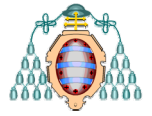


Universidad
de Oviedo



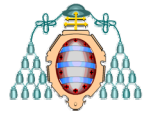
Sintonización del regulador proporcional

Sistemas Automáticos– Tema 8

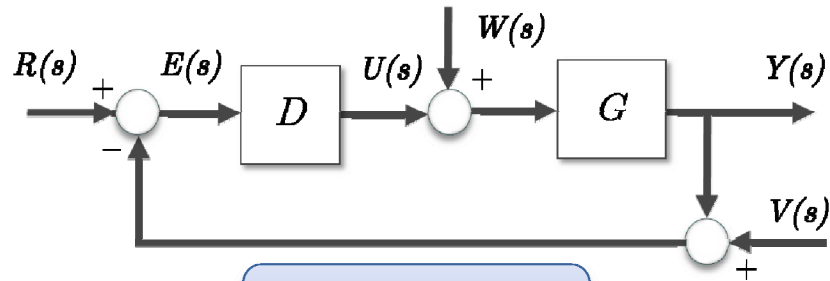


Contenidos del tema

- ▶ La acción proporcional
- ▶ Efecto de la ganancia proporcional
- ▶ Sintonización mediante lugar de las raíces
- ▶ Sintonización mediante la función de lazo

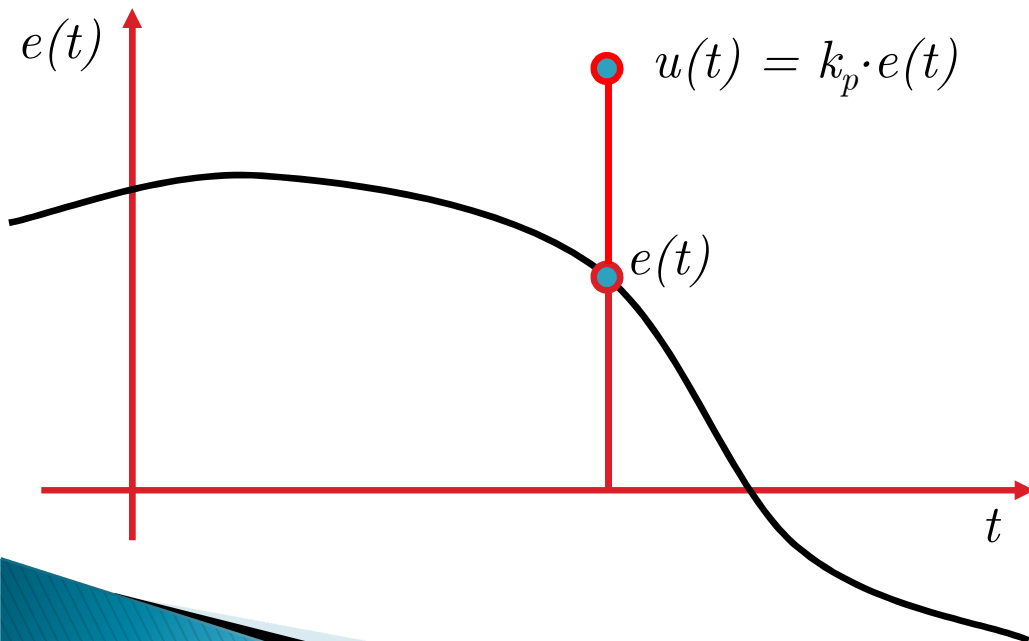


La acción proporcional



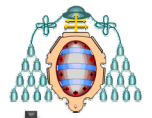
$$D(s) = k_p$$

$$U(s) = k_p \cdot E(s)$$



Propiedades

- La acción de control es directamente proporcional al error $e(t)$ cometido.
- Esta acción surte efecto de forma instantánea a la aparición del error.
- Reduce el error, tanto en seguimiento de referencias como el originado por perturbaciones, pero no lo anula en régimen permanente.
- Valores elevados de k_p originan menos error y respuestas más rápidas, aunque una acción proporcional excesiva pueden producir respuestas sobreosciladas o incluso inestables.



Efecto de la ganancia proporcional

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{5000}{(s + 10)(s + 50)(s + 100)}$$

Lugar de las raíces de la función de lazo

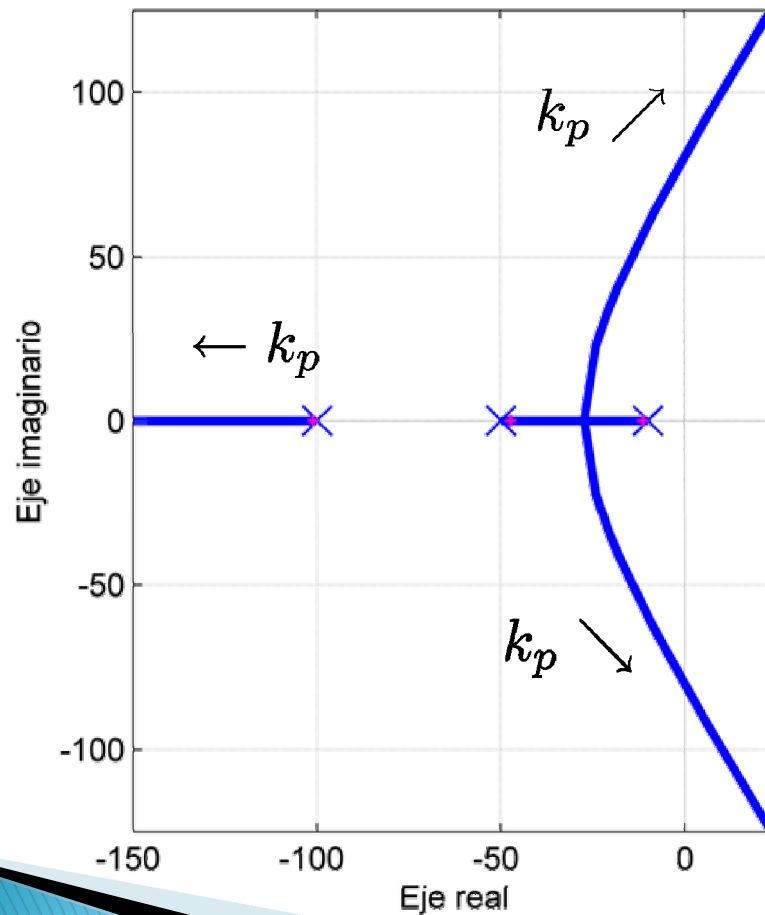
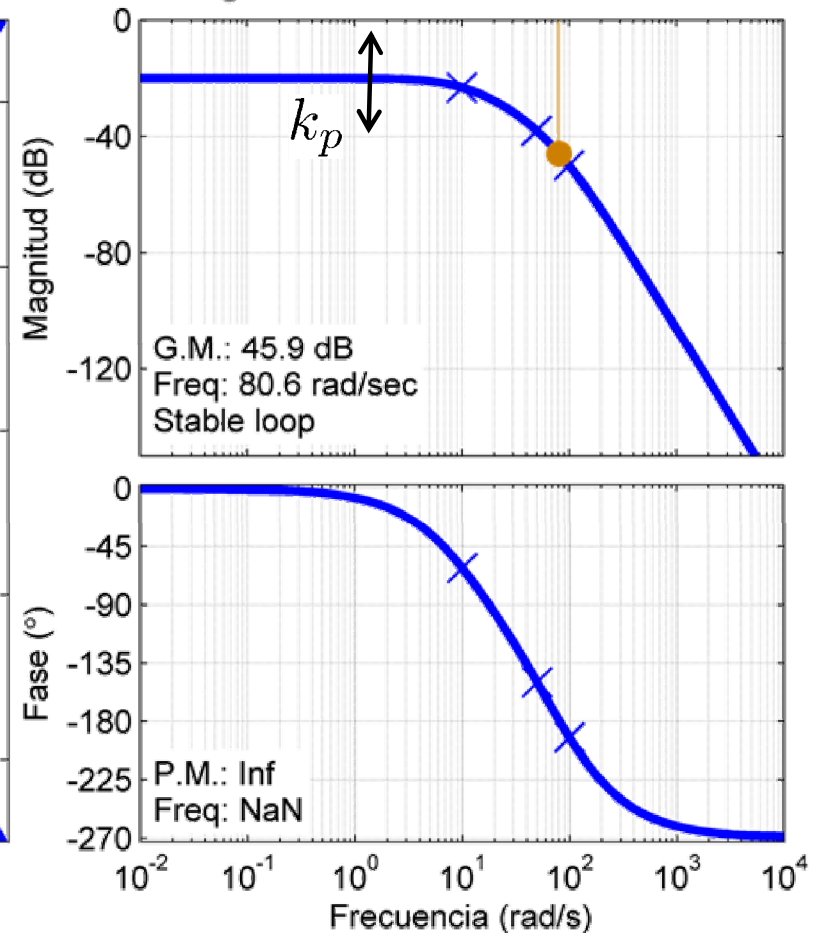
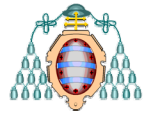


Diagrama de Bode de la función de lazo





Sintonización: lugar de las raíces

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{6(s+8)}{(s+1)(s+3)(s+6)}$$

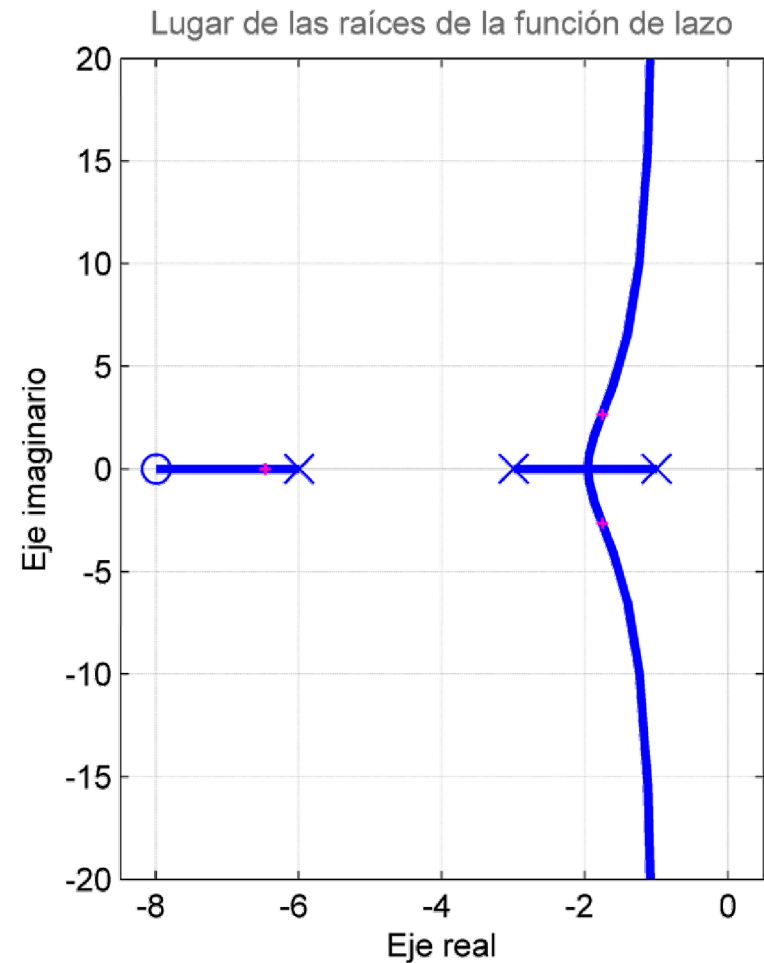
$$H(s) = 1$$

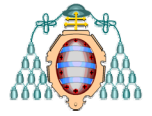
Especificaciones:

$$M_p \leq 30\%$$

$$e_{rp} \leq 15\%$$

$$L(s) = k_p \frac{6(s+8)}{(s+6)(s+3)(s+1)}$$





Sintonización: lugar de las raíces

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{6(s+8)}{(s+1)(s+3)(s+6)}$$

$$H(s) = 1$$

Especificaciones:

$$M_p \leq 30\%$$

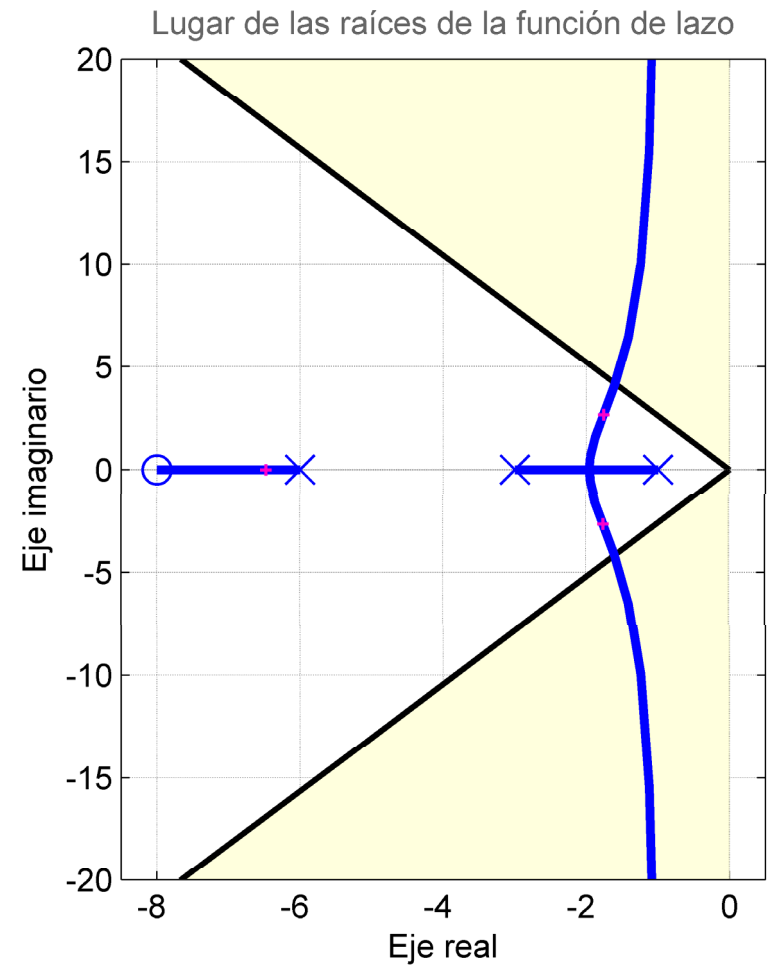
$$e_{rp} \leq 15\%$$

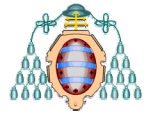
$$M_p = e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}$$

$$M_p = e^{-\pi \tan \theta}$$

$$e^{-\pi \tan \theta} \leq 0,3$$

$$\theta \geq 21^\circ$$





Sintonización: lugar de las raíces

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{6(s+8)}{(s+1)(s+3)(s+6)}$$

$$H(s) = 1$$

Especificaciones:

$$M_p \leq 30\%$$

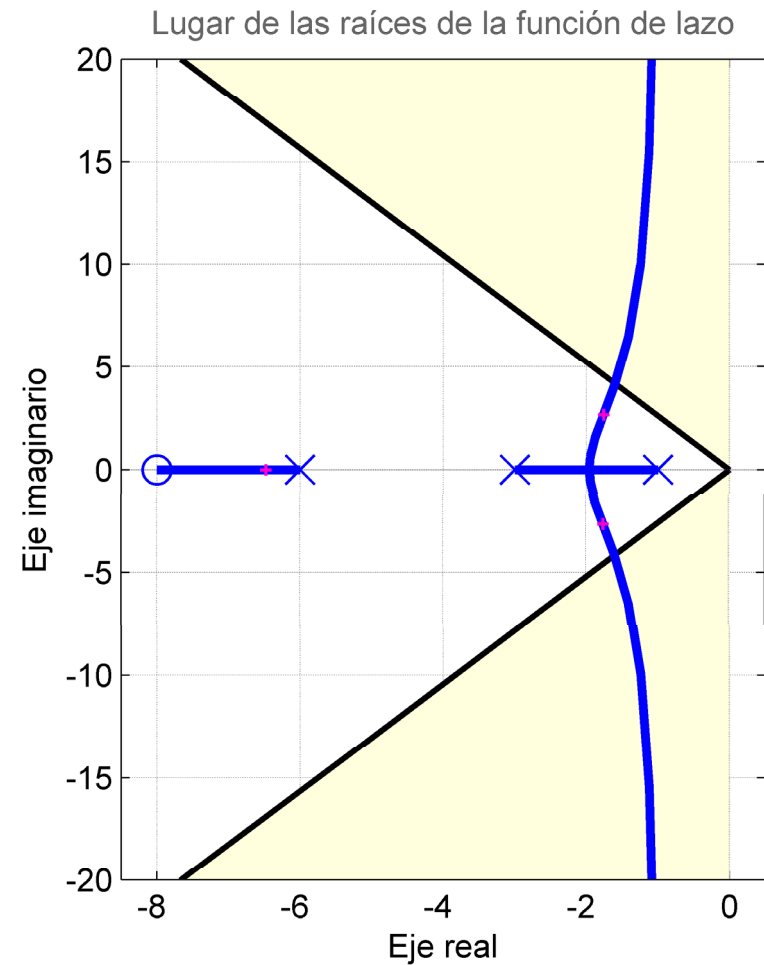
$$e_{rp} \leq 15\%$$

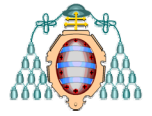
$$e_p = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1 + DGH(s) - DG(s)}{1 + DGH(s)}$$

$$e_p = \frac{1 + k_p \frac{8}{3} - k_p \frac{8}{3}}{1 + k_p \frac{8}{3}} = \frac{1}{1 + k_p \frac{8}{3}}$$

$$\frac{1}{1 + k_p \frac{8}{3}} \leq 0,15$$

$$k_p \geq 2,125$$





Sintonización: lugar de las raíces

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{6(s+8)}{(s+1)(s+3)(s+6)}$$

$$H(s) = 1$$

Especificaciones:

$$M_p \leq 30\%$$

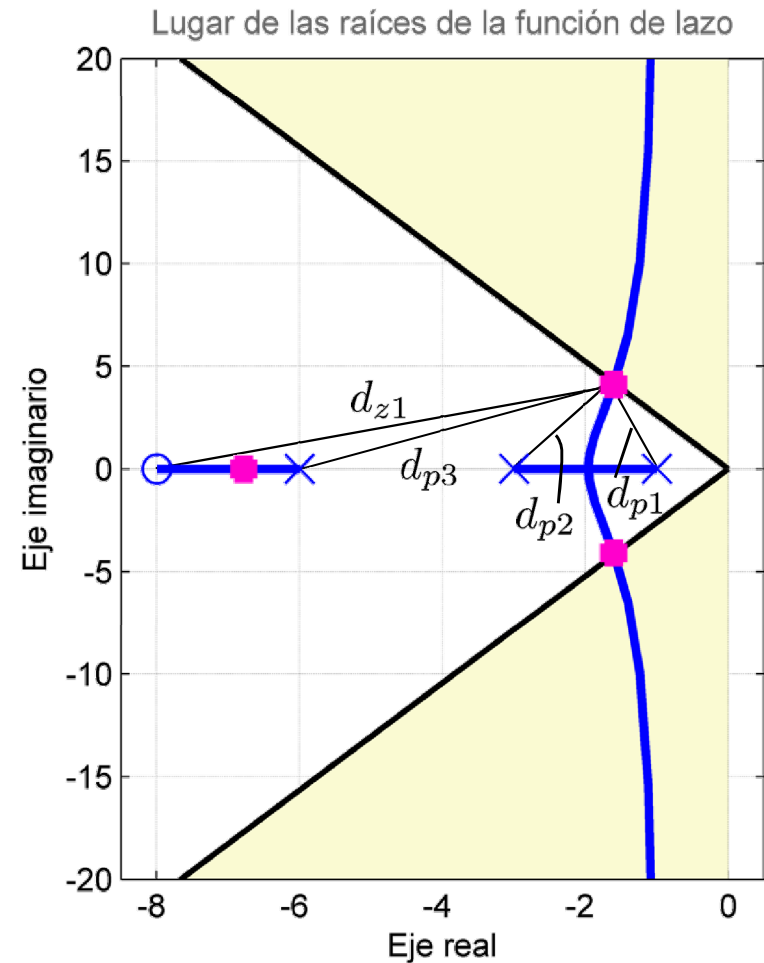
$$e_{rp} \leq 15\%$$

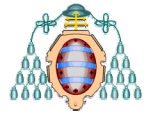
$$K = \frac{\prod_{i=1}^n d_{pi}}{\prod_{j=1}^m d_{zj}}$$

$$K = \frac{d_{p1} \cdot d_{p2} \cdot d_{p3}}{d_{z1}} = 14,270$$

$$k_p \cdot 6 = 14,270$$

$$k_p = 2,354$$





Sintonización: lugar de las raíces

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{6(s + 8)}{(s + 1)(s + 3)(s + 6)}$$

$$H(s) = 1$$

Especificaciones:

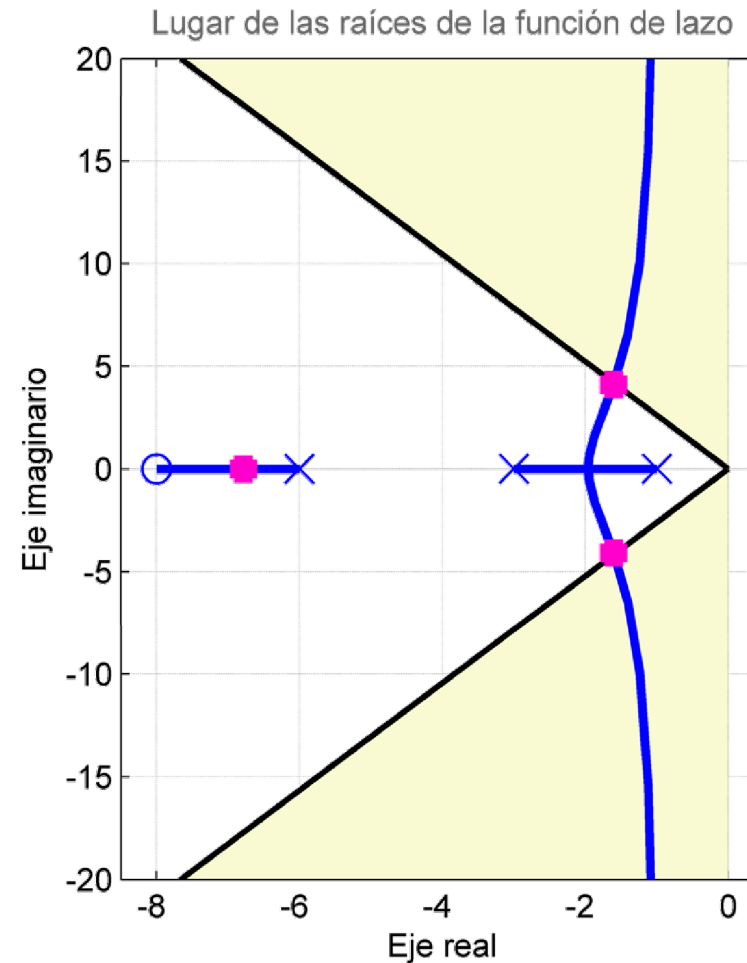
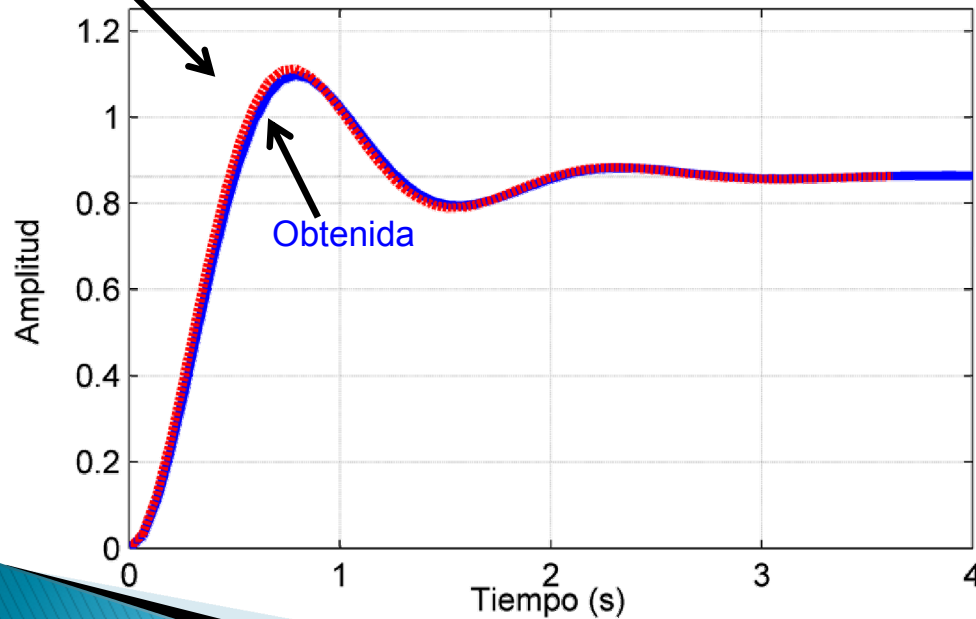
$$M_p \leq 30\%$$

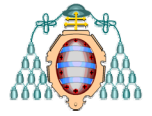
$$e_{rp} \leq 15\%$$

$$k_p = 2,3540 > 2,125$$

Prevista

Respuesta a escalón





Sintonización: lugar de las raíces

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{6(s+8)}{(s+1)(s+3)(s+6)}$$

$$H(s) = 1$$

Especificaciones:

$$t_s(5\%) \leq 1s$$

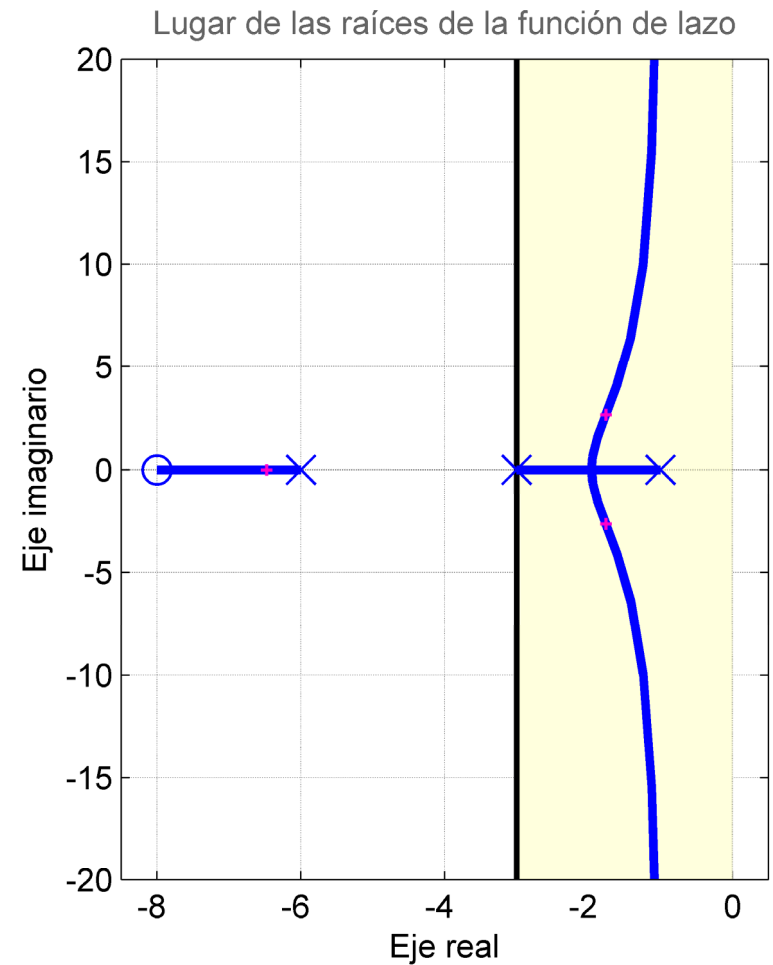
$$e_{rp} \leq 15\%$$

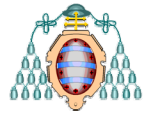
$$t_s = \frac{3}{\sigma}$$

$$\frac{3}{\sigma} \leq 1$$

$$\sigma \geq 3$$

Se necesita modificar el lugar de las raíces:
regulador PD





Sintonización: lugar de las raíces

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{6(s+8)}{(s+1)(s+3)(s+6)}$$

$$H(s) = 1$$

Especificaciones:

$$M_p \leq 30\%$$

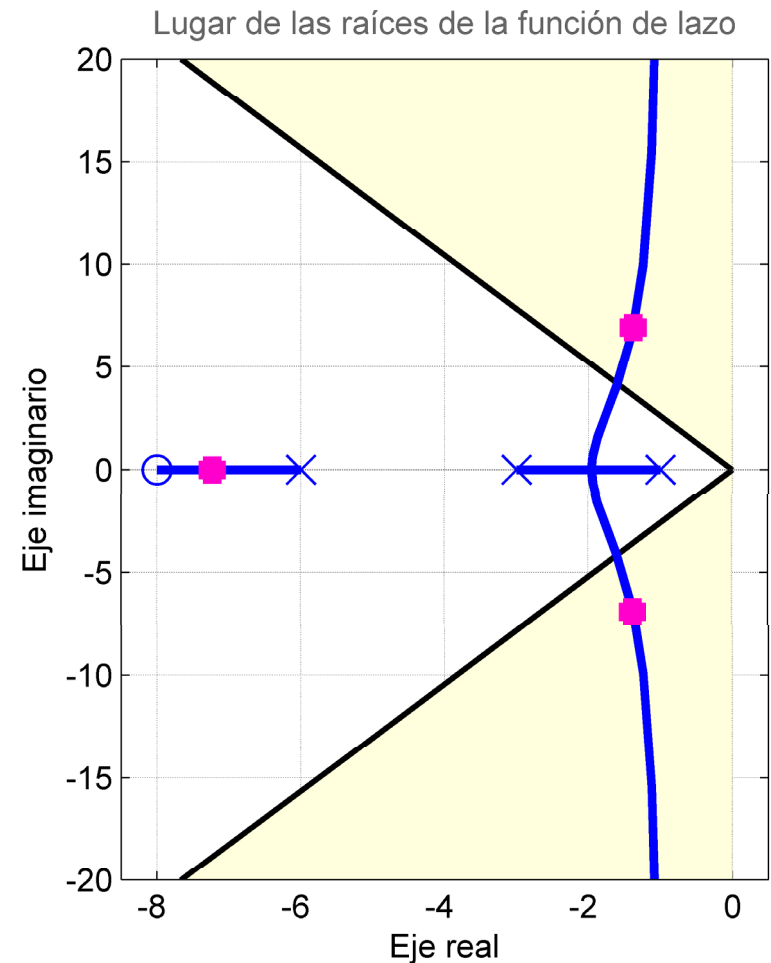
$$e_{rp} \leq 5\%$$

$$e_p = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1 + DGH(s) - DG(s)}{1 + DGH(s)}$$

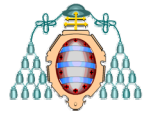
$$e_p = \frac{1 + k_p \frac{8}{3} - k_p \frac{8}{3}}{1 + k_p \frac{8}{3}} = \frac{1}{1 + k_p \frac{8}{3}}$$

$$\frac{1}{1 + k_p \frac{8}{3}} \leq 0,05$$

$$k_p \geq 7,125$$



No podemos cumplir con el e_{rp} :
regulador PI



Sintonización: frecuencia

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{6(s + 8)}{(s + 1)(s + 3)(s + 6)}$$

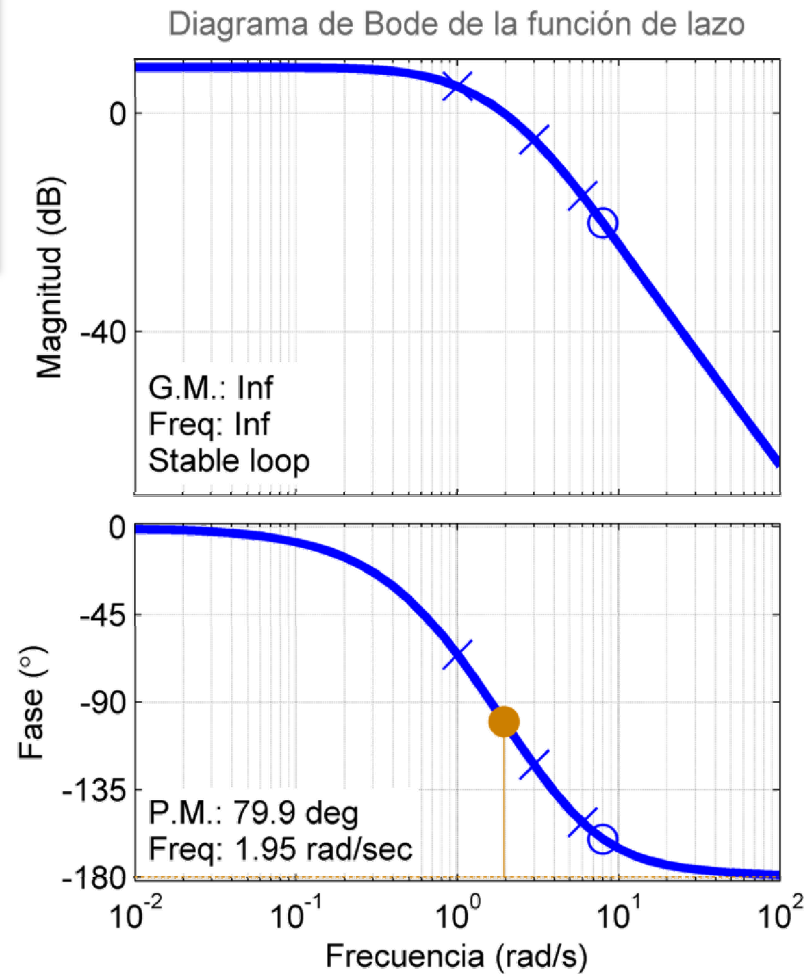
$$H(s) = 1$$

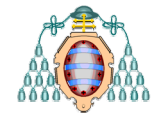
Especificaciones:

$$M_p \leq 30\%$$

$$e_{rp} \leq 15\%$$

$$L(s) = k_p \frac{6(s + 8)}{(s + 6)(s + 3)(s + 1)}$$





Sintonización: frecuencia

$$D(s) = k_p$$

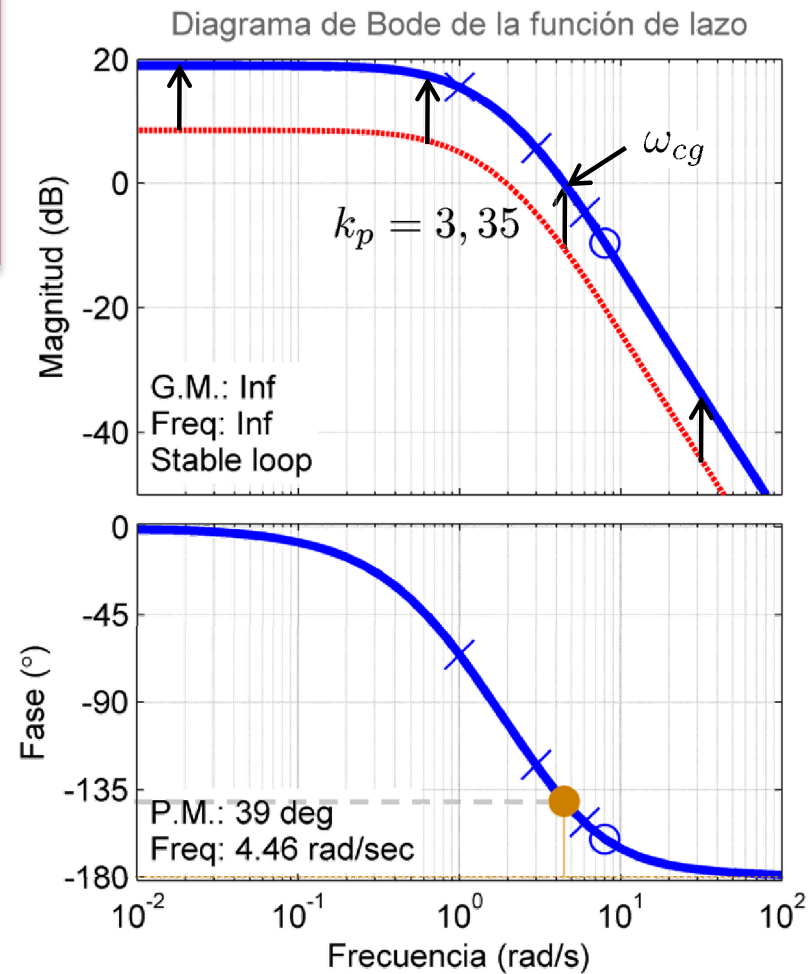
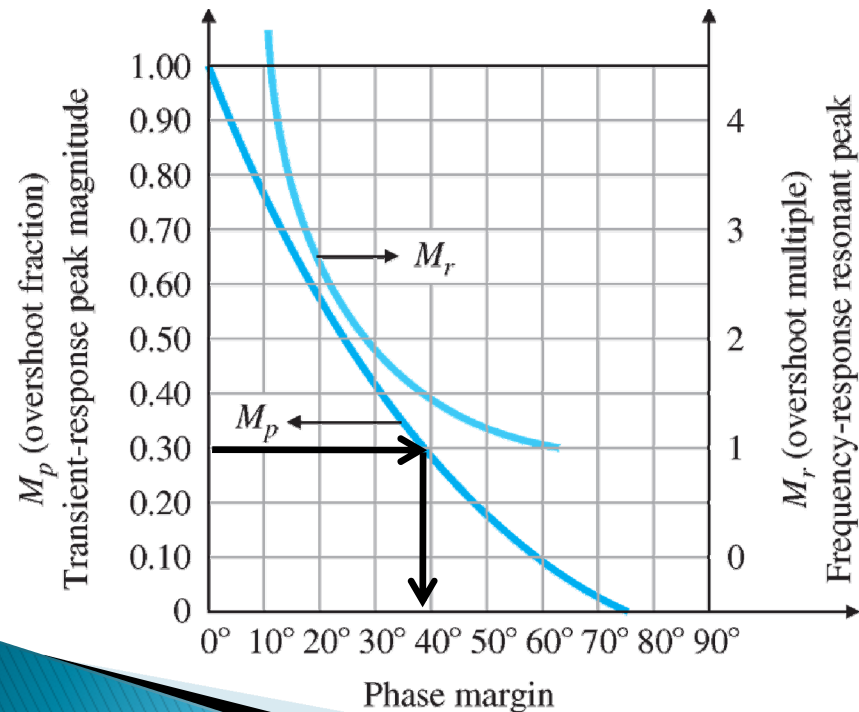
$$G(s) = \frac{6(s + 8)}{(s + 1)(s + 3)(s + 6)}$$

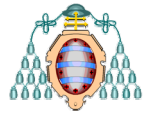
$$H(s) = 1$$

Especificaciones:

$$M_p \leq 30\%$$

$$e_{rp} \leq 15\%$$





Sintonización: frecuencia

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{6(s+8)}{(s+1)(s+3)(s+6)}$$

$$H(s) = 1$$

Especificaciones:

$$M_p \leq 30\%$$

$$e_{rp} \leq 15\%$$

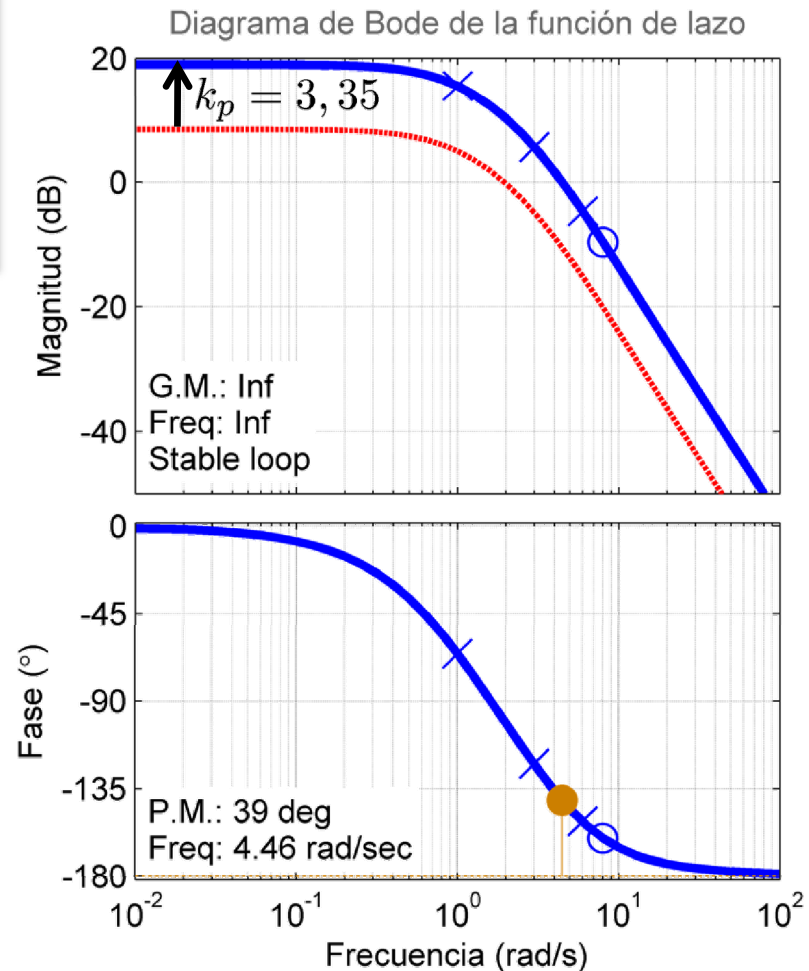
$$k_p = 3,35 > 2,125$$

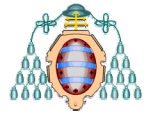
$$e_p = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1 + DGH(s) - DG(s)}{1 + DGH(s)}$$

$$e_p = \frac{1 + k_p \frac{8}{3} - k_p \frac{8}{3}}{1 + k_p \frac{8}{3}} = \frac{1}{1 + k_p \frac{8}{3}}$$

$$\frac{1}{1 + k_p \frac{8}{3}} \leq 0,15$$

$$k_p \geq 2,125$$





Sintonización: lugar de las raíces

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{6(s + 8)}{(s + 1)(s + 3)(s + 6)}$$

$$H(s) = 1$$

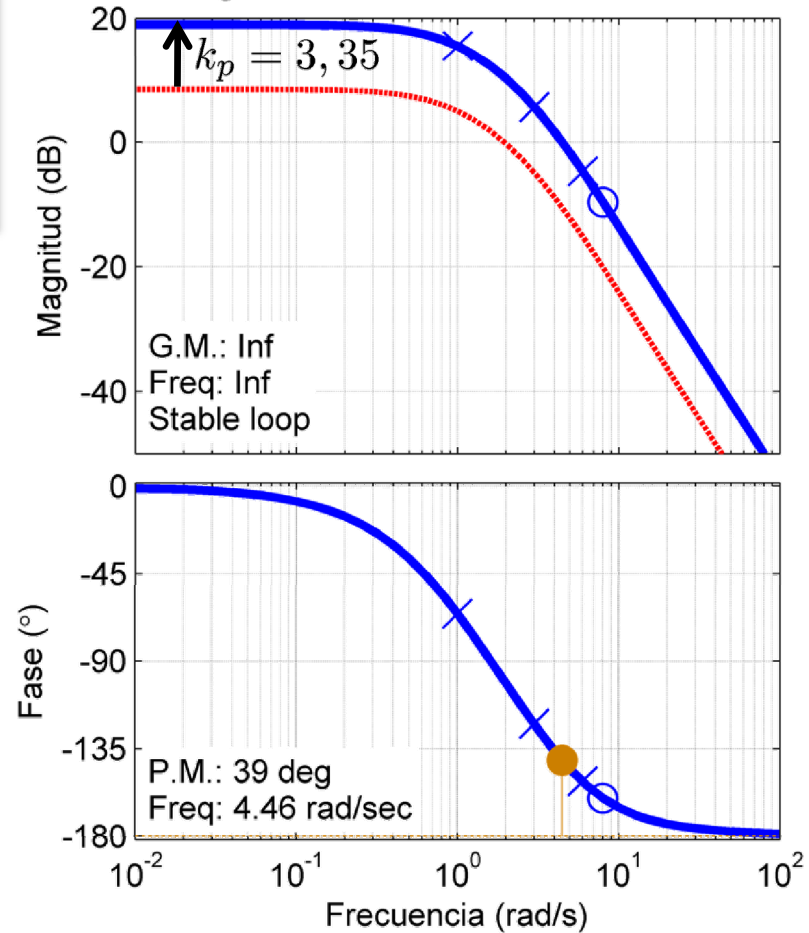
Especificaciones:

$$M_p \leq 30\%$$

$$e_{rp} \leq 15\%$$

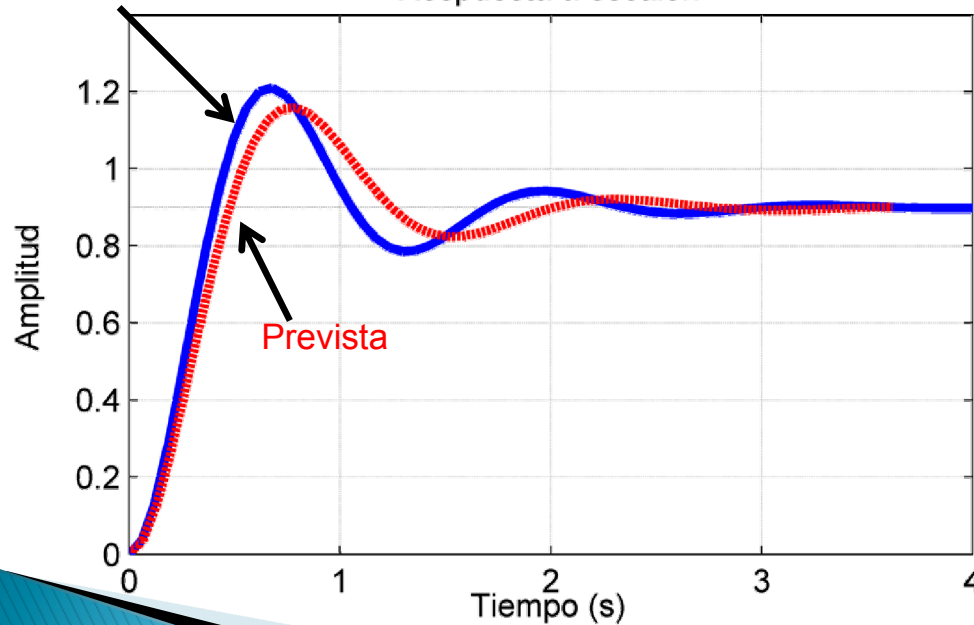
$$k_p = 3,35$$

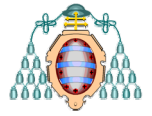
Diagrama de Bode de la función de lazo



Obtenida

Respuesta a escalón





Sintonización: frecuencia

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{6(s + 8)}{(s + 1)(s + 3)(s + 6)}$$

$$H(s) = 1$$

Especificaciones:

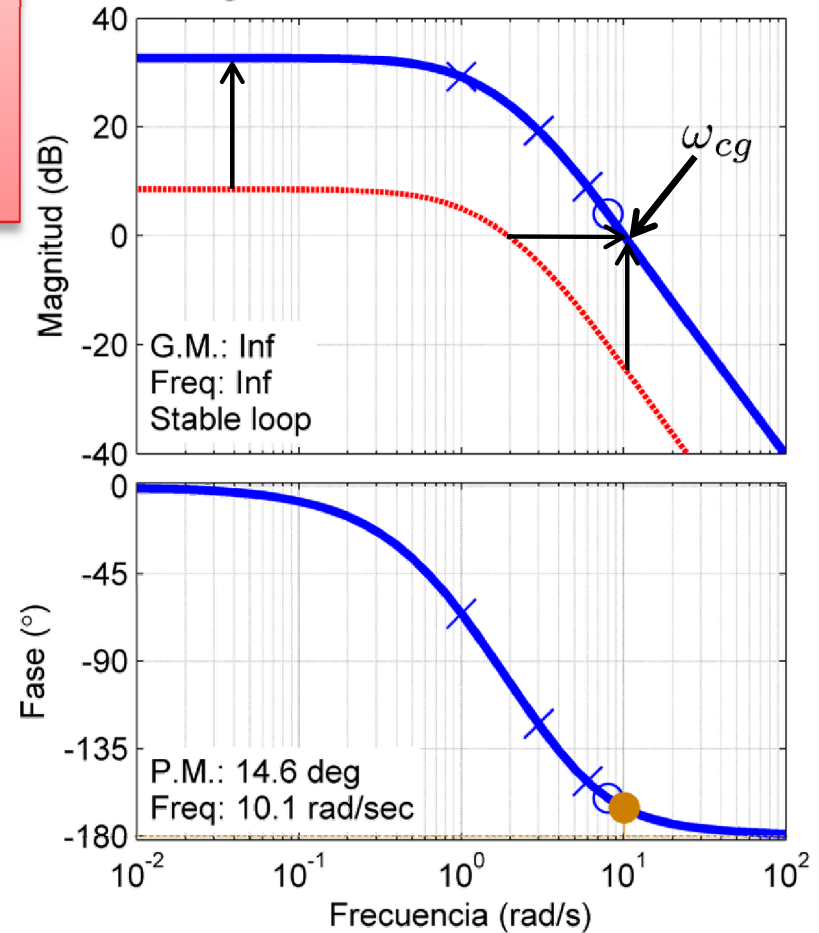
$$MF \geq 30^\circ$$

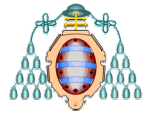
$$\omega_{bw} \approx 10 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{bw} \approx \omega_{cg}$$

No se puede obtener el ancho de banda deseado manteniendo un adecuado margen de fase :
regulador PD o red de adelanto de fase

Diagrama de Bode de la función de lazo





Sintonización: frecuencia

$$D(s) = k_p$$

$$G(s) = \frac{6(s+8)}{(s+1)(s+3)(s+6)}$$

$$H(s) = 1$$

Especificaciones:

$$MF \geq 30^\circ$$

$$e_{rp} \leq 5\%$$

$$e_p \leq 5\% \longrightarrow L(0) \geq 19 \text{ (25,57 dB)}$$

No se puede obtener error deseado manteniendo un adecuado margen de fase :
regulador PI o red de atraso de fase

