistemas de control en lazo cerrado

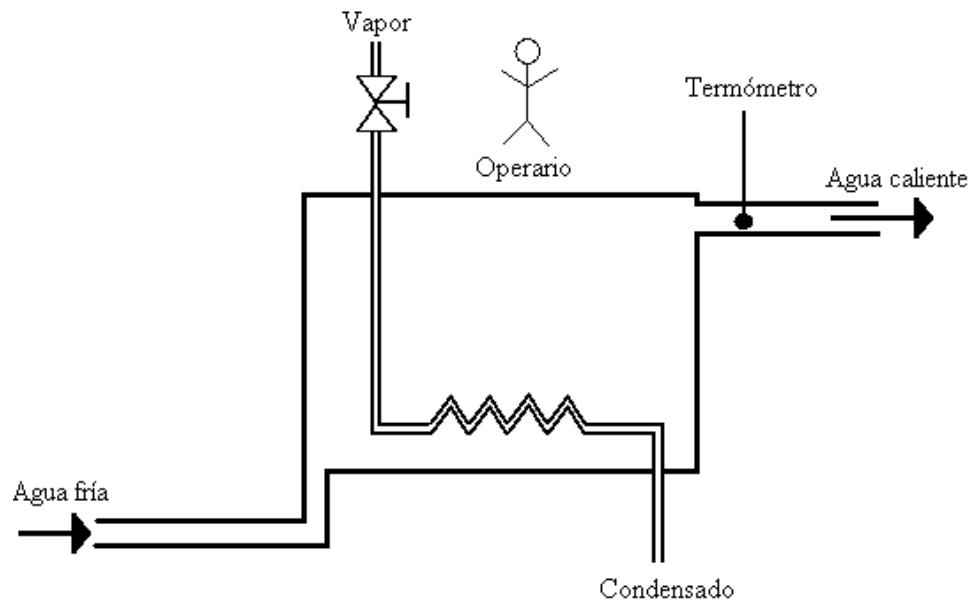
- **Clasificación**

- Manuales: controlador operador humano
- Automático: controlador dispositivo
  - Neumático, hidráulico, eléctrico, electrónico o digital (microprocesador)



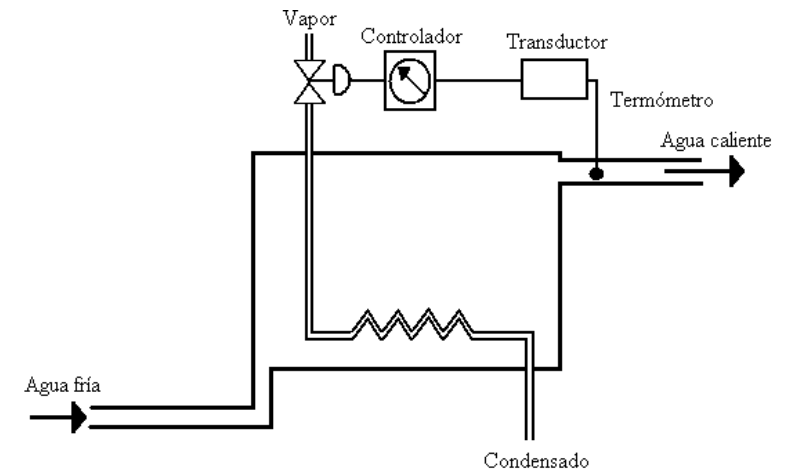
- Ejemplo

- Control de temperatura de un intercambiador de calor usando vapor como medio calefactor



- Conversión de manual a automático

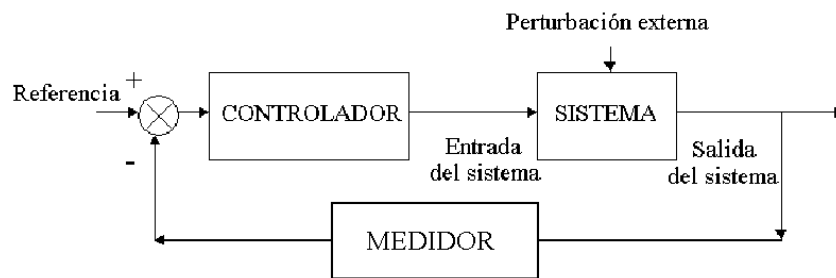
- Reemplazar el operario por un controlador automático en el que se pueda fijar la señal de referencia.
- Acoplar un transductor (elemento que transforma un tipo de señal en otra) al elemento que mide la temperatura de forma que la señal de salida del transductor se introduzca al elemento controlador y sea del mismo tipo que la señal de referencia.
- Reemplazar la válvula de vapor manual por una automática y conectar la salida del controlador a la entrada de control de la válvula de regulación.





- Elementos de un lazo de control

- Sistema a controlar
- Controlador
- Actuador (puede incluirse en el sistema a controlar)
- Medidor: sensor + transductor

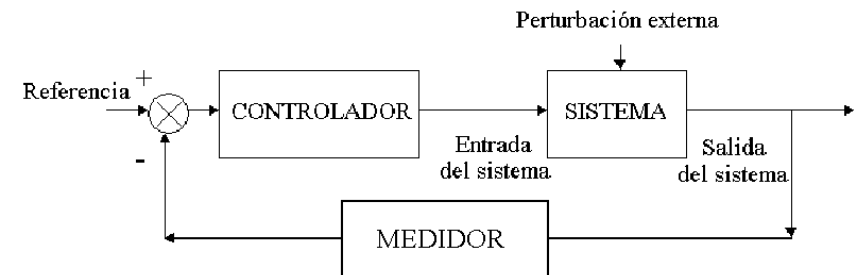


- Funciones de un lazo de control

- Medir el valor de la variable controlada (medida y transmisión).
- Detectar el error y generar una acción de control (decisión).
- Usar la acción de control para manipular alguna variable en el proceso de modo que tienda a reducir el error (manipulación)

- Ventaja del control en lazo cerrado frente al control en lazo abierto:

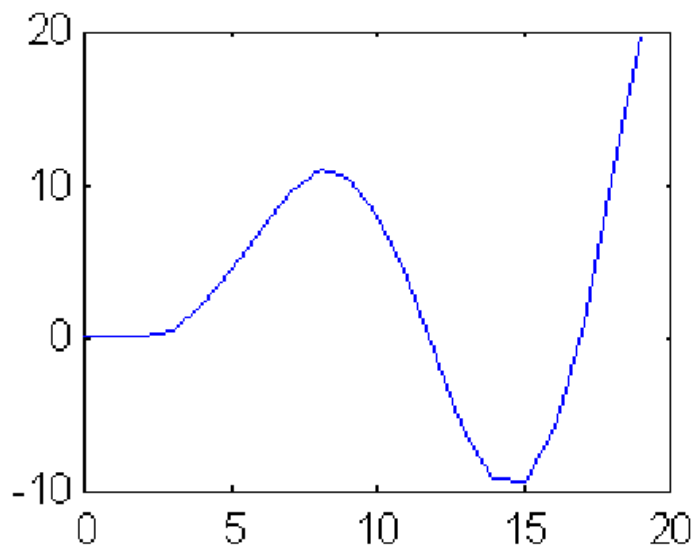
- Respuesta del sistema se hace relativamente insensible a perturbaciones externas y a variaciones internas de los parámetros del sistema





- Desventaja del control en lazo cerrado:

- Aparece el problema de la **estabilidad**, ya que si el controlador no está bien ajustado puede tener tendencia a sobre corregir errores, que pueden llegar a producir en la salida del sistema oscilaciones de amplitud creciente llegando a inestabilizar el sistema.

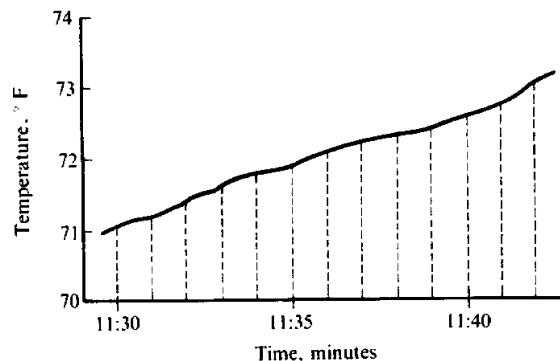


## Tipos de control

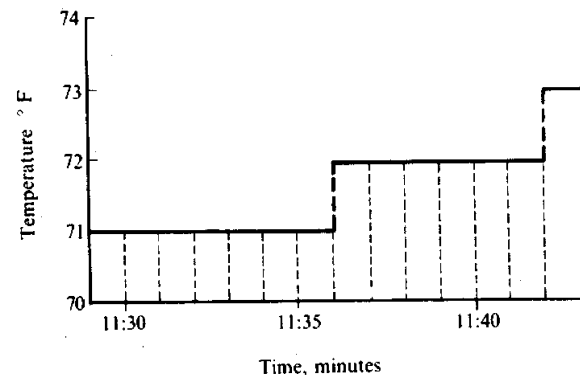
- Realimentación de la salida:
  - Lazo abierto y lazo cerrado
- Comportamiento de la señal de referencia.
  - Sistemas seguidores
    - La **entrada de referencia cambia de valor frecuentemente**
      - Ejemplo: servomecanismos (sistemas de control realimentado en el cual la salida es alguna posición, velocidad o aceleración mecánica).
      - Ejemplo de servomecanismo: posicionamiento de los cañones de una batería de tiro antiaérea.
  - Sistemas de regulación automática
    - La **entrada de referencia es o bien constante o bien varía lentamente con el tiempo**, y donde la tarea fundamental consiste en mantener la salida en el valor deseado a pesar de las **perturbaciones** presentes.
      - Ejemplos: el sistema de calefacción de una casa, un regulador de voltaje, un regulador de presión de suministro de agua a una comunidad de vecinos

# Tipos de control

- Tipo de señal
  - Analógicos (continuos)
  - Digitales (discretos)



a) An analog signal of the outside air temperature



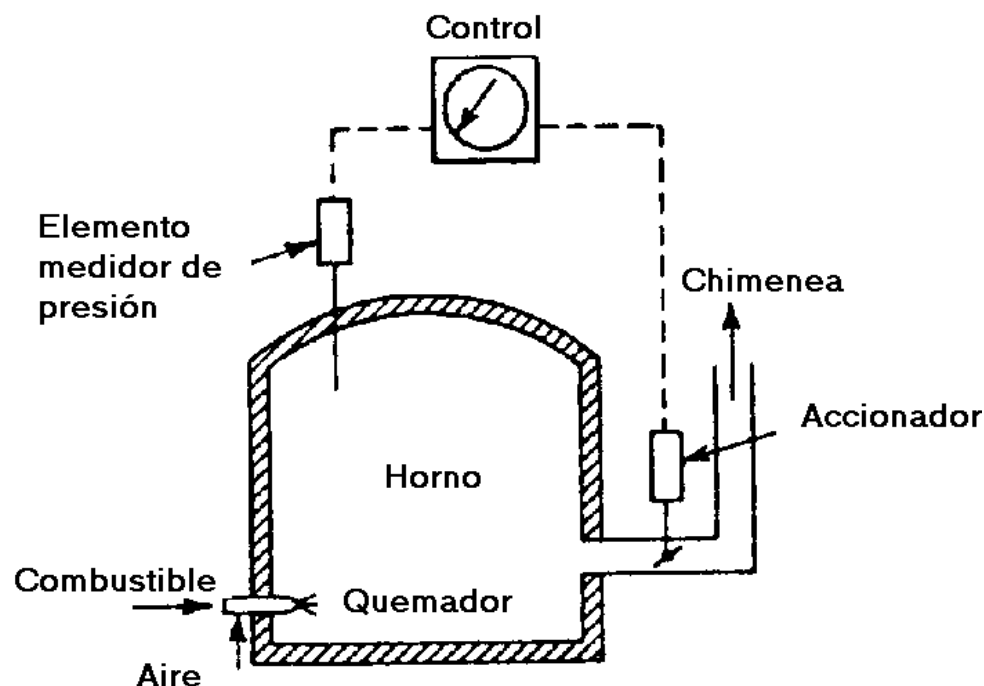
b) A digital signal of the outside air temperature

# Tipos de control

- En función de la industria
  - Control de procesos
    - Los sistemas de control de procesos son aquellos que requieren la regulación de variables de proceso (temperaturas, concentraciones, caudales, niveles ...). Estos sistemas de control requieren la manipulación de unidades de proceso continuas (no se interrumpe el flujo) y discontinuas, batch o por lotes (se interrumpe el flujo).
    - Ejemplos: refinería de petróleo, planta de producción de energía eléctrica, papelera ...
  - Control de máquinas manufactureras
    - Control Numérico
      - Usa un programa para controlar la secuencia de operaciones una máquina, dicho programa contiene instrucciones que especifican posiciones, direcciones, velocidades y velocidad de corte.
    - Control de robots
      - Un manipulador programable diseñado para mover materiales, herramientas en una secuencia determinada para realizar una tarea específica.

# Ejemplos de sistemas de control

## Control de presión

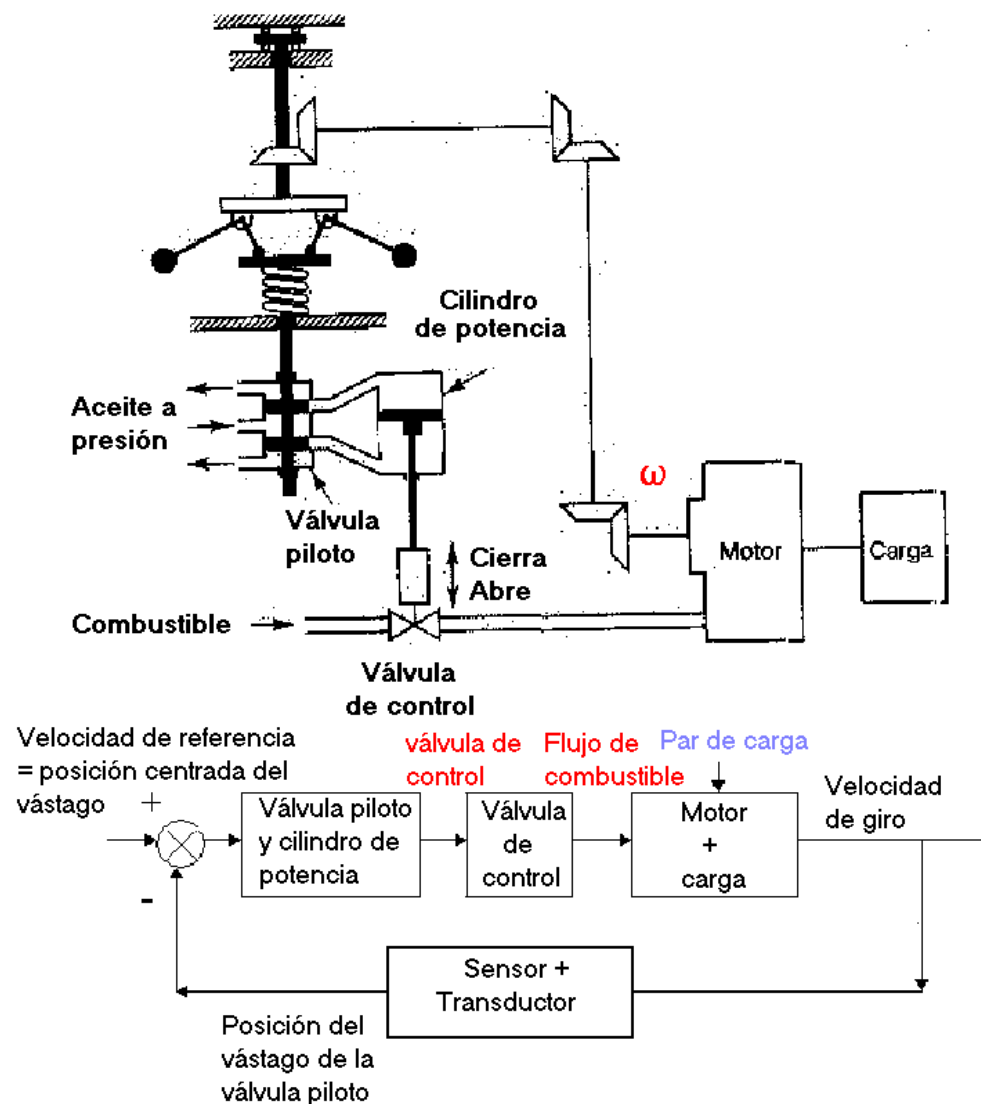


SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN

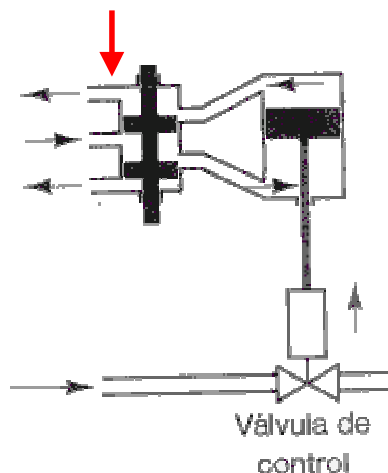
¿Cuáles son las variables de salida (controlada), de control, de entrada (referencia) y las perturbaciones externas?

¿Diagrama de bloques?

## Regulador centrífugo de Watt para el control de velocidad de una máquina de vapor que fue diseñado en el siglo XVIII

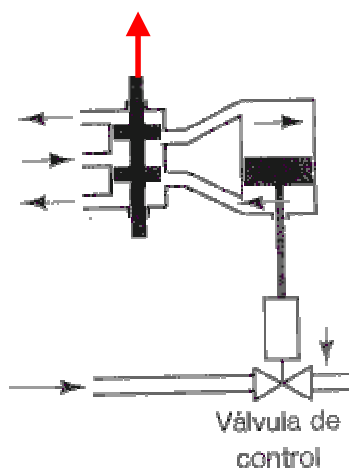


**Si  $\omega < \text{referencia}$**



Entra más combustible y,  
por consiguiente, aumenta  
la velocidad de giro

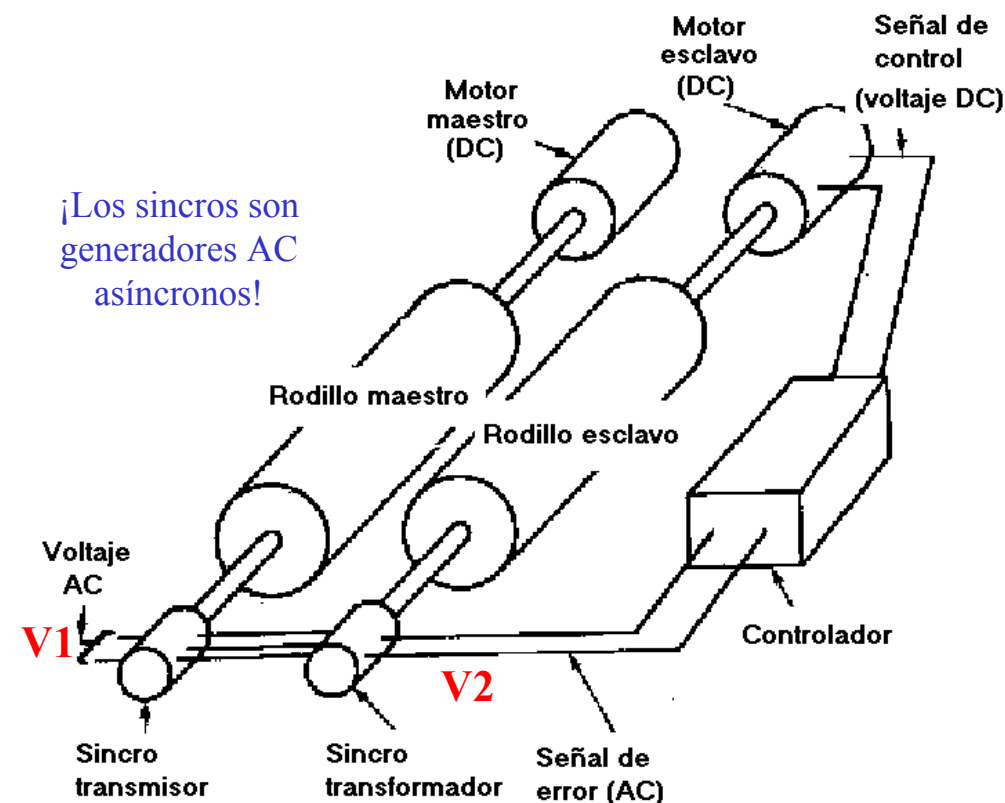
**Si  $\omega > \text{referencia}$**



Entra menos combustible y,  
por consiguiente, disminuye  
la velocidad de giro

¿Es un sistema seguidor o de regulación automática?  
¿Cuáles son las variables de salida (controlada), de control, de entrada (referencia) y las perturbaciones externas?

## Sistemas Sincro (servosistema)



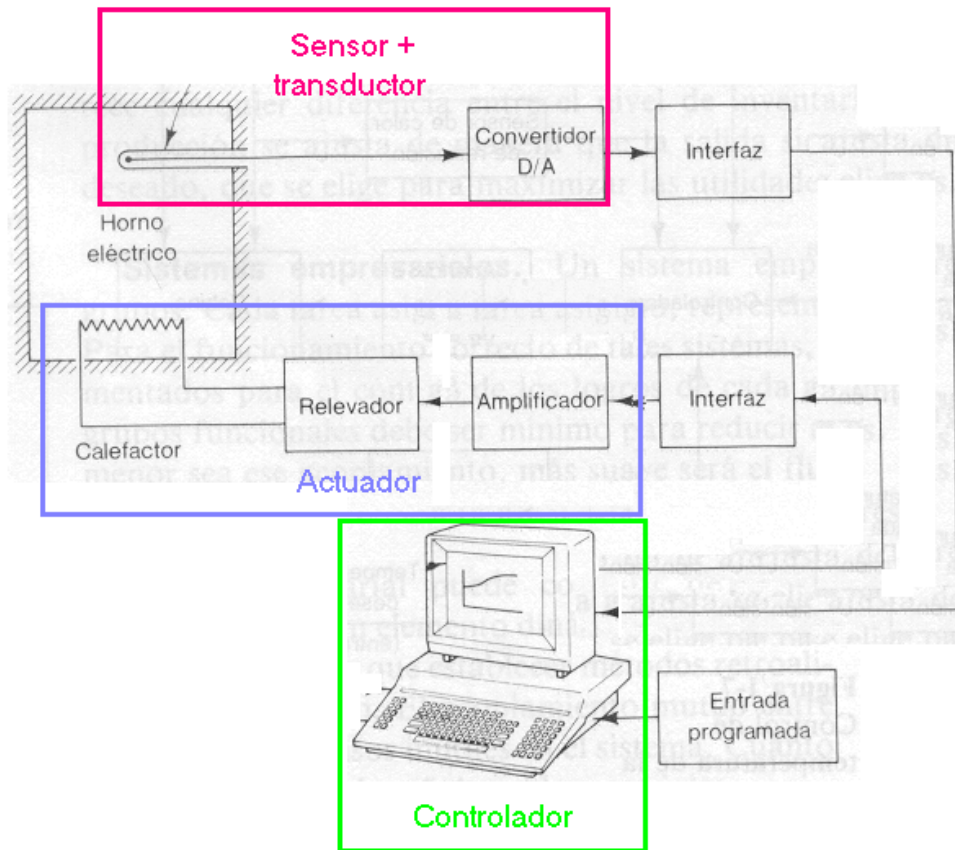
El voltaje de salida del sincro transformador (V2) es igual al voltaje de alimentación al sincro transmisor (V1), pero desfasado un ángulo  $\theta$  igual a la diferencia de los ángulos girados por el rodillo maestro y el esclavo.

¿Cuáles son las variables de salida (controlada), de control, de entrada (referencia) y las perturbaciones externas?

¿Diagrama de bloques?

## Sistema de control de temperatura por ordenador

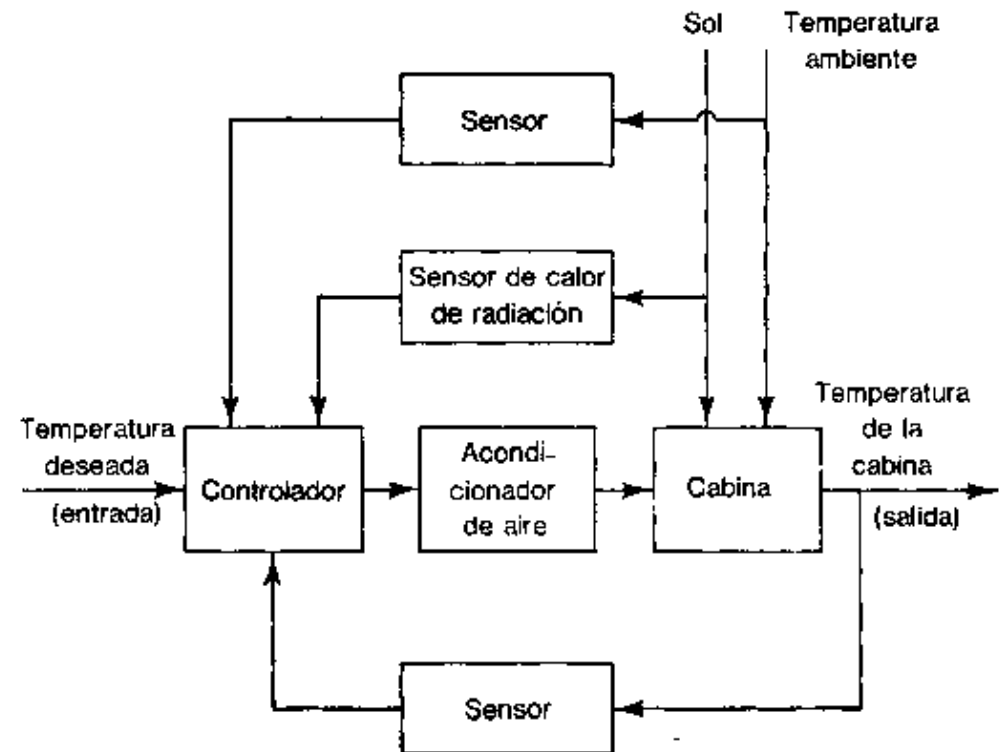
### Control digital



¿Cuáles son las variables de salida (controlada), de control, de entrada (referencia) y las perturbaciones externas?

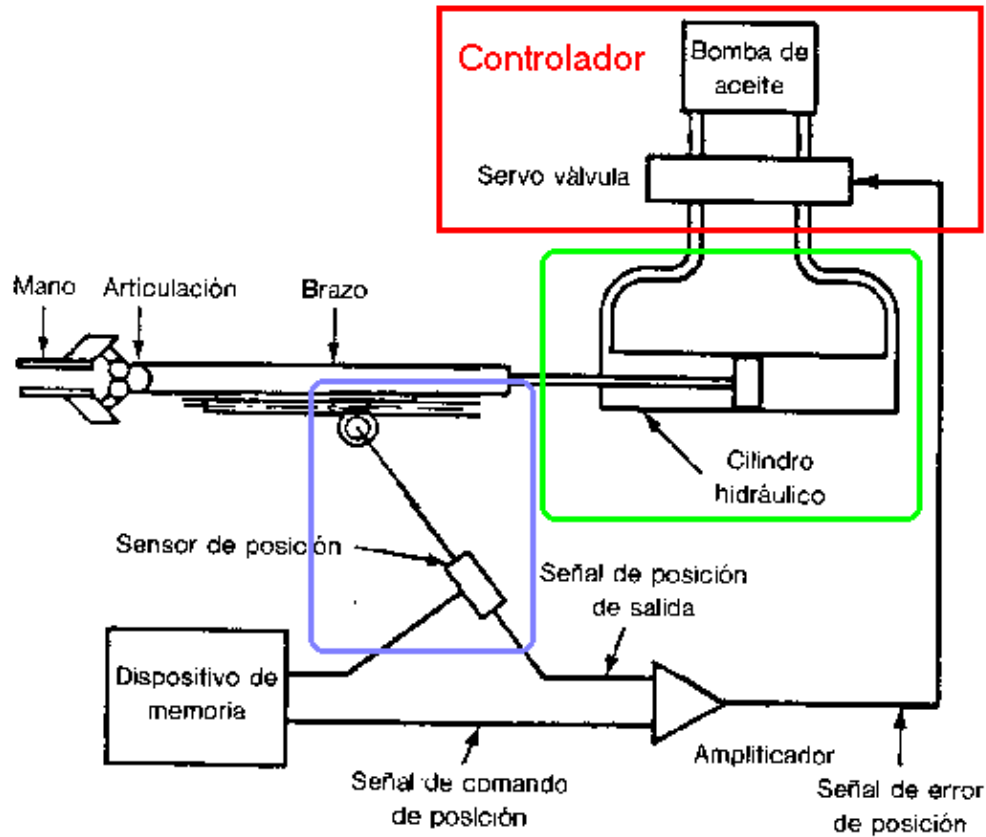
## Sistema de control de temperatura de la cabina de un vehículo.

### Control feedforward o prealimentado



¿Cuáles son las variables de salida (controlada), de control, de entrada (referencia) y las perturbaciones externas?

## Control de la posición de un brazo de un robot



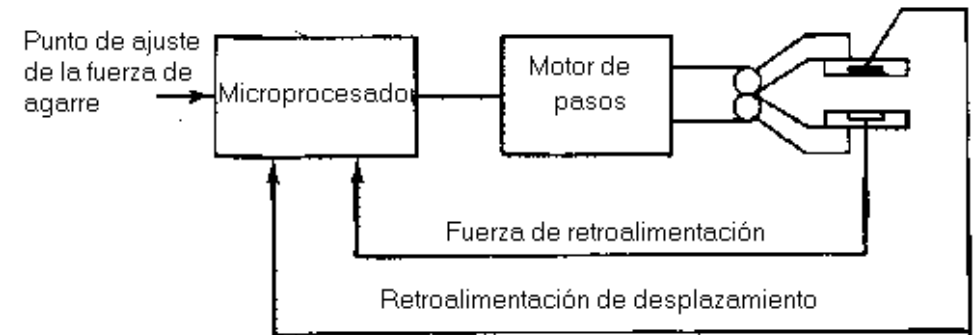
### REFERENCIA

Posicionamientos que requieran potencia  $\Rightarrow$  Accionamientos neumáticos o hidráulicos

Posicionamientos que no requieran mucha potencia  $\Rightarrow$  Accionamientos electromecánicos (motores)

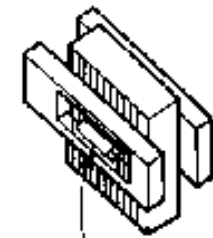
¿Cuáles son las variables de salida (controlada), de control, de entrada (referencia) y las perturbaciones externas?

## Control de la fuerza de agarre de la mano de un robot



Actuador motor de pasos.

Dispone de un sensor de deslizamiento para evitar que la pieza se caiga



Dispositivo sensor de desplazamiento, consistente en un LED (diodo emisor de luz), disco con ranuras y fototransistor.

¿Cuáles son las variables de salida (controlada), de control, de entrada (referencia) y las perturbaciones externas?

# Etapas en la realización de un sistema de control

- **Análisis** del sistema que se quiere controlar  $\Rightarrow$  **objetivos de control**
  - ¿Qué se quiere regular? Variables de referencia.
  - ¿Qué hay que medir? Variables de salida.
  - ¿Qué se puede manipular? Variables de control.
  - ¿Perturbaciones?
  - ¿Situaciones peligrosas?
  - ¿Procedimientos de arranque y parada?
- Establecer la **estructura de regulación**.
  - Especificar que variables se van a realimentar y que variables se van a manipular para lograr los objetivos de control

- **Seleccionar, diseñar y sintonizar** los reguladores seleccionados.
  - La correcta ejecución de este paso es función de haber establecido antes los **criterios de control**.
    - Rechazo de perturbaciones
    - Errores estacionarios
    - Respuesta dinámica ante cambios en la referencia
    - Sensibilidad a cambios de parámetros del sistema
  - Un correcto diseño de los reguladores puede requerir el disponer de un modelo lineal del proceso a controlar. Así una etapa previa es el desarrollo de un modelo matemático adecuado para los fines de control.
- **Evaluar** el diseño del sistema de control, utilizando técnicas de simulación dinámica.
- **Realización práctica** y puesta a punto del sistema de control diseñado.