

## RESUMEN COMPLEMENTARIO

### *Práctica 5 (2021-2022)* *Herramienta sisotool de Matlab*

El objetivo de esta práctica es el aprendizaje de una herramienta interactiva de análisis y diseño de sistemas de control disponible en Matlab, llamada *sisotool*.

Se utilizará en su arquitectura básica (Figura 1), con el controlador C, programable de forma interactiva, en serie con la planta G, y realimentado con la función H. Se considerará el sistema sin perturbaciones ( $du=dy=dn=0$ ). También se programará de forma interactiva un prefiltro F, que permitirá una corrección del transitorio del sistema en lazo cerrado, una vez implementado el controlador C, cuando sea necesario.

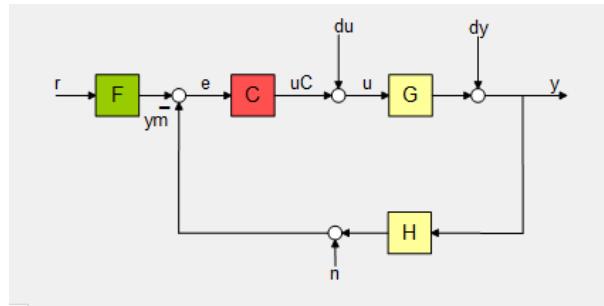


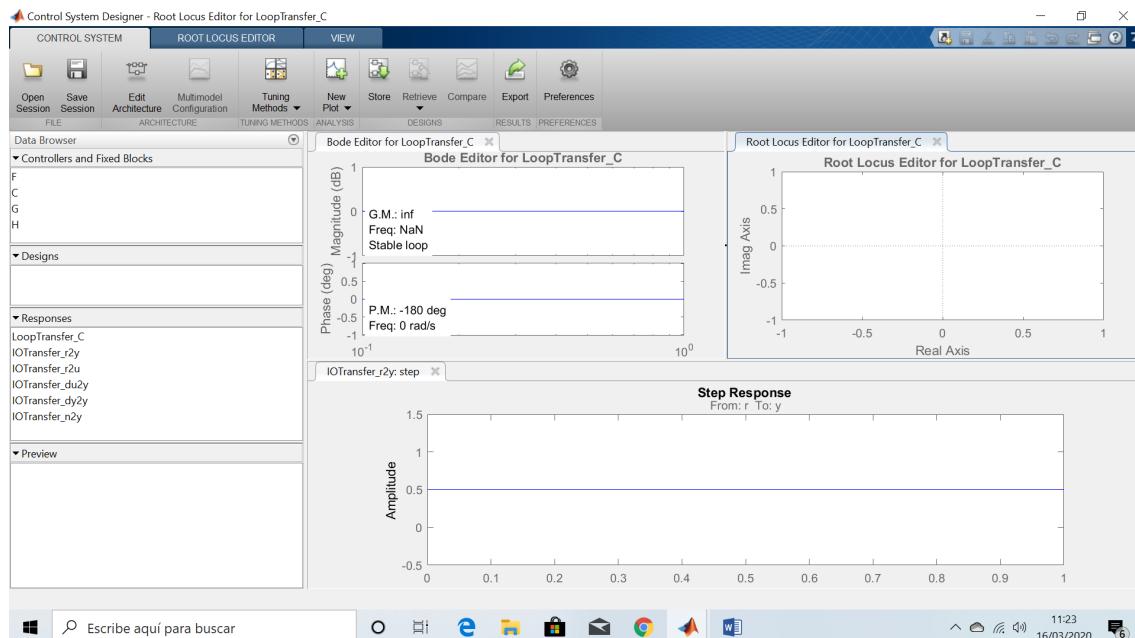
Figura 1

Se desarrollará un ejemplo en el que se muestre su funcionamiento relacionado con el análisis temporal de sistemas, conceptos teóricos conocidos hasta el momento.

**Ejemplo: Estudiar la estabilidad del sistema  $G = 1/(s*(s+1)*(s+10))$  con realimentación unitaria mediante el lugar de raíces.**

Definir datos en la ventana de comandos:

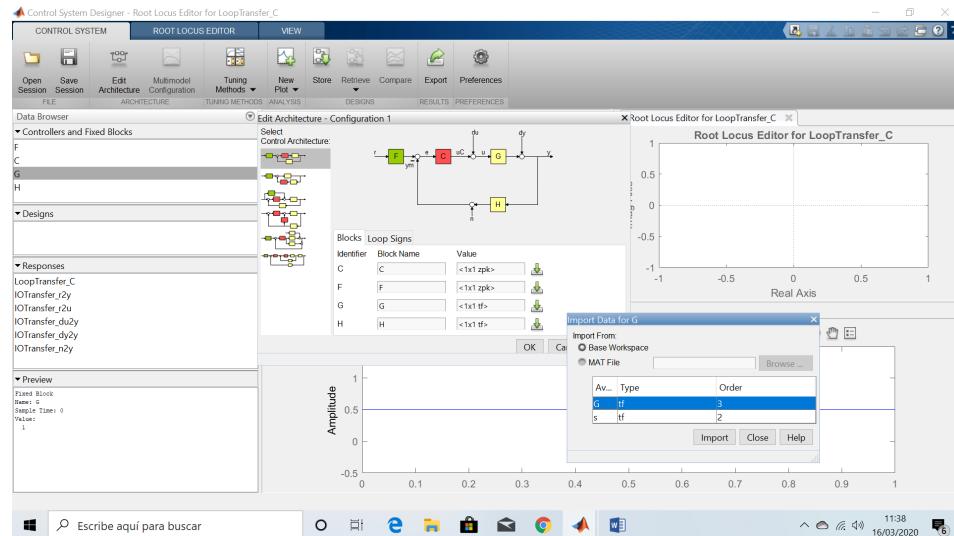
```
>> s = tf('s');
>> G = 1/(s*(s+1)*(s+10));
>> sisotool
```



Por defecto, esta es la apariencia de la herramienta, con los editores de Lugar de raíces y Bode de lazo abierto  $C^*G^*H$  (LoopTransfer\_C), más la respuesta a escalón del sistema en lazo cerrado (IOTransfer\_r2y).

Primero cargamos los datos del ejemplo: G

- Pestaña CONTROL SYSTEM: Icono Edit Architecture, seleccionar el ícono de la derecha de G para importar datos del espacio de trabajo, Import.



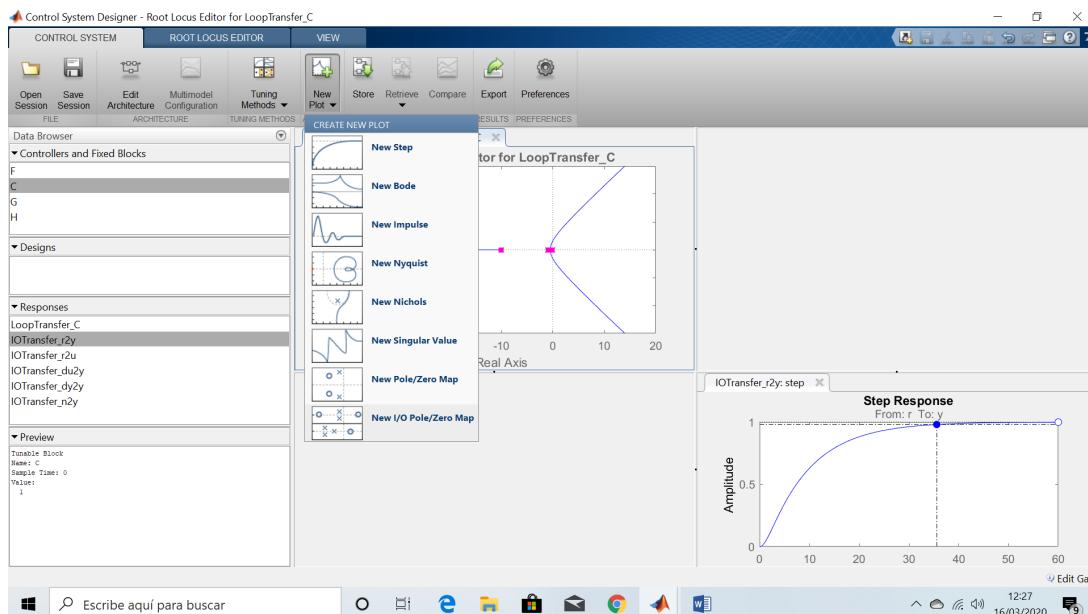
Una vez aceptado, se actualizarán todas las ventanas con los datos seleccionados.

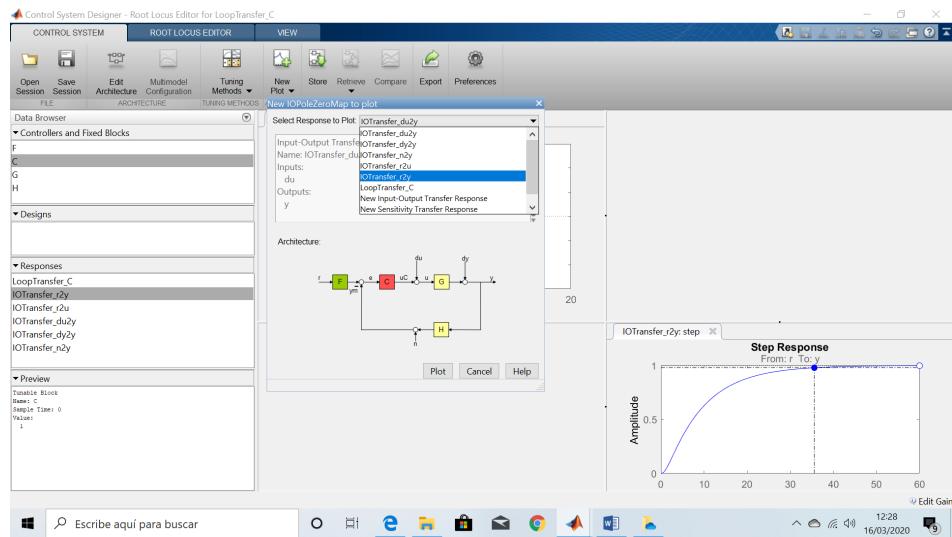
Para análisis/diseño temporal, es muy importante fijar el formato del controlador C en cero/polo/ganancia:

- Pestaña CONTROL SYSTEM: Icono Preferences, pestaña Options: Compensator format, seleccionar z/p/gain

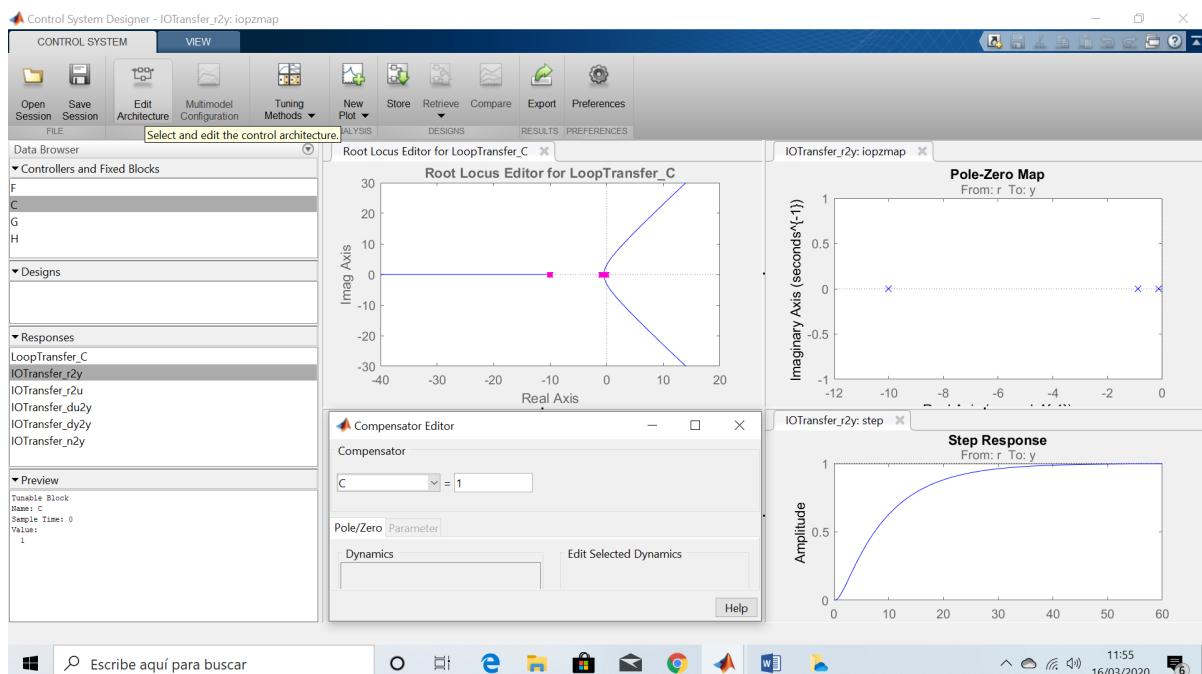
Como se va a trabajar con análisis temporal, cerrar el editor de Bode. A continuación, añadir un nuevo diagrama: mapeado cero/polo de lazo cerrado. Para ello:

- Pestaña CONTROL SYSTEM: Icono New Plot, seleccionar New Pole/zero Map. Desplegar Select Response to plot, seleccionar IOTransfer\_r2y





Reorganizar ventanas y visualizar el controlador C: ventana izquierda Data Browser, Controller and Fixed Blocks, doble clic en C (cuando haga falta programar F, se accederá de la misma forma). La herramienta mostrará una apariencia como en la figura.

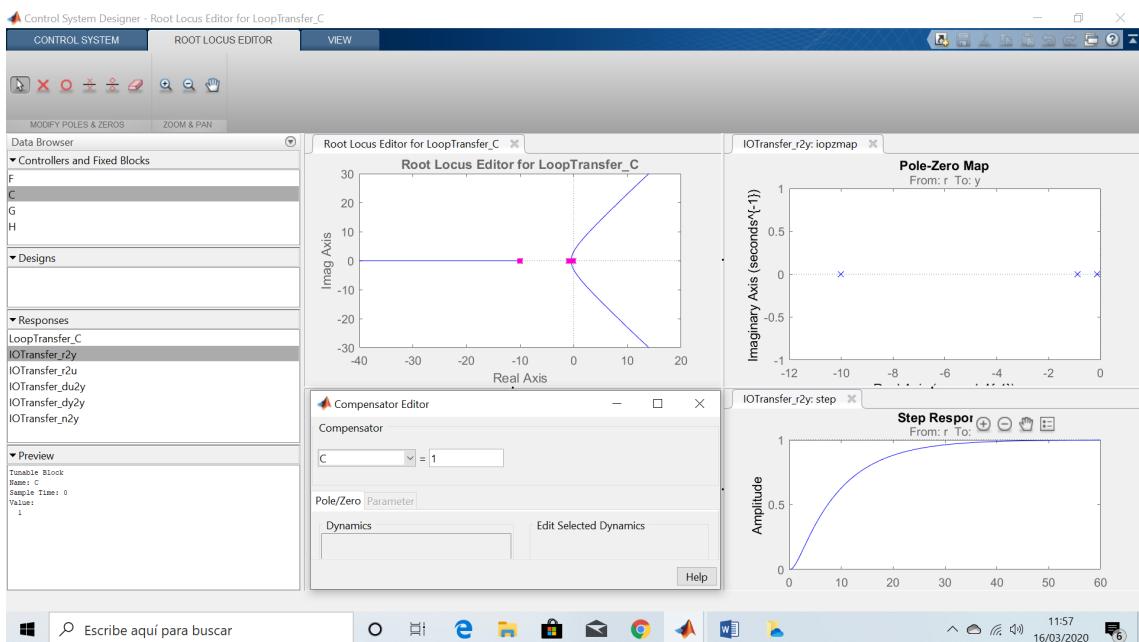


En el editor del lugar de raíces, los ceros/polos de lazo abierto ( $C^*G^*H$ , LoopTransfer\_C) están marcados como círculos/crucitos en azul, y los cuadrados rosas, muestran los polos de lazo cerrado para el valor de ganancia en C (C=1, sin modificar). Ver que coinciden con los representados en Pole-Zero Map de LC.

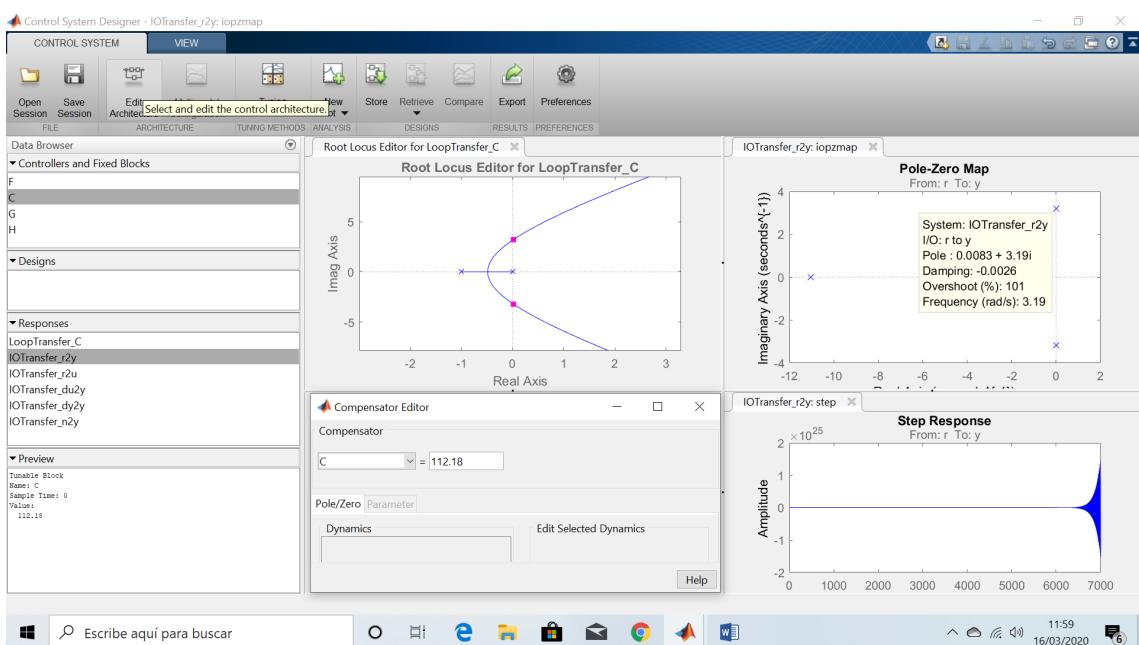
Los polos de LC en el Lugar de Raíces pueden desplazarse con el ratón por sus respectivas ramas. El desplazamiento es equivalente a un cambio de ganancia en el controlador. Ver también cómo se modifican simultáneamente todos los diagramas restantes.

### Ejemplo: Calcular el valor de ganancia crítica K<sub>c</sub>

Para ese valor de ganancia, habrá un par de polos imaginarios puros. Podemos buscar dicho valor (leyendo el dato en C) moviendo con el ratón los polos hasta cruzar el eje imaginario. Para ello debemos ampliar la zona de interés en dicho diagrama. Pulsar en la pestaña superior Root Locus Editor para acceder a distintas herramientas aplicables a esa ventana:



Desplazar los polos hasta obtener un resultado similar al de la figura siguiente. Si pulsamos encima de los polos en Pole-Zero Map, se dan los detalles de los mismos: posición, amortiguamiento (damping), sobreoscilación (Overshoot), frecuencia natural (frequency). El valor que nos da C, será Kc.



### Ejemplo: Especificaciones temporales en el lugar de raíces: ( $t_s < 8.5$ , $M_p < 13.2\%$ )

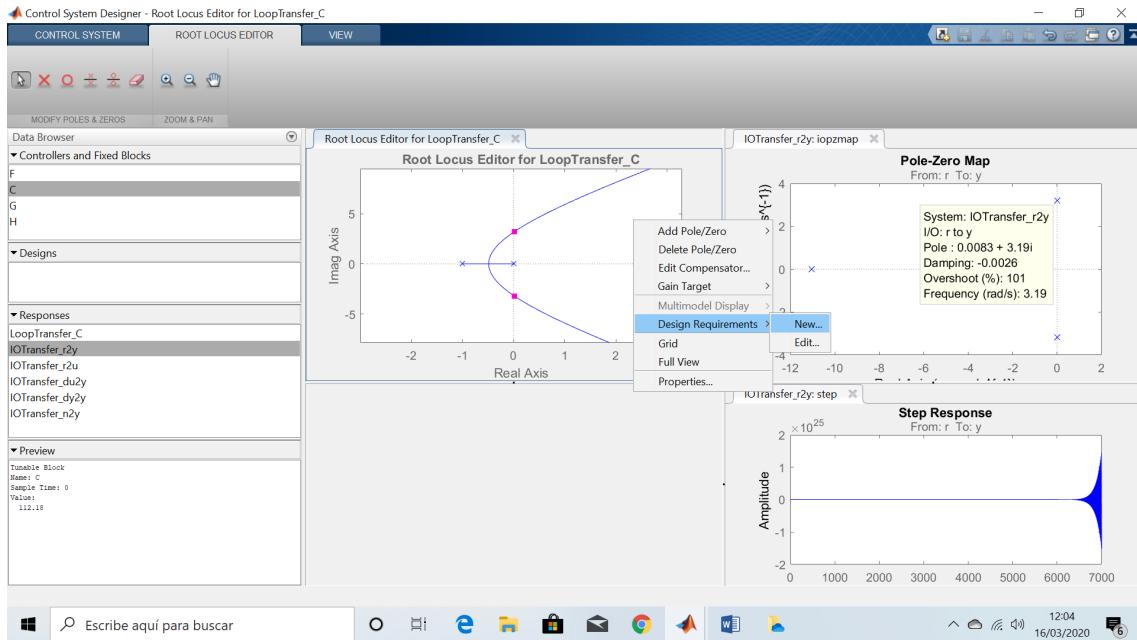
Para dibujar en el lugar de raíces las regiones del plano complejo permitidas para posicionar los polos de LC que permiten cumplir dichas especificaciones, se pulsa con el botón derecho del ratón en la zona blanca en el interior del editor del lugar de raíces:

Seleccionar Design Requirements, New:

- Settling time (ts, tiempo de establecimiento)  $< 8.5$

Seleccionar Design Requirements, New:

- Percent Overshoot (Mp/S.O., sobreoscilación)  $< 13.2$

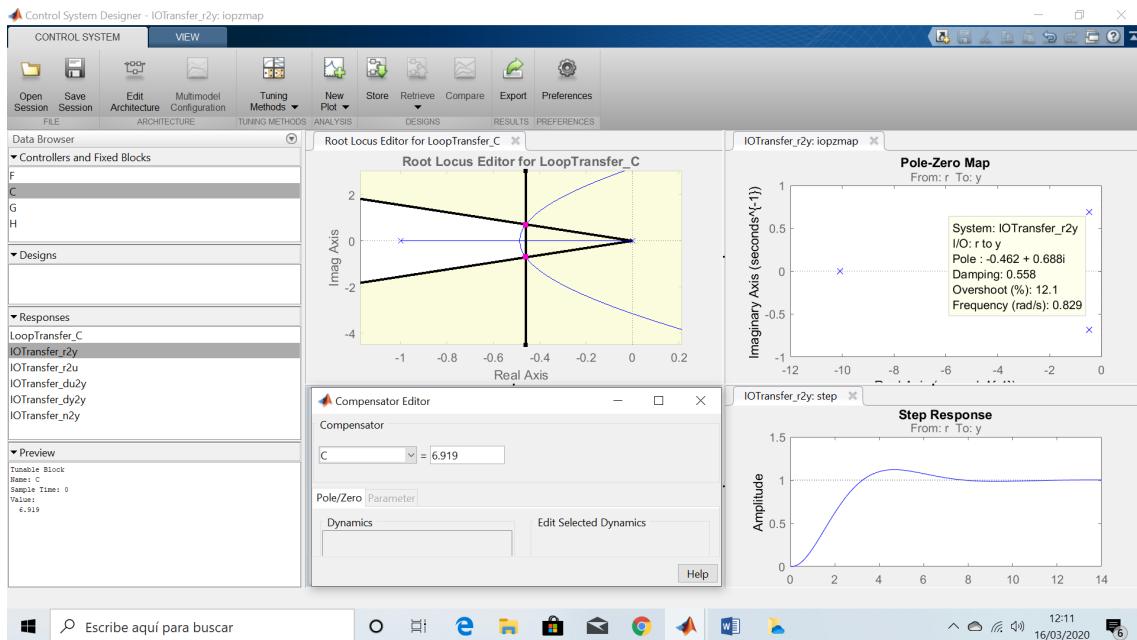


Aparecerán regiones prohibidas en amarillo, línea negra cumple especificaciones en la igualdad ( $ts = 8.5$ , S.O. = 13.2%), zona blanca cumple especificaciones ( $ts < 8.5$ , S.O. < 13.2%).

### Ejemplo: Ganancia del sistema y posición de los polos de lazo cerrado para su cumplimiento (en la igualdad)

Mover los polos y hacerlos coincidir con la intersección de ambas regiones. Leer la ganancia en el controlador C.

Ver la posición de los polos de LC ajustados (Pd) en la gráfica del mapeado cero/polo de LC.



### Ejemplo: Calcular las características temporales reales a partir de la respuesta a escalón

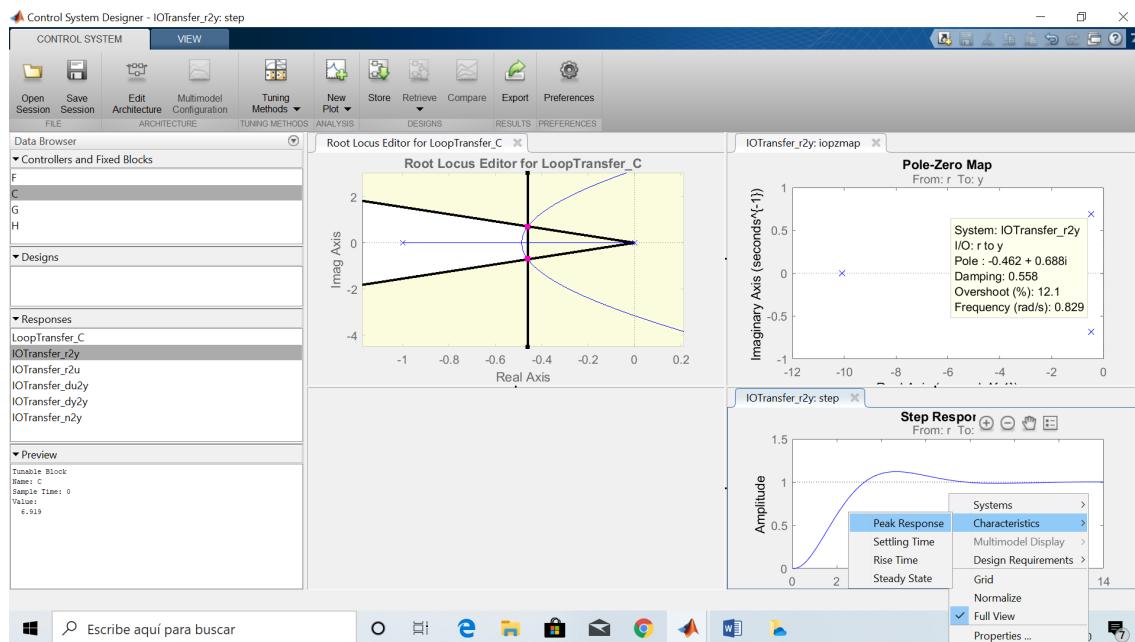
Para obtener las características temporales reales del sistema en LC, se pulsa con el botón derecho del ratón en la zona blanca en el interior de la ventana de la respuesta a escalón Step Response:

Seleccionar Characteristics:

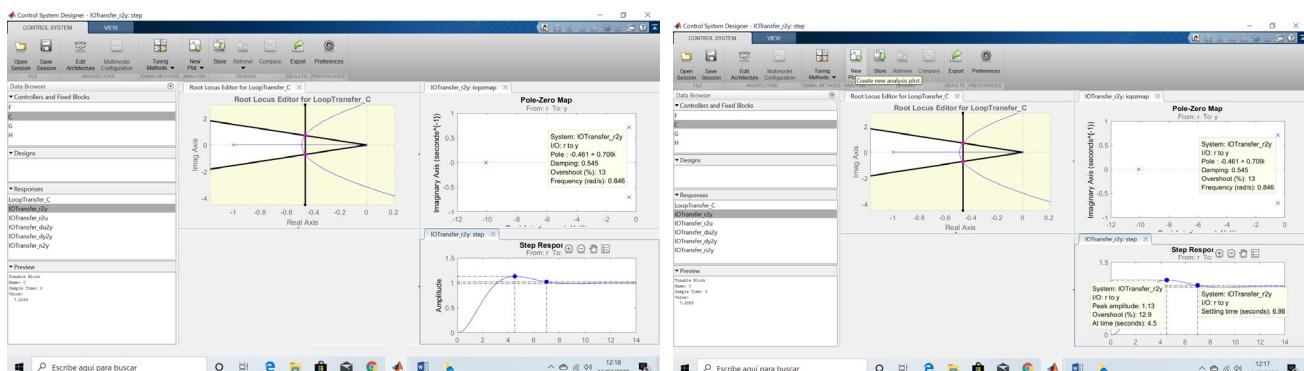
- Peak Response

## Seleccionar Characteristics:

- Settling time



Pulsando con el ratón en los puntos marcados en azul, nos da los valores reales.



Comprobar que para este sistema, los valores de las características temporales incorporados como especificaciones de diseño en el LR y usados para seleccionar un par de polos complejos (Pd) del sistema en LC, coinciden (son bastante aproximados) con los valores reales.

No siempre ocurrirá así ya que los sistemas controlados en LC en general presentarán algún/algunos ceros/polos además de ese par de polos complejos conjugados que dan las especificaciones (Pd), y no de todos ellos podrán despreciarse los efectos que producen en el transitorio.

Para estudiar estos aspectos, analizamos la gráfica del mapeado cero/polo de LC, comprobando si el LC obtenido (en el ejemplo 3 polos) se puede reducir a uno de segundo orden dado por el par de polos complejos Pd, es decir, cumple los criterios del 20% para cancelación cero/polo, y el factor 5 para despreciar raíces lo suficientemente alejadas (Ver en el tema anterior las transparencias relacionadas con Sistemas de orden reducido). En este ejercicio, el efecto del tercer polo es despreciable, y los Pd se comportan como polos dominantes, de ahí los valores aproximados obtenidos. En este caso, no hará falta programar un prefiltro F.

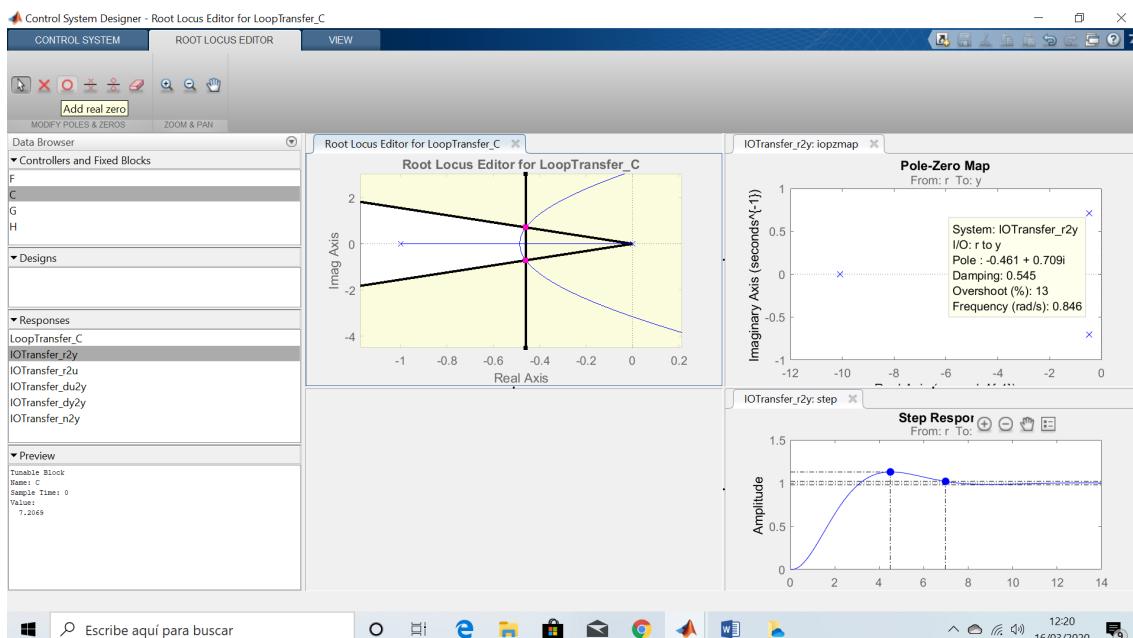
## Ejemplo: Modificación del LR y la estabilidad con la incorporación de cero/polo en C

Como se vio anteriormente, los polos de LC en el Lugar de Raíces pueden desplazarse con el ratón sólo por sus respectivas ramas y el desplazamiento es equivalente a un cambio de ganancia en el controlador, es decir, aplicamos un controlador proporcional. Es así porque el LR es el lugar geométrico de todas las posiciones de los polos de LC del sistema cuando se varía la ganancia de 0 a  $\infty$ .

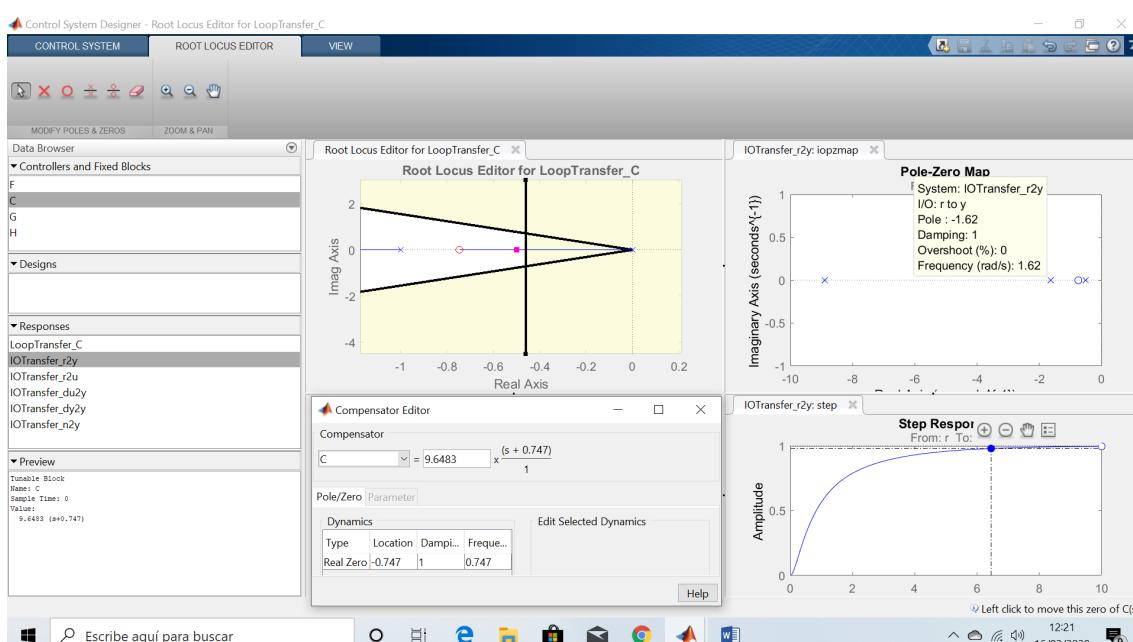
De forma general, para cumplir ciertos requerimientos o especificaciones de diseño, se necesitarán controladores que incorporen dinámica con cero(s)/polo(s). Analizamos primero qué ocurre con el LR (desplazamiento a la izquierda con un cero, a la derecha con un polo, tanto más cuanto más dominante es su efecto).

Para añadir un cero/polo en el controlador C:

- Pestaña ROOT LOCUS EDITOR: Icono círculo/cruz, pulsar con el ratón en algún punto del eje real

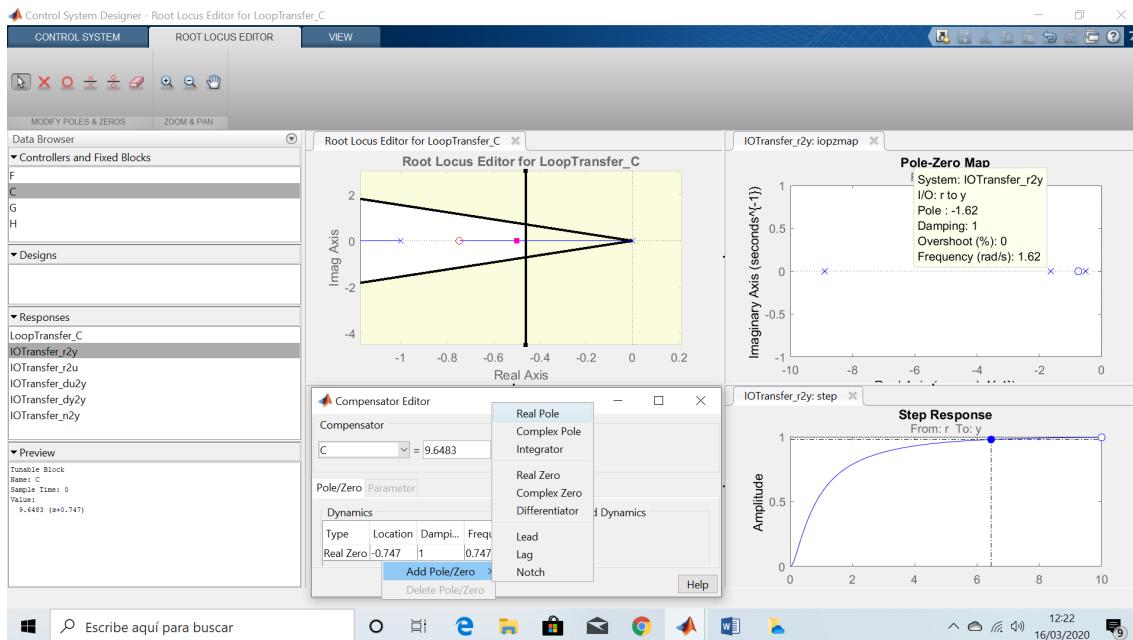


Aparecerán en el Lugar de Raíces como círculos/cruces de color rosa y pueden desplazarse con el ratón, actualizando los datos en el resto de ventanas.



Otra forma de añadir un cero/polo en el controlador C (más fácil si se conoce la localización exacta deseada) es:

- Ventana Compensator Editor: pulsar con el botón derecho del ratón en algún punto dentro del recuadro gris Dynamics lo que se desee, y escribir en Location la posición deseada.



Aquí finaliza el resumen sobre el funcionamiento de la herramienta que os permitirá comenzar a trabajar los contenidos de **Trabajo del alumno en el laboratorio** del enunciado.

### Indicación para el Ejercicio 2:

Para programar F, se accede a su editor: ventana izquierda Data Browser, Controller and Fixed Blocks, doble clic en F y se añaden cero(s)/polo(s) pulsando con el botón derecho del ratón en algún punto dentro del recuadro gris Dynamics lo que se desee, y escribir en Location la posición deseada.

### Indicación para el Ejercicio 3:

Para el sistema con realimentación  $G2=(s+2)/(s*(s+p1))$ ,  $H2=10/(s+a)$ , calcular y programar la función de transferencia de lazo abierto auxiliar  $G2a\_LA$  para ver el **contorno de raíces** en función de  $a$  (parámetro desconocido).en sisotool. Calcular el valor de  $a$  para obtener...

Tal como se explicó en clase, los pasos para la obtención de  $G2a\_LA$  en función del parámetro  $a$  desconocido son los siguientes:

- Calcular la ecuación característica  $1+G2*H2=0$
- Reorganizar los términos en ella separando los que dependen o no de  $a$  de forma que se obtenga  $D(s)+a*N(s)=0$
- Dividir la ecuación por  $D(s)$  para llegar a:  $1+a*N(s)/D(s)=0$
- $G2a\_LA=N(s)/D(s)$  en la que no aparece ya el parámetro  $a$ .

Una vez calculada, para trabajar el Contorno de Raíces en la sisotool, se cargará en G la función  $G2a\_LA$ , la H será unitaria, y lo que “leamos” en el controlador C en los distintos apartados que se piden, serán los valores de  $a$  solicitados.

**LABORATORIO de INGENIERÍA de CONTROL**

**Práctica 5. (29-Marzo, 1-Abril /2022)**

**Herramienta sisotool de Matlab**

El objetivo de esta práctica es el aprendizaje de una herramienta interactiva de análisis y diseño de sistemas de control disponible en Matlab. Para ello, se proporciona material complementario con un ejemplo en el que se muestra su funcionamiento. En el laboratorio se pedirá al alumno que complete una serie de cálculos y simulaciones relacionados con el análisis temporal de sistemas, conceptos teóricos conocidos hasta el momento.

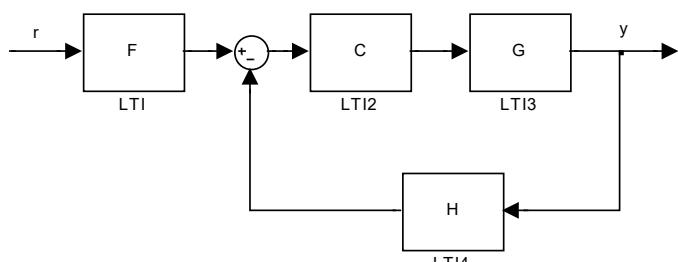
**Ejercicios previos a la sesión de laboratorio:**

1. Un sistema de control de levitación magnética tiene por lazo abierto  $L(s)$ :

$$L(s) = \frac{K \cdot (s + c)}{s \cdot (s - 0.1)},$$

- a) Dibujar el LR aproximado, colocando el cero en una posición  $-c < 0$ .
- b) Obtener el valor mínimo de  $K$  para que el lazo cerrado sea estable.
- c) Obtener los puntos de corte del LR con el eje imaginario en función de  $c$ .

2. Para el sistema con realimentación (según figura inferior)  $G=(s+2)/(s^*(s+p_1))$ ,  $H=10/(s+a)$ , con  $p_1$  conocido ( $F=C=1$ ) calcular la función de transferencia de lazo abierto auxiliar  $G_{2a\_LA}$  necesaria para trazar el contorno de raíces en función de  $a$  (parámetro desconocido).



3. Se considera un sistema de control típico con actuadores bien dimensionados, lo que permite trabajar con ganancias  $K$  muy altas, es decir, aplicar un control de alta ganancia. El lazo abierto (controlador  $\times$  planta) tiene la forma:

$$L(s) = \left( \frac{K \cdot (s + c)}{(s + p_1)} \right) \left( \frac{1}{(s + 1) \cdot (s - 1)} \right),$$

Decir qué condiciones sencillas deben cumplir las raíces  $-c$ ,  $-p_1$ , del controlador para que el lazo cerrado sea estable con alta ganancia, o sea para  $K \rightarrow \infty$ . Recordar que, según las reglas del Lugar de Raíces, para  $K \rightarrow \infty$  los polos de lazo cerrado tienden a los ceros y a las asíntotas.

**Trabajo del alumno en el laboratorio:**

**Ejercicio de laboratorio 1.**

Desarrollar paso a paso en Matlab/sisotool el ejemplo que se proporciona en el material complementario de esta práctica disponible en moovi: analizar el sistema  $G = 1/(s^*(s+1)*(s+10))$  con realimentación unitaria mediante el lugar de raíces y respuesta temporal:

Definir datos en la ventana de comandos:

```
>> s = tf('s');
>> G = 1/(s*(s+1)*(s+10));
>> sisotool
```

Calcular el valor de ganancia crítica. Especificaciones temporales en el lugar de raíces: ( $t_s(2\%) < 6.6$ ,  $M_p < 13.2\%$ ). Ganancia del sistema y posición de los polos de lazo cerrado para su cumplimiento. Calcular las características temporales reales a partir de la respuesta a escalón (desde sisotool). Modificación del LR y la estabilidad con la incorporación de cero/polo. Al acabar, mostrar al profesor/a y después, cerrar la ventana de sisotool.

## Ejercicio de laboratorio 2

En este ejercicio se presentan las herramientas de diseño disponibles dada ciertas especificaciones temporales, guiando al alumno en la incorporación de un controlador C y un prefiltro F para una pequeña planta mecánica inestable:

Definir datos en la ventana de comandos:

```
>> s = tf('s');
>> dni = % números dni alumno
>> rng(dni);
>> p=2+2*(rand-0.5);
>> G1 = 1/(s^2-p);
>> sisotool
```

*Parte 1* } -Representar el lugar de raíces de un sistema con realimentación unitaria y función de transferencia G1 en sisotool.

- Insertar en C, en serie con G1, un polo en el origen y un cero que cancele el polo estable de la planta.

- Dibujar en el lugar de raíces las regiones que proporcionen el cumplimiento de las siguientes especificaciones temporales: sobreoscilación 17.11% y tiempo de establecimiento (2%) de 3.17.

- Insertar otro cero real ( $s+b$ ) en C y situarlo en la posición que desplace el lugar de raíces hasta la intersección de ambas regiones.

- Calcular la ganancia que sitúa en el plano complejo los polos de lazo cerrado que cumplen ambos objetivos. Calcular la posición de los polos de lazo cerrado.

- Analizar la respuesta temporal a escalón unitario (desde Sisotool). Ver la sobreoscilación y tiempo de establecimiento reales del sistema. Explicar la diferencia, si existe, entre los valores especificados y los reales.

- Insertar en F un polo situado en  $(s+b)$ . Comprobar que la ganancia de F es unitaria. Ver la sobreoscilación y tiempo de establecimiento reales del sistema. Calculando las funciones de transferencia en lazo cerrado de los sistemas con realimentación unitaria C, G1 y F, C, G1 según el diagrama, razonar los resultados obtenidos.

## Ejercicio de laboratorio 3.

Para el sistema con realimentación  $G_2 = (s+2)/(s^*(s+p_1))$ ,  $H_2 = 10/(s+a)$ , calcular y programar la función de transferencia de lazo abierto auxiliar  $G_{2a\_LA}$  para ver el contorno de raíces en sisotool, siendo  $p_1 = 1 + 0.2(\text{rand}-0.5)$ , valor aleatorio generado a partir del dni del alumno al principio de la sesión.

Calcular el valor de a para obtener:

- Sistema críticamente estable.
- Sistema con  $t_s < 3.14$ . Posición de polos de LC.