

19 OTROS SISTEMAS DE CONTROL

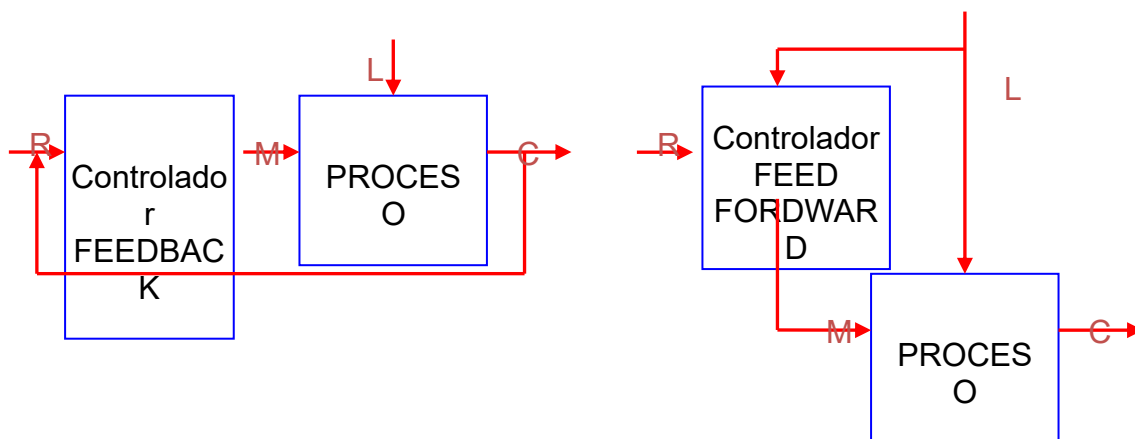
El control feedback presenta ciertas ventajas, a saber:

- Ocurre una acción correctiva tan pronto como las variables controladas se desvían del set point, independientemente de la fuente de perturbación.
- Requiere poco conocimiento del proceso que se quiere controlar; no es imprescindible un modelo matemático del proceso, lo cual es particularmente útil para el diseño del sistema de control.
- El controlador PID es a la vez versátil y robusto. Eventualmente, si las condiciones del proceso cambian puede resintonizarse el controlador.

No obstante también se pueden señalar desventajas:

- No se ejerce ninguna acción correctiva hasta tanto no se produce una desviación de la variable controlada.
- No provee de ninguna acción predictiva para compensar los efectos de las perturbaciones.
- Puede no dar resultados satisfactorios para procesos con grandes constantes de tiempo o largos delays. Si ocurren grandes y frecuentes perturbaciones el proceso puede operar continuamente en transitorio y nunca alcanzar el estado estacionario deseado.
- En algunas aplicaciones la variable a controlar no puede medirse en línea, y por tanto el control feedback no es aplicable.

Para las situaciones en las que el control feedback no funciona puede agregarse un control feedforward. Pero para ello deben medirse (o estimarse) en línea las perturbaciones. La idea básica es medir las variables de carga más importante y definir una acción correctiva antes que la perturbación llegue al proceso y genere una señal de error en la variable de salida.

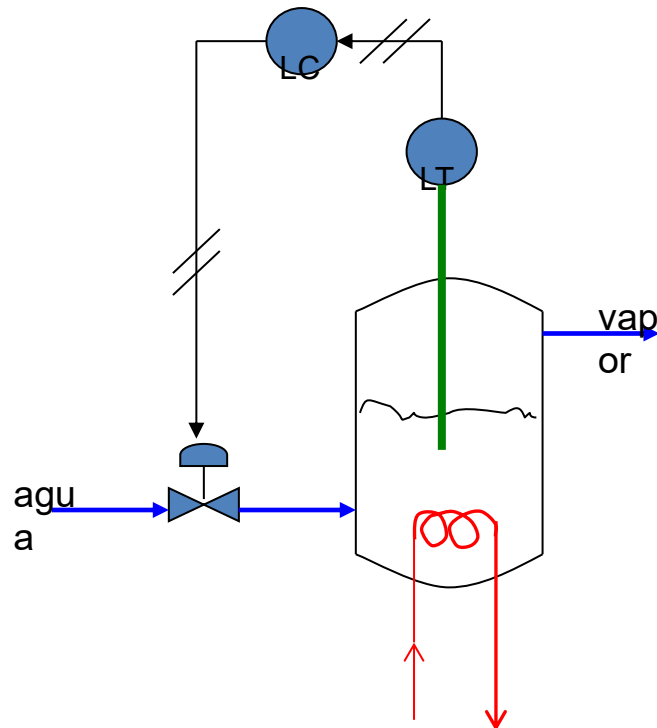


Sin embargo también esta estrategia presenta desventajas:

- Las perturbaciones deben medirse en línea y eso no es posible en todos los casos.
- Debe contarse con algún modelo del proceso, por simplificado que sea, de modo de poder predecir la respuesta de la variable de salida a los cambios en la variable manipulada y en la carga.

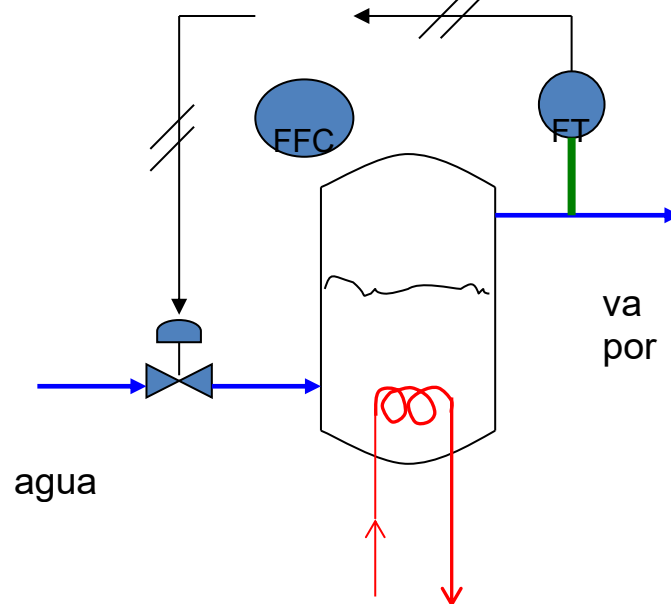
- El control ideal no es físicamente realizable, aunque se pueden lograr aproximaciones.

Veamos un ejemplo, supongamos que tenemos un tanque calefactor



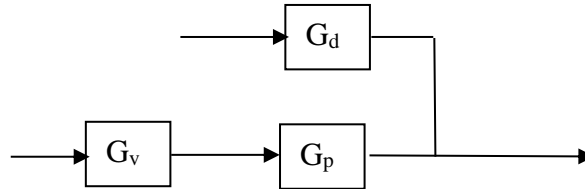
La estrategia del control feedback presenta los siguientes problemas: es muy sensible a los cambios de carga (corriente de vapor) debido a la pequeña capacidad de amortiguación del recipiente; pueden ocurrir cambios repentinos de la demanda de vapor y no se puede usar una ganancia muy grande porque las grandes fluctuaciones de nivel serían amplificadas y las fluctuaciones en el agua de alimentación serían muy grandes.

Alternativamente se puede usar un control feedforward:

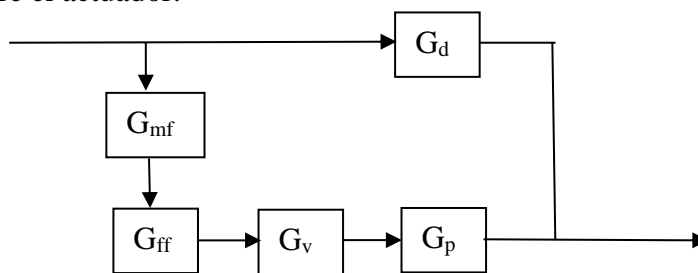


En el esquema feedforward se mide el flujo de vapor (o alternativamente la presión) y se ajusta la alimentación de forma de balancear las demandas de vapor. Obsérvese que la variable a controlar (el nivel de líquido) no se mide.

No hay una estrategia única para el diseño del controlador feedforward. En forma general si tenemos el siguiente esquema:



Habría que insertar un sensor que mida la perturbación y un controlador feedforward que gobierne sobre el actuador:



La idea es contrarrestar el efecto de G_d sobre la salida y para ello la contribución de ambas ramas del paralelo debe ser igual en valor absoluto y de signo contrario:

$$G_d = -G_{mf}G_{ff}G_vG_p$$

O bien

$$G_{ff} = -\frac{G_d}{G_{mf}G_vG_p}$$

(En ocasiones se incluye el sensor y el actuador junto con el proceso y se escribe $G_{ff} = -\frac{G_d}{G_p}$. Hay que prestar atención si sensores y actuadores aparecen en forma explícita). En caso de que la inversión de G_p genere problemas de inestabilidad o sea físicamente irrealizables (“ceros” positivos, delays) suelen desestimarse esos elementos para el diseño del controlador o bien agregar un filtro de orden adecuado como para hacer propia la función de transferencia.

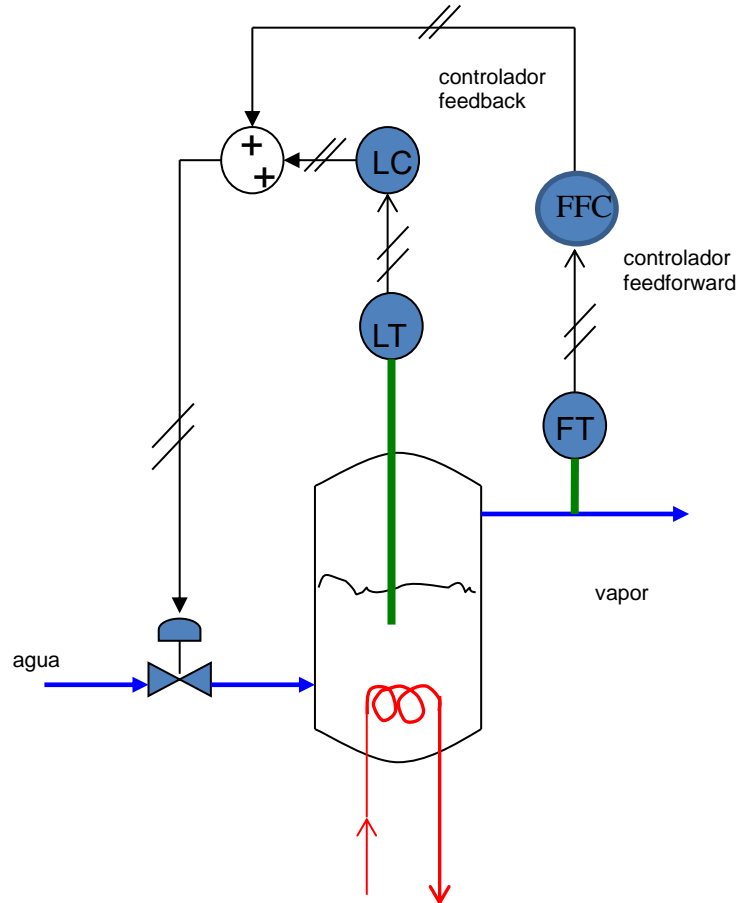
Lo más simple que podemos imaginar es un controlador estático, que simplemente compense la ganancia que introduce la función de transferencia de la carga:

$$G_{ff} = K_{ff} = -\frac{K_d}{K_{mf}K_vK_p}$$

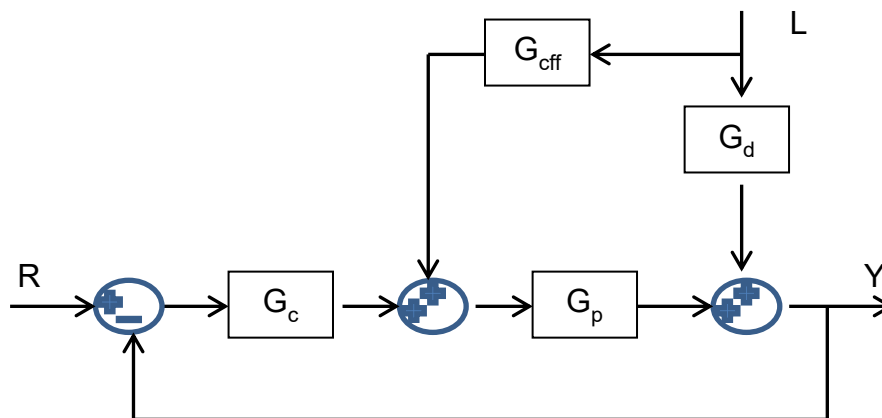
Pero si queremos introducir cierta dinámica hay que tener cuidado de que la función quede propia; de lo contrario habrá que introducir algún filtro para compensar. En general no sería recomendable generar una G_{ff} demasiado compleja; muchas veces se introducen simplificaciones o se suprimen factores que no aportan demasiada compensación (aquellos con constante de tiempo pequeña).

Controlador feedback-feedforward

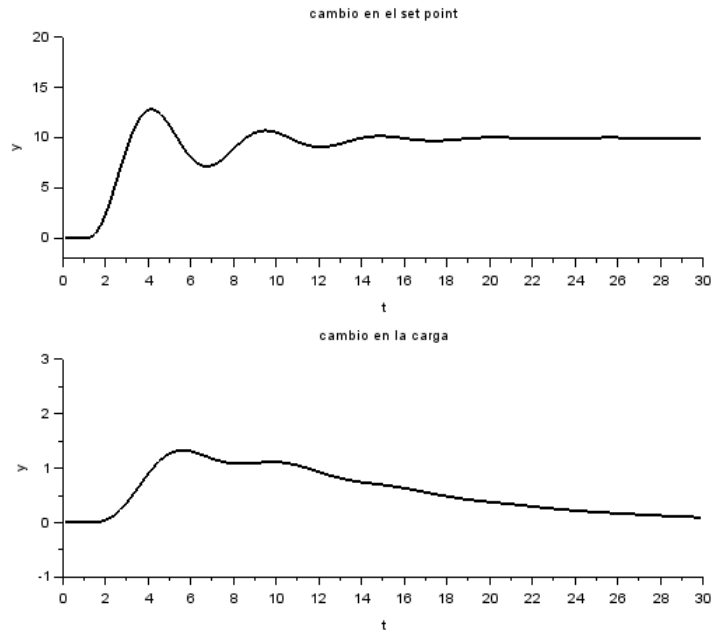
La mayoría de las veces se combinan las estrategias feedback y feedforward, esto es sobre el actuador actúa la influencia de ambos controladores. El control feedforward se usa para reducir los efectos de las perturbaciones medibles mientras que el control feedback compensa las inexactitudes del modelo del proceso y el efecto de las perturbaciones no medidas. Por ejemplo



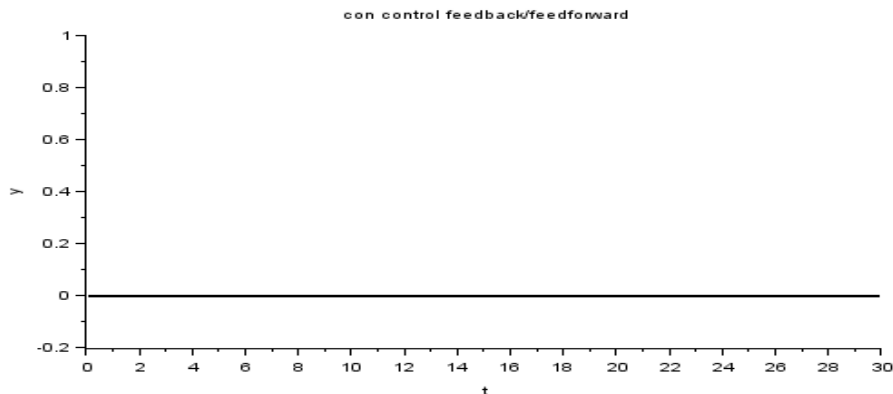
Que corresponde con un esquema del tipo:



Véase el ejemplo 'ejem19.1.xcos' en que se han ajustado los parámetros de un controlador PI para obtener la mejor respuesta frente a cambios de set point, pero que provoca una respuesta bastante mala frente al cambio en la carga.



Por el contrario, en el ‘ejem19.2.xcos’ se ha introducido también un control feedforward y en este caso la respuesta es perfecta (en este caso... porque se conoce en forma exacta la función de transferencia del proceso).



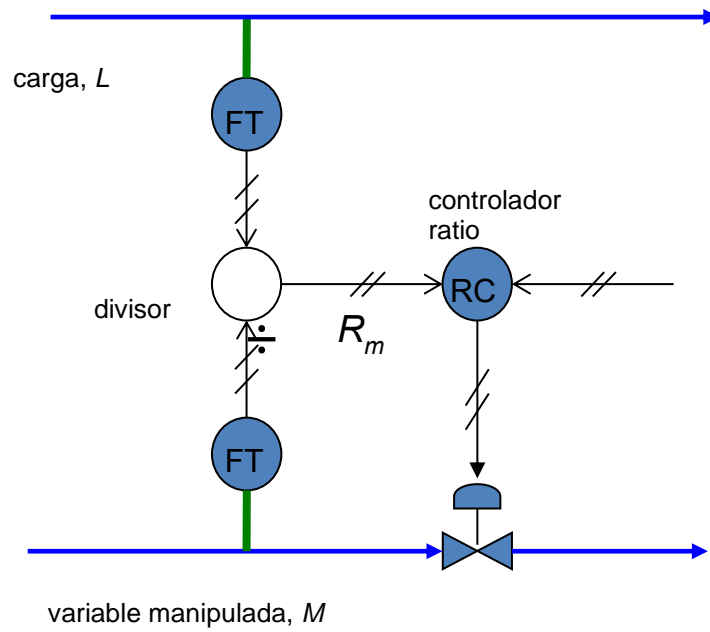
En un caso real, nunca el modelo es exacto por lo que la respuesta nunca será perfecta.

Control por relación (“ratio control”)

Es un tipo particular de control feedforward en donde el objetivo de control es la relación entre dos variables de proceso (p.ej., mantener determinada relación de mezcla, mantener relación estequiométrica de reactantes, mantener determinada relación de recirculación, mantener determinada relación de aire/combustible).

Se define la relación entre la variable manipulada y la carga

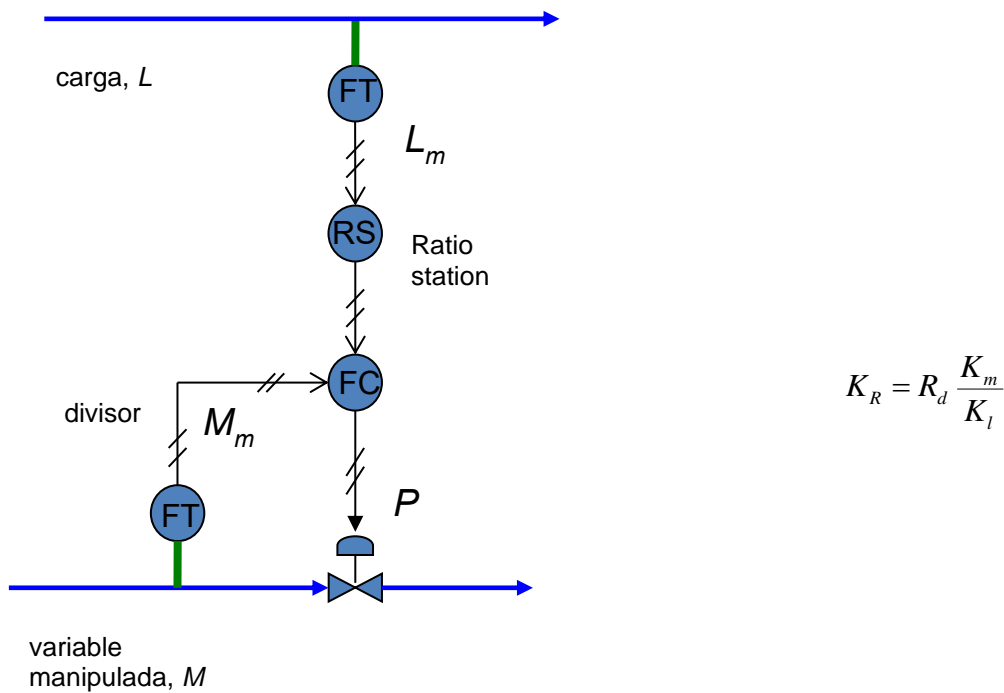
$$R_a = \frac{M}{L}$$



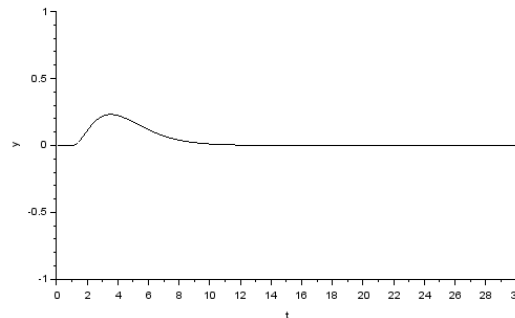
Hay que usar un divisor, que calcula la relación entre las variables medidas R_m , señal que se envía a un controlador PI. Esto implica que la ganancia del proceso es variable en forma no lineal con la carga:

$$K_p = \left(\frac{\partial R_a}{\partial M} \right)_L = \frac{1}{L}$$

Otra alternativa es la siguiente disposición: la “Ratio Station” multiplica la señal medida de la carga por un factor o ganancia ajustable K_R . La salida de esta “estación” es el set point del controlador.

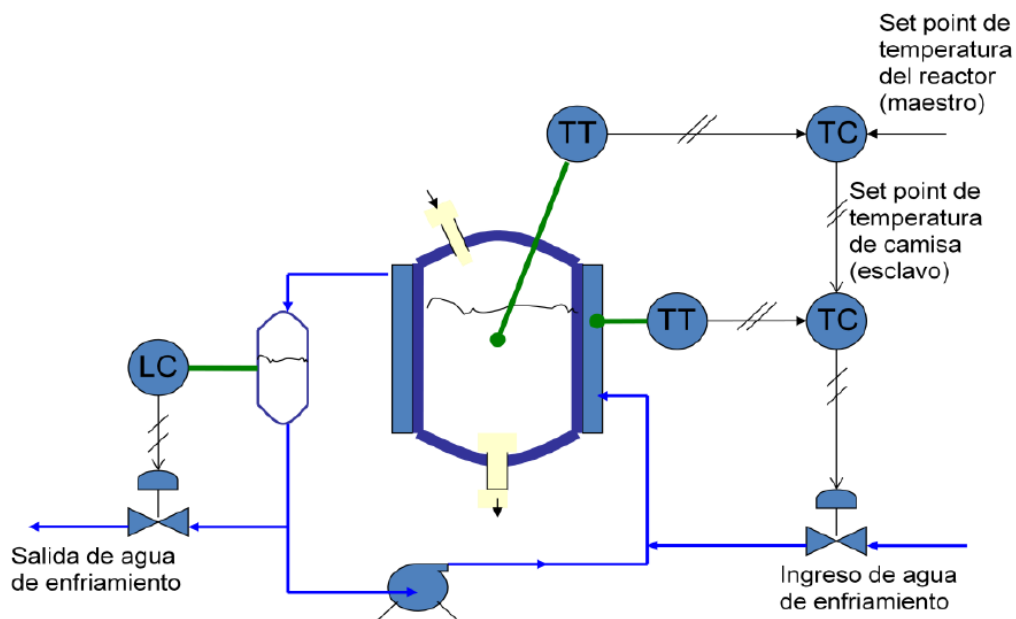


Donde K_m y K_l son los rangos (“spans”) de los transmisores de flujo de la variable manipulada y la carga respectivamente. (Si se usaran orificios como medidores de presión la ganancia tendría que ser proporcional a R_d^2). Véase ‘ejem19.3.xcos’.

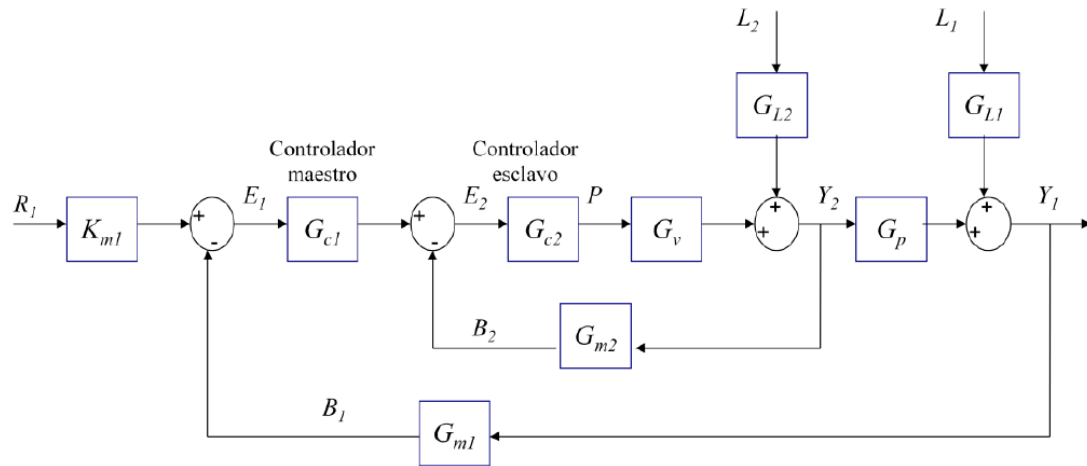


Control en cascada

Como ya se mencionó, una desventaja del control feedback es que debe existir una señal de error para que ocurra una actuación. El control feedforward mejora este aspecto, particularmente importante cuando están involucradas constantes de tiempo grandes o delays. No obstante el feedforward requiere medir las perturbaciones en forma explícita, y además un modelo para calcular la salida del controlador. Una alternativa es usar un segundo punto de medida y un segundo controlador feedback (esclavo), que recibe la indicación del set point del controlador maestro. Por ejemplo, para un tanque agitado:



El diagrama de bloques sería



Supongamos $R_1 = L_1 = 0$ y solo varía L_2 . Entonces

$$\begin{aligned} Y_1 &= G_p Y_2 \\ Y_2 &= G_{L2} L_2 + G_v G_{C2} E_2 \\ E_2 &= \tilde{R}_2 - B_2 = G_{C1} E_1 - G_{m2} Y_2 \\ E_1 &= -G_{m1} Y_1 \end{aligned}$$

Y se llega a

$$\frac{Y_1}{L_2} = \frac{G_p G_{L2}}{1 + G_{C2} G_v G_{m2} + G_{C1} G_{C2} G_v G_p G_{m1}}$$

En forma similar

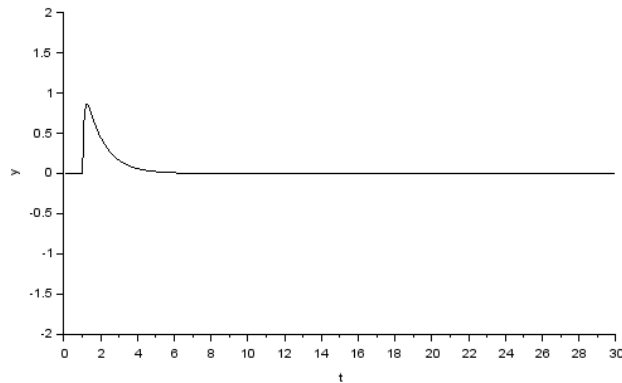
$$\frac{Y_1}{R_1} = \frac{G_{C1} G_{C2} G_v G_p K_m}{1 + G_{C2} G_v G_{m2} + G_{C1} G_{C2} G_v G_p G_{m1}}$$

$$\frac{Y_1}{L_1} = \frac{G_{L1} (1 + G_{C2} G_v G_{m2})}{1 + G_{C2} G_v G_{m2} + G_{C1} G_{C2} G_v G_p G_{m1}}$$

Y para el bucle interno

$$\frac{Y_1}{R_2} = \frac{G_{C2} G_v}{1 + G_{C2} G_v G_{m2}}$$

En general el control en cascada tiende a incrementar las características de estabilidad del sistema lo cual permite aumentar el valor de la ganancia del controlador maestro. También es menos sensible a los errores derivados de un pobre conocimiento del modelo del proceso. El ciclo interno debe tener una dinámica más rápida que el primario. En general se usan controladores P o PI en el esclavo y PI o PID en el maestro. Véase 'ejem19.4.xcos'.

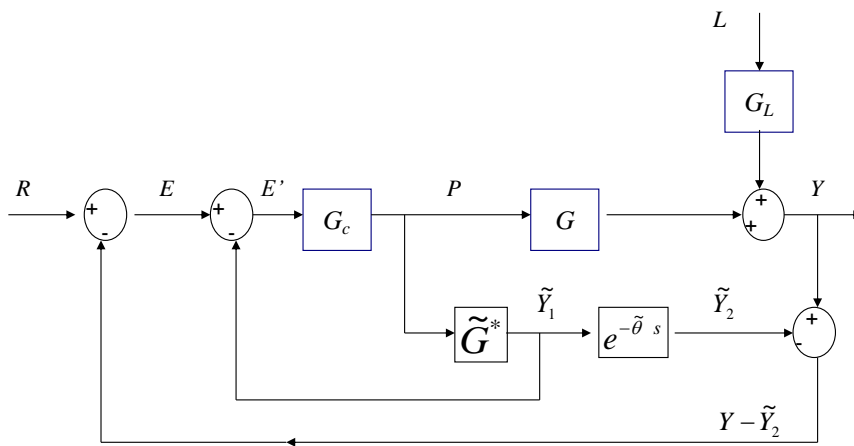


Control selectivo (“override control”)

Existen selectores que permiten transferir el control de un bucle a otro cuando se supera cierto límite, accionando sobre el mismo actuador. Se aplica mucho cuando están en juego razones de seguridad.

Compensación por tiempo muerto

Se considera un Controlador basado en un modelo (en forma similar al IMC), por ejemplo, el predictor de Smith:



$$E' = E - \tilde{Y}_1 = R - \tilde{Y}_1 - (Y - \tilde{Y}_2)$$

Si el modelo del proceso es perfecto entonces $\tilde{Y}_2 = Y$ y $E' = R - \tilde{Y}_1$
 Con lo cual el controlador actúa con una señal como si no existiera el delay.

Control inferencial

Hay ciertos casos en que la variable a controlar no puede medirse en línea. Sin embargo puede recurrirse a una estimación en base a cierta relación físicoquímica o a cierto modelo. Por ejemplo, en una destilación la composición del producto no puede medirse en línea pero se recurre a medir la temperatura y en función de ello (p.ej. usando la regla de las fases de Gibbs) inferir la composición. Cuando es en base a un algoritmo suele hablarse de “observadores” o “software sensors”.

Control adaptativo

En este tipo de control los parámetros del controlador se ajustan automáticamente frente a cambios en las condiciones operativas del proceso. Puede usarse por ejemplo frente a: fouling de intercambiadores, condiciones inusuales de operación (paradas, arranques, sistemas en batch), perturbaciones grandes y frecuentes, grandes variaciones ambientales, cambios en las especificaciones de los productos, fuerte comportamiento no lineal.

Si se puede anticipar el cambio, entonces se puede recurrir a la adaptación programada. De lo contrario se recurre a controladores autoajustables (self-tuning).