

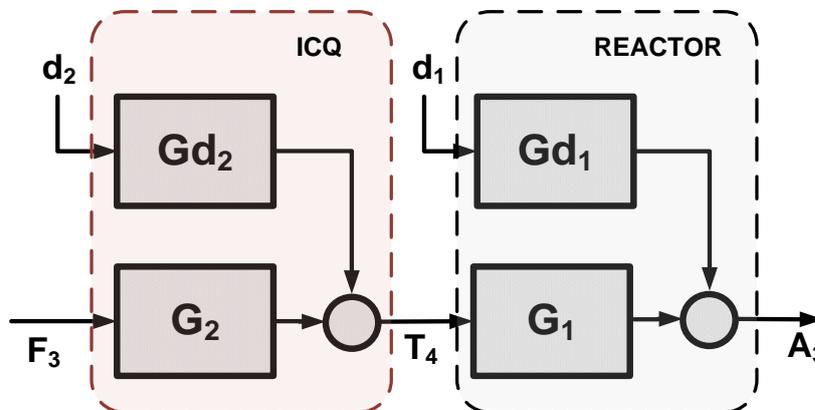
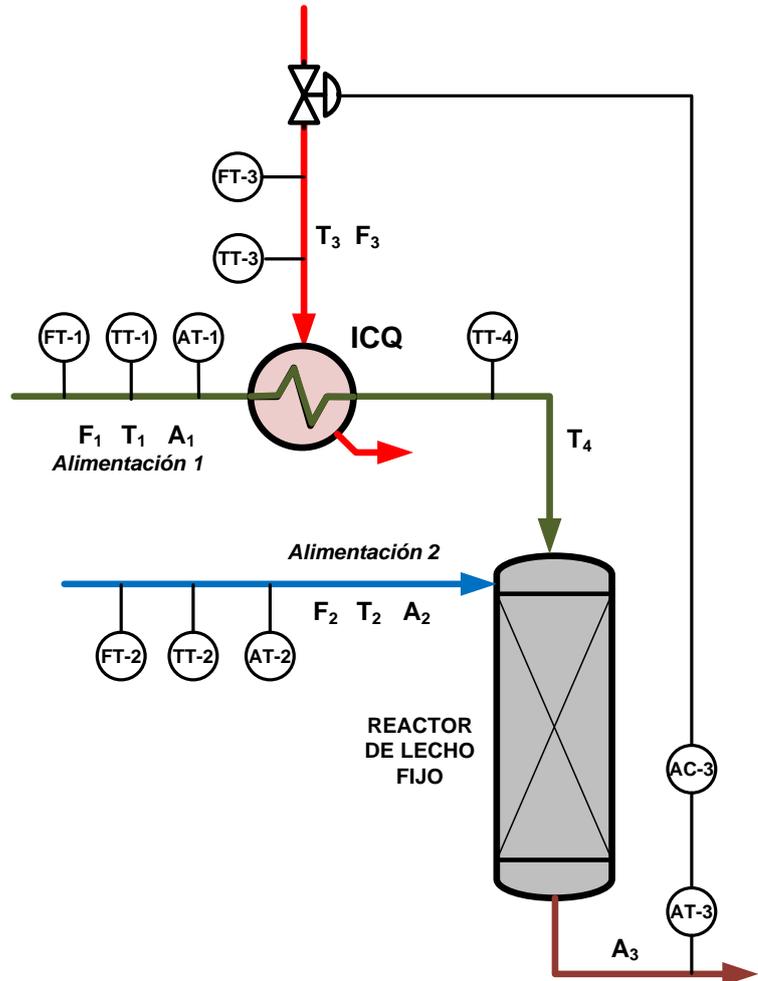
PROBLEMA –Control en Cascada

Un reactor de lecho relleno es alimentado por dos corrientes, cada una con uno de los reactivos para obtener un producto final como se muestra en la figura.

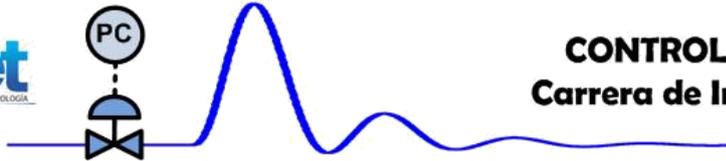
Una de las corrientes de alimentación debe ser precalentada para lograr una conversión adecuada.

El objetivo del lazo simple de control es mantener exactamente la concentración de producto (A_3) a la salida del reactor, medida por AT-3. El set point se encuentra fijado en el 60 % (escala del transmisor).

El proceso a controlar está constituido por dos equipos en serie, cuyo comportamiento dinámico puede ser representado por el siguiente diagrama en bloques.



- (a) Confeccione un diagrama en bloques del lazo simple de control de composición. Haga un exhaustivo listado de perturbaciones y ubique a través de qué variable ingresan en el lazo de control.



- (b) Elija la acción de válvula y controlador teniendo en cuenta que la situación más desfavorable se presenta cuando la concentración del producto final crece muy por encima del valor de referencia.
- (c) Ajuste el controlador PID con las tres acciones sabiendo que:

$$G_1(s) = \frac{1.8}{(7s+1)^2} \quad G_2(s) = \frac{1.2}{(3s+1)^2}$$

Válvula lineal y reacción instantánea, ganancia 4.5

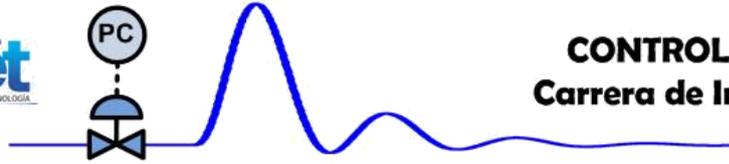
Transmisor lineal y sin dinámica apreciable, ganancia 0.6

- (d) Desarrolle una estrategia de Control en Cascada que emplee la temperatura de alimentación al reactor (T4) como variable intermedia, con el objeto que mejorar el comportamiento del lazo de control. Construya los diagramas en bloques y P&I. El transmisor de temperatura puede considerarlo un sistema de primer orden, contante de tiempo 0.5 y ganancia 0.9.
- (e) Elija tipo y las acciones de los controladores primario y secundario. Sintone los dos controladores.
- (f) Considere como perturbación un cambio de la temperatura del fluido calefactor T₃ de + 10 °C en forma de escalón. El set point de la variable controlada es de 60 %. Encuentre la respuesta para las dos estrategias: lazo único y sistema en cascada. Compare la performance. La dinámica de la perturbación puede considerarla igual a:

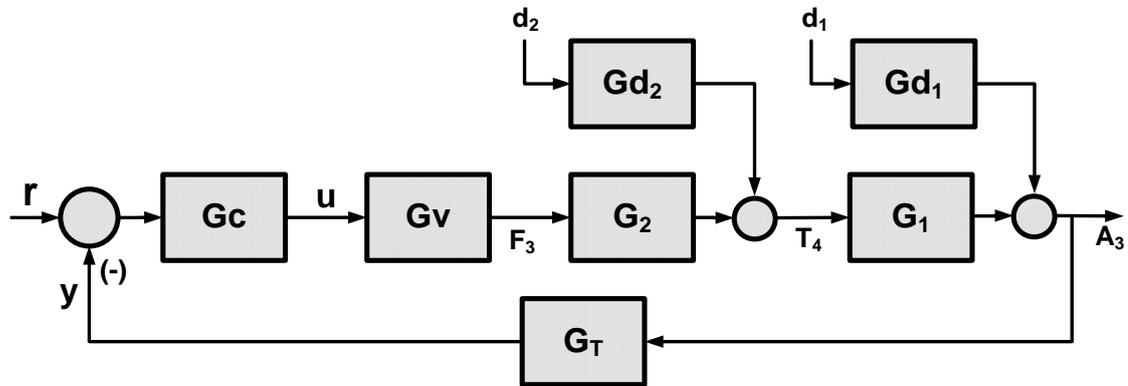
$$Gd_2(s) = \frac{0.2}{(3s+1)^2}$$

- (g) Suponga ahora que el sistema se ve afectado por un escalón en la composición de alimentación de la corriente 2 de + 0.4 mol/l. Encuentre la respuesta para las dos estrategias: lazo único y sistema en cascada. Compare la performance. La dinámica de la perturbación puede considerarla igual a:

$$Gd_1(s) = \frac{2.3}{(7s+1)^2}$$



(a)



Perturbación Secundaria (d_2)	Perturbación Primaria (d_1)
Temperatura de calefacción (T_3)(*)	Caudal de alimentación 2 (F_2)
Temperatura de alimentación 1 (T_1)	Composición de alimentación 2 (A_2)(*)
Caudal de alimentación 1 (F_1)	Caudal de alimentación 1 (F_1)
	Temperatura de alimentación 2 (T_2)
	Composición de alimentación 1 (A_1)

(*) En color se definen las perturbaciones más importantes y para las cuales se analizará las ventajas que puede aportar el control en cascada

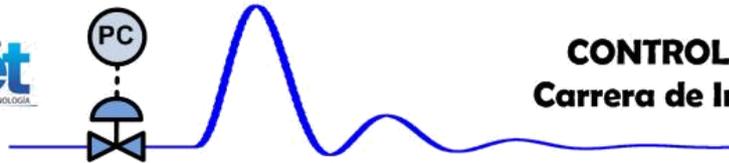
(b)

Acción de válvula

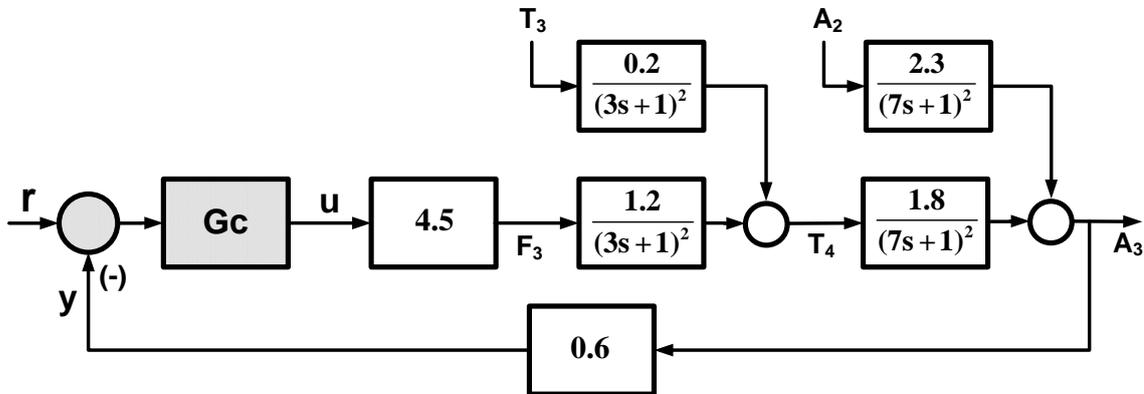
La situación más problemática se produce cuando la composición del producto crece más allá de ciertos límites admisibles. Por lo tanto, en caso de fallo, la válvula de control deberá cerrar, así la temperatura T_4 descenderá y en consecuencia disminuirá la conversión y la concentración del producto bajará. La válvula deberá ser N/C o FC.

Acción del controlador

Ante un aumento en la concentración de salida A_3 (producto) la válvula debe cerrar para que disminuyendo la Temperatura T_4 tienda a restablecerse la composición. Entonces, a un aumento de concentración A_3 , ($y \uparrow$) la válvula debe cerrar (como es N/C, $u \downarrow$). El controlador debe ser de acción inversa.



(c) Sintonización del controlador



Para sintonizar usando el método de Ziegler y Nichols, se deben calcular período último y ganancia última:

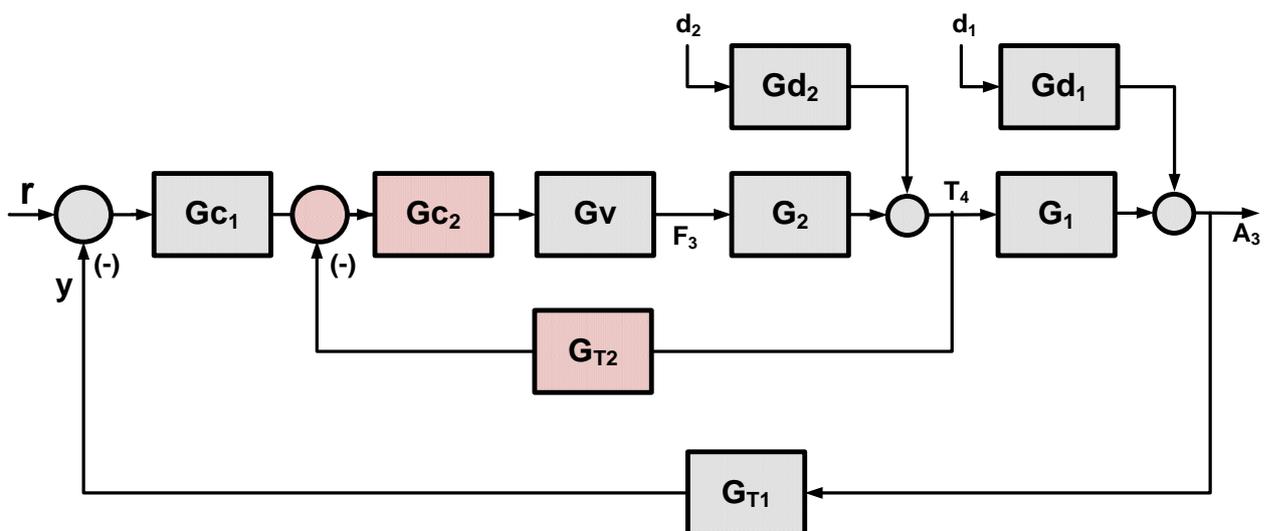
$$Gc(s)G(s) = Kc \cdot 4.5 \cdot \frac{1.2}{(3s+1)^2} \cdot \frac{1.8}{(7s+1)^2} \cdot 0.6$$

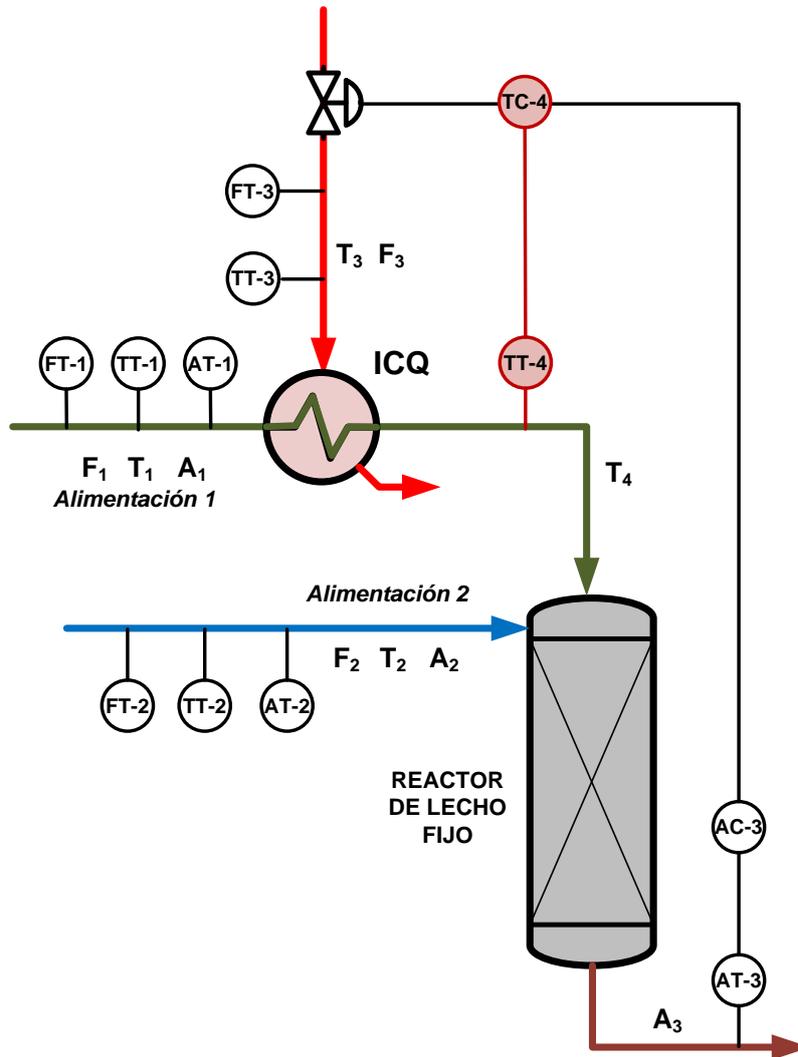
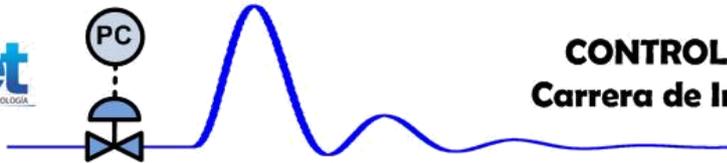
$$\omega_c = 0.218 \quad \tau_u = 28.2 \quad Kc_u = 0.817$$

Con las recomendaciones de Ziegler y Nichols resulta:

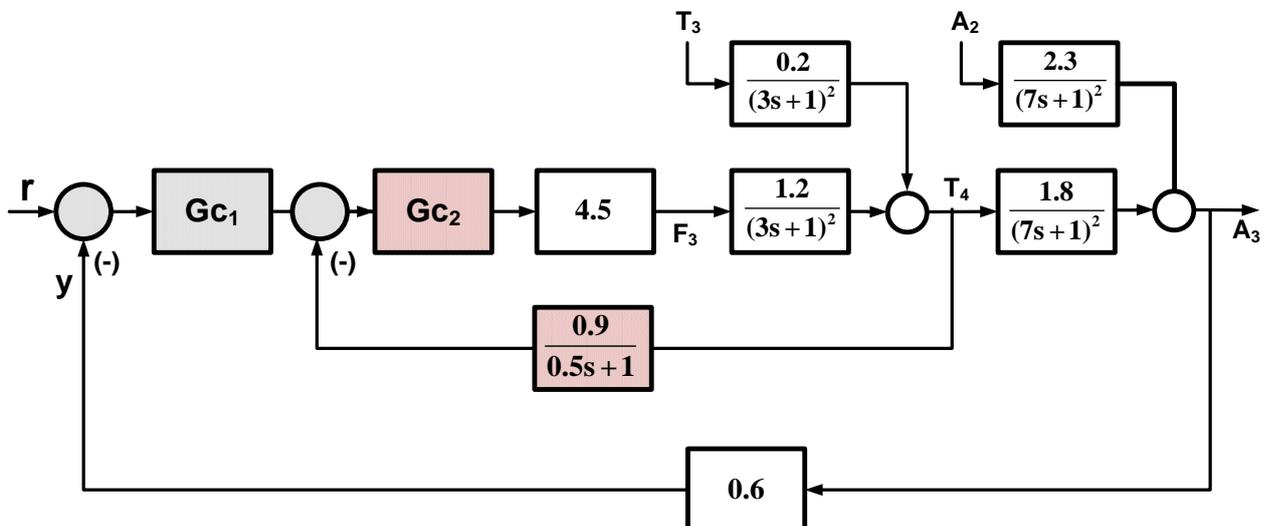
$$Kc = 0.48 \quad T_I = 14.4 \quad T_D = 3.6$$

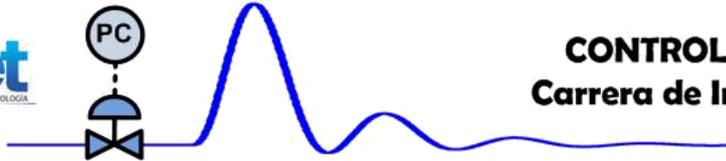
(d) Estrategia de Control en Cascada





El sistema a analizar es:





(e) Acción y sintonización de controladores

Controlador Secundario (G_{c2})

Como T_4 no es la variable que, en definitiva debe ser mantenida en su set point, y para que el lazo secundario sea lo más rápido en su reacción, se elige controlador con acción proporcional solamente.

Ante un aumento de la variable controlada (T_4), la válvula debe cerrarse y como es N/C, requiere que disminuya la señal de control. En síntesis, $y_2 \uparrow \rightarrow u_2 \downarrow$. Se requiere acción inversa.

Para sintonizar, los elementos del lazo secundario son:

$$G_{c2}(s)G_2(s) = K_{c2} 4.5 \frac{1.2}{(3s + 1)^2} \frac{0.9}{0.5s + 1}$$

$$\omega_{c2} = 1.20 \quad K_{c2u} = 3.36$$

Se sintoniza con un Margen de Ganancia de 2.4, con lo que $K_{c2} = 1.70$

Controlador Primario (G_{c1})

La variable concentración de salida es clave ya que por eso se recurre a una estrategia más elaborada, para mantener la especificación lo más acotada posible. Por esa razón, el controlador debe ser PID.

Para analizar la acción de este controlador se debe tener presente que hay que relacionar la señal transmitida y_1 con la salida de controlador (u_1) que es a la vez el set point del controlador secundario. Por lo tanto, ante un incremento en la concentración de producto A_3 (implica un aumento de y_1) la señal de controlador deberá disminuir, es decir bajar el set point secundario, que producirá la disminución de la variable controlada secundaria T_4 . En síntesis: $y_1 \uparrow \rightarrow u_1 \downarrow$. Se requiere acción inversa.

Los elementos del lazo primario con control proporcional (para obtener ganancia y período últimos) resultan:

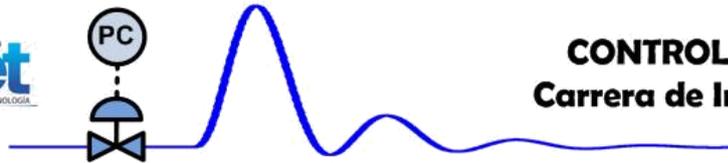
$$G_{c1}(s)G(s) = K_{c1} \frac{K_{c2} 4.5 \frac{1.2}{(3s+1)^2}}{1 + K_{c2} 4.5 \frac{1.2}{(3s+1)^2} \frac{0.9}{0.5s+1}} \frac{1.8}{(7s + 1)^2} 0.6$$

Los parámetros últimos resultan:

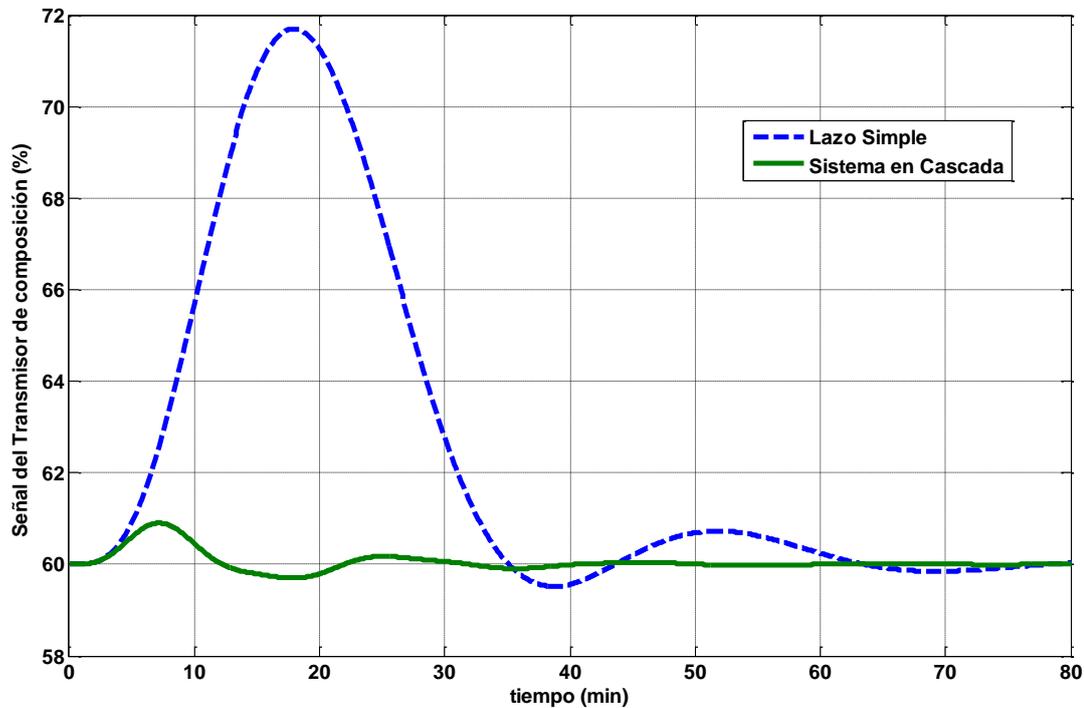
$$\omega_{c1} = 0.705 \quad \tau_{u1} = 8.90 \quad K_{c1u} = 10.8$$

Con las recomendaciones de Ziegler y Nichols resulta:

$$K_{c1} = 5.4 \quad T_{I1} = 4.4 \quad T_{D1} = 1.1$$



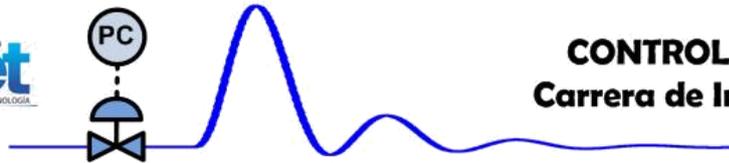
(f) Perturbación secundaria. Cambiotipo escalón de la temperatura del fluido calefactor T_3 de $+10\text{ }^\circ\text{C}$



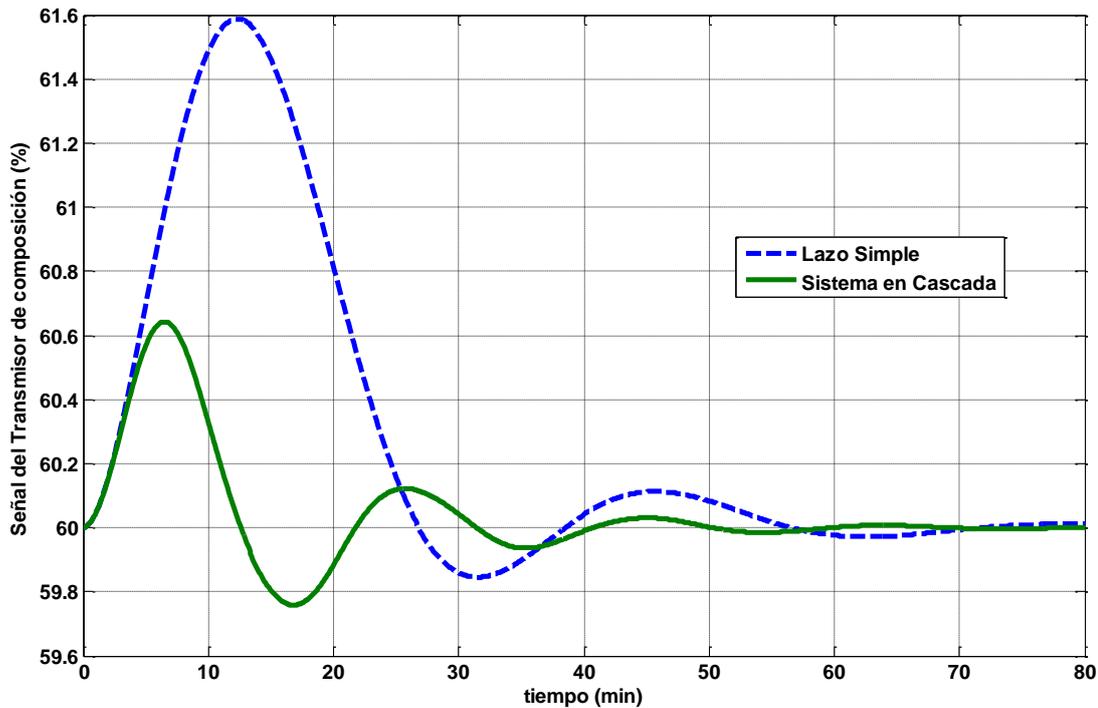
Estrategia	T_P	RA	SV_1	IAE
Lazo simple	33.7 (min)	0.06	11.7 %	20.9
Cascada	17.8 (min)	0.19	0.9 %	0.89

Se ve claramente las ventajas que proporciona el control en cascada:

- Disminuye drásticamente el período de oscilación
- Disminuye en más de diez veces el máximo apartamiento
- Los dos efectos anteriores se ven claramente reflejado en la mejora medida por la integral del valor absoluto de error.



(g) Perturbación primaria. Cambio escalón en la composición de alimentación de la corriente 2 (A₂) de + 0.4 mol/l



Estrategia	T _P	RA	SV ₁	IAE
Lazo simple	33.2 (min)	0.07	1.6 %	2.59
Cascada	18.9 (min)	0.19	0.6 %	0.73

También con la perturbación primaria, se obtienen mejoras, aunque en este caso menos pronunciadas.

- Disminución del período de oscilación (igual que antes). Hay que recordar que este período viene determinado por la ecuación característica que es la misma para las dos perturbaciones.
- Hay una disminución en el máximo sobrevalor, pero no tan pronunciada como con la perturbación secundaria, porque en este caso, la perturbación afecta en forma directa a la variable primaria sin pasar previamente por el lazo esclavo.