

# Práctica 3 de Robótica Industrial



# Universidad de Granada

Antonio Manuel Fresneda Rodríguez

[antoniomfr@correo.ugr.es](mailto:antoniomfr@correo.ugr.es)

31 de mayo de 2019

# Índice

<b>Apartado 1: Sistemas Analógicos</b>	<b>3</b>
Sistemas de segundo orden . . . . .	3
Resultados teóricos . . . . .	3
Resultados prácticos . . . . .	3
Funciones de transferencia con ceros . . . . .	5
<b>Apartado 2: Sistemas Realimentados</b>	<b>6</b>
Sistema Realimentado . . . . .	7
Resultados teóricos . . . . .	7
Resultados prácticos . . . . .	7
Controlador PI . . . . .	9
Resultados teóricos . . . . .	9
Resultados prácticos . . . . .	9
Comparación . . . . .	10

## Apartado 1: Sistemas Analógicos

### Sistemas de segundo orden

La función para calcular la sobre-oscilación, el tiempo de pico y el tiempo de establecimiento de forma práctica se llama *parametros\_1* y recibe como parametros un vector con la señal de salida y otro vector con los tiempos:

- Para calcular el tiempo de pico, se ha buscado el máximo en la señal de salida y se ha devuelto el instante de tiempo donde esta dicho máximo.
- Para calcular la sobre-oscilación, se ha restado el valor máximo de la señal de salida y uno (debido a que la señal de entrada es un escalón unitario) y se ha multiplicado por 100 para obtener así un porcentaje.
- Por ultimo, para calcular el tiempo de establecimiento al 2 %, hemos recorrido la señal de salida y hemos buscado donde la diferencia entre 1 y la señal sea del 2 %.

### Resultados teóricos

- **Modelo Sub-amortiguado:**
  - **Tiempo de pico:**  $\frac{\pi}{w_n \sqrt{1-\delta^2}} = 3,62$  segundos.
  - **Sobre-oscilación:**  $\exp \frac{-\delta\pi}{\sqrt{1-\delta^2}} = 16,30$  %.
  - **Tiempo de establecimiento al 2 %:**  $\frac{4}{w_n \delta} = 8$  segundos.
- **Modelo Sobre-amortiguado:**
  - **Tiempo de pico:** No existe.
  - **Sobre-oscilación:** No existe.
  - **Tiempo de establecimiento al 2 %:**  $\frac{4}{w_n \delta} = 2,66$  segundos.
- **Modelo críticamente-amortiguado:**
  - **Tiempo de pico:** No existe.
  - **Sobre-oscilación:** No existe.
  - **Tiempo de establecimiento al 2 %:**  $\frac{4}{w_n \delta} = 4$  segundos.

### Resultados prácticos

- **Modelo Sub-amortiguado:**
  - **Tiempo de pico:** 4.63 segundos.
  - **Sobre-oscilación:** 16.30 %.
  - **Tiempo de establecimiento al 2 %:** 9.06 segundos.
- **Modelo Sobre-amortiguado:**

- **Tiempo de pico:** 20 segundos (No existe) .
- **Sobre-oscilación:** 0 % (No existe) .
- **Tiempo de establecimiento al 2 %:** 11.64 segundos.

■ **Modelo críticamente-amortiguado:**

- **Tiempo de pico:** 20 segundos (No existe) .
- **Sobre-oscilación:** 0 % (No existe) .
- **Tiempo de establecimiento al 2 %:** 6.82 segundos.

A continuación se muestra una gráfica con la respuesta de los tres sistemas:

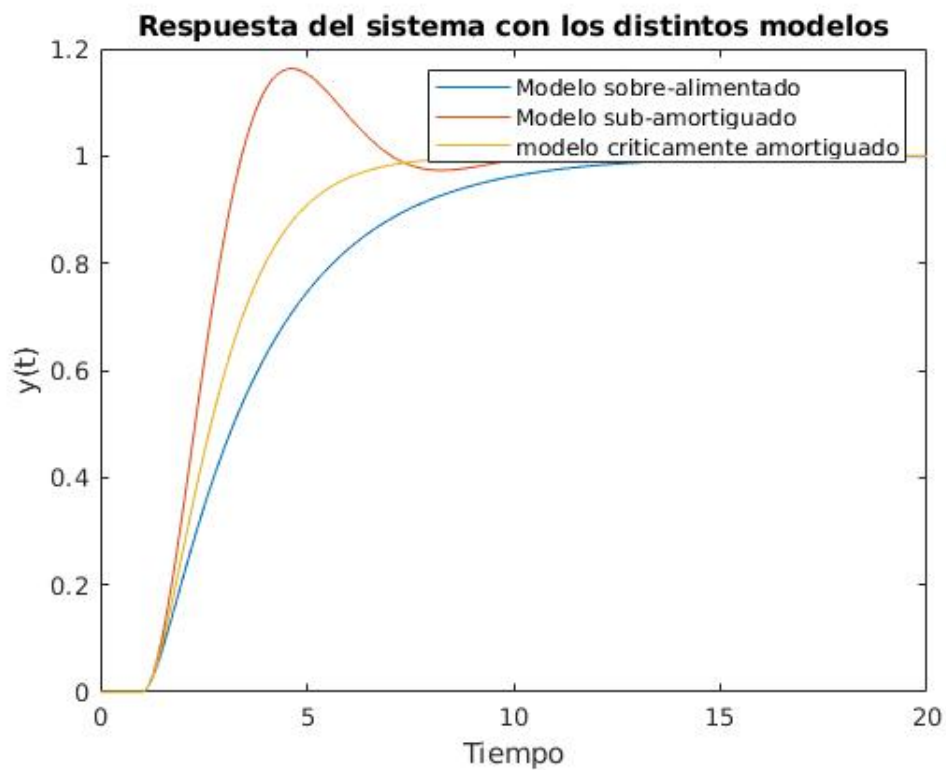


Figura 1: Respuesta escalón de los tres sistemas

## Funciones de transferencia con ceros

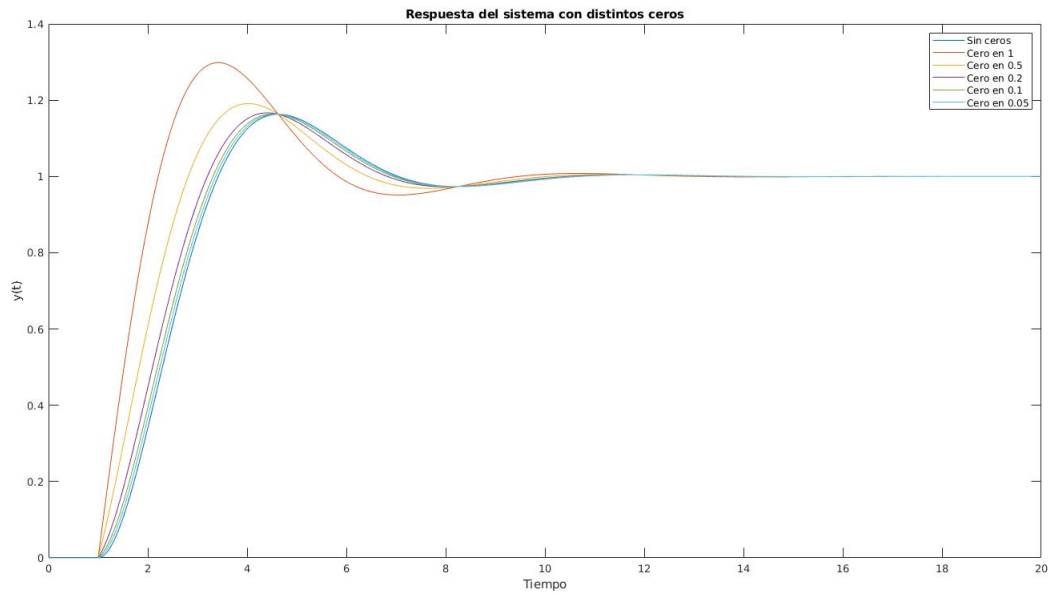


Figura 2: Sistemas con distintos ceros

Como vemos en la gráfica, a partir de  $a=0.2$ , la diferencia entre la función de transferencia con ceros y la función es muy baja. Diferencia que disminuye hasta que prácticamente se puede despreciar.

## Apartado 2: Sistemas Realimentados

Para calcular la sobre-oscilación, y los errores de posición y velocidad se ha implementado una función llamada *parametros\_2*, la cual tiene como entrada las señales de salida cuando la entrada es un escalón unitario y una rampa unitaria y el vector de tiempo.

- Para calcular la sobre-oscilación se ha usado lo mismo que en el apartado anterior.
- Para el error de posición, cogemos la ultima muestra de la señal de salida cuando la entrada es un escalón unitario y la restamos con 1 (ya que como en el apartado anterior el escalón de entrada es unitario).
- Para el error de velocidad, cogemos la ultima muestra de la señal de salida cuando la entrada es una rampa unitaria y le restamos la ultima muestra del tiempo.

## Sistema Realimentado

### Resultados teóricos

- **Sobre-oscilación** =  $\exp \frac{-\delta\pi}{\sqrt{1-\delta^2}} = 24,537 \%$ .
- **Error de posición** =  $\frac{1}{1-k_p}$   
 $k_p = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{6}{s^2+2s} = \infty$   
 $e_p = \frac{1}{1-\infty} = 0$
- **Error de velocidad** =  $\frac{1}{k_v}$   
 $k_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{6s}{s^2+2s} = \frac{6}{2}$   
 $e_v = \frac{1}{3}$ .

### Resultados prácticos

- **Sobre-oscilación:** 24.54 %.
- **Error de posición:** 0.
- **Error de velocidad:** 0.33.

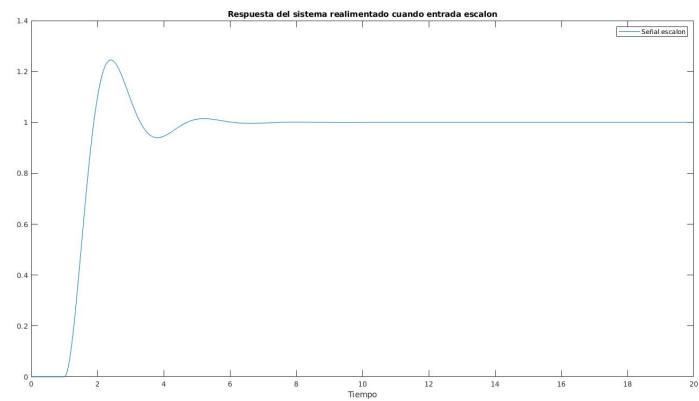


Figura 3: Salida del sistema con entrada escalón

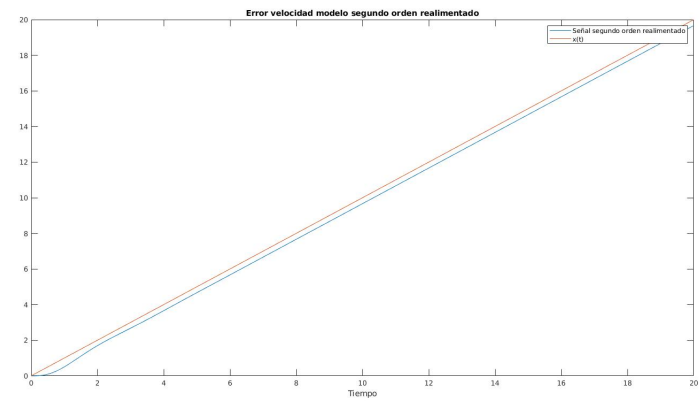


Figura 4: Salida del sistema con entrada rampa unitaria



## Controlador PI

### Resultados teóricos

- **Error de posición** =  $\frac{1}{1-k_p}$   
 $k_p = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{6+6s}{s^3+2s^2} = \infty$   
 $e_p = \frac{1}{1-\infty} = 0$
- **Error de velocidad** =  $\frac{1}{k_v}$   
 $k_v = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{6s+6s^2}{s^3+2s^2} = \infty$   
 $e_v = \frac{1}{\infty} = 0.$

### Resultados prácticos

- **Sobre-oscilación:** 69.7 %.
- **Error de posición:** 0.
- **Error de velocidad:** 0.

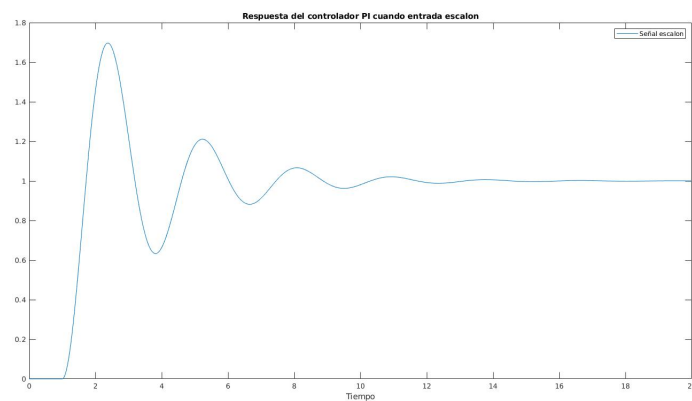


Figura 5: Salida del sistema con entrada escalón

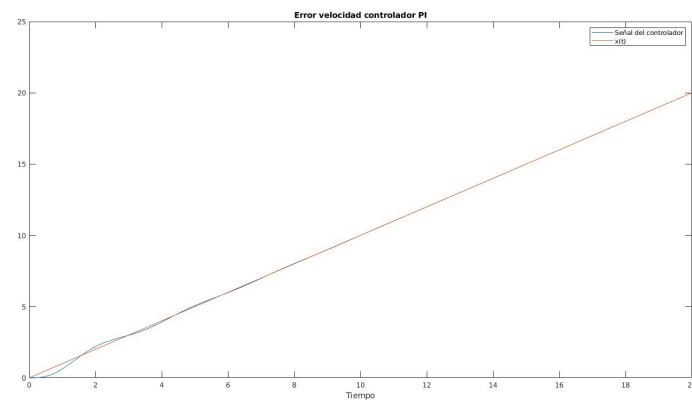


Figura 6: Salida del sistema con entrada rampa unitaria

## Comparación

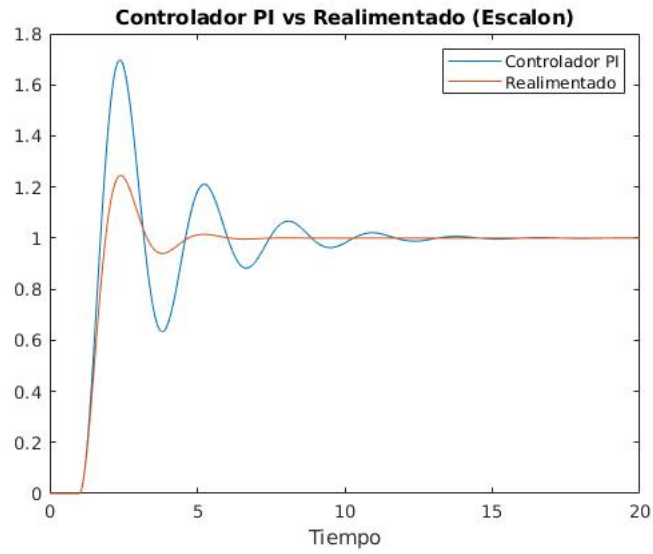


Figura 7: Salida del sistema con entrada escalón

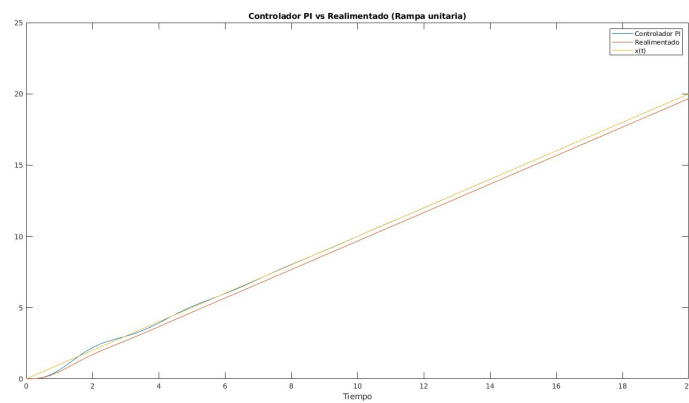


Figura 8: Salida del sistema con entrada rampa unitaria

Como vemos, el controlador PI añade inestabilidad (aunque mantiene a 0 el error de posición) pero en cambio el error de velocidad consigue reducirlo hasta 0. Para intentar estabilizar el sistema vamos a incrementar  $k_p$ . Tras hacer varias pruebas se ha encontrado que con  $k_p = 20$  conseguimos una sobre-oscilación igual a 27.28 %. A continuación se muestra una figura:

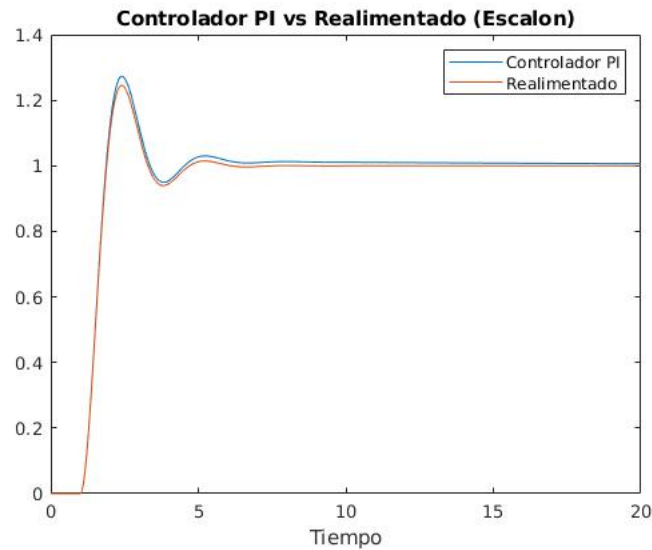


Figura 9: Salida del sistema estabilizado