

**Introducción al control industrial**

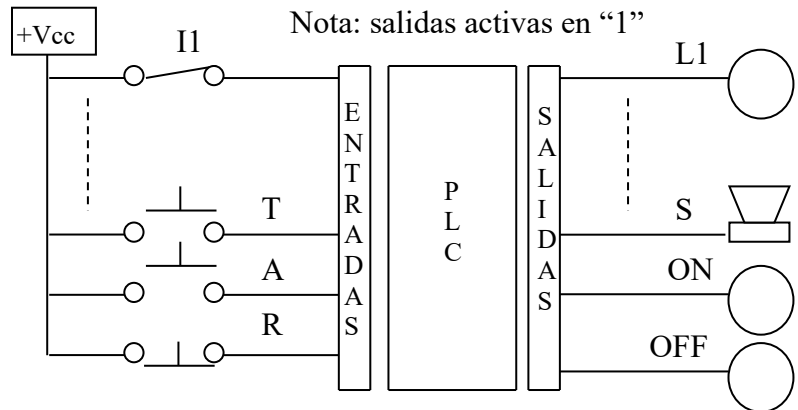
**Parcial 2 - (45 puntos) - 2015**

Nombre: .....  
 C.I.: .....

**Ejercicio 1 (15 puntos)**

Se considera un panel de alarmas de varios canales, pero se pide realizar la lógica para el canal que se explica a continuación.

- I1 - Switch de entrada (normal cerrado-NC)
- T - Pulsador que pasa el sistema de activo a inactivo y viceversa (NA)
- A - Pulsador de reconocimiento (NA)
- R - Pulsador de reset (NC)
- L1 - Lámpara de indicación corresp. a la entrada I1
- S - Sirena de alarma
- ON - Indicador de panel de alarma activo
- OFF - Indicador de panel de alarma inactivo



El sistema deberá tener 2 modos de funcionamiento uno *inactivo* y otro *activo*.

En el **modo inactivo**, el sistema deberá indicar el status de la entrada. La entrada se encuentra en una condición normal cuando el switch I1 está cerrado; en caso de falla, I1 abre y la indicación L1 se deberá encender. Si la condición de falla desaparece, la indicación L1 se deberá apagar.

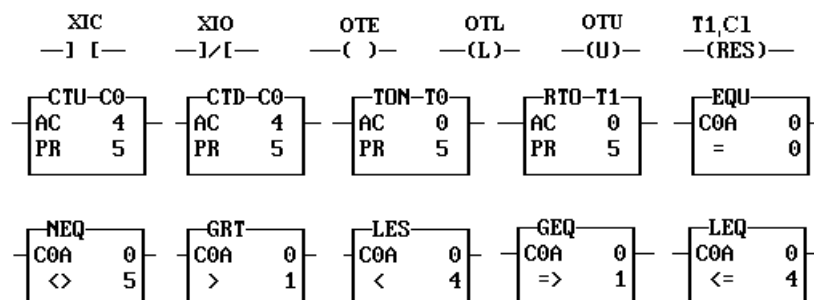
En el **modo activo**, el sistema deberá procesar una condición de falla de la siguiente forma:

- Hacer sonar la sirena de forma intermitente (1 segundo encendida – 1 segundo apagada).
- Encender la indicación L1 también de forma intermitente (igual ciclo).
- Si A es presionado, se deberá apagar la sirena y dejar L1 encendida de forma permanente, independientemente del estado de I1.
- Cuando R es presionado luego de A, el sistema intentará volver a su estado normal sin falla, pero si I1 está aún abierto, la secuencia anterior comenzará nuevamente.

El sistema deberá arrancar en el estado activo, deberá pasar a inactivo al presionar T independientemente del estado que se encuentre, y, al presionar T nuevamente, el sistema deberá volver a su estado inicial activo.

- 1) Realizar un diagrama de estado que represente el funcionamiento del sistema, describiendo que representa cada estado y los eventos asociados.
- 2) Realizar un programa ladder que implemente lo definido en 1, utilizando en las instrucciones no direcciones reales sino los mnemotécnicos definidos y otros. Comentar las líneas de ladder o grupos de líneas, haciendo referencia al diagrama de estado definido.

Utilizar en el ladder sólo los bloques definidos en PSIM.

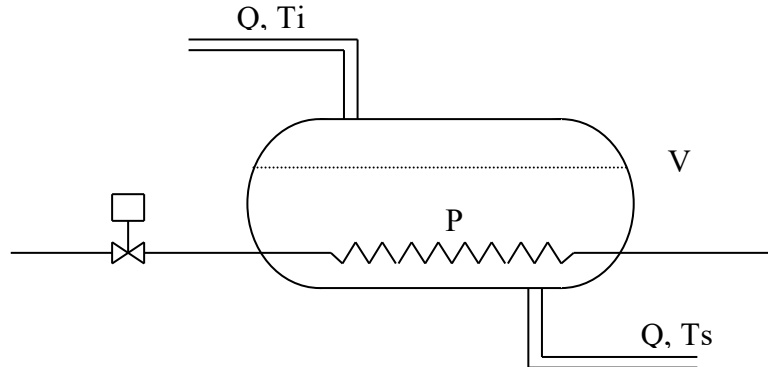


**Ejercicio 2 (10 puntos)**

Considere el sistema de la figura, un calentador a vapor. El tanque recibe un caudal  $Q$  de 10 L/s de agua a 15 °C, y se extrae el mismo caudal manteniendo en el receptor un volumen constante de agua equivalente a 5.000 litros. El objetivo es que la temperatura de salida sea de 70 °C  $\pm$  2 °C, calentando el agua a través de un serpentín de vapor que inyecta una potencia de 1.000 cal/s con la válvula toda abierta.

Calcular la frecuencia a la que conmuta la válvula de vapor entre las posiciones abierta y cerrada.

Nota: Se desprecian las pérdidas de calor al exterior, y se asume que la temperatura del agua en el interior del tanque es homogénea e igual a la temperatura de salida.



Datos del agua:  
Capacidad calorífica específica: 1 cal/(kg.°C)  
Densidad: 1 kg/L

**Solución:**

Balance de energía aplicado al contenedor:  $V \cdot \rho \cdot c \cdot \dot{T} = q \cdot \rho \cdot c \cdot (T_i - T_s) + P$

Donde:  $\rho = 1 \text{ Kg/L}$      $c = 1 \text{ cal/Kg.}^\circ\text{C}$      $q = 10 \text{ L/s}$      $T_s = T$      $T_i = 15^\circ\text{C}$      $V = 5.000 \text{ L}$

$$T_s \in [68 ; 72]^\circ\text{C}$$

$$P = \begin{cases} 0 & \text{cal/s} & \text{OFF} \\ 1.000 & \text{cal/s} & \text{ON} \end{cases}$$

Por lo tanto, la ecuación queda:  $5000 \cdot \dot{T} = 10 \cdot (15 - T) + P$

En el Modo ON:

$$\begin{cases} 500 \cdot \dot{T} + T = 115 \\ T(0) = 68^\circ\text{C} \end{cases} \Rightarrow T(s) = \frac{115}{s \cdot (500 \cdot s + 1)} + \frac{68}{s + 1/500}$$

$$T_{ON}(t) = 115 \cdot \left(1 - e^{-t/500}\right) + 68 \cdot e^{-t/500}$$

$$T_{ON}(t_{ON}) = 72^\circ\text{C} = 115 - 47 \cdot e^{-t_{ON}/500} \Rightarrow e^{-t_{ON}/500} = \frac{43}{47} \Rightarrow \boxed{t_{ON} = 44,5 \text{ s}}$$

En el Modo OFF:

$$\begin{cases} 500 \cdot \dot{T} + T = 15 \\ T(0) = 72^\circ\text{C} \end{cases} \Rightarrow T(s) = \frac{15}{s \cdot (500 \cdot s + 1)} + \frac{72}{s + 1/500}$$

$$T_{OFF}(t) = 15 \cdot \left(1 - e^{-t/500}\right) + 72 \cdot e^{-t/500}$$

$$T_{OFF}(t_{OFF}) = 68^\circ\text{C} = 15 + 57 \cdot e^{-t_{OFF}/500} \Rightarrow e^{-t_{OFF}/500} = \frac{53}{57} \Rightarrow \boxed{t_{OFF} = 36,4 \text{ s}}$$

Finalmente:  $\boxed{\text{Período} = t_{ON} + t_{OFF} = 80,9 \text{ s}}$

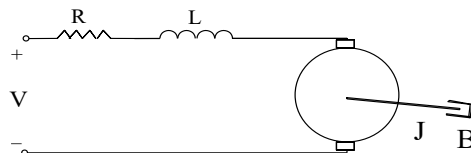
**Ejercicio 3 (10 puntos)**

Se considera el sistema de la figura, un motor de corriente continua y excitación independiente constante, donde:

$$K_m = 1 \quad R = 2 \quad J = 1$$

$$B = 0,5 \quad L = 0,2$$

en unidades del SI



- Hallar la función de transferencia  $H(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)}$
- Se realiza un control proporcional con ganancia K. Hallar el valor de K para obtener un margen de fase de  $45^\circ$  e indique el margen de ganancia para ese valor de K. Realizar los diagramas de Bode de H(s) indicando los valores en los puntos notables, y una octava por encima y por debajo.
- En lugar del control de la parte 2), se realiza ahora un control PID sintonizado mediante las reglas de Ziegler y Nichols. Calcular los valores de todos los parámetros.

Controlador PID	Parámetros		
	$K_c$	$T_i$	$T_d$
$K_c \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$			
Ciclo continuo	$0,6.K_u$	$0,5.T_u$	$\frac{1}{8}.T_u$
Curva de reacción del proceso	$\frac{1,2.\tau}{G.T_m}$	$2.T_m$	$0,5.T_m$

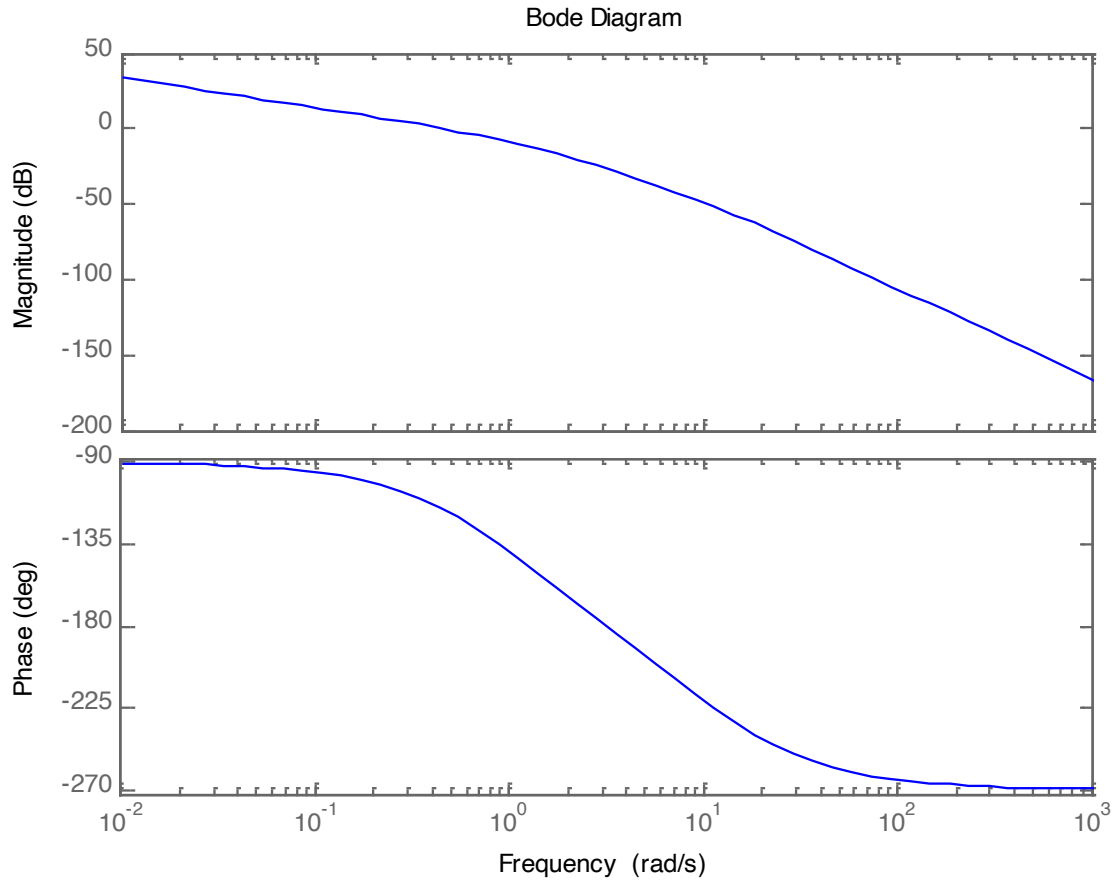
**Solución:**

1) Transferencia del motor: 
$$\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{K_m}{s \cdot [(R + L \cdot s)(J \cdot s + B) + K_m^2]} = \frac{1}{s \cdot [(2 + 0,2 \cdot s)(1 \cdot s + 0,5) + 1]}$$

$$\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{5}{s \cdot [s^2 + 10,5 \cdot s + 5 + 5]} = \frac{5}{s \cdot (s + 1,06)(s + 9,44)} = \frac{0,5}{s \cdot (0,944 \cdot s + 1)(0,106 \cdot s + 1)}$$

2) Diagramas de Bode de H(s)

$\omega$	$\left  \frac{1}{1 + j \cdot 0,944 \cdot \omega} \right $	$\left  \frac{1}{1 + j \cdot 0,106 \cdot \omega} \right $	$Arg\left(\frac{1}{1 + j \cdot 0,944 \cdot \omega}\right)$	$Arg\left(\frac{1}{1 + j \cdot 0,106 \cdot \omega}\right)$	$ H(j \cdot \omega) $	$Arg(H(j \cdot \omega))$
0,53	0,8944 -0,97 dB	0,9984 -0,01 dB	-26,56 °	-3,21 °	0,8431 -1,48 dB	-119,78 °
1,06	0,7071 -3,01 dB	0,9938 -0,05 dB	-45,00 °	-6,40 °	0,3317 -9,58 dB	-141,40 °
2,12	0,4472 -6,99 dB	0,9757 -0,21 dB	-63,43 °	-12,64 °	0,1030 -19,74 dB	-166,08 °
4,72	0,2189 -13,19 dB	0,8944 -0,97 dB	-77,35 °	-26,56 °	0,0207 -33,66 dB	-193,92 °
9,44	0,1115 -19,05 dB	0,7071 -3,01 dB	-83,60 °	-45,00 °	0,0042 -47,59 dB	-218,60 °
18,88	0,0560 -25,03 dB	0,4472 -6,99 dB	-86,79 °	-63,43 °	0,0007 -63,57 dB	-240,22 °



<b>MF</b>	<b>45 °</b>					
1			-43,35 °	-6,05 °		-139,40 °
0,9			-40,35 °	-5,45 °		-135,80 °
<b>0,88</b>	<b>0,7692</b> <b>-2,28 dB</b>	<b>0,9957</b> <b>-0,04 dB</b>	<b>-39,72 °</b>	<b>-5,33 °</b>	<b>0,4352</b> <b>-7,22 dB</b>	<b>-135,04 °</b>

Para MF = 45 °, la fase del sistema debe ser -135°, y eso ocurre a la frecuencia  $\omega = 0,88 \text{ rad/s}$

A esa frecuencia, el módulo del sistema es -7,22 dB. Luego:  $K = 7,22 \text{ dB} = 2,30$

<b>MG</b>						
3			-70,55 °	-17,63 °		-178,18 °
3,1			-71,14 °	-18,18 °		-179,31 °
<b>3,16</b>	<b>0,3178</b> <b>-9,96 dB</b>	<b>0,9483</b> <b>-0,46 dB</b>	<b>-71,47 °</b>	<b>-18,51 °</b>	<b>0,0477</b> <b>-26,43 dB</b>	<b>-179,97 °</b>

Con el K elegido en la parte anterior, busco la frecuencia a la que la fase es -180 °:  $\omega = 3,16 \text{ rad/s}$

A esa frecuencia, el módulo del sistema es -26,43 dB. Luego:  $MG = 26,43 - 7,22 \text{ dB} = 19,21 \text{ dB} = 9,131$

### 3) Diseño de PID con Ziegler-Nichols

Por tratarse de un sistema inestable en lazo abierto, el único método de sintonía de Ziegler-Nichols aplicable es el de ciclo continuo, en el que se activa únicamente el control proporcional del PID (con el sistema en lazo cerrado) y se hace crecer hasta alcanzar inestabilizar el sistema (oscilación de amplitud constante).

Para este  $K$ , el sistema está al borde de la inestabilidad, o sea  $MG = 0$

Como vimos en la parte anterior, esto se logra cuando  $K = 9,13$  respecto de un sistema que ya había sido multiplicado por  $K = 2,30$ . Por lo tanto  $K_u = 9,13 * 2,30 = 20,98$  y  $\omega_u = 3,16$ . Luego:  $T_u = 0,3165$

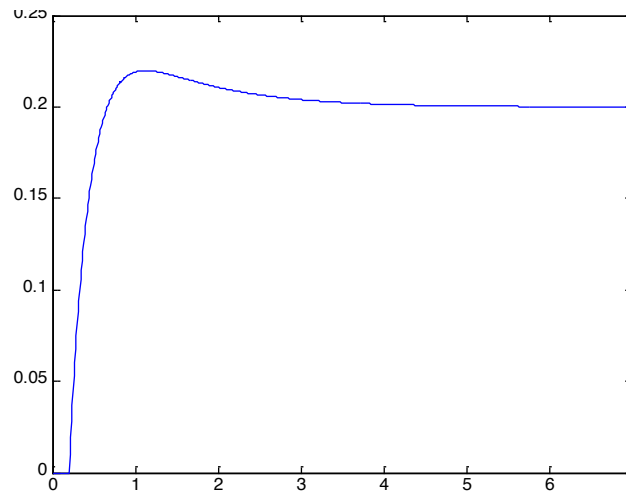
De acuerdo a la tabla:

$K_c$	$T_i$	$T_d$
$0,6.K_u$	$0,5.T_u$	$\frac{1}{8}.T_u$
<b>12,59</b>	<b>0,158</b>	<b>0,040</b>

**Ejercicio 4 (2 puntos si correcta / -0,5 si incorrecta)**

Considere la figura de la derecha, que corresponde a la respuesta temporal de un sistema a una entrada escalón unitario aplicada en el instante  $t = 0$ , e indique cuál de los modelos que siguen, se ajusta a este sistema.

- 1) Modelo de primer orden
- 2) Modelo de primer orden con tiempo muerto.
- 3) Modelo de segundo orden sin ceros.
- 4) Modelo de segundo orden sin ceros, con tiempo muerto.
- 5) Ninguna de las anteriores.



**Ejercicio 5 (2 puntos si correcta / -0,5 si incorrecta)**

Considere la función de transferencia:  $\frac{100}{s.(s+2).(s+40)}$ , que se desea simplificar por una de menor orden. Indique cuál de las funciones de transferencia que siguen sería la aproximación correcta.

- 1)  $\frac{100}{s.(s+2)}$
- 2)  $\frac{2,5}{s.(s+2)}$
- 3)  $\frac{100}{s.(s+40)}$
- 4)  $\frac{100}{2.s.(s+40)}$
- 5) Ninguna de las anteriores.

**Ejercicio 6 (1 puntos si correcta / -1 si incorrecta)**

Para cada una de las siguientes afirmaciones, indicar si es verdadera o falsa.

El controlador On/Off

- |   |  |
|---|--|
| F | a) es un controlador lineal.                                     |
| V | b) no modifica su acción de control dentro de la banda neutra.   |
| V | c) es adecuado para controlar procesos de capacitancias grandes. |

En un PLC,

- |   |   |
|---|---|
| F | d) el estado inicial del sistema depende de las entradas.   |
| V | e) durante un ciclo de procesamiento de los pasos del ladder, los cambios en los valores de las entradas no son tomados en cuenta hasta el siguiente ciclo. |
| V | f) un mismo evento puede hacer evolucionar el sistema desde un estado "A" a un estado "B", y viceversa también (de "B" a "A").                              |