

5. Control PID Clásico

Parte 2

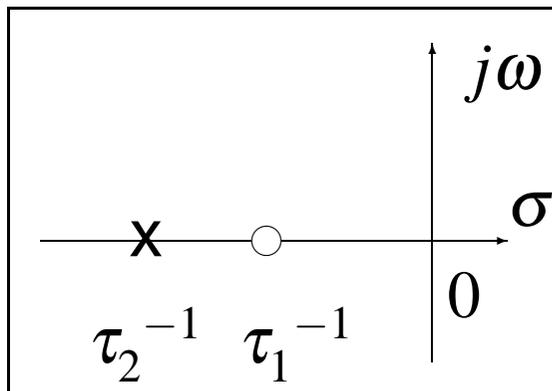
Panorama:

- Compensadores en atraso-adelanto
- Ejemplo: Columna de destilación
- PLCs

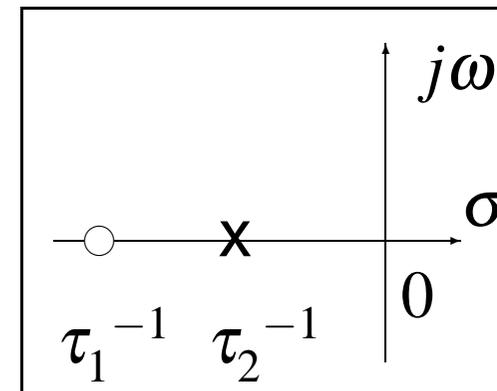
Compensadores en Atraso-Adelanto

Una idea muy cercana a la del control PID es la de compensación en **atraso-adelanto**. La función transferencia de estos compensadores es de la forma

$$K(s) = \frac{\tau_1 s + 1}{\tau_2 s + 1}.$$



Si $\tau_1 > \tau_2$ el compensador es una **red de adelanto**.



Si $\tau_1 < \tau_2$ el compensador es una **red de atraso**.

Las redes de atraso y adelanto permiten modificar localmente la respuesta en frecuencia de la planta, respectivamente agregando o restando fase, dentro del rango de frecuencias comprendido entre el cero y el polo del compensador.

El compensador final en un diseño dado podía construirse como la cascada de varias redes de atraso o adelanto. De esta forma el diseño se subdividía en etapas, en cada una de las cuales se modificaban porciones específicas de la respuesta en frecuencia de la planta.

Estos compensadores eran muy fácilmente ajustados en forma gráfica utilizando los diagramas de Bode o Nyquist.

La red de adelanto **aumenta** la fase del sistema dentro de un rango limitado de frecuencias.

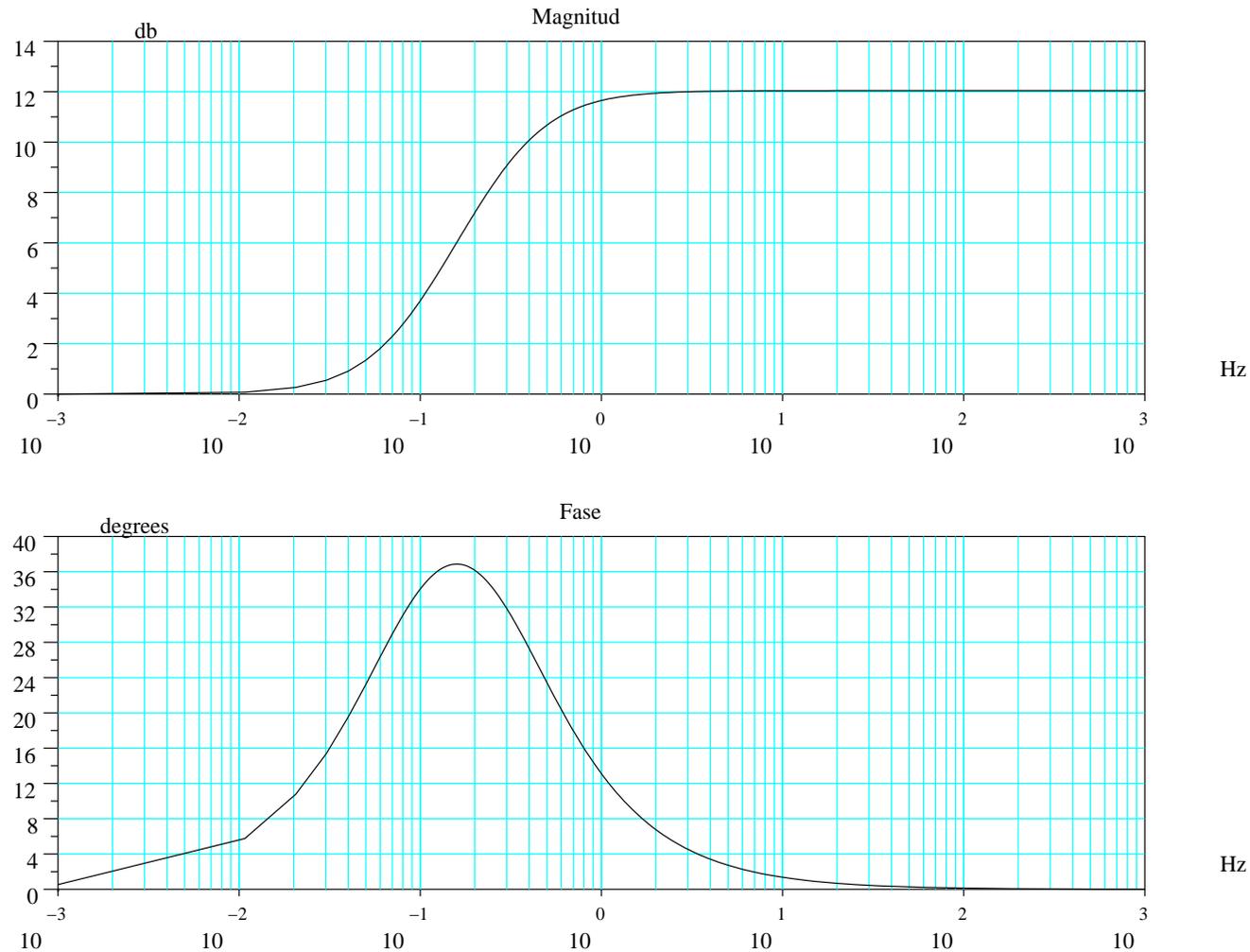


Diagrama de Bode de una red de adelanto.

La red de atraso **disminuye** la fase del sistema dentro de un rango limitado de frecuencias.

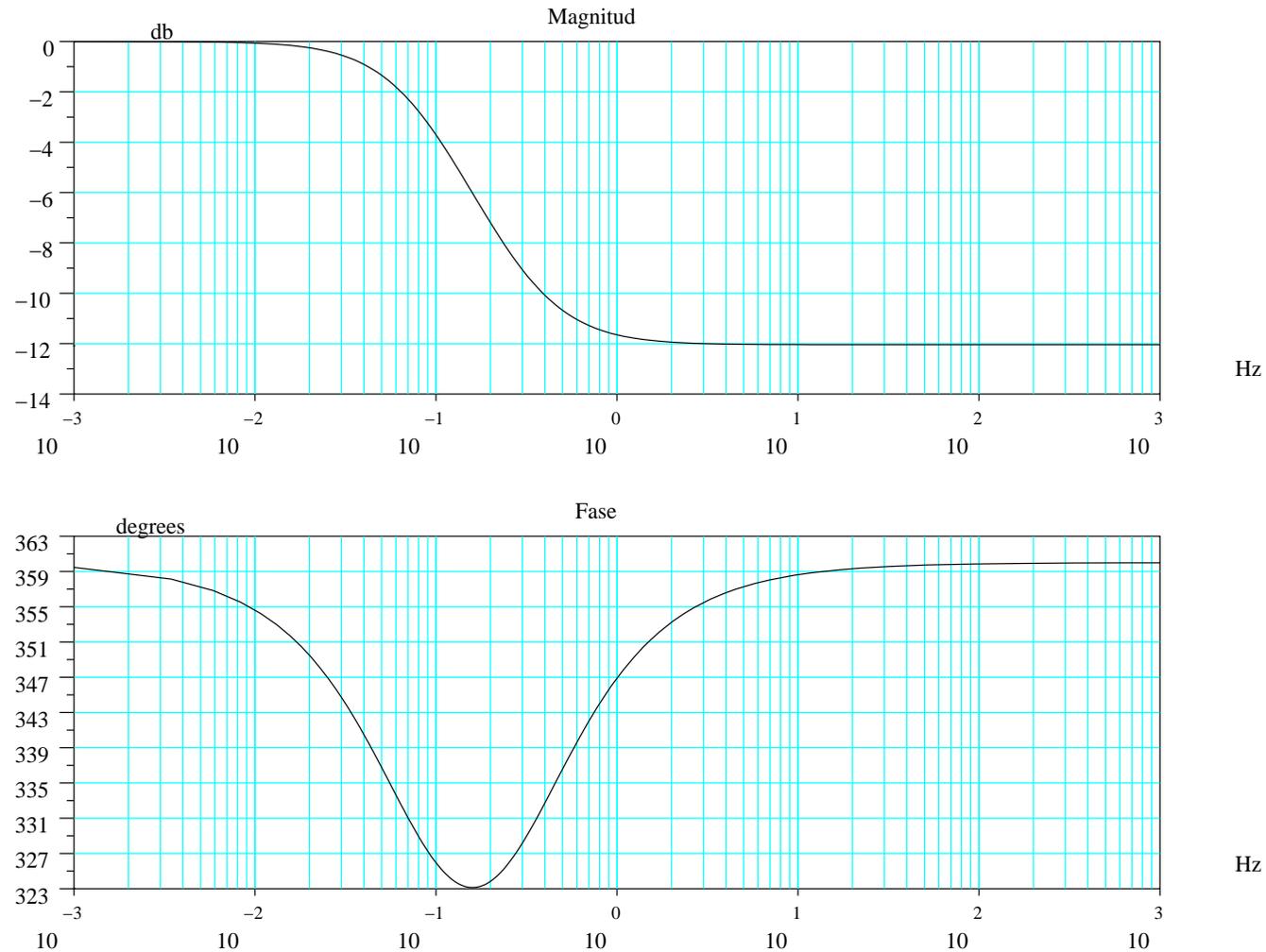
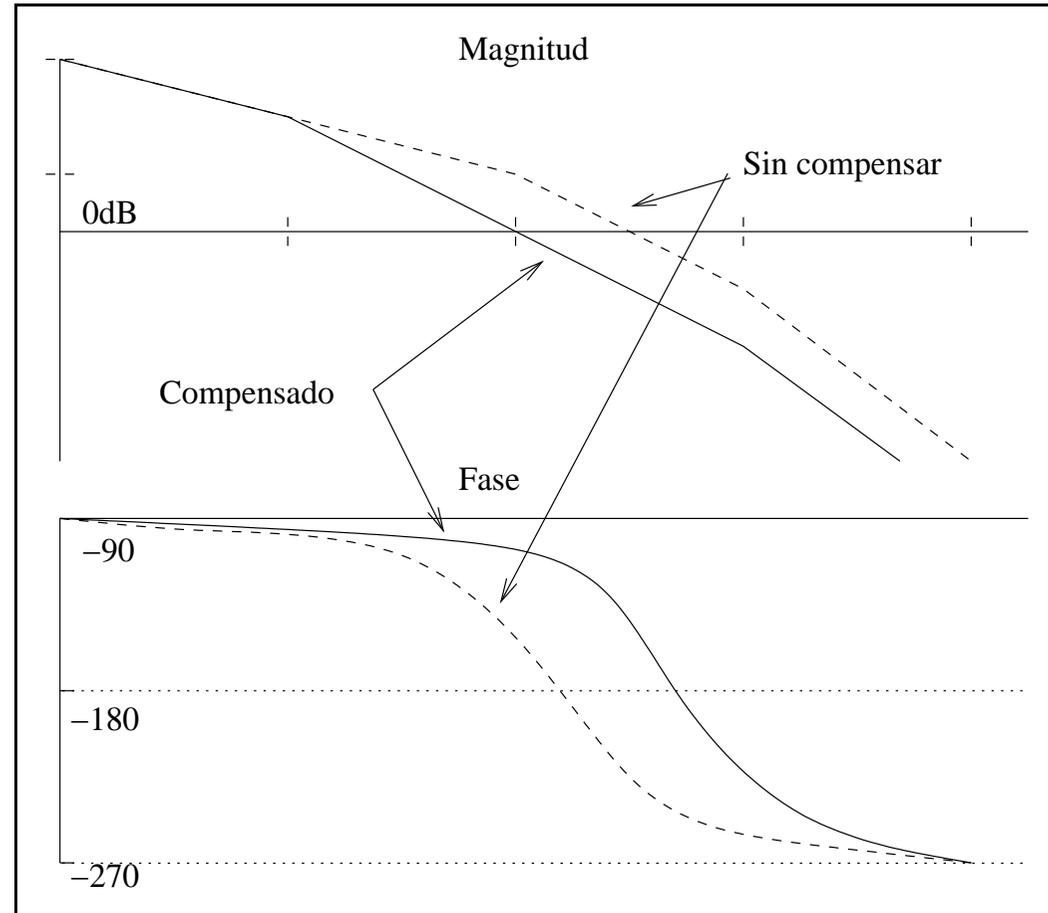
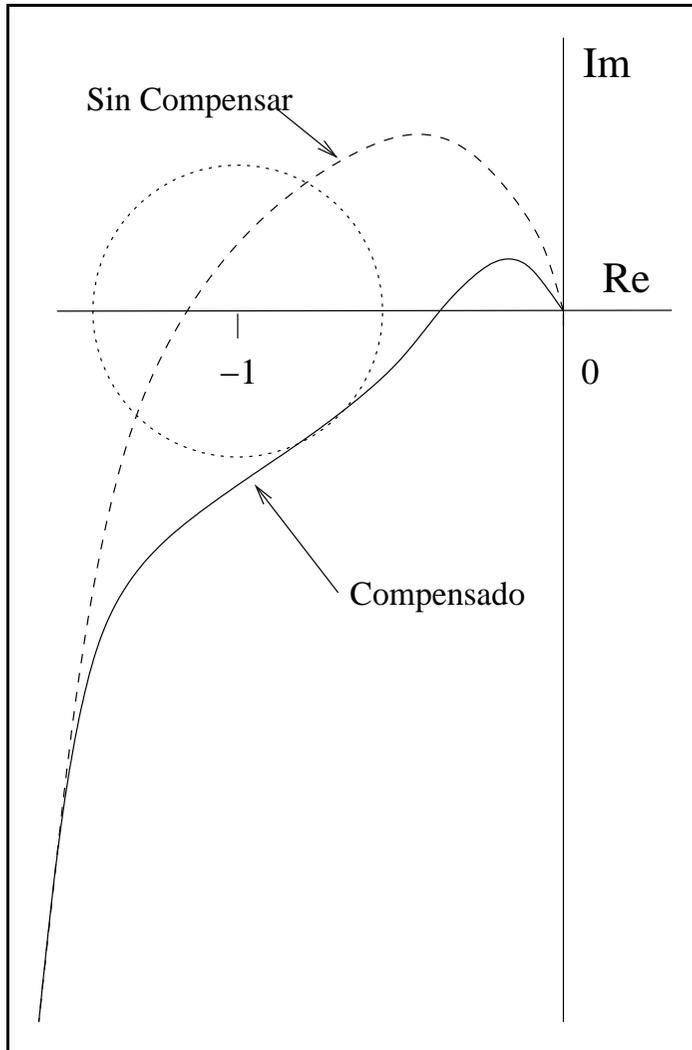


Diagrama de Bode de una red de atraso.



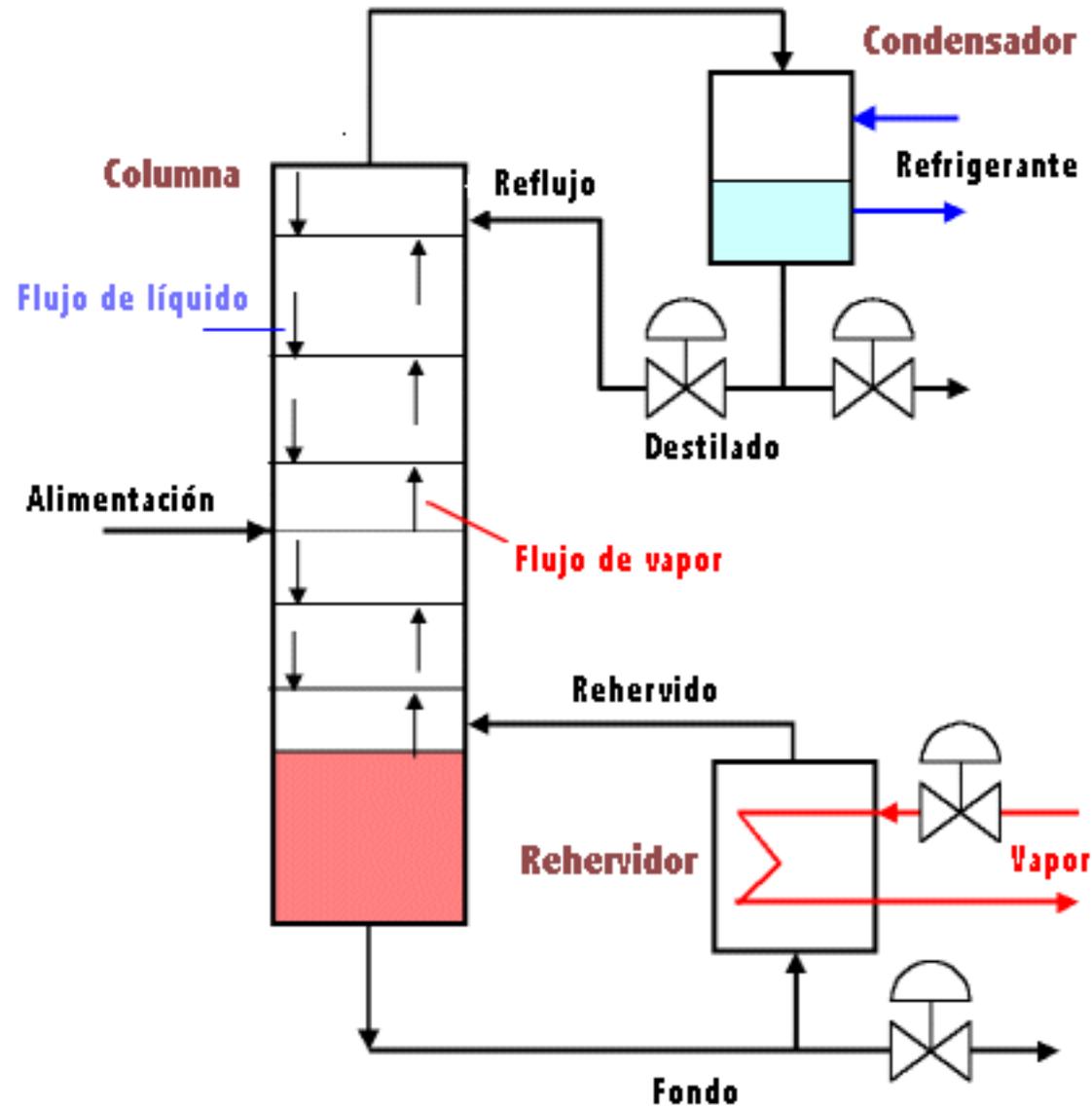
Efecto de compensación por adelanto en una planta de tipo $G_0(s) = \frac{1}{s(\alpha_1 s + 1)(\alpha_2 s + 1)}$ en diagrama de Nyquist (izquierda) y Bode (derecha).

Ejemplo: Columna de destilación

El control PID es muy usado en la industria. A continuación ilustramos cómo se usa en un caso práctico analizando someramente el problema de control de una columna de destilación.



Las columnas de destilación son extremadamente comunes en una gran variedad de procesos químicos. Su propósito es la separación de mezclas de líquidos a partir de las diferentes volatibilidades de sus componentes.



La columna considerada en este ejemplo es una columna piloto de destilación de mezcla agua-etanol, ilustrada en el esquema de la figura.

Con el resto de las variables claves controladas, dejamos dos entradas de control: el caudal de reflujo, $u_1(t)$, para controlar la concentración de etanol en el destilado, $y_1(t)$; y el caudal de vapor de rehervido, $u_2(t)$, para controlar la composición del producto de fondo, medida por la temperatura del fondo de la columna $y_2(t)$.

Modelo de la columna

Un modelo linealizado de la columna está dado por las ecuaciones

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{bmatrix},$$

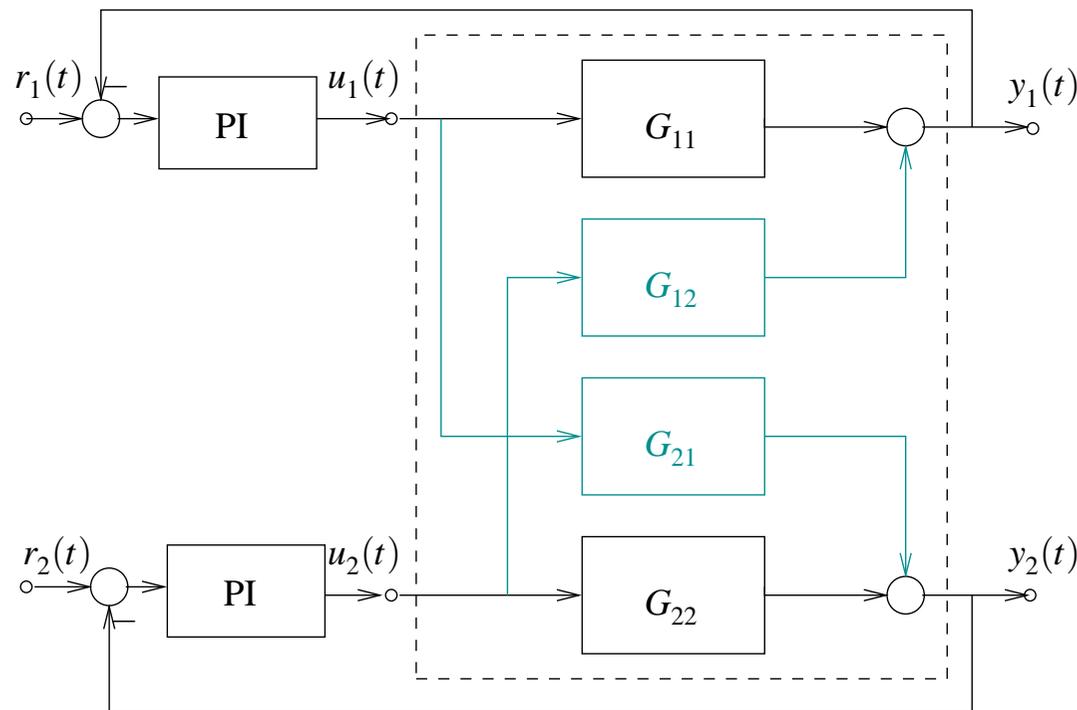
donde

$$G_{11}(s) = \frac{0,66e^{-2,6s}}{6,7s + 1}, \quad G_{12}(s) = \frac{-0,49e^{-s}}{9,06s + 1},$$
$$G_{21}(s) = \frac{-0,347e^{-9,2s}}{8,15s + 1}, \quad G_{22}(s) = \frac{0,87(11,6s + 1)e^{-s}}{(3,89s + 1)(18,8s + 1)}.$$

Este modelo está escalado con unidades de tiempo *en minutos* (es un proceso lento, como muchos procesos químicos).

Control PI descentralizado de la columna

Se diseñaron dos controladores PI, uno conectando y_1 a u_1 , y el otro conectando y_2 a u_2 .

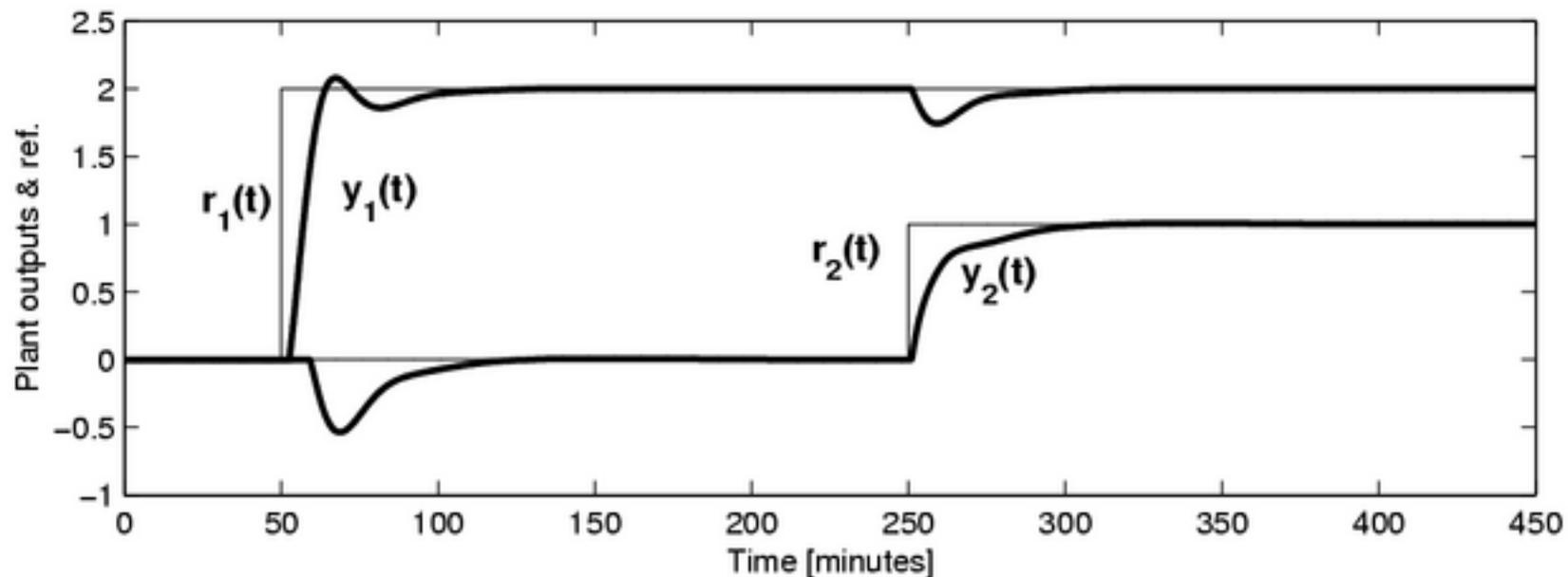


Al ignorar las transferencias G_{12} y G_{21} se considera la planta como si fuera dos sistemas SISO separados (no interactuantes). Este enfoque se llama **control descentralizado**.

Los controladores obtenidos son

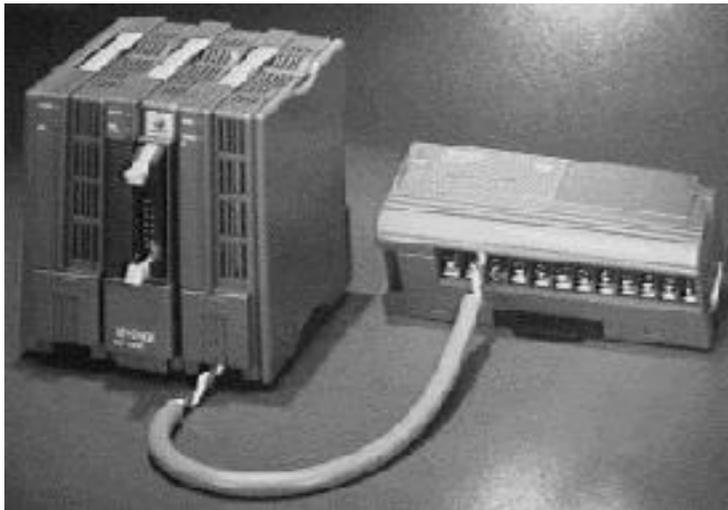
$$C_1(s) = 1 + \frac{0,25}{s}, \quad C_2(s) = 1 + \frac{0,15}{s},$$

y dan un desempeño aceptable, como muestra la figura, que se obtuvo simulando el sistema a lazo cerrado con el modelo de la planta. Se ve, sin embargo, que los lazos **interactúan** (r_1 afecta a y_2 , y r_2 a y_1).



PLCs (Controladores de Lógica Programable)

Los PLCs son una forma muy habitual de implementar controladores PID en la industria.



Un PLC es, en pocas palabras, una PC dedicada con puertos de entrada y salida para comunicarse con el proceso a controlar. Contiene una CPU, memoria, y circuitos de entrada y salida.

Históricamente, los PLCs surgieron a fines de los años 1960s para reemplazar complicados sistemas de control basados en relés. Bedford Associates propuso a una fábrica de automóviles algo llamado MODICON (*Modular Digital Controller* — controlador digital modular), que luego daría lugar al primer PLC comercial, el MODICON 084.

Un PLC funciona ejecutando un programa en un ciclo de operación continuo. Este ciclo de operación consiste, esencialmente, de 3 pasos importantes:

1. Muestrear los circuitos de entrada,
2. Ejecutar un programa,
3. Actualizar los circuitos de salida.

Un controlador como un PID se implementa en un algoritmo parte del programa del PLC, y está generalmente disponible como parte de una librería de algoritmos. La forma del PID implementada depende de la marca y modelo de PLC.

Algunas de estas marcas:

- ABB
- Allen-Bradley
- Festo/Beck Electronic
- Fisher & Paykel
- Honeywell
- Modicon/Gould
- Rockwell
- Schneider
- Siemens

Ejemplo: bloque PID en el PLC-5 de Allen-Bradley

El PID se implementa como una función de salida que debe ejecutarse periódicamente a intervalos especificados por el programa. Tiene 4 formas disponibles:

1. PID con acción derivativa en la salida, forma estándar

$$u = K_c \left(\left[1 + \frac{1}{T_i s} \right] e + \left[\frac{T_d s}{1 + \frac{T_d s}{16}} \right] y \right) + \text{bias}$$

2. PID con acción derivativa en el error, forma estándar

$$u = K_c \left(\left[1 + \frac{1}{T_i s} \right] + \left[\frac{T_d s}{1 + \frac{T_d s}{16}} \right] \right) e + \text{bias}$$

3. Variación de 1, forma paralela

$$u = \left[K_p + \frac{K_i}{s} \right] e + \left[\frac{K_d s}{1 + \frac{K_d}{16K_p} s} \right] y + \text{bias}$$

4. Variación de 2, forma paralela

$$u = \left[K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{K_d s}{1 + \frac{K_d}{16K_p} s} \right] e + \text{bias}$$

Más sobre PLCs...

Para mayor información sobre PLCs ver por ejemplo

- `http://www.plcs.net`
- `http://www.plcopen.org`

En IACI, los PLCs se estudian en profundidad en

- Laboratorio de Automatización I y II,

ambas fuertemente recomendadas!