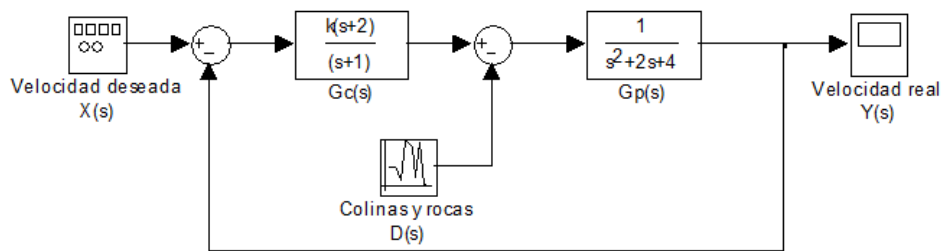


**Problema 1 (60 minutos -5 puntos)**

El diagrama a bloque de un control de la velocidad de un vehículo remoto se muestra en la figura adjunta. La velocidad deseada  $X(s)$  se transmite por radio al vehículo; la perturbación  $D(s)$  representa las colinas y las rocas. Considerando nula la perturbación, se pide:

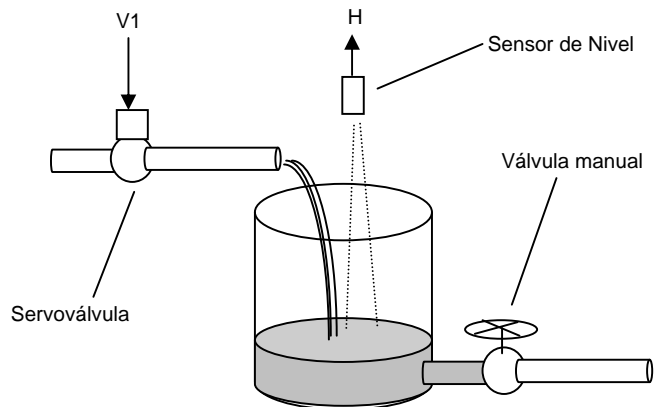


1. Trazado directo del lugar de las raíces. (2 puntos)
2. Para  $k = 10$ , diagrama de Bode de la cadena abierta y determinar el margen de fase sabiendo que la frecuencia de cruce de ganancia es de  $3.5$  [rad/s]. (2 puntos)
3. Estimar la velocidad de salida al escalón unitario, indíquese los valores más significativos. (2 puntos)
4. Obtener la respuesta en frecuencia aproximada del conjunto realimentado. (2 puntos)
5. Evaluar los valores de  $k = 5$  y  $20$  en el regulador. Decidir cuál es el valor más adecuado razonándolo. (2 puntos)

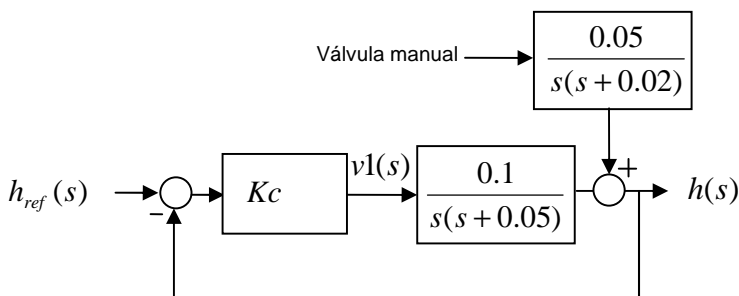


**Problema 2 (60 minutos -5 puntos)**

Se desea diseñar un sistema de control de nivel de un depósito como el mostrado en la figura. El caudal de entrada está regulado por una válvula de caudal pilotada eléctricamente por medio de la señal  $V1$ . El caudal de salida responde a la demanda aguas debajo del fluido almacenado, y desde el punto de vista del controlador, es considerada como una perturbación. Se ha dispuesto para el correcto diseño del controlador de un sensor de nivel ultrasónico que genera una señal eléctrica como función lineal de la altura.



Tras diversos ensayos se ha determinado el siguiente diagrama simplificado del sistema considerando la altura de trabajo la de un 80% del nivel máximo del



depósito:

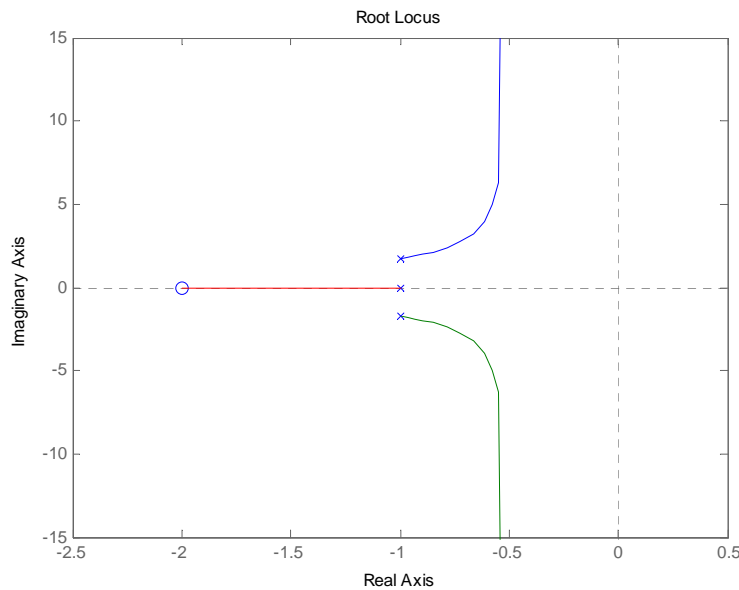
1. Para evitar desbordamientos, dado que no es posible un valor negativo de  $v1$ , es imprescindible que el sistema de control logre un sistema nada oscilatorio. Mediante el lugar de las raíces, determinar los posibles valores de un controlador proporcional que logre un tiempo de establecimiento inferior a  $200$  s. (4 puntos)
2. Determinar la expresión del error cometido en régimen permanente para todos los posibles valores de  $Kc$ . (2 puntos)
3. Estudiar la estabilidad del sistema en función de los valores del regulador proporcional (2 puntos)
4. ¿Qué efecto tendrá sobre la altura del depósito una variación brusca de un 5% en el valor de apertura de la válvula?. (2 puntos)

NOTA: El valor de la válvula manual está indicado en (0-100)

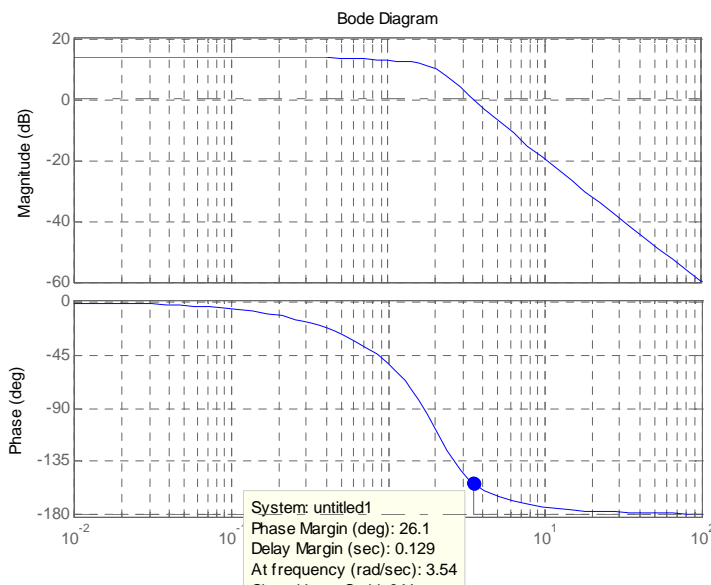


**Resolución . Problema 1**

1. Trazado directo



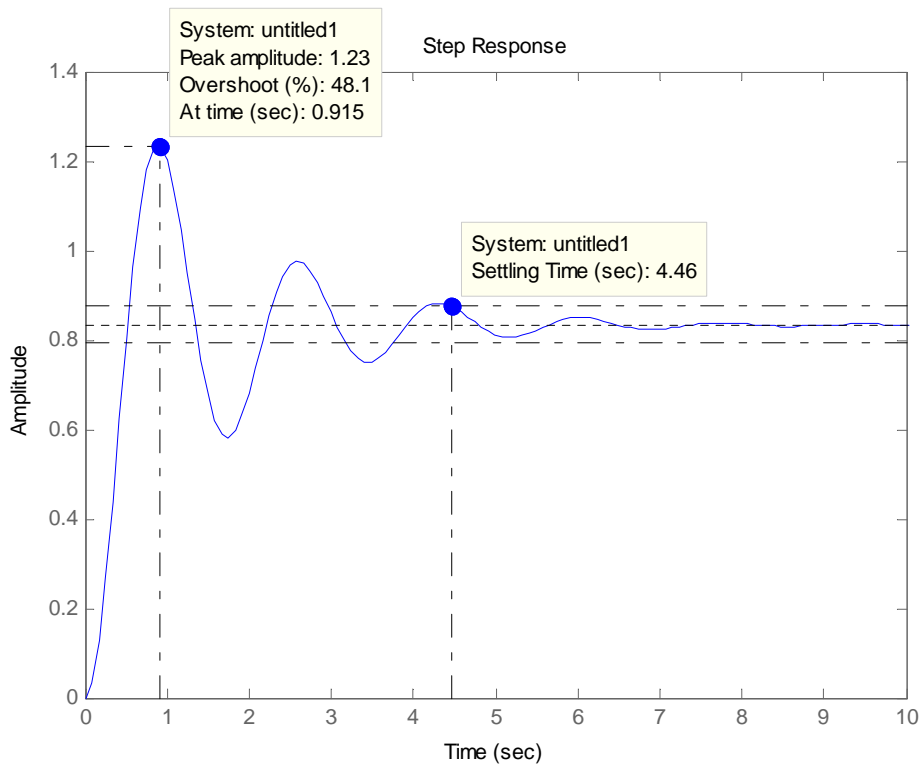
2. Bode de la cadena abierta para  $k=10$



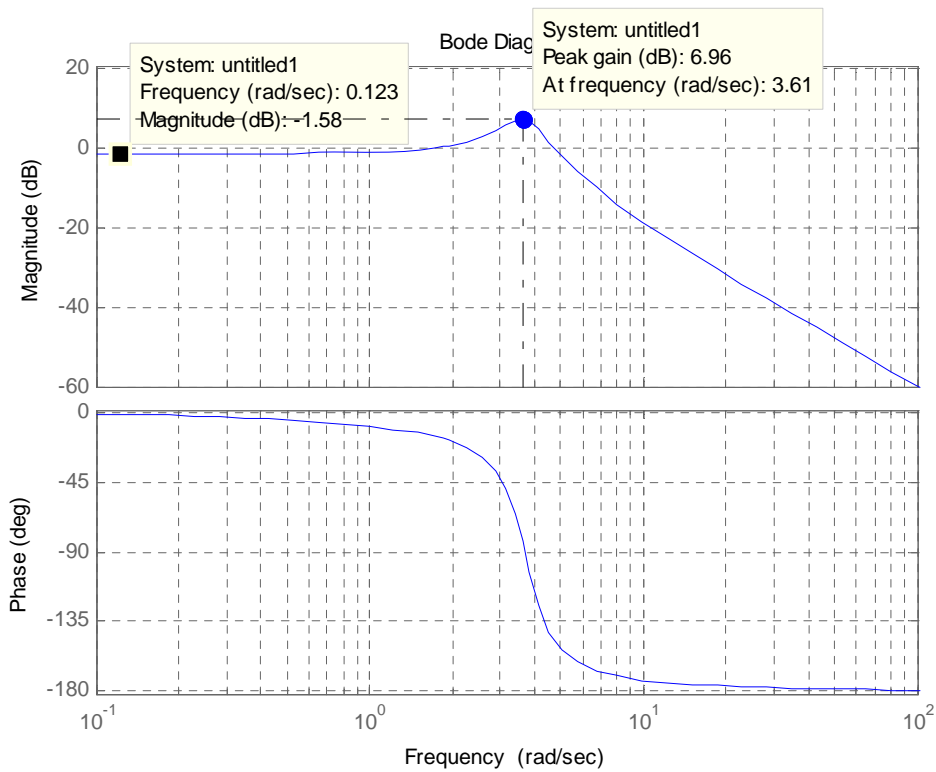
$$\gamma = 180^\circ + \arctg(\omega_g \cdot 0.5) - \arctg(\omega_g) - \arctg\left(\frac{0.5\omega_g}{1 - (0.5\omega_g)^2}\right) = 26.3^\circ$$

3. El error al escalón en el régimen permanente será:  $e_p = \frac{1}{1+5} = 16.7\%$ . Se estima que el sistema realimentado se aproxima a un modelo de segundo orden con  $\xi_{cc} = \frac{\gamma}{100} = 0.26$  y  $\omega_{n,cc} \approx 3.5 [rad/s]$ . Con estas consideraciones se tiene:  $M_p \approx 42\%$ ,  $t_s \approx 3.4s$ ,  $t_p \approx 0.9s$ . La simulación con Matlab hace observar que la estimación es acertada.





4. Con  $\xi_{cc} = \frac{\gamma}{100} = 0.26$ ,  $\omega_{n,cc} \approx 3.5 [rad / s]$  y el error al escalón:  $M(0)=-1.6dB$  y  $M_r=5.5dB$ .



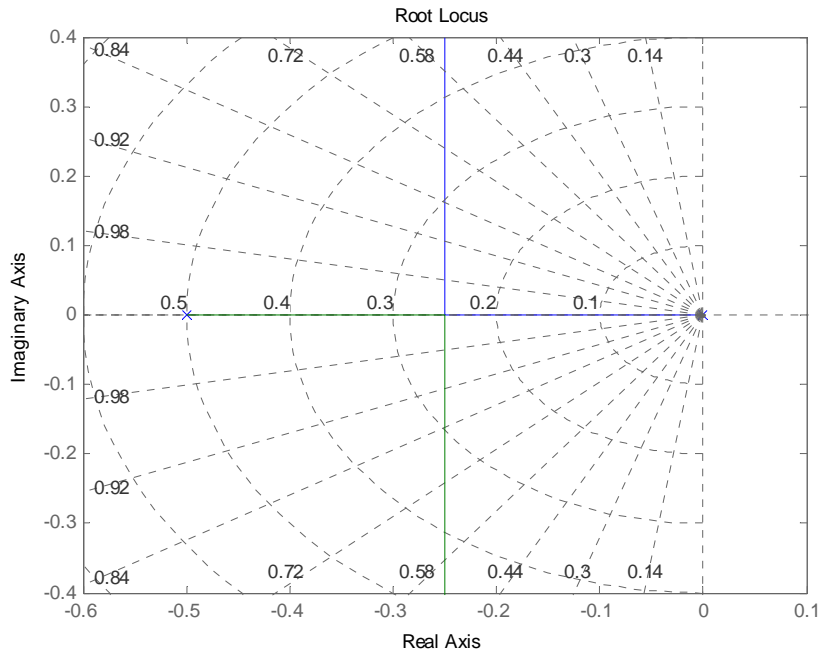
5. A medida de que  $k$  aumente, el error al escalón en el régimen permanente disminuye ( $e_p(k=5) = 28.5\%$ ,  $e_p(k=10) = 16.7\%$ ,  $e_p(k=20) = 9.1\%$ ), pero por el contrario, el margen de fase disminuye, perdiendo estabilidad el sistema de control ( $\gamma(k=5) > 26.3^\circ$ ,  $\gamma(k=10) = 26.3^\circ$ ,  $\gamma(k=20) < 26.3^\circ$ ). La solución de compromiso entre precisión y estabilidad será  $k=10$ .



**Resolución . Problema 2**

1.-Para evitar desbordamientos, dado que no es posible un valor negativo de  $v_1$ , es imprescindible que el sistema de control logre un sistema nada oscilatorio. Mediante el lugar de las raíces, determinar los posibles valores de un controlador proporcional que logre un tiempo de establecimiento inferior a 200 s.

El trazado del lugar de las raíces es inmediato dado que se trata de un sistema de segundo orden sin ceros. (Lógicamente no se considera la entrada de la perturbación en el análisis que nos piden)



Aunque cabe una interpretación más exacta, una buena suposición es considerar que el sistema no es oscilatorio mientras tenga los polos dominantes reales. Es ese caso:

$$t_s = \frac{3}{\sigma} < 200s$$

$$\sigma < 0.015$$

Calculo el valor de K que sitúa un polo en el punto -0.015 para lo cual se aplica el criterio del módulo:

$$K_{LDR} = 0.1K_c = \frac{\prod dp}{\prod dz} = 0.015(0.05 - 0.015) = 0.000525$$

$$K_c = 0.00525$$

Que será el límite inferior de K mientras que el superior quedará determinado por el punto en el que tengamos el polo doble en el eje real, momento en que comenzarán a tener parte imaginaria los polos dominantes:

$$K_{LDR} = 0.1K_c = \frac{\prod dp}{\prod dz} = 0.025(0.025) = 0.000625$$

$$K_c = 0.00625$$

Por tanto  $0.00625 > K_c > 0.00525$

2.- Determinar la expresión del error cometido en régimen permanente para todos los posibles valores de  $K_c$

El sistema es de Tipo I, por lo que el error de posición es nulo y el de aceleración infinito. El error de velocidad se determina fácilmente:

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = 2K_c$$

$$e_v = \frac{0.5}{K_c}$$

3.- Estudiar la estabilidad del sistema en función de los valores del regulador proporcional

Se podría aplicar Routh al polinomio característico de la cadena cerrada, pero directamente por observación del LDR es correcto afirmar que el sistema es estable para cualquier valor de K



4.-¿Qué efecto tendrá sobre la altura del depósito una variación brusca de un 5% en el valor de apertura de la válvula?.  
Obtenemos la FDT que relaciona  $V_m$  con  $h$ :

$$M_2(s) = \frac{h(s)}{V_m(s)} = -0.05 \frac{1}{s(s + 0.02)} \left( \frac{1}{1 + K \frac{0.1}{s(s + 0.05)}} \right)$$

Ante una entrada de 5 unidades, el sistema alcanzará una nueva posición de equilibrio en:

$$h_{rp} = \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{5}{s} M_2(s) = \frac{-6.25}{K_c}$$

