

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AVELLANEDA



MATERIA: Sistemas de Control Automático

TL 1 – Pava Eléctrica 

Integrantes:

Apellido y Nombres

E-mails

Uriel Alejo Sueldo

usueldo@gmail.com

Nicolas Lopez Vidueiros

nicolas.lopez.vidueiros@gmail.com

Juan Carlos Lorenzo

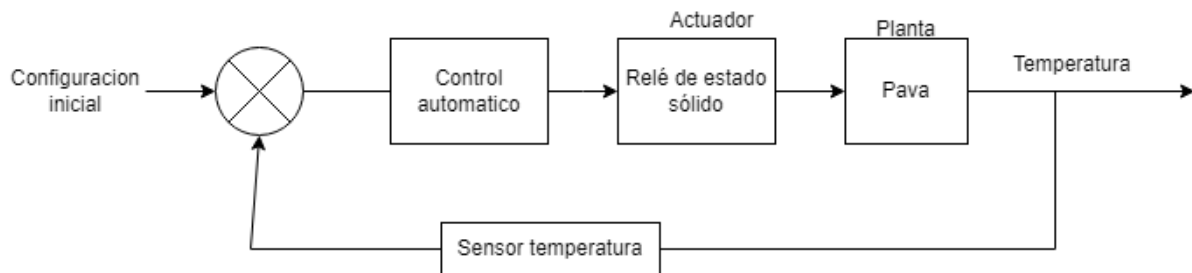
juanchilorenzo@gmail.com

Profesores: Ing. Guillermo Caporaletti, Ing. Juan Manuel Castellano

Modelo sistema de control



Se modeliza sistema utilizando diagrama en bloques.



Los componentes del sistema de control son los siguientes:



- **Variable controlada, salida o resultado:** Es la temperatura del agua que se desea controlar.
- **Planta:** Es la pava eléctrica, es decir, es el equipo que se controla para cambiar a la temperatura deseada del agua.
- **Señal de control o variable manipulada:** Es la potencia que se entrega a la base de la pava para calentar el agua.
- **Controlador:** Incluye el actuador que opera sobre la planta, en este caso el actuador es el Réle de estado sólido que dependiendo de la señal de error que recibe el controlador, el relé permitirá o no el flujo de corriente para encender o apagar la pava.
- **Valor de referencia o entrada:** es el valor que se configura para que tome la salida del sistema. En este caso es configurar la temperatura que se desea que llegue el agua.

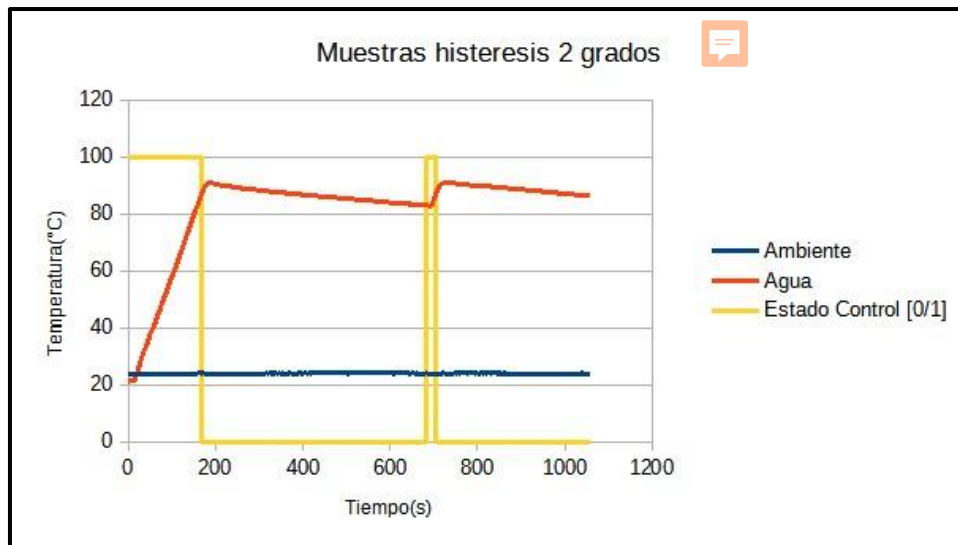
Implementación y funcionamiento del sistema.

Los componentes utilizados en la práctica fueron los siguientes:

- Pava eléctrica.
- Protoboard.
- Arduino UNO.
- Sensor de temperatura DS18B20.
- Toma corriente con un relé de estado sólido

Primera Medición con 0,75 litros de agua

Se configuro el sistema para que mantenga la temperatura del agua por arriba de los 83°C y aumentar la temperatura como máximo hasta 87°C, es decir, se estableció una temperatura base de 85°C con histéresis de 2°C.



En el gráfico se muestran tres variables:

- La temperatura ambiente (línea azul) que se mantiene entre los 23°C y 24°C. Establecemos en nuestro modelo una temperatura ambiente de 23°C.
- La temperatura del agua (línea roja) que varía entre los 83°C y 90°C sin contar el encendido de la pava.
- Estado de control (línea amarilla) indica cuando el rele mantiene la pava encendida (muestra 100 que significa 1 de encendido) y cuando la pava esta apagada (muestra 0).

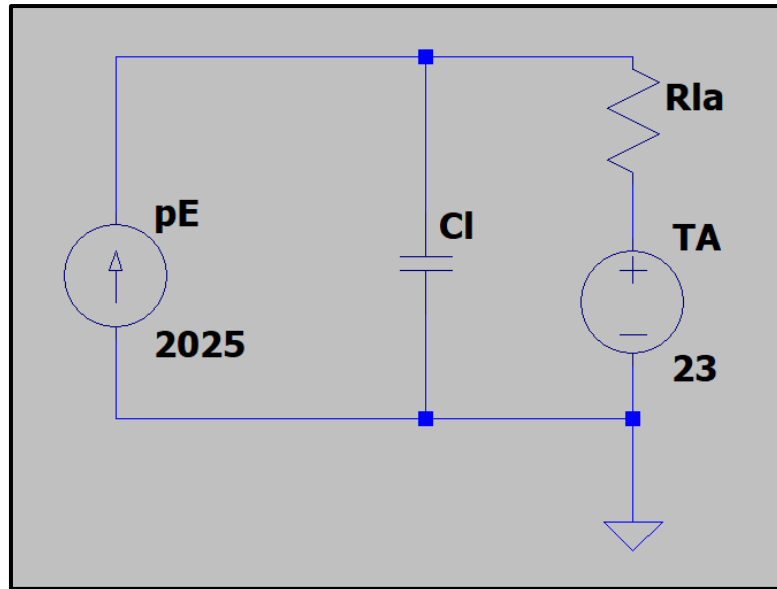
Al iniciar por primera vez el sistema, la temperatura del agua se mantiene en poco tiempo debajo de la temperatura del ambiente (21.5°C aproximadamente), luego rápidamente se enciende la pava y comienza a aumentar la temperatura del agua, a 2:70 minutos se apaga la pava debido a que se detectó una temperatura de 87°C. Aunque se halla apagado la pava la temperatura del agua sigue aumentando hasta los 90°C y luego vuelve a disminuir hasta llegar a los 83°C y se vuelve a repetir el ciclo. En el segundo ciclo se tarda mucho menos tiempo en que el agua suba a los 87°C, aproximadamente 25 segundos.

El agua debe aumentar su temperatura hasta los 87°C, pero sube hasta los 90°C. Esto es debido a la inercia térmica, que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que lo cede o absorbe, en nuestro caso, la resistencia de la pava sigue cediendo calor debido a que alcanza una temperatura máxima superior al que detecta el sensor que solo mide la temperatura del agua.

Durante los primeros 8 segundos la temperatura del agua se mantiene los 21.5 °C y luego comienza a aumentar, esto podría deberse a que la resistencia de la pava aun no se calentó lo suficiente para aumentar la temperatura del agua, es una hipótesis que no es posible afirmar con certeza.

Se modela el sistema un sistema térmico de primer orden, se realiza la analogía con circuito RC.





Los datos que conocemos son la potencia eléctrica de la pava ($P_e=2025W$) y la temperatura ambiente ($T_a=23^\circ C$)

R_{la} representa a la resistencia térmica de la superficie, en este caso, la resistencia térmica de la pava.

C_I representa la capacidad térmica. Para calcular la capacidad térmica se multiplica el calor específico del material del cuerpo por su masa. Para 0,75 litros de agua, C_I es:

$$C_L = C * masa \rightarrow C_{agua} * m_{agua}$$

$$C_L = \frac{4184J}{kg^\circ C} * 0,75kg$$

$$C_L = \frac{3138J}{^\circ C}$$

La potencia de entrada del sistema es representada como una fuente de corriente (P_e) y la temperatura ambiente como una fuente de continua (T_a)

$$P_e(t) = P_l(t) + P_d(t)$$

$P_l(t)$ es la corriente que pasa por el capacitor y $P_d(t)$ es la corriente que pasa por la resistencia.

$$P_e(t) = C * \frac{dT_l}{dt}$$

$$P_d(t) = \frac{T_l - T_a}{R_{la}}$$

$$P_e(t) = C * \frac{dT_l}{dt} + \frac{T_l - T_a}{R_{la}}$$

Para hallar la función de transferencia de la planta, se aplica la transformada de Laplace

$$Pe(S) = C * S * \frac{Tl(S) - Ta(S)}{Rla}$$

Se considera la temperatura ambiente nula, y luego se la suma al final de los cálculos.

$$Pe(S) = \left(S * C * \frac{1}{Rla} \right) * Tl(S)$$

Reescribiendo la ecuación, hallo función de transferencia de la planta G(S).

$$G(S) = \frac{Tl(S)}{Pe(S)} = \frac{Rla}{S * Rla * C + 1} = \frac{Rla}{\tau * S + 1}$$

La potencia entregada Pe(t) es la suma de la potencia disipada Pd(t) y la potencia calórica que absorbe el agua Pl(t)

$$Pe(t) = Pl(t) + Pd(t)$$

Se desprecia Pd(t) debido a que al principio su valor es pequeño comparándola con la potencia entregada, concluyendo a que Pd es despreciable y tiende a cero.

$$Pe(t) = Pl(t).$$

Hallo capacidad térmica del agua con la siguiente definición:

$$Cl = \frac{\Delta E}{\Delta T} = \frac{Pl * \Delta t}{\Delta T}$$

$$Cl = \frac{\Delta E}{\Delta T} = \frac{Pl * (tf - ti)}{Tf - Ti}$$

Los datos de temperatura inicial (Ti), temperatura final (Tf), tiempo inicial (ti) y tiempo final (tf) fueron obtenidos de las mediciones.

$$Cl = \frac{2025 * (168s - 8s)}{87 - 21.5} = \frac{2025 * 160s}{65.5^{\circ}C} = 4946 \frac{J}{^{\circ}C}$$



Hallo tau del sistema con la función de descarga del capacitor.

$$T(t) = (To - Ta) * e^{\frac{to-t}{\tau}} + Ta$$

To es la temperatura máxima que se muestra en el gráfico, que no es la temperatura máxima que soporta el sistema, Ta es la temperatura ambiente y t0 es el tiempo que tarda en llegar a la temperatura máxima.



- To = 90°C
- to = 190s
- Ta = 23°C

Luego de 684 segundos, la temperatura del agua disminuyo 82.94°C y se volvió a encender la pava. Utilizo dicho tiempo y temperatura en función de descarga del capacitor.

$$T(684) = (90^{\circ}C - 23^{\circ}C) * e^{\frac{190s-684s}{\tau}} + 23$$

$$82.94^{\circ}C = (90^{\circ}C - 23^{\circ}C) * e^{\frac{-494s}{\tau}} + 23^{\circ}C$$

$$\frac{82.94^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}}{67^{\circ}\text{C}} = e^{\frac{-494s}{\tau}}$$

$$\ln\left(\frac{82.94^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}}{67^{\circ}\text{C}}\right) = \ln\left(e^{\frac{-494s}{\tau}}\right)$$

$$\ln\left(\frac{82.94^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}}{67^{\circ}\text{C}}\right) = \ln\left(e^{\frac{-494s}{\tau}}\right)$$

$$-0.11 = \frac{-494s}{\tau}$$

$$\tau = \frac{-494s}{-0.11}$$

$$\tau = 4490s$$



Conociendo Tau, hallo la resistencia térmica Rla planteando definición de τ .

$$\tau = Rla * C$$

$$Rla = \frac{\tau}{C}$$

$$Rla = \frac{4490s}{4946 \frac{J}{^{\circ}\text{C}}} = 0.9 \frac{^{\circ}\text{C}}{W}$$

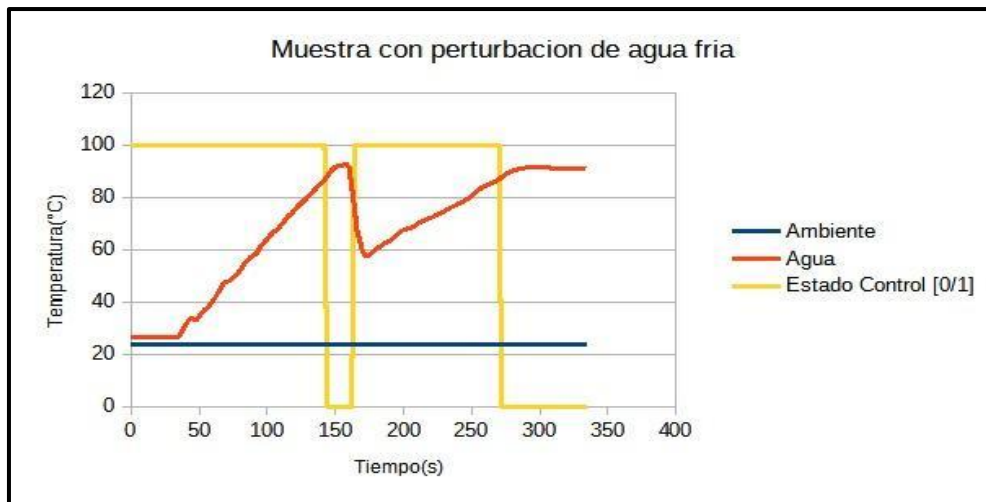
Con todos los datos obtenidos, reescribo función de transferencia G(S).

$$G(S) = \frac{Tl(S)}{Pe(S)} = \frac{Rla}{\tau * S + 1} = \frac{0.9 \frac{^{\circ}\text{C}}{W}}{4490s * S + 1}$$

Segunda Medición con perturbación

Se configuro el sistema para que mantenga la temperatura del agua por arriba de los 83°C y aumentar la temperatura como máximo hasta 87°C, es decir, se estableció una temperatura base de 85°C con histéresis de 2°C.

Se cargo a la pava 0,5 litros de agua, luego cuando la temperatura del agua llego a su punto máximo se agrego 0,5 litros de agua fría como perturbación, teniendo en total 1 litro de agua.



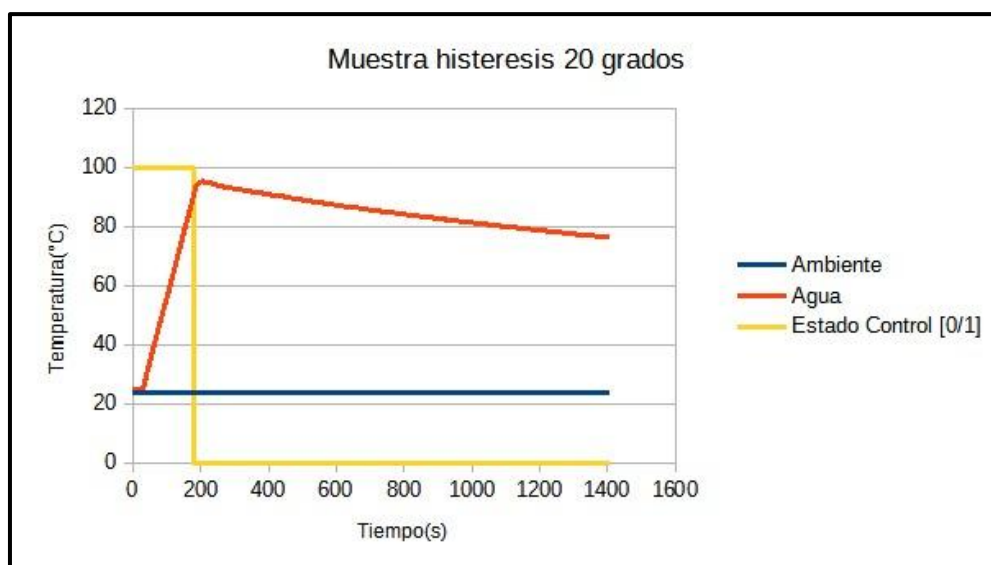
Al iniciar por primera vez, la temperatura del agua (26°C) se encuentra por encima de la temperatura ambiente (24 °C). El sensor DS18B20 detecta que el agua se encuentra menor a los 83°C y se le indica al relé de estado solido que permita pasar corriente alterna a la pava, provocando el encendido de la pava. Luego, cuando se llegó a la temperatura destino (87°C) el arduino le indica a al relé que no permita pasar corriente a la pava para que de esta manera se apague la pava y disminuya la temperatura del agua.

A comparación con la primera medición, el agua tardo menos tiempo en aumentar su temperatura, es decir, tardó 2:10 minutos.

Al igual que la medición anterior, el agua lleo a una temperatura máxima de 90°C a pesar de que se apagó la pava a los 87°C. Luego, como perturbación agregamos 0,5 litros de agua fría para analizar el comportamiento del sistema. Como notamos en el gráfico, el agua bajo en 30 segundos de los 90°C a los 59°C. Luego en 1:30 minutos el agua volvió a llegar a los 87°C y se repite el ciclo estable, donde tardara mas tiempo en que el agua disminuya la temperatura a los 83°C debido a que se aumentó su volumen de 0,5L a 1L.

Tercera Medición con 1 litro de agua

Se configuro el sistema para que mantenga la temperatura del agua por arriba de los 50°C y aumentar la temperatura como máximo hasta 90°C, es decir, se estableció una temperatura base de 70°C con histéresis de 20°C.



Al iniciar, la temperatura ambiente se mantiene a los 24°C, menor a la temperatura del agua que es 25°C. Luego el sensor DS18B20 detecta que la temperatura del agua es menor a los 50°C, el relé de estado sólido permite el paso de corriente para encender la pava. La pava se mantiene encendida durante 3 minutos hasta que el sensor detecta que el agua subió a los 90°C, el arduino informa al relé que deje de pasar corriente hacia la pava y la misma se apaga.

Como se nota en el gráfico, debido a la resistencia de la pava que sigue cediendo calor, la temperatura del agua aumenta hasta los 95°C, aunque la pava se apagó cuando el agua llegó a los 90°C, y comienza a disminuir hasta llegar a los 50°C.

A diferencia de las mediciones anteriores, al aumentar la histéresis de 2°C a 20°C y el volumen de agua a 1 litro, se tarda más tiempo a que el agua disminuya debajo de los 50°C, con un tiempo de decrecimiento mayor a 20 minutos. Debido a que tomo mucho el tiempo de decrecimiento se frenó la medición hasta que el agua llegó a los 76°C.

Conclusión

Al realizar las mediciones notamos que en vez de que la temperatura máxima del agua llegue a los 87°C, llegó a los 90°C, esto es debido a que luego de apagar la pava, la resistencia calefactora aún tiene potencia suficiente para poder calentar el agua por un tiempo más.

En el gráfico de la primera medición, se puede ver que en el segundo tramo una línea recta, por lo tanto, podemos deducir que en el aislamiento térmico de la pava es muy bueno.

En cambio, en el gráfico de la segunda medición, al agregar una perturbación luego de que el agua llegó a su temperatura máxima, la línea no es tan recta y vemos una rápida caída de temperatura que luego de un tiempo de que aumente la temperatura del agua el sistema vuelve a ser estable.

En el gráfico de la tercera medición, vemos que al aumentar el volumen de agua y la histéresis el tiempo de decrecimiento es mucho mayor a comparación de las otras dos mediciones.