



Trabajo Práctico N°2:

"Modelo de Sistema térmico. Algunos Efectos de la Realimentación"

Objetivos:

- *Practicar con un modelo de sistema térmico simple, y su circuito eléctrico análogo.*
- *Observar el efecto de la realimentación negativa sobre la velocidad de respuesta de un sistema de control **de primer orden**.*
- *Observar el efecto que la saturación produce sobre el comportamiento de un sistema de control realimentado.*
- *Practicar la reducción de diagramas de bloques.*
- *Diseñar la ganancia de lazo para cumplir con una especificación de error.*

Sistema a considerar: Cámara de Secado, control de Temperatura

Se tiene una cámara de secado que necesita hacerse trabajar a una temperatura de alrededor de 90°C. Experimentalmente se determinó que el aparato tiene una constante de tiempo de aprox. 7 minutos y que, cuando se aplica una potencia de calentamiento de 250W, la temperatura interior se eleva en 10°C.

Se considera aceptable una desviación de la temperatura en la cámara no más allá de $\pm 2^\circ\text{C}$ en total (ΔT) con respecto a la temperatura deseada (o de referencia). La desviación se debe principalmente al efecto de la temperatura ambiental externa a la cámara, que suele estar entre 5 y 40 grados C.

Aunque la temperatura nominal de trabajo sea 90°C, se desea que el set-point pueda elegirse desde 20° hasta 100° grados C. Se usa un sensor de temperatura con una sensibilidad de 10mV/°C. (Podría ser un Lm35).

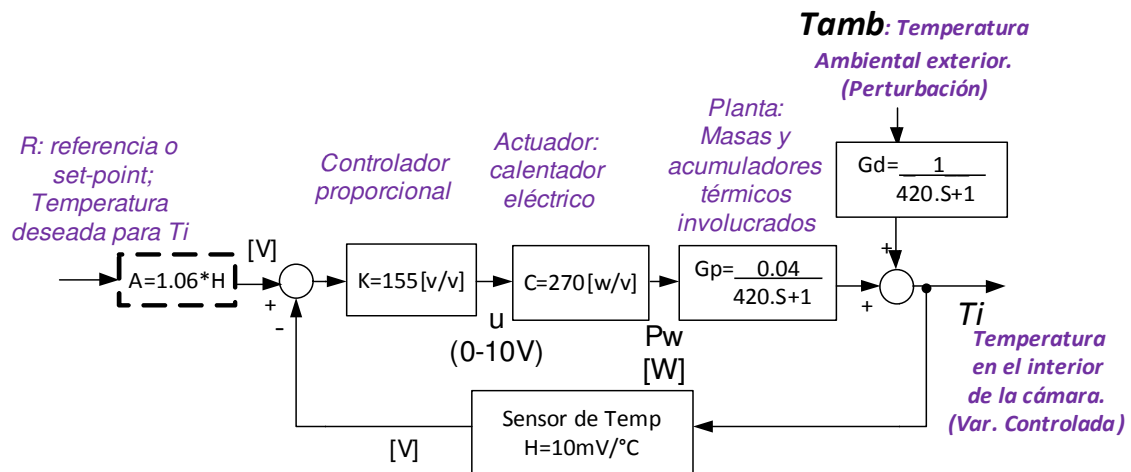


Figura 1 : diagrama de bloques del sistema de control

El actuador consiste principalmente en una resistencia de calefacción. (La misma podría estar alimentada mediante control de fase con triac o un relé de estado sólido, entre otros muchos métodos). El actuador entrega su máxima potencia cuando la señal de entrada "u" es de 10VDC.

ACTIVIDADES

A. SIMULACIONES

A.1. Simule el modelo de la Fig.1 para observar las respuestas transitorias de la señal de salida " T_i " y de la potencia de calefacción " P_w " frente a cambios pequeños en el set-point " R "(por ejemplo desde 20 a 22°C), y de 5 a 40 grados C en la " T_{amb} ".

¿Cuál de las dos variables entrada (Temp. De set-point ó T_{amb}) tiene un efecto más intenso sobre la temperatura de salida T_i ?

A partir de las respuestas en el tiempo, estime la constante de tiempo principal del sistema realimentado y compárelo con la constante de tiempo de la planta. Mida el tiempo de crecimiento en cada caso.

Además ¿Cuál es la constante de tiempo principal en la función de transferencia entre la variable de perturbación y la de salida a lazo cerrado?

A.2. Repita la simulación, y la estimación de las constantes de tiempo, pero ahora realizando cambios bruscos en el set-point " R ", por ejemplo desde 20 hasta 90°C. Tome nota de la máxima potencia " P_w " necesaria para lograr el funcionamiento observado.

A.3. Compare las respuestas en frecuencia de la planta y del sistema completo. Observe anchos de banda y valores máximos. ¿Puede justificar las diferencias argumentando a partir de los efectos de la realimentación negativa?

A.4. Modifique el diagrama de bloques en simulink incluyendo un elemento de saturación para la variable " u " (de entrada al actuador), de manera que no pueda salir de su rango válido (0-10V). Repita el experimento A.2, la estimación de las constantes de tiempo resultantes, la potencia máxima involucrada, y el tiempo de crecimiento.

Comente lo que observe, concentrándose en cómo resultan modificadas las formas de onda de los transitorios de las respuestas y los tiempos característicos cuando se limita la potencia máxima con que se calefacciona la cámara.

B. CUESTIONES TEÓRICAS Y DEL MODELO

B.1. Funciones de transferencia

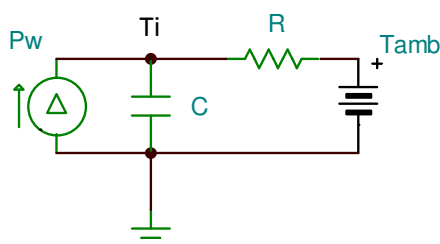


Figura 2. Circuito eléctrico análogo del modelo térmico de la cámara.

Consiste en una fuente de corriente de valor numérico igual a la potencia térmica inyectada en la cámara de secado; una fuente de tensión con valor numérico igual a la temperatura ambiental externa a la cámara; componentes R y C con valores numéricos iguales a la resistencia y a la capacidad calorífica de la cámara de secado.

Observando el circuito eléctrico análogo de la cámara de secado (Fig.2) y los datos experimentales mencionados en la descripción del sistema... Resuelva:

a. Funciones de transferencia a lazo abierto:

A partir del diagrama eléctrico equivalente, compruebe las funciones de transferencia (G_p) de la planta, y la correspondiente a la perturbación (G_d) mostrada

en la Fig. 3, e inserto en la Fig.1. ¿Qué valores aproximados poseen los componentes del circuito eléctrico análogo, R y C?

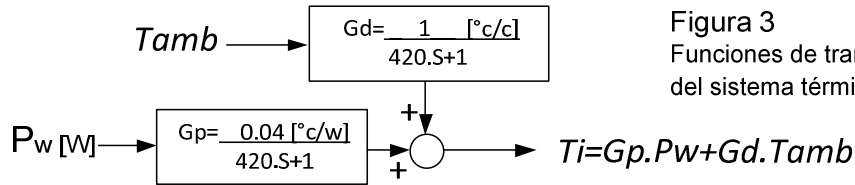


Figura 3
Funciones de transferencia del sistema térmico

b. Teniendo en cuenta el intervalo de variación de la temperatura exterior... ¿Cuál es la potencia necesaria del calentador para cumplir con la especificación de T_i ? Compruebe si la función de transferencia para el calentador mostrada en la Fig. 1, $C=270[w/v]$, es apropiada para cumplir con la especificación de T_i deseada.

c. Funciones de transferencia a lazo cerrado:

A partir del diagrama de bloques de la Fig. 1 y, **suponiendo $A=H$** , encuentre la expresión matemática de la variable de salida " T_i " como función de las señales de referencia " R " y de perturbación " T_{amb} ". Para esto es necesario encontrar las dos funciones de transferencia involucradas: una que va desde la señal de referencia hasta " T_i ": $M(s)$; y la otra que va desde " T_{amb} " hasta " T_i ": $G_{d2}(s)$.

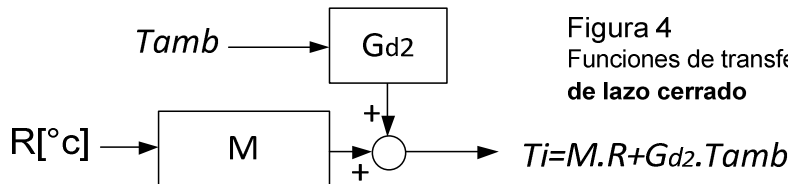


Figura 4
Funciones de transferencia de lazo cerrado

d. A la vista las funciones de transferencia halladas en el ítem anterior y de las simulaciones realizadas... ¿Cuál es el efecto de la realimentación negativa, sobre las constantes de tiempo y la velocidad de respuesta del sistema?

B.2. Exactitud y Error

a. Considerando que K y C son parámetros a fijar en el diagrama de bloques de la Fig. 1, y que $A=H$; modifique el diagrama para poner en evidencia la variable error $e=R-T_i$.

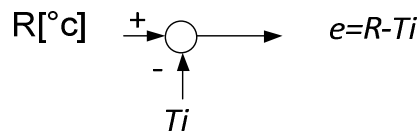


Figura 5
Zona de entrada del diagrama de Bloques solicitado

b. Reduzca el diagrama de bloques, para obtener en forma paramétrica la variable de error " $E(s)$ " como función del señal de referencia " R " y de la " T_{amb} " y de las funciones de transferencia pertinentes: $A(s)$ y $B(s)$.

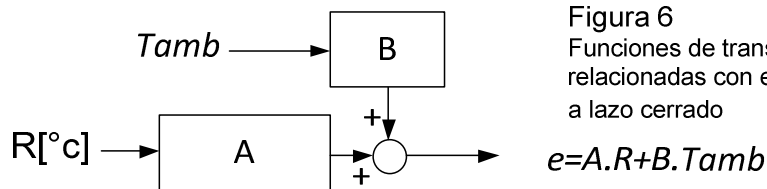


Figura 6
Funciones de transferencia
relacionadas con el error
a lazo cerrado

Luego, encuentre en forma paramétrica el error de estado estacionario e_{ss} .

Notas: * Uno de los objetivos del sistema de control es que e_{ss} cumpla con la especificación dada para "delta-T".

* De manera similar al ítem B.1.c, aquí es necesario encontrar 2 funciones de transferencia, $A(s)$ y $B(s)$; y utilizar el teorema del valor final (antes o después de la reducción del diagrama).

c. Indique los valores numéricos de la diferencia de retorno y de la ganancia de lazo necesarias para cumplir con la especificación de error de estado estacionario, ($e_{ss} \leq \Delta T = \pm 2^\circ\text{C}$). Tenga en cuenta las variaciones de la temperatura externa.

d. A la luz de las funciones de transferencia encontradas y de las simulaciones realizadas... ¿Cuál es la influencia de la realimentación negativa en el aporte que cada una de las variables de entrada tiene sobre el error relativo de estado estacionario?

e. Observando la Fig. 1: ¿Cuál es la finalidad de la constante "H" dentro del bloque "A" que multiplica directamente al set-point? ¿Y de la constante "1,06"?

f. Si se quisiese disminuir el delta-T a $\pm 1^\circ\text{C}$... ¿Qué cambios introduciría en el lazo de control?

B.3. Saturación

- ¿Cuál es la justificación del empleo del bloque de saturación introducido en el ítem A.4?
- ¿Cómo afecta la saturación del sistema a las constantes de tiempo y los tiempos de crecimiento?
- Cuando se produce la saturación el sistema deja de comportarse linealmente... ¿Opina Ud. que sigue siendo un sistema "a lazo cerrado"?
- ¿Cuál es el tamaño máximo de un escalón en el set-point para no perder el comportamiento lineal del sistema de control?