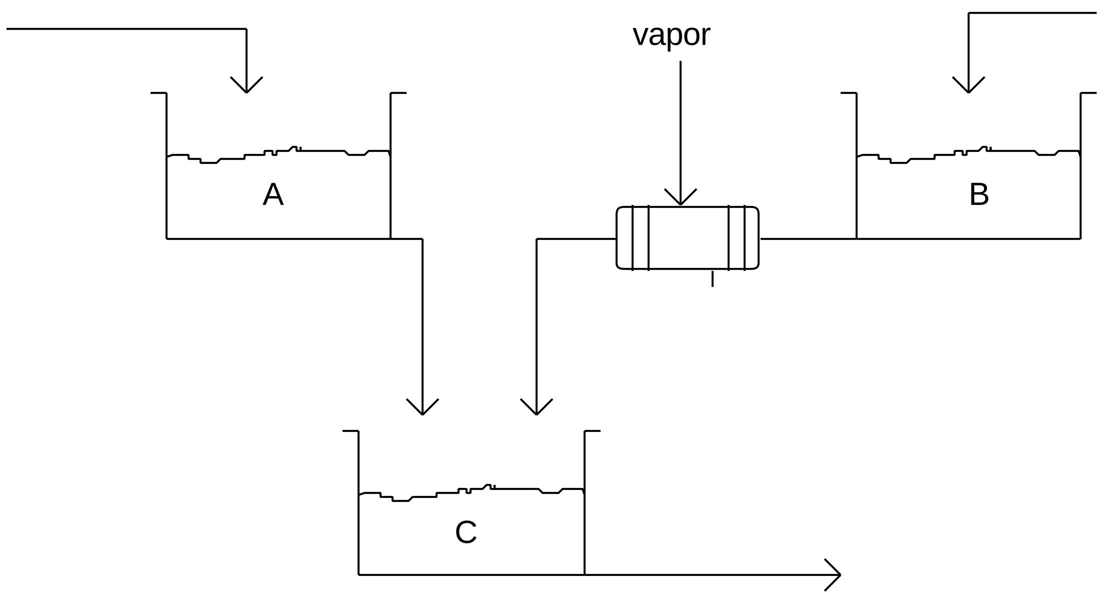
Problemas de la Asignatura "Control e Instrumentación de Procesos Químicos"
4º curso de Ingeniería Química

Problema 1

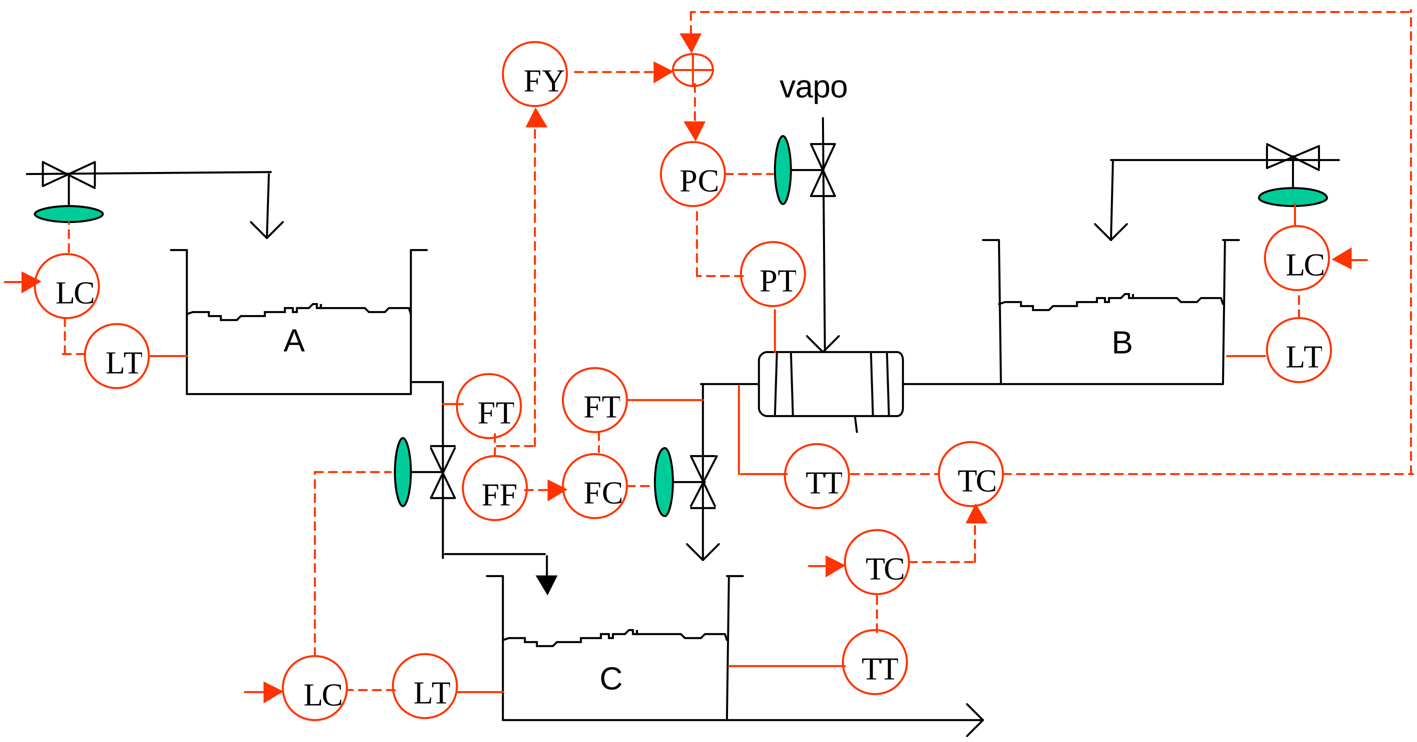
En el sistema de la figura pueden verse dos depósitos de almacenamiento, A y B, a los que llega un líquido proveniente de ciertas fuentes de suministro. La salida del depósito B pasa por un recalentador alimentado con vapor de calefacción y vierte en el depósito C donde también vierte la salida del depósito 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:



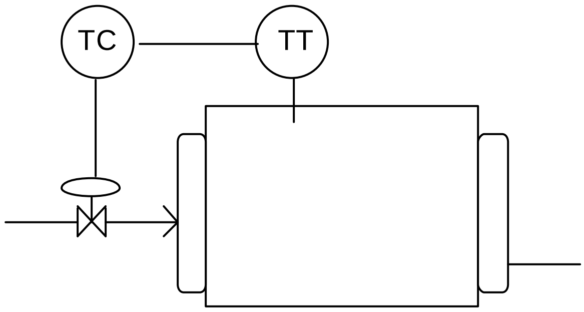
Como el caudal de salida de C está predeterminado, los controles de nivel LC en los tres depósitos deben implementarse hacia atrás, manipulando la entrada a los depósitos. Podrían diseñarse cascadas nivel-caudal, pero el nivel no es crítico y no parece necesario, por tanto.

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.

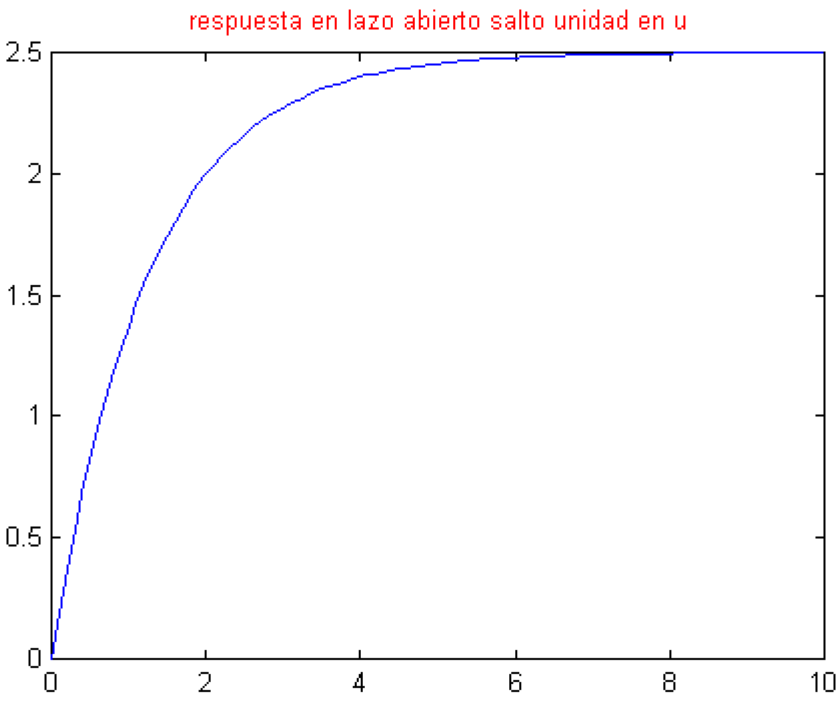
Para mantener la temperatura de C con precisión hay una cascada de reguladores de temperatura: el regulador de temperatura de C fija la consigna del regulador de temperatura de la corriente B, la única que puede alterarse. Dado que las corrientes A y B entran en una cierta relación, esta parece ser una 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 absorver los cambios de presión de vapor y un feedforward con los cambios de caudal para adelantarse a corregir su efecto.

Problema 2

Se desea realizar un sistema de control de temperatura de un cierto reactor químico exotérmico, utilizando como actuador una válvula de regulación de refrigerante, tal como se ve en la figura.



En un ensayo en lazo abierto se ha medido la respuesta temporal de la temperatura en ºC cuando la señal de control a la válvula variaba en -20%, resultando ser la de la figura con la escala temporal en minutos.



Se pide:

1) Diseñar un regulador que no presente error estacionario frente a cambios en escalón en la referencia, que no presente sobrepico ante los mismos y que se estabilice en un tiempo no superior a 3 minutos. Justificar el diseño realizado.

2) Si la referencia del regulador varia en rampa de pendiente 5 ºC /min. ¿Presentará el sistema error estacionario?. En caso afirmativo calcularlo.

3) Dibujar el lugar de las raíces correspondiente a variaciones de la ganancia del regulador y comentarlo.

Solución:

1) El sistema, dada la forma de su respuesta escalón, puede aproximarse por un sistema de primer orden sin retardo, ya que es una respuesta estable sin inflexión en la respuesta ni sobrepico.

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1}$$

De acuerdo a los criterios de diseño, y teniendo en cuenta el tipo de modelo del proceso, podemos escoger el método de sintonía denominado λ-tuning en el cual el criterio de diseño es obtener un sistema que en lazo cerrado tenga una respuesta similar a la de la función de transferencia:

$$\frac{1}{\lambda s + 1}$$

la cual es sobreamortiguada. En nuestro caso, si se desea que el sistema en lazo cerrado se estabilice en menos de 3 minutos, basta que la constante de tiempo λ cumpla con la relación $4\lambda=3$ de modo que podemos escoger λ = 0.75 min.

El regulador, puesto que un sistema de primer orden como el de este proceso no tiene integradores, deberá ser de tipo PI o PID. La tabla de sintonía de Rivera- Morari para un PI mejorado proporciona los valores de los parámetros del regulador según:

$$K_p = \frac{2\tau + d}{2K\lambda} \qquad\qquad T_i = \tau + \frac{d}{2}$$

Donde K es la ganancia, τ la constante de tiempo y d el retardo de un modelo de primer orden con retardo que pueda representar al proceso en lazo abierto. En nuestro caso d=0, de modo que se cumple la condición de validez de uso de la tabla:

$$\frac{\lambda}{d} > 1.7$$

El modelo de primer orden puede obtenerse de forma gráfica como puede verse en la figura. La ganancia es el cambio de la salida dividido por el cambio de la entrada:

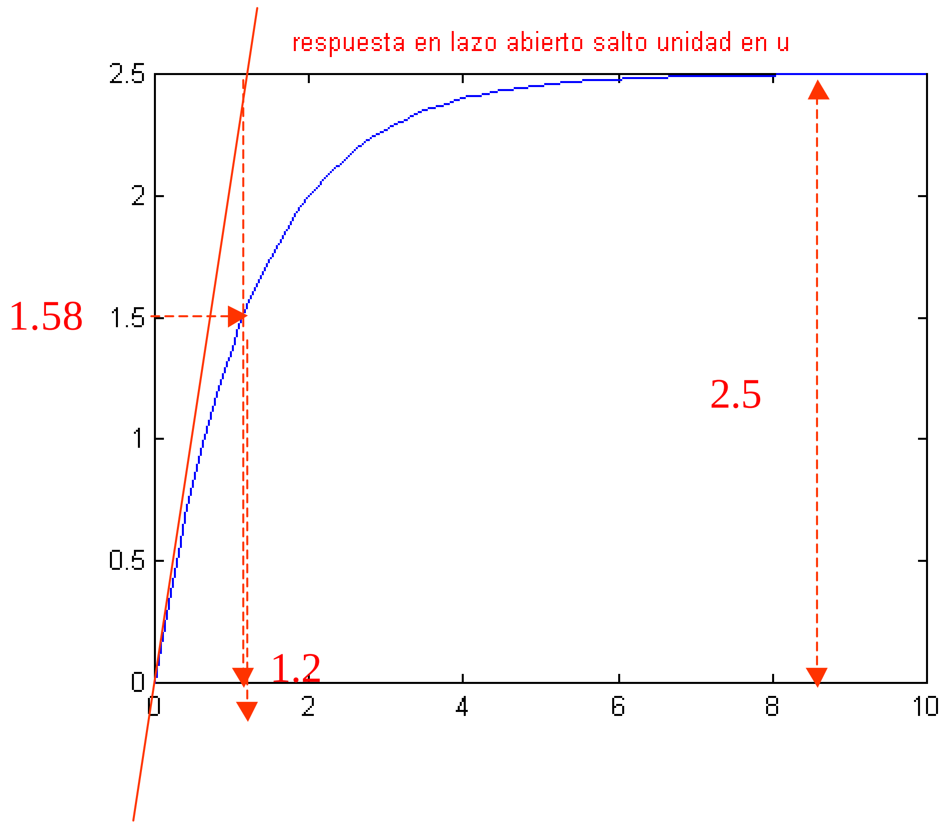
$$K = \frac{2.5}{-20} = -0.125\frac{^{o}C}{\%}$$

y la constante de tiempo puede calcularse, bien mediante el método de la máxima pendiente, bien buscando en instante de tiempo en el que se alcanza el 63.2% del cambio final. Ambos métodos dan valores muy parecidos τ = 1.2 min., de modo que:

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} = \frac{-0.125}{1.2s + 1}$$

y los parámetros del regulador resultan:

K_p = -1.2/(0.75   0.125) = -12.8 % / ºC T_i = 1.2 min



2) El error estacionario ante cambios en la referencia viene dado por:

$$E(s) = \frac{1}{1 + G(s)R(s)} W(s)$$

Donde R(s) es la función de transferencia del regulador:

$$R(s) = K_p\left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) = K_p\left(\frac{T_i s + 1}{T_i s}\right) = -12.8\frac{1.2s + 1}{1.2s}$$

de modo que:

$$E(s) = \frac{1}{1+G(s)R(s)} W(s)$$

$$= \frac{1}{1+\frac{(-0.125)}{1.2s+1}\frac{(-12.8)(1.2s+1)}{1.2s}} \frac{5}{s^2}$$

$$e_{ss} = \lim_{s \to 0} sE(s) = \frac{5}{1+1.33} = 2.14$$

y el sistema presentará un error estacionario de 2.14 ºC

3) El lugar de las raíces es un diagrama de las soluciones de la ecuación:

$$1 + K_p G(s)R(s) = 0$$

En nuestro caso:

$$1+G(s)R(s) = 1+\frac{(-0.125)}{1.2s+1}\frac{K_p(1.2s+1)}{1.2s} = 1-\frac{0.1042K_p}{s} = 0$$

$$s = 0.1042K_p$$

y el diagrama es: