

*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

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

--

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Introducción

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

- Sensor + Transmisor
- Controlador
- Elemento final de control

Controlador también habrá diferentes partes:

Señales analógicas (4-20 mA)

A/D

Corrección en función del error

D/A

Además, también de forma genérica dispondrán

Modo Manual – Automático, que son los dos modos de operación.

El signo de la acción.

Los elementos muestran capacidad de programación.

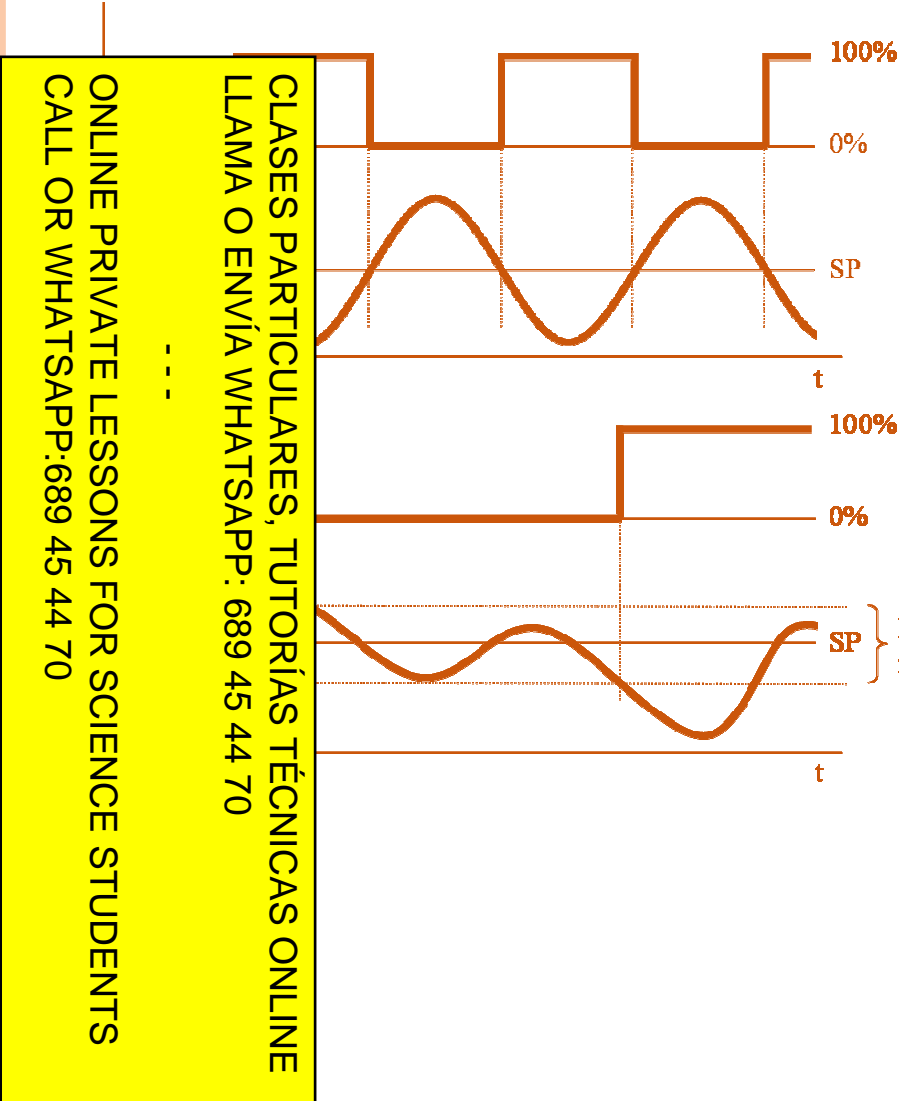
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ---  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# 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.

## Control por realimentación

### 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.

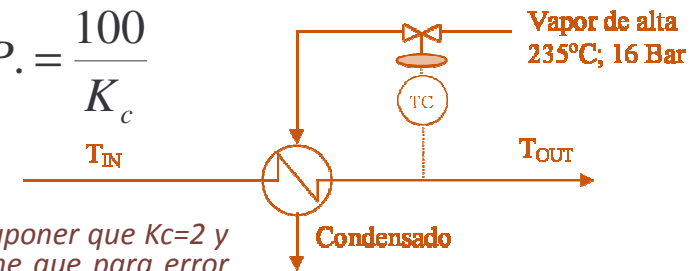
$$mv = \bar{m} + K_c \cdot [Y_r(t) - Y_m(t)] = \bar{m} + K_c \cdot e(t)$$

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

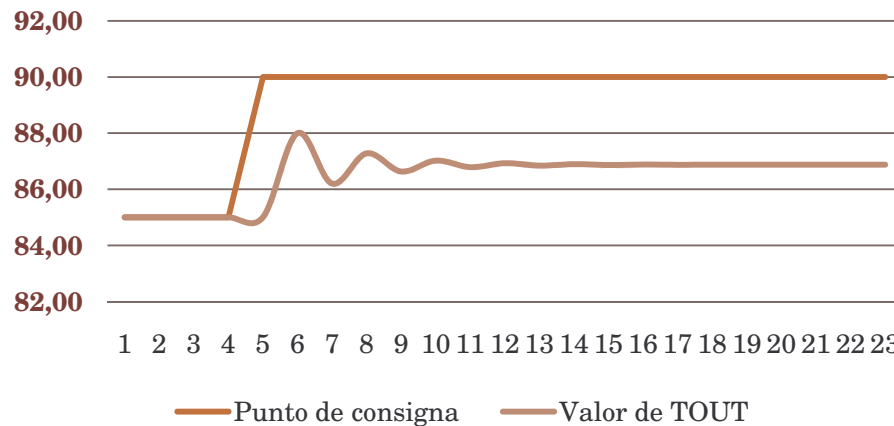
**Ganancia del controlador (Kc).** Único parámetro ajustable del algoritmo de control proporcional. En la definición clásica de la misma, pero se suele emplear más la Banda proporcional.

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

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



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.

$$G(s) = K_c$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Control por realimentación

### 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.

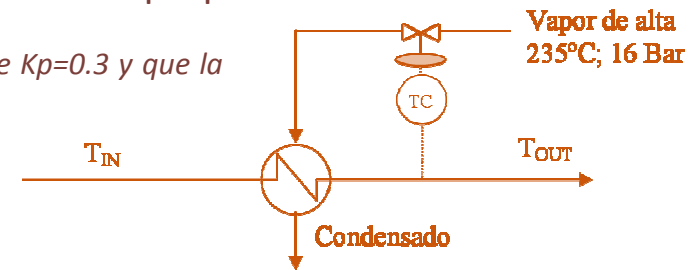
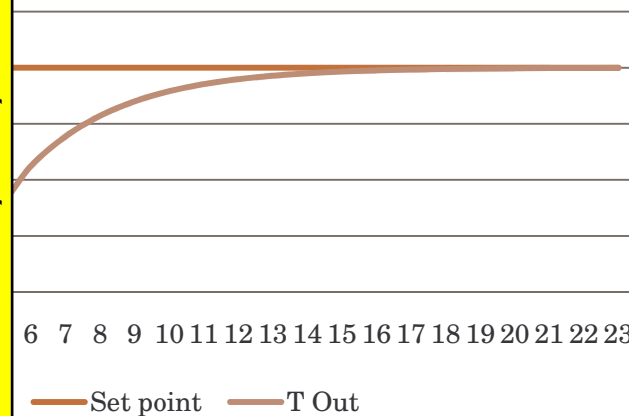
$$mv = \bar{m} + \frac{K_c}{\tau_i} \cdot \int_0^t [Y_r(t) - Y_m(t)] dt$$

El control es, por tanto, proporcional a la integral del error en el tiempo.

El tiempo integral ( $\tau_i$ ) se define como tiempo integral que es el parámetro que define a dicha acción. La constante 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.

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

Para una temperatura de consigna 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 ganancia de la válvula es de 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

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

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

## Control por realimentación

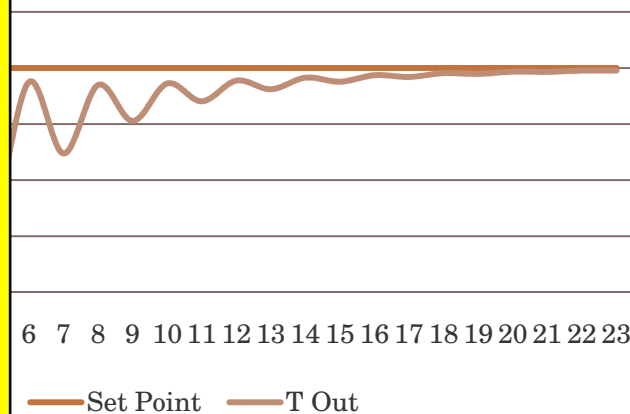
### Tipos de control

**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.

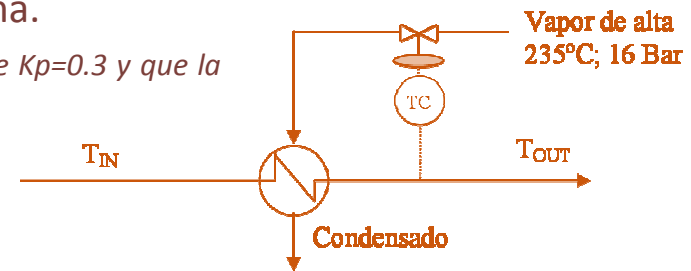
$$mv = \bar{m} + K_c \cdot \left\{ [Y_r(t) - Y_m(t)] + \frac{1}{\tau_i} \cdot \int_0^t [Y_r(t) - Y_m(t)] dt \right\}$$

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

Para un ejemplo, se considera un sistema de control de temperatura con una setpoint  $SP = 85^\circ\text{C}$  para TOUT. Suponer que  $K_c=2$ ,  $\tau_i=1 \text{ s}^{-1}$  y que  $K_p=0.3$  y que la ganancia de la acción proporcional es del 50%, es decir 12 mA.



Antes de la perturbación domina la acción proporcional, cuya desviación hacia el setpoint 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:

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

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

### 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).

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

Al combinar además junto con las acciones proporcional e integral, dando lugar al algoritmo de control proporcional-integral-derivativo (PID).

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

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

Transferencia:

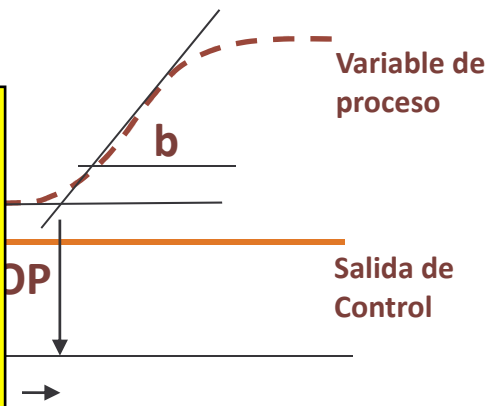
$$G(s) = K_c \cdot \left( 1 + \frac{1}{\tau_i \cdot s} + \tau_D \cdot s \right)$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
--  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Sintonización de controladores. Ajustes de parámetros PID

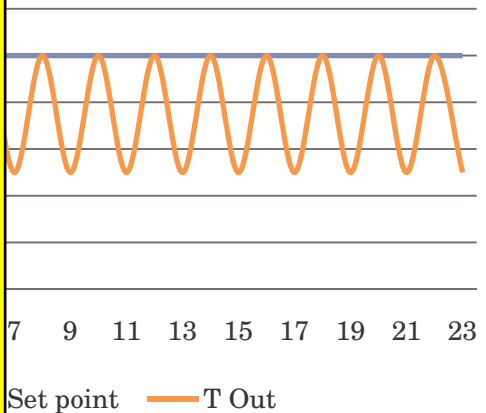
Métodos de Ziegler Nichols.

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	$K_c$	$\tau_i$	$\tau_D$
Proporcional	$b/\theta$	$\infty$	0
Proporcional-Integral	$0,9 \cdot b/\theta$	$\theta/0,3$	0
Proporcional-Integral-derivativo	$1,2 \cdot \Delta OP / (b \cdot \theta)$	$2 \cdot \theta$	$0,5 \cdot \theta$

Ultima ganancia: Método de ajuste en automático. Se opera con el controlador en manual y se va aumentando el valor de la ganancia hasta oscilación sostenida (Ganancia crítica de estabilidad).



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

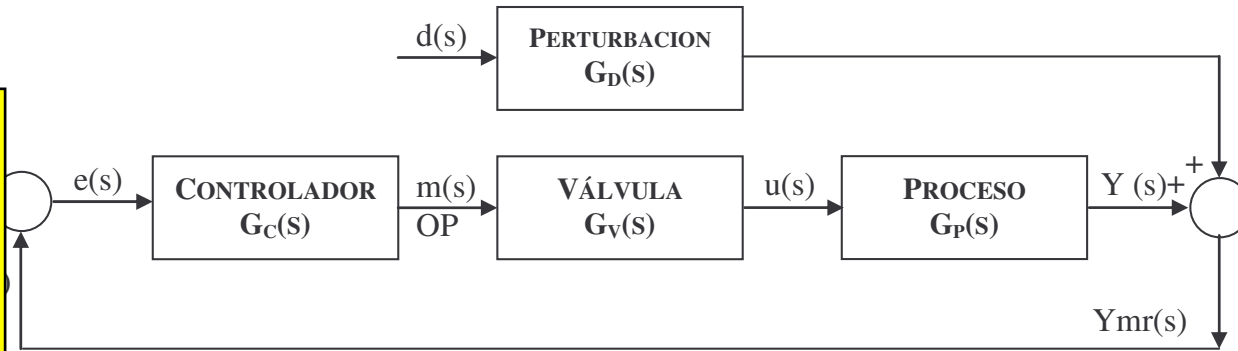
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



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:



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

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

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

Características, incluidas la estabilidad del sistema con el controlador implementado, se analizan con el mismo tratamiento que en el caso de procesos simples, haciendo uso de la función de transferencia global.

Clasificación de controladores en lazo cerrado → IQ

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

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.