



Universidad
Nacional
de Córdoba



Universidad Nacional de Córdoba

Proyecto Final: Sistema de control de temperatura
aplicado a una fermentadora de pan.

Alumnos:

Dallari Larrosa Gian Franco

Lipcen Sebastian Mario

Introducción

El proyecto consiste en desarrollar una fermentadora de pan, mediante el control de la temperatura y el tiempo de fermentado, se logran diferentes características en la masa para diferentes tipos de pan. La levadura que se agrega a la mezcla son bacterias que al estar en un ambiente con condiciones adecuadas se alimentan de la harina y liberan gas y otros compuestos, inflando el pan y dándole su sabor característico.

En general, a temperaturas más bajas, los panes tardan más en fermentar, pero adquieren más sabor, mientras que las temperaturas más cálidas son más convenientes cuando nos interesa que las masas aumenten más rápido.

La temperatura universal que funciona bien para una amplia variedad de panes es 27°C. Así que simplemente hay que configurar la fermentadora a 27 °C y funcionará bien para la mayoría de los panes.

Nuestro objetivo es desarrollar un modelo simple de fermentadora para uso doméstico o para un emprendimiento que controle de manera precisa la temperatura, en este caso la humedad se lograría con una bandeja con agua que se coloca en la parte inferior de la máquina.

Para lograr una temperatura constante dentro de la cámara se retroalimenta al sistema con la medición de un sensor de temperatura.

Objetivos

- Lograr modelar matemáticamente el comportamiento de la fermentadora
- Simular el modelo matemático para verificar si el control que realiza es preciso
- Entender y simplificar el modelo para aplicar los conocimientos adquiridos
- En este caso, vamos a buscar controlar la temperatura a 27°, que da muy buenos resultados para fermentar la mayoría de los panes.

Modelo Comercial

En este proyecto tomamos cómo base una fermentadora

FM F408 cómo la de la imagen, la cuál tiene las siguientes características:

- Dimensiones: Largo 64 x Fondo 64 x Alto 93 cm.
- Distancia parrillas: 80 mm.
- Calor Seco - Húmedo.
- Potencia 700 W.
- Temperatura Max. 85°C.
- Peso: 32 Kg.
- Capacidad: 8 bandejas 48x34 cm.



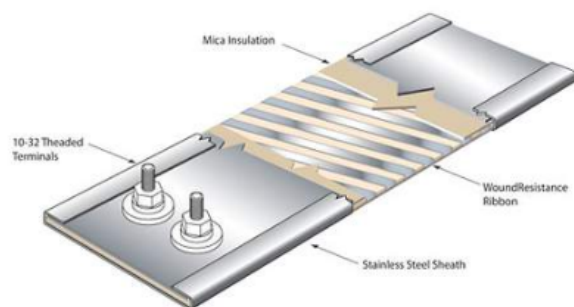
Modelo Simplificado

Nuestro modelo simplificado está constituido por un cámara con las siguientes medidas:

- Alto: 93 cm
- Ancho: 64 cm
- Profundidad: 64 cm
- Volumen: $380928 \text{ cm}^3 = 0,380928 \text{ m}^3$
- Temperatura de trabajo: 27°C
- Tiempo de trabajo: 60 min.

Resistencia

Para elevar la temperatura se va a utilizar resistencias planas de mica que proveen un calentamiento uniforme ya que los hilos que se bobinan alrededor del centro de mica son de Níquel Cromo y tienen una alta resistencia.



En este caso se selecciona una con las siguientes características:

- Potencia: 550 W
- Tensión: 220 V
- Corriente: 2.5A
- Dimensiones: 22x7.5x1 cm
- Distancia entre bornes: 19 cm
- Material: Hierro zincado



Más allá de estos datos, no nos fue posible encontrar cantidad de vueltas ni el tipo de hilo de Níquel Cromo que se utiliza para su fabricación, realizamos la siguiente estimación a partir de algunas propiedades importantes de la aleación Ni80Cr20:

NICROM 80/20					
DENSIDAD:			8,41 g/cm3		
RESISTIVIDAD:			1,09 mm2/m		
DIAMETRO mm	Ω / M	Mt / Kg.	DIAMETRO mm	Ω / M	Mt / Kg.
0,02	3469,57	378489,76	0,65	3,28	358,33
0,03	1542,03	168217,67	0,7	2,83	308,97
0,04	867,39	94622,44	0,75	2,46	269,15
0,05	555,13	60558,36	0,8	2,16	236,56
0,06	385,5	42054,42	0,85	1,92	209,54
0,07	283,23	30897,12	0,9	1,71	186,91
0,08	216,84	23655,61	0,95	1,53	167,75
0,09	171,33	18690,85	1	1,38	151,4
0,1	138,78	15139,59	1,2	0,96	105,14
0,12	96,37	10513,6	1,5	0,61	67,29
0,15	61,68	6728,71	1,6	0,54	59,14
0,18	42,83	4672,71	1,8	0,42	46,73
0,2	34,69	3784,9	2	0,34	37,85
0,25	22,2	2422,33	2,2	0,28	31,28
0,3	15,42	1682,18	2,3	0,26	28,62
0,35	11,32	1235,88	2,5	0,22	24,22
0,4	8,67	946,22	2,8	0,17	19,31
0,45	6,85	747,63	3	0,15	16,82
0,5	5,55	605,58	3,5	0,11	12,36
0,55	4,58	500,48	4	0,08	9,46
0,6	3,85	420,54	4,5	0,06	7,48

Para una resistencia con una potencia nominal de 550W, podemos suponer una resistencia total de:

$$R = \frac{220V}{2.5A} = 88\Omega$$

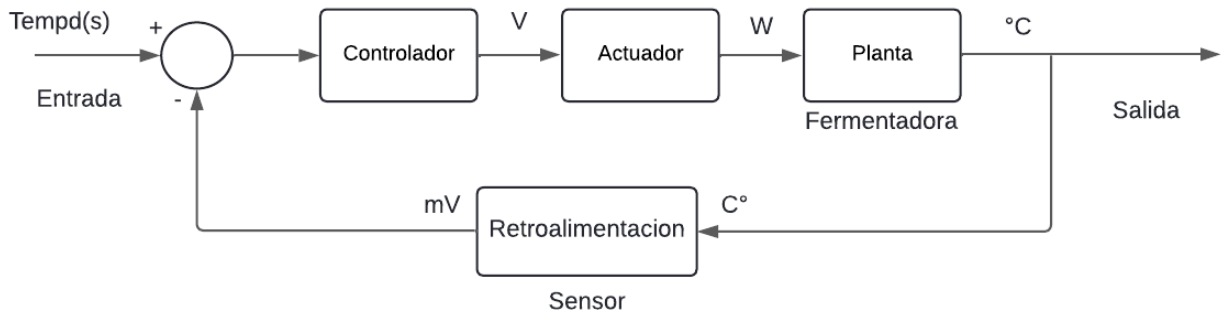
Si usamos un hilo de un diámetro de 0.4mm, se requiere una longitud de:

$$L = \frac{88\Omega}{8.67\Omega/m} = 10.15m$$

Estas estimaciones permiten entender mejor cómo trabaja la resistencia y cómo disipa calor de forma homogénea a través de la superficie de la placa. Está diseñada para ser colocada en la base de la fermentadora, generando un efecto de convección natural del aire caliente que se eleva.

Modelado matemático del sistema

Se presenta a continuación el esquema meramente representativo del diagrama de bloques del sistema de control:



En este caso, se grafica un bloque controlador que luego se determinará si es requerido o no de acuerdo a las especificaciones.

Modelado matemático del actuador

En nuestro modelo, el actuador representa a la resistencia de 88Ω que es un componente pasivo, por lo cuál se puede representar con un valor de ganancia $G=1$.

A la entrada recibe una tensión [V] y a la salida entrega una potencia [W].

Modelado matemático de la planta

Para generar un aumento de temperatura en nuestro sistema dependemos del calor aportado por la resistencia, por lo que la salida de nuestro sistema será la temperatura $T[^\circ\text{C}]$ y la entrada la potencia eléctrica $P [\text{W}]$ y realimentado a partir de las lecturas del sensor de temperatura.

La conducción de calor se rige por la ley de Fourier que dice que la tasa de transferencia de calor (Q) entre dos puntos lo suficientemente cercanos en un medio es proporcional a la diferencia de temperatura entre los dos puntos, $(T_1 - T_2)$ dividida por su separación (Δx) y la normal del área a la dirección del flujo de calor (A). La constante de proporcionalidad se denomina coeficiente de conductividad térmica del material (k). Matemáticamente, esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q = k A (T_1 - T_2) / \Delta x$$

donde Q es la tasa de transferencia de calor en W .

El flujo de corriente eléctrica se rige por la ley de Ohm, que establece que la corriente eléctrica (I) que fluye entre dos puntos en un conductor es igual a la diferencia de potencial entre los dos puntos ($V_1 - V_2$), dividida por la resistencia eléctrica entre ellos (R). La ley de Ohm se puede expresar de la siguiente manera:

$$I = (V_1 - V_2) / R$$

Las ecuaciones anteriores sugieren que la siguiente analogía contiene:

Conducción térmica	Conducción eléctrica
Tasa del flujo de calor: $Q [\text{W}]$	Corriente eléctrica: I
Diferencia de temperatura: $\Delta T = T_1 - T_2 [^\circ\text{C}]$	Diferencia de potencial: $\Delta V = V_1 - V_2$
Resistencia térmica: $R_t [\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}]$	Resistencia eléctrica = R

Para facilitar el estudio, se plantea el siguiente esquema del fermentador:

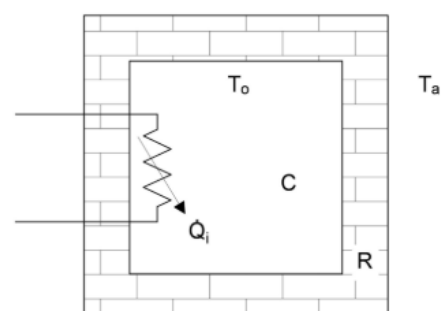
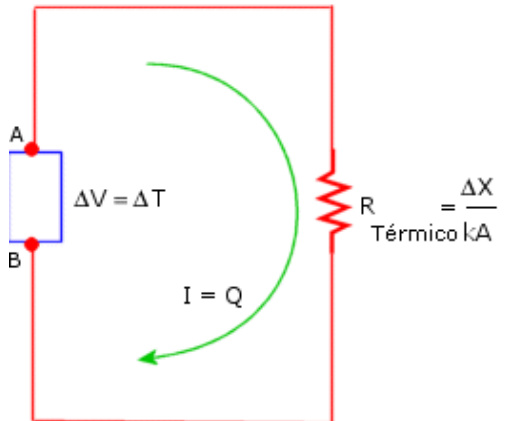
Fuente calor $Q_i \rightarrow$ Fuente de corriente

Capacitancia térmica $C \rightarrow$ Capacitor

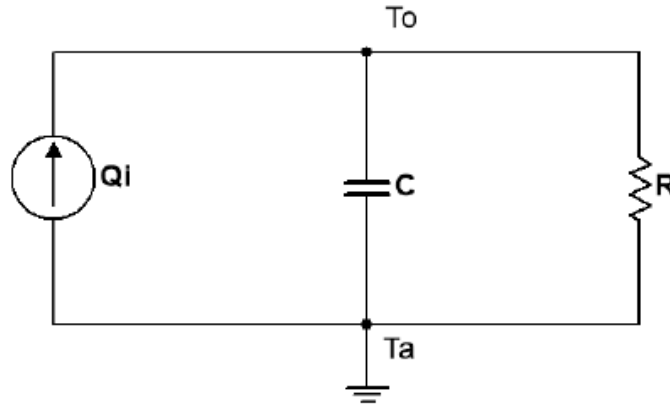
Resistencia térmica \rightarrow Resistencia eléctrica

Temperatura interior $T_i \rightarrow$ Voltaje

Temperatura ambiente $T_a \rightarrow$ Voltaje



A partir de estas analogías, se plantea el circuito eléctrico equivalente:



Las ecuaciones:

$$Q_i = i_c + i_r$$

$$Q_i = C * \frac{d(T_i + T_a)}{dt} + \frac{(T_i + T_a)}{R_t}$$

Si se considera T_a como la referencia $\rightarrow T_a = 0$

$$Q_i = C * \frac{d(T)}{dt} + \frac{(T)}{R_t}$$

Transformando la ecuación al plano de Laplace:

$$Q_i = C * s * T + \frac{T}{R_t} = \left(C * s + \frac{1}{R_t} \right) * T$$

$$Q_i = T * \frac{R_t * C * s + 1}{R_t}$$

$$\frac{T}{Q_i} = \frac{R_t}{R_t * C * s + 1} = \frac{1}{C * s + \frac{1}{R_t}}$$

En este caso, Q_i es la potencia aportada por la resistencia, por lo que la podemos llamar P [W] y la ecuación muestra la temperatura T [°C] en función de la potencia P que disipa la resistencia R :

$$\frac{T}{P} = \frac{1}{C * s + \frac{1}{R_t}}$$

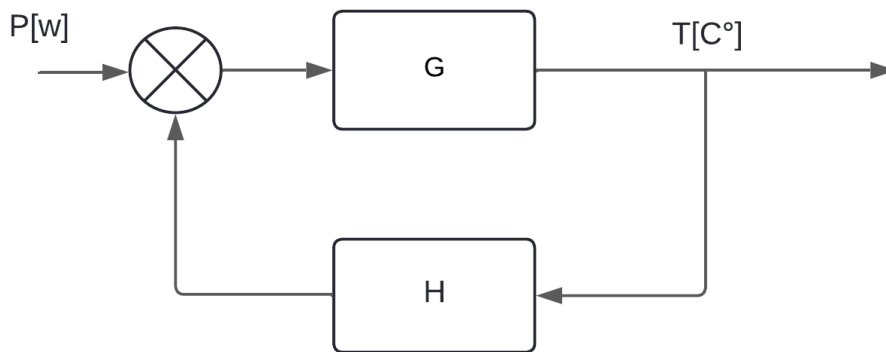
Por lo que la función de transferencia requiere los valores de C y la conductancia térmica $1/R_t$.

$$C = m * C_e = 0.46 \text{ kg} * 1012 \frac{\text{J}}{\text{kg} * ^\circ\text{C}} = 465.52 \frac{\text{J}}{^\circ\text{C}}$$

Por otro lado, la conductividad térmica del aire es:

$$\frac{1}{R_t} = 0.02 \frac{\text{W}}{\text{m} * ^\circ\text{K}}$$

A partir de un sistema con la siguiente forma:



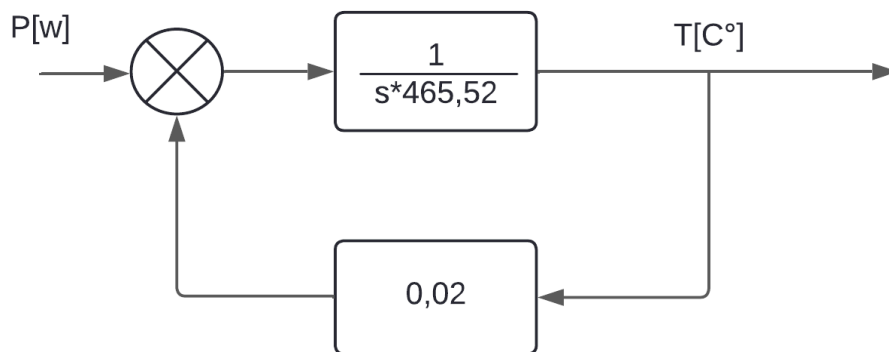
Si operamos por álgebra de bloques:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G}{1 + G \cdot H}$$

$$\text{Si } G = \frac{1}{C^*s} \text{ y } H = \frac{1}{Rt}$$

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\frac{1}{C^*s}}{1 + \frac{1}{C^*s} \cdot \frac{1}{Rt}} = \frac{\frac{1}{s^*C}}{1 + \frac{1}{C^*s} \cdot \frac{1}{Rt}} = \frac{1}{C^*s + \frac{1}{Rt}}$$

De esta manera llegamos a una función de transferencia con la misma forma que la del modelo matemático desarrollado. Por lo que planteamos:



$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{1}{C^*s + \frac{1}{Rt}} = \frac{1}{465.52*s + 0.02}$$

Modelado matemático del sensor

A la salida del bloque térmico se mide la temperatura con el sensor LM35, esta señal se entrega a un detector de error y actúa como realimentación. Este sensor entrega una tensión proporcional a la temperatura medida. Tiene una ganancia de G:

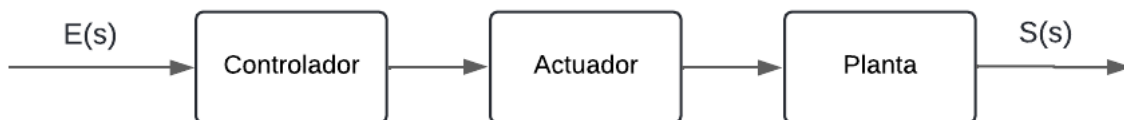
$$G = \frac{10mV}{^{\circ}C} = 0.01[\frac{V}{^{\circ}C}]$$



Para que la salida del sensor, que es una tensión V pueda alimentar al bloque térmico con una potencia W, es necesario un dispositivo físico que de acuerdo a la entrada [V] entregue una salida proporcional [W].

Función transferencia lazo abierto

Con los datos obtenidos en el análisis de nuestra planta , podemos definir nuestra función de transferencia de lazo abierto.



Se resolverá por el método de Mason y por diagrama de bloques:

Para el cálculo de la FTLA solo se tomará la entrada principal de nuestro sistema, las demás serán pasivadas ya que hacer el cálculo por superposición de las demás no es de interés.

Función de transferencia de lazo abierto por Mason

$$M1 = \frac{1}{465,52 s + 0,02}$$

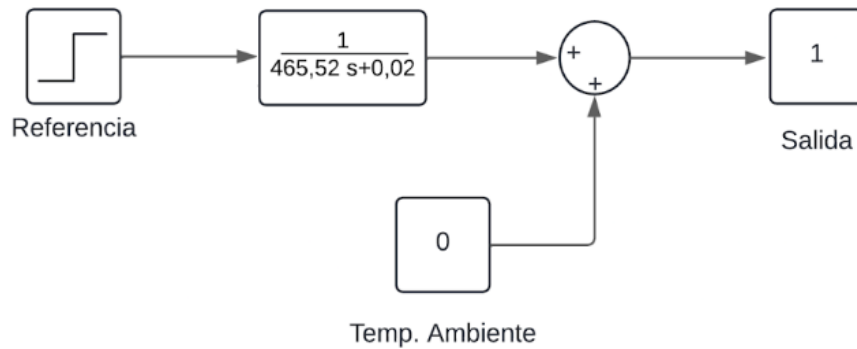
$$\Delta = 1$$

$$\Delta_1 = 1$$

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\frac{1}{465,52 s + 0,02}}{1} = \frac{1}{465,52 s + 0,02}$$

Función de transferencia de lazo abierto por Álgebra de bloques

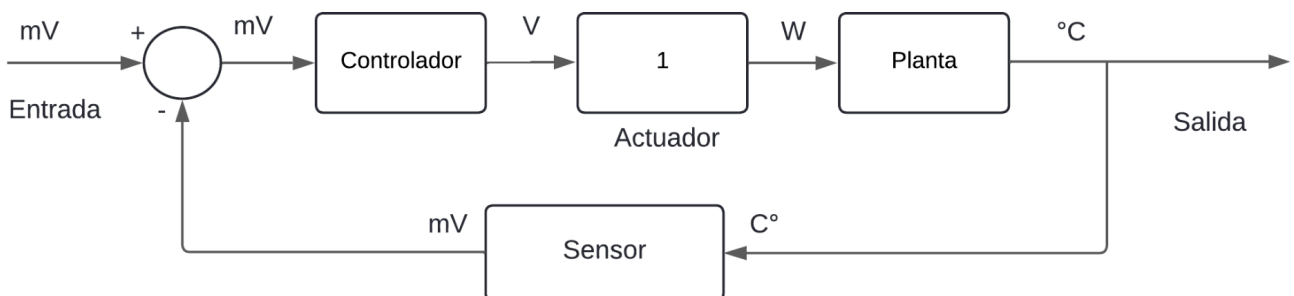
Se pasiva la entrada de temperatura ambiente:



Por Álgebra de bloques, la ganancia resultante de bloques consecutivos es igual al producto de las ganancias individuales de cada uno de los bloques

Función transferencia lazo cerrado

Se resolverá por el método de Mason y por diagrama de bloques:



Función de transferencia de lazo cerrado por Mason

Mason se usa para calcular la función de transferencia entre una entrada y una salida, como aquí tenemos 2 entradas independientes, aplicamos superposición, es decir, que tomaremos una entrada y una salida a la vez, pasivando las demás entradas.

Fórmula y variables en el método de Mason:

$$M = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\sum_{k=1}^N M_k \cdot \Delta_k}{\Delta}$$

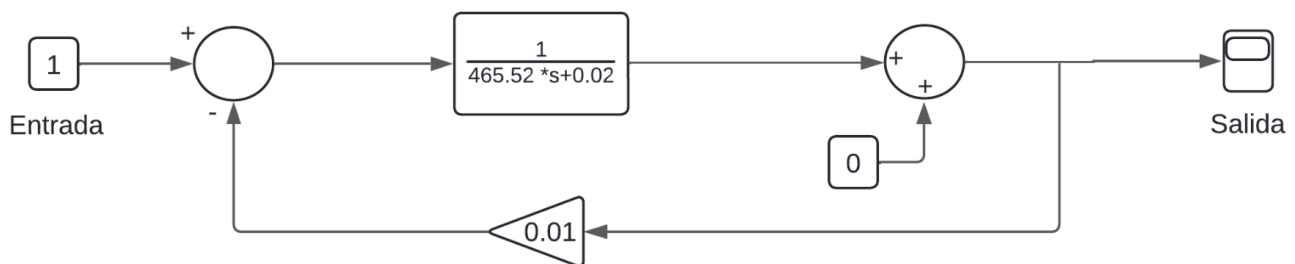
M_k = Ganancia del camino directo 'k' desde la entrada hacia la salida

N = Número total de caminos directos

$\Delta = 1 - (\sum \text{ganancia de los lazos}) + (\sum \text{productos de las ganancias de 2 lazos disjuntos}) - (\sum \text{productos de las ganancias de 3 lazos disjuntos}) + \dots - \dots$

$\Delta_k = \text{haciendo 0 los lazos que pasen por el camino directo 'k'} = 1 - \text{lazos que no tocan el camino "k"}$

Primera función de transferencia por Mason (Entrada Ta pasivada)



$$M_1 = \frac{1}{465,52*s+0,02}$$

$$L_1 = - \frac{1}{465,52*s+0,02} \cdot 0,01 = - \frac{0,01}{465,52*s+0,02}$$

$$\Delta = 1 - \left(- \frac{0,01}{465,52*s+0,02}\right) = 1 + \frac{0,01}{465,52*s+0,02}$$

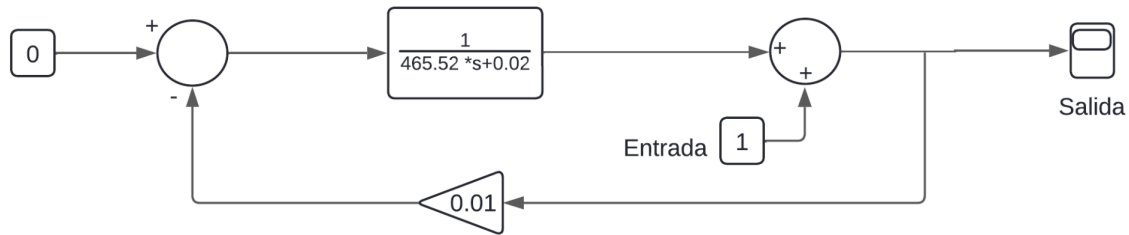
$$\Delta_1 = 1$$

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\frac{1}{465,52*s+0,02}}{1 + \frac{0,01}{465,52*s+0,02}} = \frac{\frac{1}{465,52*s+0,02}}{1 + \frac{0,01}{465,52*s+0,02}} * \frac{465,52*s+0,02}{465,52*s+0,02} = \frac{1}{465,52*s+0,03}$$

Si dividimos numerador y denominador por 465,52 obtendremos

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{0,00215}{s + 0,0000644}$$

Segunda función de transferencia por Mason (Entrada principal pasivada)



$$M_1 = 1$$

$$L_1 = - \frac{1}{465,52*s+0.02} \cdot 0,01 = - \frac{0.01}{465,52*s+0.02}$$

$$\Delta = 1 - \left(- \frac{0.01}{465,52*s+0.02} \right) = 1 + \frac{0.01}{465,52*s+0.02}$$

$$\Delta_1 = 1$$

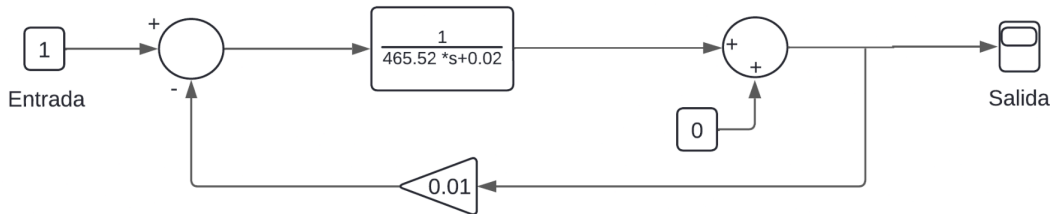
$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{1}{1 + \frac{0.01}{465,52*s+0.02}} = \frac{1}{1 + \frac{0.01}{465,52*s+0.02}} * \frac{465,52*s+0.02}{465,52*s+0.02} = \frac{465,52*s+0.02}{465,52*s+0.03}$$

Si dividimos numerador y denominador por 465,52 obtendremos

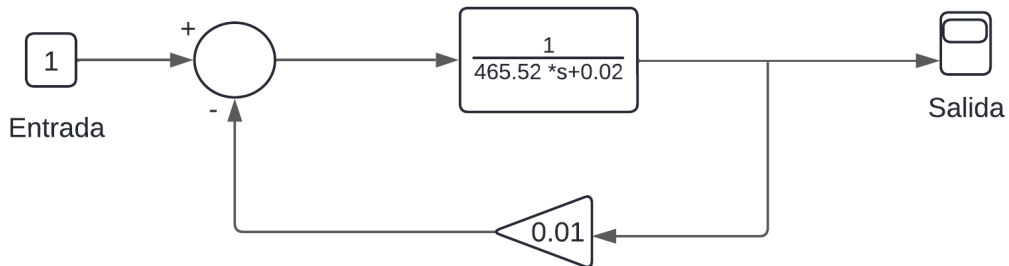
$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{s+0,0000429}{s + 0,0000644}$$

Función de transferencia de lazo cerrado por Álgebra de bloques

Primera función de transferencia por Álgebra de bloques (Entrada pasivada)



Se eliminan los bloques de suma con entrada pasivada:

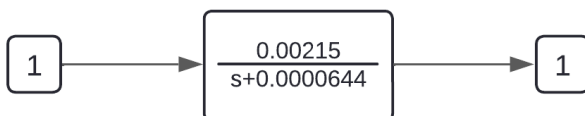


Se tiene una realimentación negativa, por lo tanto:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G}{1 + G \cdot H} = \frac{\frac{1}{465,52*s+0.02}}{1 + \frac{0.01}{465,52*s+0.02}} = \frac{\frac{1}{465,52*s+0.02}}{1 + \frac{0.01}{465,52*s+0.02}} * \frac{465,52*s+0.02}{465,52*s+0.02} = \frac{1}{465,52*s+0.03}$$

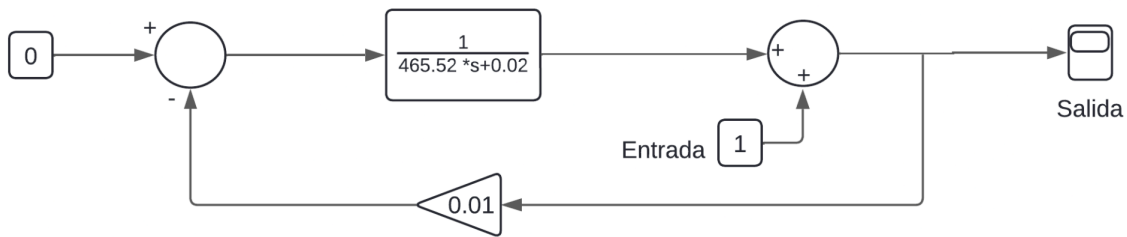
Se divide numerador y denominador por 465,52:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{0.00215}{s + 0.0000644}$$

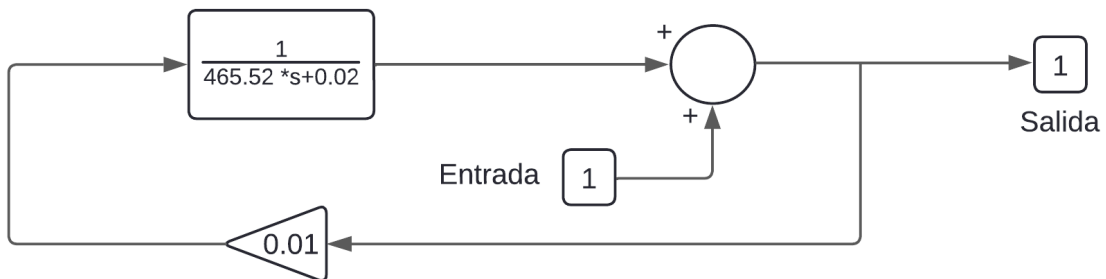


:

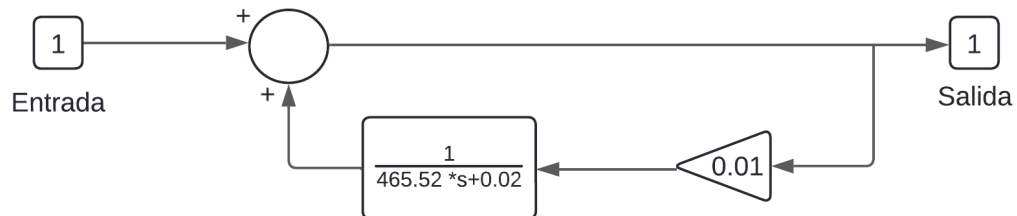
Segunda función de transferencia por Álgebra de bloques (Entrada principal pasivada)



Eliminamos los bloques de suma con entrada nula:



Re-dibujamos el diagrama de bloques, de tal manera que sea más simple su resolución:



Se tiene una realimentación negativa, por lo tanto:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{G}{1 + G \cdot H} = \frac{1}{1 + \frac{0.01}{465,52 s + 0,02}} = \frac{465,52 s + 0,02}{465,52 s + 0,03}$$

Si dividimos numerador y denominador por 465,52 obtendremos

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{s+0,0000429}{s+0,0000644}$$

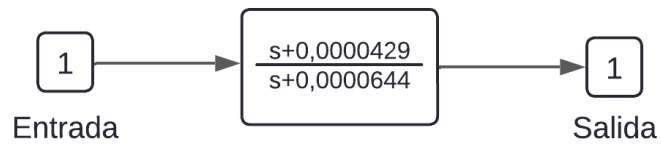
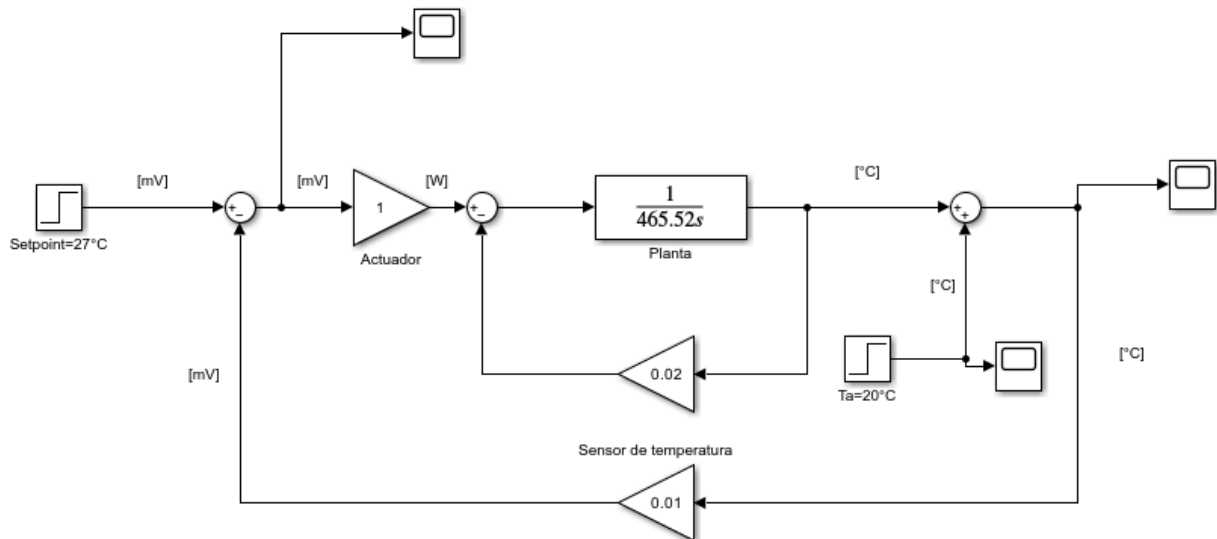


Diagrama de bloques del sistema completo

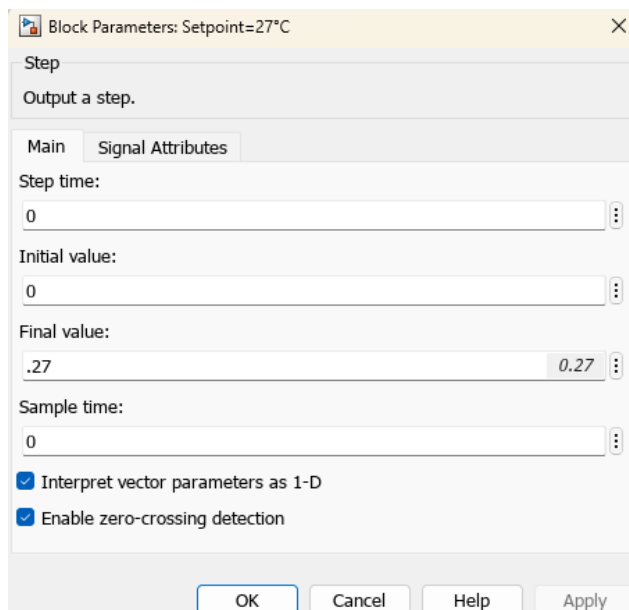
El diagrama de bloques tiene la siguiente forma, a partir de este modelo vamos a analizar si cumple con los requerimientos o es necesario agregar algún tipo de controlador.



Simulaciones

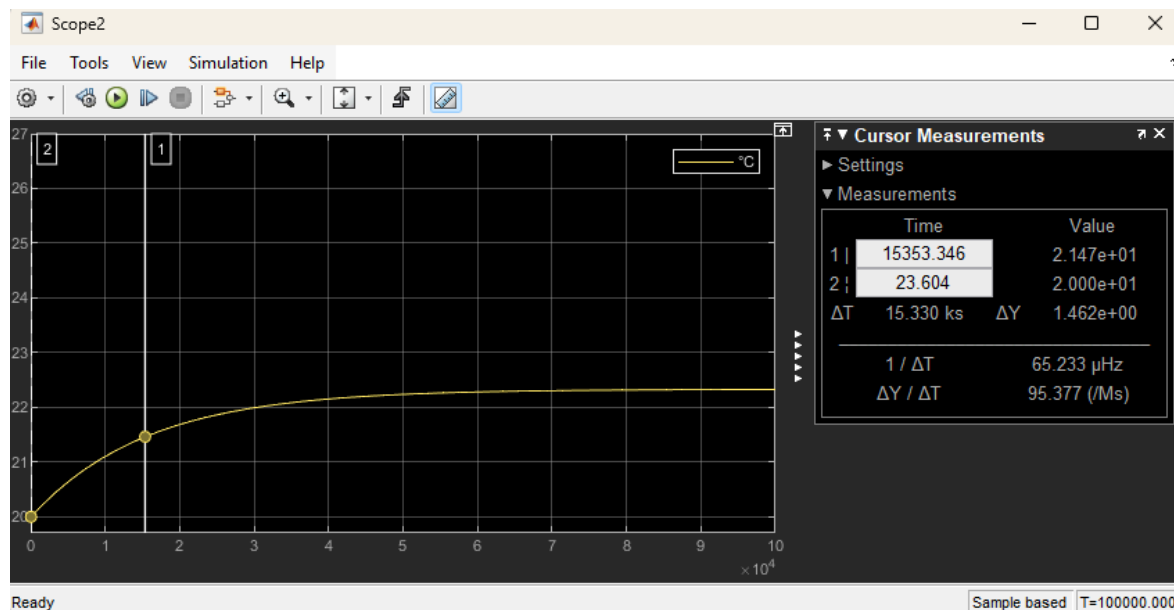
La referencia o setpoint es de 27°C, la temperatura que queremos lograr en el interior de la fermentadora, partiendo de una temperatura inicial de 20°C.

Es importante recordar que la señal entregada por la referencia es una tensión de la misma magnitud de la entregada por el sensor, por lo que se configura en mV cómo se muestra en la captura.



Análisis de respuesta temporal

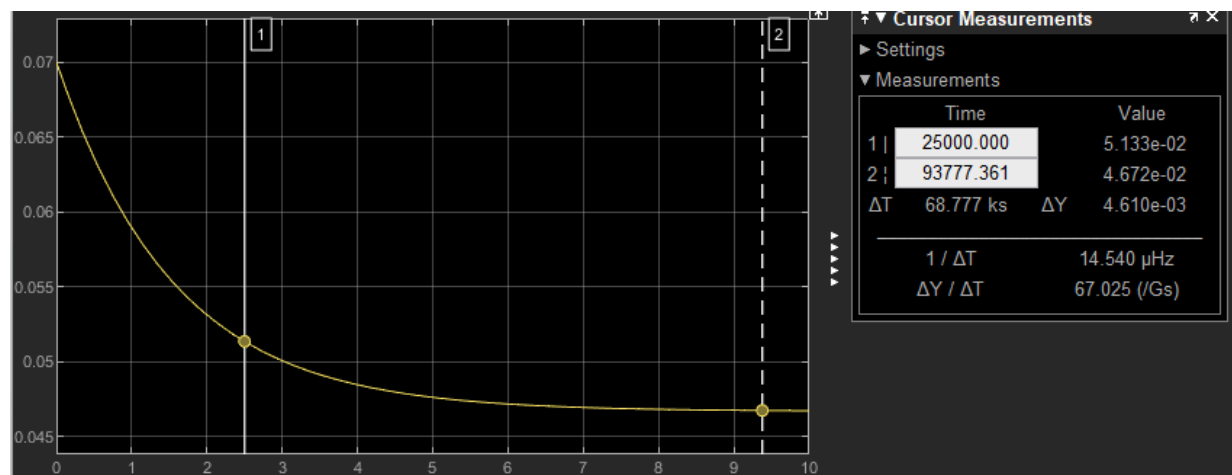
Se procede a realizar la simulación, donde se desea compensar desde 20°C hasta 27°C:



Se calcula el tiempo τ , en que la señal tarda en llegar al 63.23% de la excursión máxima que este caso son $22.32^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 2.32^{\circ}\text{C}$ por lo que en un tiempo τ la salida es de $20^{\circ}\text{C} + 2.32^{\circ}\text{C} * 63.23\% = 20^{\circ}\text{C} + 1.47^{\circ}\text{C} = 21.47^{\circ}\text{C}$

Constante Tau: $\tau = 15353\text{s} \rightarrow 21.47^{\circ}\text{C} = 63.23\%$ del valor final

Tiempo de establecimiento: $4\tau = 61412\text{s} \rightarrow 22.28^{\circ}\text{C} = 98.2\%$ del valor final



También se aprecia que en régimen el error es del 66% ($0.047/0.07$)

En base a estas mediciones podemos llegar a dos conclusiones importantes:

1. La temperatura máxima que alcanza la fermentadora es de 22.32°C al configurarla en 27°C , con un error de 66%.
2. La respuesta del sistema es muy lenta, tarda prácticamente 1000 minutos en llegar a la temperatura máxima

Claramente en este estado, el diseño no cumple los requerimientos.

Respuesta transitoria

En este punto se lleva a cabo un análisis temporal de la función de transferencia a lazo cerrado del sistema principal:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{33.33}{15517s + 1}$$

La queremos expresar con la forma de una función de transferencia de primer orden:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{k}{\tau s + 1}$$

Donde k es la ganancia estática y τ la constante de tiempo para la cuál el valor de la salida es el 63.2% del valor de la salida en régimen. Por lo que $\tau=15517s$ y $k=33.33$

Para conocer la respuesta temporal del sistema, se le aplica a la entrada una señal escalón :

$$A(s) = \frac{1}{s} * G(s)$$

$$A(s) = \frac{1}{s} * \frac{33.33}{15517s + 1}$$

$$A(s) = 33.33 * \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s + 1/15517} \right)$$

Para analizar en el dominio de t, se aplica la antitransformada de Laplace:

$$a(t) = 33.33 * \left(1 - e^{-\frac{t}{15517}} \right)$$

Respuesta en régimen

Respuesta a entrada escalón

En sistemas con realimentación no unitaria la ganancia de posición K_p :

$$K_p = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) * H(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{465,52 s + 0,02} * 0.01 = 0.5$$

Error en estado estable ess:

$$ess = \frac{1}{1+K_p} = \frac{1}{1+0.5} = 0.66$$

Respuesta a entrada rampa

Ganancia de velocidad K_v :

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s * \frac{0.01}{465,52 s + 0,02} = 0$$

Error en estado estable ess:

$$ess = \frac{1}{K_v} = \infty$$

Respuesta a entrada parábola

Ganancia de aceleración K_a :

$$K_a = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 * \frac{0.01}{465,52 s + 0,02} = 0$$

Error en estado estable ess:

$$ess = \frac{1}{K_a} = \infty$$

Análisis de estabilidad

Se aplica el criterio de Routh Hurwitz el cuál plantea que si existe alguna raíz o polo en el semiplano derecho del plano complejo "s", donde sí al menos existe una raíz el sistema es inestable, caso contrario, si **no** hay ninguna raíz en el semiplano derecho el sistema es estable.

Para determinar la estabilidad del sistema, se se aplica a la función de transferencia de lazo cerrado principal una ganancia k, de esta manera se puede analizar la estabilidad frente a distintos valores:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{k*G}{1+k*G*H} = \frac{k*\frac{1}{465,52*s + 0,02}}{1+k*\frac{0,01}{465,52*s + 0,02}}$$

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{k*1}{465.52*s+0.02+k* 0.01}$$

Se procede a armar la tabla con los coeficientes:

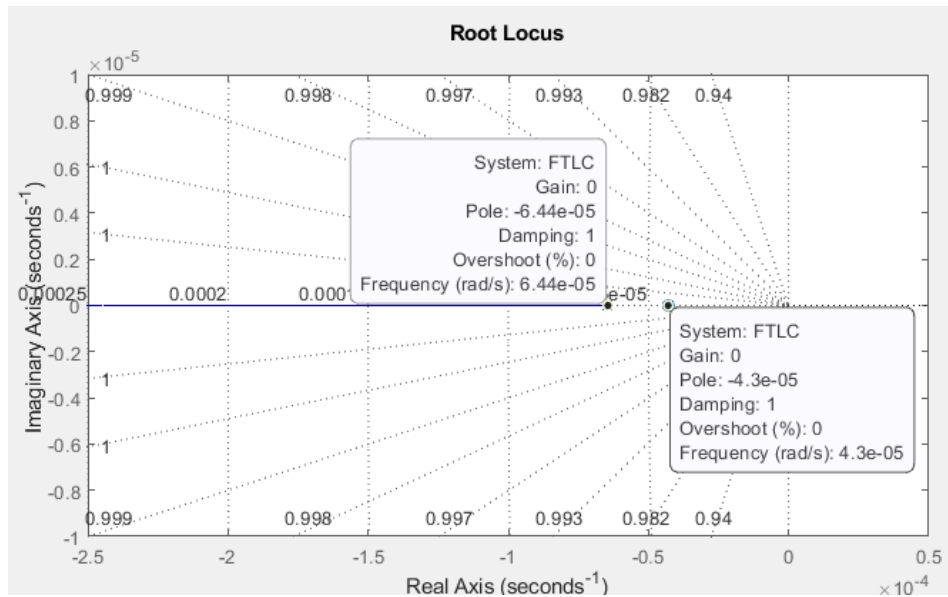
Coeficiente	Valor s^n	Valor s^{n-2}
s^1	465.52	0
s^0	0.02+k* 0.01	0

El criterio de estabilidad indica que no tiene que hacer cambio de signos al variar el valor de k (k>0 siempre):

Para s^0 : Como $k > 0 \rightarrow 0.02 + k * 0.01 > 0$

Como para cualquier k>0, el valor de $s^0 > 0$, el sistema es estable.

Lugar de raíces



En el diagrama anterior se puede verificar lo que se observa en la función:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{0.00215}{s + 0.0000644}$$

- La función de transferencia es de primer orden
- No tiene ceros
- Tiene un polo en $s = -0.0000644$, en el semiplano izquierdo

En conclusión, el sistema es estable para cualquier valor de k.

Código Matlab:

```
>> s=tf('s')

s =

s
>> A=0.00215/(s+0.0000644)
A =

    0.00215
-----
s + 0.0000644

Continuous-time transfer function.
>> rlocus(A)
```

Compensador

Diseño de compensador

De acuerdo a lo dictado en la materia, estudiamos la posibilidad de agregar un compensador proporcional, probando diferentes valores de Kp para:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{Kp}{465.52*s+0.02+Kp*0.01}$$

Se calculan diferentes valores de τ y τ_s variando el valor de la constante Kp:

Kp	0.02+Kp*0.03	$\tau=465.52/(0.02+Kp*0.03)$ [s]	$\tau_s=4*\tau$ [s]
1	0.03	15,517.33	62,069.33
10	0.12	3,879.33	15,517.33
100	1.02	456.39	1,825.57
1000	10.02	46.46	185.84
2000	20.02	23.25	93.01
3000	30.02	15.51	62.03
3500	35.02	13.29	53.17

Con un Kp=3500 obtenemos un tiempo de establecimiento menor a un minuto, lo cuál es un valor razonable y se adapta a nuestros requerimientos.

Análisis de error con controlador P

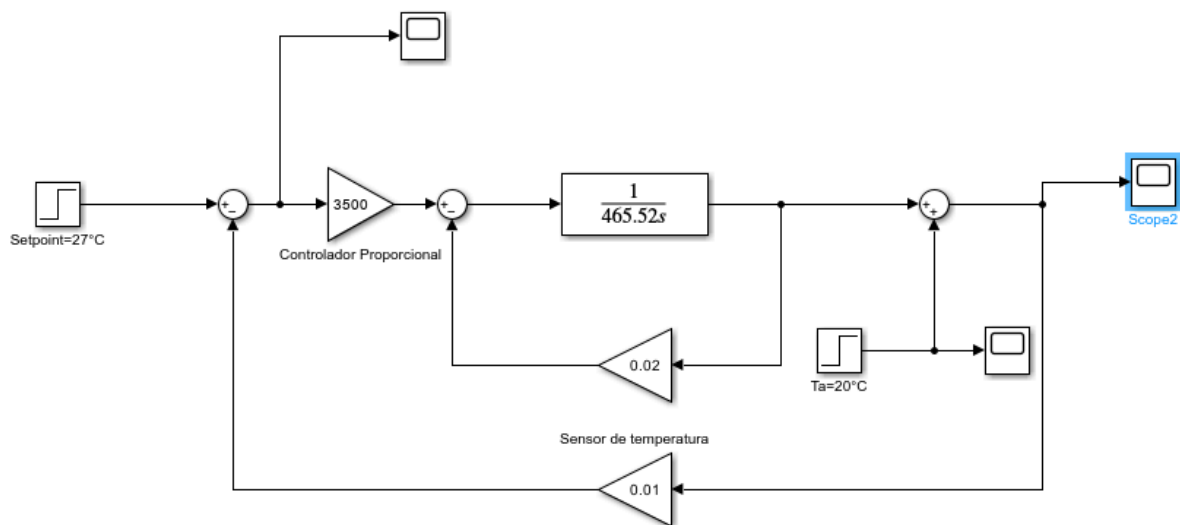
Añadiendo un controlador con una ganancia de 3500:

$$Kp = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) * H(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{3500}{465,52 s + 0,02} * 0.01 = 1750$$

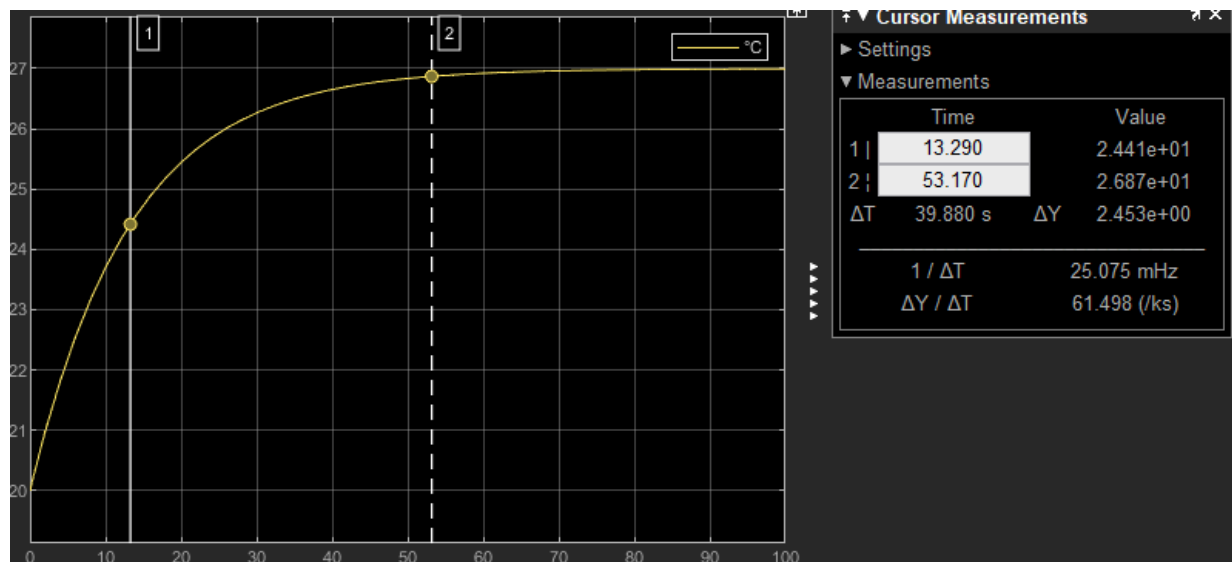
Error en estado estable ess:

$$ess = \frac{1}{1+Kp} = \frac{1}{1+1750} = 0.0006$$

Se realiza la simulación nuevamente:



Las mediciones a la salida muestran:



En la imagen se verifican los valores esperados para τ y t_s donde se observa que prácticamente llega a los 27°C a los 60 segundos, lo cuál se traduce en una muy buena prestación para la fermentadora.

Conclusión

Con este trabajo práctico se logró desarrollar un sistema de control sobre una fermentadora de pan. Para esto inicialmente se realizó un estudio sobre las temperaturas óptimas a las cuales puede fermentar la masa para realizar distintos tipos de pan. Con estos datos se estableció una temperatura deseada, la cual deberá ser alcanzada por la fermentadora mediante el calentamiento de la resistencia.

El desarrollo de este trabajo práctico analizando el funcionamiento del control sobre la temperatura de una fermentadora ha significado una gran oportunidad para aplicar conceptos fundamentales aprendidos en la materia. Para ello se realizó el análisis de la composición física de la máquina como así también de sus componentes. De esta manera se intentó ser lo más fieles posibles a la realidad para obtener una buena representación del modelo.

Una vez se desarrolló el modelo de las distintas partes del sistema, se determinó que el proyecto sin un compensador poseía un porcentaje de error muy grande, de un 66% y a su vez, la respuesta del sistema era muy lenta (aproximadamente 1000 minutos hasta llegar a régimen), lo cual estaba muy lejos de los valores pensados como positivos para el proyecto.

En base a esto se diseñó un compensador, con el cuál se logró reducir el tiempo de establecimiento del sistema a 53 segundos (mucho más adecuado para una fermentadora de estas características), y el error se redujo a menos del 1%.

Con estos cambios al sistema, consideramos que el comportamiento es el correcto y esperado, alcanzando la temperatura definida como deseada en el estudio previo que se realizó. También consideramos que el modelo térmico desarrollado representó de buena manera a nuestro sistema.

Bibliografía

Información sobre fermentación:

<https://www.conasi.eu/blog/colaboradores-especiales/macrobiotica-aida-lirola/fermentacion-pan/#:~:text=Diferencias%20entre%20la%20fermentaci%C3%B3n%20y%20el%20leudado&text=La%20fermentaci%C3%B3n%2C%20como%20ya%20hemos,y%20antes%20de%20ser%20horneada>

<https://hosdecora.com/fermentadoras/3301-fermentadora-panaderia-industrial-f408>

Datos sobre aleaciones de resistencias:

<http://alloys-material.com/1-1-3-ni80cr20-high-resistance-alloy.html>

Cálculo de error en estado estable para sistemas con ganancias no unitarias:

<https://dademuchconnection.wordpress.com/2020/08/17/error-en-estado-estable-para-sistemas-de-control-de-realimentacion-no-unitaria/>

Diseño de compensadores:

<https://www.youtube.com/watch?v=6SnGwRY-3CU>