

# Introducción al Control Automático

## **CONTROL AUTOMÁTICO**

II SEMESTRE 2020

**ING. LUIS MIGUEL ESQUIVEL SANCHO**

# Restricciones y libertades para el desarrollo del regulador

## Definiciones:

### Variable controlada y señal de control

- La primera se refiere a la cantidad o condición que se mide y controla, mientras que la segunda es que la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada

### Planta

- Conjunto de elementos que funcionan juntos con el objetivo de efectuar una operación particular.

# Restricciones y libertades para el desarrollo del regulador

## Definiciones:

### Procesos

- Este término describe una operación artificial o voluntaria que se hace de forma progresiva y que consta de una serie de acciones o movimientos controlados, sistemáticamente dirigidos a un resultado o propósito determinado.

### Sistemas

- Combinación de componentes que actúan y realizan un objetivo determinado.

# Restricciones y libertades para el desarrollo del regulador

## Definiciones:

### Perturbaciones

- Se define como una señal que tiende a afectar negativamente el valor de la salida de un sistema. Si esta se genera dentro del sistema se denomina interna, mientras que una externa se genera fuera de él y es una entrada.

### Control realimentado

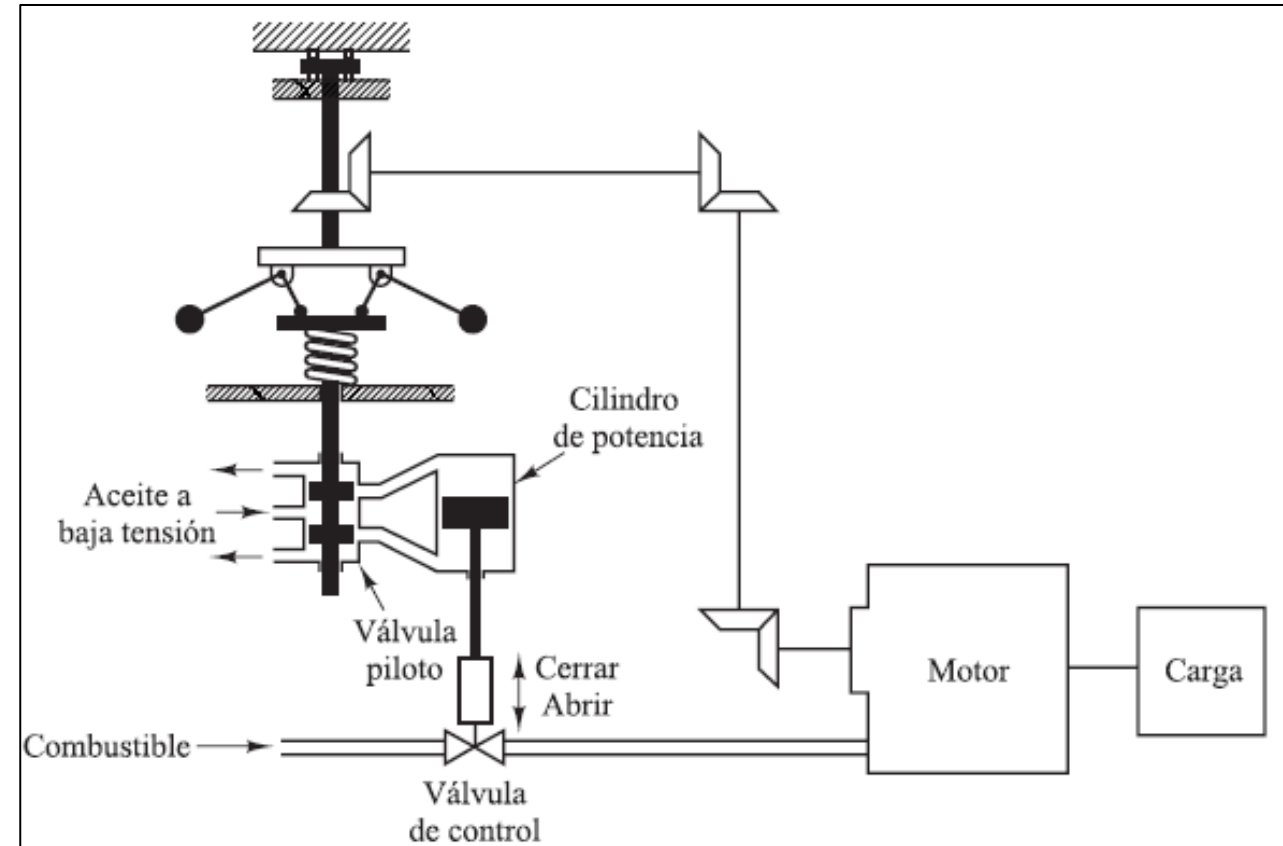
- Se refiere a una operación que reduce la diferencia entre la salida de un sistema y una referencia dada, y cuyo funcionamiento toma en cuenta dicha diferencia.

# Ejemplos de sistemas de control

## Principios básicos:

### Sistema de control de velocidad

El principio básico de un regulador de velocidad de Watt para una máquina consiste en el ajuste de la cantidad de combustible que se admite en la máquina, según la diferencia entre la velocidad real de la máquina y una referencia dada o pretendida.



**Figura 1.** Sistema de control de velocidad

# Ejemplos de sistemas de control

## Principios básicos:

### Sistema de control de velocidad

El regulador de velocidad se ajusta de modo que cuando funcione a la velocidad deseada, no fluya aceite a presión en el cilindro de potencia que se ve en la Figura 1.

Si la velocidad es menor a la referencia debido a una perturbación, se da un efecto en la válvula de control, permitiendo la aportación de mas combustible, aumentando la velocidad, si se da el caso contrario, la válvula de control disminuye la cantidad de combustible, reduciéndose la velocidad. Finalmente, y según los conceptos dados, la maquina es la planta o sistema controlado y la variable controlada es la velocidad. La señal de error es la diferencia entre el valor real medido de velocidad y la referencia, mientras que la señal de control que determina la cantidad de combustible a agregar, se conoce como señal de actuación.

# Ejemplos de sistemas de control

## Principios básicos:

### **Sistema de control de temperatura**

Si se analiza el control de temperatura de un horno eléctrico, se sabe que se trabaja con una señal analógica dada por el termómetro, la cual requiere de un convertidor A/D para poder incorporar la temperatura como una señal digital a un controlador. El valor de error se obtiene del valor convertido y la referencia, generando una señal de activación para elevar o disminuir la temperatura, controlado el encendido de un calefactor.

# Ejemplos de sistemas de control

## Principios básicos:

### Sistemas empresariales

Un sistema empresarial es un sistema en lazo cerrado. Un buen diseño del mismo reducirá el control administrativo requerido. Las perturbaciones en este sistema son la falta de personal o de materiales, la interrupción de las comunicaciones, los errores humanos, entre otros. Las características dinámicas de los grupos pueden analizarse mediante la teoría de control, cuyo valor final y referencia utilizadas se enfocan en el comportamiento estadístico, llegando a un conjunto de ecuaciones sencillas que permitan interconectar las variables del sistema completo.



# Ejemplos de sistemas de control

## Principios básicos:

### Sistema de control robusto

El diseño de un sistema de control comienza con la obtención de un modelo matemático propio de la planta, el cual incluye un error, debido al proceso de modelado, debiéndose el modelo que contiene una incertidumbre y uno nominal que se utiliza en el diseño de control como  $\tilde{G}(s)$  y  $G(s)$ , respectivamente, los cuales se pueden relacionar como:

$$\tilde{G}(s) = G(s) + \Delta(s)$$

# Control en lazo cerrado en comparación con control en lazo abierto

## Efecto de las perturbaciones según la forma del sistema de control:

### ➤ ***Sistemas de control realimentados o en lazo cerrado***

Un sistema de control realimentado es un tipo de sistema que mantiene una relación entre la salida y la entrada de referencia. La realimentación tiene la ventaja de que insensibiliza al sistema a perturbaciones externas, reduciendo las variables que afectan al sistema.

# Control en lazo cerrado en comparación con control en lazo abierto

## Efecto de las perturbaciones según la forma del sistema de control:

### ➤ *Sistemas de control en lazo abierto*

Este tipo de sistema se caracteriza por que la salida no tiene ningún efecto sobre la acción de control, es decir, no hay realimentación. La precisión de este tipo de sistemas depende de la calibración de los mismos, por lo que ante el efecto de perturbaciones, el control no realiza la tarea deseada. Lo anterior define que este tipo de control se utilice con modelos aislados de efectos de perturbaciones, de los cuales se conoce la relación entre la entrada y la salida.

# Control en lazo cerrado en comparación con control en lazo abierto

## Efecto de las perturbaciones según la forma del sistema de control:

### ➤ *Comparación de sistemas*

Como se mencionó anteriormente, la principal ventaja de la realimentación está en que el sistema desprecia el efecto de las perturbaciones tanto externas como internas. Cuando se conocen las entradas que va a tener el sistema y se sabe que no se van a presentar perturbaciones, se debe desarrollar un sistema de control en lazo abierto. Debido a que los sistemas que se van a estudiar son principalmente en lazo cerrado, a continuación se van a listar las ventajas y desventajas de los sistemas en lazo abierto.

# Control en lazo cerrado en comparación con control en lazo abierto

## Efecto de las perturbaciones según la forma del sistema de control:

### Ventajas de los sistemas de control en lazo abierto:

- Construcción simple y facilidad de mantenimiento.
- Menos costosos.
- No hay problemas de estabilidad.
- Convenientes cuando la salida es difícil de medir o cuando medir la salida de manera precisa no es económicamente viable.

# Control en lazo cerrado en comparación con control en lazo abierto

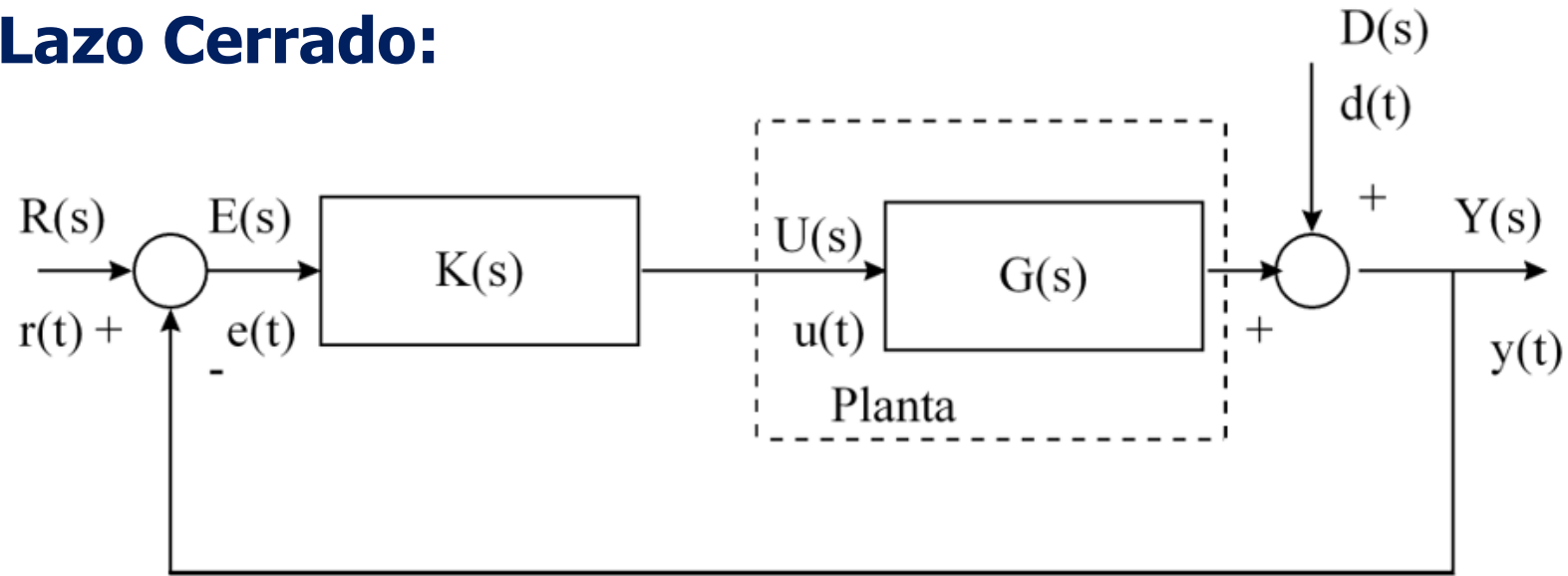
## Efecto de las perturbaciones según la forma del sistema de control:

### Desventajas de los sistemas de control en lazo abierto:

- Las perturbaciones y los cambios en la calibración originan errores, y la salida puede ser diferente de lo que se desea.
- Para mantener la calidad requerida en la salida, es necesaria la recalibración de vez en cuando.

# Diagrama de Bloques: Circuito de Regulación

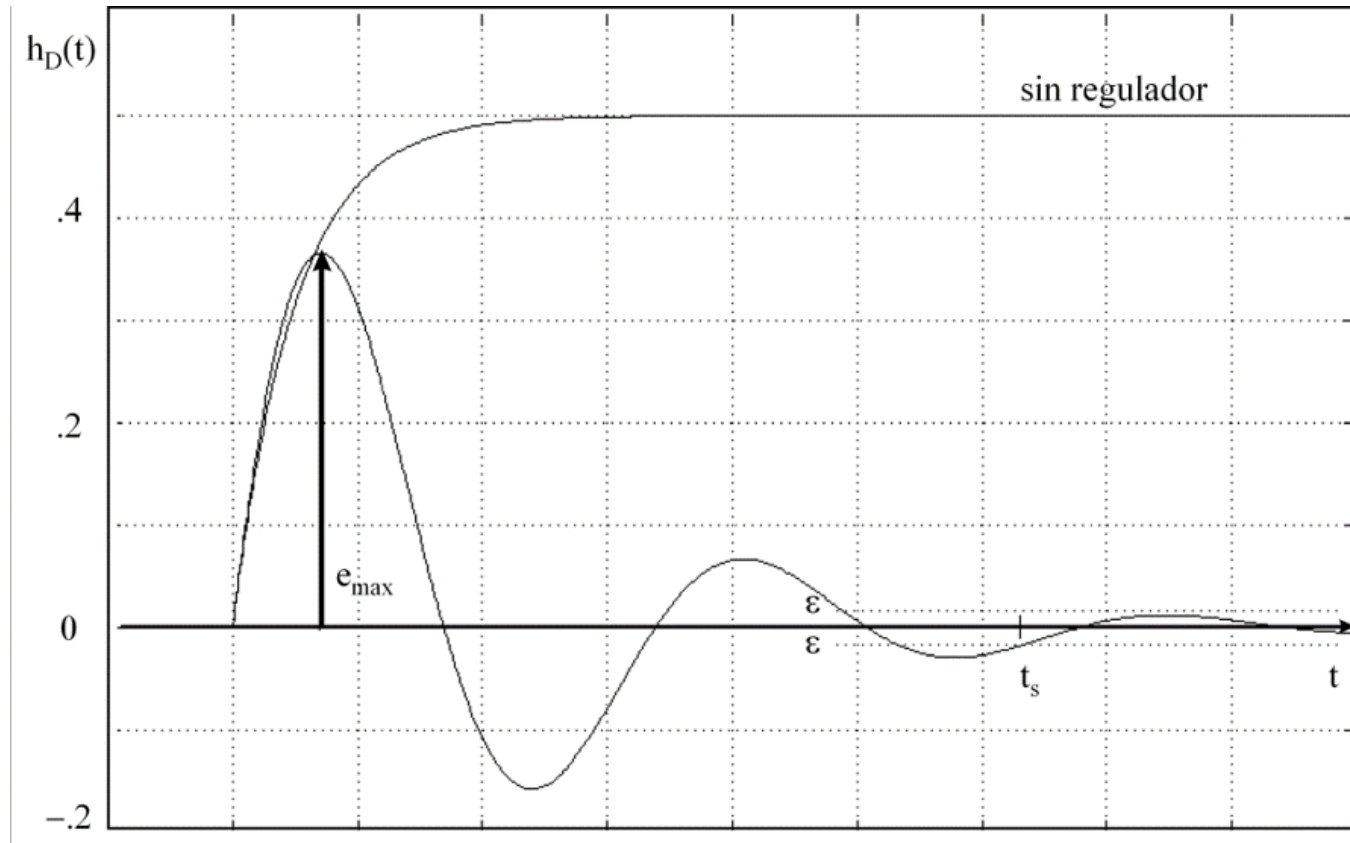
## Circuito Lazo Cerrado:



$$G_R(s) = \frac{K(s)G(s)}{1 + K(s)G(s)} \quad G_D(s) = \frac{1}{1 + K(s)G(s)} \quad G_R(s) + G_D(s) = 1$$

**Figura 2.** Circuito de regulación

## Perturbación:

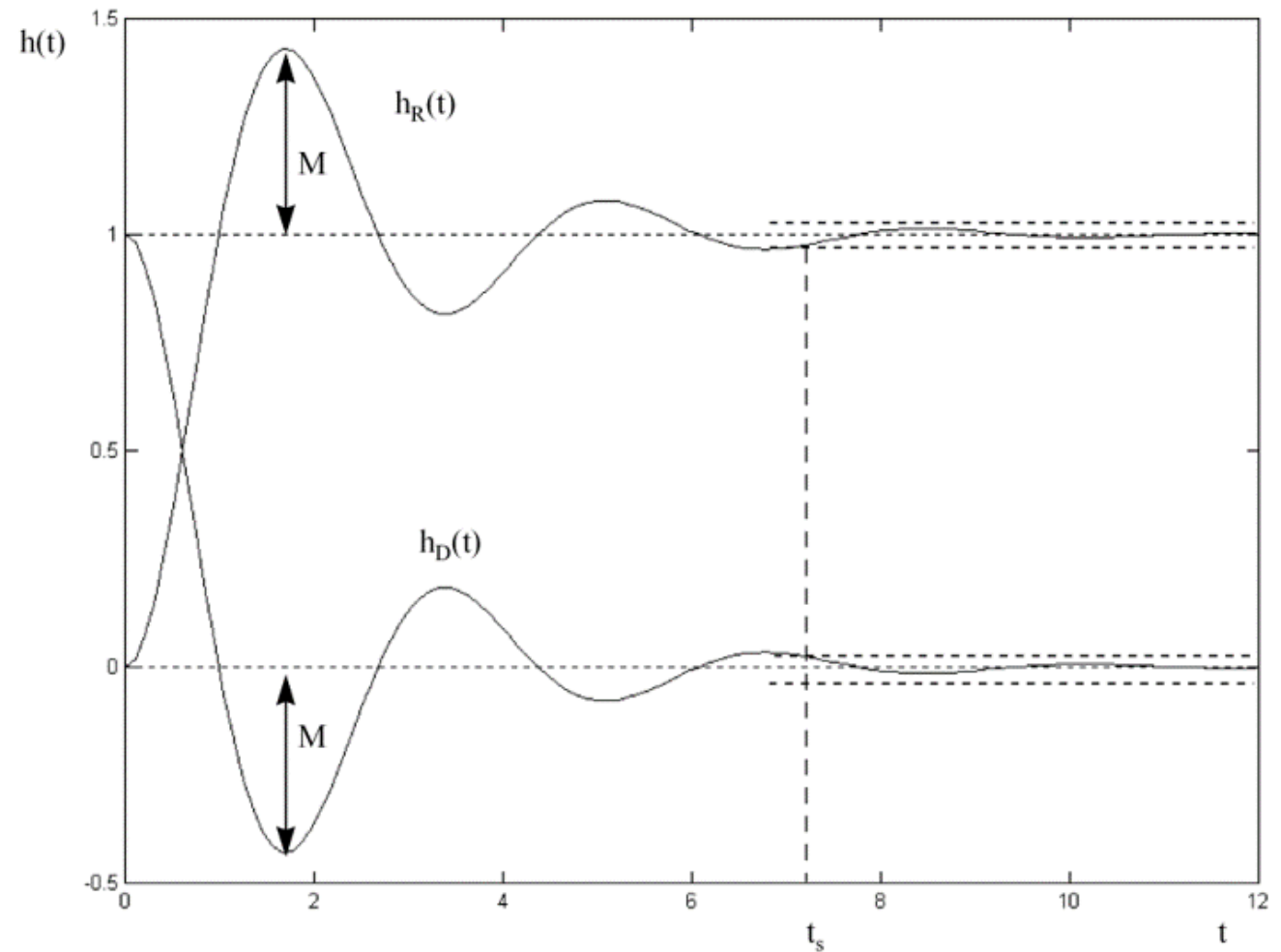


**Figura 3.** Error producto de la perturbación en el sistema



# Respuesta del Sistema

**Perturbación:**



**Figura 4.** Reacción del sistema ante la perturbación

## **Especificaciones de comportamiento:**

Los requisitos impuestos sobre el sistema de control se dan como especificaciones de comportamiento. Las especificaciones pueden venir dadas como requisitos en la respuesta transitoria y requisitos en el estado estacionario. Las especificaciones de un sistema de control se deben dar antes de que comience el proceso de diseño, y vienen dadas en términos de valores numéricos precisos, o planteamientos cualitativos.

## Compensación del sistema:

Establecer la ganancia es el primer paso para llevar al sistema a un comportamiento adecuado. Como ocurre con frecuencia, incrementar el valor de la ganancia mejora el comportamiento en estado estacionario pero produce una estabilidad deficiente o, incluso, inestable. Lo anterior puede llevar a una necesidad de modificar la estructura o incorporar dispositivos o componentes adicionales para alterar el comportamiento general lo que se denomina compensación. Un elemento insertado en el sistema para satisfacer las especificaciones se denomina compensador. El compensador modificar el comportamiento deficiente del sistema original.

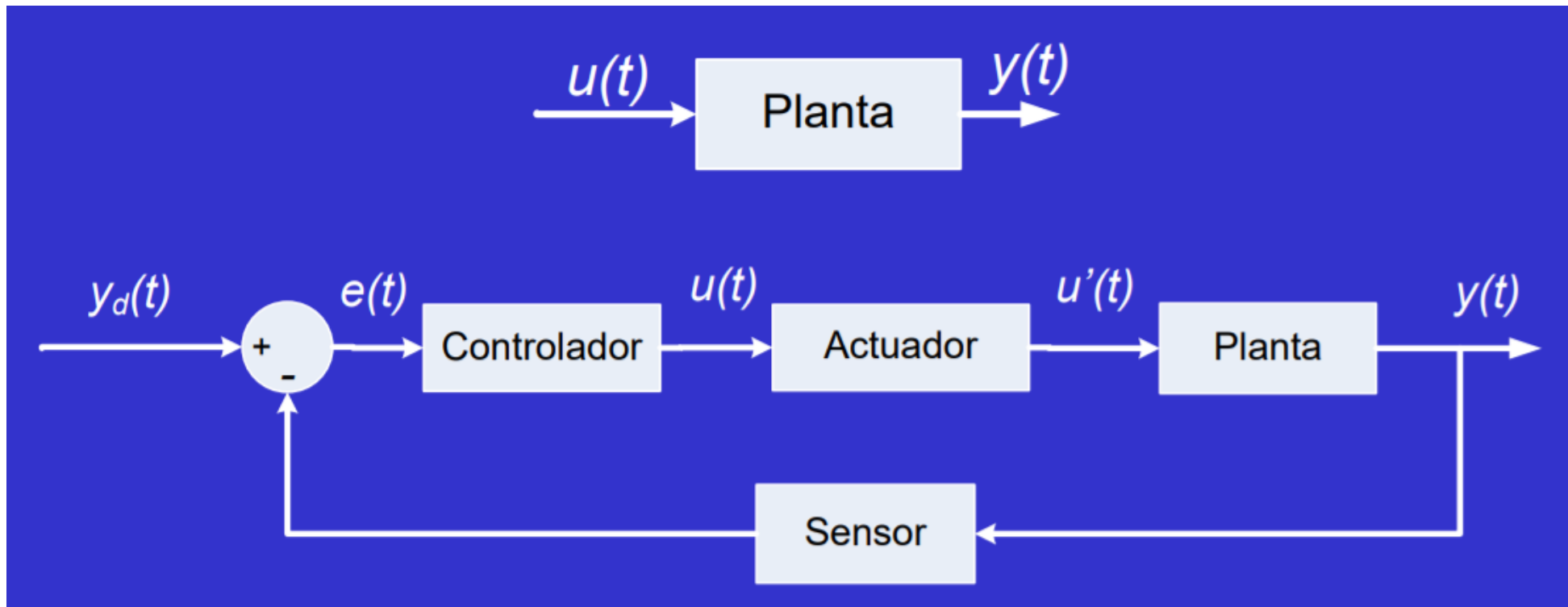
## Procedimiento de diseño:

Una vez obtenido un modelo matemático satisfactorio, el diseñador debe construir un prototipo y probar el sistema en lazo abierto. Si se asegura la estabilidad absoluta en lazo abierto, se cierra el lazo y prueba el comportamiento del sistema en lazo cerrado.

Los efectos de carga no considerados entre los componentes, la falta de linealidad, los parámetros distribuidos, entre otras eventualidades, el comportamiento real del prototipo del sistema puede diferir de las predicciones teóricas. Lo anterior genera la necesidad de aplicar el método de prueba y error, y se debe cambiar el prototipo hasta que el sistema cumpla las especificaciones. Se debe analizar cada prueba e incorporar los resultados de este análisis en la prueba siguiente.

# Diagrama de Control

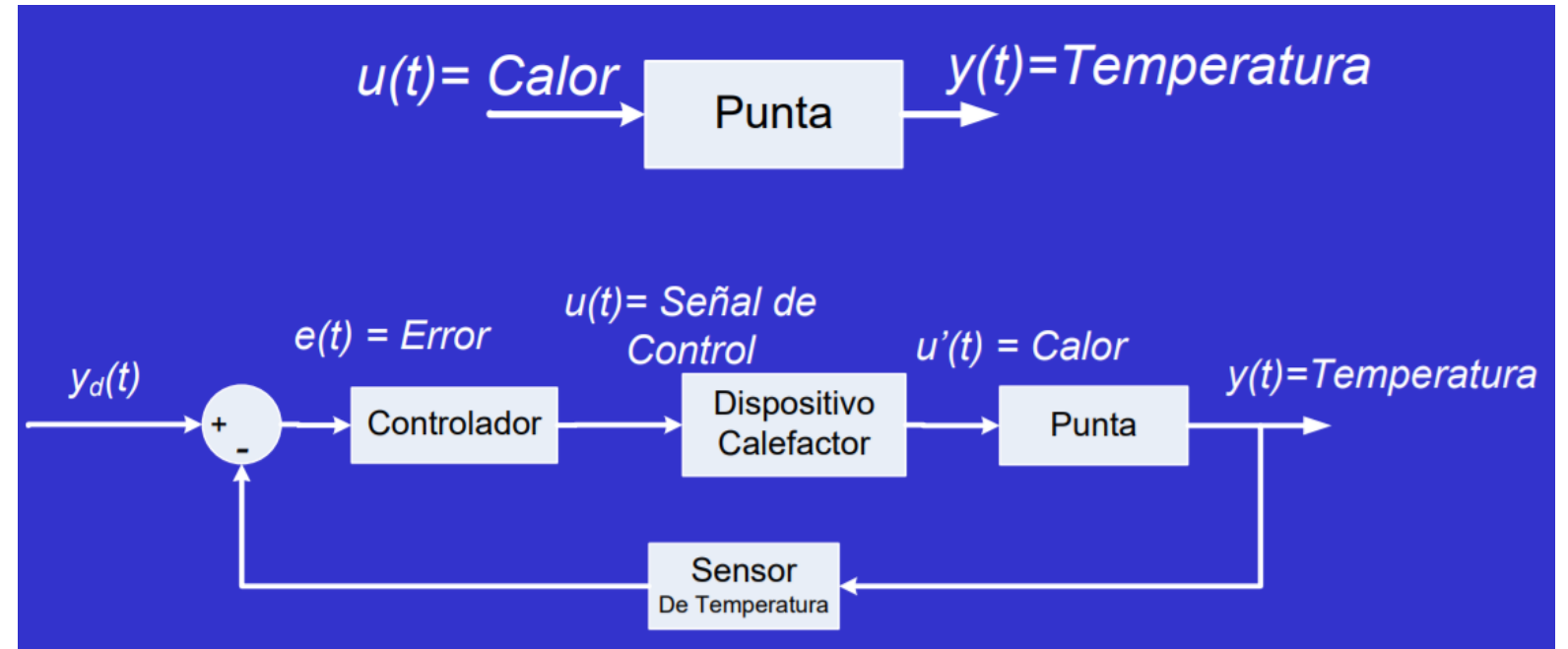
## Diagrama Básico:



**Figura 5.** Diagrama Básico de control

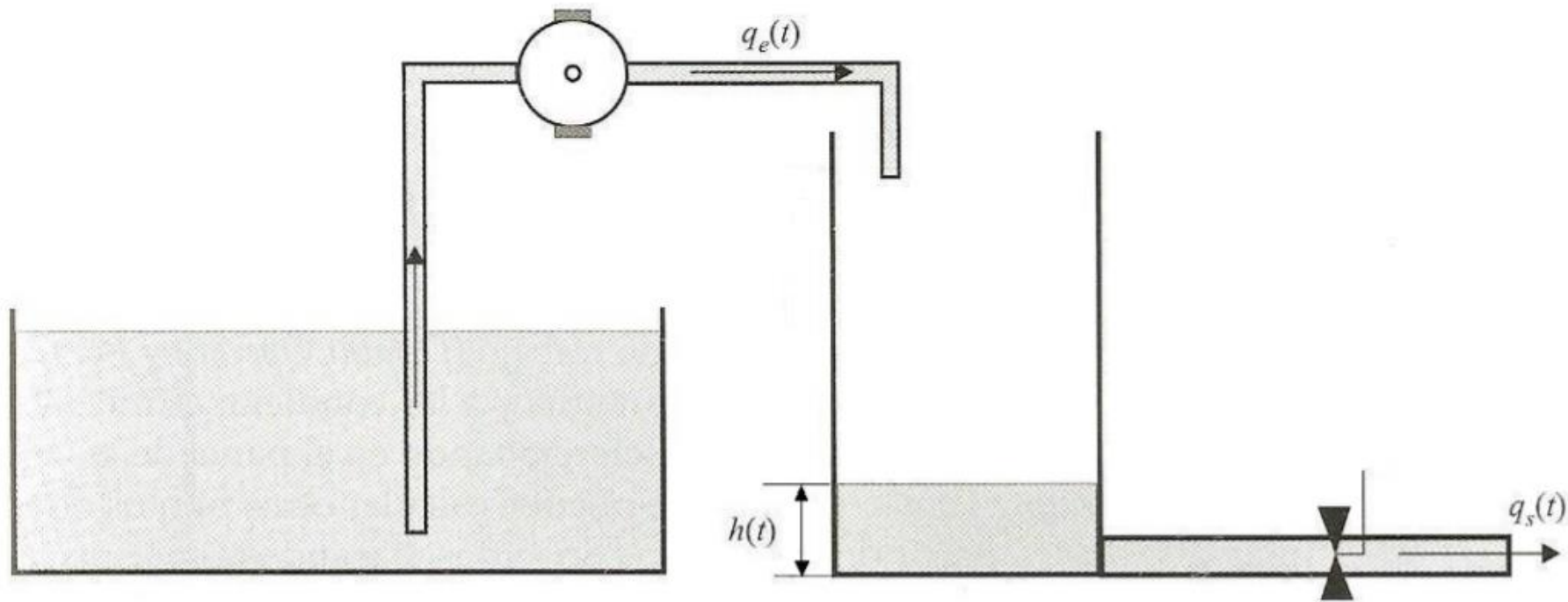
# Diagrama de Control

## Lazos de control:



**Figura 6.** Diagrama de control cautín

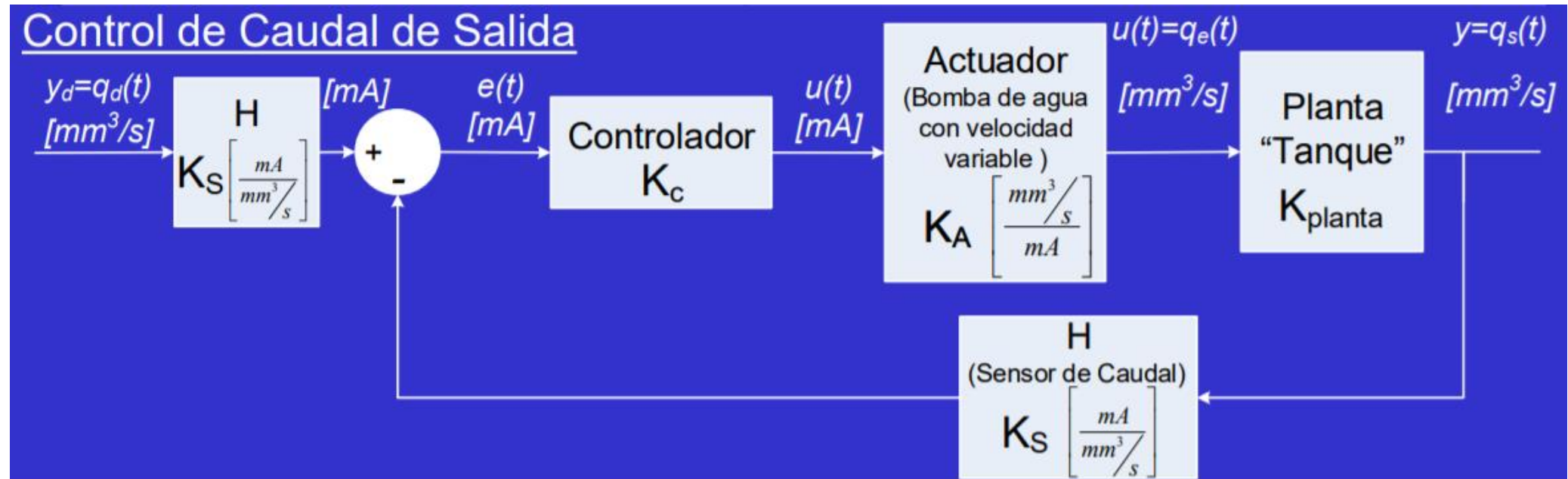
## Control sistema de tanques (Caudal $Q$ ):



**Figura 7.** Sistema de tanques

# Diagrama de Control

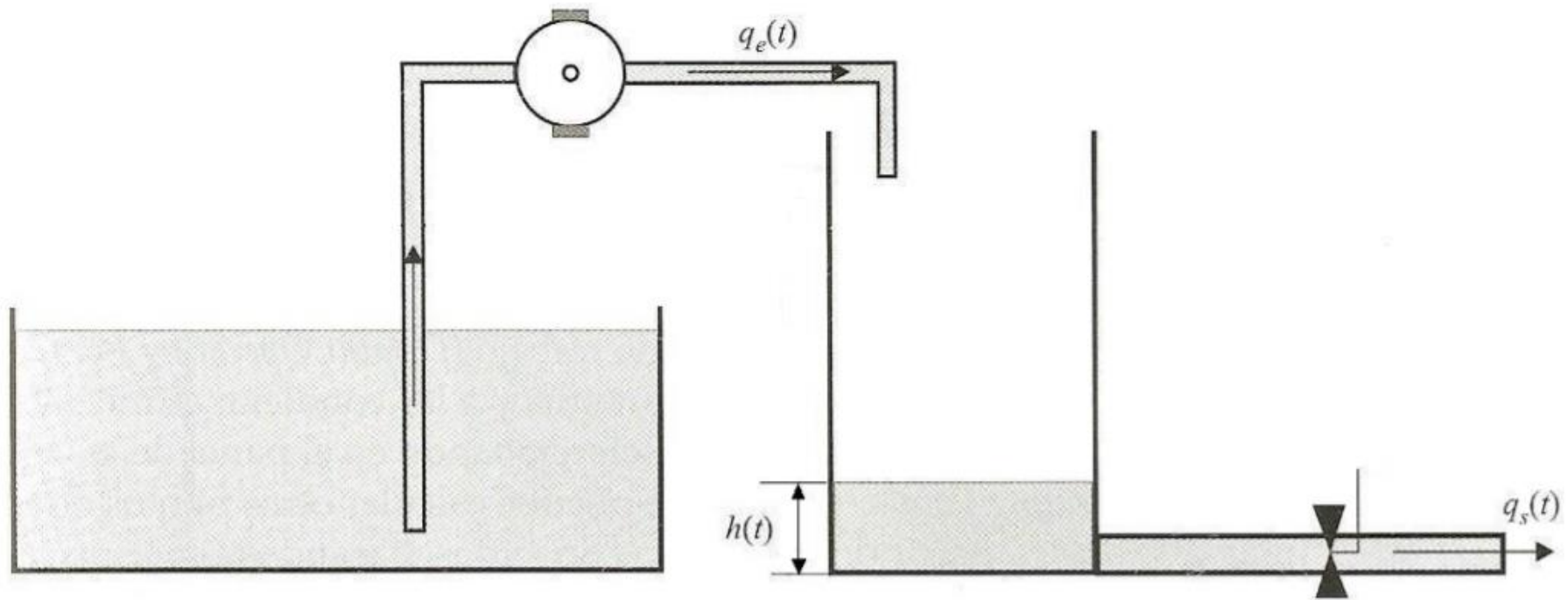
## Control de Caudal de salida $q_s(t)$ :



**Figura 8.** Sistema de tanques



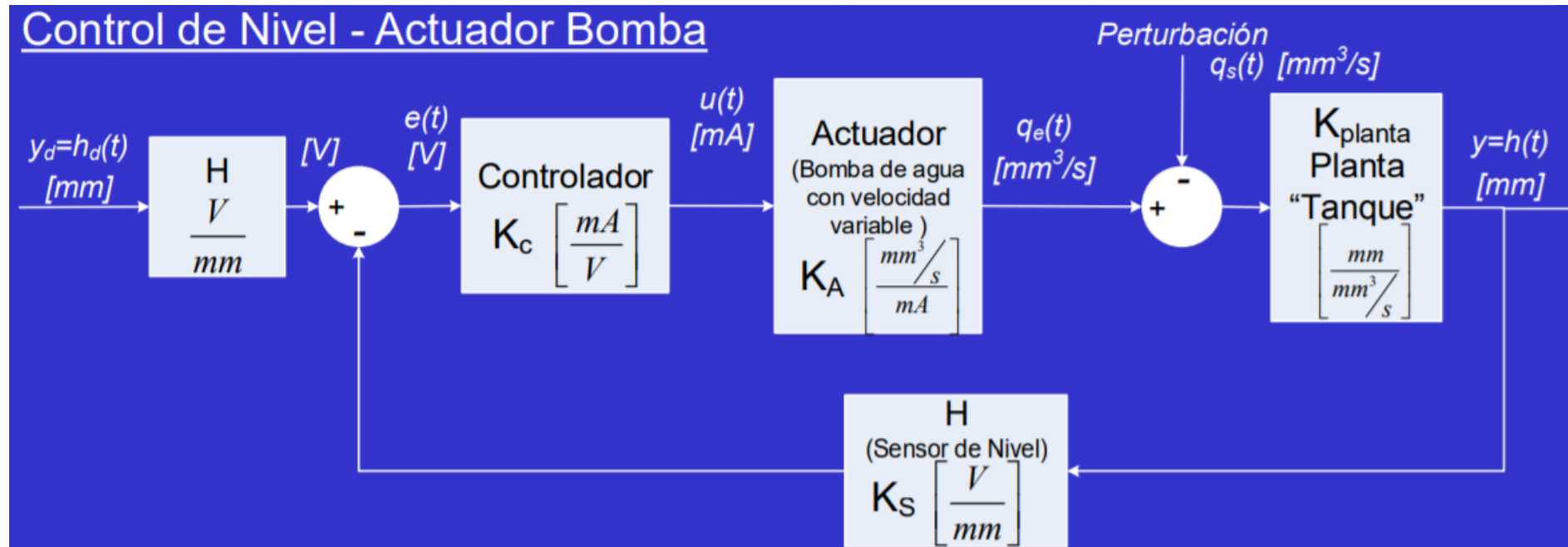
## Control sistema de tanques (Nivel $h$ )



**Figura 9.** Sistema de tanques

# Diagrama de Control

## Control de Nivel $h(t)$ :



**Figura 10.** Sistema de tanques

# Referencias

Dorf, Richard, Bishop Robert. "Sistemas de control moderno", 10ª Ed., Prentice Hall, 2005, España.

Ogata, Katsuhiko. "Ingeniería de Control Moderna", Pearson, Prentice Hall, 2010, 5ª Ed., Madrid.

Kuo, Benjamin C.. „Sistemas de Control Automático“, Ed. 7, Prentice Hall, 1996, México.