

# PRÁCTICA Nº 8. REGULADORES PID. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN EN LAZO ABIERTO

<b>8. REGULADORES PID. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN EN LAZO ABIERTO.....</b>	<b>1</b>
<b>8.1. OBJETIVOS .....</b>	<b>1</b>
<b>8.2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>8.2.1. Experimento 1: Sistema de velocidad .....</b>	<b>1</b>
<b>8.2.2. Experimento 2: Sistema de posición .....</b>	<b>8</b>
<b>8.3 BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>11</b>



## 8. REGULADORES PID. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN EN LAZO ABIERTO

---

### 8.1. OBJETIVOS

---

- Estudiar métodos sistemáticos para el ajuste de reguladores PID en base a la respuesta temporal del sistema en lazo abierto.
- Obtención de la curva de respuesta del sistema ante un cambio brusco en la entrada y determinación del tiempo muerto y la constante de tiempo efectiva.
- Elección del método de sintonización que resulte en una respuesta con razón de amortiguamiento de  $\frac{1}{4}$ . Selección del método de Ziegler-Nichols o del método de Cohen-Coon en función del índice de regulación del sistema.
- Sintonización de los parámetros del regulador PID aplicando las fórmulas empíricas del método elegido.
- Ajuste fino de los parámetros para obtener la respuesta deseada.

### 8.2. INTRODUCCIÓN

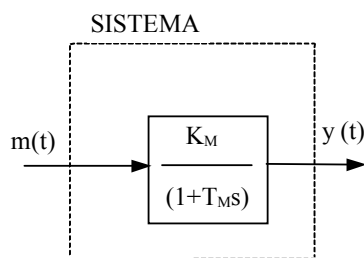
---

#### 8.2.1. Experimento 1: Sistema de velocidad

---

**Determinación del tiempo muerto y de la constante de tiempo del sistema**

##### Diagrama de flujo de señales



*Figura 8.1. Diagrama de flujo de señales*

##### Ajustes iniciales

- Entrada: señal escalón de amplitud 5 V

##### Desarrollo

1. Una vez visualizada la curva de reacción del sistema, determinar la tangente de mayor pendiente y medir:

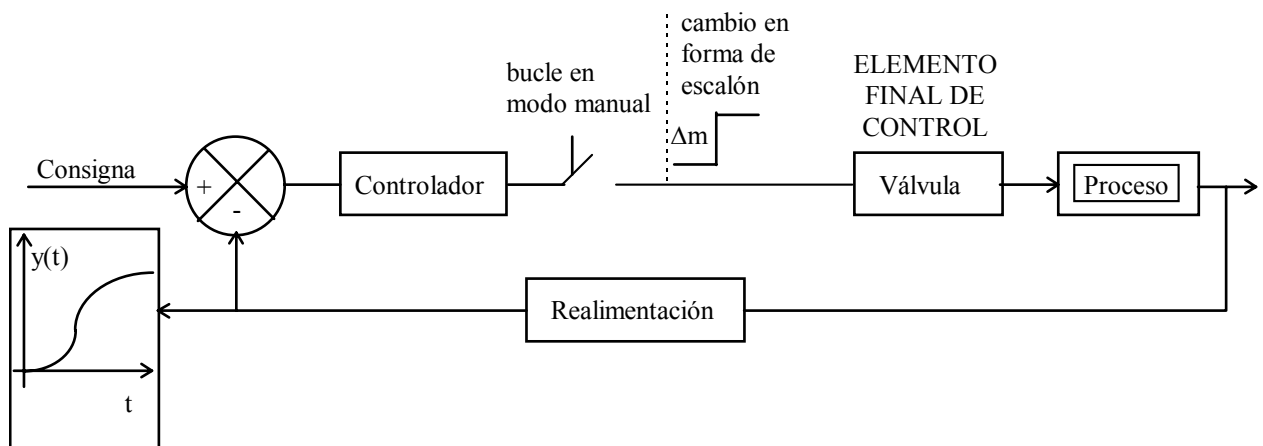
Parámetro	Valor
Tiempo de retardo	$\tau_d =$
Constante de tiempo	$\tau_1 =$
Índice de regulación	$u = \tau_d / \tau_1 =$
Tangente de máxima pendiente	$K =$
Tangente de máxima pendiente de la curva de respuesta normalizada	$R = K/A =$ con: A= amplitud de la entrada

PROCEDIMIENTO EN LAZO ABIERTO.

**UNICAS CARACTERISTICAS QUE PUEDEN DETERMINARSE: TIEMPO MUERTO, CAPACITANCIA O CONSTANTE DE TIEMPO Y LA GANANCIA ESTÁTICA.**

**Pasos a seguir para determinar la curva de reacción de un proceso:**

1. Dejar que el sistema alcance el régimen estacionario.
2. Transferir el controlador a modo manual, y colocar el elemento final en la posición que estaba operando en modo automático.
3. Dejar que el sistema alcance el régimen estacionario.
4. Introducir en la entrada del elemento final de control un cambio en forma de escalón de posición.
5. Registrar tal y como se indica en la figura 7.2 la curva de reacción del proceso. Se necesita generalmente un registrador auxiliar con gran velocidad de carta.
6. Retornar el elemento final de control a su posición previa a la experimentación y transferir el controlador al modo automático.



CURVA DE REACCIÓN DEL PROCESO REGISTRADA

Figura 8.2. Determinación de la curva de reacción del proceso

### DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS.

Se pueden hallar geoméricamente, semigeométricamente o analíticamente. - En las figuras adjuntas K debe expresarse en tanto por ciento.

### MÉTODO GRÁFICO.

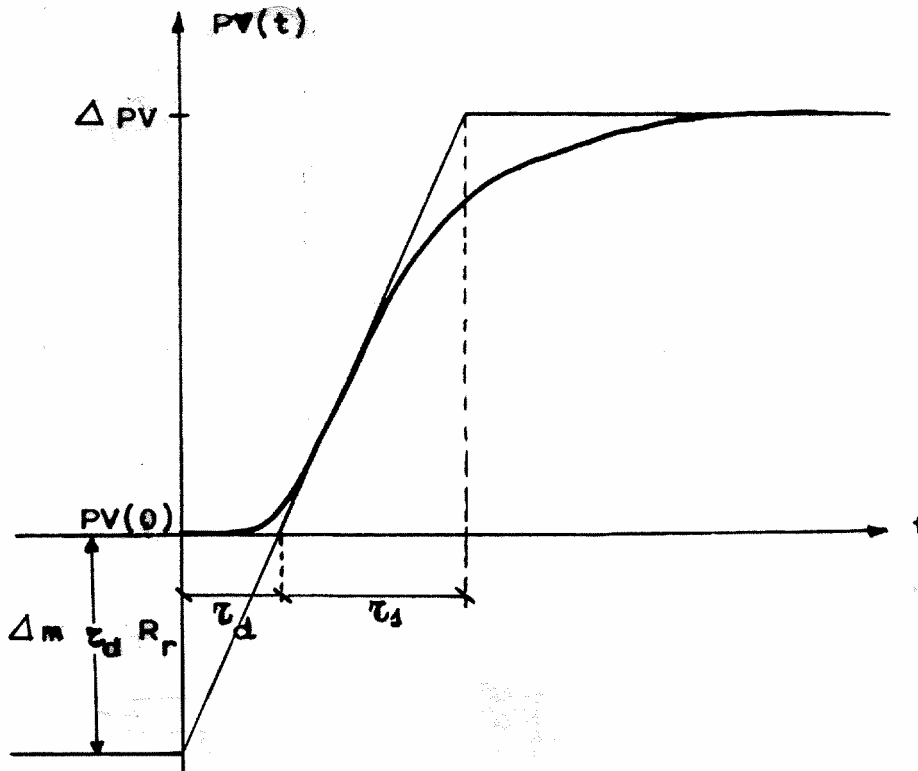


Figura 8.3.

- - Trazar la tangente de máxima pendiente y calcular la velocidad de respuesta:

$$R_r = \frac{\Delta PV}{\tau_1 \cdot \Delta m}$$

- El punto de intersección de esta recta con el eje horizontal define el retardo puro aparente  $\tau_d$

Al prolongar esta tangente, ésta corta al eje vertical a una distancia  $\tau_d \cdot R_r \cdot \Delta m$  del origen.

$\Delta PV$  es el cambio de la medida en la variable de proceso causado por el cambio  $\Delta m$  de la variable manipulada aplicado al elemento final de control, tal y como se indica en la figura 8.3.

**MÉTODO SEMIGRÁFICO.**

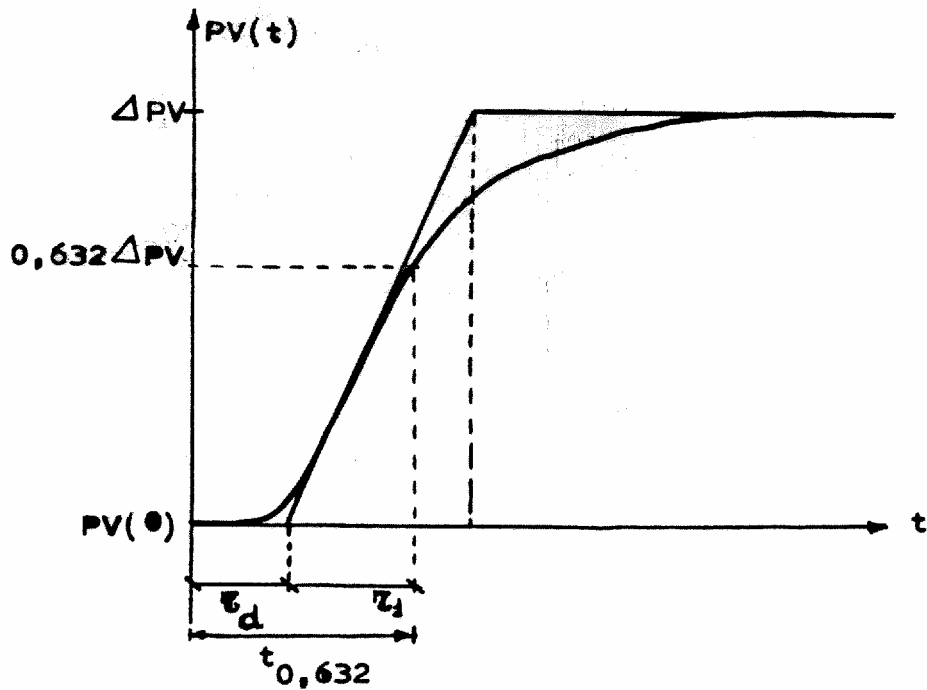


Figura 8.4

El tiempo muerto  $\tau_d$  se determina igual que antes, mientras que la constante de tiempo  $\tau_1$  se halla de forma que la curva de respuesta del modelo de una capacidad más un retardo puro coincida con la curva de reacción del proceso real en el instante  $t_{0,632} = \tau_d + \tau_1$ .

**MÉTODO ANALÍTICO.**

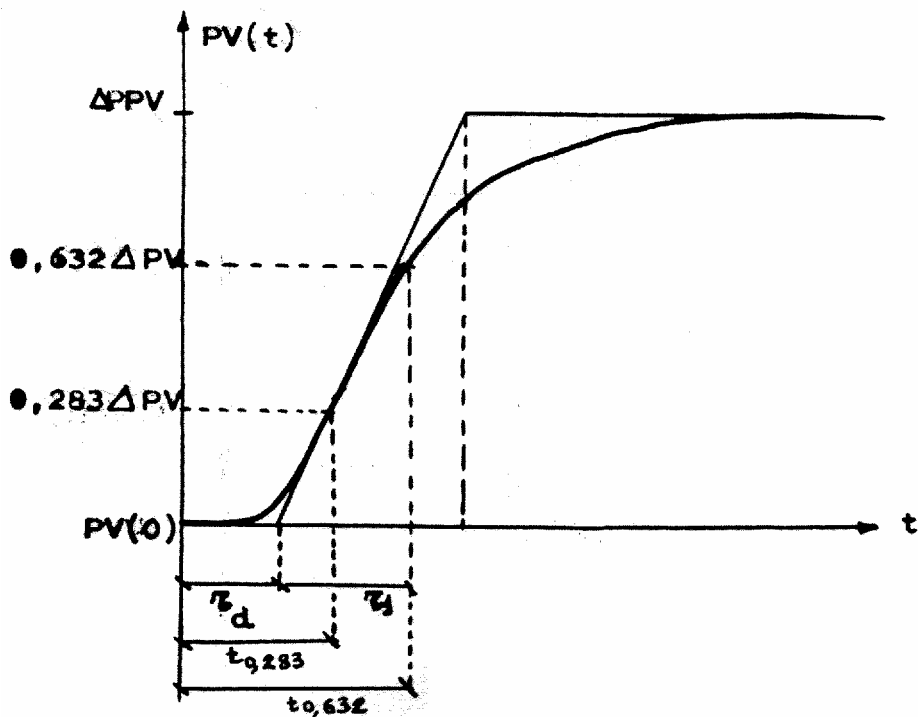


Figura 8.5

*El tiempo muerto  $\tau_d$  y la constante de tiempo  $\tau_I$  se determinan bajo la condición de que la curva de respuesta del modelo de una capacidad más un retardo puro coincide con la curva de reacción del proceso real en dos puntos. Teóricamente los dos puntos son arbitrarios. Los que más se usan son los correspondientes al 28.3% y el 63.2% de la respuesta estacionaria o al 28% y 40%.*

**CASO 1. Seleccionados los puntos correspondientes al 28.33% y 63.2%.**

Al imponer la condición de que las dos curvas de respuesta coincidan en los instantes:

$$t_1 = \tau_d + \frac{\tau_I}{3} \quad \text{y} \quad t_2 = \tau_d + \tau_I$$

con

$$t_1 = t_{0.632}$$
$$t_2 = t_{0.283}$$

resulta:

$$\tau_I = 1.5 \cdot (t_{0.632} - t_{0.283})$$
$$\tau_d = t_{0.632} - \tau_I$$

**CASO 2. Seleccionados los puntos correspondientes al 28% y 40%.**

Al realizar operaciones similares a las efectuadas en el caso 1, se obtiene:

$$\tau_I = 5.5 \cdot (t_{0.40} - t_{0.28})$$
$$\tau_d = 2.8 \cdot t_{0.632} - 1.8 \cdot t_{0.40}$$

### Sintonización del regulador PID

#### Diagrama de flujo de señales

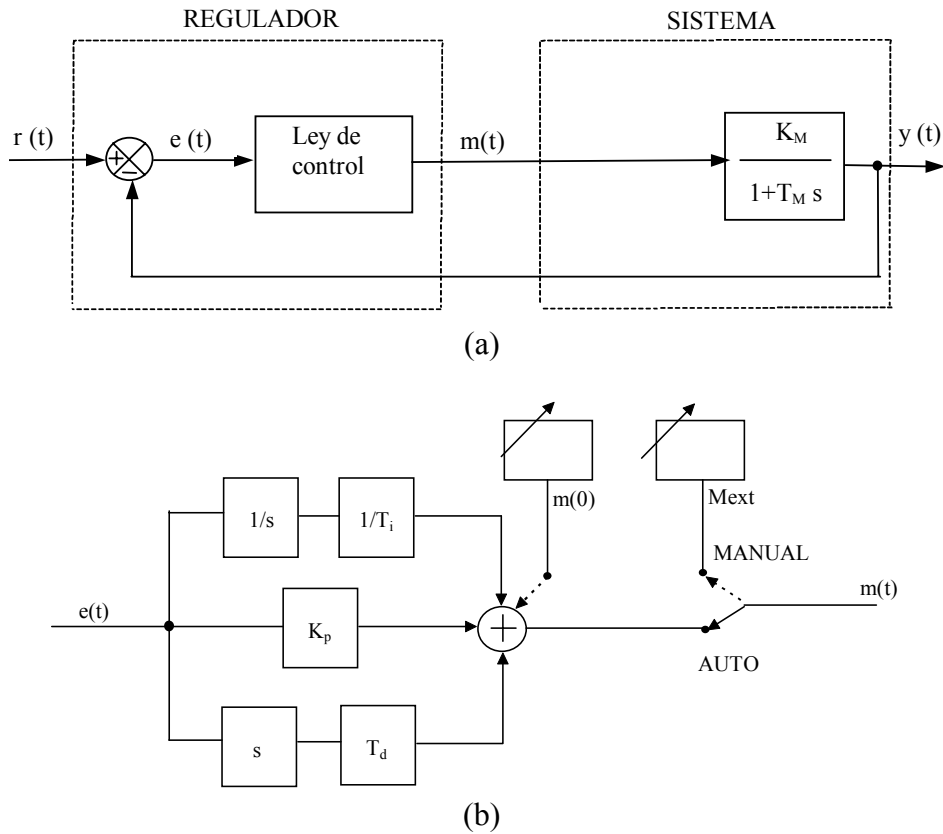


Figura 8.6. Diagrama de flujo de señales: (a) lazo realimentado, (b) regulador PID

#### Desarrollo

1. Calcular los valores de los parámetros del regulador PID aplicando las expresiones en términos de  $T_d$ ,  $R$  y  $u$  (ver tabla 8.1)

	<b>PID</b>	<b>PI</b>	<b>P</b>
$K_c$	$\frac{1'2}{T_d \cdot R}$	$\frac{0'9}{T_d \cdot R}$	$\frac{1}{T_d \cdot R}$
$T_i$	$2 \cdot T_d$	$\frac{10}{3} \cdot T_d$	
$T_d$	$0'5 \cdot T_d$		

(a)

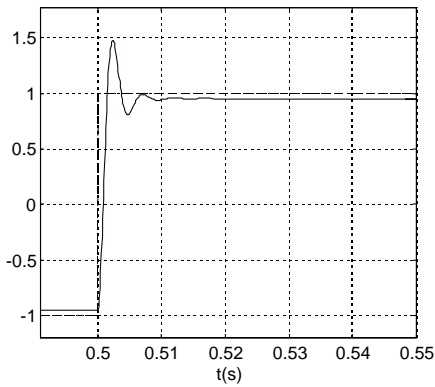


	<b>PID</b>	<b>PI</b>	<b>P</b>
<b>K<sub>c</sub></b>	$1'35 \cdot \frac{\left(1 + \frac{u}{5}\right)}{T_d \cdot R}$	$0'9 \cdot \frac{\left(1 + \frac{u}{11}\right)}{T_d \cdot R}$	$\frac{\left(1 + \frac{u}{3}\right)}{T_d \cdot R}$
<b>T<sub>i</sub></b>	$2'5 \cdot T_d \cdot \frac{\left(1 + \frac{u}{5}\right)}{\left(1 + \frac{3u}{5}\right)}$	$\frac{10}{3} \cdot T_d \cdot \frac{\left(1 + \frac{u}{11}\right)}{\left(1 + \frac{11 \cdot u}{5}\right)}$	
<b>T<sub>d</sub></b>	$\frac{0'37 \cdot T_d}{\left(1 + \frac{u}{5}\right)}$		

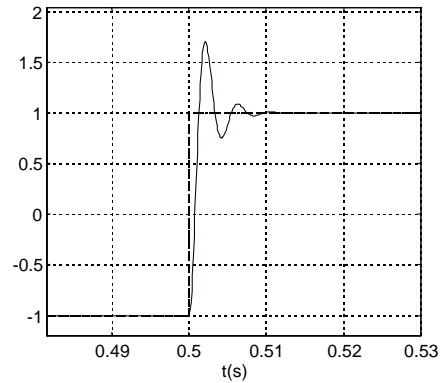
(b)

*Tabla 8.1. Métodos de sincronización basados en la curva de reacción del sistema: (a) método de Ziegler-Nichols, (b) método de Cohen y Coon*

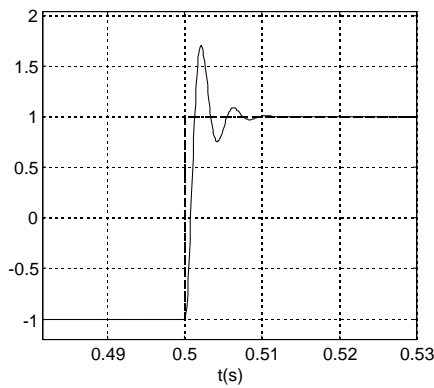
## Resultados



(a)  $K_p=33.3$



(b)  $K_p=30, T_i = 2 \text{ ms}$

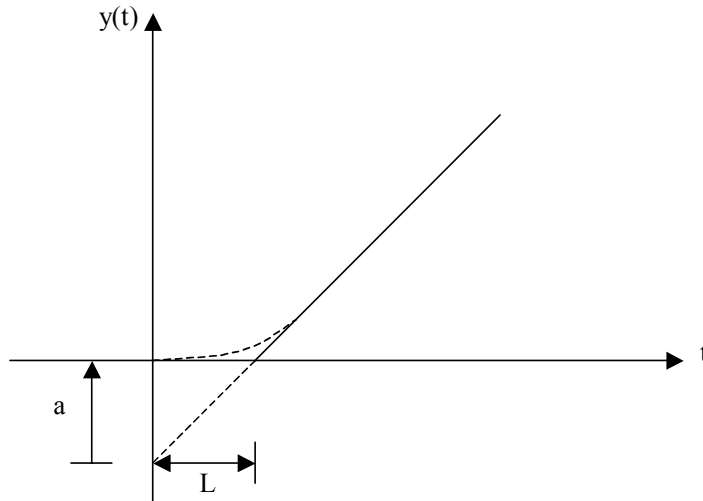


(c)  $K_p=40, T_i = 1.2 \text{ ms}, T_d=0.3 \text{ ms}$

*Figura. 8.7. Curvas de respuesta con el sistema regulado: (a) regulador P, (b) regulador PI, (c) regulador PID*

### 8.2.2. Experimento 2: Sistema de posición

---



Respuesta ante un escalón unitario en LA.

$$G(s) = \frac{a e^{-Ls}}{L s} = k_m \frac{e^{-\tau_d s}}{s} \quad \text{Modelo de representación}$$

Es un integrador de ganancia  $k_m = \frac{a}{L}$  y un retardo  $\tau_d = L$ .

**Método de sintonización para un sistema de seguimiento**

MÉTODOS	PARÁMETROS		COMENTARIOS
	$K_c$	$T_i$	
ZN $\tau_m$ es conocido y $k_m$ estimado	$\frac{0.9}{k_m \cdot \tau_m}$	$3.33 \tau_m$	Ratio de decrecimiento de $\frac{1}{4}$
WORFE $\tau_m$ es conocido y $k_m$ estimado	$\frac{0.6}{k_m \cdot \tau_m}$	$2.78 \tau_m$	Ratio de 0.4. MIE en regulación ante cambio en la carga
	$\frac{0.87}{k_m \cdot \tau_m}$	$4.35 \tau_m$	Ratio tan pequeño como sea posible. MIE en regulación ante cambio en la carga
Aström y Hägglund	$\frac{0.63}{k_m \cdot \tau_m}$	$3.2 \tau_m$	Equivalente al método ZN de ciclo límite. Se desconoce si $\tau_m$ y/o $k_m$ son estimados o conocidos
Houy	$\frac{0.42}{k_m \cdot \tau_m}$	$5.82 \tau_m$	$\tau_m$ y $k_m$ son estimadas

**Protocolo de ensayos. Método de sintonización a prueba y error.**

Estimar  $K_m$  y  $\tau_d$ .

Ajustar los parámetros del controlador

**si** respuesta satisfactoria

finalizar

**sino**

**si** respuesta demasiado oscilatoria

duplicar  $T_i$  y reajustar el valor de  $K_c$

**finsi**

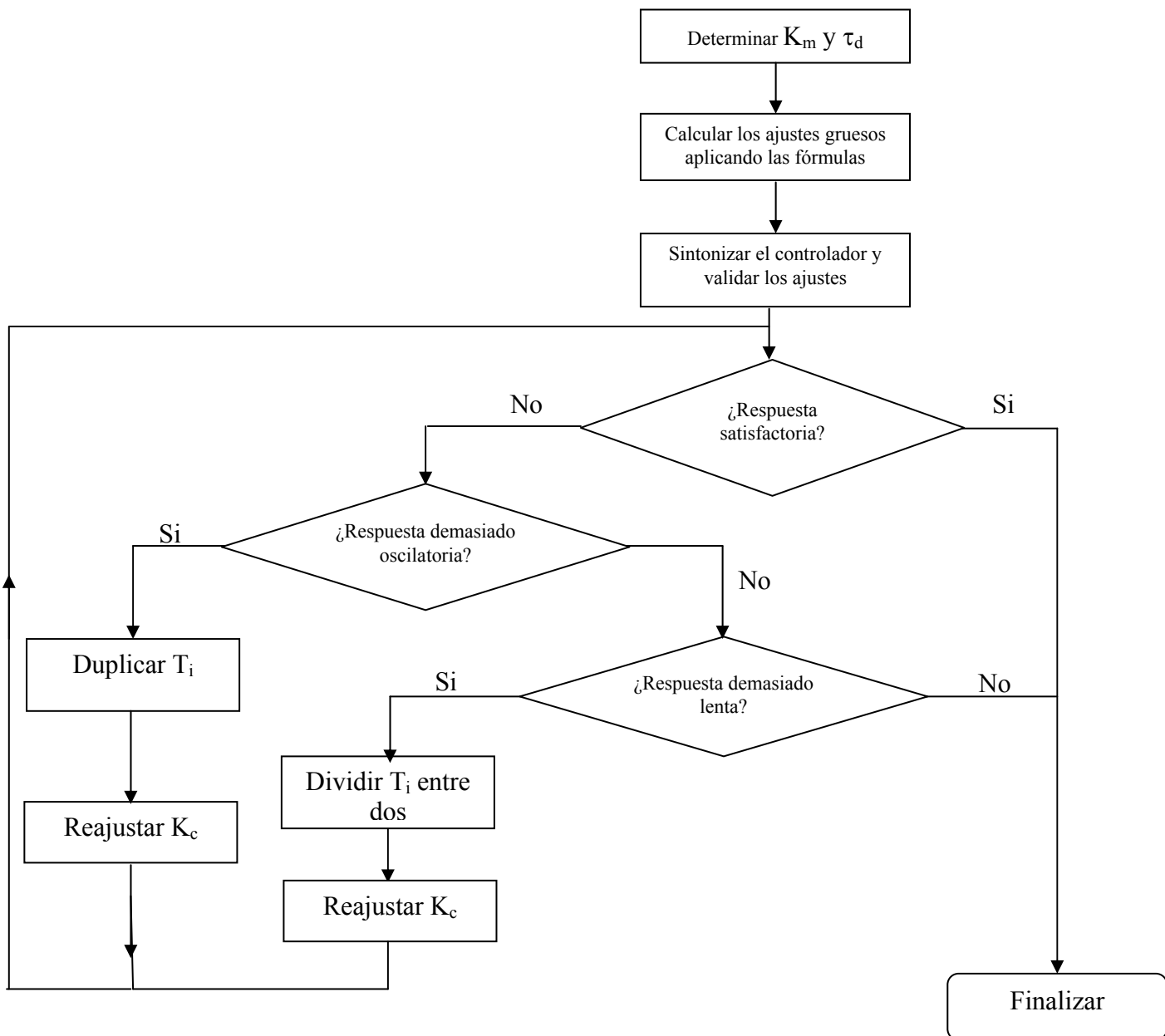
**si** respuesta demasiado lenta

dividir  $T_i$  entre dos y reajustar  $K_c$

**finsi**

**finsi**

Esto mismo se puede observar más claramente en el siguiente organigrama mostrado en la figura.



**Método de sintonización de un PI para un sistema de regulación**

CRITERIO	MÉTODO	PARÁMETROS		COMENTARIOS
		$K_c$	$T_i$	
MISE	HAZEBROEK y VAN DER WEEDEN	$\frac{1.5}{k_m \cdot \tau_m}$	5.562 $\tau_m$	$\tau_m$ conocido y $k_m$ estimado
	HAALMAN	$\frac{0.6667}{k_m \cdot \tau_m} = \frac{1}{3 \cdot k_m \cdot \tau_m}$	0	$u_s = 1.9$ ; $A_m = 2.36$ ; $\Phi_m = 50^\circ$ $\tau_m$ y $k_m$ son conocidas
MIAE	SHINKEY	$\frac{0.9524}{k_m \cdot \tau_m}$	$4 \tau_m$	No está especificado si $\tau_m$ y/o $k_m$ son conocidas o están estimadas
		$\frac{0.9259}{k_m \cdot \tau_m}$	$4 \tau_m$	
MITAE	$\tau_m$ y $k_m$ son conocidas y no estimadas	$\frac{0.5264}{k_m \cdot \tau_m}$	4.5804 $\tau_m$	Cambio en la carga
		$\frac{0.5327}{k_m \cdot \tau_m}$	3.8853 $\tau_m$	Cambio en la consigna

**8.3 BIBLIOGRAFÍA**

- Corripio, A.B. Tuning of Industrial Control Systems. ISA, 2000.
- O'Dwyer, Aidan. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules. Imperial College Press, 2003