

---

*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



Cartagena99

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

En el control se van a encontrar siempre los siguientes elementos:

1. Transmisor

2. Señal de control

3. Controlador también habrá diferentes partes:

3.1. Señales analógicas (4-20 mA)

3.2. A/D

3.3. Corrección en función del error

3.4. D/A

3.5. En algunos casos, también de forma genérica dispondrán

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

3.6. El signo de la acción.

3.7. Algunos muestran capacidad de programación.



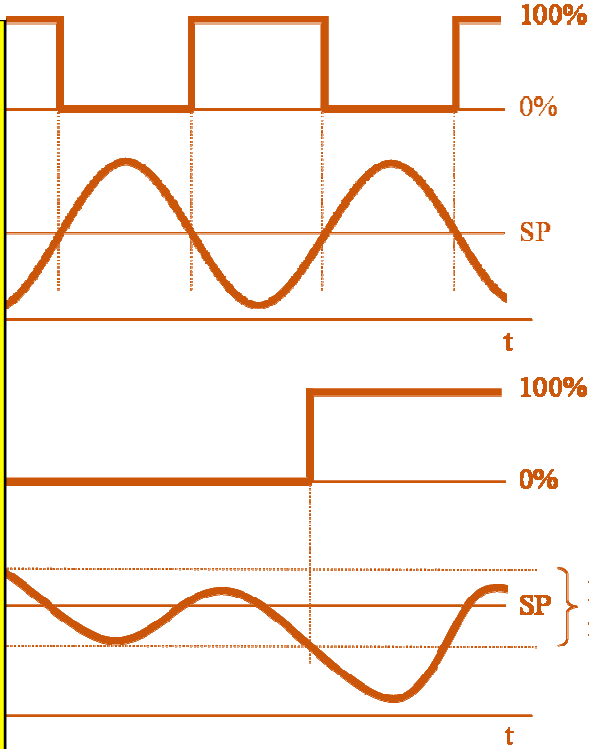
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
--  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Control por realimentación

## trol

posiciones. Es la forma de control más rudimentaria que existe y se emplea cuando un control fino. El comportamiento de este algoritmo se muestra en la siguiente

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



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.



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

### Control

**Proporcional.** Es el modo de control continuo más simple que hay y que puede eliminar los 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.

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

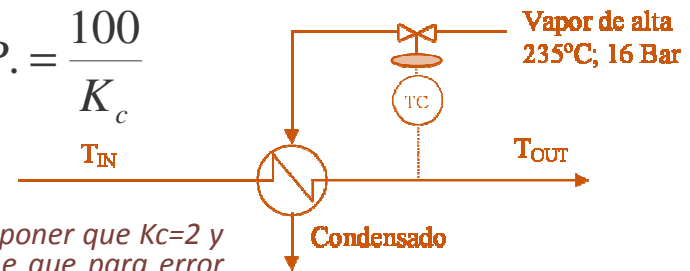
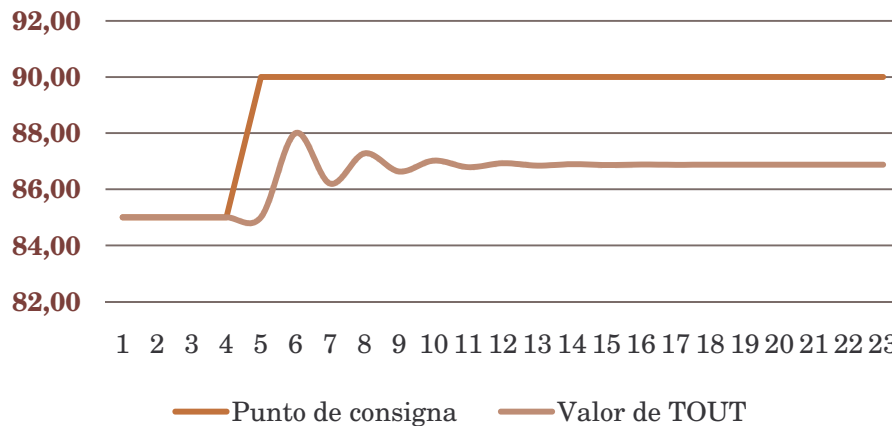
1). Valor de salida del controlador cuando el error es nulo. El ajuste de este parámetro se realiza habitualmente haciendo que coincidan la variable controlada con el punto de consigna.

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

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

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

Suponer que se precisa que  $SP = 85^\circ\text{C}$  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  $90^\circ\text{C}$  entonces la salida sube al 60%



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

$$G(s) = K_c$$

Cartagena99

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

### Control

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

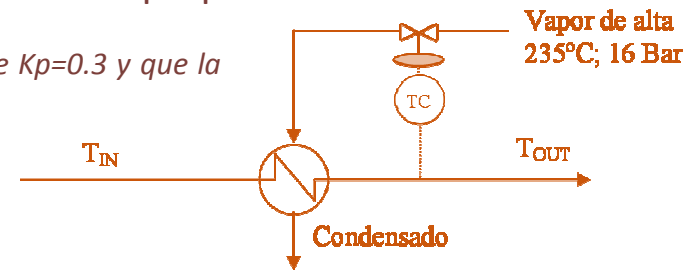
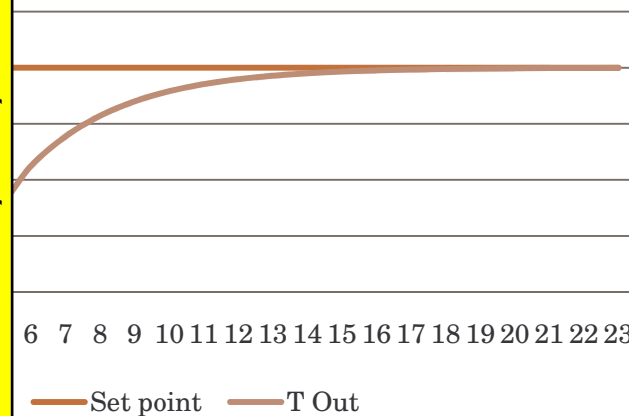
$$mv = \bar{m} + \frac{K_c}{\tau_i} \cdot \int_0^t [Y_r(t) - Y_m(t)] dt$$

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 demanda que  $SP = 85^\circ C$  para TOUT. Suponer que  $K_c=2$ ,  $\tau_i=1 s^{-1}$  y que  $K_p=0.3$  y que la ganancia de la válvula es del 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

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

Cartagena99

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

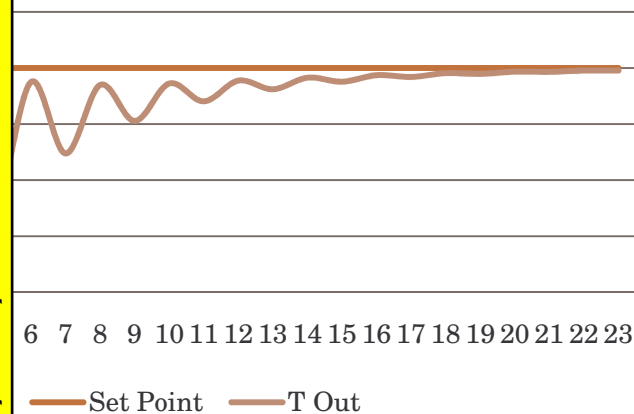
### Control

**Control 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 rapidez de respuesta de la acción proporcional junto con la capacidad de eliminar el error estacionario de la acción integral. La combinación de ambas funciones se implementaría a través de un algoritmo.

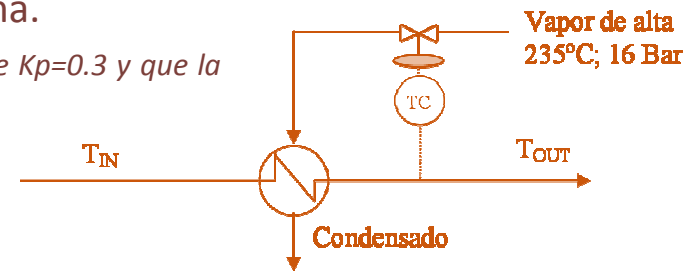
$$mv = \bar{m} + K_c \cdot \left\{ [Y_r(t) - Y_m(t)] + \frac{1}{\tau_i} \cdot \int_0^t [Y_r(t) - Y_m(t)] dt \right\}$$

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

Para un sistema con una constante de ganancia  $K_c=2$ , tiempo integral  $\tau_i=1 \text{ s}^{-1}$  y ganancia proporcional  $K_p=0.3$  y que la constante de tiempo es de  $50\%$ , es decir  $12 \text{ mA}$ .



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

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

Cartagena99

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

## rol

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

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

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

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

emente junto con las acciones proporcional e integral, dando lugar al algoritmo de pleado, el control proporcional-integral-derivativo (PID).

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

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

sferencia:

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



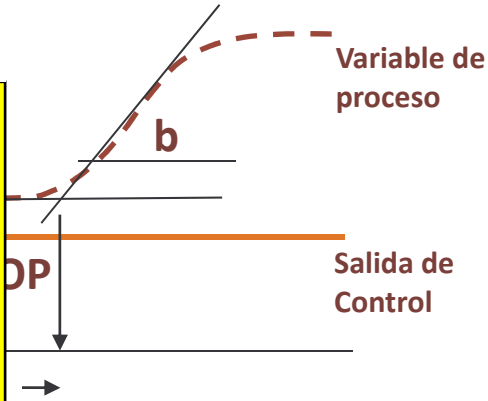
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

# Control por realimentación

## 1 de controladores. Ajustes de parámetros PID

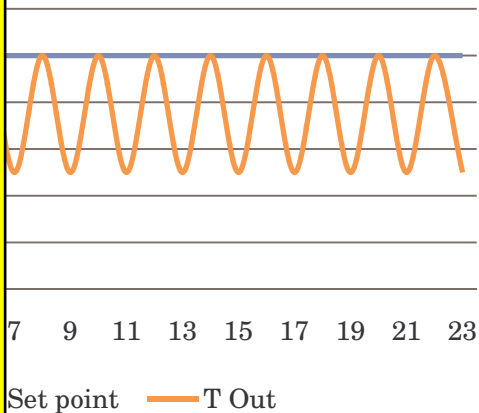
### gler Nichols.

1-Reacción: Método de ajuste en manual. Se introduce una perturbación en escalón e 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 se va aumentando el valor de la ganancia hasta oscilación sostenida (Ganancia crítica 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	$0,6 \cdot K_{cr}$	$0,5 \cdot P_{cr}$	$0,125 \cdot P_{cr}$



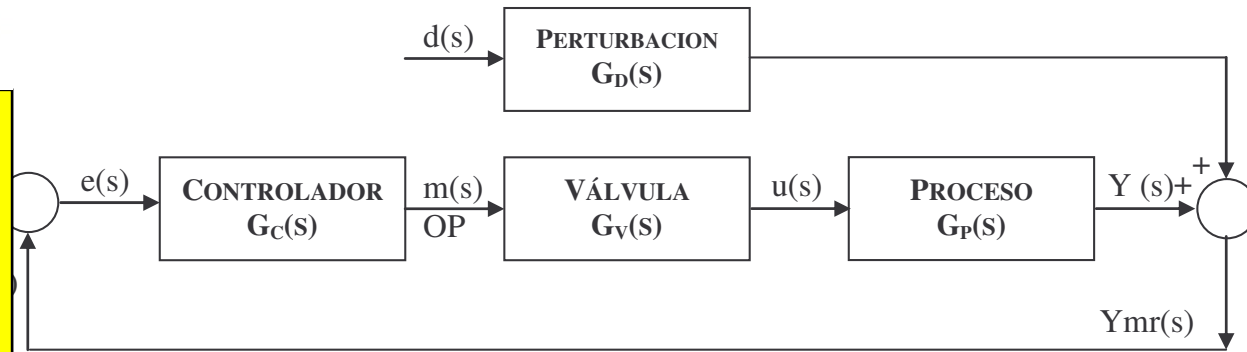
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70  
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70



## los procesos y controladores

loques.

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



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

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

La 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.

Las 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



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

ulo Process dynamics and control  
or D.E. Seborg, T.F. Edgar, D.A. Mellichamp  
torial Wiley, ISBN: 978-0-471-00077-8. 2003.

ulo A real time approach to process control  
or William Y. Svrcek  
torial John Wiley & Sons. ISBN: 0470025344. 2006

ulo DOE fundamentals handbook.  
Instrumentation and control. Vol 2  
or US Department of Energy  
torial DOE-HDBK-1013/2-92. 1992.



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