

Taller 1: Diseño de controladores y compensadores clásicos en tiempo continuo

Ing. Jose J. Carreño Zagarra, PhD.

SISTEMAS DE CONTROL II

Universidad Industrial de Santander

16 de septiembre de 2025

Presentar todas las simulaciones y cálculos que se realicen en cada uno de los siguientes problemas.

1. Considérese el horno mostrado en la Figura 1, utilizado para calentar el aire de suministro de un regenerador de catalizador. La variable de proceso es la temperatura del aire, medida por un transmisor calibrado en el rango 300–500 °F (0–100 %). Se aplicó en lazo abierto un escalón de +5 % en la salida del controlador (señal a la válvula) y se registró la respuesta de temperatura $T(t)$ en la tabla adjunta.

Cuadro 1: Respuesta de temperatura en el tiempo

| t [min] | $T(t)$ [°F] | t [min] | $T(t)$ [°F] |
|---------|-------------|---------|-------------|
| 0 | 425 | 5.5 | 436.6 |
| 0.5 | 425 | 6.0 | 437.6 |
| 1.0 | 425 | 7.0 | 439.4 |
| 2.0 | 425 | 8.0 | 440.7 |
| 2.5 | 426.4 | 9.0 | 441.7 |
| 3.0 | 428.5 | 10.0 | 442.5 |
| 3.5 | 430.6 | 11.0 | 443.0 |
| 4.0 | 432.4 | 12.0 | 443.5 |
| 4.5 | 434.0 | 14.0 | 444.1 |
| 5.0 | 435.3 | 20.0 | 445.0 |

- Ajuste los datos experimentales con un modelo de primer orden con tiempo muerto empleando un método de ajuste (como el método de Smith de dos puntos o cualquier otro) e informe los parámetros K , T y L .
- Sintonice un controlador PID empleando el método de Ziegler-Nichols y compare su resultado con controladores PID sintonizados por dos métodos basados en criterios de optimización. Muestre y comente la respuesta resultante ante una entrada tipo escalón.

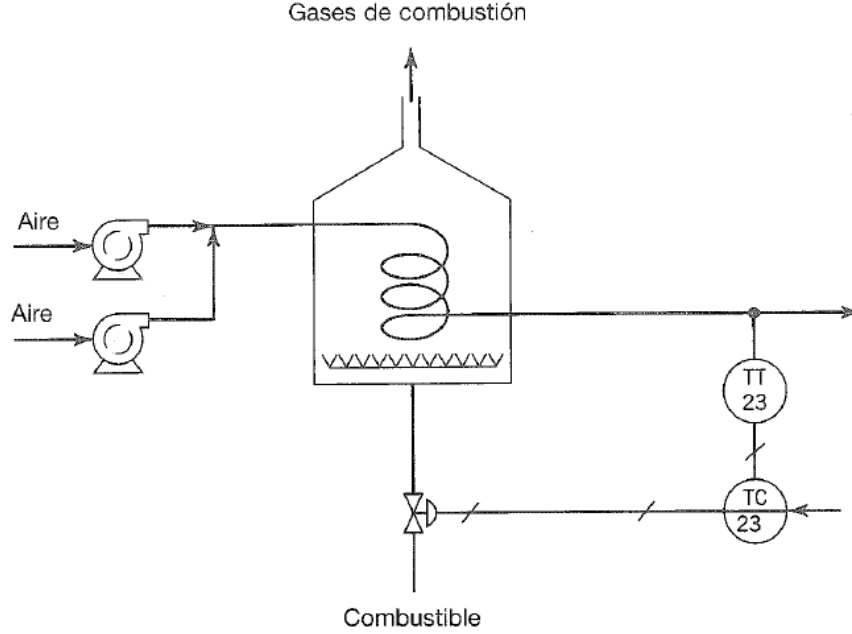


Figura 1: Esquema del lazo de control de temperatura del horno de aire para regenerador de catalizado.

- c) Usando estos mismos parámetros de los controladores PID sintonizados simular el comportamiento ante una entrada tipo escalón empleando las estructuras de control PI+D.

2. Usando el método dos puntos de Smith aproxime la siguiente función de transferencia de un sistema de tres tanques:

$$G(s) = \frac{1,2}{(1,2s + 1)^4} \quad (1)$$

Diseñar dos controladores PI y dos controladores PID usando las reglas de sintonía que desee y comparar su desempeño ante un cambio en la referencia de escalón unitario en el tiempo $t=0$ [s] y una perturbación a la entrada de la planta de magnitud 0.5 que ingresa en el tiempo $t=20$ [s]. Indicar cuál controlador tiene mejor desempeño ante el seguimiento de referencia y ante el rechazo de la perturbación y justificar su respuesta.

3. El astronauta Bruce McCandless II dio el primer paseo sin ataduras por el espacio el 7 de febrero de 1984, utilizando el dispositivo de propulsión a chorro de gas. El controlador puede ser representado por una ganancia K_2 , como se muestra en la figura. El momento de inercia del equipo y del astronauta es $I = 25$ [kg·m²]. Si $K_1 = 4$ resolver los siguientes enunciados:

- Determine los valores de K_2 y de K_3 que garantice un sobrepico aproximadamente igual al 4 % con un tiempo de establecimiento de 25 [s].
- Determine el rango de valores de K_2 y de K_3 que garantice un sobrepico inferior al 9,48 % con un tiempo de establecimiento de 25 [s].

- c) Dibuje la región en el plano s de los polos en lazo cerrado que cumple con las especificaciones del ejercicio anterior.

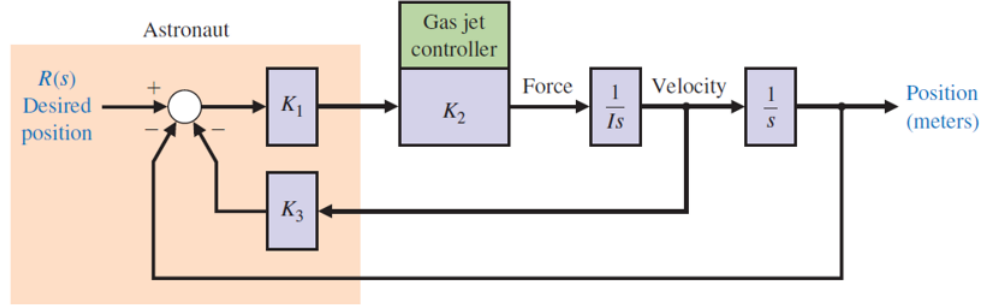


Figura 2: Sistema de control de dispositivo de propulsión a chorro de gas

4. La función de transferencia de un proceso está dada por:

$$G(s) = \frac{k}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)(\tau_3 s + 1)},$$

donde la ganancia del proceso es $k = 2,5 \% \text{TO} / \% \text{CO}$ y las constantes de tiempo son $\tau_1 = 5 \text{ min}$, $\tau_2 = 0,8 \text{ min}$ y $\tau_3 = 0,2 \text{ min}$.

Determinar los parámetros de sintonización del controlador usando el método de lazo cerrado de Ziegler Nichols (conocido como método de ganancia última) para un controlador proporcional (P), un controlador proporcional integral (PI) y un controlador proporcional integral derivativo (PID).

- Comparar el comportamiento de cada uno de los controladores ante una entrada tipo escalón unitario.
- Para el controlador PID diseñar un filtro de primer orden para la parte derivativa. Comparar la respuesta del controlador con filtro y sin filtro ante una entrada tipo escalón unitario y agregando ruido de medición en el lazo de realimentación. (Tiene la libertad de seleccionar las características del ruido que considere pertinentes).
- Repetir el mismo procedimiento del inciso anterior pero diseñando un filtro de segundo orden para el ruido de medición.
- Si se tiene una restricción de $-2 \leq u \leq 2$ en la variable manipulada diseñar una etapa anti-windup para el controlador PI y el controlador PID sintonizados inicialmente. Simular la respuesta al escalón de estos dos controladores con etapa anti-windup y sin dicha etapa.

5. Se desea diseñar un sistema de control de una bobinadora de rotor. Para ello se requiere reemplazar una operación manual utilizando una máquina para enrollar alambre de cobre en los rotores de motores pequeños. Cada motor tiene tres arrollamientos independientes de

varios cientos de vueltas de alambre. Es importante que los arrollamientos sean uniformes y que el rendimiento del proceso sea alto. El operario simplemente inserta un rotor sin bobinar, presiona un botón de inicio y luego retira el rotor completamente bobinado. Se usa un motor de CC para lograr bobinados rápidos y precisos. Por lo tanto, la meta es alcanzar alta exactitud en estado estacionario tanto en posición como en velocidad. El sistema de control se muestra en la Figura 3(a) y el diagrama de bloques en la Figura 3(b).

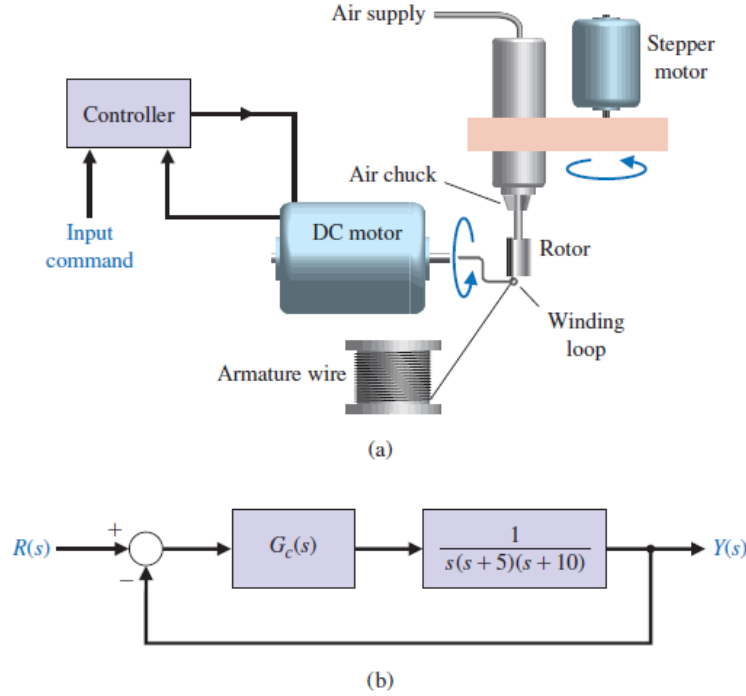


Figura 3: Sistema de control de bobinadora de rotor

Diseñar un compensador en adelante que garantice un sobreimpulso del 3% y un tiempo de establecimiento de 1.5 segundos.

6. Se espera que el mercado de la electrónica automotriz supere los \$300 mil millones. Se prevé una tasa de crecimiento anual superior al 7% en frenado electrónico, dirección electrónica e información al conductor. Gran parte de la potencia de cómputo adicional se empleará en nuevas tecnologías para vehículos y carreteras inteligentes, como los IVHS (intelligent vehicle/highway systems). Los nuevos sistemas a bordo del automóvil soportarán vehículos semiautónomos, mejoras de seguridad, reducción de emisiones y otras funciones, entre ellas el control de cruce inteligente y los sistemas de frenado *by-wire* que eliminan la hidráulica.

El término IVHS se refiere a un conjunto variado de dispositivos electrónicos que proporcionan información en tiempo real sobre accidentes, congestión y servicios en carretera a conductores y controladores de tráfico. IVHS también abarca dispositivos que hacen a los vehículos más autónomos: sistemas de evitación de colisiones y tecnología de seguimiento de carril que alertan a los conductores sobre peligros inminentes y permiten que un automóvil se conduzca por sí mismo.

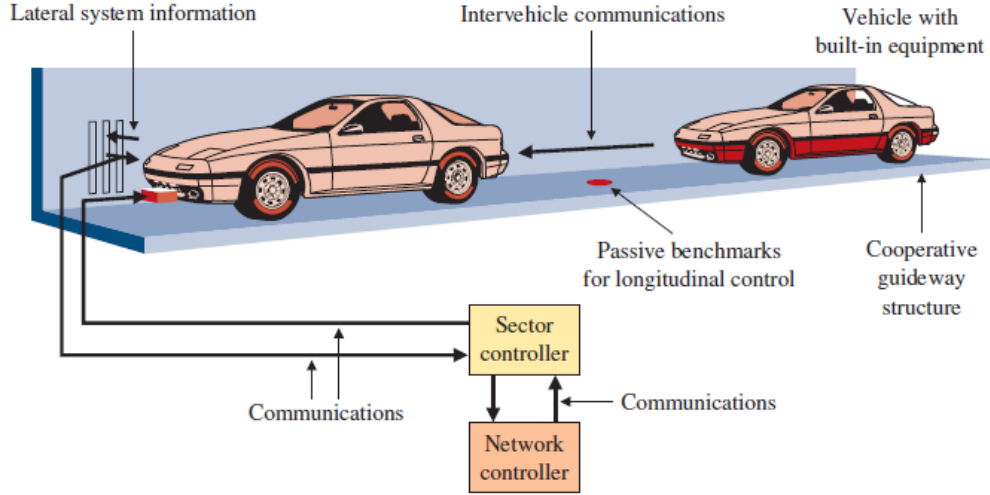


Figura 4: Control de velocidad de un automóvil

Un ejemplo de sistema de autopista automatizada se muestra en la Figura 4. En la Figura 5 se presenta un sistema de control para mantener la velocidad entre vehículos. La salida $Y(s)$ es la velocidad relativa de los dos automóviles; la entrada $R(s)$ es la velocidad relativa deseada entre ambos. El objetivo de diseño es desarrollar un controlador que mantenga la velocidad prescrita entre los vehículos y maniobre el vehículo activo (en este caso, el automóvil que va detrás) según lo ordenado.

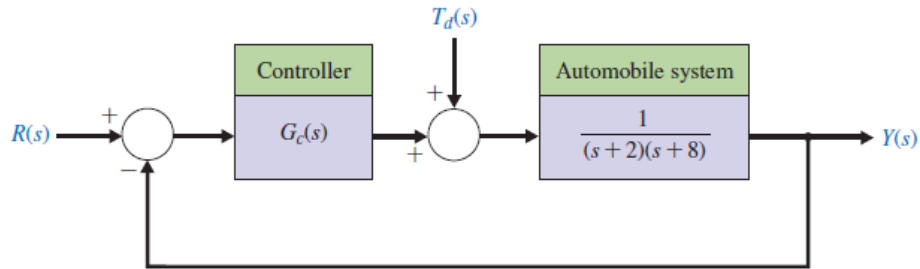


Figura 5: Sistema de control de velocidad de vehículo

Objetivo de control: Mantener la velocidad prescrita entre los dos vehículos y maniobrar el vehículo activo según lo indicado.

Diseñar un controlador PI que garantice un sobrepico del 8% y un tiempo de establecimiento de 1.45 segundos y simular el seguimiento de referencia ante una entrada escalón y el rechazo de perturbaciones de la carga ante $T_d = 0,3$. Para ello puede seleccionar $K_I/K_p = 2$, con el fin de que se cancele el polo en $s = -2$ o puede usar cualquier otro método, como agregar un filtro a la entrada de la planta, con el fin de cumplir con las especificaciones establecidas.

7. Ingenieros están desarrollando sensores más pequeños, livianos y económicos para el maquinado y otros procesos de manufactura. En la Figura 6 se muestra la mesa de una

fresadora. Esta mesa, en particular, incorpora un sensor nuevo que obtiene información sobre el proceso de corte (es decir, la profundidad de corte) a partir de las emisiones acústicas (EA). Las emisiones acústicas son ondas de esfuerzo de baja amplitud y alta frecuencia que se originan por la liberación rápida de energía de deformación en un medio continuo. Los sensores de EA son comúnmente piezoeléctricos, sensibles en amplitud en el rango de 100 kHz a 1 MHz; son rentables y pueden montarse en la mayoría de máquinas-herramienta.

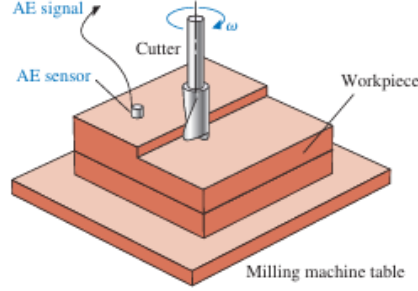


Figura 6: Máquina fresadora

Existe una relación entre la sensibilidad de la potencia de la señal de EA y pequeños cambios en la profundidad de corte. Esta relación puede aprovecharse para obtener una señal de realimentación o una medición de la profundidad de corte. En la Figura 7 se presenta un diagrama de bloques simplificado del sistema en lazo de realimentación.

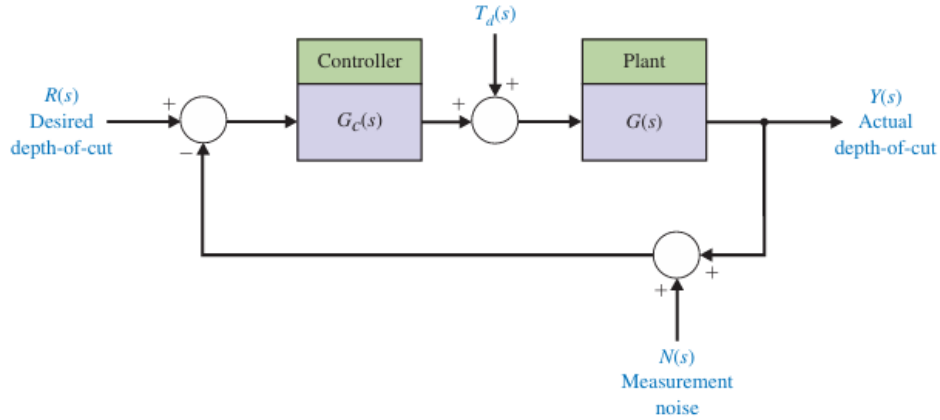


Figura 7: Sistema de control de fresadora

Dado que las emisiones acústicas son sensibles al material, a la geometría de la herramienta, al desgaste y a parámetros de corte como la velocidad de rotación de la fresa, la medición de la profundidad de corte se modela como corrompida por ruido, denotado por $N(s)$ en la Figura 7. Asimismo, se modelan las perturbaciones del proceso, denotadas por $T_d(s)$. Estas pueden representar perturbaciones externas que provocan movimientos indeseados de la herramienta, fluctuaciones en la velocidad de rotación de la fresa, etc.

El modelo del proceso $G(s)$ está dado por

$$G(s) = \frac{2}{s(s+1)(s+5)},$$

y representa el modelo del conjunto de la fresa y la dinámica del sensor de emisiones acústicas (AE). La entrada a $G(s)$ es una señal de control que acciona un dispositivo electromecánico, el cual aplica presión descendente sobre la herramienta de corte.

Diseñe un compensador en adelante de tal manera que se logre un sobrepico inferior al 20 % y un tiempo de establecimiento de 8 segundos.

8. Una versión simplificada del control de tasa de actitud para un avión supersónico se muestra en la Figura 8. Cuando el vehículo vuela a cuatro veces la velocidad del sonido (Mach 4) a una altitud de 100 000 ft, los parámetros son:

$$\tau_a = 1,1, \quad K_1 = 1,25, \quad \zeta_a = 1,0, \quad \omega_a = 4.$$

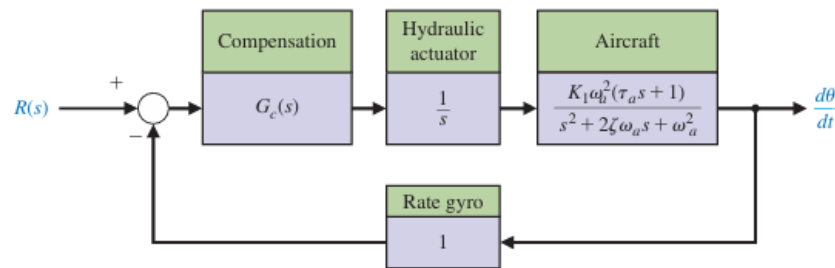


Figura 8: Control de alrirud de avión supersónico

Diseñe un compensador $G_c(s)$ de modo que la respuesta a una entrada escalón tenga un sobreimpulso porcentual $P.O. \leq 10 \%$.