Pauta de corrección de 2° Control de Cátedra: IQ57A “Dinámica y Control de Procesos”

28 de Octubre de 2004

1.- La modelación de un tanque calefaccionado, de acuerdo a la nomenclatura de la figura 1 (h será la altura de agua, constante), resultó en el modelo entrada salida:

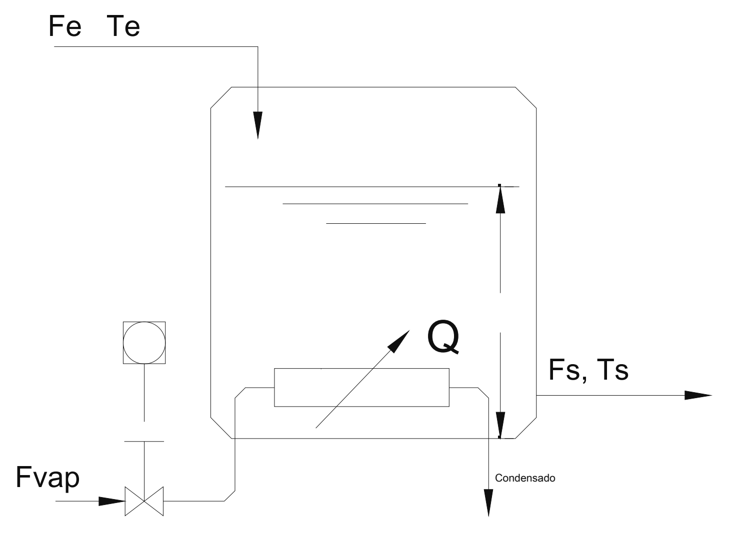


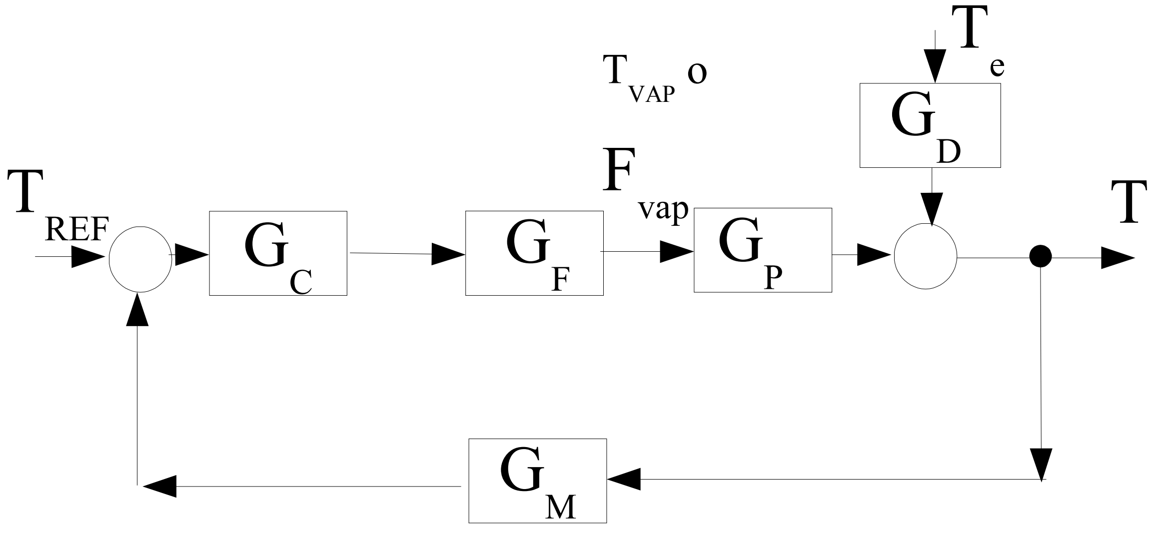
Figura 1 DFP de un TK Calefaccionado en flujo continuo

$$\bar{T}'(s) = \frac{1/\tau}{s+a}\bar{T}_e'(s) + \frac{K}{s+a}\bar{T}_{vap}'(s)$$ donde los coeficientes fueron:

$$a = \frac{1}{\tau} + K\,; \quad \frac{1}{\tau} = \frac{F_e}{V}\,; \quad K = \frac{UA_t}{V\rho c_P}$$

y donde A_t representa el area de transferencia.

a) Dibuje el diagrama de lazo cerrado.



b) Proponga un objetivo de control (justifique).

Se deberá regular la temperatura del líquido (que es la variable de salida del modelo) modulando la posición de la válvula de vapor (porque es el actuador indicado en la figura 1). Este tipo de tanques se usa para asegurar una temperatura para una reacción o para proveer un servicio; en ambos casos es poco probable que se cambie la referencia, de modo que el objetivo de control será la inmunidad a las perturbaciones.

c) Decida que tipo de control debe usar para su objetivo de control.

Los procesos de transferencia de calor asociados a un área de transferencia en la que condesa vapor son más rápidos que aquellos asociados al equilibrio térmico de dos líquidos (como es el caso de enfriamiento), pero son aún lentos. Así, un control "PI" tendería a hacer la respuesta más lenta, de modo que se deberá recurrir a un control "PID" si se desea una respuesta rápida. La celeridad de la respuesta, en todo caso, se definirá en comparación con la celeridad con que puede cambiar, por ejemplo, la perturbación $T_e(t)$.

En este caso, se propone adoptar un control "P" a fin de conservar una cierta velocidad de respuesta sin aumentar excesivamente la complejidad del controlador. Posteriormente se podrá agregar "PID" si la presencia del offset se hace importante, por ejemplo, si el sistema enfrenta grandes y rápidos cambios en la perturbación (que no están descritas en el enunciado).

d) Encuentre la función de transferencia del lazo cerrado.

Adoptando la hipótesis de actuador final y medidor ideales:

$$G_{LC}=\frac{K_C\frac{1/\tau}{s+a}}{1+K_C\frac{1/\tau}{s+a}}T_{REF}+\frac{\frac{K}{s+a}}{1+K_C\frac{1/\tau}{s+a}}T_e$$

e) Encuentre la respuesta a tiempo infinito para un cambio en referencia y en perturbación.

Mediante el teorema del valor final, frente a un cambio en la referencia:

$$\lim_{t\to\infty} T(t)=\lim_{s\to 0} s\times T(s)=\left(\frac{K_C\frac{1/\tau}{s+a}}{1+K_C\frac{1/\tau}{s+a}}\frac{E}{s}\right)\times s=\frac{K_C/\tau}{a+K_C/\tau}\times E$$ *Como se esperaba,*

queda un offset a tiempo infinito, de magnitud $\frac{a}{a+K_C/\tau}\times E$.

En cambio, para un escalón en la perturbación, temperatura de entrada, de magnitud E:

$$T(t_\infty)=\lim_{s\to 0}\frac{\frac{K}{s+a}}{1+K_C\frac{1/\tau}{s+a}}\frac{E}{s}\times s=\frac{K}{a+K_C/\tau}\times E$$ *de modo que, nuevamente, se observará un offset, pero esta ves de magnitud* $-\frac{K}{a+K_C/\tau}\times E$ *, es decir,por debajo de la referencia.*

f) Proponga un método para sintonizar el lazo de control.

Naturalmente, intereza aquí minimizar el offset y esa misma minimización acelerará la respuesta. Se debe instalar un simulador del proceso físico químico real (es decir, con área, coeficiente global, flujos y temperaturas definidos) y con un nivel de ruido aceptable (10% en la medición de T, por ejemplo) e iniciar el lazo con $K_C = 1/\tau$ *(es decir, la ganacia del proceso) y luego aumentarlo al punto en que el ruido no desgaste en exceso el actuador final. Este valor será luego ajustado en definitiva en la Planta de Proceso real.*

2.- Dada la función de transferencia:

$$\bar{y}(s)=\left(\frac{K_1}{\tau_1 s+1}-\frac{K_2}{\tau_2 s+1}\right)\bar{u}(s)$$

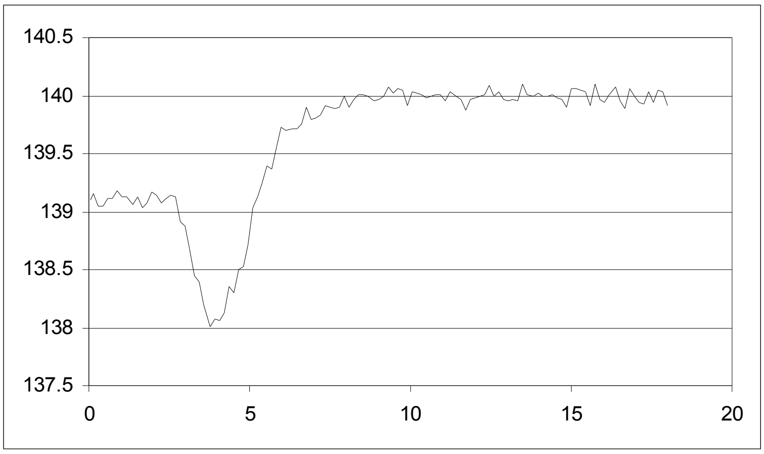


Figura 2Respuesta inversa característica

Si se aplica un escalón en la entrada *"u(s)"*:

a) Encuentre lascondiciones bajo las cuales se presentará respuesta inversa (como la de la figura 2, pero sin darle importancia a las escalas en particular);

Según se vió en clases, este es un proceso compuesto por 2 sub-primeros ordenes, que se suman para entregar la respuesta global del sistema. Bastará con que el proceso que se resta sea de menor ganancia pero más rápido que el que se suma para que se observe la respuesta inversa. En particular, si se desarrolla la respuesta a un escalón:

$$y(s)=\frac{(K_1\tau_2-K_2\tau_1)s+(K_1-K_2)}{(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)}f(s)$$ *donde el valor de y(t) para un impulso escalón unitario, a tiempo infinito, será ($K_1 - K_2$), que será positivo (como lo requiere la respuesta inversa)* ***solo si*** $K_1 > K_2$.

Similarmente, al inicio (t=0$^+$) es necesario que la respuesta del proceso global sea negativa. A este fin es necesario que

$\tau_2 < \frac{K_2}{K_1}\tau_1$ *, definiendo la segunda condición del problema.*

b) Proponga un método para sintonizar un lazo de control.

Para sintonizar un lazo de control se usaría una curva de reacción de proceso (que entregará una respuesta inversa de igual modo) y se ajustaría un modelo de primer orden con retardo, donde el retardo durará todo el tiempo que tarda la respuesta inversa en volver a cero (es decir, hasta el minuto 5 de la figura 2). Los parámetros del modelo se usarán luego para estimar los primeros valores de sintonización según los criterios característicos del caso (por ejemplo,los que figuran en las tablas del anexo del control).

3.- Para la función de transferencia: $\bar{y}'(s)=\dfrac{10}{s-3}\bar{u}'(s)+\dfrac{5}{s-3}\bar{d}'(s)$

a) elija un objetivo de control,

El objetivo de control será estabilizar el proceso puesto que tiene un polo en el semiplano derecho. El polo es un real de valor 3.

b) proponga un tipo de controlador y especifique la sintonización,

*Dado que el objetivo evidente es la estabilización, no cabe duda que el control mas simple, el control "P", satisface el requisito. Dada la empírica de u**sar el mas simple control posible**, se debe usar control "P".*

La sintonización requiere que el controlador desplace el polo hacia el semiplano izquierdo. Entonces:

$$G_{servo}=\frac{\dfrac{10}{s-3}\times K_C}{1+\dfrac{10}{s-3}\times K_C}=\frac{10\,K_C}{s+(10\,K_C-3)};\quad G_{regul}=\frac{5}{s+(10\,K_C-3)}$$

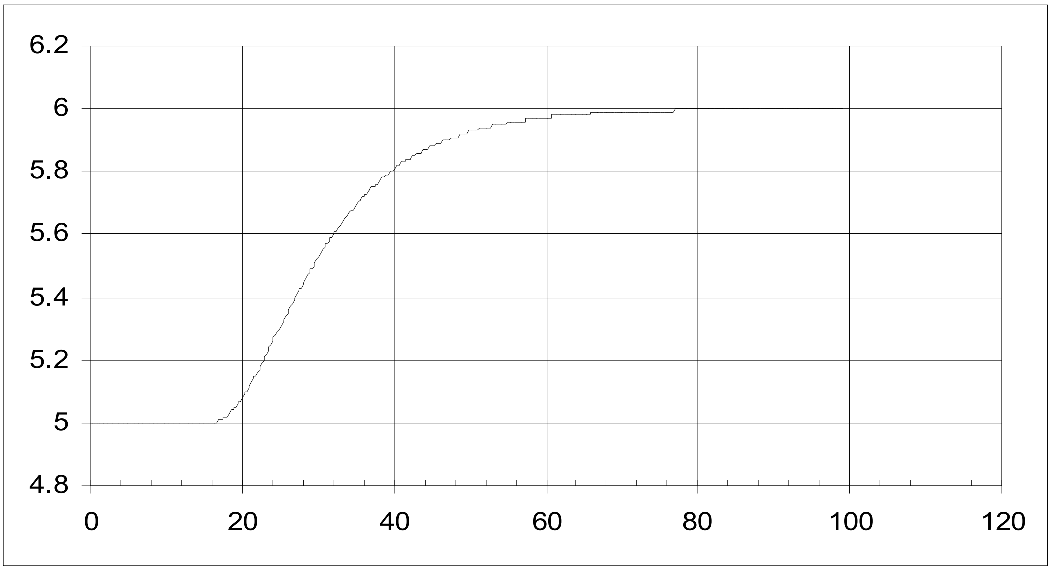
como es obvio, en ambos casos, el polinomio característico es el mismo y tendrá el polo en el semiplano izquierdo solo si $10\,K_C-3>0$ *, es decir, solo si* $K_C>3/10$

c) comente (brevemente) los aspectos que le parezacan relevantes.

*Si bien se destaca que el objetivo de control era la simple estabilización del proceso, es claro que se llega mas bien a un **criterio** (y no un valor definido) que satisface el objetivo. Sin embargo, una futura sintonía podría dictar cuanto mayor debe ser* K_C *o, incluso, el uso de control "PI" si el offset es excesivamente molesto.*

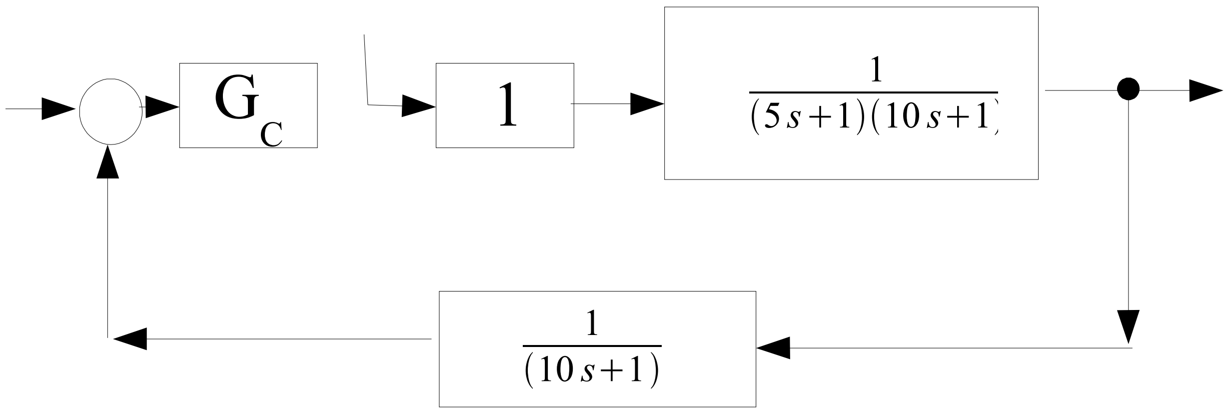
Similarmente, la celeridad y la forma de convergencia del proceso controlado puede ser crítica, en cuyo caso habrá que agregar, incluso, la acción derivativa.

4.- En un proceso conformado por dos sistemas de primer orden en serie no intercatuantes (K_P= 1; τ_1= 5; τ_2= 10), se conectaron un medidor y un actuador de primer orden (τ_M= 10; K_F=1; τ_F= 0).



a) Diagrame los bloques asociados a una curva de reacción de procesos.

Naturalmente, la ganancia de un medidor debe ser unitaria (de otro modo, el medidor estaría malo o descalibrado). La ganancia del proceso y del actuador están dadas en el enunciado. Entonces:

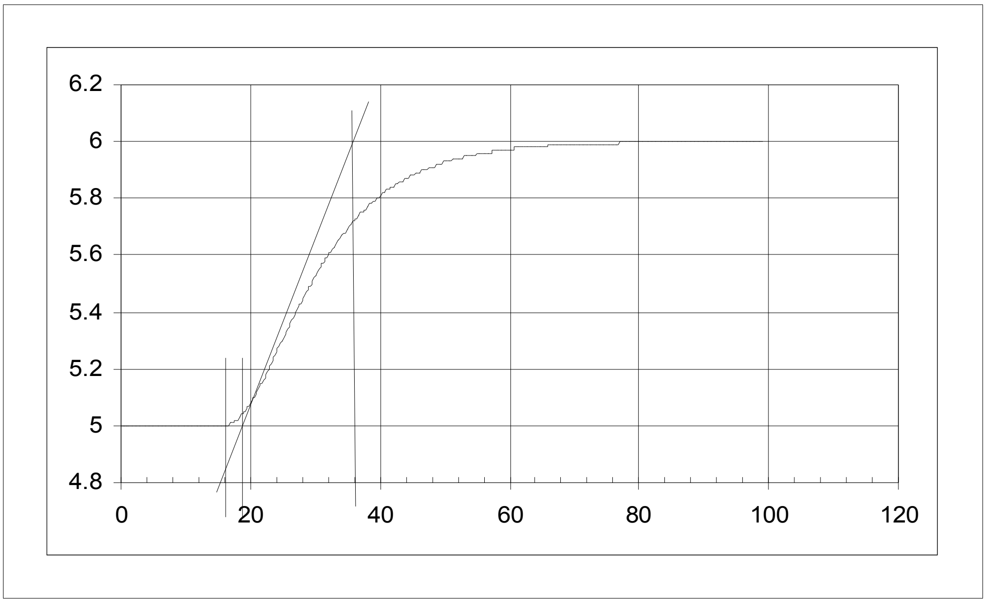


b) Encuentre una expresión para la curva de reacción de este proceso.

$$G_{CRP}=\frac{1}{(5s+1)(10s+1)}\times\frac{1}{(10s+1)}=\frac{1}{(5s+1)(10s+1)^2}$$

c) Con los parámetros definidos mas arriba y un escalón unitario, se obtuvo, por simulación, la curva de reacción del proceso observada en la figura 2; encuentre los parámetros de un controlador PID.

Siguiendo la ruta clásica, se ajusta un modelo de primer orden con retardo a la curva de reacción del proceso simulada con la totalidad de los parámetros (es decir, se simula esta última ecuación). Es evidente, eso si, que la ganancia de la CRP será 1 (porque tal es la ganacia de G_{CRP}). La gráfia a continuación ilustra las rectas que se podrían usar para estimar los parámetros del modelo de primer orden *con retardo. Naturalmente, el problema de este método es que varía bastante según el operador, pero siempre estará dentro del orden de magnitud.*



Por proyección de una recta que refleje la pendiente inicial de una exponencial justada a la figura 3, se obtiene una pendiente de unos 1/19 y un retardo de unos 3. Así, el tiempo de respuesta será 19 unidades y el retardo unas 3 unidades (ya se especificó que la ganancia es unitaria).

Usando los criterios para un PID:

$$K_C = \frac{1}{1} \times \frac{19}{3} \times \left(\frac{4}{3} + \frac{3}{4 \times 19} \right) = 1{,}37$$

$$\tau_I = \frac{3 \times (32 + 6 \times 3/19)}{13 + 8 \times 3/19} = 14{,}3$$

$$\tau_D = \frac{3 \times 4}{11 + \frac{2 \times 3}{19}} = 11{,}3$$