

Control de Procesos Químicos

Tema 3 – Control por realimentación

Tipos de control

Control Proporcional

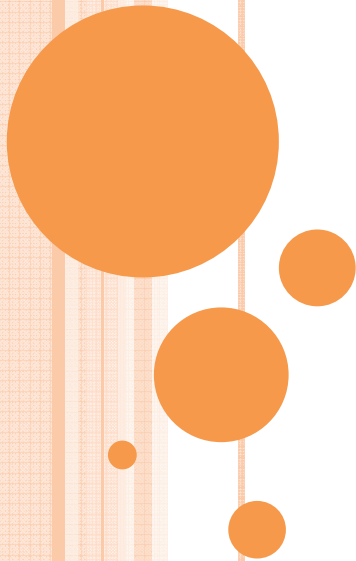
Control Integral

Control Derivativo

Sintonización de lazos de control

Integración de procesos y controladores

Estabilidad en lazo cerrado



Introducción

En un lazo de control se van a encontrar siempre los siguientes elementos:

- Sensor + Transmisor
- Controlador
- Elemento final de control

Dentro del controlador también habrá diferentes partes:

- Receptor de señales analógicas (4-20 mA)
- Convertidor A/D
- Cálculo de la corrección en función del error
- Convertidor D/A

Los controladores, también de forma genérica dispondrán de:

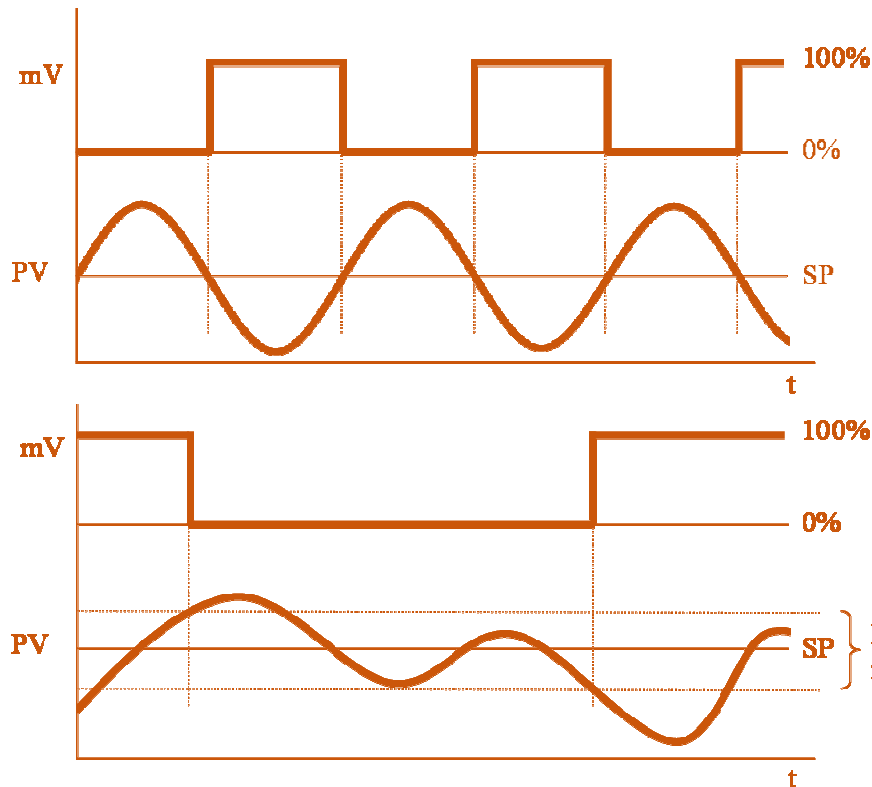
- Selector Manual – Automático, que son los dos modos generales de operación.
- Selección del signo de la acción.
- Muchos de ellos muestran capacidad de programación.

Control por realimentación

Tipos de control

Control de dos posiciones. Es la forma de control más rudimentaria que existe y se emplea cuando no es necesario un control fino. El comportamiento de este algoritmo se muestra en la siguiente expresión:

$$mv = 0\% \quad \text{si } PV > SP \quad \therefore \quad mv = 100\% \quad \text{si } PV < SP$$



Problemas relacionados con la instrumentación. Daño mecánicos en equipos al producirse una alternancia demasiado rápida entre estados.



Uso de banda muerta – Actúa como ciclo de histéresis. Los límites de la banda son los que ejecutan la orden de cambio, pero solamente cuando se sobrepasan en un determinado sentido.



En un control todo-nada no puede eliminarse completamente la oscilación de la variable modificada, sin embargo cuando en un proceso el retardo es muy grande la desviación con respecto al set point puede no ser perceptible pues el tiempo por ciclo es muy elevado.

Tipos de control

Acción Proporcional. Es el modo de control continuo más simple que hay y que puede eliminar las oscilaciones en los lazos de control feedback o de realimentación. Por el contrario, aunque es capaz de eliminar las oscilaciones puede ocurrir que no lleve al proceso hasta el punto de consigna.

$$mv = \bar{m} + K_c \cdot [Y_r(t) - Y_m(t)] = \bar{m} + K_c \cdot e(t)$$

Señal de Bias (m). Valor de salida del controlador cuando el error es nulo. El ajuste de este parámetro debe hacerse manualmente haciendo que coincidan la variable controlada con el punto de consigna.

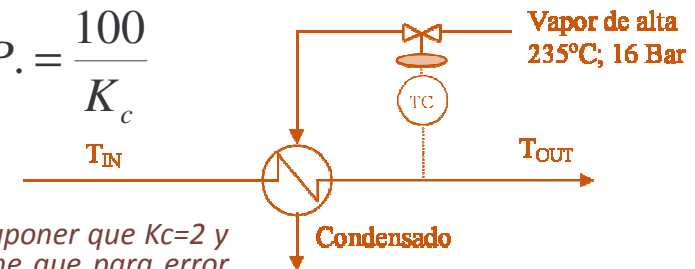
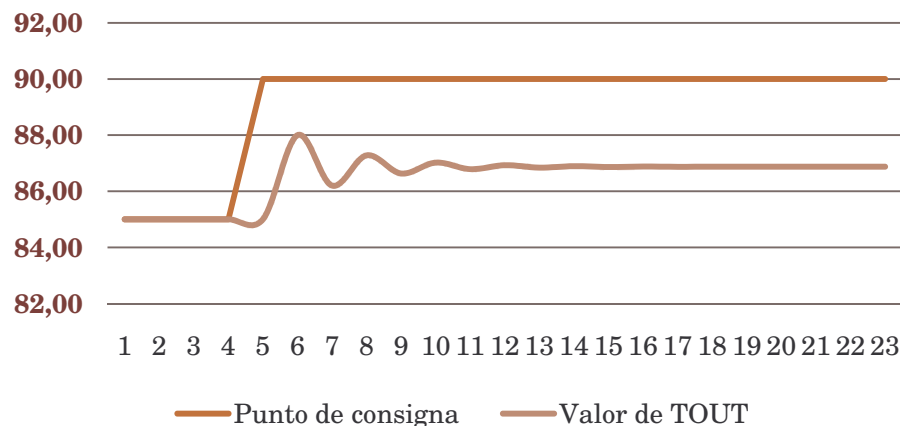
Ganancia del controlador (Kc). Único parámetro ajustable del algoritmo de control proporcional. Corresponde con la definición clásica de la misma, pero se suele emplear más la Banda proporcional.

La corrección proporcional al error hace que se alcance un nuevo estado estacionario para el proceso pero la ausencia de términos dinámicos (diferenciales) no permite que el controlador por sí mismo recupere al proceso para llevarlo hasta el punto de consigna por lo que siempre se va a producir una desviación, aunque estacionaria.

$$K_c = \frac{\Delta Output}{\Delta Input} = \frac{\Delta mv}{\Delta e}$$

$$B.P. = \frac{100}{K_c}$$

Suponer que se precisa que $SP = 85^\circ C$ para TOUT. Suponer que $K_c=2$ y que $K_p=0.3$. En esas condiciones también se supone que para error nulo $OP = 50\%$ (12 mA) por lo que la señal de Bias (m) es 12 mA. Si elevamos el punto de consigna a $90^\circ C$ entonces la salida sube al 60%



Función de transferencia
Surge de aplicar Laplace al algoritmo en variables de perturbación.

$$G(s) = K_c$$

Tipos de control

Acción Integral. (Función *Reset*). El objetivo de la acción integral es la de eliminar cualquier error que pueda existir sea estacionario o no. La función integral, por sí sola, se implementaría a través del siguiente algoritmo.

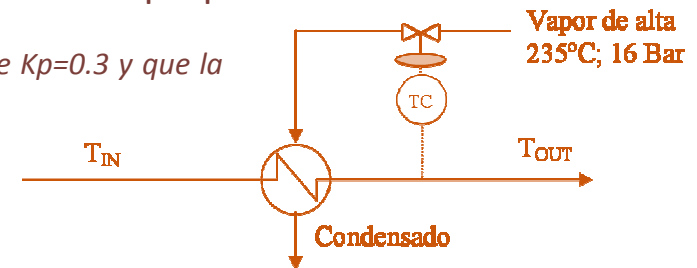
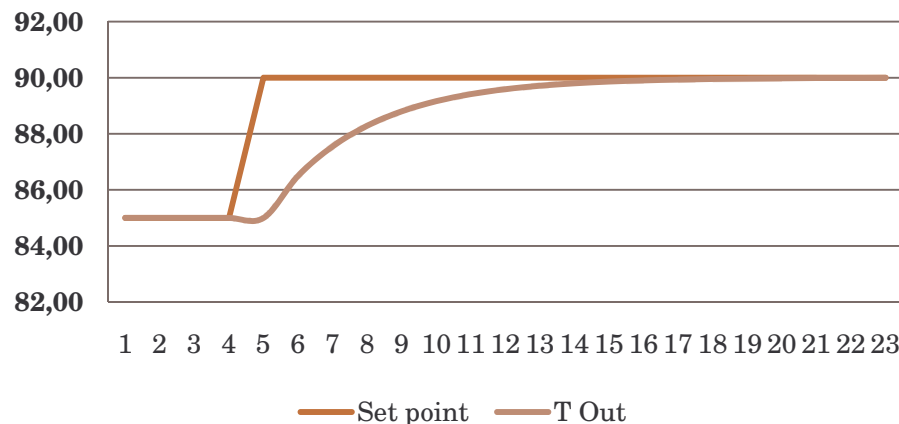
$$mv = \bar{m} + \frac{K_c}{\tau_i} \cdot \int_0^t [Y_r(t) - Y_m(t)] dt$$

La salida de control es, por tanto, proporcional a la integral del error en el tiempo.

Tiempo integral (τ_i) se define como tiempo integral que es el parámetro que define a dicha acción. La definición correcta de este parámetro es el tiempo que precisa la salida de control para cambiar con una magnitud igual a la del error. $1/\tau_i$ tiene unidades de repeticiones por unidad de tiempo. Se trata de un parámetro que es ajustable o sintonizable.

Este tipo de control ejerce la acción de control siempre que exista un error y por tanto da lugar a una eliminación completa del error que no era capaz de corregir el control proporcional.

Suponer que se precisa que $SP = 85^\circ\text{C}$ para T_{OUT} . Suponer que $K_c=2$, $\tau_i=1 \text{ s}^{-1}$ y que $K_p=0.3$ y que la señal de Bias (m) sigue siendo 50%, es decir 12 mA.



Respuesta relativamente lenta frente a una desviación, por lo que esta puede acumularse y dar lugar a inestabilidad.

Función de transferencia

$$G(s) = \frac{mv(s)}{e(s)} = \left(\frac{K_c}{\tau_i \cdot s} \right)$$

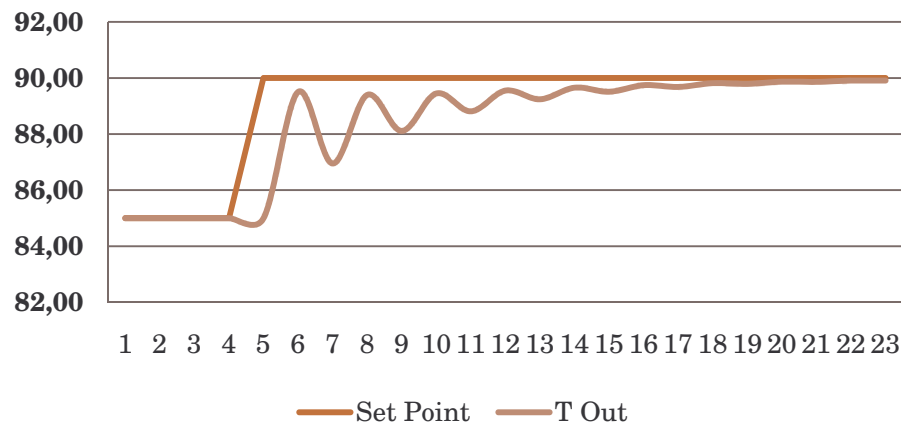
Tipos de control

Acción Proporcional-Integral. (Combinación de ambas funciones). El objetivo de la combinación de la acción proporcional con la integral es la de obtener las ventajas que ofrecen ambas acciones, la velocidad y rapidez de respuesta de la acción proporcional junto con la capacidad de eliminar el error en estado estacionario de la acción integral. La combinación de ambas funciones se implementaría a través del siguiente algoritmo.

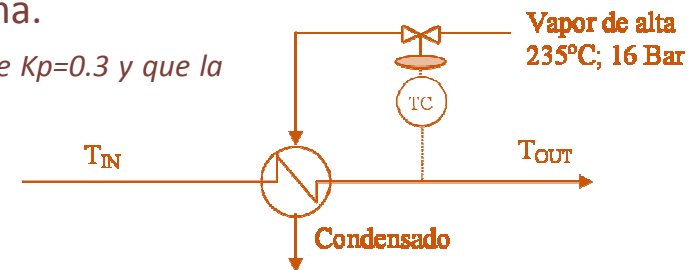
$$mv = \bar{m} + K_c \cdot \left\{ [Y_r(t) - Y_m(t)] + \frac{1}{\tau_i} \cdot \int_0^t [Y_r(t) - Y_m(t)] dt \right\}$$

La combinación de ambas funciones se hace a través de la suma.

Suponer que se precisa que $SP = 85^\circ\text{C}$ para TOUT. Suponer que $K_c=2$, $\tau_i=1 \text{ s}^{-1}$ y que $K_p=0.3$ y que la señal de Bias (m) sigue siendo 50%, es decir 12 mA.



En instantes posteriores a la perturbación domina la acción proporcional, cuya desviación hacia el error en estado estacionario es corregida por la acción integral, que va cobrando importancia a medida que se consideran tiempos más largos.



La desventaja inherente al control combinado proporcional-integral es su respuesta frente a errores muy grandes, que lleva al sistema hasta un extremo del control (0% ó 100%), lo que lleva a la SATURACIÓN DE LA ACCIÓN INTEGRAL. Por este motivo no se emplea en sistemas con paradas y arranques frecuentes.

Función de transferencia:

$$G(s) = \frac{mv(s)}{e(s)} = K_c \cdot \left(1 + \frac{1}{\tau_i \cdot s} \right)$$

Tipos de control

Acción Derivativa. La incorporación de la acción derivativa persigue conocer la velocidad a la que el error se va modificando, con el objeto de intervenir antes de que se produzca una desviación demasiado importante como para dar lugar a la saturación de la acción integral. Su consideración viene dada a través del cálculo de la variación del error con el tiempo, es decir, su derivada

$$mv = \bar{m} + \tau_D \cdot \frac{d[Y_r(t) - Y_m(t)]}{dt}$$

La acción derivativa no puede implementarse por sí sola y, al menos, debe combinarse con la acción proporcional para dar lugar al control proporcional-derivativo (PD).

$$mv = \bar{m} + K_c \cdot \left\{ [Y_r(t) - Y_m(t)] + \tau_D \cdot \frac{d[Y_r(t) - Y_m(t)]}{dt} \right\}$$

Y más frecuentemente junto con las acciones proporcional e integral, dando lugar al algoritmo de control más empleado, el control proporcional-integral-derivativo (PID).

$$mv = \bar{m} + K_c \cdot \left\{ [Y_r(t) - Y_m(t)] + \frac{1}{\tau_i} \cdot \int_0^t [Y_r(t) - Y_m(t)] dt + \tau_D \cdot \frac{d[Y_r(t) - Y_m(t)]}{dt} \right\}$$

La acción de control derivativa tiene cierto carácter anticipativo (mide el grado de variación y sentido de modificación del error) y otorga estabilidad, aunque no se emplea en el control de variables de respuesta rápida o con mucho ruido (caudal, presión,...).

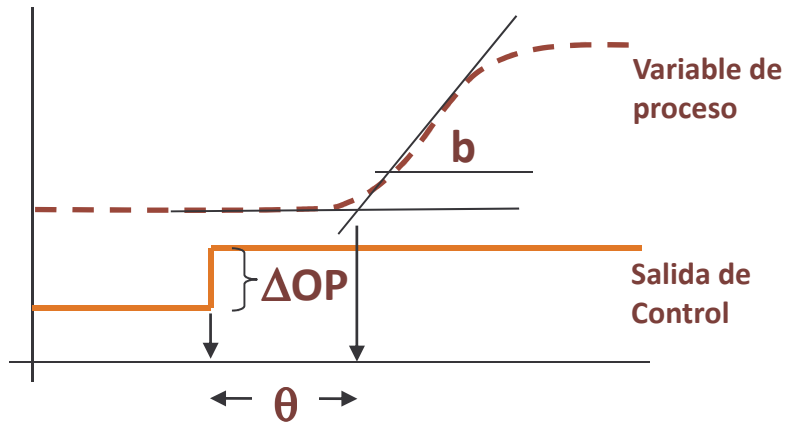
Función de transferencia:

$$G(s) = K_c \cdot \left(1 + \frac{1}{\tau_i \cdot s} + \tau_D \cdot s \right)$$

Sintonización de controladores. Ajustes de parámetros PID

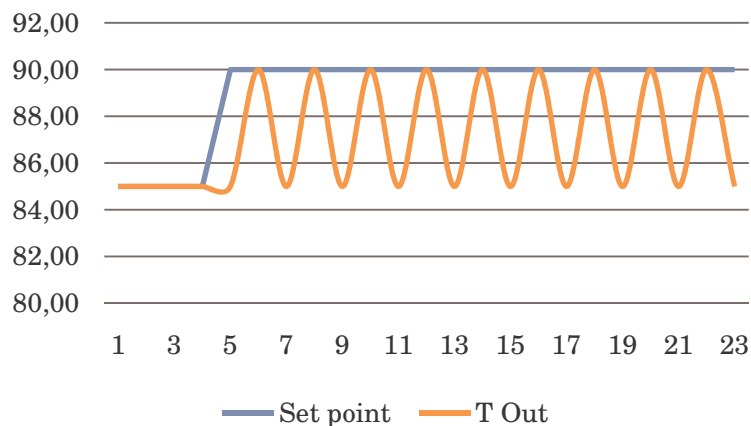
Métodos de Ziegler Nichols.

Curva de Acción-Reacción: Método de ajuste en manual. Se introduce una perturbación en escalón sobre la salida de control y se registra la respuesta de la variable controlada.



Tipo de controlador	K_c	τ_i	τ_D
Proporcional	b/θ	∞	0
Proporcional-Integral	$0,9 \cdot b/\theta$	$\theta/0,3$	0
Proporcional-Integral-derivativo	$1,2 \cdot \Delta OP / (b \cdot \theta)$	$2 \cdot \theta$	$0,5 \cdot \theta$

Método de la última ganancia: Método de ajuste en automático. Se opera con el controlador en proporcional y se va aumentando el valor de la ganancia hasta oscilación sostenida (Ganancia crítica K_{cr} – Límite de estabilidad).

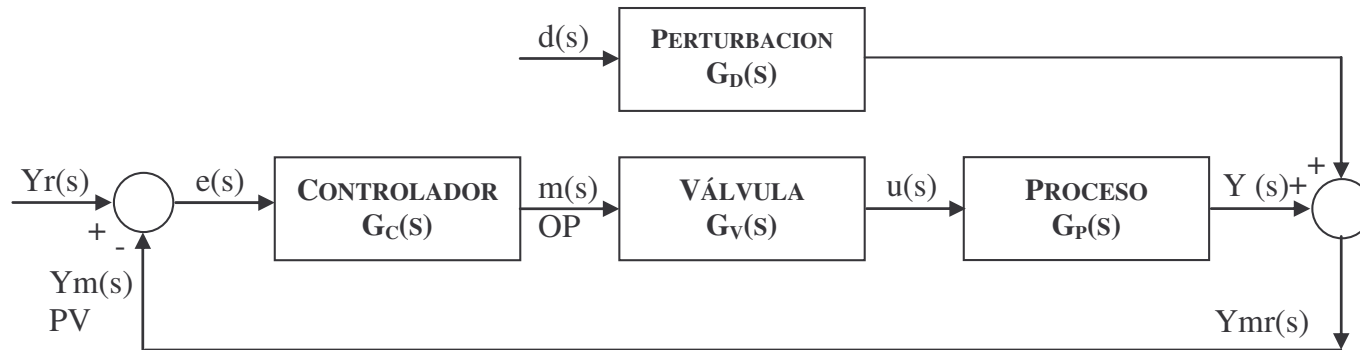


Tipo de controlador	K_c	τ_i	τ_D
Proporcional	$0,5 \cdot K_{cr}$	∞	0
Proporcional-Integral	$0,45 \cdot K_{cr}$	$1 / (1,2 \cdot P_{cr})$	0
Proporcional-Integral-derivativo	$0,6 \cdot K_{cr}$	$0,5 \cdot P_{cr}$	$0,125 \cdot P_{cr}$

Integración de procesos y controladores

Diagramas de bloques.

Representan la integración de los procesos con los sistemas de control, incluidos los sensores y elementos finales de control. Para un lazo de control por realimentación se tiene que:



$$Y_m(s) = G_C \cdot G_V \cdot G_P \cdot [Y_r(s) - Y_m(s)] + G_D \cdot d(s)$$

$$Y_m(s) = \frac{G_C \cdot G_V \cdot G_P}{1 + G_C \cdot G_V \cdot G_P} \cdot Y_r(s) + \frac{G_D}{1 + G_C \cdot G_V \cdot G_P} \cdot d(s)$$

Sustituyendo la función de transferencia del controlador, de la válvula y del proceso se obtiene la respuesta del sistema, frente a una perturbación $d(s)$ en el dominio de la frecuencia. Si se aplica la transformada inversa de Laplace, se obtiene la función en el dominio del tiempo.

El resto de características, incluidas la estabilidad del sistema con el controlador implementado, responden al mismo tratamiento que en el caso de procesos simples, haciendo uso de la función de transferencia global.

Ejemplo de sintonización de controladores en lazo cerrado → IQ

Bibliografía

- Título Process dynamics and control
Autor D.E. Seborg, T.F. Edgar, D.A. Mellichamp
Editorial Wiley, ISBN: 978-0-471-00077-8. 2003.
- Título A real time approach to process control
Autor William Y. Svrcek
Editorial John Wiley & Sons. ISBN: 0470025344. 2006
- Título DOE fundamentals handbook.
 Instrumentation and control. Vol 2
Autor US Department of Energy
Editorial DOE-HDBK-1013/2-92. 1992.