

## Práctica 5 - Ejercicio 2

El exoesqueleto robótico REFLEX es un dispositivo de rehabilitación de rodilla basado en un motor de corriente continua. Dicho motor se comporta de manera que su señal de control comanda la velocidad de giro del eje según la relación  $u(t) = \dot{v}(t) + 15v(t)$ .

Se quiere controlar la posición del eje de dicho motor para que siga comandos de posición angular. Para ello, se utiliza un esquema de control en lazo cerrado realimentando la posición angular del eje. Esta realimentación se realiza mediante un sensor que incorpora un filtro paso bajo correspondiente a la siguiente función de

transferencia:  $H(s) = \frac{1}{0.001s^2 + 0.05s + 1}$

- Modele el sistema a controlar y esboce el diagrama de bloques que representa el control de dicha articulación para el seguimiento de referencias de posición (0.5 pts)

```
motor=tf(1, [1 15])
```

motor =

$$\frac{1}{s + 15}$$

Continuous-time transfer function.

```
integrador=tf(1, [1 0])
```

integrador =

$$\frac{1}{s}$$

Continuous-time transfer function.

```
G=motor*integrador;
```

```
%Función de transferencia de la posición del eje del motor respecto  
%la señal de control
```

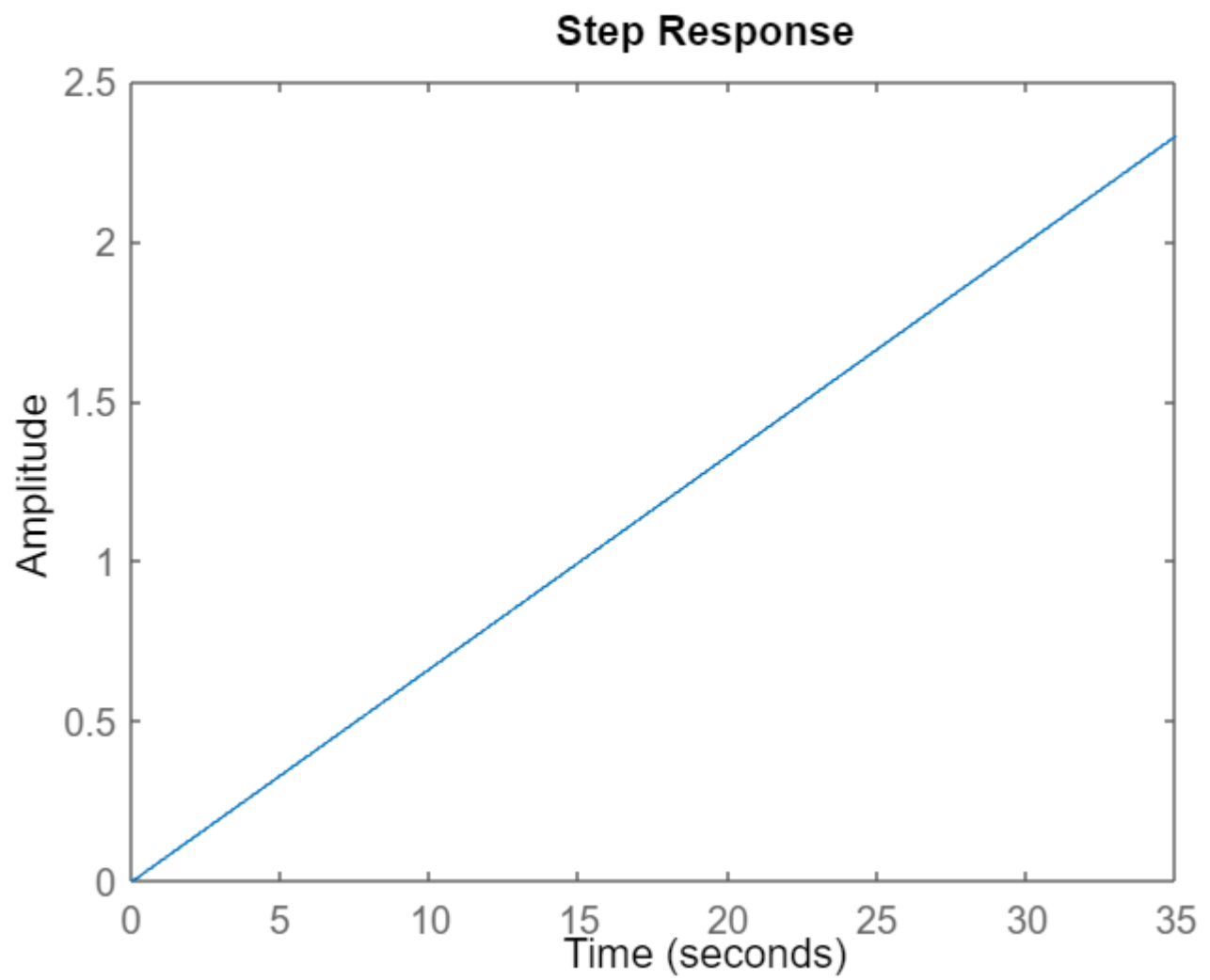
```
H=tf(1, [0.001 0.05 1])
```

H =

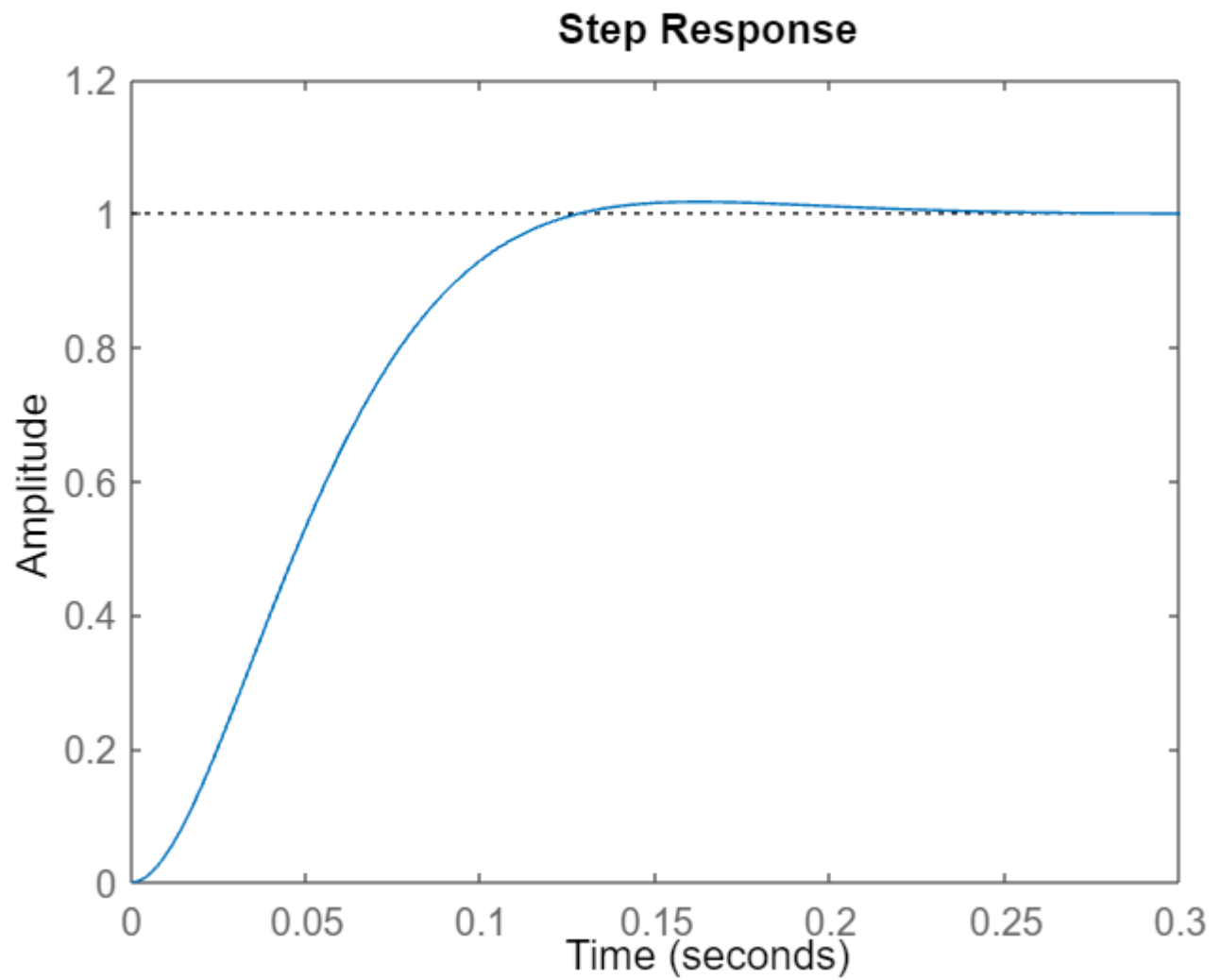
$$\frac{1}{0.001 s^2 + 0.05 s + 1}$$

Continuous-time transfer function.

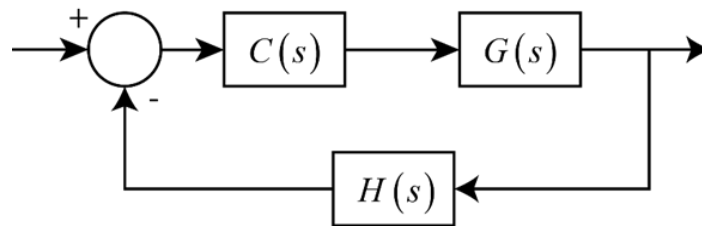
```
step(G)
```



step(H)



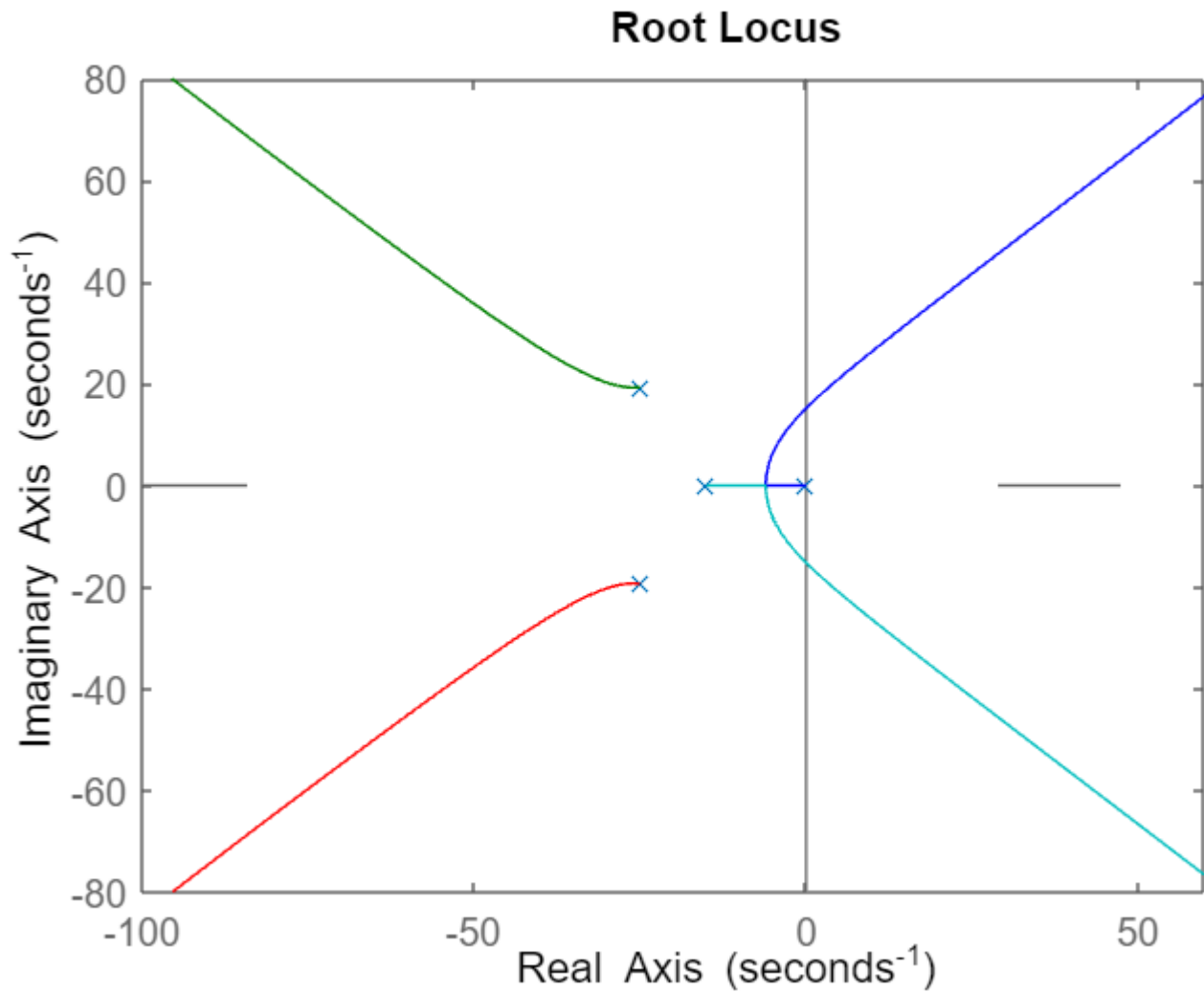
El diagrama de bloques del sistema completo quedaría:

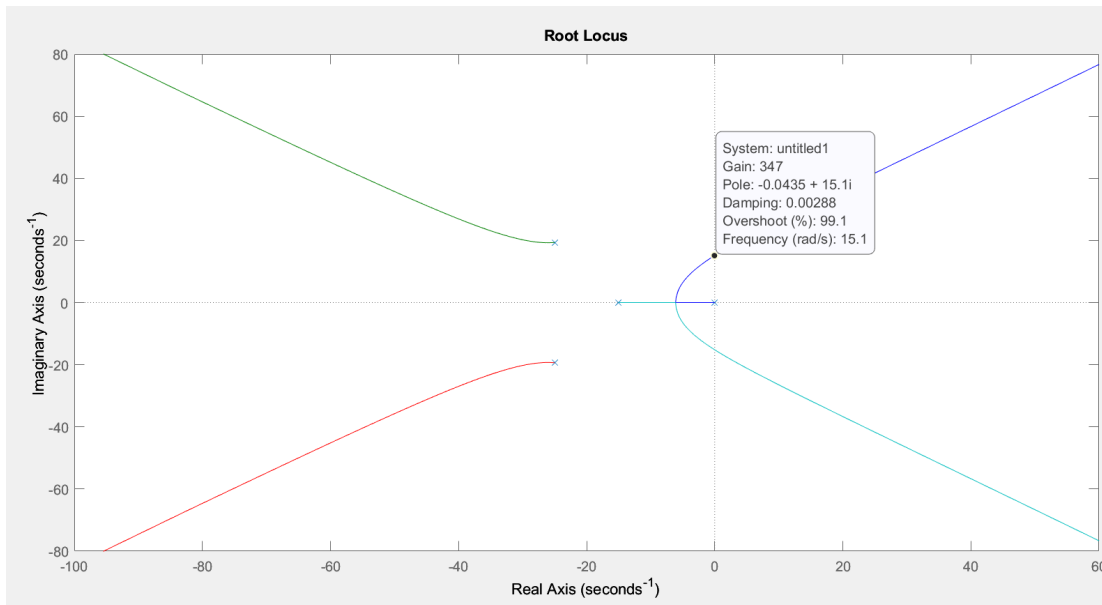


- Utilizando el método de Ziegler-Nichols de sintonización empírica de PID, obtenga el controlador PID para el sistema (1.5 pto).

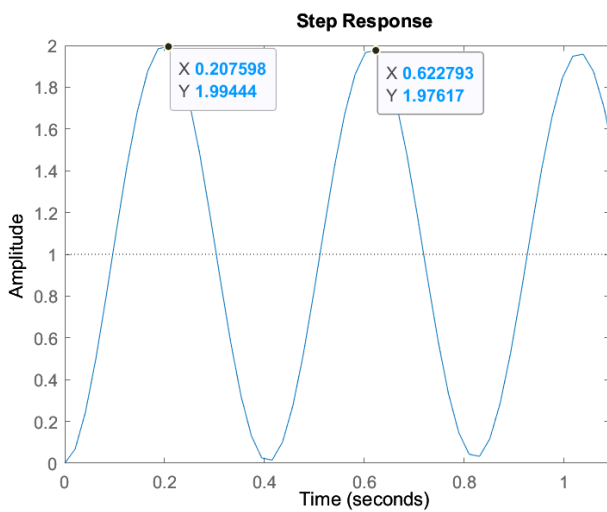
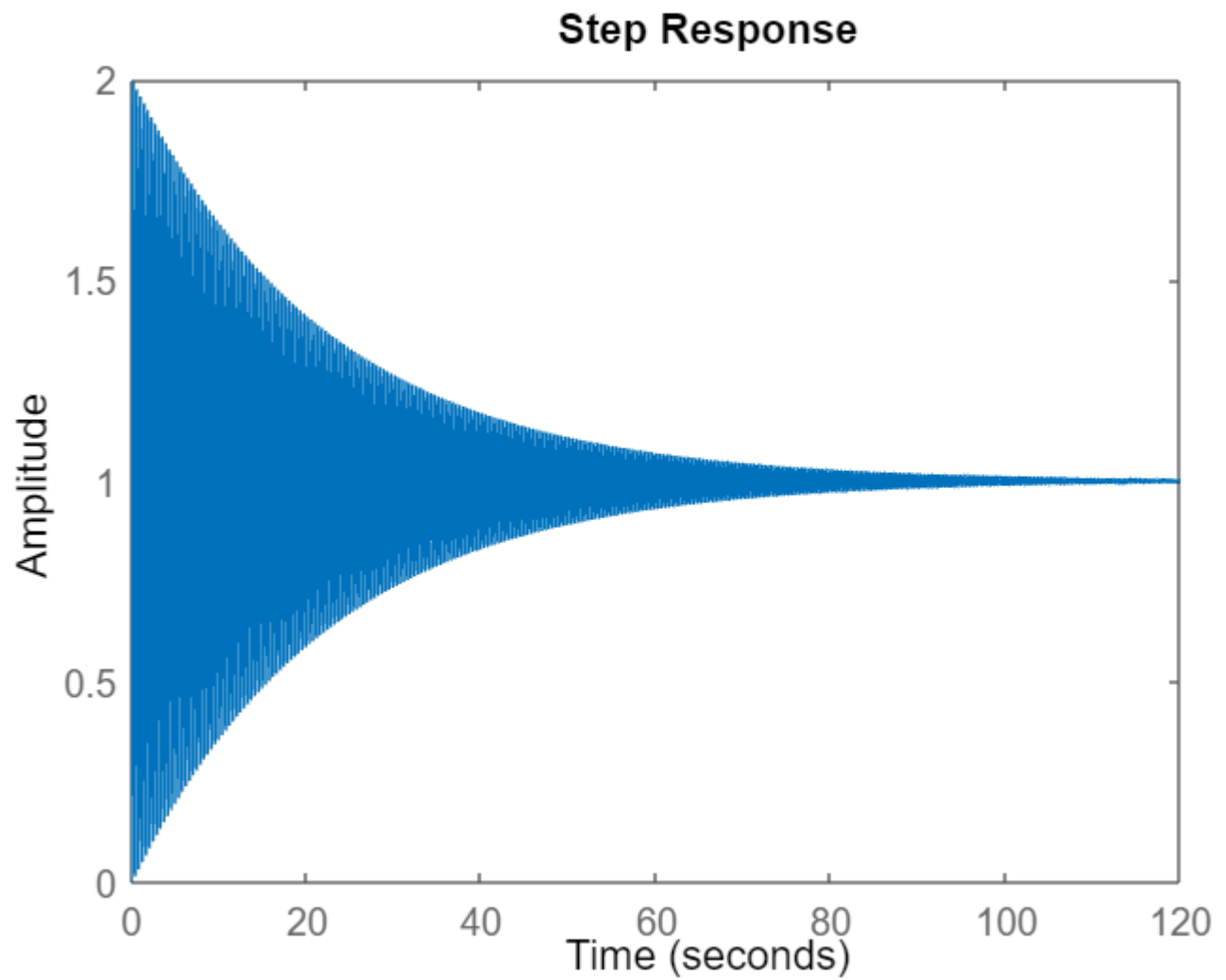
Puesto que el sistema en lazo abierto no es estable tenemos que utilizar el método de Ziegler-Nichols basado en el comportamiento en lazo cerrado. En primer lugar se ha de buscar la ganancia del controlador proporcional que vuelve oscilatorio el sistema

```
rlocus(G*H)
```





```
K_cr=347;  
step(feedback(K_cr*G, H))
```



En base a esta respuesta, se calcula el periodo crítico del sistema, que es el periodo de oscilación de la misma cuando el sistema es críticamente estable:

$$P_{cr} = 0.62 - 0.21;$$

En base a estos dos valores, aplicando las reglas de Ziegler-Nichols se calcularía los valores de las constantes Kp, Ti y Td que definen la función de transferencia del PID:

```
Kp=0.6*K_cr;
Ti=0.5*P_cr;
Td=0.125*P_cr;

s=tf('s');
PID_ZN=Kp*((Ti*Td*s^2+Ti*s+1)/(Ti*s))
```

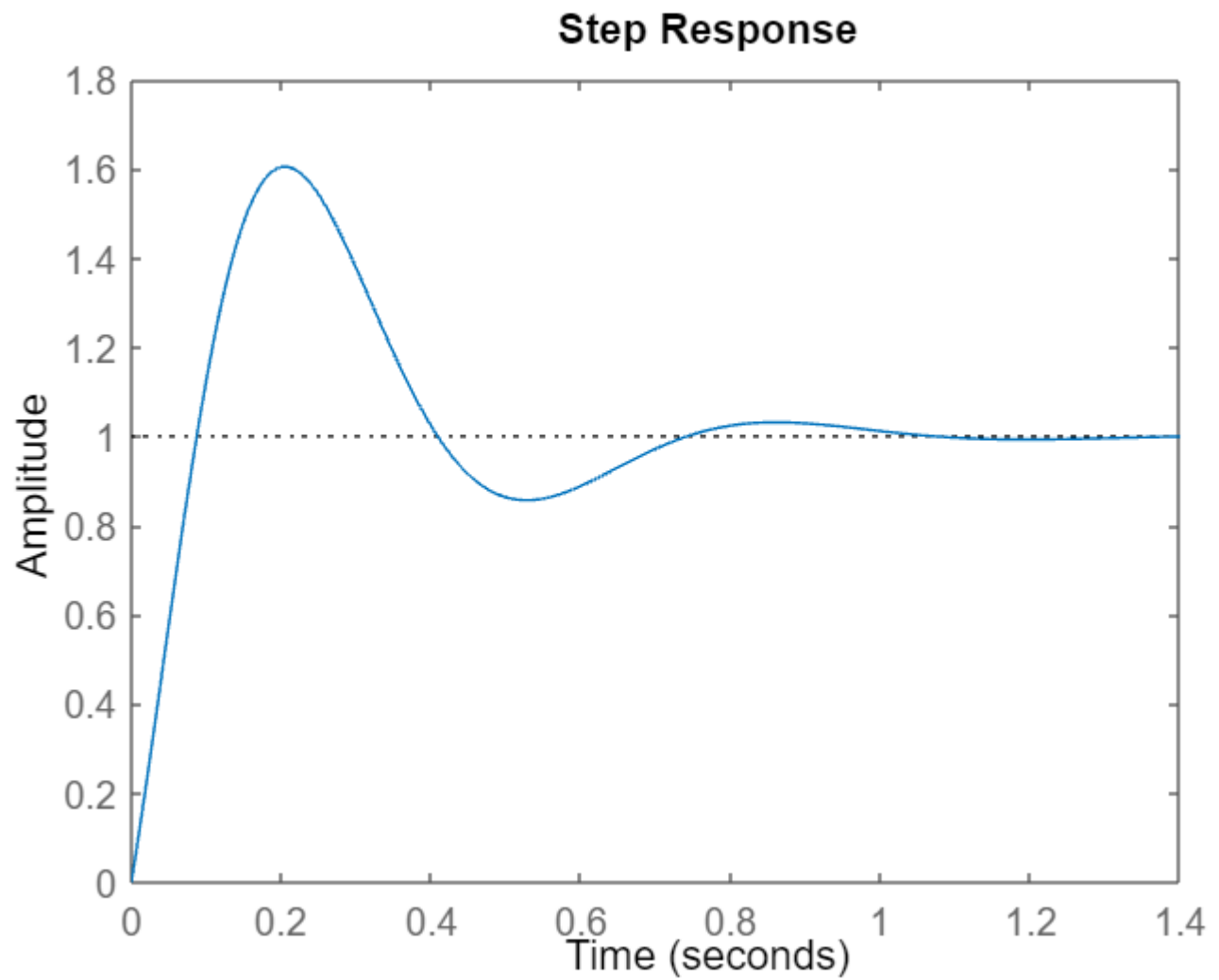
PID\_ZN =

$$\frac{2.187 \text{ s}^2 + 42.68 \text{ s} + 208.2}{0.205 \text{ s}}$$

Continuous-time transfer function.

La respuesta del sistema con el PID hayado quedaría:

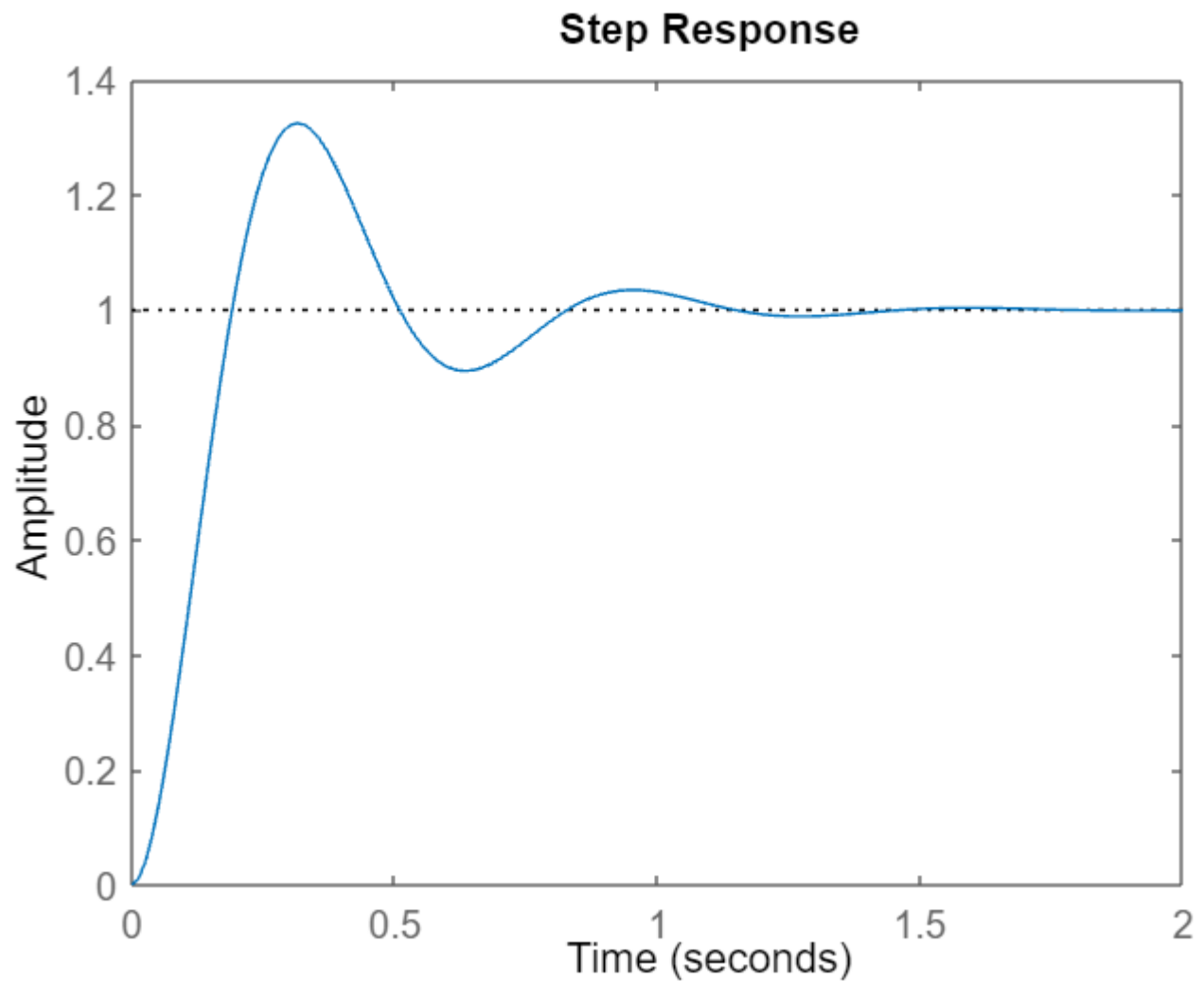
```
step(feedback(PID_ZN*G, H))
```



- Aplicando la metodología de diseño propuesta por Shamsuzzoha et al., obtenga un controlador PID para el sistema (2 pts)

```
K_c0=135; %K que hace un 30% de sobreoscilación  
G_LC_trial=feedback(K_c0*G,H);  
step(G_LC_trial)
```





```
info=stepinfo(G_LC_trial);
```

```
%Basado en el apartado 4 del artículo (PI)  
overshoot=info.Overshoot/100
```

```
overshoot = 0.3247
```

```
tp=info.PeakTime;  
A=(1.152*overshoot^2-1.607*overshoot+1);
```

```
K_c=A*K_c0;  
tau_I=2.44*tp;
```

```
s=tf('s');
```

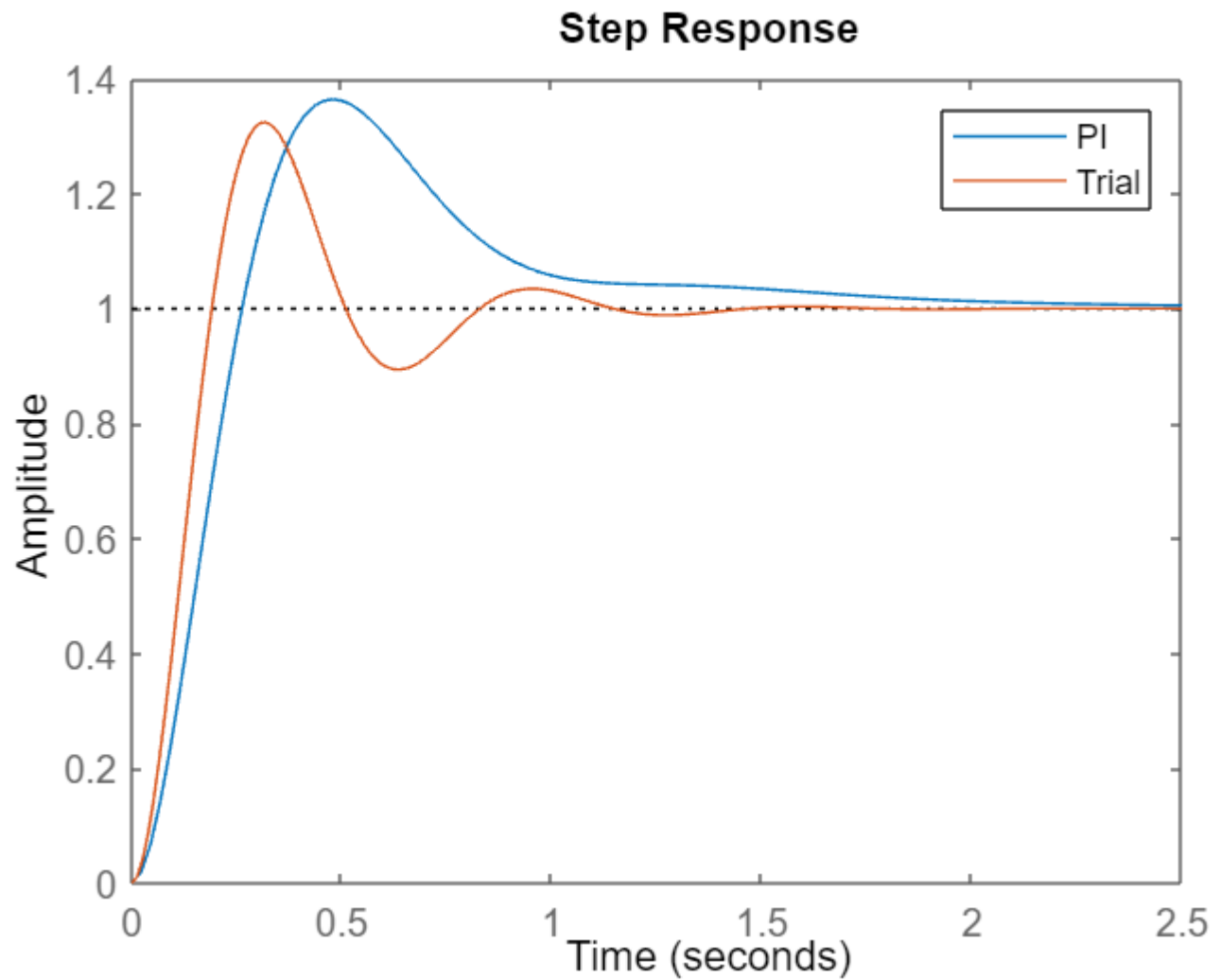
Función de transferencia del PID propuesto por Shamsuzzoha et al.

```
PI_Shamsuzzoha=K_c*(1+1/(tau_I*s))
```

$$\text{PI\_Shamsuzzoha} = \frac{62.24 \text{ s} + 80.95}{0.7688 \text{ s}}$$

Continuous-time transfer function.

```
G_LC=feedback(PI_Shamsuzzoha*G,H);
step(G_LC, G_LC_trial);
legend('PI', 'Trial')
```



%Basado en el apartado 7 del artículo (PID)  
 $\tau_2 = 0.27 \cdot t_p$ ;  
 $K_c = 220\%$  que hace un 30% de sobreoscilación

$K_c = 220$

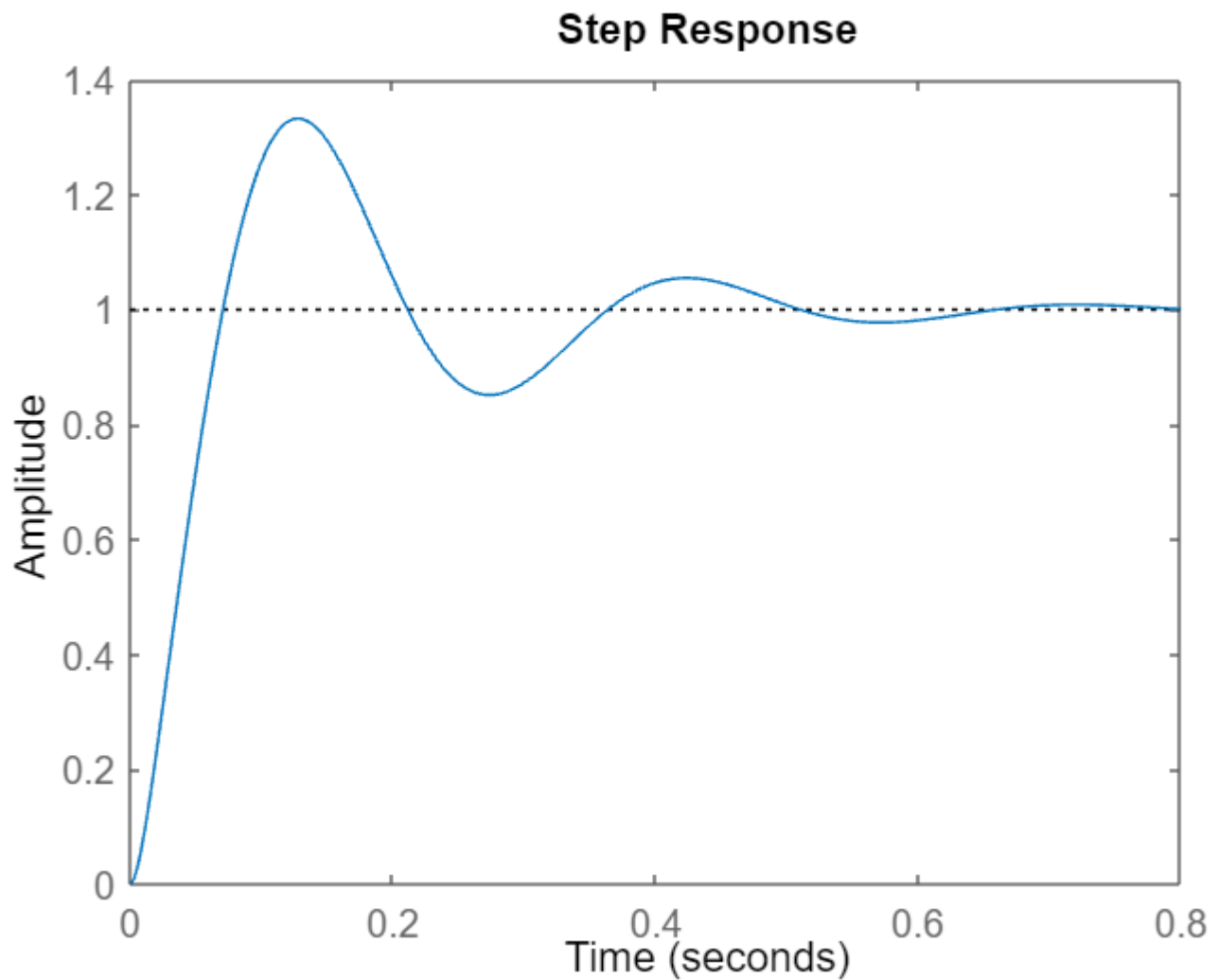
$\text{PD\_Shamsuzzoha} = K_c \cdot (1 + \tau_2 \cdot s) / (1 + 0.1 \cdot \tau_2 \cdot s)$

PD\_Shamsuzzoha =

$$\frac{18.72 \text{ s} + 220}{0.008508 \text{ s} + 1}$$

Continuous-time transfer function.

```
G_LC_trial_PID=feedback(PD_Shamsuzzoha*G,H);  
step(G_LC_trial_PID)
```



```
info=stepinfo(G_LC_trial_PID);  
  
overshoot=info.Overshoot/100;  
tp=info.PeakTime;  
A=(1.152*(overshoot^2)-1.607*overshoot+1);  
b=1;  
F=1;  
  
K_c=A*K_c0;  
tau_I=2.44*tp;
```

```

c=1+tau_2/tau_I;
K_c=c*K_c;
tau_I=tau_I*c;
tau_D=tau_2/c;

s=tf('s');
PID_Shamsuzzoha=K_c*(1+1/(tau_I*s)+tau_D*s)

```

```

PID_Shamsuzzoha =

    4.408 s^2 + 65.93 s + 166
    -----
           0.3971 s

```

Continuous-time transfer function.

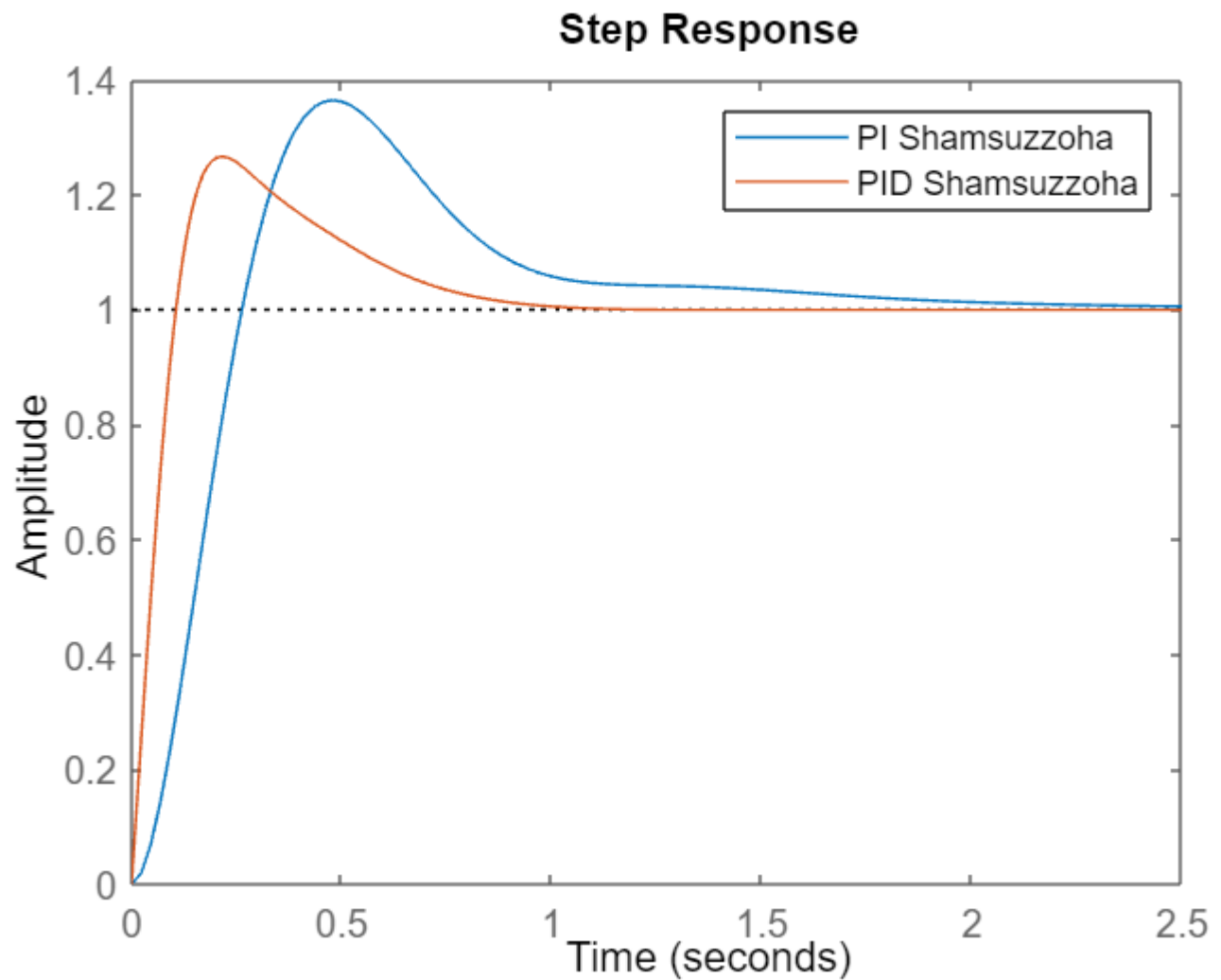
Función de transferencia del PID propuesto por Shamsuzzoha et al.

```

G_LC_PID=feedback(PID_Shamsuzzoha*G,H);

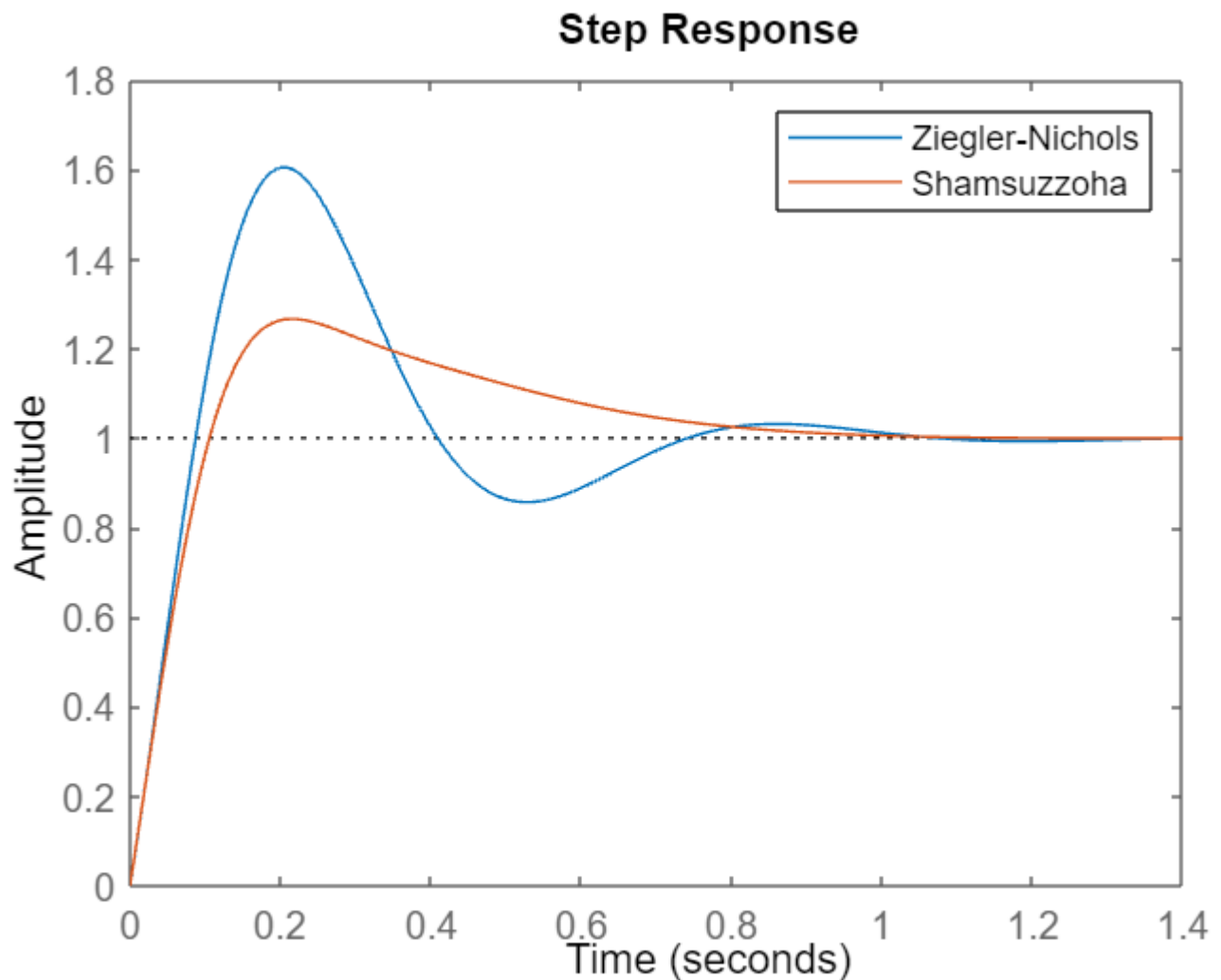
step(G_LC, G_LC_PID)
legend('PI Shamsuzzoha', 'PID Shamsuzzoha')

```



- Compare el funcionamiento de ambos métodos de control y comente los resultados obtenidos en el marco de la aplicación planteada (0.5 ptos).

```
G_LC_PID_ZN=feedback(PID_ZN*G, H);  
G_LC_PID_Shamsuzzoha=feedback(PID_Shamsuzzoha*G,H);  
  
step(G_LC_PID_ZN, G_LC_PID_Shamsuzzoha)  
legend('Ziegler-Nichols', 'Shamsuzzoha')
```



A la vista de la respuesta obtenida por ambos controladores hay que destacar que ambas estrategias dan lugar a controlares con el mismo tiempo de asentamiento (en torno a 0.8s) y tiempo de pico. Sin embargo, los resultados son diferentes al tener en cuenta la sobreoscilación del sistema.

El método de Ziegler-Nichols genera mayores sobreoscilaciones e incluso sobreoscilación negativa que podría no ser conveniente en una aplicación de robótica vestibular, pues podría suponer algún perjuicio para el usuario. En este sentido, puesto que ambas metodologías aportan una temporización similar, sería conveniente escoger la estrategia más segura, es decir, la propuesta por Shamsuzzoha et al.