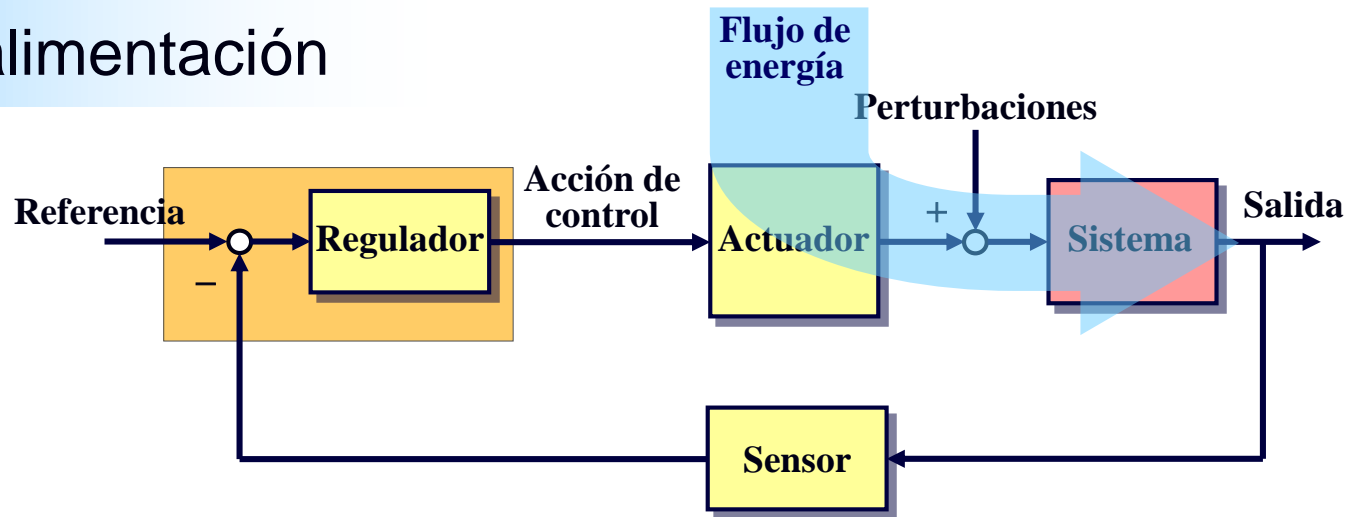


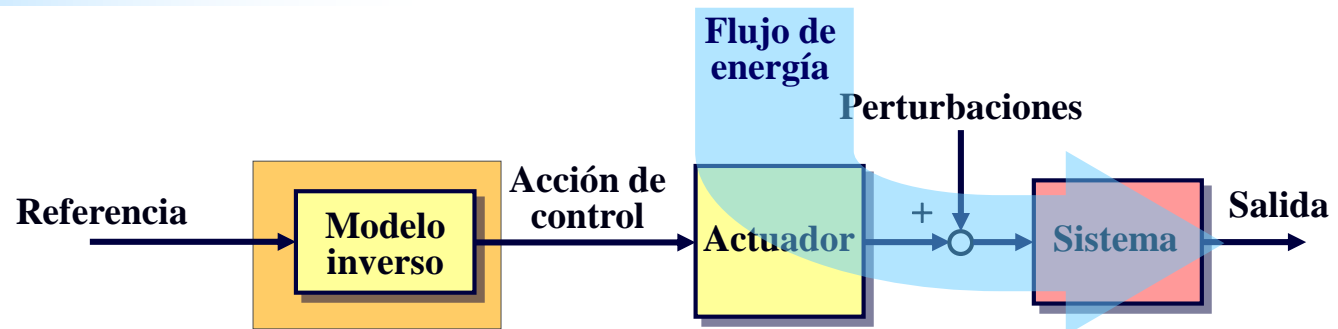


Sistemas de control (recordatorio)

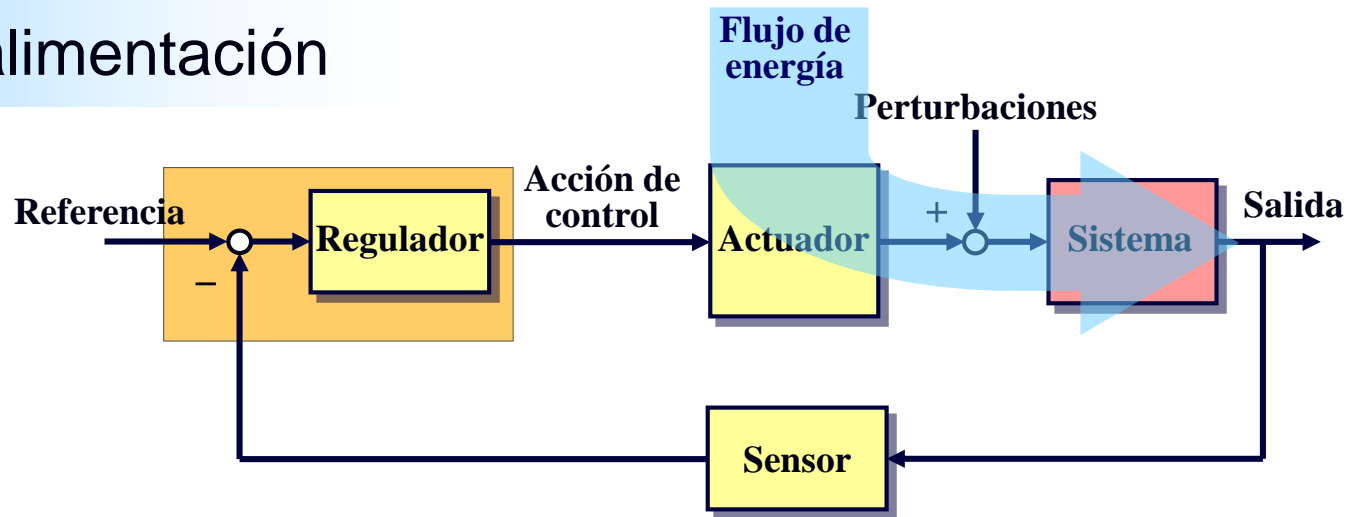
Control por realimentación



Control por prealimentación

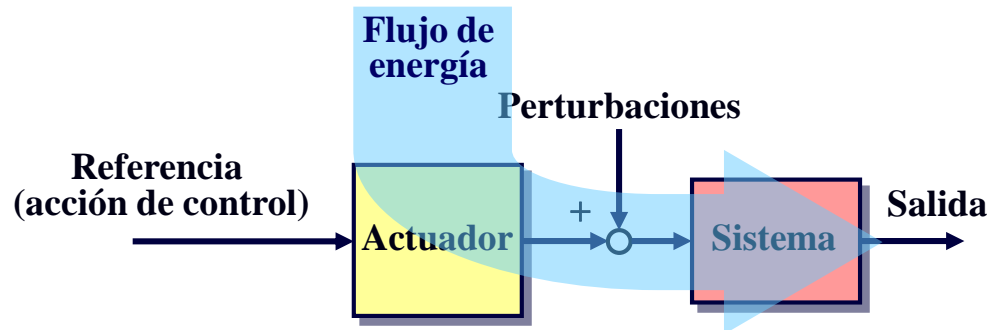


Control por realimentación

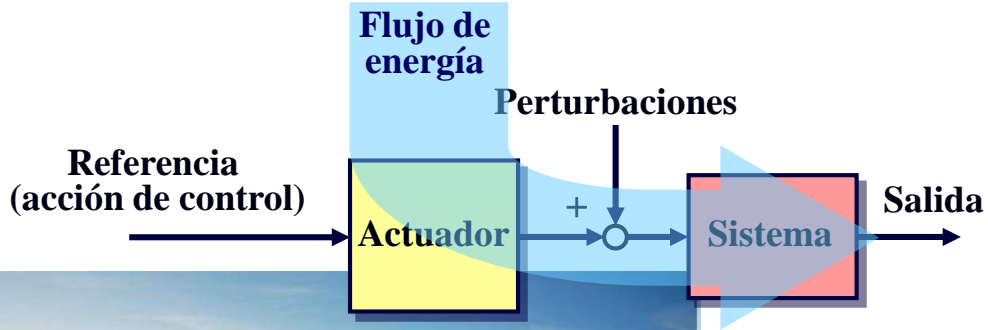


- ✓ El actuador y el sensor realizan forman la interfase entre el sistema y el control
- ✓ Ambos realizan en general una transformación de unidades
- ✓ El sensor es el encargado de transmitir al control el estado del sistema.
 - Una característica esencial será su *precisión*.
- ✓ El actuador es el encargado de inyectar al sistema la energía (potencia) necesaria para su funcionamiento.
 - Obtiene la energía de una fuente primaria.
 - Una característica esencial será su eficiencia energética.

El actuador



- ✓ El actuador es el encargado de inyectar al sistema la energía (potencia) necesaria para su funcionamiento.
 - Obtiene la energía de una fuente primaria.
 - Una característica esencial será su eficiencia energética.
- ✓ Actuadores continuos (permiten variar su salida de forma continua)
 - Referencia continua \Rightarrow permiten regulación
- ✓ Actuadores todo/nada
 - Referencia todo/nada \Rightarrow no permiten regulación (bueno, a lo mejor si ...)
 - Referencia continua \Rightarrow es necesario adaptar la referencia al actuador



✓ Actuadores mecánicos más comunes: Generan fuerza/movimiento (no tracción)

- Eléctricos
- Hidráulicos
- Neumáticos

✓ Criterios de selección

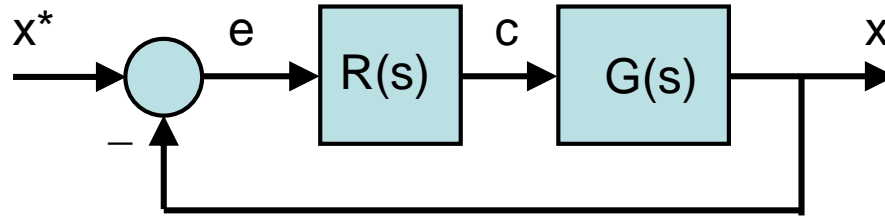
- Eficiencia
- Fuerza (par) máxima
- Recorrido
- Ancho de banda
- Relación peso/potencia
- Fiabilidad
- Precio
- Precisión
- ...

✓ Otros tipos de actuadores


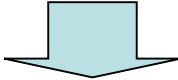
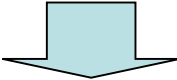
- Motores de combustión (energía primaria química, salida mecánica)
- Calderas (energía primaria química, salida térmica)
- ...



Reguladores clásicos



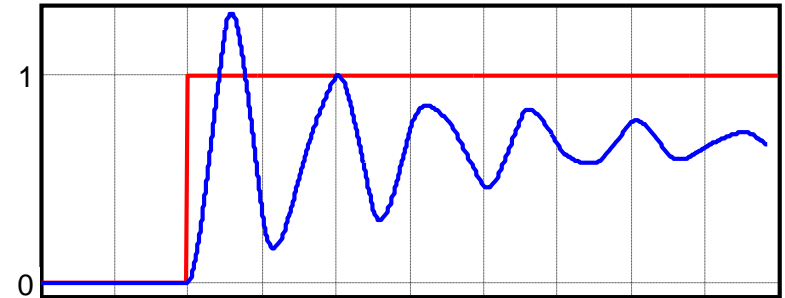
Reguladores clásicos

P	PI	PID
$c(t) = k_p \cdot e(t)$	$c(t) = k_p \cdot (e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt)$	$c(t) = k_p \cdot (e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt})$
		
$Y(s) = k_p \cdot E(s)$	$C(s) = k_p \cdot (E(s) + E(s) \frac{1}{T_i s})$	$C(s) = k_p \cdot (E(s) + E(s) \frac{1}{T_i s} + s \cdot T_d E(s))$

Reguladores clásicos

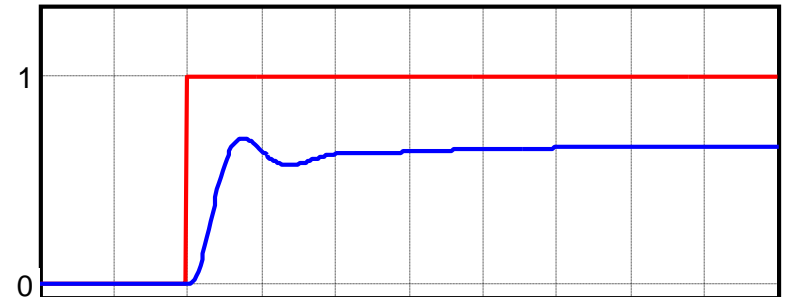
Acción proporcional:

- Error en régimen permanente
- Obliga a un compromiso entre error/estabilidad/dinámica, ...



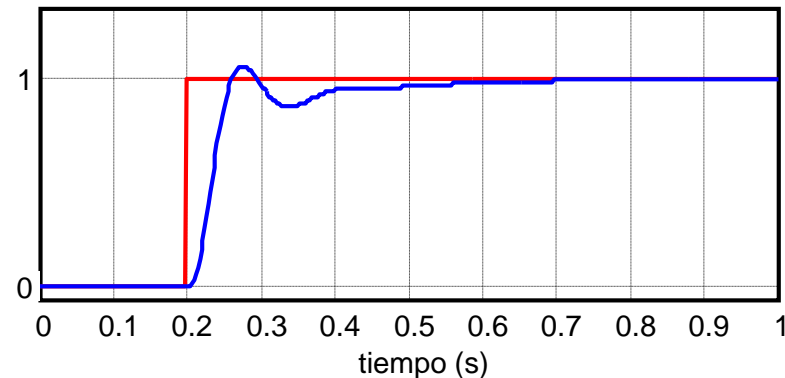
Acción diferencial:

- No afecta al error en régimen permanente.
- Mejora la estabilidad y la respuesta dinámica.
- Posibles problemas de implementación (p.e. ruido).

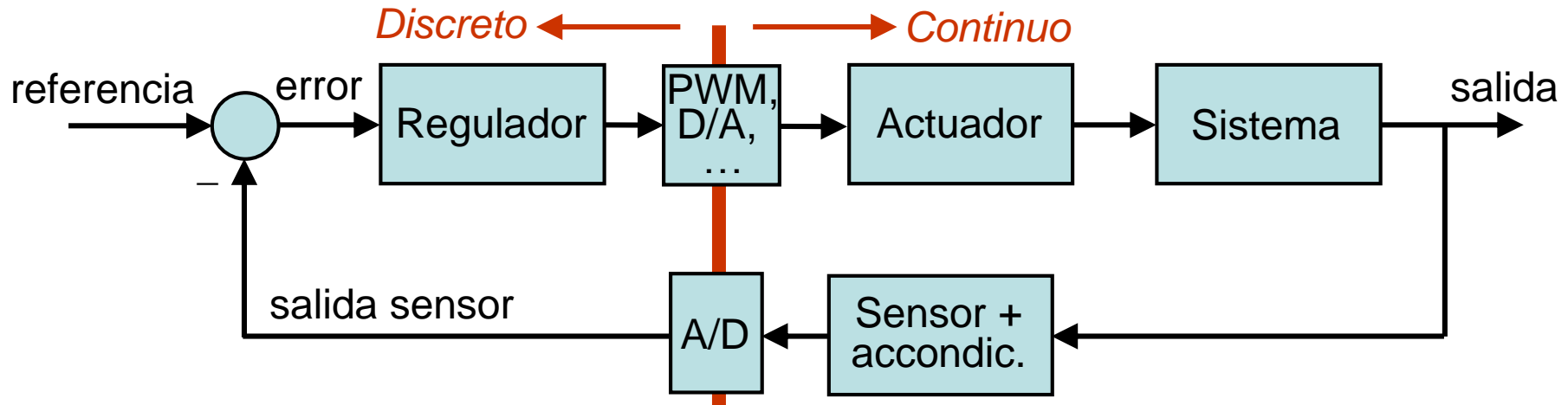


Acción integral:

- Anula el error en régimen permanente.
- Empeora la estabilidad.
- El regulador PI es el estándar en la industria.

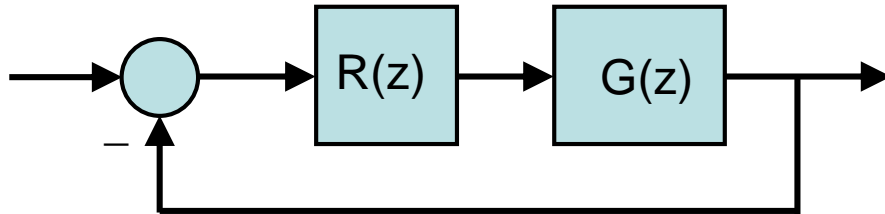


Sistemas de control discretos



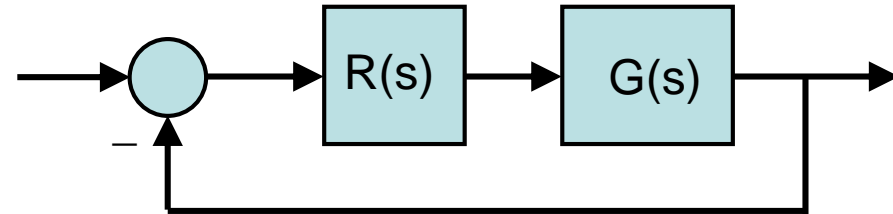
Diseño del regulador: 2 opciones

Diseño directo en z



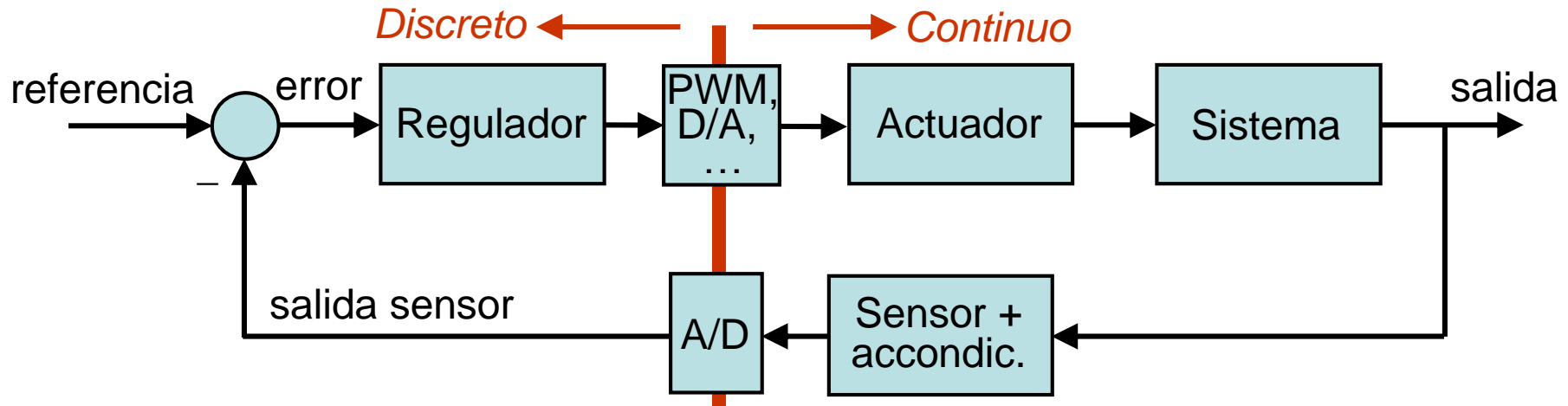
- Se obtiene el equivalente discreto de los elementos continuos
- El regulador se calcula en z (lugar de las raíces en z, ...).
- El método es tedioso debido a las propiedades del plano en z.
- El diseño tiene en cuenta la naturaleza discreta del regulador
→ adecuado cuando el periodo de muestreo es relativamente grande en relación a la dinámica del sistema.

Discretización del regulador continuo



- El regulador se diseña como si fuese continuo.
- Se discretiza utilizando alguna aproximación s-z.
- Buenos resultados cuando el periodo de muestreo es lo suficiente pequeño en relación a la dinámica del sistema.
- Riesgo de deterioro de la respuesta dinámica e incluso de inestabilidad del sistema realimentado en caso contrario.

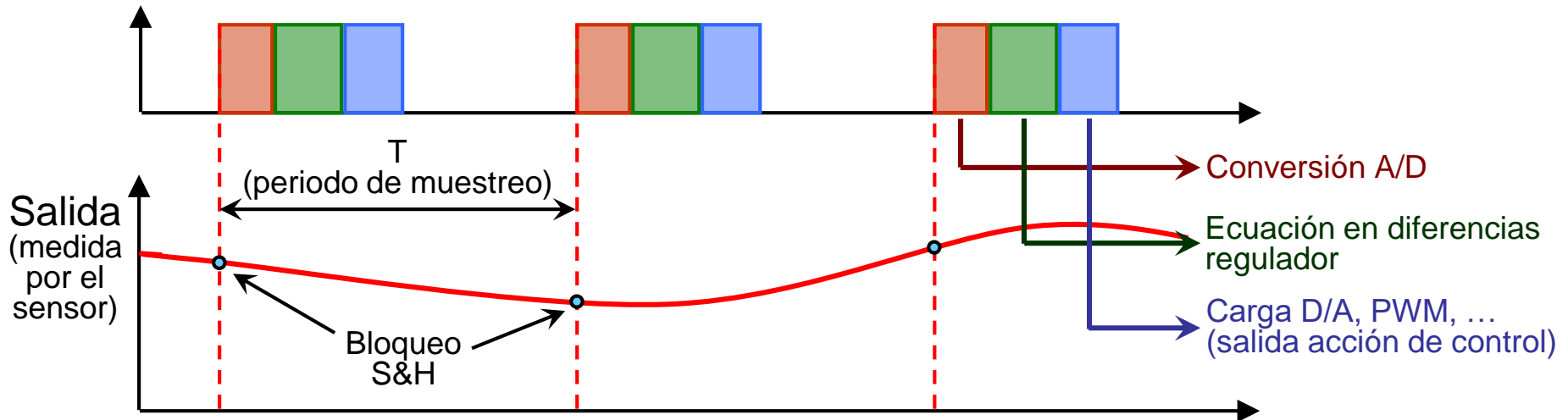
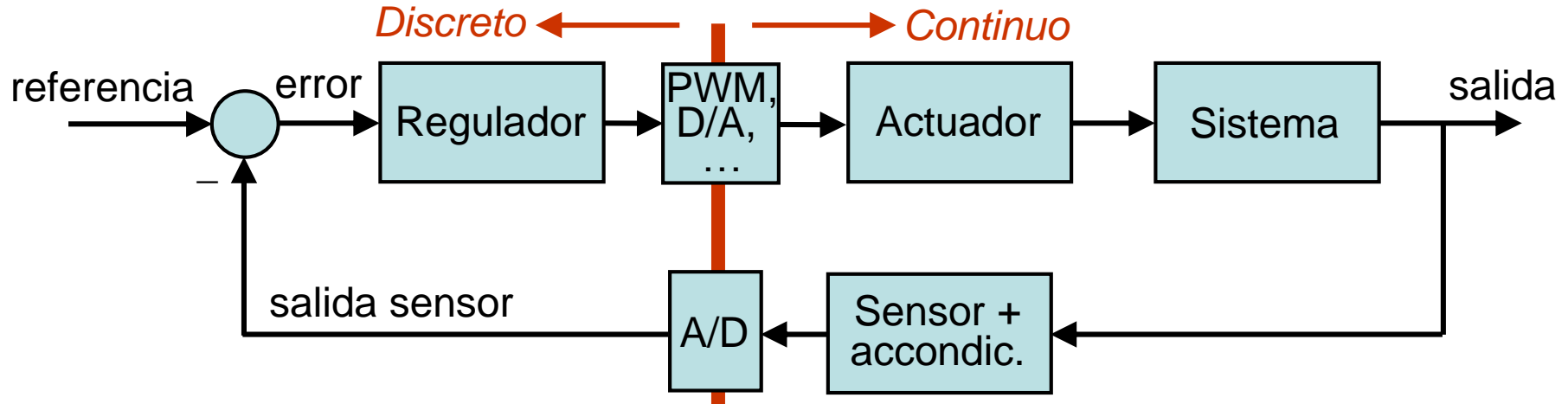
Sistemas de control discretos



Necesitamos:

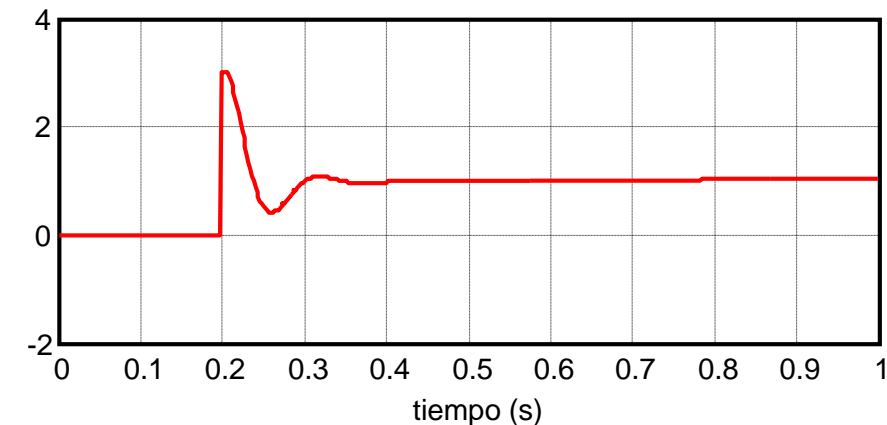
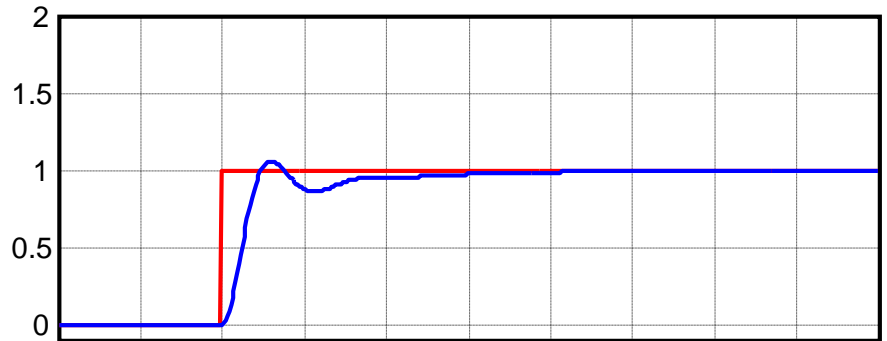
- Seleccionar un sensor más el acondicionamiento de señal adecuado. Imprescindible saber relacionar las unidades físicas del sistema con las variables del programa.
- Muestrear la señal del sensor periódicamente
- Programar la ecuación en diferencias del regulador (dentro de la rutina de interrupción).
- Transmitir el resultado de la ecuación en diferencias (acción de control) al actuador

Sistemas de control discretos

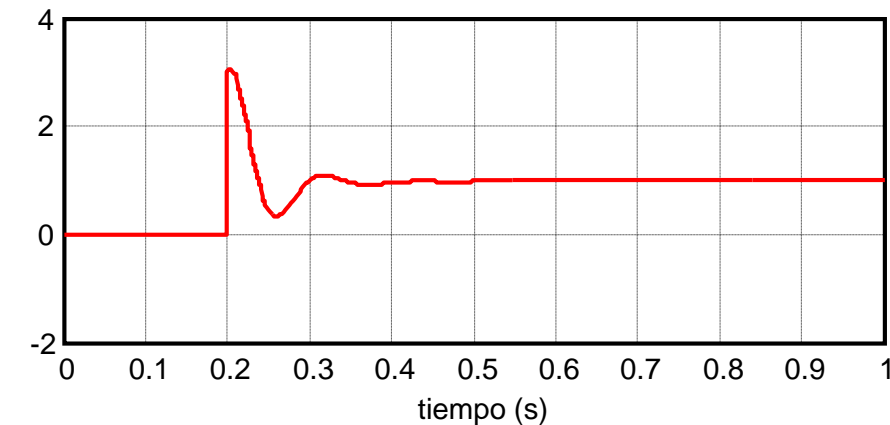
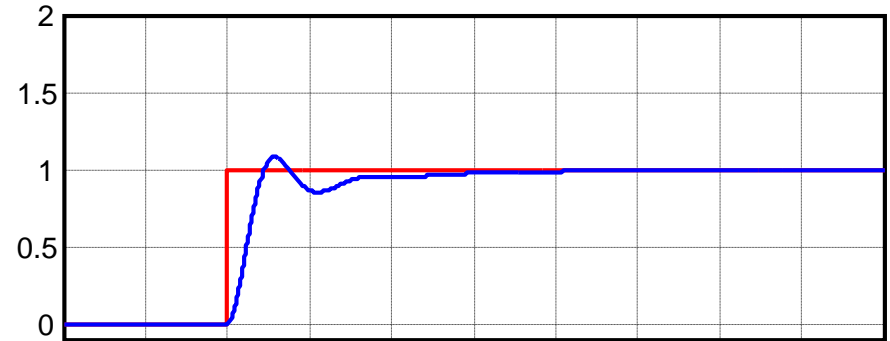


Sistemas de control discretos

Sistema de control continuo



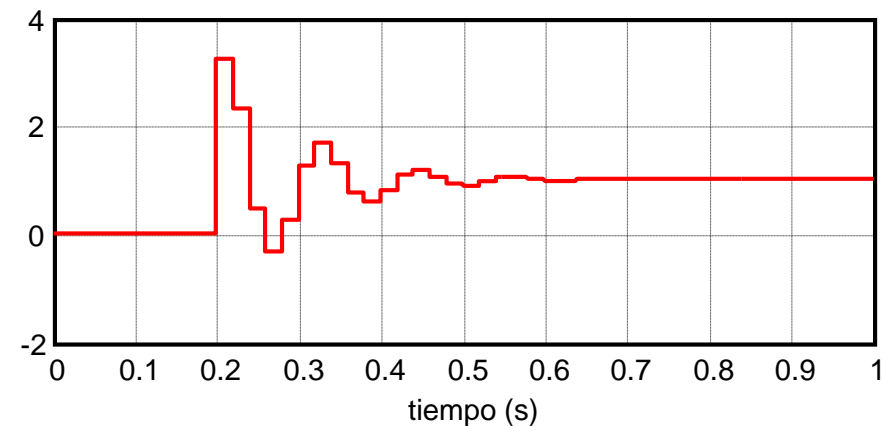
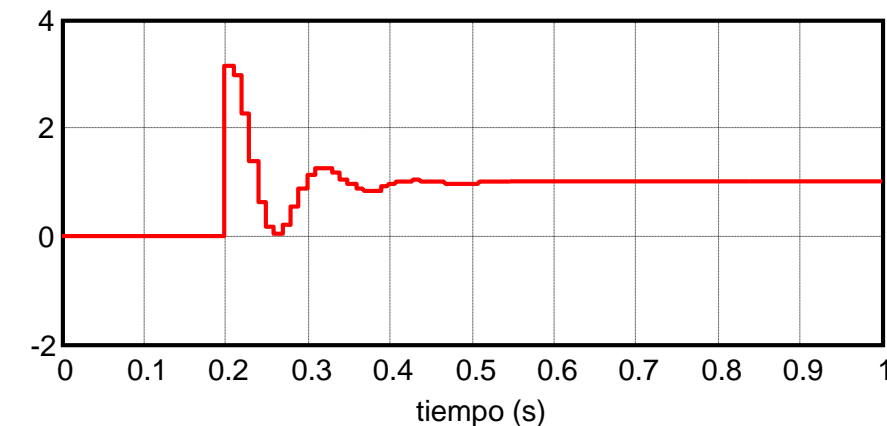
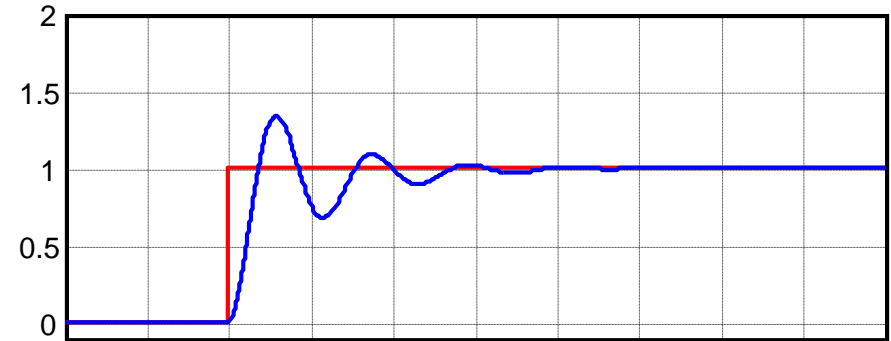
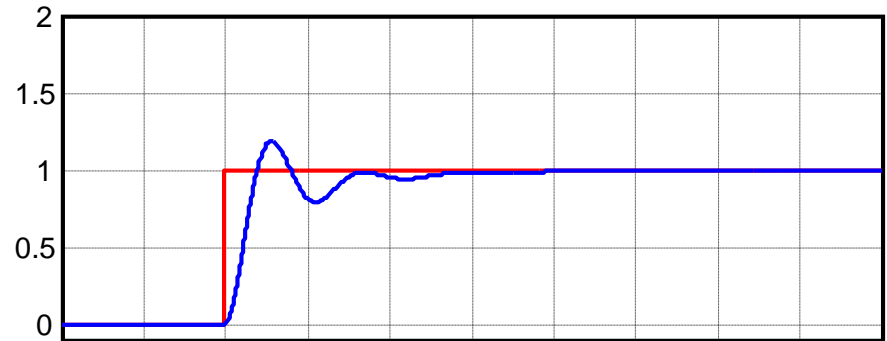
Sistema de control discreto,
Discretización del regulador continuo
 $T=2$ ms



Sistemas de control discretos

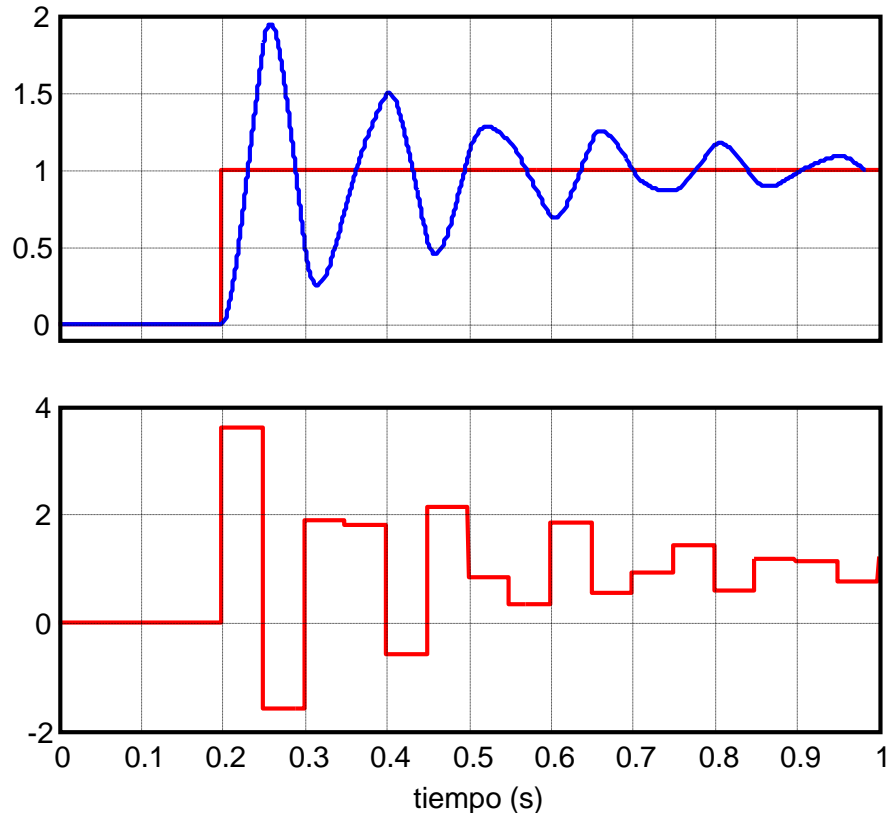
Sistema de control discreto,
Discretización del regulador continuo
 $T=10$ ms

Sistema de control discreto,
Discretización del regulador continuo
 $T=20$ ms



Sistemas de control discretos

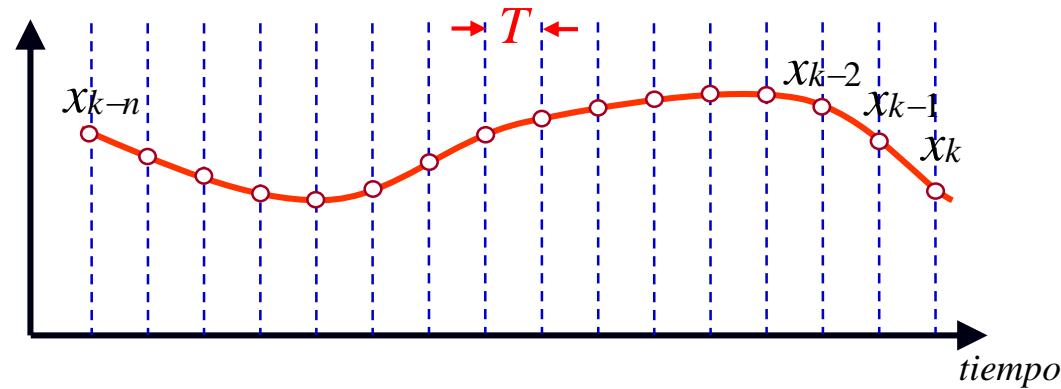
Sistema de control discreto,
Discretización del regulador continuo
 $T=50$ ms



Al incrementarse el periodo de muestreo:

- Puede empeorar apreciablemente la respuesta dinámica del sistema realimentado \Rightarrow aumentar la sobreoscilación, el tiempo de establecimiento,
- Pueden acabar apareciendo problemas de estabilidad.

Aproximaciones s/z



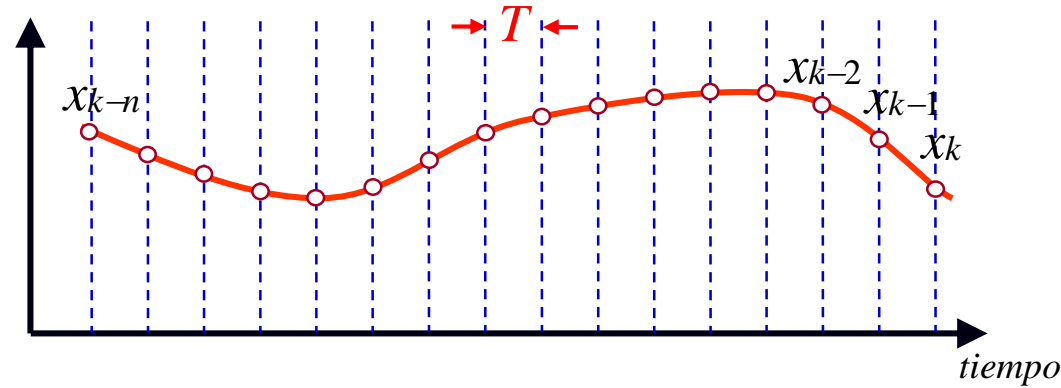
Derivada en el tiempo

Continuo	Discreto	
$y(t) = \frac{dx(t)}{dt}$	$y_k = \frac{x_k - x_{k-1}}{T}$	<i>Tiempo</i>
$Y(s) = s X(s)$	$Y(z) = \frac{1 - z^{-1}}{T} X(z)$	<i>Dominio transformado (s/z)</i>

Aproximación s/z mediante el operador derivada (Euler)

$$s \approx \frac{1 - z^{-1}}{T}$$

Aproximaciones s/z



Integral en el tiempo

Continuo	Discreto	
$y(t) = \int x(t) dt$	$y_k = y_{k-1} + T \frac{x_k + x_{k-1}}{2}$	Tiempo
$Y(s) = \frac{1}{s} X(s)$	$Y(z) = \frac{T}{2} \frac{1 + z^{-1}}{1 - z^{-1}} X(z)$	Dominio transformado (s/z)

Aproximación s/z la transformación bilineal (Tustin)

$$s \approx \frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$$



Aproximación s/z mediante el operador derivada (Euler)

$$s \approx \frac{1 - z^{-1}}{T}$$

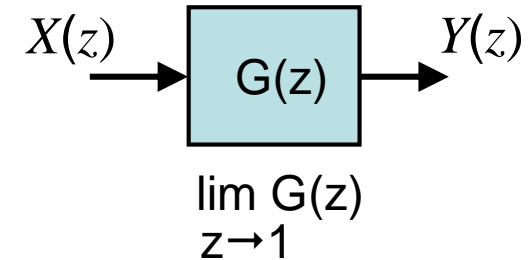
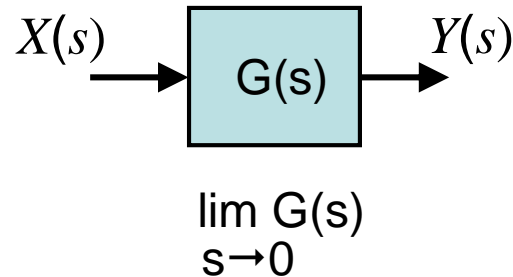
Aproximación s/z la transformación bilineal

$$s \approx \frac{2}{T} \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$$

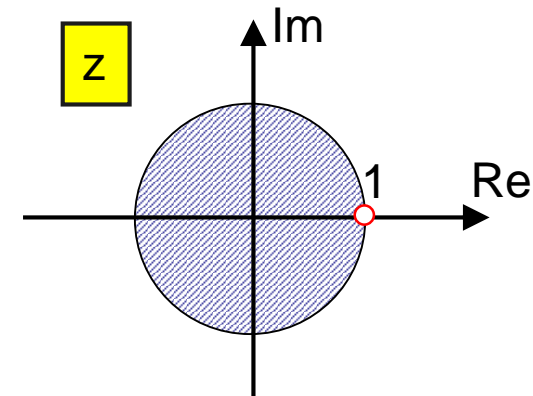
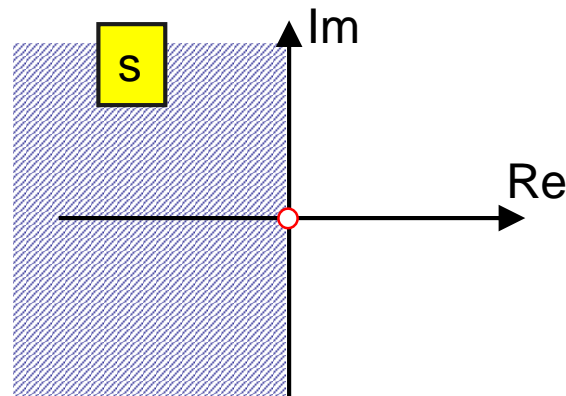
Transformación exacta s/z

$$z = e^{sT}$$

Ganancia en continua



Región de estabilidad





Elección de la frecuencia de muestreo

- Sin filtro antialiasing y discretización por aproximación

$$\omega_m \geq 20 \sim 40 \times \omega_{bw}$$

- Con filtro antialiasing y discretización por aproximación

$$\omega_m \geq 5 \sim 10 \times \omega_a$$

- Subir T puede conllevar un problema de coste. Si no es posible habrá que recurrir al diseño discreto