



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

Sistema de Control 2

TAREA N° 3

Alumno: Mugni, Juan Mauricio

Profesor: Laboret

2024

Datos asignados según el archivo Alumnos_Tarea.pdf

Juan Mauricio	MUGNI	1	-3	5	2
---------------	-------	---	----	---	---

En donde:

`%Datos asignados:`

```
p1 = 1 ;      %Polo 1
p2 = -3 ;     %Polo 2
K = 5 ;       %Ganancia
T2 = 2 ;      %Tiempo de respuesta 2%
```

Obtenemos la función de transferencia continua $G(s)$

```
G=zpk([], [p1 p2], k) ;
```

$$G(s) = \frac{5}{(s - 1)(s + 3)}$$

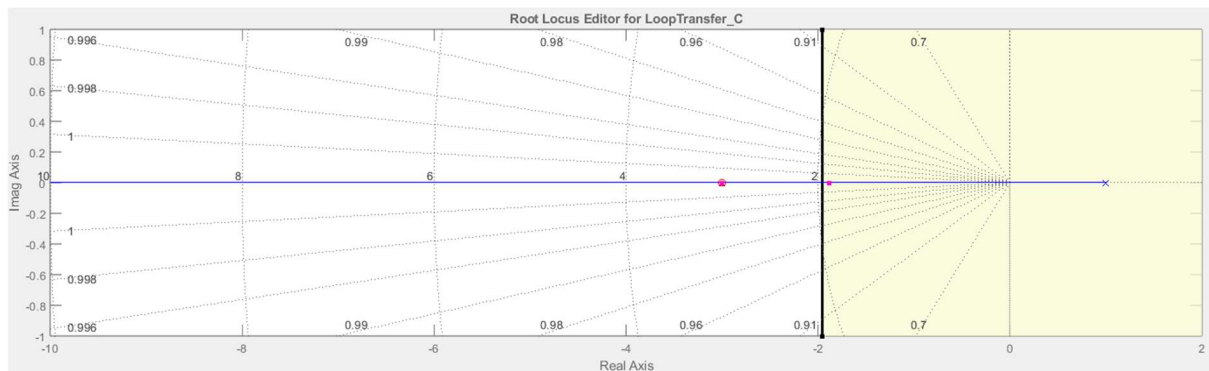
Diseñamos el controlador con la herramienta sisotool:

```
sisotool(G) ;
```

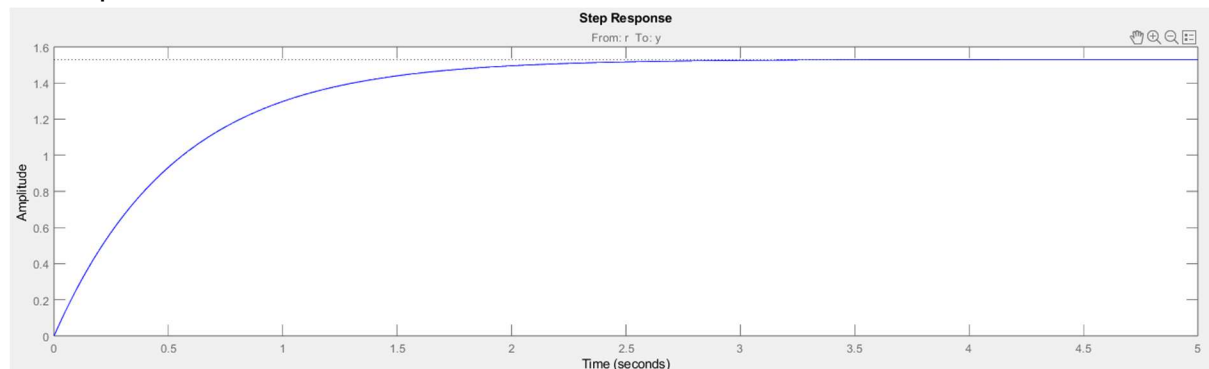
Se agregó un cero, para cancelar el *polo estable* de la planta. Para obtener un compensador con el siguiente formato:

$$C(s) = K_c(s + a)$$

El lugar de raíces queda de la siguiente manera:



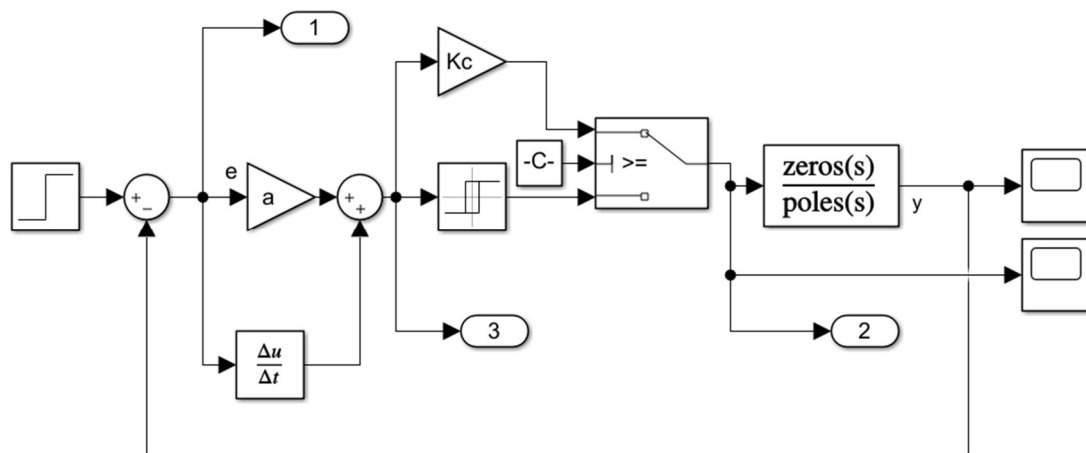
La respuesta al escalón del sistema a lazo cerrado con realimentación unitaria es:



Y el compensador queda definido como:

$$0.57668 (s + 3)$$

Se procede a simular el siguiente diagrama de bloques:

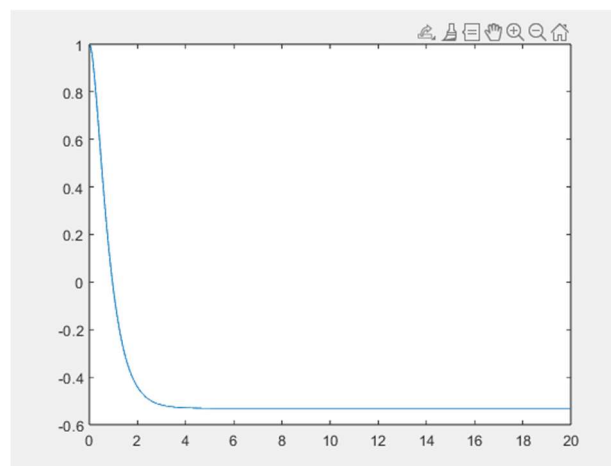


Donde se define:

```
Kc = 0.57668; %Ganancia del controlador
a = 3 ;      %Cero del controlador con cero invertido
M = 1 ;     %Ganancia relé
T = 0.1 ;   %Histéresis
lineal = 1 ; %Simula el control lineal
```

Se grafica el error:

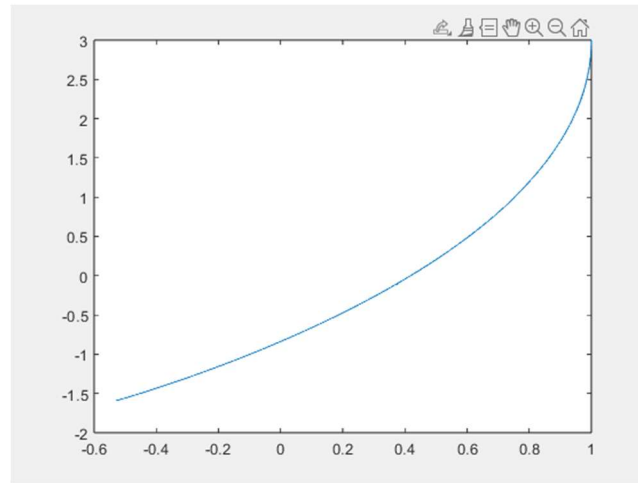
```
figure(1) ;
plot(tout,yout(:,1)) ; %Error
```



Podemos ver que presenta un error constante en régimen.

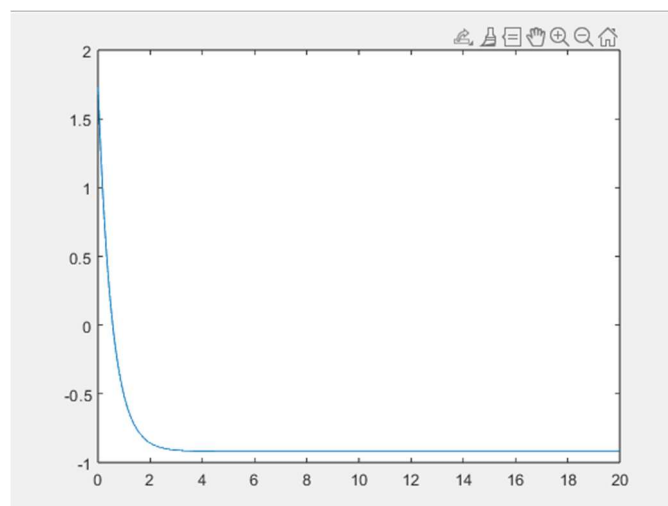
Se grafica el plano de fases:

```
figure(2) ; %Plano de fases: eje x error, eje y derivada del error
plot(yout(:,1),yout(:,3)) ;
```



Se grafica la señal de control:

```
figure(3) ;
plot(tout,yout(:,2)) ; %Señal de control
```



Se puede mejorar el error llevándolo a un entorno de cero, mediante el control no lineal mostrado en la entrada inferior del switch, que es el PD anterior sustituyendo la ganancia K_c por un relé todo-nada con histéresis (fácil de construir electrónicamente) con $M = K_c$ que genera una señal de PWM, cuyo ciclo de trabajo depende del error y su derivada.

Entonces definimos:

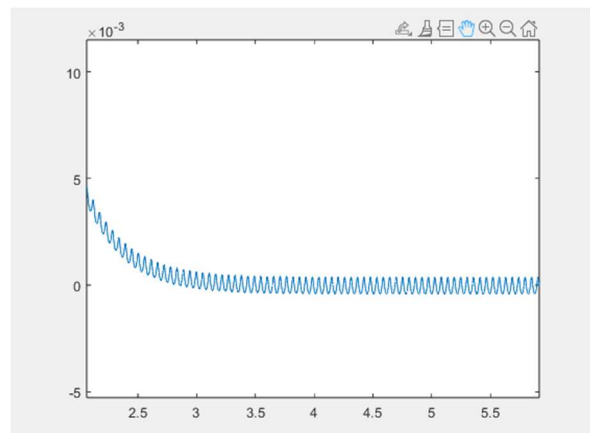
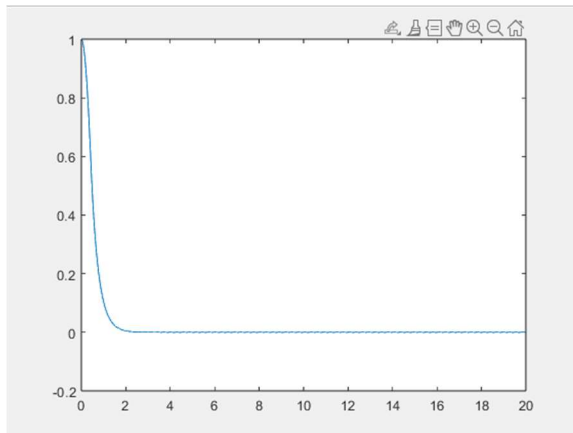
```
Kc = 0.57668*2; % Ganancia del controlador por dos
a = 3;          % Cero del controlador con cero invertido
M = Kc;         % Relé es la Ganancia relé += ganancia Kc
T = K*Kc/100;  % Histéresis
lineal = 0;    % Simula el control lineal
```

Debemos notar lo siguiente, que el ancho de histéresis (T) va a ser 100 veces menor que la ganancia total $K_c \cdot K$ y que la ganancia del controlador (K_c) ha sido multiplicada por dos.

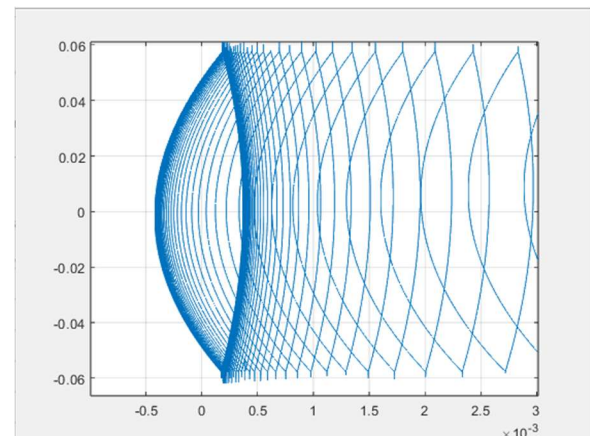
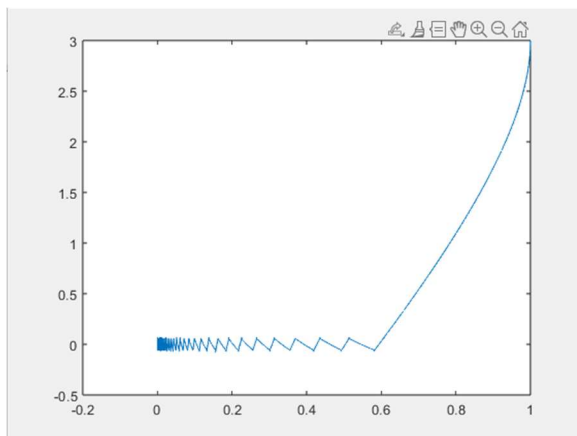
Utilizando la ganancia del controlador obtenida por la herramienta sisotool, nos queda un sistema inestable.

Al simular obtenemos los siguiente:

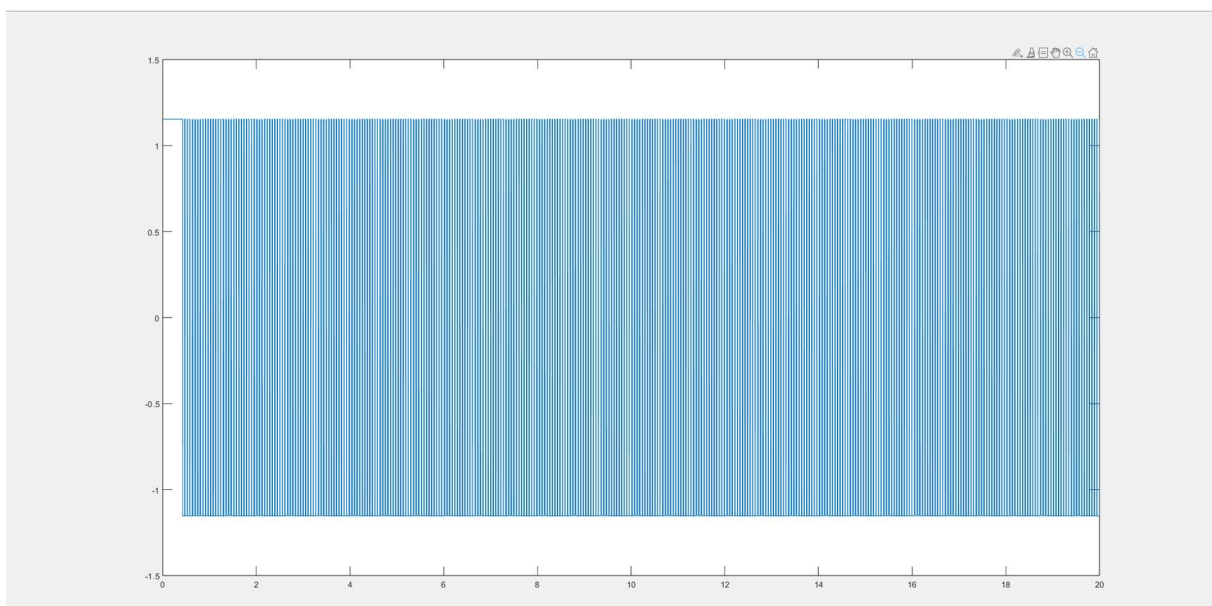
Se grafica el error:



Se grafica el plano de fases:



Se grafica la señal de control:



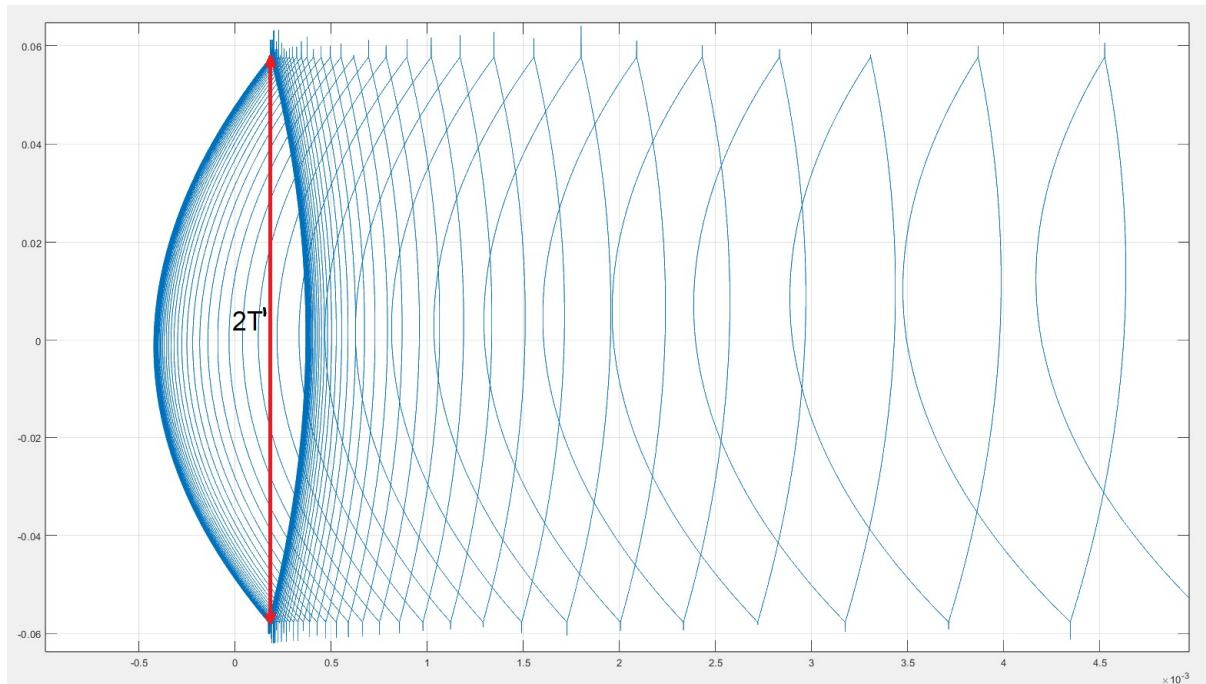
De la gráfica del error podemos apreciar una disminución del error en régimen. Donde haciendo un acercamiento vemos un comportamiento oscilatorio.

Por las gráficas del plano de fases que se encuentran arriba, vemos que estamos en un ciclo límite.

El ancho del ciclo de histéresis es:

$$T = 2T' = 0.12$$

Que se puede verificar gráficamente con el plano de fase.

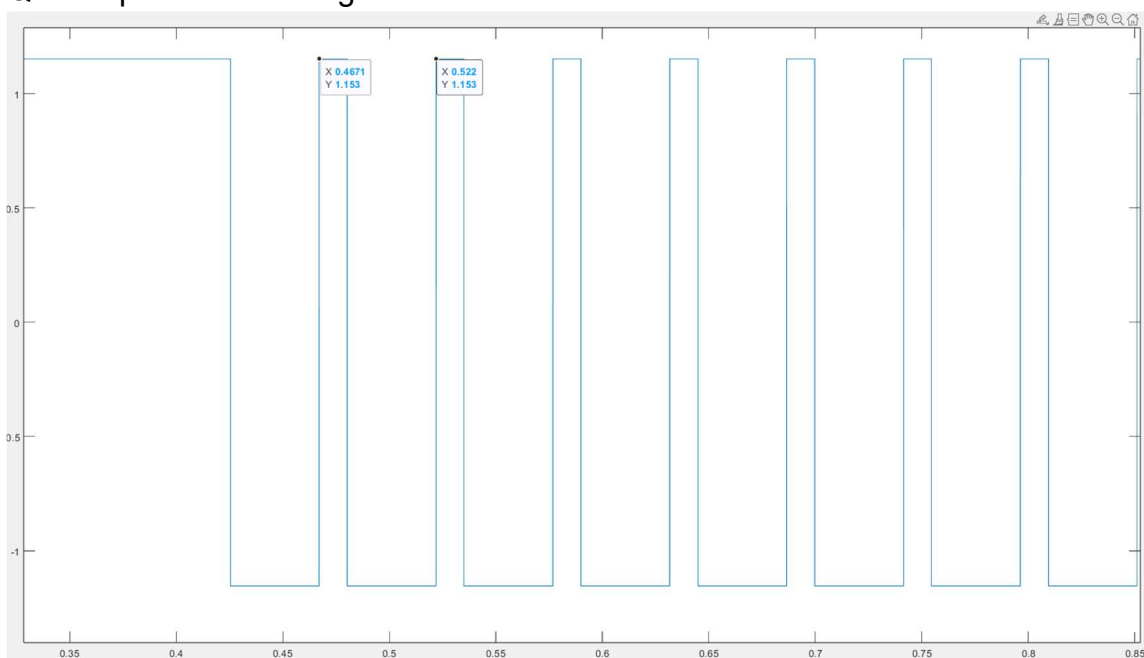


El periodo de la señal de control es:

$$T_{sc} = 2T = 0.12$$

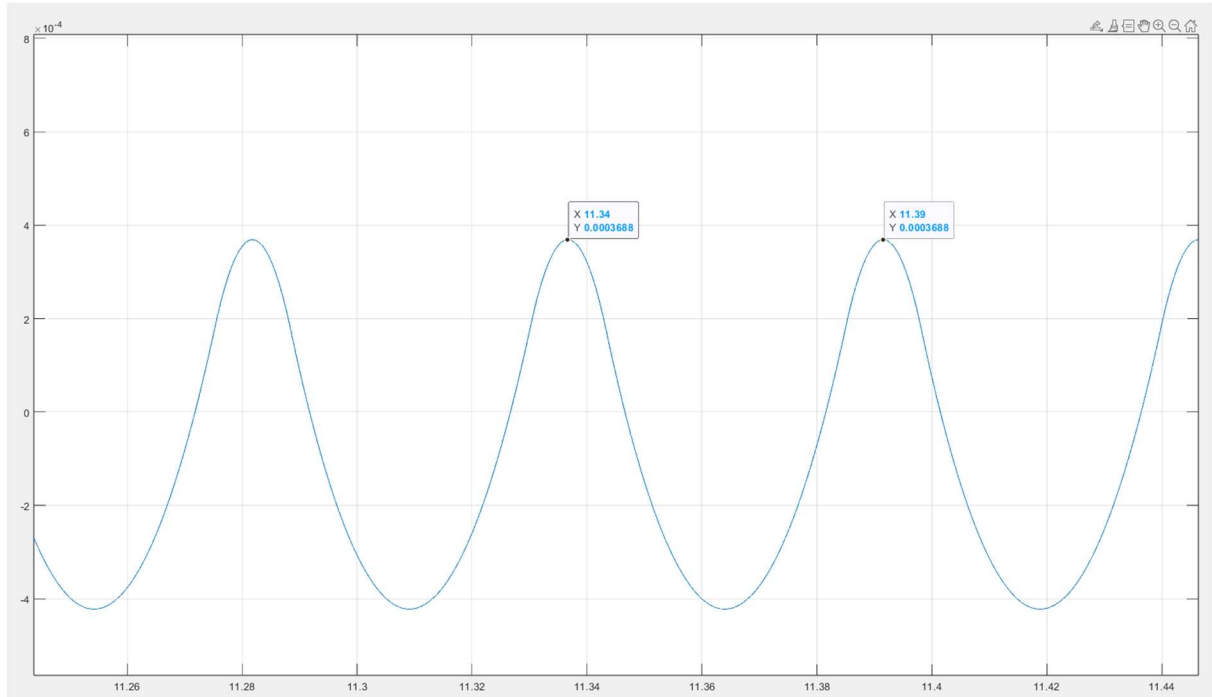
Donde $T = \frac{K K_c}{100} = 0.0577$

Que se puede verificar gráficamente la señal de control:



$$T_{sc} = 0.522 - 0.4671 = 0.055[s]$$

A partir de la gráfica del error, podemos también calcular el periodo:



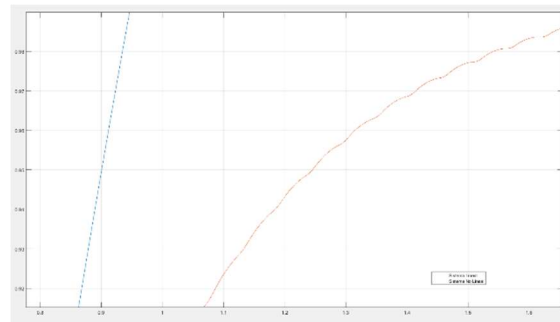
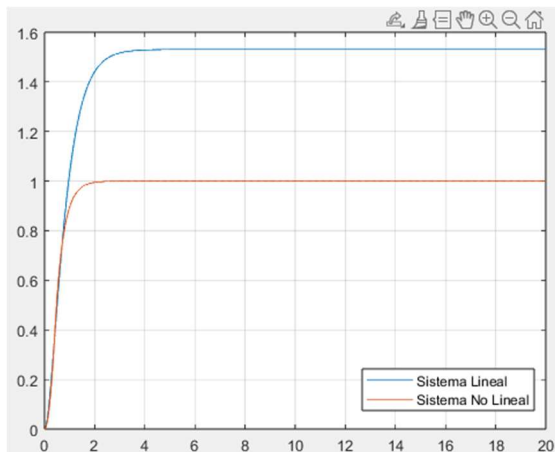
$$T_{sc} = 11.39 - 11.34 = 0.05[s]$$

Y obtenemos una frecuencia aproximada de 20 [Hz], frecuencia de la señal de control y del error.

Entonces, la frecuencia de conmutación del relé, será:

$$f = \frac{M}{4T} \cong \frac{K_C}{4 \cdot 0.05} = 5.8[Hz]$$

Comparando ambas respuestas del sistema lineal y del no lineal:



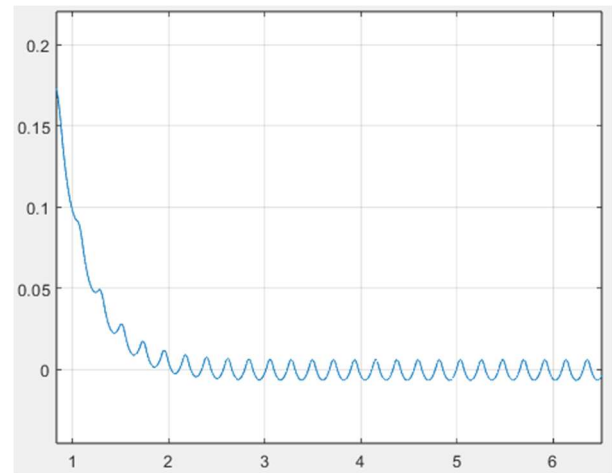
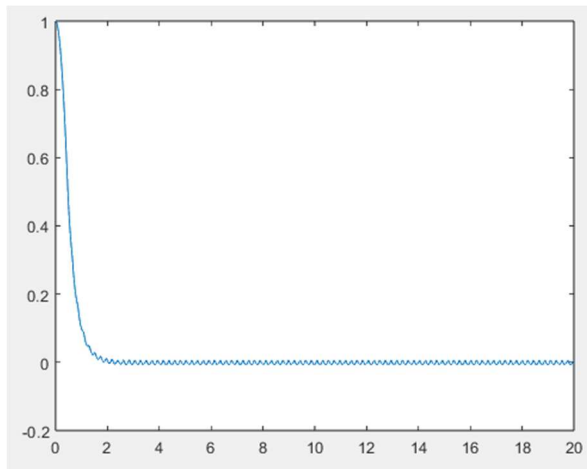
Notamos una disminución del error, y menor tiempo de establecimiento para el sistema no lineal.

Al hacer un acercamiento también podemos notar las oscilaciones producidas por el relé.

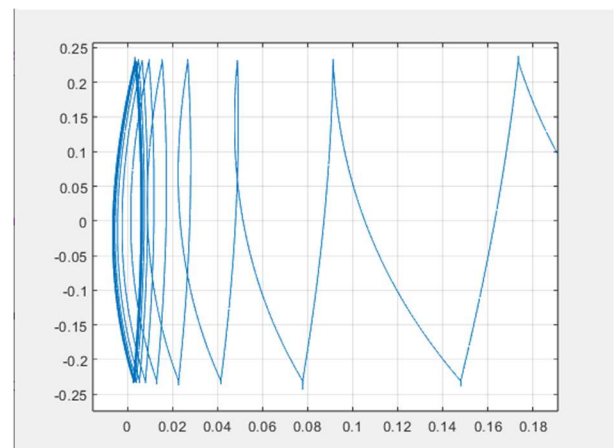
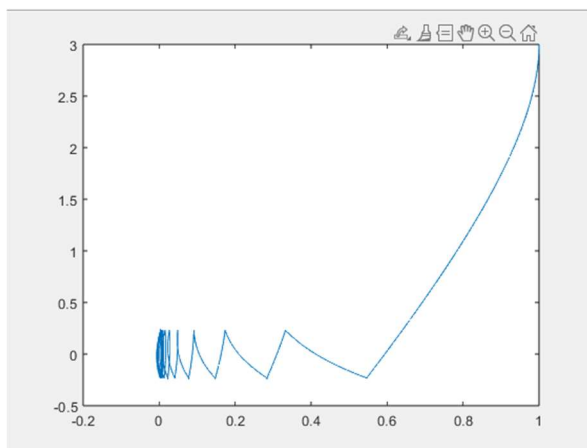
Se aumenta el ancho de histéresis y se analiza cómo evoluciona el error máximo, el tiempo de establecimiento y la frecuencia de conmutación, sustituyendo:

$$T = K \cdot K_c / 25 ; \quad \%25 \text{ veces menos que la ganancia total}$$

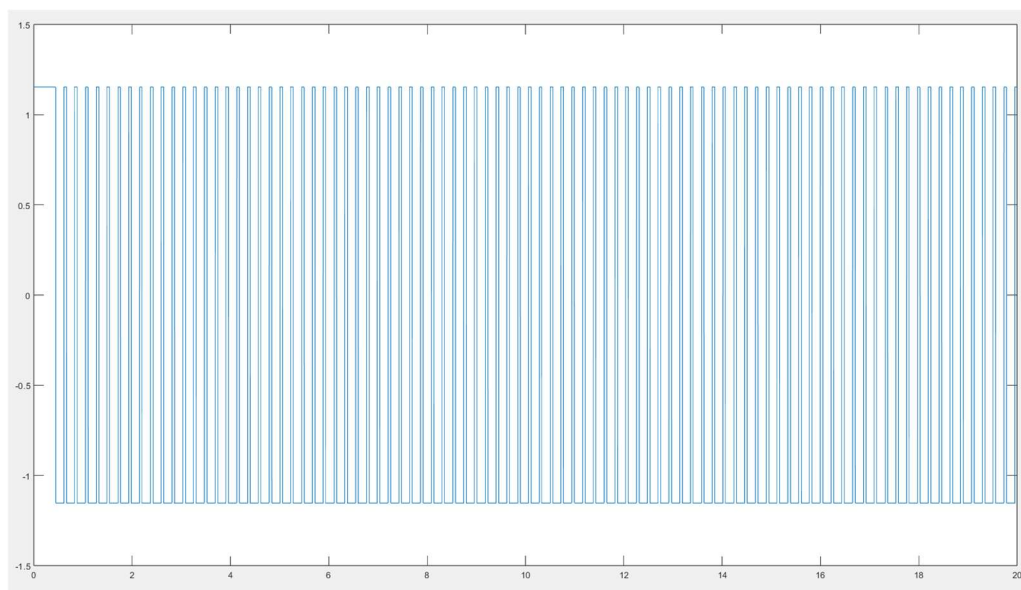
Se grafica el error:



Se grafica el plano de fases:



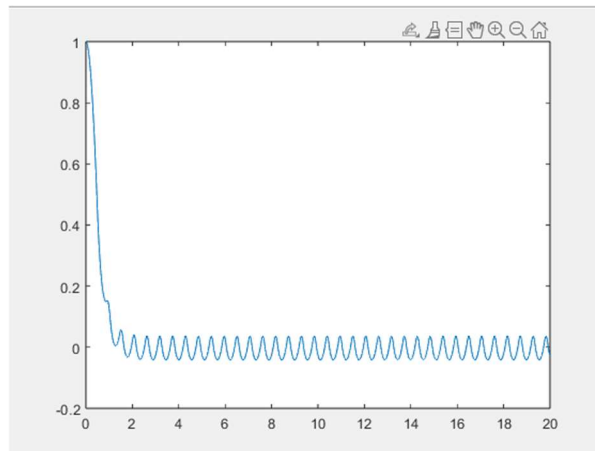
Se grafica la señal de control:



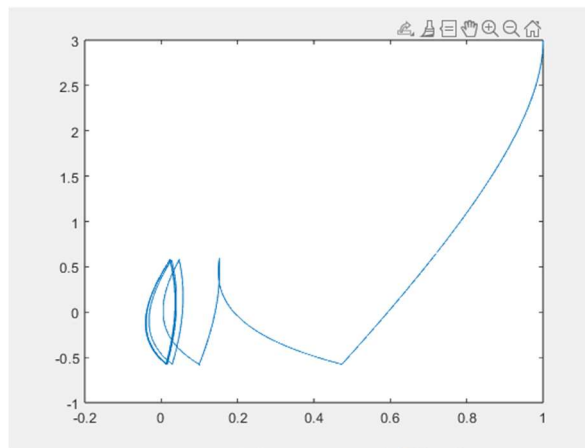
Y sustituyendo:

$T = K \cdot K_C / 10$; %10 veces menos que la ganancia total

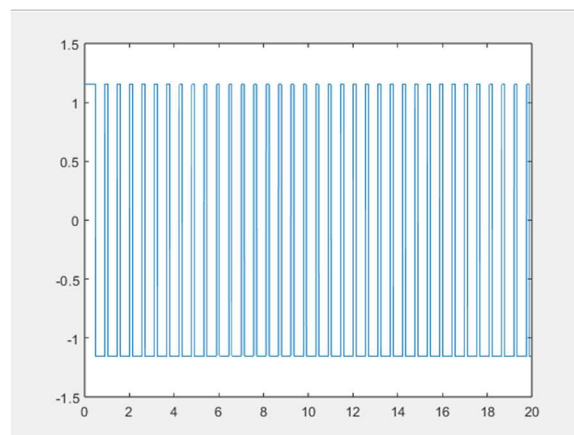
Se grafica el error:



Se grafica el plano de fases:

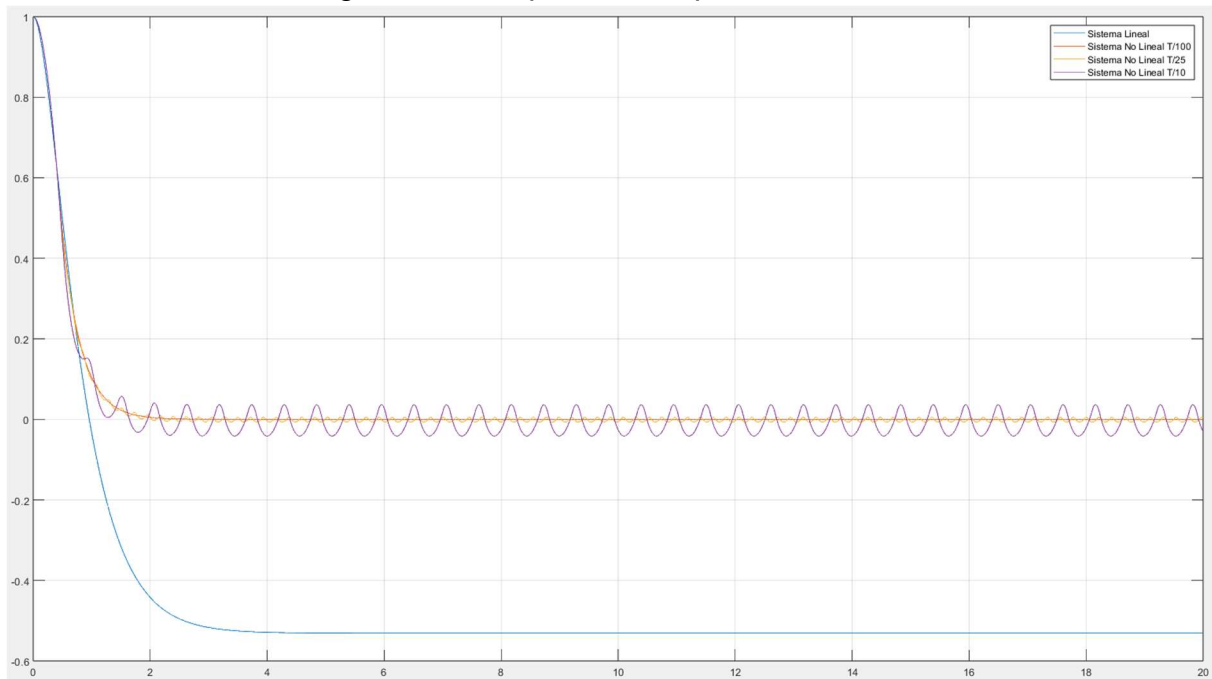


Se grafica la señal de control:

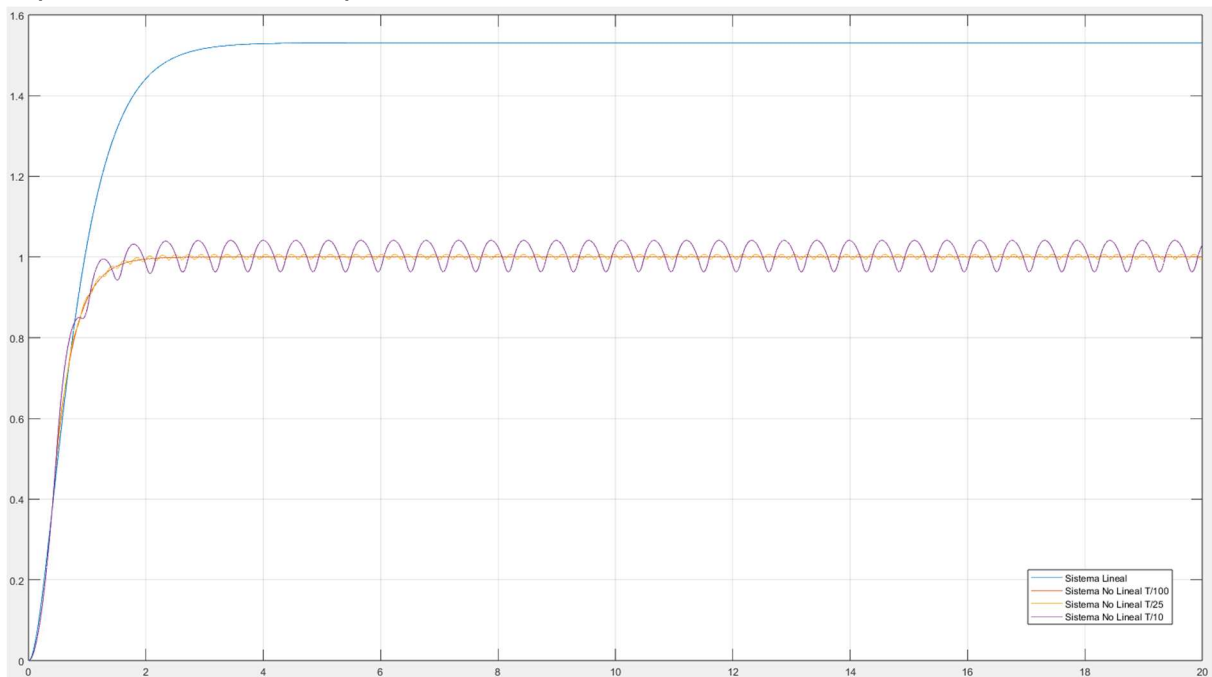


Al ir aumentando el ancho de histéresis se observa como las oscilaciones de la señal de error, y de la respuesta al sistema se incrementan.

Podemos realizar las siguientes comparaciones para el caso del error:



Y para el caso de la respuesta:

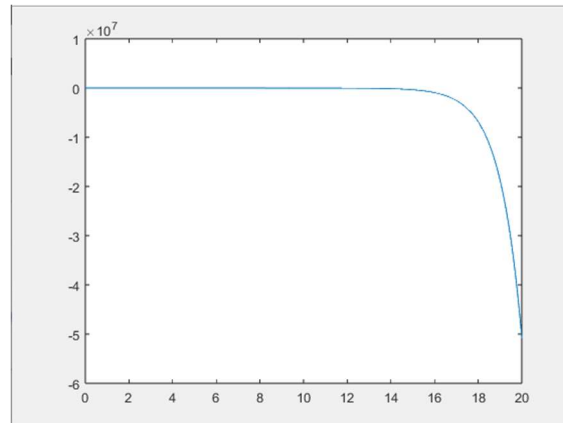


El aumento de las oscilaciones se debe a que disminuye la frecuencia de conmutación del relé. Es decir, estamos aumentando el ancho del ciclo, por lo que demora más en corregir el error.

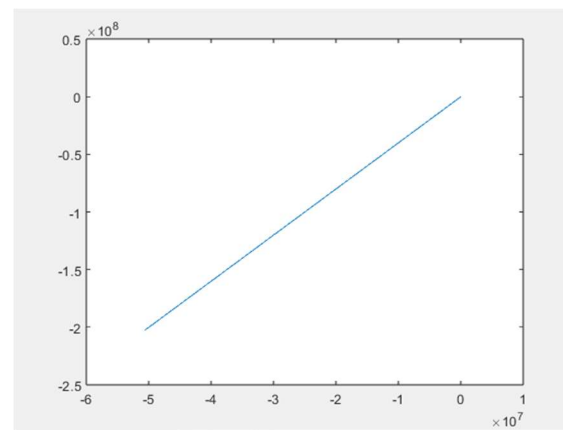
Si ahora aumentamos el ancho del ciclo a la ganancia total, obtenemos:

```
T = K*Kc; %Ancho del ciclo = Ganancia Total
```

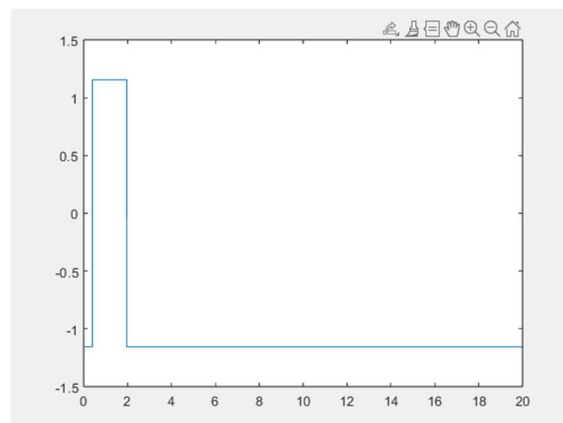
Se grafica el error:



Se grafica el plano de fases:



Se grafica la señal de control:



Al igualar el ancho del ciclo de histéresis a la ganancia total, el relé conmuta una vez y no se ejerce acción de control sobre el sistema, quedando este inestable.