

Automatización de Procesos Industriales (Final de Junio 01/09/05)

Apellidos: _____

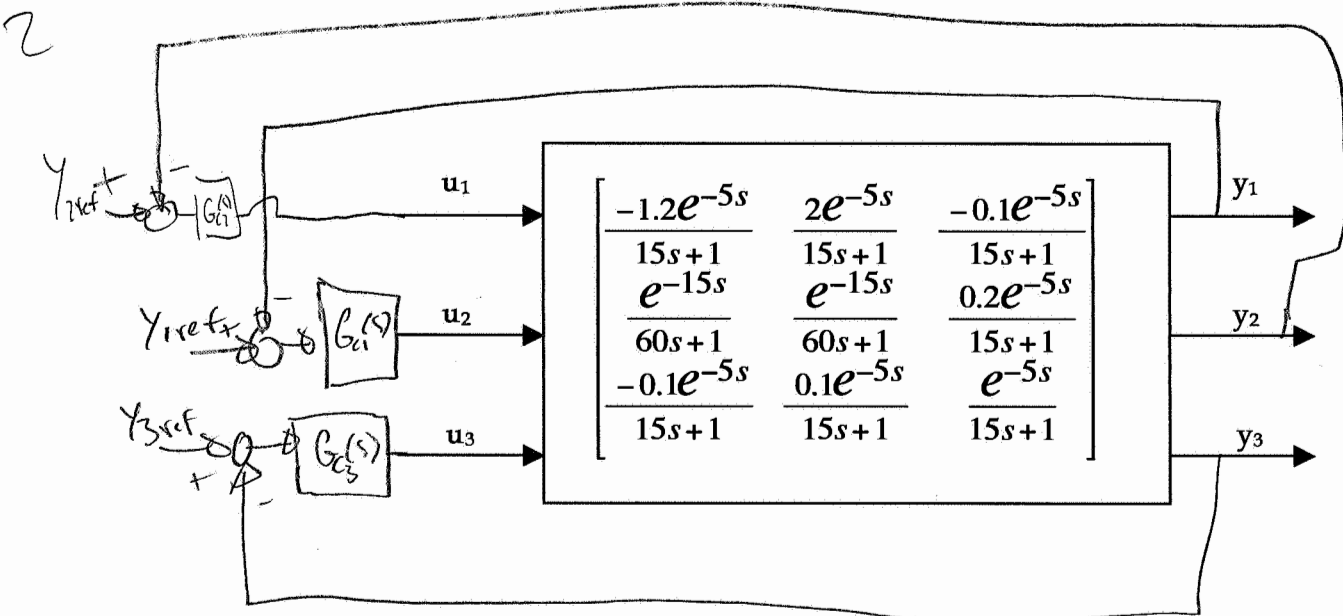
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Problema 1 (3,75 puntos)

Se desea controlar el sistema de la figura de tres variables de entrada y tres variables de salida:



Se calcula la matriz de ganancias estáticas relativas, que vale: $\Lambda = \begin{bmatrix} 0.364 & 0.630 & 0.006 \\ 0.621 & 0.374 & 0.005 \\ 0.015 & -0.004 & 0.989 \end{bmatrix}$

- a) Dibujar sobre la figura anterior una estructura adecuada de control regulatorio básico.
- b) Calcular todos los controladores de la anterior estructura de control

y_3 está muy desacoplado del resto ($k_{31} \approx k_{32} \ll k_{33}$ y por lo tanto $\lambda_{33} \gg 1$) por lo que su regulador se calcula de forma independiente

$k_c = \frac{0.9}{1} \frac{15}{5} = 2.7 \quad t_i = 3.33 \cdot 5 = 16.65 \quad G_{c3}(s) = \frac{2.7 / (1 + \frac{s}{16.65})}{16.65}$

$y_1 - u_2$ es el bucle rápido de los 2 restantes y por lo tanto su controlador se calcula independiente

$k_c = \frac{0.9}{2} \frac{15}{5} = 1.35 \quad t_i = 16.65 \quad G_{c1}(s) = \frac{1.35 (1 + \frac{s}{16.65})}{50}$

$y_2 - u_1$ es el bucle lento y por lo tanto su controlador debe multiphasearse por λ_{21}

$k_c = 0.621 \frac{0.9}{1} \frac{60}{15} = 2.23 \quad t_i = 3.33 \cdot 15 = 50 \quad G_{c2}(s) = \frac{2.23 / (1 + \frac{s}{50})}{50}$

3 c) Indicar justificadamente cómo se altera la dinámica de cada bucle de control cuando se abren el resto de los bucles y cuál sería el controlador adecuado en caso de apertura permanente de los otros bucles de control.

- El bucle y_3-u_3 está bastante desacoplado de los demás y por tanto su apertura y cierre les afecta poco y viceversa.
- La apertura del bucle lento (y_2-u_1) provocaría que la ganancia del otro bucle se multiplicara por 0'621 haciendo un sistema menos oscilatorio. El compensador de bucle rápido (y_1-u_2) sería bueno puesto que el controlado que se debería usar en esta situación es el mismo.
- La apertura del bucle rápido (y_1-u_2) provocaría igualmente que la ganancia del otro bucle se multiplique por 0'621 haciendo el sistema menos oscilatorio y más lento. El controlador adecuado se obtendría entonces aumentando la ganancia mediante la división por 0'6.

2 d) Indicar justificadamente cómo se altera la estática de cada bucle de control cuando se abren el resto de los bucles y su efecto en el controlador adecuado en este caso.

Puesto que todos son controladores PI, está garantizado el error cero en régimen permanente (comportamiento estático) e independiente de las aperturas o cierre de los otros bucles de control.

Tabla de Ziegler-Nichols		
Tipo de regulador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo integral t_i
PI	$\frac{0,9}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}} \right)$	$3,33 t_{mp}$

Automatización de Regulación Automática II (Final de Septiembre 14/09/05)

Apellidos: _____

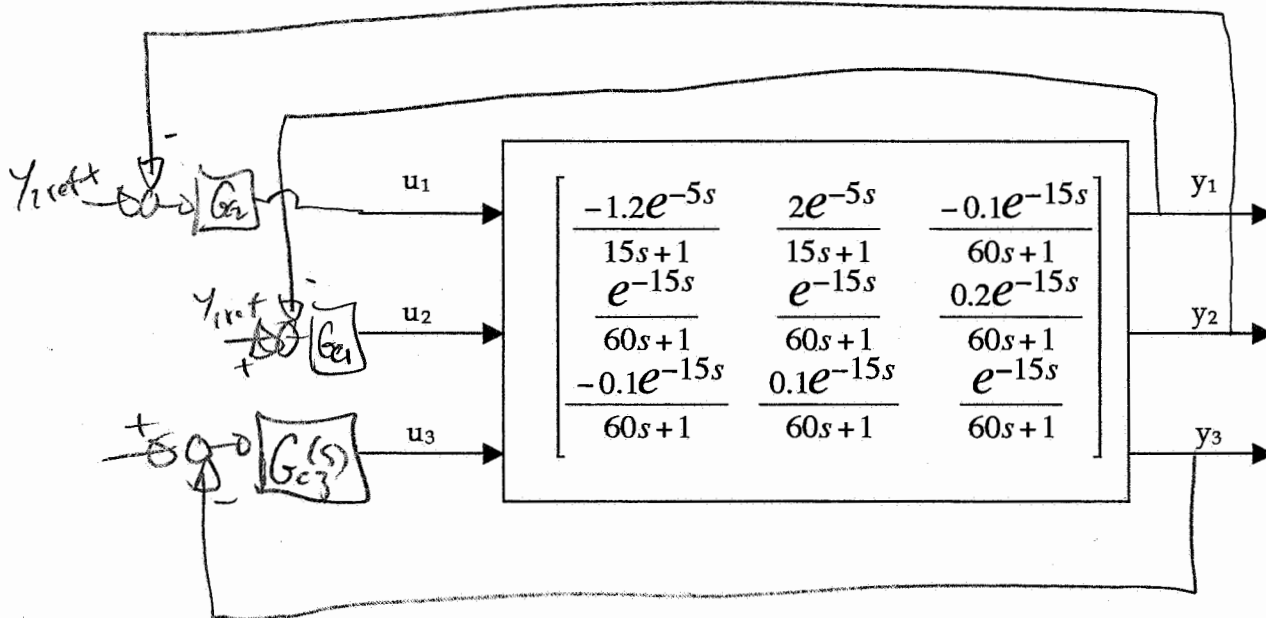
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Problema 1 (1,75 puntos)

Se desea controlar el sistema de la figura de tres variables de entrada y tres variables de salida:



Se calcula la matriz de ganancias estáticas relativas, que vale: $\Lambda = \begin{bmatrix} 0.364 & 0.630 & 0.006 \\ 0.621 & 0.374 & 0.005 \\ 0.015 & -0.004 & 0.989 \end{bmatrix}$

a) Justificar y dibujar sobre la figura anterior una estructura adecuada de control regulatorio básico.

b) Calcular razonadamente todos los controladores de la anterior estructura de control

$G_{c1}(s) \quad k_c = \frac{0.9}{1} \frac{60}{15} = 3.6 \quad T_i = 333.15 = 58$

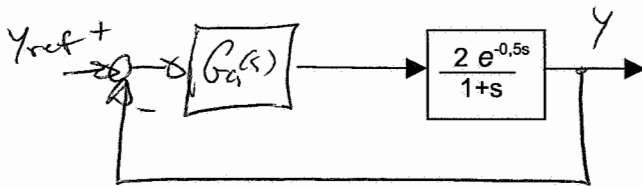
- c) Indicar justificadamente cómo se altera la dinámica de cada bucle de control cuando se abren el resto de los bucles y cuál sería el controlador adecuado en caso de apertura permanente de los otros bucles de control.

- d) Indicar justificadamente cómo se altera la estática de cada bucle de control cuando se abren el resto de los bucles y su efecto en el controlador adecuado en este caso.

Tabla de Ziegler-Nichols		
Tipo de regulador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo integral t_i
PI	$\frac{0,9}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}} \right)$	$3,33 t_{mp}$

Cuestión 2 (2,5 puntos)

2 a) Dibujar y calcular una estructura de control adecuada para el sistema de la figura

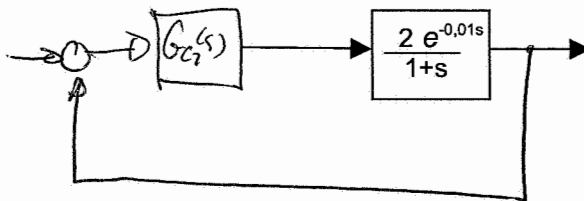


$$K_{ci} = \frac{0.9}{2} \frac{1}{0.5} = 0.9 \quad t_{ci} = 3.33 \cdot 0.5 = 1.665$$

puesto que $0.14 t_p < t_{ci} < 2 t_p$

3 b) Dibujar y calcular una estructura de control adecuada para el sistema de la figura

puesto que $t_m < 0.1 t_p$ no se puede aplicar la tabla de Ziegler Nichols
 Aproximamos el sistema por $\frac{2}{1+s}$, por lo que un buen controlador será: $t_i = t_p = 1$



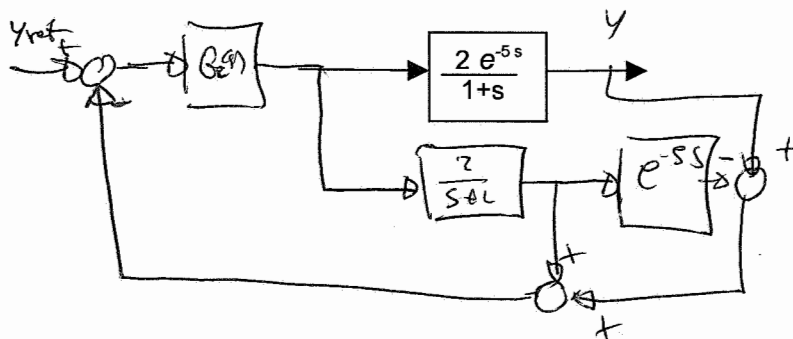
y si se desea que en cadena cerrada tenga la misma dinámica que en cadena abierta

$$K_c = \frac{1}{K_b} = 0.5$$

$$G_c(s) = 0.5 \left(1 + \frac{1}{s} \right)$$

3 c) Dibujar y calcular una estructura de control adecuada para el sistema de la figura

por ser $t_m = 5 t_p$ lo adecuado es usar un predictor de Smith



2 dado que $G_c(s)$ es la misma calculada en el apartado b)

$$G_c(s) = 0.5 \left(1 + \frac{1}{s} \right)$$

Automatización de Procesos Industriales (Final de Junio 13/06/05)

Apellidos: _____

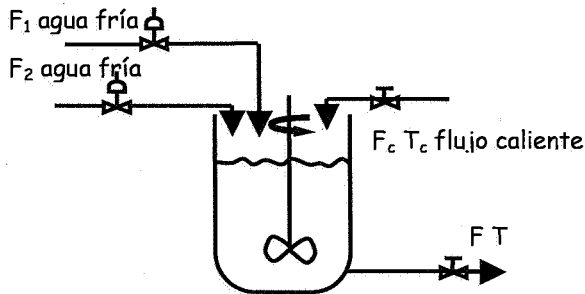
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 1 (1,5 puntos)

- a) Enumerar qué variables del sistema de la figura pueden ser consideradas como entrada del sistema, cuales salidas y cuales perturbaciones

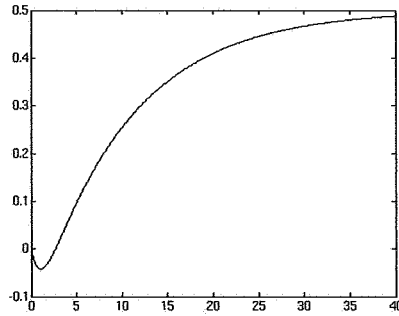


- b) Comentar justificadamente las ventajas de la utilización de una estructura de control en bucle cerrado frente al control en bucle abierto en el anterior sistema

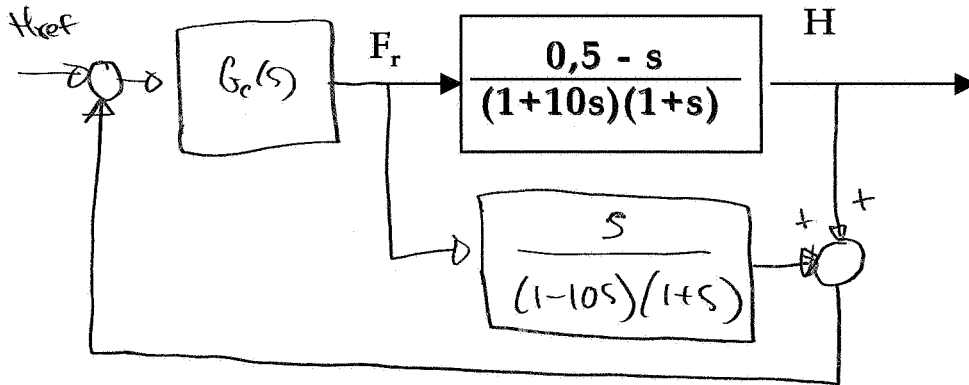
- c) Dibujar sobre el dibujo anterior una estructura de Control Regulatorio Básico y dibujar aquí abajo su representación con diagrama de bloques.

Problema 3 (2 puntos)

En la estructura de control de un calderín se ha determinado la existencia de una respuesta inversa entre la referencia del flujo de entrada de agua de alimentación F_r y el nivel de agua dentro del depósito H . La siguiente figura representa la evolución de la altura H cuando se produce un cambio unitario en la referencia del flujo de entrada. La función de transferencia $H(s)/F_r(s)$ ha sido identificada según aparece en la figura inferior.

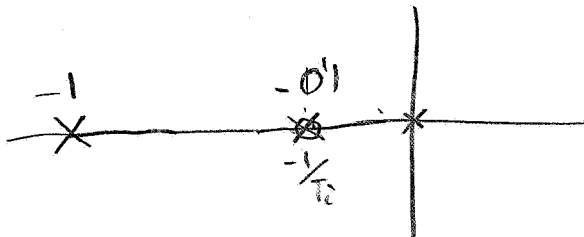


3



7 Diseñar y calcular un controlador adecuado del nivel de agua en el depósito.

$$G_c(s) = k_c \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) = k_c \frac{s + \frac{1}{T_i}}{s} \quad \hat{G}_s(s) = \frac{0.05}{(0.1s + 1)(1 + s)}$$



$$T_i = 10$$

$$\angle_{+DR} = 0.1 \cdot 0.9 = 0.09 = 0.05 k_c ;$$

$$k_c = 1.8$$

Automatización de Procesos Industriales (Final de Junio 01/09/05)

Apellidos: _____

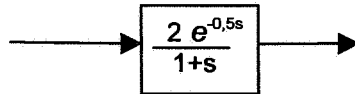
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

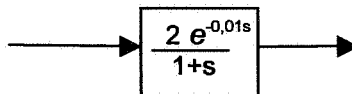
Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Problema 4 (2 puntos)

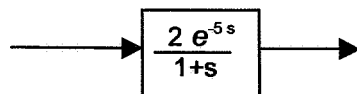
a) Dibujar y calcular una estructura de control adecuada para el sistema de la figura



b) Dibujar y calcular una estructura de control adecuada para el sistema de la figura



c) Dibujar y calcular una estructura de control adecuada para el sistema de la figura



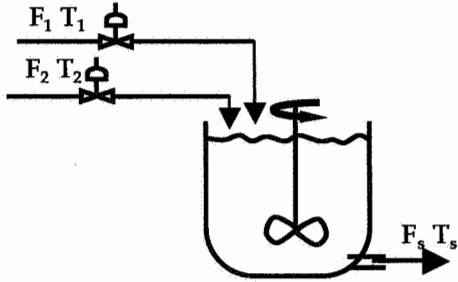
Automatización de Procesos Industriales (Final de Junio 13/06/05)

Apellidos: _____
 Nombre: _____
 N° de matrícula _____ N° de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 4 (3,2 puntos)

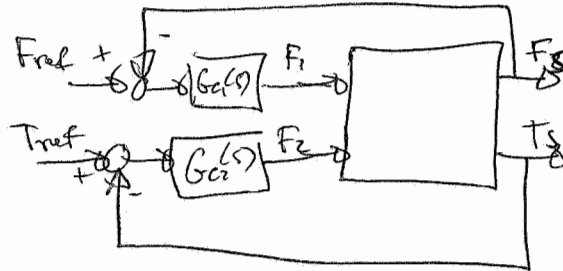
Se desea controlar el flujo F_s y la temperatura T_s del sistema mezclador de la figura.



$$\begin{bmatrix} F_s(s) \\ T_s(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e^{-5s}}{15s+1} & \frac{e^{-5s}}{15s+1} \\ -\frac{1.3e^{-15s}}{60s+1} & \frac{2e^{-15s}}{60s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1(s) \\ F_2(s) \end{bmatrix}$$

a) Dibujar a continuación un esquema de bloques de la estructura de control propuesta

Handwritten calculation: $K = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1.3 & 2 \end{bmatrix}$; $\Lambda = [k \cdot *(k^{-1})^T] = \begin{bmatrix} 0.6 & 0.4 \\ 0.4 & 0.8 \end{bmatrix}$



b) Calcular los controladores de la anterior estructura de control

- $G_{c1}(s)$ es el rápido y por tanto $K_{c1M} = K_{c1S} = \frac{0.9}{1} \frac{15}{5} = 2.7$; $t_{ic1} = 3.33 \cdot 5 = 16.66$

$G_{c2}(s)$ es el bucle lento y por tanto $K_{c2M} = \lambda_{22} K_{c2S} = 0.6 \frac{0.9}{2} \frac{60}{15} = 1.08$; $t_{ic2} = 3.33 \cdot 15 = 50$

Tabla de Ziegler-Nichols		
Tipo de regulador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo integral t_i
PI	$\frac{0.9}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}} \right)$	$3.33 t_{mp}$

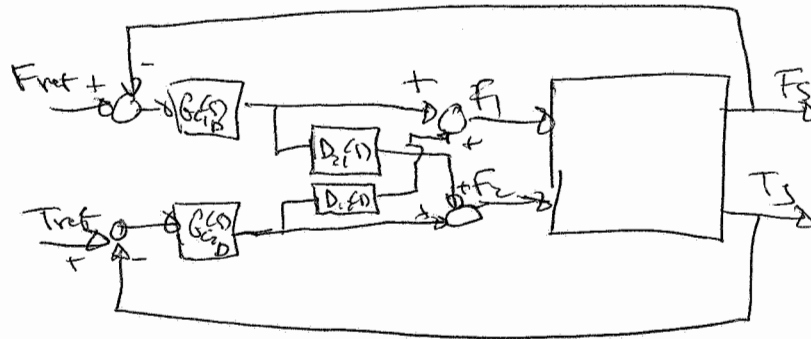
c) Indicar justificadamente qué efecto tendría la apertura de cada uno de los lazos de control propuestos sobre el resto del sistema

- La apertura del bucle de T_s provocaría que la ganancia del otro bucle se multiplicara por 0.6, haciéndose el sistema menos oscilatorio. El comportamiento del bucle de F_s sería bueno, puesto que el controlador coincide con el que tendría para controlar $G_{c1}(s)$.
- La apertura del bucle de F_s también provocaría que la ganancia del otro bucle de T_s se multiplicara por 0.6, haciéndose más lento y menos oscilatorio. El comportamiento del bucle de control de T_s habría empeorado (lento) porque el controlador además se obtendría dividido por 0.6. S

d) Justificar la necesidad o no de utilizar una estructura de desacoplo en el control de este sistema

Puesto que $\lambda_{11} = \lambda_{22} = 0.6$ el sistema está bastante acoplado, según se discute sus efectos en el apartado anterior, haciéndose aconsejable la utilización de un desacoplador

e) Dibujar a continuación una estructura de control con desacoplo total del sistema



f) Calcular todas las funciones de transferencia de la estructura del apartado anterior

$$D_{21} = -\frac{G_{21}}{G_{22}} = -\frac{-1.3}{2} = 0.65 ; \quad D_{12} = -\frac{G_{12}}{G_{11}} = -\frac{1}{1} = -1$$

$$G_{c1}(s) = \lambda_{11} G_{c1s}(s) = 0.6 \cdot 2.7 \left(1 + \frac{1}{16.6s}\right) = 1.62 \left(1 + \frac{1}{16.6s}\right)$$

$$G_{c2}(s) = G_{c2M}(s) = 0.8 \left(1 + \frac{1}{50s}\right)$$

g) Indicar justificadamente qué efecto tendría la apertura de cada uno de los lazos de control propuestos sobre el resto del sistema

Puesto que el sistema está desacoplado, no afectaría al control del otro bucle

h) Indicar justificadamente qué efecto tendría la desconexión del desacoplador de la temperatura T_s en el comportamiento del sistema

Por una parte el sistema continúa desacoplado y no tiene a fluir un bucle de control en el otro

Por otra parte la f.d.t. $\frac{T_s(s)}{E(s)} = G_{22}(s)$ en vez de $\frac{G_{22}(s)}{\lambda_{22}(s)}$, por lo que

con el controlador calculado el sistema es más lento y menos oscilatorio

Automatización de Procesos Industriales (Final de Junio 13/06/05)

Apellidos: _____

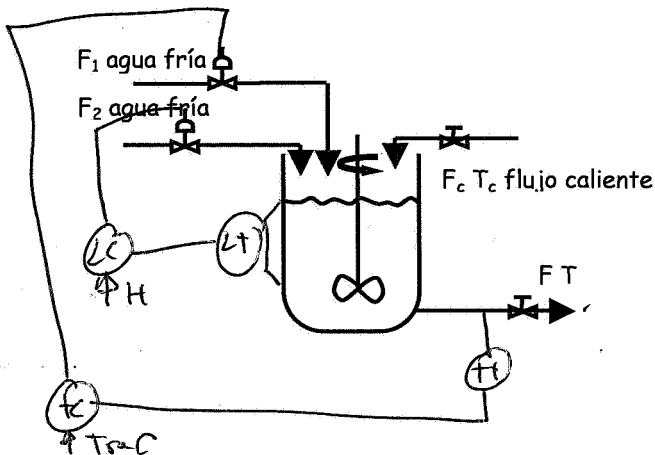
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 1 (1,5 puntos)

- a) Enumerar qué variables del sistema de la figura pueden ser consideradas como entrada del sistema, cuales salidas y cuales perturbaciones

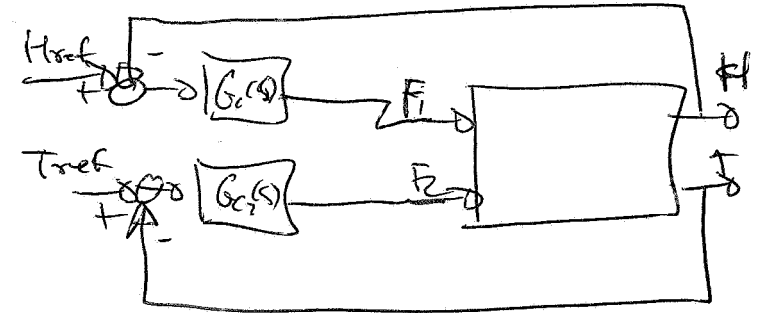


Entradas: F_1 y F_2
 Perturbaciones: F_c , T_c , T_1 , T_2 (Aportación de F)
 Salidas: H , T , F

- b) Comentar justificadamente las ventajas de la utilización de una estructura de control en bucle cerrado frente al control en bucle abierto en el anterior sistema

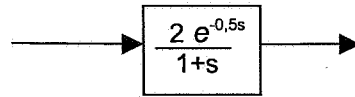
~~Supera~~ La estructura de control en bucle abierto supone un conocimiento perfecto del modelo y de los efectos de las perturbaciones, ~~Por lo que~~ Por lo que este conocimiento no es real, es necesario utilizar un control por realimentación de la salida, que haga a cuenta el valor real de este y por lo tanto minimice el efecto de los errores de modelo y de presencia de perturbaciones no considerables

- c) Dibujar sobre el dibujo anterior una estructura de Control Regulatorio Básico y dibujar aquí abajo su representación con diagrama de bloques.

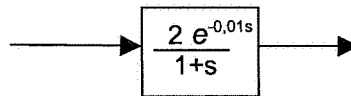


Cuestión 2 (2,5 puntos)

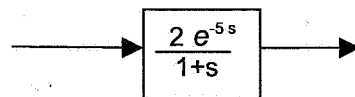
a) Dibujar y calcular una estructura de control adecuada para el sistema de la figura



b) Dibujar y calcular una estructura de control adecuada para el sistema de la figura



c) Dibujar y calcular una estructura de control adecuada para el sistema de la figura



Apellidos: _____

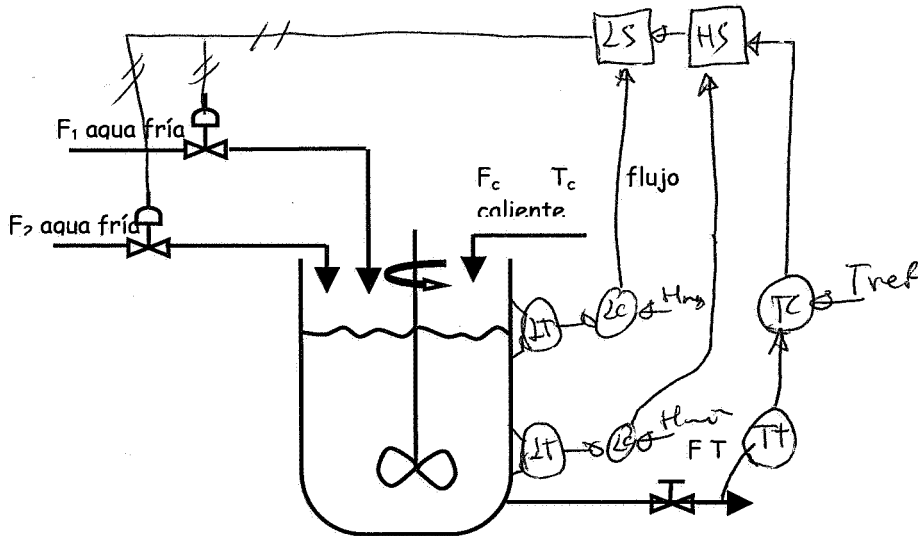
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

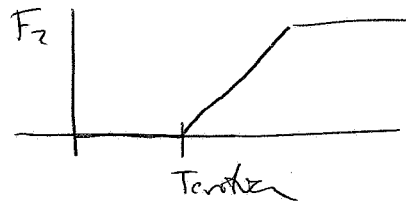
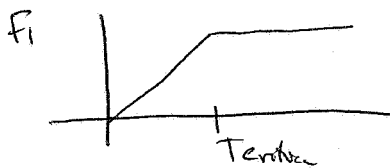
Cuestión 3 (2,8 puntos)

En el sistema de la figura se desea controlar la temperatura de salida T mediante los flujos de entrada de agua fría F_1 y F_2 utilizando una estructura de gama partida. De forma simultanea se desea también mantener el nivel de fluido dentro del depósito dentro de unos limites de seguridad máximo H_{max} y mínimo H_{min} .

a) Dibujar sobre el esquema de la figura la estructura de control propuesta utilizando para ello la terminología ISA.



b) Dibujar en sendos diagramas la evolución de las aperturas de ambas válvulas de agua fría en función de la temperatura de salida (supóngase que en este proceso no se superan los niveles máximo y mínimo de altura del depósito)



c) Justificar la conveniencia o no de incluir una acción integradora en el controlador de altura. Nota: para ello puede razonarse lo que pasaría en el sistema si depuse de bastante tiempo controlando la temperatura, la altura se acerca a uno de sus valores límites

Si la acción integral no se limita, la consecuencia al control de altura sería hacer a una salida enorme grande del controlador nada conveniente para el sistema

Apellidos: _____

Nombre: _____

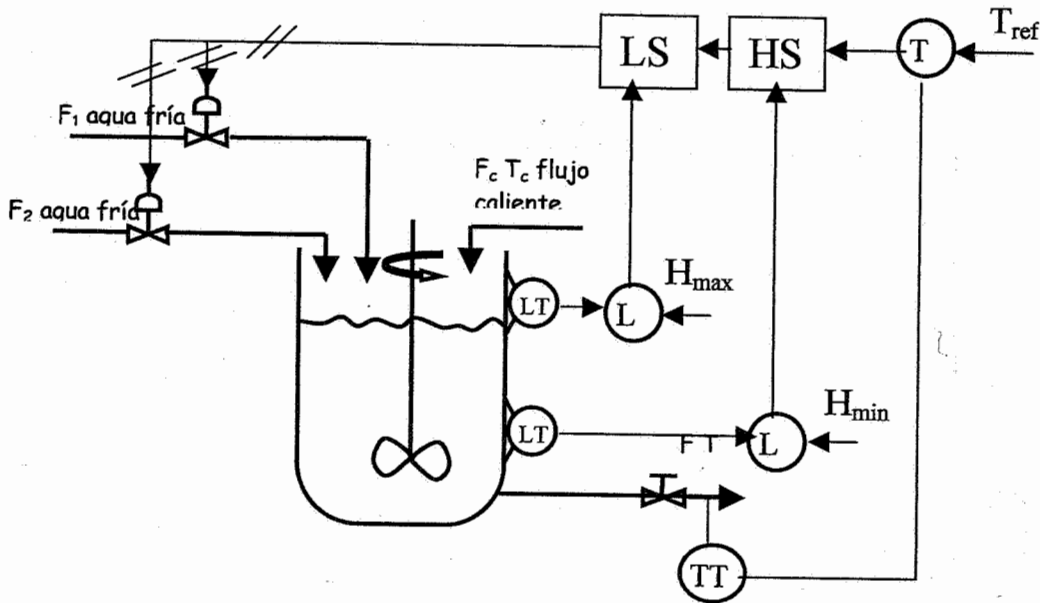
Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

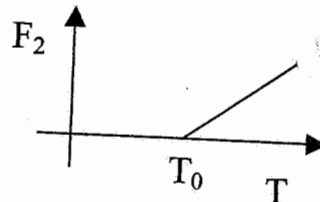
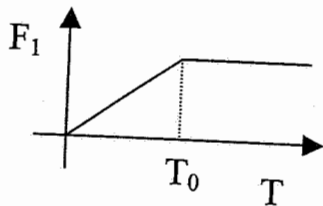
Cuestión 1 (1,25 puntos)

En el sistema de la figura se desea controlar la temperatura de salida T mediante los flujos de entrada de agua fría F_1 y F_2 utilizando una estructura de gama partida. De forma simultánea se desea también mantener el nivel de fluido dentro del depósito dentro de unos límites de seguridad máximo H_{max} y mínimo H_{min} .

Dibujar sobre el esquema de la figura la estructura de control propuesta utilizando para ello la terminología ISA.



Dibujar en sendos diagramas la evolución de las aperturas de ambas válvulas de agua fría en función de la temperatura de salida (supóngase que en este proceso no se superan los niveles máximo y mínimo de altura del depósito)



Regulación Automática II Esp. Automática (Final de Febrero 31/01/05)

Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Cuestión 2 (1,5 puntos)

Un sistema de comportamiento no-lineal, cuyas ecuaciones estáticas son:

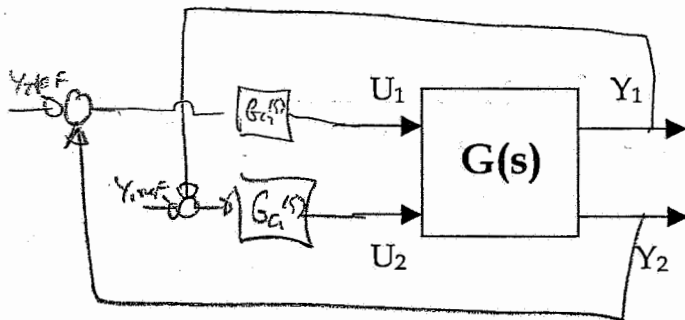
$$\begin{cases} y_1 = u_1 + 2u_2 \\ y_2 = u_1 / u_2 \end{cases}$$

tiene las siguientes funciones de transferencia una vez linealizado en torno a su punto de funcionamiento:

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e^{-10s}}{10s+1} & \frac{2e^{-10s}}{10s+1} \\ \frac{e^{-s}}{s+1} & \frac{e^{-s}}{s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{bmatrix}$$

a) (20%) Dibujar un esquema de control adecuado (sin desacopladores)

$K = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \Delta = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 2 & -1 \end{bmatrix}$



b) (25%) Calcular los controladores utilizados en la estructura anterior

$Y_2(s) - U_1(s)$ es el bode rápido, se toma como independiente

$$K_c = \frac{0.9}{1} \cdot \frac{1}{1} = 0.9$$

$$G_{c2}(s) = 0.9 \left(1 + \frac{1}{3.33s} \right)$$

$$t_i = 3.33 \cdot 1 = 3.33$$

$Y_1(s) - U_2(s)$ bode lento, ganancia calculada multiplicada por $k_{12} = ?$

$$K_c = 2 \cdot \frac{0.9}{2} \cdot \frac{10}{10} = 0.9$$

$$G_{c1}(s) = 0.9 \left(1 + \frac{1}{3.33s} \right)$$

$$t_i = 3.33 \cdot 10 = 33.3$$

(continua al dorso)

- c) (25%) Indicar como quedan afectadas cada una de las variables de salida del sistema controlado según el esquema propuesto en el apartado anterior cuando se abre el lazo de control de la otra variable de salida.

La salida y_2 casi no se altera cuando se abre el bucle y_1-u_1 , puesto que el controlador controlado coincide con el que se utilizaría con los bucles abiertos, aunque su control mejorará.

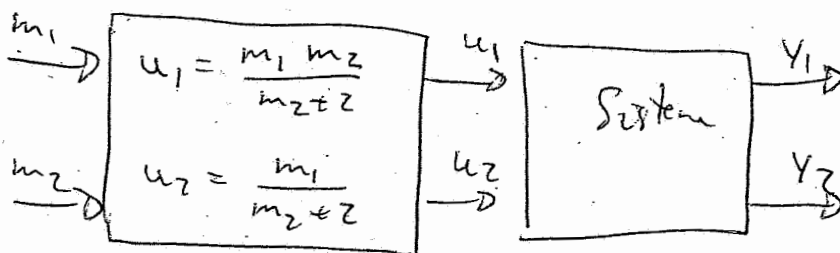
La salida y_1 está utilizando un controlador 2 veces más ganancia que el deseado, luego y_1 presentará más oscilaciones y ~~pero~~ sobrees oscilación, acercándose a la inestabilidad.

- d) (25%) Diseñar un desacoplador no-lineal del sistema

Despejando las variables u_1, u_2 en función de y_1, y_2 en las ecuaciones estáticas

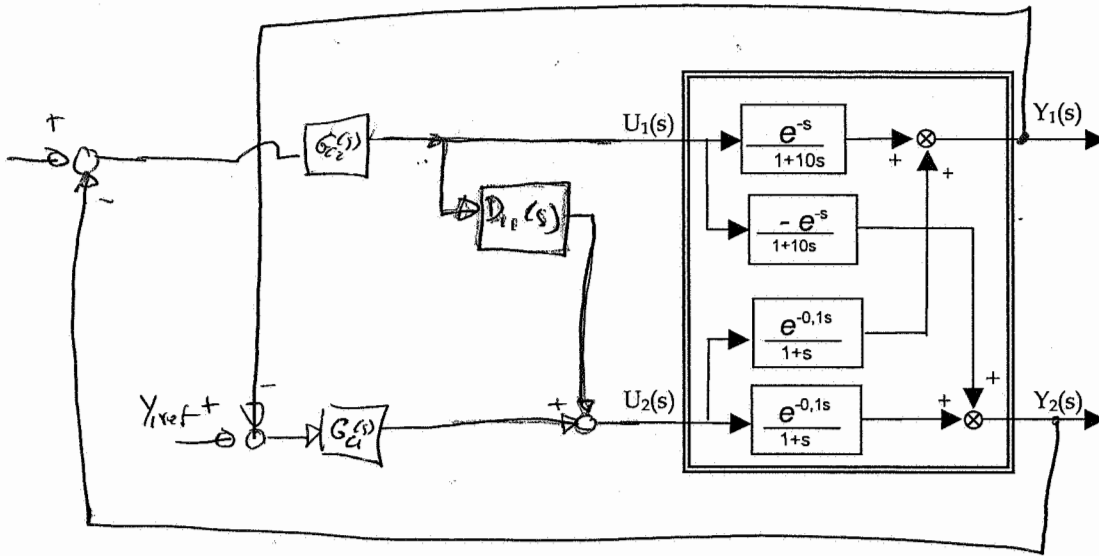
$$\left. \begin{aligned} y_1 &= u_1 + 2u_2 \\ y_2 &= u_1 / u_2 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} y_1 &= y_2 u_2 + 2u_2 \\ u_1 &= y_2 u_2 \end{aligned} \quad \begin{aligned} u_2 &= \frac{y_1}{y_2 + 2} \\ u_1 &= \frac{y_1 y_2}{y_2 + 2} \end{aligned}$$

luego el desacoplador estático no-lineal es:



Cuestión 2 (1,25 puntos)

Se desea controlar el sistema multivariable de la figura, en el que la variable Y_1 se considera más importante que la variable Y_2 .



- a) Indicar razonadamente el emparejamiento adecuado de variables de salida con variables de entrada.

$$K = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad \Lambda = K \cdot (K^{-1})^T = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

Según Λ cualquier emparejamiento es igual de bueno, por lo que lo adecuado es controlar la variable importante con la entrada más rápida $Y_1 \rightarrow U_2$ y $Y_2 \rightarrow U_1$.

- b) Indicar razonadamente si está justificada la utilización de una estructura de desacoplo parcial de la variable importante Y_1

Si puesto que $\lambda_{12} = 0.5$ muy distinto de 1 y además la variable de control U_2 afecta mucho más rápidamente que la otra variable U_1 .

- c) Indicar razonadamente si está justificada la utilización de una estructura de desacoplo parcial de la variable menos importante Y_2

Un desacoplo de la variable Y_2 aportaría muy pocos beneficios en regímenes dinámicos, puesto que $D_{22} = + \frac{1+10s}{1+s} e^{0.9s}$ que es difícilmente aproximable al desacoplar lo más posible $\frac{1+10s}{1+s}$

- d) Dibujar sobre la figura anterior la estructura de control finalmente propuesta.

- e) Calcular todas las funciones de transferencia de la estructura propuesta.

$$D_{11}(s) = - \frac{1+s}{1+10s} e^{-0.9s}$$

Una vez utilizado el desacoplo, la f.d.t. entre $Y_1(s)/U_2(s)$ es $\frac{G_{12}(s)}{\lambda_{12}(s)} \approx \frac{1}{0.5} \frac{e^{-0.1s}}{1+s}$

Calculo $G_{c1}(s)$ $k_{c1} = \frac{0.5 \cdot 0.9}{1} \frac{1}{0.1} = 4.5$; $t_i = 0.33$ $G_{c1}(s) = 4.5 \left(1 + \frac{1}{0.33s} \right)$

Calculo $G_{c2}(s)$ $k_{c2} = - \frac{0.9}{1} \frac{10}{1} = -9$; $t_i = 3.33$ $G_{c2}(s) = -9 \left(1 + \frac{1}{3.33s} \right)$

96198

Regulación Automática II Esp. Automática (Final de Septiembre 22/09/04)

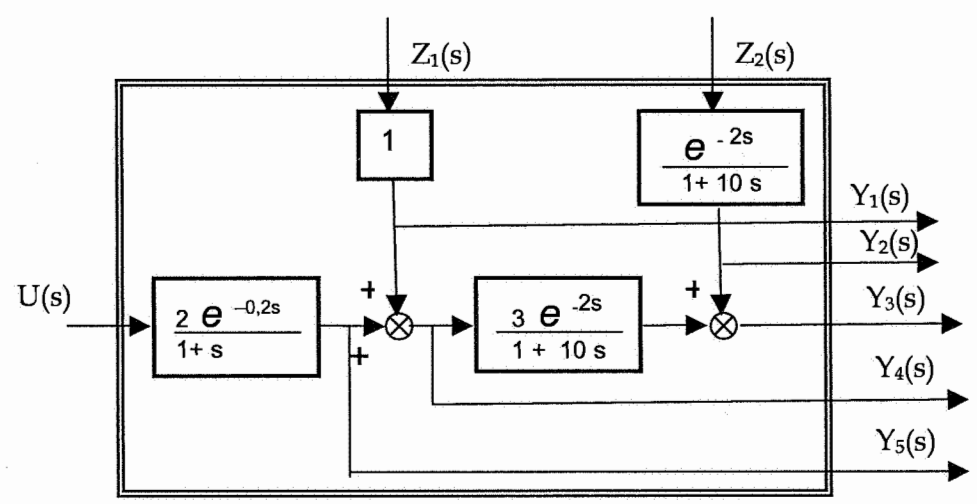
Apellidos: _____
 Nombre: _____
 N° de matrícula _____ N° de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 1 (1,15 puntos)

El esquema de la figura representa un sistema con una única variable manipulada $u(t)$ y dos entradas de perturbación $z_1(t)$ y $z_2(t)$. Todas las variables $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$, $y_4(t)$, $y_5(t)$ son medibles, aunque solamente se desea controlar la variable $y_3(t)$.

- a) Dibujar una estructura de control para controlar la variable $y_3(t)$ que minimice en lo posible los efectos de ambas perturbaciones



- b) Calcular las funciones de transferencia de todos los bloques empleados en la estructura de control, incluyendo los propios controladores.

Tabla de Ziegler-Nichols		
Tipo de regulador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo integral t_i
PI	$\frac{0,9}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}} \right)$	$3,33 t_{mp}$

Regulación Automática II Esp. Automática (Final de Septiembre 22/09/04)

Apellidos: _____

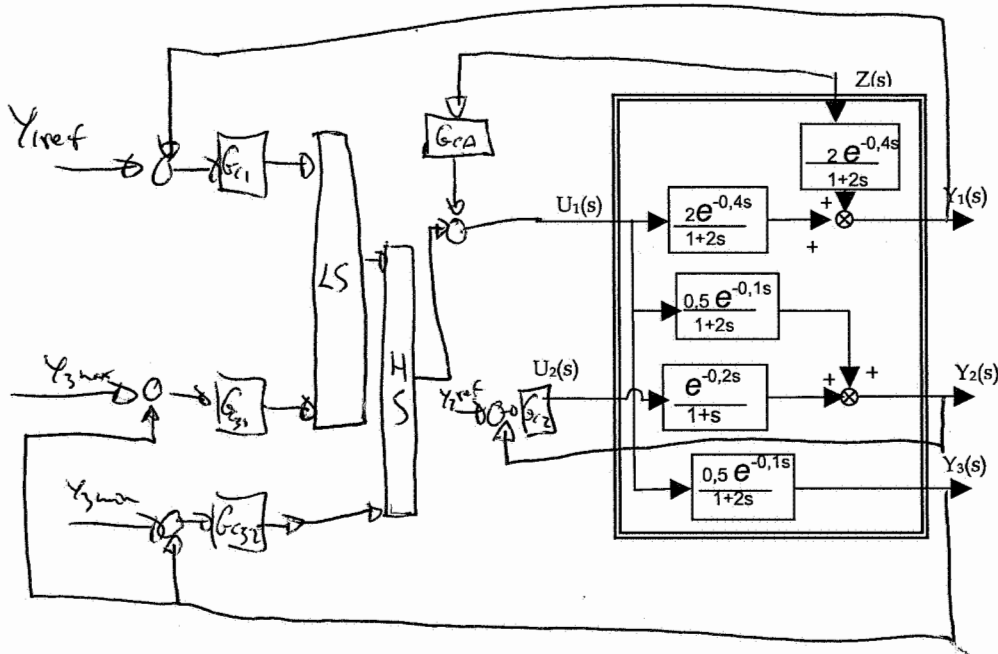
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

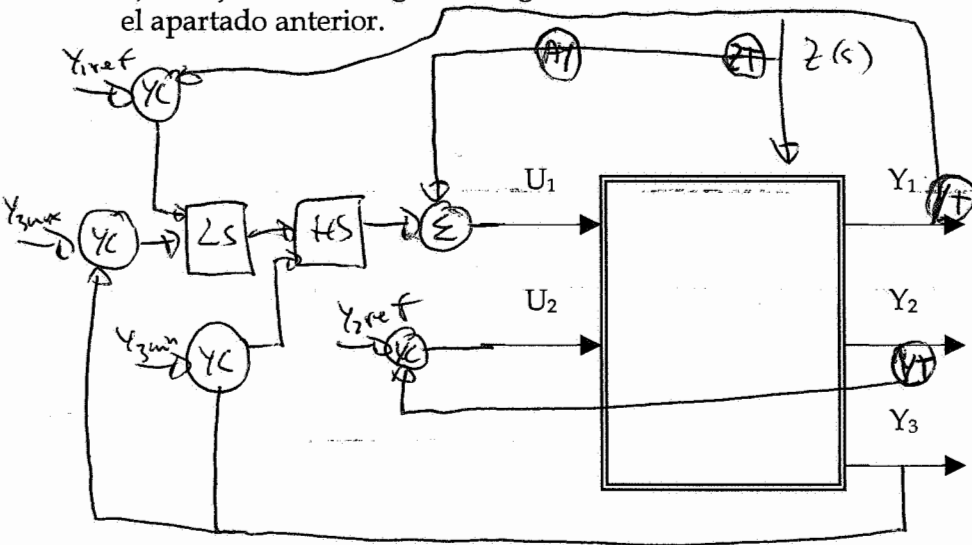
Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 3 (1,1 puntos)

Dibujar sobre la siguiente figura un esquema de control para controlar las variables Y_1 e Y_2 , manteniendo la variable Y_3 dentro de unos valores mínimo Y_{3min} y máximo Y_{3max} .

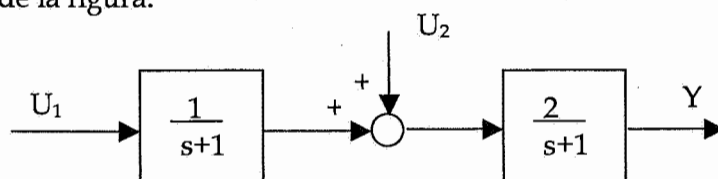


b) Dibujar sobre la siguiente figura utilizando la nomenclatura ISA la estructura de control propuesta en el apartado anterior.



Cuestión 4 (1,5 puntos)

En el sistema de la figura:



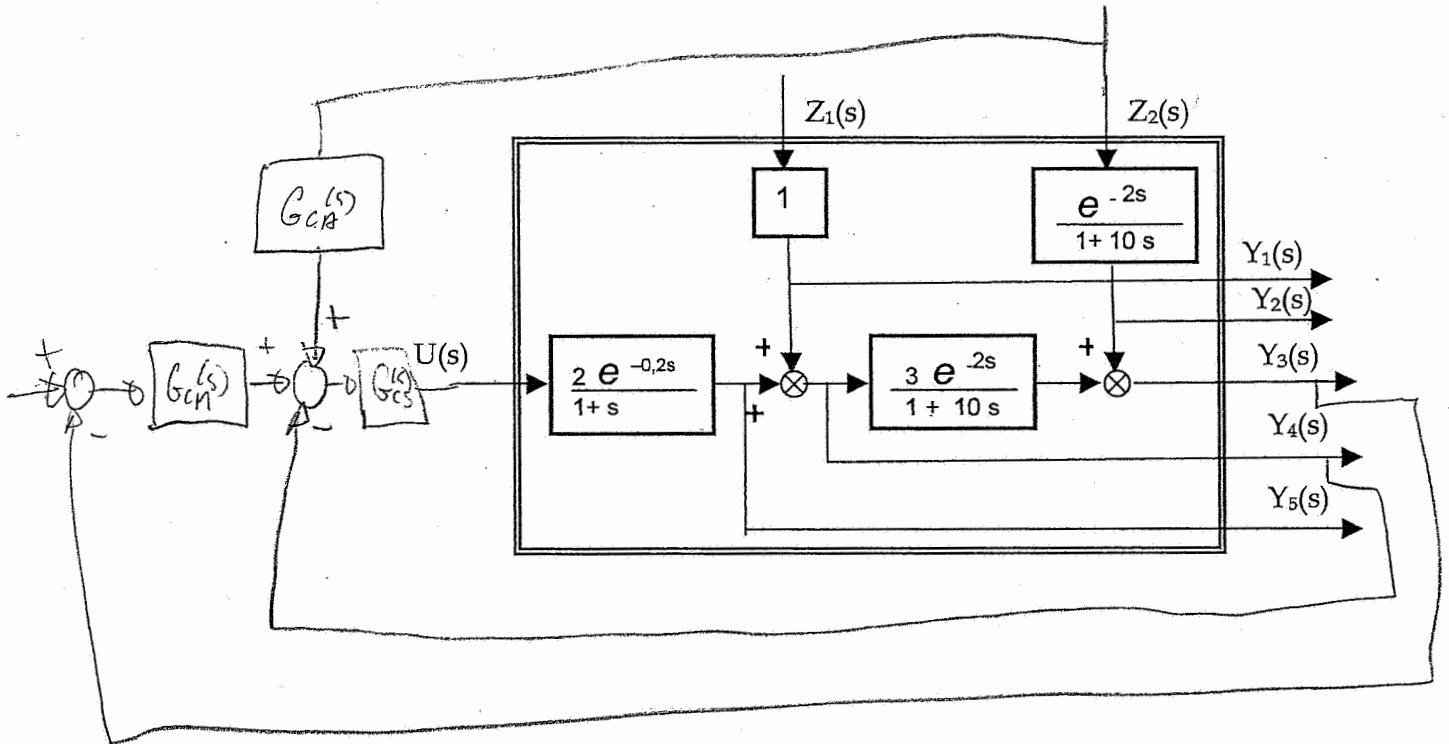
a) Dibujar y calcular una estructura de realimentación del estado utilizando ambas entradas u_1 y u_2

b) Dibujar y calcular una estructura de realimentación del estado utilizando sólo la entradas u_1

Cuestión 2 (1,2 puntos)

El esquema de la figura representa un sistema con una única variable manipulada $u(t)$ y dos entradas de perturbación $z_1(t)$ y $z_2(t)$. Todas las variables $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$, $y_4(t)$, $y_5(t)$ son medibles, aunque solamente se desea controlar la variable $y_3(t)$.

- a) Dibujar una estructura de control para controlar la variable $y_3(t)$ que minimice en lo posible los efectos de ambas perturbaciones



- b) Calcular las funciones de transferencia de todos los bloques empleados en la estructura de control, incluyendo los propios controladores.

* $G_{CS}(s)$ $k_c = \frac{0.9}{2} \frac{1}{0.2} = 2.25$ $t_i = 3.33 \cdot 0.2 = 0.666$ $G_{CS}(s) = 2.25 \left(1 + \frac{1}{0.666s} \right)$

* $G_{CN}(s)$ $k_c = \frac{0.9}{3} \frac{10}{2} = 1.5$ $t_i = 3.33 \cdot 2 = 6.66$ $G_{CN}(s) = 1.5 \left(1 + \frac{1}{6.66s} \right)$

* $G_{CA}(s) = - \frac{e^{-2s}}{1+10s} \frac{1+10s}{3 e^{-2.25s}} = - 0.33 e^{\frac{0.25s}{2}} - 0.33$

para que sea realizable

Apellidos: _____

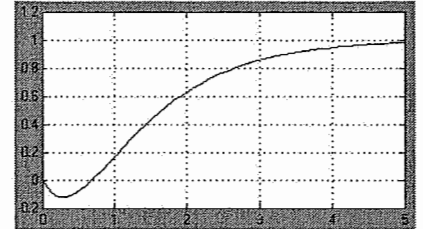
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

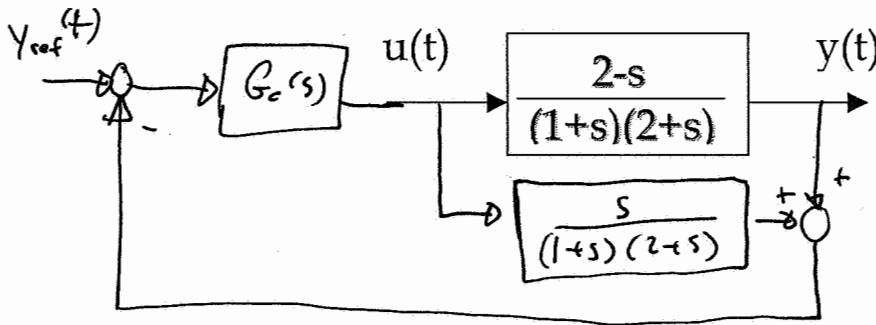
Cuestión 1 (2 puntos)

El sistema indicado más abajo mediante su modelo en función de transferencia presenta una respuesta en bucle abierto ante escalón unitario indicada en la figura de la derecha.



Para efectuar su control se intenta una estructura con realimentación de la salida y se utiliza un controlador calculado a partir de las tablas de Ziegler-Nichols con los siguientes valores leídos de forma aproximada de la figura de la derecha: $K_p=1, t_m=0,7 t_p=1,3$. La estructura de control obtenida resulta ser inestable, por lo que se pide:

- a) dibujar una estructura de control adecuada sobre el sistema de la figura.

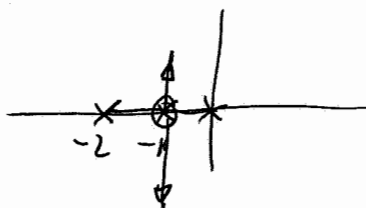


- b) Calcular las funciones de transferencia de todos los bloques utilizados en la estructura de control propuesta. El calculo del controlador puede dejarse sin efectuar indicando cómo debe ser calculado.

El cálculo del controlador está basado en el control de la f.d.t. $\frac{2}{(1+s)(s+2)}$

Si utilizamos un controlador PI $G_c(s) = k \frac{s + t_i}{s}$

con lo que si $t_i = 1$, el cero del controlador se anula con el polo del sistema y el lugar de las raíces queda:



Si queremos que la dinámica de cada una cerrada sea parecida a la de cada una abierta $K_{DOR} = 1$ y $k = 0,5$

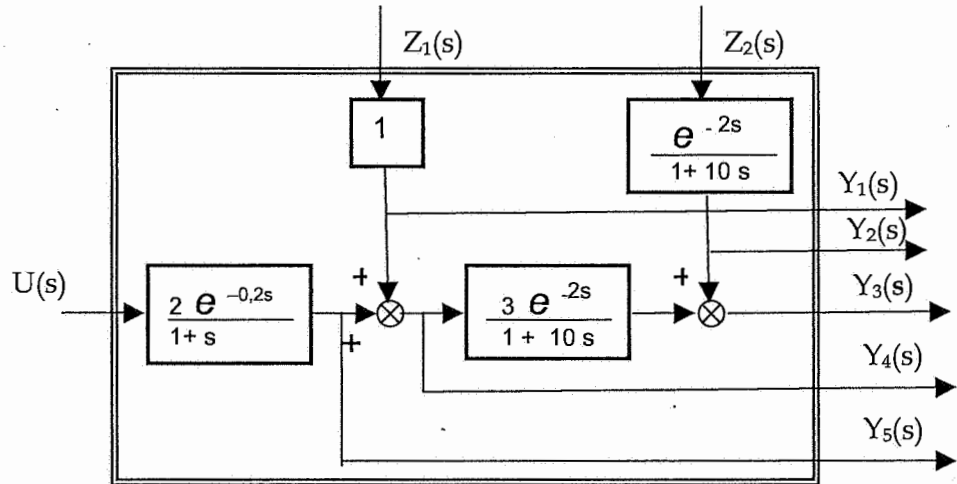
$G_c(s) = 0,5 \left(1 + \frac{1}{s}\right)$

Tabla de Ziegler-Nichols		
Tipo de regulador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo integral t_i
PI	$\frac{0,9}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}}\right)$	$3,33 t_{mp}$

Cuestión 2 (2,75 puntos)

El esquema de la figura representa un sistema con una única variable manipulada $u(t)$ y dos entradas de perturbación $z_1(t)$ y $z_2(t)$. Todas las variables $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$, $y_4(t)$, $y_5(t)$ son medibles, aunque solamente se desea controlar la variable $y_3(t)$.

- a) Dibujar una estructura de control para controlar la variable $y_3(t)$ que minimice en lo posible los efectos de ambas perturbaciones



- b) Calcular las funciones de transferencia de todos los bloques empleados en la estructura de control, incluyendo los propios controladores.

Apellidos: _____

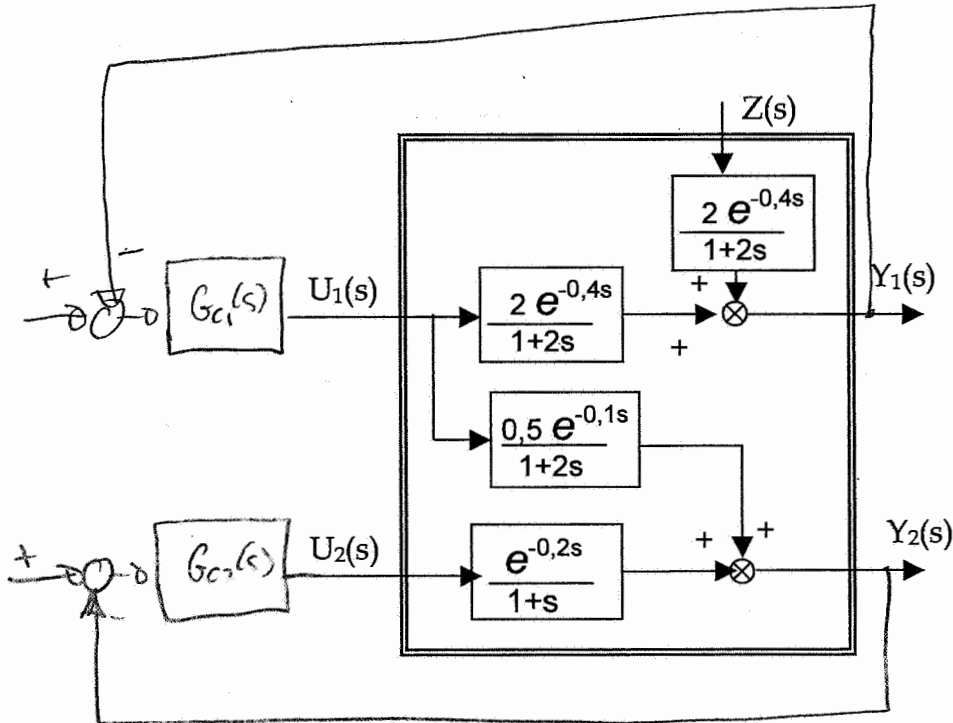
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 3 (1,2 puntos)

En el sistema multivariable de la figura, se pide:



- a) Calcular la matriz de ganancias estáticas relativas

$$K = \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0.5 & 1 \end{bmatrix} \quad \Lambda = K \cdot [K^{-1}]^T = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 2 & 0 \\ 0.5 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & -0.5 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- b) Emparejar correctamente las dos variables de salida con las dos variables de entrada y dibujar la estructura de control formada por dos lazos de control monovariables
 c) Calcular los controladores de la estructura propuesta

$$G_{c1}(s) \quad K_c = \frac{0.9}{2} \frac{2}{0.4} = 2.25 \quad t_i = 3.33 \cdot 0.4 = 1.332$$

$$G_{c2}(s) \quad K_c = \frac{0.9}{1} \frac{1}{0.2} = 4.5 \quad t_i = 3.33 \cdot 0.2 = 0.666$$

(continua al dorso)

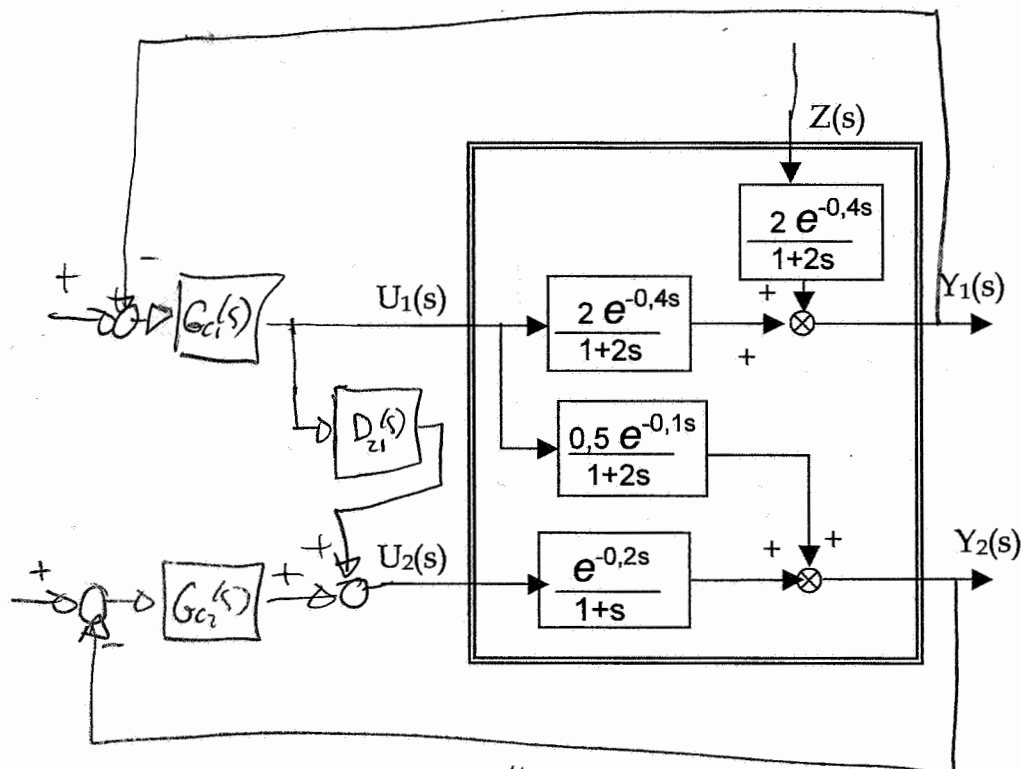
- d) Indicar en la estructura de control propuesta cómo queda afectado el control de cada variable de salida cuando se abre el lazo de control de la otra variable de salida.

Puesto que el sistema está desacoplado ($G_{12}(s)=0$) la apertura o cierre de un bucle de control no afecta al otro.

- e) Razonar en la estructura de control propuesta si la perturbación de la figura afecta a la variable de salida $Y_2(s)$.

Primero afecta a la variable Y_1 , que mediante el bucle de control de ésta afecta a la U_1 , que a su vez es una perturbación en el bucle de control de Y_2 , que por tanto queda afectada.

- f) Dibujar y calcular una estructura de control que minimice los efectos de la perturbación $Z(s)$ sobre la variable de salida importante $Y_2(s)$.



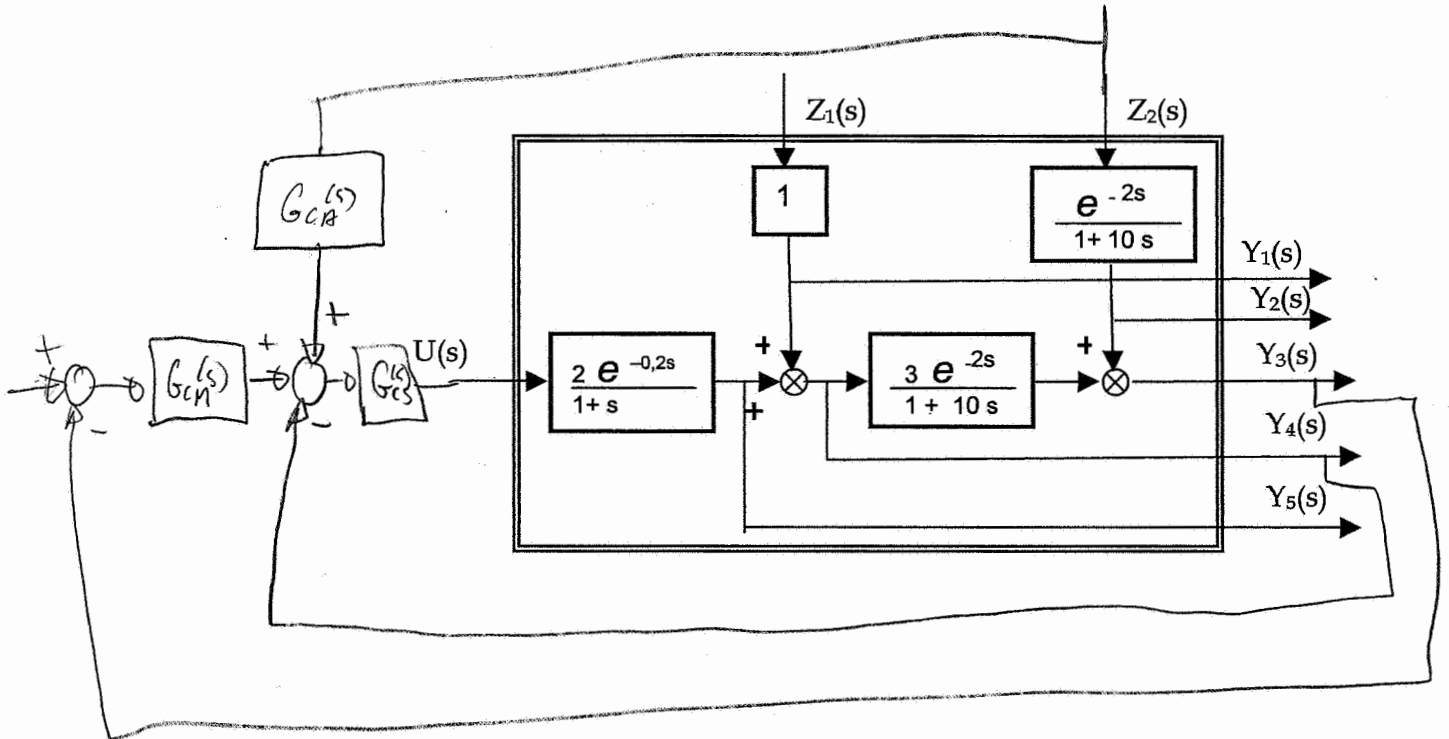
$$D_{21}(s) = -\frac{0.5}{(1+2s)} \frac{e^{-0.1s}}{e^{-0.2s}} \approx 0.5 \frac{1+s}{1+2s} \approx 0.5$$

para que sea rechazable

Cuestión 2 (1,2 puntos)

El esquema de la figura representa un sistema con una única variable manipulada $u(t)$ y dos entradas de perturbación $z_1(t)$ y $z_2(t)$. Todas las variables $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$, $y_4(t)$, $y_5(t)$ son medibles, aunque solamente se desea controlar la variable $y_3(t)$.

- a) Dibujar una estructura de control para controlar la variable $y_3(t)$ que minimice en lo posible los efectos de ambas perturbaciones



- b) Calcular las funciones de transferencia de todos los bloques empleados en la estructura de control, incluyendo los propios controladores.

* $G_{cs}(s)$ $k_c = \frac{0.9}{2} \frac{1}{0.2} = 2.25$ $t_i = 3.33 \cdot 0.2 = 0.666$ $G_{cs}(s) = 2.25 \left(1 + \frac{1}{0.666s} \right)$

* $G_{cn}(s)$ $k_c = \frac{0.9}{3} \frac{10}{7.2} = 1.36$ $t_i = 3.33 \cdot 2.2 = 7.326$ $G_{cn}(s) = 1.36 \left(1 + \frac{1}{7.326s} \right)$

* $G_{ca}(s) = - \frac{e^{-2s}}{1+10s} \frac{1+10s}{3 e^{-7.2s}} = - 0.33 e^{\frac{0.2s}{2}} \underline{\underline{-0.33}}$

para que sea realizable

Apellidos: _____

Nombre: _____

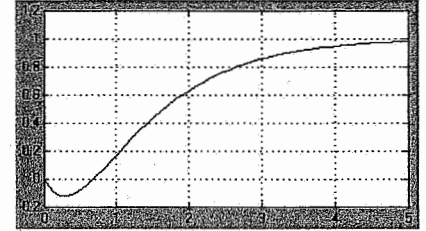
Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

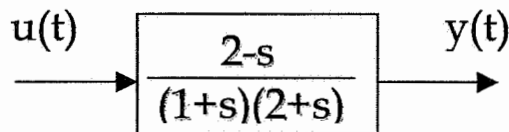
Cuestión 1 (0,6 puntos)

El sistema indicado más abajo mediante su modelo en función de transferencia presenta una respuesta en bucle abierto ante escalón unitario indicada en la figura de la derecha.

Para efectuar su control se intenta una estructura con realimentación de la salida y se utiliza un controlador calculado a partir de las tablas de Ziegler-Nichols con los siguientes valores leídos de forma aproximada de la figura de la derecha: $K_p=1$, $t_m=0,7$ $t_p=1,3$. La estructura de control obtenida resulta ser inestable, por lo que se pide:



- a) dibujar una estructura de control adecuada sobre el sistema de la figura.



- b) Calcular las funciones de transferencia de todos los bloques utilizados en la estructura de control propuesta

Tabla de Ziegler-Nichols		
Tipo de regulador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo integral t_i
PI	$\frac{0,9}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}} \right)$	$3,33 t_{mp}$

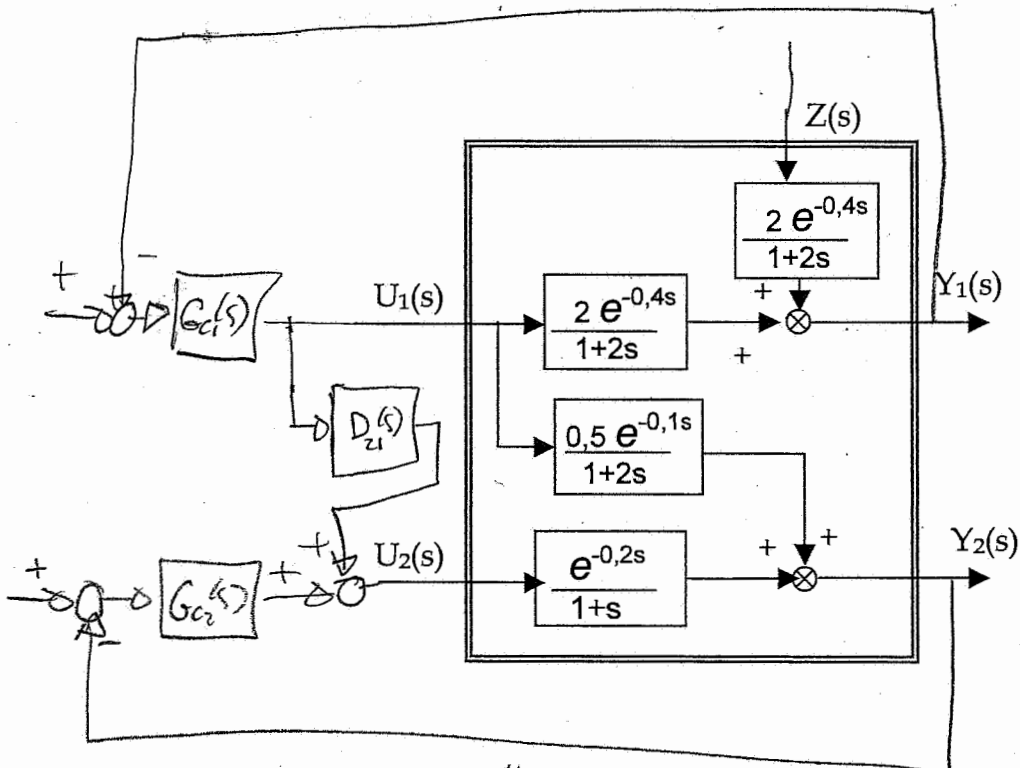
- d) Indicar en la estructura de control propuesta cómo queda afectado el control de cada variable de salida cuando se abre el lazo de control de la otra variable de salida.

Puesto que el sistema está desacoplado ($G_{12}(s) = 0$) la apertura o cierre de un bucle de control no afecta al otro.

- e) Razonar en la estructura de control propuesta si la perturbación de la figura afecta a la variable de salida $Y_2(s)$.

Primero afecta a la variable Y_1 , que mediante el bucle de control de ésta afecta a la U_1 , que a su vez es una perturbación en el bucle de control de Y_2 , que por tanto queda afectada.

- f) Dibujar y calcular una estructura de control que minimice los efectos de la perturbación $Z(s)$ sobre la variable de salida importante $Y_2(s)$.



$$D_{21}(s) = - \frac{0.5}{(1+2s)} \frac{e^{-0.1s} (1+s)}{e^{-0.2s}} \approx 0.5 \frac{1+s}{1+2s} \approx 0.5$$

para que sea rechazable

Apellidos: _____

Nombre: _____

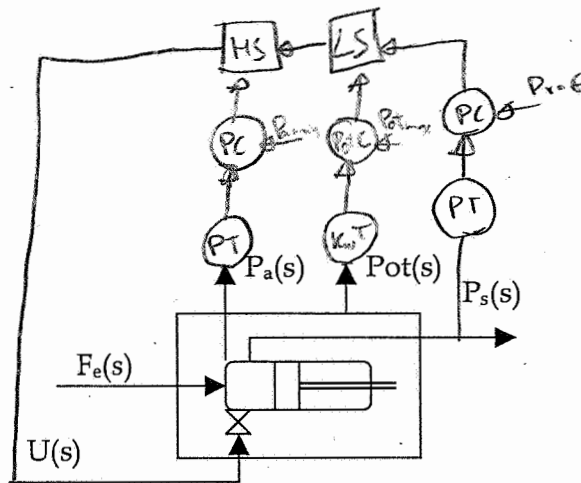
Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

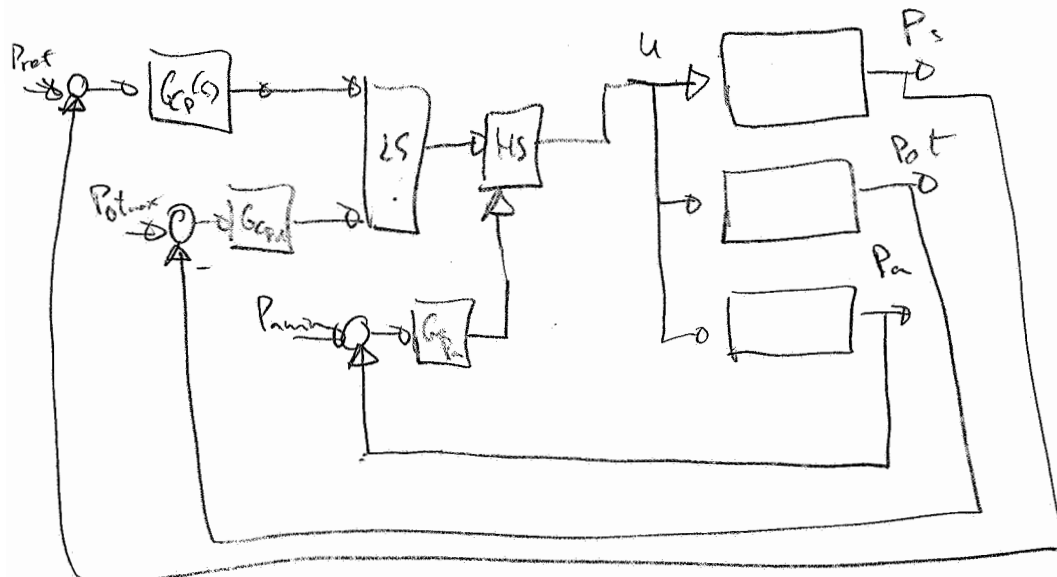
Cuestión 4 (2,5 puntos)

El esquema de la figura representa un compresor de émbolo en el que la presión del gas de salida $P_s(s)$ es controlada mediante la variable manipulada $U(s)$ (que internamente fija el tiempo que la válvula de salida esta cerrada durante la fase de compresión del émbolo)

- a) Dibujar siguiendo la nomenclatura ISA una estructura de control de la variable $P_s(s)$, de manera que garantice que la potencia del motor $Pot(s)$ no sobrepasa un limite máximo preestablecido Pot_{max} y que la presión de admisión $P_a(s)$ no baja por debajo de un valor mínimo admisible P_{amin} . Se supone que ambas variables $Pot(s)$ y $P_a(s)$ son medibles.



- b) Dibujar el diagrama de bloques de la estructura propuesta.



Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 1 (1,5 puntos)

La figura muestra un reactor en el que se desea controlar la temperatura T_s y la composición X_s del producto de salida, que dependen de la temperatura de entrada al reactor T_1 y del flujo de entrada F mediante las siguientes funciones de transferencia del sistema linealizado:

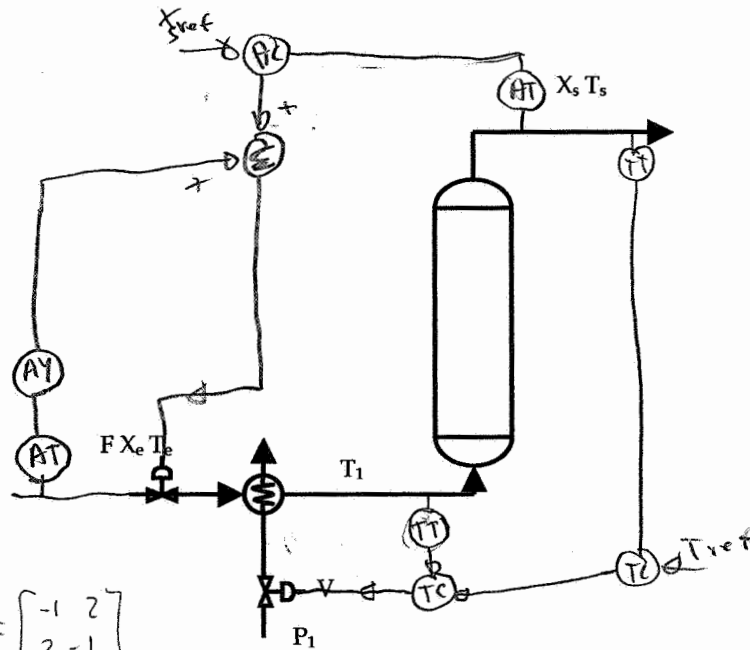
$$\begin{bmatrix} T_s(s) \\ x_s(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e^{-s}}{s+1} & \frac{2e^{-s}}{s+1} \\ \frac{e^{-5s}}{5s+1} & \frac{e^{-5s}}{5s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F(s) \\ T_1(s) \end{bmatrix}$$

La temperatura T_1 depende de la apertura V de la válvula de vapor, de la presión del vapor P_1 y de la temperatura de entrada de suministro al intercambiador T_e , mediante las siguientes funciones de transferencia:

$$\frac{T_1(s)}{V(s)} = \frac{0.5e^{-0.1s}}{0.1s+1}, \quad \frac{T_1(s)}{P_1(s)} = \frac{2e^{-0.1s}}{0.1s+1}, \quad \frac{T_1(s)}{T_e(s)} = \frac{e^{-0.1s}}{0.1s+1}$$

La composición de salida depende también de la composición del producto de entrada X_e , que puede considerarse una entrada de perturbación mediante:

$$\frac{X_s(s)}{X_e(s)} = \frac{0.5e^{-4.9s}}{5s+1}$$



$K = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \Delta = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 2 & -1 \end{bmatrix}$

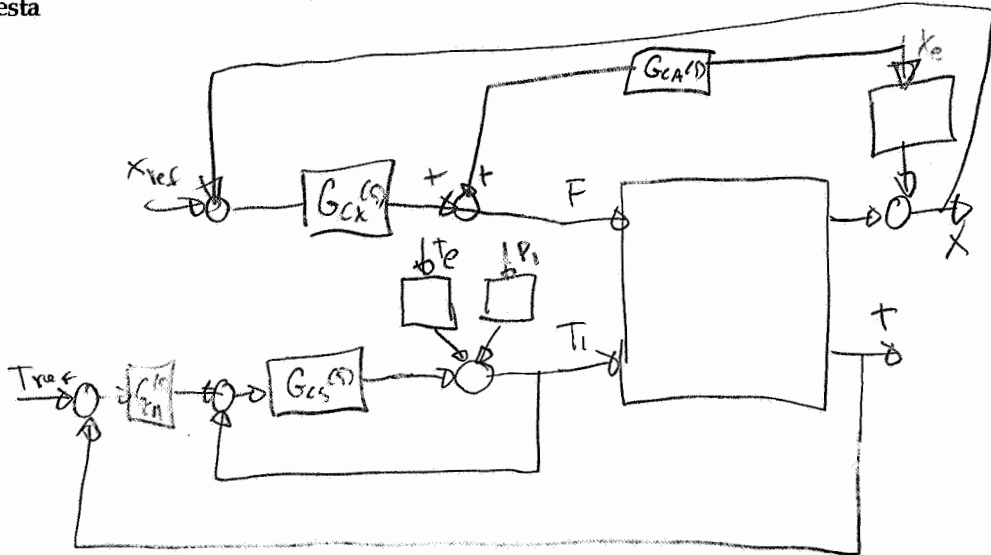
35

a) Dibujar sobre la figura anterior un esquema de control avanzado adecuado utilizando la terminología ISA

(continua en el dorso)

3'5

b) Dibujar el diagrama de bloques completo del sistema anterior incluyendo la estructura de control propuesta



c) c) Calcular la función de transferencia de todos los bloques implicados en el control de la composición de salida Xs

$$\frac{X_s(s)}{F(s)} = \frac{e^{-5s}}{5s+1} \quad \frac{X_s(s)}{X_e(s)} = \frac{0.5 e^{-4.9s}}{5s+1}$$

$$G_{CA}(s) = \frac{-0.5 e^{-4.9s}}{e^{-5s} (5s+1)} = -0.5 e^{0.05s} \approx -0.5 \text{ aproximación necesaria por que sea realizable}$$

$$G_{Cx}(s) \quad K_c = \frac{0.9}{1} \cdot \frac{5}{5} = 0.9$$

$$t_i = 3.33 \cdot 5 = 16.65$$

$$G_{Cx}(s) = 2.09 \left(1 + \frac{1}{16.65s} \right)$$

Tabla de Ziegler-Nichols		
Tipo de regulador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo integral t_i
PI	$\frac{0.9}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}} \right)$	$3.33 t_{mp}$

Regulación Automática II Esp. Automática (Final de Febrero 10/02/04)

Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Cuestión 2 (1,5 puntos)

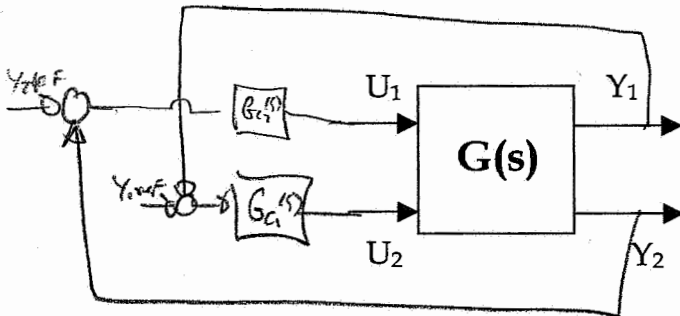
Un sistema de comportamiento no-lineal, cuyas ecuaciones estáticas son:

$$\begin{cases} y_1 = u_1 + 2u_2 \\ y_2 = u_1/u_2 \end{cases}$$

tiene las siguientes funciones de transferencia una vez linealizado en torno a su punto de funcionamiento:

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e^{-10s}}{10s+1} & \frac{2e^{-10s}}{10s+1} \\ \frac{e^{-s}}{s+1} & \frac{e^{-s}}{s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{bmatrix}$$

- a) (20%) Dibujar un esquema de control adecuado (sin desacopladores) $K = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \Delta = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 2 & -1 \end{bmatrix}$



- b) (25%) Calcular los controladores utilizados en la estructura anterior

$Y_2(s) - U_1(s)$ es el bode rápido, sostenimiento independiente

$$K_c = \frac{0.9}{1} \cdot \frac{1}{1} = 0.9$$

$$G_{c2}(s) = 0.9 \left(1 + \frac{1}{3.33s} \right)$$

$$t_i = 3.33 \cdot 1 = 3.33$$

$Y_1(s) - U_2(s)$ bode lento, ganancia calculada multiplicada por $k_{12} = 2$

$$K_c = 2 \cdot \frac{0.9}{2} \cdot \frac{10}{10} = 0.9$$

$$G_{c1}(s) = 0.9 \left(1 + \frac{1}{3.33s} \right)$$

$$t_i = 3.33 \cdot 10 = 33.3$$

(continua al dorso)

- c) (25%) Indicar como quedan afectadas cada una de las variables de salida del sistema controlado según el esquema propuesto en el apartado anterior cuando se abre el lazo de control de la otra variable de salida.

La salida y_2 casi no se altera cuando se abre el buche y_1-u_1 , puesto que el controlador, al estarlo conectado con el que se utilizaría con los bucles abiertos, aunque su control mejorará.

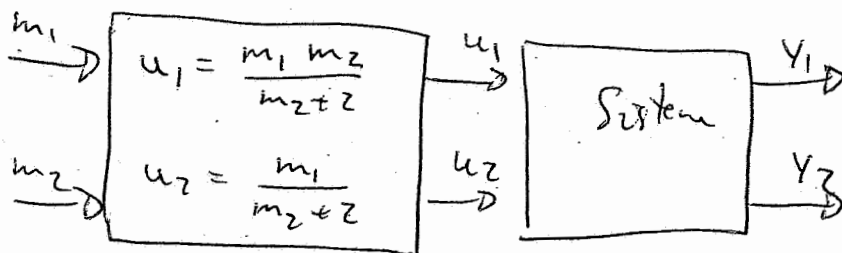
La salida y_1 está utilizando un controlador 2 veces más ganancia que el deseado, luego y_1 presentará más oscilaciones y ~~pero~~ sobrees oscilación, acercándose a la inestabilidad.

- d) (25%) Diseñar un desacoplador no-lineal del sistema

Despejando las variables u_1, u_2 en función de y_1, y_2 en las ecuaciones estáticas

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= u_1 + 2u_2 \\ y_2 &= u_1 / u_2 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} y_1 &= y_2 u_2 + 2u_2 \\ u_1 &= y_2 u_2 \end{aligned} \quad \left. \begin{aligned} u_2 &= \frac{y_1}{y_2 + 2} \\ u_1 &= \frac{y_1 y_2}{y_2 + 2} \end{aligned} \right\}$$

luego el desacoplador estático no-lineal es:



Apellidos: _____

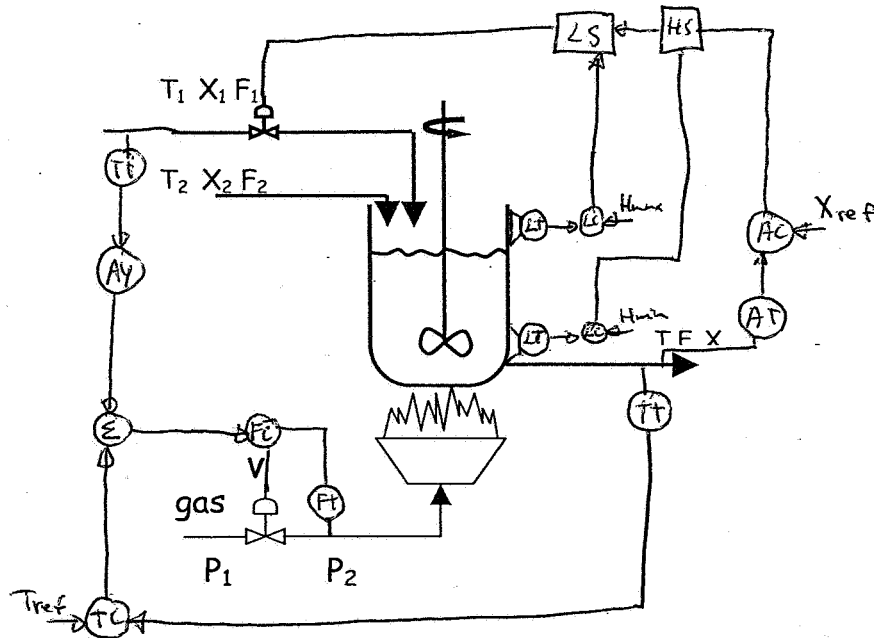
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

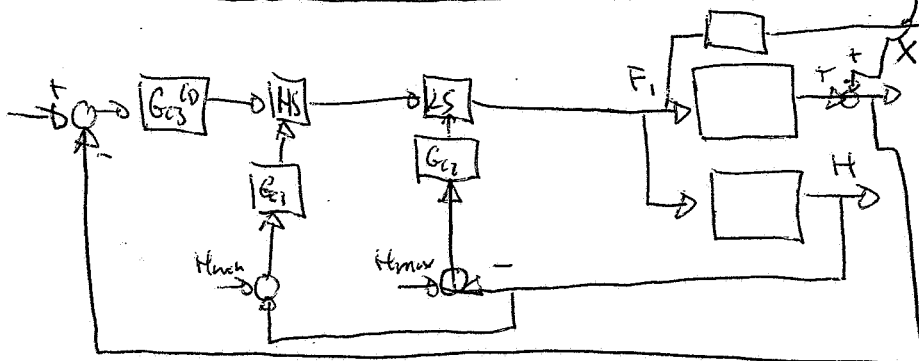
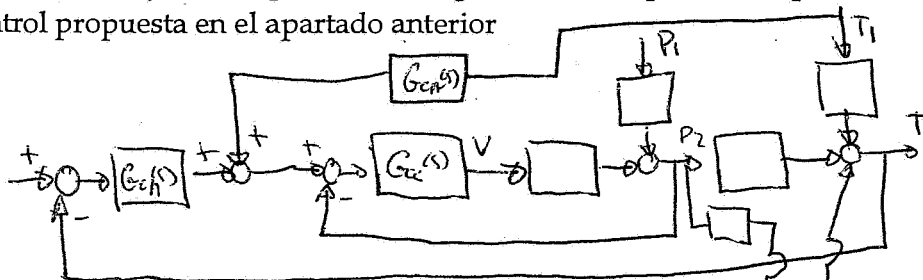
Cuestión 2 (2 puntos)

La figura representa un sistema mezclador de dos flujos de un fluido con concentraciones y temperaturas distintas cada uno de ellos, pudiendo manipularse solamente el flujo F_1 , y calentándose la mezcla mediante un quemador para conseguir la temperatura adecuada del flujo de salida F . Las dos únicas variables manipuladas del sistema son las dos electro-válvulas que aparecen en la figura V_1 y V . En este sistema se desea controlar la temperatura del flujo de salida T y su concentración X , manteniendo bajo control la altura del depósito H , de manera que no sobrepase unos valores mínimo H_{\min} y máximo H_{\max} predeterminados. Se desea que la estructura de control minimice los efectos de los cambios de presión de suministro del gas P_1 y de la temperatura del flujo entrante T_1 .

a) (60%) Dibujar sobre el esquema de la figura la estructura de control propuesta, utilizando para ello la simbología ISA.



b) (40%) Dibujar el esquema de diagrama de bloques correspondiente a la estructura de control de control propuesta en el apartado anterior



Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Cuestión 3 (2 puntos)

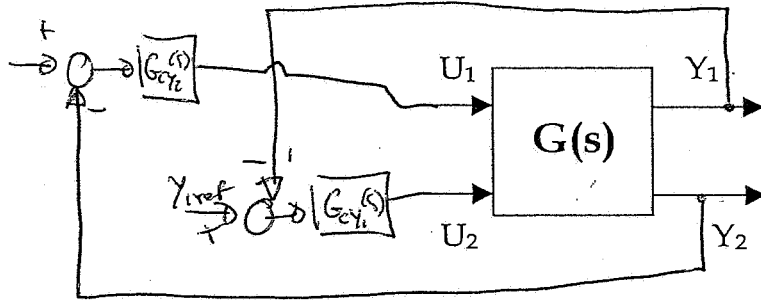
Un sistema de comportamiento no-lineal, cuyas ecuaciones estáticas son:

$$\begin{cases} y_1 = u_1 + 2u_2 \\ y_2 = u_1 / u_2 \end{cases}$$

tiene las siguientes funciones de transferencia una vez linealizado en torno a su punto de funcionamiento:

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e^{-10s}}{10s+1} & \frac{2e^{-10s}}{10s+1} \\ \frac{e^{-s}}{s+1} & \frac{e^{-s}}{s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{bmatrix}$$

- a) (45%) Dibujar un esquema de control adecuado (sin desacopladores) y calcular los controladores utilizados.



$$K = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \Delta = K \otimes (K^{-1})^T = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 2 & -1 \end{bmatrix}$$

luego la eleccion correcta de bucles de control es $y_1 \rightarrow u_2$ y $y_2 \rightarrow u_1$

El bucle $y_2 - u_1$ es el rápido y se sintoniza independientemente del otro

$$K_{cY_2} = \frac{0.9}{1} \cdot \frac{1}{1} = 0.9 \quad T_{iY_2} = 3.33 \cdot 1 = 3.33 \quad G_{cY_2}(s) = 0.9 \left(1 + \frac{1}{3.33s} \right)$$

El buche $y_1 - u_2$ es el lento y la ganancia del controlador queda multiplicada por $\sqrt{2}$

$$K_{cY_1} = 2 \cdot \frac{0.9}{2} \cdot \frac{10}{10} = 0.9 \quad T_{iY_1} = 3.33 \cdot 10 = 33.3 \quad G_{cY_1}(s) = 0.9 \left(1 + \frac{1}{33.3s} \right)$$

- b) (25%) Indicar como quedan afectadas cada una de las variables de salida del sistema controlado según el esquema propuesto en el apartado anterior cuando se abre el lazo de control de la otra variable de salida.

La salida y_2 caso no se altera cuando se abre el buche $y_1 - u_1$, puesto que el controlado alterado coincide con el que se calcularía con los bucles abiertos, aunque su control mejorará

La salida y_1 está utilizando un controlador 2 veces más ganancia que el debido, luego y_1 presentará más oscilaciones y ~~por~~ sobreesalida, acercándose a la inestabilidad.

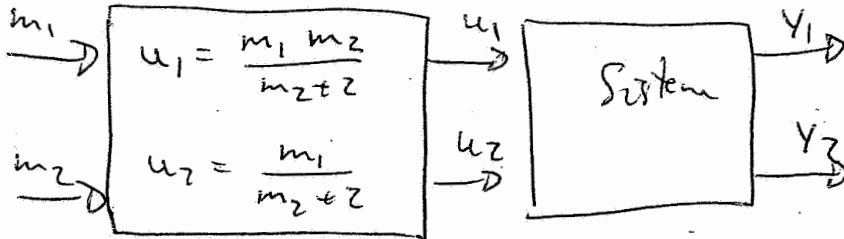
(continua en el dorso)

c) (30%) Diseñar un desacoplador no-lineal del sistema

Despejando las variables u_1, u_2 a función de y_1, y_2 en las ecuaciones estáticas

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= u_1 + 2u_2 \\ y_2 &= u_1 / u_2 \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} y_1 &= y_2 u_2 + 2u_2 \\ u_1 &= y_2 u_2 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} u_2 &= \frac{y_1}{y_2 + 2} \\ u_1 &= \frac{y_1 y_2}{y_2 + 2} \end{aligned}$$

luego el desacoplador estático no-lineal es:



Regulación Automática II Esp. Automática (Final de Febrero 10/02/04)

Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 1 (1,5 puntos)

La figura muestra un reactor en el que se desea controlar la temperatura T_s y la composición X_s del producto de salida, que dependen de la temperatura de entrada al reactor T_1 y del flujo de entrada F mediante las siguientes funciones de transferencia del sistema linealizado:

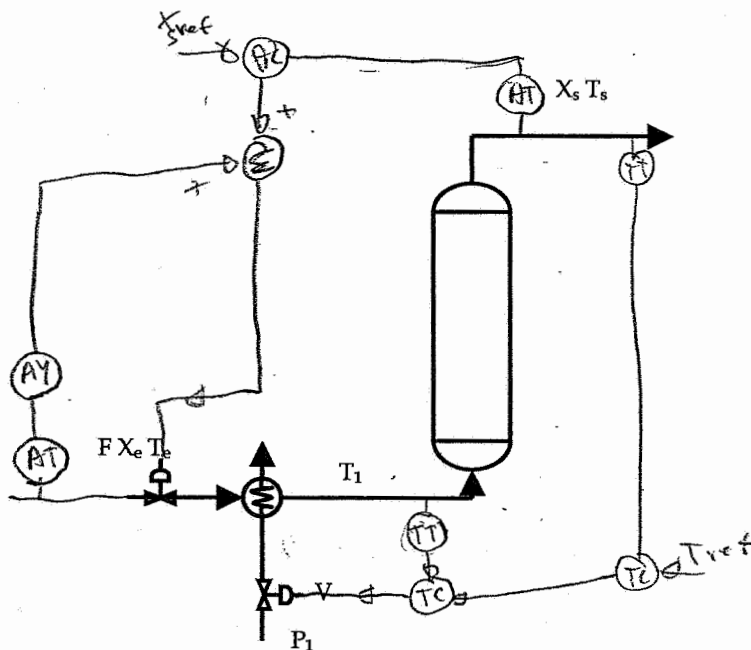
$$\begin{bmatrix} T_s(s) \\ x_s(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e^{-s}}{s+1} & \frac{2e^{-s}}{s+1} \\ \frac{e^{-5s}}{5s+1} & \frac{e^{-5s}}{5s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F(s) \\ T_1(s) \end{bmatrix}$$

La temperatura T_1 depende de la apertura V de la válvula de vapor, de la presión del vapor P_1 y de la temperatura de entrada de suministro al intercambiador T_e , mediante las siguientes funciones de transferencia:

$$\frac{T_1(s)}{V(s)} = \frac{0.5e^{-0.1s}}{0.1s+1}, \quad \frac{T_1(s)}{P_1(s)} = \frac{2e^{-0.1s}}{0.1s+1}, \quad \frac{T_1(s)}{T_e(s)} = \frac{e^{-0.1s}}{0.1s+1}$$

La composición de salida depende también de la composición del producto de entrada X_e , que puede considerarse una entrada de perturbación mediante:

$$\frac{X_s(s)}{X_e(s)} = \frac{0.5e^{-4.9s}}{5s+1}$$



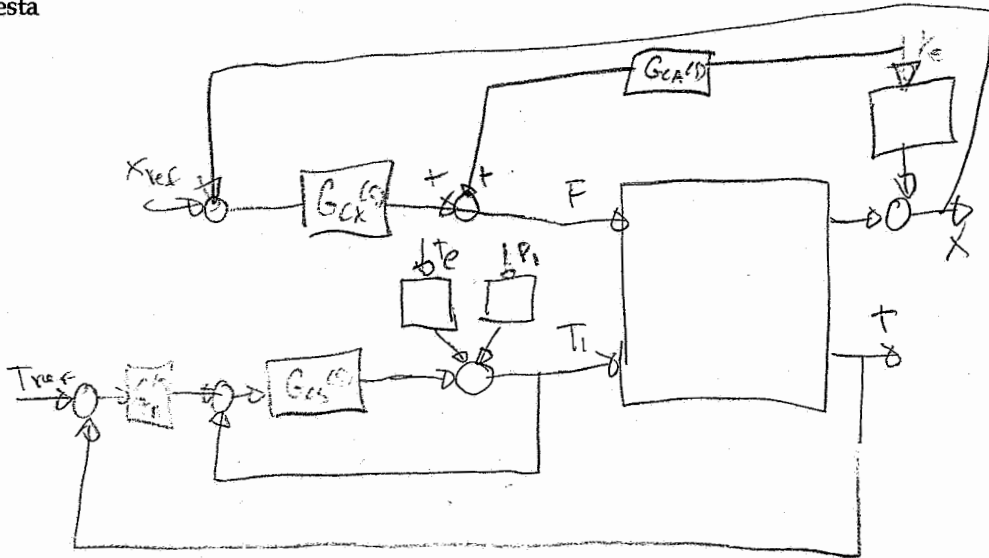
35

a) Dibujar sobre la figura anterior un esquema de control avanzado adecuado utilizando la terminología ISA

(continua en el dorso)

3'5

b) Dibujar el diagrama de bloques completo del sistema anterior incluyendo la estructura de control propuesta



c) Calcular la función de transferencia de todos los bloques implicados en el control de la composición de salida X_s

$$\frac{X_s(s)}{F(s)} = \frac{e^{-5s}}{5s+1}$$

$$\frac{X_s(s)}{X_e(s)} = \frac{0.5 e^{-6.9s}}{5s+1}$$

$$G_{CA}(s) = \frac{-0.5 e^{-6.9s}}{e^{-5s} (5s+1)} = -0.5 e^{-0.05s} \approx -0.5$$

aproximación necesaria por que sea factible

$$G_{Cx}(s) = \frac{0.9}{1+s} = 0.9$$

$$t_i = 3.33 \cdot 5 = 16.65$$

$$G_{Cx}(s) = 0.9 \left(1 + \frac{1}{16.65s} \right)$$

Tabla de Ziegler-Nichols		
Tipo de regulador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo integral t_i
PI	$\frac{0.9}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}} \right)$	$3.33 t_{mp}$

Apellidos: _____

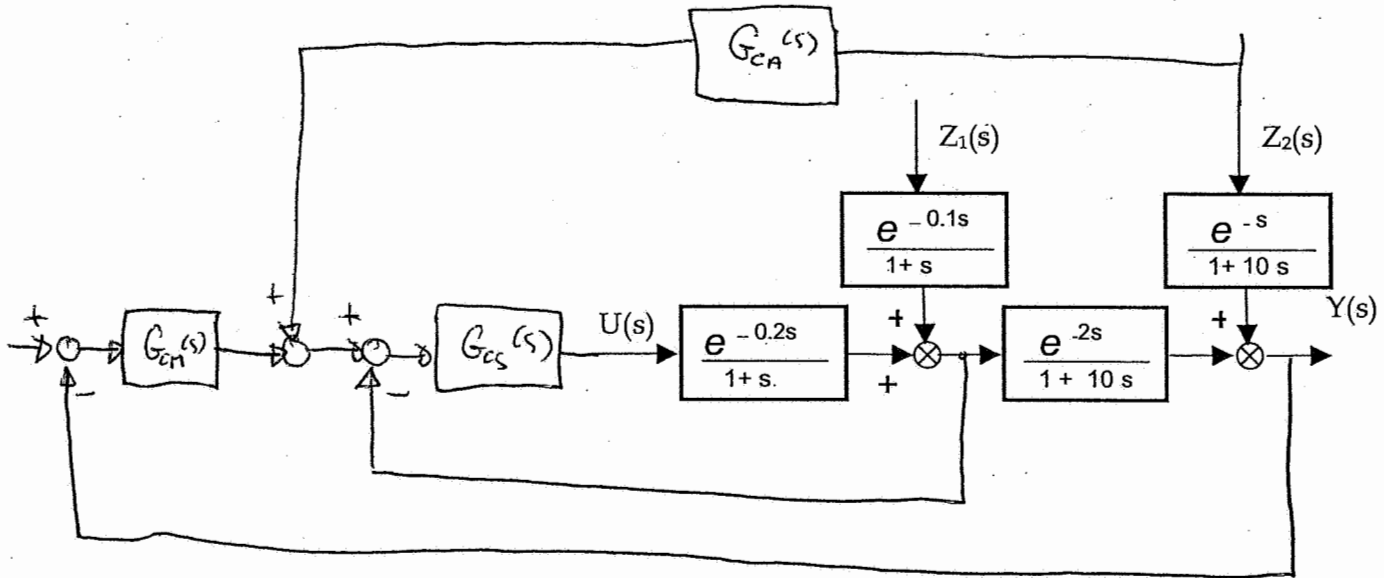
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones se responderán en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 1 (2 puntos)

a) (40%) Dibujar el esquema de control más adecuado para controlar de la salida del sistema de la figura, teniendo en cuenta que la variable $U(s)$ es la única entrada manipulada y que $Z_1(s)$ y $Z_2(s)$ son variables de perturbación, pudiéndose medir los valores de todas las variables que aparecen en dichas figuras.



b) (35%) Calcular las funciones de transferencia utilizadas, incluyendo los controladores.

Controlador $G_{cs}(s)$

$$K_c = \frac{0.9}{1} \frac{1}{0.2} = 4.5, \quad t_i = 3.33 \cdot 0.2 = 0.666 \quad G_{cs}(s) = 4.5 \left(1 + \frac{1}{0.666s} \right)$$

Controlador $G_{cm}(s)$

$$K_p = 1.1, \quad t_p \approx 10; \quad t_m = 2 + 0.2 = 2.2$$

$$K_c = \frac{0.9}{1} \frac{10}{0.2} = 4.09, \quad t_i = 3.33 \cdot 2.2 = 7.326, \quad G_{cm}(s) = 4.09 \left(1 + \frac{1}{7.326s} \right)$$

Control retroactivo $G_{ca}(s)$

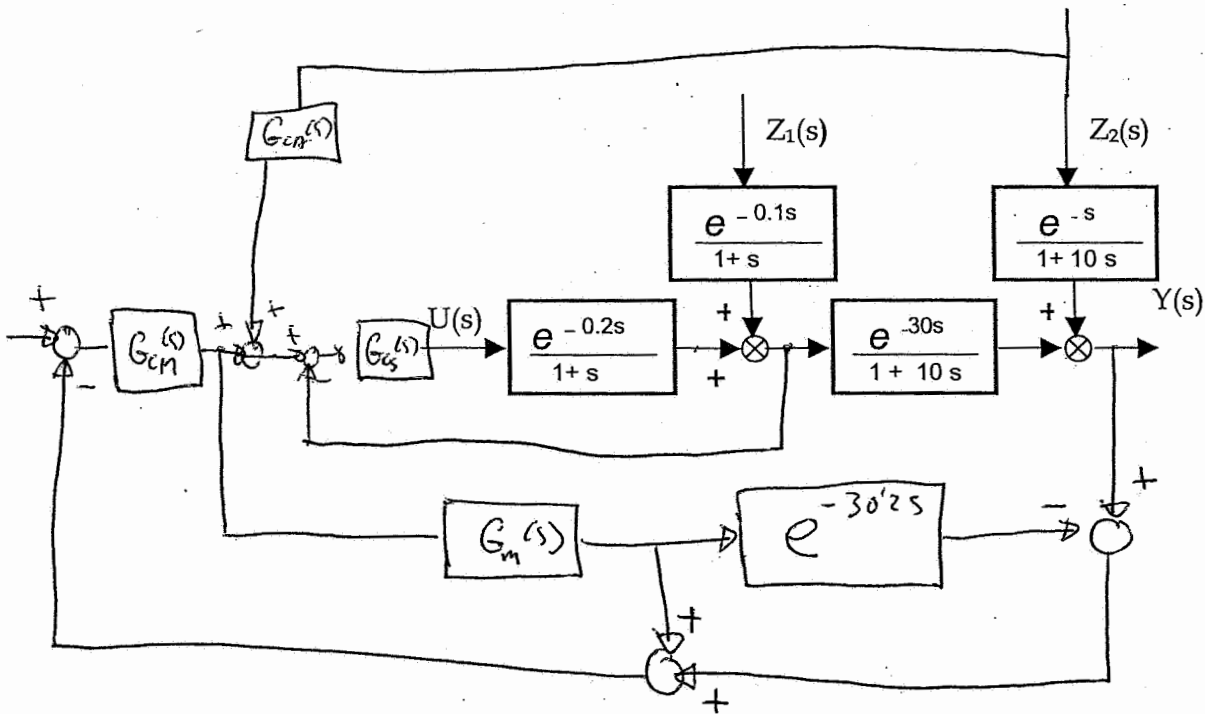
$$G_{ca}(s) = - \frac{e^{-s}}{1+10s} \frac{1+10s}{e^{-2.2s}}, \text{ por ser un canal se aproxima a } G_{ca}(s) = -1$$

(continua en el dorso)

Tabla de Ziegler-Nichols		
Tipo de regulador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo integral t_i
PI	$\frac{0.9}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}} \right)$	$3.33 t_{mp}$

25/6

c) Dibujar la estructura de control más adecuada en el caso de que cambie la función de transferencia del tercer bloque, según se indica en la siguiente figura:



Apellidos: _____

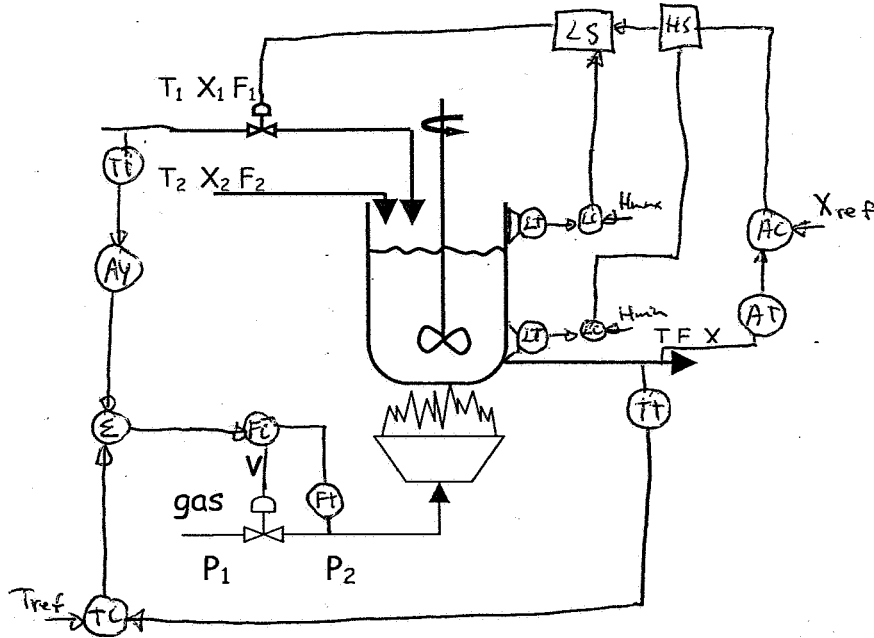
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

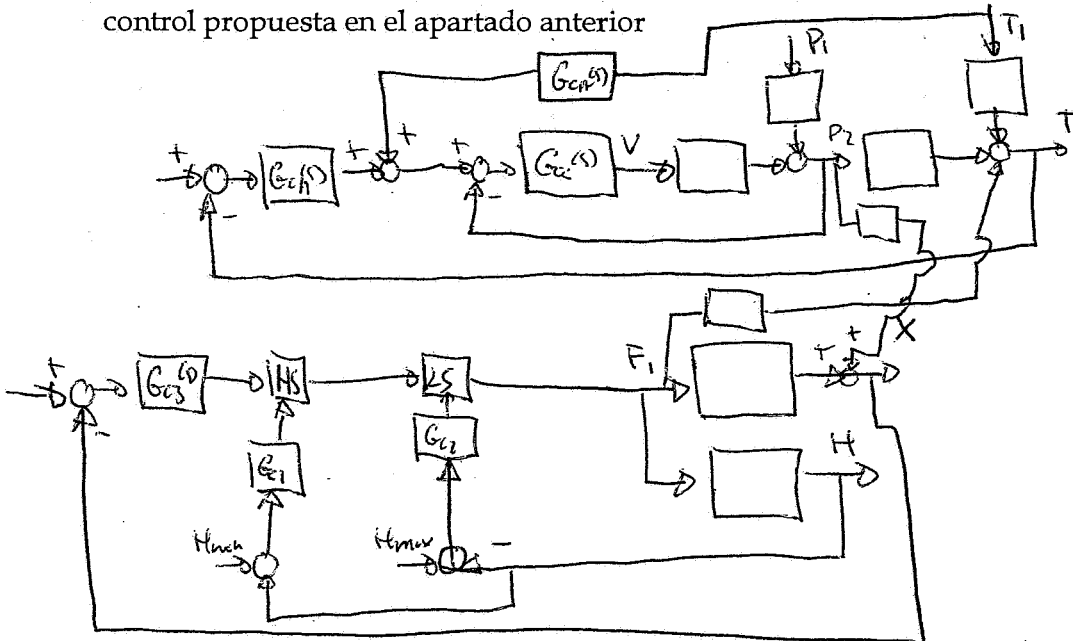
Cuestión 2 (2 puntos)

La figura representa un sistema mezclador de dos flujos de un fluido con concentraciones y temperaturas distintas cada uno de ellos, pudiendo manipularse solamente el flujo F_1 , y calentándose la mezcla mediante un quemador para conseguir la temperatura adecuada del flujo de salida F . Las dos únicas variables manipuladas del sistema son las dos electro-válvulas que aparecen en la figura F_1 y V . En este sistema se desea controlar la temperatura del flujo de salida T y su concentración X , manteniendo bajo control la altura del depósito H , de manera que no sobrepase unos valores mínimo H_{\min} y máximo H_{\max} predeterminados. Se desea que la estructura de control minimice los efectos de los cambios de presión de suministro del gas P_1 y de la temperatura del flujo entrante T_1 .

a) (60%) Dibujar sobre el esquema de la figura la estructura de control propuesta, utilizando para ello la simbología ISA.



b) (40%) Dibujar el esquema de diagrama de bloques correspondiente a la estructura de control de control propuesta en el apartado anterior



Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Cuestión 3 (2 puntos)

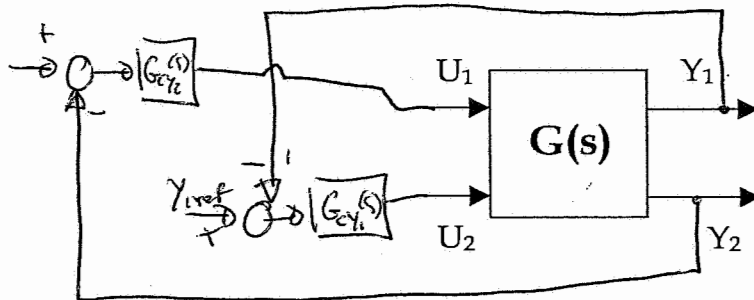
Un sistema de comportamiento no-lineal, cuyas ecuaciones estáticas son:

$$\begin{cases} y_1 = u_1 + 2u_2 \\ y_2 = u_1 / u_2 \end{cases}$$

tiene las siguientes funciones de transferencia una vez linealizado en torno a su punto de funcionamiento:

$$\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ Y_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{e^{-10s}}{10s+1} & \frac{2e^{-10s}}{10s+1} \\ \frac{e^{-s}}{s+1} & \frac{e^{-s}}{s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1(s) \\ U_2(s) \end{bmatrix}$$

- a) (45%) Dibujar un esquema de control adecuado (sin desacopladores) y calcular los controladores utilizados.



$$K = \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \Lambda = K \otimes (K^{-1})^T = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 2 & -1 \end{bmatrix}$$

luego la elección correcta de bucles de control es $Y_1 \rightarrow U_2$ y $Y_2 \rightarrow U_1$

El bucle Y_2-U_1 es el rápido y se sintoniza independientemente del otro

$$K_{cy2} = \frac{0.9}{1} \cdot \frac{1}{1} = 0.9 \quad T_{iy2} = 3.33 \cdot 1 = 3.33 \quad G_{cy2}(s) = 0.9 \left(1 + \frac{1}{3.33s} \right)$$

El buche Y_1-U_2 es el lento y la ganancia del controlador queda multiplicada por λ_{12}^2

$$K_{cy1} = 2 \cdot \frac{0.9}{2} \cdot \frac{10}{10} = 0.9 \quad T_{iy1} = 3.33 \cdot 10 = 33.3 \quad G_{cy1}(s) = 0.9 \left(1 + \frac{1}{33.3s} \right)$$

- b) (25%) Indicar como quedan afectadas cada una de las variables de salida del sistema controlado según el esquema propuesto en el apartado anterior cuando se abre el lazo de control de la otra variable de salida.

La salida y_2 casi no se altera cuando se abre el buche Y_1-U_1 , puesto que el controlador calculado coincide con el que se calcularía en los bucles abiertos, aunque su control mejorará

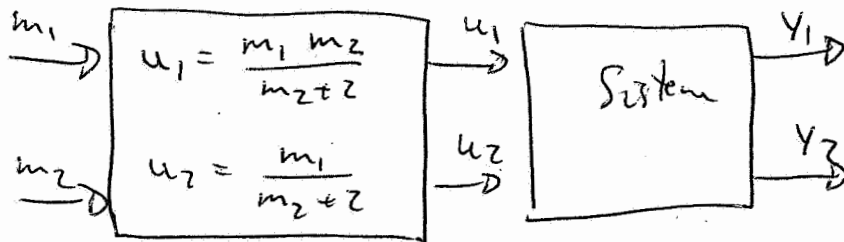
La salida y_1 está utilizando un controlador 2 veces más ganancia que el deseado, luego y_1 presentará más oscilaciones y ~~pero~~ sobreesoscilación, acercándose a la inestabilidad.

c) (30%) Diseñar un desacoplador no-lineal del sistema

Despejando las variables u_1, u_2 en función de y_1, y_2 en las ecuaciones estáticas

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= u_1 + 2u_2 \\ y_2 &= u_1 / u_2 \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} y_1 &= y_2 u_2 + 2u_2 \\ u_1 &= y_2 u_2 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} u_2 &= \frac{y_1}{y_2 + 2} \\ u_1 &= \frac{y_1 y_2}{y_2 + 2} \end{aligned}$$

luego el desacoplador estático no-lineal es:



Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Cuestión 4 (1.5 puntos)

Dado el sistema cuyo modelo de estado es:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

a) Calcular la matriz de funciones de transferencia entre la salida y las dos entradas

$$G(s) = C [sI - A]^{-1} B + D = \begin{bmatrix} 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s+1 & 0 \\ 0 & s+1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{s+1} & \frac{1}{s+1} \end{bmatrix}$$

b) Calcular los puntos del espacio de estado que son controlables desde condiciones iniciales $x_1(0)=2$ y $x_2(0)=1$ en el instante $t_1=1$, utilizando únicamente la entrada u_1 .

$$\begin{bmatrix} x_1(1) \\ x_2(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-1} & 0 \\ 0 & e^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix} + \int_0^1 \begin{bmatrix} e^{-1+\tau} & 0 \\ 0 & e^{-1+\tau} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} u_1(\tau) d\tau$$

~~La~~ *el subespacio controlable*

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad \text{base} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

luego:

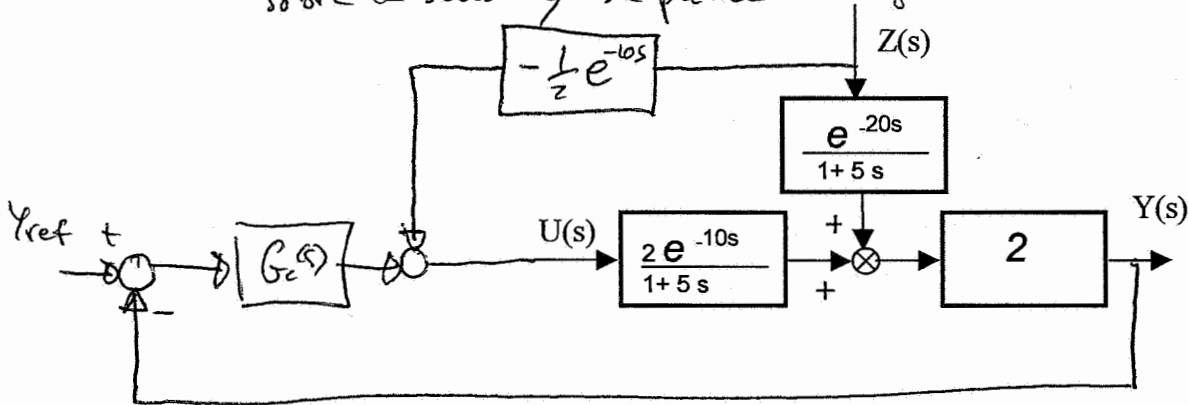
$$\begin{bmatrix} x_1(1) \\ x_2(1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2e^{-1} \\ e^{-1} \end{bmatrix} + \alpha \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Cuestión 3 (1'5 puntos)

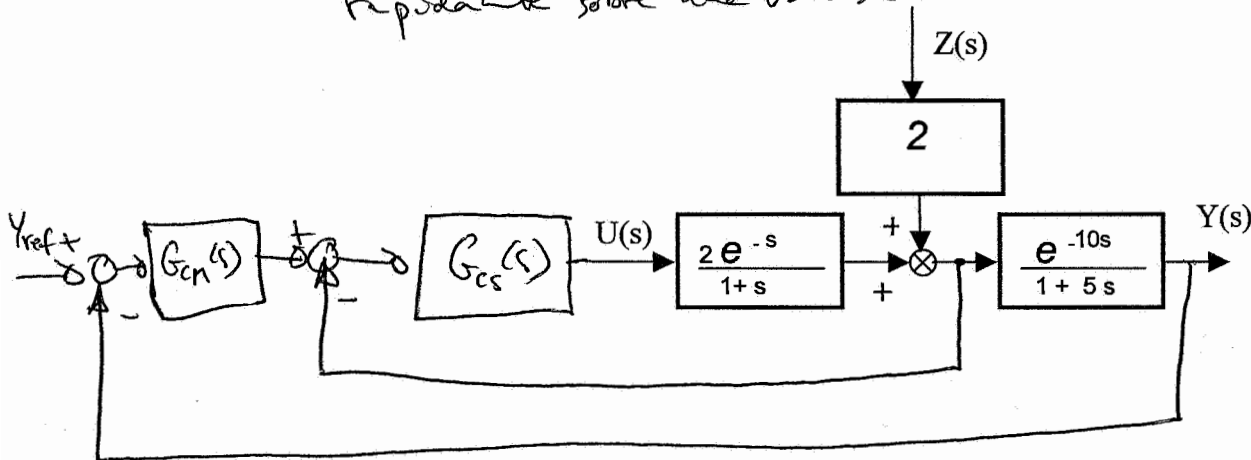
Dibujar el esquema de control más adecuado para controlar de la salida de los tres sistemas dibujados, teniendo en cuenta que la variable $U(s)$ es la única entrada manipulada y $Z(s)$ es una perturbación, pudiéndose medir los valores de todas las variables que aparecen en dichas figuras.

Calcular las funciones de transferencia utilizadas, exceptuando los controladores.

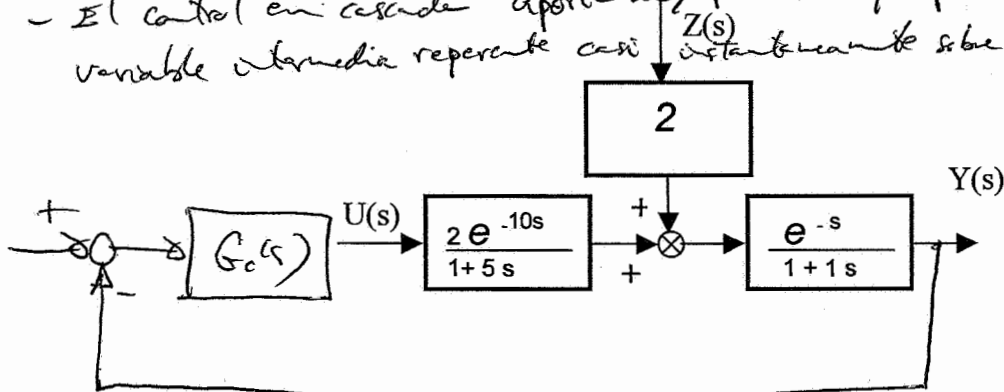
Sistema 1: Control anticipativo, puesto que la perturbación influye lentamente sobre la salida y se pueden corregir sus efectos mediante la entrada



Sistema 2: Control en cascada, puesto que la perturbación influye rápidamente sobre una variable intermedia medible



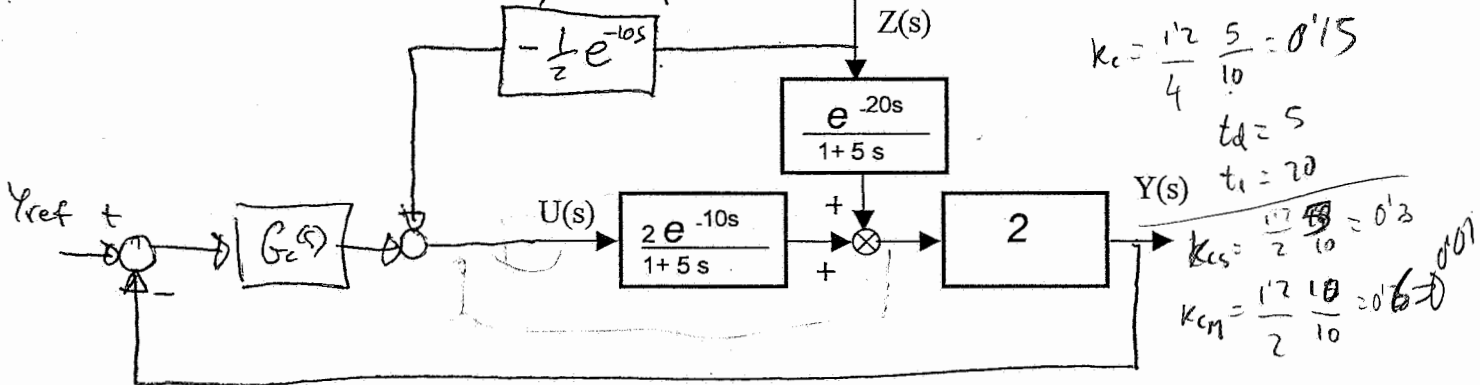
Sistema 3: El control anticipativo no tiene sentido, puesto que la perturbación afecta rápidamente a la salida y la salida en cambio tarda mucho.
 - El control en cascada aporta muy poca ventaja puesto que la variable intermedia repercute casi instantáneamente sobre la salida



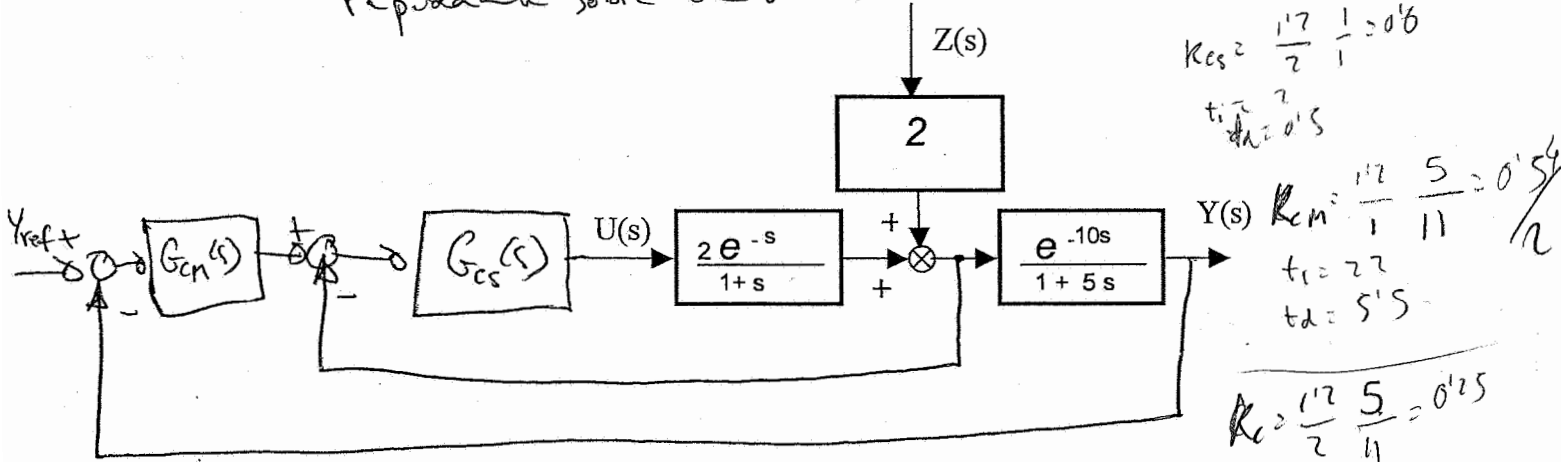
Cuestión 3 (11.5 puntos)

Dibujar el esquema de control más adecuado para controlar de la salida de los tres sistemas dibujados, teniendo en cuenta que la variable $U(s)$ es la única entrada manipulada y $Z(s)$ es una perturbación, pudiéndose medir los valores de todas las variables que aparecen en dichas figuras. Calcular las funciones de transferencia utilizadas, exceptuando los controladores.

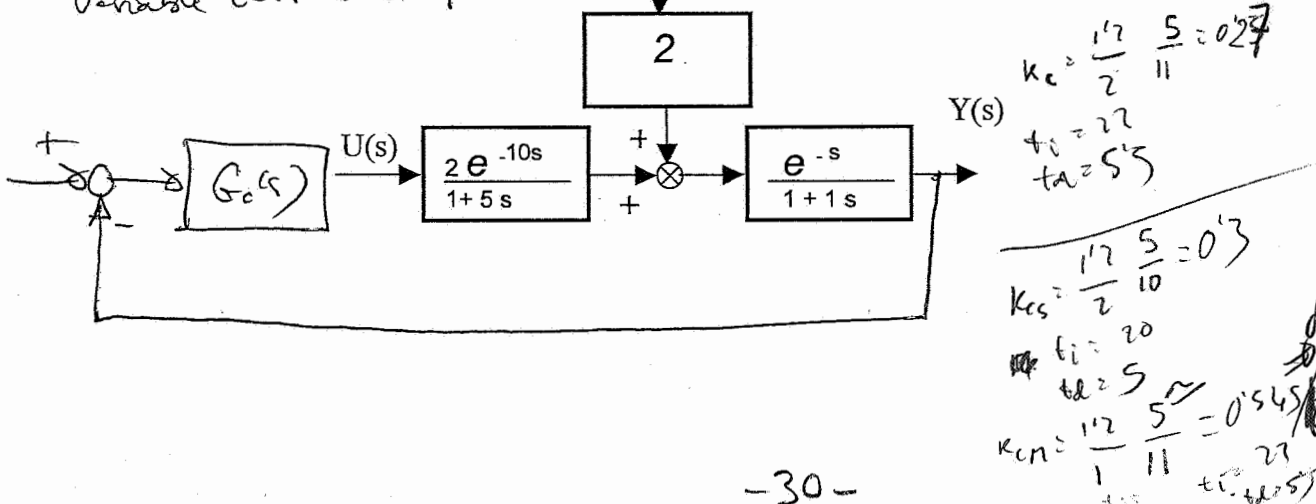
Sistema 1: Control antecapativo, puesto que la perturbación influye lentamente sobre la salida y se pueden corregir sus efectos mediante la acción



Sistema 2: Control en cascada, puesto que la perturbación influye repidamente sobre una variable intermedia medible



Sistema 3: El control antecapativo no tiene sentido, puesto que la perturbación afecta repidamente a la salida y la acción en cambio tarda mucho. El control en cascada aporta muy poca ventaja puesto que la variable intermedia repercute casi instantáneamente sobre la salida



Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Todas las cuestiones se responderá en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 1. (0.75 puntos)

Calcular la matriz de ganancias relativas en el sistema definido por las siguientes ecuaciones:

$$(s^2+2s+1) y_1 = 2 u_1 + (2s+1) u_2$$

$$(3s+1) y_2 = 3 u_1 + u_2$$

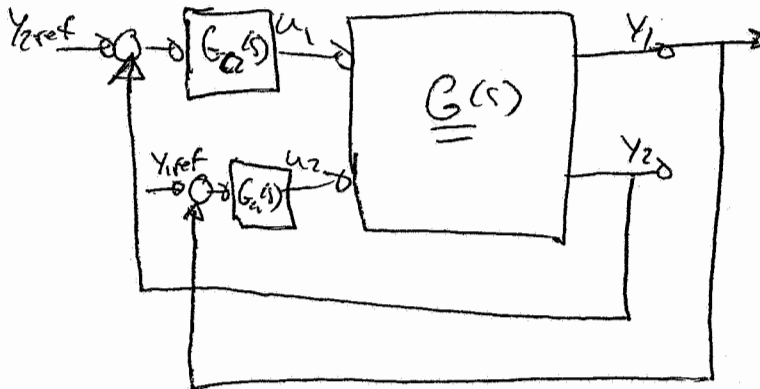
Dibujar una estructura de control adecuada formada por dos bucles de control monovariables.

La matriz de ganancias del sistema es $k = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$

Por lo que la matriz de ganancias estáticas relativas se calcula como:

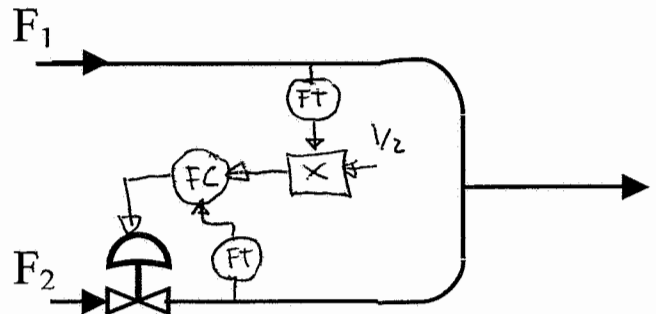
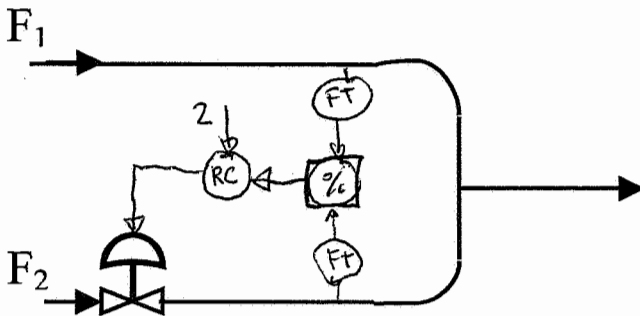
$$\Lambda = k * [k^{-1}]^T = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -1 & 3 \\ 1 & -2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2 & 3 \\ 3 & -2 \end{bmatrix}$$

Puesto que no se debe elegir variables con $\lambda < 0$, la elección correcta es $u_1 \rightarrow y_2$ $u_2 \rightarrow y_1$, quedando el siguiente esquema de control



Cuestión 2. (0.75 puntos)

El sistema de la figura representa la mezcla de dos fluidos, en el que el flujo F_1 puede considerarse una entrada de perturbación, mientras el flujo F_2 es una entrada manipulada del sistema mediante la válvula de la figura. Pintar dos posibles estructuras de control de dicho sistema para mantener una relación constante de flujos $F_1/F_2 = 2$.

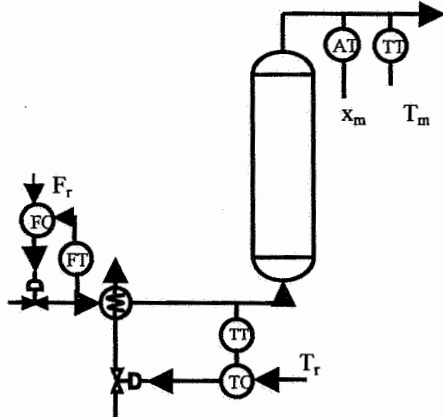


Apellidos: _____
 Nombre: _____
 N° de matrícula _____ N° de documento de identidad _____

Todas las cuestiones se responderá en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 1 (3 puntos)

La figura muestra un reactor en el que se desea controlar la composición x_m y la temperatura T_m del producto de salida, actuando sobre los puntos de consigna del controlador del caudal de alimentación F_r y del controlador de temperatura de la alimentación T_r . La salida x_m se considera más importante que T_m . El modelo linealizado del proceso es el siguiente:



$$\begin{bmatrix} T_m(s) \\ x_m(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-3.4e^{-1.93s}}{1.15s+1} & \frac{1.1e^{-3.70s}}{0.14s+1} \\ \frac{2.2e^{-0.65s}}{1.34s+1} & \frac{-0.8e^{-6.15s}}{1.27s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_r(s) \\ T_r(s) \end{bmatrix}$$

La ganancia relativa estática calculada entre la temperatura de producto y la referencia del caudal de alimentación vale: $\lambda_{T_m F_r} = 9.0067$

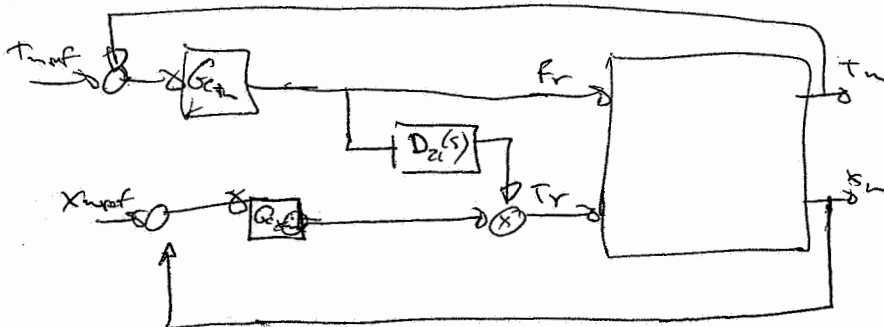
a1) Justificar el emparejamiento adecuado de variables

$\lambda_{T_m T_r} = -8.0067$ no posible $\Rightarrow T_m \rightarrow F_r$
 $x_m \rightarrow T_r$

a2) Justificar la conveniencia o no de utilizar un desacoplador

muy conveniente para qe $\lambda_{T_m F_r} = 9.0067 \gg 1$

b1) Dibujar con diagramas de bloques la estructura global de control utilizando un desacoplador lineal parcial cuando la variable más importante es la composición de salida x_m .



b2) Calcular un desacoplador utilizado en la estructura anterior

$$D_{21}(s) = - \frac{G_{x_m F_r}}{G_{x_m T_r}} = + \frac{2 \cdot 2(1.27s+1)}{0.8(1.34s+1)} \frac{e^{-0.65s}}{e^{-6.15s}} \approx \frac{2 \cdot 2}{0.8} \frac{(1.27s+1)}{(1.34s+1)}$$

no posible plantear

c1) Calcular la matriz de funciones de transferencia entre las nuevas variables de entrada desacopladas m'_1 y m'_2 (no son las variables de referencias) y las salidas x_m y T_m .

$$\begin{bmatrix} T_m \\ x_m \end{bmatrix} = \underline{G}(s) \begin{bmatrix} F_1(s) \\ F_2(s) \end{bmatrix} = \underline{G}(s) \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{2'2(1'27s+1)}{0'8(1'34s+1)} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m'_1 \\ m'_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(s) + G_{12}(s) \frac{2'2}{0'8} \frac{1'27s+1}{1'34s+1} & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) + G_{22}(s) \frac{2'2}{0'8} \frac{1'27s+1}{1'34s+1} & G_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m'_1 \\ m'_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \frac{-3'4}{1'55s+1} e^{-1'93s} + \frac{1'1 \cdot 2'2 (1'27s+1)}{0'8 (1'34s+1)(1'34s+1)} e^{-3'70s} & \frac{1'1 e^{-3'70s}}{0'16s+1} \\ \frac{2'2 e^{-0'15s}}{1'34s+1} - \frac{0'8 \cdot 2'2 (1'27s+1)}{0'8 (1'27s+1)(1'34s+1)} e^{-0'15s} & -\frac{0'8 e^{-0'15s}}{1'27s+1} \end{bmatrix}$$

c2) Calcular el controlador utilizado en el bucle de control de la variable más importante x_m

$$K_c = -\frac{0'9}{0'8} \frac{1'27}{0'15} = -0'723 \quad T_i = 3'33 \cdot 0'15 = 20'48$$

Si consideramos que el desacoplo parcial está empleado en función, no es necesario multiplicar por s^2 ; y por todo el controlador es: $G_{c2}(s) = 0'723 \left[1 + \frac{1}{20'48s} \right]$

d1) Justificar la conveniencia o no de utilizar un predictor de Smith para controlar x_m

Como $t_m = 0'15 \gg t_p = 1'27$, se considera además la utilización de un predictor de Smith

d2) Dibujar el diagrama de bloques de la estructura completa de control, que incluye el desacoplador y el predictor de Smith. Calcular las funciones de transferencia del predictor de Smith (no la del controlador utilizado).

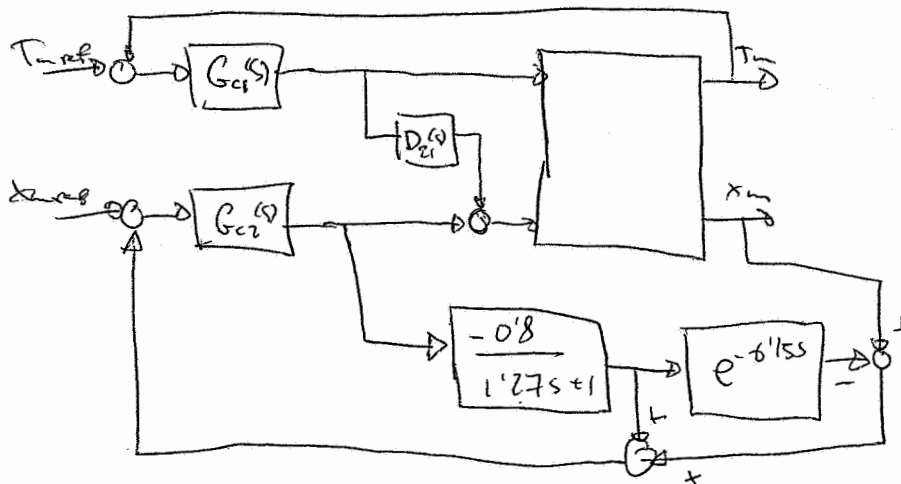


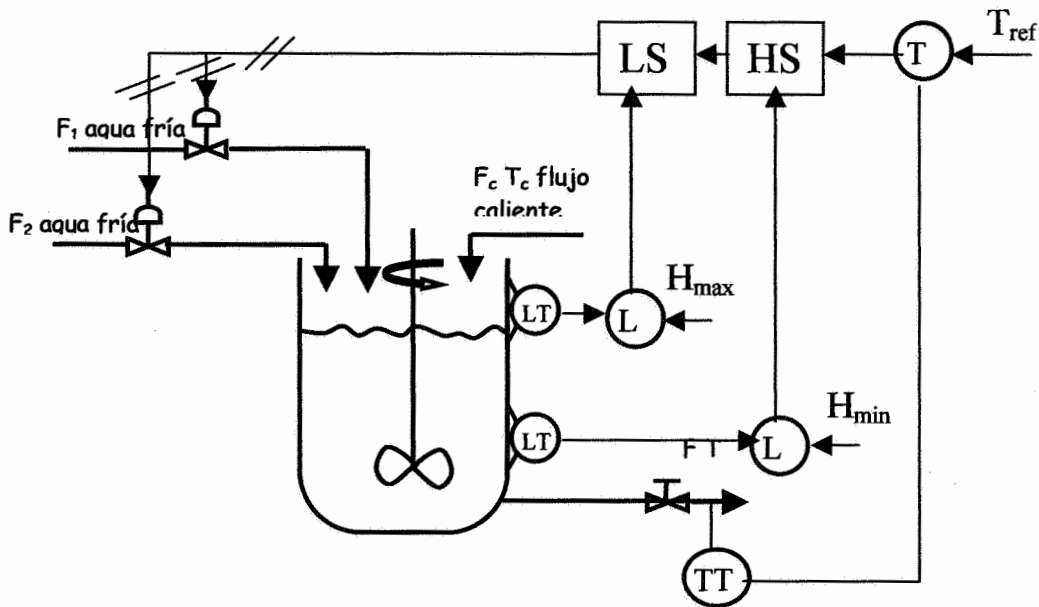
Tabla de Ziegler-Nichols		
Tipo de regulador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo integral t_i
PI	$\frac{0,9}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}} \right)$	$3,33 t_{mp}$

Resolución

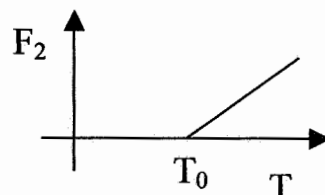
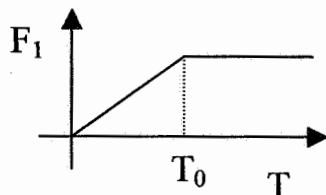
Cuestión 1 (2,75 puntos)

En el sistema de la figura se desea controlar la temperatura de salida T mediante los flujos de entrada de agua fría F_1 y F_2 utilizando una estructura de gama partida. De forma simultanea se desea también mantener el nivel de fluido dentro del depósito dentro de unos límites de seguridad máximo H_{max} y mínimo H_{min} .

Dibujar sobre el esquema de la figura la estructura de control propuesta utilizando para ello la terminología ISA.

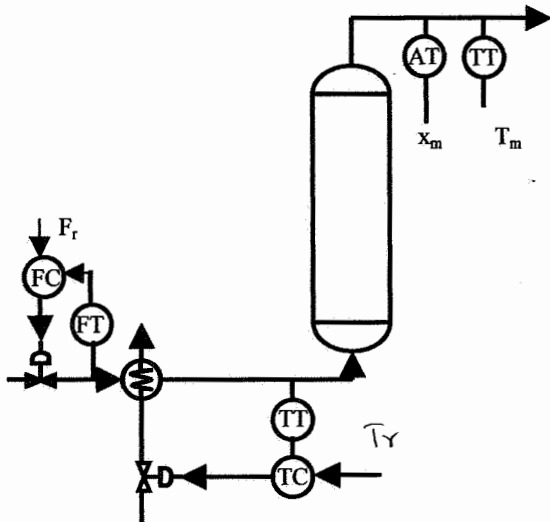


Dibujar en sendos diagramas la evolución de las aperturas de ambas válvulas de agua fría en función de la temperatura de salida (supóngase que en este proceso no se superan los niveles máximo y mínimo de altura del depósito)



Cuestión 2 (2,75 puntos)

La figura muestra un reactor en el que se desea controlar la temperatura y la composición del producto de salida, actuando sobre los puntos de consigna del controlador del caudal de alimentación F_r y del controlador de temperatura de la alimentación T_r . El modelo linealizado del proceso es el siguiente:



$$\begin{bmatrix} T_m(s) \\ x_m(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{-3.4 e^{-1.93}}{1.15s+1} & \frac{1.1 e^{-3.70}}{0.14s+1} \\ \frac{2.2 e^{-0.65}}{1.34s+1} & \frac{-0.8 e^{-1.15}}{1.27s+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_r(s) \\ T_r(s) \end{bmatrix}$$

La ganancia relativa estática calculada entre la temperatura de producto y la referencia del caudal de alimentación vale: $\lambda_{T_m F_r} = 9.0067$

a1) Justificar el emparejamiento adecuado de variables en el caso de que la temperatura del producto sea la variable más importante.

Puesto que $\lambda_{T_m T_r} = \lambda_{x_m F_r} = -8.0067$ son negativas, el único emparejamiento posible es:

$$T_m \rightarrow F_r$$

$$x_m \rightarrow T_r$$

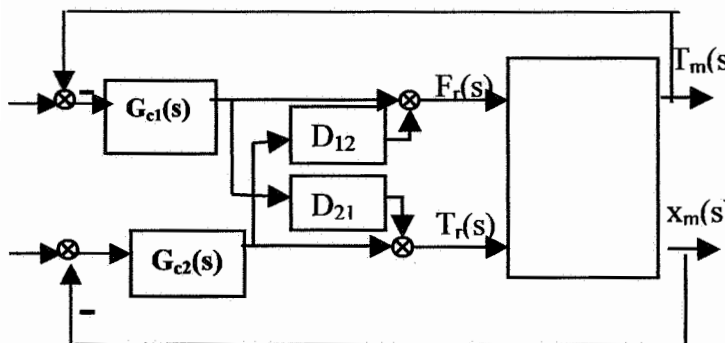
a2) Justificar el emparejamiento adecuado de variables en el caso de que ambas variables sean igualmente importantes.

Por el mismo razonamiento anterior, el emparejamiento correcto es el mismo

b1) Justificar la conveniencia de utilizar un desacoplador

Puesto que las variables emparejadas tienen una ganancia relativa estática muy elevada (muy distinta de la unidad), es muy aconsejable utilizar un desacoplador, evitando con ello alteraciones importantes de los bucles de control cuando se abre el otro bucle.

b2) Calcular un desacoplador lineal total y dibujar la estructura global de control utilizando diagramas de bloques.



$$D_{21}(s) = \frac{2.2(1.27s+1)e^{-0.65s}}{0.8(1.34s+1)e^{-1.15s}} \approx \frac{2.2(1.27s+1)}{0.8(1.34s+1)}$$

$$D_{12}(s) = \frac{1.1(1.15s+1)e^{-3.70s}}{3.4(0.14s+1)e^{-1.93s}} = \frac{0.323(1.15s+1)}{(0.14s+1)} e^{-0.56s}$$

La aproximación realizada en $D_{21}(s)$ es necesaria para que tenga una función de transferencia realizable (un adelanto en el tiempo no lo es)

Regulación Automática II Esp. Automática (Final de Septiembre 4/09/02)

Apellidos: _____

Nombre: _____

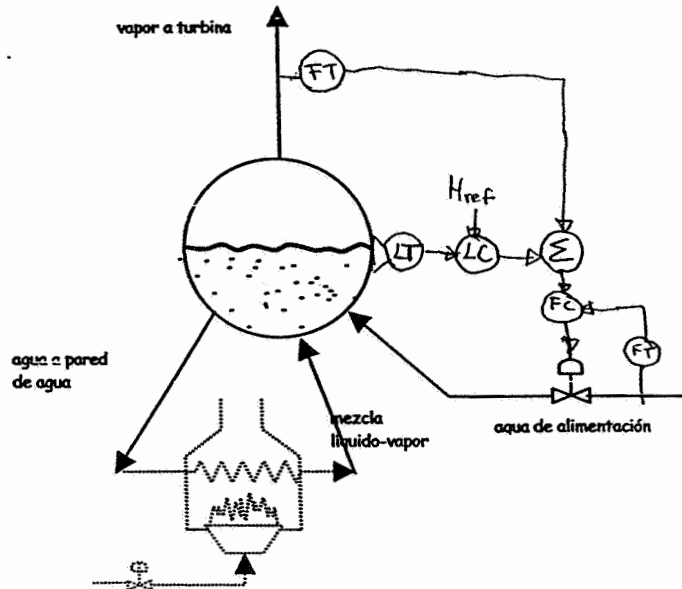
Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Los problemas 1 y 2 se responderá en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Problema 1 (2 puntos)

La figura representa el calderín de una caldera, al que llega la corriente bifásica líquido-vapor procedente de los tubos de la pared de agua de la caldera. En el calderín se separan las dos fases, el vapor se envía a la turbina y el agua líquida se recircula a la pared de agua de la caldera. Se desea diseñar una estructura de control de proporción de manera que el caudal de vapor enviado a la turbina se supla con el agua de alimentación, cuyo caudal es manipulable mediante una válvula de regulación automática. La estructura de control debe controlar la altura de líquido en el calderín ante errores de medida de los flujos másicos del control de proporción. Igualmente se desea que el sistema de control tenga un control en cascada del flujo de alimentación.

Dibujar sobre el esquema de la figura la estructura de control propuesta, utilizando para ello la simbología ISA.



Regulación Automática II Esp. Automática (Final de Septiembre 4/09/02)

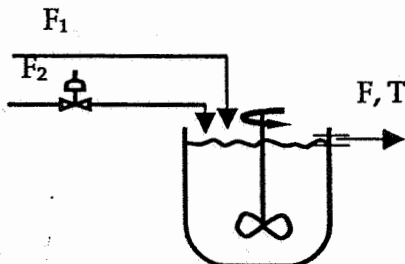
Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Problema 2 (1 puntos)

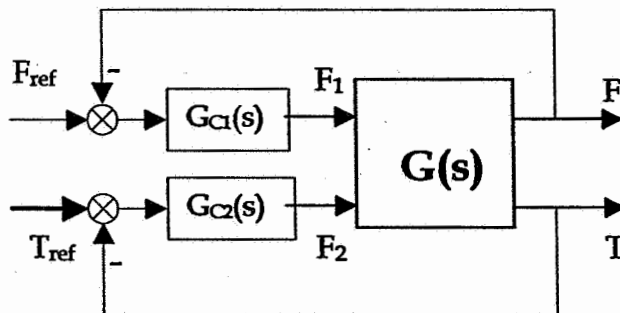
El sistema mezclador de flujos de la figura tiene la matriz de funciones de transferencia y la matriz de ganancias relativas estáticas indicadas a la derecha.



$$\begin{bmatrix} F \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{-5s}/(15s+1) & e^{-5s}/(15s+1) \\ -0.07e^{-15s}/(20s+1) & 0.63e^{-15s}/(20s+1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}$$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0,9 & 0,1 \\ 0,1 & 0,9 \end{bmatrix}$$

a) Suponiendo que se realiza la estructura de control de la figura



a1) Calcular las funciones de transferencia de los reguladores utilizados

El bucle superior es el bucle rápido y por tanto $T_I = 3 \frac{1}{3} \text{ min} = 15$; $K_C = \frac{0,9 \cdot 15}{1 \cdot 5} = 2,7$
 $G_{C1} = 2,7 \left(1 + \frac{1}{15s} \right)$

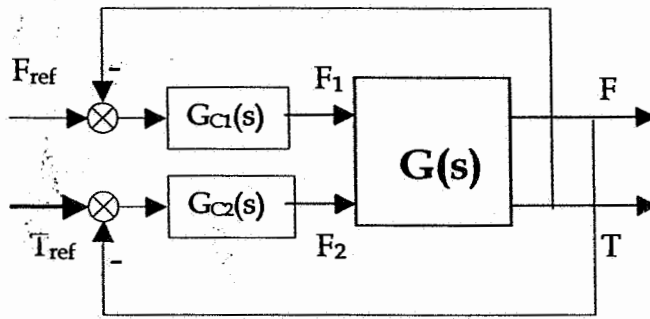
El bucle inferior es el bucle lento y por tanto la ganancia de su controlador debe multiplicarse por $\lambda_{22} = 0,9$; $T_i = 3 \text{ min} = 45$; $K_C = \lambda_{22} \frac{0,9 \cdot 20}{0,63 \cdot 15} = 1,7$ $G_{C2} = 1,7 \left(1 + \frac{1}{45s} \right)$

a2) Razonar como se altera el comportamiento dinámico de cada uno de los bucles de control cuando el otro bucle se abre para una reparación

El bucle de control superior es el rápido y su dinámica no se altera cuando se abre o cierra el otro bucle.

El bucle lento cambia un poco la dinámica cuando se abre el bucle rápido, se debería multiplicar la ganancia del controlador por $\frac{1}{\lambda_{22}} = 1,1$ para mejorar la dinámica, pero como se ve es muy pequeña la alteración debido al fuerte desacoplamiento existente ($\lambda_{22} = 0,9$) y la adecuada elección de los bucles

b) Suponiendo que se realiza la estructura de control de la figura



a1) Calcular las funciones de transferencia de los reguladores utilizados

$G_{c1}(s)$ es el bucle lento y por tanto $t_I = 3t_m = 45$ $k_c = 0'1 \frac{0'9 \cdot 20}{-0'07 \cdot 15} = -1'7$

$$G_{c1}(s) = -1'7 \left(1 + \frac{1}{45s} \right)$$

$G_{c2}(s)$ es el bucle rápido y por tanto $t_I = 3t_m = 15$ $k_c = \frac{0'9 \cdot 15}{1 \cdot 5} = 2'7$

$$G_{c2}(s) = 2'7 \left(1 + \frac{1}{15s} \right)$$

a2) Razonar como se altera el comportamiento dinámico de cada uno de los bucles de control cuando el otro bucle se abre para una reparación

El bucle rápido no se altera cuando se abre el bucle lento
 El bucle lento altera su dinámica cuando se abre el bucle rápido de forma importante haciéndose muy lenta la respuesta. Para solucionarlo hay que multiplicar la ganancia del regulador por $\frac{1}{0'1} = 10$, pero teniendo presente que entonces no se puede volver a cerrar el bucle rápido, puesto que haría que el sistema fuera inestable.

Regulación Automática II Esp. Automática (Final de Junio 19/06/02)

Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

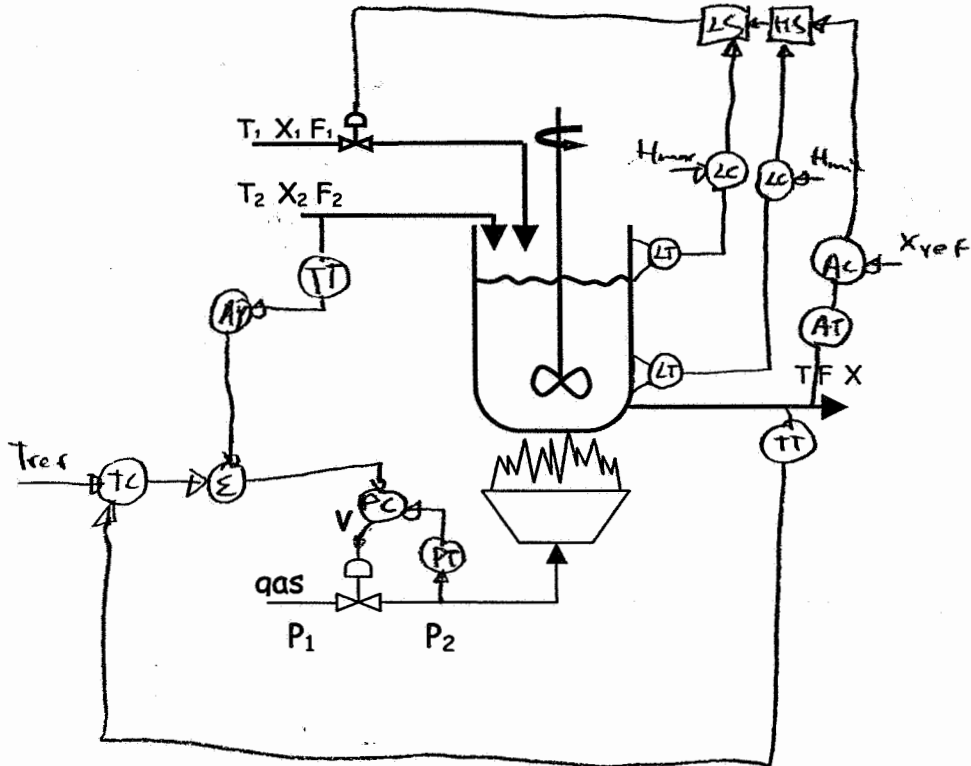
El problema 1 se responderá en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Problema 1 (3 puntos, tiempo aprox. 30 min.)

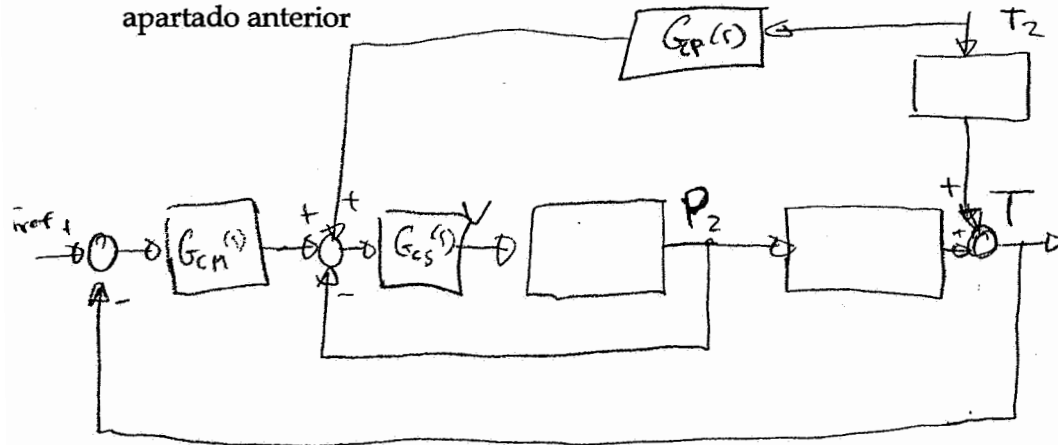
La figura representa un sistema mezclador de dos flujos de un fluido con concentraciones y temperaturas distintas cada uno de ellos, pudiendo manipularse solamente el flujo F_1 , y calentándose la mezcla mediante un quemador para conseguir la temperatura adecuada del flujo de salida F . Las dos únicas variables manipuladas del sistema son las dos electro-válvulas que aparecen en el dibujo F_1 y V . En este sistema se desea controlar la temperatura del flujo de salida T y su concentración X , manteniendo bajo control la altura del depósito H , de manera que no sobrepase unos valores mínimo H_{\min} y máximo H_{\max} preestablecidos. Se desea que la estructura de control minimice los efectos de las alteraciones de la presión de suministro de gas P_1 y de la temperatura del flujo entrante T_2 .

a) Dibujar sobre el esquema de la figura la estructura de control propuesta, utilizando para ello la simbología ISA.

5



b) Dibujar el diagrama de bloques correspondiente al control de la temperatura T propuesto en el apartado anterior



c1) Si la matriz de ganancias estáticas entre las variables manipuladas y las salidas es:

$$\begin{bmatrix} X \\ T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1 \\ V \end{bmatrix}$$

Indicar de forma razonada cómo se altera la dinámica y el valor en régimen permanente de la temperatura de salida T cuando se estropea el sensor (salida nula) de medición de la composición de salida X.

Puesto que la variable manipulada V no afecta a la salida X, no existe interacción entre los dos bucles de control y por lo tanto si se estropea el sensor de la X, sólo se afecta al bucle de control de esta variable, quedando inalterada la dinámica de la variable T.

c2) Calcular la matriz de ganancias relativas estáticas

$$\Lambda = K * [K^{-1}]^T = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 4 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 4 & -1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Confirmando de esta forma la independencia de variables efectivas y el desacople de los bucles de control

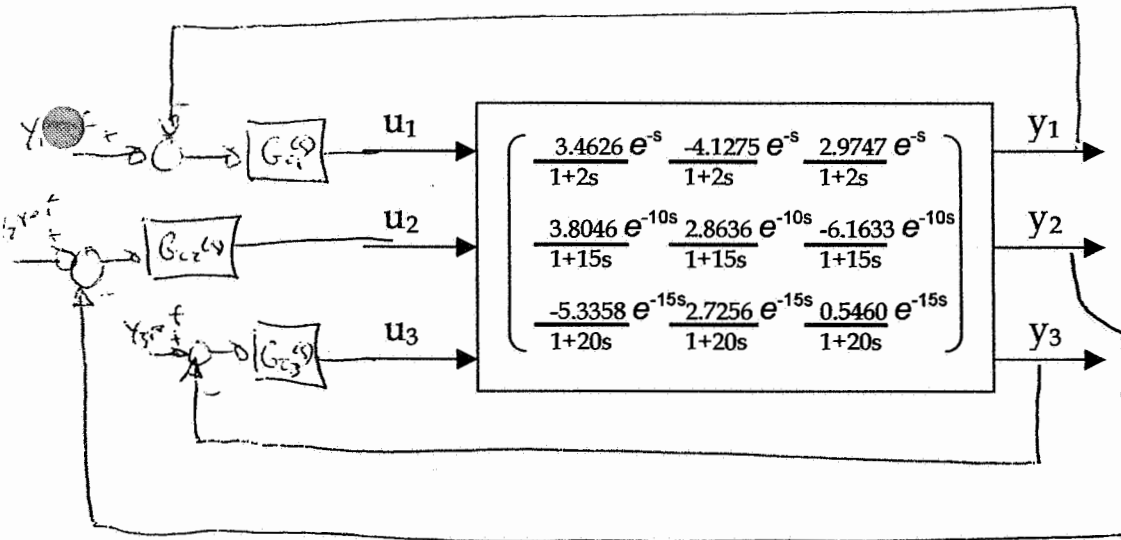
Problema 2 (1,75 puntos)

La figura representa un sistema multivariable con tres variables de entrada y tres variables de salidas, relacionadas mediante la matriz de funciones de transferencia $G(s)$ de la figura. La matriz de ganancias relativas estáticas del sistema resulta valer:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \textcircled{5} & -10 & 6 \\ 3,1 & \textcircled{4} & -6,1 \\ -7,1 & 7 & \textcircled{1,1} \end{bmatrix}$$

Dibujar sobre dicha figura la estructura de bucles de control propuesta, justificando la elección de dichos bucles de control.

Problema que no se pueda mejorar variable, con ganancia relativa estática negativa y eligiendo entre los posibles mejoramientos aquellos de λ más próxima a la unidad queda (y_1, u_1) (y_2, u_2) (y_3, u_3)



Calcular las funciones de transferencia involucradas en el control de la variable de salida y_1 .

*El bucle de control (y_3, u_3) está bastante desacoplado del resto del sistema ($\lambda = 1,1$)
El bucle (y_1, u_1) tiene una dinámica mucho más rápida que el resto del sistema,
por tanto su controlador puede calcularse a partir de la f. det $G_{11}(s) = \frac{3,4626 e^{-s}}{1+2s} e^{-s}$*

es decir $K_c = \frac{0,9}{3,4626} \cdot \frac{1}{1} = 0,2598 \quad t_i = 3,3 \quad G_c(s) = 0,2598 \left(1 + \frac{1}{3,3s}\right)$

Indicar razonadamente como queda afectada la dinámica de la variable y_1 cuando se abren los bucles de control del resto de las variables.

$\lambda_{11} = 5 = \frac{K_{ii} \text{ resto bucles abiertos}}{K_{ii} \text{ resto bucles cerrados}} \Rightarrow$ *La ganancia del bucle de control de y_1 aumenta 5 veces*

cuando se abren el resto de los bucles. Esto daría lugar en principio a una mayor oscilación (tendencia a la inestabilidad), pero puesto que este

bucle es mucho más rápido que el resto, su control es tan este efecto

Observarse que la $G_{11}(s)$ se calcula igual con el resto de los bucles abiertos o cerrados

Tabla de Ziegler-Nichols		
Tipo de regulador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo integral t_i
PI	$\frac{0,9}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}} \right)$	$3,33 t_{mp}$

Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Los problemas 1 y 2 se responderá en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

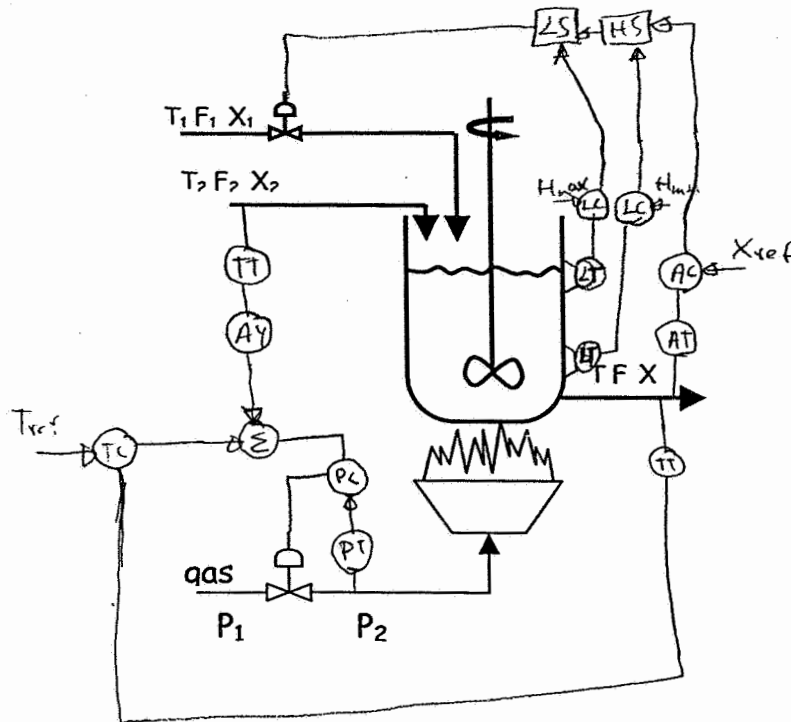
Tiempo disponible para los problemas 1 y 2: 60 minutos

Problema 1 (1,75 puntos)

La figura representa un sistema mezclador de dos flujos de un fluido con dos concentraciones y temperaturas distintas cada uno de ellos, pudiendo manipularse solamente el flujo F_1 , calentándose la mezcla mediante un quemador para conseguir la temperatura adecuada del flujo de salida. Las dos únicas variables manipuladas del sistema son las dos electroválvulas que aparecen en el dibujo.

En este sistema se desea controla la temperatura del flujo de salida T y su concentración X , manteniendo bajo control la altura del deposito H , de manera que no sobrepase unos valores mínimos H_{min} y máximos H_{max} preestablecidos. Se desea que la estructura de control minimice los efectos de las alteraciones de la presión de suministro de gas P_1 y de la temperatura del flujo entrante T_2 .

● Dibujar sobre el esquema de la figura la estructura de control propuesta, utilizando para ello la simbología ISA.



Cuestión 2 (1,5 puntos)

Un sistema multivariable con 3 entradas $[u_1, u_2, u_3]^T$ y 3 salidas $[y_1, y_2, y_3]^T$ tiene la siguiente matriz de ganancias relativas estáticas:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0,9 & -3,5 & 3,6 \\ 1,1 & -0,6 & 0,5 \\ -1 & 5,1 & -3,1 \end{bmatrix} I$$

Indicar justificadamente qué bucles de control se deben efectuar para controlar las variables de salida

Los emparejamiento correctos de variables de salida con variables de entrada

$$y_1 \rightarrow u_1 \quad y_2 \rightarrow u_3 \quad y_3 \rightarrow u_2$$

- La salida y_3 tiene que emparejarse con u_2 puesto que presenta la única λ_{3i} positiva y el resto de los emparejamientos daría lugar a problemas de estabilidad con la apertura o cierre de los otros bucles
- La alternativa $(y_1, u_1) (y_2, u_3)$ es mejor que $(y_1, u_3) (y_2, u_1)$ puesto que los respectivos ganancias relativas estáticas tiene valores más próximos a 1

Indicar justificadamente en cuál de los bucles de control anteriores quedaría más afectada su dinámica por el hecho de que se abran el resto de los bucles de control, indicando de forma razonada cómo quedará afectada dicha dinámica.

Es el bucle $y_3 u_2$, puesto que presenta el valor de ganancias relativas estáticas que más se diferencia de la unidad $\lambda_{32} = 5,1$, mientras $\lambda_{11} = 0,9$ y $\lambda_{23} = 0,5$.

El valor $\lambda_{32} = 5,1$ indica que la ganancia entre $y_3 u_2$ es 5,1 veces mayor cuando el resto de los bucles están abiertos que cuando están cerrados. Por todo la dinámica de dicho bucle se hace mucho más oscilatoria y rápida (podría presentar problemas de estabilidad) cuando se abren el resto de los bucles de control

Regulación Automática II Esp. Automática (primer parcial 06/02/02)

Apellidos: _____

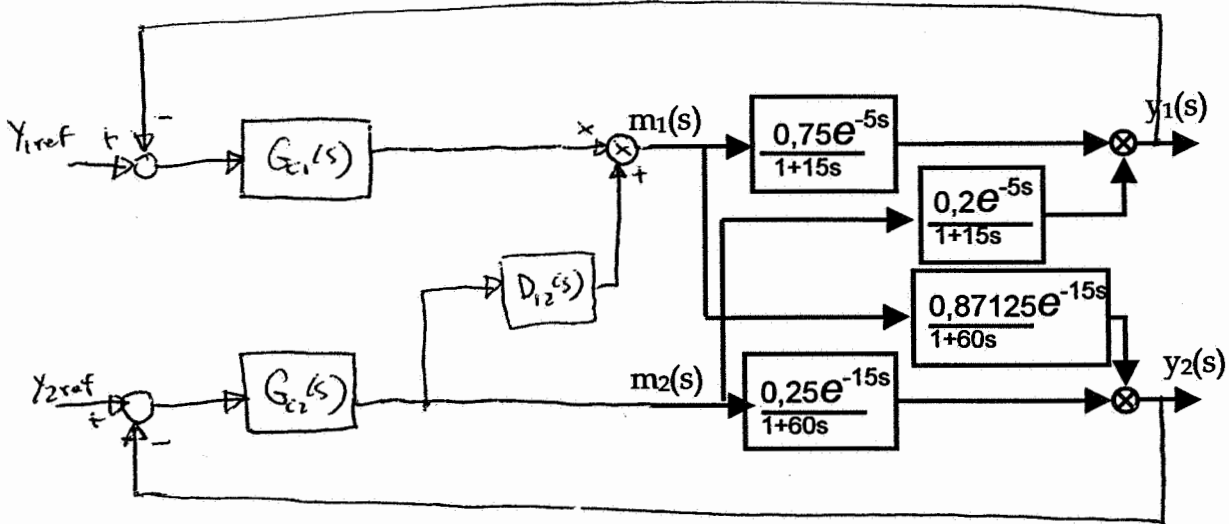
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Problema 1 (3 puntos)

Dibujar una estructura de control con desacoplo lineal parcial para el sistema de la figura, en el que la salida y_1 se considera más importante que la salida y_2 .

Puesto que $\Lambda = \begin{bmatrix} 0,75 & 0,2 \\ 0,875 & 0,25 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0,75 & 0,2 \\ 0,875 & 0,25 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 14,15 & -13,15 \\ -13,15 & 14,15 \end{bmatrix}$ es el emparejamiento correcto $(y_1, u_1) (y_2, u_2)$



Calcular los valores de todas las funciones de transferencia involucradas en la anterior estructura de control.

$$D_{12}(s) = - \frac{G_{12}(s)}{G_{11}(s)} = - \frac{0,2}{0,75} \frac{(1+15s)}{(1+15s)} \frac{e^{-5s}}{e^{-5s}} = -0,266$$

La dinámica del sistema desacoplado es $\begin{bmatrix} G_{11}(s) & 0 \\ G_{21}(s) & \frac{G_{22}(s)}{\lambda_{22}(s)} \end{bmatrix}$

Por tanto los controladores serán:

* $G_{c1}(s) \quad t_p=1s, t_{mp}=5, k_p=0,75 \Rightarrow G_{c1}(s) = 3,6 \left(1 + \frac{1}{16,65s}\right)$ o bien $G_{c1}(s) = 4,8 \left(1 + \frac{1}{10s}\right)$

* $G_{c2}(s) \approx \lambda_{22} G_{c2f}(s) \Rightarrow k_p=0,25, t_{mp}=15, t_p=60 \Rightarrow G_{c2}(s) = 14,15 \cdot \frac{0,9}{0,25} \frac{60}{15} \left(1 + \frac{1}{3,33s}\right) = 203,76 \left(1 + \frac{1}{50s}\right)$

Tabla de Zieger-Nicols

Tipo de regulador	Ganancia proporcional K_c	Tiempo integral t_i	Tiempo derivativo t_d
PI	$\frac{0,9}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}}\right)$	$3,33 t_{mp}$	
PID	$\frac{1,2}{K_p} \left(\frac{t_p}{t_{mp}}\right)$	$2 t_{mp}$	$0,5 t_{mp}$

o bien:
 $G_{c2}(s) = 271,68 \left(1 + \frac{1}{30s}\right)$

Apellidos: _____

Nombre: _____

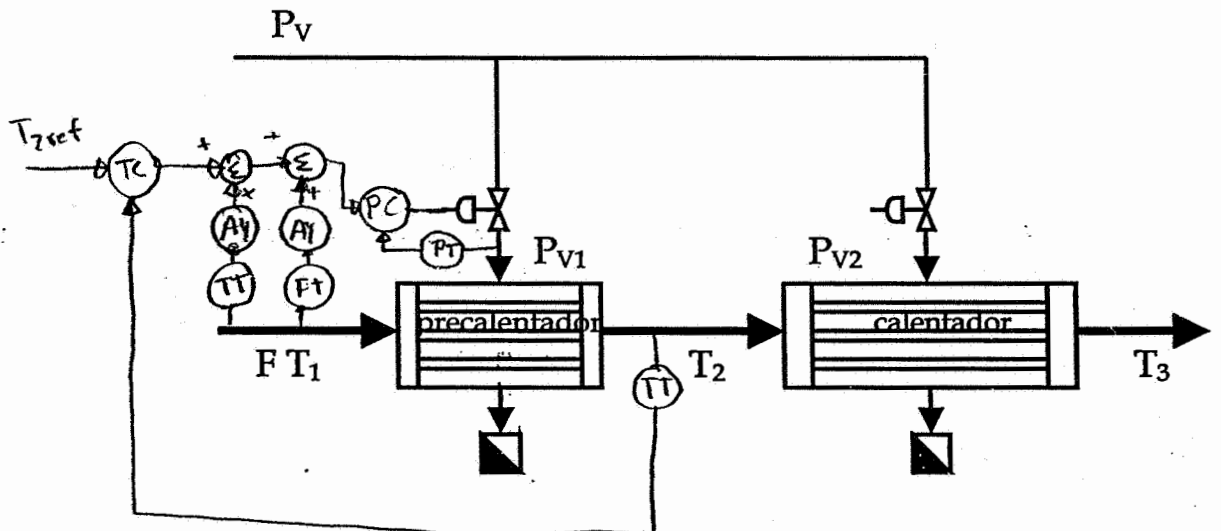
Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Las cuestiones 1 y 2 y el problema 1 se responderá en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.
 Tiempo disponible para las cuestiones 1 y 2 y el problema 1: 60 minutos

Cuestión 1 (2 puntos)

En el sistema de la figura se desea controlar la temperatura T_2 , salida del precalentador y entrada al calentador, minimizando los efectos de las variaciones de la presión de vapor suministrado P_v , flujo de fluido demandado F y temperatura del fluido entrante T_1 . Tanto el precalentador como el calentador son dos intercambiadores de calor con vapor a condensación.

Dibujar sobre el esquema de la figura la estructura de control propuesta, utilizando para ello la simbología ISA.



Indicar en qué condición/es deben cumplir las funciones de transferencia involucradas para que no se considere efectivo un control predictivo de T_2 ante variaciones de la perturbación T_1

Dicho control no será efectivo cuando la dinámica de $T_2(s)/T_1(s)$ sea mucho más rápida la dinámica de $T_2(s)/P_v(s)$, puesto que en este caso la perturbación tendrá un efecto sobre la salida mucho más rápido que el efecto que pudiera ejercerse con la entrada a través del control predictivo.

Apellidos: _____ Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Este problema se responderá en el espacio reservado para ello en las hojas de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas. (Tiempo: 50 minutos)

Problema 1 (3 puntos)

La figura representa un sistema mezclador de dos flujos de un fluido con dos concentraciones y temperaturas distintas cada uno de ellos, en el que el proceso de mezcla se calienta mediante un quemador para conseguir la temperatura adecuada del flujo demandado de salida.

En este proceso se desea controlar la temperatura de salida de la mezcla T y su composición X, manteniendo la seguridad de la caldera mediante el control de altura líquido en el depósito H, y utilizando para ello la apertura de las tres electroválvulas regulables de la figura: la apertura de la válvula de gas calefactor S_v y las aperturas de la entrada de ambos fluidos F₁ y F₂.

Variable	Descripción	Variable	Descripción
F ₁	Flujo másico principal de alimentación	T ₂	Temperatura de alimentación secundaria
F ₂	Flujo másico secundario de alimentación	T	Temperatura de producto
F	Flujo másico de producto	P ₁	Presión de alimentación de gas calefactor
X ₁	Composición de alimentación principal	P ₂	Presión de gas calefactor
X ₂	Composición de alimentación secundaria	H	Nivel de mezcla en el tanque
T ₁	Temperatura de alimentación principal	S _v	Sección efectiva de la válvula de gas calefactor

Para efectuar un control de dicho sistema se han identificado las siguientes funciones de transferencia:

$$\begin{aligned} \frac{T(s)}{P_2(s)} &= \frac{2}{1+10s} e^{-5s} & \frac{P_2(s)}{P_1(s)} &= \frac{1}{1+2s} & \frac{P_2(s)}{S_v(s)} &= \frac{2}{1+2s} & \frac{T(s)}{T_1(s)} &= \frac{2}{1+3s} & \frac{T(s)}{T_2(s)} &= \frac{1}{1+3s} \\ \frac{X(s)}{F_1(s)} &= \frac{1}{1+3s} & \frac{X(s)}{F_2(s)} &= \frac{2}{1+3s} & \frac{X(s)}{X_1(s)} &= \frac{3}{1+3s} & \frac{X(s)}{X_2(s)} &= \frac{4}{1+3s} & \frac{H(s)}{F_1(s)} &= \frac{2.5}{s} & \frac{H(s)}{F_2(s)} &= \frac{2.5}{s} & \frac{H(s)}{F(s)} &= -\frac{2.5}{s} \end{aligned}$$

a) (1,5 puntos) Se desea efectuar un control regulatorio básico (CRB) de la temperatura de salida T, la composición de salida X y la altura del depósito H.

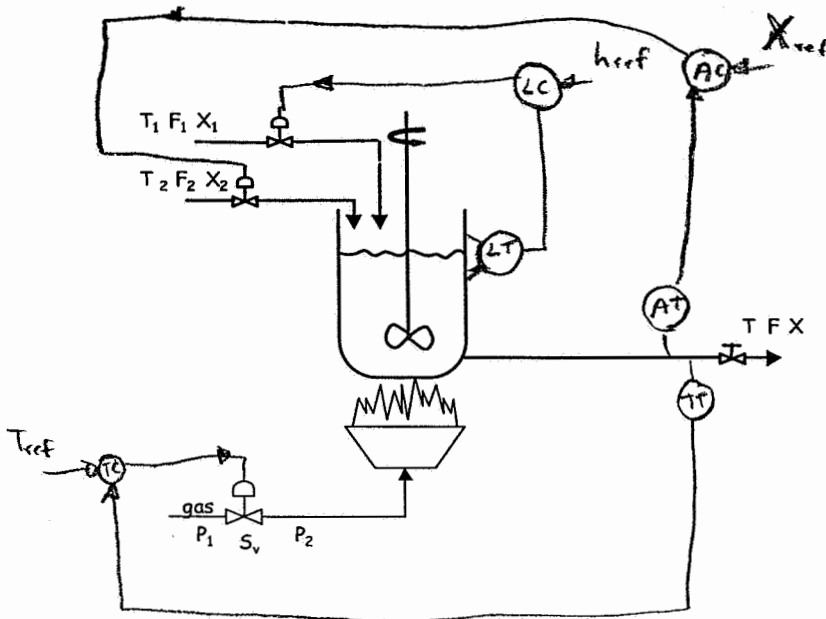
1. Deducir el emparejamiento más adecuado de variables de salida con variables manipuladas

Variables de salida T, X, H. Variables de entrada S_v, F₁, F₂
 Puesto que T sólo depende de la variable de entrada S_v, este será un emparejamiento para la T → S_v
 La matriz de f.d.t de las otras variables es:

$$\begin{bmatrix} X(s) \\ H(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{1+3s} & \frac{2}{1+3s} \\ \frac{2.5}{s} & \frac{2.5}{s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1(s) \\ F_2(s) \end{bmatrix}; \text{ luego } K = \lim_{s \rightarrow 0} \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 2.5 & 2.5 \end{bmatrix} \frac{1}{s}, \Lambda = K \otimes [K^{-1}]^T = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 2 & -1 \end{bmatrix}$$

 por tanto X → F₂
 H → F₁

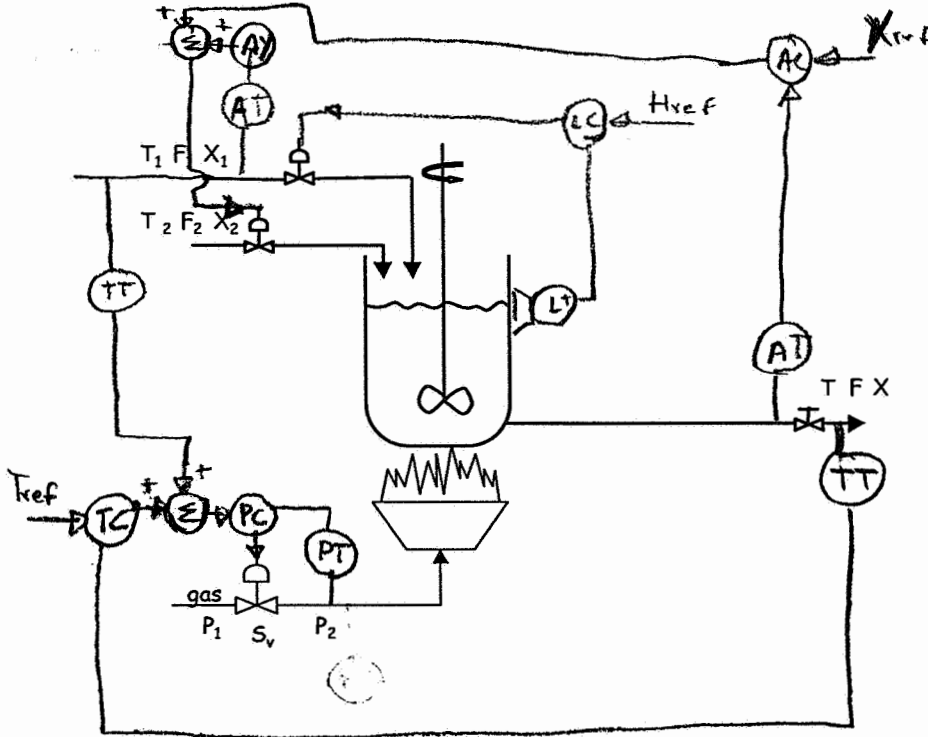
2. Dibujar sobre el sistema de abajo la estructura de control propuesta utilizando la simbología ISA



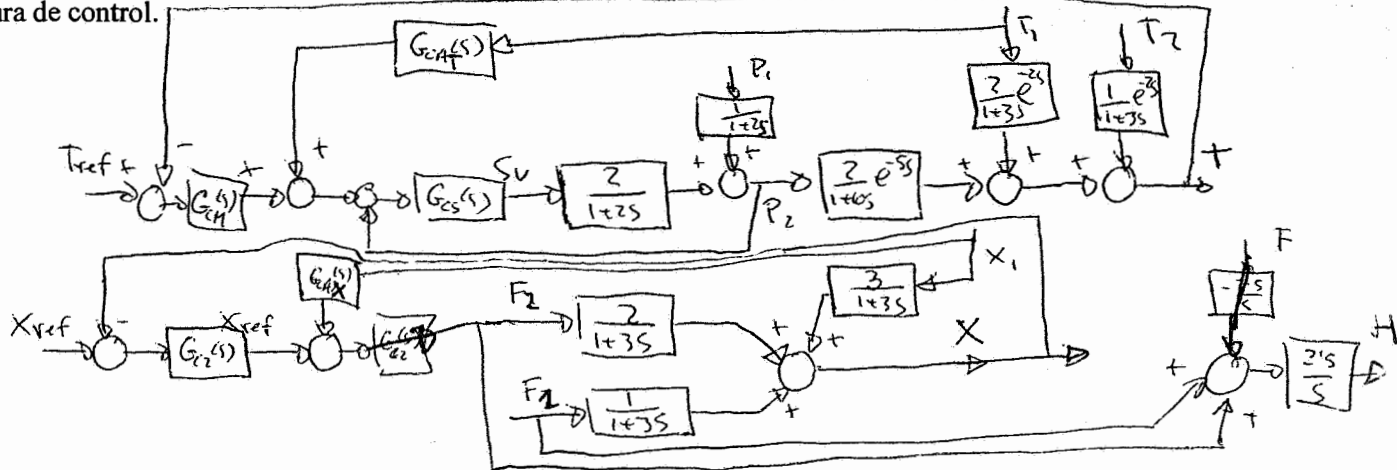
b) (3 puntos) La estructura de control del sistema anterior se desea mejorar mediante un control avanzado que tenga en cuenta las siguientes especificaciones:

- Se deben controlar la temperatura de salida T , la composición de salida X y la altura del depósito H
- El sistema de control debe reaccionar rápidamente ante cambios en las siguientes perturbaciones: gas calefactor P_1 , temperatura T_1 y composición X_1 del primer fluido de entrada, evitando en la medida de lo posible grandes alteraciones por este motivo en las variables de salida T y X .

Dibujar sobre el sistema de abajo la estructura de control avanzada propuesta utilizando la simbología ISA.



c) (2,5 puntos) Dibujar el diagrama de bloques de la estructura de control del apartado anterior, con los valores de las funciones de transferencia del sistema que se desea controlar y dejando indicadas las funciones de transferencia de la estructura de control.



- Calcular las funciones de transferencia de los controladores anticipativos utilizados en la estructura anterior.

$$G_{CA^+}(s) = -\frac{2}{1+3s} e^{-2s} \frac{1+0.5s}{2} e^{+5s} = -\frac{1+0.5s}{1+3s} e^{3s}$$

imposible de implementar por tanto $G_{CA} = -\frac{1+0.5s}{1+3s}$
Y no será muy útil

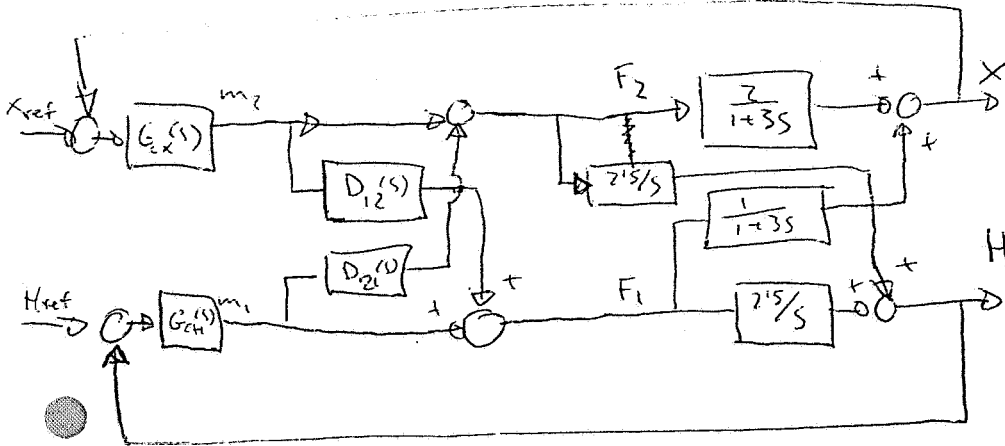
$$G_{CA^X}(s) = -\frac{3}{1+3s} \frac{1+3s}{2} = -\frac{3}{2}$$

será muy conveniente

Apellidos: _____ Nombre: _____
 N° de matrícula _____ N° de documento de identidad _____

- d) (3 puntos) Se desea sustituir la estructura de control avanzado por un control multivariable con desacoplo total. Dibujar el diagrama de bloques de la estructura de control propuesta.

La variable de salida T ya está desacoplada



- Calcular la función de transferencia de uno solo de los desacopladores de la estructura anterior

$$D_{12}(s) = - \frac{2's}{s} \frac{s}{2's} = -1$$

$$D_{21}(s) = - \frac{1}{1+3s} \frac{1+3s}{2} = -0.5$$

Regulación Automática II Esp. Automática (Final Septiembre 11/09/01)

Apellidos: _____ Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Este problema se responderá en el espacio reservado para ello en las hojas de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas. (Tiempo: 50 minutos)

Problema 1 (3 puntos)

La figura representa un sistema mezclador de dos flujos de un fluido con dos concentraciones y temperaturas distintas cada uno de ellos, el proceso de mezcla se calienta mediante un quemador para conseguir la temperatura adecuada del flujo demandado de salida.

En este proceso se desea controlar la temperatura de salida de la mezcla T y su composición X , manteniendo la seguridad de la caldera mediante el control de altura liquido en el depósito H , y utilizando para ello la apertura de las tres electroválvulas regulables de la figura: la apertura de la válvula de gas calefactor S_v y las aperturas de la entrada de ambos fluidos F_1 y F_2 .

Variable	Descripción	Variable	Descripción
F_1	Flujo másico principal de alimentación	T_2	Temperatura de alimentación secundaria
F_2	Flujo másico secundario de alimentación	T	Temperatura de producto
F	Flujo másico de producto	P_1	Presión de alimentación de gas calefactor
X_1	Composición de alimentación principal	P_2	Presión de gas calefactor
X_2	Composición de alimentación secundaria	H	Nivel de mezcla en el tanque
T_1	Temperatura de alimentación principal	S_v	Sección efectiva de la válvula de gas calefactor

Para efectuar un control de dicho sistema se han identificado las siguientes funciones de transferencia:

$$\begin{aligned} \frac{T(s)}{P_2(s)} &= \frac{2}{1+10s} e^{-5s} & \frac{P_2(s)}{P_1(s)} &= \frac{1}{1+2s} & \frac{P_2(s)}{S_v(s)} &= \frac{2}{1+2s} & \frac{T(s)}{T_1(s)} &= \frac{2}{1+3s} e^{-2s} & \frac{T(s)}{T_2(s)} &= \frac{1}{1+3s} e^{-2s} \\ \frac{X(s)}{F_1(s)} &= \frac{1}{1+3s} & \frac{X(s)}{F_2(s)} &= \frac{2}{1+3s} & \frac{X(s)}{X_1(s)} &= \frac{3}{1+3s} & \frac{X(s)}{X_2(s)} &= \frac{4}{1+3s} & \frac{H(s)}{F_1(s)} &= \frac{2.5}{s} & \frac{H(s)}{F_2(s)} &= \frac{2.5}{s} & \frac{H(s)}{F(s)} &= -\frac{2.5}{s} \end{aligned}$$

- a) (1,5 puntos) Deducir el emparejamiento más adecuado de las variables de salida con las variables manipuladas con objeto de efectuar un control regulatorio básico (CRB) de la temperatura de salida T , la composición de salida X y la altura del depósito H .

Variables de salida T, X, H . Variables de entrada S_v, F_1, F_2
 Puesto que T sólo depende de la variable de entrada S_v , este será un emparejamiento de control $T \rightarrow S_v$

La matriz de f.d.t de las otras variables es:

$$\begin{bmatrix} X(s) \\ H(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{1+3s} & \frac{2}{1+3s} \\ \frac{2.5}{s} & \frac{2.5}{s} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_1(s) \\ F_2(s) \end{bmatrix}; \text{ luego } k = \lim_{s \rightarrow \infty} \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ \frac{2.5}{s} & \frac{2.5}{s} \end{bmatrix}$$

$$\Lambda = k \oplus [k^{-1}]^T = \begin{bmatrix} -1 & 2 \\ 2 & -1 \end{bmatrix}$$

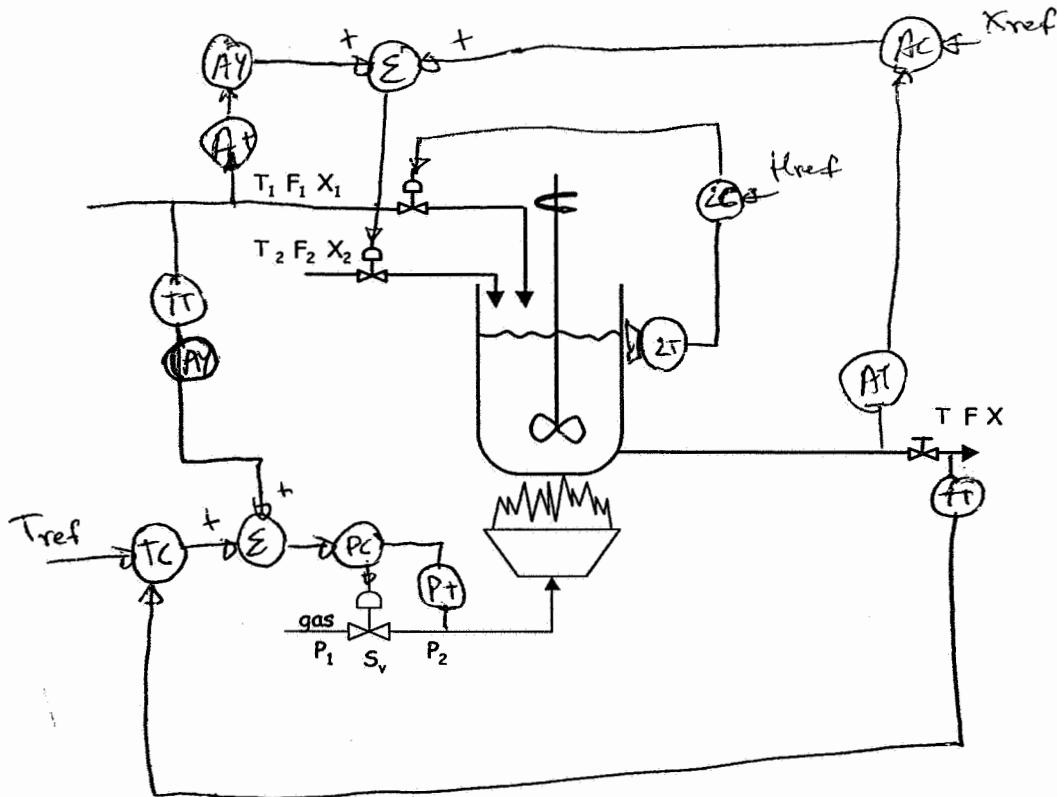
y por tanto el emparejamiento correcto es:

$$\begin{aligned} X &\rightarrow F_2 \\ H &\rightarrow F_1 \end{aligned}$$

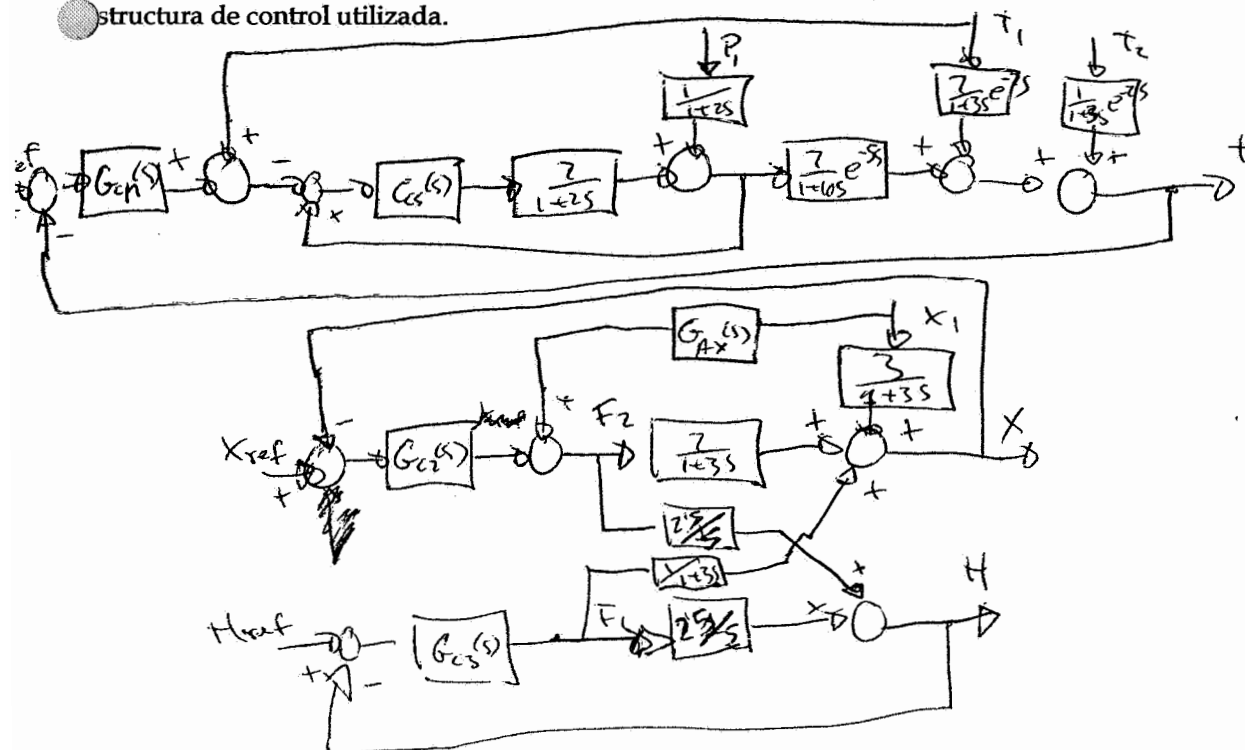
b) (3 puntos) Se desea diseñar una estructura de control avanzado (CA) que tenga en cuenta las siguientes especificaciones:

- Se deben controlar la temperatura de salida T , la composición de salida X y la altura del depósito H
- El sistema de control debe reaccionar rápidamente ante cambios en las siguientes perturbaciones: gas calefactor P_1 , temperatura T_1 y composición X_1 del primer fluido de entrada, evitando en la medida de lo posible grandes alteraciones por este motivo en las variables de salida T y X .

Dibujar sobre el sistema de abajo la estructura de control avanzado propuesta empleando la simbología ISA.



c) (2,5 puntos) Dibujar el diagrama de bloques de la estructura de control del apartado anterior, con los valores de las funciones de transferencia del sistema que se desea controlar y dejando indicadas las funciones de transferencia de la estructura de control utilizada.



Continuación Problema 1 de Regulación Automática II Final Septiembre 11/09/01

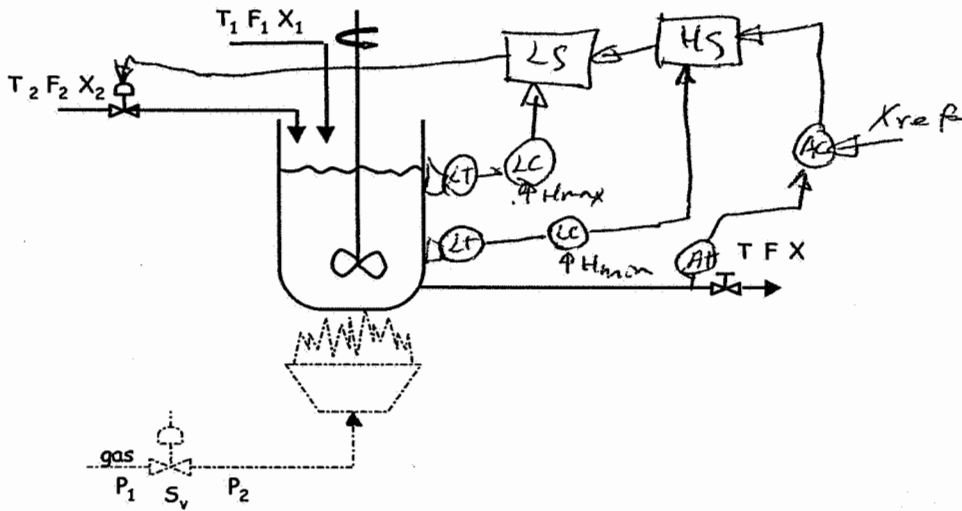
Apellidos: _____ Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

(3 puntos)

- d) Si en el sistema anterior el flujo F_1 es una perturbación del sistema (no puede controlarse mediante la apertura de una válvula) y se desea controlar la composición de salida X mediante la variable manipulada F_2 , manteniendo al mismo tiempo la altura del depósito entre dos valores extremos que no pueden ser rebasados, H_{max} y H_{min} respectivamente.

Dibujar sobre el sistema de abajo la estructura de control avanzada propuesta empleando la simbología ISA



Regulación Automática II Esp. Automática (Final Febrero 28/02/01)

Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Problema 1 (2,5 puntos, 40 minutos)

El sistema de la figura de abajo representa un calentador de agua mediante vapor, en el que se desea controlar la temperatura de salida del agua caliente T_s , manteniendo la seguridad de la caldera mediante el control de liquido en el depósito, y utilizando para ello la apertura de las dos electroválvulas regulables de la figura: la apertura del flujo de entrada A_{fe} y la apertura de la entrada de vapor calefactor A_{vc} . Tanto el flujo de salida demandado F_s , como la temperatura del flujo de entrada T_{fe} pueden considerarse perturbaciones del sistema.

T_s	temperatura de salida
H	altura del depósito
A_{fe}	apertura de la válvula del fluido de entrada
A_{vc}	apertura de la válvula del vapor calefactor
F_{vc}	flujo de vapor calefactor
T_{fe}	temperatura del fluido de entrada
F_s	Flujo de salida demandado

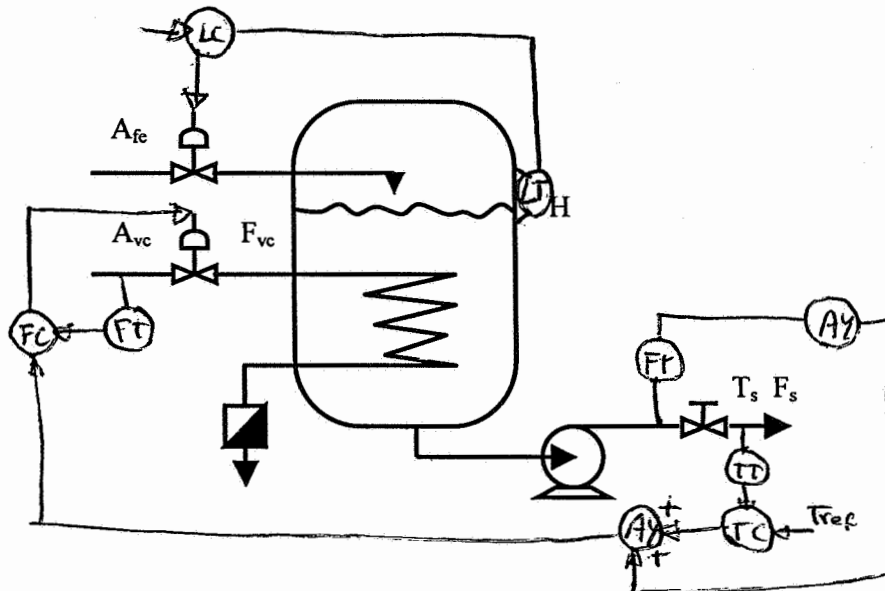
Para efectuar un control de dicho sistema se han identificado las siguientes funciones de transferencia:

$$\frac{T_s(s)}{F_{vc}(s)} = \frac{2}{1+5s} e^{-2s} \quad \frac{F_{vc}(s)}{A_{vc}(s)} = \frac{2}{1+0.1s} \quad \frac{T_s(s)}{T_{fe}(s)} = \frac{3}{1+12s} e^{-1.8s} \quad \frac{T_s(s)}{F_s(s)} = \frac{2}{1+5s} e^{-1.8s} \quad \frac{T_s(s)}{A_{fe}(s)} = \frac{1}{1+15s} e^{-3s}$$

$$\frac{H(s)}{A_{fe}(s)} = \frac{2.5}{s} \quad \frac{H(s)}{A_{vc}(s)} = 0$$

a) (4,5 puntos) Dibujar sobre el sistema de abajo una estructura de control avanzado utilizando la simbología ISA, de manera que se tengan en cuenta los siguientes especificaciones:

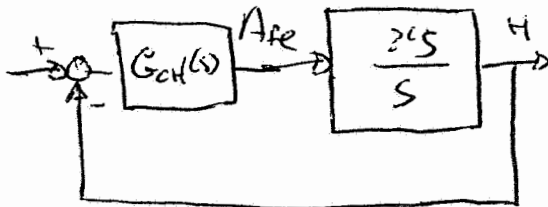
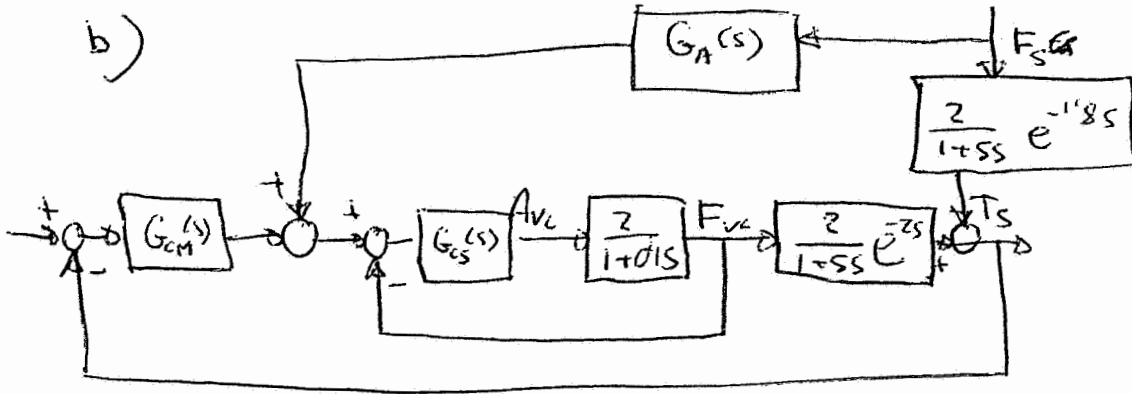
- Se deben controlar la temperatura de salida T_s y la altura del depósito H
- El sistema de control debe reaccionar rápidamente ante cambios en el flujo del vapor calefactor, evitando en la medida de lo posible grandes alteraciones por este motivo en la temperatura de salida.
- El sistema de control debe reaccionar rápidamente ante cambios en el flujo de salida demandado, evitando en la medida de lo posible grandes alteraciones por este motivo en la temperatura de salida.



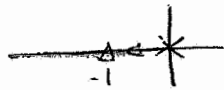
b) (1,5 punto) Dibujar el diagrama de bloques de la estructura de control del apartado anterior, con los valores de las funciones de transferencia del sistema que se desea controlar y dejando indicadas las funciones de transferencia de la estructura de control.

c) (4 puntos) Calcular todas las funciones de transferencia de la anterior estructura de control, indicando claramente el procedimiento seguido para ello.

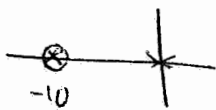
Problema 1



c) $G_{CH}(s)$
 Para el controlador $G_{CH}(s)$ es suficiente con una constante k_c que haga que el sistema tenga un tiempo de respuesta adecuado. Si deseamos que este sea de 1s, se obtiene $k_{LDR} = 1$, $k_c = \frac{1}{2 \cdot 5} = 0.1$



$$G_C(s) = k_c \frac{s + \frac{1}{T_i}}{s}$$



Se elige $\frac{1}{T_i} = 10$, $T_i = 0.1$

k_{LDR} se elige para que el sistema controlado sea igual de rápido que la electroválvula $k_{LDR} = 10$, $k_c = 5$

$G_{CP}(s)$ se elige a partir de las tablas de Ziegler-Nichols, para lo que se calcula previamente la f.d.t. del proceso incluido el cero secundario $k_p = 2$, $t_{mp} = 2$, $t_p = 5$. Por tanto $T_i = 3.33 \cdot 2 = 6.66$, $k_c = \frac{0.9 \cdot 5}{2 \cdot 2} = 11.25$

$G_A(s)$ Es un control anticipativo y valdrá $-\frac{2(1+5s)}{(1+5s)^2} \frac{e^{-1.8s}}{e^{-2s}} = -e^{0.2s}$
 Como un adelanto temporal es imposible de implementar, se utilizará la constante $G_A(s) = -1$

Regulación Automática II Esp. Automática (Final Febrero 28/02/01)

Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ **Nº de documento de identidad** _____

Continuación problema 1

Se desea sustituir la estructura de control avanzado por un control multivariable con desacoplamiento total. Para ello se pide:

a) (1 punto) Calcular la matriz Λ de ganancias relativas estáticas y deducir el emparejamiento correcto de bucles de control.

b) (2 puntos) Dibujar el diagrama de bloques de la estructura de control obtenida

c) (1 punto) Calcular todas las funciones de transferencia de la anterior estructura de control

Regulación Automática II Esp. Automática (primer parcial 07/02/01)

Apellidos: _____

Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Problema 1 (2,5 puntos; 35 minutos)

Este problema se responderá en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

El sistema de la figura de abajo representa un calentador de agua mediante vapor, en el que se desea controlar la temperatura de salida del agua caliente T_s , manteniendo la seguridad de la caldera mediante el control de liquido en el depósito, y utilizando para ello la apertura de las dos electroválvulas regulables de la figura: la apertura del flujo de entrada A_{fe} y la apertura de la entrada de vapor calefactor A_{vc} . Tanto el flujo de salida demandado F_s , como la temperatura del flujo de entrada T_{fe} pueden considerarse perturbaciones del sistema.

T_s	temperatura de salida
H	altura del depósito
A_{fe}	apertura de la válvula del fluido de entrada
A_{vc}	apertura de la válvula del vapor calefactor
F_{vc}	flujo de vapor calefactor
T_{fe}	temperatura del fluido de entrada
F_s	Flujo demandado

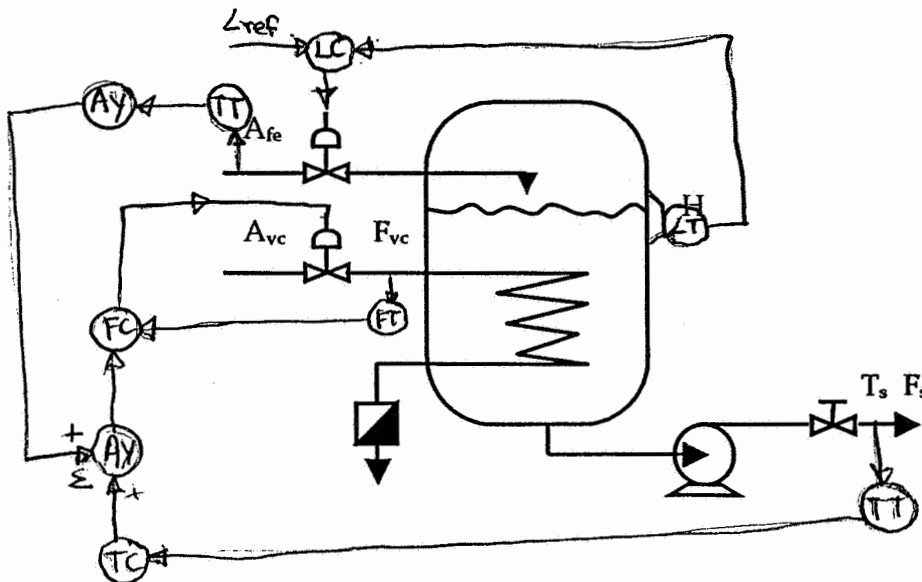
Para efectuar un control de dicho sistema se han identificado las siguientes funciones de transferencia:

$$\frac{T_s(s)}{F_{vc}(s)} = \frac{2}{1+10s} e^{-2s} \quad \frac{F_{vc}(s)}{A_{vc}(s)} = \frac{0.5}{1+s} \quad \frac{T_s(s)}{T_{fe}(s)} = \frac{3}{1+12s} e^{-1.8s} \quad \frac{H(s)}{A_{fe}(s)} = \frac{2.5}{s} \quad \frac{H(s)}{A_{vc}(s)} = 0$$

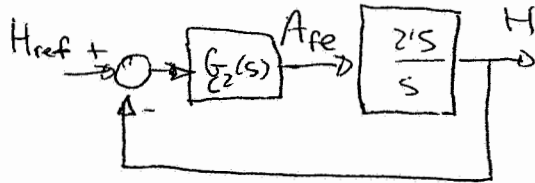
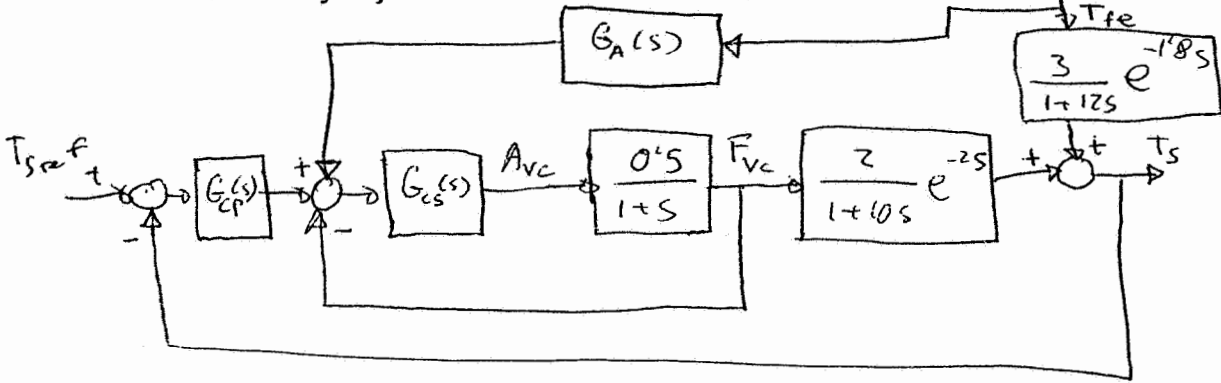
Se pide:

a) (4 puntos) Dibujar sobre el sistema de abajo una estructura de control avanzado utilizando la simbología ISA, de manera que se tengan en cuenta las siguientes especificaciones:

- Se deben controlar la temperatura de salida T_s y la altura del depósito H
- El sistema de control debe reaccionar rápidamente ante cambios en el flujo del vapor calefactor, evitando en la medida de lo posible grandes alteraciones por este motivo en la temperatura de salida.
- El sistema de control debe reaccionar rápidamente ante cambios en la temperatura del fluido de entrada, evitando en la medida de lo posible grandes alteraciones por este motivo en la temperatura de salida.



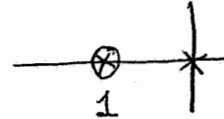
- b) (1,5 puntos) Dibujar el diagrama de bloques de la estructura de control del apartado anterior, con los valores de las funciones de transferencia del sistema que se desea controlar y dejando indicadas las funciones de transferencia de la estructura de control.



- c) (4,5 puntos) Calcular todas las funciones de transferencia de la anterior estructura de control, indicando claramente el procedimiento seguido para ello.

$G_{cs}(s)$ controlador del bucle secundario

$$G_{cs}(s) = K_R \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right) = K_R \frac{s + 1/T_i}{s}$$



- Se elige $T_i = 1$, de manera que el cero y el polo en cadena abierta se cancelan simplificando el lugar de las raíces
- K_{LDR} se elige $= 1$ para que el sistema en cadena cerrada tenga el polo en -1 y sea igual de rápido que en cadena abierta

$$1 = 0.5 K_R, \quad K_R = 2$$

(Son posibles otras elecciones de T_i y K_R debidamente justificadas)

$$G_{cs}(s) = 2 \frac{(s+1)}{s}$$

$G_{cp}(s)$ controlador del bucle primario

primero se calcula de forma aproximada la f.d.t. del proceso incluyendo el bucle secundario de control $\frac{2}{1+10s} e^{-2s}$

Yendo a las tablas de Z-N obtenemos los parámetros del controlador

$$K_R = \frac{0.9}{2} \left(\frac{10}{2}\right) = 2.25, \quad t_i = 3.33 \cdot 2 = 6.66 \quad G_{cp}(s) = 2.25 \left(1 + \frac{1}{6.66s}\right)$$

$G_A(s)$ la f.d.t. teórica que anularía el efecto de la perturbación es $\frac{3(1+10s)}{2(1+12s)} e^{-1.8s}$ dicha función es irrealizable por representar un adelanto por lo que se utiliza la siguiente aproximación $G_A(s) = \frac{3(1+10s)}{2(1+12s)}$ por variar ligeramente (0.2 segundos) se considera suficientemente buena

$G_{c1}(s) \rightarrow G_{c1}(s) = 1$ con un error de posición 0 o $t_n = 1$

Regulación Automática II Esp. Automática (primer parcial 07/02/01)

Apellidos: _____

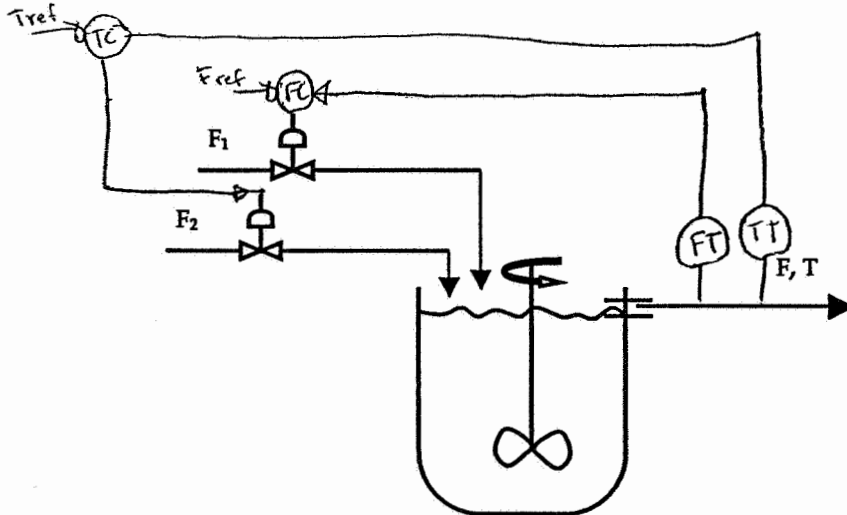
Nombre: _____

Nº de matrícula _____ Nº de documento de identidad _____

Problema 2 (2,5 puntos; 35 minutos)

Este problema se responderá en el espacio reservado para ello en la hoja de enunciado, pudiéndose utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

El sistema de la figura representa un mezclador de fluidos por desbordamiento, en el que se desea controlar el flujo de salida F y la temperatura de salida T mediante los flujos manipulados de entrada F_1 y F_2 con temperaturas constantes cada uno de ellos.



Para efectuar un control de dicho sistema se han identificado las siguientes funciones de transferencia:

$$\frac{F(s)}{F_1(s)} = \frac{2}{1+s} e^{-0.5s} \quad \frac{F(s)}{F_2(s)} = \frac{0.5}{1+s} e^{-0.5s} \quad \frac{T(s)}{F_1(s)} = \frac{1}{1+10s} e^{-5s} \quad \frac{T(s)}{F_2(s)} = \frac{3}{1+10s} e^{-5s}$$

Se pide:

a) (6 puntos)

a1) Calcular la matriz de ganancias relativas estáticas de dicho sistema.

$$K = \begin{bmatrix} 2 & 0.5 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} \quad \Lambda = K * (K^{-1})^T = \begin{bmatrix} 2 & 0.5 \\ 1 & 3 \end{bmatrix} \frac{1}{5.5} \begin{bmatrix} 3 & -1 \\ -0.5 & 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.09 & -0.09 \\ -0.09 & 1.09 \end{bmatrix}$$

Dibujar sobre la figura anterior una estructura de control regulatorio básico (dos bucles monovariables) utilizando la simbología ISA.

Indicar cuál es la relación estática entre la temperatura T y la variable manipulada utilizada para su control en los siguientes dos casos: 1) cuando el bucle de control del flujo F este abierto y 2) cuando dicho bucle esté cerrado.

$T/F_2 = 3$ con el bucle de control de F abierto
resb bucles abiertos

T/F_2 resb bucles cerrados = $\frac{T/F_2 |_{\text{resb bucles abiertos}}}{\lambda_{22}} = \frac{3}{1.09} \approx 2.75$

0'9, 1'6

a2) Calcular la función de transferencia de todos los controladores utilizados en el apartado a1.

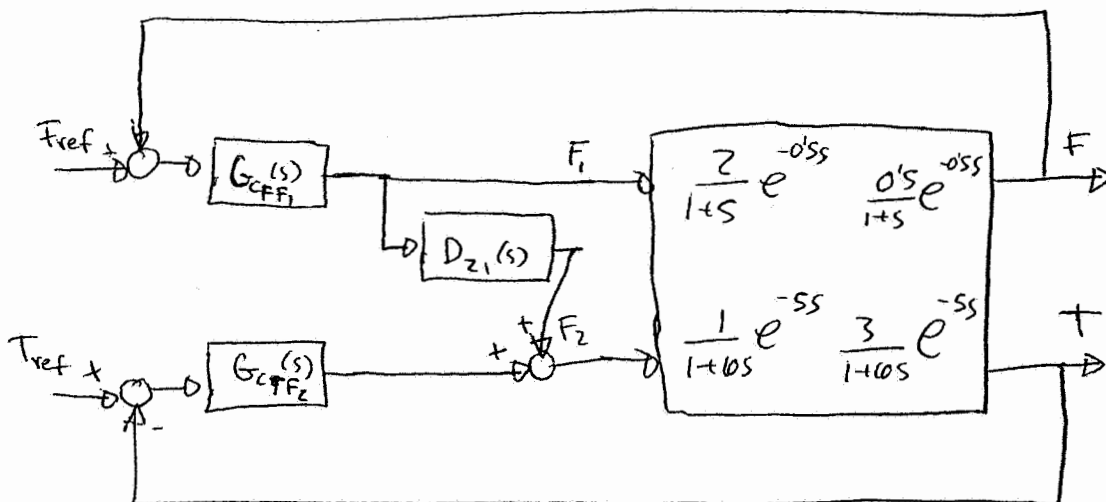
$G_{CFF_1}(s)$ al ser el bucle de control mucho más rápido que el otro, se simplifica de forma independiente. Entrando en la tabla de Z-N: $K_R = \frac{0'9}{2 \cdot 0'5} = 0'9$

$G_{CTF_2}(s)$ al ser el bucle lento, la fdt para el cálculo del controlador queda alterada como $\frac{G_{TF_2}(s)}{\lambda_{22}} = \frac{3/10}{1+10s} e^{-5s} = \frac{2'75}{1+10s} e^{-5s}$

Entrando en las tablas de Z-N $K_R = \frac{0'9}{2'75} \frac{10}{5} = 0'654$ $t_i = 3'33 \cdot 5 = 16'5$

b) (4 puntos) Con objeto de mejorar el control de la temperatura de salida, se desea implantar un desacoplador parcial para dicha variable.

b1) Dibujar el diagrama de bloques con funciones de transferencia de la estructura de control resultante.



b2) Calcular todas las funciones de transferencia de dicha estructura de control.

$$D_{z1}(s) = - \frac{G_{21}(s)}{G_{22}(s)} = - \frac{(1+10s) e^{-5s}}{3(1+10s) e^{-5s}} = - \frac{1}{3}$$

Una vez efectuado el desacople parcial:

$G_{CFF_1}(s)$ queda igual que antes $0'9 (1 + \frac{1}{16's})$

$G_{CTF_2}(s)$ se calcula como queda la matriz de funciones de transferencia

$$G(s) D(s) = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -G_{21}(s) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{G_{11}(s)}{\lambda_{11}(s)} & G_{12}(s) \\ 0 & G_{22}(s) \end{bmatrix}$$

con lo que se observa que para el cálculo del controlador hay que tener en cuenta $G_{22}(s) = \frac{3}{1+10s} e^{-5s}$

$K_R = \frac{0'9}{2} \frac{10}{5} = 0'6$ $t_i = 3'33 \cdot 5 = 16'5$

REGULACIÓN AUTOMÁTICA II

Examen Final 6 de septiembre de 2000

PROBLEMAS

Cada uno de los problemas se deben contestar en hojas aparte. Se valorará la claridad y la concisión en la respuesta.

El problema 1 se recogerá a los 45 minutos. A partir de la recogida del problema 1, se podrán utilizar apuntes, libros de consulta y los medios de cálculo que se consideren oportunos para la resolución del problema 2.

Calificación: 3 puntos por problema.

Tiempo problema 1: 45 min. Tiempo total: 1 hora y 30 minutos

Problema 1

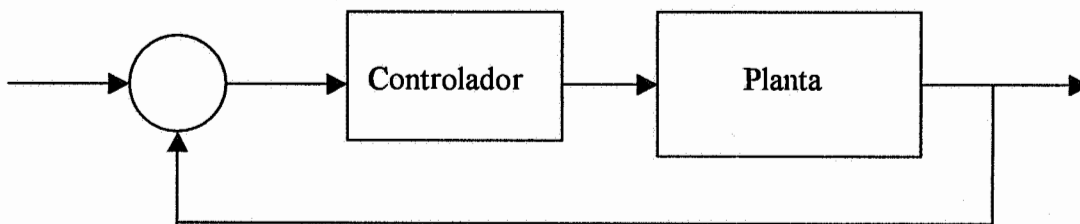
Dado el siguiente sistema multivariable:

$$G(s) = \begin{bmatrix} 2e^{-s}/(s+1) & e^{-2s}/(2s+1) \\ 0.5e^{-3s}/(2s+1) & 3e^{-s}/(3s+1) \end{bmatrix}$$

- a) Calcular la matriz de ganancias relativas y pintar la estructura de control más adecuada basada en bucles básicos de control monovariable (sin calcular las funciones de transferencia de los controladores involucrados).
- b)
 - b₁) Pintar una estructura de control mediante desacoplo total, sin calcular la f.d.t. de los controladores propiamente dichos, pero sí las f.d.t. del resto de los bloques de dicha estructura.
 - b₂) Indicar si las funciones de transferencia de un bucle de control tienen influencia para la sintonización de los controladores asociados al resto de los bucles de control.
- c)
 - c₁) Pintar una estructura de control mediante desacoplo parcial, sin calcular la f.d.t. de los controladores propiamente dichos, pero sí las f.d.t. del resto de los bloques de dicha estructura.
 - c₂) Indicar en qué caso es aconsejable y qué ventajas presenta respecto al desacoplo total.

Problema 2

Dado el sistema de la figura



Donde la planta tiene una función de transferencia

$$G(s) = \frac{10}{s(s+1)(s+2)}$$

Se pide estudiar el comportamiento del sistema utilizando como controlador un regulador proporcional de ganancia unitaria con saturación

$\lambda = 6 - 200$

Problema 2

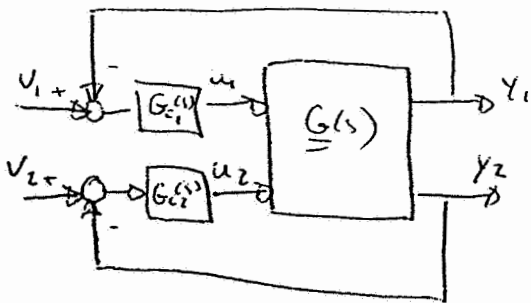
a) la matriz de ganancias es:

$$K = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 0.5 & 3 \end{bmatrix}$$

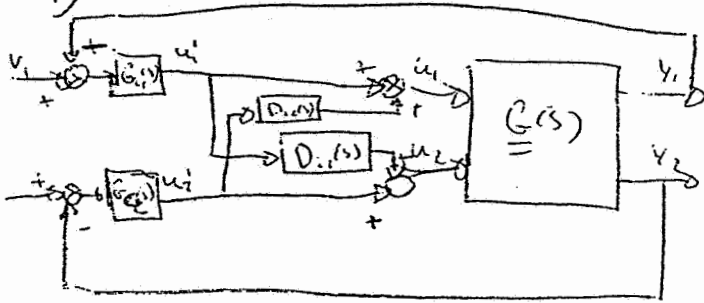
Por tanto la matriz de ganancias relativa es:

$$\Lambda = K \times [K^{-1}]^T = \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 0.5 & 3 \end{bmatrix} \frac{1}{5.5} \times \begin{bmatrix} 3 & -0.5 \\ -1 & 2 \end{bmatrix} = \frac{1}{5.5} \begin{bmatrix} 6 & -0.5 \\ -0.5 & 6 \end{bmatrix}$$

Por tanto las bucles no-variables adecuadas son $y_1 - u_1$ e $y_2 - u_2$



b) b1)



Donde:

$$D_{21}(s) = -\frac{G_{21}(s)}{G_{22}(s)} = \frac{0.5(3s+1)}{3(2s+1)} e^{-2s}$$

$$D_{12}(s) = -\frac{G_{12}(s)}{G_{11}(s)} = \frac{s+1}{2(2s+1)} e^{-s}$$

b2) Para sintetizar el bucle hay que tener en cuenta la l.d.t.

$$\frac{Y_1(s)}{U_1(s)} = G_{11}(s) + D_{21}(s) \frac{G_{12}(s)}{G_{22}(s)} = G_{11}(s) - \frac{G_{21}(s)G_{12}(s)}{G_{22}(s)}$$

donde se ve que los l.d.t. del segundo bucle de control deben tenerse en cuenta por sintetizar el primero

c) c1) Si se considera que la y_2 es la salida más importante, se puede realizar un desacople parcial con la misma estructura anterior pero haciendo $D_{12}(s) = 0$

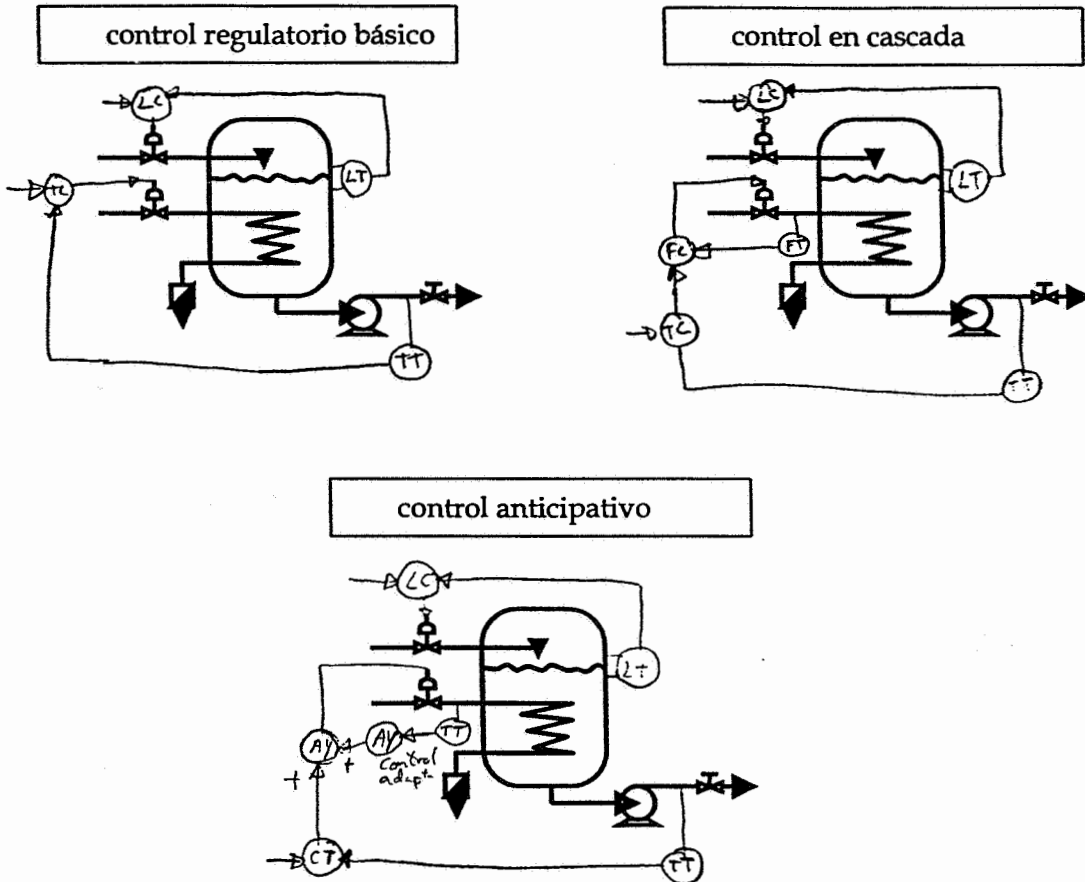
c2) El desacople parcial es aconsejable cuando una de las salidas en control es más importante que las otras y presenta la ventaja de que es más robusto (mejor comportamiento) ante errores en el modelo del sistema.

Apellidos: _____
 Nombre: _____ N° de matrícula _____

Se responderá a cada uno de las cuestiones (4 en total) de forma clara y concisa en el espacio reservado para ello en las hojas de enunciado. Se podrán utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 1 (2 puntos) El sistema de la figura representa un calentador de agua mediante vapor, en el que la demanda de agua puede considerarse una entrada de perturbación variable según las necesidades del usuario. Se desea controlar la temperatura del agua caliente, manteniendo la seguridad de la caldera mediante el control de liquido en el depósito.

Pintar en las figuras adjuntas los esquemas de control indicados en la parte superior de cada figura, utilizando para ello la simbología de la ISA.



Indicar los inconvenientes del control anticipativo cuando éste no se realiza de forma conjunta con la realimentación de la salida.

Es un control en bucle abierto, que no es capaz de corregir imperfecciones en el modelo, ni efectos de otras perturbaciones distintas a las consideradas.

Comentar el campo de utilización del control anticipativo en función de la dinámica de las funciones de transferencia del sistema.

El control anticipativo será más eficiente cuando la dinámica de la salida y la variable manipulada son más rápida que la dinámica de la perturbación y la perturbación es conocida. En caso contrario el control anticipativo no puede anular el efecto de la perturbación completamente, consiguiéndose algunas mejoras en la medida que se prevén sus disminuciones.

Apellidos: _____

Nombre: _____ N° de matrícula _____

Se responderá a cada uno de las cuestiones (5 en total) de forma clara y concisa en el espacio reservado para ello en las hojas de enunciado, incluyendo el planteamiento necesario para obtener el resultado. Se podrán utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

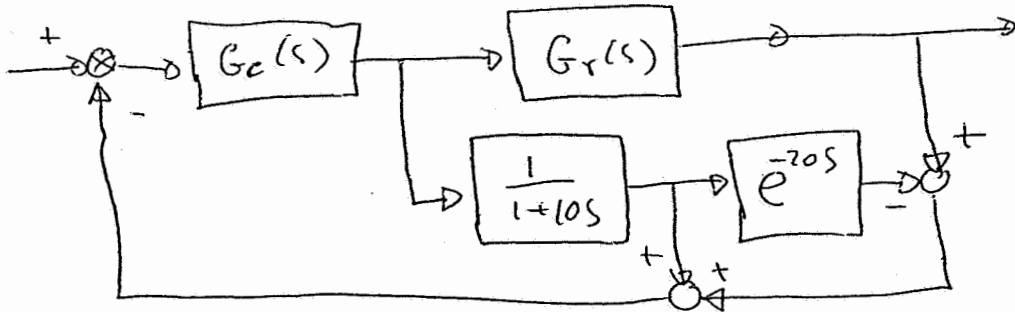
Cuestión 1.

1.1 Dibujar el esquema de control de un sistema de calefacción de agua cuya función de transferencia real $G_r(s)$ se puede aproximar mediante el siguiente modelo:

$$G_m(s) = \frac{e^{-20s}}{1+10s}$$

1.2 Calcular la función de transferencia total del sistema en función del controlador utilizado, suponiendo que $G_r(s) = G_m(s)$. Comentar qué conclusiones se pueden obtener para el cálculo del controlador y sobre el comportamiento de la salida.

1.1 Por tratarse de un sistema con gran tiempo muerto ($20 \geq 2 \cdot 10$) la estructura de control adecuada es un predictor de Smith:



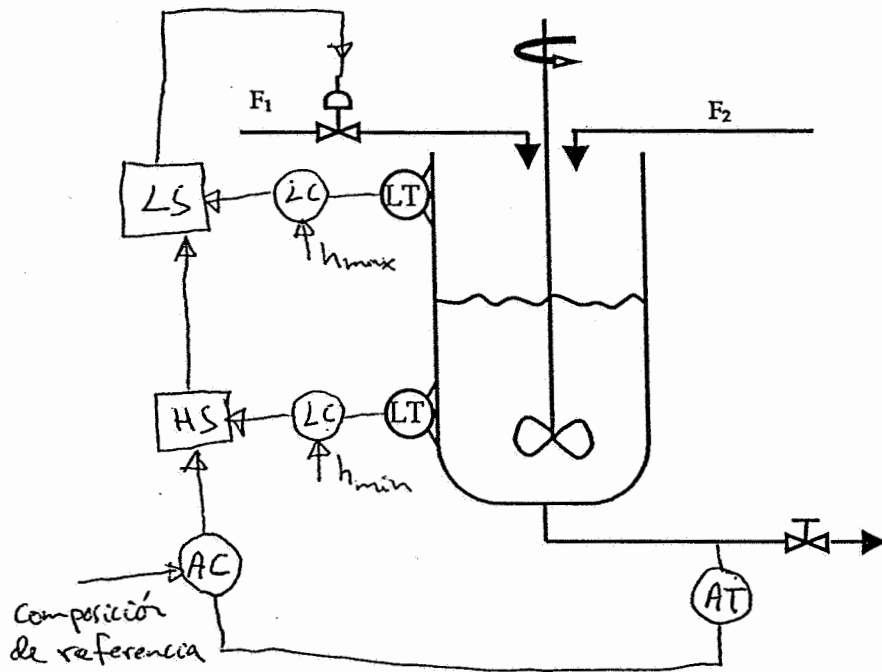
1.2 En el caso de que no haya error de modelado la f.d.t. global es

$$G_{ref}(s) = \frac{G_c(s) \frac{1}{1+10s}}{1 + G_c(s) \frac{1}{1+10s}} e^{-20s}$$

Por lo que el cálculo del controlador se efectúa teniendo en cuenta la f.d.t. del modelo del sistema sin el tiempo muerto, consiguiendo ajustar la dinámica y la estabilidad del sistema. La salida real del sistema se encuentra desfasada en el tiempo muerto (20s.) respecto a la calculada con el controlador.

Cuestión 2. El sistema de la figura representa un sistema de mezcla de dos componentes en el que el flujo de entrada F_2 y el flujo de producto demandado pueden considerarse entradas de perturbación al sistema, siendo el flujo F_1 la única variable manipulada, mediante la válvula de la figura. Para impedir el desbordamiento del tanque y conseguir una buena homogeneidad de la mezcla, se instalan dos sensores de altura de líquido en el depósito, con distintos rangos de funcionamiento.

Pintar una estructura de control de este sistema para conseguir una proporción adecuada de componentes en el flujo de salida, que a la vez tenga en cuenta las limitaciones de altura en el depósito indicadas, utilizando para ello el la simbología de la ISA en el siguiente dibujo del sistema:



Apellidos: _____
 Nombre: _____ N° de matrícula _____

No. ORDEN - 13

Se responderá a cada uno de las cuestiones (5 en total) de forma clara y concisa en el espacio reservado para ello en las hojas de enunciado, incluyendo el planteamiento necesario para obtener el resultado. Se podrán utilizar tantas hojas de borrador aparte como sean necesarias, que no serán entregadas.

Cuestión 3

3.1 Calcular la matriz de ganancias relativas en el sistema definido por las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} (s^2+2s+1) y_1 &= 2 u_1 + (2s+1) u_2 \\ (3s+1) y_2 &= 3 u_1 + u_2 \end{aligned}$$

3.2 Pintar una estructura de control adecuada formada por dos bucles de control monovariables.

3.1 Las ecuaciones estáticas del sistema son:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= 2 u_1 + u_2 \\ y_2 &= 3 u_1 + u_2 \end{aligned} \right\}$$

$$\lambda_{11} = \frac{\frac{\partial y_1}{\partial u_1} \Big|_{\text{todos los lazos abiertos}}}{\frac{\partial y_1}{\partial u_1} \Big|_{\text{resto lazos cerrados}}} = \frac{\frac{\partial y_1}{\partial u_1} \Big|_{u_2=0}}{\frac{\partial y_1}{\partial u_1} \Big|_{y_2=0}} = \frac{2}{\frac{\partial y_1}{\partial u_1} \Big|_{y_2=0}}$$

Para el cálculo del denominador:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= 2u_1 + u_2 \\ 0 &= 3u_1 + u_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow y_1 = 2u_1 - 3u_1 = -u_1; \quad \frac{\partial y_1}{\partial u_1} \Big|_{y_2=0} = -1$$

luego $\lambda_{11} = -2$; $\lambda_{12} = 1 - \lambda_{11} = 3 = \lambda_{21}$; $\lambda_{22} = \lambda_{11}$

Por tanto

$$\Lambda = \begin{bmatrix} -2 & 3 \\ 3 & -2 \end{bmatrix}$$

3.2 Nunca se debe elegir un emparejamiento entrada-salida con ganancia estática relativa negativa. Por tanto el único emparejamiento posible es controlar la segunda salida con la primera entrada y la primera salida con la segunda entrada

