

Control Automático de Procesos

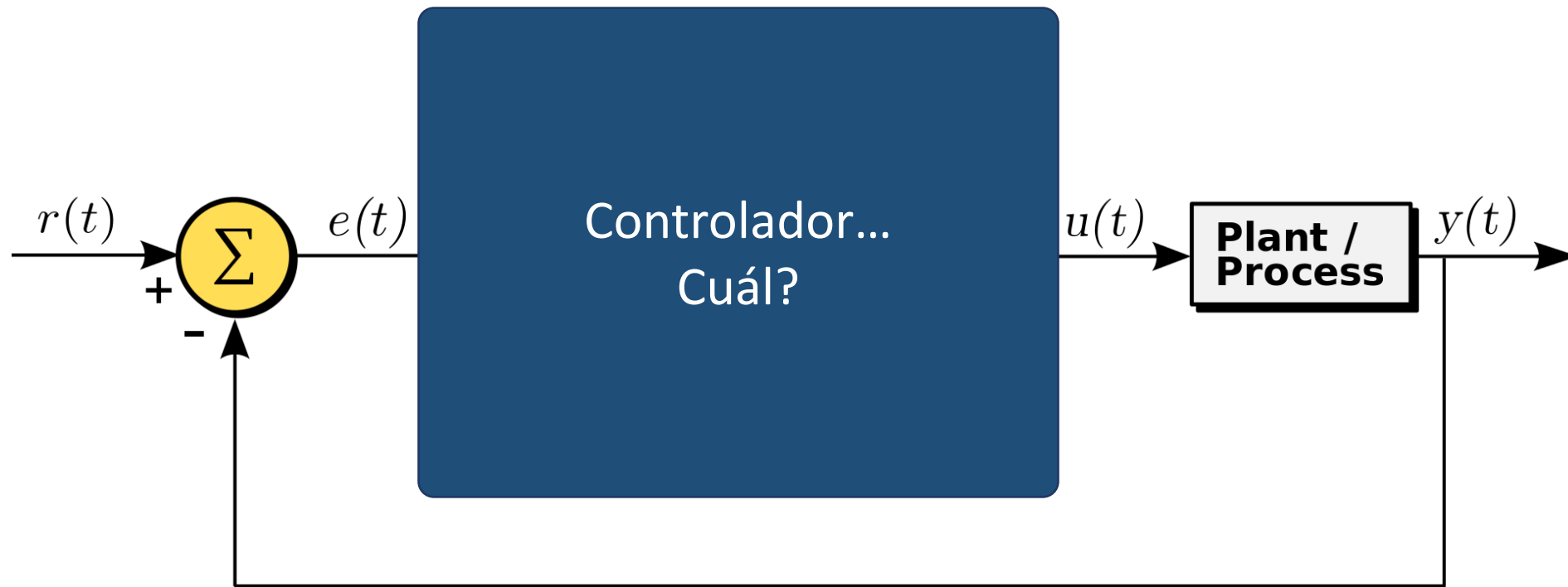
Controladores PID

Prof. Carlos A. Toro N.
carlos.toro.ing@gmail.com
2021

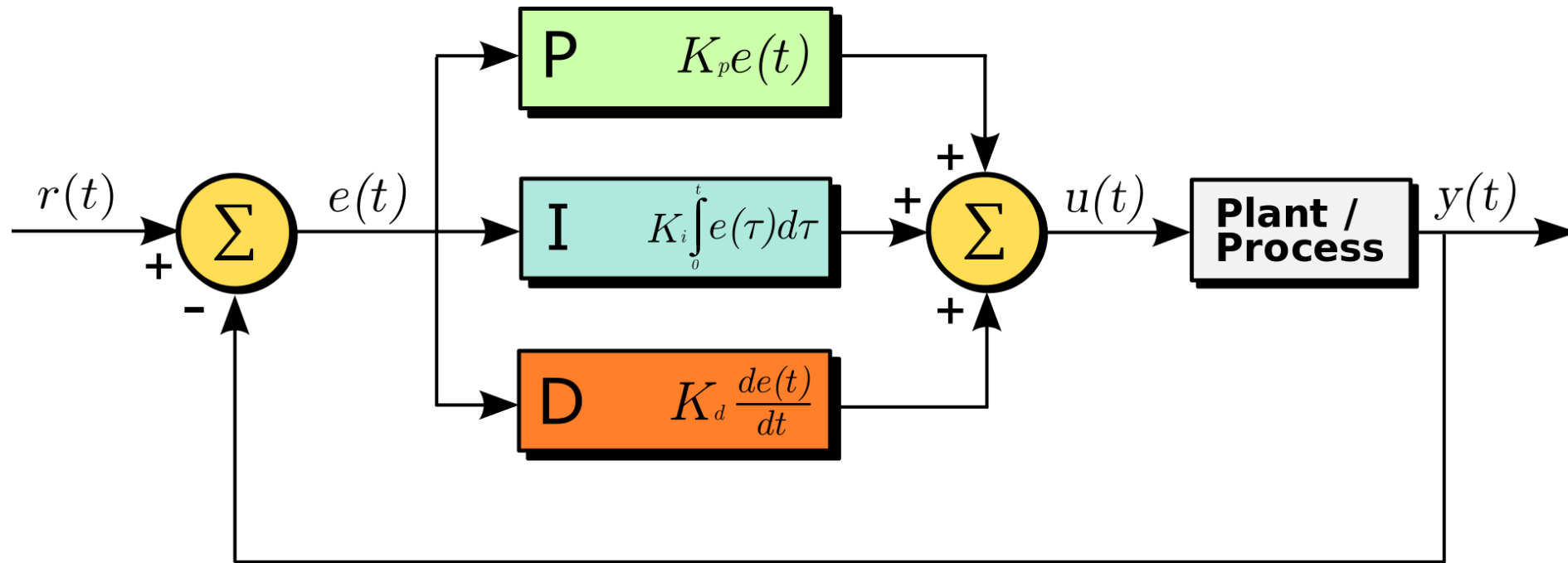
Objetivos

- ❑ Comprender la estructura de los controladores PID y posibles configuraciones
- ❑ Aplicar estrategias de sintonización de controladores PID y posibles configuraciones
- ❑ Analizar las situaciones donde implementar o no una u otra configuración de estos controladores

Introducción



Introducción

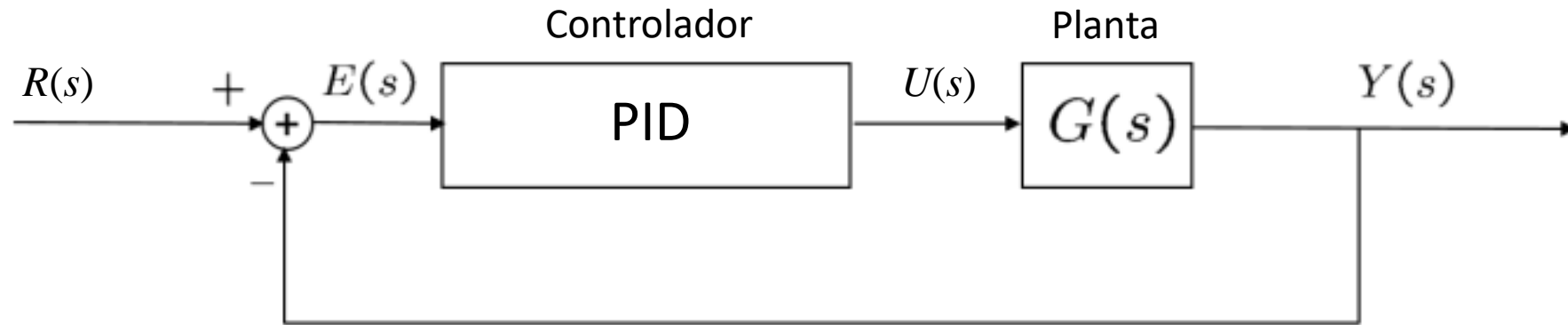


Introducción

□ Definiciones:

- Controlador PID: **Proporcional Integrativo Derivativo**
- Uno de los algoritmo más usados en la industria hoy en día.
- En la forma estándar esta compuesto por: $G_c(s) = K_p$, $G_c(s) = K_i/s$, $G_c(s) = K_d \cdot s$.
- Puede tener combinaciones de los controladores anteriores: P, PI, PD, PID (las más comunes).
- Principales objetivos al diseñar $G_c(s)$:
 1. **Estabilidad** – el objetivo más importante: asegurar estabilidad en lazo cerrado.
 2. **Error en estado estacionario** – minimizarlo lo más posible.
 3. **Especificaciones temporales** – sobrepaso, tiempo de asentamiento, amortiguamiento, ...

Controlador PID



- ❑ Algunas formas del controlador PID:

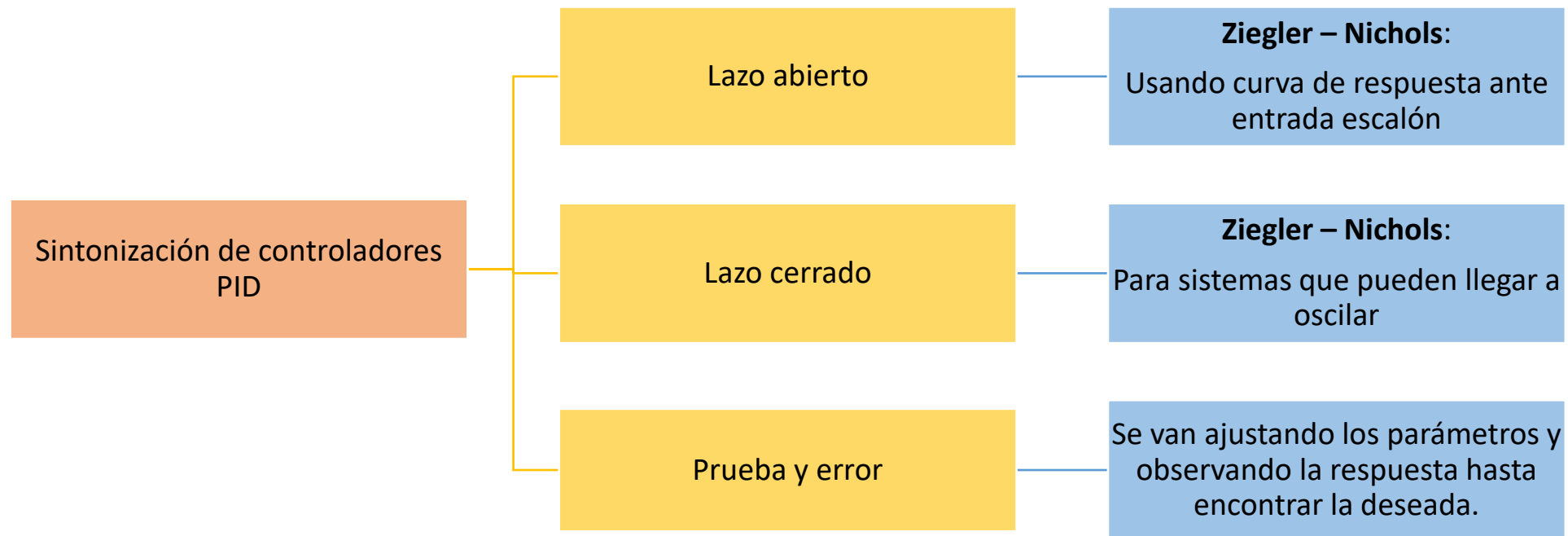
$$G_c(s) = K_p + K_i \frac{1}{s} + K_d s \Leftrightarrow K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

$\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Forma Estándar}}$
 $\underbrace{\hspace{10em}}_{\text{Forma Paralela}}$

- ❑ **Objetivo de diseño:** encontrar los parámetros K_p , T_i , T_d dados los requerimientos.
- ❑ Este proceso es llamado **sintonización del controlador PID**: proceso de ajustar los parámetros
- ❑ Existen varias **reglas de sintonización**
 - ej. **Reglas de Ziegler – Nichols**: primeras reglas de sintonización de controladores PID, veremos dos.

Sintonización de un PID

- ❑ Las metodologías están basadas en estimar de manera práctica o empírica (mediante experimentación en la planta o sistema) los parámetros K_p , T_i , T_d .
- ❑ **Encontramos dos casos:** cuando el sistema puede operar en L.A. (ej. sistemas estables), o cuando el sistema sólo puede operar en L.C.



Sintonización de un PID: Z-N. primer método, en L.A.

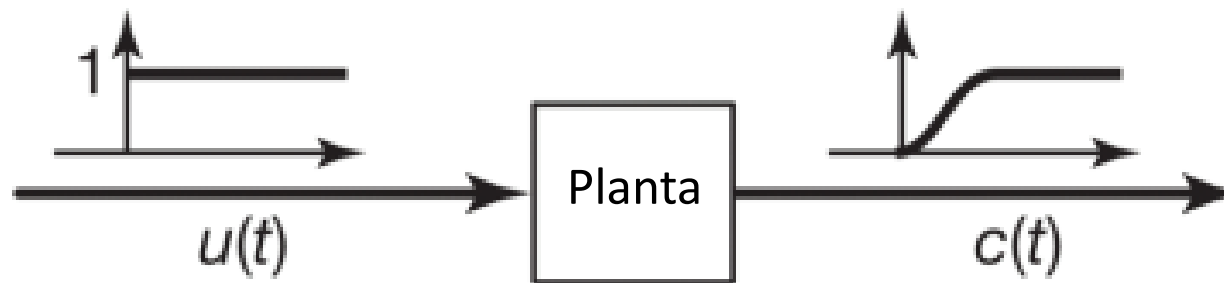
Paso 1: Obtener la respuesta experimental de la planta a una entrada escalón

- Esta respuesta a entrada unitaria tiene en general una forma de S para muchas plantas.
- El método solo es válido si la respuesta tiene esta forma de S.
- No se tiene esto cuando la planta tiene polos en el eje imaginario o es inestable (para eso se usará el segundo método)

Paso 2: Obtener el tiempo de retardo L de la curva experimental.

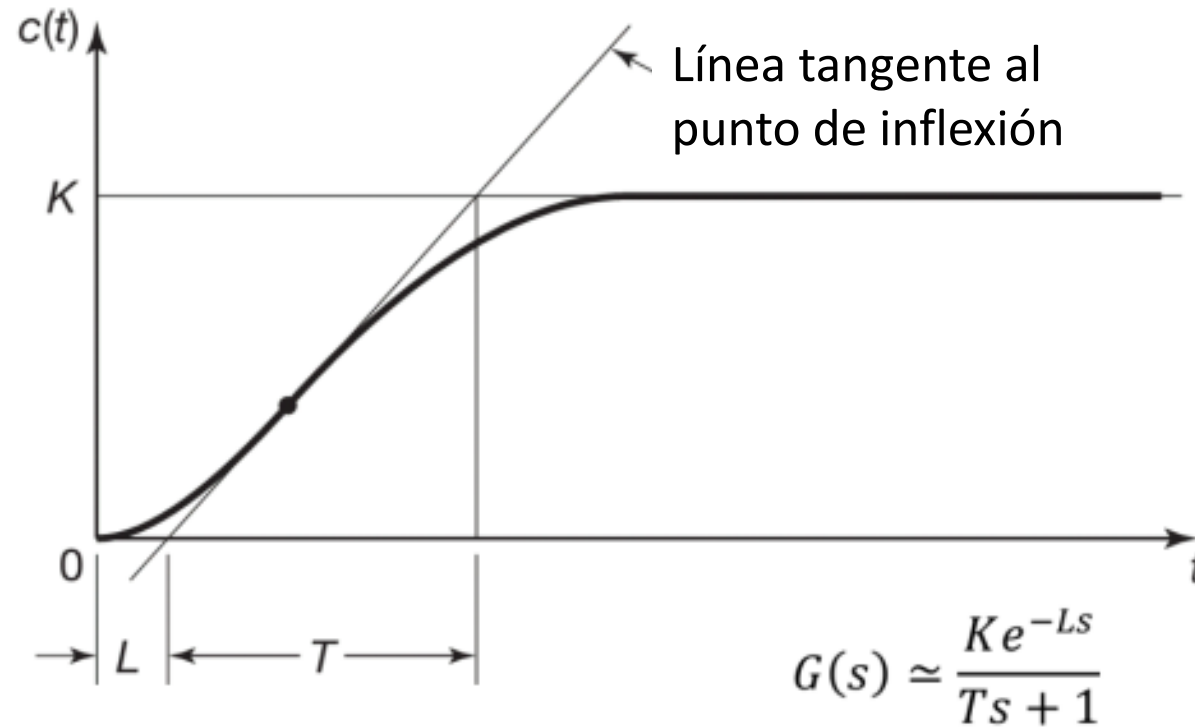
Paso 3: Obtener la constante de tiempo T desde la curva experimental.

Paso 4: Usar valores tabulados para sintonizar los parámetros K_p , T_i , T_d dados L y T (tablas de más adelante).



Sintonización de un PID: Z-N. primer método, en L.A.

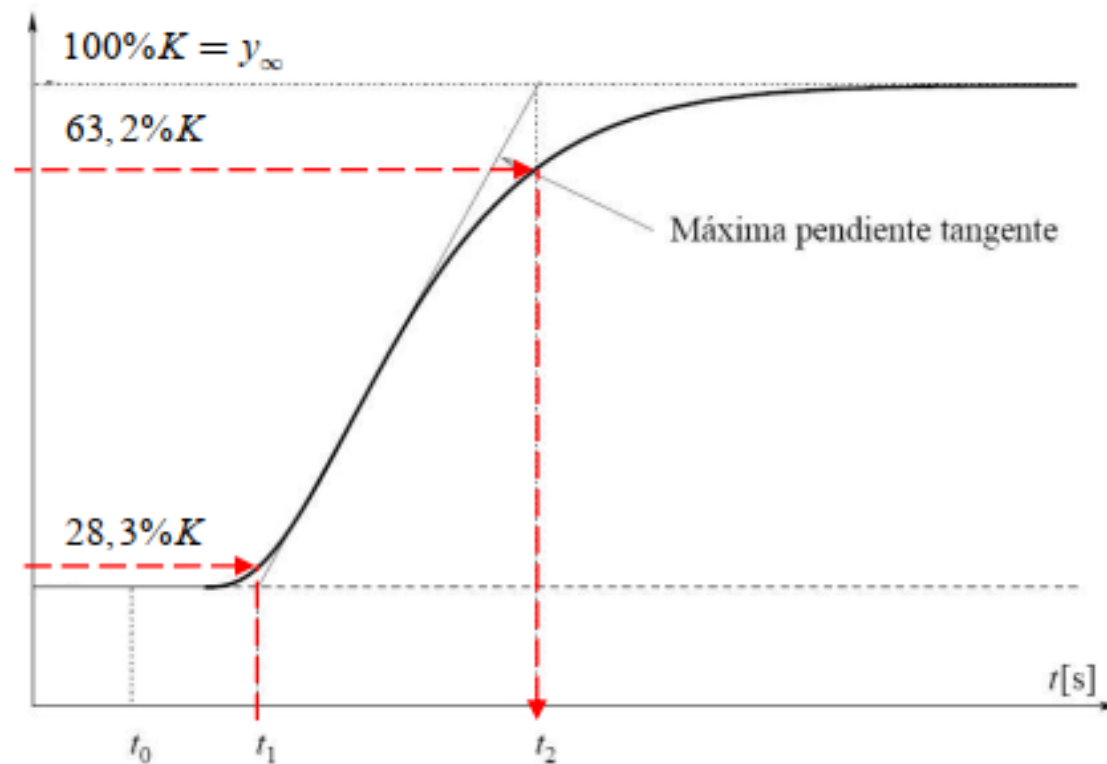
- Estimado L y T desde el gráfico experimental:



- Aunque sea una aproximación, se debe ser lo más exacto posible con los cálculos de L y T .
- Verificar la estimación graficando ambas curvas (aproximada y real) y hacer los ajustes necesarios.

Sintonización de un PID: Z-N. primer método, en L.A.

- ❑ Otra forma de estimar L y T desde el gráfico experimental:



- Identificar los tiempos a los cuales se obtiene un 28.3% y 63.2% de la respuesta temporal estacionaria.
- Luego, las constantes de interés se calcularán como:

$$T = 1.5 \cdot (t_2 - t_1)$$

$$L = t_2 - T$$

Sintonización de un PID: Z-N. primer método, en L.A.

- ❑ Obtener los valores de K_p , T_i , T_d :

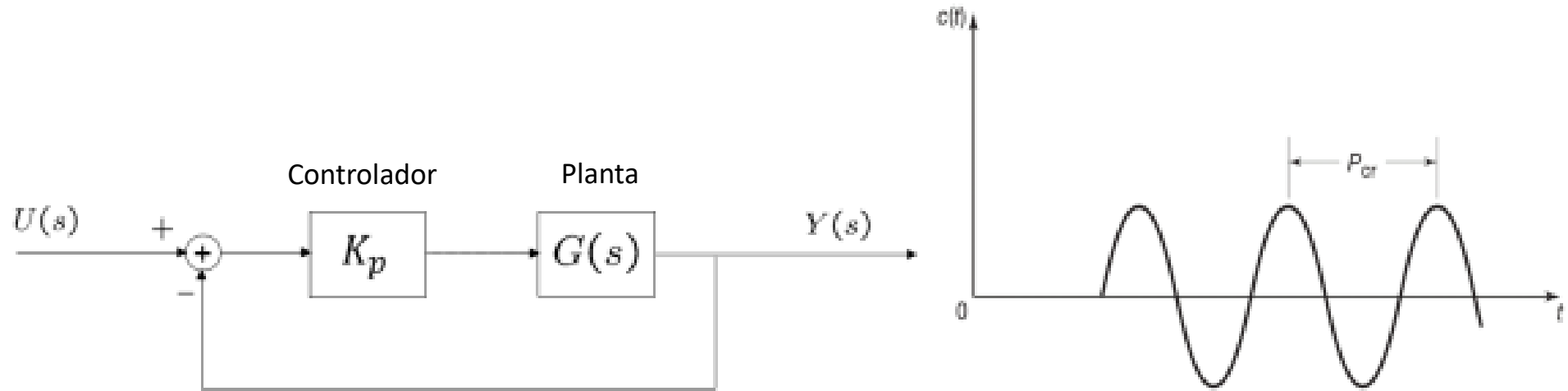
$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{KL}$	∞	0
PI	$\frac{0.9T}{KL}$	$3.3L$	0
PID	$1.2 \frac{T}{KL}$	$2L$	$0.5L$

- ❑ Ej. Para el caso del controlador PID completo, elegir la tercera fila y calcular los parámetros.

$$G_{PID}(s) = G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = 0.6 \cdot \frac{T}{K} \cdot \frac{\left(s + \frac{1}{L} \right)^2}{s}$$

Sintonización de un PID: Z-N. segundo método, en L.C.



Paso 1: Ajustar $T_i = \infty$ (máximo disponible), $T_d = 0$ (para omitir la parte integral y derivativa) e incrementar K_p hasta que la respuesta a entrada escalón del sistema en LC tenga **oscilaciones sostenidas**. Si ninguna oscilación ocurre para todos los valores de K_p , este método no es aplicable.

Paso 2: Guardar la ganancia crítica K_{cr} donde sucede lo anterior y P_{cr} (periodo de la oscilación), ver la figura de arriba.

Paso 3: Usar la tabla de la siguiente *slide* para determinar los valores de los parámetros K_p , T_i , T_d dados K_{cr} y P_{cr} .

Sintonización de un PID: Z-N. segundo método, en L.C.

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$0.5K_{cr}$	∞	0
PI	$0.45K_{cr}$	$P_{cr}/1.2$	0
PID	$0.6K_{cr}$	$P_{cr}/2$	$P_{cr}/8$

□ Ej. Para el caso del controlador PID completo, elegir la tercera fila y calcular los parámetros.

$$G_{PID}(s) = G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = 0.075 \cdot K_{cr} P_{cr} \cdot \frac{\left(s + \frac{4}{P_{cr}} \right)^2}{s}$$

Sintonización empírica: Prueba y Error

1. Desactivar la parte integral y derivativa ($T_i = \text{máximo disponible}$, $T_d = 0$).
2. Realizar una prueba escalón con el menor valor posible para la ganancia proporcional.
3. Repetir 2 hasta obtener una oscilación sostenida en la salida.
4. Luego, el valor de K_p será igual a la mitad del valor actual.
5. Realizar una prueba escalón con el menor valor posible para el tiempo integrativo.
6. Repetir 5 hasta obtener el tiempo de respuesta y sobrepaso deseado. Ajustar la ganancia proporcional si es necesario.
7. Agregar tiempo derivativo para reducir el sobrepaso. Una estrategia para determinar este valor es aumentarlo hasta que aparezca ruido en la salida del controlador, luego, se toma la mitad de su valor como valor final.
8. Finalmente, se puede variar la ganancia proporcional nuevamente en torno a los parámetros finales para lograr una respuesta deseada.

La desventaja de este método es la gran cantidad de pruebas a realizar y a la vez llevar al proceso a condiciones límites de operación. Además, sólo dará un resultado inicial que puede alejarse de un óptimo.

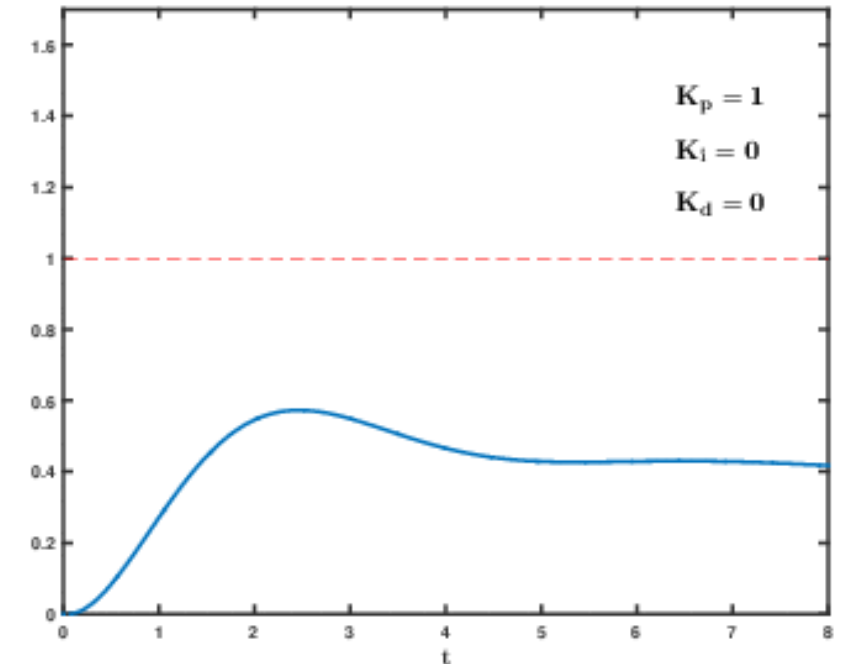
Resumen controladores PID

- En esta clase solo cubrimos un tipo de controlador PID, de la forma:

$$G_{PID}(s) = G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) = \alpha \cdot \frac{(s + \beta)^2}{s}$$

Donde alfa y beta son las constantes que dependen del desempeño de la planta.

- Luego, cuándo usamos estos controladores? Dependerá del objetivo, el efecto de cada uno de estos parámetros sobre el comportamiento de la respuesta del sistema, se puede tabular como sigue:



<i>Respuesta</i>	<i>rise time</i>	<i>sobrepaso</i>	<i>settling time</i>	<i>SS error</i>
K_p	<i>decrece</i>	<i>incrementa</i>	<i>cambio pequeño</i>	<i>decrece</i>
$K_i = K_p / T_i$	<i>decrece</i>	<i>incrementa</i>	<i>incrementa</i>	<i>elimina</i>
$K_d = K_p T_d$	<i>cambio pequeño</i>	<i>decrece</i>	<i>decrece</i>	<i>cambio pequeño</i>

* Estas reglas son las comunes observadas, pero no son únicas, podrían generarse nuevas en distintas situaciones.

Comentarios finales

- ❑ En la práctica se ha probado que las configuraciones en paralelo, más útiles del controlador PID, son las siguientes: P, PI, PD, PID. La observación empírica general es que la mayoría de los procesos industriales pueden ser controlados razonablemente bien con estos controladores.
- ❑ Tener presente que en la práctica no es requisito poner en práctica los tres reguladores (proporcional, derivado e integral) a la vez, si no es necesario. Por ejemplo, si un regulador PI da una respuesta bastante buena (de acuerdo a los objetivos), entonces no poner en práctica la parte derivativa. **Mantener el controlador lo más simple posible.**
- ❑ Frecuentemente la acción derivativa no es usada, muchos de los controladores industriales sólo tienen acción PI. La acción derivativa tiende a amplificar el ruido de sensado de las señales de proceso. Aún así, en sistemas de alto orden, esta acción derivativa puede ser necesaria para lograr el amortiguamiento necesario.