



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA  
NACIONAL  
Facultad Regional Reconquista

---

Teoría de Sistemas y Control Automático

*Problemas para prepararse al examen  
parcial*

**Autores:**

- Dr. Antonio Ferramosca
- Ing. Talijancic Iván

## 1. Problema 1:

Dada la función de transferencia

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

Se pide:

1. Dibujar el lugar de las raíces y analizarlo.
2. Dibujar el diagrama de bode y calcular los márgenes de fase y ganancia. El sistema en lazo cerrado será estable?
3. Diseñar (en el dominio de la frecuencia) una red mixta (red de avance + red de retardo) de forma que el sistema controlado tenga un margen de fase de 50 grados y un error en régimen permanente frente a entrada en rampa del 2%.
4. Diseñar para el mismo sistema (original) un controlador PD que tenga una ganancia tal que el error en régimen permanente frente a entrada en rampa sea del 5%. Diseñar el controlador PD usando el lugar de las raíces y el dominio de la frecuencia y comparar los sistemas controlados obtenidos (estabilidad, polos en lazo cerrado, respuesta temporal, etc.)

## 2. Problema 2:

Dada la función de transferencia

$$G(s) = \frac{1}{s(s+2)(s+3)}$$

Se pide:

1. Dibujar el lugar de las raíces y analizarlo.
2. Dibujar el diagrama de bode y calcular los márgenes de fase y ganancia. El sistema en lazo cerrado será estable?
3. Diseñar un controlador proporcional que garantice un error en régimen permanente frente a una entrada a rampa inferior al 6%. Usar ambos métodos (lugar de las raíces y dominio de la frecuencia) y comparar el resultado obtenido.
4. Diseñar (en el dominio de la frecuencia) una red mixta (red de avance + red de retardo) de forma que el sistema controlado tenga un margen de fase superior a 50 grados y un error en régimen permanente frente a entrada en rampa inferior al 6%.

## 3. Problema 3:

Dada la función de transferencia

$$G(s) = \frac{100}{s(s+1)(s+4)}$$

Se pide:

1. Dibujar el lugar de las raíces y analizarlo.

2. Dibujar el diagrama de bode y calcular los márgenes de fase y ganancia. El sistema en lazo cerrado será estable?
3. El sistema se controla con un controlador dado por

$$C(s) = \frac{1 + \tau s}{1 + \alpha \tau s}$$

donde  $\tau = 10$  y  $\alpha = 0,1$ . Calcular el margen de fase del sistema compensado, así como el error en régimen permanente frente entrada rampa.

4. Manteniendo el mismo valor de  $\alpha$ , seleccionar un valor de  $\tau$  de forma que el sistema controlado tenga el mayor margen de fase posible.
5. Sea ahora el controlador dado por:

$$C(s) = K \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Calcular  $K$  y  $T_i$  tales que el sistema compensado tenga un margen de fase de 30 grados.

#### 4. Problema 4:

Dada la función de transferencia

$$G(s) = \frac{100}{s(s+1)(s+4)}$$

Se pide:

1. Dibujar el lugar de las raíces y analizarlo.
2. Dibujar el diagrama de bode y calcular los márgenes de fase y ganancia. El sistema en lazo cerrado será estable?
3. Diseñar un controlador PI tal que el margen de ganancia del sistema compensado sea de 20 dB.
4. Diseñar una red mixta tal que el sistema realimentado tenga un error en régimen permanente frente a entrada en escalón menor o igual del 1% y margen de fase de 30 grados.
5. Diseñar un controlador PID que se parezca lo más posible a la red mixta del punto anterior.
6. Indicar ventajas e inconvenientes del controlador PID del apartado 5 frente a la red del apartado 4.

#### 5. Problema 5:

Dada la función de transferencia

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

Se desea controlar el sistema dinámico con un controlador tal que el sistema en lazo cerrado tenga una respuesta ante un escalón unitario con una sobreoscilación inferior al 20 % y que alcance el valor 1 en régimen permanente. Se desea además que el error en régimen permanente cuando la entrada es una rampa sea inferior a 0.1.

Se pide :

1. Utilizando el lugar de las raíces, diseñar el controlador tal el sistema en lazo cerrado cumpla con las especificaciones deseadas.
2. Determinar las especificaciones del sistema compensado en el dominio de la frecuencia así como la ganancia mínima que debe tener el controlador.
3. Dibujar el diagrama de bode del sistema sin compensar y calcular los márgenes de fase y ganancia. El sistema en lazo cerrado será estable?
4. Diseñar (si es posible) una red de avance que controle el sistema.
5. Diseñar (si es posible) una red de retardo que controle el sistema.
6. Diseñar (si es posible) una red mixta que controle el sistema.
7. Comparar las respuestas temporales antes escalón unitarios del sistema controlado con la red de retardo y con la red mixta, indicando salida en régimen permanente, sobreoscilación y tiempo de subida.

## 6. Problema 6:

Se desea controlar la temperatura de salida de una caldera de vapor actuando sobre la válvula de regulación de combustible. Para que la caldera funcione aceptablemente se debe cumplir que para una temperatura deseada de 200 °C, la temperatura no supere 230 °C y en régimen permanente la temperatura sea superior a 198 °C. Para ello se modela dicho sistema obteniéndose la siguiente función de transferencia.

$$G(s) = \frac{1}{(100s + 1)(10s + 1)^3}$$

Se pide:

1. Determinar las especificaciones del sistema compensado en el dominio de la frecuencia así como la ganancia mínima que debe tener el controlador.
2. Dibujar el diagrama de Bode del sistema sin compensar y calcular los márgenes de fase y ganancia. El sistema en lazo cerrado será estable?
3. Diseñar (si es posible) una red de avance que controle el sistema.
4. Diseñar (si es posible) una red de retardo que controle el sistema.
5. Diseñar (si es posible) una red mixta que controle el sistema.
6. Finalmente se decide implementar la red mixta diseñada en el apartado anterior y al probarla sobre el sistema se observa que el comportamiento de la caldera es aceptable, aunque se desea que fuese más rápido, es decir, con un menor tiempo de subida. Justifique razonadamente cómo ajustar el controlador para este fin.

## 7. Problema 7:

Se desea controlar un sistema dinámico con un esquema de realimentación unitaria, como se representa en la figura 1, donde  $K(s)$  representa el controlador. Se desea que el sistema en lazo cerrado tenga una respuesta ante escalón con una sobreoscilación inferior al 5%, un tiempo de subida inferior a 1s, y un error de seguimiento ante entrada en rampa inferior al 10%.

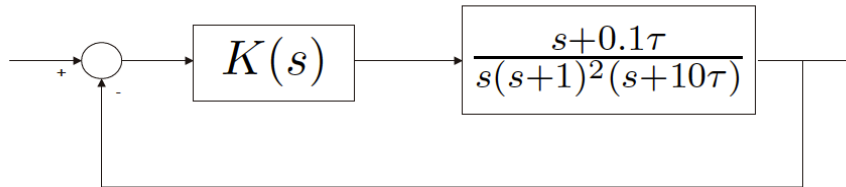


Figura 1: Sistema Problema 7

Se pide

1. Determinar las especificaciones del sistema compensado en el dominio de la frecuencia, así como la ganancia mínima que debe tener el controlador.
2. Utilizando el lugar de las raíces, diseñar el controlador tal el sistema en lazo cerrado cumpla con las especificaciones deseadas. Tomar  $\tau = 1$ .
3. Siempre tomando  $\tau = 1$ , dibujar el diagrama de Bode del sistema sin compensar y calcular los márgenes de fase y ganancia. El sistema en lazo cerrado será estable?
4. Podría diseñar una red de avance que compensase el sistema?, ¿y un PD?, ¿un PI?. Justifique las respuestas.
5. Diseñe (si es posible), una red de retardo que controle el sistema. Si no pudiese diseñar una red de retardo para cumplir todas las especificaciones, relaje la restricción de sobreoscilación, y estime la sobreoscilación resultante para el sistema controlado.
6. Diseñe (si es posible), una red mixta que controle el sistema.
7. Suponga ahora que  $\tau$  puede tomar valores entre 0.1 y 1. Rediseñe la red mixta del apartado anterior para que el controlador verifique las restricciones para todo el rango de valores de  $\tau$ .

*Nota. Observe que el sistema original puede descomponerse como  $\frac{1}{s(s+1)^2}$  en serie con una red de avance que depende de  $\tau$ .*

## 8. Problema 8:

En una planta de producción de biocombustible se ha diseñado un control proporcional para controlar la concentración del producto de un reactor mediante la manipulación de la válvula de refrigerante. El sistema controlado no tiene un comportamiento adecuado y se ha decidido su mejora. Para ello, se ha procedido a la obtención de un diagrama de Bode experimental del sistema a controlar, obteniéndose la siguiente gráfica:

Las condiciones deseables del sistema en lazo cerrado son un error en régimen permanente frente a entrada en escalón inferior al 1% y una sobreoscilación inferior al 20%. Responda y justifique las siguientes cuestiones:

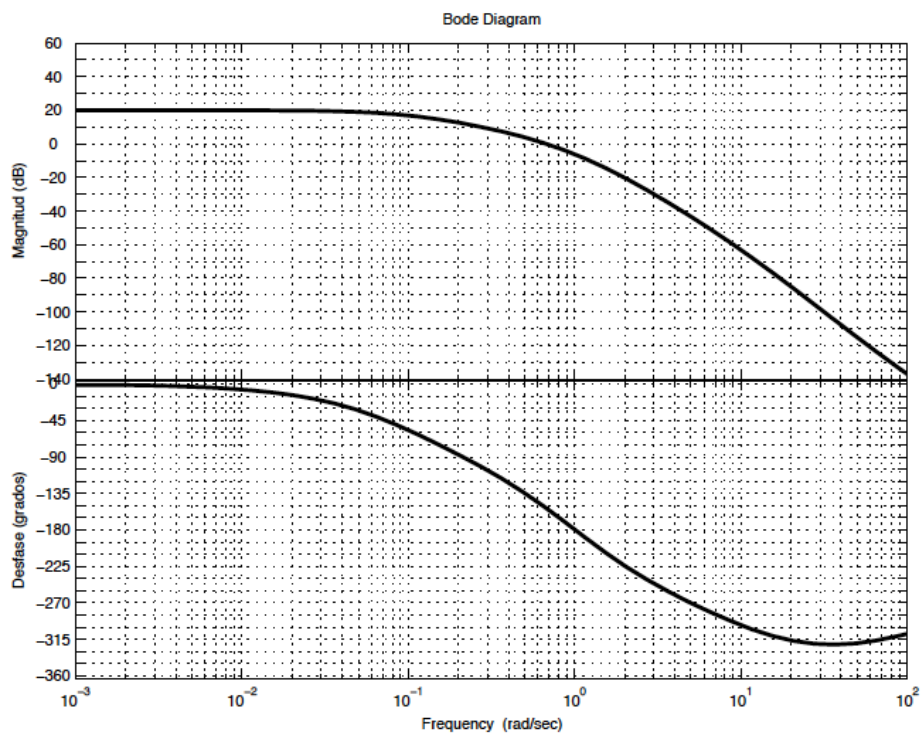


Figura 2: Sistema Problema 8: Bode

1. El controlador P se había diseñado tomando  $K_c = 1$ . ¿Cumple el sistema realimentado las especificaciones impuestas? Para ello calcule analíticamente el error que tendría el sistema realimentado en régimen permanente, la sobreoscilación y el tiempo de subida ante una entrada en escalón.
2. Calcule las especificaciones en el dominio de la frecuencia.
3. Diseñe (si es posible) una red de avance que controle el sistema.
4. Diseñe (si es posible) una red de retardo que controle el sistema.
5. Diseñe (si es posible) una red mixta que controle el sistema. En este caso, procure que el sistema realimentado sea lo más rápido posible.

## 9. Problema 9:

En el denominado *Control sin hilos* de los aviones, el movimiento de los alerones se lleva a cabo por un sistema de posicionamiento hidráulico, uno de los cuales se muestra en la siguiente figura

en la cual se observa cómo un motor eléctrico impulsa una bomba que a su vez suministra la presión de alimentación de un pistón al cual se haya conectado el alerón. De esta forma, variando la tensión de alimentación del motor, por mediación de la señal  $u(t)$  de entrada del amplificador de potencia, se puede variar la posición del alerón. El modelo dinámico de éste sistema es

$$G(s) = \frac{0,1}{s(s+3)(s+1)^2}$$

siendo la entrada  $u(t)$  en voltios y la salida  $\theta(t)$  en grados. Se desea controlar el posicionamiento del alerón con un error en velocidad en régimen permanente que no supere 0.1 grados. Para ello se pide:

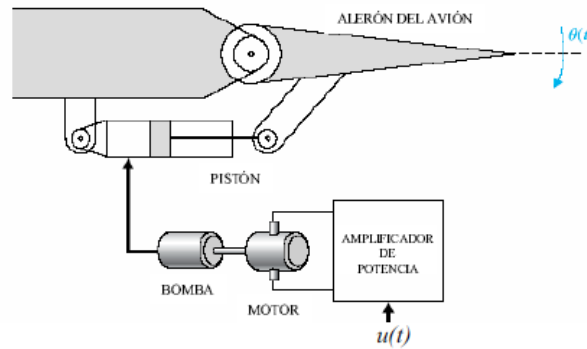


Figura 3: Sistema Problema 9

1. Dibujar el diagrama de Bode del sistema sin compensar y calcular los márgenes de fase y ganancia. El sistema en lazo cerrado será estable?
2. Diseñar una red de retardo de forma que el sistema en lazo cerrado no supere un 20 % de sobreoscilación y posea un margen de ganancia superior a 20 dB.
3. Diseñar un PID de forma que el sistema en lazo cerrado satisfaga las mismas especificaciones.
4. Diseñar una Red Mixta de forma que el sistema en lazo cerrado no supere un 20 % de sobreoscilación y el ancho de banda del sistema en lazo abierto sea superior a 1 rad/s.

## 10. Problema 10:

Dado el sistema a controlar:

$$G(s) = \frac{K(s + 8)}{(s + 1)(s + 3)(s + 10)}$$

Se pide:

1. Dibujar detalladamente lugar de las raíces cuando el control es proporcional con ganancia  $K$  positiva.
2. Se puede despreciar el efecto del polo en  $s = -10$ , en el sistema original, para cualquier valor de  $K$ ? Justifique su respuesta.
3. Estudiar cualitativamente la variación de la sobreoscilación con  $K$  en el sistema original y en el sistema modificado eliminando el polo en  $s = -10$ . Dibujar el lugar de las raíces aproximado del sistema modificado para justificar la respuesta.
4. Si se modifica nuevamente el sistema, eliminando tanto el polo en  $s = -10$  como el cero en  $s = -8$ , calcular el rango de  $K$  para que se cumplan las siguientes especificaciones de diseño: i) error en régimen permanente frente a entrada en escalón menor o igual al 20 %; ii)  $\delta \geq 0,6$ ; iii)  $t_s < 1$  s.

## 11. Problema 11:

Dado el sistema a controlar:

$$G(s) = \frac{K(s+3)(Xs-1)}{s^2+2s+2}$$

Se pide:

1. Dibujar el lugar de las raíces y estudiar la estabilidad del sistema en función del parámetro  $X$  para  $K = 1$ . Suponiendo realimentación unitaria y negativa.
2. Dibujar el lugar de las raíces y estudiar la estabilidad del sistema en función del parámetro  $K$  para  $X = 1$ . Suponiendo realimentación unitaria y negativa.
3. Para el caso del apartado 2 ( $X=1$ ,  $K$  variable), dibujar cualitativamente cómo se modificaría el lugar de las raíces al introducir un polo doble en  $s = -2$ , sabiendo que no existen puntos de separación e ingreso.
4. Para el caso del apartado 2, diseñar un controlador PI (si es posible) para que el error en régimen permanente ante una entrada en escalón sea nulo.

## 12. Problema 12:

Dado el sistema a controlar:

$$G(s) = \frac{3}{(s+1)(s+3)}$$

Se pide:

1. Utilizar el lugar de las raíces para calcular un controlador proporcional que minimice el error en régimen permanente frente entrada escalón y garantice una sobreoscilación no superior al 20%. (Supóngase realimentación unitaria negativa).
2. Supóngase que se quiere controlar el sistema a través de un controlador proporcional derivativo. Calcúlese la ganancia de éste de forma que el error en régimen permanente frente entrada escalón sea del 10%. Represente el lugar de las raíces generalizado en función del tiempo derivativo ( $T_d$ ) (Asúmase valores tanto positivos como negativos para  $T_d$ ).
3. Dado el lugar de las raíces generalizado del apartado anterior determine para qué rango de valores de  $T_d$  el sistema no sobreoscila. Calcule el valor de  $T_d$  que hace que el sistema compensado tenga una sobreoscilación del 20%.
4. Usando el dominio de la frecuencia, diseñar un controlador PD tal que el sistema en lazo cerrado cumpla con las especificaciones de los apartados anteriores (error en régimen permanente frente entrada escalón sea del 10% y sobreoscilación del 20%). Comparar los resultados con los obtenidos en el apartado anterior.

## 13. Problema 13:

Dado el sistema a controlar:

$$G(s) = \frac{K}{s((s+4)^2+16)}$$

Se pide:



1. Calcular y dibujar el lugar de las raíces para todos valores de  $K$ .
2. ¿Se podría calcular un controlador PI que estabilizase el sistema para todo valor de  $K$  ¿0? Razone su respuesta.
3. Considere el controlador PD  $C(s) = K(s + c)$ . Encuentre el rango de valores de  $c$  que garantiza que el sistema compensado  $C(s)G(s)$  en bucle cerrado es estable para cualquier valor de  $K > 0$ .

## 14. Problema 14:

Dado el sistema a controlar:

$$G(s) = \frac{K(s + 2)(s + 3)}{s(s + 1)}$$

Se pide:

1. Dibuje el lugar geométricos de las raíces para  $K > 0$ .
2. Indique cómo es la sobreoscilación de la respuesta del sistema en bucle cerrado para todo el rango de  $K > 0$ .
3. ¿Para qué valor de  $K > 0$  es el error en régimen permanente ante entrada en escalón menor o igual que el 10 %? Justifique su respuesta.
4. ¿Dónde se podría añadir un polo real no positivo para que el sistema en bucle cerrado se volviera críticamente estable para algún valor de  $K > 0$ ? Justifique su respuesta.

## 15. Problema 15:

Dado el sistema a controlar:

$$G(s) = \frac{20}{(s + 3)(s + 1)}$$

Se pide:

1. Utilizando el lugar de las raíces, obtener un controlador proporcional derivativo de forma que la sobreoscilación frente entrada escalón sea del 10 % y el tiempo de subida de 0.5 segundos.
2. Considerando las mismas especificaciones del apartado anterior, diseñar el mismo controlador PD pero esta vez usando el método del dominio de la frecuencia. Comparar los resultados obtenidos.
3. Utilizando el lugar de las raíces, diseñar una red de retardo de forma que el error en régimen permanente frente entrada escalón sea del 5 % y la sobreoscilación del 10 %.
4. Considerando las mismas especificaciones del apartado anterior, diseñar una red de retardo pero esta vez usando el método del dominio de la frecuencia. Comparar los resultados obtenidos.