

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey



Diseño de sistemas de control

Grupo. 407

Situación Problema
Intercambiador de calor

Nombre del docente:

Dr. Antonio Favela

Datos del Equipo:

Valeria Sofía Dávila de Ochoa		A00836048
Luisa Fernanda Contreras Lizcano		A01571334
Gustavo Angel Hidalgo Romero		A01642443

Monterrey, Nuevo León

16 de octubre de 2024

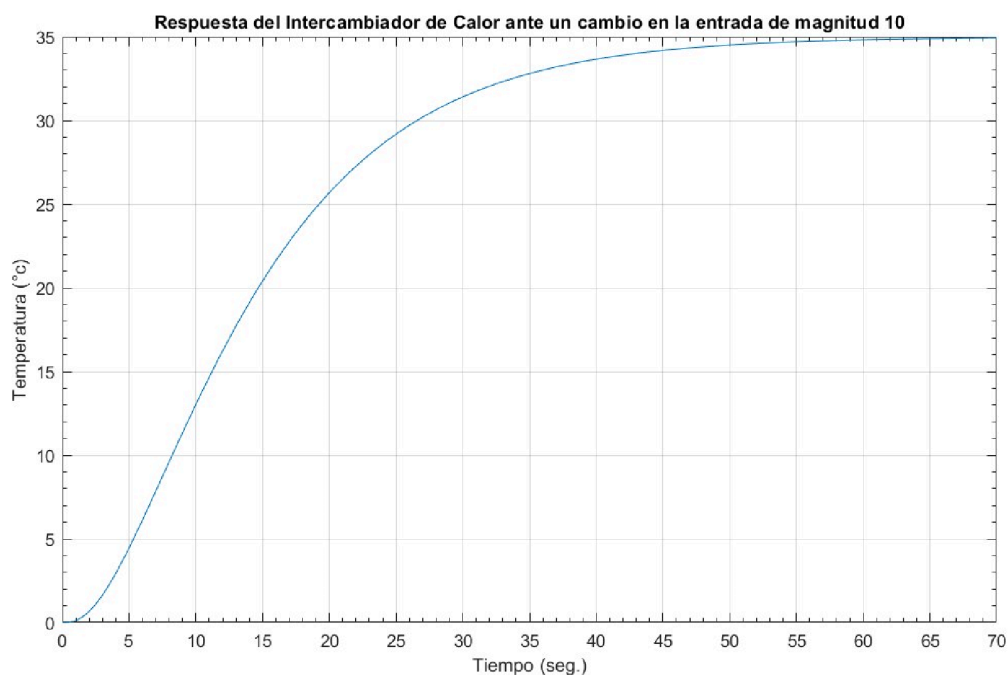
Metodología utilizada

Para la realización de la situación problema se utilizó el método de Ziegler-Nichols de manera que se obtuviera una estimación inicial de la respuesta escalón de la planta, esto permitió determinar los valores preliminares de la ganancia (K), tiempo muerto (theta) y la constante de tiempo (tau). Una vez obtenidos dichos valores se hizo uso de tablas de excel en las que se calcularon las constantes del controlador PID según los criterios de optimización ITAE e IAE, así como también del controlador PI según Ziegler-Nichols. Posteriormente, se realizaron diversas simulaciones, sin embargo al no obtener una precisión en la respuesta se ajustaron los valores de theta y tau de manera que se obtuviera una respuesta más precisa. Dichos ajustes llevaron a una respuesta en el modelo de la planta más preciso y más acorde, así mejorando la simulación del comportamiento del sistema.

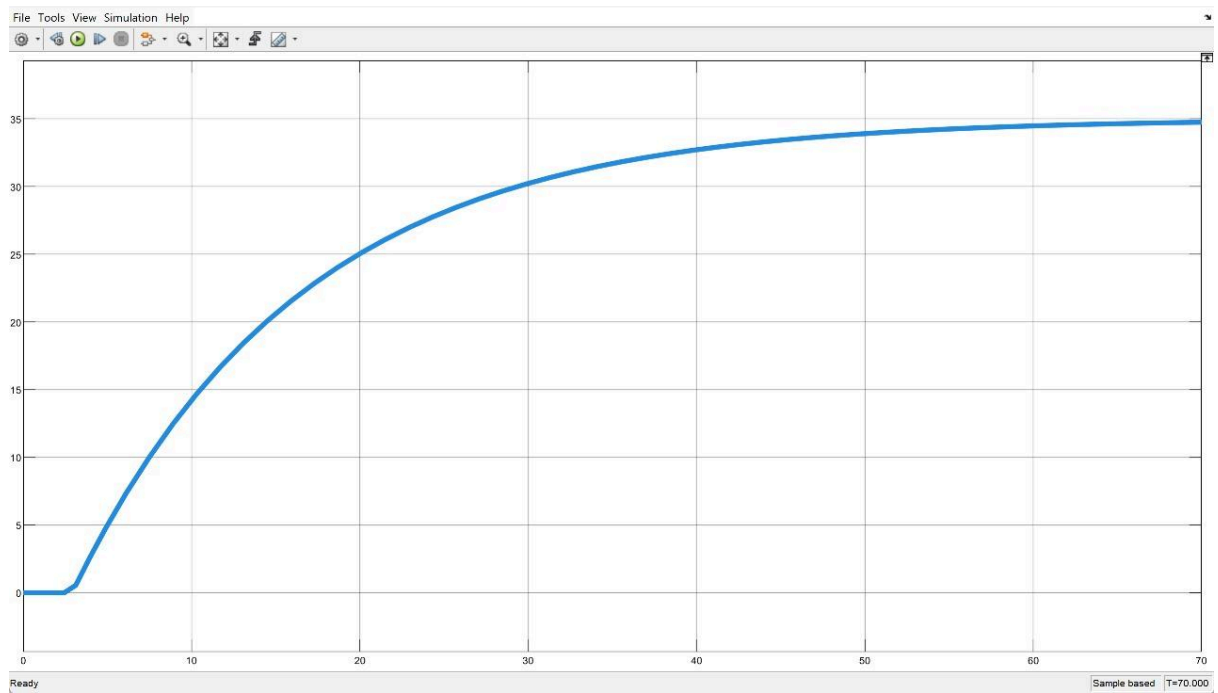
$$G(s) = \frac{3.5e^{-3.72s}}{12.38s+1}$$

Identificación gráfica

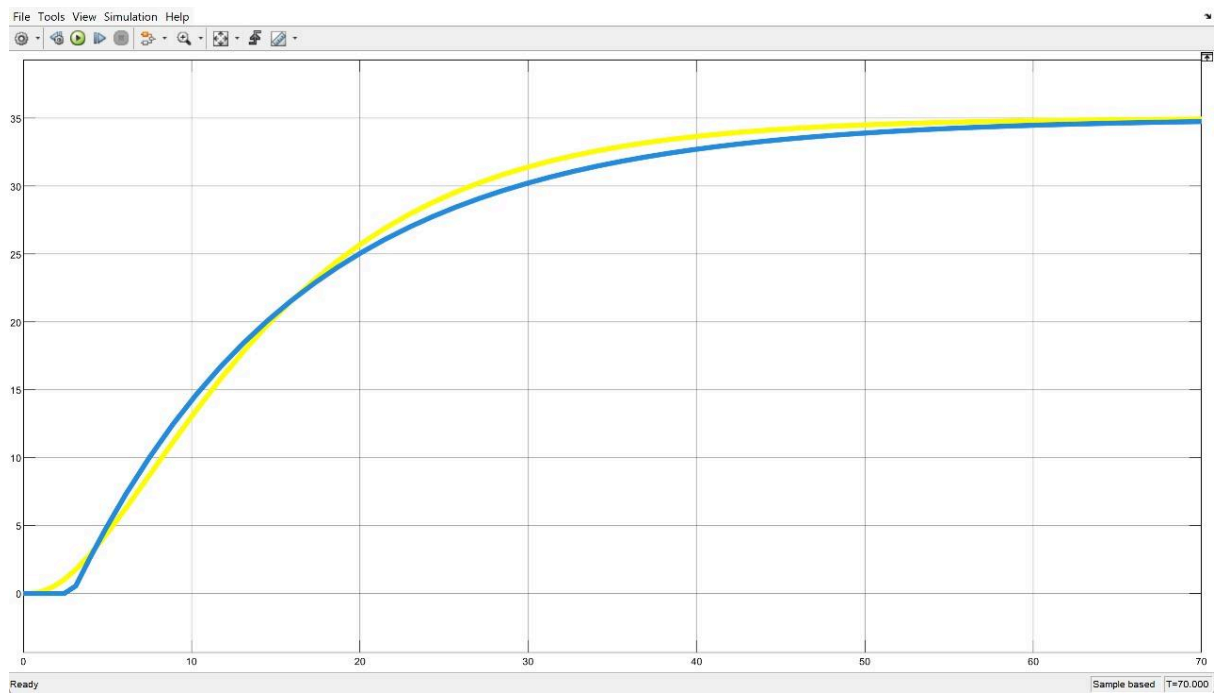
Respuesta al escalón de la planta



Respuesta al escalón del modelo obtenido



Respuesta modelo de primer orden vs planta real



Control PID analógico

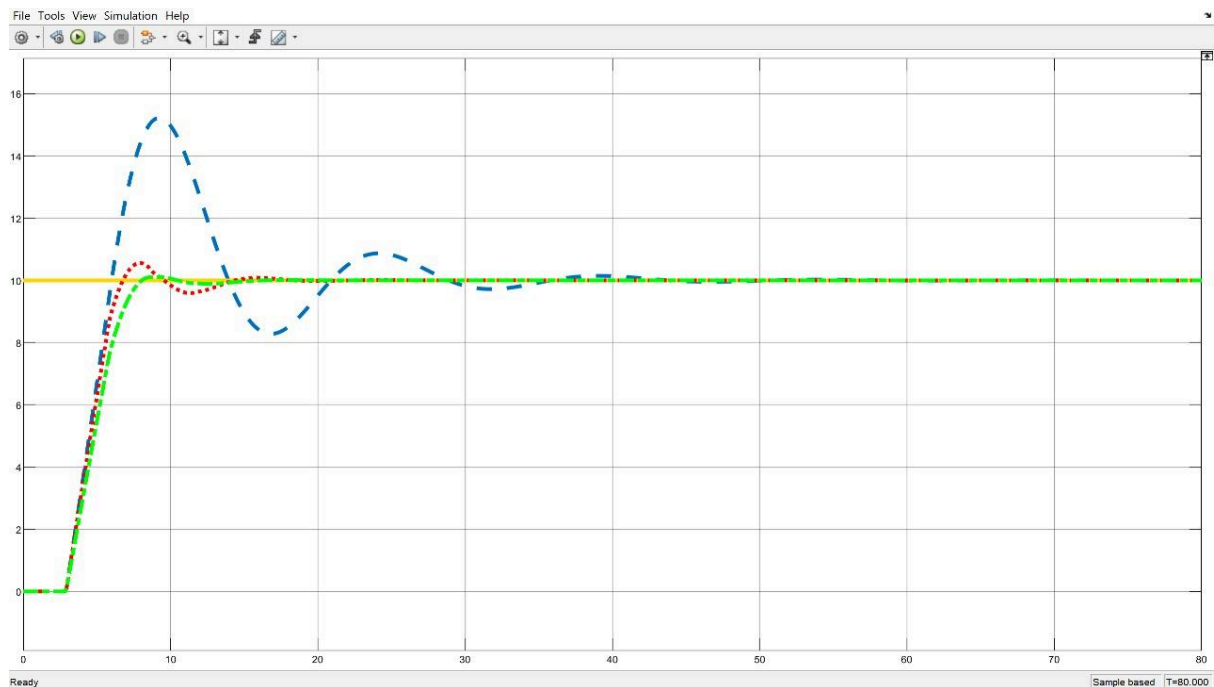
Sintonización del lazo de control basada en el modelo de identificación gráfica

Teta	Tau	K
2.9	13.6	3.5

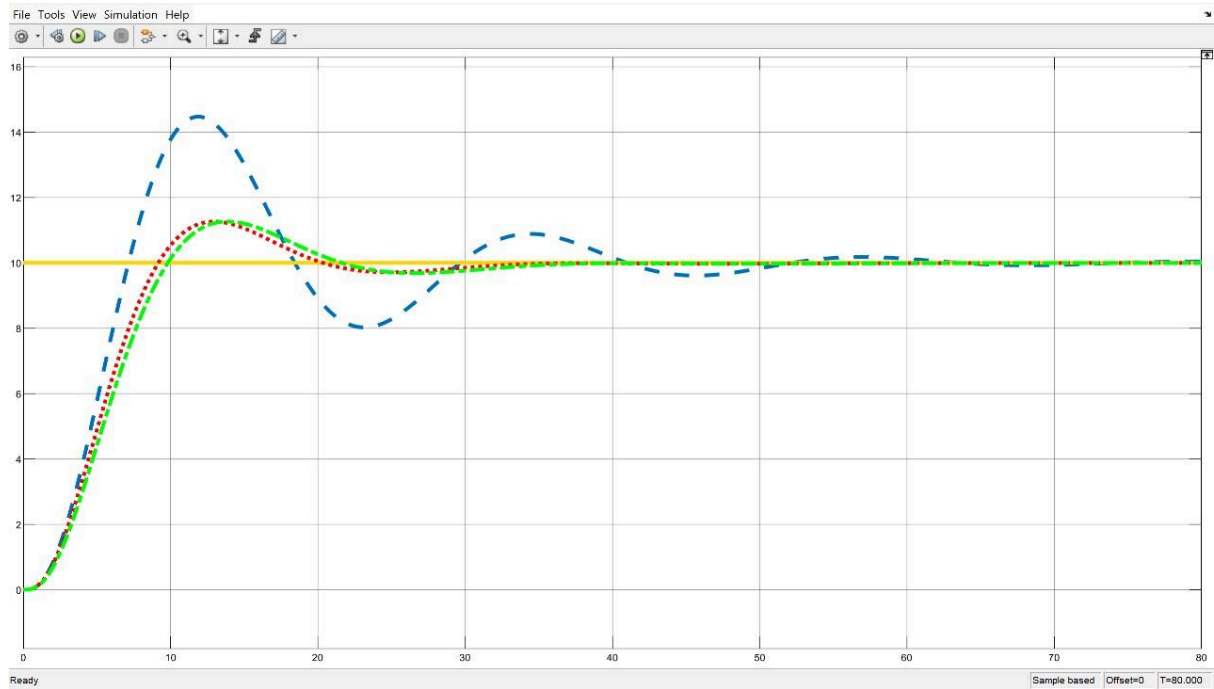
PID						
	PERTURBACION				REFERENCIA	
	ISE	IAE	ITAE		IAE	ITAE
Kc	1.83993	1.70178	1.67526	Kc	1.18846	1.03344
Tau i	3.75234	4.8681	5.16327	Tau i	19.0936	17.7858
Tau d	1.60901	1.13109	1.11347	Tau d	1.15264	0.99647

PI	
Ziegler & Nichols	
Kc	1.20591
Tau i	9.657

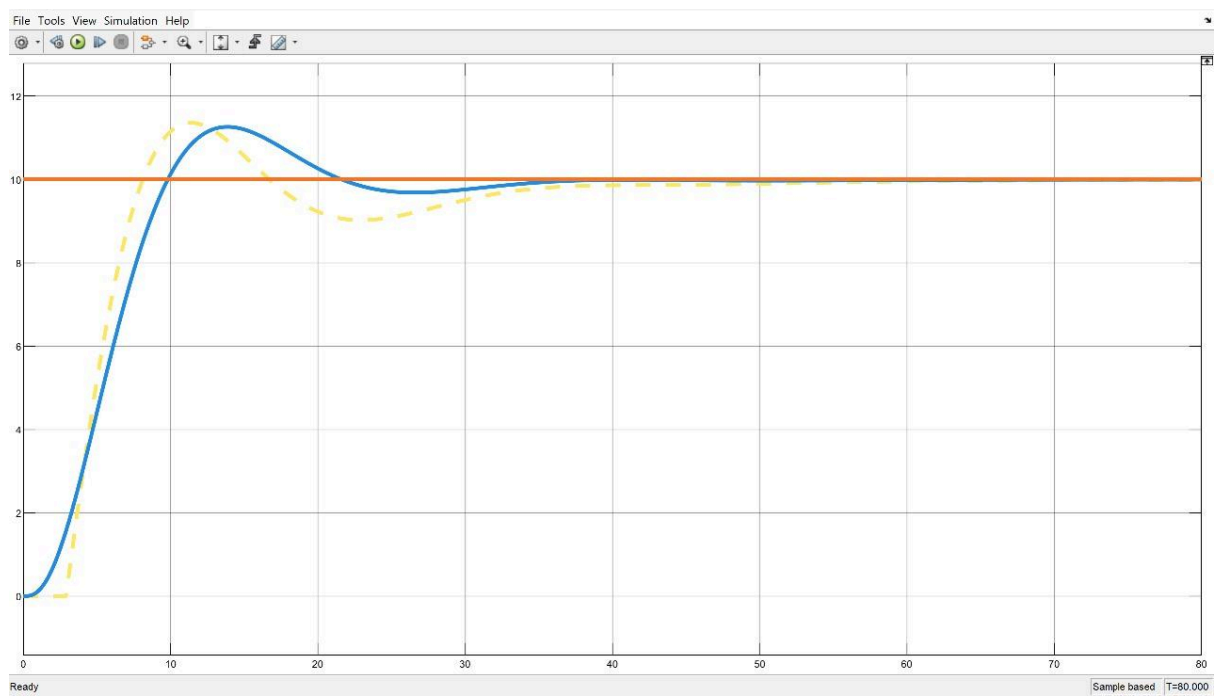
Respuesta del control PID en modelo de planta - Sintonización basada en los criterios de IAE, ITAE, ZN: Referencia (Modelo planta ident gráfica)



Respuesta del control PID en la planta real- Sintonización basada en los criterios de IAE, ITAE, ZN: Referencia (Modelo planta ident gráfica)

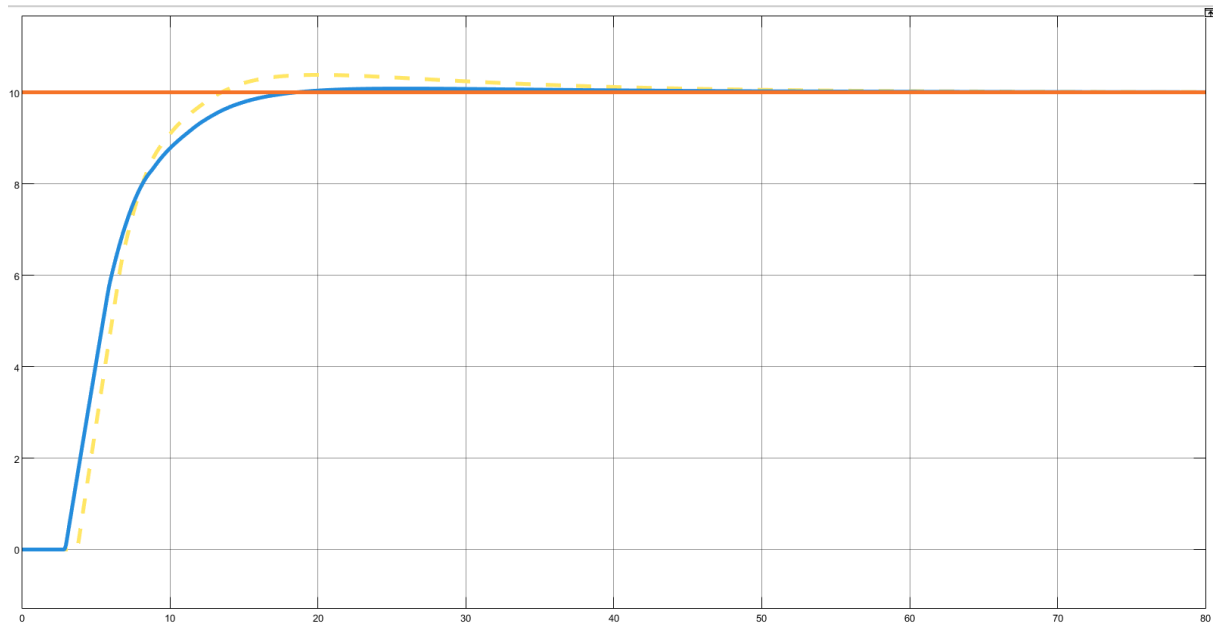


Respuesta del control PID del Modelo de planta Identificado vs la Planta real- Sintonización basada en el criterio ITAE Referencia



Respuesta comparativa Control PID en Planta Real - Sintonización criterio ITAE

Referencia basada en el Modelo Identificado vs Modelo ajustado



Análisis de resultados

Tras observar las gráficas obtenidas analizando los tres criterios de sintonización evaluados, ITAE, IAE y Ziegler-Nichols se concluye que los tres alcanzan un estado de estabilidad en la planta. Sin embargo, se determinó que el criterio de sintonización óptimo para el desarrollo de esta actividad es el ITAE ya que es aquel que minimiza los sobreimpulsos y alcanza la estabilidad en el menor tiempo posible y este mismo penaliza los errores a largo plazo, permitiendo que se realicen correcciones suaves y progresivas sin generar sobreimpulsos grandes. Este criterio permite que el sistema se estabilice de manera más eficiente y rápida en comparación con los otros métodos evaluados, esto al ponderar el error con respecto al tiempo. Se considera que la opción adecuada para el sistema del intercambiador de calor ya que optimiza la velocidad de respuesta y la calidad del control, evitando oscilaciones bruscas que podrían llegar a tener impactos negativos en el rendimiento del sistema.

Discretización del modelo analógico del Intercambiador de Calor y simulación de sistema de control PID digital mediante la discretización del mejor control PID analógico obtenido

Discretización del modelo de la planta - Técnica por retención de orden cero ($T = 3\text{seg}$)
Planta analógica

$$G(s) = \frac{3.5e^{-3.72s}}{12.38s+1}$$

Equivalente discreto de la planta

$$G_c(z) = \frac{0.588(z+0.281)}{z^2(z-0.785)}$$

Procedimiento - Discretización del modelo de la planta

$$d = \frac{\theta'}{T} = \frac{3.72}{3} = 1.24 \rightarrow \text{Caso 2}$$

$$d = \text{trunc}(1.24) = 1$$

$$\Theta = \Theta' - dT = 3.72 - (1)(3) = 0.72$$

$$m = 1 - \frac{\Theta}{T} = 1 - \frac{0.72}{3} = 0.76$$

$$G_c(z) = (1 - z^{-1})z^{-d} Zm\left\{\frac{G(s)}{s}\right\}$$

$$G_c(z) = (1 - z^{-1})z^{-1} Zm\left\{\frac{3.5e^{-3.72s}}{s(12.38s+1)}\right\}$$

$$G_c(z) = (1 - z^{-1})z^{-1} \left(\frac{3.5}{12.38}\right) Zm\left\{\frac{1}{s(s+\frac{1}{12.38})}\right\}$$

Transformada Z modificada

$$\frac{z^{-1}}{a} \left(\frac{1}{1-z^{-1}} - \frac{e^{-amT}}{1-e^{-aT} z^{-1}} \right)$$

$$12.38z^{-1} \left(\frac{1}{1-z^{-1}} - \frac{e^{-(\frac{1}{12.38})(0.76)(3)}}{1-e^{-(\frac{1}{12.38})(3)} z^{-1}} \right)$$

$$12.38z^{-1} \left(\frac{1}{1-z^{-1}} - \frac{e^{-0.184}}{1-e^{-0.242} z^{-1}} \right)$$

$$12.38z^{-1} \left(\frac{1-e^{-0.242} z^{-1} - (e^{-0.184} - e^{-0.184} z^{-1})}{(1-z^{-1})(1-e^{-0.242} z^{-1})} \right)$$

$$12.38z^{-1} \left(\frac{1-e^{-0.242} z^{-1} - e^{-0.184} + e^{-0.184} z^{-1}}{(1-z^{-1})(1-e^{-0.242} z^{-1})} \right)$$

$$12.38z^{-1} \left(\frac{1-0.785z^{-1} - 0.832 + 0.832z^{-1}}{(1-z^{-1})(1-0.785z^{-1})} \right)$$

$$12.38z^{-1} \left(\frac{0.047z^{-1} - 0.168}{(1-z^{-1})(1-0.785z^{-1})} \right)$$

Sustitución en ecuación original

$$G_c(z) = (1 - z^{-1})z^{-1} \left(\frac{3.5}{12.38} \right) \left[12.38z^{-1} \left(\frac{0.047z^{-1} - 0.168}{(1-z^{-1})(1-0.785z^{-1})} \right) \right]$$

$$G_c(z) = 3.5z^{-1} \left[z^{-1} \left(\frac{0.047z^{-1} - 0.168}{(1-0.785z^{-1})} \right) \right]$$

$$G_c(z) = 3.5z^{-1} \left[\frac{0.047z^{-2} - 0.168z^{-1}}{(1-0.785z^{-1})} \right]$$

$$G_c(z) = \frac{0.165z^{-3} - 0.588z^{-2}}{1 - 0.785z^{-1}}$$

$$G_c(z) = \frac{0.588(z + 0.281)}{z^2(z - 0.785)}$$

Discretización del control PID obtenido - Técnica de integración trapezoidal (T = 3seg)

Control PID analógico

$$G_c(s) = 0.77076 \left[1 + \frac{1}{16.4665s} + 1.24757s \right]$$

Equivalente PID discreto (Tustin/bilineal)

$$G_c(z) = \frac{1.3058z^2 - 0.5519z + 0.362}{0.667z^2 - 0.667}$$

Procedimiento - Discretización del PID

$$G_c(z) = k_c \left[1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right] = \frac{K_p s + \frac{K_p}{\tau_i} + \tau_d s^2}{s}$$

$$s = \frac{2}{T} * \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} = \frac{2(1-z^{-1})}{3(1+z^{-1})}$$

Tomando los valores obtenidos con la sintonización de PID ITAE...

$$K_p = 0.77076$$

$$\tau_i = 16.4665$$

$$\tau_d = 1.24757$$

$$G_c(z) = \frac{0.77076s + \frac{0.4909}{16.4665} + 1.24757s^2}{s}$$

Sustituyendo s

$$G_c(z) = \frac{0.77076\left(\frac{2(1-z^{-1})}{3(1+z^{-1})}\right) + 0.0279 + 1.24757\left(\frac{2(1-z^{-1})}{3(1+z^{-1})}\right)^2}{\frac{2(1-z^{-1})}{3(1+z^{-1})}}$$

Al multiplicar por $\frac{(z+1)^2}{(z+1)^2} \dots$

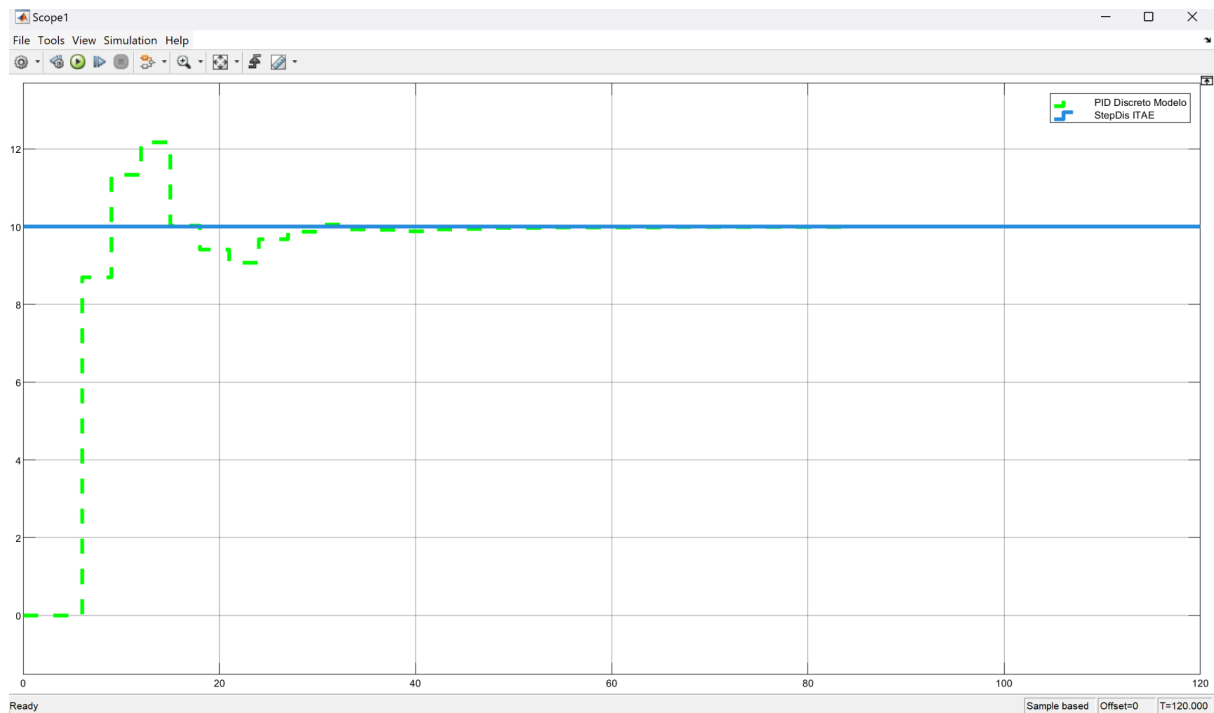
$$G_c(z) = \frac{0.7076(z+1)(0.667z-0.667)+0.279(z+1)^2+1.247(0.667z-0.667)^2}{(z+1)(0.667z-0.667)}$$

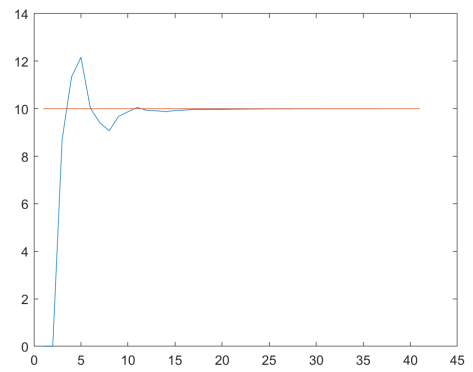
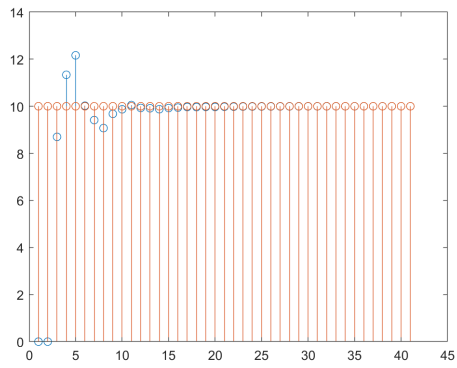
$$G_c(z) = \frac{(0.4719z^2-0.4719)+(0.279z^2+0.558z+0.279)+(0.5549z^2-1.1099z+0.5549)}{(z+1)(0.667z-0.667)}$$

$$G_c(z) = \frac{1.3058z^2-0.5519z+0.362}{0.667z^2-0.667}$$

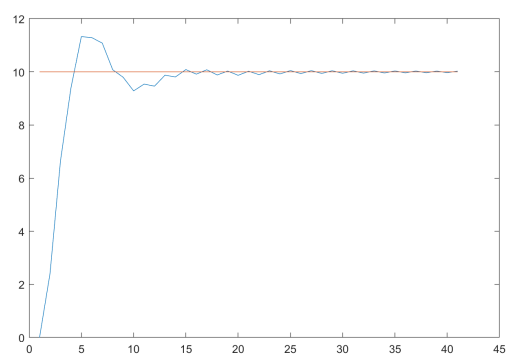
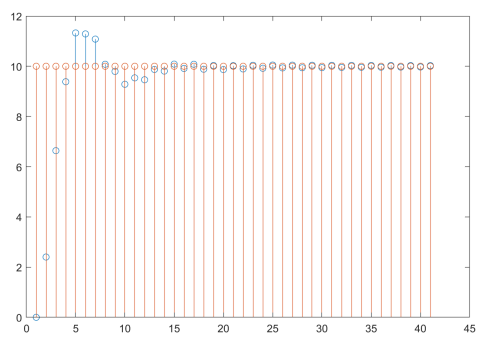
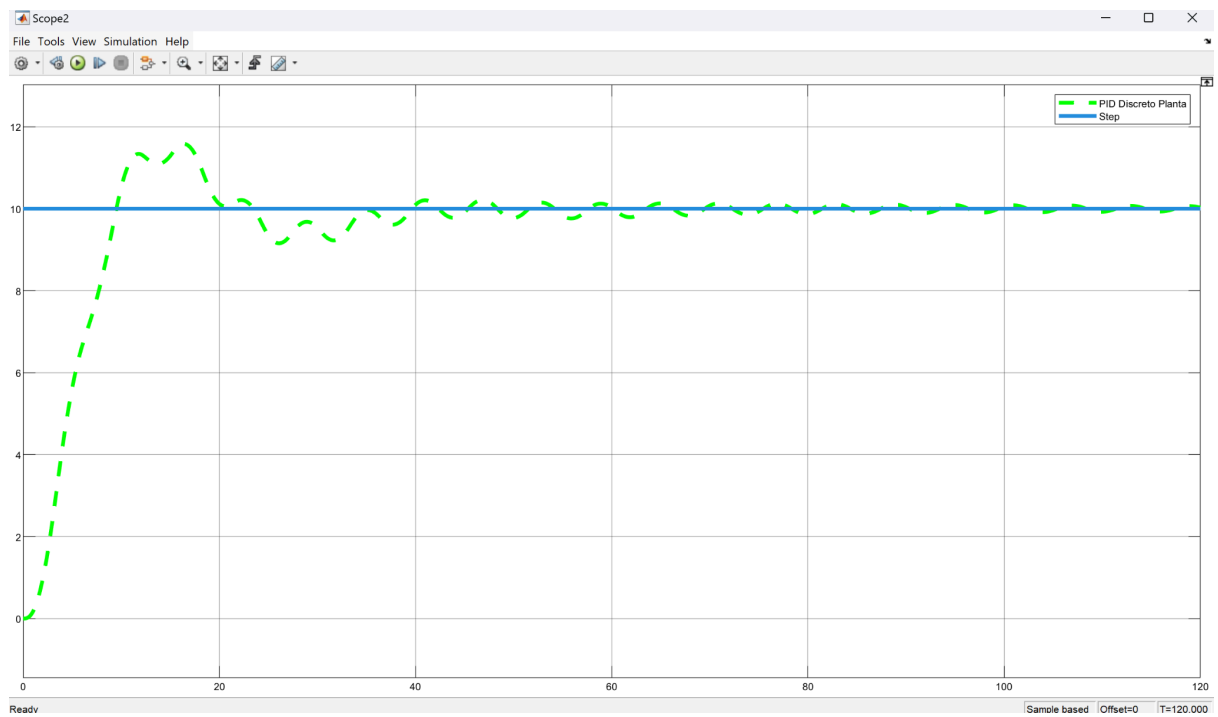
A continuación mediante el uso del software Simulink al igual que Matlab se lograron realizar las siguientes gráficas.

Respuesta Control PID Discreto (Modelo) Equivalente discreto PID del control de Temperatura

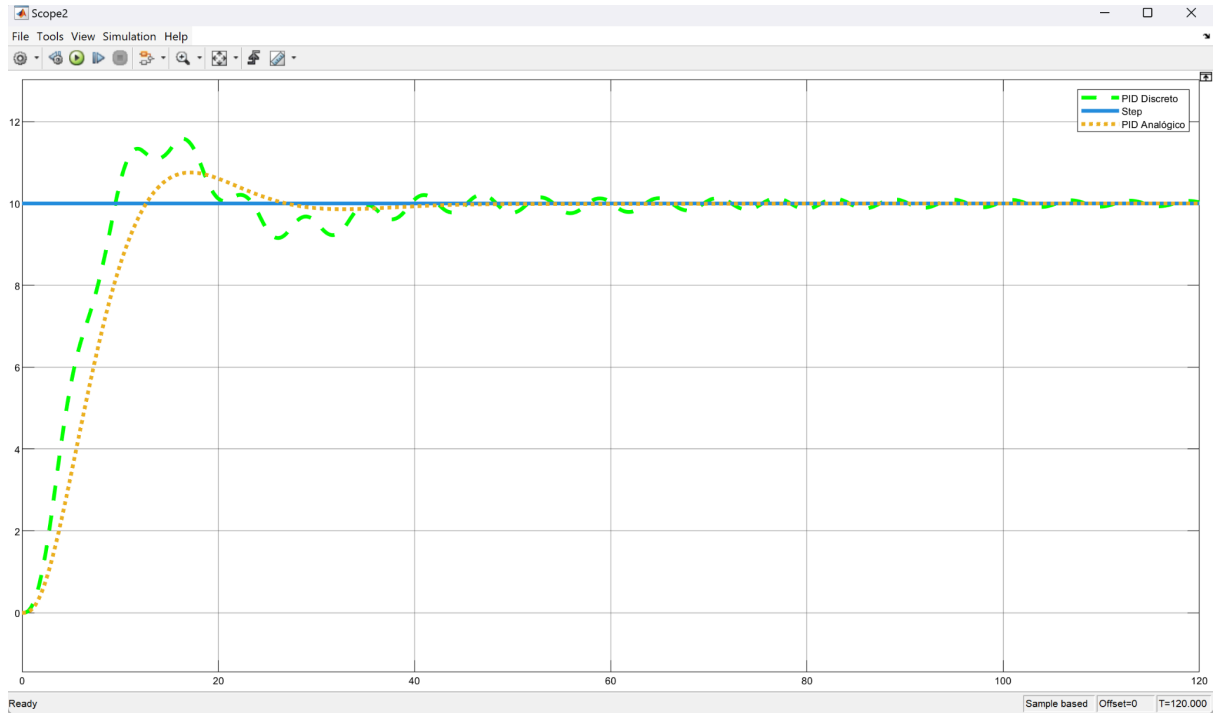




Respuesta Control PID Discreto (Planta) - Equivalente discreto PID del control de Temperatura



Comparativo Control de Temperatura - PID analógico y eq. discreto control de Temperatura



Conclusiones

En conclusión, el método ITAE proporciona la sintonización más efectiva para este sistema, optimizando la respuesta al minimizar los errores acumulados en el tiempo y reduciendo las oscilaciones residuales. Sin embargo, la elección entre el PID analógico y el discreto también depende de las necesidades específicas de la planta o sistema. Si el sistema no requiere una respuesta continua o si los costos computacionales y de procesamiento son una preocupación, el PID discreto puede ser una opción más adecuada. Aunque presenta ligeras oscilaciones de alta frecuencia, es más eficiente en términos de recursos, ya que no necesita un muestreo constante. Por otro lado, si la planta requiere una alta precisión y control continuo, el PID analógico, especialmente cuando está sintonizado con ITAE, sería la mejor opción para asegurar una respuesta suave y estable en todo momento.

Link al video: <https://youtu.be/rOK0MI4Xdrc?feature=shared>