TP LAB: Control de temperatura

Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires
Control automático I 86.08

Turno jueves 1C 2019

Higa, Lucas	98262	higa.lucas.s@gmail.com
Hsieh, Pablo	97363	hsieh.pablo@gmail.com

1 Introducción

Se implementará un sistema de control de temperatura para una planta de primer orden que onsiste basicamente en un resistor de $5\,\Omega/7\mathrm{W}$. El objetivo del diseño será controlar la temperatura del resistor dentro del rango factible de acuerdo con la fuente de alimentación utilizada, en este caso una fuente continua de $5\mathrm{V}/1\,\mathrm{A}$.

Se utilizará un **Arduino UNO** a través del PWM para regulación de potencia del resistor, y lectura de la temperatura a partir de la entrada analógica.

2 Esquemático

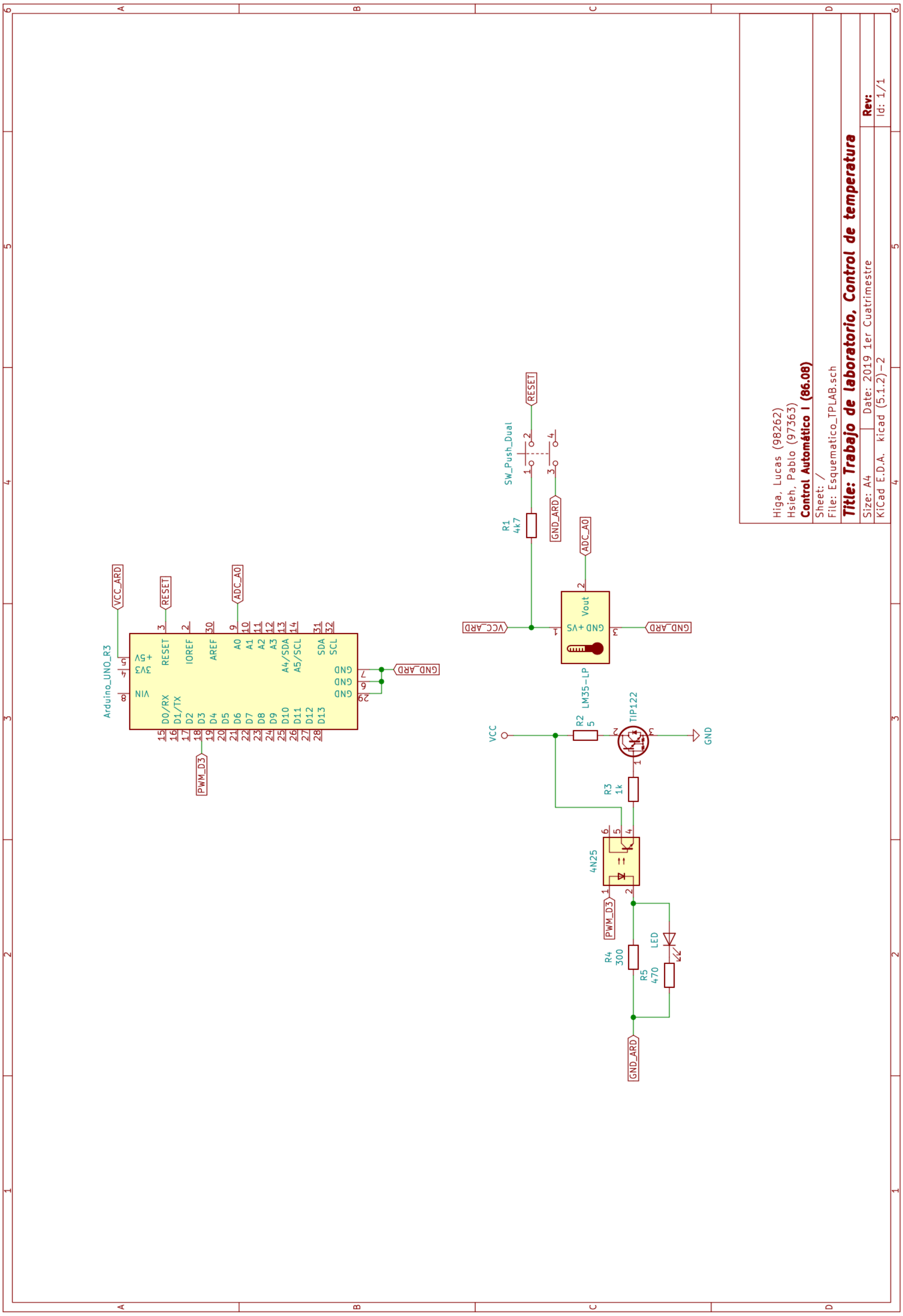

Figura 1: Esquemático implementado.

3 Lazo Abierto

Un método de Ziegler-Nichols determina las ganancias proporcional, integral y derivativo de la planta a través de su respuesta transitoria al escalón. Luego, con la respuesta que se obtenga, se traza una tangente en el punto de inflexión y se consigue el tiempo de retraso L y la constante de tiempo T. Esto se ilustra en el gráfico de la figura 2.

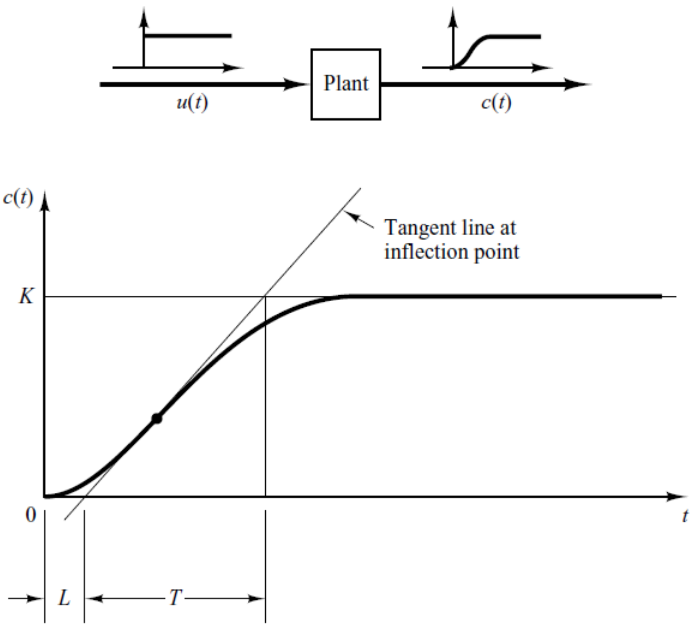

Figura 2: Parámetros L y T a partir de Ziegler-Nichols

Y la transferencia que se puede obtener de la planta, aproximandolo por un modelo de primer orden, es:

$$H(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-Ls}}{Ts+1} \tag{1}$$

Luego los parámetros para el controlador se obtienen a partir de la siguiente tabla:

Tipo de controlador	K_P	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9\ \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1.2\ \frac{T}{L}$	2 L	0.5 L

Cuadro 1: Reglas para "tuning" de Ziegler-Nichols a partir de la respuesta al escalón de la planta.

Luego, sabiendo que el controlador PID tiene la forma

$$G(s) = K_P(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s)$$

se puede obtener la ganancia integral y derivativa como $K_I = \frac{K_P}{T_i}$ y $K_D = K_P T_d$.

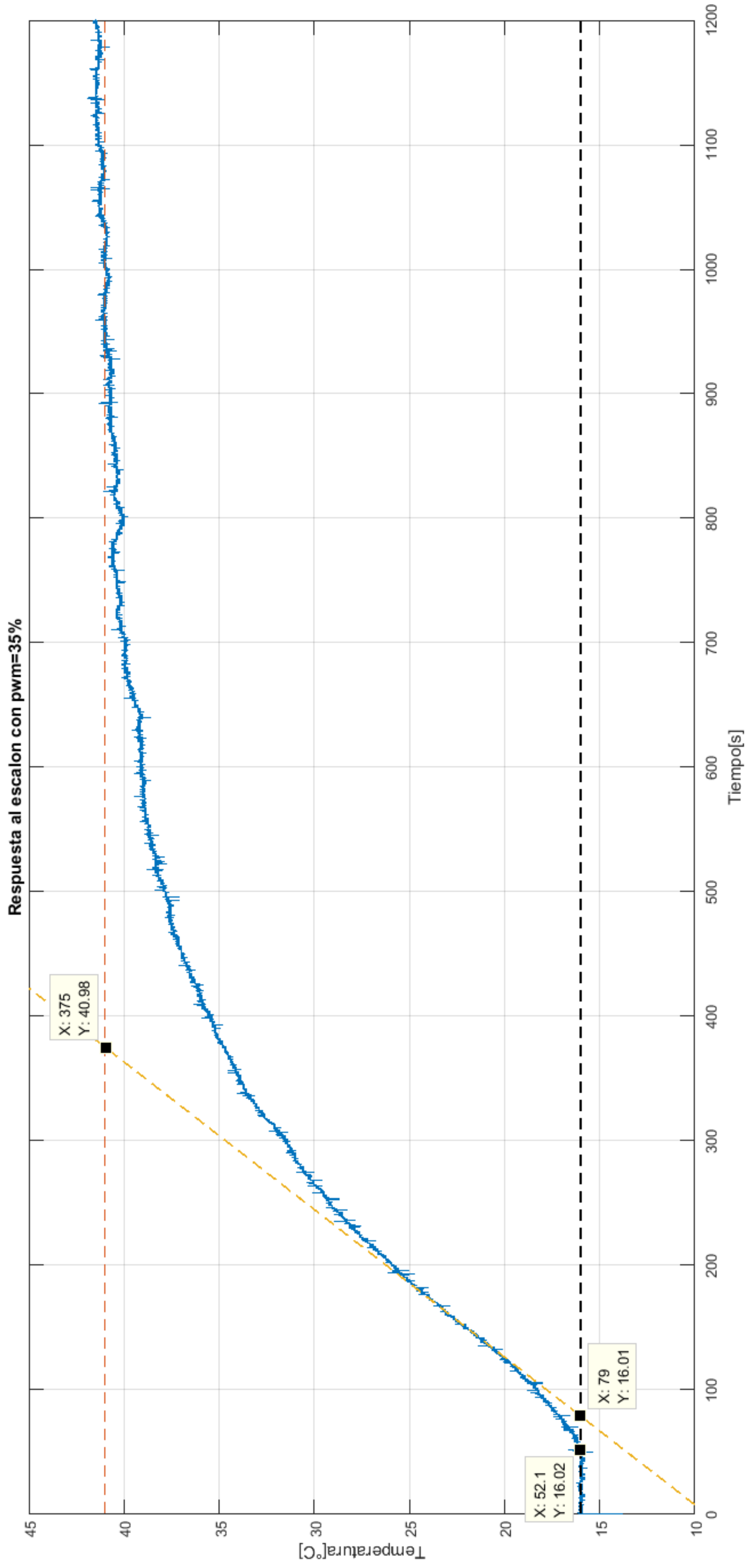

Figura 3: Tuning de la respuesta al escalón obtenida con un duty de 35 %.

A partir de la medición de la respuesta al escalón de la planta implementada, se puede conseguir T y L. Se implementará un control PI, entonces solo se utilizará la columna 2 de la tabla 1.

Se obtuvo un K=41 , L=26,9 y T=296. Por lo tanto los valores de las ganancias son $K_P \simeq 9{,}9$ y $K_I \simeq 0{,}11$. Y como esto se hizo con un duty de 35 %, se debe dividir por 0,35 a esos valores, pues el escalón no fue unitario en este caso, o mejor dicho, fue un escalón unitario al 35 %. Quedando entonces $K_P \simeq 28{,}29$ y $K_I \simeq 0{,}3$.

Luego, según la ecuación 1, el modelo de primer orden es:

$$H(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = 41 \frac{e^{-26,9s}}{296s+1} \quad \Rightarrow \quad H(s) \simeq 117 \frac{e^{-26,9s}}{296s+1}$$

La diferencia entre uno y otro es simplemente la ganancia, pues es para la respuesta al escalón, por lo que se debe corregir el factor de escala, los otros parámetros son propios de la planta y no dependen de la constante mencionada.

Se realizó lo mismo para un duty del 50 %.

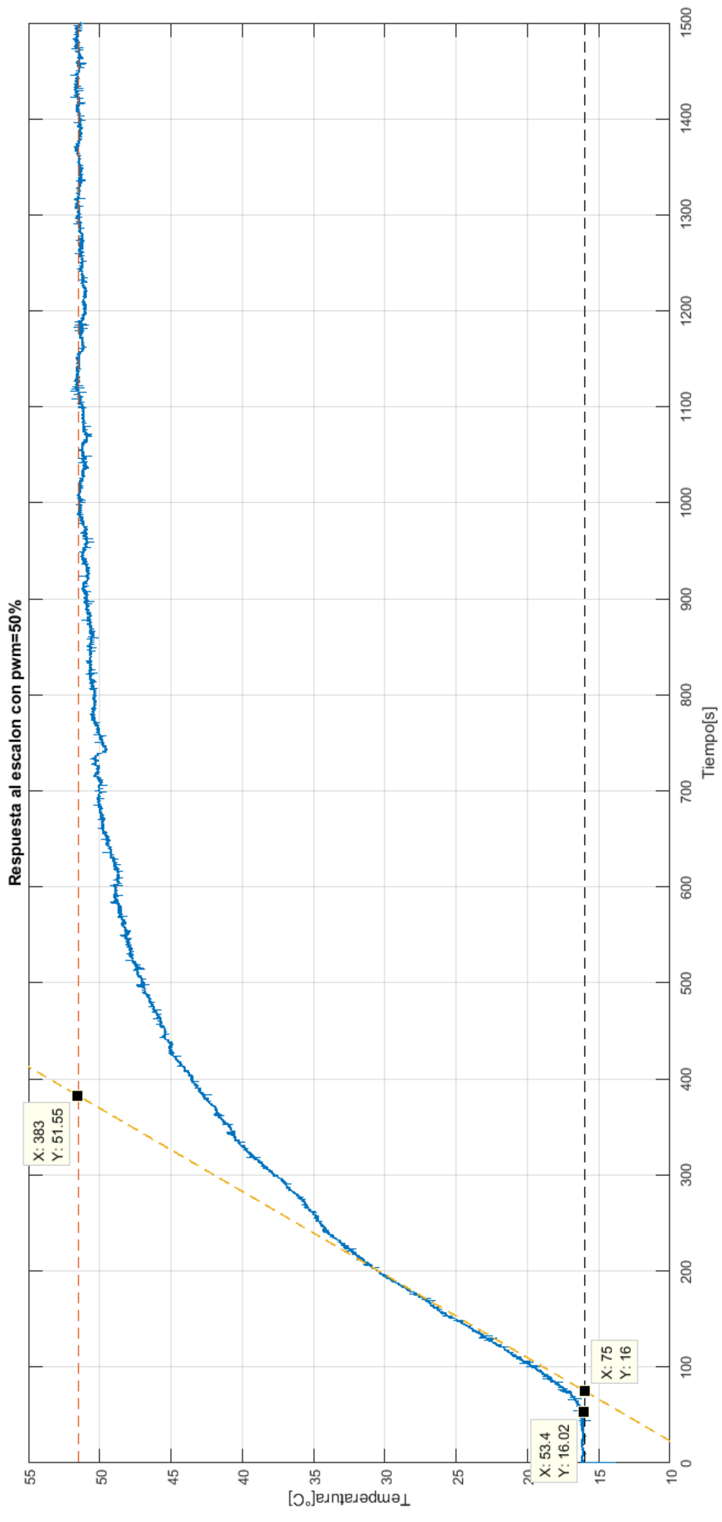

Figura 4: Tuning de la respuesta al escalón obtenida con un duty de 50 %.

Por lo que K=51,5, L=21,6 y T=308. Entones $K_P \simeq$ 12,8 y $K_I \simeq$0,18. Entonces normalizando queda $K_P \simeq$ 25,6 y $K_I \simeq$0,36.

Y la transferencia de la planta queda como

$$\frac{C(s)}{U(s)} = 51{,}5\frac{e^{-21{,}6s}}{308s+1} \quad \Rightarrow \quad H(s) \simeq 103\frac{e^{-21{,}6s}}{308s+1}$$

Se puede ver que los valores obtenidos para ambas mediciones están dentro del mismo orden.
Se tomará el promedio, entonces $K_P = 27$, $K_I = 0,33$ y la transferencia de la planta:

$$H(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = 110\frac{e^{-24s}}{302s+1} = e^{-24s}\frac{110}{302s+1} \tag{2}$$

Simulación

Se modeló el retardo temporal a través de la aproximación de padé de orden 3 utilizando MATLAB, sabiendo que el retardo es de 24 segundos.

```
>> [num_pade,den_pade] = pade(24,3)
num_pade =
    -1.0000     0.5000    -0.1042     0.0087

den_pade =
     1.0000     0.5000     0.1042     0.0087
```

Entonces, la transferencia puede modelarse como:

$$H(s) = \frac{C(s)}{U(s)} = \frac{-s^3 + 0{,}5s^2 - 0{,}1042s + 0{,}0087}{s^3 + 0{,}5s^2 + 0{,}1042s + 0{,}0087} \cdot \frac{110}{302s+1}$$

Luego, con la transferencia obtenida, se simuló por SIMULINK la respuesta al escalón.

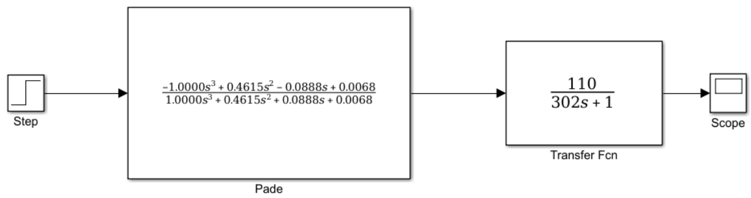

Figura 5: Simulación utilizando SIMULINK del sistema obtenido.

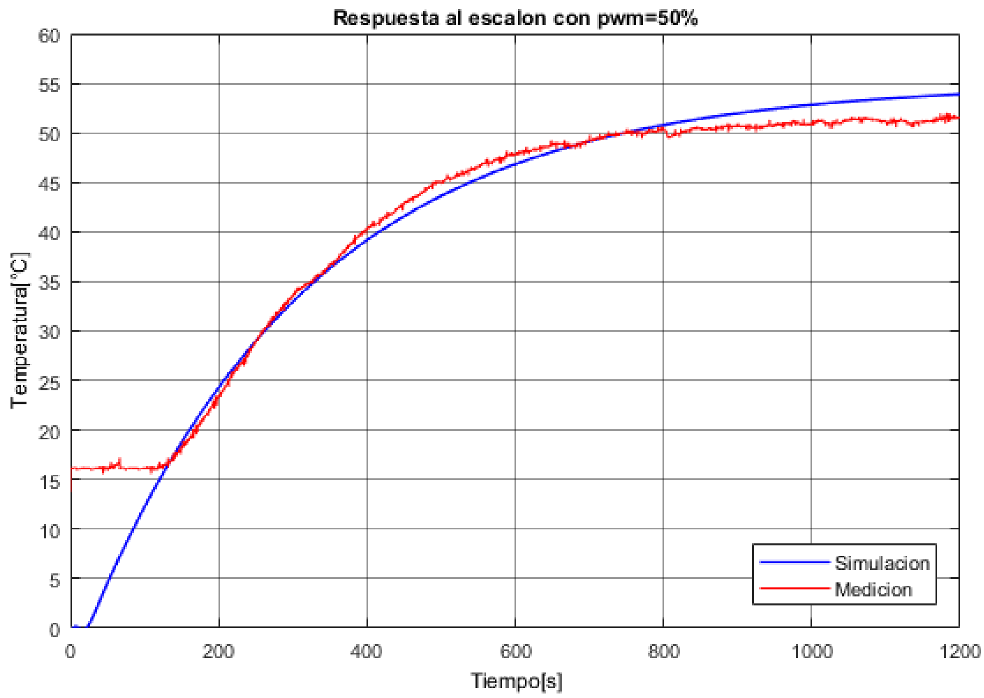

Figura 6: Respuesta al escalón 0,5 dada por la planta modelada. Simulación y medición obtenidas.

4 Lazo cerrado

Obtenidas las ganancia proporcional e integral a partir del método de Ziegler-Nichols, se las utiliz'o para controlar una temperatura de $50°C$, que fue la obtenida para un pwm de 50 %. K_P=27 y K_I=0,33. Se ve que la ganancia integral es aproimadamente el 12 % de la proporcional. Se utilizará este criterio para obtener la ganancia integral una vez definida la proporcional.

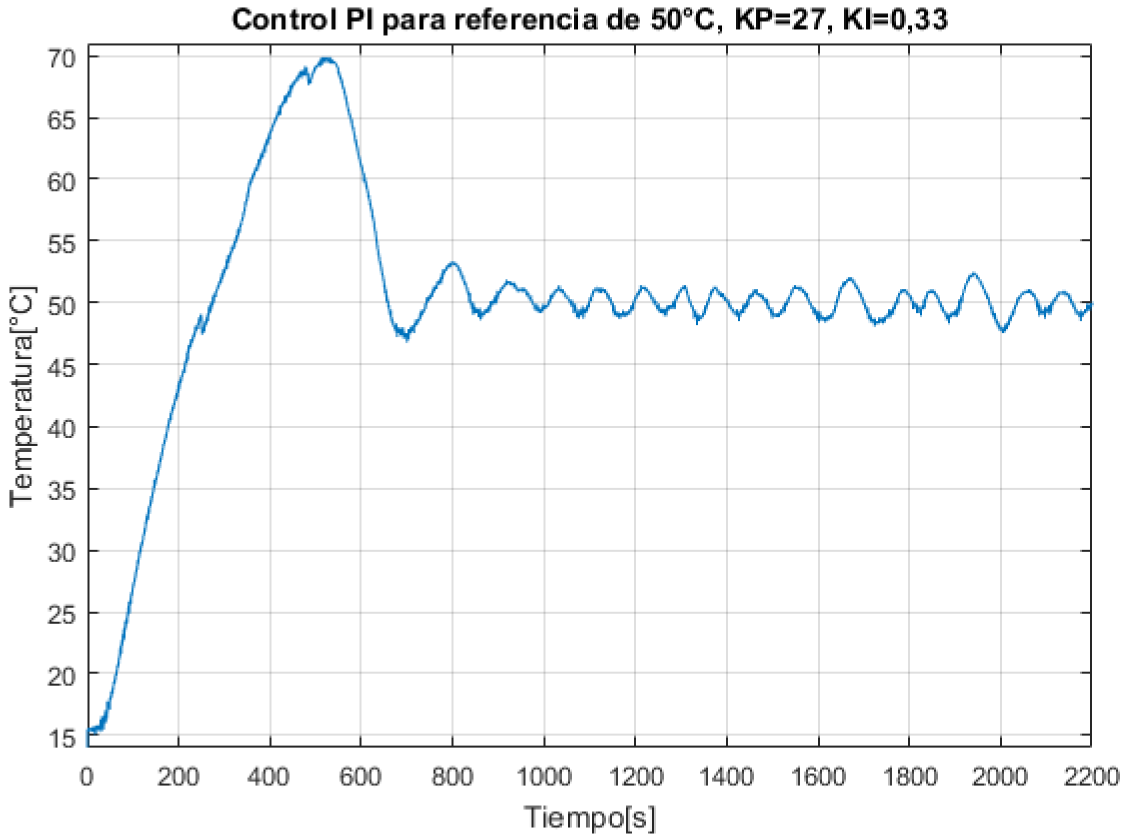

Figura 7: Medición experimental de los parámetros de ganancia del control PI obtenidos por Ziegler-Nichols.

Se ve que con las ganancias obtenidas, el overshoot es muy grande, sin embargo se ve que el controlador funciona y oscila alrededor de la temperatura establecida como referencia, sin embargo, no es deseable esta respuesta. Entonces se pensó en una ganancia proporcional que no sature al actuador, queriendo que cuando el error sea de $3°C$, el controlador empiece a actuar y sin saturar. Dicha ganancia es aproximadamente K_P=0,3 y con este valor, se debería utilizar K_I=0,003. El problema de esta ganancia integral es que el overshoot sigue siendo el mismo, por lo que se consideró disminuirla. Se decidió optar por una ganancia integral 10 veces más chica aún y hacerla unitaria, siendo K_I=0,0001.

También se usó el Simulink para verificar y simular el control a lazo cerrado con el modelo obtenido, siendo el siguiente esquema el utilizado:

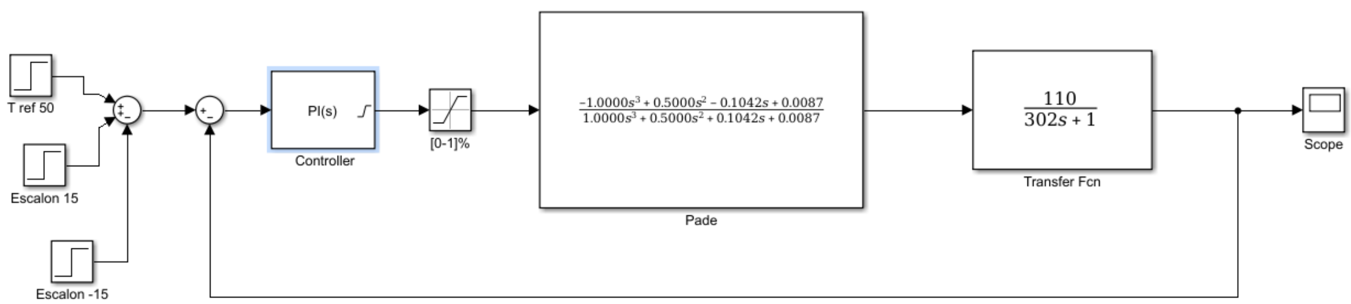

Figura 8: Esquema utilizado en SIMULINK para simulación del control PI a lazo cerrado

Sabiendo la respuesta obtenida ante un ciclo de trabajo del 50 % se fijó una temperatura de referencia T_0 igual a la obtenida ante dicho escalón. es decir $T_0 = 51°C$ y por cuestiones de conveniencia, se utilizó $T_0 = 50°C$. Se dejó actuar al sistema llevando la temperatura desde la ambiente a la fijada y se esperó a que estabilice. Luego se le aplicó un escalón de $15°C$, se esperó a que estabilice, y finalmente se volvió a fijar la referencia en $T_0 = 50°C$, que es como haber aplicado un escalón inverso al anterior. El resultado se ve en la figura 9.

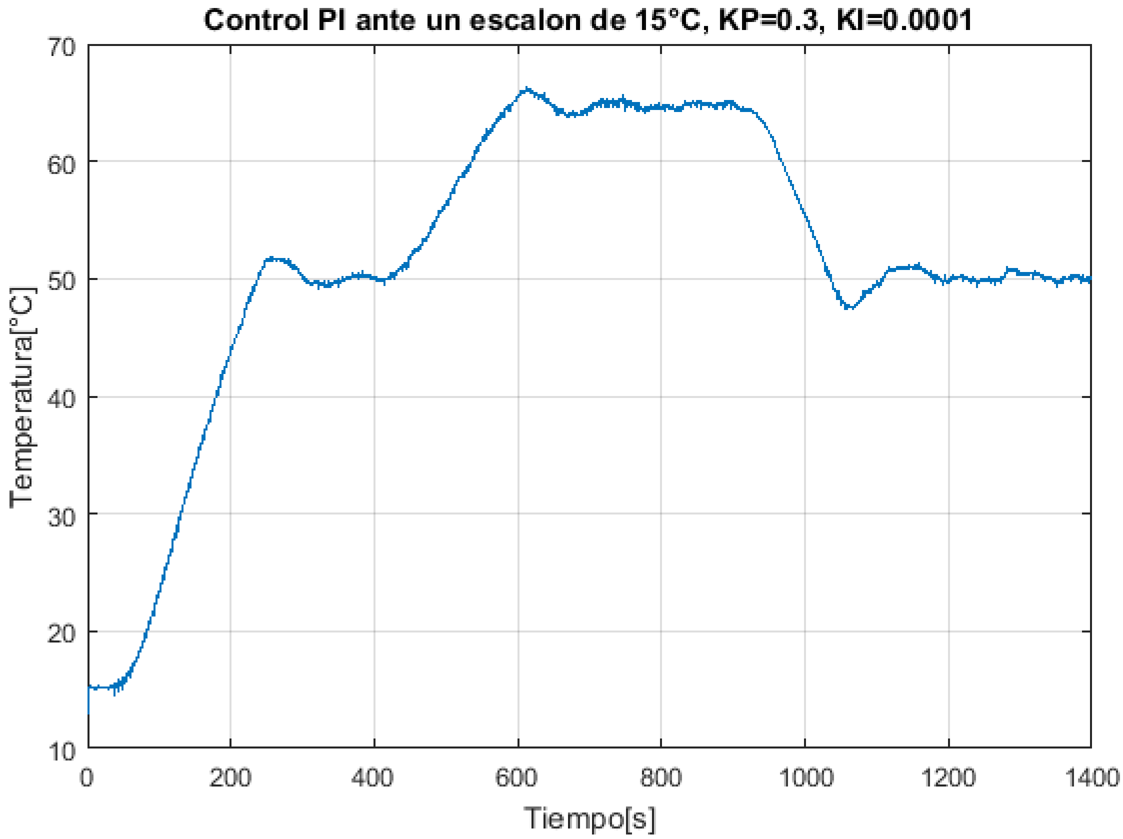

Figura 9: Respuesta obtenida del control PI ante un escalón de 15°C con $K_P = 0,3$ $K_I = 0,0001$.

Por otra parte, se verificó por simulación:

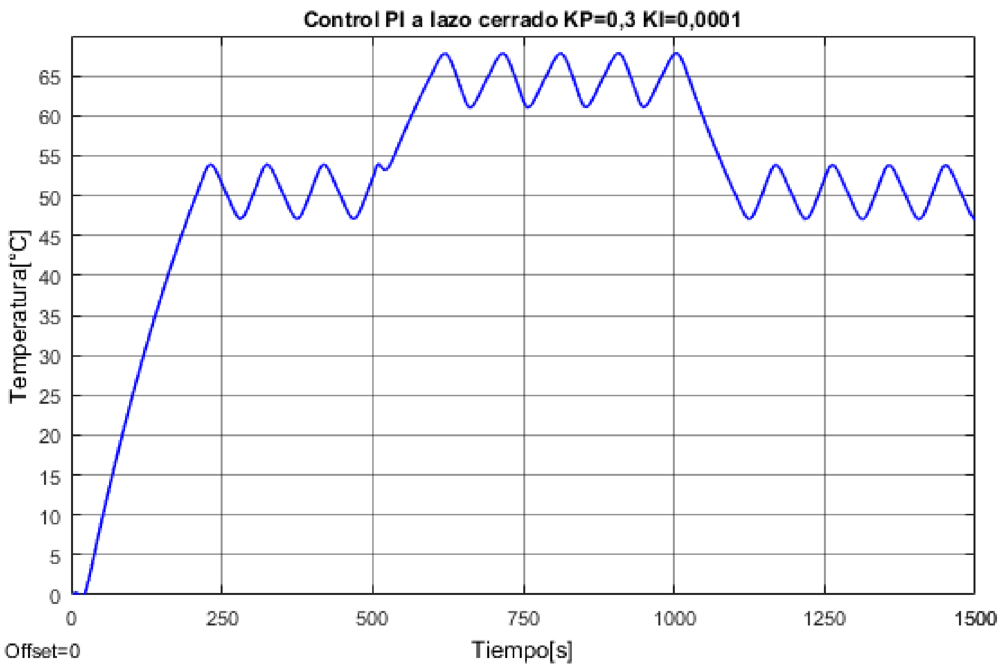

Figura 10: Simulación del control PI con $K_P = 0,3$ $K_I = 0,0001$.

Queriendo disminuir el tiempo que tarda en estabilizar, y conseguir que el overshoot sea menor, se probaron distintos valores de ganancias proporcional e integral. Se encontró que disminuyendo la ganancia proporcional a 0,1 se consigue una mejora en el error estacionario.

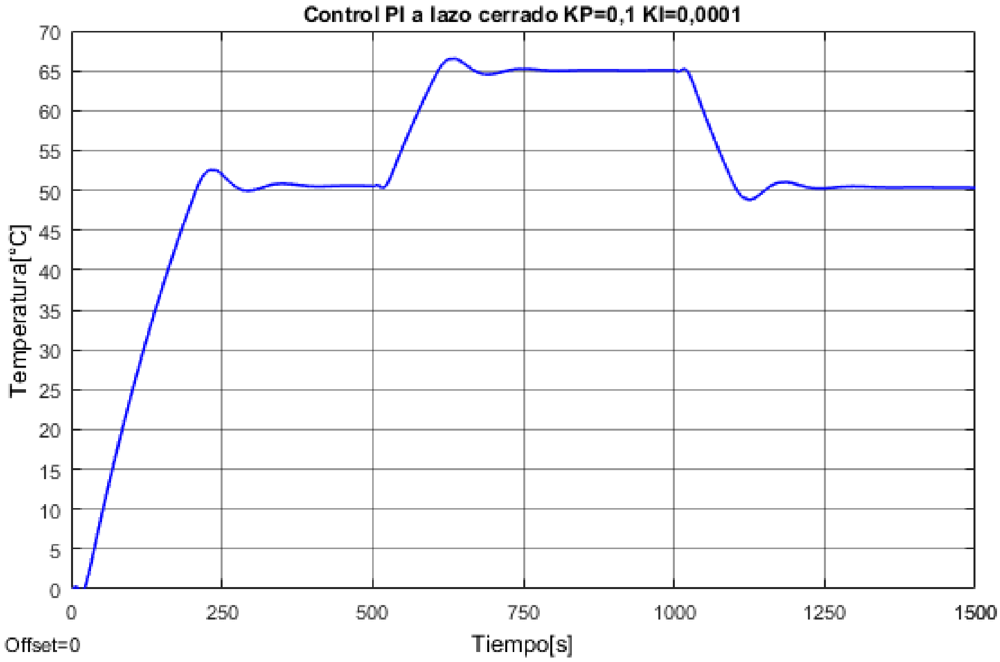

Figura 11: Simulación del control PI con $K_P = 0,1$ $K_I = 0,0001$.

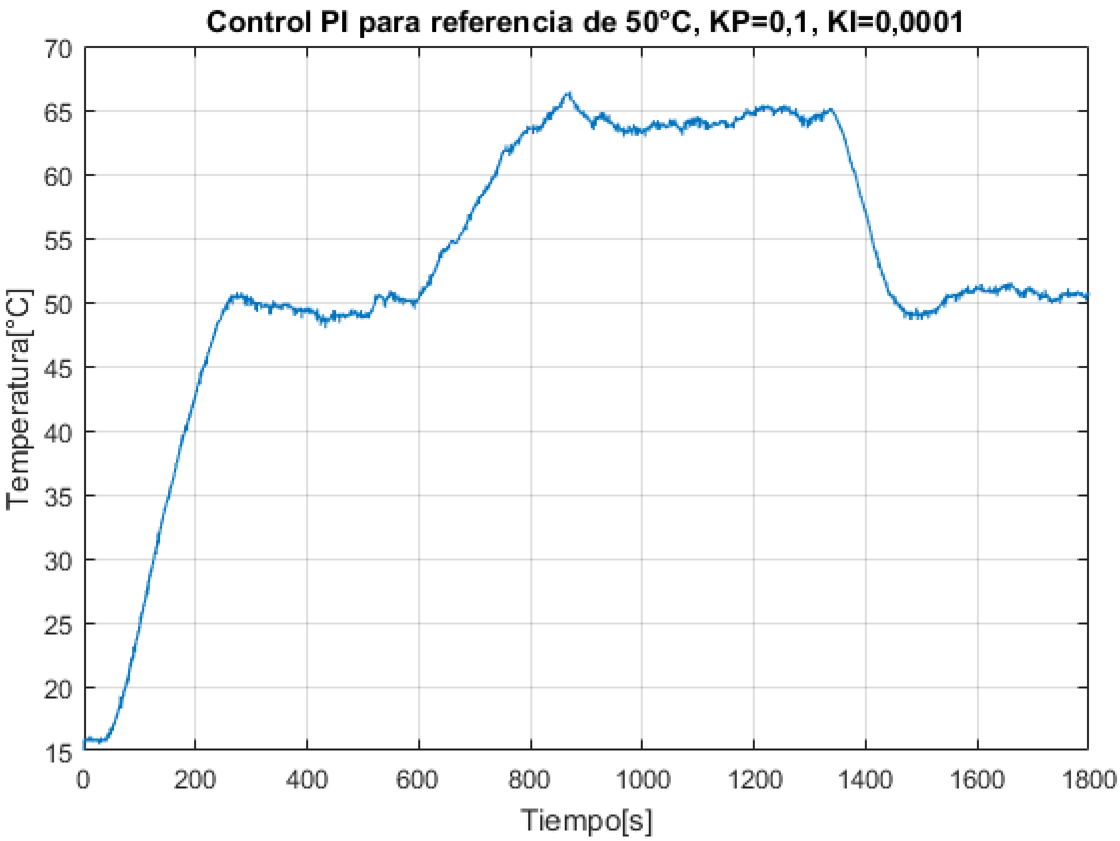

Figura 12: Respuesta obtenida del control PI ante un escalón de 15°C con $K_P = 0,1$ $K_I = 0,0001$.

Se puede ver que efectivamente, disminuye el tiempo que tarda en estabilizar a la temperatura de referencia. Sin embargo las mediciones y las simulaciones no son completamente iguales, esto puede verse con mayor detalle comparando las figuras 9 y 10, pues la medición obtenida no tuvo oscilaciones tan grandes a diferencia de lo que se esperaba por simulación. Es claro que el modelo utilizado no es completamente correcto, sin embargo es de gran utilidad a la hora de predecir cualitativamente la respuesta. Se le atribuye la diferencia principalmente a la aproximación dada por pade por el retraso temporal.

El esquema utilizado para controlar a través de SIMULINK se presenta a continuación.

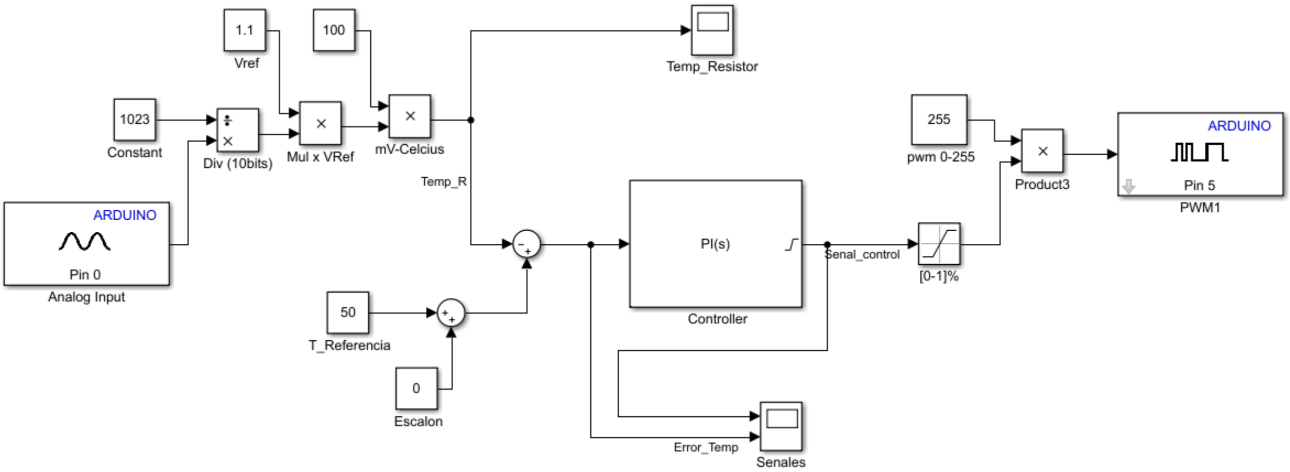

Figura 13: Esquema de control utilizado en simulink.