

# Instrumentación y Control

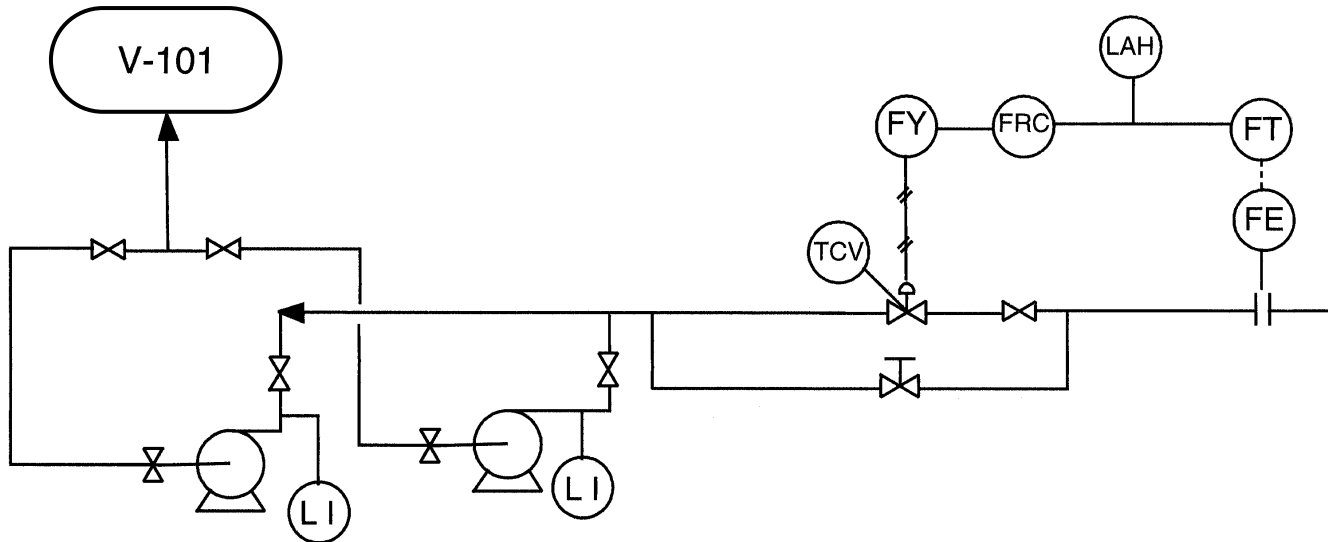
Ejercicios Enero – Junio 2025

## Unidad 1 – Elementos primarios y finales de control

### EJERCICIO 1

Adaptado de Turton (2003)

La figura muestra un fragmento de un diagrama de tuberías e instrumentos (PID) que contiene varios errores. Identificar el mayor número posible de errores señalándolos en la figura, explicar en qué consiste cada error y dibujar una versión corregida del diagrama.



### EJERCICIO 2

Dibujar, tan completo como sea posible, el diagrama de tuberías e instrumentación correspondiente a esta descripción:

La válvula de control de alimentación al tanque V-183 está accionada neumáticamente por un controlador de nivel que recibe una señal electrónica de un sensor indicador de nivel directamente unido al tanque V-183. Dicho controlador, así como las correspondientes alarmas de nivel alto y bajo, se encuentran instaladas un panel en el cuarto de control.

La bomba centrífuga P-147 es alimentada desde el tanque V-183. El flujo que sale de la bomba se mide con un sensor registrador y se regula a través de una válvula de control electrónica en la tubería de descarga de la bomba. El controlador y una alarma de flujo bajo se encuentran ubicados en el panel del cuarto de control.

Todas las tuberías son de acero inoxidable 2.5" cédula 40 y hay instaladas válvulas de control manual en paralelo a las válvulas de control automático.

### EJERCICIO 3

Seleccionar una válvula de globo de porcentajes iguales para regular el flujo de amoniaco líquido, que se suministra a 300 K y 15 bar ( $\rho_{rel} = 0.59$ ) a través de una tubería de 4 plg. El flujo volumétrico deseado es 74 m<sup>3</sup>/h. La presión en la tubería después de la válvula es 8 bar. La presión crítica del amoniaco es 113 bar, y a 300 K su presión de vapor es 10.6 bar (todas las presiones son absolutas).

RESPUESTA: La válvula más adecuada es de 2 plg.

#### EJERCICIO 4

Seleccionar una válvula de control de globo lineal para regular el flujo de agua de enfriamiento a un equipo. El flujo requerido es  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ , suministrado a  $31.5 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $20 \text{ bar}$ , por una tubería de 2 pulgadas, con una caída de presión en la válvula de  $0.5 \text{ bar}$ . A esa temperatura, la presión de vapor del agua es  $0.047 \text{ bar}$ , y su presión crítica es  $221 \text{ bar}$  (la densidad relativa del agua puede asumirse 1).

RESPUESTA: Debe emplearse una válvula de  $1 \frac{1}{2} \text{ plg.}$

## Unidad 2 – Sistemas dinámicos de primer orden

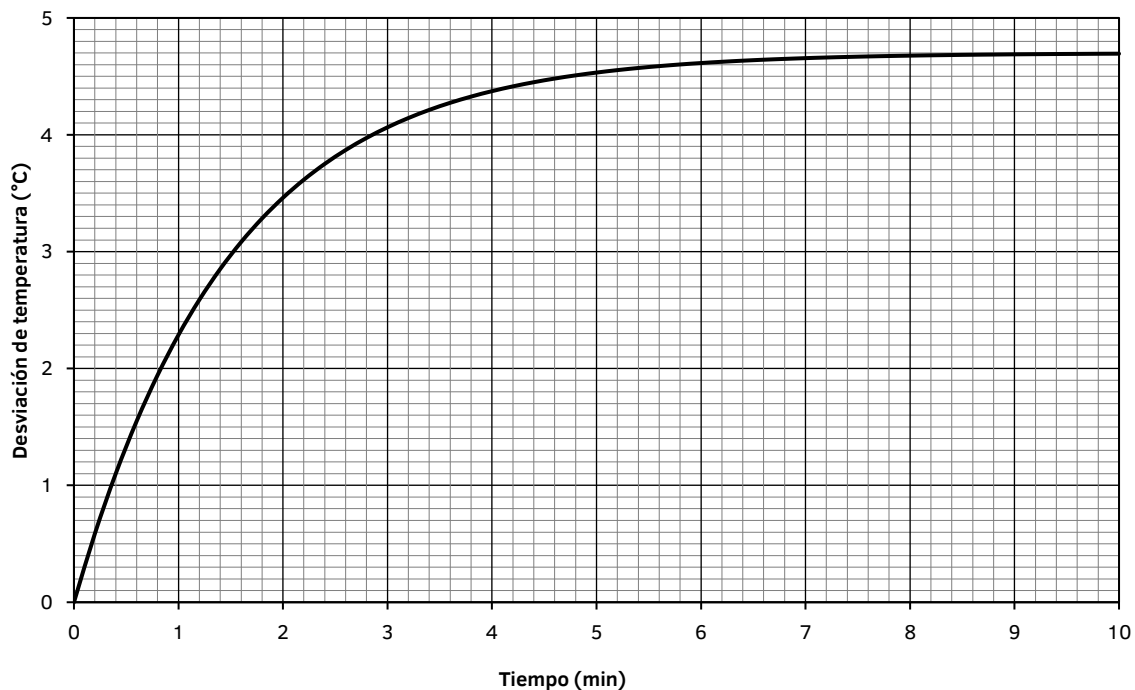
#### EJERCICIO 5

(A) Mediante un balance de energía, obtener la ecuación diferencial para la temperatura de salida  $T$  del agua de un calentador eléctrico, en función de la temperatura de entrada  $T_0$  y de la rapidez con la que se suministra el calor  $\dot{Q}$  (que es constante). El volumen  $V$  del agua en el tanque, así como sus propiedades (densidad  $\rho$  y capacidad calorífica  $c_p$ ) también se consideran constantes. (B) Convertir la ecuación diferencial del inciso (A) a variables de desviación, con  $y = T - T_s$  y  $u = T_0 - T_{0s}$ , donde el subíndice  $s$  indica estado estable.

$$\text{RESPUESTA: (A) } \frac{dT}{dt} = \frac{F}{V}(T_0 - T) + \frac{\dot{Q}}{\rho V c_p} \quad \text{(B) } \frac{dy}{dt} = \frac{F}{V}(u - y)$$

#### EJERCICIO 6

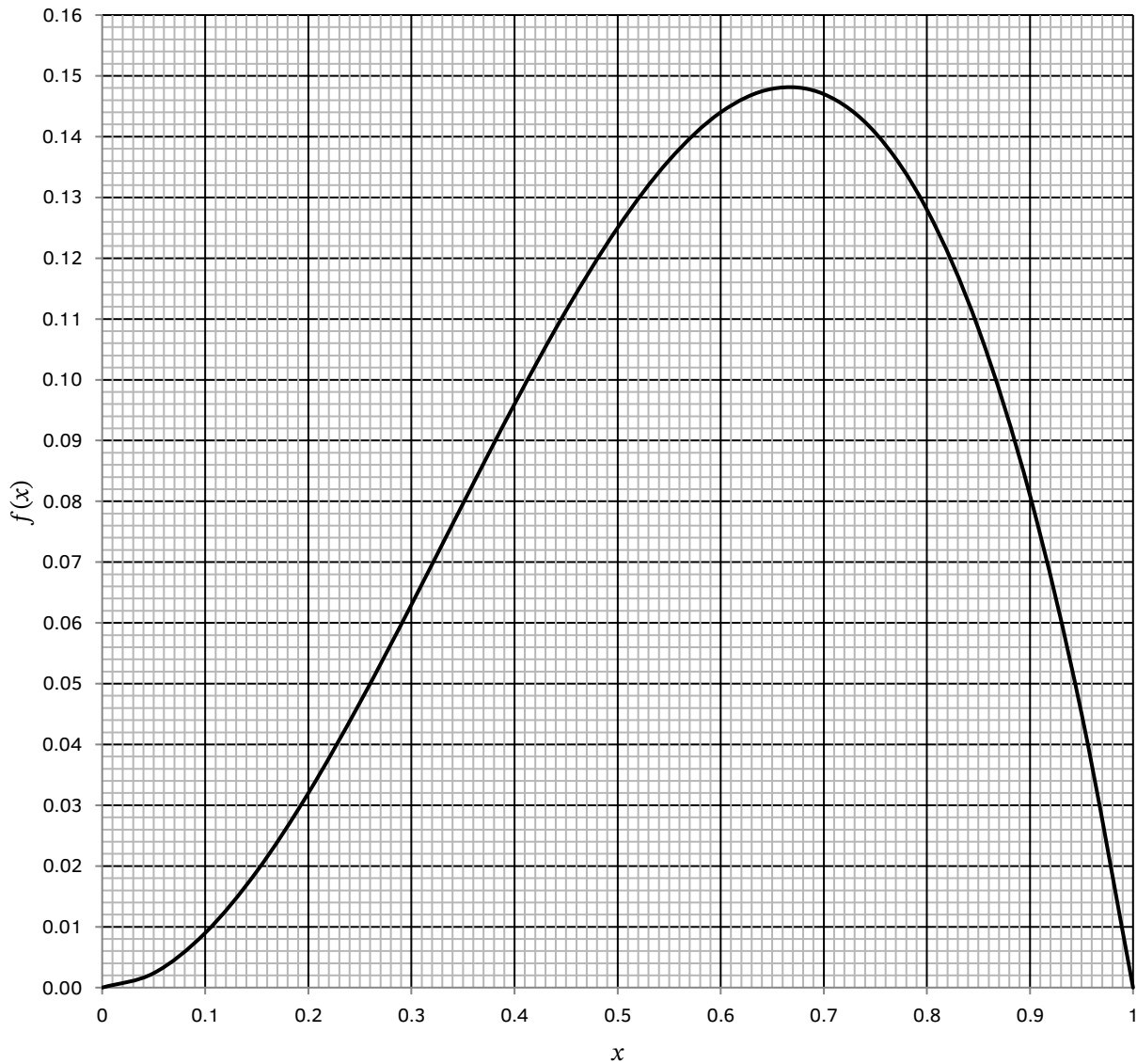
La figura muestra la respuesta de la temperatura de un horno (graficado como variable de desviación  $y = T - T_s$ ) cuando se aplica un cambio en escalón de  $100 \text{ watts}$  en la potencia eléctrica de calentamiento. Determinar la función de transferencia del sistema (asumir que el sistema es de primer orden).



$$\text{RESPUESTA: } G(s) = \frac{0.047}{1.5s + 1}$$

### EJERCICIO 7

La figura muestra la gráfica de  $f(x) = x^2 - x^3$ . Linealizar esta función y trazar la recta correspondiente para los casos  $x_0 = 0.2$  y  $x_0 = 0.8$ .



RESPUESTA:  $f(x) \approx (2x_0^3 - x_0^2) + (2x_0 - 3x_0^2)x$

### EJERCICIO 8

La cinética de una reacción enzimática puede representarse por la ecuación de Michaelis-Menten:

$$-r_A = \frac{kC_A}{M + C_A}$$

en la que  $C_A$  es la concentración del sustrato, y  $k$  y  $M$  son constantes empíricas. Obtener una aproximación linealizada para esta ecuación de velocidad alrededor de una concentración de estado estable  $C_{A,s}$ .

RESPUESTA:  $-r_A \approx \frac{kC_{A,s}^2}{(M + C_{A,s})^2} + \frac{kM}{(M + C_{A,s})^2} C_A$

### EJERCICIO 9

Considérese un tanque cilíndrico vertical, de  $11.28 \text{ m}^2$  de sección transversal, al cual entra una corriente de agua con flujo volumétrico  $F_1$  ( $\text{m}^3/\text{min}$ ). La tubería de salida en el fondo del tanque tiene una válvula para la cual el flujo depende de la raíz cuadrada del nivel,  $F_2 = ah^{0.5}$  (donde  $a = 0.96 \text{ m}^{2.5}/\text{min}$ , con  $h$  en metros y  $F_2$  en  $\text{m}^3/\text{min}$ ). El tanque se encuentra en estado estable, con un nivel inicial de agua de 4 metros.

La ecuación diferencial que describe el comportamiento del nivel de agua en el tanque es  $A_T \frac{dh}{dt} = F_1 - F_2$ .

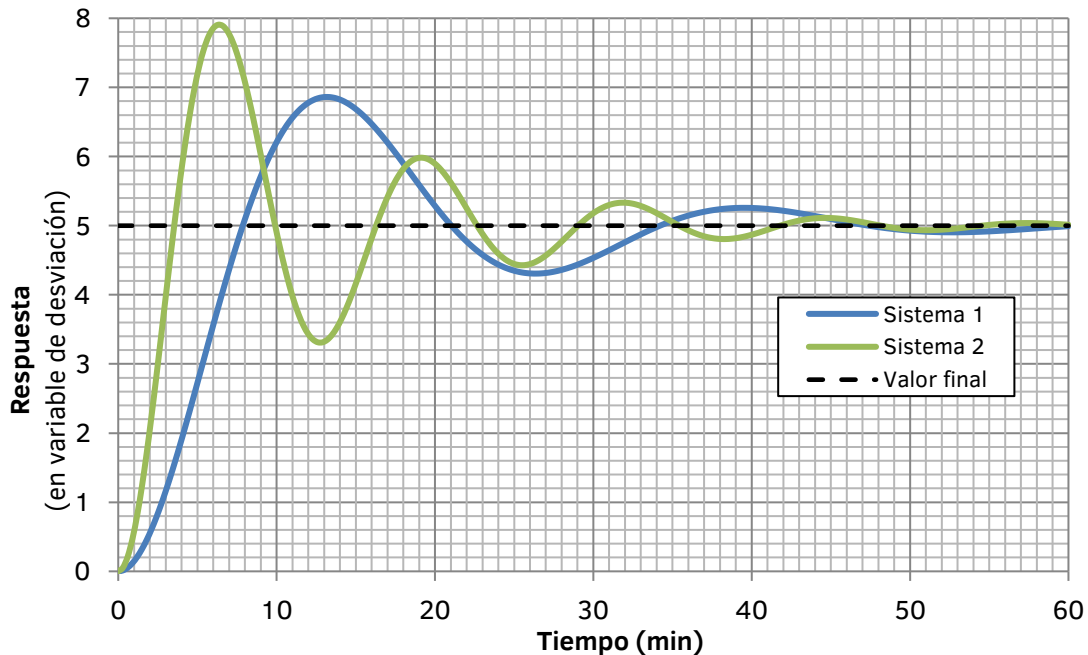
- (A) Linealizar el flujo de salida  $F_2$  y cambiar la ecuación diferencial linealizada a variables de desviación.
- (B) Directamente de la ecuación diferencial, obtener los parámetros de la función de transferencia del tanque.
- (C) Determinar el nivel final de agua en el tanque, en respuesta a un aumento del 10% en el flujo de entrada.
- (D) Simular el sistema en Xcos para obtener la gráfica del nivel de agua en el tanque, durante un tiempo total de 4 horas después del aumento en el flujo de entrada.

RESPUESTA: (B)  $\tau = 47 \text{ min}$ ,  $K = 4.16 \text{ min}/\text{m}^2$ , (C) 4.79 m.

## Unidad 3 – Sistemas dinámicos de orden superior

### EJERCICIO 10

La figura muestra la respuesta de dos diferentes sistemas ante un cambio en escalón unitario ( $A = 1$ ) en la entrada.



(A) Con base en las características de la figura, indicar si las afirmaciones siguientes son verdaderas (V) o falsas (F). Justificar su respuesta.

- \_\_\_\_\_ La ganancia estática del sistema 1 es mayor que la del sistema 2
- \_\_\_\_\_ El sistema 2 tiene mayor sobretiro que el sistema 1.
- \_\_\_\_\_ Ambos sistemas tienen aproximadamente igual razón de asentamiento
- \_\_\_\_\_ Ambos sistemas tienen aproximadamente igual tiempo de asentamiento.
- \_\_\_\_\_ Ambos sistemas tienen aproximadamente igual tiempo de elevación

(B) Determinar la función de transferencia de segundo orden para el **sistema 2**.

RESPUESTA:  $G(s) = \frac{5}{4s^2 + 0.68s + 1}$

### EJERCICIO 11

Considérese un proceso cuya función de transferencia es

$$G(s) = \frac{5.55}{48s^2 + 6s + 3}$$

al que se le aplica un cambio en escalón en la entrada, con una amplitud de 4 unidades. Calcular: (A) el porcentaje de sobretiro, (B) la razón de asentamiento, (C) el valor final (en estado estable) de la salida, (D) el valor máximo de la salida, (E) el tiempo de elevación, y (F) el periodo de oscilación.

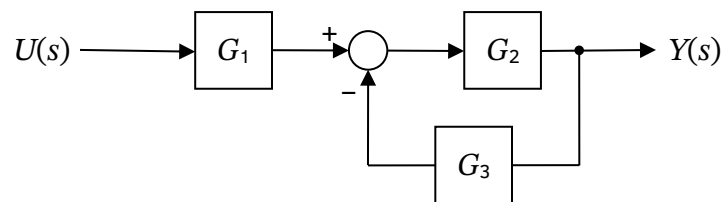
RESPUESTA: (A) 44.4%, (B) 0.1974, (C) 7.4, (D) 10.686, (E) 7.53 s, (F) 25.96 s

## Unidad 4 – Controladores

### EJERCICIO 12

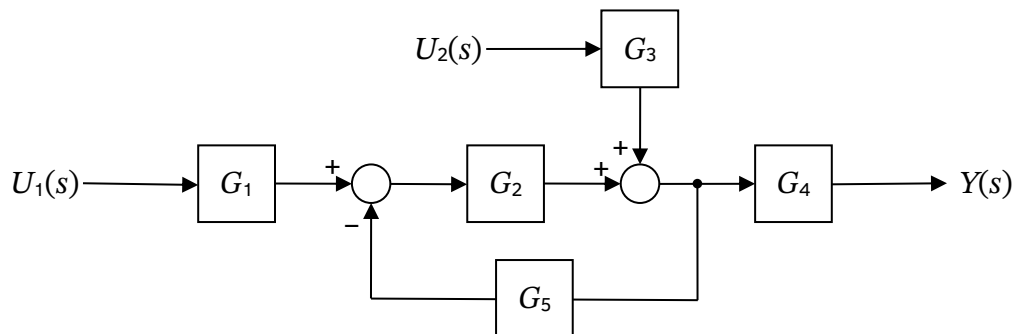
Para cada uno de los diagramas de bloques mostrados a continuación, deducir la función de transferencia que relacione la(s) entrada(s) con la salida.

(A)



$$\text{RESPUESTA: } \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{G_1 G_2}{1 + G_2 G_3}$$

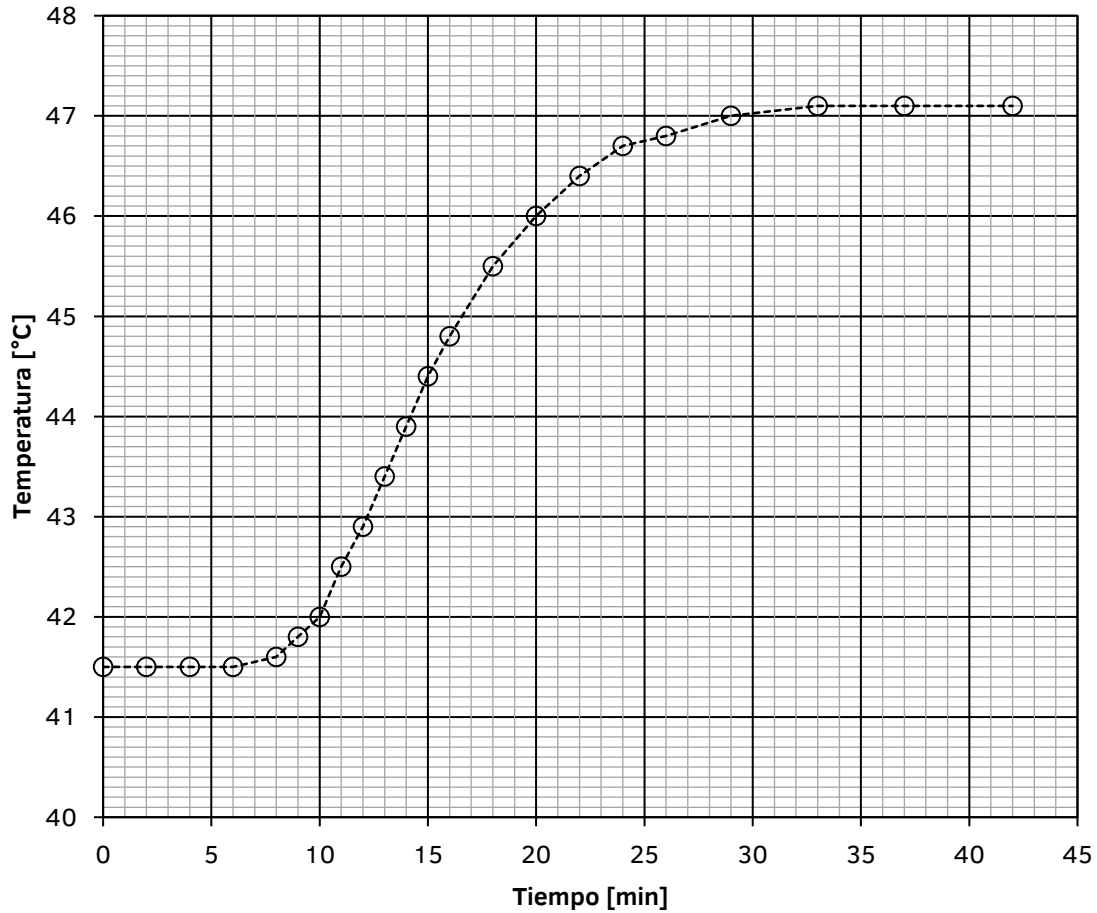
(B)



$$\text{RESPUESTA: } \frac{Y(s)}{U_1(s)} = \frac{G_1 G_2 G_4}{1 + G_2 G_5} \quad \frac{Y(s)}{U_2(s)} = \frac{G_3 G_4}{1 + G_2 G_5}$$

### EJERCICIO #

La gráfica muestra la respuesta a lazo abierto de la temperatura de un horno cuando se aplica un cambio en escalón de 4 mA a la señal de controlador.



- (A) Determinar los parámetros de aproximación de un modelo de primer orden con tiempo muerto.
- (B) Ajustar un controlador PID de acuerdo a las fórmulas de ajuste de Cohen y Coon, y reportar la correspondiente función de transferencia del controlador.

RESPUESTA: (A)  $K = 1.4 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{mA}$ ,  $\tau = 6.3 \text{ min}$ ,  $t_0 = 10.3 \text{ min}$ ; (B)  $G_c = 0.761 \left( 1 + \frac{1}{16.51s} + 2.887s \right)$