

# Informe - Proyecto Final - Control de Temperatura.

Arcos Cuadros Carlos Antonio, 2174230

Velasco Niño Samir Andrés, 2180359

## Resumen

En este informe se presentan los resultados finales obtenidos en la realización del proyecto de control 2, un regulador de temperatura, durante el desarrollo de este documento se presentarán aspectos tales como la manera de caracterizar la planta del montaje, el controlador implementado, los resultados obtenidos, así como las conclusiones del proyecto.

## 1. INTRODUCCIÓN

Como indica el nombre, un controlador de temperatura es un instrumento usado para el control de la temperatura. El controlador de temperatura toma una entrada de un sensor de temperatura y tiene una salida que está conectada a un elemento de regulación como calentador o ventilador.

Para regular con precisión la temperatura de un proceso sin una intensa participación del operador, un sistema controlador de temperatura confía en un controlador, que acepta como entrada un sensor de temperatura como un termopar o RTD.

Compara la temperatura real con la temperatura de control deseada, o punto de ajuste, y proporciona una salida a un elemento de control.

El controlador es una parte de todo el sistema de control, y se deberá analizar todo el sistema para seleccionar el controlador adecuado.

## 2. OBJETIVO PRINCIPAL

Realizar un regulador de temperatura capaz de mantener la temperatura en el valor de referencia.

## 3. MARCO TEÓRICO

### Control Proporcional.

La función de transferencia entre la salida del controlador  $u(t)$  y la señal de error  $e(t)$  es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

Donde  $K_p$  se denomina ganancia proporcional.

Otro parámetro importante en la acción de este controlador es la denominada banda proporcional que expresa que tan grande será la acción de control ante una señal de error en la entrada, y es igual a:

$$B_p = \frac{1}{K_p}$$

### Control Proporcional – Integral.

El valor de salida del controlador proporcional varía en razón proporcional al tiempo en que ha permanecido el error y la magnitud de este, su función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_N \cdot s} \right)$$

Donde  $K_p$  es la ganancia proporcional y  $T_N$  se denomina tiempo de acción integral. Ambos valores son ajustables. El tiempo integral regula la velocidad de acción de control, mientras que una modificación en  $K_p$  afecta tanto a la parte integral como a la parte proporcional de la acción de control.

## 4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Para la realización de este proyecto se necesitaron pocos elementos:

- Bombillo incandescente
- Sensor de temperatura LM35
- Arduino UNO
- Cables de conexión
- Relé de estado sólido

El funcionamiento teórico del proyecto puede entenderse como muy sencillo, se conecta un bombillo calentador a corriente AC, el cual hará que al estar encendido durante un tiempo, aumentará la temperatura, en esa superficie caliente estará un sensor LM35 el cual se encargará de tomar lectura de esta variable, arrojando una señal de tensión de salida, la cual, mediante nuestro microcontrolador Arduino será recibida en uno de sus pines analógicos y mediante el código de programación lo interpretará como un valor de temperatura, el relé de estado sólido irá conectado entre uno de los cables del bombillo y será el encargado de hacer el “switch” de manera segura para el bombillo, manteniéndolo

encendido o apagado dependiendo de lo que se requiera, ya sea elevar la temperatura o disminuirla.

## 5. IMPLEMENTACION Y CARACTERIZACION DE LA PLANTA

Una vez ya montada la planta con la que se trabajará, como se puede ver en la Imagen 1, se procederá a la caracterización de esta.



Imagen 1. Montaje de la planta.

La caracterización de la planta se hizo con ayuda de Arduino, EXCEL y Matlab, primeramente, se quitó el relé que estaba en uno de los cables de alimentación del bombillo y se conectó el bombillo directamente a AC, se midió con el sensor la temperatura y dichas lecturas se iban guardando en un archivo de EXCEL mediante el uso como herramienta de un software de adquisición de datos para Microsoft Excel como se evidencia en la Imagen 2, después de un tiempo se observó que las lecturas no cambiaban mucho entre sí, por lo que se dejaron de tomar muestras ya que el sistema se encontraba en estado estable.

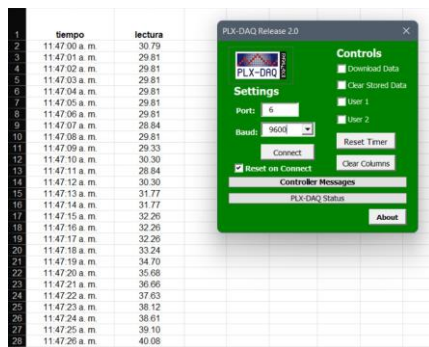


Imagen 2. Adquisición de datos mediante el software PLX-DAQ.

Una vez teníamos los datos en EXCEL, lo próximo que se hizo fue importarlos a Matlab.

Con la ayuda de la herramienta System Identification, la cual está presente en Matlab, se obtuvo una función de transferencia aproximada para nuestra planta, cabe resaltar que para utilizar la herramienta System Identification es necesario especificar un periodo de muestreo, así como también el número de polos y ceros que se quiere que tenga la función.

Se especificó un tiempo de muestreo de 1[s], así como que contenga 0 “ceros” y 1 polo, obteniendo la función de transferencia en tiempo discreto que se muestra en la Imagen 3.

Orders and Domain: Number of poles: 1, Number of zeros: 0. Continuous-time selected. Data Information: Data Name: mydata, Start Time: 0, Sample time: 1.

Imagen 3. Especificaciones para estimación de función de transferencia.

Obteniendo la siguiente estimación de función de transferencia continua

Data/model info: tf1. Model name: tf1, Color: [0,0,1]. From input "u1" to output "y1": 1.471 / (s + 0.0152). Name: tf1. Continuous-time identified transfer function. Parameterization:

Imagen 4. Función de transferencia estimada.

Una vez obtenida la función de transferencia en tiempo continuo de la planta, se analizó respecto a una entrada escalón para determinar su tiempo de establecimiento para luego a partir de eso tomar un tiempo de muestreo adecuado para discretizar.

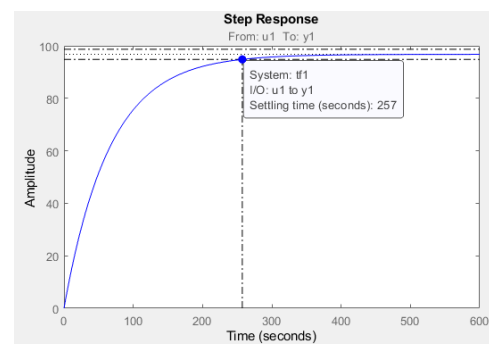


Imagen 5. Respuesta al escalón de la función de transferencia continua.

Teniendo en cuenta el tiempo de establecimiento obtenido se utilizó el concepto sugerido visto en clase para determinar el tiempo de muestreo.

$$T_{\text{establecimiento}} = 4\tau$$

$$\tau = \frac{257}{4} = 64.25 \text{ [s]}$$

$$T_{\text{muestreo}} = \frac{\tau}{10} = 6.245 \text{ [s]}$$

Se obtendrá el equivalente discreto de la planta utilizando el comando c2d de Matlab teniendo en cuenta el tiempo de muestreo encontrado anteriormente, tal como se evidencia en la Imagen 6.

```
z=tf('z')
s=tf('s')
Ts=6.425;
Gc1= 1.471/(s+0.01542);
Gc1z= c2d(Gc1,Ts)
```

Gc1z =

8.998

z - 0.9057

Imagen 6. Discretización de la función de transferencia.

Una vez obtenido el equivalente en tiempo discreto de la planta, se analizó respecto a una entrada escalón para posteriormente realizar el diseño del controlador mediante la herramienta sisotool.

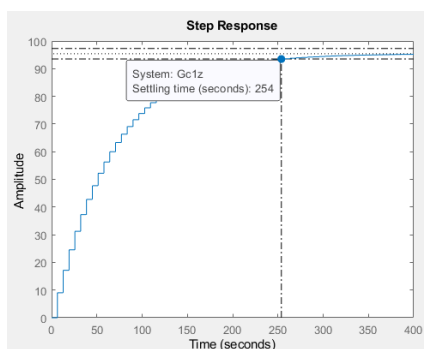


Imagen 7. Respuesta al escalón del equivalente discreto.

## 6. DISEÑO CONTROLADOR E IMPLEMENTACIÓN

Una vez se obtenido el modelo aproximado discreto de la planta, se hizo uso de la herramienta SISOTOOL presente en Matlab para diseñar el controlador.

Dado que la realimentación del sistema, en este caso el sensor, no es unitaria es necesario hacer un cambio en el diagrama de bloques ya que por defecto este lo toma como un valor unitario.

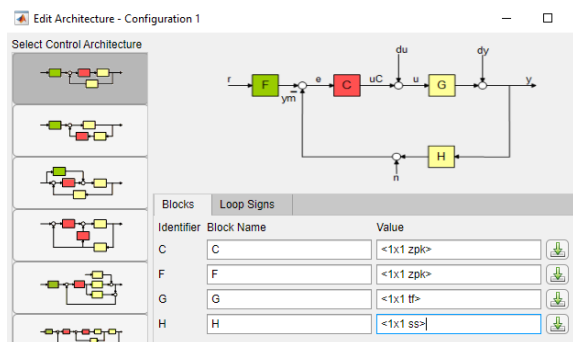


Imagen 8. Diagrama de bloques del sistema.

En el bloque de H se escribe 1/100 que sería la función de transferencia del sensor, pues por cada grado Celsius de temperatura, arroja una lectura de 100 [mV], tal como se evidencia en la Imagen 9.

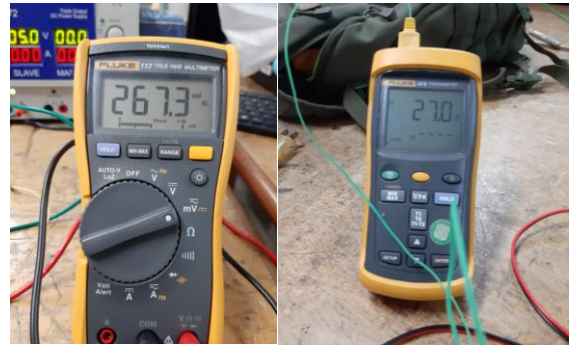


Imagen 9. Función de transferencia del sensor y comparación con sensor de mayor sensibilidad.

Una vez modificado el parámetro anteriormente mencionado se obtiene la siguiente respuesta al escalón para una referencia de 60 [°C]. Observando un error en estado estable de más de 10 [°C]

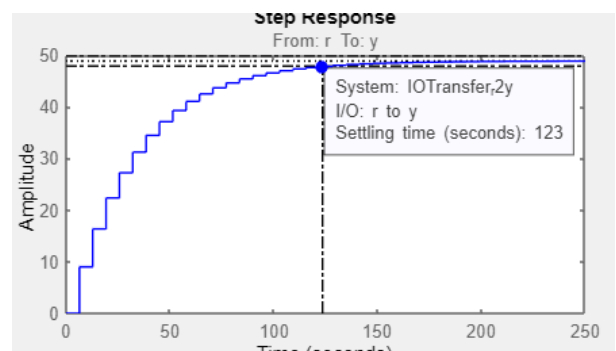


Imagen 10. Respuesta al escalón del sistema.

Para una referencia de 40 [°C] realizando el correspondiente diseño del controlador, se obtiene la siguiente respuesta al escalón, buscando mejorar las especificaciones, en este caso, se plantea un controlador P o proporcional.

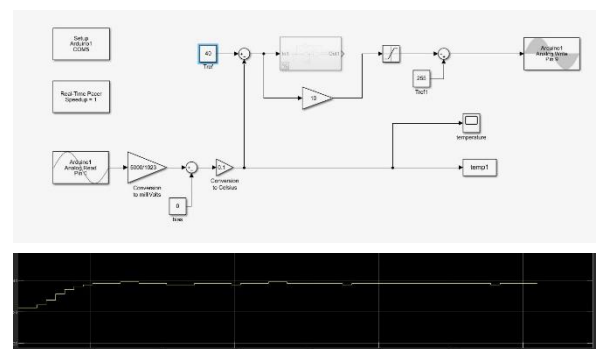


Imagen 11. Modelo en Simulink y respuesta con controlador P

Para una referencia de 60 [°C] realizando el correspondiente diseño del controlador, se obtiene la siguiente respuesta al escalón, buscando mejorar las especificaciones, en este caso, se plantea un controlador PI o proporcional-integral.

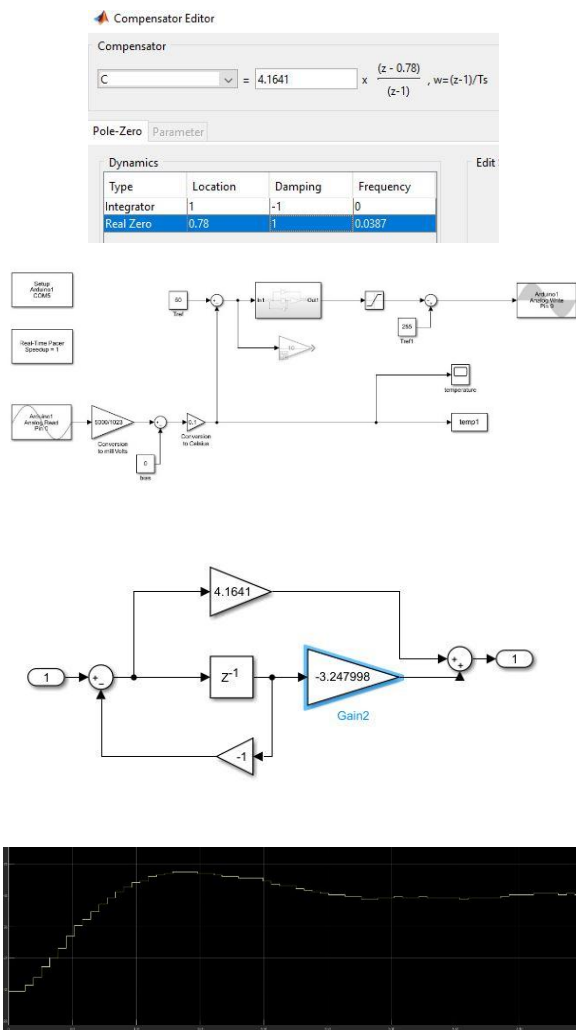


Imagen 12. Modelo en Simulink y respuesta del sistema con controlador PI.

## REFERENCIAS

- [1] M. Autin, M. Biey, M. Hasler, "Order of discrete time nonlinear systems determined from input-output signals", *Proc. IEEE Int. Symp. Circ. Syst.*, San Diego, 1992, pp. 296-299
- [2] L. Ljung, *System Identification-Theory for the User*, Prentice Hall, 1987
- [3] S.K. Rao, T. Kailath, "Orthogonal digital filters for VLSI implementation", *IEEE Trans. Circuits Syst.*, CAS-31, 1984, pp. 933-945
- [4] Control de Temperatura, Equipos y Controlador PID". <https://mx.omega.com/prodinfo/control-de-temperatura.html> (accedido el 14 de marzo de 2022).
- [5] PLX-DAQ - Parallax. Parallax. <https://www.parallax.com/package/plx-daq/> (accedido el 14 de marzo de 2022).