



- **CÁTEDRA: “SISTEMAS DE CONTROL (PLAN 2004)”**
- **DOCENTE: Prof. Ing. Mec. Marcos A. Golato**

# SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES INDUSTRIALES

Universidad Nacional de Tucumán

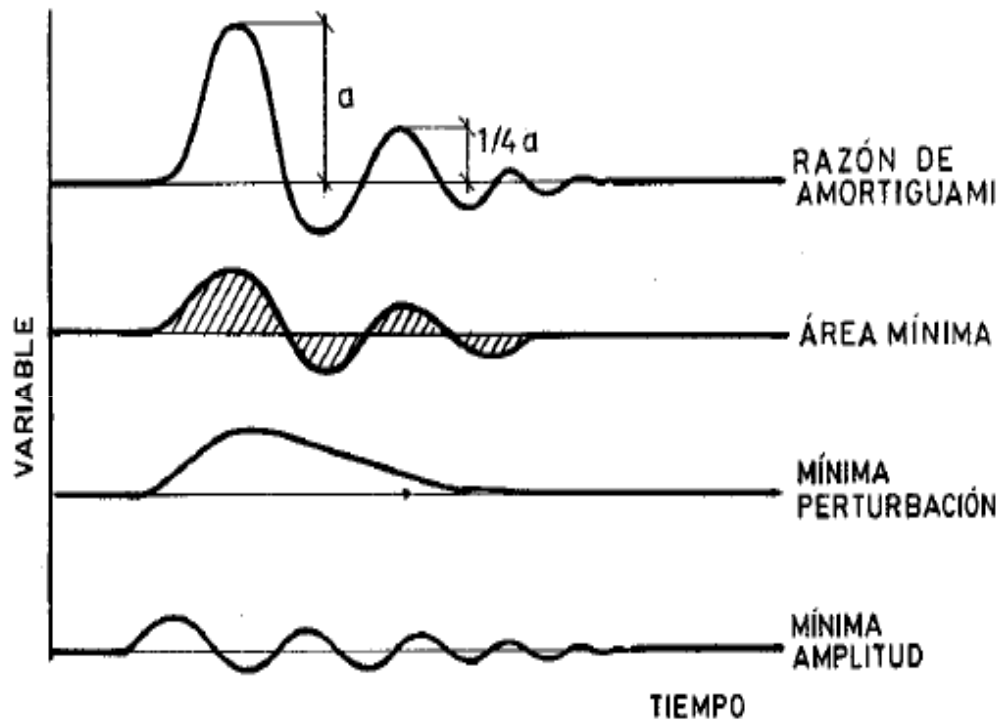
Fundada el 25 de mayo de 1914



# CRITERIOS DE ESTABILIDAD EN EL CONTROL

La estabilidad del control es la característica del sistema que hace que la variable controlada vuelva al valor deseado después de una perturbación.

## Criterios de estabilidad



La relación de amplitudes entre las crestas de los ciclos sucesivos debe ser de 0,25. Para procesos donde la duración de la desviación es tan importante como el valor de la misma.

El área de la curva de recuperación debe ser mínima, para lograr que la desviación sea mínima en el tiempo más corto. Para procesos con tiempos de retardos pequeños tal que  $T/L \gg 1$ .

Requiere una curva de recuperación no cíclica. Para procesos con correcciones rápidas y cíclicas.

La amplitud de la desviación debe ser mínima. Para procesos con desviaciones momentáneas excesivas.

## AJUSTE INICIAL DE CONTROLADORES PARA LAZOS DE CONTROL DE PROCEOS COMUNES

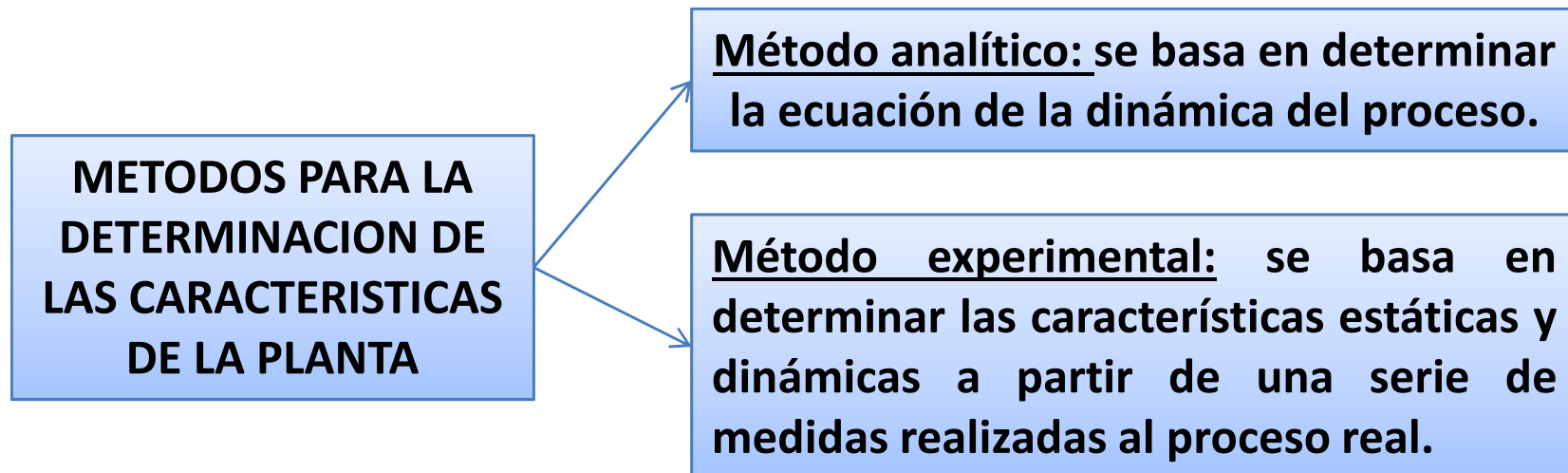
Cuando se pone en marcha una planta tiene lugar normalmente un primer ajuste de los controladores, es decir, la fijación de los valores de las acciones PID. Dado que en la puesta en marcha el tiempo es limitado, los instrumentistas, según su experiencia, prefijan dichos valores, y más adelante los ajustan definitivamente. Como guía de aplicación de valores iniciales, figura la siguiente tabla:

	<i>% Banda proporcional (ganancia)</i>		<i>Tiempo integral (min/rep)</i>	<i>Tiempo derivativo (minutos)</i>
Presión	20	(5)	—	—
Caudal	80-250	(1,25-0,4)	0,5-15	—
Nivel	50-100	(2-1)	—	—
Temperatura	20-50	(5-2)	0,5-15	0,5-3

## ACOPLAMIENTO ENTRE EL CONTROLADOR Y EL PROCESO

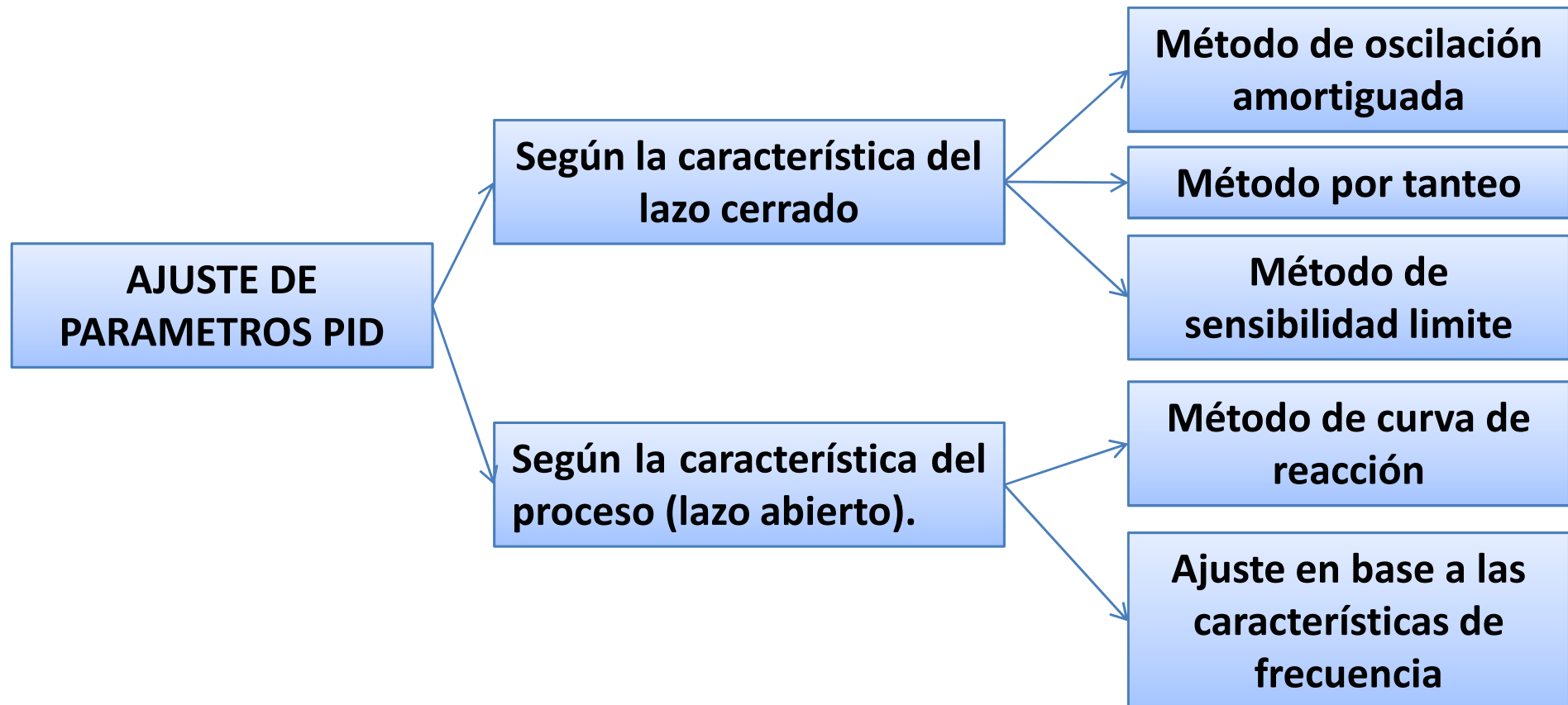
El lazo de control (Controlador-EFC-Proceso-Sensor/Transmisor), debe trabajar adecuadamente de manera de compensar las perturbaciones, para obtener una curva de recuperación conforme a los criterios de estabilidad antemencionados.

**Se debe lograr un acoplamiento optimo entre el controlador y el proceso, para ello se debe conocer las características estáticas y dinámicas del sistema controlado.**



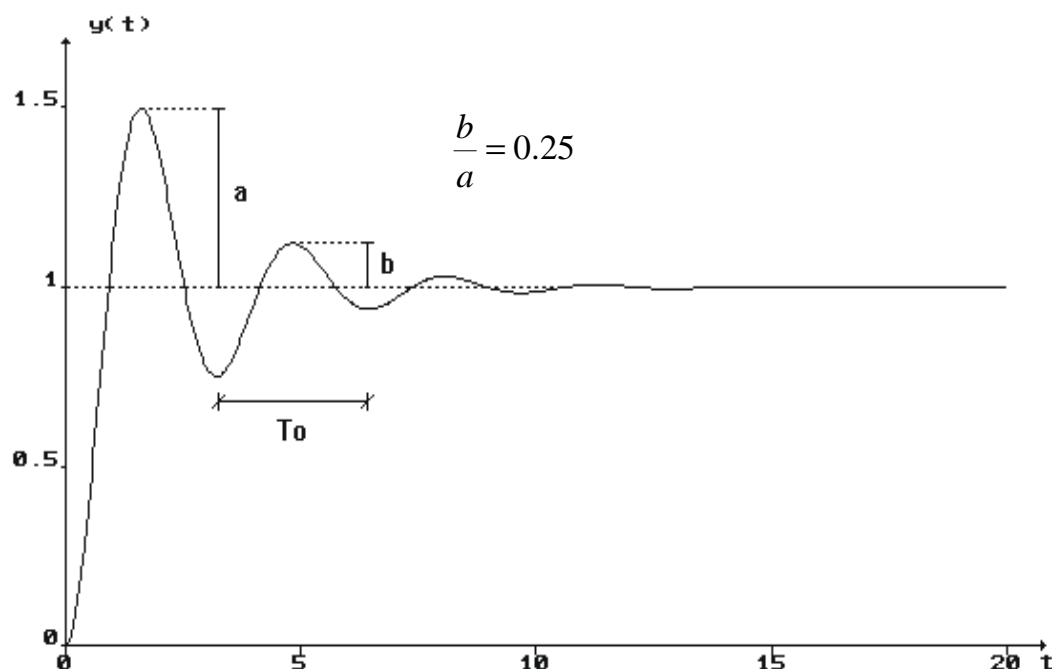
## METODOS DE AJUSTE DE CONTROLADORES

Para que la acción de control sea efectiva, se debe ajustar los parámetros PID. Existen métodos de ajuste empíricos basados en mediciones realizadas sobre la planta real.



# METODO DE OSCILACION AMORTIGUADA (Harriot)

Generar una oscilación amortiguada del 25% en lugar de una oscilación de amplitud constante. Obtener los tiempos integral y derivativo del periodo de oscilación



Parámetros de ajuste del controlador:

Tipo de Controlador	$K_c$	$T_i$	$T_d$
$P$	$K_o$	-	-
$PI$	$K_o$	$T_o$	-
$PID$	$K_o$	$\frac{T_o}{1.5}$	$\frac{T_o}{6}$

donde:

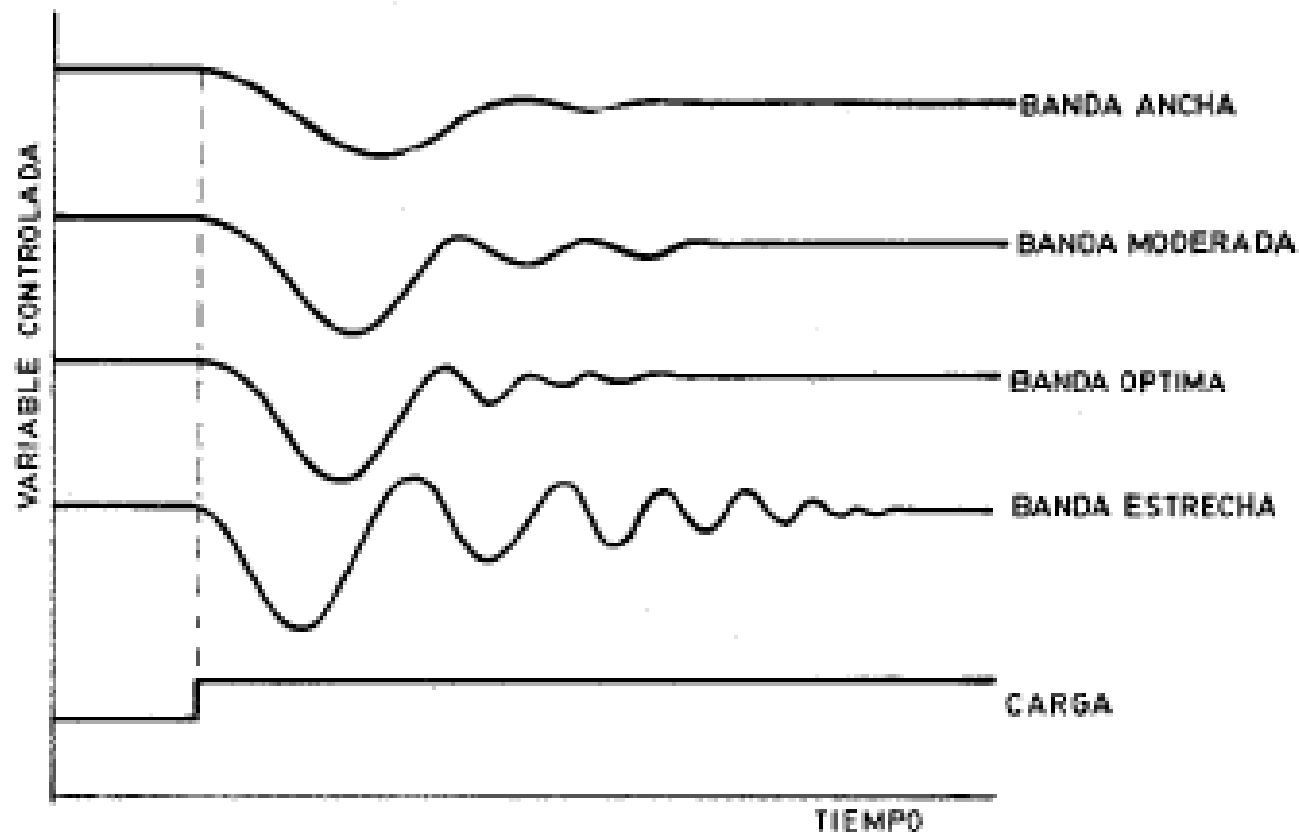
$K_c$  = ganancia proporcional crítica o última.  
 $K_o$  = ganancia proporcional para  $b/a=0,25$ .

# METODO POR TANTEO

## CONTROLADOR “P”

### Ajuste de la ganancia proporcional $K_p$ :

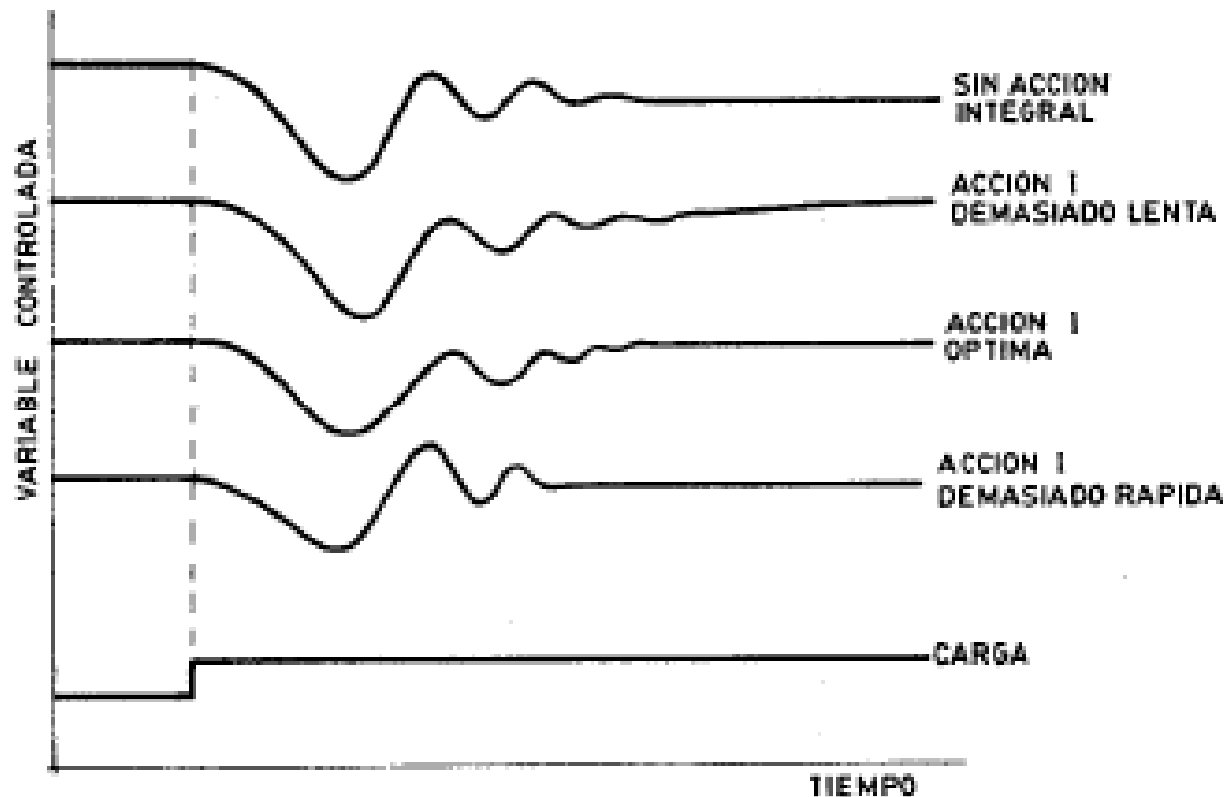
- 1- Se inicia con ganancia baja (banda proporcional ancha).
- 2- Se comienza a aumentar la ganancia (se estrecha la banda proporcional).
- 3- Se observa el comportamiento del sistema hasta obtener la estabilidad deseada.



## CONTROLADOR “P+I”

### Ajuste de la ganancia integral $K_i = K_p/T_i$

- 1- Se inicia con ganancia integral cero ( $T_i = \infty$ ).
- 2- Se comienza a aumentar la ganancia  $K_p$  (se estrecha la banda proporcional).
- 3- Se observa el comportamiento del sistema hasta obtener la estabilidad deseada.
- 4- Se incrementa de a poco la acción integral (disminuyendo  $T_i$ ) creando perturbaciones en SP y corrigiendo la ganancia  $K_p$  de modo de aumentar los ciclos.
- 5- Se reduce ligeramente en este punto la  $K_i$  hasta obtener una respuesta óptima.

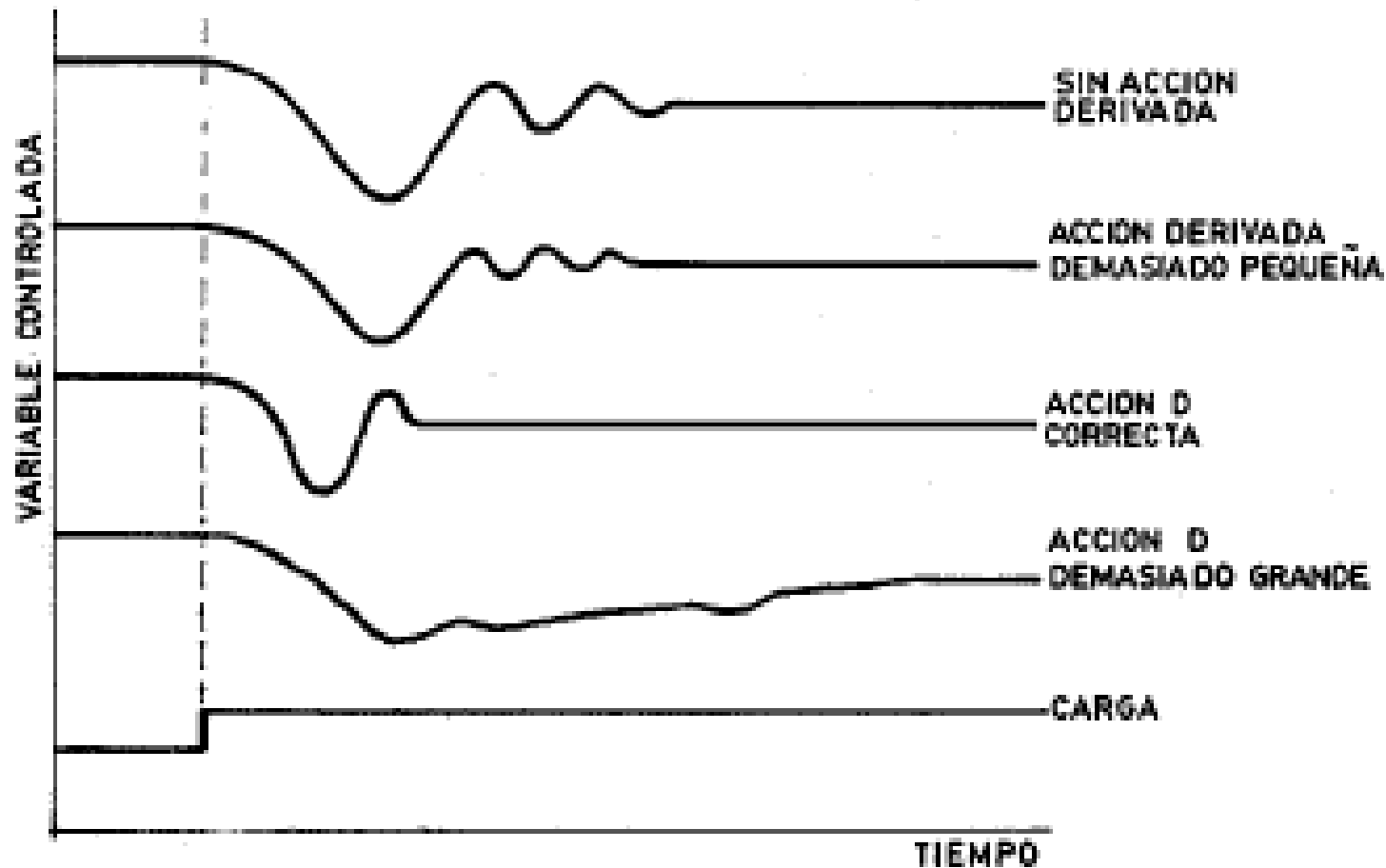




## CONTROLADOR “P+I+D”

### Ajuste de la ganancia derivativa $K_d = K_p \cdot T_d$

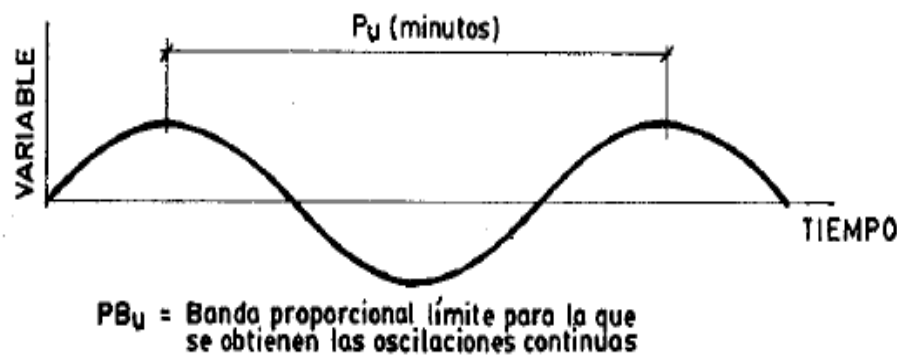
- 1- Se inicia con ganancia integral y derivativa igual a cero ( $T_i = \infty$  y  $T_d = 0$ ).
- 2- Se comienza a aumentar la ganancia integral  $K_i$  hasta alcanzar la inestabilidad.
- 3- Se aumenta la ganancia derivativa  $K_d$  mediante pequeños incrementos con pequeños desplazamientos del SP y hasta obtener un comportamiento cíclico.
- 4- Se reduce en este punto la ganancia  $K_d$  y se ajusta la ganancia  $K_p$  (estrechando la banda proporcional) hasta alcanzar una respuesta óptima.



# METODO DE SENSIBILIDAD LIMITE (Ziegler-Nichols)

También denominado de ganancia límite. Permite calcular los tres términos PID a partir de datos obtenidos en una prueba de las características del lazo cerrado.

El método se basa en estrechar gradualmente la banda proporcional PB (aumentando  $K_p$ ), con la acción integral y derivativa prácticamente anuladas, mientras se crean pequeños cambios en el SP, hasta que el proceso comienza a oscilar de modo continuo.

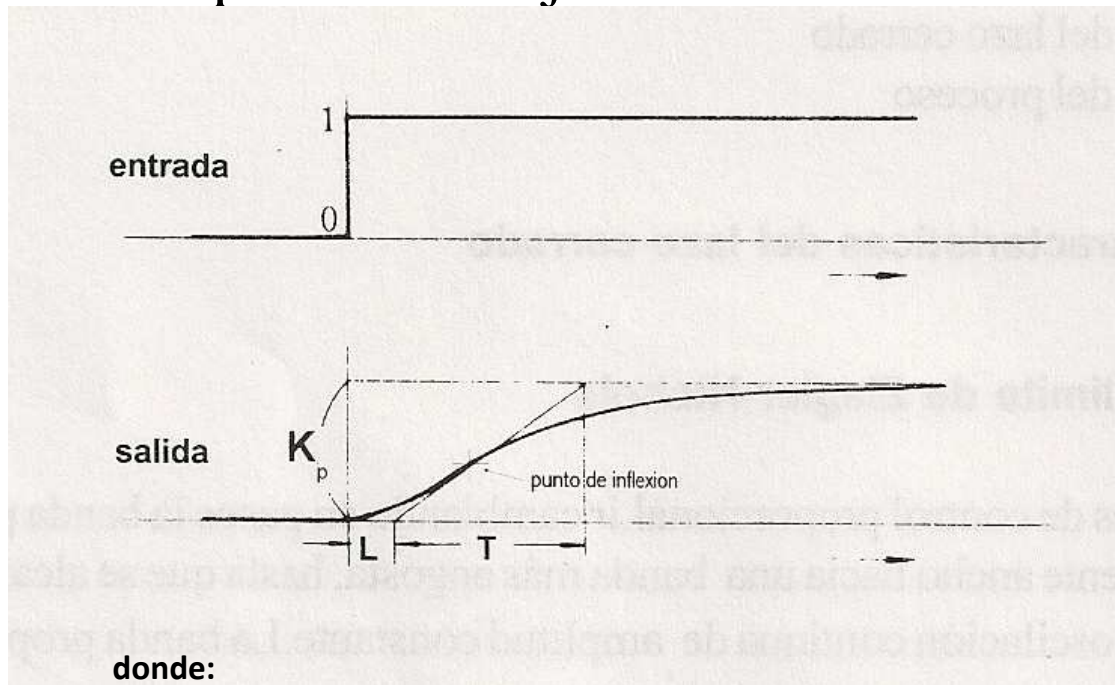


Parámetros de ajuste del controlador para obtener una respuesta con una relación de amortiguamiento de 0,25:

Modo de Control	PB	$T_i$	$T_d$
P	$2 PB_u$	—	—
PI	$2.2PB_u$	$0.83P_u$	—
PID	$1.7PB_u$	$0.5 P_u$	$0.125P_u$

# METODO DE CURVA DE REACCIÓN (Ziegler – Nichols)

Consiste en abrir el lazo cerrado antes de la válvula operando en control manual y crear una perturbación en la señal de entrada del proceso. La respuesta obtenida se registra en una carta de banda y de allí se obtiene los parámetros ajuste.



donde:

%BP = banda proporcional.

R= Pendiente de la recta tangente a la curva en el pto de inflexión.

L= tiempo muerto.

$\Delta P$  = % de variación de posición de la válvula que ha producido el escalón.

Parámetros de ajuste del controlador:

Control "P"	$\%BP = 100.R.L/\Delta P$
Control "P+I"	$\%BP = 110.R.L/\Delta P$
	$Ti = L/0,3$
Control "P+I+D"	$\%BP = 83.R.L / \Delta P$
	$Ti = L/0,5$
	$TD = 0,5.L$

## Lista de constantes de Ajuste Optimo usando el Método de la Respuesta Transitoria

Propuesto por	Tipo* <sup>1</sup>	Modo de Control	Acción de Control* <sup>2</sup>			Condiciones Optimas* <sup>3</sup>	
			PB	$T_1$	$T_D$		
Ziegler Nichols (1942)	A,B	P	$100 K_p L/T$	—	—	25% de amortiguamiento	
		PI	$110 K_p L/T$	$3.3 L$	—		
		PID	$83 K_p L/T$	$2 L$	$0.5 L$		
Takahashi	B	P	$110 K_p L/T$	—	—	Area de control mínima	
		PI	$110 K_p L/T$	$3.3 L$	—		
		PID	$77 K_p L/T$	$2.2 L$	$0.45 L$		
Chien Hrones Reswick	A	P	$333 K_p L/T$	—	—	No hay sobrepaso. Mínimo tiempo de respuesta	
		PI	$286 K_p L/T$	$1.2 T$	—		
		PID	$167 K_p L/T$	$T$	$0.5 L$		
Chien Hrones Reswick	A	P	$143 K_p L/T$	—	—	20% de sobrepaso Mínimo tiempo de respuesta	
		PI	$167 K_p L/T$	$T$	—		
		PID	$105 K_p L/T$	$1.35 T$	$0.47 L$		
Chien Hrones Reswick	B	P	$333 K_p L/T$	—	—	No hay sobrepaso. Mínimo tiempo de respuesta	
		PI	$167 K_p L/T$	$4 L$	—		
		PID	$105 K_p L/T$	$2.4 L$	$0.4 L$		
Chien Hrones Reswick	B	P	$143 K_p L/T$	—	—	20% de sobrepaso Mínimo tiempo de respuesta	
		PI	$143 K_p L/T$	$2.3 L$	—		
		PID	$83 K_p L/T$	$2 L$	$0.42 L$		
Fujii Yoshikawa	A	P	$100 K_p L/T$	—	—	Area de control mínima	
		PI	$\begin{cases} L/T \leq 1 \\ L/T \geq 1 \end{cases}$	$167 K_p L/(T+L)$	$T+L$		—
			$\begin{cases} L/T \leq 1 \\ L/T \geq 1 \end{cases}$	$250 K_p L/(T+2L)$	$2 L$		—
		PID	$\begin{cases} L/T \leq 1 \\ L/T \geq 1 \end{cases}$	$133 K_p L/(T+(1/3)L)$	$0.5(T+L)$		$0.125(T+L)$
$\begin{cases} L/T \leq 1 \\ L/T \geq 1 \end{cases}$	$200 K_p L/(T+L)$		$L$	$0.25 L$			

Observaciones \*<sup>1</sup> Tipo A para cambio de objetivo Tipo B para perturbación

\*<sup>2</sup>  $T$ ,  $L$ ,  $K_p$ : Obtenidas de la respuesta transitoria

\*<sup>3</sup> Ver Fig. 3-27