

CONTROLADORES CONTINUOS

Agustín Rodríguez

Introducción al Control industrial – Curso 2020

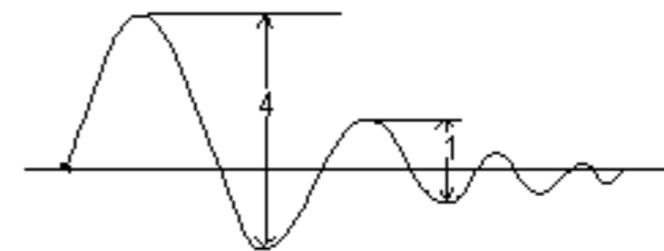
CRITERIOS DE SINTONÍA DE PID: ¿CÓMO SE QUE ESTÁ SINTONIZADO?

Crterios elementales

- La planta no voló
- Me dicen que está todo bien y que me puedo ir
- Las medidas del procesos están cerca del setpoint.

Crterios informales

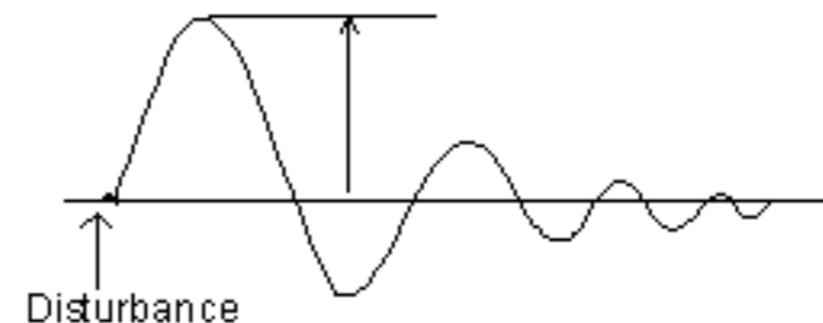
- Caída a 1/4 de la amplitud de pico



- Mínimo sobretiro

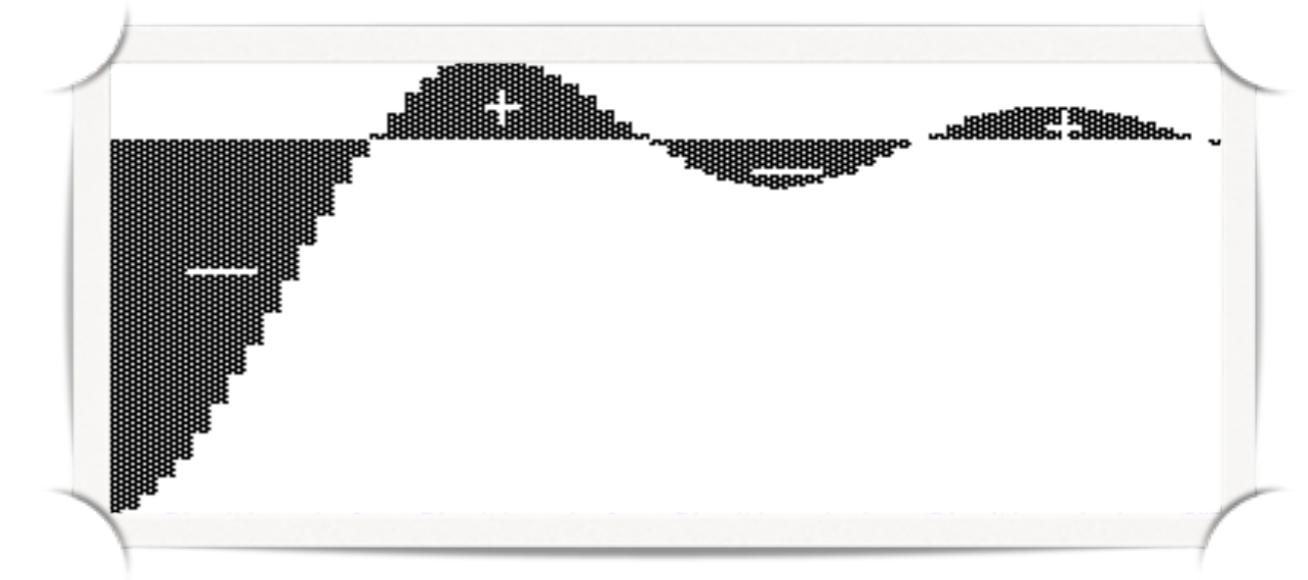


- Máximo rechazo a perturbaciones.



CRITERIOS DE SINTONÍA DE PID: CRITERIOS FORMALES

Tratan de la minimización de índices o funciones de costo y son usados más que nada a nivel académico junto con simulaciones para el estudio de algoritmos de control.



Índices:

IAE – Integral del error absoluto

ISE – Integral del error al cuadrado

ITAE - Integral del error absoluto ponderado en el tiempo

ITSE - Integral del error al cuadrado ponderado en el tiempo

SINTONIZACIÓN

Control proporcional: disminuye tiempo de subida y error en régimen permanente

Control integral: elimina error en régimen permanente, empeora respuesta transitoria

Control derivativo: aumenta estabilidad del sistema, reduciendo tiempo de asentamiento, disminuyendo el sobretiro y mejorando respuesta transitoria

Cte.	Tiempo de subida	Sobretiro	Tiempo de asentamiento	Error en régimen
Kp	Disminuye	Aumenta	Pequeña alteración	Disminuye
Ki	Disminuye	Aumenta	Aumenta	Elimina
Kd	Pequeña alteración	Disminuye	Disminuye	Pequeña alteración

CICLO CONTINUO (ZIEGLER-NICHOLS)

Ensayo en lazo cerrado, procedimiento:

- 1) El controlador se coloca en modo proporcional con una ganancia muy pequeña (T_i máximo valor y $T_d=0$).
- 2) Generar una perturbación a través de un pequeño cambio en el SP
- 2*) Incrementar gradualmente la ganancia, hasta que aparezcan oscilaciones.
- 3) Ajustar la ganancia hasta lograr que las oscilaciones sean de amplitud constante.
- 4) Tomar nota de la ganancia (Ganancia Crítica, K_C) y del período (Período Crítico, T_C). Ajustar los parámetros del controlador PID estándar, de acuerdo a la tabla

	K_p	T_i	T_d
P	$0,5.K_C$		
PI	$0,45.K_C$	$\frac{1}{1,2}.T_C$	
PID	$0,6.K_C$	$0,5.T_C$	$\frac{1}{8}.T_C$

CICLO CONTINUO (ZIEGLER-NICHOLS)

- La sintonía se basa en un punto de la resp. en frec. del sistema (módulo $1/KC$ y fase -180°)
- Z-N apuntaban a una respuesta subamortiguada frente a cambios tipo escalón para plantas que se ajustaban satisfactoriamente a modelos del tipo:

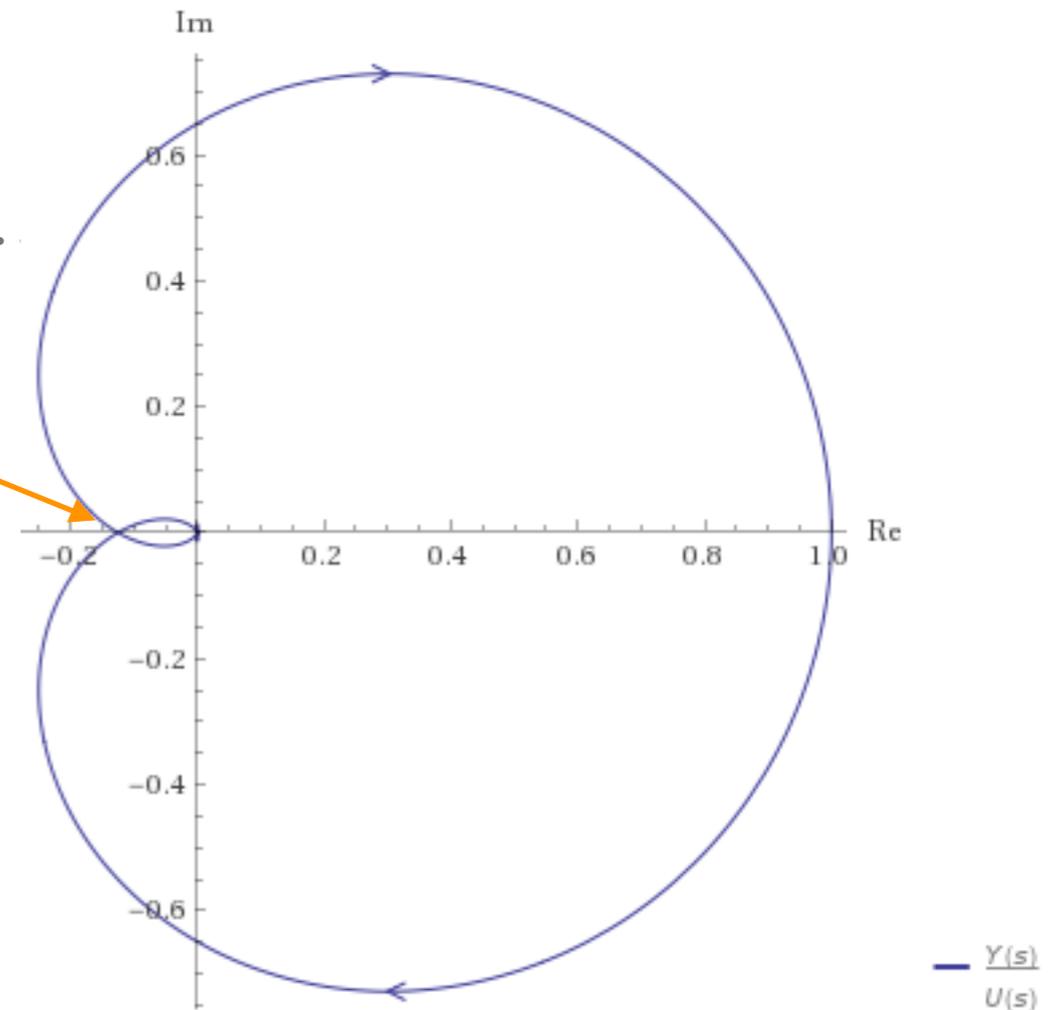
$$G_P(s) = \frac{G.e^{-T_m \cdot s}}{\tau \cdot s + 1}$$



EJEMPLO 1

$$G_P(s) = \frac{1}{(s+1)^3}$$

0.125



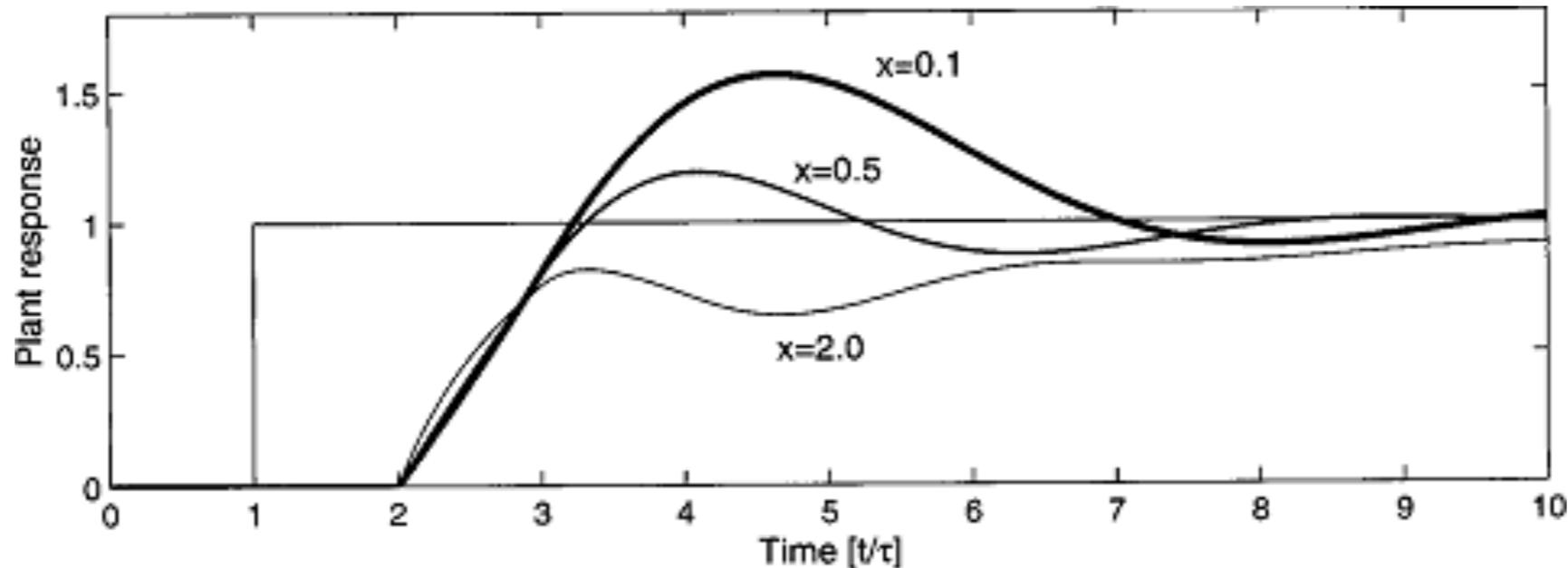
➤ A partir de la resp. en frec. se obtiene: $K_C = 8; \omega_C = \sqrt{3} \Rightarrow T_C \approx 3,63$

➤ Y de la tabla se tiene que:

$$K_P = 0,6.K_C = 4,8$$
$$T_i = 0,5.T_C \approx 1,81$$
$$T_d = 0,125.T_C \approx 0,45$$

Z-N CICLO CONTINUO

- El método es muy sensible a la relación $x = \frac{T_m}{\tau}$



- Resp. a escalón unitario en el set-point de un PI sintonizado con el método de Ciclo Continuo Z-N, para diferentes valores de x

CURVA DE REACCIÓN DE PROCESO

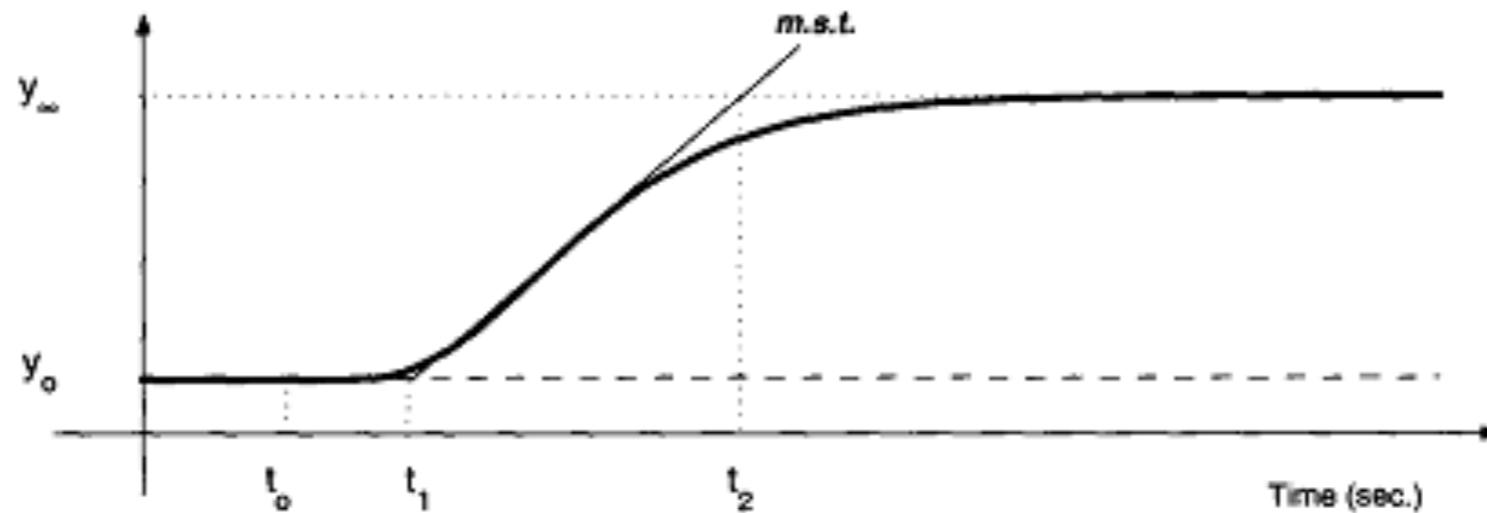
Muchas planta industriales pueden ser satisfactoriamente descritas por un modelo de la forma:

$$G_P(s) = \frac{G \cdot e^{-T_m \cdot s}}{\tau \cdot s + 1}$$

y sus valores pueden determinarse con el procedimiento:

- 1) Con la planta en lazo abierto, llevarla manualmente a un punto de operación normal. Digamos que la planta se estabilizó en y_0 para u_0 constante
- 2) En el instante t_0 , aplicar un escalón desde u_0 a u (del orden del 10 al 20% del fondo de escala)
- 3) Registrar la salida de la planta hasta que se establezca en un nuevo punto de operación (esta gráfica es la llamada Curva de reacción del proceso).

CURVA DE REACCIÓN DE PROCESO



Respuesta de la planta al escalón (lazo abierto) (m.s.t. = tangente de máxima pendiente)

4) Calcular los parámetros del modelo como sigue:

$$G = \frac{y_\infty - y_0}{u_\infty - u_0} \quad T_m = t_1 - t_0 \quad \tau = t_2 - t_1 \quad G_P(s) = \frac{G.e^{-T_m \cdot s}}{\tau \cdot s + 1}$$

El modelo obtenido es útil para varios métodos de sintonía.

CURVA DE REACCIÓN DE PROCESO - ZIEGLER NICHOLS

Orientado a obtener una respuesta subamortiguada frente a cambios escalón a la entrada, del tipo relación de $\frac{1}{4}$ de amplitud entre el primer y segundo pico.

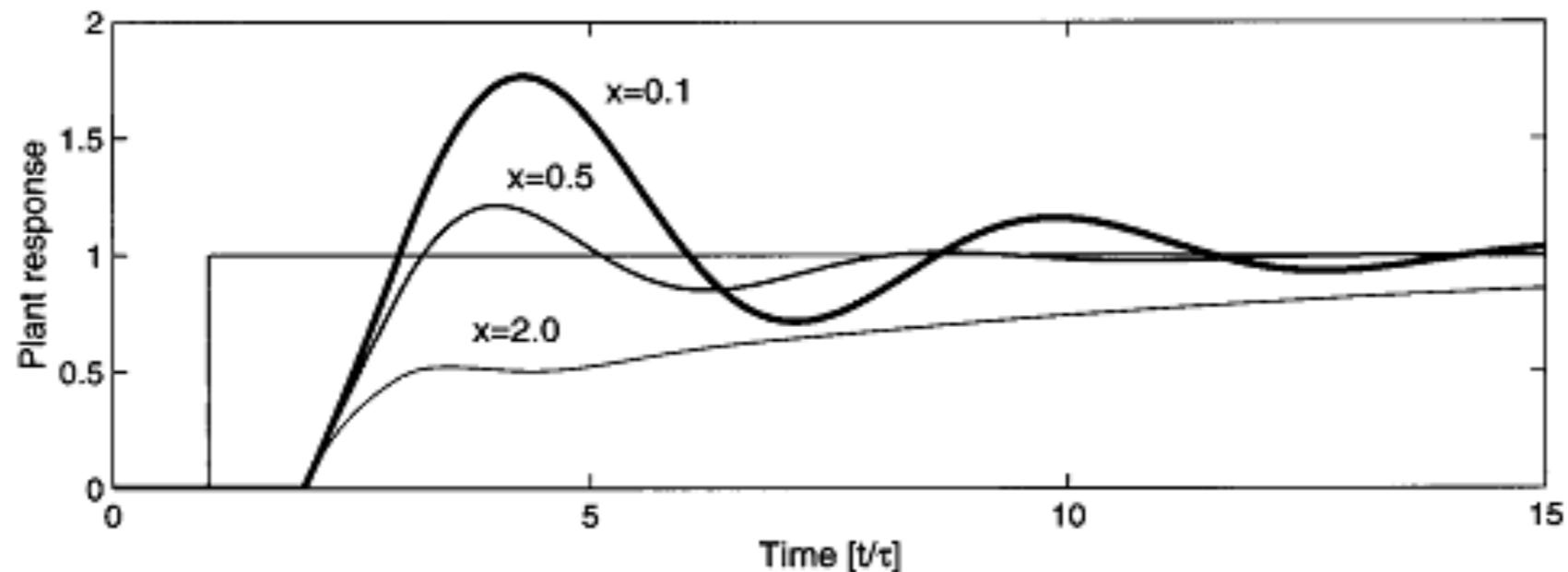
Los parámetros del controlador PID estándar se obtienen de la tabla:

	K_P	T_i	T_d
P	$\frac{\tau}{G.T_m}$		
PI	$\frac{0,9.\tau}{G.T_m}$	$\frac{T_m}{0,3}$	
PID	$\frac{1,2.\tau}{G.T_m}$	$2.T_m$	$0,5.T_m$

CURVA DE REACCIÓN DE PROCESO - ZIEGLER NICHOLS

El método es extremadamente sensible a la relación

$$x = \frac{T_m}{\tau}$$



Resp. a escalón unitario en el set-point de un PI sintonizado con el método de la Curva de Reacción de Z-N, para diferentes valores de x

- Esta limitación mejorada por otros métodos, que reducen la dependencia con x .

CURVA DE REACCIÓN DE PROCESO - COHEN-COON

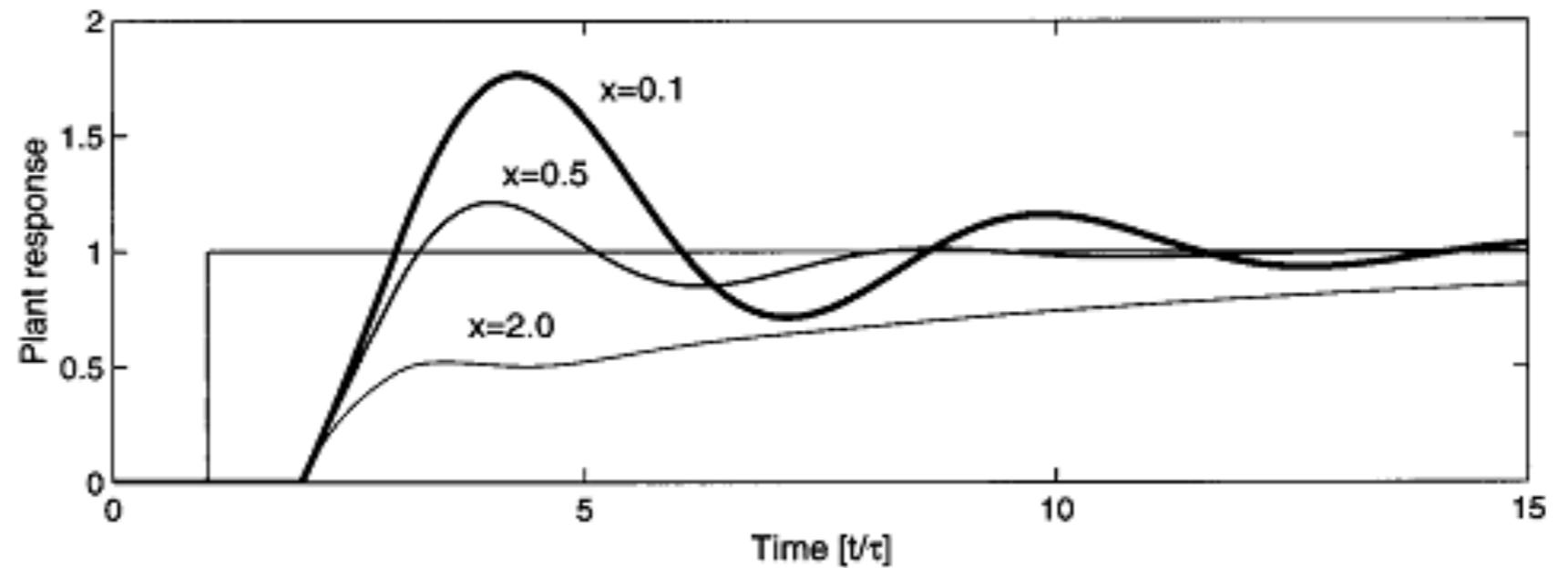
- Sus estudios condujeron a sintonías más rápidas y con respuestas más homogéneas.
- Los parámetros del controlador PID estándar se obtienen de la tabla:

	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{\tau}{G.T_m} \cdot \left[1 + \frac{T_m}{3.\tau} \right]$		
PI	$\frac{\tau}{G.T_m} \cdot \left[0,9 + \frac{T_m}{12.\tau} \right]$	$T_m \cdot \frac{30.\tau + 3.T_m}{9.\tau + 20.T_m}$	
PID	$\frac{\tau}{G.T_m} \cdot \left[\frac{4}{3} + \frac{T_m}{4.\tau} \right]$	$T_m \cdot \frac{32.\tau + 6.T_m}{13.\tau + 8.T_m}$	$\frac{4.\tau.T_m}{11.\tau + 2.T_m}$

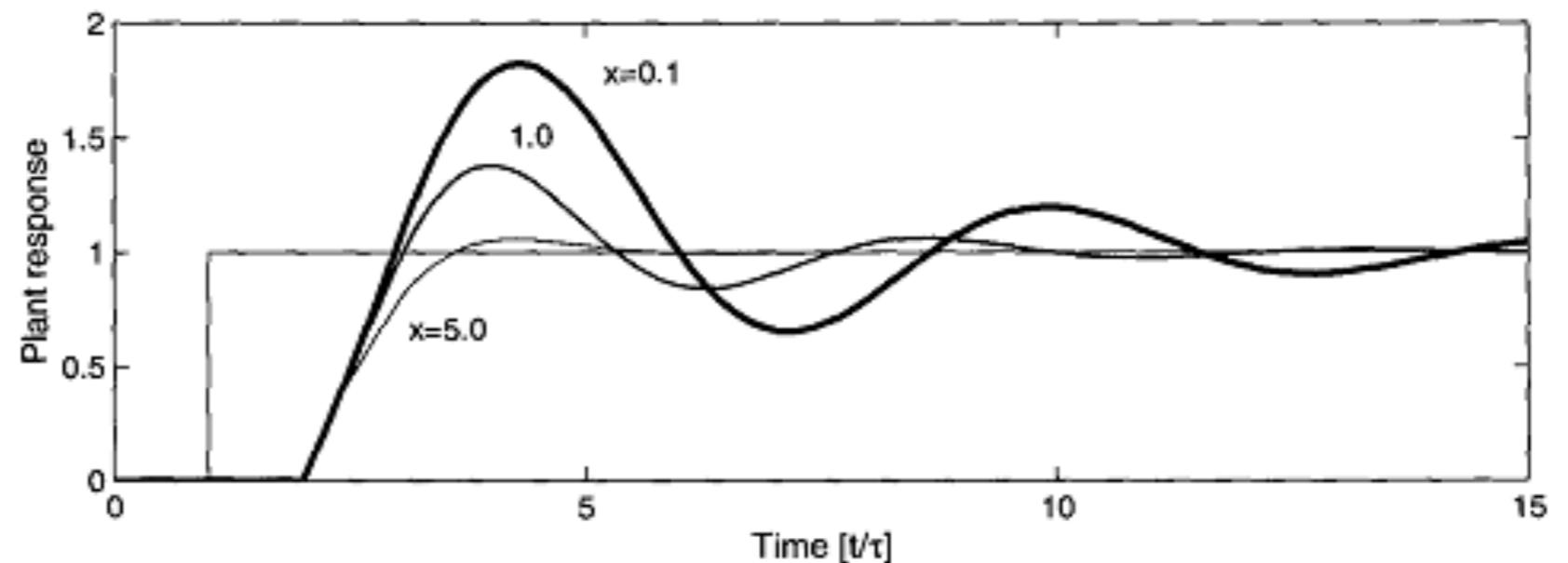
CURVA DE REACCIÓN DE PROCESO - COHEN-COON

Resp. a escalón unitario en el set-point de un PI sintonizado con el método de la Curva de Reacción de C-C, para diferentes valores de x

Ziegler-Nichols



Cohen-Coon



RESUMEN CONTROLADOR PID

- Los controladores PI y PID son de amplio uso en el control industrial. Se ha demostrado empíricamente que ofrece una flexibilidad suficiente como para arrojar buenos resultados en muchas aplicaciones.
- Varios métodos empíricos de sintonía pueden usarse para ajustar los valores de los parámetros del PID para una cierta aplicación, y deben ser tomados como punto de partida en la búsqueda de una buena sintonía.

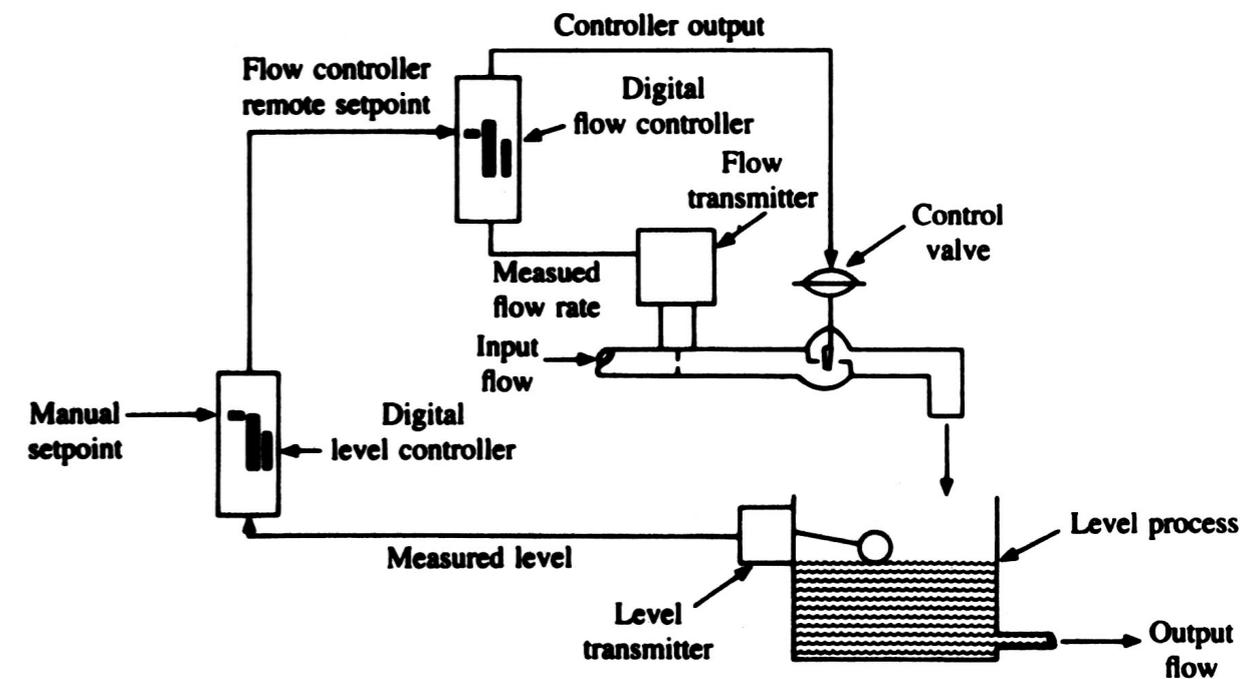
CONTROL EN CASCADA

Involucra a 2 controladores, donde la salida del primero se utiliza como setpoint del segundo.

Ejemplo: control de nivel de un tanque

Los cambios en el nivel son lentos debido a la capacitancia del tanque; por el contrario, los cambios de caudal son muy rápidos.

Cuando una perturbación provoca cambios en el caudal, hay un retardo considerable hasta que el nivel cambia lo suficiente como para corregir la perturbación, que probablemente ya haya vuelto a cambiar. Esto conduce a fluctuaciones en el nivel, que pueden ser mejoradas de esta manera.



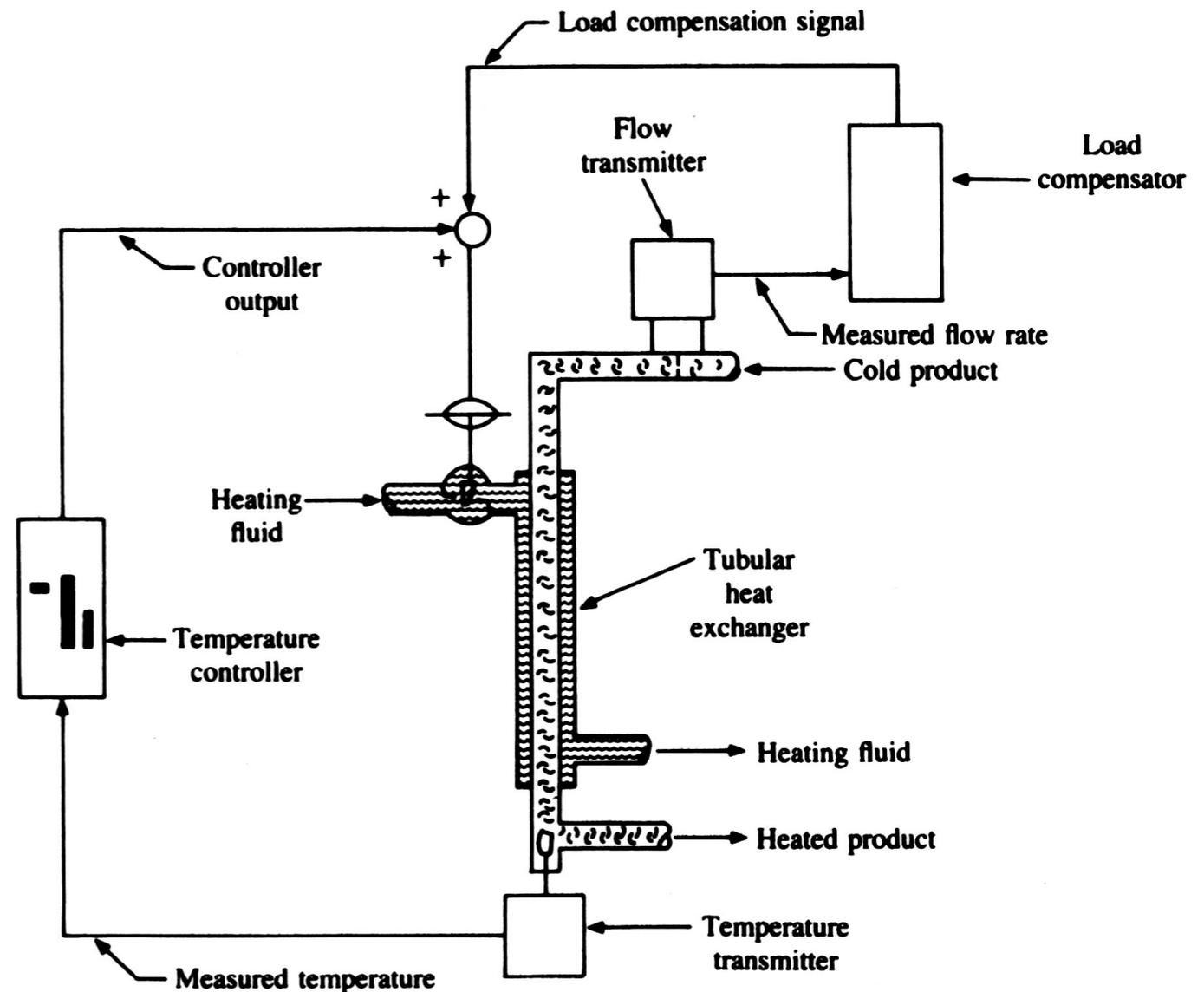
◆ **Figure 13.24** A cascade level control system uses a flow control loop inside the level control loop for improved response to flow disturbances.

CONTROL FEEDFORWARD

Necesita de un buen modelo del proceso para ajustar la salida del controlador en respuesta a cambios de carga medidos, sin esperar a la ocurrencia del error.

Ejemplo: Intercambiador de calor de camisa y tubo

El caudal de producto es una carga principal de este sistema. Así que pudiendo medirla, al aumentar el caudal, podremos aumentar (en la medida justa) el caudal del fluido calefactor y mantener la temperatura del producto incambiada.



◆ **Figure 13.25** A feedforward signal compensates for changes in product flow rate in this temperature control system.

CONTROL ADAPTIVO

- Adapta los parámetros del controlador a los cambios en el proceso.
- En el ejemplo anterior, un cambio en el caudal de producto, cambia el tiempo muerto del proceso, y se debería resintonizar el controlador.
- Esta autosintonía se puede clasificar en:
 - Basada en un modelo de la planta: el controlador continuamente esta actualizando un modelo de la planta que luego utiliza para ajustar sus parámetros, realizando ensayos sobre ese modelo.
 - Basada en reconocimiento de patrones: el controlador examina la señal de error en el tiempo, debida a perturbaciones naturales, en busca de presencia o ausencia de picos, tiempo entre picos, offset proporcional. Con esto y alguna información almacenada, ajusta sus parámetros.

CONTROL ADAPTIVO

TRAC: Trust-Region Reflective Adaptive Controller

Start OFF ON Reset Guess

TRAC

TRAC Iterations: 0 to 15 (slider at 0)

Tolerance: 0.001 (input field)

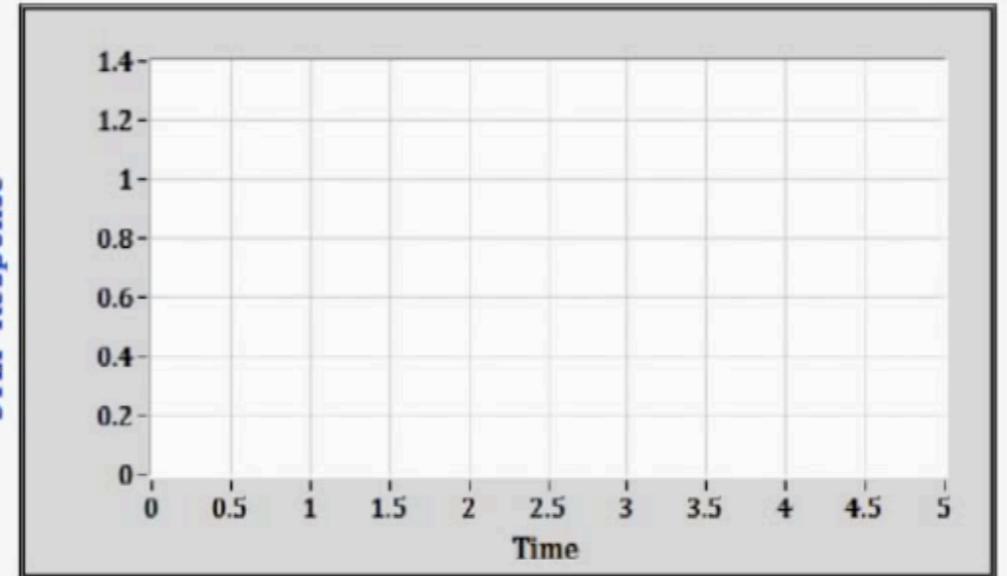
Tolerance knob: 0 to 1 (set at 0.2)

Mass: 0 to 10 (slider at 1)

Damping: 0 to 10 (slider at 8)

Spring: 0 to 100 (slider at 50)

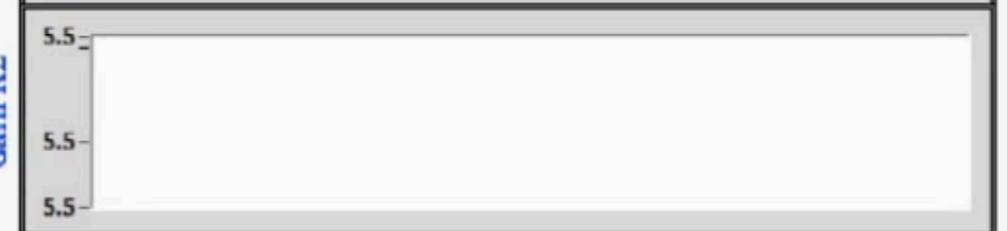
STEP Response



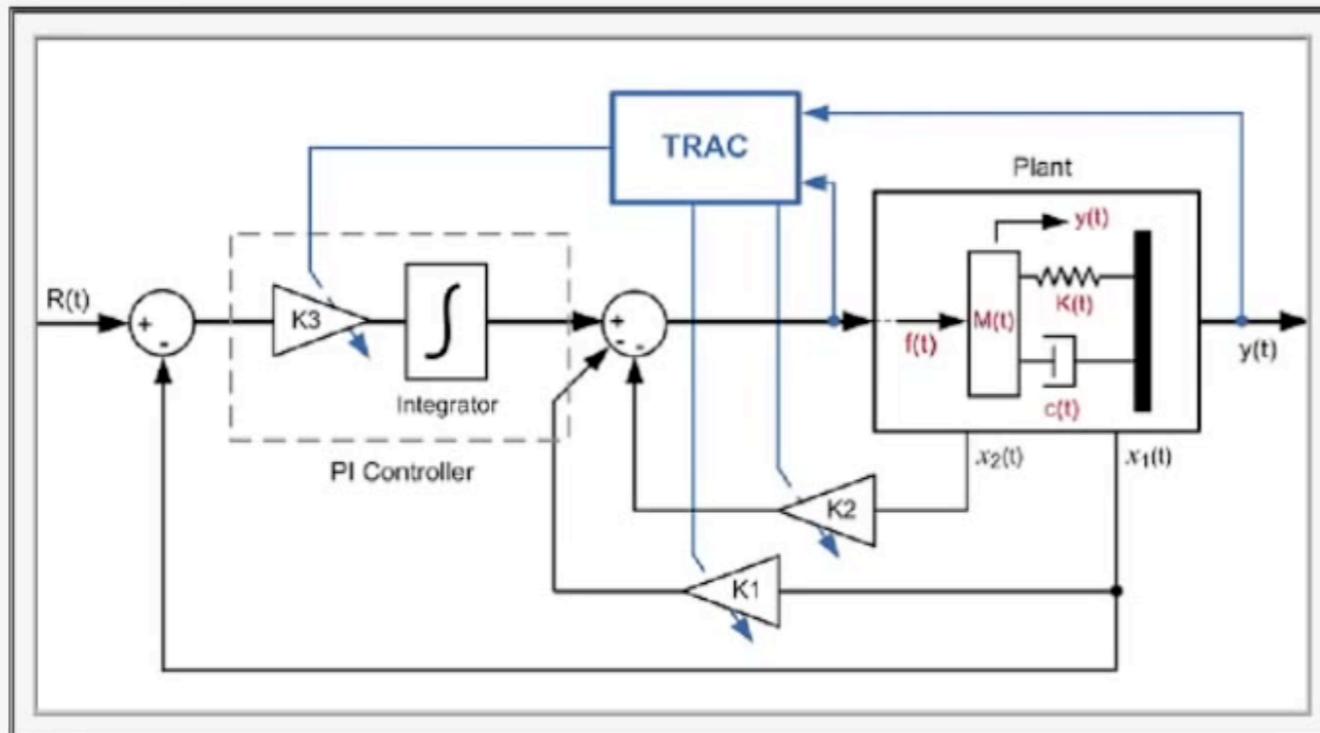
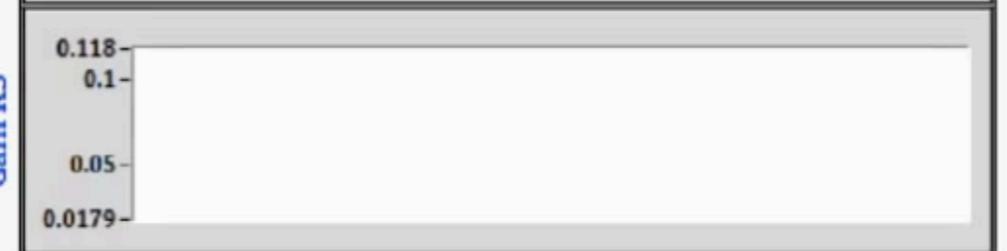
Gain K1



Gain K2



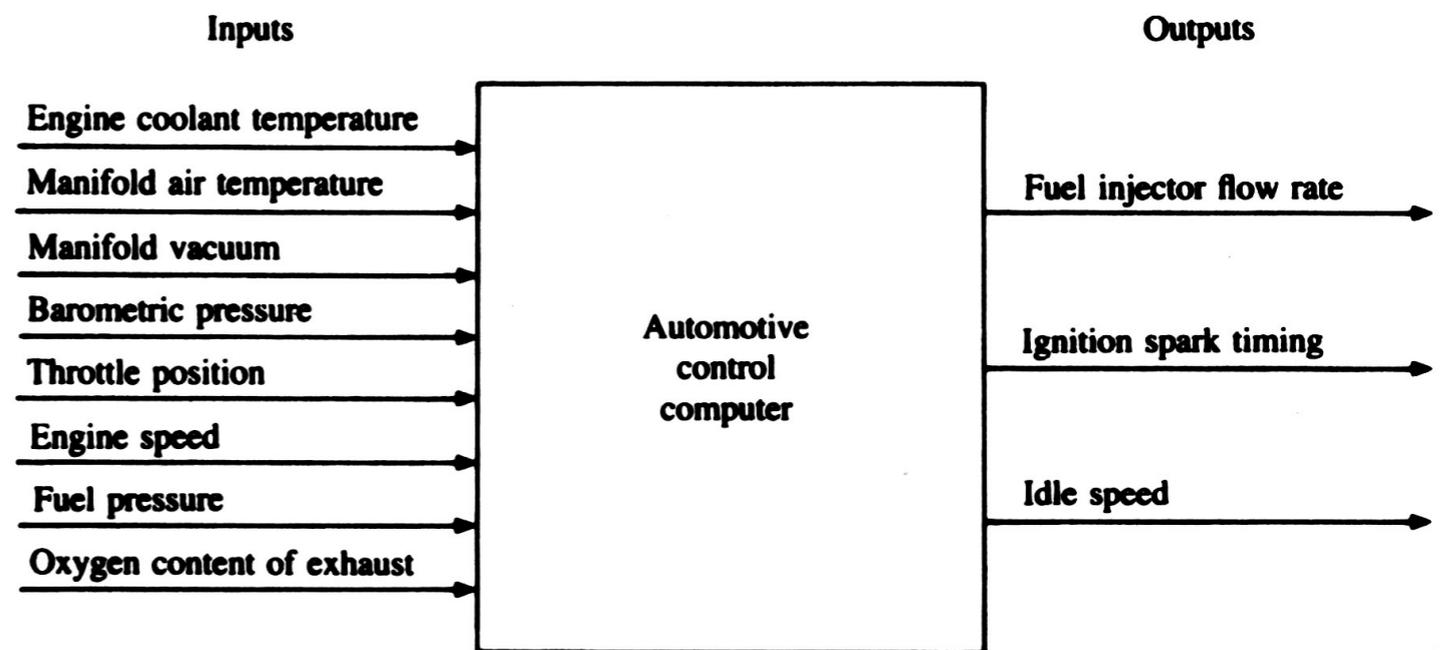
Gain K3



CONTROL MULTIVARIABLE

- Se sensan y se manipulan varias variables del procesos.
- Ejemplo de uso: Control de temporizado de chispa, el caudal de inyección de combustible y velocidad de ralenti en automóviles.

En cada modo de operación se valoran las distintas variables de entrada de diferente forma: un motor frío o acelerado necesita más combustible, en la deceleración necesita menos combustible, la velocidad de ralenti se eleva cuando el motor está frío o se enciende el aire acondicionado, etc.



◆ **Figure 13.26** An automotive control computer is an example of a multivariable control system. The generic system shown here is intended only to illustrate multi-variable control.

CONTROL DE LÓGICA DIFUSA // FUZZY-LOGIC

- Intenta emular la forma de razonar de los operadores expertos de una planta.
- Se toman decisiones claras (crisp - tajante) basadas en el conocimiento algo vago (fuzzy - difuso) de condiciones.
- Frase: “El día esta cálido”. Significado: ¿Son 20, 24 o 28 °C? En invierno, quizás 16 °C. En la Antártida, quizás 12 °C.
- Lógica difusa:
 - Lógica clásica: un elemento pertenece o no a un conjunto.
 - Lógica fuzzy: grado de pertenencia.

