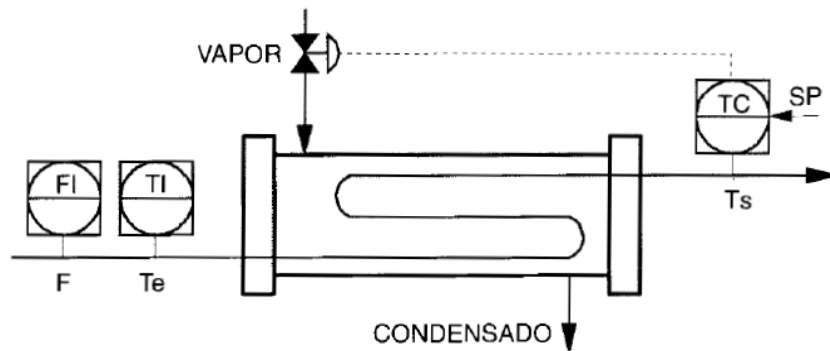


# CONTROL DE PROCESOS

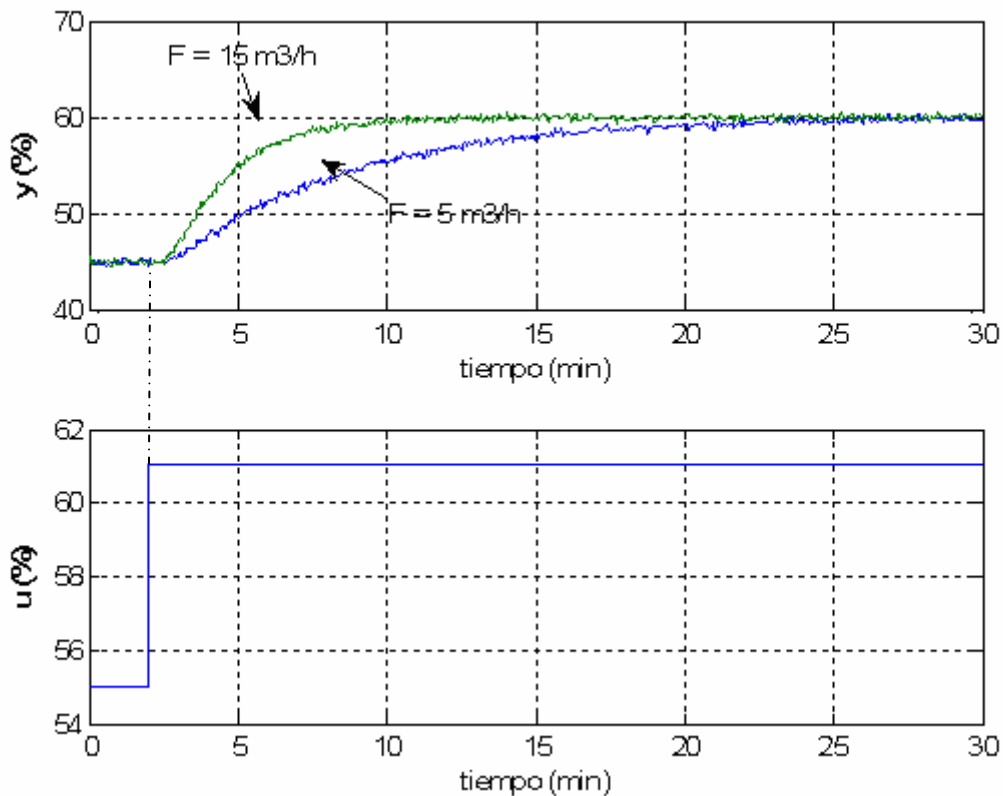
## EXAMEN FINAL – Agosto de 2008

### TEMA 1

Una corriente líquida es calentada en un intercambiador con control automático de temperatura como se muestra en la figura. El flujo líquido en condiciones normales está entre 5 y 15 m<sup>3</sup>/h. Los cambios de este caudal representan la mayor perturbación del sistema.



Para poder sintonizar adecuadamente el lazo de control se hicieron ensayos en lazo abierto. Se practicaron escalones de en la señal de salida del controlador ( $u$ ) para las dos condiciones extremas de caudal de alimentación y se registró la salida del transmisor de temperatura.



- Confeccione un diagrama en bloques indique todas las variables, incluyendo las perturbaciones, aparte del caudal de aceite, que considere relevantes.
- Analice las no linealidades y cómo influirán en el comportamiento del sistema cuando debe trabajar rechazando perturbaciones. Haga un bosquejo del diagrama de Bode para apoyar su análisis.
- Se empleará un controlador PI. Indique como se debería proceder para sintonizar el controlador, considerando el trabajo con carga variable. Precise también la acción del controlador.

- (D) ¿Puede indicar si la respuesta que se espera del lazo respondiendo a perturbaciones presenta distinta atenuación de acuerdo al caudal de líquido que circule? Si la atenuación cambia, ¿para qué caudal se obtiene la menor atenuación?
- (E) Si se hacen modificaciones en el equipo, se puede disminuir a la mitad la constante de tiempo preponderante del proceso, ¿Se mejoraría la controlabilidad del sistema? Cuantifique el cambio.

## TEMA 2

En un reactor tanque agitado continuo (volumen constante) se alimenta un caudal volumétrico  $F$  con un sustrato (reactivo)  $A$  en una concentración  $C_i$  junto con una enzima y se produce una reacción con la cinética:

$$r = -\frac{dC}{dt} = \frac{kC}{k_M + C} \quad C \text{ concentración de sustrato en el reactor (bien agitado)}$$

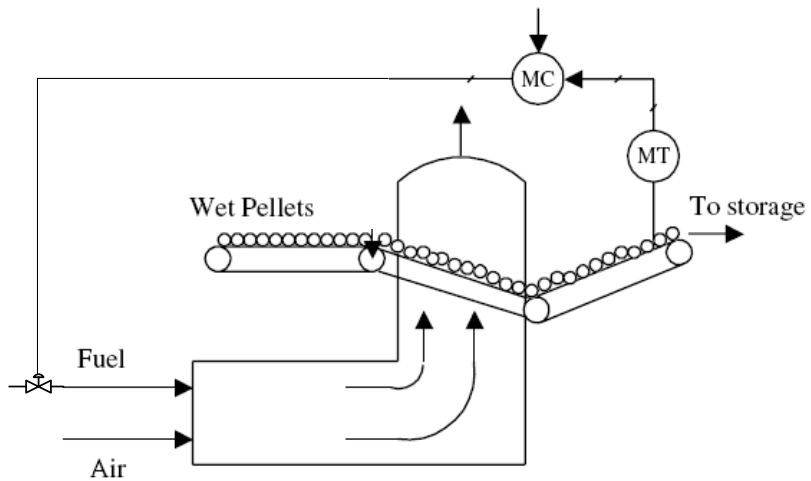
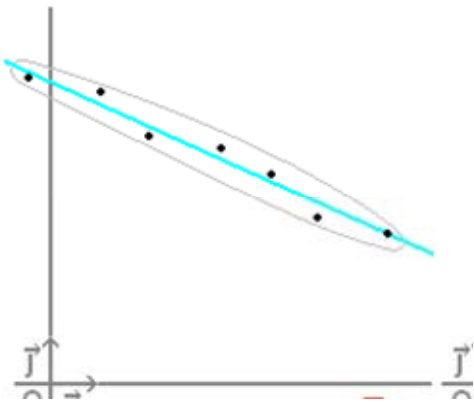
- (A) Encontrar la función de transferencia que liga la concentración de sustrato a la salida con cambios en la concentración de sustrato en la entrada.
- (B) Indicar si el sistema es no lineal. Si es afirmativa la pregunta, indique que tipo de no-linealidades presenta.
- (C) Bosqueje como sería la respuesta a un escalón de  $C_i$  para distintos valores de la concentración de salida (i.e.  $C = 1$  y  $C = 2$ ).

## CONTROL DE PROCESOS EXAMEN FINAL – Diciembre 2009

### TEMA 1

Los pellets húmedos de un polímero se secan utilizando los humos que se producen al quemar un combustible tal como se muestra en la figura. El proceso está dominado por un tiempo muerto que hace que las otras dinámicas sean despreciables. De este modo el proceso puede ser caracterizado como:

$$G_p(s) = K_p \exp(-Ls)$$



La relación entre caudal de combustible y humedad es bastante lineal (como se aprecia en la figura).

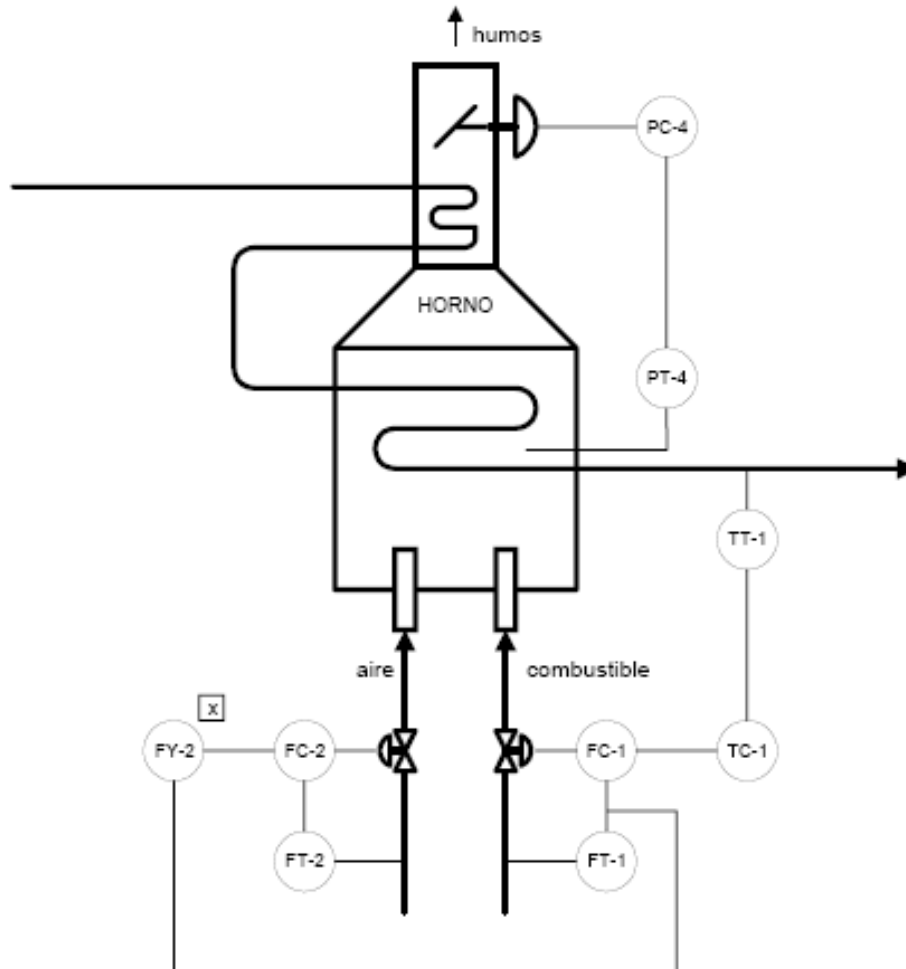
El sensor-transmisor es lineal y sin dinámica apreciable. El sistema de alimentación de combustible es prácticamente lineal (característica de flujo instalada) y sin dinámica.

El flujo de sólidos se establece cambiando la velocidad de la cinta lo que produce variaciones inversamente proporcionales en el tiempo muerto. El caudal de sólido se puede estar en condiciones normales entre 5.25 y 10.50 ton/hora.

- (A) Confeccione un diagrama en bloques indique todas las variables. Incluya todas las perturbaciones que considere relevantes.
- (B) Analice las no linealidades del sistema
- (C) Se empleará un controlador PI. Indique como se debería proceder para sintonizar el controlador, considerando el trabajo con flujo de sólidos en distintos valores. Precise también la acción del controlador. Para que el análisis sea más claro, haga un bosquejo del diagrama de Bode de los elementos del lazo, computando los parámetros críticos.
- (D) ¿Puede indicar si la respuesta que se espera del lazo respondiendo a perturbaciones presenta distinta atenuación de acuerdo al flujo de sólidos que se procese? Si la atenuación cambia, ¿para qué caudal se obtiene la menor atenuación?
- (E) ¿Considera que fue buena la elección de esta característica de flujo fue la adecuada?

## TEMA 2

En la figura se muestra el diagrama P&I correspondiente a un horno de una petroquímica. En esta unidad se calienta un líquido aprovechando el calor liberado en la combustión de un combustible residual. Puede suponerse que el fluido solo aumenta su temperatura y que no se producen reacciones químicas.



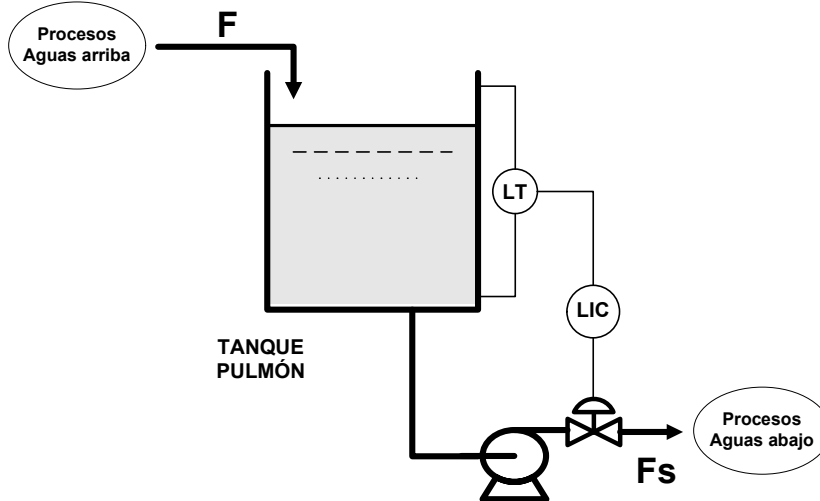
- a) Para cada variable que se controla:
- Indicar la/s estrategia/s de control empleadas
  - Determinar los objetivos de las estrategias de control
  - Confeccionar una lista completa de perturbaciones que inciden en el sistema de control.
  - Seleccionar de la acción de válvulas y controladores.
  - Seleccionar los tipos de controladores que estima más convenientes (justificar).
- b) Construir un diagrama en bloques que considere todos los sistemas de control.
- c) Inspirada en esta aplicación, ¿Cómo podría modificar el sistema de control del Tema anterior para mantener siempre la relación aire-combustible?

# CONTROL DE PROCESOS

## EXAMEN FINAL – Febrero de 2011

### TEMA 1

En el caso de tanques que actúan como "pulmones", en donde la variable nivel en sí misma no es importante y sólo se requiere que fluctúe dentro de cierto ámbito más o menos holgado, se recurre a *Control Promediante (Averaging)*. Éste consiste en un lazo de nivel con un controlador solo proporcional, con una banda ancha, por ejemplo del 100 %.



Considere las siguientes simplificaciones:

- En el proceso no son importantes los efectos de resonancia hidráulica.
- El sensor de nivel es un transmisor de presión diferencial con dinámica despreciable.
- La válvula tiene característica inherente lineal con una línea con baja pérdida de carga.
- Controlador proporcional

- (a) Haga un diagrama en bloques del sistema en lazo cerrado considerando como principal perturbación el caudal de entrada.
- (b) Encuentre la función de transferencia que relaciona cambios en el caudal de entrada con cambios en el caudal de salida cuando el sistema está en lazo cerrado.
- (c) Bosqueje como será la respuesta del caudal de salida a un cambio escalón en el caudal de entrada para dos casos:  $K_c = 1$  (control promediante) y  $K_c = 10$  (control estricto).
- (d) Encuentre la respuesta en frecuencia de la función de transferencia entre caudal de entrada y caudal de salida. Bosqueje el Diagrama de Bode
- (e) Suponga que  $F$  cambia en forma oscilatoria con alta frecuencia, en forma ruidosa (se puede asimilar a una onda sinusoidal). ¿Cómo resulta la respuesta del caudal de salida? ¿Por qué se dice que el tanque actúa como "filtro" de las perturbaciones de alta frecuencia?
- (f) Bosqueje como será la respuesta del caudal de salida a un cambio escalón en el caudal de entrada con  $K_c = 1$  en el caso que la válvula tuviera característica inherente igual porcentaje y la pérdida en la línea sea despreciable para dos casos: Caudales de alimentación  $F^0 = 400$  y  $F^0 = 600$ . ¿Es esta una mejor alternativa que la válvula lineal?

### TEMA 2

Proponga un ejemplo de control por rango dividido.

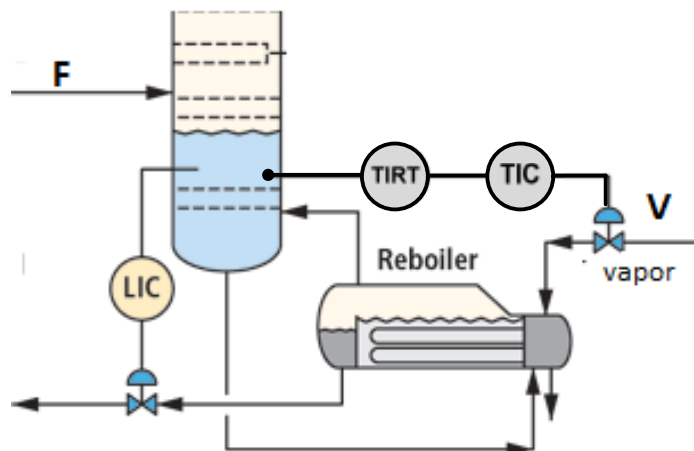
- (a) Confeccione el diagrama en bloques
- (b) Especifique todos los elementos de control que integran las estrategias. Proponga acción de válvulas y controladores.
- (c) Analice la estabilidad del lazo. ¿Qué condición debería cumplirse para asegurar el comportamiento lineal del lazo?

## CONTROL DE PROCESOS EXAMEN FINAL – Marzo de 2013

### TEMA 1

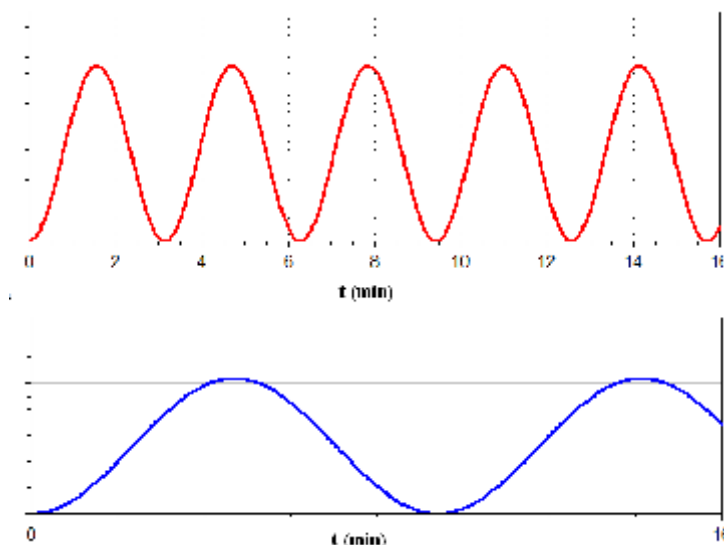
El lazo de temperatura de la base de una columna de destilación que emplea como variable manipulada el vapor que condensa en el reevaporador fue estudiado intensamente por del Departamento de Control Automático. El modelo más ajustado para los elementos del lazo viene dado por la función de transferencia:

$$G(s) = G_v G_p G_T = \frac{K}{(\tau s + 1)^4}$$



La constante de tiempo es groseramente proporcional en forma inversa al caudal de líquido alimentado al sistema (y por lo tanto también al caudal de vapor). El flujo alimentado a la columna cambia con el ritmo de producción (los flujos normal máximo y normal mínimo están en relación 3:1). Diversas experiencias demostraron que la ganancia de la planta  $K$  permanece prácticamente constante. La válvula es de característica inherente igual porcentaje y está inserta en una línea con pérdida de carga despreciable ( $\alpha \approx 0.99$ ).

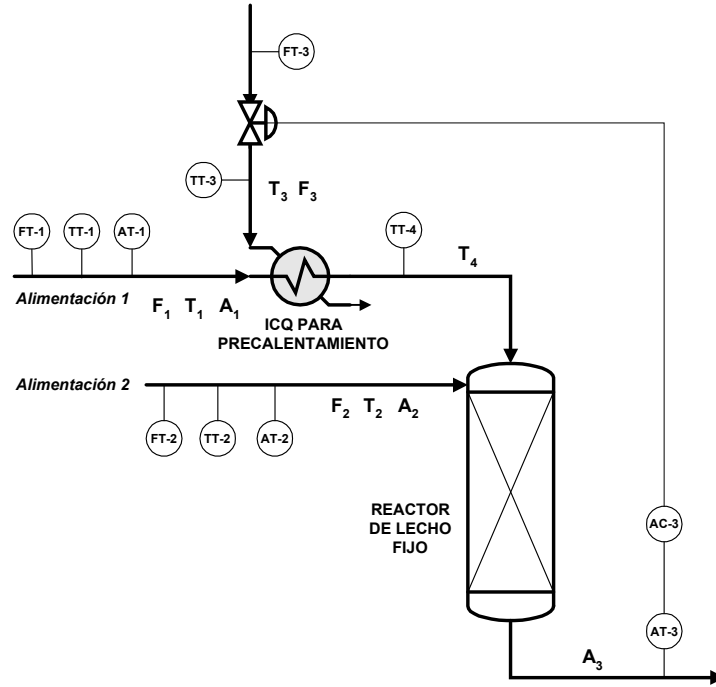
- (A) Confeccione un diagrama en bloques del lazo. Indique al menos tres perturbaciones.
- (B) Para sintonizar el controlador, el ingeniero de control hizo oscilar la señal del transmisor hasta obtener una respuesta sostenida, con acción proporcional únicamente. Llevó a cabo dos experiencias, una con el caudal normal mínimo de alimentación y otra con el normal máximo. Las respuestas se muestran en la figura. En ambos casos la ganancia última fue de 1.20. Explique a qué atribuye que el período último cambie en las dos situaciones mientras que la ganancia última se mantuvo constante. ¿Cuál respuesta corresponde al menor caudal de alimentación? Si lo considera apropiado, emplee un diagrama de Bode para explicar.



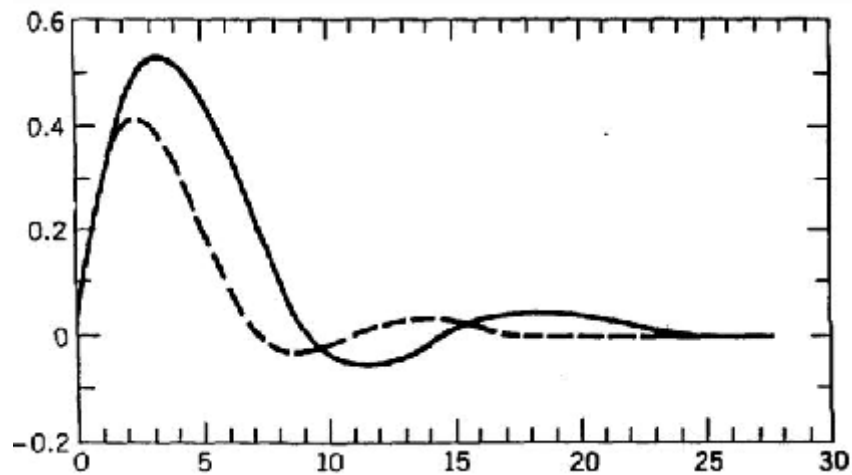
- (C) Sintonice el controlador con acciones proporcional e integral.
- (D) ¿Es previsible que el período de oscilación de lazo sea distinto cuando se trabaja con los caudales bajos que cuando se alimenta flujos altos?
- (E) ¿Es adecuada la característica de flujo de la válvula? En caso negativo, ¿cuál es la alternativa más promisoría?
- (F) Indique al menos 2 dispositivos que permitan medir temperatura en el plato de la columna, precisando los correspondientes principios de funcionamiento. Indique que significa TIRT en el diagrama P&I.

## TEMA 2

Considere el reactor de lecho relleno alimentado por dos corrientes como se muestra en la figura. Una de las corrientes de alimentación debe ser precalentada para lograr una conversión adecuada. El objetivo del lazo simple de control es mantener exactamente la concentración de producto ( $A_3$ ) a la salida del reactor, medida por AT-3. Esta estrategia resulta insuficiente para mantener la concentración dentro de las exigentes especificaciones.



- Confeccione un diagrama en bloques del lazo simple de control de composición. Haga un exhaustivo listado de perturbaciones y ubique a través de qué variable ingresan en el lazo de control.
- Desarrolle una estrategia de Control en Cascada que empleando la temperatura de alimentación al reactor como variable intermedia. Construya los diagramas en bloques y P&I y especifique los instrumentos adicionales (al lazo existente) que requiere la estrategia.
- Elija el tipo y acción de los controladores. Indique como sería el procedimiento de sintonización de los dos controladores.
- La figura muestra la respuesta de la variable controlada con dos estrategias de control: lazo simple y control en cascada, en respuesta ante un mismo cambio de la temperatura  $T_1$  de la alimentación que ingresa al intercambiador de calor. Identifique cuál corresponde a Control en Cascada y justifique.



- En base a esos transitorios, ¿aconsejaría implementar la estrategia más elaborada? Justifique adecuadamente.

# CONTROL DE PROCESOS

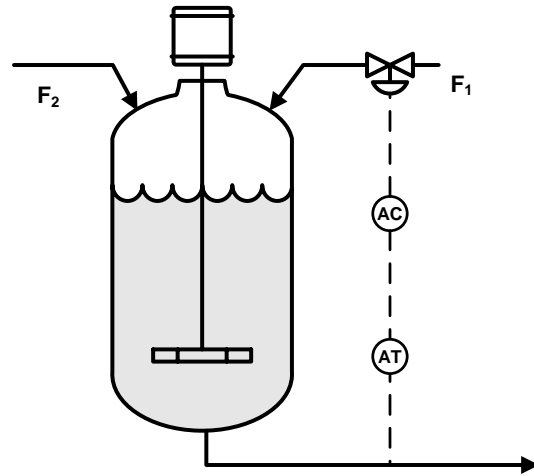
## EXAMEN FINAL – Febrero de 2015

### TEMA 1

Considere un lazo de control de conductividad como el de la figura. La función de transferencia de los elementos del lazo han sido caracterizados como una constante de tiempo grande ( $\tau_1$ ) y dos constantes de tiempo pequeñas aproximadamente iguales ( $\tau_2$ ), tal que su suma es 15 veces menor que  $\tau_1$ :

$$G_V G_P G_T = \frac{K_V K_P K_T}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)^2} = \frac{K}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)^2}$$

La válvula es lineal en una línea en la que la válvula provee entre el 95 y 98 % de la pérdida total de carga. El sensor es lineal.



Se ha podido constatar experimentalmente que la ganancia del proceso es groseramente proporcional en forma inversa al caudal de líquido a tratar  $F_2$ , mientras que los parámetros dinámicos son prácticamente constantes.

- Haga un bosquejo del diagrama de Bode de los elementos del lazo considerando un control proporcional.
- Encuentre la expresión de la relación de amplitudes y la frecuencia crítica, usando las fórmulas desarrolladas en clase para sistemas de tercer orden. De acuerdo a las condiciones del sistema ( $\tau_1 \gg \tau_2$ ) proponga las expresiones explícitas aproximadas de la frecuencia crítica y relación de amplitudes.
- Modele la planta anterior en forma simplificada con una constante de tiempo y tiempo muerto. Haga que la constante de tiempo del modelo sea igual a  $\tau_1$  y L las suma de las constantes pequeñas. Encontrar una expresión sencilla para la frecuencia crítica usando la simplificación propuesta por Shinskey para sistemas de constante de tiempo y tiempo muerto. Compárela con la solución explícita obtenida en el punto anterior.
- Le parece razonable la afirmación que Shinskey en su libro "Process Control Systems": *En sistemas con una constante de tiempo preponderante, la frecuencia de oscilación del lazo depende solamente de los retardos pequeños y es prácticamente independiente de la constante preponderante.*
- El responsable de la sección asegura que el caudal alimentado varía entre 25 y 80 m<sup>3</sup>/h. Se va a emplear un controlador PID. Sintonícelo.
- Ante perturbaciones, ¿variará la atenuación de la variable controlada y el período de oscilación en los distintos estados de carga?

### TEMA 2

Proponga un ejemplo de control por Avanzación (Feedforward). Indique lo siguiente:

- ¿Cuál es la razón por la que se necesita esta estrategia de control?
- ¿La avanzación es lineal o no lineal? Indique la razón por la que se emplea este tipo de feedforward. ¿La sintonización del controlador de retroacción con feedforward será distinta de la sintonización correspondiente al lazo simple?
- Indique todos los elementos adicionales a los correspondientes a un lazo simple que se necesitan.
- ¿Qué beneficios espera obtener como resultado de instalar esta estrategia de control? ¿Qué complicación considera que tendrá?