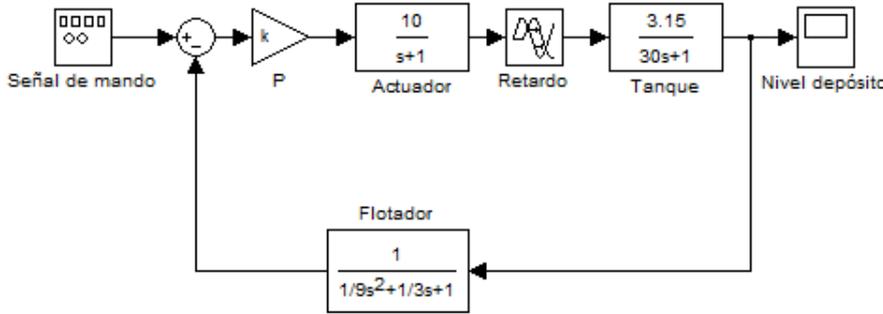
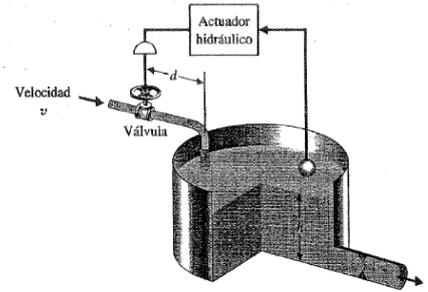


**1. Problema (5 puntos ev. continua, 3 puntos ev. final -60 minutos)**

La figura muestra el control de un depósito. Existe un retardo entre la actuación sobre la válvula y el caudal de salida,  $T_d = 1s$ . El diagrama a bloques del sistema de control queda definido por una arquitectura de control realimentado. Se pide:

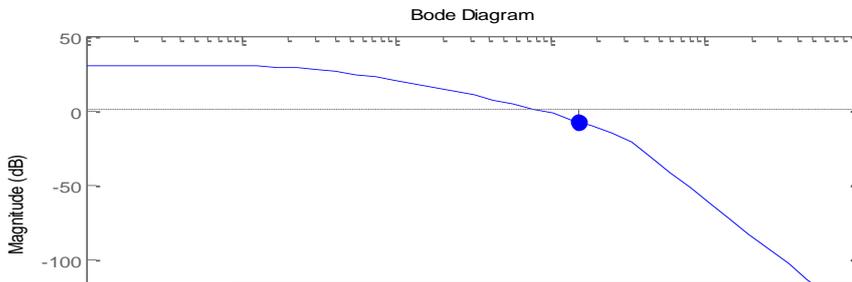


1. Considerando nulo el retardo y con  $k=1$ , calcular el margen de fase y margen de ganancia sabiendo que  $\omega_g = 0.85 \left[ \frac{rad}{s} \right]$  y  $\omega_f = 1.5 \left[ \frac{rad}{s} \right]$  (3 puntos).

$$\gamma = 180 - \left( \arctg \omega_g + \arctg 30\omega_g + \arctg \frac{\omega_g/3}{1 - (\omega_g^2/9)} \right) = 35^\circ$$

$$k_g = \frac{\sqrt{1 + \omega_g^2} \sqrt{1 + 900\omega_g^2} \sqrt{(1 - \omega_g^2/9)^2 + \omega_g^2/9}}{31.5} = 2.57 <> 8dB$$

2. Considerando nulo el retardo y con  $k=1$ , dibujar el diagrama de Bode y la curva polar de la cadena abierta (2 puntos).

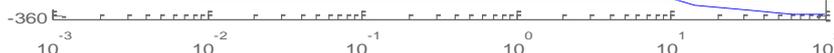


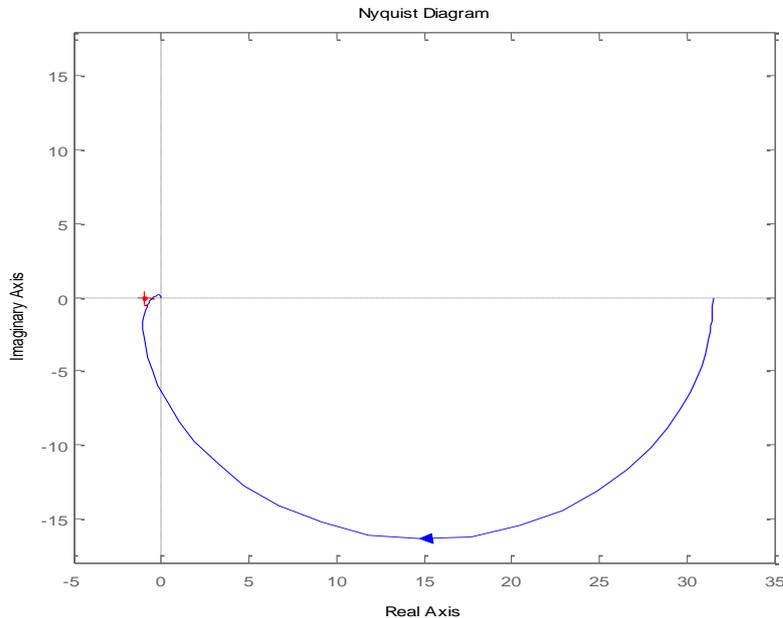
**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

---

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

Cartagena99

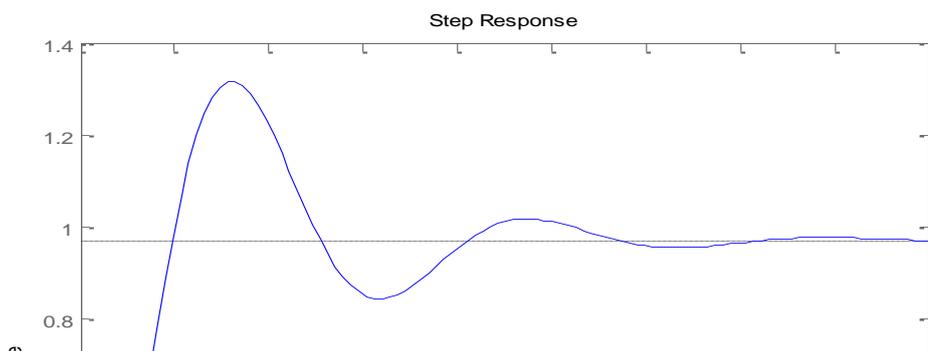




3. Bajo las condiciones de los apartados anteriores, estimar aproximadamente la respuesta temporal del sistema de control ante una entrada en escalón unitario (2 puntos).

Haciendo un esbozo del LDR, se observa que el sistema se puede aproximar a uno equivalente de segundo orden, luego:  $\xi_{cc} \approx 0.35, 0.85 \leq \omega_{ncc} \leq 1$ . Además la ganancia estática de la cadena cerrada es:  $k = \frac{31.5}{1+31.5} = 0.97$ . Con estos datos y considerando  $\omega_{ncc} \approx 1$ , se tiene:

$$t_s = 9s, t_p = 3.4s, Mp = 31\%, t_r = 2s$$



**CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70**

---

**ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70**

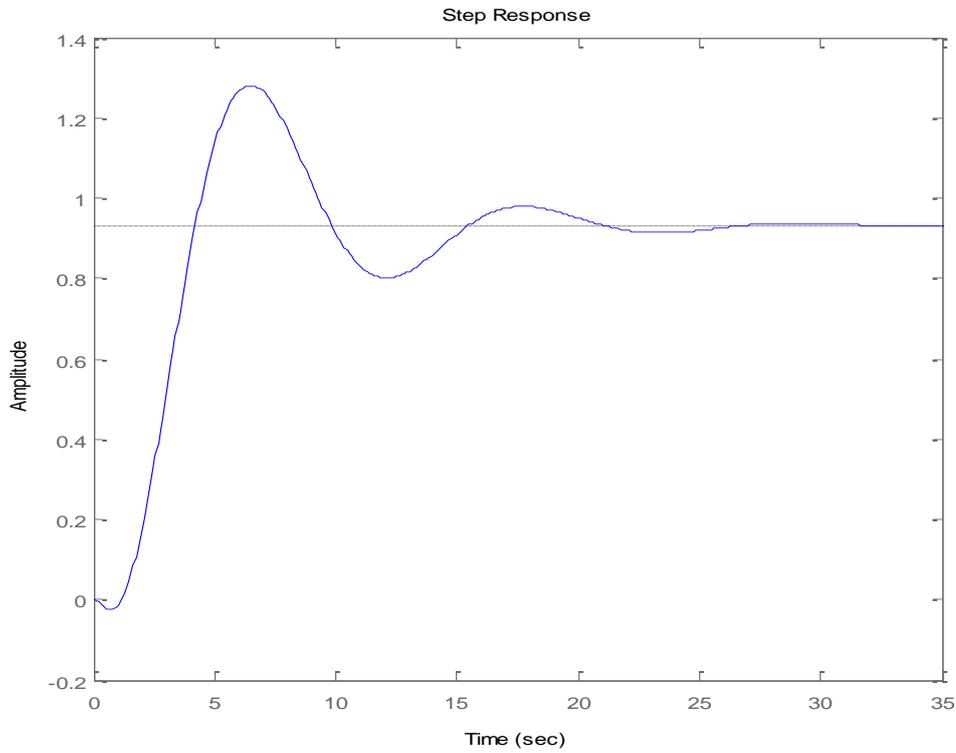
**Cartagena99**

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18

Time (s)



Respuesta al escalón con aproximación de Pade.



Cartagena99

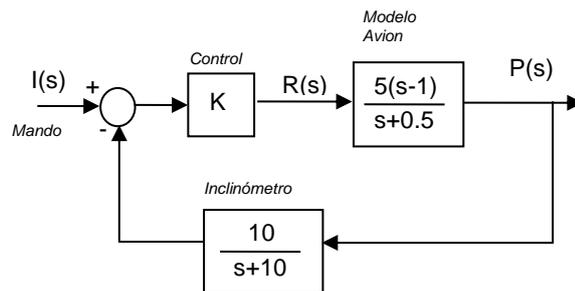
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

**Problema 2 (5 puntos ev. continua, 3 puntos ev. final -50 minutos)**

Se desea realizar el control de inclinación (pitch) de un aeromodelo de escala media como el de la figura, de forma que siga la señal de mando  $I(t)$  (radianes). Para ello se le ha dotado de unos alerones que se mueven según una señal de referencia  $R(t)$  y que imprimen un efecto sobre la inclinación del avión  $P(t)$  (radianes) cuando este está en movimiento.



Para poder abordar el control se ha obtenido un modelo incremental del sistema así como del inclinómetro utilizado para saber la actitud del avión (*orientación del avión respecto al horizonte*), que al ser de bajo coste tiene una respuesta relativamente lenta. Como consecuencia, tras mucho trabajo de simplificación se llega al esquema de control por compensación del error reflejado por el diagrama de bloques, el cual se quiere estudiar para ver el efecto que tiene el valor de  $K$  en el comportamiento del avión.

**Se pide:**

- 1.- ¿Qué condiciones debe cumplir  $K$  para que el sistema sea estable? (2 puntos)
- 2.- Estudiar los errores cometidos en posición, velocidad y aceleración. Si en condiciones nominales todas las variables del modelo son en realidad nulas, ¿Qué inclinación -en grados -adoptará el avión si se solicitan 0.1 radianes? (2 puntos)
- 3.- Estudiar para cualquier valor de  $K$  la situación de los polos dominantes del sistema y discutir como es el comportamiento del mismo (aplíquese la técnica del Lugar de las raíces -trazado directo e inverso-, obteniendo todos los valores significativos) (5 puntos)
- 4.- ¿Qué valor de  $K$  seleccionaría? Justifique la respuesta lo más completamente posible. (1 punto)

**1.- ¿Qué condiciones debe cumplir  $K$  para que el sistema sea estable?**

Obtenemos el polinomio característico y aplicamos Routh. Al ser un polinomio de segundo orden, las

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70



**2.- Estudiar los errores cometidos en posición, velocidad y aceleración. Si en condiciones nominales todas las variables del modelo son en realidad nulas, ¿Qué inclinación -en grados - adoptará el avión si se solicitan 0.1 radianes?**

Es un sistema con realimentación no unitaria. Calculamos la ganancia estática de realimentación y aplicamos la fórmula para este tipo de error:

$$K_H = \lim_{s \rightarrow 0} H(s) = 1$$

$$E_{rp} = \lim_{s \rightarrow 0} sX(s) \frac{1}{K_H} (1 - K_H M(s)) = \lim_{s \rightarrow 0} sX(s) \frac{1}{K_H} \left( 1 - K_H \frac{KG(s)}{1 + KG(s)H(s)} \right)$$

El error de posición será para  $X(s) = \frac{1}{s}$  y por tanto:

$$E_p = \frac{1}{1-10K} \quad \text{para } -0.21 < K < 0.1 \text{ (apartado 1)}$$

Los errores de velocidad y aceleración serán infinitos al ser distinto de cero el error de posición

Si se solicitan 0,1 radianes, el sistema responderá con:

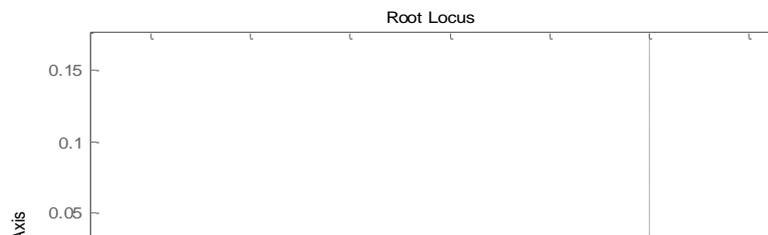
$$P = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{0,1}{s} (M(s)) = 0,1 \frac{50K}{50K - 5}$$

Dado que las condiciones nominales son nulas, el valor real coincidirá con el incremental, por lo que sólo hay que pasarlo a grados:

$$P = \frac{180}{\pi} \frac{5K}{50K - 5}$$

**3.- Estudiar para cualquier valor de K la situación de los polos dominantes del sistema y discutir como es el comportamiento del mismo (aplíquese la técnica del Lugar de las raíces –trazado directo e inverso-, obteniendo todos los valores significativos)**

Nos piden el LDR directo e inverso, dado que el sistema es estable tanto para valores positivos como negativos. El LDR directo es muy inmediato y sin calculos relevantes, dado que sabemos que la K crítica es 0.1 y por el dibujo sabemos que se situará el polo inestable en 0:



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE  
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

---

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS  
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

