Métodos empíricos de diseño y Arquitecturas de Control

Tema 9

Índice

- Métodos empíricos de diseño: Ziegler-Nichols
- Control en cascada
- Control por prealimentación (feedforward)

Forms of PID controller

$$u = K_p\left(e + \frac{1}{T_i}\int e\,dt + T_d\frac{de}{dt}\right)$$

$$e = y_r - y$$

Standard form

$$G_s(s) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s\right)$$

$$G_c(s) = K'\left(1 + \frac{1}{T_i' s}\right)(1 + T_d' s)$$

Cascade form

$$G_c(s) = k + \frac{k_i}{s} + k_d s$$

Parallel form

$$u_c = k_c\left(e + \frac{1}{T_i}\int e\,dt - T_d\frac{dy_f}{dt}\right)$$

$$e = y_r - y$$

$$y_f = \frac{1}{1 + sT_d/N}y$$

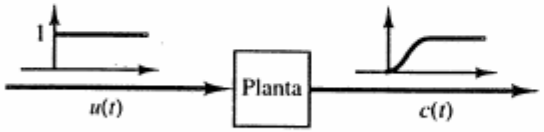
Filtered derivative term

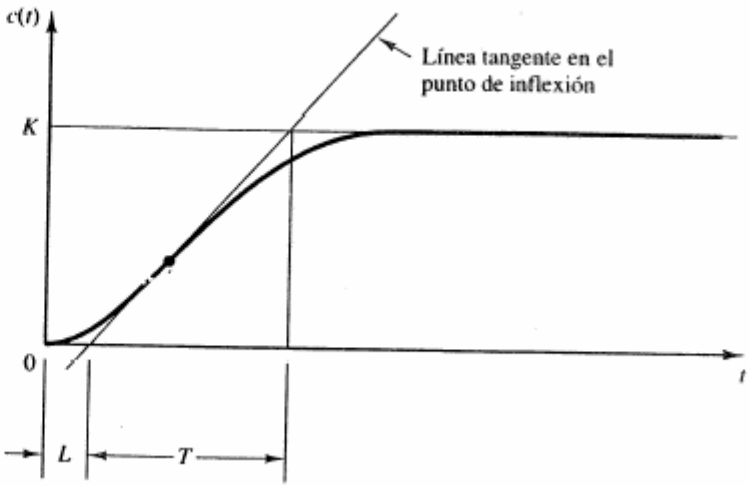
$$u_c = k_c\left[(\beta y_r - y) + \frac{1}{T_i}\int e\,dt - T_d\frac{dy_f}{dt}\right]$$

Weighted setpoint form

M. Lelic 12/7/99 CORNING Inc. L 5033PRE 5

Método de Ziegler Nichols (1)

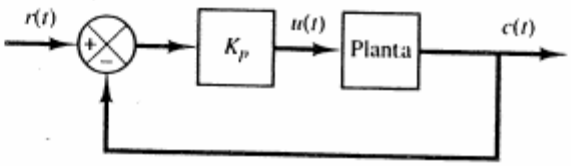


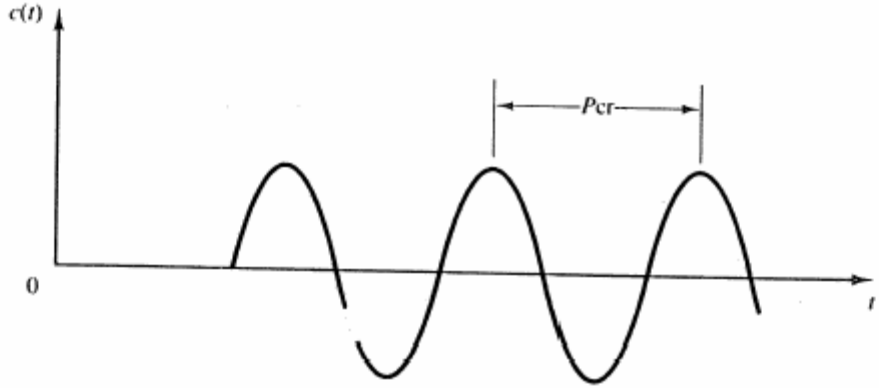


Regla de sintonización de Ziegler–Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método)

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Método de Ziegler Nichols (2)





Regla de sintonización de Ziegler–Nichols basada en la ganancia crítica K_{cr} y en el periodo crítico P_{cr} (segundo método)

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$\frac{1}{1.2}P_{cr}$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$0.5P_{cr}$	$0.125P_{cr}$

Control en Cascada

- Permite dividir un problema de control complejo en partes más sencillas
- Se construye anidando lazos de control.
- En caso de dos bucles:
  - El bucle interior recibe el nombre de bucle **secundario**
  - El exterior es el **primario**
- Ventajas principales:
  - Proporciona un mejor control de la variable primaria
  - Elimina mejor las perturbaciones

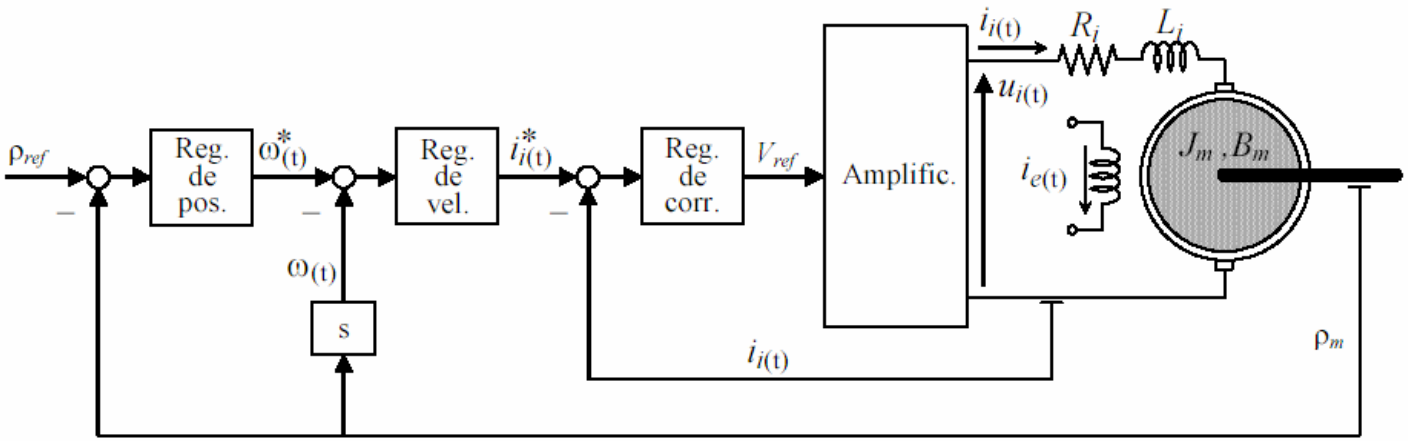
Control en Cascada

Ejemplo control en cascada en un motor (práctica 9)

Regulador de posición:
$R_p(s) = k_{pp}$

Regulador de velocidad:
$R_w(s) = k_{pw}\dfrac{(s+1/T_{iw})}{s}$

Regulador de corriente:
$R_i(s) = k_{pi}\dfrac{(s+1/T_{ii})}{s}$



Control en Cascada. Reducción de perturbaciones

En casos en los que:

- hay no linealidades en una parte del proceso
- las perturbaciones no se pueden reducir localmente
- las perturbaciones están localizadas

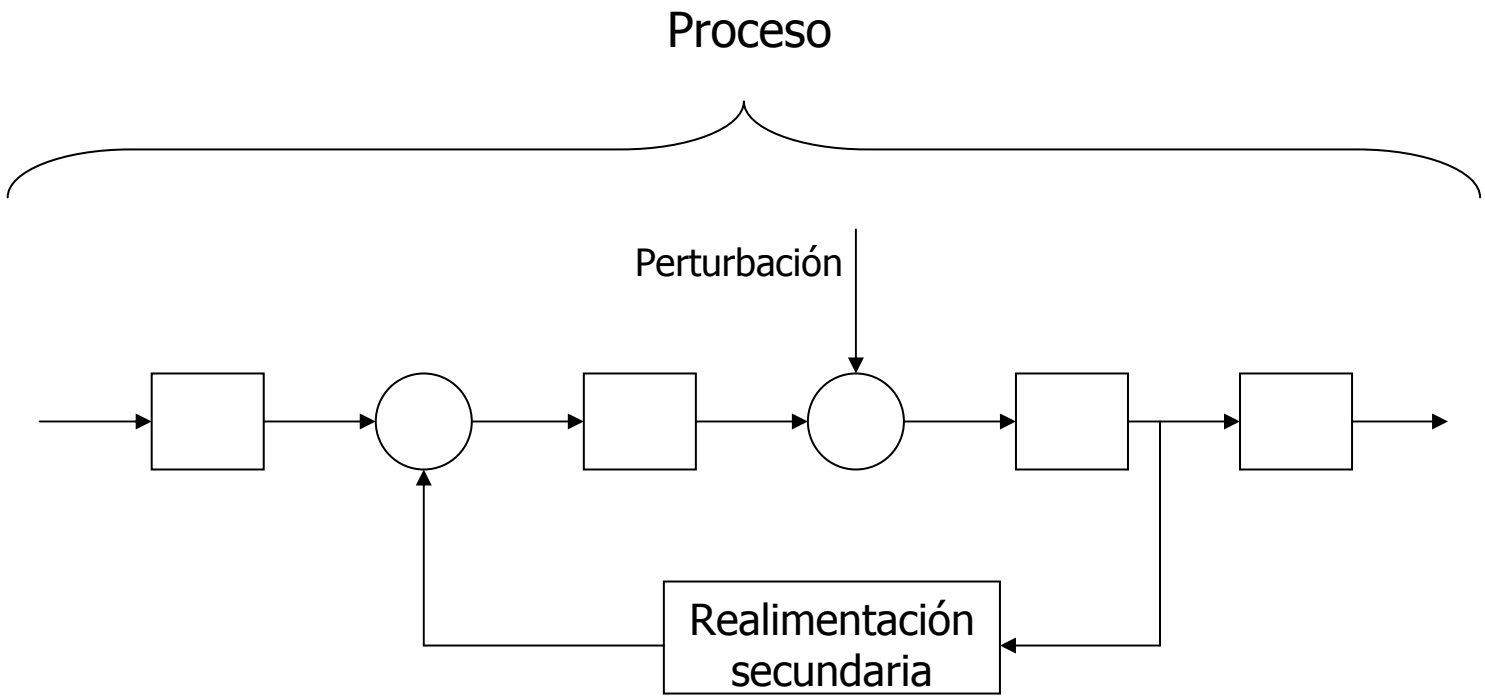
Si

- se tiene acceso a una variable influenciada y a una variable de control próxima
- se puede usar una ganancia elevada en la realimentación sin peligro de inestabilidad

Entonces…

- se puede aplicar un esquema de realimentación local denominado también “control en cascada”

Control en Cascada. Reducción de perturbaciones



Control por prealimentación (feedforward)

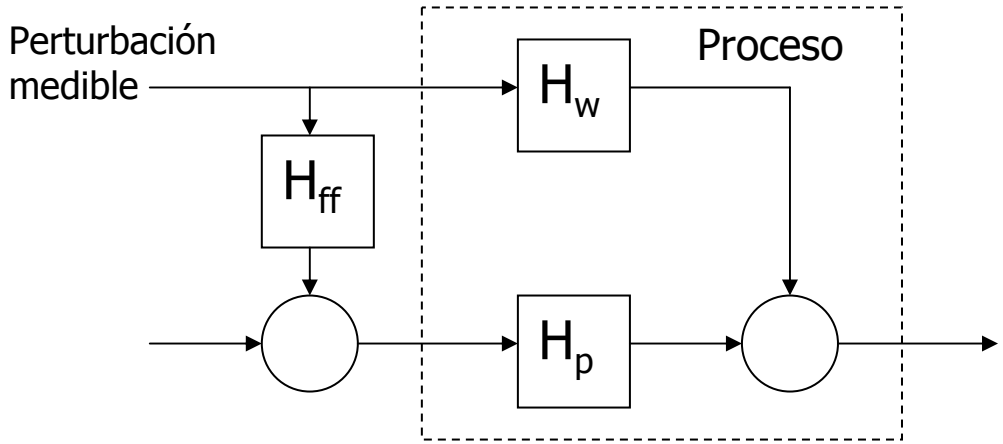
- La realimentación puede eliminar perturbaciones, pero necesita un error para reaccionar.
- En ocasiones se pueden medir las perturbaciones antes de (o en el momento en) que ocurran.

↓

- Se puede eliminar su efecto antes de que generen un error (feedforward)
- Es necesario tener un modelo del efecto de la perturbación.

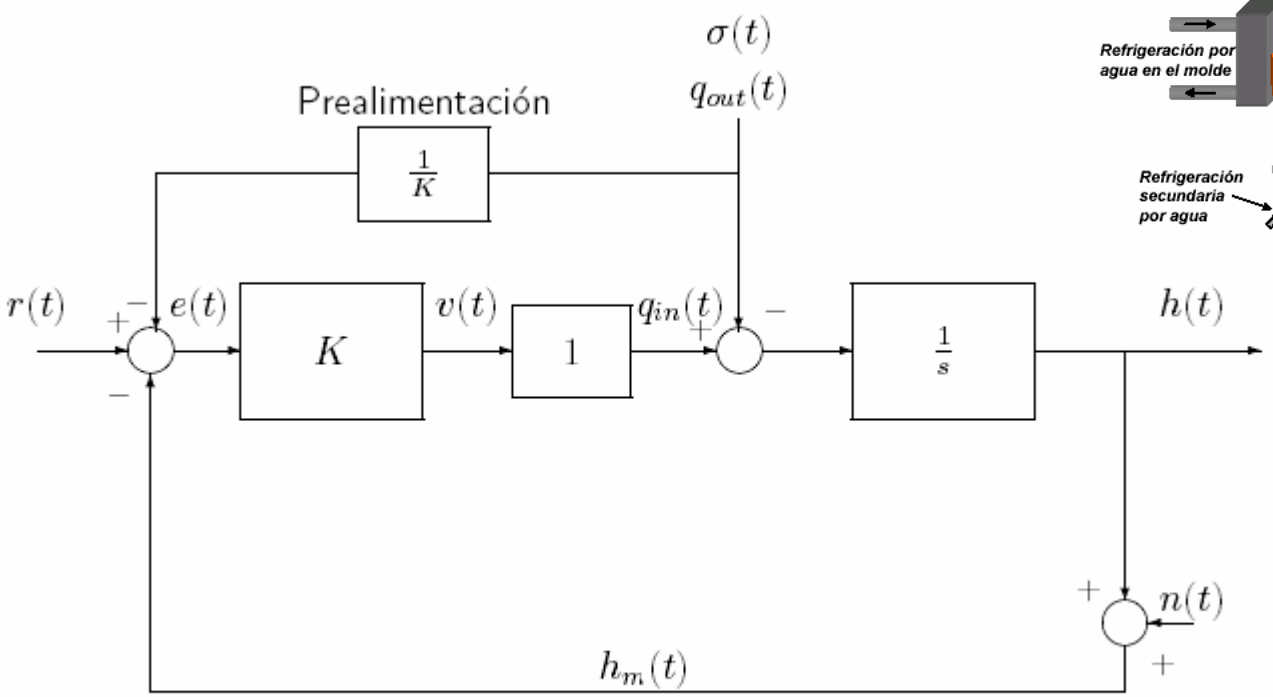
Reducción de perturbaciones por prealimentación

- Se mide la perturbación y se aplica al proceso una señal de control que intente contrarrestarla
- Es particularmente útil en perturbaciones generadas por cambios en la acción de control o en la referencia. También en procesos en cascada



$$H_{ff} = -H_p^{-1} H_w$$

Ej: Colada continua



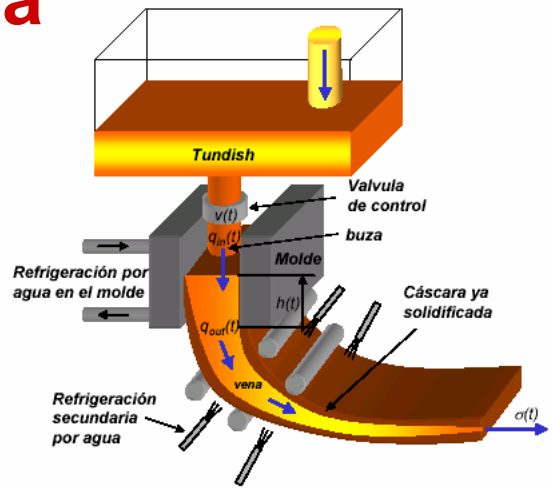
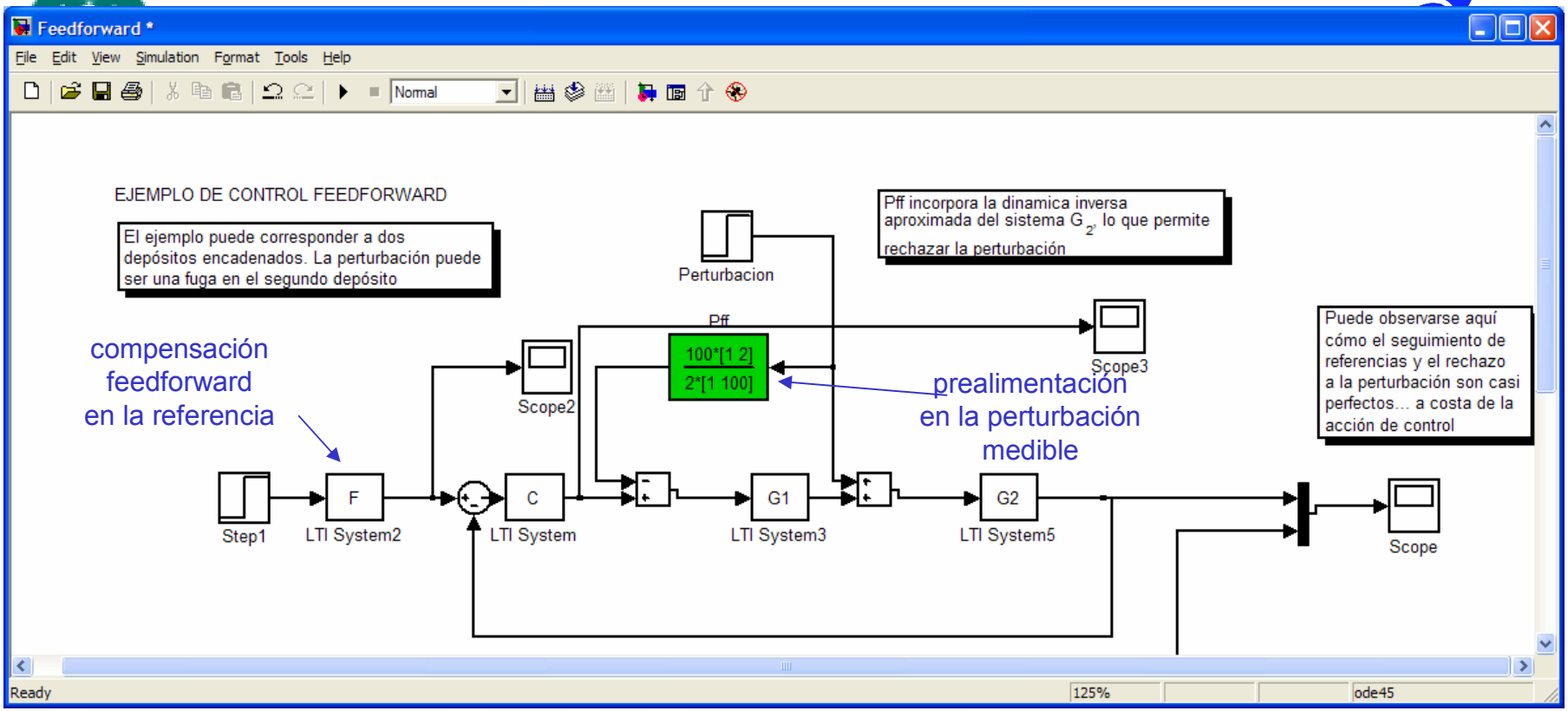
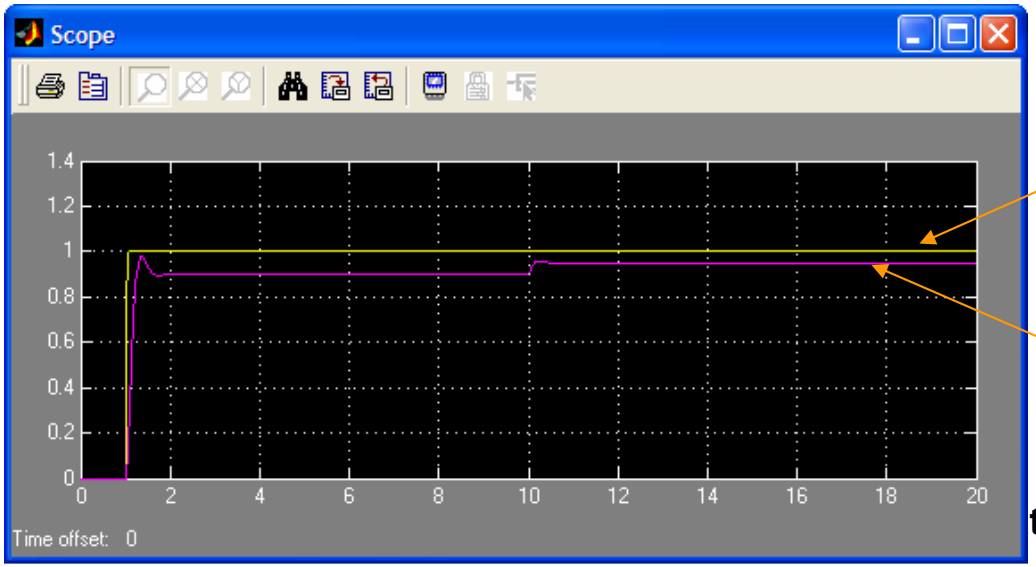


Figura 7: Prealimentación de la demanda de producción $\sigma(t) = q_{out}(t)$.





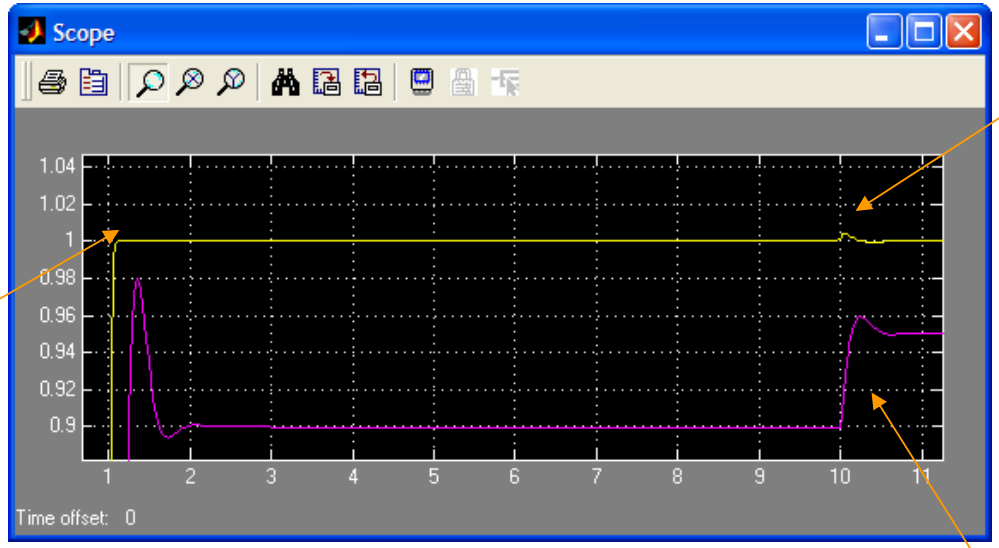
Con compensación feedforward

Sin compensación feedforward

ticos

Detalle de la respuesta con/sin compensación feedforward

El efecto de la perturbación queda muy reducido



Compensación de la dinámica de seguimiento de referencias

Sin compensación feedforward… la perturbación afecta mucho más

Prealimentación basada en estimación (sensores virtuales)

- Es una extensión del principio de prealimentación que se puede usar cuando la perturbación **no** es medible pero puede estimarse.
- A partir de las señales medibles se realiza una estimación que permite generar la prealimentación.
- La estimación de una variable a partir de medidas indirectas relacionadas se conoce a veces como "sensor virtual"
- Suele ser suficiente modelar una señal que represente el efecto de las perturbaciones en las variables importantes del proceso.

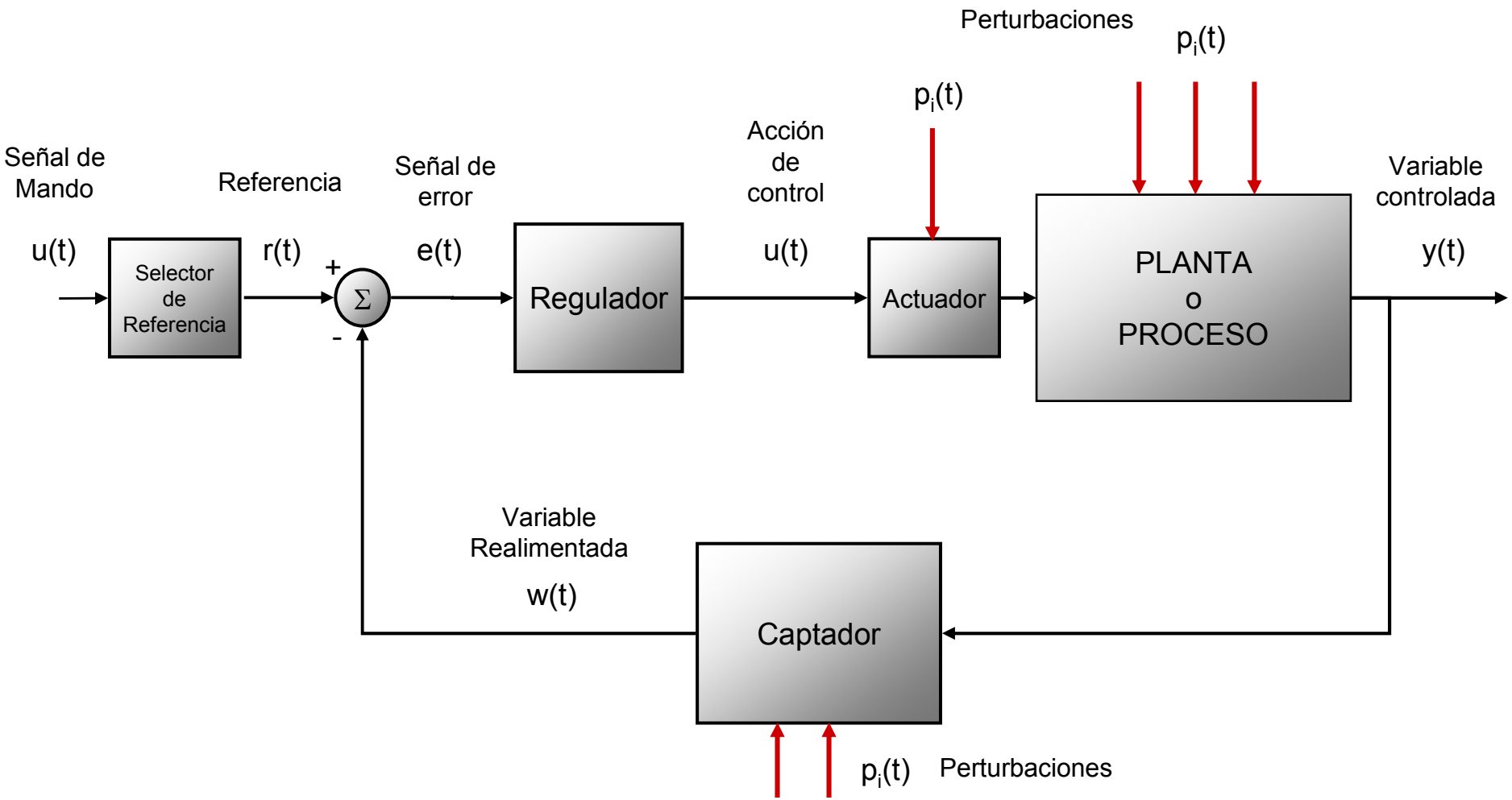
Comparación feedback-feedforward

- FB permite reducir el efecto de perturbaciones con frecuencias menores del ancho de banda del sistema

  FF podría reducir el efecto de perturbaciones más rápidas
- FB es menos sensible a variaciones en el modelo del proceso
- FB puede ocasionar inestabilidad. FF NO

Ambas técnicas pueden combinarse para obtener mejores resultados

Prealimentación. Seguimiento de referencias.

- La estructura de prealimentación (*feedforward*) proporciona también un medio de mejorar la respuesta del sistema ante una consigna.
- Permite:
  - ajustar la ganancia estática del sistema, eliminando el error de seguimiento,
  - cancelar, si se considera conveniente, algún cero del sistema realimentado,
  - suavizar la evolución de la referencia, evitando escalones. Disminuirán las acciones de control, a costa de ralentizar la respuesta.

Prealimentación. Seguimiento de referencias.