

Ejercicio 1 (4 puntos). Dado el sistema físico conocido como “pelota sobre barra” cuya función de transferencia es:

$$G = \frac{mdg}{L \left(\frac{J + mR^2}{R^2} \right) s^2}$$

Con parámetros

$m=0.1$;

$R=0.015$;

$g=-9.8$;

$L=1$;

$d=0.03$

$J=10^{-6}$

Cada ítem se evalúa como 2.5/10 si se usó el sistema con gravedad positiva se reduce a 1/10 el primer ítem

Haciendo uso de las herramientas de diseño y análisis de Matlab. Diseñar un controlador que el sistema presente un tiempo de establecimiento menor a 3 segundos y un pico Máximo inferior al 5%

- a) Analice el lugar de las raíces del y exponga los criterios de selección del controlador en función de las diferentes gráficas y datos que considere relevantes.

```
close all;
clear

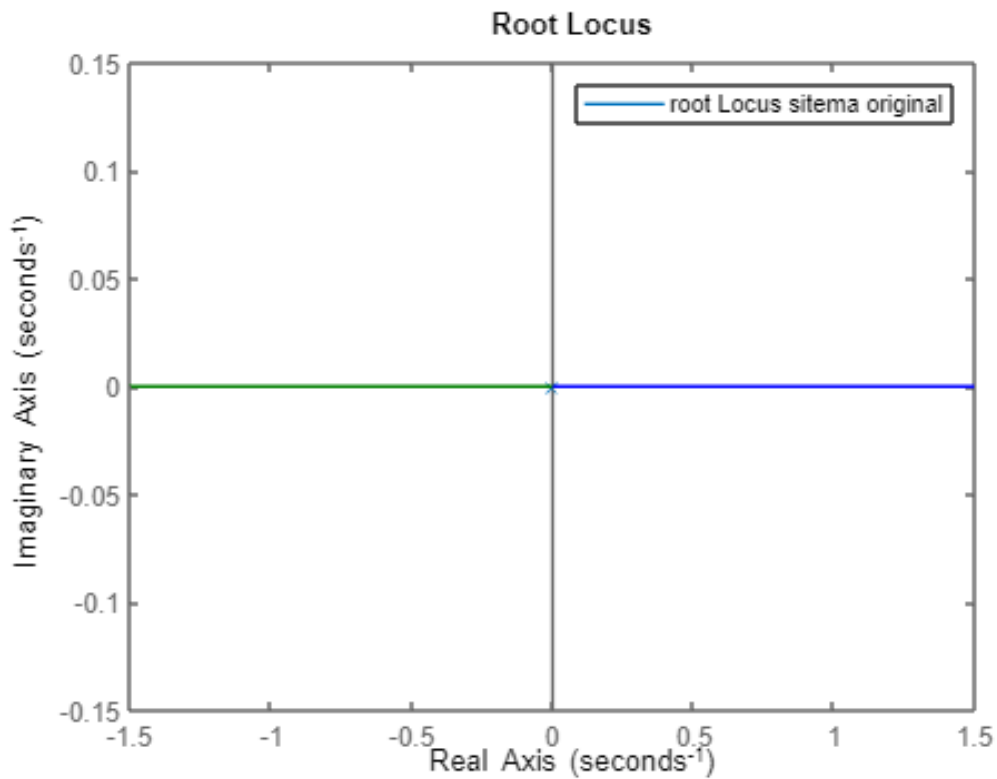
m=0.1;
R=0.015;
g=-9.8;
L=1;
d=0.03;
J=10^(-5);
G=tf(m*g*d/(L*(J/R^2 + m)), [1 0 0])
```

```
G =

    -0.2035
    -----
         s^2
```

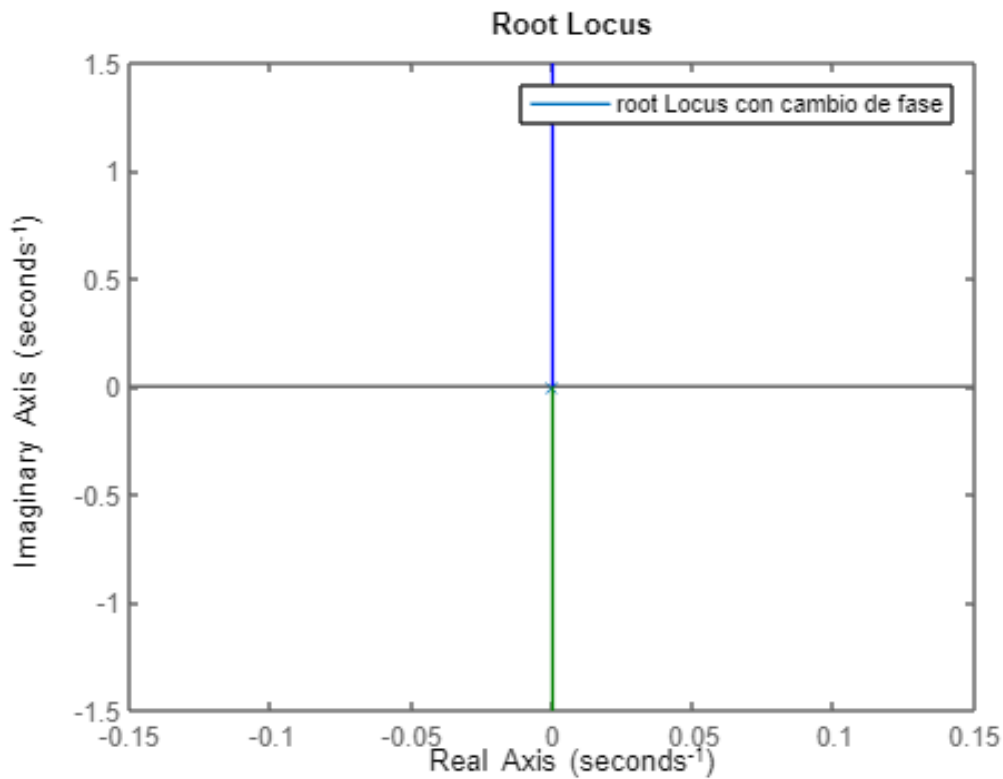
Continuous-time transfer function.

```
rlocus(G); legend('root Locus sistema original')
```



En este ejercicio, vemos que el root locus no es el habitual de acuerdo a las normas de construcción dadas, si vemos por ejemplo la existencia del sistema sobre el eje real vemos que en este caso la existencia se da desde menos infinito a mas infinito siendo el punto de encuentro el doble integrador (dos polos en el origen). Este comportamiento se debe a la ganancia negativa del sistema. Para comprobarlo, podemos realizar el rlocus de $-G$ y ver si el diagrama obtenido es mas afin con los diagramas estudiados con anterioridad.

```
rlocus(-G); legend('root Locus con cambio de fase')
```



En este caso, vemos que tenemos dos asintotas con ángulos de $\pm 90^\circ$ y que la existencia sobre el eje real es solo en 0, que es un diagrama más conocido. Desde el punto de vista del control, tenemos que el sistema tiene una inversión de fase (cambia el signo de la entrada) por lo que es necesario corregir dicha inversión al cerrar el lazo de realimentación.

Opción de control 1. PD con ganancia negativa, Con esta opción corregimos desde el controlador el cambio de fase y solo tenemos que alterar el rlocus de la segunda gráfica con un derivador. La posición se hallará gráficamente

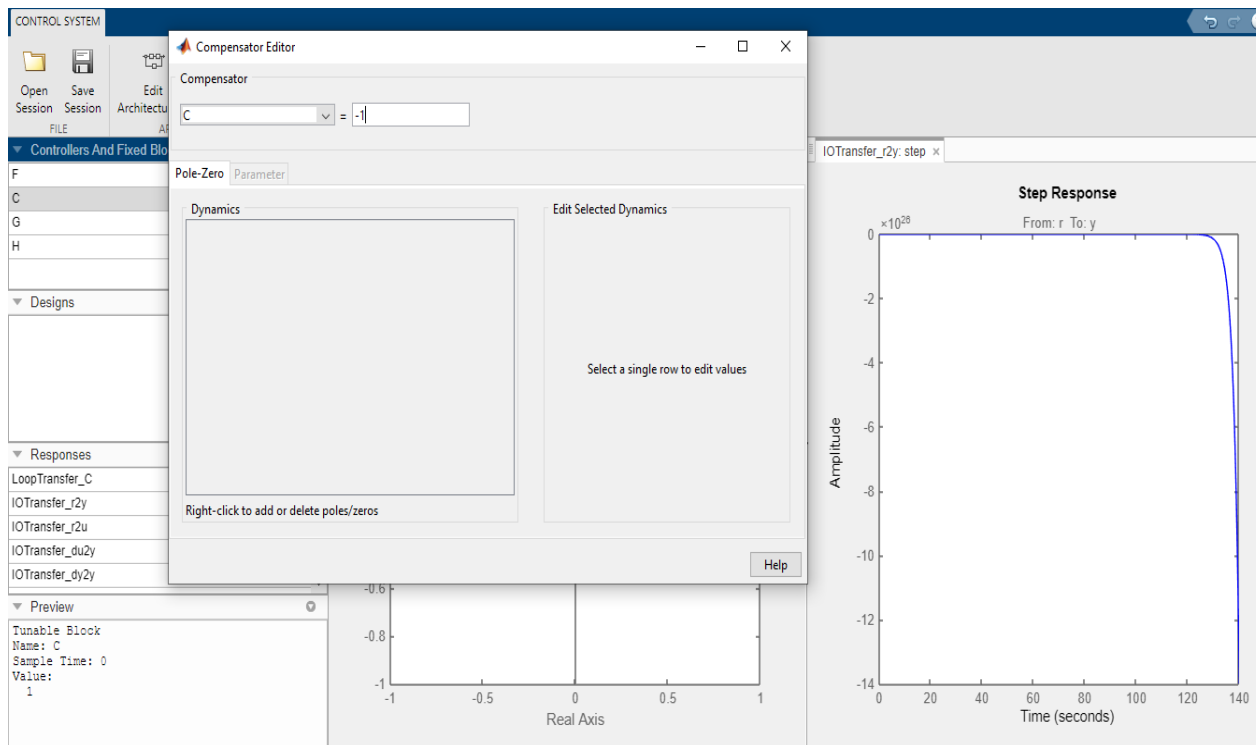
Opción de control 2 PD con ganancia positiva y $H=-1$, En esta opción se corrige el cambio de fase en la comparación del error, entonces el sistema convergerá a $-\text{Kerror} \cdot \text{ref}$ donde Kerror es la ganancia de error en estado estacionario y R la referencia.

- b)** Diseñe el controlador del tipo seleccionado y expongo las gráficas que considere necesarias incluyendo, LDR, respuesta paso, y una captura de pantalla del ambiente RLTOOL donde se vea claramente el tipo de herramientas de calibración utilizadas. (para el ajuste del controlador y para los criterios de diseño).

```
rltool(G);
```

Controlador tipo PD con ganancia negativa.

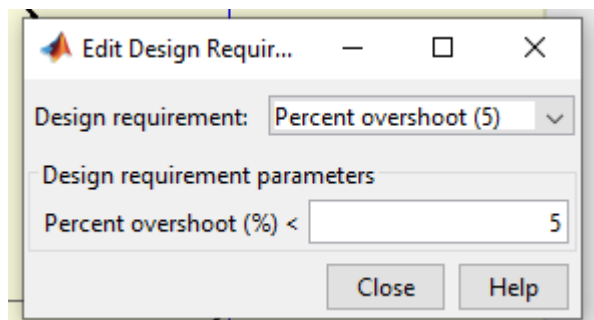
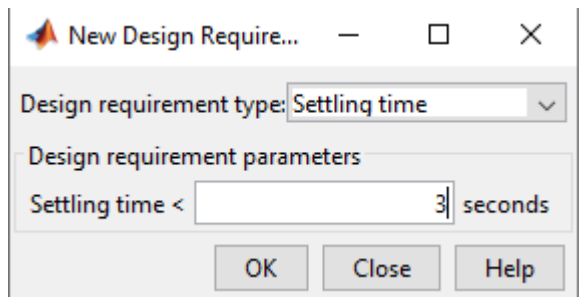
Abrimos rtool,selleccionamos el controlador C y damos una ganancia -1



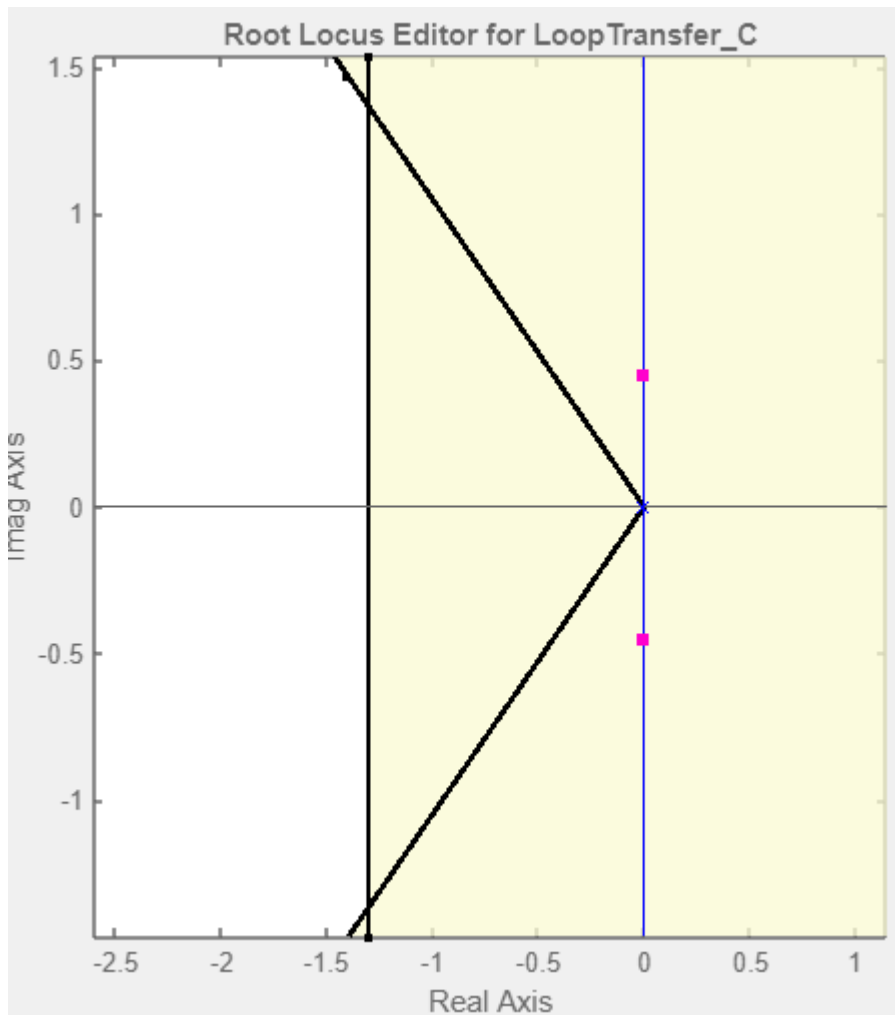
con ello, obtenemos la inversión de fase y podemos determinar la ubicación del zero

click secundario sobre el rlocus y seleccionamos design requirements-> new, settling time 3 s

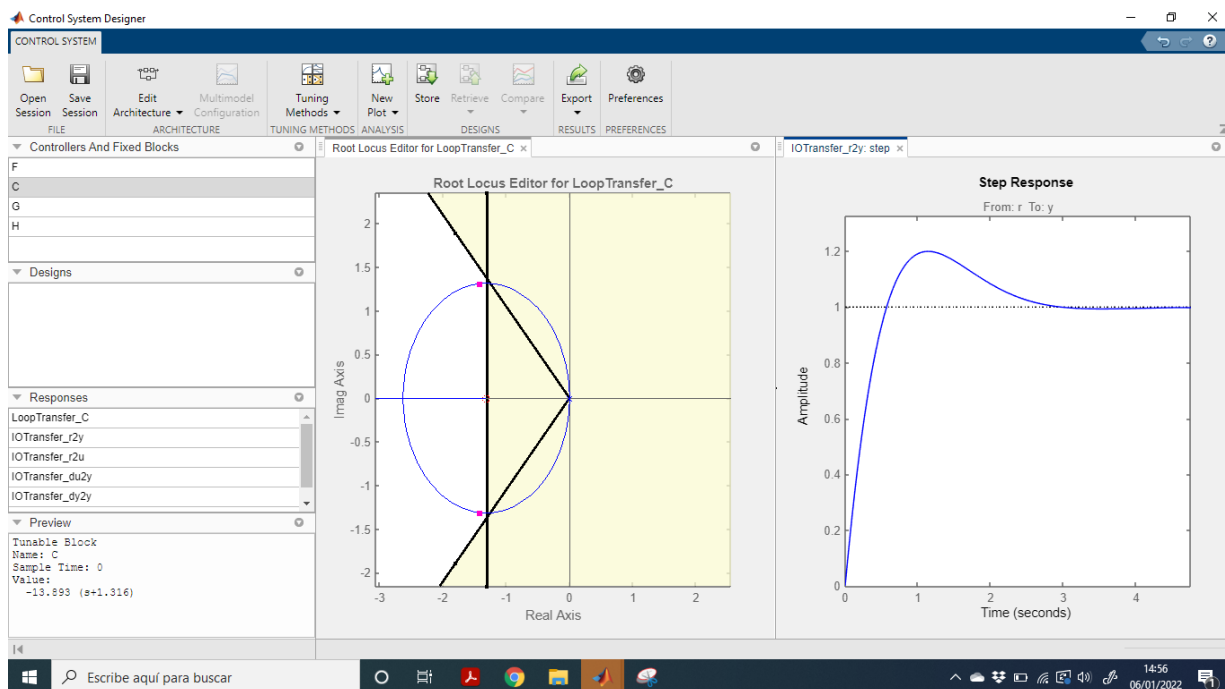
click secundario sobre el step o rlocus y seleccionamos design requirements->new, peak 5%



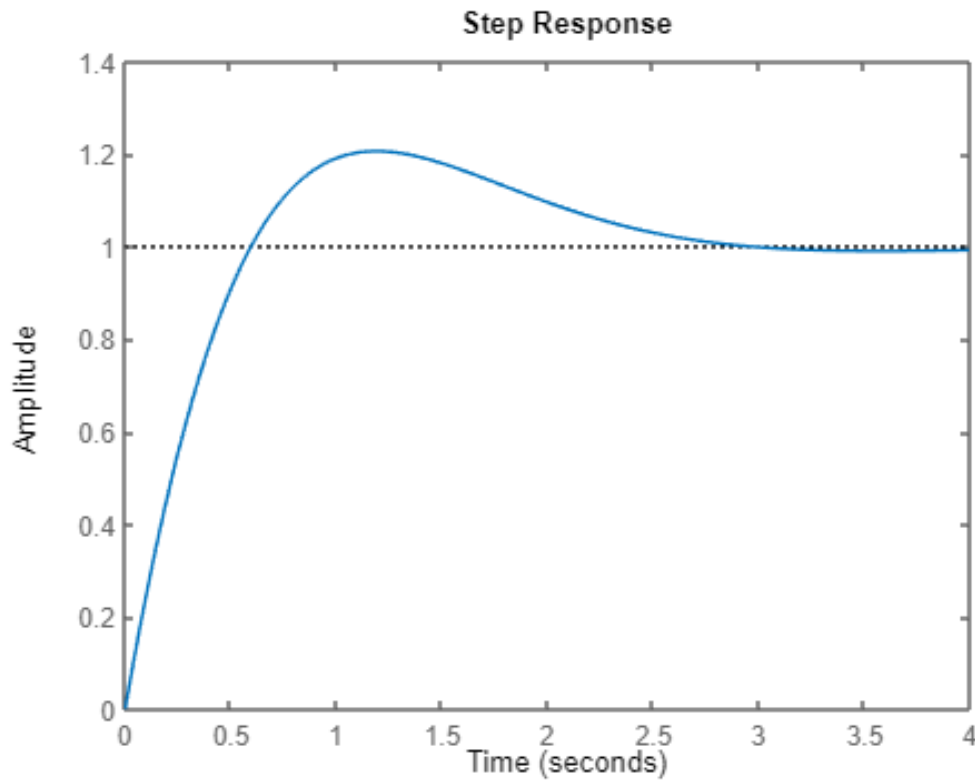
Con ello obtenemos los criterios graficos de diseño



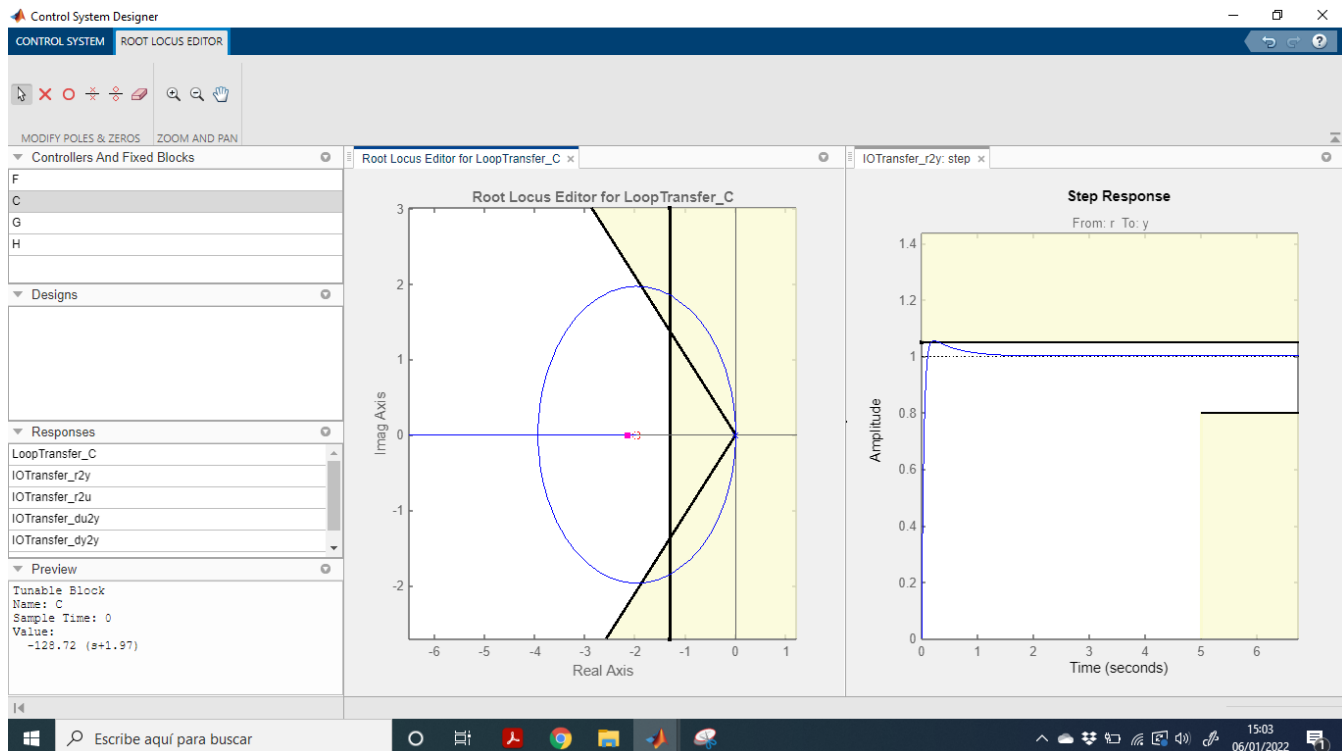
En el rootlocus editor agrego un cero tal que el sistema pase por la zona de diseño. y posteriormente modificamos la ganancia arrastrando los polos en magenta hasta dicho punto



```
C=tf(-13*[1 1.316],1);
step(feedback(G*C,1));
```

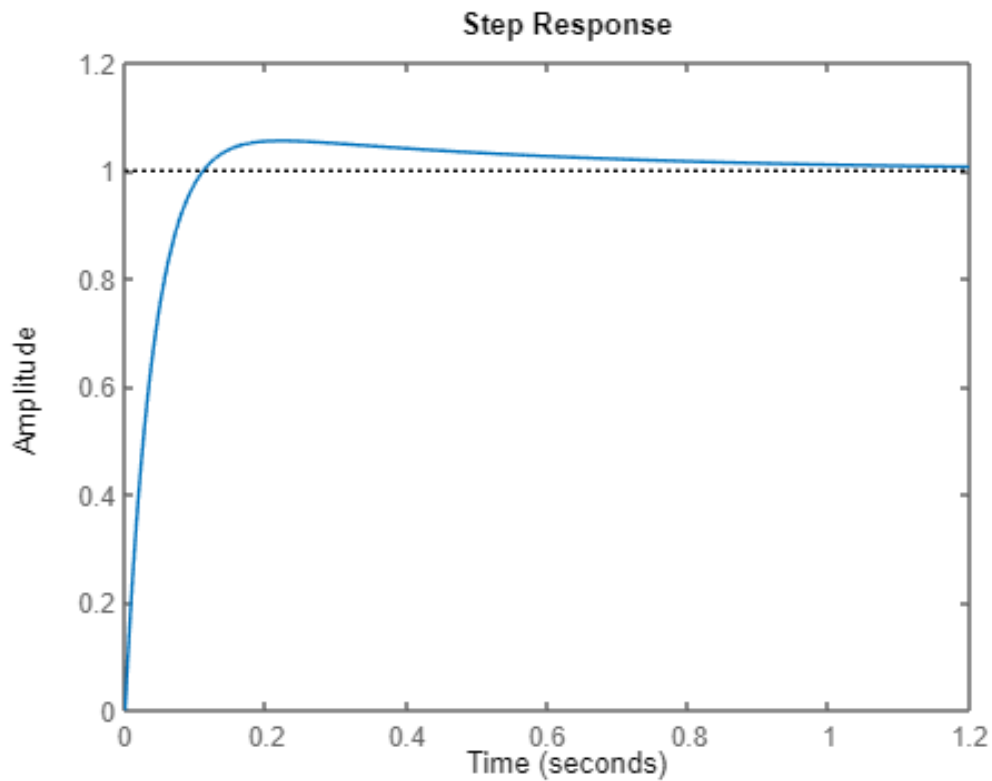


Si no estamos conformes con la respuesta paso obtenida (sobrepico mayor al 5%), podemos modificar la ubicación de los polos a placer. Por ejemplo



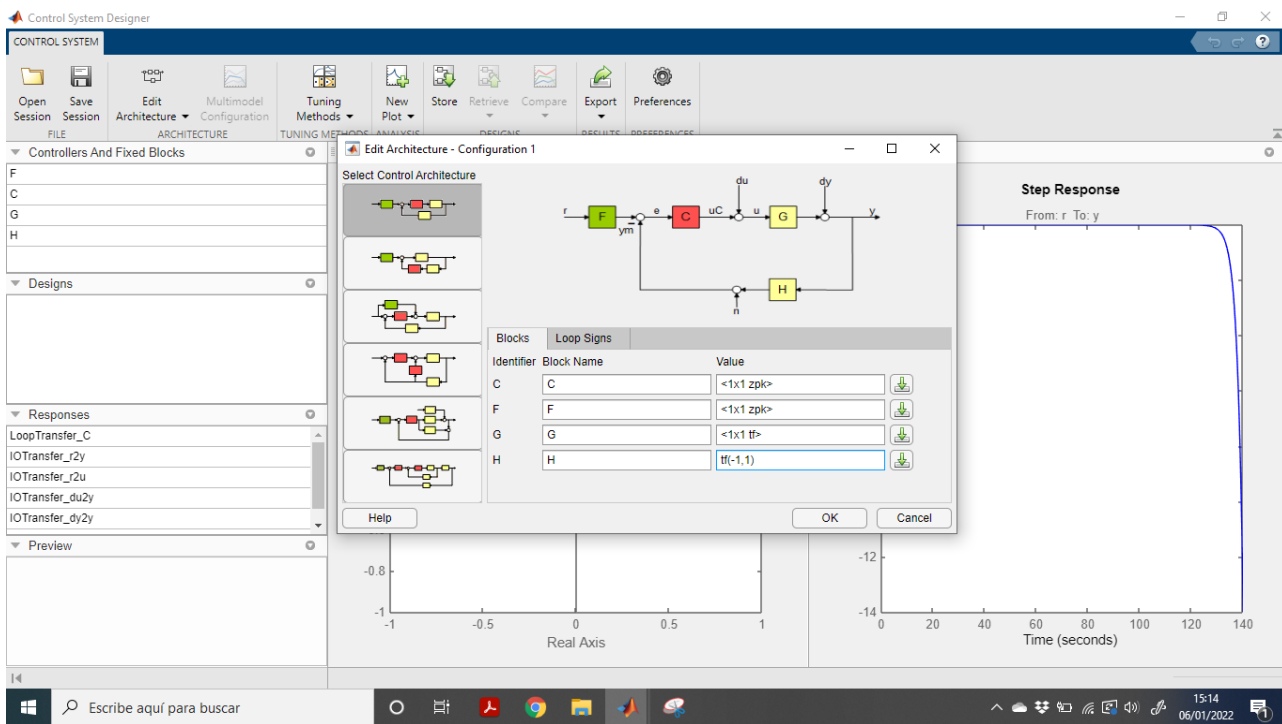
Ambas soluciones son diseños graficos adecuados y aceptados.

```
C=tf(-128*[1 1.97],1);  
step(feedback(G*C,1));
```

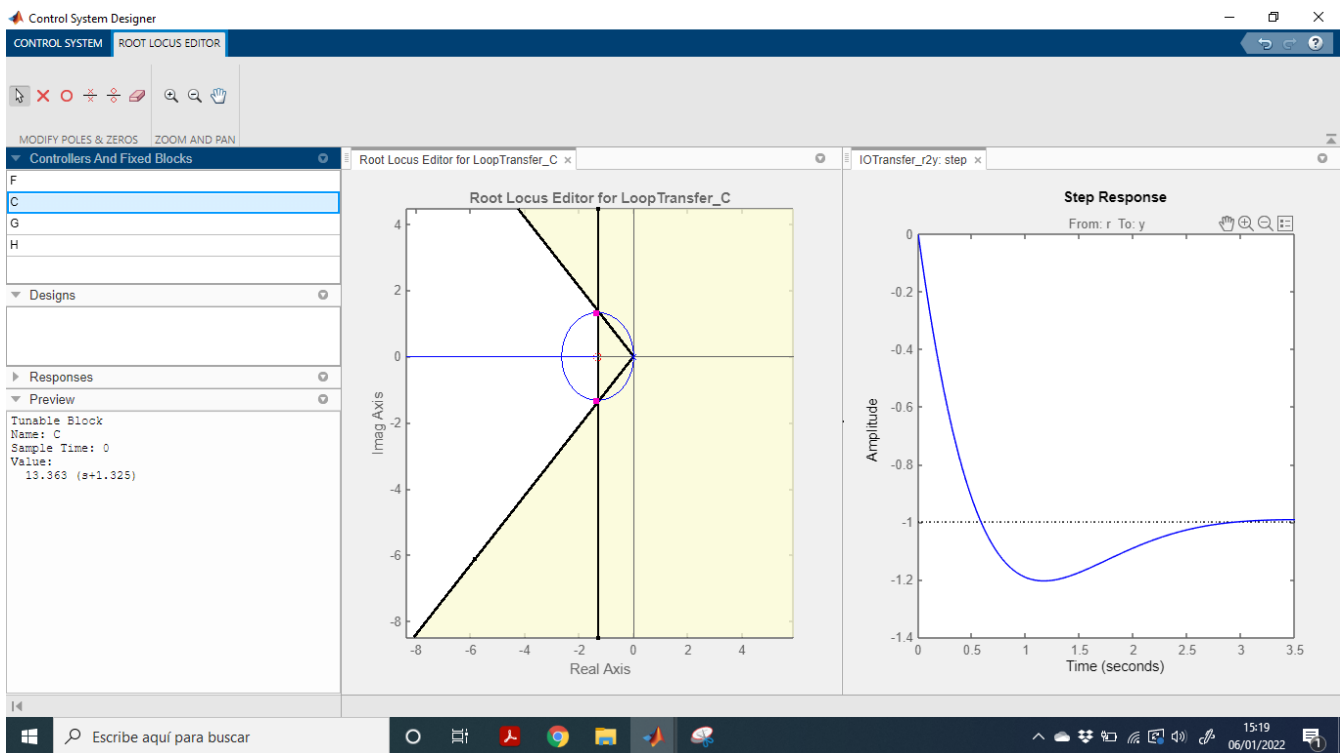


Controlador PD con corrección de fase en H

Abrimos rtool, click en edit architecture y en H tf(-1,1) y ok, con ello el error negativo será persivido como positivo, y tendremos la inversión de fase en la comparación. Esto quiere decir que nuestro controlador tendra fase invertida de salida



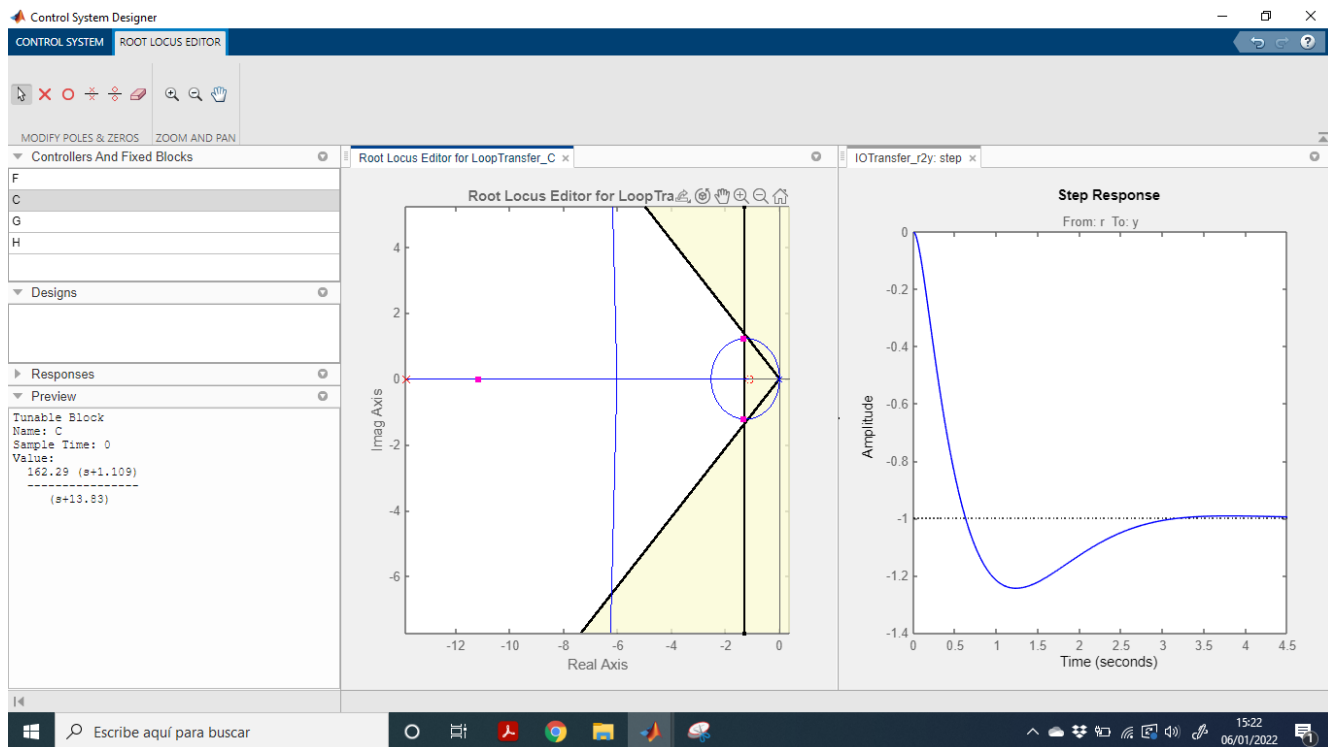
Diseñamos el controlador como un PD usando los criterios de diseño como se mostro en el primer caso



Note que la respuesta paso esta invertida pero tanto los parametros de diseño como la ubicación de cero y su ganancia (excepto por el signo) son equivalentes al caso de diseño 1.

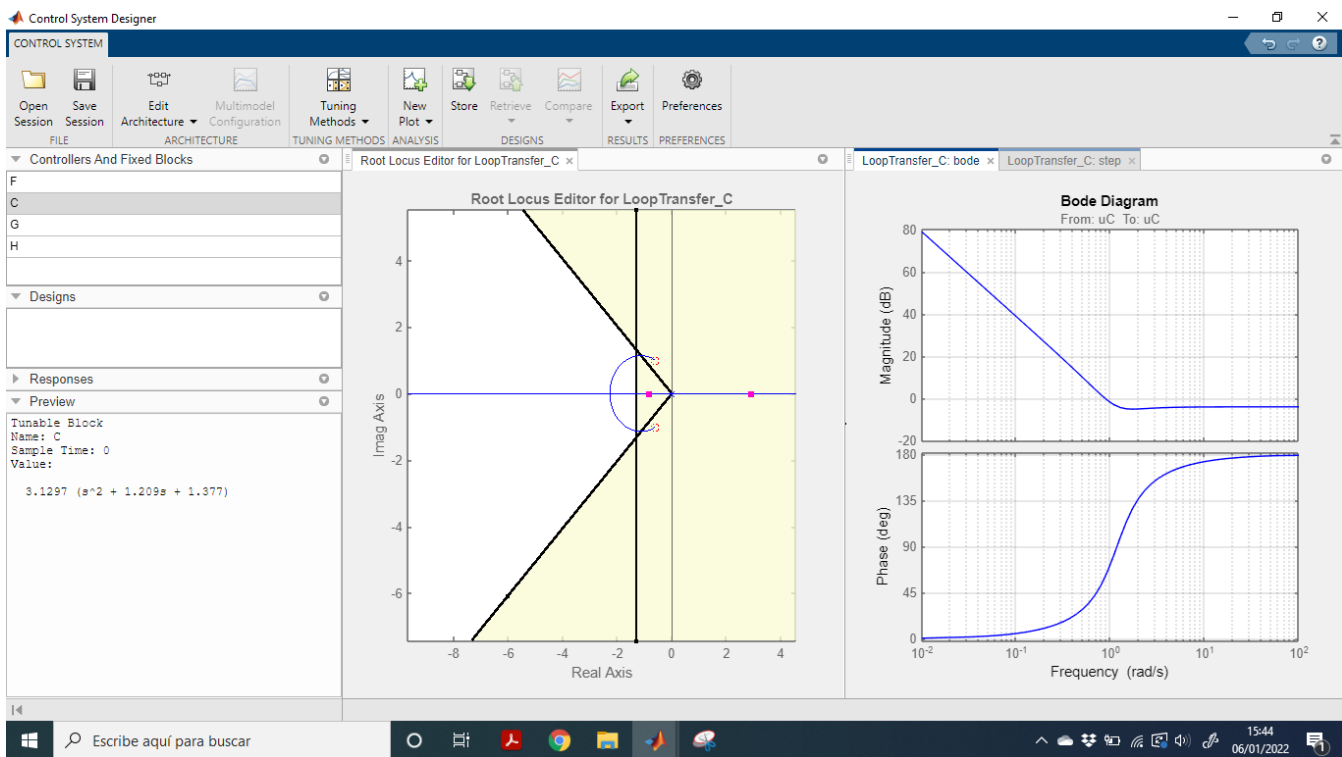
Los controladores expuestos son controladores derivativos puros y su implementación real puede dar lugar a problemas, normalmente se deben implementar mas polos que ceros asegurando causalidad del sistema. PARA ello podemos agregar un polo lejos del punto de operación del sistema

por ejemplo

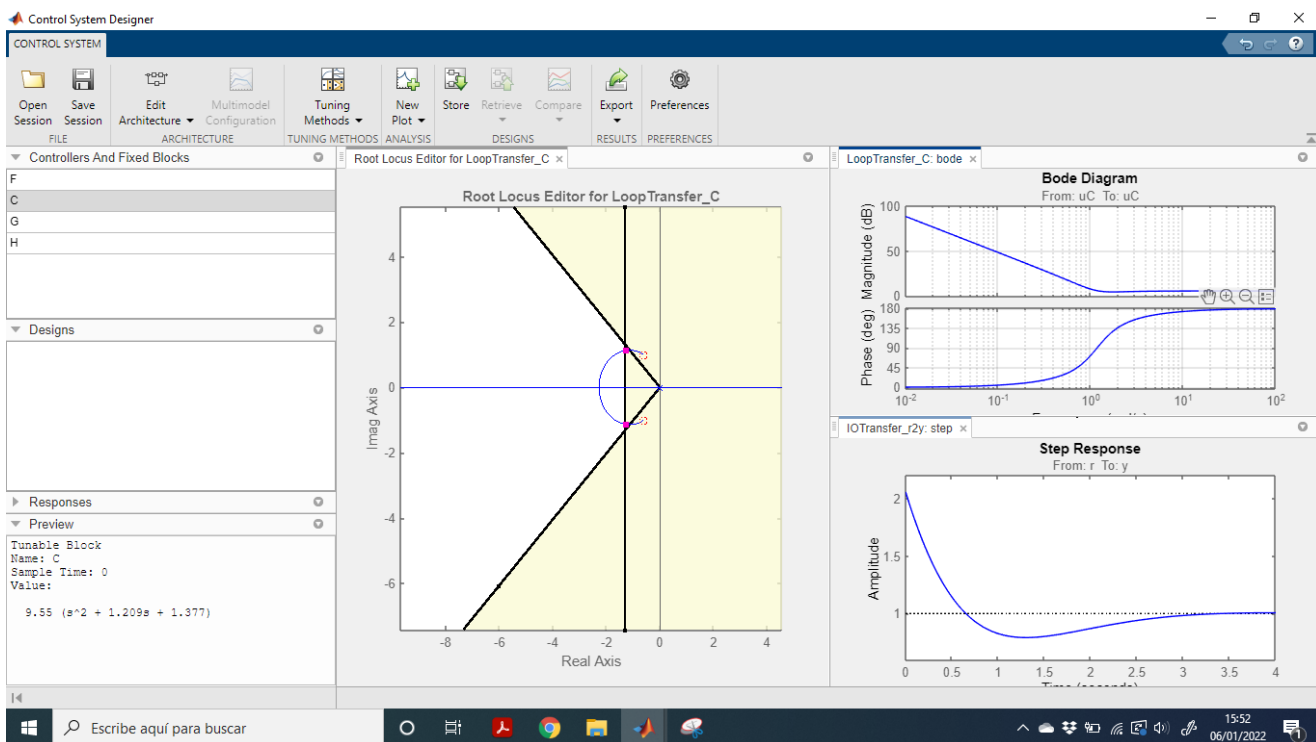


Otra opción de diseño pero cuya implementación puede resultar inviable y cuyo comportamiento no es previsible es poner dos ceros complejos conjugados (Implementar esto es posible pero no trivial), y aumentar la ganancias hasta que la rama inestable se estabilice. Lo cual ocurrira coando la ganancia del sistema sea tal que el bode de magnitud tenga ganancias mayores a cero para todas las frecuencias (inversion de fase)

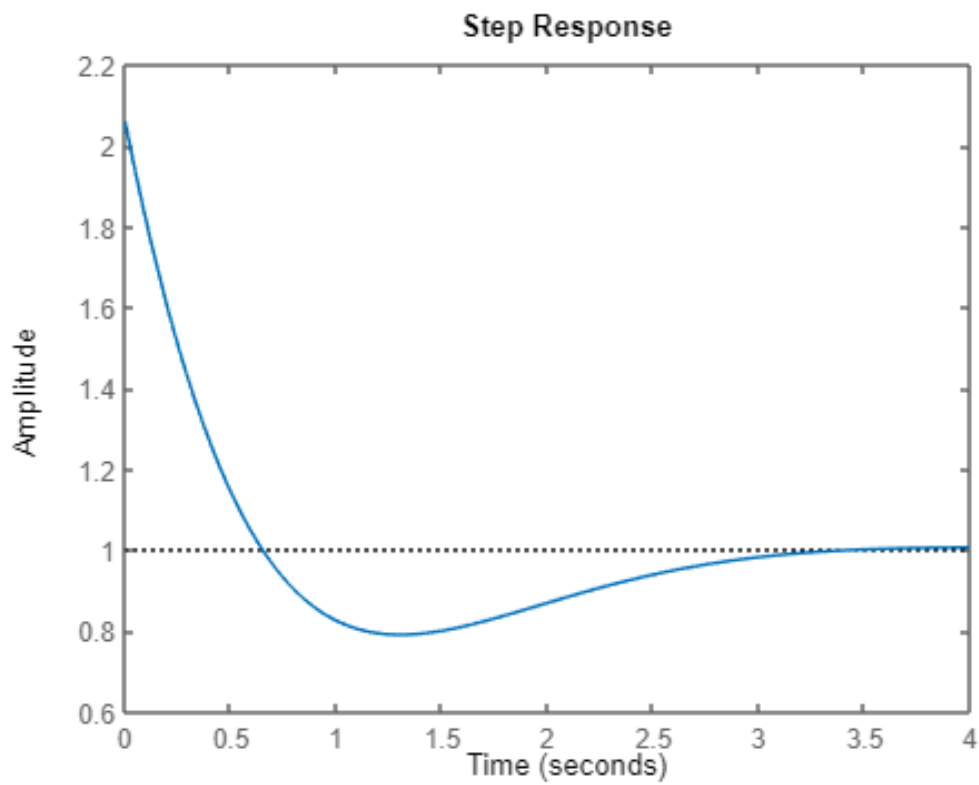
Con una ganancia insuficiente vemos que el sistema es inestable y en el bode de magnitud la ganancia puede ser menor a cero en db



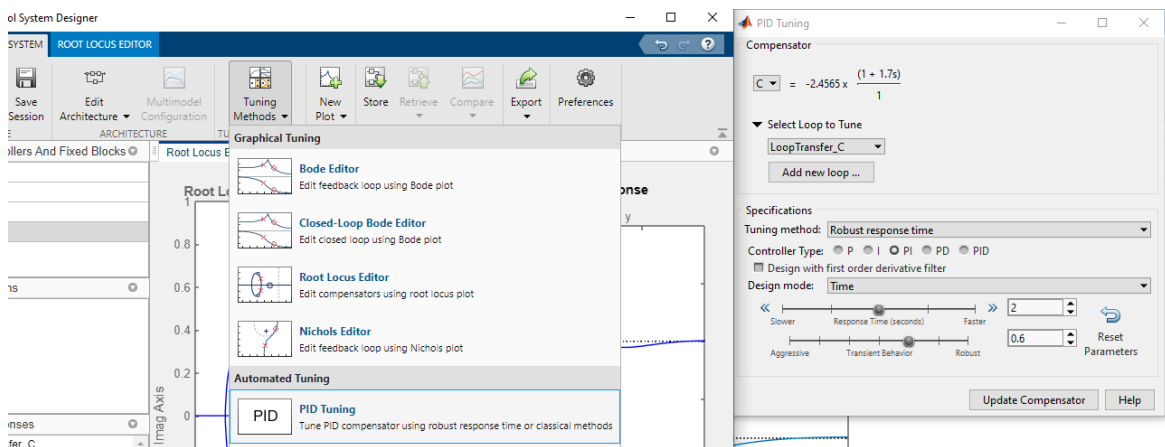
Cuando subimos la ganancia el bode de magnitud cambia y estabilizamos el sistema. Si bien el sistema es estable observamos un impulso en la respuesta paso (Este tipo de impulsos queman los sistemas y dañan los actuadores). pues comienza no en cero sino en otro valor



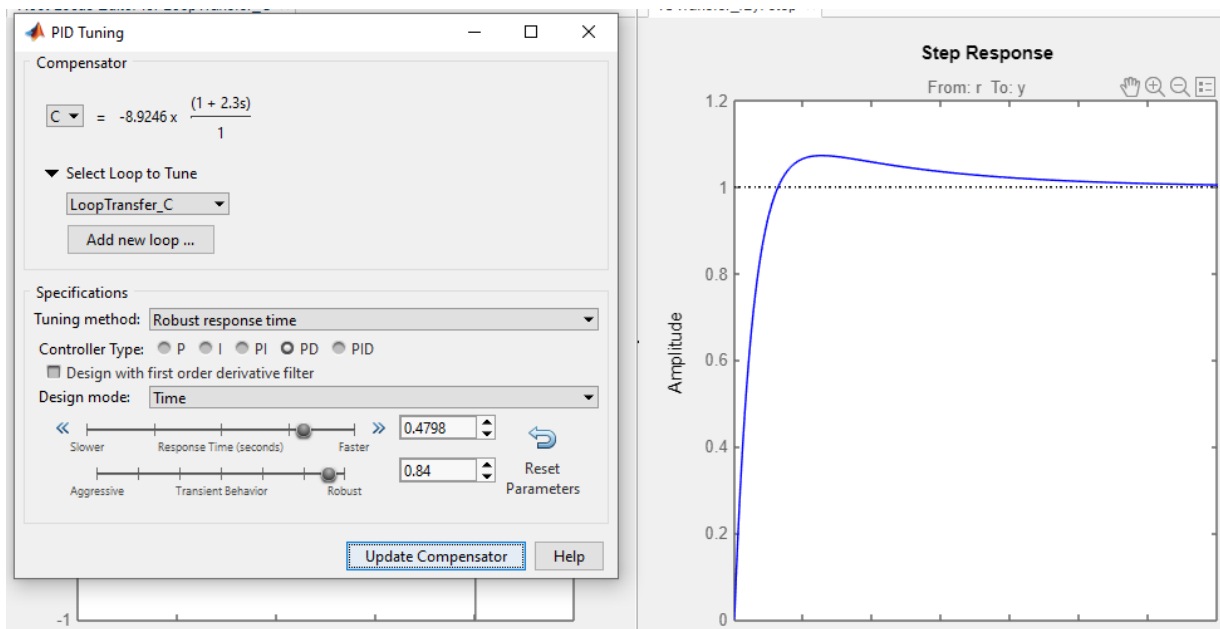
```
C=tf(9.55*[1 1.209 1.377],1);
step(feedback(G*C,1));
```



Finalmente, usando PID tuning también era posible obtener una solución directa al problema



por ejemplo

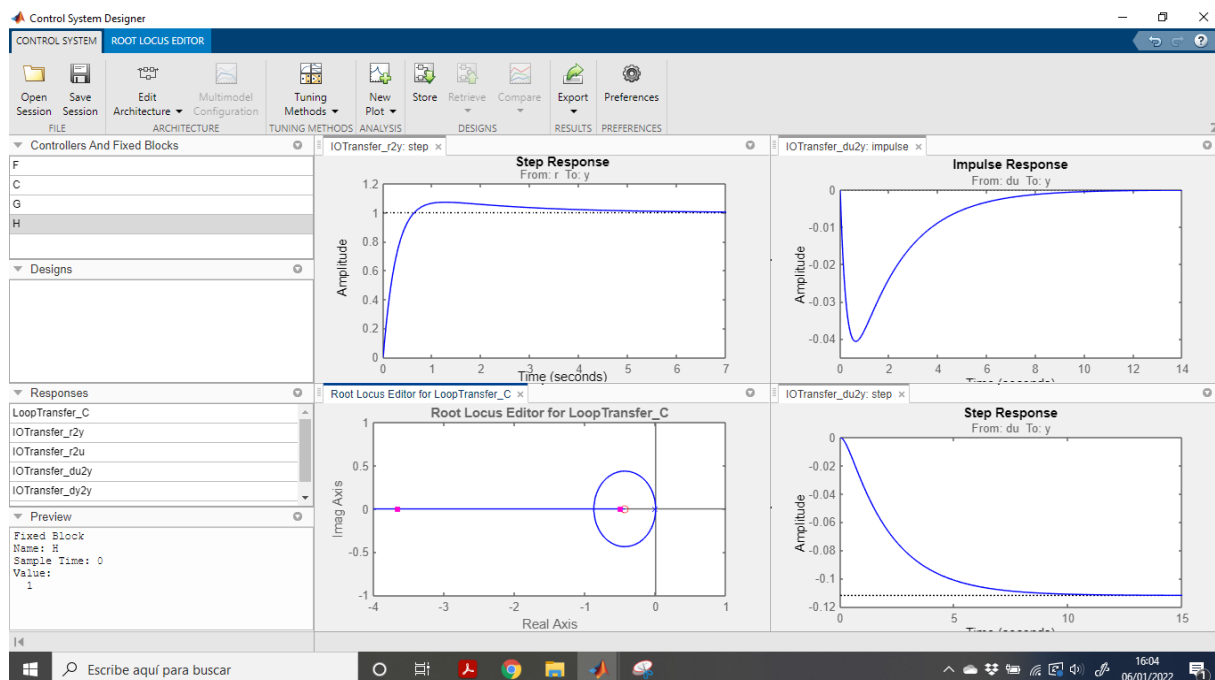


c) Analice la respuesta del sistema en lazo cerrado frente a una perturbación de tipo impulso y tipo paso

Para ello agregamos una nueva figura tipo impulse/step desde la perturbación u a la salida y en el rttool (usaré en ultimo controlador).

newplot->new impulse y seleccione OITransfer_du2y -> plot

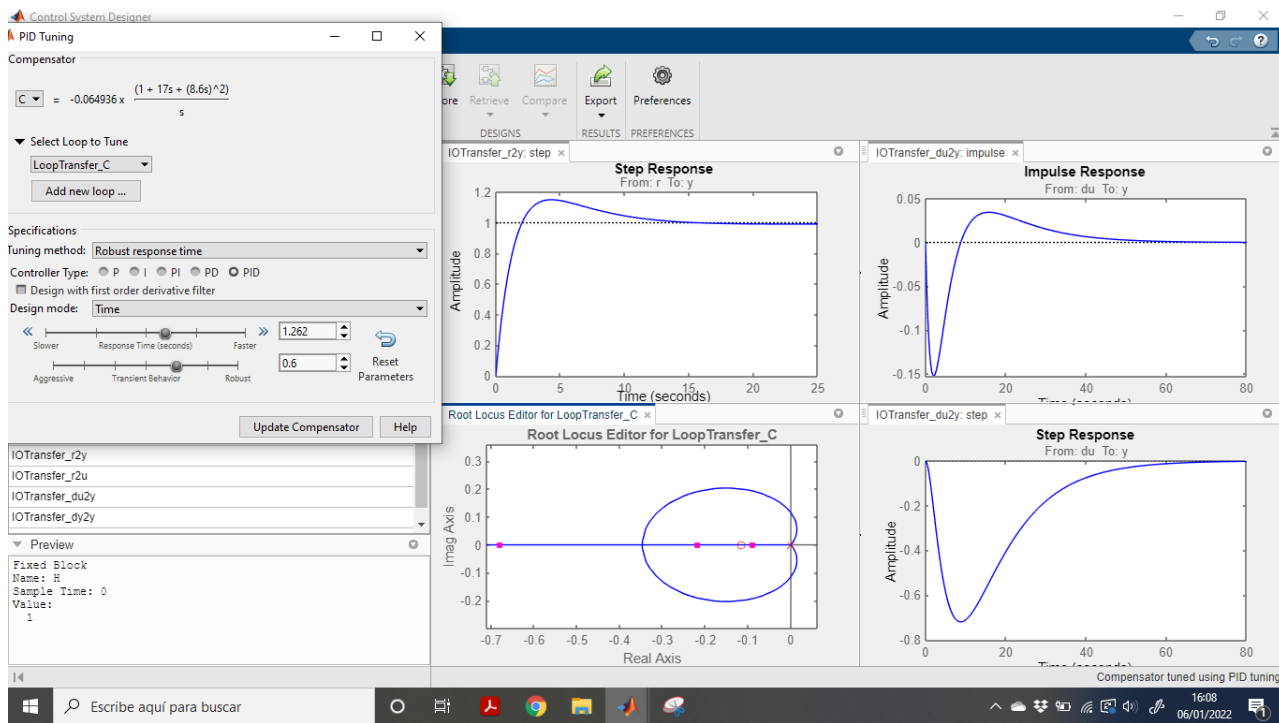
igual para el step usando la opción nuestep



De las graficas se observa que el controlador rechaza adecuadamente impulsos pero cuando la perturbación es de tipo paso queda un error en estado estacionario de -0.11 aproximadamente, es decir converge a un error constante si bien rechaza el 90% de la perturbación. Nuevamente hay inversión de fase en la salida.

d) Diseñe un controlador tal que el error frente a una perturbación de tipo paso sea nulo.

Para ello agrego un integrador (polo en el origen, cero muy cerca del polo y almenos a seis distancias del polo dominante) o diseño un PID con el PID tuning



Opcion polo cero

