

**Problema 1** (35 puntos)

En la Figura 1 se representa un tanque en forma de cono circular recto caracterizado por un ángulo  $\alpha$  (ángulo entre una generatriz del cono y su eje de simetría). El tanque es alimentado por un caudal  $q_i$  proporcional a la apertura  $\varphi$  de una válvula de entrada, siendo  $b$  la constante de proporcionalidad (positiva). El caudal de salida  $q_o$  se asume proporcional a la raíz cuadrada del nivel de líquido  $h$  contenido en el tanque, siendo  $c$  la constante de proporcionalidad (positiva).

La válvula de entrada es accionada por un motor de corriente continua y excitación independiente cuyo inducido es alimentado por un voltaje  $v$ . Sea  $Y$  la función escalón de Heaviside. Partiendo del reposo, ante una entrada de la forma  $v(t) = 3V \cdot Y(t)$ , el motor acoplado a la válvula de entrada responde tal como se muestra en la Figura 2.

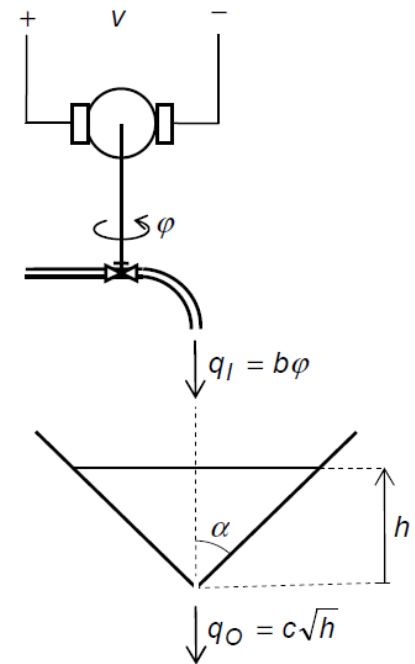


Figura 1

1) Modelo del actuador

Encontrar una función de transferencia  $A(s) = \frac{\varphi(s)}{V(s)}$

que describa la dinámica del actuador. Justificar.

2) Modelo del sistema hidráulico

2.a) Modelar el sistema de entrada  $\varphi$  y salida  $h$ . Justificar.

2.b) Linealizar el modelo anterior en torno al punto de equilibrio  $h = H$  correspondiente a  $\varphi = \Phi$  (constante positiva).

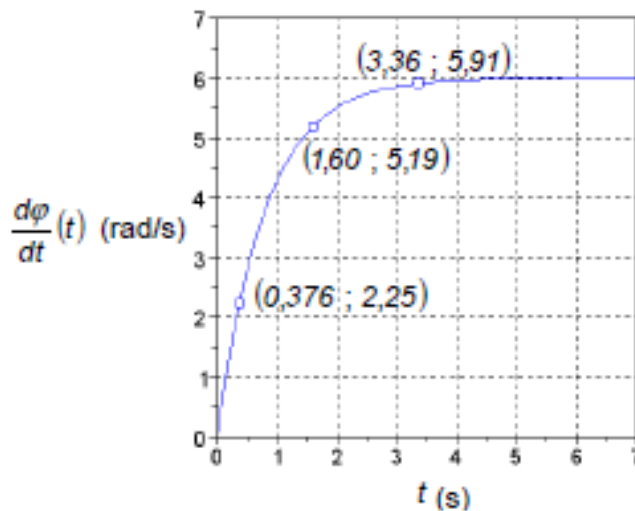


Figura 2

2.c) Hallar la función de transferencia  $P(s) = \frac{\tilde{h}(s)}{\tilde{\varphi}(s)}$  del modelo linealizado hallado en (2.b),

siendo:  $\tilde{h} = h - H$ , y

$$\tilde{\varphi} = \varphi - \Phi$$

De ahora en más se supondrá que:

$$\alpha = \pi/4 \text{ rad} \quad b = \pi \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{rad}^{-1} \quad c = \pi \text{ m}^5/2 \cdot \text{s}^{-1} \quad \text{y} \quad H = 1 \text{ m}.$$

2.d) Dibujar el diagrama de Bode de  $P(s)$  e indicar en el mismo la frecuencia angular de ganancia unitaria  $\omega_T$ .

### 3) Controlador Serie

A los efectos de controlar el nivel de líquido en el tanque, se concibe el sistema realimentado que se representa en la Figura 3, donde  $C(s)$  es la función de transferencia de un controlador a diseñar y donde  $\tilde{h}_R = h_R - H$ , siendo  $\tilde{h}_R$  la señal de consigna para el nivel del tanque.

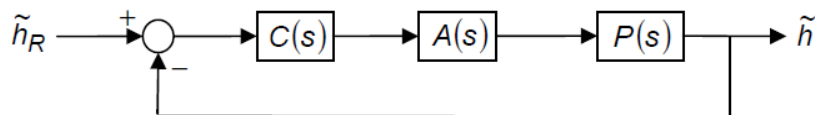


Figura 1

Para el caso particular  $C(s) = K$ , aplicar el criterio de Nyquist para discutir la estabilidad del sistema realimentado según  $K$  real.



## **Problema 2** (35 puntos)

Se desea realizar el proceso de CIP (Clean In Place) del Tanque de Proceso de una línea de producción. El diagrama P&ID del proceso se presenta en la Fig. 1.

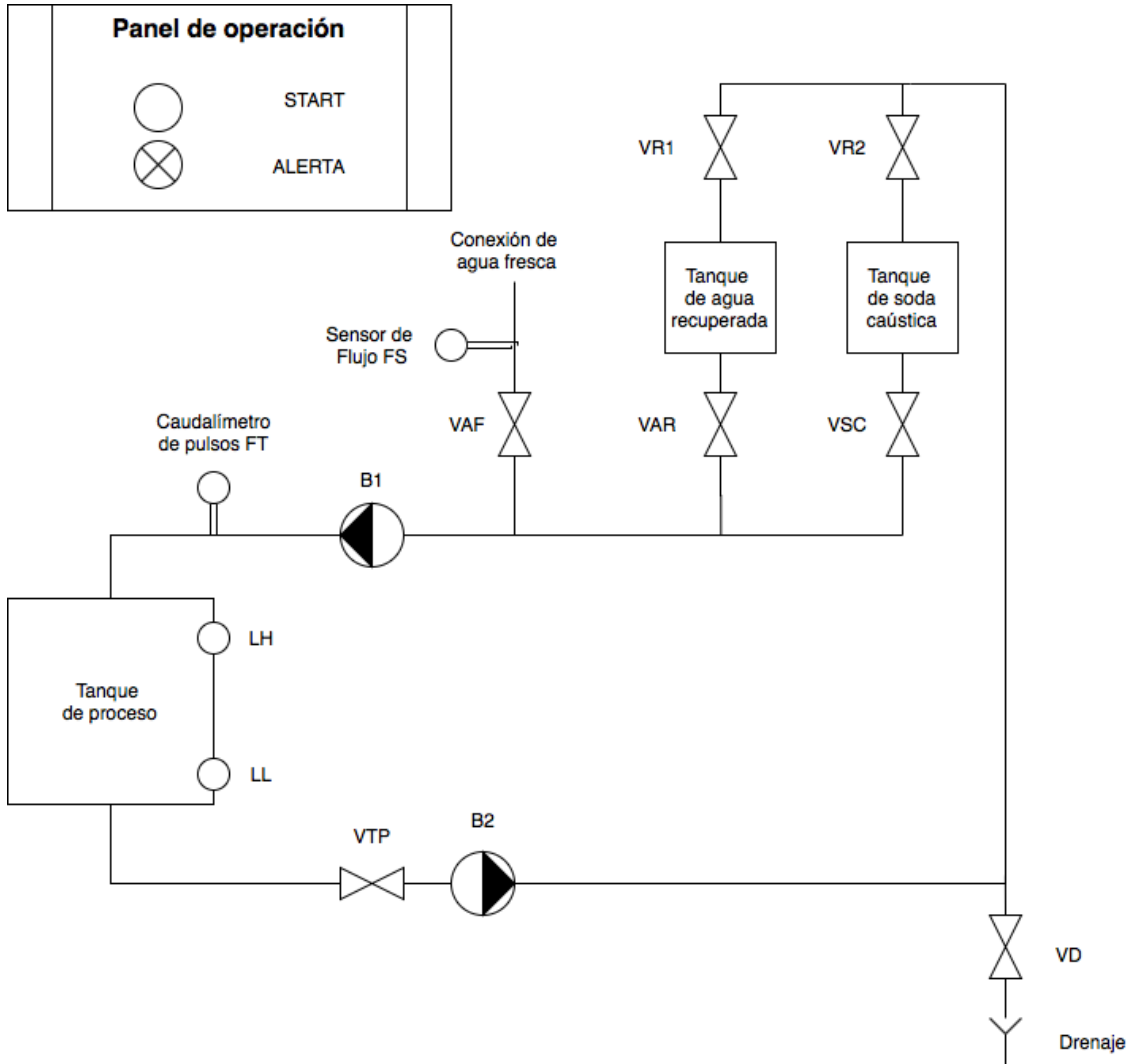
Para ello, se realizará la siguiente secuencia indicada por el responsable técnico cuando el operador presione 'Start' en el Panel de Operación:

1. Se debe realizar la apertura de ruta (es decir, abrir todas las válvulas que unen ambos tanques) desde el tanque de Soda Cáustica hasta el Tanque de Proceso, manteniendo las válvulas a drenaje cerradas (VTP y VD). Se ingresará soda hasta el nivel LH del tanque y se detendrá el llenado cerrando la válvula correspondiente.
2. Luego de 60 segundos de actuación de la soda cáustica en el tanque se debe realizar la apertura de ruta desde la entrada de agua fresca hasta la salida a drenaje a través del Tanque de Proceso. Se deberá esperar 5 segundos luego de la señal de apertura a las válvulas previo al encendido de las bombas correspondientes.
3. El enjuague comienza con un "empuje" de agua fresca de 10 pulsos de acuerdo al caudalímetro FT.
4. Se realizará el vaciado del tanque hasta que el sensor LL indique '0' y se continuará vaciando 1 minuto más para asegurar el escurrido de las paredes del tanque.
5. Se enjuagará luego con agua fresca durante 3 minutos para completar el proceso. Si en algún momento el sensor de flujo FS no detecta presencia de agua fresca se deberá utilizar agua recuperada del Tanque de Agua Recuperada. En este caso el proceso se extenderá 3 minutos más (6 minutos de enjuague en total desde el inicio del enjuague).
6. Se deberá drenar el tanque con la misma secuencia que en 4).
7. Previo al cierre de las válvulas se deberá apagar las bombas 5 segundos antes para evitar un golpe de ariete en la tubería.

Nota: Durante el enjuague con Agua Fresca se enviará el retorno al Tanque de Agua Recuperada para aumentar la eficiencia del proceso. Para el caso de enjuague con Agua Recuperada la misma se enviará a drenaje.

Se solicita:

- 1) Realizar Diagrama de Estado que resuelva el sistema descrito.
- 2) Realizar Ladder necesario para programar el PLC, que corresponda al Diagrama de Estado anterior y que permita al sistema funcionar de la m



**Problema 3** (30 puntos)

Se desea diseñar un equipo calefactor para el tanque de soda cáustica. El tanque recibe un caudal de entrada  $Q$  de 5 L/s de soda cáustica a 10 °C y se conoce que debido al proceso de CIP el volumen del tanque se mantiene en 1000 L a lo largo del tiempo. Las pérdidas de calor al exterior se aproximan constantes y de 500 cal/seg.

- 1) El objetivo es mantener la temperatura del tanque en  $(50 \pm 5)$  °C, mediante un controlador ON-OFF, utilizando alguno de los siguientes equipos propuestos:
- Inyector de vapor a un intercambiador de placas ( $P = 800$  cal/seg)
  - Encamisado del tanque con inyección de vapor ( $P = 750$  cal/seg)
  - Calentador a vapor interno al tanque ( $P = 700$  cal/seg)
  - Calentador eléctrico interno al tanque ( $P = 650$  cal/seg)

Se pide:

Decidir qué equipo sería más conveniente adquirir si se desea maximizar el período de oscilación y calcular el mismo. Dibujar la curva de temperatura en función del tiempo y de potencia entregada por el calentador en función de la temperatura del tanque.

Nota:

- Se asume que la temperatura del tanque es homogénea e igual a la temperatura de la soda enviada al proceso de CIP.
- Se asume que la soda cáustica se encuentra suficientemente diluida como para realizar las siguientes aproximaciones:  
Capacidad calorífica específica: 1 cal/(kg °C)  
Densidad: 1 kg/L

- 2) Se desea sustituir el control ON-OFF por un controlador PID.

La Transferencia de la temperatura de salida respecto al comando de entrada de potencia,  $P(s)$ , es la siguiente:

$$P(s) = \frac{5}{(s + 1)(s + 10)}$$

Se desea introducir un controlador PID, colocado en serie con la planta, que adapte la respuesta del sistema realimentado para que:

- Se comporte como un sistema de segundo orden sin ceros, críticamente amortiguado
- Tenga ganancia en régimen unitaria en continua
- Sea más rápido que la planta original

Se pide:

1. Indique qué modos de control deben activarse para cumplir las especificaciones anteriores y el valor de las constantes del controlador.
2. Desarrolle una expresión temporal que permita saber el valor de la respuesta a un escalón de altura  $U$ .