UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

SISTEMA DE CONTROL II

ACTIVIDAD PRÁCTICA N 1: Representación de sistemas y controladores

DOCENTE: Pucheta Julián

ALUMNO: Tito Ricardo Clemente

MATRICULA: 35308739

Enlace de GitHub:

https://github.com/TitoRicardoClemente/SistemaDeControl2

Ítem [1] Asignar valores a R=47Ω, L=1μHy, y C=100nF. Obtener simulaciones que permitan estudiar la dinámica del sistema, con una entrada de tensión escalón de 12V, que cada 1ms cambia de signo.

En un primer momento Definí todas las Matrices de estado, sus parámetros, y el tiempo de integración:

```
% Definicón de las Matrices y los valores de Cada Variable
% Variables
R= 47;  %  47[Ohms]
L= 1e-6;  % 1 [uHy]
cap= 100e-9; % 100 [nF]
% Matrices
A= [-R/L -1/L; 1/cap 0];
B=[1/L; 0];
C=[R 0];
D=[0];
```

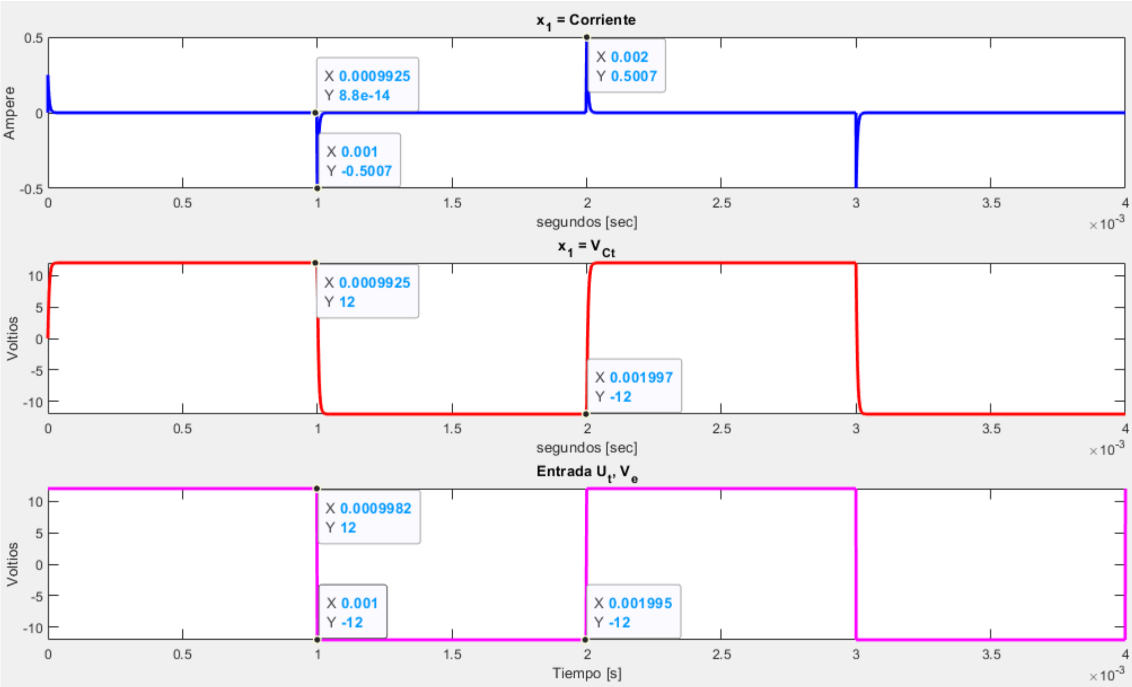
```
% defino el tiempo de integración y tiempo final
tI=1e-9; tF=4e-3;
% calcular la cantidad de puntos que tomará mi simulación:
h=tF/tI;
% defino la cantidad de datos correspondiente al tiempo
% tiempo inicial=0, tiempo final=1e-9, cantidad de valores=4e6
t=linspace(0,tF,h);
```

En una segunda instancia inicialice todas las variables y la entrada escalón de 12 [V]

```
% Defino las variables y sus datos a guardar
u=[h];          % defino variable de entrada u
i=[h];          % defino variable de estado x1
vc=[h];         % defino variable de estado x2
vr=[h];         % defino variable de salida y

% Variables de estados, inicialización
X=[0; 0];      % x1 = 0 , x2 = 0
Y=[0];         % y = 0

% inicialización
Ve=12;          % tension máxima de la señal de entrada
tconmuta=1e-3;    % tiempo de subida y bajada, señal de entrada
```

Haciendo uso del Algoritmo de Euler Calcule y guarde las variables en las diferentes variables de estados, haciendo uso de las Matrices de estado definidas en el principio:

```
% ecuaciones deferenciales de primer orden del sistema monovariable
Xp=A*X+B*u(j);  % Ecuación de Estados
X=X+tI*Xp;      % Método de Euler definido tI=1useg * dx
Y=C*X;
```



A la salida me muestra la siguiente grafica que condice con lo que pide el enunciado, mostrando, desde arriba, la corriente en el inductor (Azul), la tensión en el Capacitor (Rojo), y tensión de entrada (magenta). La tensión en el capacitor se estabiliza muy rápidamente, en el orden de los microsegundo, esto debido a la baja resistividad del sistema y su transitorio, cuya constante de tiempo es baja.

Ítem [2] En el archivo Curvas_Medidas_RLC.xls (datos en la hoja 1 y etiquetas en la hoja 2) están las series de datos que sirven para deducir los valores de R, L y C del circuito. Emplear el método de la respuesta al escalón, tomando como salida la tensión en el capacitor.

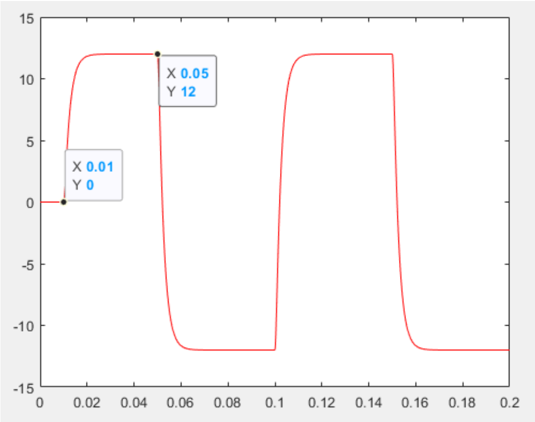
En un primer momento cargo los datos del Excel en cuatro variables correspondiente al tiempo, la corriente en el inductor, la tensión en el capacitor y la entrada de tensión:

```
tiempo_d = xlsread('Curvas_Medidas_RLC_2024.xls','Hoja1','A:A');
corriente_L=xlsread('Curvas_Medidas_RLC_2024.xls','Hoja1','B:B');
tension_C=xlsread('Curvas_Medidas_RLC_2024.xls','Hoja1','C:C');
escalon_d=xlsread('Curvas_Medidas_RLC_2024.xls','Hoja1','D:D');
figure(1);
plot(tiempo_d,tension_C,'blue'); hold on
title('Curvas Datos Tensión de Capacitor - Original');
xlabel('Tiempo [segundos]');
ylabel('Tensión [Volts]');
```

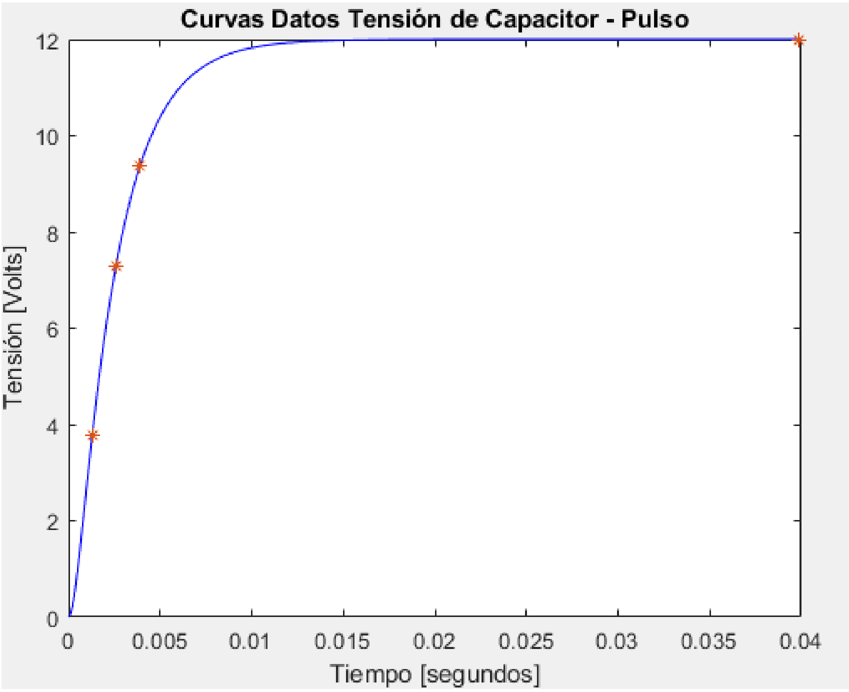
Para Poder aplicar el Método de Chen primero cree y usé una función que toma los valores después del punto muerto y antes del punto de bajada de la señal de entrada. Además de solo tomar el primer escalón ya que este es el que posee condiciones iniciales nulas:

```
function [X,Y,Z]=CurvaCondicionesInicialesNulas(t,Vc,Ve,iteracion)
    t_aux=[];
    vc_aux=[];
    ve_aux=[];
    j=1;
    for i=1:1:iteracion...
X=t_aux;
Y=vc_aux;
Z=ve_aux;
end
```

Solo puedo tomar este valor ya que este es el único que tiene condiciones iniciales nulas



Luego en la misma gráfica marqué los puntos t1, t2 y t3, equidistantes:



Donde estos puntos definen las siguientes ecuaciones:

$$\begin{cases} y(t_1) = K\left[1 + \frac{T_3 - T_1}{T_1 - T_2} \mathrm{e}^{-t_1/T_1} - \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_2} \mathrm{e}^{-t_1/T_2}\right], \\ y(2t_1) = K\left[1 + \frac{T_3 - T_1}{T_1 - T_2} \mathrm{e}^{-2t_1/T_1} - \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_2} \mathrm{e}^{-2t_1/T_2}\right], \\ y(3t_1) = K\left[1 + \frac{T_3 - T_1}{T_1 - T_2} \mathrm{e}^{-3t_1/T_1} - \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_2} \mathrm{e}^{-3t_1/T_2}\right]. \end{cases}$$

Donde

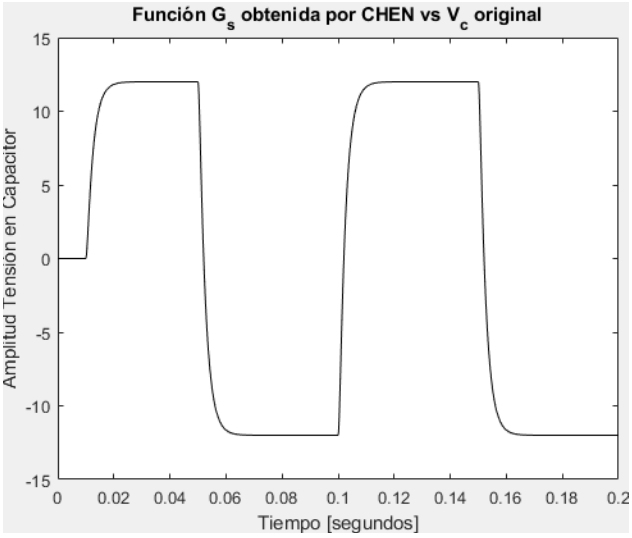
$$\alpha_1 \coloneqq \exp(-t_1/T_1), \qquad \alpha_2 \coloneqq \exp(-t_1/T_2), \qquad \beta \coloneqq \frac{T_3 - T_1}{T_1 - T_2}.$$

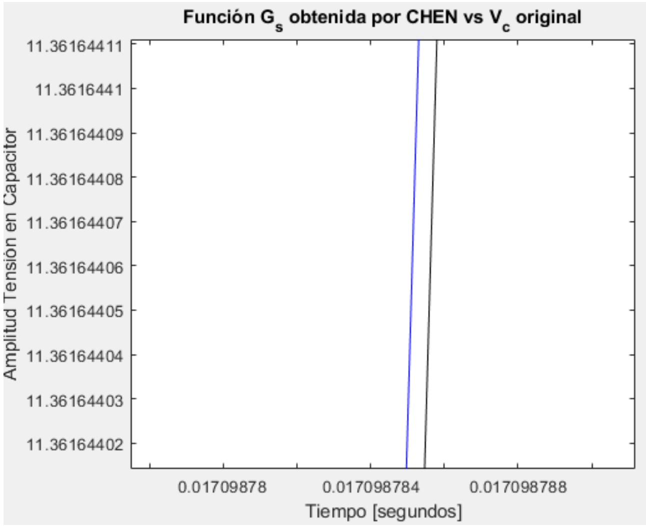
tomando esto obtuve:

$$\begin{cases} y(t_1) = K\left[1 + \beta\alpha_1 - (1+\beta)\alpha_2\right], \\ y(2t_1) = K\left[1 + \beta\alpha_1^2 - (1+\beta)\alpha_2^2\right], \\ y(3t_1) = K\left[1 + \beta\alpha_1^3 - (1+\beta)\alpha_2^3\right]. \end{cases}$$

Calculando el sistema aproximado se obtiene la siguiente función de transferencia:

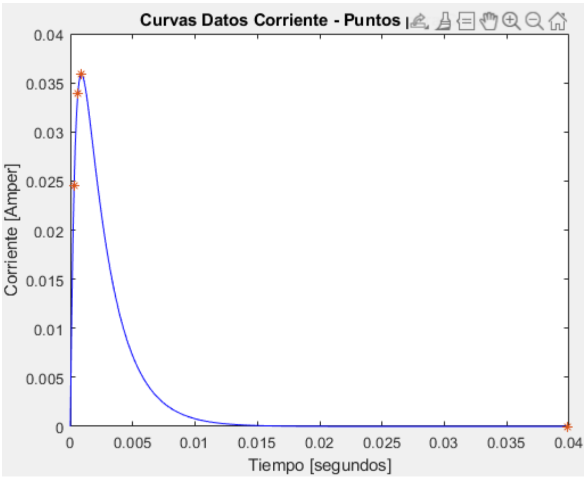
```
G_s =

  -5.0915 (s-1.991e05)
  --------------------
   (s+2283) (s+444.1)
```





Simulando la misma bajo la entrada dada por los datos del Excel se pudo observar que se aproxima bastante, en el grafico de la izquierda no se acerca a percibir la diferencia, mientras amplificándola, gráfico de la derecha, se puede apreciar la buena aproximación, en azul, la función original y, en negro, la aproximada.

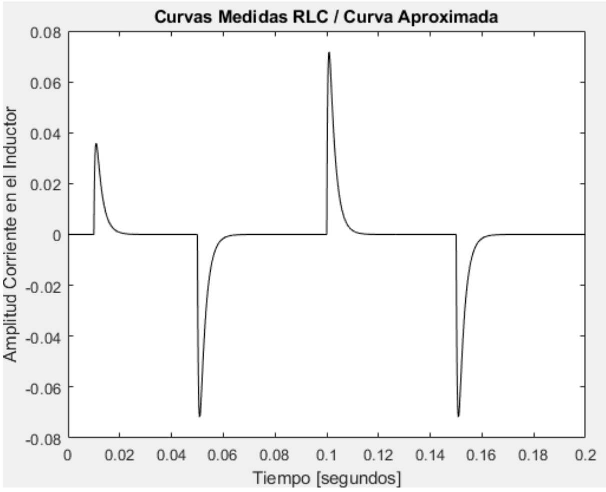
Lo mismo podemos hacer con la corriente y la señal aproximada.

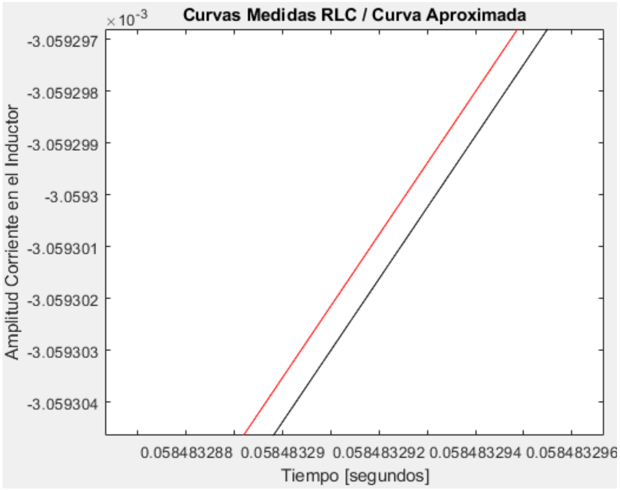


Considerando los tres valores tomados en la imagen, se puede aproximar la curva por medio del método de Chen, obteniendo la siguiente Función:

```
G_s =

  10.137 (s+1.113e-05)
  --------------------
   (s+2283) (s+444.1)
```

Al igual que con la tensión comparando la corriente aproximada y la generada por los datos del Excel se obtiene:





Ítem [3] Una vez determinados los parámetros R, L y C, emplear la serie de corriente desde 0.05seg en adelante para validar el resultado superponiendo las gráficas.

Defino los nuevos calores correspondientes a los componentes R, L y C:

```
% Definicón de las Matrices y los valores de Cada Variable
% Variables
R= 268.9955;  % 269 [Ohms]
L= 98.6e-3;   % 98.6 [mHy]
cap= 1e-05;   % 10 [uF]
% Matrices
A= [-R/L -1/L; 1/cap 0];
B=[1/L; 0];
C=[R 0];
D=[0];
```

Estas nuevas matrices se usaron para poder calcular los valores de estados por Euler:

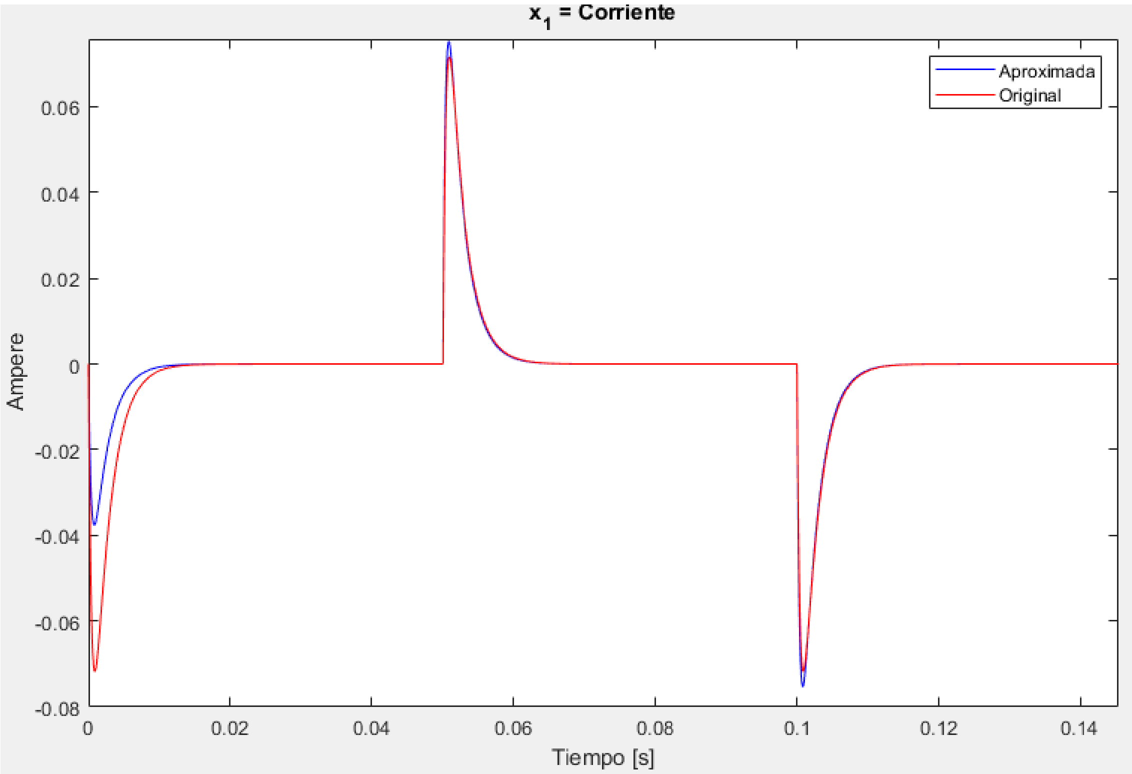
```
% ecuaciones deferenciales de primer orden del sistema monovariable
Xp=A*X+B*u(j);  % Ecuación de Estados
X=X+tI*Xp;      % Método de Euler definido tI=1useg * dx
Y=C*X;
```

Tomando los valores correspondientes a 0,05 segundos en adelante, use una nueva función que asigna una nueva entrada escalón comenzando en este tiempo:

```
% Defino la entrada
[u,t,i_S]=Entrada(tiempo_d,escalon_d,corriente_L,length(tiempo_d));
```

```
function [U,T,I]=Entrada(t,Ve,I,iteracion)
    t_aux=[];
    ve_aux=[];
    i_aux=[];
    j=1;
    t_inic=0;
    for i=1:1:iteracion...
I=i_aux;
T=t_aux;
U=ve_aux;
end
```

Comparando la señal original (Rojo) con la aproximada (Azul) se puede observar que se aproxima muy cercanamente, pero se diferencia por las condiciones iniciales no nulas de la original:



Ítem [4] Obtener el torque máximo que puede soportar el motor modelado mediante las Ecs. (1-5) (1-6) y (1-7) cuando se lo alimenta con 12V, graficando para 5 segundos de tiempo la velocidad angular y corriente i_a para establecer su valor máximo como para dimensionar dispositivos electrónicos.

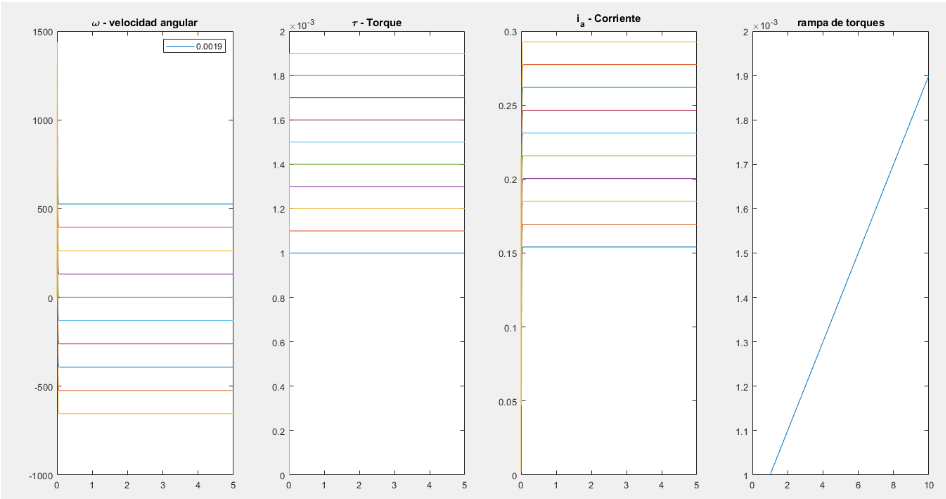
Para ello defino las variables de cada una de las constantes y las respectivas matrices de estados:

```
% ITEM 4 - Calculo de Torque

Laa=366e-6;
J=5e-9;
Ra=55.6;
Bm=0;
Ki=6.49e-3;
Km=6.53e-3;

% Defino las matrices de estados

A=[-Ra/Laa -Km/Laa 0; Ki/J -Bm/J 0; 0 1 0];
B=[1/Laa 0; 0 -1/J; 0 0];
C=[0 1 0];
D=[0 0];
```

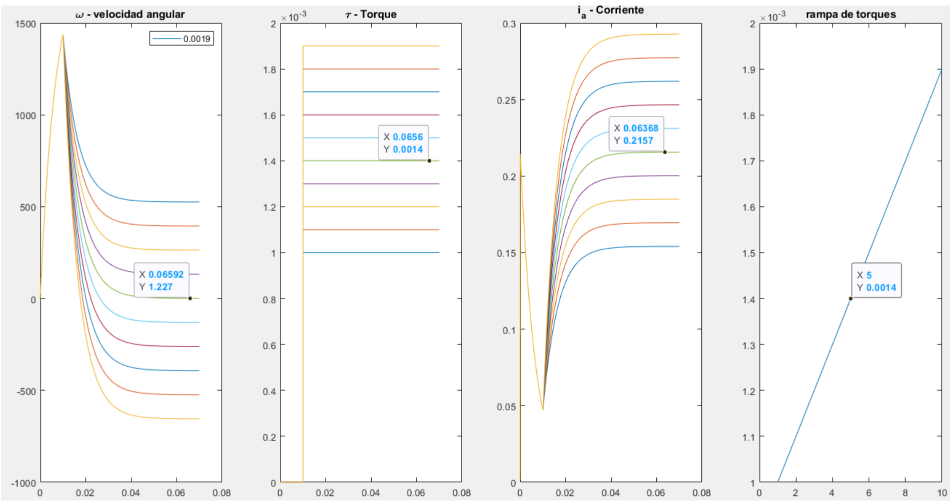
Para ver el torque máximo tengo que probar como responde la velocidad angular ante diferentes valores de este:

```
while TLi<=TLfin                   % vario el torque hasta un valor final
    tL=TLi*heaviside(t-0.01); % torque comienza en un tiempo diferente que la entrada u para ver la diferencia
    Xop=[0;0;0];                   % punto de operación
    Xp=[0;0;0];                    % Matriz auxiliar para las variables de estado derivadas
    X=[0;0;0];                     % Matriz de variable de estado
    U=[0;0];                       % Matriz de entradas tensión y torque

    for ii=1 : h
        U(1)=u(ii);
        U(2)=tL(ii);
        Xp = A*(X-Xop) + B*U;
        X  = X + Xp*t_S;
        ia(ii)=X(1);
        wr(ii)=X(2);
        theta(ii)=X(3);
    end
    figure(1)
    subplot(1,4,1);plot(t,wr);legend(string(TLi));title('\omega - velocidad angular');hold on
    subplot(1,4,2);plot(t,tL);title('\tau - Torque');hold on
    subplot(1,4,3);plot(t,ia);title('i_a - Corriente');hold on
    TLR(jj)=TLi;
    TLi=TLi+0.0001;
    jj=jj+1;
end
```

Obteniendo para 5 segundos:



Pare este intervalo de tiempo no se alcanza a apreciar los cambios entonces lo simule en 0,06 segundos:



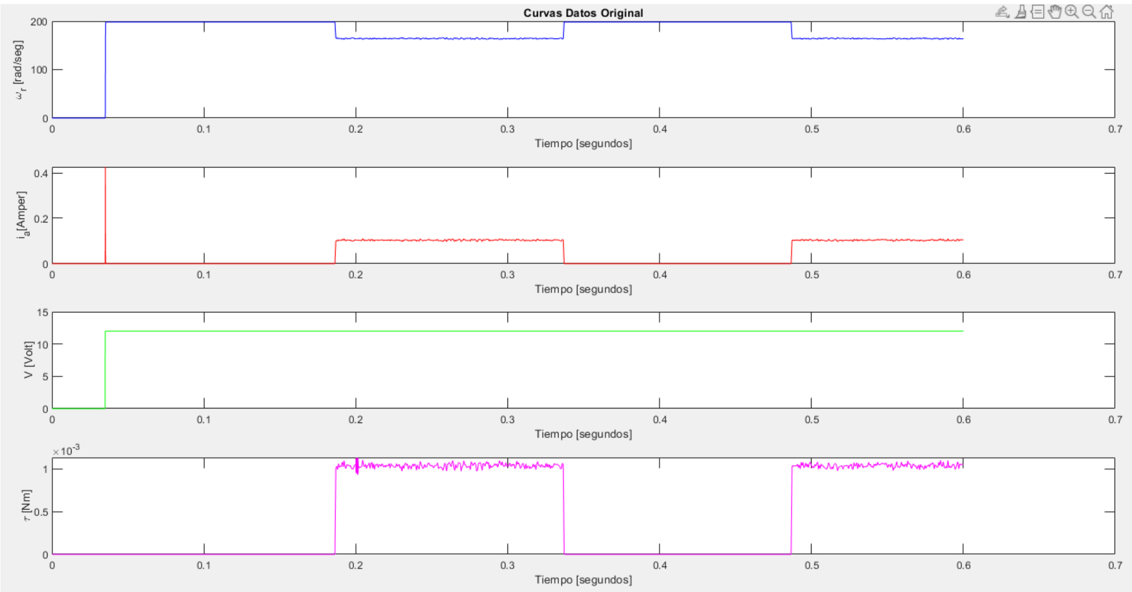
Acá se alcanza a ver que el torque máximo aproximado esta entre 1,3 [mNm] y 1,5 [mNm]. Define entonces el Torque máximo en 1,4 [mNm]

Ítem [5] A partir de las curvas de mediciones de las variables graficadas en la Fig. 1-3, se requiere obtener el modelo del sistema considerando como entrada un escalón de 12V, como salida a la velocidad angular, y al torque de carga T_L aplicado una perturbación. En el archivo Curvas_Medidas_Motor.xls están las mediciones, en la primer hoja los valores y en la segunda los nombres. Se requiere obtener el modelo dinámico, para establecer las constantes del modelo (1-5) (1-6).

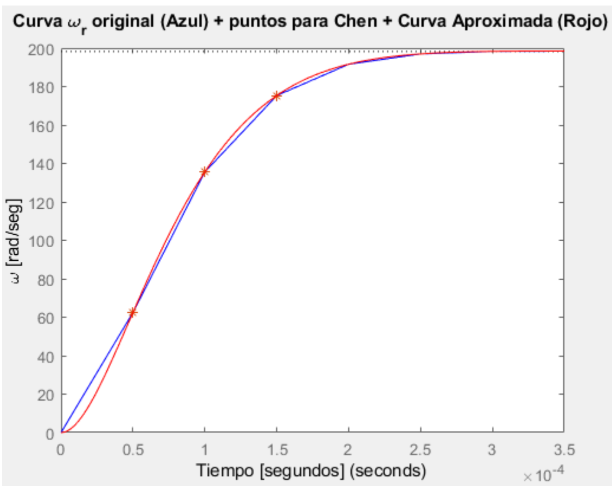
Tome los datos en el Excel y los cargue en las cuatro variables:

```
% Cargo los valores en cuatro arreglos:
tiempo_d = xlsread('Curvas_Medidas_Motor_2024.xls','Hoja1','A:A');
velovidad_d=xlsread('Curvas_Medidas_Motor_2024.xls','Hoja1','B:B');
corriente_d=xlsread('Curvas_Medidas_Motor_2024.xls','Hoja1','C:C');
tension_d=xlsread('Curvas_Medidas_Motor_2024.xls','Hoja1','D:D');
torque_d=xlsread('Curvas_Medidas_Motor_2024.xls','Hoja1','E:E');
```

Mostrando las siguientes gráficas:



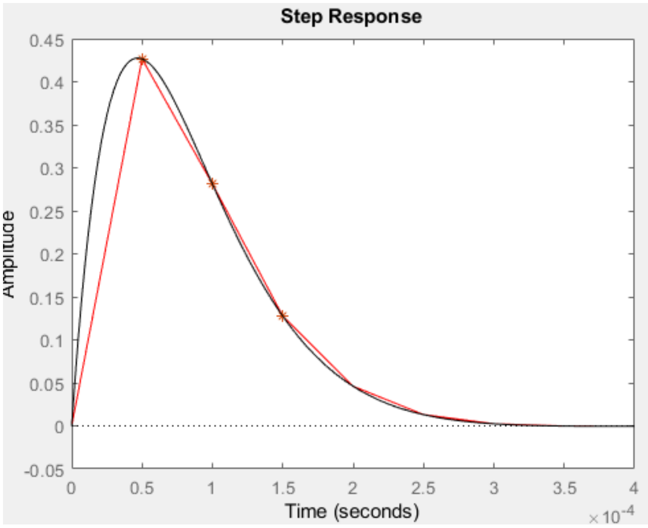
Al igual que en el ítem 2, hice uso del método de Chen para el cálculo de la función de transferencia, tomando tres puntos:



Acá mismo se observa en azul la señal de velocidad angular y en rojo la de aproximación, dando la siguiente función de transferencia:

```
W_r_V_a =

      -4812.8 (s-1.999e07)
  ----------------------------
  (s^2 + 4.003e04s + 4.852e08)
```

Al mismo tiempo, se realizo el mismo procedimiento para determinar la señal de velocidad angular, tomando tres puntos y realizando la siguiente aproximación:



Debí tomar los tres valores por encima del punto máximo por no tener suficientes valores antes. Dando la siguiente función de transferencia:

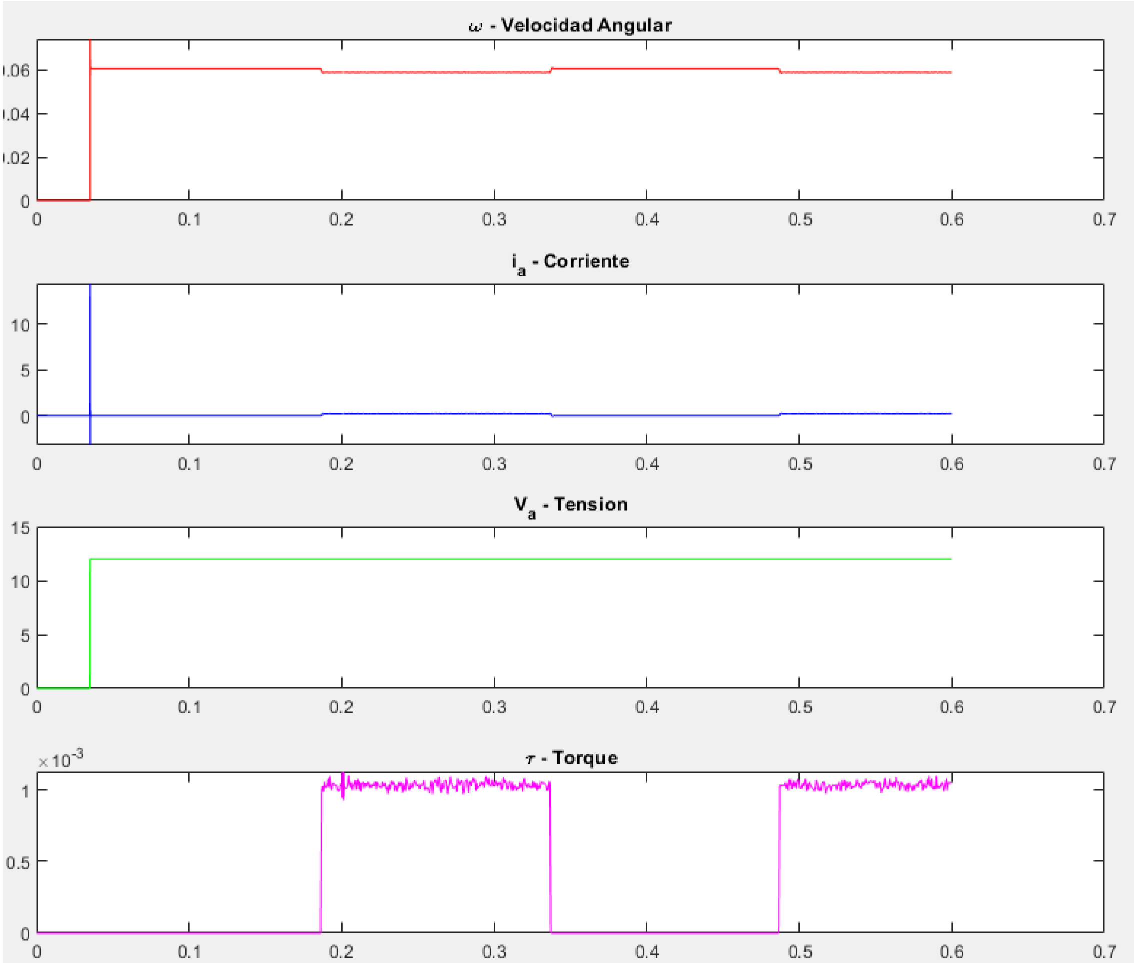
```
I_a_V_a =

     4.956e-05 s + 8.958e-15
  ------------------------------
  2.061e-09 s^2 + 8.25e-05 s + 1
```

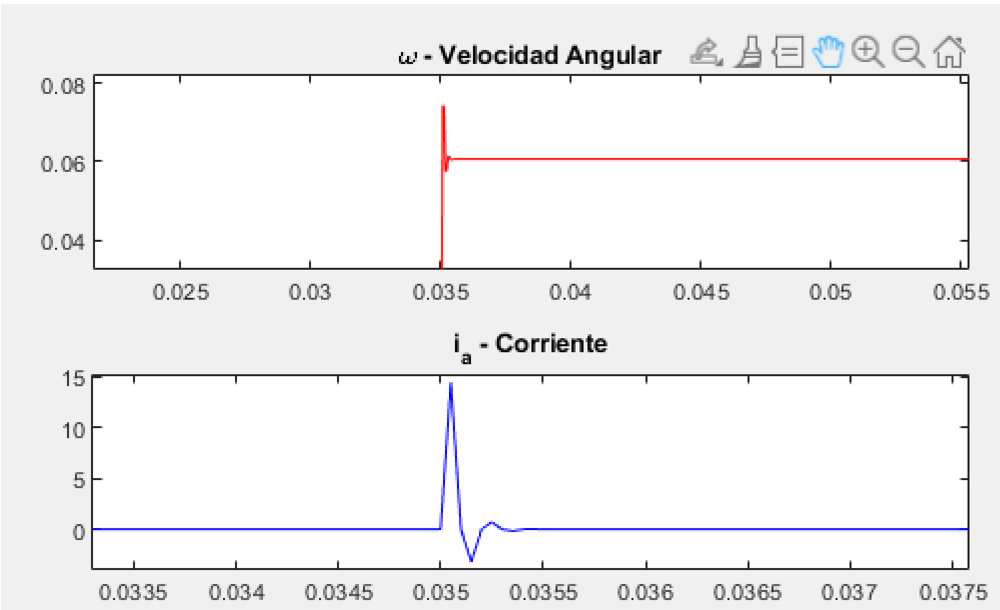
Para luego calcular los parámetros según el siguiente algoritmo:

```
% sitema aproximado
step(I_a_V_a,'k');hold on
J=I_a_V_a.Numerator{1,1}(1,2)
B=I_a_V_a.Numerator{1,1}(1,3)
L=I_a_V_a.Denominator{1,1}(1,1)/J
R=(I_a_V_a.Denominator{1,1}(1,2)-L*B)/J
KmKi=1-R*B; Km=198,2;
Ki=KmKi/Km
```

```
J =4.9562e-05;
Bm =8.9585e-15;
Laa =4.1583e-05;
Ra =1.6646;
Km = 198;
Ki =0.0051;
```

Para lo cual fue necesario realizar una comprobación, simulando según las entradas dadas por el documento Excel. Los valores obtenidos son los siguientes:





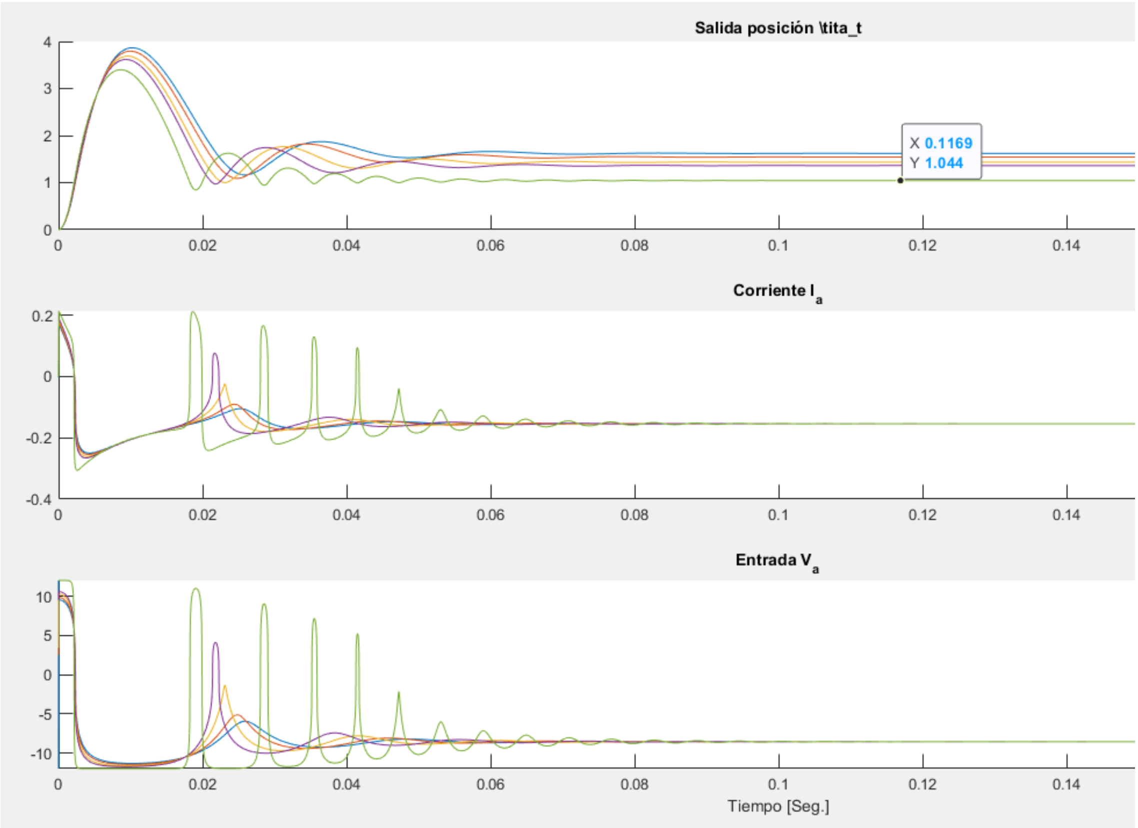
Se puede observar como la aproximación no es perfecta, mostrando para el caso de la velocidad angular (rojo), un sobrepaso que los datos originales no poseen, para los valores de corriente aparece algo similar antes de establecerse.

Ítem [6] Implementar un PID en tiempo discreto para que el ángulo del motor permanezca en una referencia de `1radian` sometido al torque descripto en la Fig. 1-3. (Tip: partir de K_P=0,1; K_i=0,01; K_D=5).

Decidí realizar arreglos para los valores de Kp, Ki y Kd:

```
%Constantes del PID
%Kp=0.1;Ki=0.01;Kd=5;
Kpv=[0.1 0.5 1 10 1000];        %kp=1000
Kiv=[3.5e7 4e7 5e7 6e7 5e8];    %ki=5e8
Kdv=[1 0 0 0 0];                %kd=0
```

Esto me permitió ver para cuales valores el sistema se veía más estables



Después de probar con múltiples valores de las tres, se obtiene una estabilización en aproximadamente 1 radian para:

$$K_p = 1000 \quad K_i = 5x10^8 \quad K_d = 0$$