

Escuela de Ingeniería Eléctrica

Sistemas de Control - Grupo #1

Tarea4

Royer Méndez Ramírez, A43333

28 de junio de 2021

1. El controlador debe satisfacer los siguientes criterios de diseño:

- Error permanente a una entrada tipo escalón unitario $e_{pr0} = 0$ (recuerde agregar un integrador).
- Tiempo al pico $t_p \leq 0,175$ s.
- Frecuencia de cruce de ganancia $w_g \geq 5$ rad/s.
- Porcentaje de sobrepaso $M_p \leq 35$ %.
- Margen de fase ≥ 40 grados.

$$P(s) = \frac{22,5}{0,165s + 1}$$

- 1.1. Mediante Sisotool encuentre el diagrama de Bode de la planta combinado con el integrador, es decir $G_0 = \frac{P_s}{s}$. Indique los márgenes de estabilidad relativa y frecuencia de cruce de ganancia. Muestre la figura del Bode. Muestre la respuesta temporal indicando el porcentaje de sobrepaso, tiempo al pico y valor en régimen permanente.

El diagrama de Bode y la respuesta en el tiempo obtenidos para G_0 se muestra en la Figura 1 junto con los datos solicitados:

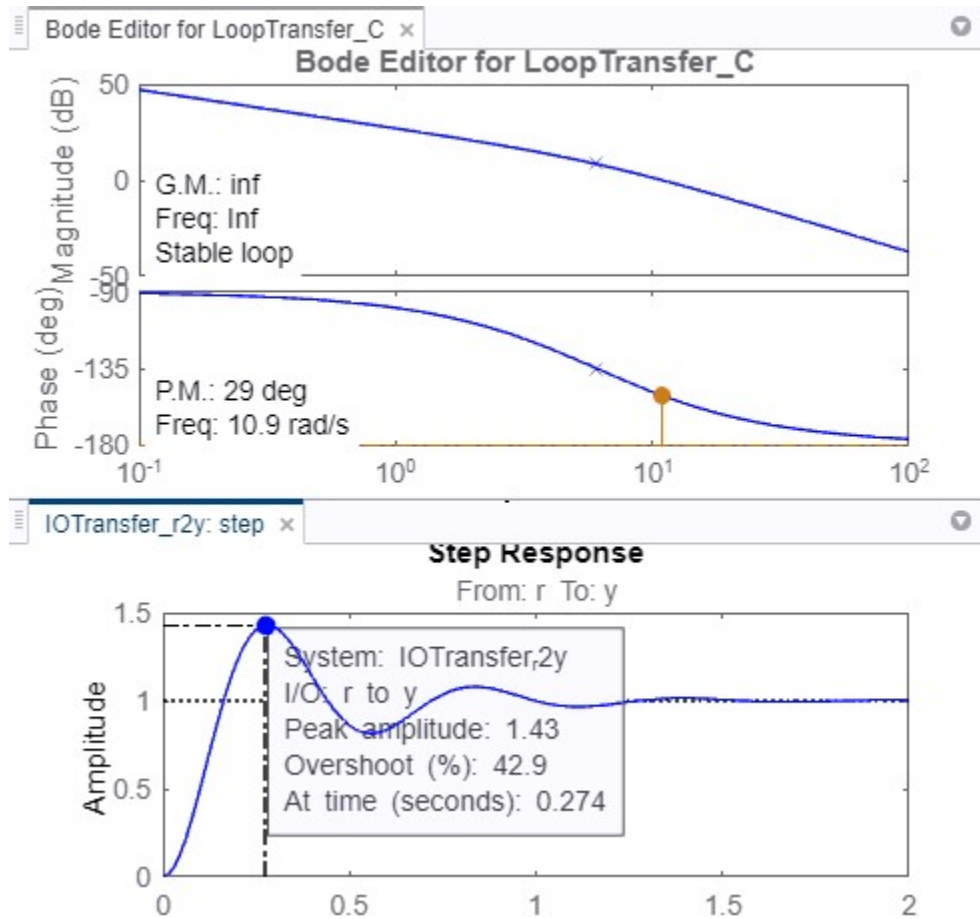


Figura 1: Diagrama de Bode de $G(0)$ y su salida.

Elaboracion personal mediante Matlab

- 1.2. Diseñe la ganancia del controlador k_p para obtener la frecuencia de cruce de ganancia mínima deseada (15 rad/s). Indique el valor resultante de k_p lineal y en decibels. Pista: Puede aumentar la ganancia en sisotool poco a poco, o usando el comando margin (G_0) puede obtener la magnitud en dB donde se obtiene una frecuencia de 15 rad/s y convertirla a lineal para ingresarla en sisotool

Variando manualmente la frecuencia en sisotool se llegó a que una frecuencia k_p con un valor de 1.775 (cuyo valor en decibels es de -4.98397) que hace que la frecuencia de cruce de ganancia sea de 15 rad/s. La [Figura 2](#) muestra este valor de ganancia en sisotool.



Figura 2: Ganancia diseñada en sisotool.
Elaboración personal mediante Matlab

1.3. Muestre el diagrama de Bode del sistema $G_1 = \frac{k_p P(s)}{s}$. Indique el margen de fase obtenido. ¿Cómo cambió la respuesta temporal? Explique.

La Figura 3 muestra el diagrama de Bode de $G_1 = \frac{k_p P(s)}{s}$ obtenido junto con la respuesta temporal y sus datos de desempeño:

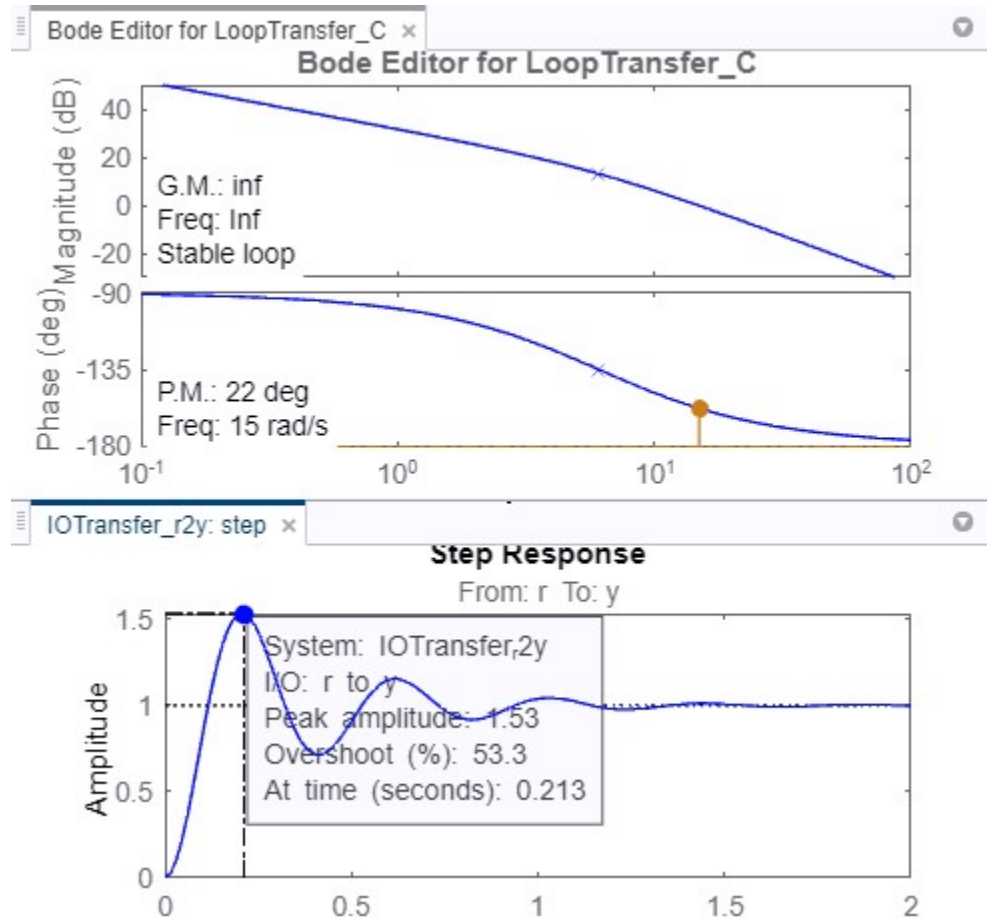


Figura 3: Diagrama de Bode de $G(0)$ y su salida.

Elaboración personal mediante Matlab

Como se puede ver en Figura 3 la frecuencia de cruce de ganancia mínima es 15 rad/seg. El margen de fase obtenido ahora es de 22 grados. Después de haber hecho el cambio en la ganancia, se redujo el tiempo de asentamiento (antes era de 0.274 s y ahora es de 0.213 s), aunque aumentó el pico máximo (antes era de 1.43 y ahora es de 1.53) y el sobrepaso también aumentó (antes: 43.9 % y ahora: 53.3 %)

1.4. Determine el margen de fase adicional que se requiere para cumplir con el margen de fase deseado.

El sistema cuenta con margen de fase de 22 grados a este momento, y se busca un margen de fase mínimo de 40 grados (puede ser mayor a 40 grados) por lo tanto el margen de fase que hace falta tiene que ser de $40-22=18$ grados. A estos 18 grados se le suman 4 grados extra para anticipar el hecho de que el compensador va a mover un poco la frecuencia de cruce. Finalmente el margen de fase que hay que agregar será de 22 grados.

1.5. Calcule el valor de α .

$$\alpha = \frac{1 + \text{sen}(\phi_m)}{1 - \text{sen}(\phi_m)} = \frac{1 + \text{sen}(22)}{1 - \text{sen}(22)} = 2,19799$$

1.6. Determine la frecuencia donde el sistema no compensado alcanza $-10\log_{10}\alpha$. Indique el valor de la ganancia y frecuencia w_m en el diagrama de Bode y muestre la figura.

Primero se encuentra el valor de la ganancia en dB en donde el sistema alcanza $-10\log_{10}\alpha$:

$$-10\log_{10}(\alpha) = -10\log_{10}(2,19799) = -3,42026dB$$

Conociendo ahora el valor de la nueva ganancia en dB, se busca este valor en el eje y de la parte de magnitud del Bode.

Debido a que se solicitó usar sisotool hay que encontrar los valores a prueba y error. A partir del valor de la ganancia encontrada en el eje y , se traza una línea horizontal y se marca el punto correspondiente a ese valor de magnitud en la curva, seguidamente se busca el valor de la frecuencia en el eje x del Bode. Este será el valor de la frecuencia en donde el sistema no compensado alcanza los $-10\log_{10}(2,19799)$.

La frecuencia es aproximadamente de 18.4 rad/s. La [Figura 4](#) muestra el procedimiento realizado.

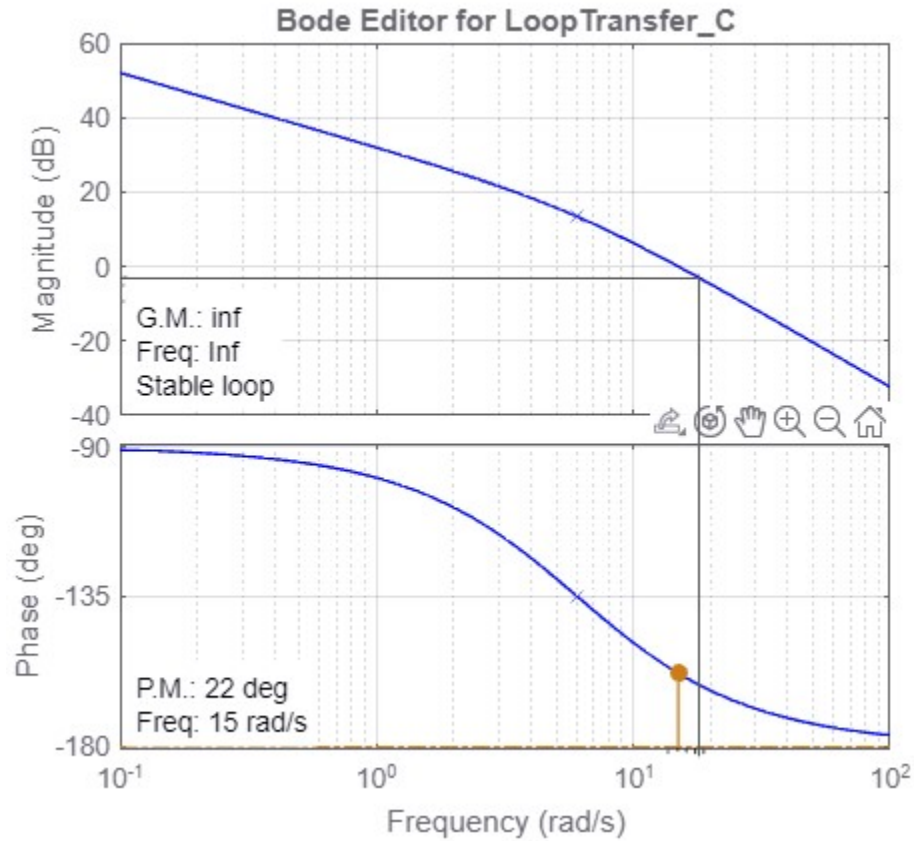


Figura 4: Nueva frecuencia de corte.
Elaboración personal mediante Matlab

1.7. Calcule el valor de la constante de tiempo T

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha} \omega_m} = \frac{1}{\sqrt{2,19799} \cdot 18,4} = 0,03666$$

1.8. Indique la función de transferencia del controlador.

$$C(s) = k_p \frac{1 + \alpha T s}{1 + T s} = 1,775 \cdot \frac{1 + (2,19799)(0,03666)s}{1 + (0,03666)s} = 1,775 \cdot \frac{1 + 0,08058s}{1 + 0,03666s}$$

1.9. Muestre el diagrama de bode compensado e indique los márgenes y frecuencia de cruce de ganancia logrados.

La [Figura 5](#) muestra el diagrama de Bode con los márgenes y la frecuencia de cruce logrados:

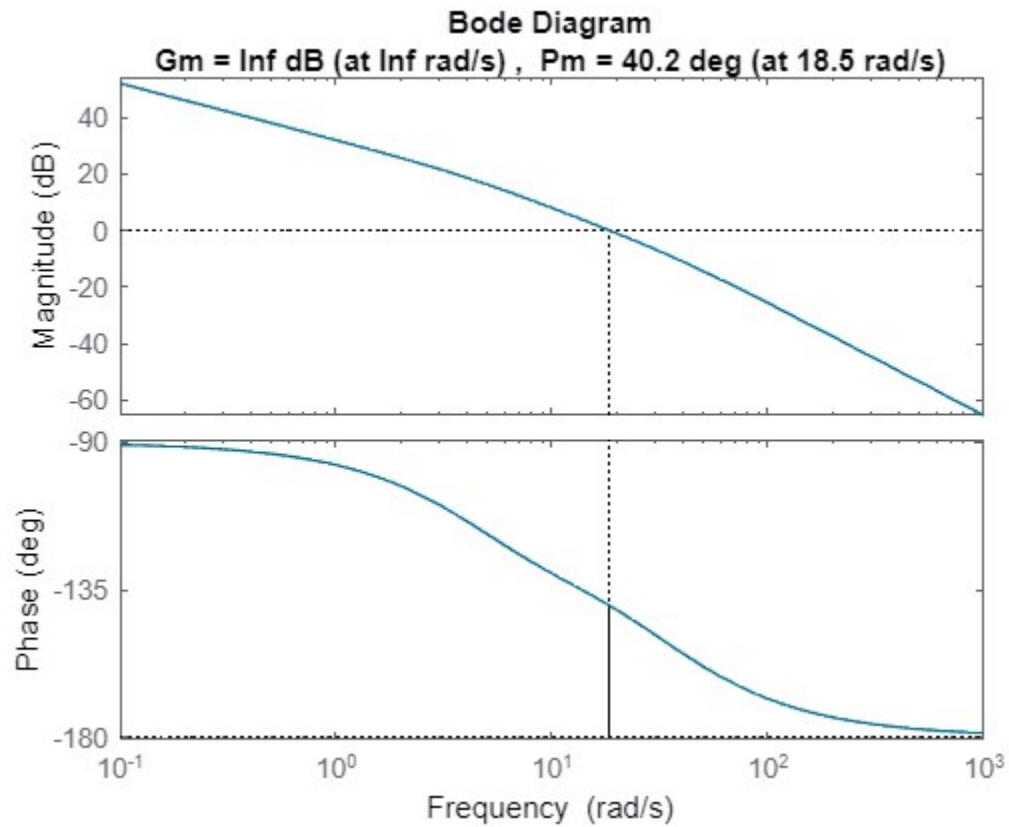


Figura 5: Diagrama de Bode con márgenes de frecuencia de cruce y ganancia logrados.

Elaboración personal mediante Matlab

- 1.10. Muestre la respuesta temporal, indique el tiempo a pico, el porcentaje de sobrepaso, el valor de la salida en estado estable y el e_{pr0} . Explique si su diseño cumple con los requerimientos.

A continuación se encuentra la respuesta temporal del sistema ya compensado.

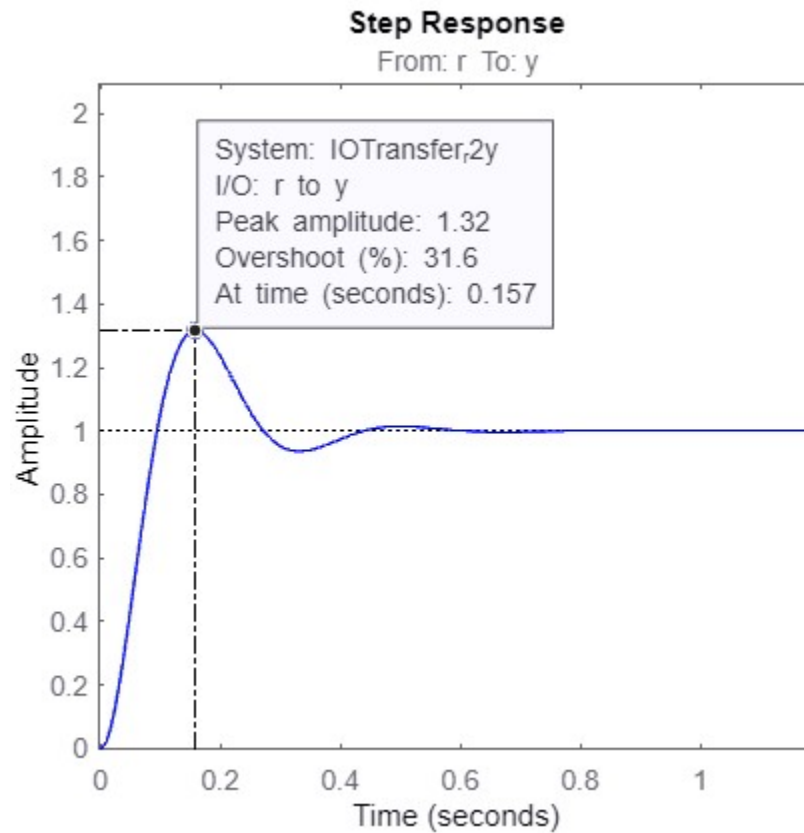


Figura 6: Respuesta temporal del diseño incluyendo compensación.

Elaboración personal mediante Matlab

Como se puede ver a continuación, el sistema compensado obtenido cumple con todos los requerimientos solicitados:

Dato	Obtenido	Requisito	Solicitado
$e_{pr0}(\%)$	0	=	0
$T_p(s)$	0.157	\leq	0.175
$w_g(rad/s)$	18.5	\geq	15
$M_p(\%)$	31.6	\leq	35
PM (grados)	40.2	\geq	40

Cuadro 1: Comparación de datos obtenidos vs requeridos.

1.11. Qué efecto tiene el ajuste del valor de k_p en la respuesta temporal? Explique qué comportamiento tiene su incremento en los índices de desempeño.

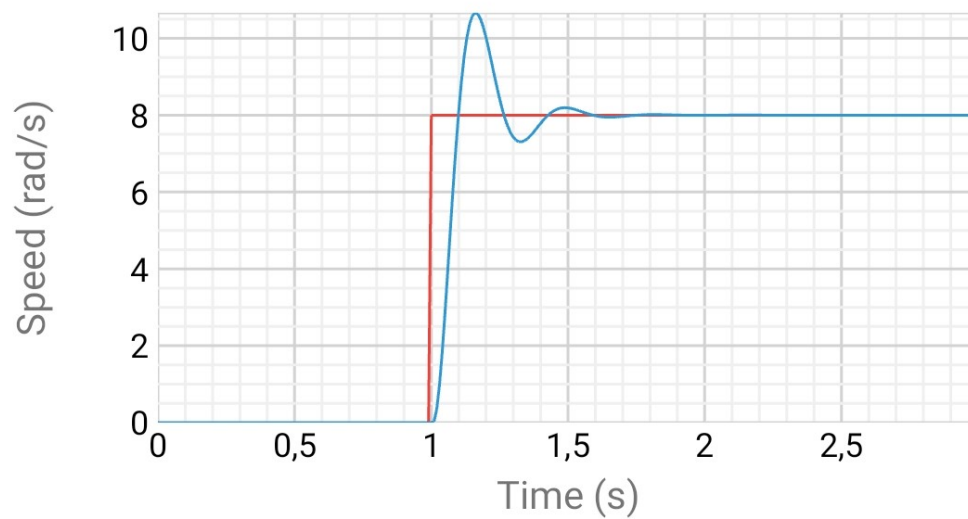
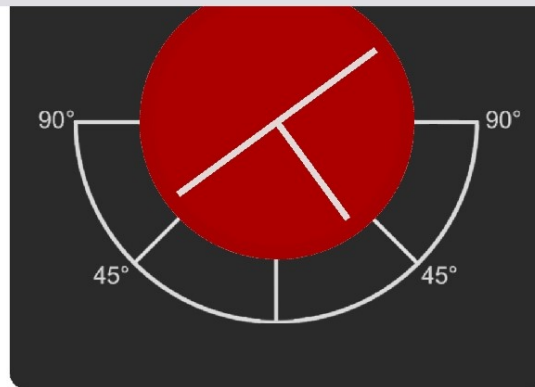
Modificando el valor de la ganancia k_p se puede notar que entre más se aumenta esta la respuesta, esta es más rápida pero con mayor sobrepaso.

2. Implementación usando la aplicación Qlabs. La respuesta del sistema coincide con los requerimientos de desempeño (M_p , t_p , e_{pr0})? Explique.

A continuación se muestra la respuesta del sistema obtenida en la aplicación de QLABS:

Lead Control

2/3



Compensator Gain (K_c) = 1.77

1.775



$T = 0.0366$

0.0366



$\alpha = 2.20$

2.19799



Si se mira de cerca la respuesta se pueden calcular los valores de los requerimientos de desempeño:

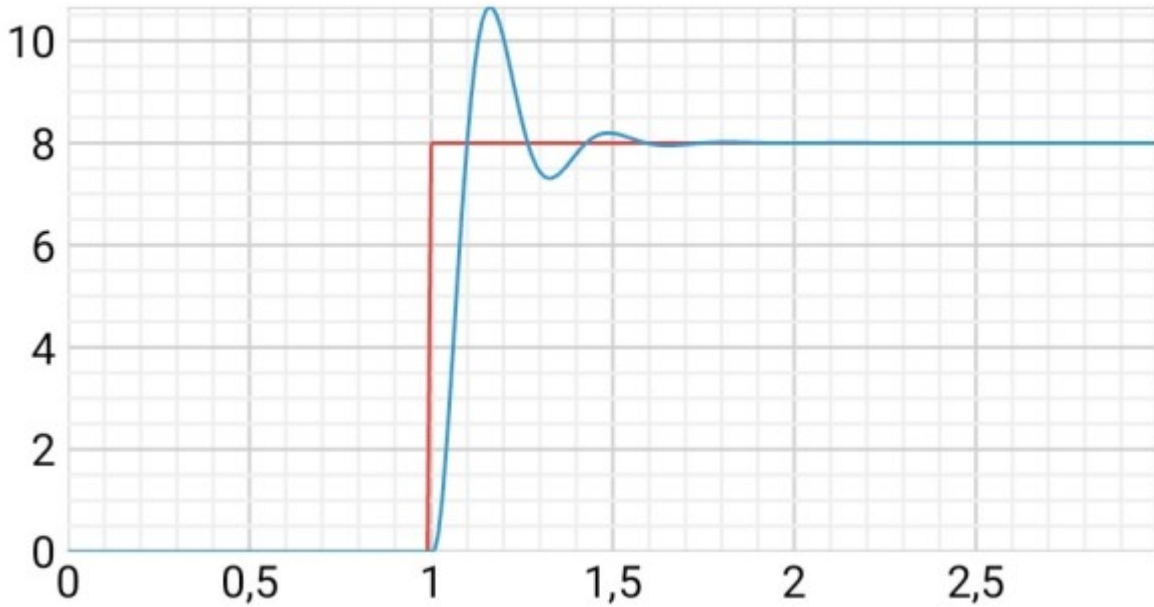


Figura 7: Respuesta temporal del sistema compensado.
Tomado de la aplicación de Q Labs

De la imagen anterior se pueden extraer los siguientes valores:

$$M_{pn}\% = 100\% \cdot \frac{y_{max} - y_u}{y_u} = 100\% \cdot \frac{10,6 - 8}{8} = 32,5\% \quad (1)$$

$$t_p = 0,16s \quad (2)$$

$$e_{pr0} = 0 \quad (3)$$

Los valores obtenidos mediante mediciones en la gráfica de la aplicación son muy similares (a excepción del e_{pr0} que sí dió igual) a los obtenidos utilizando Matlab.

Cabe recalcar que los datos obtenidos en estas últimas mediciones fueron realizadas 'a ojo' por lo que existe cierto margen de error, aún así, son muy cercanos.