



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE MISIONES



FACULTAD
DE INGENIERÍA
UNaM

CONTROL AUTOMÁTICO

AÑO 2025

Ingeniería Mecatrónica



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE MISIONES



FACULTAD
DE INGENIERÍA
UNaM

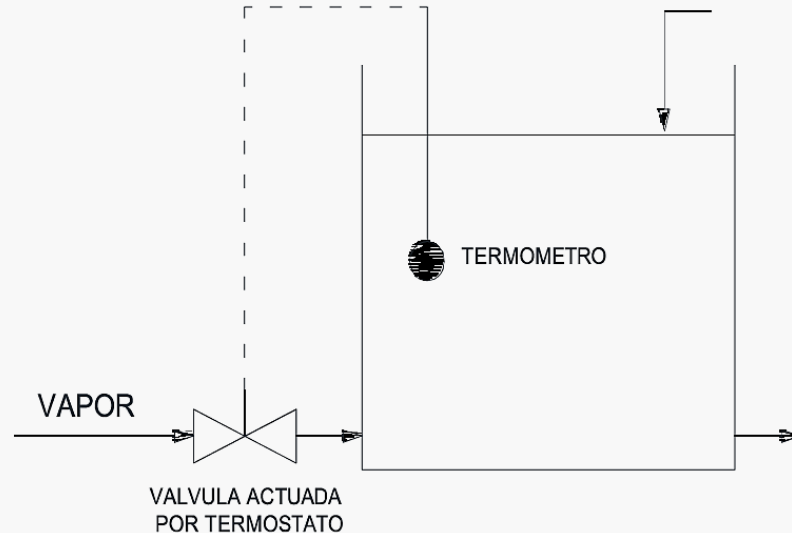
ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Control ON-OFF:

En un sistema de control on-off, el controlador, en respuesta a la señal de error a su entrada, solo tiene dos posiciones fijas a su salida como acción de control, independientemente de que el elemento final de control pueda tener posiciones intermedias a las anteriormente enunciadas.

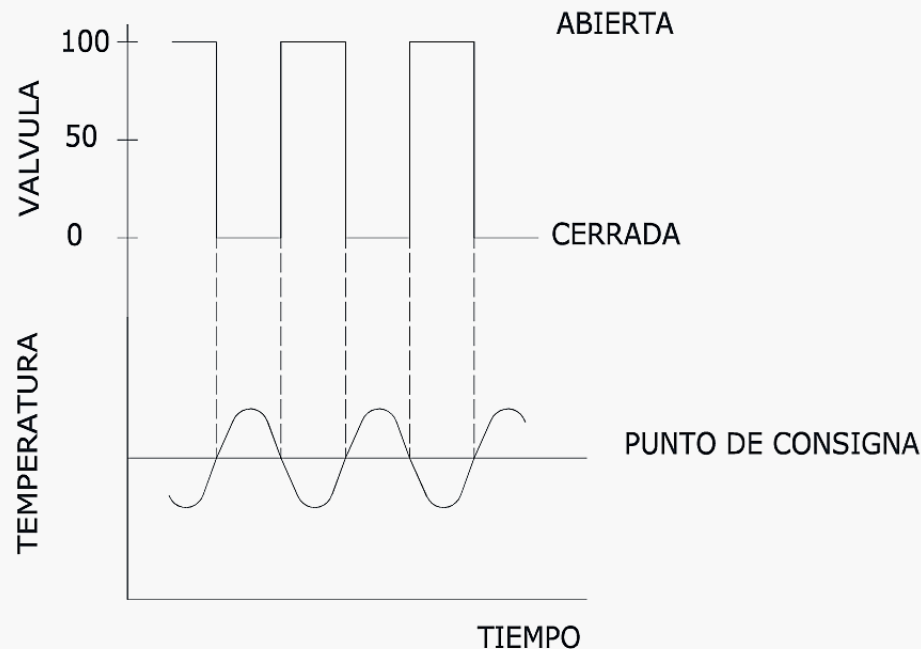
ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Veamos un ejemplo de un sistema de control on-off de inyección de vapor para controlar temperatura:



ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

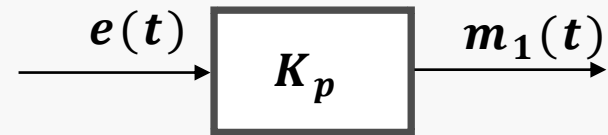
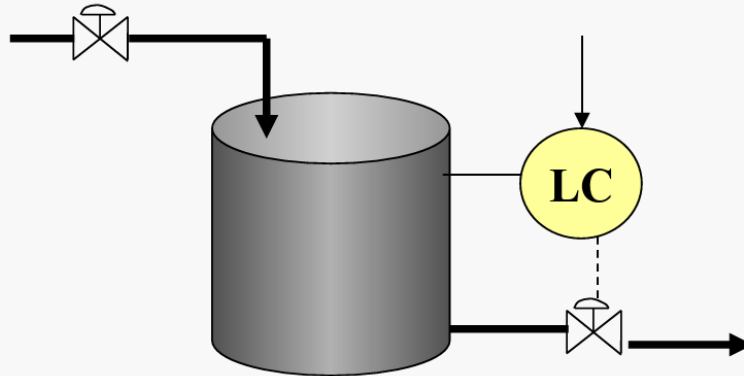
Hay un sobre-rango causado por la capacidad calorífica de la pared y la inercia térmica, después que la válvula cierra, el calor continúa suministrándose.



ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Acción proporcional:

La acción de control m_1 es proporcional al error e , la constante de proporcionalidad K_c es llamada ganancia proporcional (es el grado de amplificación del controlador).



ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Control PROPORCIONAL:

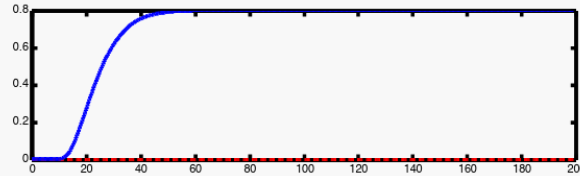
$m_1(0)$: Es el valor de error cero, $e = 0 \Rightarrow m_1(0) = 9 \text{ psi}$ ó $m_1(0)$ es el 50% de la salida del controlador, ó $m_1(0) = 12 \text{ mA}$.

$$m_1 = K_p \cdot e(t) + m_1(0)$$

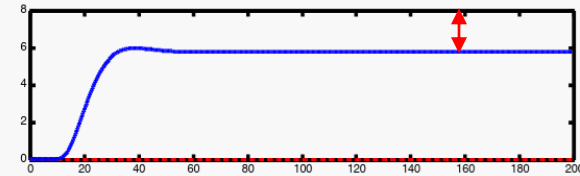
- La magnitud de la señal de salida del controlador m_1 es proporcional al error e .
- El sistema se estabiliza cuando r es igual a c (variable controlada igual al set point).
- El aumento de la ganancia produce la disminución del error y mejora la velocidad de respuesta.
- El aumento reiterado de la ganancia introduce inestabilidad.

ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

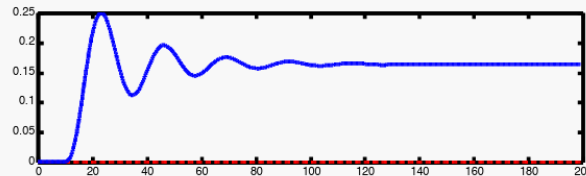
Offset



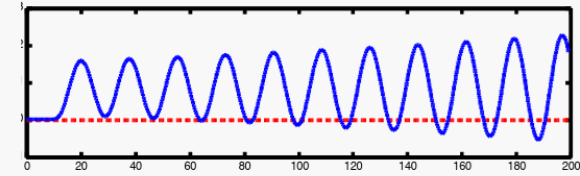
$K_c = 0$



$K_c = 10$



$K_c = 100$



$K_c = 220$

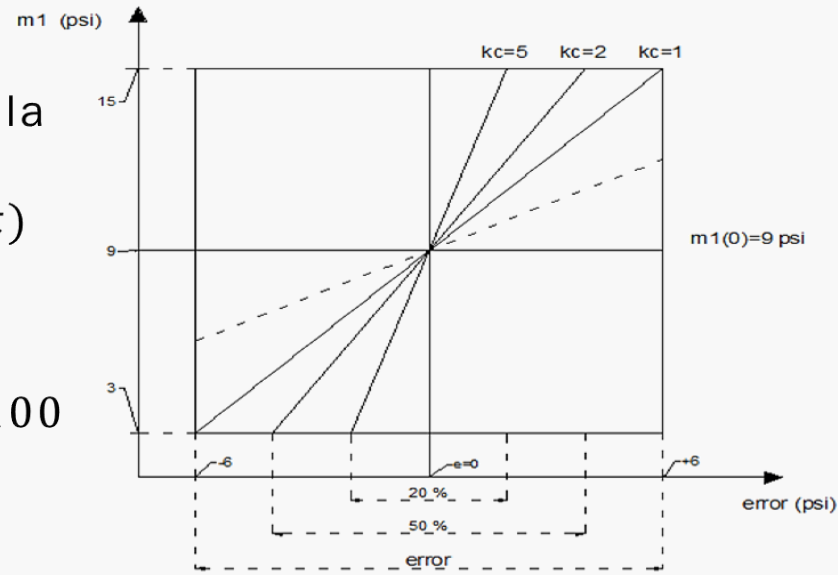
ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Control PROPORCIONAL:

Banda proporcional:

Porcentaje de variación necesaria en la entrada del controlador $\%e(t)$ para producir un cambio en su salida $m_1(t)$ del 100% de su rango.

$$B = \frac{1}{K_p} \cdot 100 = \frac{\% \text{ de cambio de } e}{\% \text{ de cambio de } m_1} \cdot 100$$



ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

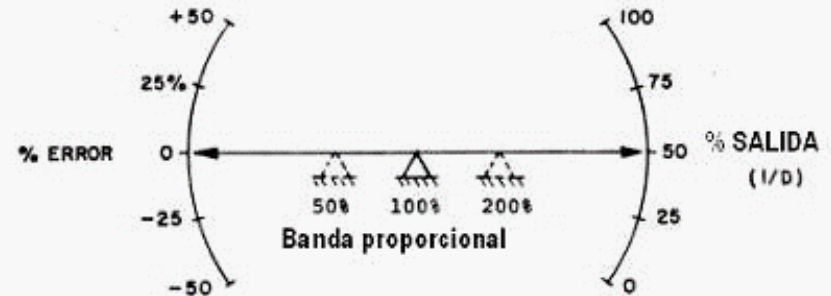
Control PROPORCIONAL:

Banda proporcional:

La ganancia es un valor especificado sin unidades, por el contrario la banda proporcional es siempre especificada como porcentaje.

Por ejemplos, un valor ganancia de 1 es equivalente a una banda proporcional de 100%, porque el error de entrada en este controlador debe cambiar en 100% para hacer un cambio en la salida en 100%.

FIGURA 7
ACCION PROPORCIONAL



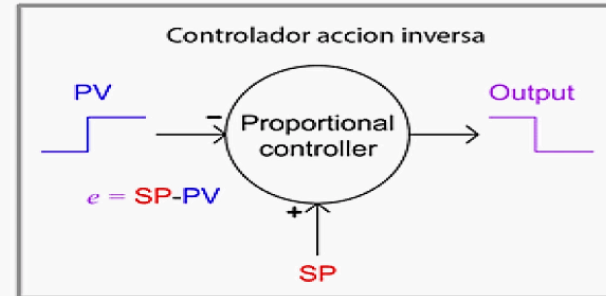
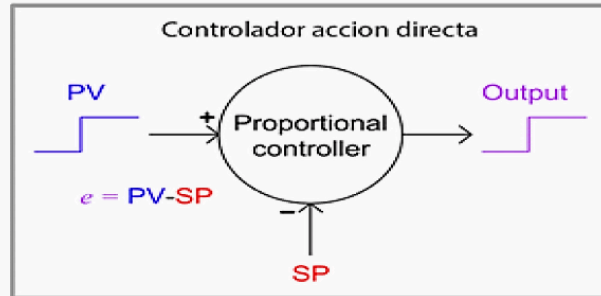
Cuanto más chica sea la banda proporcional, mayor cambio de salida para el mismo tamaño de medición de e .

ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Control PROPORCIONAL:

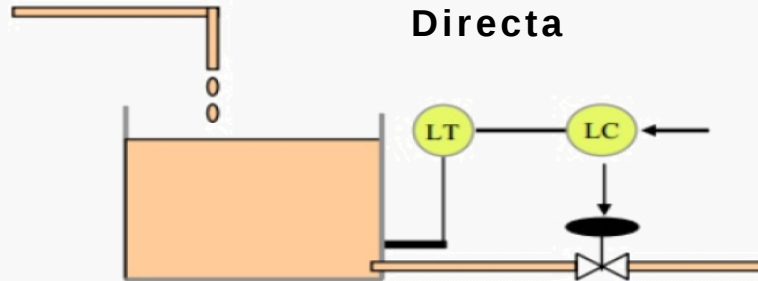
Banda directa e inversa

- Una ganancia negativa implica que la salida del controlador disminuye cuando la medición del proceso se incrementa. Esta acción de “aumento-disminución” es denominada un controlador de acción inversa.
- Para una ganancia positiva, la salida del controlador aumenta cuando la medición del proceso aumenta, y esta es denominada controlador de acción directa.

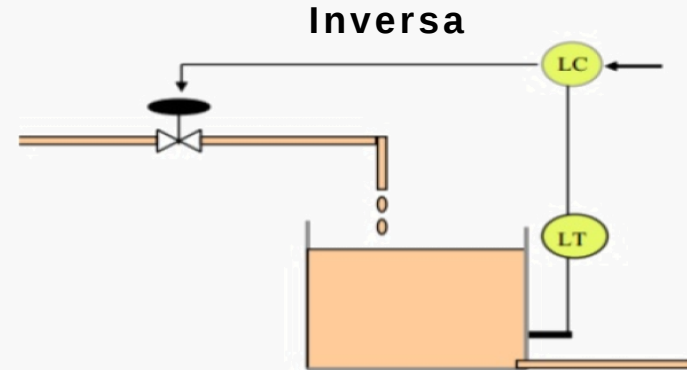


ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Control PROPORCIONAL:
Banda directa e inversa
Veamos un ejemplo:



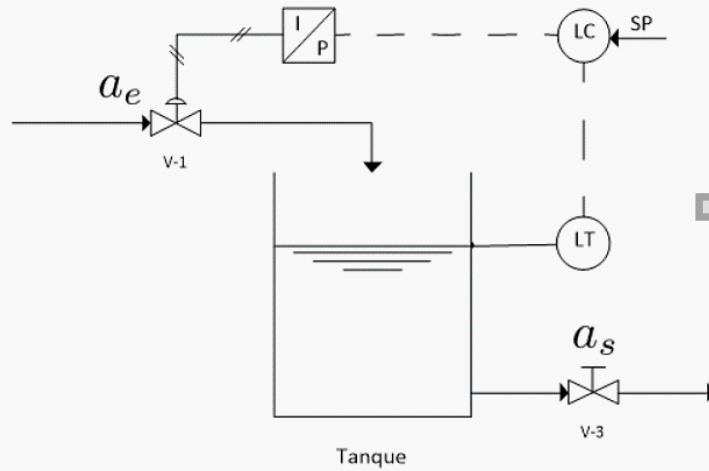
Acción directa o inversa?



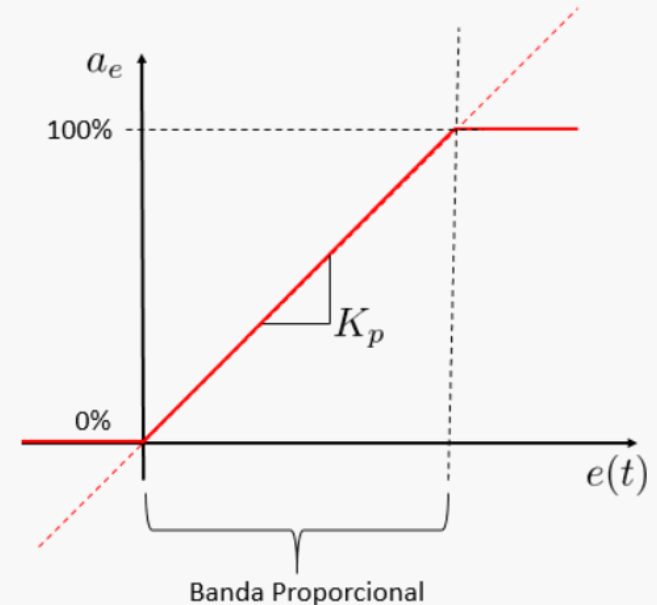
Acción directa o inversa?

ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Repuesta del control P:

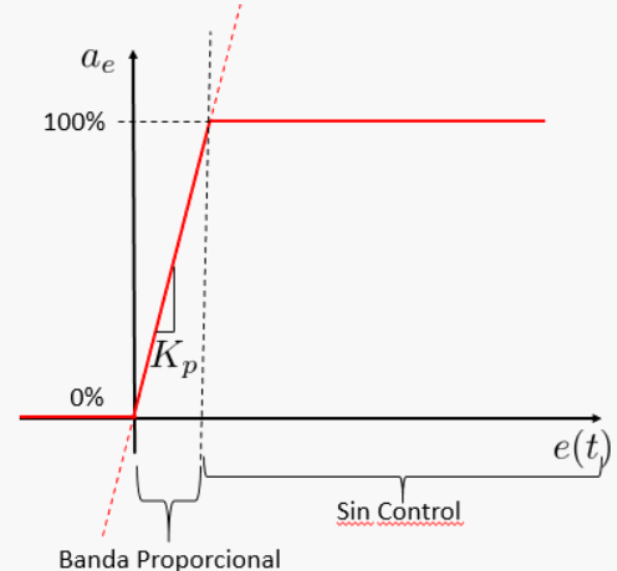
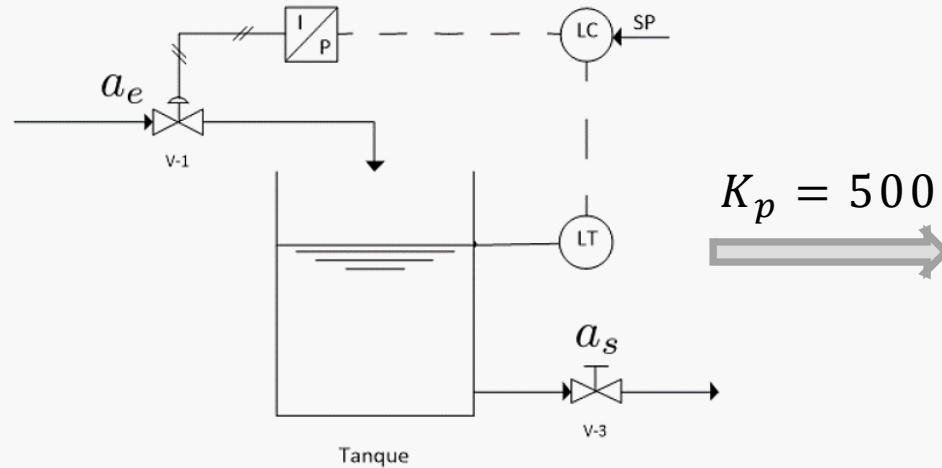


$$K_p = 1$$



ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Repuesta del control P:



Vemos que la banda proporcional es bastante reducida, lo que implica un comportamiento de abertura y cierre de la válvula muy rápidos, lo que es perjudicial para nuestro elemento final de control, ya que puede sufrir fallos mecánicos rápidamente.

ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

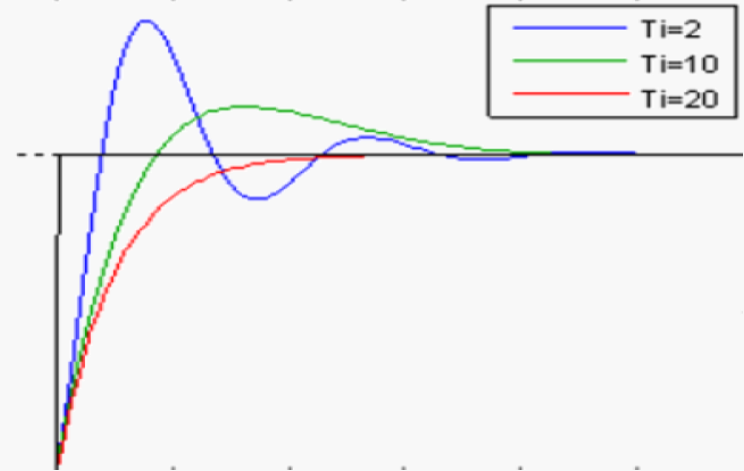
Acción integral:

La salida del controlador es proporcional a la integral del error en el tiempo (error acumulado).

$$m_1 = \frac{K_p}{T_i} \cdot \int_0^t e(t)$$

donde T_i es el tiempo integral

- Se elimina el error de OFF-SET el cual tiende a ser cero.
- Genera oscilaciones en la respuesta del proceso.



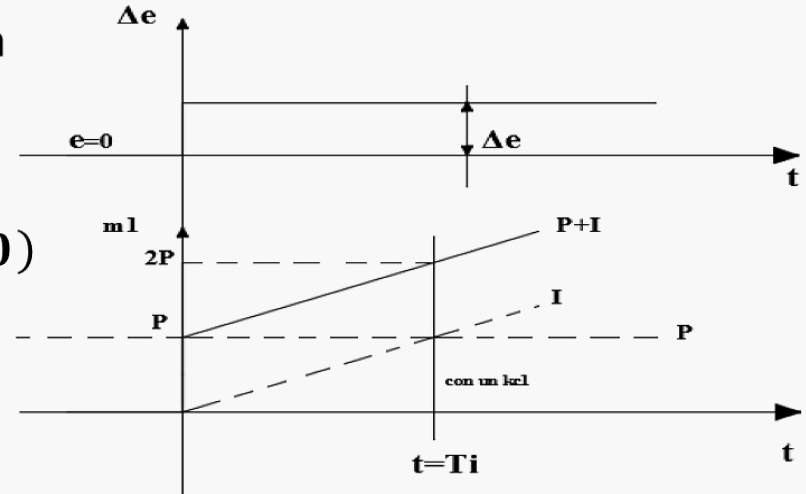
ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Respuesta de un control P+I:

Para aplicar la acción integral al controlador la misma debe estar en adición con la acción proporcional (¿por que?).

$$m_1 = K_p \cdot e(t) + \frac{K_p}{T_i} \cdot \int_0^t e(t) + m_1(0)$$

T_i : (tiempo de integración), es el tiempo en que la acción integral iguala a lo realizado por la acción proporcional.



ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

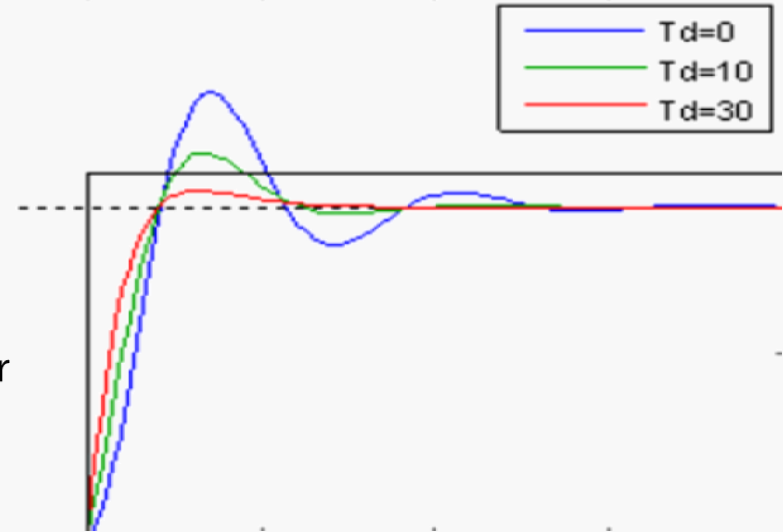
Acción Derivativa:

La salida del controlador (P+D) es proporcional a la derivada del error. Se utiliza en sistemas lentos ya que la acción derivativa anticipa el efecto de los cambios de carga.

$$m_1 = K_p \cdot T_d \cdot \frac{de}{dt}$$

donde T_d es el tiempo derivativo

- Un leve aumento TD permite suavizar las oscilaciones de T_i .
- Reduce el error máximo (sobreimpulso).
- Un leve aumento de TD permite mejorar el tiempo de respuesta.

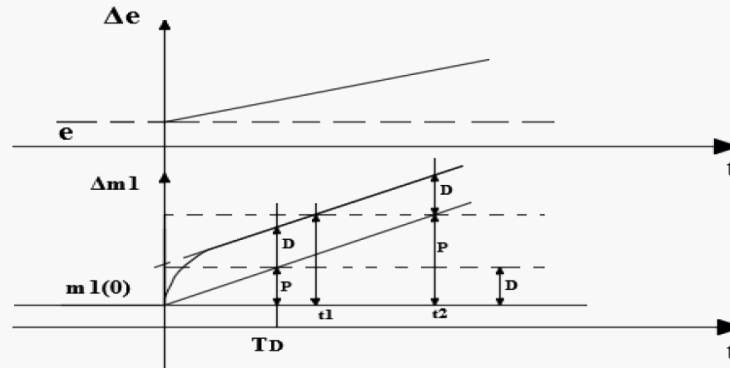


ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Respuesta de un control P+D:

$$m_1 = K_p \cdot e(t) + K_p \cdot T_d \cdot \frac{de}{dt} + m_1(0)$$

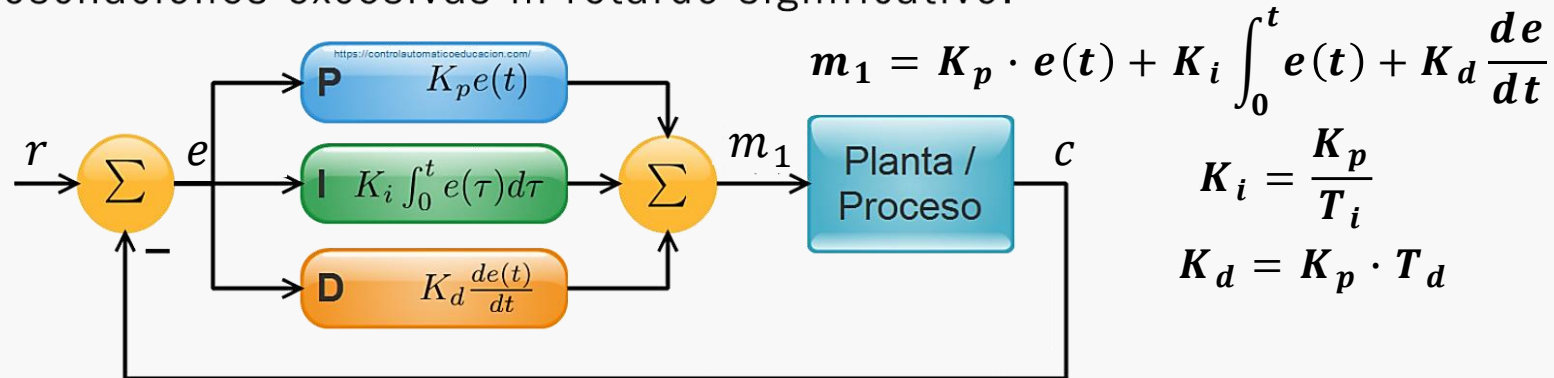
T_d : (tiempo derivativo), tiempo en que la acción proporcional alcanza lo realizado por la acción derivativa



ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

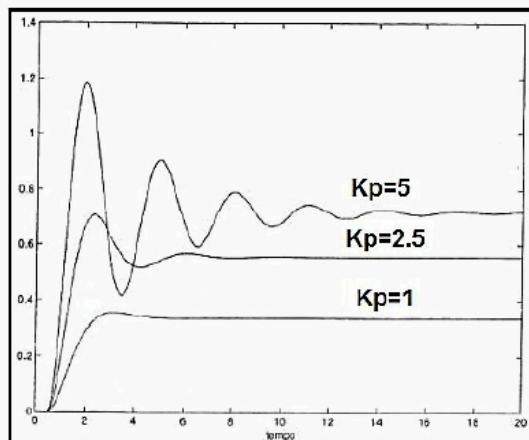
Control P+I+D:

El término PID proviene de las tres acciones de control que componen este controlador: la acción Proporcional (P), la acción Integral (I) y la acción Derivativa (D). Estas tres acciones trabajan en conjunto para proporcionar un control preciso y estable, permitiendo que el sistema regrese al punto de consigna (setpoint) de manera eficiente, sin oscilaciones excesivas ni retardo significativo.

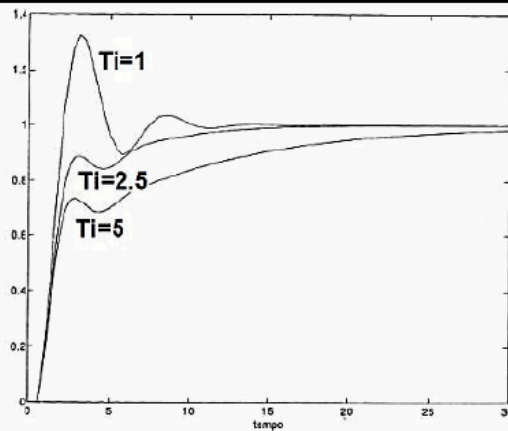


ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

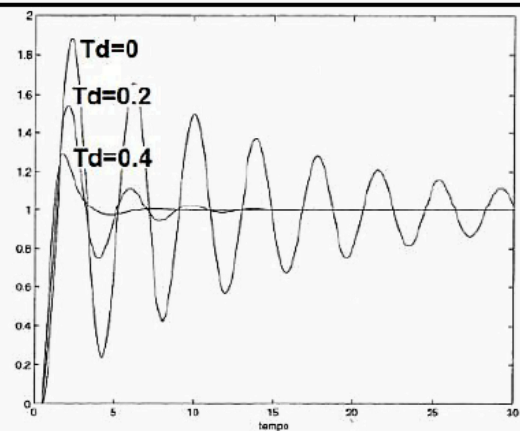
Repuesta del Control P+I+D:



PROPORCIONAL



INTEGRAL

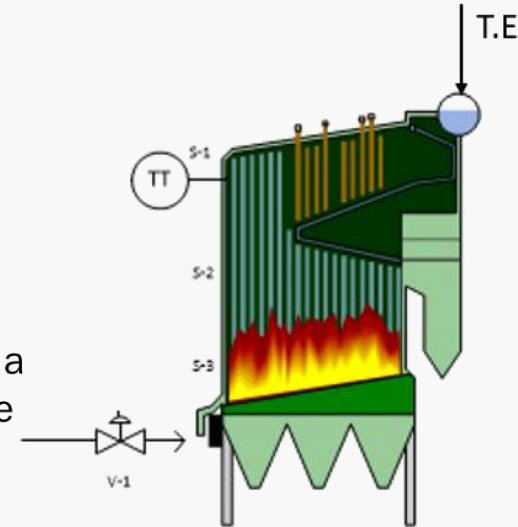


DERIVATIVO

APLICACIONES INDUSTRIALES PID

Control PID en temperatura:

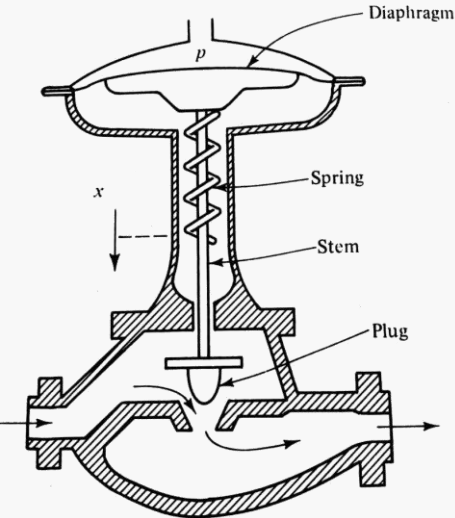
La acción proporcional se encarga de realizar los ajustes iniciales basados en la desviación de la temperatura. Sin embargo, debido a las posibles fluctuaciones de temperatura a lo largo del tiempo, la acción integral es fundamental para eliminar cualquier error acumulado, garantizando que la temperatura se mantenga constante a lo largo del proceso. La acción derivativa puede utilizarse para anticipar cambios rápidos en la temperatura, ayudando a evitar sobre-oscilaciones cuando se introducen cambios bruscos en la carga del horno.



APLICACIONES INDUSTRIALES PID

Aplicación del Control PID en Flujo

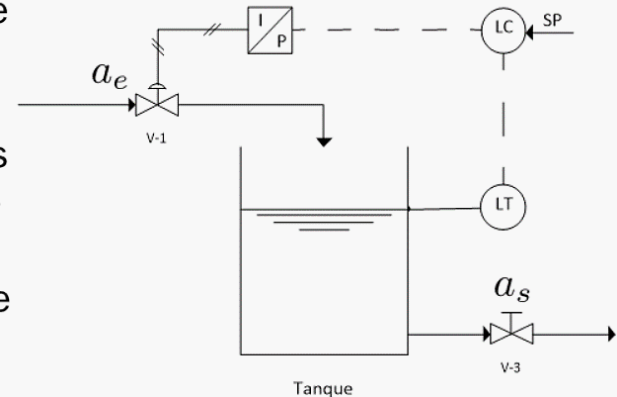
El controlador PID se utiliza para ajustar la válvula de control del flujo en función de la diferencia entre el flujo real medido y el setpoint deseado. La acción proporcional proporciona una corrección inmediata basada en la desviación del flujo, mientras que la acción integral se asegura de que cualquier error residual sea eliminado a lo largo del tiempo. La acción derivativa, aunque menos común en aplicaciones de flujo, puede ser útil en sistemas donde se requiere una rápida corrección ante cambios en la demanda.



APLICACIONES INDUSTRIALES PID

Implementación del Control PID en el Nivel de Tanques

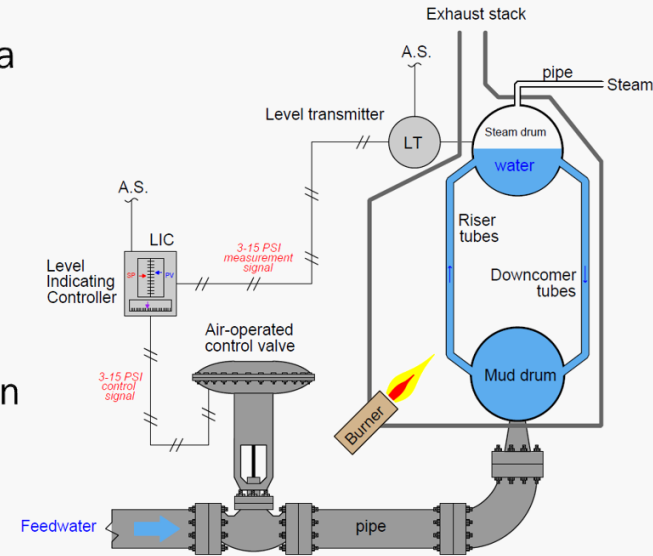
El controlador PID ajusta la válvula de entrada o de salida del tanque para mantener el nivel de líquido dentro de los límites deseados. La acción proporcional responde al error en el nivel, mientras que la acción integral corrige cualquier desbalance acumulado que podría causar desviaciones persistentes. En sistemas donde el nivel del tanque puede cambiar rápidamente, la acción derivativa puede ser útil para prever y corregir estos cambios antes de que ocurran grandes oscilaciones.



APLICACIONES INDUSTRIALES PID

Implementación del Control PID en la Presión

El controlador PID se utiliza para ajustar la válvula reguladora de presión, manteniendo la presión dentro de los límites de operación seguros. La acción proporcional realiza los ajustes necesarios basados en la desviación actual de la presión, mientras que la acción integral corrige cualquier error acumulado que podría llevar a una presión incorrecta sostenida. En sistemas donde la presión puede cambiar rápidamente, la acción derivativa ayuda a prever estos cambios y ajustar la válvula de manera preventiva.





UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE MISIONES



FACULTAD
DE INGENIERÍA
UNaM

APLICACIONES INDUSTRIALES PID

LAZO DE CONTROL	CAPACITANCIA DEL PROCESO	RESISTENCIA DEL PROCESO	CAMBIO DE CARGA DEL PROCESO	APLICACIONES
Todo-nada	Grande	Cualquiera	Cualquiera	Control de nivel y temperatura en procesos de gran capacidad.
Proporcional	Pequeña a media	Pequeña	Moderada	Presión, temperatura y nivel donde el offset no es inconveniente.
Proporcional + Integral	Cualquiera	Pequeña	Cualquiera	La mayor parte de aplicaciones incluyendo el caudal.
Proporcional + Derivada	Media	Pequeña	Cualquiera	Cuando es necesaria una gran estabilidad con un offset mínimo y sin necesidad de acción integral.
Proporcional + Integral + Derivada	Cualquiera	Grande	Rápido	Procesos con cambios rápidos y retardos apreciables (control de temperatura en intercambiador de calor).

Muchas Gracias

Bibliografía:

- ☐ Introducción a los sistemas de control-Hernandez Gaviño
- ☐ Ingeniería de control moderna-Katsuhiko Ogata