

**DINAMICA Y CONTROL DE PROCESOS**  
**EJERCICIOS SISTEMAS EN LAZO ABIERTO**

1.- El proceso de avance de una solidificación es un problema de gran interés industrial. Suponga que un líquido está a su temperatura de fusión ( $T_s$ ) en un recipiente de área  $A$  y altura  $L$ . A partir de un tiempo cero, la superficie inferior se mantiene a una temperatura  $T_w$  comenzando el proceso de solidificación. Conforme el plano de sólido avanza, el calor extraído necesario para el proceso se debe transferir por conducción en la capa de sólido de espesor  $X(t)$ .

Consideraciones: propiedades constantes, Transferencia de calor por conducción en sentido  $x$ . No hay  $T$ . de  $Q$ . en los otros sentidos y  $T_s$  es constante. No hay acumulación de calor en la fase sólida.

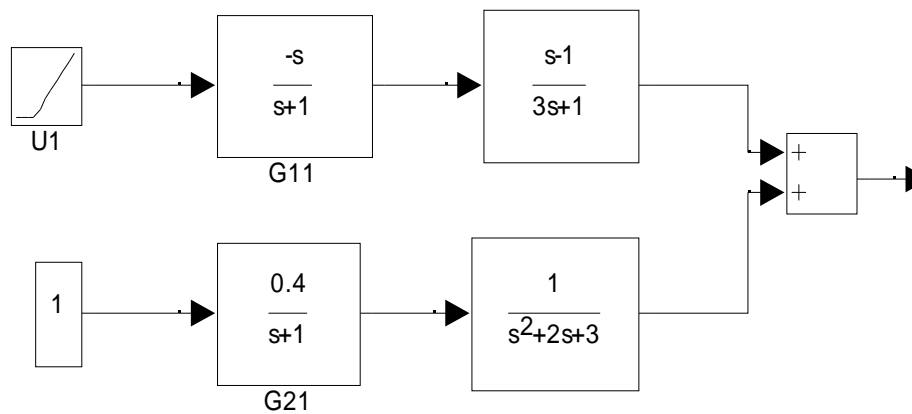
- i) Se pide desarrollar un modelo matemático que relacione el avance del frente de sólidos  $X(t)$  como función de  $T_w$  y del tiempo.
- ii) Linealice este modelo si resulta ser no lineal.
- iii) Si tomamos en cuenta que **SÍ** hay acumulación de calor en la fase sólida, proponga un modelo o alternativa de solución para este caso.

2.- Suponga un proceso de calentamiento de un líquido de propiedades constantes en un tanque agitado sometido a variaciones en el flujo de alimentación  $F$ , la temperatura de entrada  $T_i$  y el calor agregado  $Q$ . La altura se mantiene constante y el volumen de líquido en todo instante es 100 Litros. Cuando  $T_i=25^\circ\text{C}$  y  $F=100$  lt/min, se registra una salida de  $T=50^\circ\text{C}$ .

- i) Se pide obtener un modelo de Función de Transferencia para la temperatura de salida  $T$  como función de  $F, T_i$  y  $Q$ .
- ii) Determinar las constantes de tiempo y las ganancias de las funciones si el modelo se linealiza en torno al estado estacionario especificado.
- iii) Si se aumenta el flujo desde 100lt/min a 150 lt/min y se mantienen constantes los valores de  $T_i$  y  $Q$ . Calcular el valor de la temperatura de salida  $T$  en el nuevo estado estacionario con el modelo de función de transferencia y determinar el error con respecto al valor real.

3.- De acuerdo al diagrama de bloques que se adjunta, determinar:

- i) Orden, Polos y Ceros de cada lazo
- ii) Utilizando el teorema de valor final determine la salida de estado estacionario cuando  $u_1$  es una rampa unitaria  $u_1(t) = t$  y  $u_2$  es un escalón unitario  $u_2(t) = 1$ .



4.- La reducción de la Magnetita con carbono ( $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{C} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{CO}$ ) se realiza habitualmente en un horno eléctrico donde un electrodo de carbono provee simultáneamente el agente reductor y el calor necesario para mantener a la magnetita fundida. Producto de la reacción el electrodo se va consumiendo en forma radial hasta un tamaño crítico donde es necesario reemplazarlo ya que no es capaz de generar el calor necesario.

Suponga un horno ideal compuesto por un electrodo cilíndrico de radio  $R$  y longitud  $L$  donde se lleva a cabo la reacción de reducción.

La reacción se lleva a cabo en la superficie del carbono donde la velocidad de reacción está controlada por la difusión molecular de la magnetita líquida hacia la superficie a través de una capa estancada constante de espesor " $\delta$ ". La concentración en el seno de la fase fundida también puede considerarse constante e igual a  $C_a^*$ . De esta forma la expresión cinética superficial puede describirse según:

$$-R_a = D_{ef} * C_a^* / \delta \quad (\text{grs C/ m}^2\text{-s})$$

El coeficiente de difusión efectivo  $Def$  varía con la temperatura de acuerdo a una relación tipo Arrhenius :  $Def = Do * exp(-E/T)$  con T la temperatura en la superficie del electrodo.

Por el electrodo circula una corriente eléctrica que es capaz de generar  $G_c$  Kilowats / por  $M^2$  de sección transversal originando en el electrodo una temperatura  $T_c$  que intercambia calor con la magnetita fundida que se encuentra a una temperatura constante  $T_f$  mediante un mecanismo de transferencia convectiva con un coeficiente de transferencia de calor  $U$ . Por otra parte la reacción no consume ni genera calor en una magnitud que es despreciable para ser considerada en los balances.

- i) Con esta descripción plantear el modelo matemático que relaciona la variación del radio y la temperatura del electrodo ( $R, T_c$ ) con el tiempo.
- ii) Considerando los siguientes valores determinar el tiempo necesario para que el radio del electrodo se consuma hasta la mitad de su valor inicial.

---


$$L = 3 \text{ m} ; R \text{ inicial} = 10 \text{ Cms} ; \text{ Densidad} = 2,26 \text{ (gr/cc)} ; C_p = 0.4 \text{ (Cal/gr } ^\circ\text{C)}$$

$$U = 100 \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)} ; G_c = 2200 \text{ (Kw/ m}^2\text{)} ; T_f = 1250 \text{ } ^\circ\text{C} ;$$

$$Ca^* = 5E-3 \text{ (gr/cc)} ; \delta = 1E-7 \text{ (m)} ; T_c \text{ inicial} = 1800 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Def = 5E-7 * EXP(-10000/(T_c+273)) \text{ (m}^2\text{/s)}$$


---

Plazo de entrega : 22 Mayo , 12:00 Hrs (metodología libre)

5.- Un estanque de sección plana de  $5 \text{ m}^2$  de área tiene una válvula de descarga tipo “igual %” donde el flujo de descarga se relaciona con la altura de líquido según:

$$F = 29,77 * \frac{h \text{ (m}^3\text{/min)}}{\sqrt{0,82 + (1 - 0,82) * h^2}}$$

Para un flujo de alimentación ( $F_o$ ) dado, la altura de equilibrio se establece en  $0,25 \text{ m}$

- i) Determinar el modelo de función de transferencia para la altura como función del flujo de entrada tomando como referencia al estado estacionario especificado anteriormente.
- ii) Si el flujo de entrada se aumenta en +30% del valor original, determinar la nueva altura de estadio estacionario con el modelo de función de transferencia y encuentre el error con respecto a la altura real alcanzada.

6.- Un sistema de multiples entradas y salidas compuesto por dos sub-procesos puede ser expresado vectorialmente por medio de funciones de transferencia lineales según:

$$\begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G1 & 0 & G2 \\ G3 & G4 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{bmatrix} \quad [Y] = [G5 \quad G6] * \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix}$$

Las funciones de transferencia son :

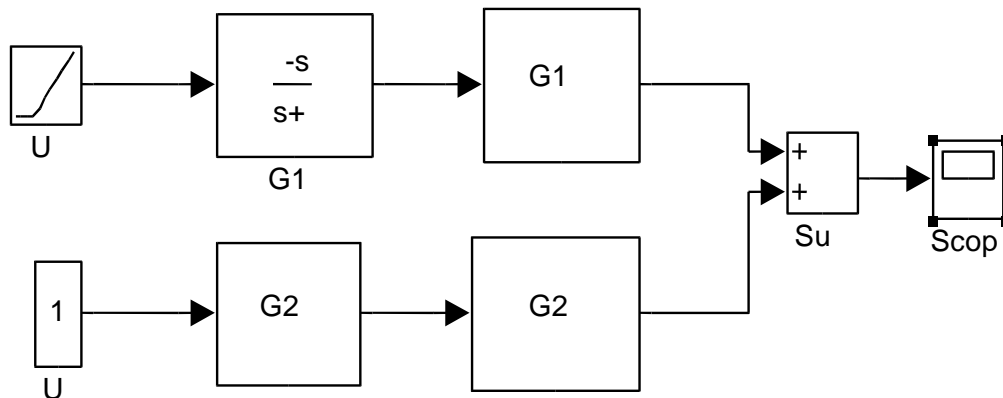
$$G1 = \frac{1}{10S + 1} \quad G2 = \frac{S-2}{S+4} \quad G3 = \frac{2 e^{-3s}}{S+3}$$

$$G4 = \frac{1}{S+3} \quad G5 = \frac{2}{S^2 + 0.8S+2} \quad G6 = \frac{1}{S^2+1}$$

- i) Determinar diagrama de bloques del proceso.
- ii) Usando el teorema del valor final encontrar el valor de Y de estado estacionario cuando **u1** cambia en un escalón unitario.
- iii) Orden y forma de la respuesta del lazo **Y-u1**.
- iv) Polos Zeros y estabilidad del lazo **Y – u3**

7 .- De acuerdo al diagrama de bloques que se adjunta, determinar:

- iii) Orden, Polos y Ceros de cada lazo
- iv) Utilizando el teorema de valor final determine la salida de estado estacionario cuando  $u_1$  es una rampa unitaria  $u_1(t)=t$  y  $u_2$  es un escalón unitario  $u_2(t)=1$ .



G12 : Sistema de 2º orden  $K_p=1$  ;  $\xi = 0.2$   $\tau = 1$

G21 : Sistema de primer orden  $K_p=2$  ,  $\tau = 5$

G22: Sistema de primer orden  $K_p=1$  ,  $\tau = 10$

8 .- Considere un tanque de acumulación de líquido de 0,1 (m) de diámetro con una entrada y una salida no lineales. El flujo de entrada esta regulado por la apertura de la válvula (A) con la siguiente relación de flujo :  $F_{max} * 3^{(A-5)}$  . El flujo de salida varia según la altura del líquido (h) según :  $\alpha * h^{1/2}$  .

Cuando la apertura de la válvula es 4 , la altura de líquido se estabiliza en 1 (m) si se considera que  $F_{max}$  tiene un valor de  $3 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ .

- i) Obtener el modelo de función de transferencia que relaciona h y A considerando el estado estacionario antes indicado (  $A=4$   $h=1$ )
- ii) Determinar el error en la predicción de la altura de estado estacionario del modelo de función de transferencia con respecto al modelo no lineal cuando se cambia la apertura de la válvula de 4 a 3.

9 .- La **pervaporación** es un proceso de separación no convencional donde un componente de una mezcla líquida es recuperado mediante difusión en fase vapor a través de una membrana selectiva.

Considere un proceso de pervaporación compuesto por dos cámaras perfectamente agitadas de volumen  $V$  separadas por una membrana selectiva de área efectiva  $A_m$  y espesor  $\varepsilon$ . En una de las cámaras se encuentra un líquido con un componente valioso que se desea recuperar, con concentración  $C_a$ , el que se mantiene a la temperatura de saturación  $T_s$ .

Por el lado del vapor, entra continuamente un flujo  $G$  de gas portador, libre de componente valioso y a temperatura  $T_{go}$ . El componente valioso que ha difundido por la membrana se incorpora a la corriente gaseosa que esta a una temperatura  $T_g$  y tiene una composición en el seno de la fase  $y_a$  siendo retirado continuamente.

La transferencia de materia tiene dos resistencias : una difusional localizada en la membrana con un coeficiente de difusión efectivo  $D_{am}$  y una convectiva localizada en la interfase membrana-gas con un coeficiente local de  $T$ . de masa  $K_y$ . No existe resistencia en la interfase membrana-líquido y la relación de equilibrio esta dada por una relación del tipo  $y_{ai} = H \cdot C_a$ .

El calor necesario para la vaporización del componente pervaporado es aportado por la transferencia de calor entra las cámaras a través de la membrana existiendo solo una resistencia por conducción en la membrana que tiene una conductividad térmica  $K_{em}$ .

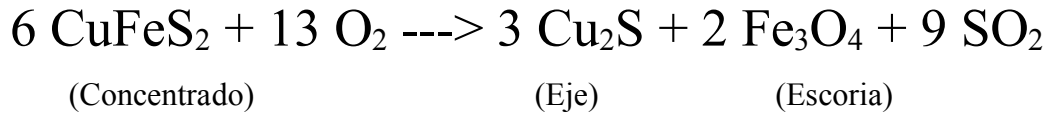
Con esta descripción, formular un modelo dinámico para la variación de la composición del componente en la fase vapor  $y_a$  y la temperatura de fase vapor  $T_g$ .

Considere que las dinámicas en la fase líquida y en la membrana son despreciables.

Nota: Explicitar claramente las suposiciones realizadas.

10.- El proceso de fusión Flash es una tecnología desarrollada para la conversión de concentrado de cobre con una alta eficiencia energética. En este proceso, el concentrado seco se mezcla con oxígeno en un quemador para realizar la reacción que es exotérmica y prácticamente instantánea formando una verdadera llama a  $1500^\circ\text{C}$ . Los productos de la reacción son una fase rica en cobre llamado eje y otra rica en hierro llamada escoria que

a la temperatura de reacción se mantienen fundidas. Estos productos se recogen en una zona de sedimentación y los gases se envían a tratamiento. La reacción de conversión esta dada según:



En la zona de sedimentación que se mantiene a 1300°C, la fase eje tiene una densidad mayor que la escoria por lo que se asenta en el fondo, mientras que la escoria permanece en la superficie. Las fases son extraídas en forma discontinua para conversión final a través de toberas que se ubican a una altura adecuada. Este proceso llamado “sangrado” se realiza cada un tiempo dado para mantener niveles adecuados y no contaminar las fases. El determinar la altura de las fases y el tiempo de sangrado es vital para una correcta operación del convertidor. Con esta descripción y la figura que se adjunta, desarrollar un modelo matemático para predecir la evolución de los niveles de ambas fases con el tiempo cuando las fases se están acumulando y cuando se esta sangrando como función del flujo de concentrado. Suponga que la reacción es instantánea, con 100% de conversión y el oxígeno se alimenta en proporción estequiométrica. El sedimentador se puede considerar como perfectamente mezclado, propiedades constantes en ambas con flujos de salida proporcional a la carga estática

11 .- La relación entre el flujo que circula por una válvula de control con la caída de presión en la válvula y la posición del vástago esta dada por las siguientes expresiones:

$$Q = C_v * \sqrt{(\Delta P / SG)}$$

$$C_v = C_o * \frac{X}{\sqrt{\alpha + (1 - \alpha) * X^2}}$$

Donde SG es la gravedad específica,  $\Delta P$  es la caída de presión en la válvula, Q el caudal y Cv el coeficiente de resistencia de la válvula, que depende de la fracción de posición del vástago X (0-1) y una constante de descarga Co.

Suponga que se tiene un sistema de flujo de agua ( SG=1) compuesto por una válvula de control neumática de cerrado rápido ( $\alpha = 0.2$ ) y un posicionador I/P lineal de 4 a 20 mA . Cuando la presión de entrada es de 50 Psia y se aplica 12mA, el flujo es de 5 Lts/min cuando descarga a la presión atmosférica.

- i) Se pide determinar un modelo de función de transferencia alrededor de este punto de operación, que tome en cuenta la variación del flujo frente a cambios en la presión de entrada y la corriente a la válvula. Asuma que el cambio en el flujo con la presión de entrada y la posición del vástago es instantáneo, mientras que el posicionador, tiene una dinámica de primer orden con respecto a la corriente de entrada, con una constante de tiempo de 5 seg.
- ii) Si la presión de entrada aumenta en 5Psig, determinar el error en la predicción del flujo de salida del modelo de función de transferencia con respecto al valor real, si se mantiene constante la corriente a la válvula. .

12- Un sistema de múltiples entradas y salidas compuesto por dos sub-procesos puede ser expresado vectorialmente por medio de funciones de transferencia lineales según:

$$\begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G1 & 1 & G2 \\ G3 & G4 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{bmatrix} \qquad [Y] = [G5 \quad G6] * \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix}$$

Las funciones de transferencia son :

$$G1 = \frac{1}{10S + 1} \qquad G2 = \frac{S-2}{S + 2} \qquad G3 = \frac{2 e^{-3s}}{S + 3}$$

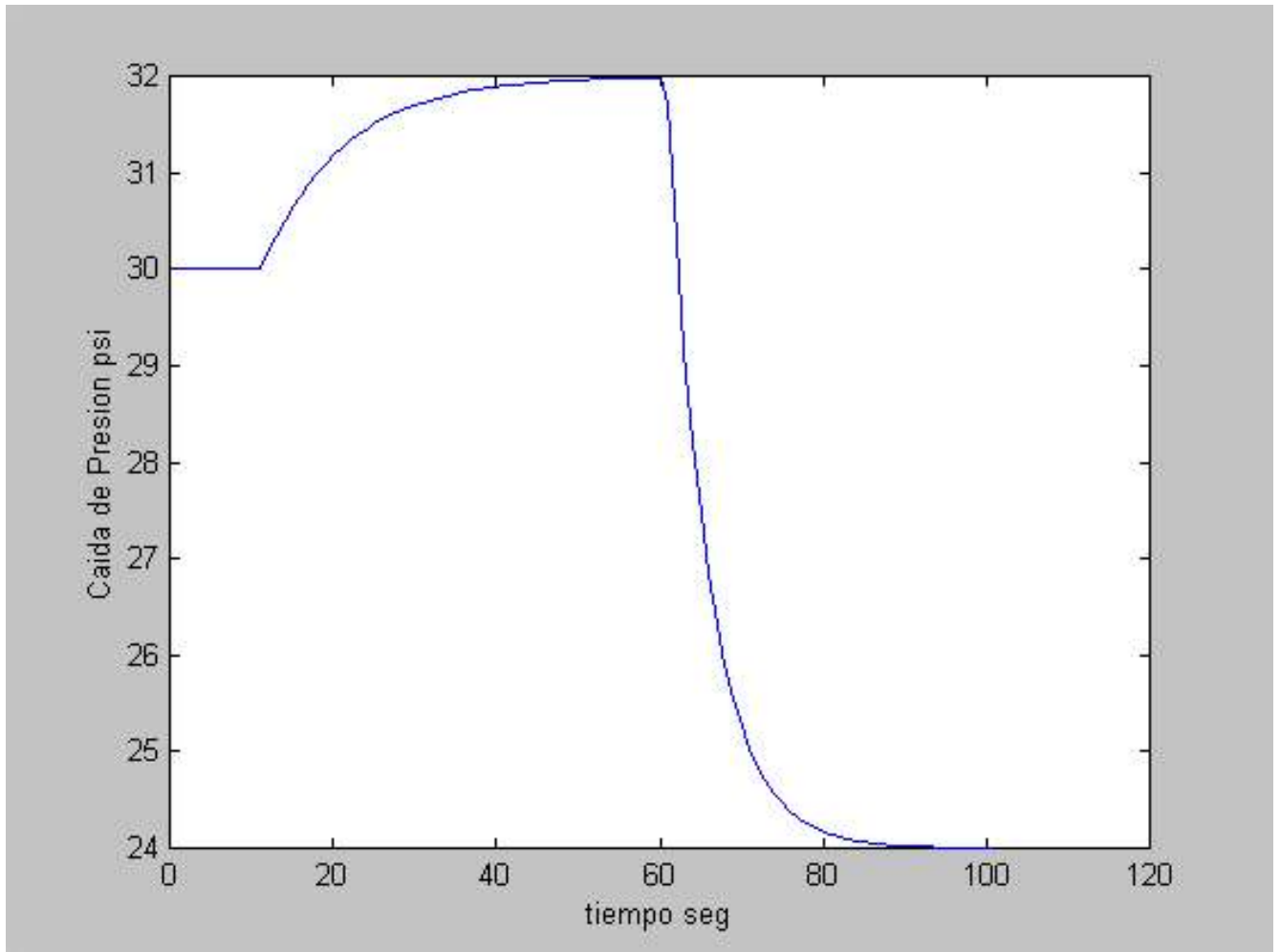


$$G4 = \frac{1}{S + 3} \qquad G5 = \frac{2}{S^2 + 0.8 S + 2} \qquad G6 = \frac{1}{S^2 + 1}$$

- v) Determinar diagrama de bloques del proceso.
- vi) Usando el teorema del valor final encontrar el valor de Y de estado estacionario cuando **u1** cambia en un escalón unitario.
- vii) Orden y forma de la respuesta del lazo **Y-u2**.
- viii) Polos ceros y estabilidad del lazo **Y - u3**

13 .- En un proceso específico, la caída de presión en los tubos de un condensador depende del flujo de fluido frío W y el flujo de vapor V. Con la finalidad de determinar las funciones de transferencia, se realiza un experimento dinámico en donde se altera secuencialmente ambas variables. A partir de un estado estacionario dado por W= 10 m<sup>3</sup>/h , V =3 Kg/min , ΔP= 30 psi , a tiempo cero, el flujo de vapor se incrementó en forma escalón hasta V= 4 Kg/min. manteniéndose constante hasta el fin de la experiencia. Transcurridos 60 segundos el flujo de fluido frío W se disminuye en forma escalón hasta 8 m<sup>3</sup>/h manteniéndose constante hasta el fin de la experiencia, mientras que el flujo de vapor se mantiene en 4 Kg/min. El resultado de la experiencia de los dos cambios secuenciales se ilustra en la figura adjunta.

**Si las funciones son de primer orden, determinar sus parámetros.**



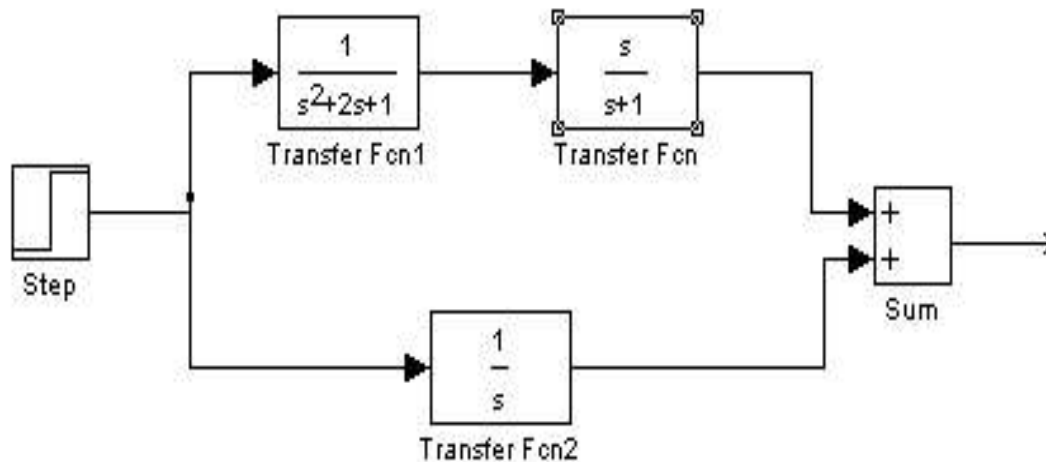
14 .- La figura esquematiza un estanque separador de dos fluidos inmiscibles A y B que se alimenta con flujo másico  $F_o$  y fracción en masa  $X_a$  del líquido más pesado. El estanque tiene un área constante  $A$  y las densidades de los líquidos pueden considerarse constantes. Los flujos de salida son proporcionales a la carga hidrostática en el tubo de salida ( $\alpha \cdot \rho \cdot g \cdot h$ ) con  $\alpha$  la constante de resistencia de la válvulas (iguales) .

- i) Deducir el modelo matemático que describa las alturas de los niveles de los dos fluidos ( $h_a$  y  $h_b$ ) considerando que  $h_b > h_a$
- ii) Encontrar las funciones de transferencia de  $h_a$  y  $h_b$  considerando a  $F_o$  como variable manipulada.

15 .- Los biosensores son pequeños microreactores biológicos en donde la reacción se lleva a cabo en un soporte sólido que contiene a los elementos biológicamente activos inmovilizados. Uno de los más usados son los detectores de alcohol o “alco-test” , en donde una enzima desarrolla una reacción exotérmica de oxidación del etanol. El aumento de la temperatura en la matriz sólida permite detectar la existencia de alcohol.

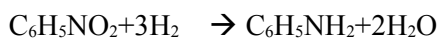
Se pide desarrollar un modelo aproximado de un aparato de alco-test compuesto por dos volúmenes o fases, una gaseosa por la que circula el vapor y otra sólida donde esta la enzima inmovilizada para realizar la reacción. Por simplificación se asume que las dos fases se comportan como totalmente mezcladas. La porosidad del lecho es  $\epsilon$  y la superficie específica  $s$ . Suponga que se sopla con una velocidad lineal  $v$  y una concentración de alcohol  $CA_0$  y una temperatura  $T_g$  que se mantiene constante en la fase gas. El alcohol se transfiere por un mecanismo convectivo hacia la fase sólida con un coeficiente de T. de masa  $K_c$ . En la interfase gas sólido la concentración de equilibrio (solubilidad del alcohol)  $CA_i$  es función de la temperatura del sólido  $T_s$  con una funcionalidad tipo Arrhenius. En el sólido se asume que la concentración de alcohol es  $CA_i$  la que se puede considerar constante en toda la fase sólida, y la velocidad de reacción se puede asumir como homogénea de primer orden con constante cinética  $k$  y una dependencia tipo Arrhenius con la temperatura del sólido  $T_s$ . La reacción es exotérmica con calor de reacción  $\Delta H_r$ . Puede considerarse que el sistema no transfiere calor al exterior, pero si algo de calor se transfiere a la fase gas por convección. Con esta descripción desarrolle las ecuaciones para un modelo dinámico que informe de la variación de la concentración de alcohol  $CA$  en la fase gas y de la temperatura de la matriz sólida  $T_s$ .

16 .- En base al diagrama que se adjunta, determinar los polos, ceros, y estabilidad del sistema.



17.- Un Reactor de membrana catalítica es una innovación tecnológica para mejorar el rendimiento de reacciones heterogéneas. En este tipo de reactores una membrana catalítica cubierta por soportes adecuados separa la fase líquida y gaseosa. Los soportes entregan la selectividad necesaria para que solo los componentes que reaccionan entren a la membrana catalítica que proporciona las condiciones necesarias para llevar a cabo la reacción.

Suponga que la reacción de hidrogenación de nitrobenceno para dar anilina



se llevara a cabo en uno de estos reactores según se esquematiza en la figura. La cámara de líquido esta totalmente agitada y las concentraciones cambian con el tiempo a medida que ocurre la reacción en el interior de la membrana. Por el lado del líquido el soporte permite el paso de agua, anilina y nitrobenceno mediante difusión molecular y es impermeable al paso del gas. Por el lado del gas, fluye hidrogeno puro que atraviesa el soporte de la membrana con resistencia a la transferencia de masa despreciable. El soporte por el lado del gas no permite el paso de otros componentes. Se puede considerar que la reacción ocurre en fase líquida con cinética dada por  $(-R_a) = K \cdot C_H \cdot C_N$  con  $C_H$  la concentración de hidrógeno disuelto y  $C_N$  la concentración de nitrobenceno en la membrana. La solubilidad del hidrógeno en la mezcla sigue una relación tipo Henry, y el sistema se puede considerar isotérmico.

Con esta descripción deducir un modelo matemático para determinar la evolución de las especies con el tiempo en la fase líquida y en la fase de membrana catalítica.

Enumere claramente las suposiciones realizadas para deducir el modelo

18.- Un estanque cónico de 10 m de altura y 2 m de radio superior se utiliza para alimentar agua a un proceso. La válvula de descarga entrega un flujo que es proporcional a la raíz cuadrada de la altura del estanque.

Para un flujo de alimentación (5 Kg/s) la altura de equilibrio se establece en 6 m.

- iii) Determinar el modelo de función de transferencia para la altura como función del flujo de entrada tomando como referencia al estado estacionario especificado anteriormente.
- iv) Si el flujo de entrada se aumenta en +20% del valor original, determinar la nueva altura de estado estacionario con el modelo de función de transferencia y encuentre el error con respecto a la altura real alcanzada.

3.- Un sistema de múltiples entradas y salidas compuesto por dos sub-procesos puede ser expresado vectorialmente por medio de funciones de transferencia lineales según:

$$\begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G1 & G2 & G3 \\ 0 & G4 & G5 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{bmatrix} \quad [Y] = [G6 \quad G7] * \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix}$$

Las funciones de transferencia son :

$$G1 = \frac{1}{10S + 1} \quad G2 = \frac{S-2}{S+4} \quad G3 = \frac{2 e^{-3s}}{S+3}$$

$$G4 = \frac{1}{S+3} \quad G5 = \frac{2}{S^2 + 0.8S + 2} \quad G6 = \frac{1}{S^2 + 1}$$

$$G7 = \frac{1}{S+1}$$

- ix) Determinar diagrama de bloques del proceso.
- x) Usando el teorema del valor final encontrar el valor de Y de estado estacionario cuando **u1** cambia en un escalón unitario.
- xi) Orden y forma de la respuesta del lazo **Y-u1**.

xii) Polos Zeros y estabilidad del lazo **Y – u3**

19 .- En un reactor RTAC de sección constante se lleva a cabo una reacción irreversible homogénea de orden  $n$ ,  $A \rightarrow \text{Productos}$  bajo condiciones isotérmicas. El flujo volumétrico de entrada es  $F_0$  y el de salida es proporcional a la raíz cuadrada de la altura de líquido en el estanque ( $h$ ). La concentración de A en la entrada es  $C_{A0}$  y las propiedades pueden considerarse como constantes.

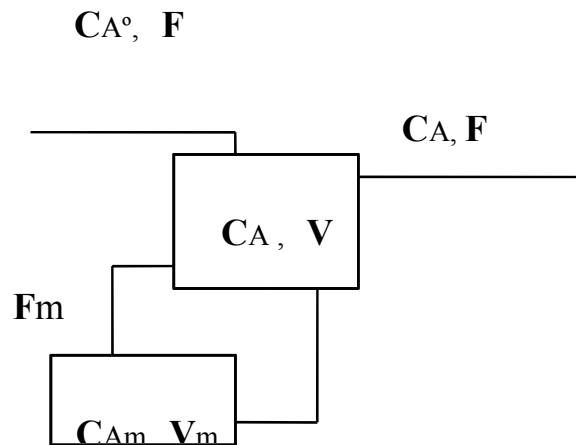
- i) Deducir el modelo matemático que describe  $h$  y  $CA$  con el tiempo.
- ii) Liberalizar el modelo, pasarlo a función de transferencia y hacer el correspondiente diagrama de bloques.

20 .- Considere el caso de un condensador vertical a presión constante en donde vapor saturado a una temperatura  $T_v$  condensa por el exterior de un haz de tubos de longitud  $H$ , dispuesto en posición horizontal. Por el interior de los tubos circula un fluido de enfriamiento que se mantiene a una temperatura constante  $T_f$ . La salida de condensado está localizada en el fondo del condensador con un flujo volumétrico que es proporcional a la altura del condensado ( $h$ ). El haz de tubos, de área externa  $A_t$ , presenta dos zonas: una expuesta al vapor donde se realiza la condensación y otra sumergida en el condensado, donde este se enfría. La resistencia a la transferencia de calor puede ser resumida en términos de coeficientes globales de T. de Calor para la condensación ( $U_v$ ) y enfriamiento ( $U_L$ ). La zona líquida puede ser considerada como perfectamente mezclada a una temperatura  $T$ . El condensador tiene una sección transversal neta  $A_c$  constante.

- i ) Deducir un modelo matemático para la evolución de dinámica de la altura de condensado ( $h$ ) y la temperatura de salida del condensado  $T$
- ii) Encontrar  $h$  y  $T$  de equilibrio para los siguientes datos:  
 $T_v=150^\circ\text{C}$  ;  $T_f=40^\circ\text{C}$  ;  $A_t= 20 \text{ m}^2$  ;  $H= 5 \text{ m}$  ;  $A_c= 1 \text{ m}^2$  ;  $U_v= 10 \text{ (cal/s m}^2\text{ }^\circ\text{C)}$  ;

$UL=2$  (cal/s  $m^2\text{°C}$ ) ;  $\lambda = 500$  (Kcal/Kg) ;  $\delta = 0.96$  (gr/cc) ;  $\alpha = 3.3E-4$  ( $m^2/\text{min}$ );  
 $CpL=0.98$ (Kcal/Kg  $\text{°C}$ )

21 .- Para modelar los efectos de mezclado no ideal en reactores CSTR es común asumir un modelo de reactor con un volumen muerto  $V_m$ , tal como lo muestra la figura. Si los flujos  $F$  y  $F_m$  son constantes, determinar la función de transferencia que relaciona  $CA^\circ$  con  $CA$  asumiendo que en el reactor se lleva a cabo una reacción irreversible de primer orden.



22 .- En referencia al problema de la descarga de un estanque analizado en clases , la velocidad en el ducto ( $v$ ) y la altura en el estanque ( $h$ ) están dados por :

$$dv/dt = 0.0107h - 0.00205 v^2$$

$$dh/dt = Fo/113 - 0.0624 v$$

Un estado estacionario está dado por ( $Fo=35, v=4.964, h= 4.721$ ), en unidades consistentes . Se pide:

- i) Linealizar el sistema en torno a ese estado estacionario
- ii) Determinar la función de transferencia de  $h$  con  $Fo$  ( en variables de desviación con respecto a ese estado estacionario)
- iii) Estimar, usando el teorema del valor final , la altura de equilibrio cuando  $Fo$  cambia en forma escalón desde 35 a 40.
- iv) Representar en forma cualitativa la forma de la respuesta con la debida fundamentación basada en los conceptos teóricos vistos en clases.

23:- El proceso de hemodiálisis consiste en retirar de la corriente sanguínea una serie de residuos metabólicos que son perjudiciales al organismo cuando se presentan en altas concentraciones. En forma artificial el proceso se realiza fundamentalmente poniendo en contacto el flujo sanguíneo con una membrana selectiva que deja difundir entre sus poros sólo a los contaminantes. Por la otra cara de la membrana una solución retira y elimina estos residuos.

Para efectos de modelación y simulación de estos sistemas se hace uso de consideraciones fenomenológicas y diversos supuestos.

Se solicita la síntesis de un modelo matemático para este proceso bajo las siguientes consideraciones:

- Considere solo una porción del sistema compuesta por un tubo de sección circular cuyas paredes están compuestas por la membrana selectiva.
- Tome en cuenta dos componentes en la fase sanguínea ( soluto = contaminante , solvente= liquido portador)
- La fase sanguínea fluye en régimen laminar y el flujo no se ve afectado por la transferencia de masa.
- La concentración de contaminante en la entrada es constante, y no existe perfil en sentido radial.
- El contaminante se transfiere por las paredes de la membrana y además desaparece por reacción homogénea de primer orden en la fase sanguínea.
- La transferencia de contaminante a través de la membrana es por difusión molecular, existiendo un coeficiente de difusión efectivo. Se considera que no hay acumulación de contaminante en la membrana, y que la resistencia a la transferencia de masa por el lado de la sangre es despreciable.
- Por el lado de la solución desorbente existe una resistencia convectiva a la transferencia de materia. En el seno de esta fase se realiza una reacción química muy rápida que reduce totalmente a los contaminantes.
- Propiedades constantes.

ii) En el caso que exista acumulación de contaminantes en la membrana, ¿ como sería el nuevo modelo ( explique ) ? .



24 .- La figura ilustra un proceso de destilación binaria en que las composiciones de destilado  $X_d$  y de fondo  $X_w$  son las variables de salida, mientras que las condiciones de alimentación al proceso ( $T_o$  y  $F_o$ ), el flujo de agua de refrigeración en el condensador  $W_f$ , el calor suministrado en el calefactor de alimentación  $Q$ , y el vapor vivo alimentado en el fondo  $V_o$ , son las variables externas al proceso. Las relaciones dinámicas entre cada una de estas están dadas por funciones de transferencia de **primer orden**, incluyendo a la temperatura de entrada a la columna  $T_i$ . La tabla siguiente entrega los parámetros de estas funciones.

F. T.	Variables	Ganancia, Kp	Cte de tiempo, $\tau$	Atraso, td
<b>G1</b>	<b><math>T_i-Q</math></b>	<b>0.075</b>	<b>10</b>	<b>0</b>
<b>G2</b>	<b><math>T_i-F_o</math></b>	<b>-10</b>	<b>2</b>	<b>0</b>
<b>G3</b>	<b><math>T_i-T_o</math></b>	<b>0.8</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>G4</b>	<b><math>X_d-T_i</math></b>	<b>0.004</b>	<b>15</b>	<b>5</b>
<b>G5</b>	<b><math>X_d-W_f</math></b>	<b>-0.25</b>	<b>22</b>	<b>3</b>
<b>G6</b>	<b><math>X_d-V_o</math></b>	<b>0.2</b>	<b>30</b>	<b>10</b>
<b>G7</b>	<b><math>X_w-T_i</math></b>	<b>0.002</b>	<b>20</b>	<b>15</b>
<b>G8</b>	<b><math>X_w-W_f</math></b>	<b>0.15</b>	<b>25</b>	<b>10</b>
<b>G9</b>	<b><math>X_w-V_o</math></b>	<b>0.3</b>	<b>28</b>	<b>4</b>

Determinar :

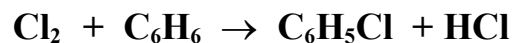
- Diagrama de bloques del sistema.
- Orden, los polos y los ceros del lazo  $X_w-T_o$ .
- Frente a un cambio escalón unitario simultáneo en  $Q$  y en  $F_o$ , explicar cual afecta más rápido a la temperatura de entrada  $T_i$ , y dibujar en forma aproximada la respuesta global para  $T_i$ .
- Si consideramos el siguiente estado estacionario:  $Q=1000$ ,  $F_o=2$ ,  $T_o=35$ ,  $W_f= 1$ ,  $V_o=0.4$ ,  $X_d= 0.94$ ,  $X_w= 0.05$ ,  $T_i=80$ . Determinar las composiciones de equilibrio cuando se realiza un escalón simultáneo en  $Q =1150$ ,  $V_o=0.5$  y  $W_f=1.2$ .

25 .- La figura ilustra un sistema de dos tanques interconectados. La resistencia al flujo entre los dos estanques es lineal, mientras que la del flujo de salida es proporcional a la raíz cuadrada de la altura en el estanque que recibe la alimentación. Las áreas

transversales de ambos estanques son iguales. Un estado estacionario a considerar es el punto  $F_0=5$  ( $m^3/s$ );  $h_2=4$  (m) . Asumir  $\alpha_1=1$

- Deducir la función de transferencia  $h_2-F_0$ .
- Sobre el resultado anterior , indicar el orden y forma de la respuesta.
- Determinar el % de error en la predicción de  $h_2$  de estado estacionario del modelo de función de transferencia con respecto al valor real, si se introduce un cambio escalón en el flujo de entrada  $F_0$  desde 5 a 8 ( $m^3/s$ ).

26 .- El clorobenceno se produce en un reactor batch burbujeando cloro puro sobre benceno líquido, según la siguiente reacción exotérmica.



Dentro del reactor el  $Cl_2$  forma burbujas esféricas de diámetro  $D_p$ , ocupando un 40% del volumen del reactor  $V$ , mientras que el 60% restante está ocupado por la fase líquida, manteniéndose esta proporción constante durante toda la reacción. La dinámica de la fase gaseosa es despreciable.

El paso de cloro gaseoso a la fase de reacción esta controlado por la transferencia de masa en la fase líquida. El coeficiente de T. de masa  $k_c$  puede considerarse constante, y la solubilidad del gas sigue una dependencia tipo Arrhenius con la temperatura de la solución  $T$ .

La reacción es exotérmica, homogénea y de primer orden con respecto a los reactivos. El calor de reacción puede considerarse constante, y la constante cinética con una dependencia tipo Arrhenius con la temperatura.

Con el fin de mejora la capacidad de extracción de calor, el líquido reaccionante es bombeado hacia un intercambiador de placas con un flujo  $F_r$ . El intercambiador de calor de flujo cruzado tiene un área de transferencia de calor  $A_p$  y un coeficiente global  $U$ . El

flujo del fluido refrigerante es tan grande que se puede considerar que la temperatura de este fluido permanece constante e igual a  $T_r$ . También se puede despreciar la dinámica de enfriamiento de la mezcla reaccionante en este intercambiador.

Deducir un modelo matemático para este proceso, indicando todas las suposiciones realizadas.

27 .- En la Figura N° 1 se ilustra un proceso de calentamiento de un fluido de propiedades constantes para ingresarlo a un proceso. El calentamiento se realiza en un estanque de 2 m<sup>2</sup> de sección transversal y el calor es suministrado por un serpentín de vapor cuya temperatura se mantiene constante a 100 °C. El fluido entra a una temperatura de 25°C . La salida de la corriente caliente está regulada por una válvula que presenta un flujo másico proporcional a la carga hidrostática. Además, el coeficiente global de transferencia de calor entre el fluido y el serpentín (UA) varía linealmente con la altura de líquido en el estanque.

Cuando al proceso ingresa un flujo de 30 Kg/seg., se registra una altura estacionaria de 3m y una temperatura de 50°C.

Se pide determinar:

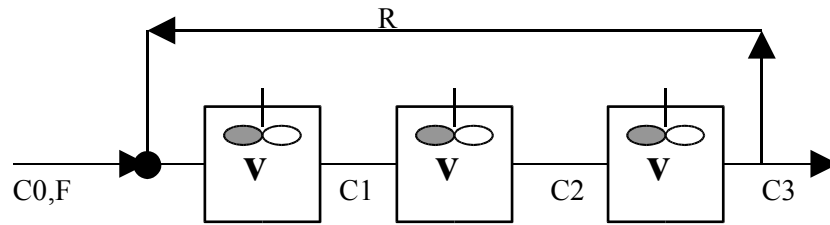
- Modelo dinámico del proceso.
- Encontrar las funciones de transferencia que relacionan la altura y la temperatura en el interior de estanque como función del flujo másico de entrada  $W_i$  (única variable externa que puede variar).
- Determinar el orden y forma de la respuesta del lazo  $T-W_i$  .(fundamente)
- % de variación en la predicción de la temperatura de estado estacionario del modelo de función de transferencia con respecto al proceso real cuando el flujo cambia desde 30 a 50 Kg/seg.

PROPIEDADES : Densidad = 0,8(gr/cc) ;  $C_p = 1$ (Kcal/Kg °C)

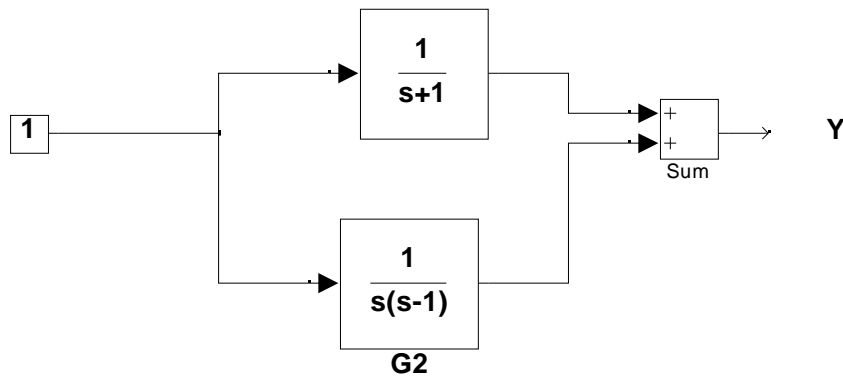
28.- En referencia a la Figura N° 2, los tres estanques tienen el mismo volumen  $V$  y no existe reacción química. Tanto  $F$  y  $R$  son flujos volumétricos constantes.

- Determinar la función de transferencia que relaciona  $C_o$  con  $C_3$  .

- Usando el Teorema del valor final desarrollar una expresión para  $C_3$  de estado estacionario.



29.- En base al diagrama que se adjunta, determinar los polos, ceros, y estabilidad del sistema.



30 .- El proceso de secado en un lecho fluidizado continuo se puede modelar suponiendo un sistema con mezclado perfecto.

Las principales variables que afectan la humedad de salida  $X$  son la humedad de entrada  $X_0$  y la temperatura del lecho  $T_s$  . Suponiendo que el flujo de sólido seco  $L_s$  (kg/s) y la masa de solido seco en el lecho  $M_s$  se mantienen constantes, un modelo para la variación de la humedad de salida es:

$$M_s * \frac{dX}{dt} = L_s * (X_0 - X) - M_s * N$$

$$N = X_0 * \exp(-\alpha * T_s^{1.5} * \theta)$$

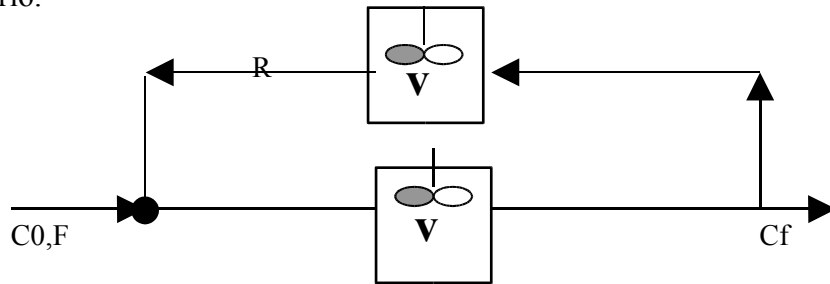
Con  $\theta$  el tiempo de retención ( $L_s/M_s$ )

- iv) Se pide obtener un modelo de Función de Transferencia para la humedad de salida  $X$  como función de  $T_s$  y  $X_o$ . Suponga un estado estacionario dado por :  $X_o^* = 1$ ;  $T_s^* = 120\text{ }^\circ\text{C}$  y  $X^*=0,2$  . El tiempo de retención  $\theta$  es constante e igual a 1 minuto.
- v) Si la humedad de entrada y la  $T$  del lecho cambian a 0.8 y  $110\text{ }^\circ\text{C}$  simultáneamente, determinar el % de error del modelo de FT con respecto al del modelo sin linealizar.

**Nota  $T_s$  en  $^\circ\text{K}$**

31.- En referencia a la Figura N° 1, los dos estanques tienen el mismo volumen  $V$  y existe reacción química irreversible de 1° orden . Tanto  $F$  y  $R$  son flujos volumétricos constantes.

- Determinar la función de transferencia que relaciona  $C_o$  con  $C_f$ .
- Usando el Teorema del valor final desarrollar una expresión para  $C_f$  de estado estacionario.



32.- Un sistema multivariable compuesto por dos procesos puede ser expresado por medio de funciones de transferencia lineales según:

$$\begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G1 & G2 & 0 \\ 0 & G3 & G4 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u1 \\ u2 \\ u3 \end{bmatrix} \quad [Y] = [G5 \quad G6] * \begin{bmatrix} X1 \\ X2 \end{bmatrix}$$

Las funciones de transferencia son :

$$G1 = \frac{1 e^{-3s}}{2S + 1} \quad G2 = \frac{S-3}{S + 4} \quad G3 = \frac{2 e^{-3s}}{S + 3}$$

$$G4 = \frac{1}{S+3} \qquad G5 = \frac{2}{S+2} \qquad G6 = \frac{1}{S^2+1}$$

- xiii) Determinar diagrama de bloques del proceso.
- xiv) Usando el teorema del valor final encontrar el valor de Y de estado estacionario cuando u2 cambia en un escalón unitario.
- xv) Orden y forma de la respuesta del lazo **Y-u1**.
- xvi) Polos Zeros y estabilidad del lazo **Y – u3**

33 .- En un proceso de evaporación simple efecto, la temperatura de la cámara es función de la presión en el compresor de gases y del flujo de alimentación de salmuera. . Con la finalidad de determinar las funciones de transferencia, se realiza un experimento dinámico en donde se alteran ambas variables con cambios escalón . El estado estacionario nominal está dado por W= 10 m3/h , P= 30 psi y 80°C. A tiempo cero, la presión del compresor se eleva en un 10%, manteniéndose constante el flujo de salmuera. La respuesta en la T de la cámara resulta ser de 2° orden sub-amortiguada estabilizándose la temperatura en 87 °C. La máxima temperatura alcanzada fue de 90 °C y el tiempo entre los picks de temperatura fue de 1 minuto.

Finalizado el experimento se vuelve al estado estacionario original para hacer un cambio escalón de -20% en el flujo de salmuera, aumentando la temperatura hasta 85°C en una respuesta tipo primer orden sin atraso. En el transiente, el 50% de la respuesta final de la temperatura se alcanza en 5 minutos.

- Con estos antecedentes se pide determinar las funciones de transferencia de la temperatura de la cámara con la presión del compresor y el flujo de salmuera .
- Encontrar los polos de cada una de las funciones de transferencia.

34 .- La figura esquematiza un estanque separador de dos fluidos inmiscibles, un líquido y un gas. El estanque tiene una altura total  $H$  y área transversal  $A$ . Los fluidos tienen propiedades constantes y el gas obedece a la ley de los gases ideales. El flujo másico de salida del líquido varía linealmente con la diferencia de presión en la válvula que tiene un coeficiente de resistencia  $\alpha$ . El flujo de salida del gas es proporcional a la raíz cuadrada de la caída de presión en la válvula de gas con un coeficiente de resistencia  $\beta$ . Ambos fluidos descargan a presión atmosférica  $P_0$

- iii) Deducir el modelo matemático que describa la altura del líquido  $h$  y la presión del casquete de gas en el estanque  $P$ .
- iv) Encontrar las funciones de transferencia de  $h$  y  $P$  considerando a  $F$  y  $G$  como variables manipuladas.

35 .- El proceso de extracción de un soluto valioso presente en un sólido mediante transferencia con un solvente adecuado es una de las operaciones más tradicionales en la industria de procesos. Suponga la extracción de una esencia  $A$  desde un lecho de volumen  $V$  de semillas con porosidad  $\varepsilon$  y superficie específica  $a_p$  mediante un solvente líquido que percola en circuito cerrado con un flujo volumétrico  $L$

La concentración de la esencia en el seno del líquido es  $C_l$  y en el seno de la fase sólida es  $C_s$ . Se asume que hay resistencia a la transferencia de masa en las dos fases con coeficientes  $K_l$  en la fase líquida y  $K_s = (D/\phi)$  en la fase sólida (unidades consistentes). El equilibrio entre las fases puede ser representada por un coeficiente lineal según :

$$C_{s(i)} = H * C_{l(i)}$$

Donde el (i) denota condiciones de equilibrio.

Para efectos de modelación se puede suponer que la extracción es a temperatura constante, y el lecho se puede dividir en “n” volúmenes iguales totalmente mezclados en ambas fases. Además, se pueden despreciar los efectos difusionales y de dispersión en todos los sentidos.

Para contabilizar la desnaturalización térmica de la esencia, se puede asumir que esta se descompone con una cinética homogénea de primer orden con respecto a la concentración de esencia en la fase líquida.

Con esta descripción formule un modelo matemático para este proceso capaz de describir la evolución de la concentración de esencia extraída  $C_{l_n}$  con el tiempo. Indique todas las suposiciones realizadas.