CONTROL AUTOMÁTICO
AÑO 2025

Ingeniería Mecatrónica

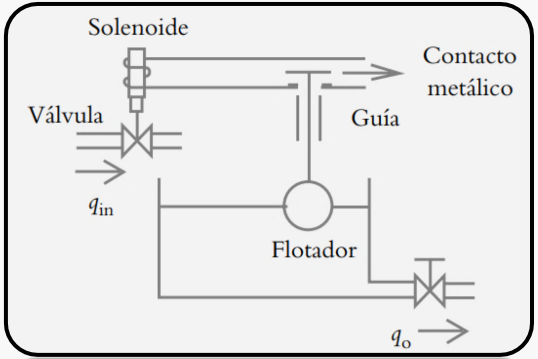
ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

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

Ejemplo: Para el sistema de control de nivel por medio de servo-válvula mostrado en la fi gura, ajuste los niveles mínimos y máximos a 20% y 70% para una referencia de *href (t) = 1m*, y obtenga la representación del sistema en SIMULINK, considerando que el proceso está dado por:



$$G(s) = \frac{1}{(s + 1.5)}$$

ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Control Proporcional: Se dice que un control es de tipo proporcional cuando la salida del controlador $v(t)$ es proporcional al error $e(t)$:

$$v(t) = K_p e(t)$$
$$\mathrm{V}(\mathrm{s}) = K_p E(s)$$
$$\boldsymbol{G_c(s) = \frac{V(s)}{E(s)} = K_p}$$

Ejemplo: realice una representación en SIMULINK de un lazo de control P para el sistema de carga de TK dada por la **FT** del ejemplo anterior.

ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Control Proporcional-Integral: Se dice que un control es de tipo proporcional-integral cuando la salida del controlador *v(t)* es proporcional al error $e(t)$, sumado a una cantidad proporcional a la integral del error $e(t)$:

$$v(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t)$$

$$\mathbf{V}(\boldsymbol{s}) = \boldsymbol{K_p E}(\boldsymbol{s}) + \frac{\boldsymbol{K_p}}{\boldsymbol{sT_i}} \boldsymbol{E}(\boldsymbol{s})$$

Ejemplo: realice una representación en SIMULINK de un lazo de control PI para el sistema de carga de TK dada por la **FT** del ejemplo anterior.

ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Control Proporcional-derivativo: Se dice que un control es de tipo PD cuando la salida del controlador $v(t)$ es proporcional al error $e(t)$, sumado a una cantidad proporcional a la derivada del error $e(t)$:

$$v(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$\mathrm{V(s)} = K_p E(s) + K_p T_d E(s) s$$

$$\boldsymbol{G_c(s) = \frac{V(s)}{E(s)} = K_p[1 + T_d s]}$$

Ejemplo: realice una representación en SIMULINK de un lazo de control PD para el sistema de carga de TK dada por la **FT** del ejemplo anterior.

ACCIONES BÁSICAS DE CONTROL

Control Proporcional-Integral-derivativo:

$$v(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i}\int e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

$$\mathrm{V}(s) = K_p E(s) + \frac{K_p}{T_i} E(s) + K_p T_d E(s) s$$

$$\boldsymbol{G_c(s) = \frac{V(s)}{E(s)} = K_p\left[1 + \frac{1}{sT_i} + T_d\, s\right]}$$

Ejemplo: realice una representación en SIMULINK de un lazo de control PID para el sistema de carga de TK dada por la **FT** del ejemplo anterior.

SINTONIZACIÓN

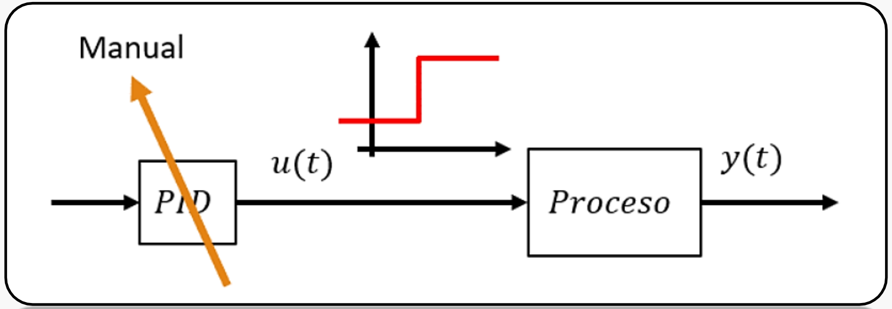
Sintonización de controladores PID-Método de Ziegler-Nichols: permite definir las ganancias proporcional, integral y derivativa a partir de la respuesta del sistema en lazo abierto o a partir de la respuesta del sistema en lazo cerrado.

Existen dos reglas de sintonía propuesta por los ingenieros *Ziegler y Nichols* en 1942 para poder determinar los parámetros del controlador PID tomando como base la respuesta transitoria del sistema.

Los dos métodos de Ziegler-Nichols apuntan a obtener un sobre impulso máximo del **25%** ante una entrada del tipo escalón.

SINTONIZACIÓN

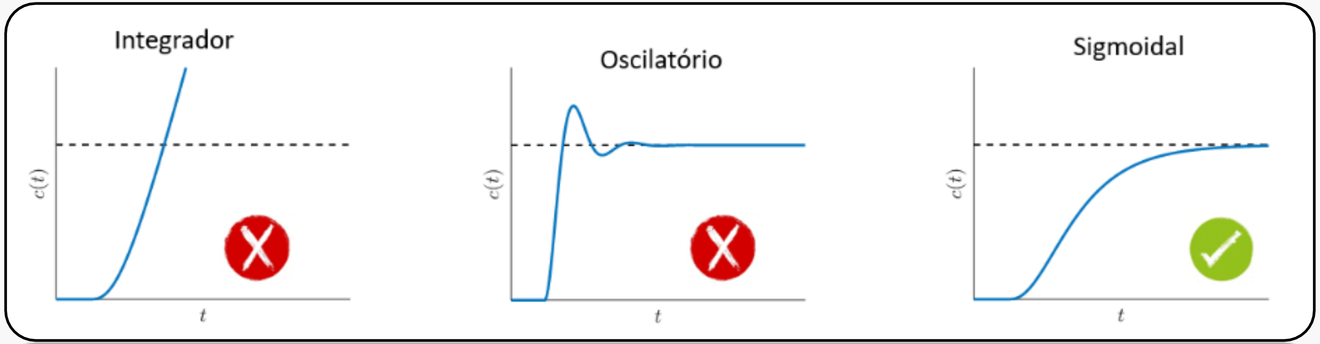
Método de lazo abierto: este método de Ziegler Nichols se realiza con el sistema en lazo abierto, donde el controlador se coloca en modo manual para poder generar una variación del tipo escalón en la propia salida del controlador PID.



Nota: los dos métodos de Z-N son especialmente útiles, principalmente cuando NO SE CONOCE EL MODELO MATEMÁTICO DE LA PLANTA.

SINTONIZACIÓN

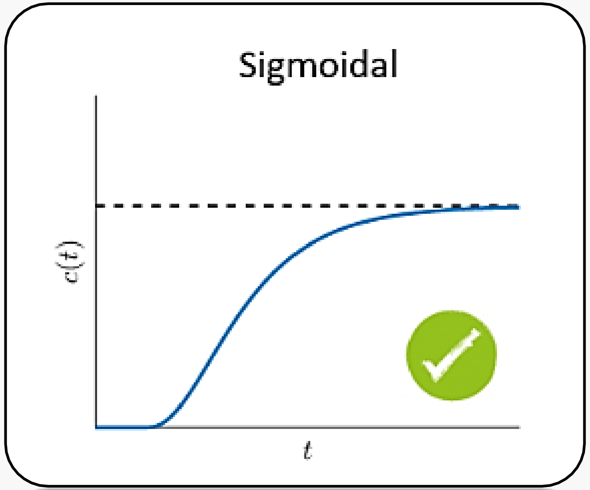
Para poder desarrollar este método es necesario que el sistema tenga un comportamiento del tipo *sigmoidal* o forma de S, esto quiere decir que la respuesta no puede tener sobre impulsos en lazo abierto, ni poseer una dinámica integradora que crezca constantemente con el tiempo.



SINTONIZACIÓN

La curva S esta definida por 2 constantes. Por el retardo en el tiempo L y por la constante de tiempo \tau, es decir viene dado por un sistema de primer orden con retardo, cuya función de transferencia es:

$$G_p(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{\tau s + 1}$$



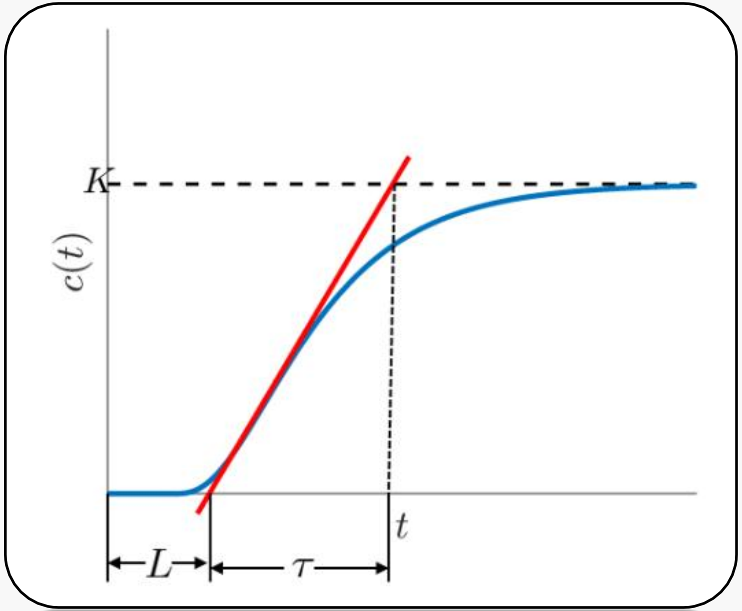
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

50 AÑOS

FACULTAD DE INGENIERÍA UNaM

SINTONIZACIÓN

Por lo tanto podemos obtener los parámetros del sistema de primer orden con retardo de la siguiente forma: El retardo y la constante de tiempo se obtiene dibujando la *tangente* en el punto de inflexión de la curva sigmoidal hasta cortar en las intersecciones de la línea vertical que parte del eje del tiempo y el eje donde c(t)=K como se muestra en la siguiente figura:



SINTONIZACIÓN

Obtenidas las constantes: K, L y τ se calculan las constantes para el ajuste de un controlador P, PI y PID

Controlador	K_p	τ_i	τ_d
P	$\frac{\tau}{KL}$	∞	0
PI	$0.9\frac{\tau}{KL}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2\frac{\tau}{KL}$	$2L$	$0.5L$

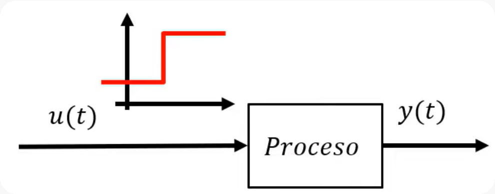
NOTA: Muchas veces para mejorar la respuesta del sistema, deberemos disminuir la ganancia del controlador. Una practica común es dividir Kp/2, para obtener una respuesta más suave.

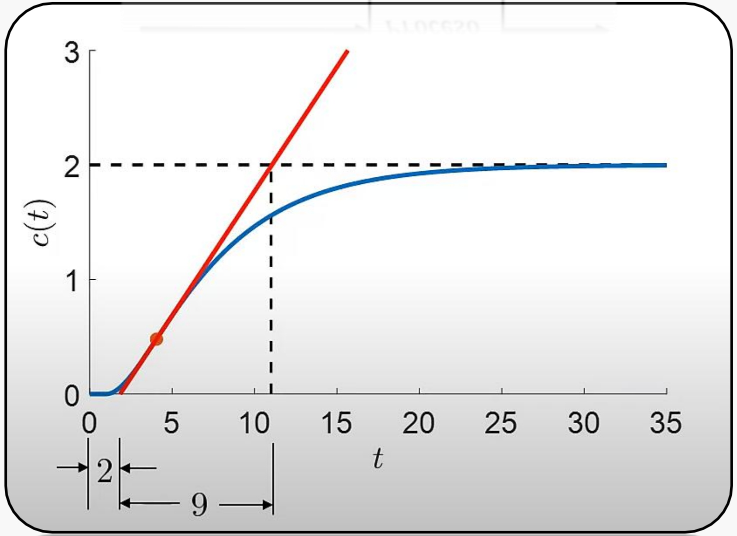
UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

50 AÑOS

FACULTAD DE INGENIERÍA UNaM

Ejemplo: sea la siguiente respuesta del proceso ante una entrada escalón





$$\frac{L}{\tau} = \frac{2}{9} = 0.222$$

$$G_p(s) = \frac{Ke^{-Ls}}{\tau s + 1}$$

$$G_p(s) = \frac{2e^{-2s}}{9s + 1}$$

Control P

$$K_p = \frac{\tau}{K\ L} = \frac{9}{(2)(2)} = 2.25$$

Control PI

$$K_p = 0.9\frac{\tau}{K\ L} = 0.9\frac{9}{(2)(2)} = 2.025$$

$$\tau_i = \frac{L}{0.3} = \frac{2}{0.3} = 6.66$$

Control PID

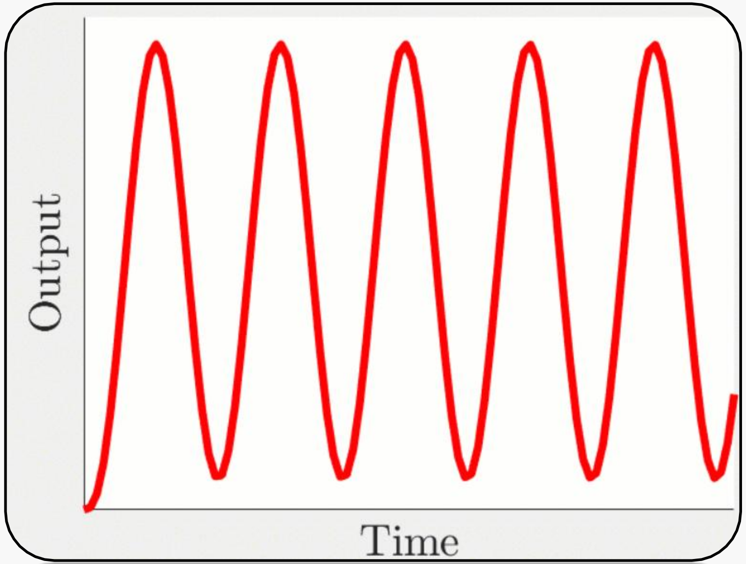
$$K_p = 1.2\frac{\tau}{K\ L} = 1.2\frac{9}{(2)(2)} = 2.7$$

$$\tau_i = 2L = 2(2) = 4$$

$$\tau_d = 0.5L = 0.5(2) = 1$$

SINTONIZACIÓN

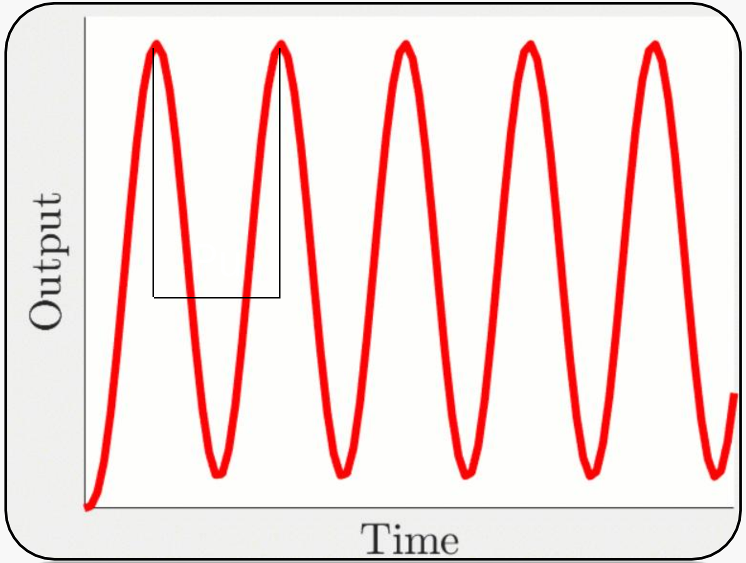
Método de Ziegler-Nichols de lazo cerrado: inicialmente colocaremos la parcela integral y derivativa en cero y únicamente comenzaremos a aumentar **experimentalmente** la ganancia proporcional del controlador paulatinamente, hasta conseguir en la salida (variable medida por los sensores) una respuesta **oscilatoria con una amplitud constante.**



SINTONIZACIÓN

- Si NO se encuentra ninguna ganancia que consiga hacer oscilar el sistema, entonces este segundo Método de Ziegler Nichols NO puede ser aplicado.
- Estas oscilaciones son típicas cuando el lazo cerrado de control presenta sistemas de orden superior (mayor o igual a 3).

Del grafico de la respuesta oscilatoria podemos hallar el periodo de oscilación *Pu* y su ganancia limite *Kc*, y con estos valores se calculan los parámetros de sintonización para un control P, PI y PID.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

50 AÑOS

FACULTAD DE INGENIERÍA UNaM

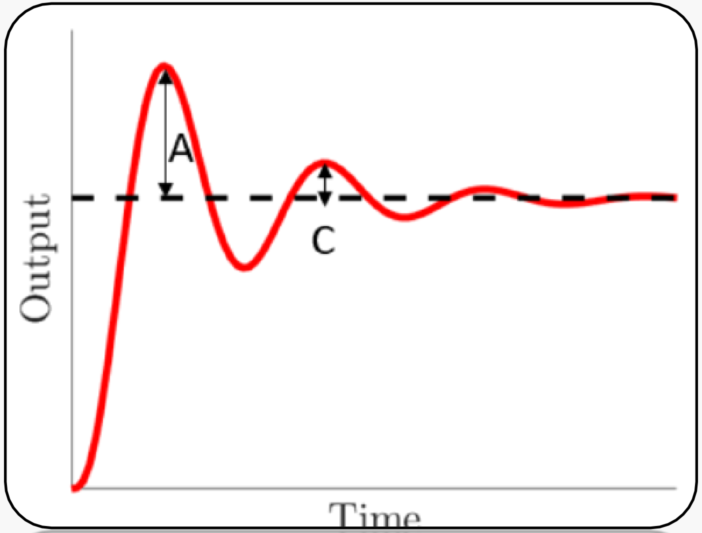
SINTONIZACIÓN

Método de Ziegler-Nichols de lazo cerrado

Controlador	K_p	τ_i	τ_d
P	$0.5K_u$	∞	0
PI	$0.45K_u$	$\frac{1}{1.2}P_u$	0
PID	$0.6K_u$	$0.5P_u$	$0.125P_u$

SINTONIZACIÓN

- Con estos valores de Ku y Pu en la tabla de Ziegler y Nichols se usa como criterio de sintonía de desempeño una razón de declino igual a ¼ (C/A de la figura).
- Podemos notar que, en la práctica, colocar el sistema en forma oscilatoria puede provocar que llevemos nuestro sistema a variar dentro de una zona de operación no segura y no existen garantías de que la variable controlada estará en todo momento dentro de un rango con limites específicos. Por lo tanto, esta sintonía no es muy utilizada en plantas industriales.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE MISIONES

50 AÑOS

FACULTAD DE INGENIERÍA UNaM

Muchas Gracias

Bibliografía:

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