

Pruebas de Sintonización de Controladores PID por Métodos Desarrollados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica Universidad de Costa Rica

Natalie Enríquez Salazar,
Universidad de Costa Rica, Ciudad de la Investigación, Sede Universitaria Rodrigo Facio.
natyes82@gmail.com

Resumen--En el presente estudio, se desarrolla un procedimiento de sintonización de controladores, donde se selecciona un modelo de polo doble más tiempo muerto (PDMTM) de una planta, al que posteriormente se le adiciona un controlador PID Ideal bajo el Criterio Integral del tiempo por el error absoluto (ITAE). Al llevar a cabo varias pruebas con controladores sintonizados con los métodos de Solera (2005) y Méndez (2006) tanto en Servomecanismo como Regulatorio, se verifican sus similitudes y discrepancias, así como discriminar el que mejor desempeño presenta.

I. INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, la síntesis de controladores se ha realizado con métodos que involucran modelos de primer orden, lo cual en algunos casos no representa las necesidades de respuesta ante los cambios en el comportamiento del proceso controlado.

Los métodos experimentales de ajuste de parámetros están especialmente orientados al mundo industrial, donde existen grandes dificultades para obtener una descripción analítica de los procesos; es por ello que un modelo de orden superior, es el más apropiado para aproximar el orden de la planta y así optimizar el diseño de un controlador "inteligente" que logre un buen equilibrio en la respuesta deseada.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo General:

Controlar un proceso térmico con controladores PID sintonizados por criterios integrales con los métodos de Solera y Méndez tanto en Servomecanismo como Regulatorio.

B. Objetivos Específicos:

Realizar una investigación bibliográfica de los métodos de sintonización de los controladores PID desarrollados por dos estudiantes de la escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica.

Efectuar una comparación analítica del comportamiento de los controladores sintonizados en el lazo de control de una planta térmica de orden alto, ante cambios en el valor deseado y en la perturbación.

III. DESARROLLO TEÓRICO

A. Controlador PID Ideal

Su ecuación de funcionamiento es:

$$u(t) = \text{Acción} * K_c \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] + 0.5 \quad (1)$$

$$u(t) = \text{Acción} * \frac{100}{B_p} \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] + 0.5 \quad (2)$$

K_c ganancia del controlador

B_p banda proporcional (%)

T_i tiempo integral

T_d tiempo derivativo

y la función de transferencia de este controlador *PID-Ideal* será

$$G_{c \text{PIDIdeal}} = k_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (3)$$

B. Método de Identificación Experimental de Alfaro (2001)

El método 123c (1/4,2/4,3/4) de Alfaro, puede ser desarrollado para obtener modelos con tiempo muerto de primer orden, segundo orden y polo doble, observando 3 puntos ubicados sobre la curva de reacción a lazo abierto de un proceso. Este propone tomar tres instantes de tiempo relacionados con el 25%, 50% y 75% del valor final para obtener la información.

C. Método de Solera

Para sintonizar el controlador de manera óptima, se obtiene un modelo de polo doble más tiempo muerto, ya que este presenta el mismo número de variables que un modelo de primer orden, para obtener de esta manera ecuaciones sencillas.

El proceso de optimización de los parámetros del controlador se realizó utilizando el programa VisSim 3.0, para controladores PI y PID funcionando como Reguladores y Servomecanismos.

Las siguientes son las ecuaciones necesarias para encontrar el valor de los parámetros del controlador PID Ideal:

$$k_c k_p = a + b \left(\frac{t_m}{\tau} \right)^c \quad (4)$$

$$\frac{T_i}{\tau} = d + e \left(\frac{t_m}{\tau} \right)^f \quad (5)$$

$$\frac{T_d}{\tau} = g + h \left(\frac{t_m}{\tau} \right)^i \quad (6)$$

D. Método Méndez

Para la sintonización de estos controladores se utilizan funciones de costo del tipo TI^mE^n (Integral de tiempo a la m por el valor absoluto del error a la n). Méndez, toma en consideración que el mejor método a seguir para el ajuste de los parámetros es la utilización de la herramienta “curve fitting tool” de Matlab 7.0.1 mediante la función “cftool” la cual proporciona la mejor visualización de los datos para distintos tiempos muertos normalizados.

Tomando en cuenta solo los resultados obtenidos para polo doble, o sea, $\alpha = \frac{\tau_2}{\tau_1} = 1$ y el valor del tiempo normalizado

$0.05 \leq t_m/\tau \leq 2.0$, se tiene la siguiente ecuación característica:

$$G_p(s) = \frac{k_p e^{-t_m s}}{(\tau \cdot s + 1)(\alpha \cdot \tau \cdot s + 1)} \quad (7)$$

Las Ecuaciones de Sintonización del Controlador PID Ideal son:

$$k_c k_p = a + b \tau_0^c \quad (8)$$

$$\frac{T_i}{\tau} = d \tau_0 + f \tau_0^g \quad (9)$$

$$\frac{T_d}{\tau} = h + i \tau_0^j \quad (10)$$

E. Equipo usado

- Equipo de control de procesos Lab-Volt 3521
- Caja de interfaz entrada/salida Lab-Volt 9065
- Programa, Software LVPROSIM
- Llave de seguridad del programa LVPROSIM
- Termopar tipo J
- Multímetro Digital
- Abanico para producir perturbaciones
- Cables de interconexión

IV. RESULTADOS

Al realizar la prueba de lazo abierto con el abanico bajo y la potencia en bajo el mejor modelo obtenido con el PSIID fue el de Alfaro. Con los datos del modelo se Buscaron los parámetros de los controladores de Méndez y Solera.

Tabla N° 1. Parámetros de los Controladores de Solera.

Función	Ámbito	Bp (%)	Ti (min)	Td (min)
Regulador	-	32.349	6.693	2.6446
Servo	$t_m/\tau > 0.65$	61.789	7.3397	2.1229

Tabla N° 2. Parámetros de los Controladores de Méndez.

Función	Bp (%)	Ti (min)	Td (min)
Regulador	29.863	6.659	2.6499
Servo	43.859	7.4215	2.2414

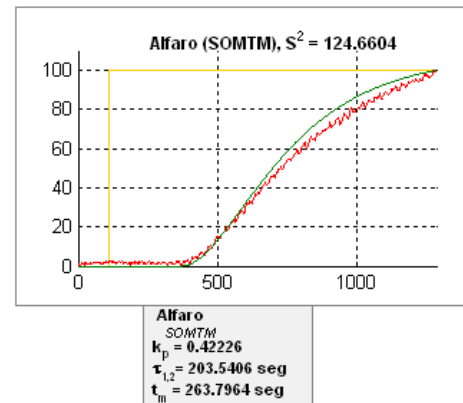
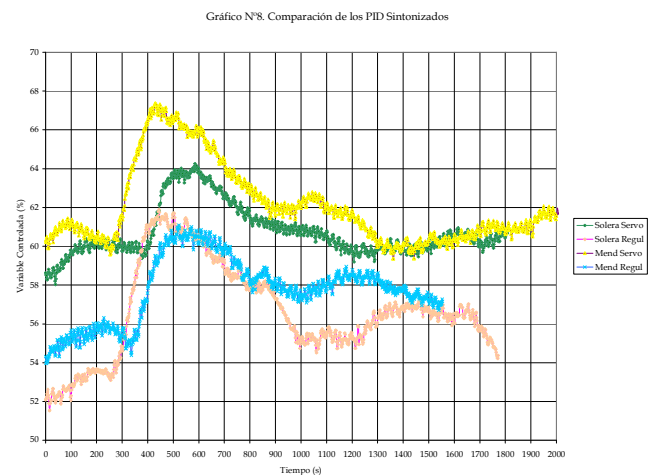


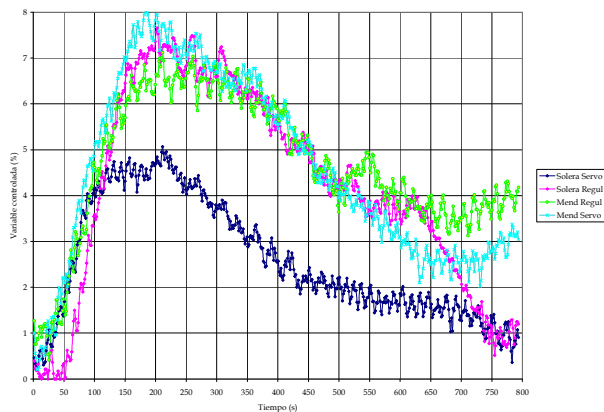
Figura N° 1. Modelo de PDMTM para la curva Potencia Baja, Abanico Bajo



En el gráfico 8 se puede observar como varía el valor inicial de las variables desde 52 % hasta 60%, lo cual se puede justificar ya que progresivamente como se utiliza el equipo de control de procesos, no se puede enfriar de manera significativa, lo que demanda un nuevo valor inicial al momento de empezar la medición. Fuera de esto, se puede apreciar el pobre rendimiento del método de Solera Regulador para la respuesta a un cambio en el valor deseado.

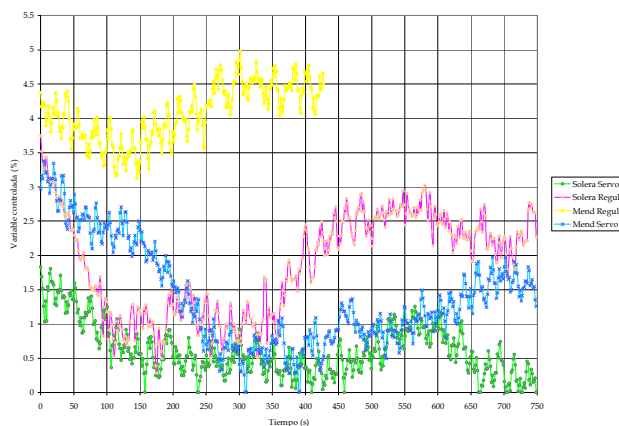
En el gráfico 10 es el que reúne todos los métodos ante un cambio en el valor deseado, se observa que el método de sintonización de Solera es en general el que más rápido se estabiliza, el que presenta menor sobrepaso y entre ellos es el regulatorio el que se acerca mejor al valor deseado. Los métodos de Méndez por su lado son altos en sobrepaso máximo pero mucho más certeros al llegar al valor deseado, conservando de manera firme la estabilidad del sistema a una tasa de error mucho mejor que Solera.

Gráfico N°10. Desempeño de los lazos de control ante un cambio en el valor deseado



El cambio a una perturbación se observa en el gráfico 11. En general los valores sintonizados como Regulatorios tienen una mejor respuesta, tanto al encender el abanico en su máxima potencia como cuando se apaga el abanico. Como se puede ver, las variables con servomecanismo no logran llegar al valor deseado aunque se les quite la perturbación, al menos en el intervalo de tiempo investigado. El tipo de sintonización Méndez Regulatorio parece ser el mejor en cuanto a las perturbaciones, porque aunque el de Solera presenta mejores tiempos de estabilización, refleja un error grande donde la variable no llegara nunca al valor deseado

Gráfico N°11. Desempeño del Lazo de control ante un cambio en la preturbación



V. CONCLUSIONES

- ❖ Al aplicar un controlador a la planta en estudio y cerrar el lazo de control, el comportamiento de la planta está limitado por el controlador, por lo que sus patrones de funcionamiento se ven en gran medida alterados. Es por ello que al sintonizar un sistema como el descrito, se debe tomar en cuenta el ambiente en el que se desenvolverá la aplicación, para así poder estimar los pro y contra de su funcionamiento.
- ❖ Los controladores que se desarrollan en esta práctica, presentan un buen desempeño, muy similar al que podrían presentar los desarrollados por otros autores con anterioridad, pero poseen la singularidad de aportar un nuevo enfoque, el cual se puede tomar

como punto de partida para que el estudiante relacione el quehacer práctico con la teoría de los cursos anteriores y así aplicar nuevos conocimientos en los laboratorios.

- ❖ En el caso de la elección del mejor controlador, si se trata de un mejor dominio del cambio en el valor deseado, el servomecanismo de Solera presenta las mejores características, aunque se sacrifica el valor final de la respuesta, la cual posee un error cuantioso.
- ❖ Así también, al elegir el controlador que presenta mejor comportamiento ante un cambio en la perturbación, tendríamos que elegir el regulatorio sintonizado por Méndez, que tiene la característica de reestablecer sus condiciones iniciales en un tiempo relativamente corto y no se demuestra un gran sacrificio en cuanto al valor final de la respuesta.
- ❖ El desempeño y la robustez de los controladores estudiados, al analizarse en el lazo realimentado con un modelo de PDMTM presupone una mejor sintonización y aproximación de la que se obtendría con un controlador sintonizado con un modelo de POMTM, ya que, aunque presentan la misma cantidad de parámetros, un modelo de orden superior logra un mejor ajuste en la respuesta del controlador.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Alfaro, VM. “**Controladores PID**”, UCR Marzo, 2006
- [2] Kuo, BC. “**Sistemas de Control Automático**”, 7^{ma} Ed. Prentice Hall 1996
- [3] Alfaro, VM. “**Comportamiento dinámico de los sistemas de primer y segundo orden**”, UCR Mayo, 2006
- [4] Alfaro, VM. “**Identificación de los modelos para los procesos controlados**”, UCR Marzo, 2007
- [5] Solera S, E. “**Sintonización de controladores PI/PID con los criterios IAE e ITAE para plantas de polo doble**”, UCR Julio, 2005
- [6] Méndez A, V. “**Ecuaciones para la sintonización de controladores PID utilizando funciones de costo del Tipo IT^ME^N**”, UCR Diciembre, 2006
- [7] Quirós R, JP. “**Pruebas experimentales de Sintonización de Controladores PID**”, UCR Enero, 2002
- [8] Mora C, JE. “**Desempeño y Robustez de los métodos de Sintonización de controladores PID basados en modelos de Segundo Orden mas tiempo muerto**”, UCR Diciembre, 2004

VII. ACERCA DEL AUTOR

Natalie Enríquez Salazar, nació en San José el 24 de Mayo de 1982.

Graduada del Colegio Vocacional Monseñor Sanabria, posee título de técnico medio en Electrotecnia. Estudiante de último semestre de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Costa Rica.

Como miembro de IEEE, participó en el comité organizador de CONESCAPAN XXVI con sede en Costa Rica. Actualmente colabora con la Rama Estudiantil UCR