



Universidad Nacional Autónoma de
México



Facultad de Ingeniería

Sistemas de Control

Grupo: 5

Trabajo #2

Profesor:

Dra. Alejandra Ixchih de la Guerra Carrasco

Elaborado por:

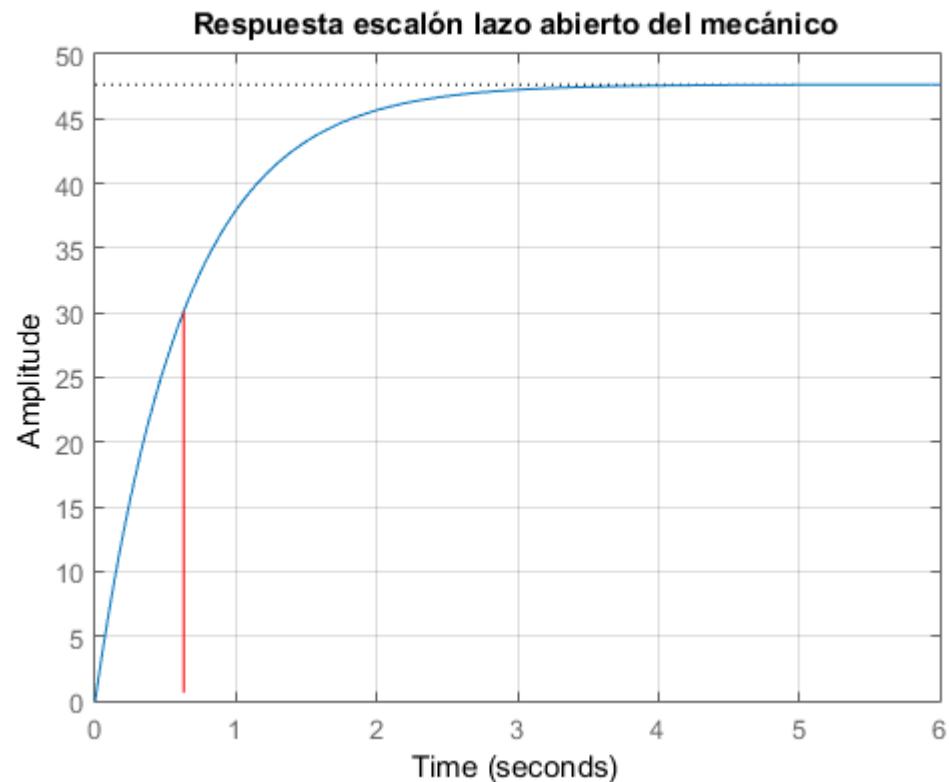
Eguiarte Morett Luis Andrés

Fecha de entrega:

3 de junio de 2018

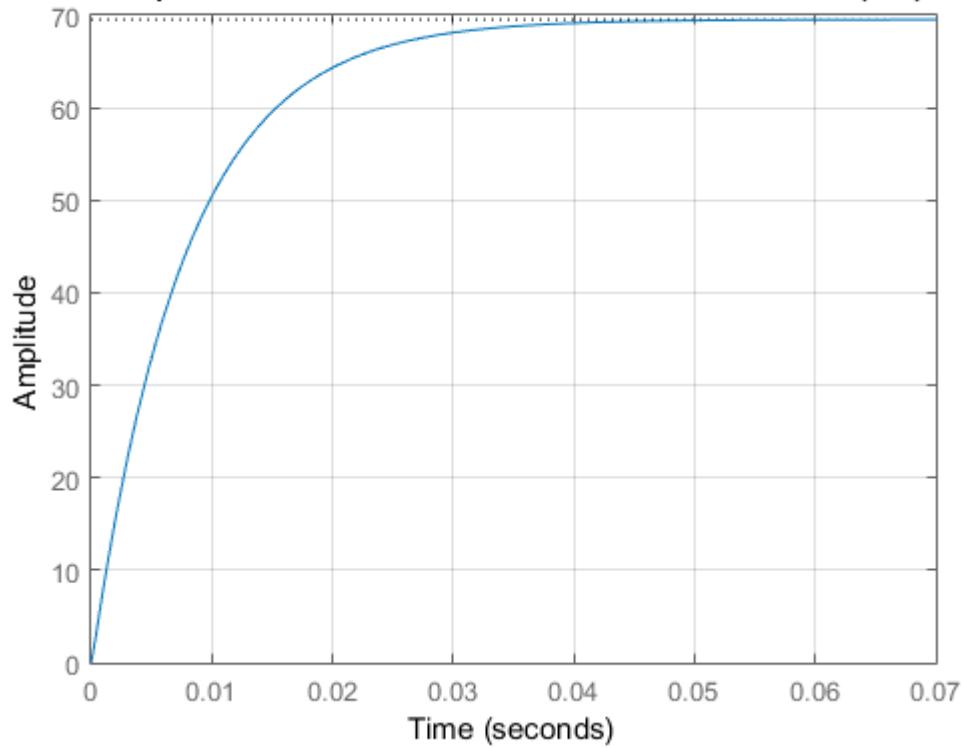
1) Análisis del Sistema

- Respuesta escalón en lazo abierto para $w_r = 455[\text{RPM}]$
Se uso w_r convertida a rad/s

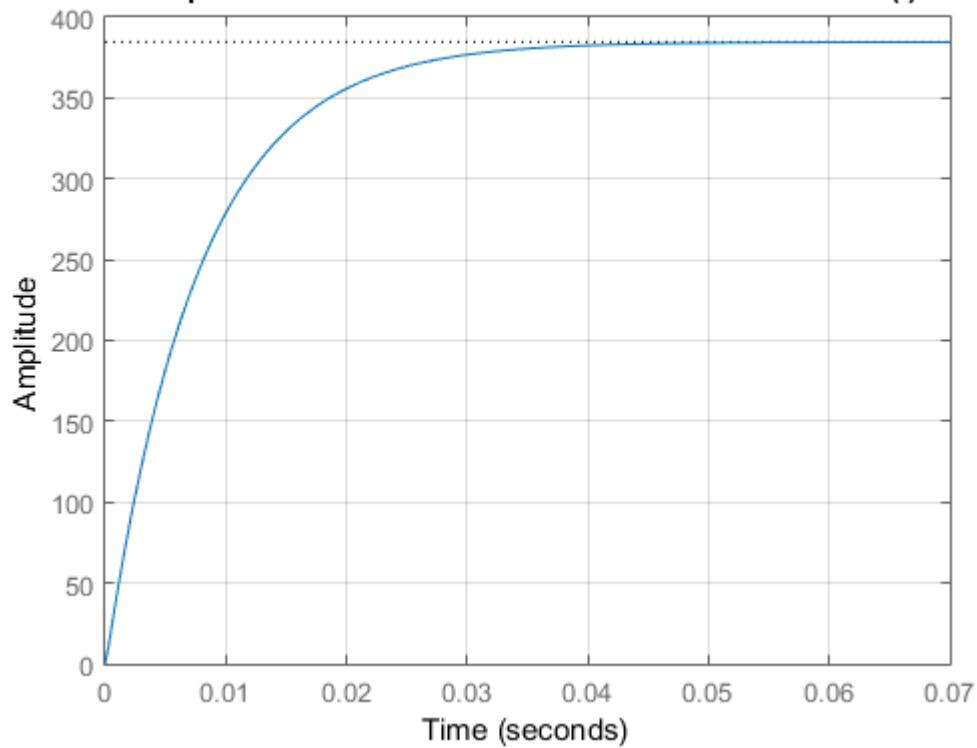


Con referencia 70 [V]:

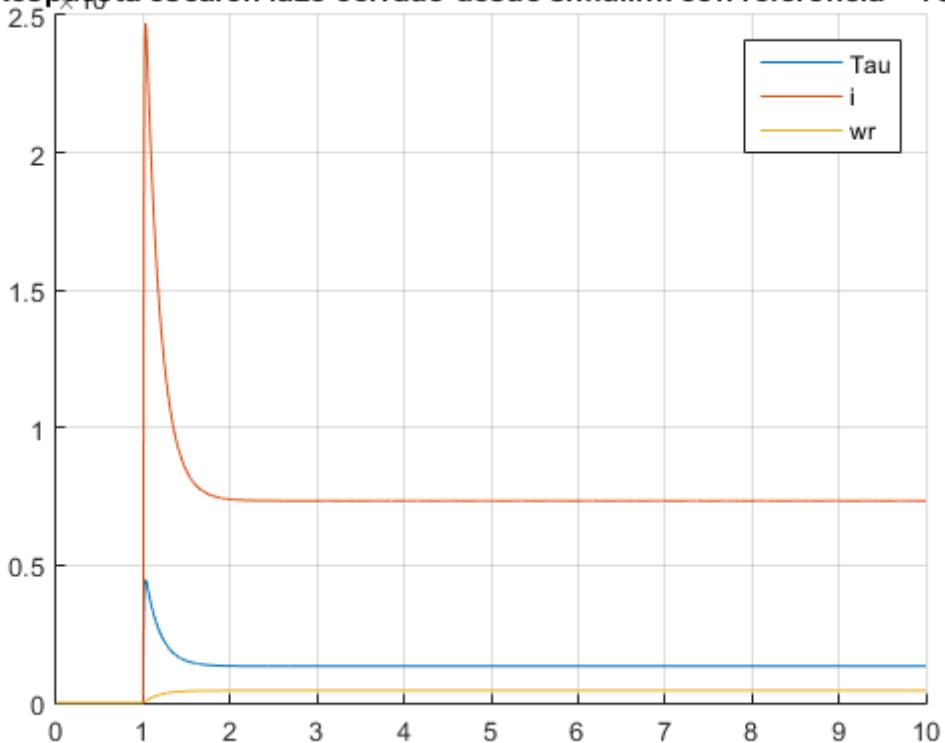
Respuesta escalón lazo abierto del sistema eléctrico (τ)



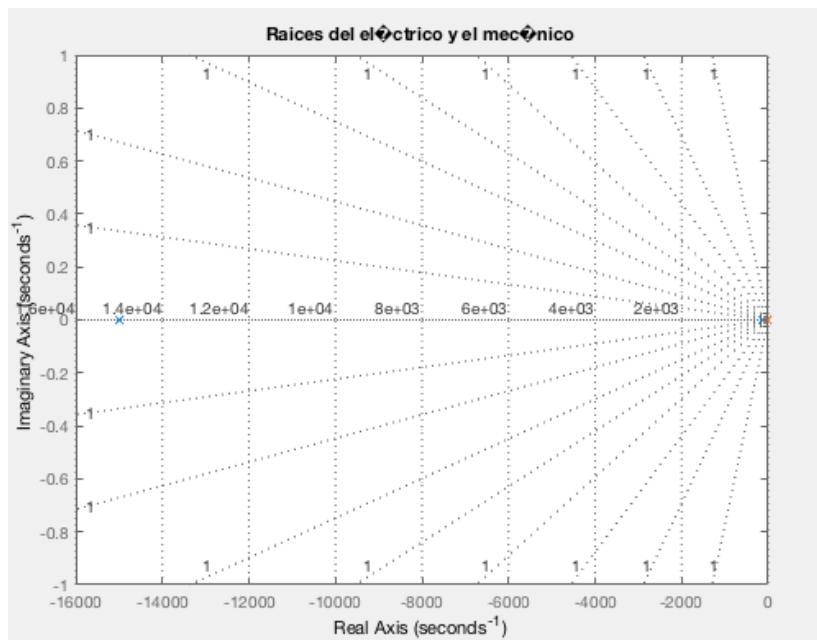
Respuesta escalón lazo abierto del sistema eléctrico (i)



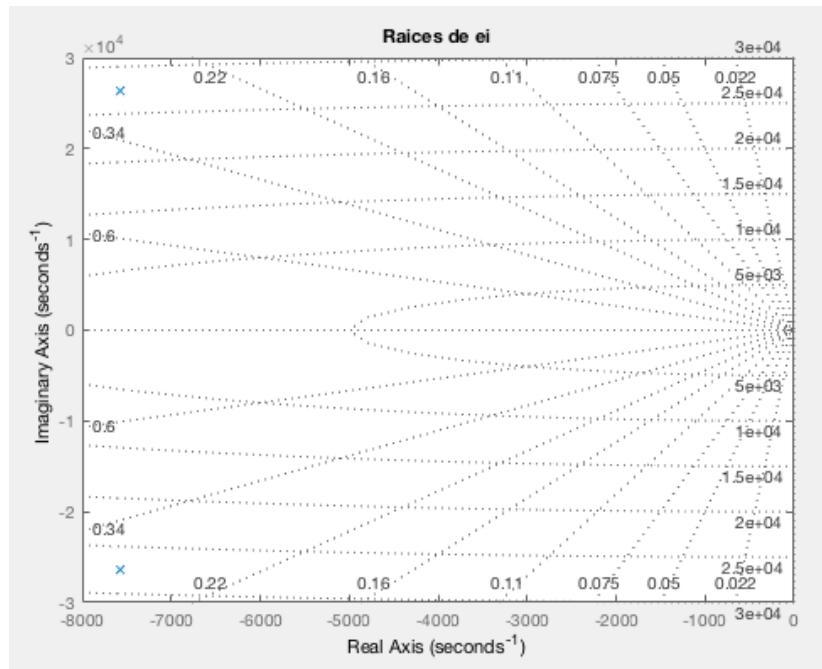
Respuesta escalón lazo cerrado desde simulink con referencia = 70[V]



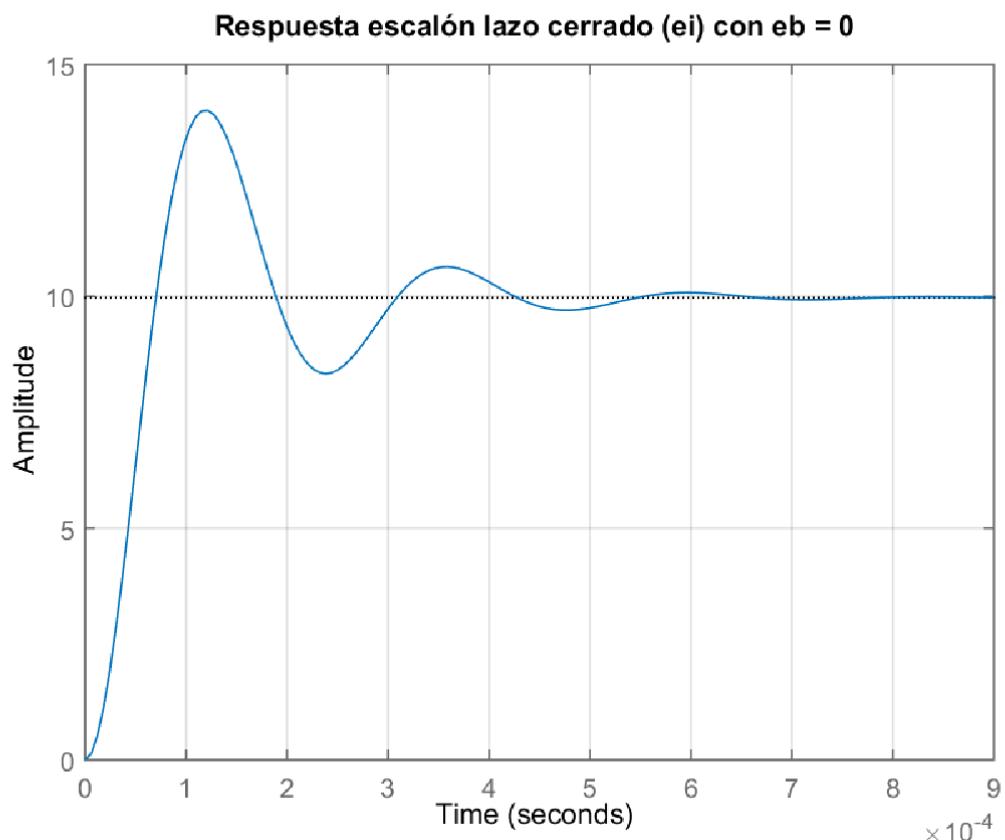
- LGR del subsistema eléctrico (FT del subsistema eléctrico e inversor) y la FT del sistema mecánico



Comenzamos con las raíces del sistema mecánico y el eléctrico graficadas en un mismo plano de Argand.

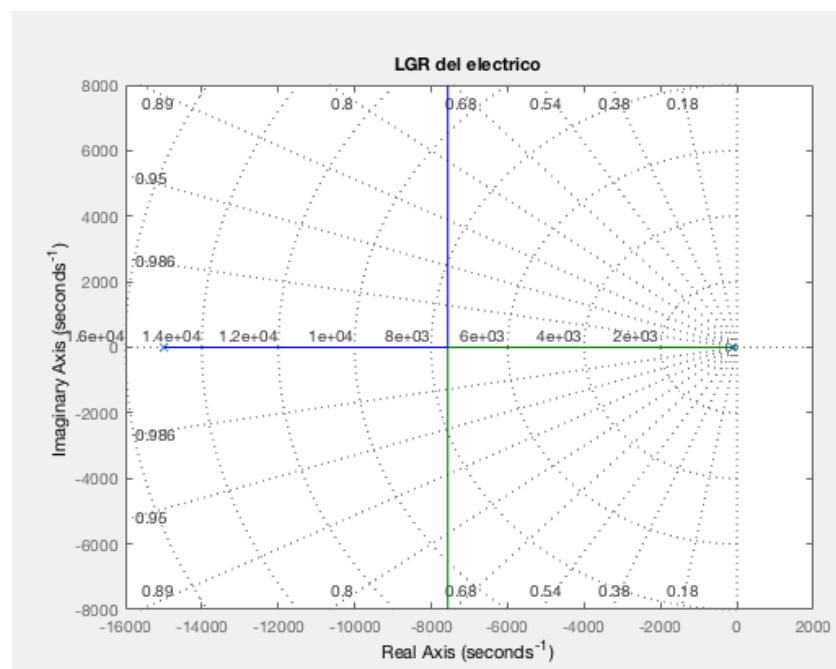
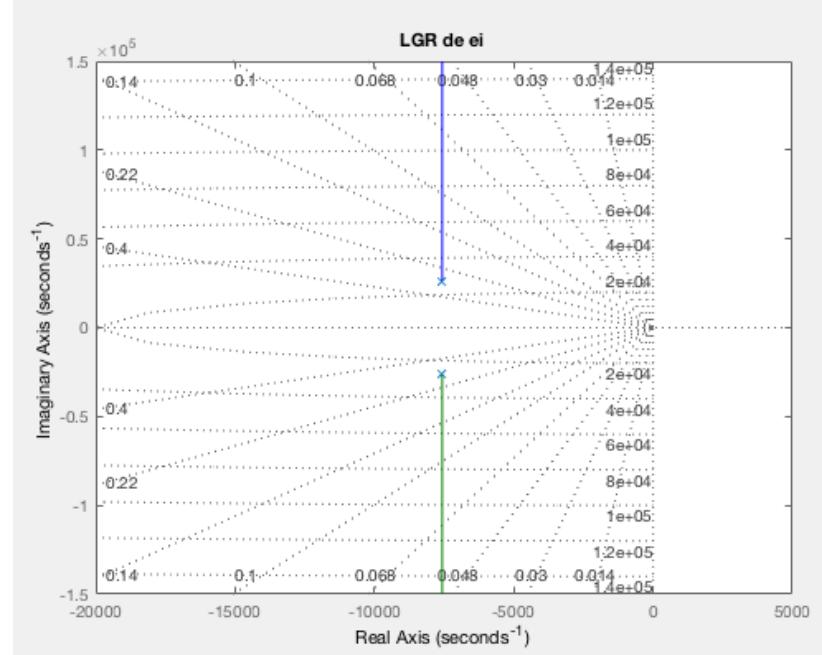


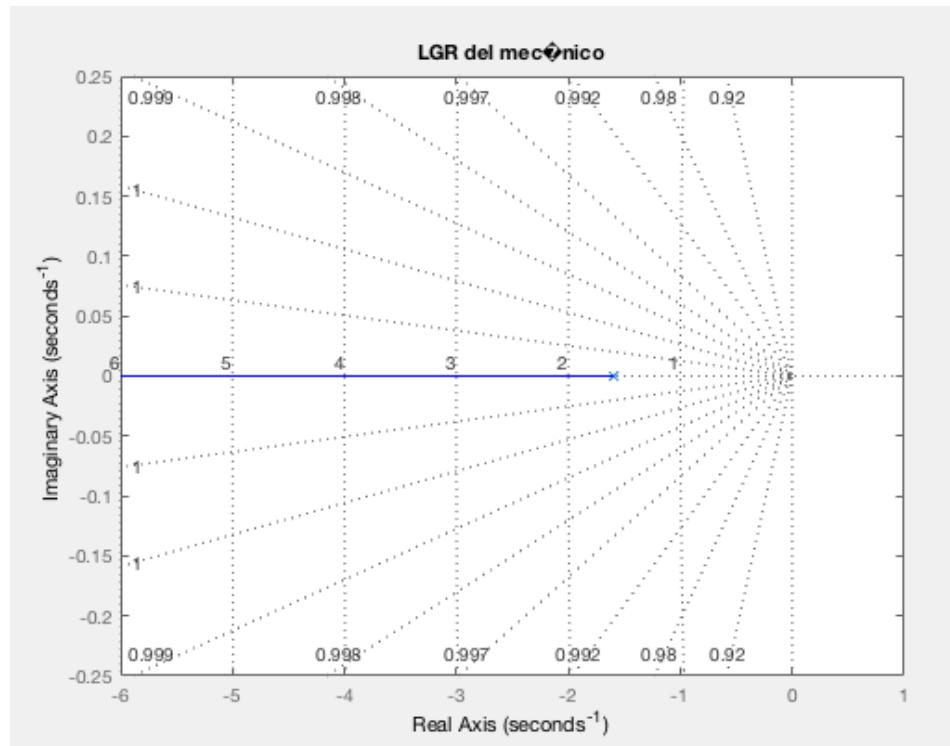
Aquí podemos ver las raíces de la función de transferencia del sistema eléctrico en lazo cerrado, sin controlador.



Lo cuál se complementa muy bien con la respuesta escalón de ese mismo sistema, con lo cuál se comprueban las raíces complejas conjugadas y la

respuesta subamortiguada de este.

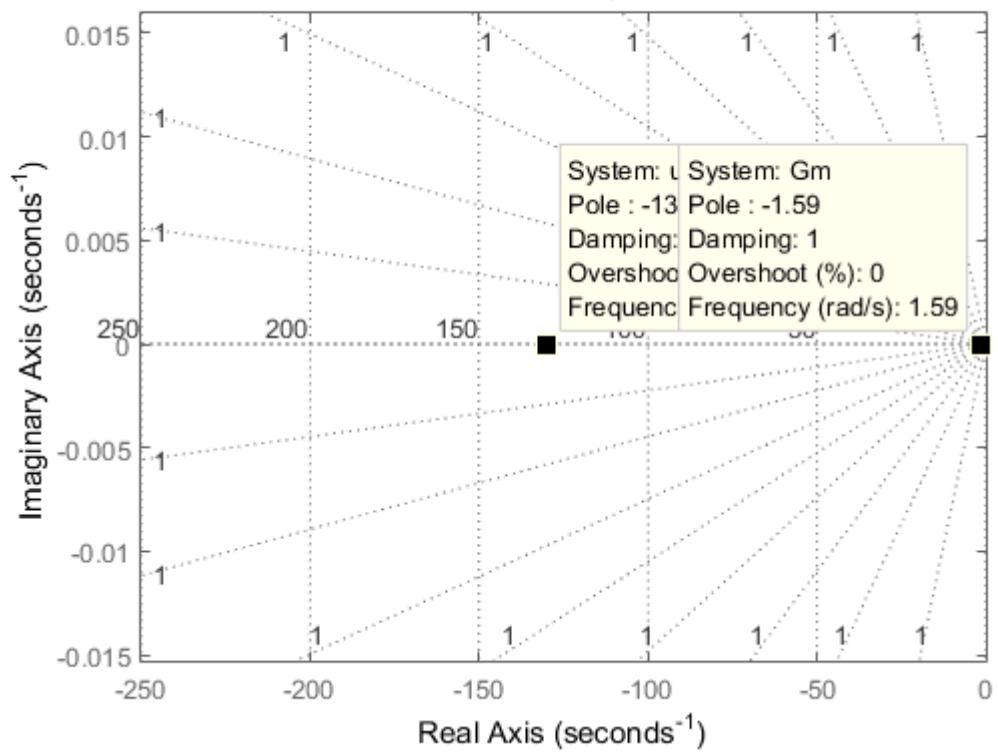




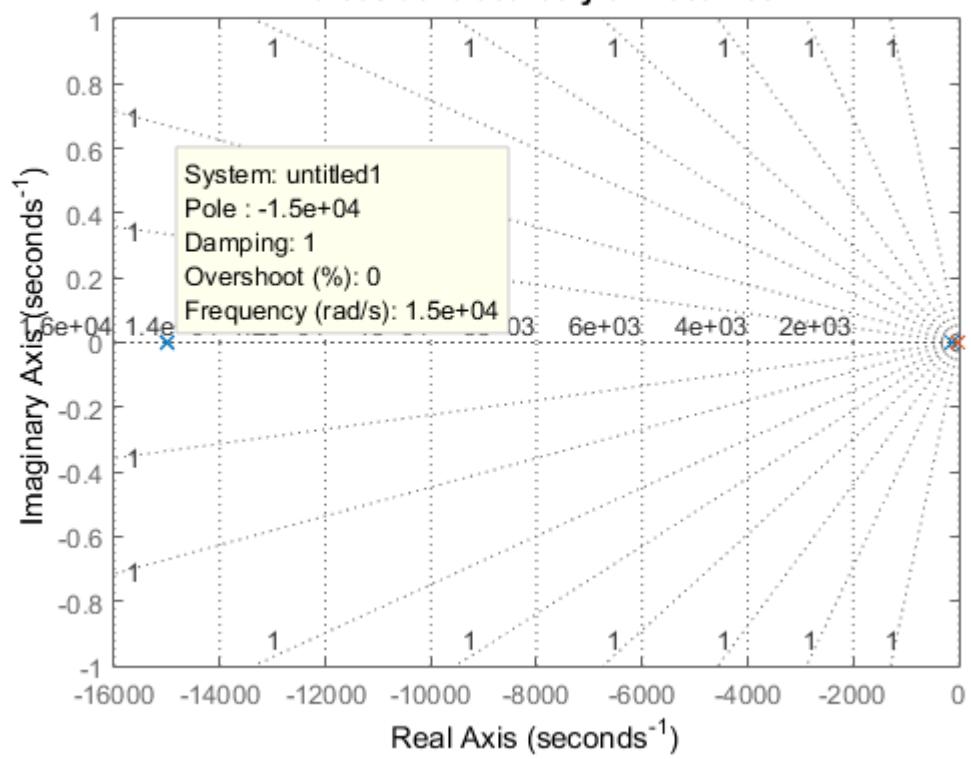
Finalmente, se incluyen los LGR del subsistema eléctrico, el mecánico y por cuestión de continuar sobre la misma observación de la naturaleza de la respuesta escalón del eléctrico realimentado, el LGR del eléctrico realimentado.

- Comentario sobre las propiedades del modelo

Raíces del eléctrico y el mecánico



Raíces del eléctrico y el mecánico



Respecto a la rapidez de ambos sistemas, podemos comprobar de los polos, que efectivamente el sistema mecánico es mucho más lento que el eléctrico.

Respecto a la estabilidad absoluta del sistema podemos decir que es estable, puesto que no tiene ninguna raíz múltiple en jw. Sin embargo al observar la respuesta escalón en lazo cerrado del sistema eléctrico sin PI podemos ver que es un sistema subamortiguado, lo cual puede ser corroborado al graficar su LGR y los polos que caracterizan a esta función de lazo cerrado, esto se observa al ver la raíz y su complejo conjugado en el semiplano izquierdo.

De las raíces del sistema en lazo cerrado sin controlador, que el polo dominante de todo el sistema es el de una constante de tiempo más grande, es decir, el polo de la función de transferencia de primer orden del sistema mecánico es el polo dominante de todo el sistema.

Lo podemos comprobar al ver las raíces de todas las funciones de transferencia del sistema.

```
ans =  
-817.3684  
-1.6263  
  
ans =  
1.0e+04 *  
-1.5000  
-0.0475  
-0.0002  
  
ans =  
1.0e+04 *  
-0.7565 + 2.6358i  
-0.7565 - 2.6358i
```

```
ans =  
-1.5000e+04
```

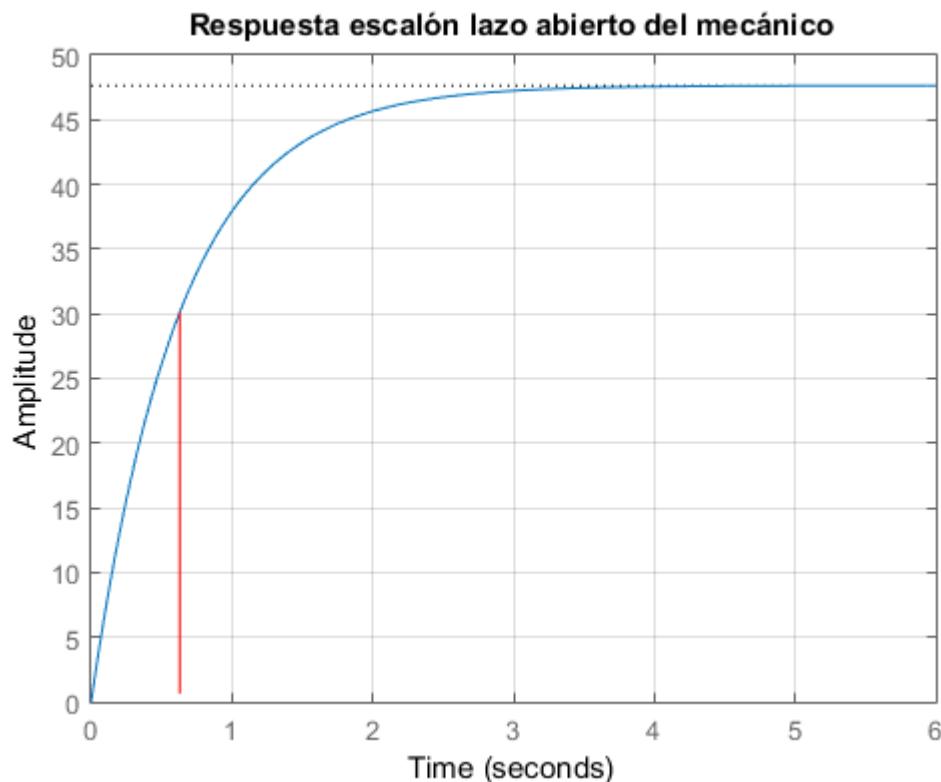
```
ans =  
-130
```

```
ans =  
1.0e+04 *  
-1.5000  
-0.0130
```

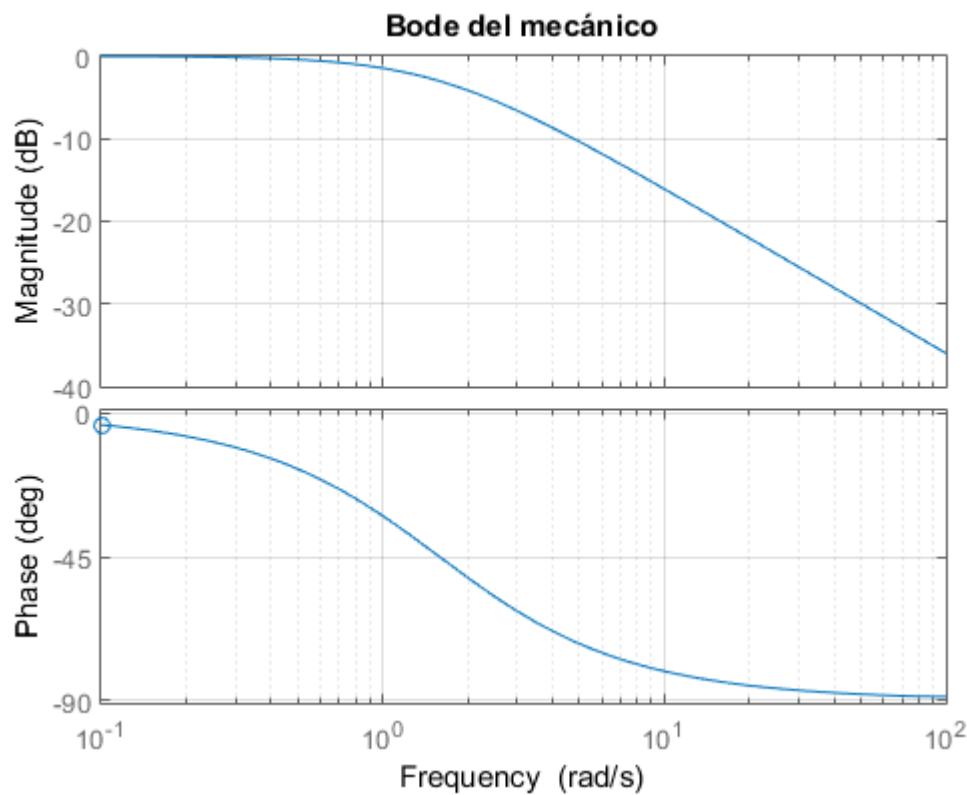
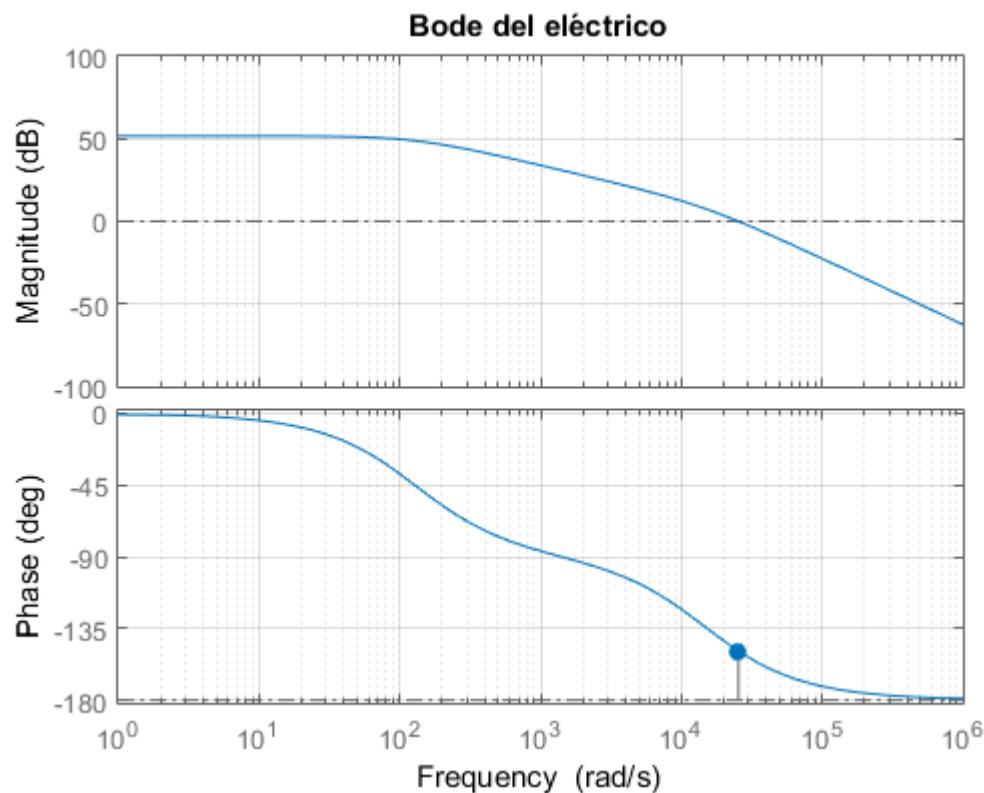


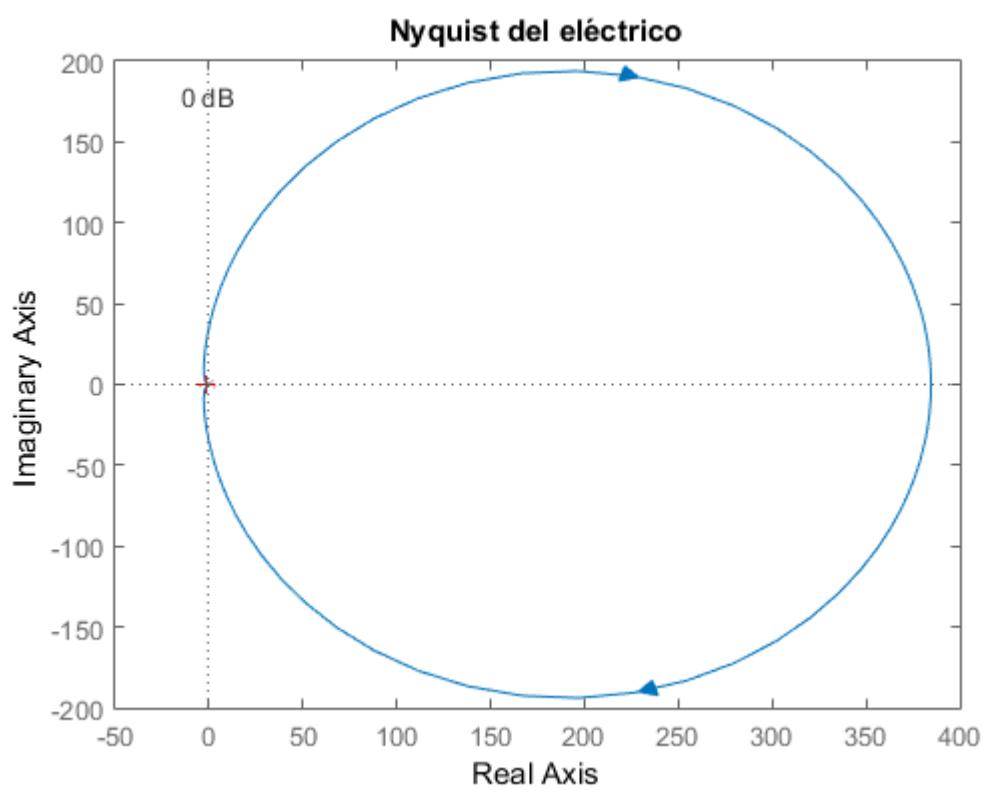
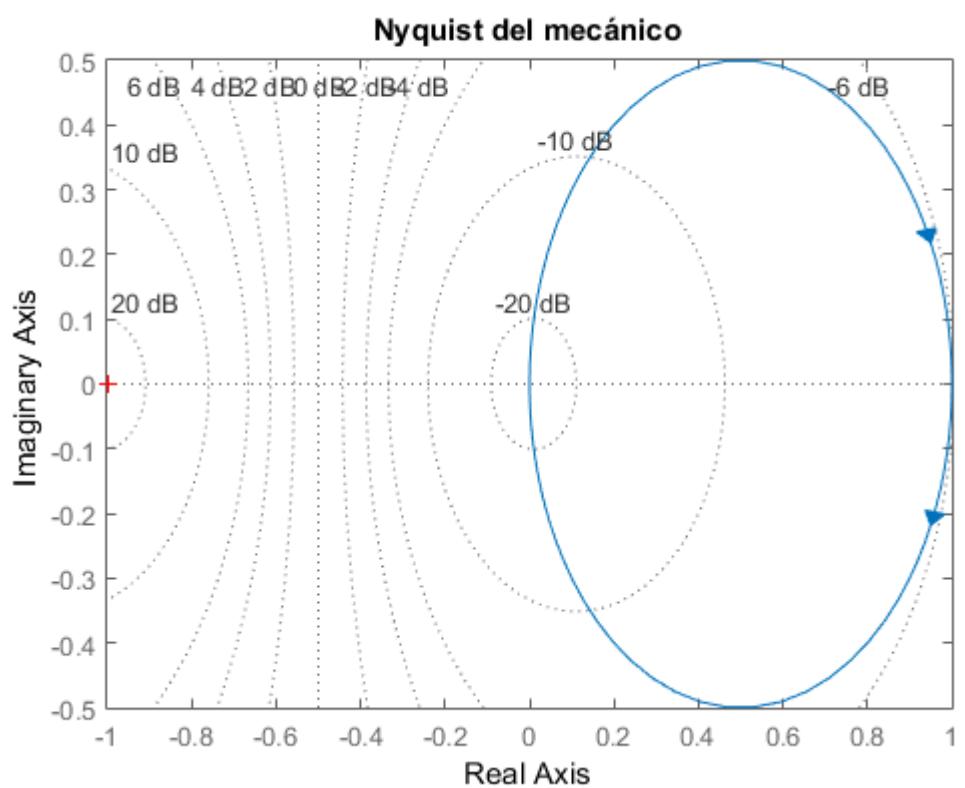
```
ans =  
-1.5892
```

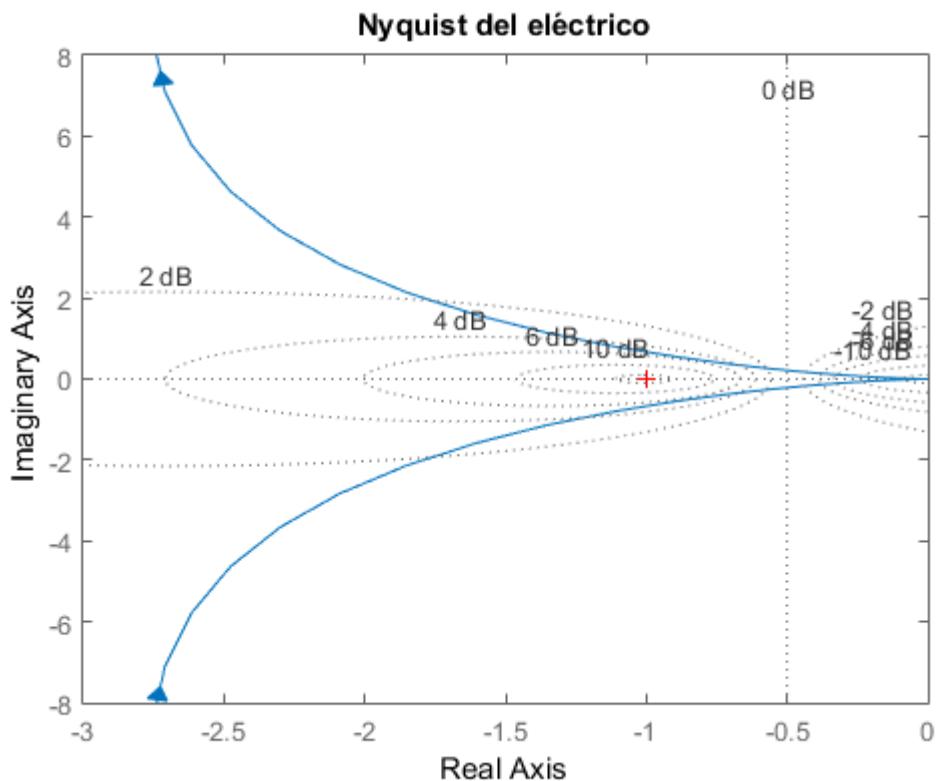
Podemos ver también que al graficar la constante de tiempo junto con la respuesta escalón del sistema mecánico, que efectivamente, se encuentra a 0.621 de la respuesta en estado estable, algo característico de la respuesta escalón de los sistemas de primer orden.



De las trazas de bode del eléctrico, el mecánico y los nyquist:







Nos es posible también, gracias a la traza de nyquist, determinar condiciones de estabilidad relativa y absoluta, con base en el barrido de frecuencias en el codominio complejo de la función analítica y univaluada que es la función de transferencia de primer orden del sistema mecánico, que al estar la trayectoria en sentido horario el punto -1, no es encerrado por la traza, lo cual implica estabilidad absoluta. Y al ver los márgenes de fase y ganancia a partir del bode se observa la estabilidad relativa.

2) Diseño y Sintonización del Controlador

El controlador del subsistema eléctrico se basó en un controlador PI, con los siguientes parámetros:

$$K_p = 20.5, T_i = 5.3$$

Para nuestro sistema mecánico queremos un margen de fase de 45° por lo tanto, como el margen de fase del sistema es -180° , le agregamos 225° , por lo cuál el ángulo de deficiencia es igual a 225° .

$$M_f = 45^\circ, \phi_D = 15^\circ$$

$$\alpha = \frac{1 + \sin(\phi_D)}{1 - \sin(\phi_D)}$$

Operaciones realizadas:

```
phi_d = 135
alfa = (1 + sin(phi_d))/(1 - sin(phi_d))
Kaux= -10*log10(alfa)
wd = (0.621 + 0.727)/2.0
T = 1/(sqrt(alfa)*wd)
Gc1 = alfa*tf([1, 1/(alfa*T)], [1, 1/T])
```

Resultados:

phi_d =

135

alfa =

1.1939

Kaux =

-0.7696

wd =

0.6740

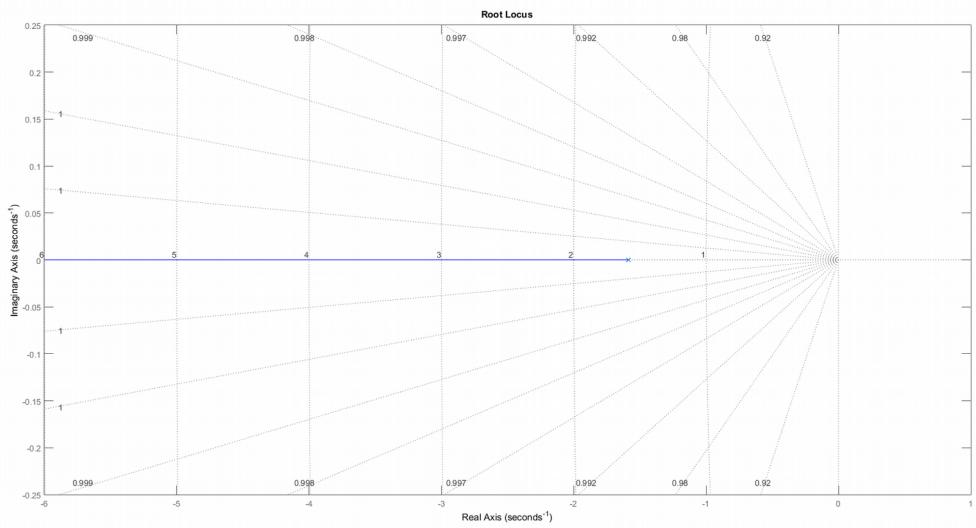
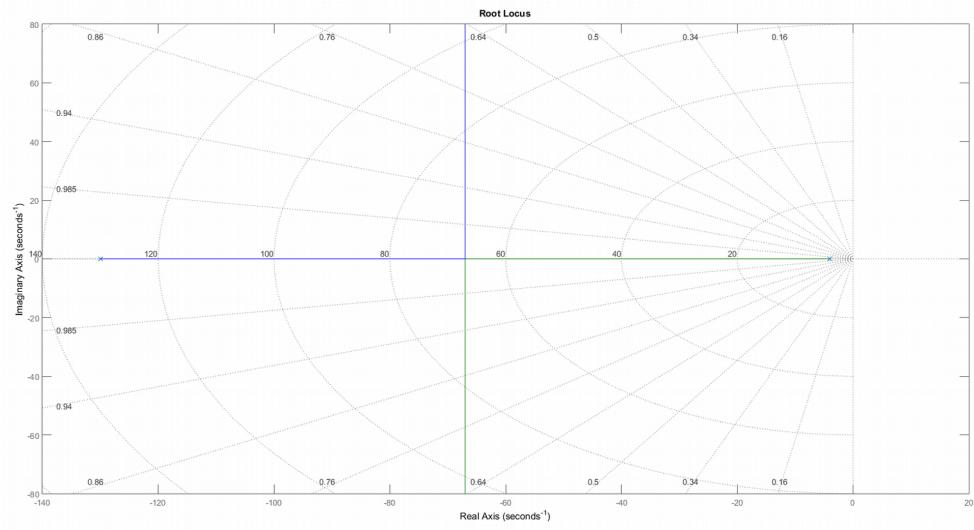
T =

1.3579

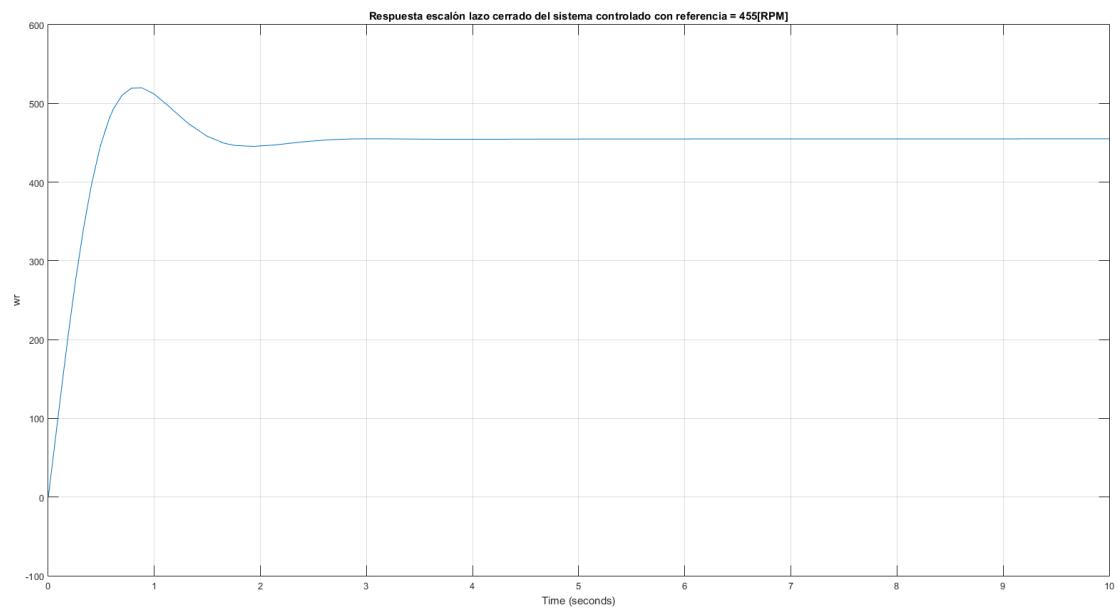
Gc1 =

1.194 s + 0.7364

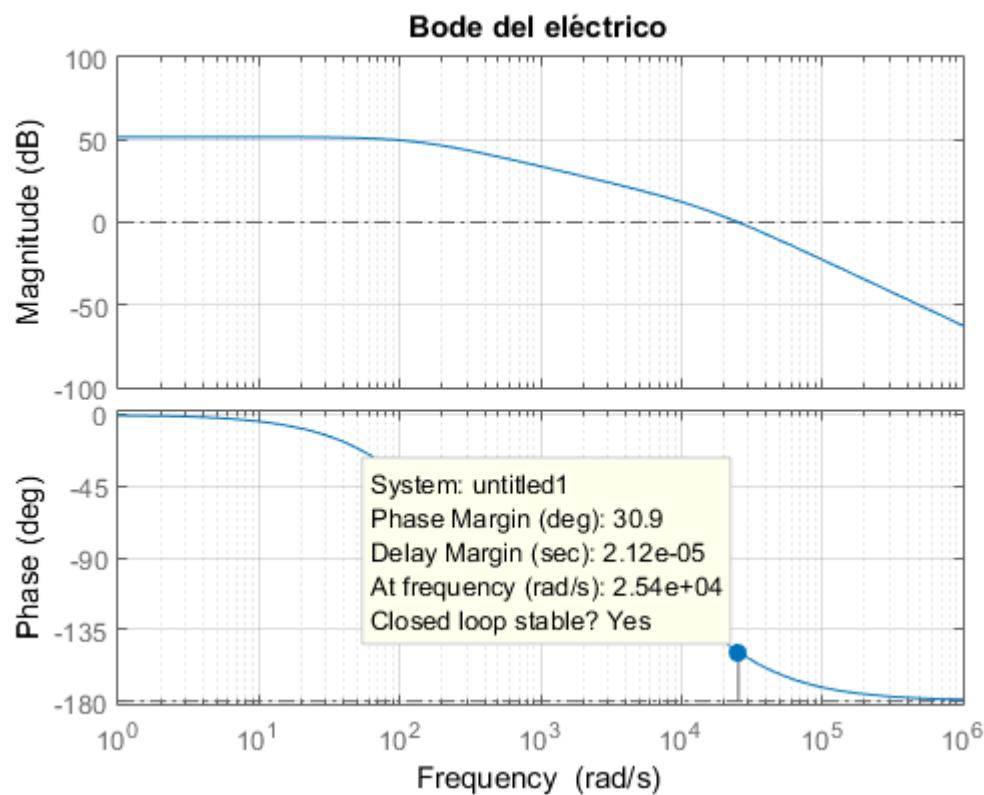
s + 0.7364

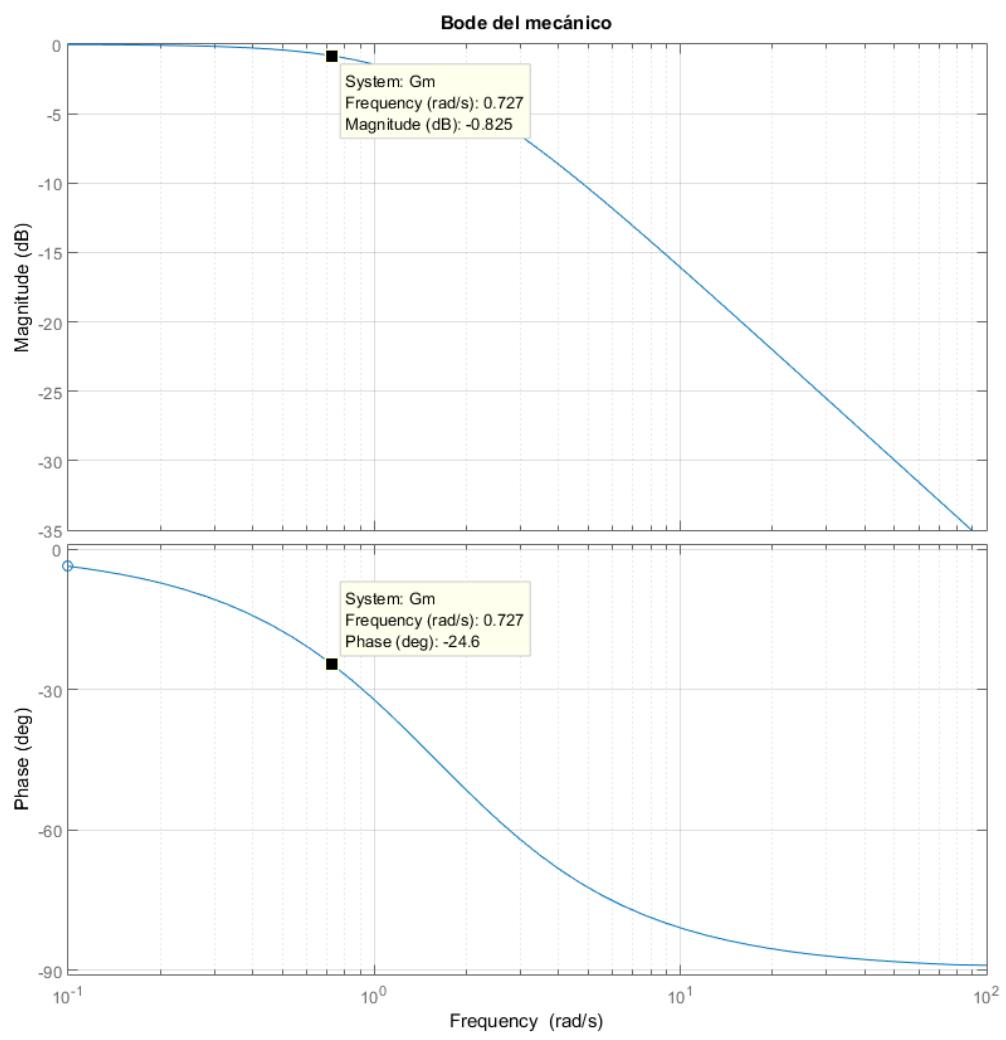


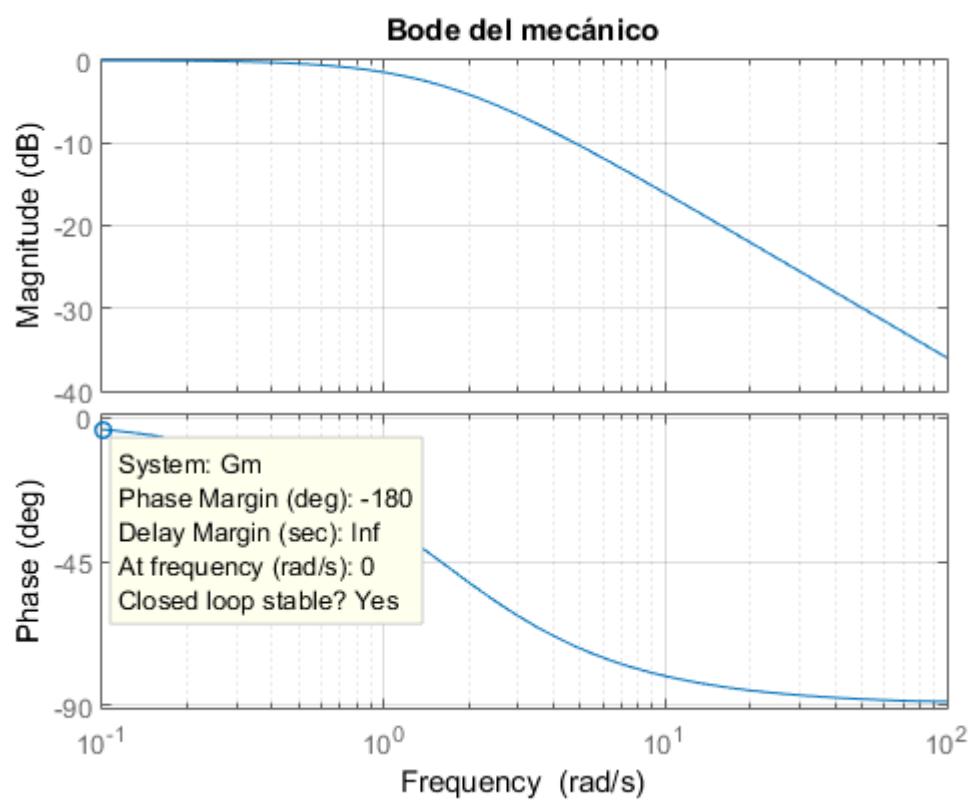
- Respuesta escalón del sistema compensado con referencia 455[rpm]:

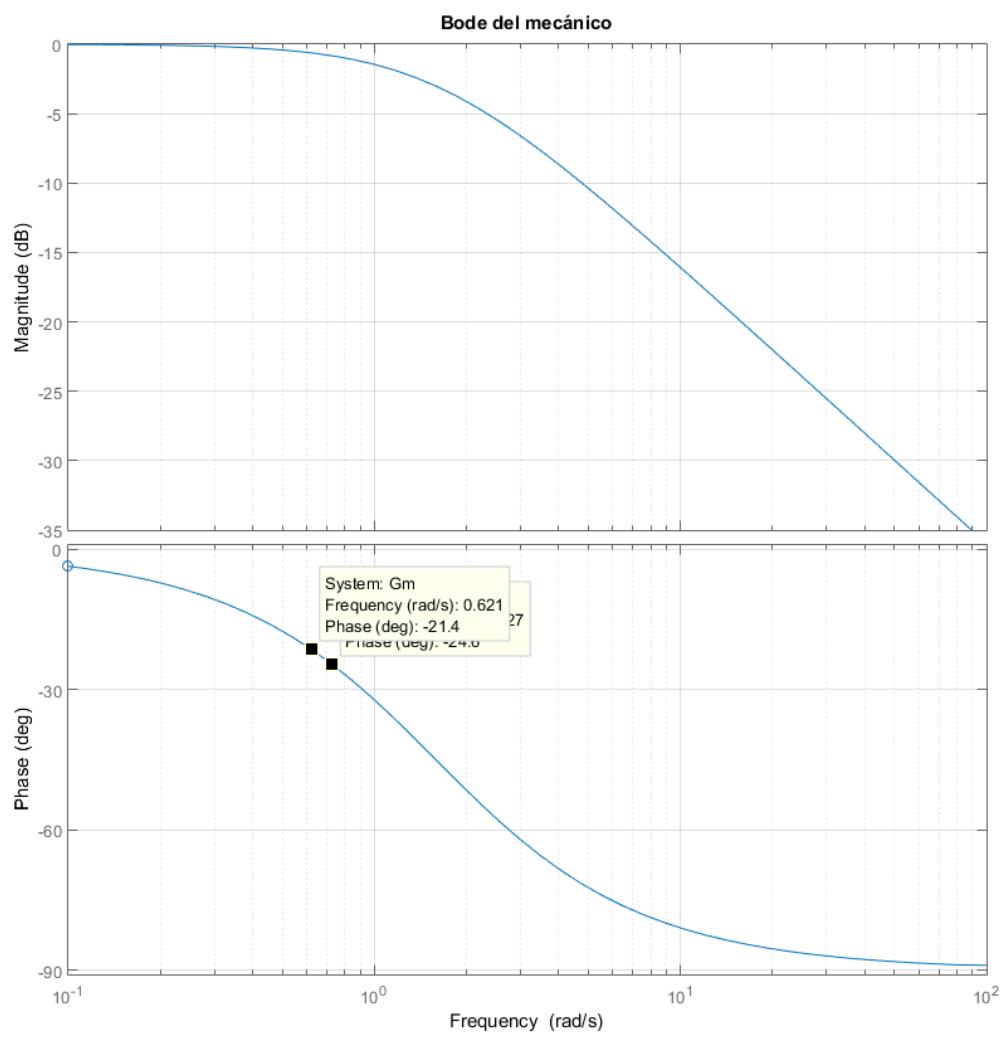


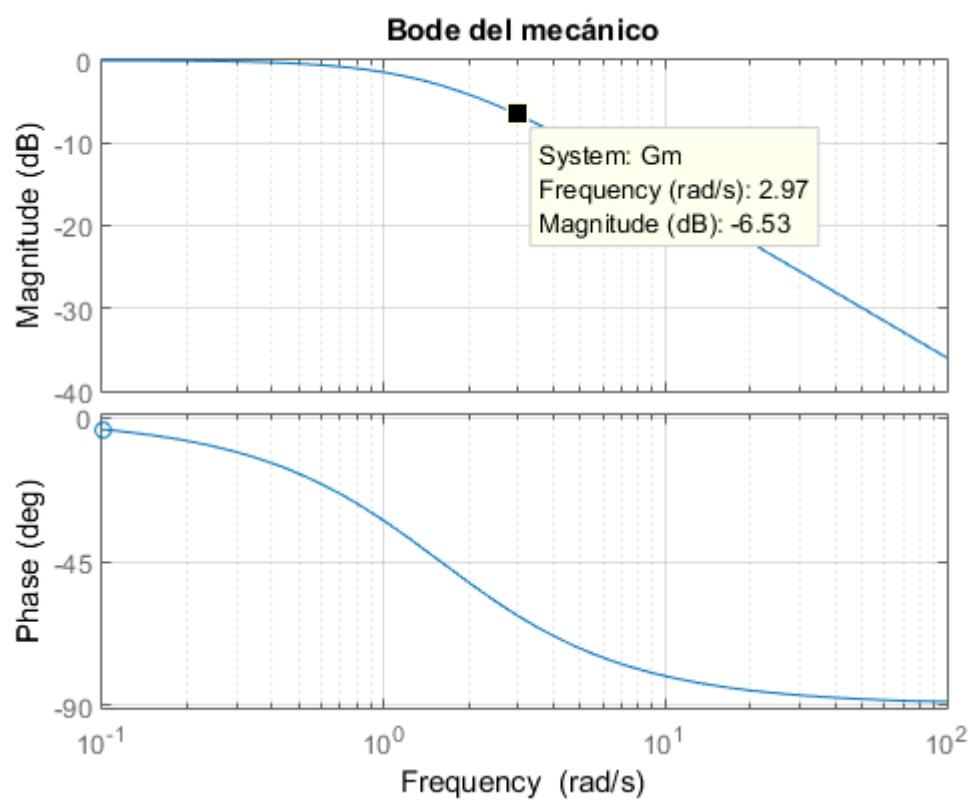
Comentario:

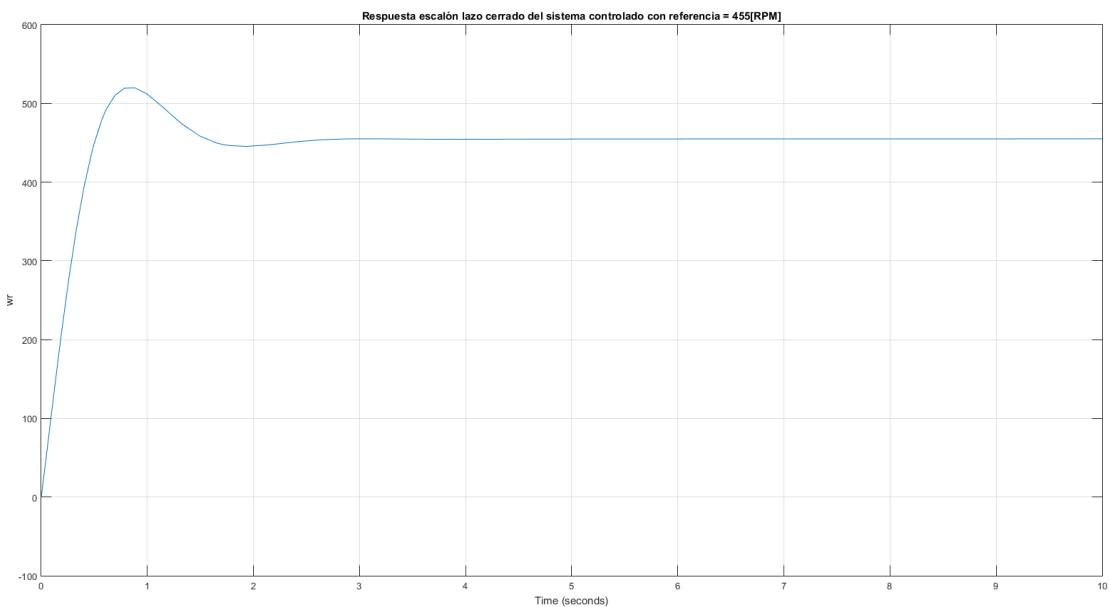






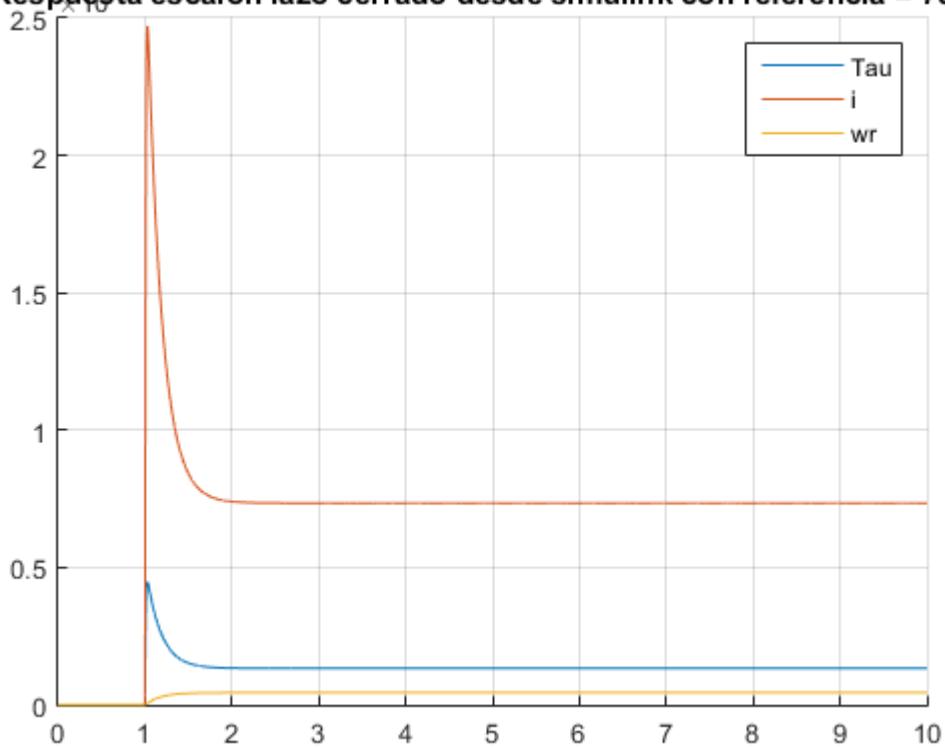






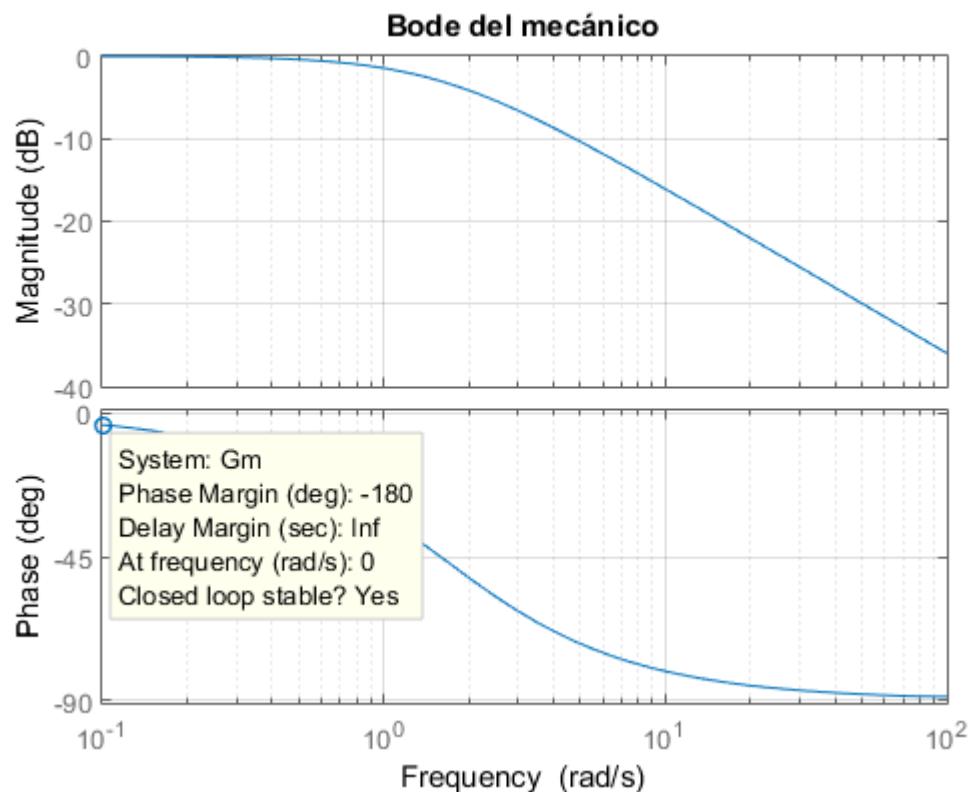
Respuesta escalón del sistema controlado.

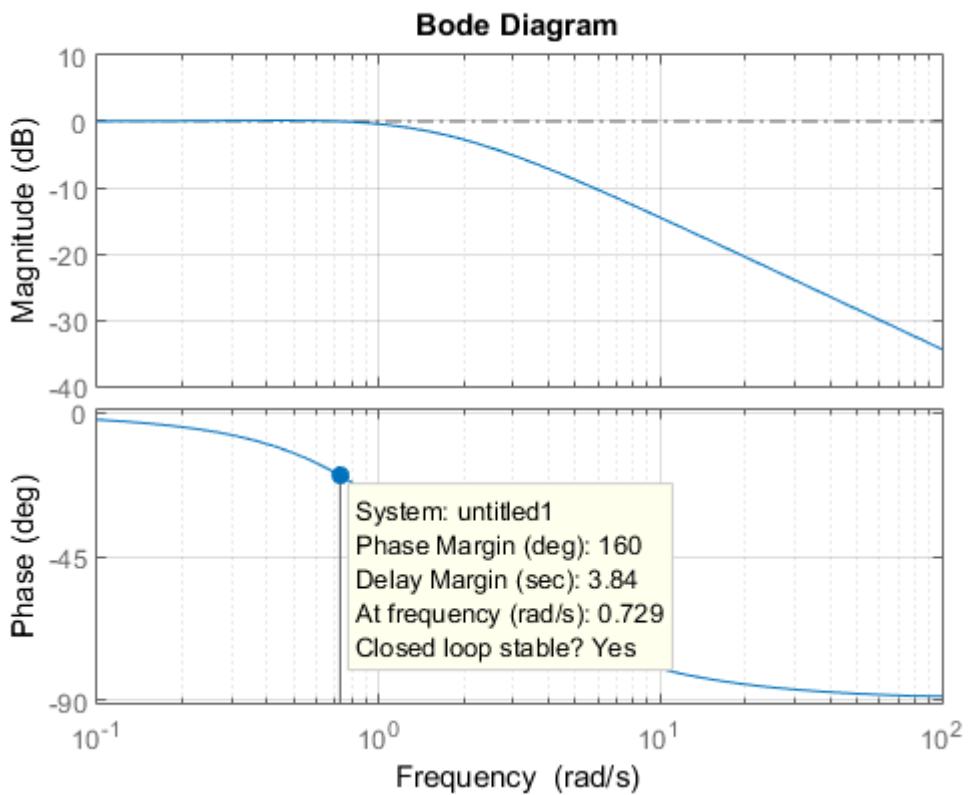
Respuesta escalón lazo cerrado desde simulink con referencia = 70[V]



Es posible apreciar cómo ha mejorado la respuesta del sistema e incluso ahora es más rápida. Nuestro controlador nos permite que el sistema sea más estable y el LGR nos hace ver a partir del análisis de estabilidad y funcionamiento del sistema la manera en la que lo hemos mejorado. Respecto al análisis de la respuesta escalón del sistema, según nuestros cálculos se consiguió un %SP = 14.06%, lo cuál bajo los estándares de sintonización de Zeigler-Nichols cumple con las especificaciones.

En el caso de la estabilidad relativa, a partir del los bodes y nyquist del sistema con y sin compensador:





Se puede ver como cambió el margen de fase, y hubo fallos que no nos pudimos explicar al final, sin embargo es interesante ver como el sistema si está siendo controlado de una u otra forma, aunque tal vez no de la forma más eficiente.

