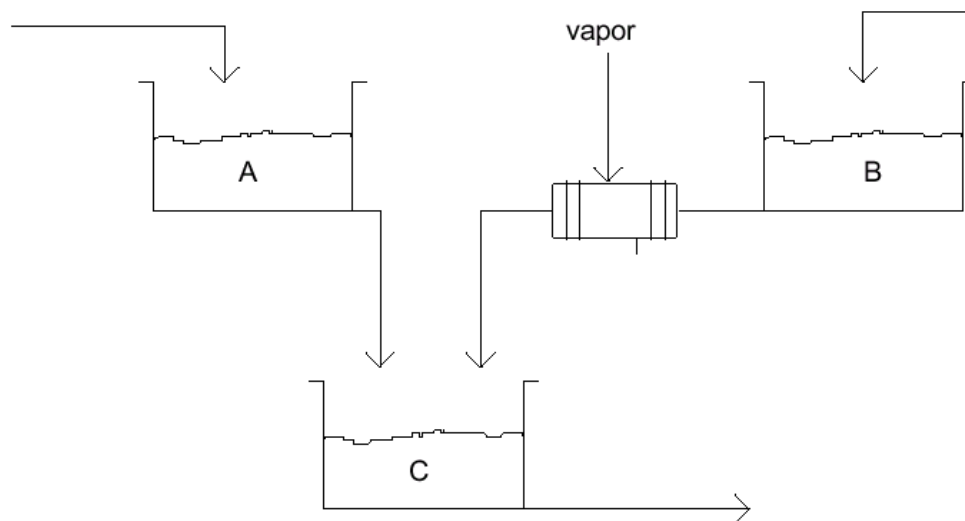


## PROBLEMAS DE CONTROL AUTOMATICO II

### Problema 1

En el sistema de la figura pueden verse dos depósitos de almacenamiento, A y B, a los que llega un líquido proveniente de ciertas fuentes de suministro. La salida del depósito B pasa por un recalentador alimentado con vapor de calefacción y vierte en el depósito C donde también vierte la salida del depósito A. Los líquidos deben mezclarse en cierta proporción. La mezcla de ambos en el depósito agitado C se envía a otro proceso que impone el consumo de determinadas cantidades variables con el tiempo. Dicha mezcla, además, debe enviarse a temperatura constante mantenida con precisión a pesar de posibles perturbaciones. Se supone que el líquido que llega a B y A lo hace a temperatura sensiblemente constante, por el contrario, la presión de suministro de vapor de calefacción sufre cambios notables.



Se pide:

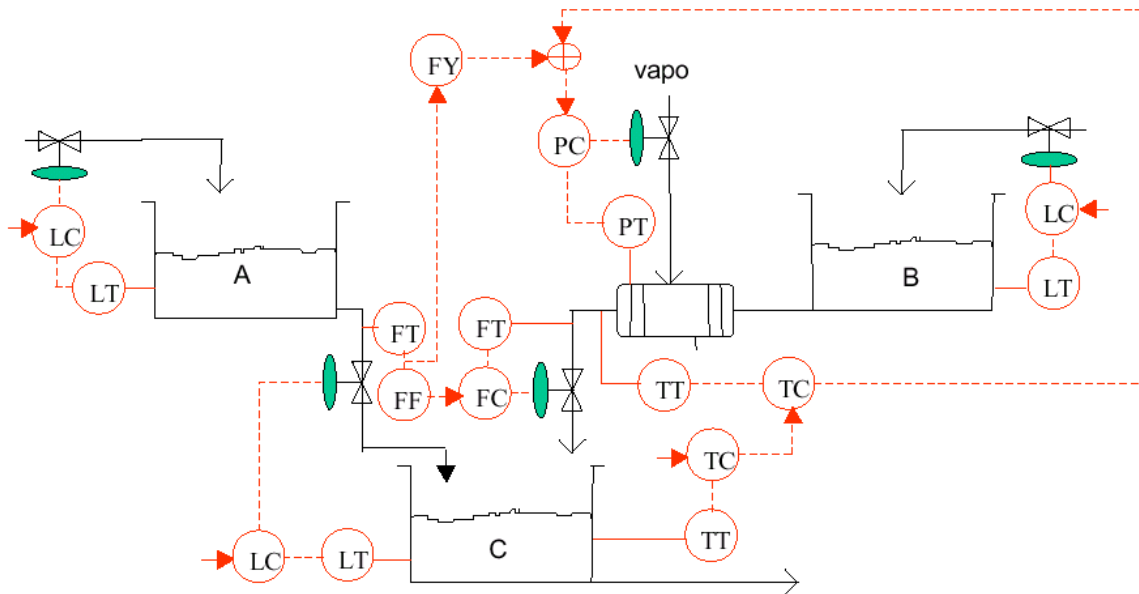
- 1) diseñar un sistema de regulación que cumpla los objetivos propuestos, colocando los transmisores, actuadores y controladores necesarios.
- 2) justificar el diseño realizado explicando los objetivos del mismo y su funcionamiento.

### Solución:

Se necesita implementar un sistema de control que cubra varios objetivos:

- Mantener el nivel de los depósitos para evitar desbordamientos o situaciones de falta de algún fluido para la mezcla
- Mantener una proporción entre los flujos de A y B que se vierten en C
- Mantener la temperatura en C a pesar de las perturbaciones de la presión de vapor y de los cambios de caudales entrantes

Para ello se ha diseñado la estructura de la figura:



Como el caudal de salida de C está predeterminado, los controles de nivel LC en los tres depósitos deben implementarse hacia atrás, manipulando la entrada a los depósitos. Podrían diseñarse cascadas nivel-caudal, pero el nivel no es crítico y no parece necesario, por tanto. Para mantener la proporción entre los caudales de entrada al depósito C, y teniendo en cuenta que el caudal de salida de A lo determina el regulador de nivel de C, se mide dicho caudal y se implementa un control ratio FF sobre el caudal de salida de B. Para mantener la temperatura de C con precisión hay una cascada de reguladores de temperatura: el regulador de temperatura de C fija la consigna del regulador de temperatura de la corriente B, la única que puede alterarse. Dado que las corrientes A y B entran en una cierta relación, esta parece ser una buena política, siendo importante poder mantener la temperatura de B según se necesite. Para ello, se implementa una cascada adicional con un regulador de presión de la cámara de calefacción del cambiador para absorber los cambios de presión de vapor y un feedforward con los cambios de caudal para adelantarse a corregir su efecto.

## Problema 2

En la Fig. 1 se puede ver un proceso al que entra una corriente manipulable A y otra corriente no manipulable B. La corriente A puede regularse por medio de un sistema de control de flujo tal como se aprecia en la figura. Cuando se aumenta en 2 l/min la consigna  $z$  del regulador de flujo de A, partiendo de un cierto estado estacionario de todo el sistema, la respuesta que se obtiene en la densidad  $\rho$  del producto de salida puede verse en la Fig. 2. En esta figura, las unidades del eje de tiempos son minutos y las de densidad Kg/l y esta última se mide con un transmisor calibrado en el rango 0.5-3 kg/l para dar una señal de 4-20 mA. Del mismo modo el transmisor de flujo de A está calibrado en el rango 0- 20 l/min.

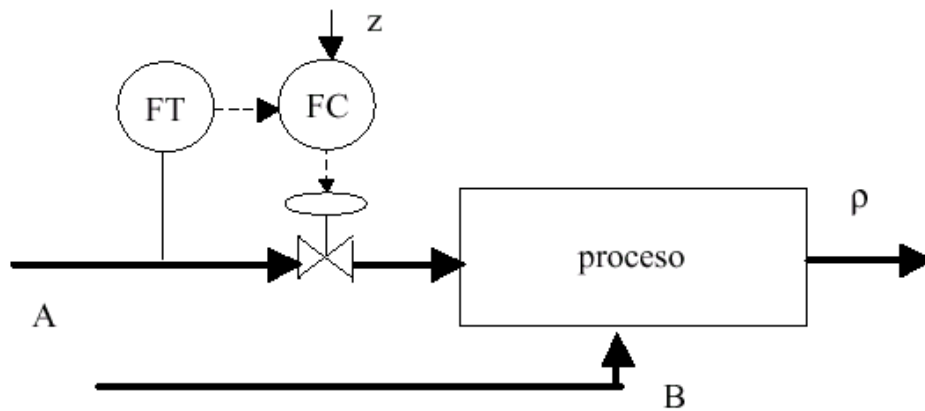
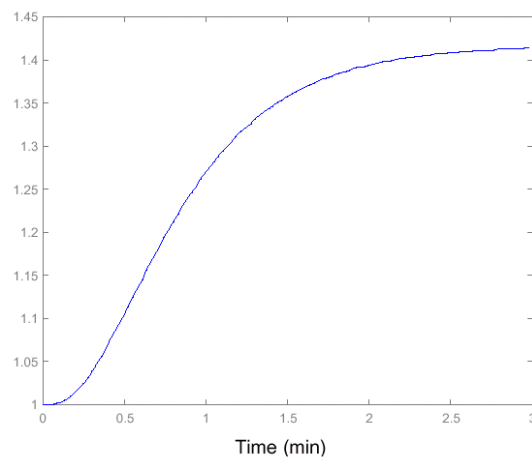


Fig. 1

Se pide:

- 1) Estimar un modelo matemático dinámico que relacione los cambios de consigna de caudal de producto A con los cambios en la densidad de salida del producto en esa zona de trabajo.
- 2) Proponer un sistema de control de densidad y dibujar un esquema del mismo utilizando nomenclatura ISA. Diseñar el regulador de densidad más sencillo que no presente error estacionario frente a cambios escalón en la referencia y que minimice las desviaciones de la densidad sobre el valor de referencia cuando B experimenta cambios.



## Solución

1) A la vista del enunciado del problema, debemos obtener el modelo matemático pedido a partir de la curva de respuesta de la Fig.2. Dado que se trata de un proceso sobreamortiguado, podemos intentar aproximar la respuesta por la de un sistema de primer orden con retardo:

$$\frac{Ke^{-ds}}{\tau s + 1}$$

Para estimar este modelo, la ganancia se calcula del modo habitual, mediante el cociente entre el cambio en la salida en estado estacionario y el cambio en la entrada.

Con referencia a la Fig. 3 se tiene:

$$K = \frac{1.417 - 1}{2} = 0.21 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

Para determinar la constante de tiempo y el retardo podemos seguir varios métodos, el mas común se basa en dibujar la recta tangente a la curva de respuesta de mayor pendiente, determinando luego los puntos de corte de la misma con paralelas en los puntos de inicio y final . El resultado puede verse en la figura:

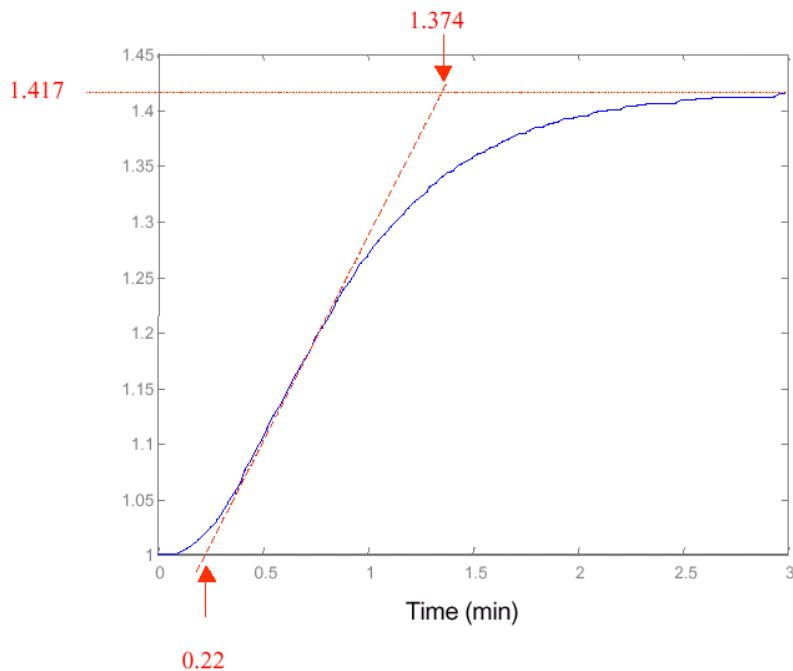


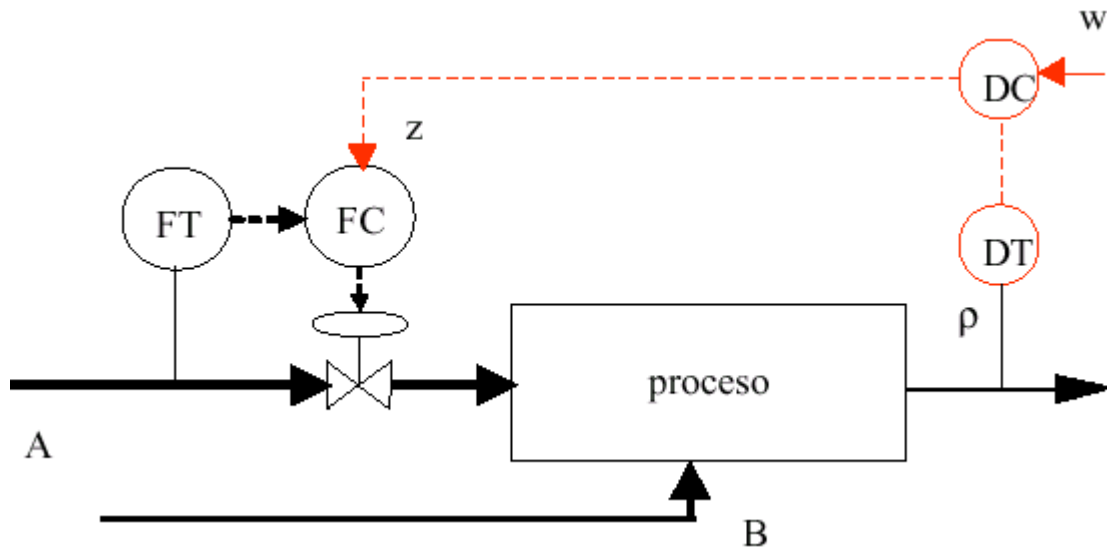
Fig.3

De donde se deduce:

$d = 0.22$  sg.  $\tau = 1.374 - 0.22 = 1.15$  sg. y el modelo estimado es:

$$\rho(s) = \frac{1.88e^{-0.22s}}{1.15s + 1} z(s)$$

2) Un esquema de un sistema de control de densidad puede verse en la Fig.4. Incorpora un transmisor de densidad y un regulador que actúa en cascada sobre la referencia de caudal de

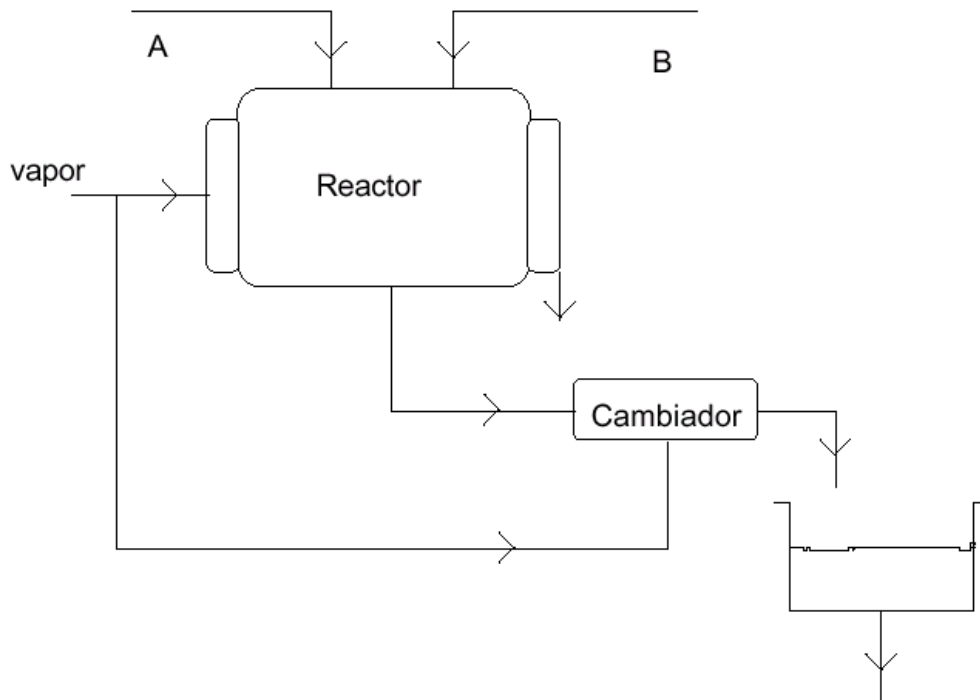


Dado que el proceso no presenta integradores en su respuesta frente a  $z$ , el regulador más sencillo que puede eliminar errores estacionarios frente a cambios de consigna es un PI. De acuerdo a las especificaciones pedidas, podemos utilizar las Tablas de Ziegler -Nichols para respuesta en lazo abierto. ( Completar )

### Problema 3

En la figura se representa un reactor químico endotérmico en el que dos productos A y B reaccionan a una cierta temperatura para formar el producto C, el cual, tras calentarse en el intercambiador de calor, se almacena transitoriamente en un depósito. El líquido sale por rebose de la cámara de reacción por lo que siempre está llena de productos, mientras que la cámara de calefacción recibe un vapor cuya presión experimenta fuertes cambios y sale como condensado. El caudal del producto B no es manipulable.

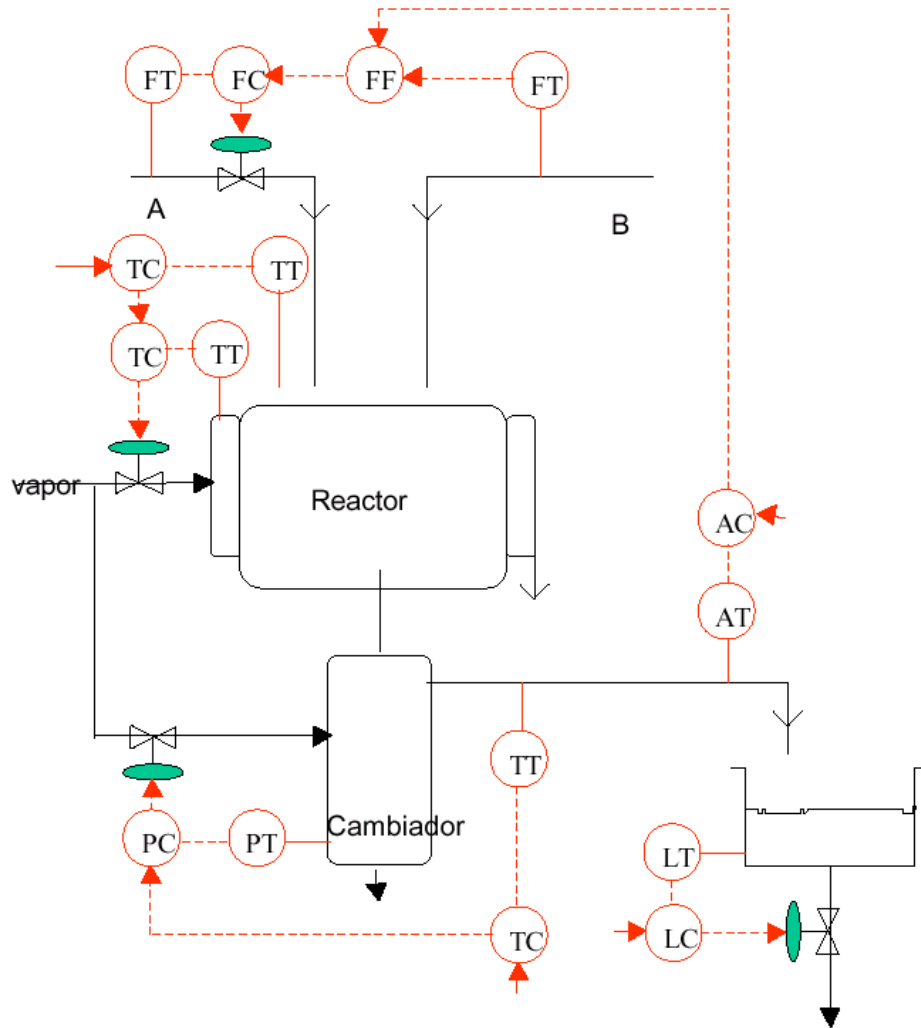
Diseñar un sistema de control tal que sea capaz de mantener con precisión la temperatura final del producto C, así como su concentración. Colocar la instrumentación, transmisores y actuadores, necesarios y explicar su funcionamiento.



Los objetivos que deben cubrirse son:

- Mantener en el nivel en el depósito, como debe hacerse en todos ellos.
- Dado que se trata de una reacción química, mantener las proporciones en la entrada de productos al reactor.
- Mantener la temperatura del reactor exotérmico para asegurar una adecuada operación a pesar de los cambios en la presión del vapor de calefacción
- Mantener la temperatura requerida en el producto C
- Mantener la concentración del producto C

Solución:



Para ello se ha diseñado un esquema de control como el de la figura. Dado que el caudal del producto B no es manipulable, implementaremos el control de proporciones de productos: A y B como un ratio-control sobre B, manejando el caudal de A.

Esto hace que el caudal de salida del reactor venga impuesto, y la única alternativa para instalar el control de nivel del depósito es actuando sobre su salida.

El control de temperatura del reactor se implementa como una cascada con un lazo interno de control de temperatura de la camisa, a fin de absorber mas rápidamente en este último las variaciones de presión de vapor de suministro.

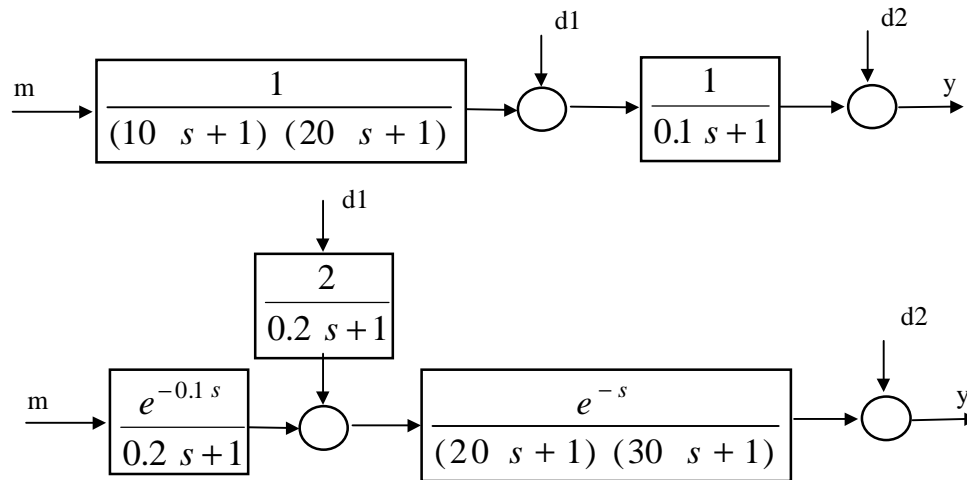
El control de temperatura de C tras el cambiador se implementa también como otra cascada cuyo lazo interno es uno de presión de vapor por la misma razón.

El control de composición de C se realiza utilizando un analizador para su medida y actuando sobre la proporción de ambos productos, que puede de este modo corregirse si la composición de C no es la adecuada.

Nótese que tanto la temperatura como la composición de C podrían medirse en el depósito, esto incluiría en el lazo de control las posibles perturbaciones que se produjeran en el mismo y actuaría como un filtro para cambios rápidos, aunque también introduciría un elemento mas lento que haría menos ágil la respuesta del sistema.

## EJERCICIOS

1. Las dos figuras siguientes muestran los diagramas de bloques de dos procesos dinámicos.
  - a) ¿Cual de los dos procesos podría ser controlado por un **regulador en cascada** con el fin de mejorar su comportamiento en lazo cerrado ante una perturbación  $d1$ ? ¿Por qué?
  - b) Dibujar el diagrama de bloques del sistema para el proceso seleccionado en el apartado anterior.
  - c) Suponiendo que los dos controladores del sistema en cascada son proporcionales, seleccionar razonadamente sus ganancias para obtener una buena respuesta ante la perturbación  $d1$ , sin afectar a la estabilidad.



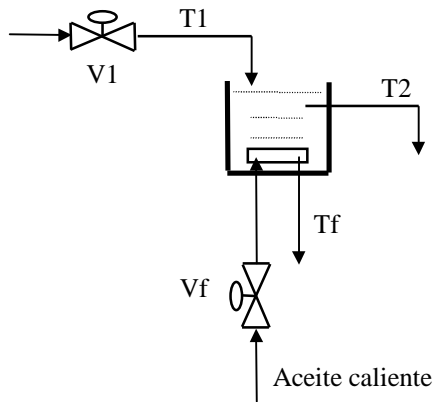
2. Las siguientes funciones de transferencia explican el comportamiento de una columna de destilación:

$$\frac{x_D}{F} = \frac{10 e^{-10s}}{10s+1} \quad \frac{x_D}{x_F} = \frac{25 e^{-5s}}{5s+1} \quad \frac{x_D}{R} = \frac{5 e^{-td}}{\tau s+1}$$

donde  $F$  y  $x_F$  son el flujo y la composición de la alimentación (las dos perturbaciones principales);  $x_D$  es la composición del producto final de destilación (variable de control), y  $R$  es el reflujo (variable manipulable).

- a) Diseñar un **controlador feedforward** tal que rechace las perturbaciones introducidas por el flujo y la composición de la alimentación.
  - b) ¿Qué valores de  $td$  y  $\tau$  hacen que los controladores feedforward sean realizables (es decir, no tengan valores futuros de la perturbación en la expresión del controlador)?
3. Uno de los métodos de autosintonizado utilizados en el ajuste de parámetros por los controladores comerciales es el **Método del Relé**. Explicar su funcionamiento, razonar su analogía con los métodos de Ziegler-Nichols, y enunciar sus ventajas.

4. El sistema de la figura tiene las siguientes funciones de transferencia :



$$\frac{T2(s)}{T1(s)} = \frac{0.4 e^{-1.8 s}}{3.5 s + 1}$$

$$\frac{T2(s)}{Tf(s)} = \frac{0.1 e^{-1.8 s}}{4.2 s + 1}$$

$$\frac{Tf(s)}{vf(s)} = \frac{0.5}{0.01 s + 1}$$

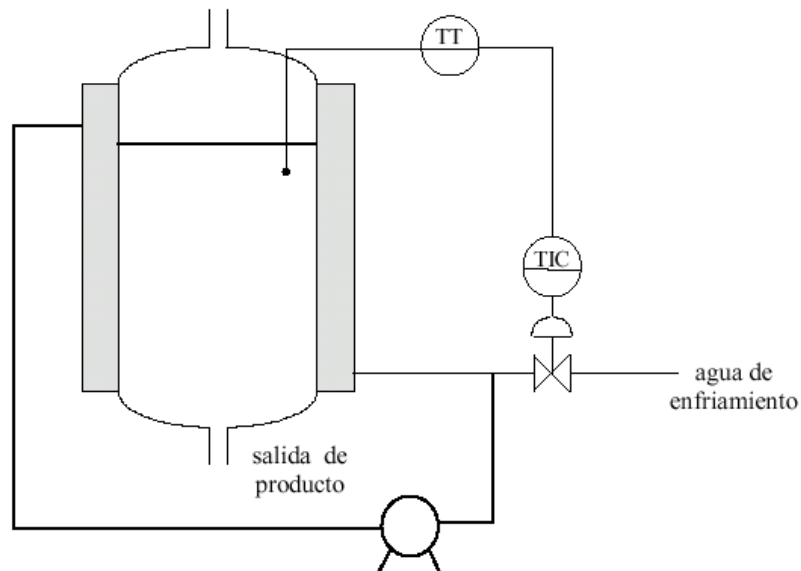
Donde T1, T2 y Tf son las variables sensorizadas, T2 la variable de control, V1 y Vf las variables manipulables, y T1 la posible perturbación.

Se pide diseñar un controlador Feedback-Feedforward-Cascada y ajustar sus parámetros para que el error en el estado estacionario sea menor del 10%.

5. Explicar brevemente el *efecto* que producen sobre el PID los siguientes fenómenos y proponer esquemáticamente una *solución* adecuada.

- Ruido en la medida.
- Saturación de los actuadores.
- Cambio brusco de la señal de referencia.
- Presencia de Tiempo muerto de retardo en el proceso a controlar.

6. Considere el reactor exotérmico. En el diagrama se ilustra el control de la temperatura del reactor mediante la manipulación de la válvula de agua de enfriamiento.



a. Se debe diseñar el esquema para controlar la entrada de reactivos al reactor. Tanto el flujo de B como el flujo de A se pueden medir y controlar, la razón que se requiere entre estos flujos es de  $(2.5 \text{ GPM de B})/(\text{GPM de A})$ . El rango del flujómetro de A está entre 0 y 40 GPM, y el de B entre 0 y 200 GPM. Indicar la graduación de la instrumentación necesaria.

b. De la experiencia de operación se sabe que la temperatura del agua de enfriamiento tiene algunas variaciones. Generalmente, ésta perturbación da por resultado un reciclaje en la temperatura del reactor, debido a los retardos en el sistema, es decir, el casquillo de enfriamiento, la pared de metal y el volumen del reactor. El ingeniero a cargo de ésta unidad se pregunta si con algún otro esquema de control, se puede mejorar el control de temperatura.