Sistemas de Control II

Trabajo práctico Nº1

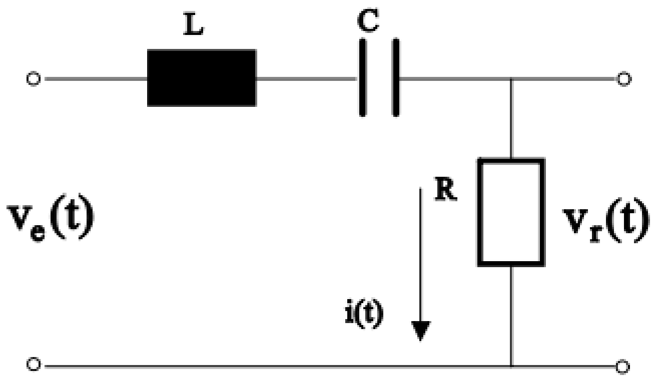
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

FCEFyN

- Profesor: Dr. Ing. Pucheta, Julian
- Alumno: Valdez Benavidez, Mauricio L.

CASO DE ESTUDIO 1

SISTEMAS DE DOS VARIABLES DE ESTADO



Se parte del esquemático de un circuito RLC con representaciones en variables de estado

$$\dot{x} = A * x(t) + B * u(t)$$

$$y = c^T x(t)$$

Donde las matrices contienen a los coeficientes del circuito

$$c^T = [R \quad 0]$$

1) *Asignar valores a R=4,7KΩ, L=10μHy, 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.*

Para obtener las simulaciones se deben definir algunos parámetros como el tiempo total de simulación que permita captar todas las dinámicas del sistema, el tiempo de integración o paso, los vectores de entrada y temporales para poder graficar luego.

Se obtiene la FT del sistema y los polos de la misma:

```
G =

         4.7e08 s
  ---------------------
  s^2 + 4.7e08 s + 1e12
```

Polos:

-4.7000e+08
-2.1277e+03

donde $\lambda_1 = -4.70\text{e}8 \; y \; \lambda_2 = -2.1277\text{e}3$

Para determinar el paso o tiempo de integración, se busca el polo que se corresponde con la dinámica más rápida para la cual se llega a un 95% en:

$$t_{95\%\ dinamica} = \frac{Ln(0.95)}{\lambda_1} = 1.0914 * 10^{-10}$$

El paso de integración h debe ser al menos 10 veces más chico que el tiempo calculado es decir

$$h = \frac{t_{95\%\ dinamica}}{10} = 1.0914 * 10^{-11}$$

sin embargo por cuestiones computacionales se va a tomar un paso 10 veces más grande

$$h = 1.0914 * 10^{-09}$$

Para determinar el tiempo de simulación para el cual se establece el sistema, se busca el polo que se corresponde con la dinámica más lenta para la cual se llega a un 5% en:

$$t_{5\%\ lenta} = \frac{Ln(0.05)}{\lambda_2} = 1.4 * 10^{-3}$$

El tiempo debería ser al menos 5 veces más grande que el tiempo calculado es decir

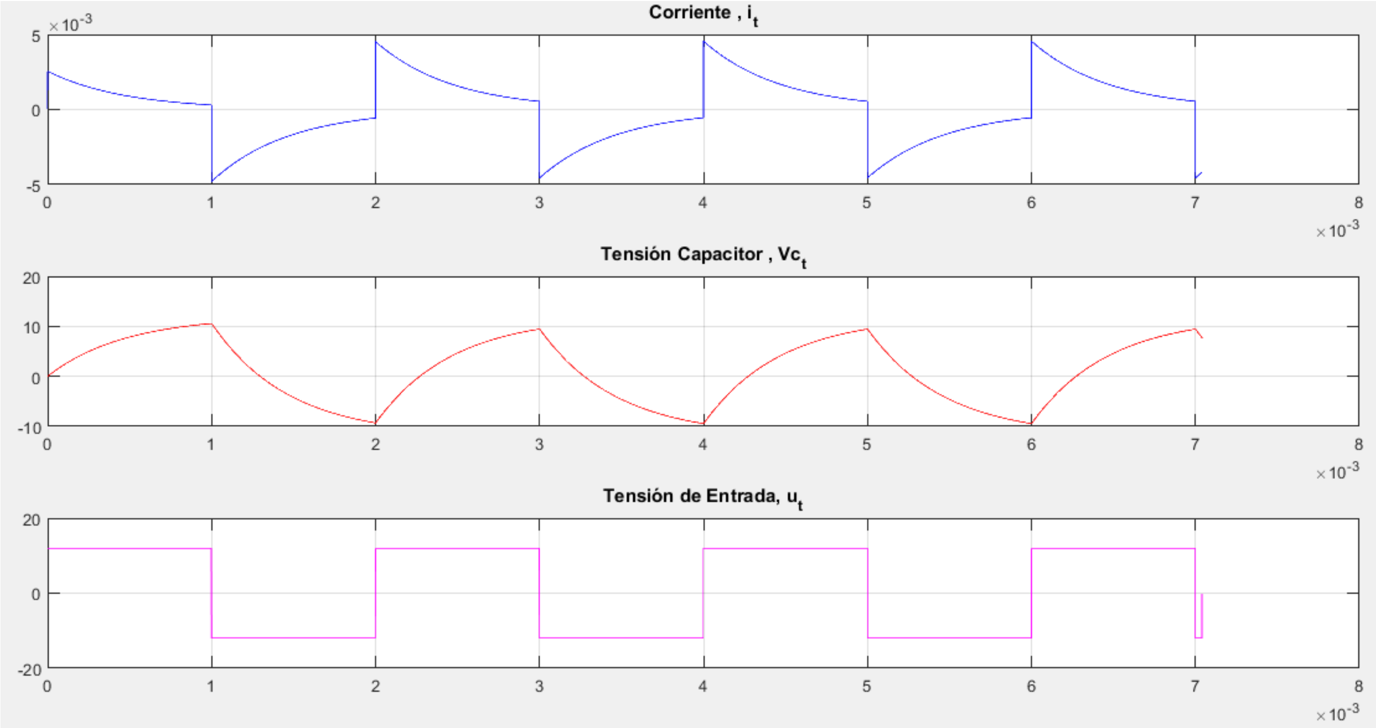
$$tF = t_{5\%\ lenta} * 5 = 7 * 10^{-3}$$

Hay que tener en cuenta que el tiempo anterior calculado es válido para una entrada que no varíe, por lo tanto como la consigna dice que cada 1[ms] varíe la entrada, el sistema no llega a establecerse por completo, pero si vemos cómo reacciona al conmutar la entrada.

<u>Simulación</u>

Se observa el comportamiento de la corriente y la tensión, la corriente al momento de conmutar la tensión de entrada del sistema tiene un pico que viene dado por el inductor quien se opone a la variación de la corriente.

La tensión por su parte vemos que comienza en cero y el capacitor al estar descargado comienza a cargarse hasta el momento de conmutar la entrada, el capacitor se opone a la variación de tensión descargándose y es lo que se visualiza en la simulación.



2) *Asignar valores a R=5,6KΩ, L=10μHy, y C=100nF; repetir lo anterior para comparar el resultado y verificar la correcta simulación.*

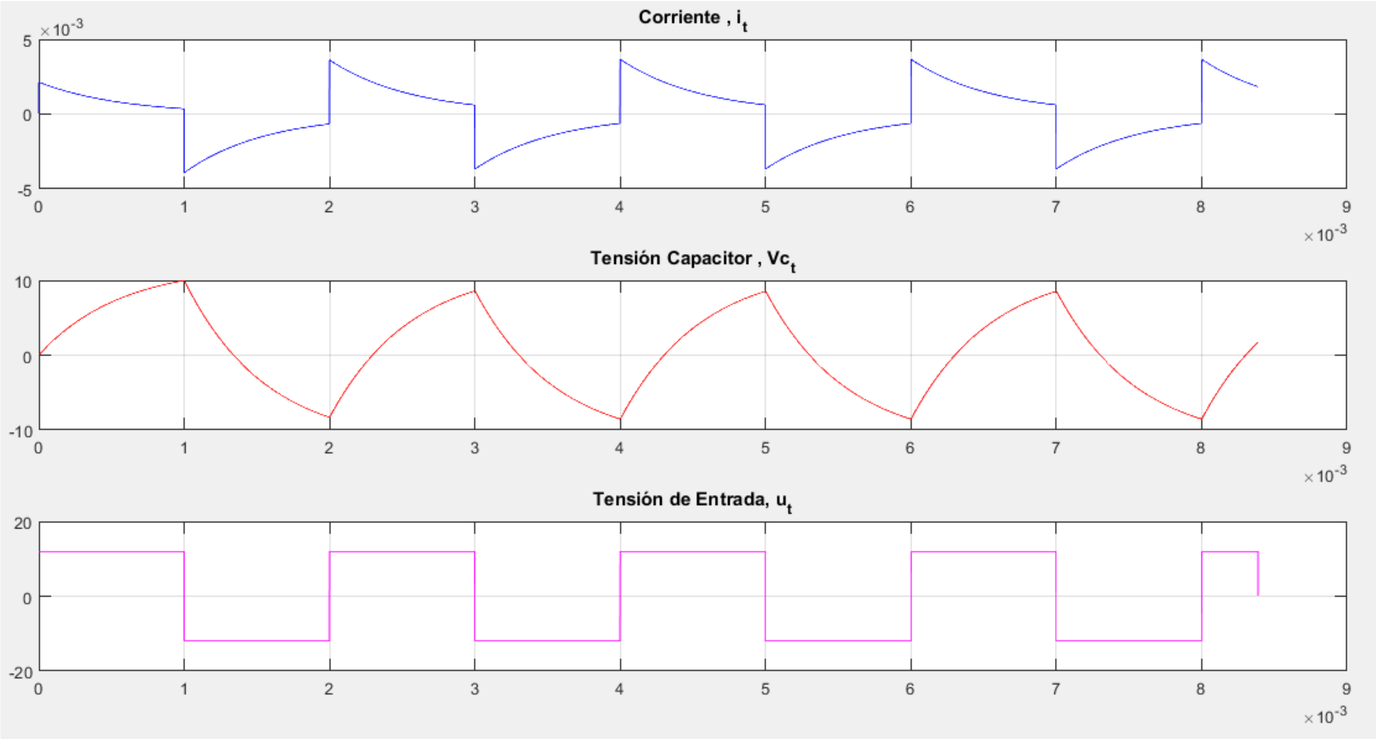
El procedimiento es el mismo que en la consigna anterior, se volvió a calcular la FT, se analizaron los polos y se recalcularon el tiempo de integración y el tiempo de simulación.

$$h = 9.1595 * 10^{-10}$$

$$tF = 8.4 * 10^{-3}$$

<u>Simulación</u>

Para este caso, vemos que al aumentar el valor de la resistencia, aumenta también la constante de tiempo de carga y descarga del capacitor, provocando entonces que demore más en cargarse y al momento de conmutar la entrada llega a un valor inferior que el visto en la primera simulación. La corriente por su parte, se ve disminuida en los picos al momento de la conmutación.



<u>Script usado para la simulación del inciso 1</u>

```
% Sistemas de Control II -FCEFyN-UNC
% Profesor: Dr.Ing. Pucheta, Julian
% Alumno: Valdez Benavidez, Mauricio Luciano
% Tp N° 1 - Caso de estudio 1 -
%   Inciso 1
%   Asignar valores a R=4,7Kohm, L=10uHy, 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.
%
%%
clear all; close all; clc;
R=4.7e3; L=10e-6; C=100e-9;

A=[-R/L -1/L; 1/C 0];   %matriz de estados
B=[1/L; 0];             %matriz de entrada
C=[R 0];                %matriz de salida
D=[0];                  %matriz de transmision directa

[num,den]=ss2tf(A,B,C,D); %obtengo la FT a partir del
                          %espacio de estados dado y luego los polos
G=tf(num,den); polos=roots(den);

tR=log(0.95)/polos(1); %dinámica mas rápida
tR=tR*10;
tL=log(0.05)/polos(2); %dinámica mas lenta
tL=tL*5;

paso=tL/tR;
t=linspace(0,tL,paso);
```

```
u=linspace(0,0,paso);
vin=12;

%punto de operacion
Il(1)=0;
Vcl(1)=0;
x=[Il(1) Vcl(1)]';
y(1)=0;
Xop=[0 0]';
ii=0;

for i=1:paso-1
 ii=ii+tR;
 if (ii>=1e-3)
 ii=0;
 vin=vin*-1;
 end
 u(i)=vin;
 %Variables de sistema lineal
 xp=A*(x-Xop)+B*u(i);
 x=x+xp*tR;
 Y=C*x;
 y(i+1)=Y(1);
 Il(i+1)=x(1);
 Vcl(i+1)=x(2);
end
%Grafico de Il, Vc y Vin
figure(1)
subplot(3,1,1);
plot(t,Il, 'b' );title('Corriente , i_t'); grid on;
subplot(3,1,2);
plot(t,Vcl, 'r' );title('Tensión Capacitor , Vc_t');grid on
subplot(3,1,3);
plot(t,u, 'm' );title('Tensión de Entrada, u_t');grid on

%Grafico de Il y Vin
figure(2)
subplot(2,1,1);
plot(t,Il, 'b' );title('Corriente , i_t'); grid on;
subplot(2,1,2);
plot(t,u, 'm' );title('Tensión de Entrada, u_t');grid on

%Grafico de Vc y Vin
figure(3)
subplot(2,1,1);
plot(t,Vcl, 'r' );title('Tensión Capacitor , Vc_t');grid on
subplot(2,1,2);
plot(t,u, 'm' );title('Tensión de Entrada, u_t');grid on

%Grafico de Il y Vc
figure(4)
subplot(2,1,1);
plot(t,Il, 'b' );title('Corriente , i_t'); grid on;
subplot(2,1,2);
plot(t,Vcl, 'r' );title('Tensión Capacitor , Vc_t');grid on
```

Script usado para la simulación del inciso 2

```
% Sistemas de Control II -FCEFyN-UNC
% Profesor: Dr.Ing. Pucheta, Julian
% Alumno: Valdez Benavidez, Mauricio Luciano
% Tp N° 1 - Caso de estudio 1 -
%   Inciso 2
%   Asignar valores a R=5,6Kohm, L=10uHy, y C=100nF;
%   repetir lo anterior para comparar el
%   resultado y verificar la correcta simulación.
%
%%
clear all; close all; clc;
R=5.6e3; L=10e-6; C=100e-9;

A=[-R/L -1/L; 1/C 0];   %matriz de estados
B=[1/L; 0];             %matriz de entrada
C=[R 0];                %matriz de salida
D=[0];                  %matriz de transmision directa

[num,den]=ss2tf(A,B,C,D); %obtengo la FT a partir del espacio
                          %de estados dado y luego los polos
G=tf(num,den); polos=roots(den);

tR=log(0.95)/polos(1); %dinámica mas rápida
tR=tR*10;
tL=log(0.05)/polos(2); %dinámica mas lenta
tL=tL*5;

paso=tL/tR;
t=linspace(0,tL,paso);
u=linspace(0,0,paso);
vin=12;

%punto de operacion
Il(1)=0;
Vcl(1)=0;
x=[Il(1) Vcl(1)]';
y(1)=0;
Xop=[0 0]';
ii=0;

for i=1:paso-1
 ii=ii+tR;
 if (ii>=1e-3)
 ii=0;
 vin=vin*-1;
 end
 u(i)=vin;
 %Variables de sistema lineal
 xp=A*(x-Xop)+B*u(i);
 x=x+xp*tR;
 Y=C*x;
 y(i+1)=Y(1);
 Il(i+1)=x(1);
```

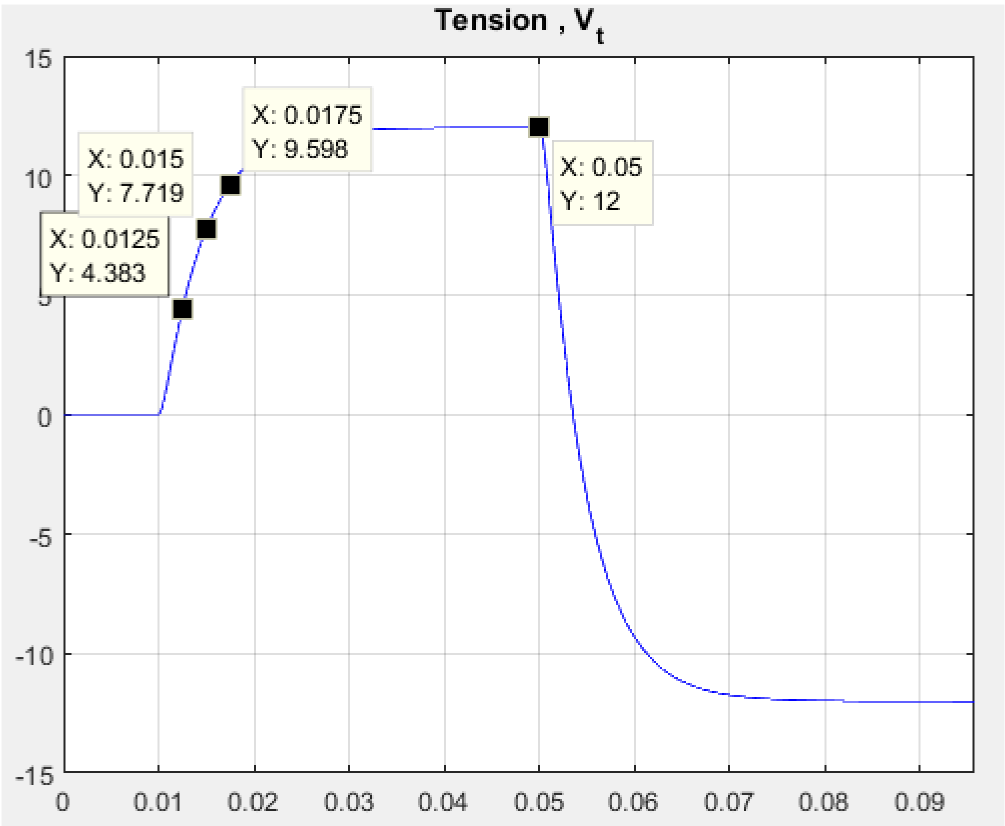
```
 Vcl(i+1)=x(2);
end
%Grafico de Il, Vc y Vin
figure(1)
subplot(3,1,1);
plot(t,Il, 'b' );title('Corriente , i_t'); grid on;
subplot(3,1,2);
plot(t,Vcl, 'r' );title('Tensión Capacitor , Vc_t');grid on
subplot(3,1,3);
plot(t,u, 'm' );title('Tensión de Entrada, u_t');grid on

%Grafico de Il y Vin
figure(2)
subplot(2,1,1);
plot(t,Il, 'b' );title('Corriente , i_t'); grid on;
subplot(2,1,2);
plot(t,u, 'm' );title('Tensión de Entrada, u_t');grid on

%Grafico de Vc y Vin
figure(3)
subplot(2,1,1);
plot(t,Vcl, 'r' );title('Tensión Capacitor , Vc_t');grid on
subplot(2,1,2);
plot(t,u, 'm' );title('Tensión de Entrada, u_t');grid on

%Grafico de Il y Vc
figure(4)
subplot(2,1,1);
plot(t,Il, 'b' );title('Corriente , i_t'); grid on;
subplot(2,1,2);
plot(t,Vcl, 'r' );title('Tensión Capacitor , Vc_t');grid on
```

3) *En el archivo Curvas_Medidas_RLC.xls (datos en la hoja 1 y etiquetas en la hoja 2) encontrarán las series de datos que deberían emplear 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*.

Para deducir los valores de R, L y C a partir de los datos brindados, se debe obtener una FT que describa el sistema. Para el caso, se sigue el procedimiento del autor Chen, dónde se hace el análisis de un sistema de segundo orden con polos diferentes.

$$G(s) = \frac{K(T_3 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}, \quad T_1 < T_2,\ T_3 \neq T_1,\ T_3 \neq T_2,$$

Donde T1, T2 y T3 son constantes de tiempo y K la ganancia del sistema.
Se eligen 3 puntos del sistema a aproximar teniendo en cuenta que X1=(t1,y(t1)) ; X2=(2t1,y(2t1)); X3=(3t1,y(3t1))



X1=(0.0125 , 4.383)

X2=(0.0150 , 7.719)

X2=(0.0175 , 9.598)

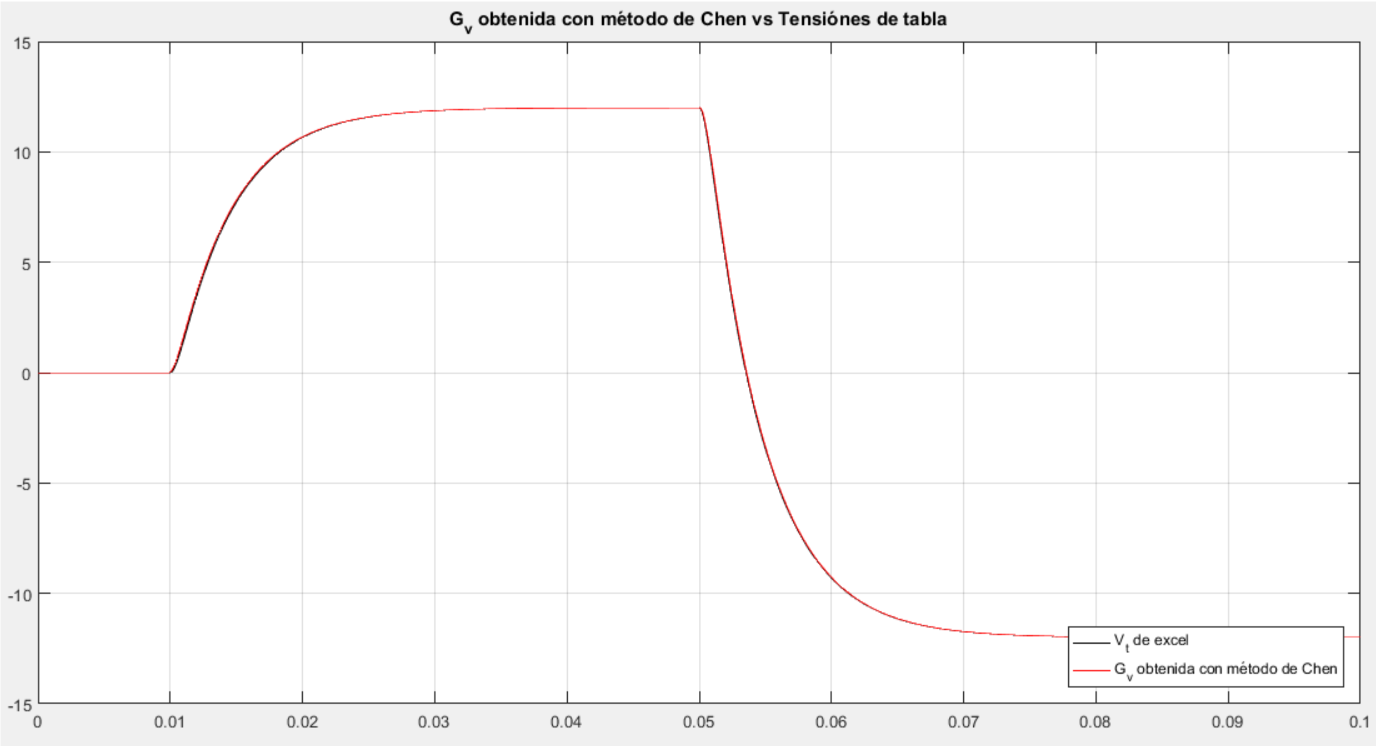
K=12

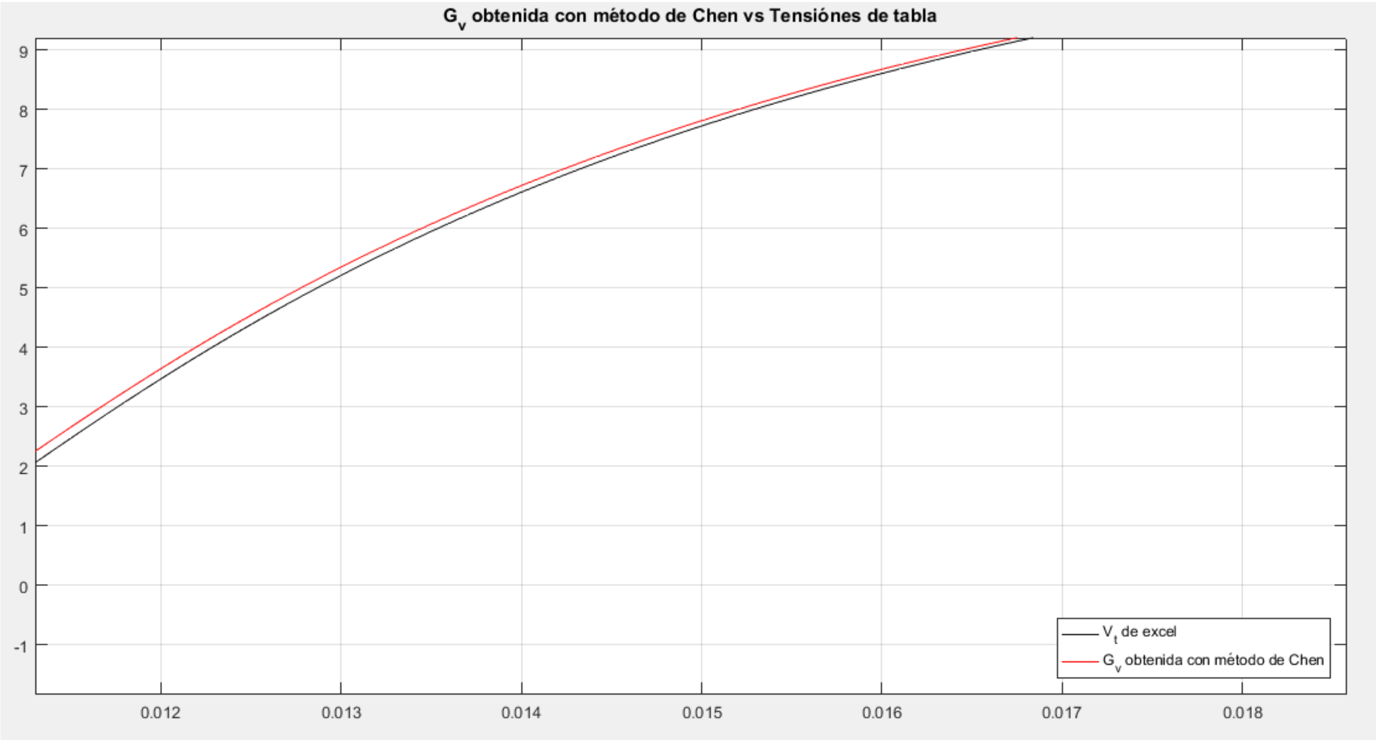
Luego con estos puntos y la ganancia, se sigue el algoritmo de Chen para obtener una FT aproximada

$$G_v(s) = \frac{2.275 * 10^{-6}s + 1}{2.207 * 10^{-06}s^2 + 0.004835\, s + 1} \approx \frac{Vc(s)}{Ve(s)} = \frac{K}{LC\, s^2 + RC\, s + 1}$$

De donde si despreciamos el término $2.275 * 10^{-6}s$ queda una aproximación a la FT de la tensión en el capacitor de un circuito RLC serie.

Se simula la FT obtenida para verificar si es aceptable la aproximación al sistema original

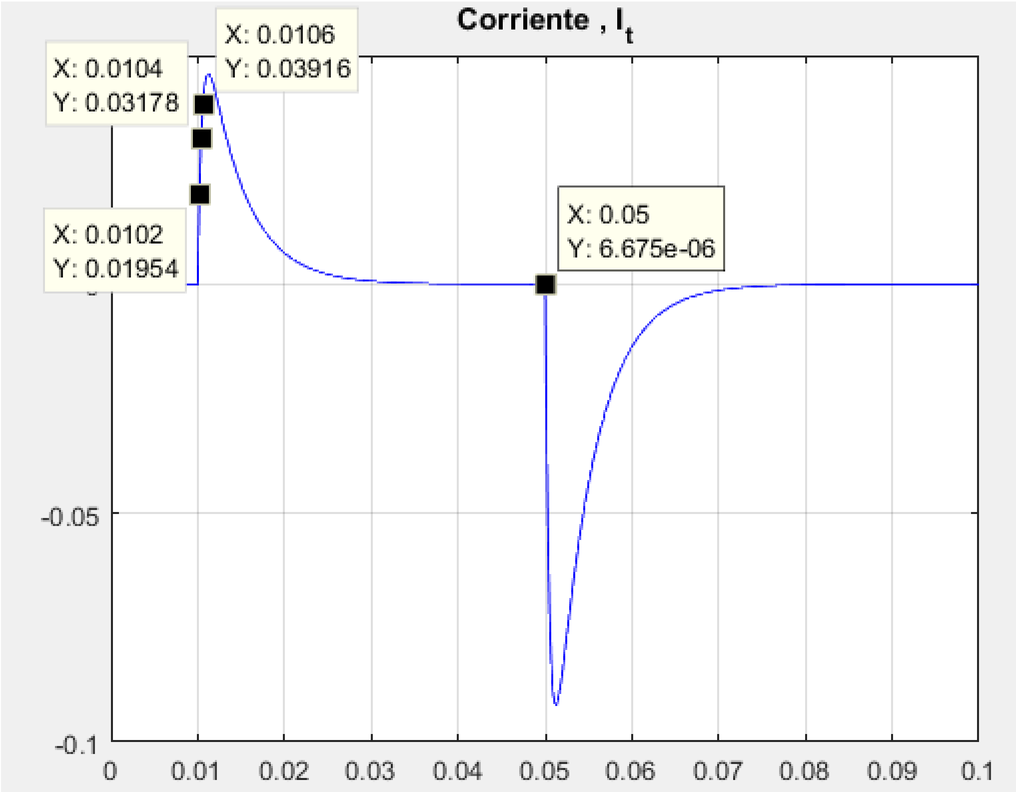




Con lo cual se ve que la aproximación es muy buena y se considera aceptable.

En esta instancia, se tiene una aproximación muy buena con respecto al sistema original, sin embargo de la FT de la tensión en el capacitor no se pueden determinar los valores R, L y C sin asumir alguno de esos valores y luego operar y obtener los valores. Hay otra opción, para determinar los valores y es buscar una FT que aproxime el comportamiento de la corriente.

Aplicando nuevamente el método de Chen



X1=(0.0102 , 0.01954)

X2=(0.0104 , 0.03178)

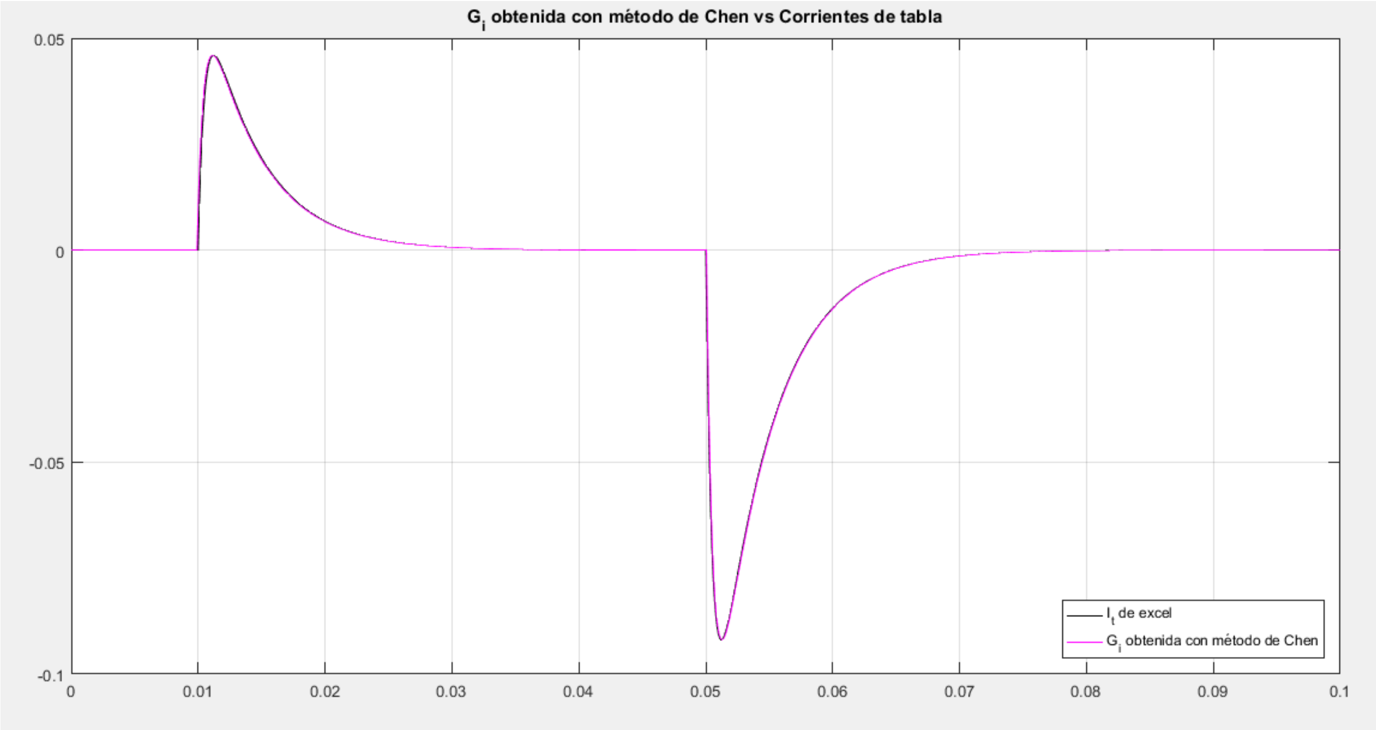
X2=(0.0106 , 0.03916)

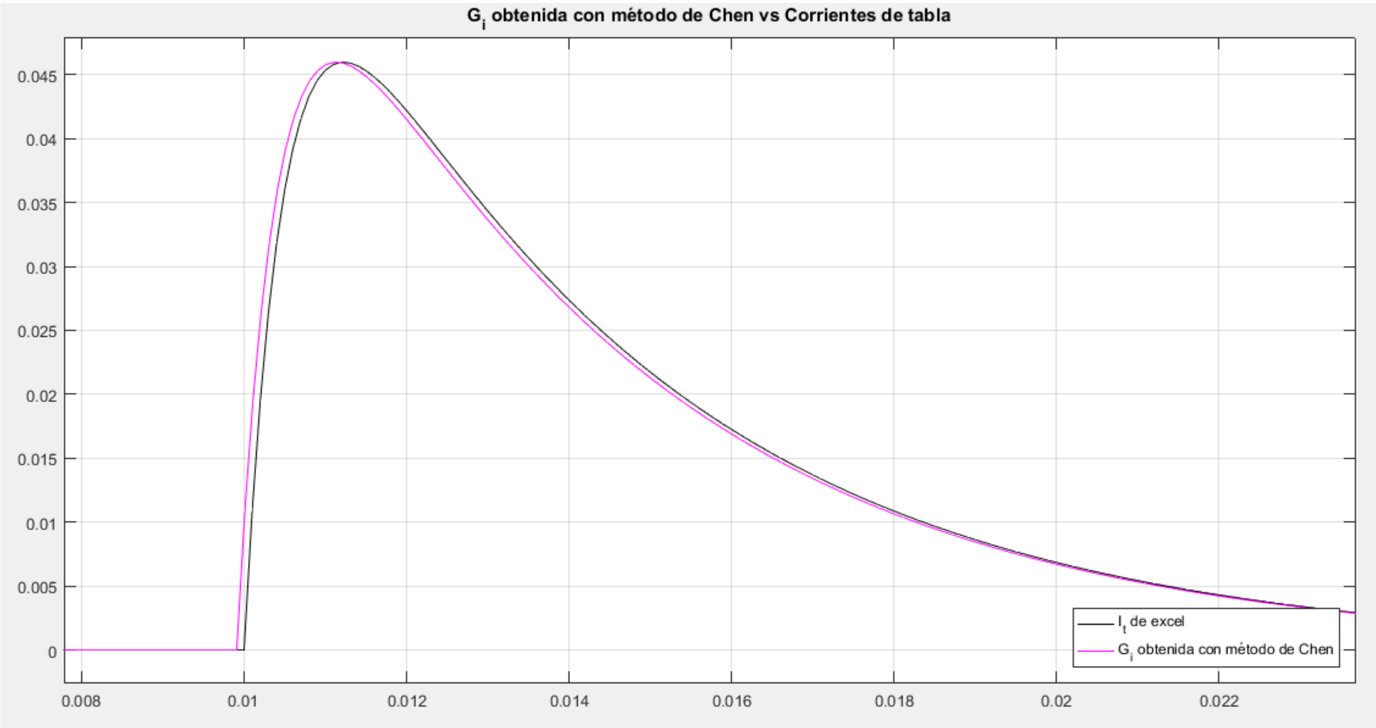
K=5.563*10^-7

$$G_i(s) = \frac{2.2 * 10^{-5}s + 5.563 * 10^{-7}}{2.175 * 10^{-06}s^2 + 0.004829\ s + 1} \approx \frac{Ic(s)}{Ve(s)} = \frac{sC}{LC\ s^2 + RC\ s + 1}$$

De donde si despreciamos el término 5.563*10^-7 queda una aproximación a la FT de la corriente en el capacitor de un circuito RLC serie.

Se simula la FT obtenida para verificar si es aceptable la aproximación al sistema original y de serlo, se pueden despejar los valores de R, L y C deseados.





Se considera bastante aceptable la aproximación, por lo tanto se despejan los valores de R,L y C de la FT G_i

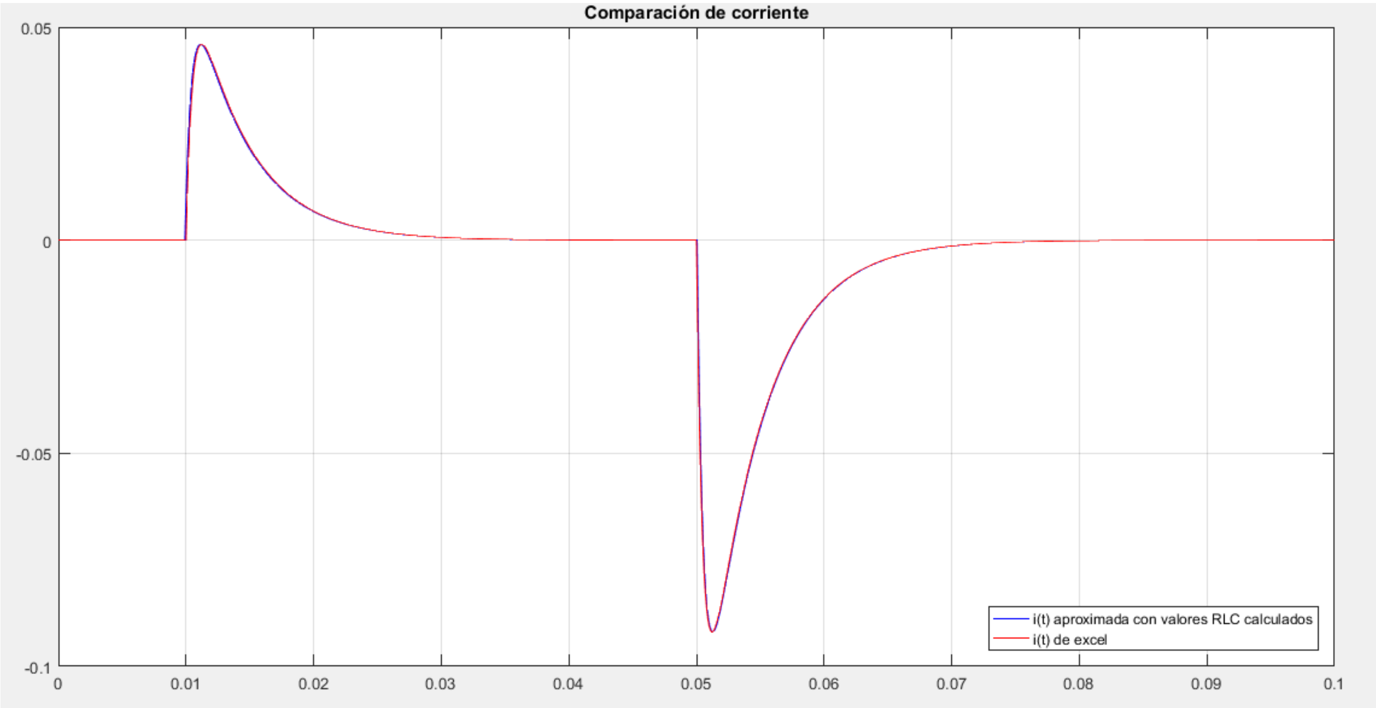
$$C = 21.9[\mu F]$$

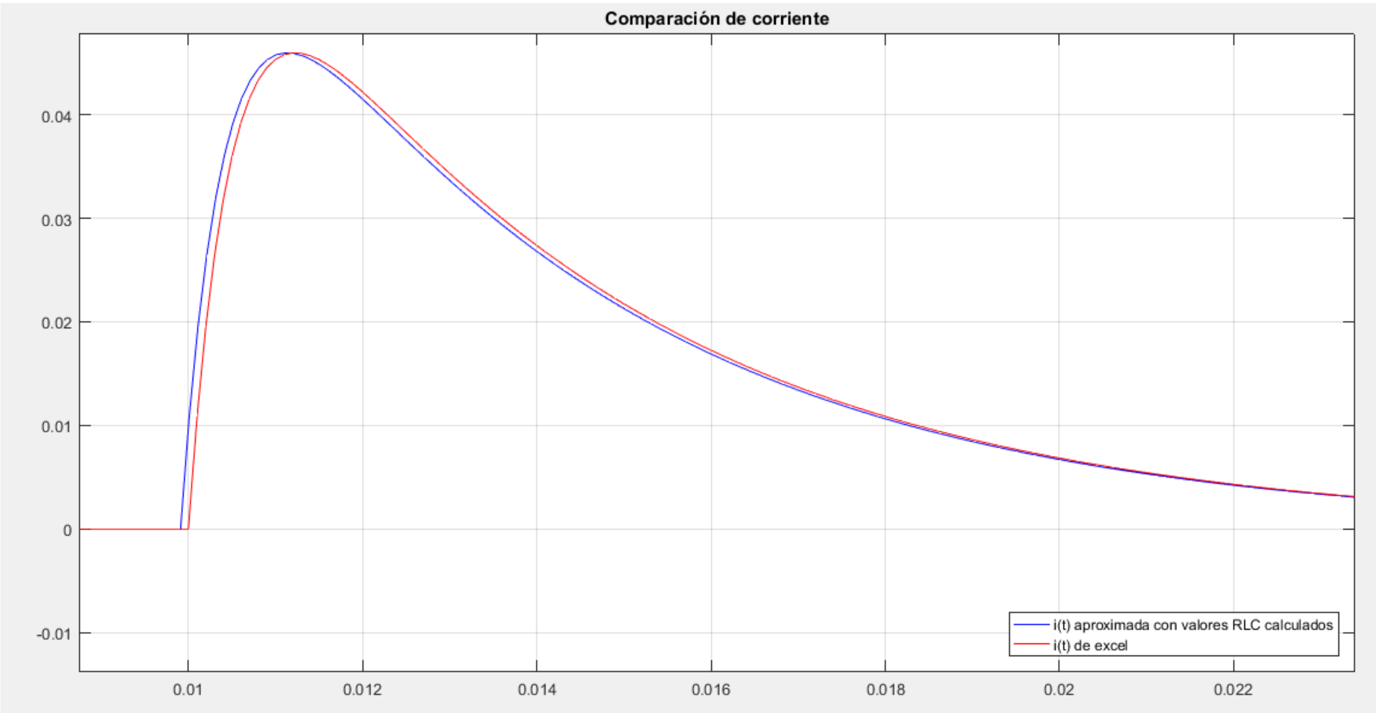
$$L = 98.9[mHy]$$

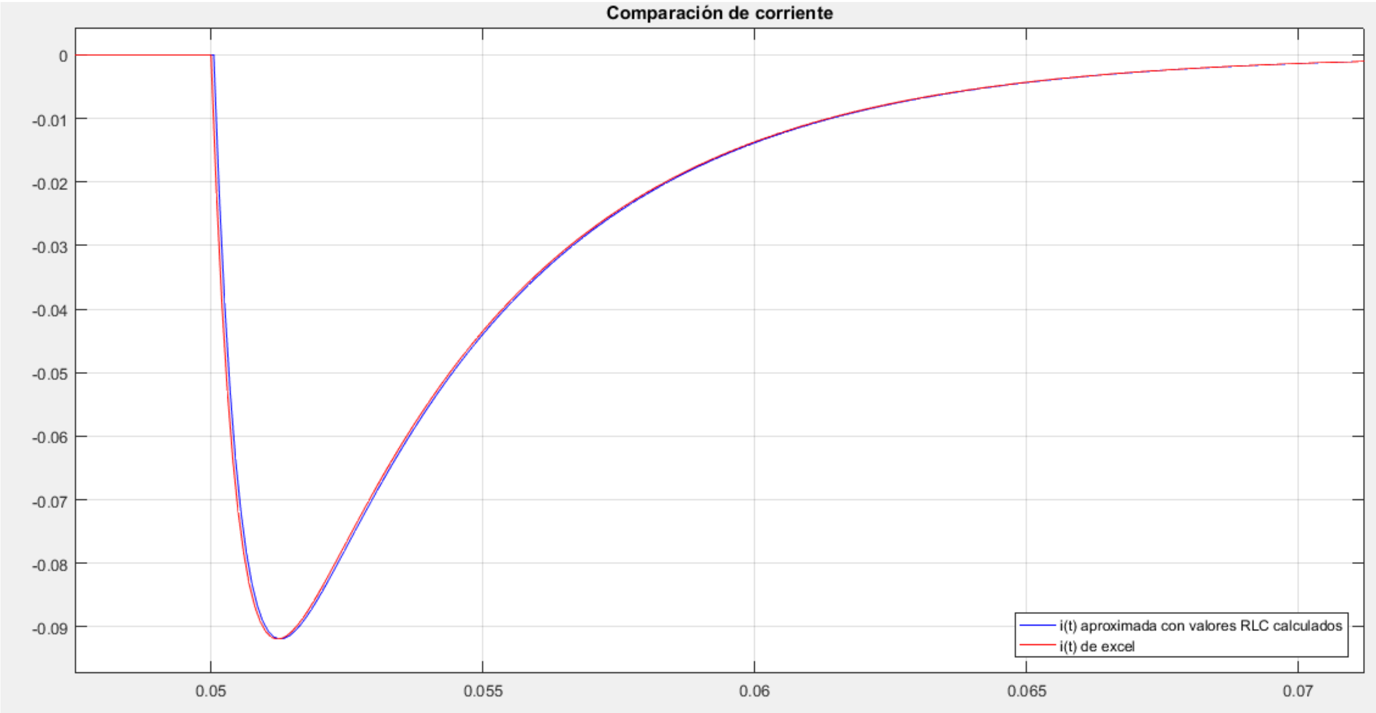
$$R = 219.54[\Omega]$$

4) *Una vez determinados los parámetros R, L y C, emplear la serie de corriente desde 0.05seg en adelante para validar el resultado.*

Con los valores obtenidos anteriormente, se crea y simula la nueva FT G1 y comparamos la respuesta:







<u>Script usado para la simulación de los incisos 3 y 4</u>

```
% Sistemas de Control II -FCEFyN-UNC
% Profesor: Dr.Ing. Pucheta, Julian
% Alumno: Valdez Benavidez, Mauricio Luciano
% Tp N° 1 - Caso de estudio 1 -
%   Inciso 3
%   En el archivo Curvas_Medidas_RLC.xls (datos en la hoja 1 y etique-
tas en la hoja 2)
%   encontrarán las series de datos que deberían emplear para deducir
los valores de R, L y C
%   del circuito. Emplear el método de la respuesta al escalón, to-
mando como salida la tensión
%   en el capacitor.
%   Inciso 4
%   Una vez determinados los parámetros R, L y C, emplear la serie de
corriente desde
%   0.05seg en adelante para validar el resultado.
%

%% Lectura de los datos de planilla excel
clear all; close all; clc;

valores=xlsread('Curvas_Medidas_RLC.xls');
tt=valores(1:end,1);
I=valores(1:end,2);
Vc=valores(1:end,3);

%Grafico de tensión y corriente de los valores importados
figure(1)
plot(tt,Vc, 'b' );title('Tension , V_t'); grid on;hold on;
figure(2)
plot(tt,I, 'b' );title('Corriente , I_t');grid on;hold on;
```

```
%Defino la entrada para la simulación posterior
t=linspace(0,0.1,1000);
u=linspace(0,0,1000);
vin=12;
ii=0;

for i=1:1000-1
 ii=ii+1;
  if ii<100
      u(i)=0;
 elseif ii>=100 && ii<=500
      u(i)=vin;
 else
      u(i)=vin*-1;
  end
end
figure(3)
plot(t,u, 'm' );title('Tensión de Entrada, u_t');grid on

% Aplicando el Metodo de Chen

%Se eligen los tres puntos según el artículo de Chen
t1_v=valores(126,1); y1_v=valores(126,3);
t2_v=valores(151,1); y2_v=valores(151,3);
t3_v=valores(176,1); y3_v=valores(176,3);

figure(1)
plot([t1_v t2_v t3_v],[y1_v,y2_v,y3_v],'+');hold on;

t1_i=valores(103,1); y1_i=valores(103,2);
t2_i=valores(105,1); y2_i=valores(105,2);
t3_i=valores(107,1); y3_i=valores(107,2);

figure(2)
plot([t1_i t2_i t3_i],[y1_i,y2_i,y3_i],'+');hold on;


%Ganancia seleccionada desde el grafico

K_v=valores(501,3)/12;     K_i=valores(501,2)/12;

y1_v=y1_v/12; y2_v=y2_v/12; y3_v=y3_v/12;   %se dividen por 12 los
puntos
y1_i=y1_i/12; y2_i=y2_i/12; y3_i=y3_i/12;   %seleccionados ya que se
busca la rta
                                            % del sistema para el es-
calon unitario de entrada

%Defino las 3 k correspondientes a las 3 ecuaciones para los puntos
tomados
k1_v= (y1_v/K_v) - 1;   k1_i= (y1_i/K_i) - 1;
k2_v= (y2_v/K_v) - 1;   k2_i= (y2_i/K_i) - 1;
k3_v= (y3_v/K_v) - 1;   k3_i= (y3_i/K_i) - 1;
```

```
%Despejo de las ecuaciones alfa 1, alfa 2 y beta
b_v=4*(k1_v^3)*k3_v-3*(k1_v^2)*(k2_v^2)-
4*(k2_v^3)+(k3_v^2)+6*k1_v*k2_v*k3_v; %EC 23 Chen
alfa1_v=(k1_v*k2_v+k3_v-sqrt(b_v))/(2*(k1_v^2+k2_v)); %EC 21 Chen
alfa2_v=(k1_v*k2_v+k3_v+sqrt(b_v))/(2*(k1_v^2+k2_v)); %EC 22 Chen
beta_v=(k1_v+alfa2_v)/(alfa1_v-alfa2_v); %EC 20 Chen
%beta_v=(2*k1_v^3+3*k1_v*k2_v+k3_v-sqrt(b_v))/(sqrt(b_v)); %EC 24 Chen

b_i=(4*k1_i^3*k3_i)-(3*k1_i^2*k2_i^2)-
(4*k2_i^3)+(k3_i^2)+(6*k1_i*k2_i*k3_i); %EC 23 Chen
alfa1_i=((k1_i*k2_i)+k3_i-sqrt(b_i))/(2*(k1_i^2+k2_i)); %EC 21 Chen
alfa2_i=((k1_i*k2_i)+k3_i+sqrt(b_i))/(2*(k1_i^2+k2_i)); %EC 22 Chen
beta_i=(k1_i+alfa2_i)/(alfa1_i-alfa2_i); %EC 20 Chen
%beta_i=(2*k1_i^3+3*k1_i*k2_i+k3_i-sqrt(b_i))/(sqrt(b_i)); %EC 24 Chen

%Sustituyendo EC 21 y EC 24 en EC 19 obtengo el cero y ambos polos
T1_v= -(t1_v-0.01)/log(alfa1_v);            T1_i= -(t1_i-
0.01)/log(alfa1_i);
T2_v= -(t1_v-0.01)/log(alfa2_v);            T2_i= -(t1_i-
0.01)/log(alfa2_i);
T3_v=(beta_v*(T1_v-T2_v))+T1_v;             T3_i=(beta_i*(T1_i-
T2_i))+T1_i;


%Hago la nueva funcion de transferencia de tensión
G_v=tf(K_v*[T3_v 1],conv([T1_v 1],[T2_v 1]));

G_i=tf(K_i*[T3_i 1],conv([T1_i 1],[T2_i 1]));


%Se compara la Tensión y la corriente

[y_G_v,t_G_v]=lsim(G_v,u,t);
figure(4)
plot(tt,Vc, 'k' ); grid on; hold on;
plot(t_G_v,y_G_v,'r'); title('G_v obtenida con método de Chen vs Ten-
siónes de tabla');
legend({'V_t de excel','G_v obtenida con método de Chen'},'Loca-
tion','southeast')

[y_G_i,t_G_i]=lsim(G_i,u,t);
figure(5)
plot(tt,I, 'k' ); grid on; hold on;
plot(t_G_i,y_G_i,'m'); title('G_i obtenida con método de Chen vs Co-
rrientes de tabla');
legend({'I_t de excel','G_i obtenida con método de Chen'},'Loca-
tion','southeast')

%De la función de transferencia sacamos
Cap=G_i.num{1}(2)
L=(G_i.den{1}(1))/Cap
R=(G_i.den{1}(2))/Cap
```

```
%Matrices
A=[-R/L -1/L; 1/Cap 0];
B=[1/L; 0];
C=[1 0];
D=0;
%Definicion de la ecuación de estado y de salida (salida de corriente)
G1=ss(A,B,C,D);
[yout,yt]=lsim(G1,(u),t);
figure(6)
plot(yt,yout,'b');grid on; hold on;
plot(valores(:,1),valores(:,2),'r'); title('Comparación de corrien-
te');
legend({'i(t) aproximada con valores RLC calculados','i(t) de ex-
cel'},'Location','southeast')
```

Lecciones aprendidas y problemas que se presentaron

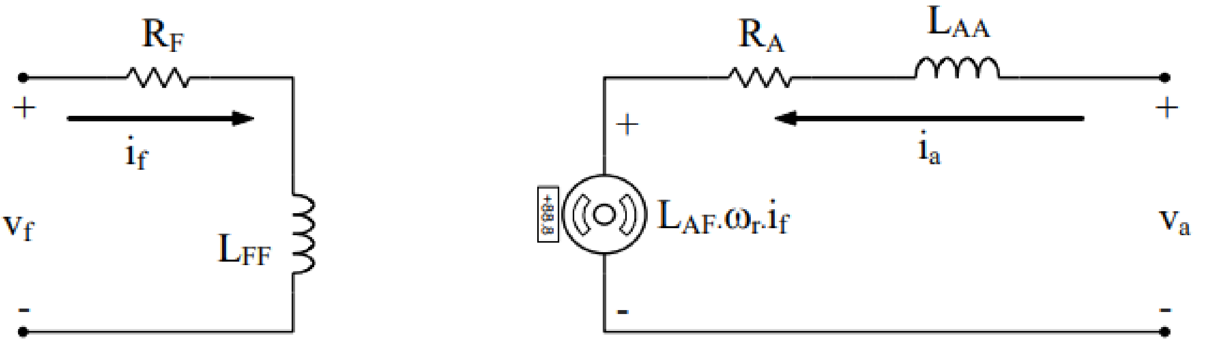
- Para la realización de esta primera etapa, se aprendió a utilizar la herramienta computacional Matlab, como definir vectores, manejar las diferentes funciones que tiene, etc
- Para la búsqueda del tiempo de integración, se presentó el problema que si se generaba un vector de las dimensiones como teoricamente debería ser, la PC dejaba de responder, por lo tanto se solucionó y dio buen resultado disminuir la dimensión del vector temporal.
- Se aprendió a utilizar el método de Chen para las aproximaciones de las FT buscadas, al principio se siguio al pie de la letra el procedimiento y no tuve en cuenta el retardo inicial en la tensión de entrada, por lo tanto al momento de calcular las constantes temporales T1 y T2, se generaban valores erróneos que afectaban a la FT y por lo tanto a la simulación.

Identificadores de logros:

- ID 1.1.1.2: Para expresar el modelo lineal multivariable del proceso real, fue necesario tomar un punto de operación, en este caso, un equilibrio del sistema.
- ID 1.1.1.3: Se brindaron los datos de la respuesta al escalón del sistema, para una entrada y dos salidas (tensión y corriente), aplicando el método de Chen se calculó el modelo lineal del proceso estable.
- ID 1.1.1.4: Se generó una expresión matricial a partir de parámetros calculados gracias a las FT aproximadas que se obtuvieron.

CASO DE ESTUDIO 2

SISTEMAS DE TRES VARIABLES DE ESTADO



Se parte del esquemático del circuito que representa a un motor de CC, las ecuaciones con torque TL no nulo y parámetros definidos L_{AA}=366 10^{-6}; J=5 10^{-9}; R_A=55,6; B=0; K_i=6,49 10^{-3}; K_m=6,53 10^{-3};

$$\frac{di_a}{dt} = -\frac{R_A}{L_{AA}} i_a - \frac{K_m}{L_{AA}}\omega_r + \frac{1}{L_{AA}} V_a$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{K_i}{J} i_a - \frac{B_m}{J}\omega_r + \frac{1}{J} T_L$$

$$\frac{d\theta_t}{dt} = \omega_r$$

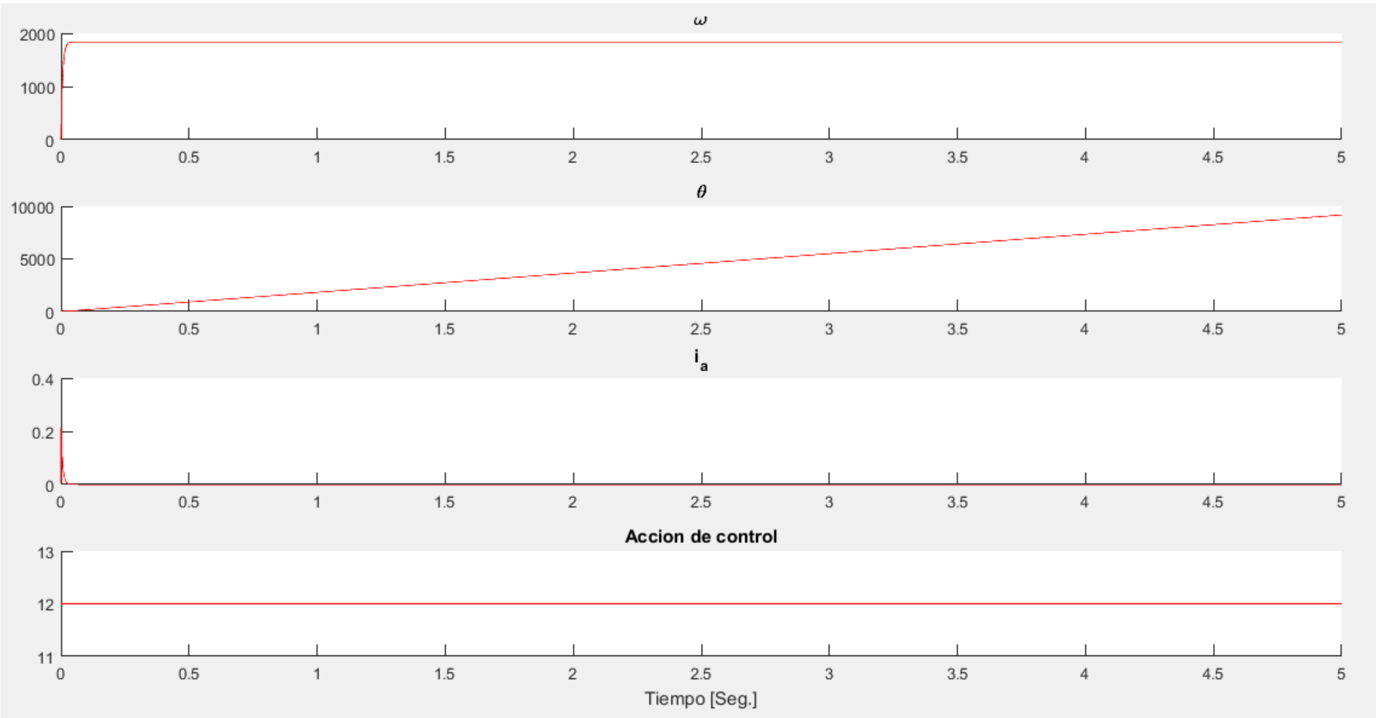
Y se pide implementar un algoritmo de simulación para inferir el comportamiento de las variables de interés mediante integración Euler con $\Delta t=10^{-7}$ segundos para:

1) *Obtener el torque máximo que puede soportar el motor modelado mediante las Ecs. (5) (6) y (7) cuando se lo alimenta con 12V, graficando para 5 segundos de tiempo la velocidad angular y corriente ia.*

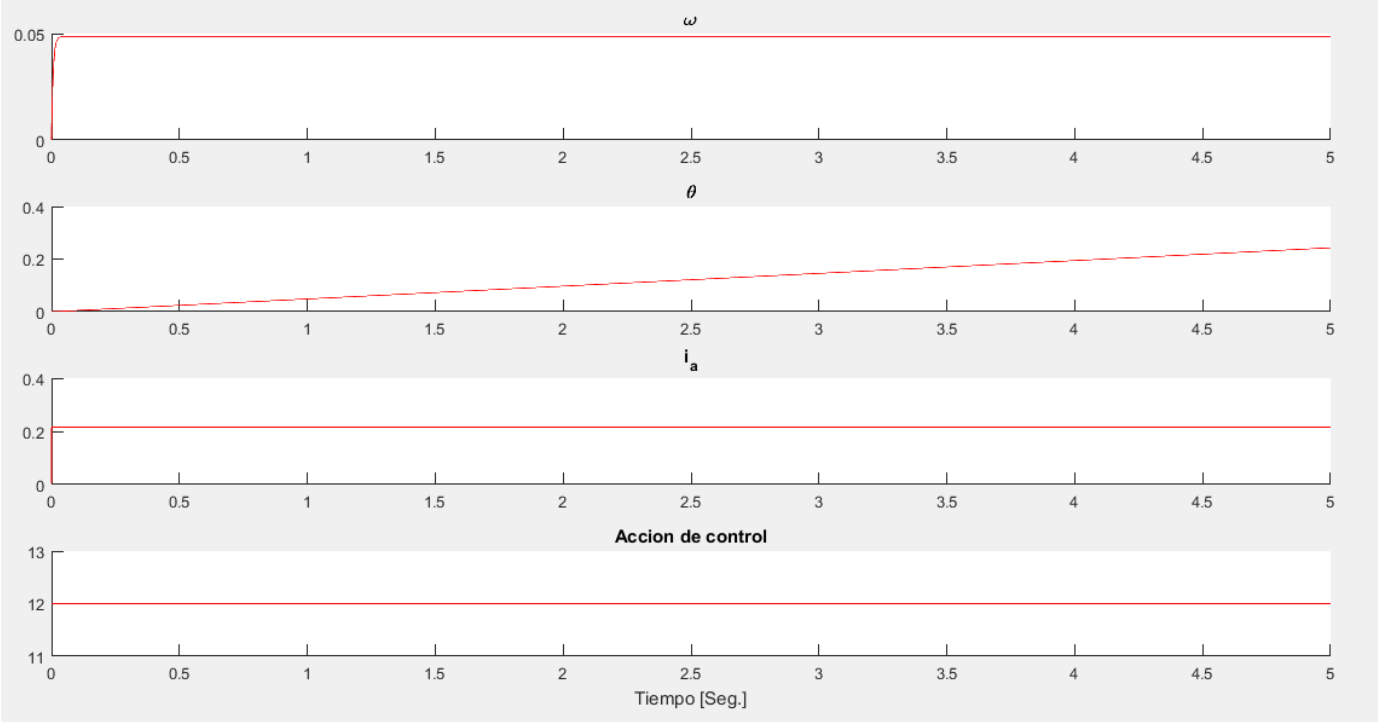
Para esta consigna, se hace uso del código brindado en los apuntes de clases con algunas modificaciones, por ejemplo para saber el torque máximo soportado, es necesario dejar el sistema a lazo abierto, por lo tanto toda la parte del controlador PID no es necesaria, entonces de esa manera se puede observar el comportamiento de la velocidad angular ω. Cuando TL=0, la velocidad angular ω ≈ 2000[rad/seg], entonces cuando el TL comienza a incrementarse, ω decrece. Si ponemos un valor suficientemente grande de TL la simulación muestra un valor de ω negativo, algo que llevado a la realidad seria como que la carga mueve al motor algo inviable, por lo tanto el limite fisico del motor es cuando ω = 0 [rad/seg] es decir el motor no puede mover a la carga. Ahora, como se quiere saber cuál es valor máximo de TL, para el cual el motor aún puede girar, se toma un valor de TL mucho más pequeño que el valor TL que provoca la detención motor.

Luego de varias iteraciones, se llegó a un valor de TL_{max}= 2.1278125 10^{-5}.

Simulación para TL=0

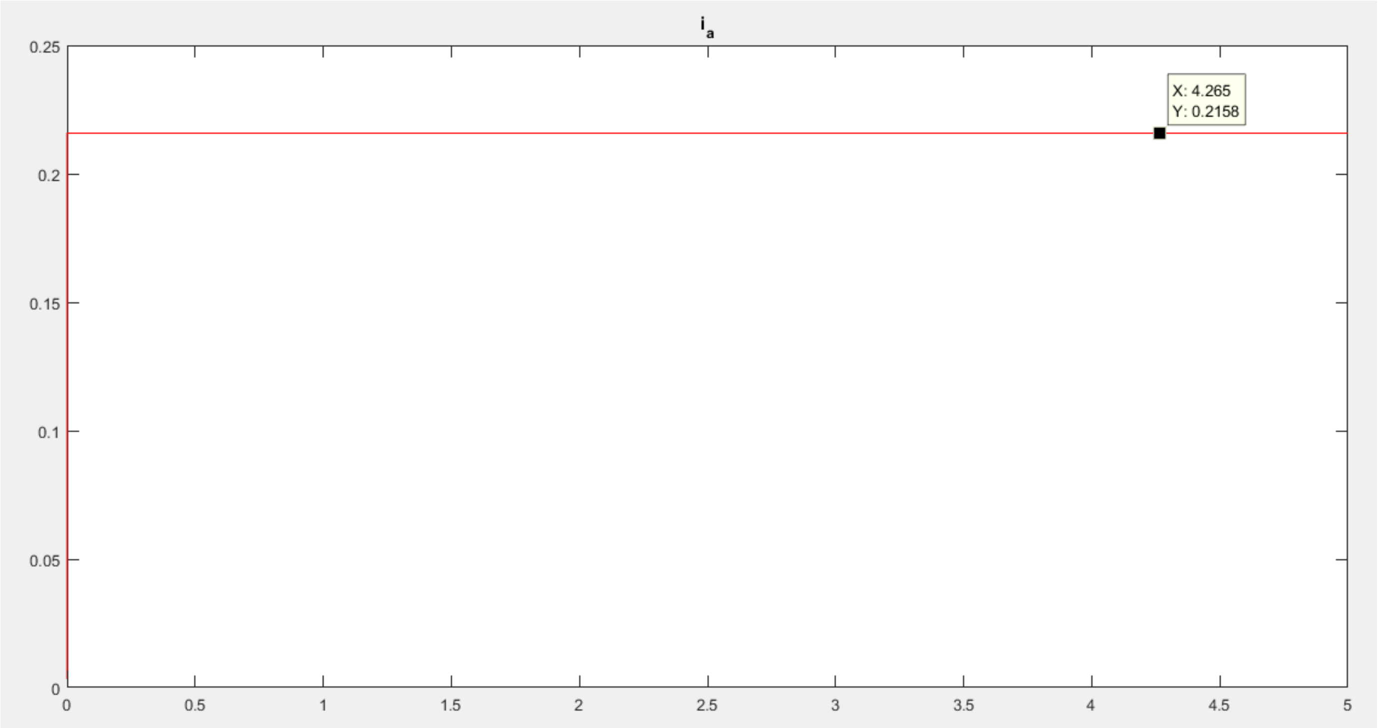


Simulación para TL_{max}= 2.1278125 10^{-5}



2) *Mostrar simulaciones de 5 segundos que permitan observar la corriente ia en todo momento y establecer su valor máximo como para dimensionar dispositivos electrónicos.*

Para este caso, nos vamos a valer del TL_{max} encontrado en el punto anterior, entonces se mide el valor de corriente y se mantiene constante en 215.8 [mA]



<u>Script usado para la simulación de los incisos 1 y 2</u>

```
% Sistemas de Control II -FCEFyN-UNC
% Profesor: Dr.Ing. Pucheta, Julian
```

```
% Alumno: Valdez Benavidez, Mauricio Luciano
% Tp N° 1 - Caso de estudio 2 -
%   Inciso 1
%   Obtener el torque máximo que puede soportar el motor modelado me-
diante las Ecs. (5)
%   (6) y (7) cuando se lo alimenta con 12V, graficando para 5 segun-
dos de tiempo la
%   velocidad angular y corriente ia.

%   Inciso 2
%   Mostrar simulaciones de 5 segundos que permitan observar la co-
rriente ia en todo
%   momento y establecer su valor máximo como para dimensionar dispo-
sitivos electrónicos.

%%
clc;clear;close all;
X=-[0; 0; 0; 0];ii=0;t_etapa=1e-7;tF=5;
color_='r';
Ts=t_etapa;
u=12;
for t=0:t_etapa:tF
ii=ii+1;k=ii+2;
X=modmotorpunto2(t_etapa, X, u);
x1(ii)=X(1);%Omega
x2(ii)=X(2);%wp
x3(ii)=X(3);%ia
x4(ii)=X(4);%tita
acc(ii)=u;
end
t=0:t_etapa:tF;
subplot(4,1,1);hold on;
plot(t,x1,color_);title('\omega');
subplot(4,1,2);hold on;
plot(t,x4,'r');title('\theta');
subplot(4,1,3);hold on;
plot(t,x3,'r');title('i_a');
subplot(4,1,4);hold on;
plot(t,acc,'r');title('Accion de control');
xlabel('Tiempo [Seg.]');

%motor
function [X]=modmotorpunto2(t_etapa, xant, accion)
Laa=366e-6; J=5e-9;Ra=55.6;B=0;Ki=6.49e-3;Km=6.53e-3;
Va=accion;
h=1e-7;
%TL=0;
TL=2.1278125e-5;    %se llego a ese valor luego de varias iteraciones.
omega= xant(1);     %Se partió desde 1 y se fue bajando dividiendo por
10
wp= xant(2);        %cada vez hasta que w fue + y luego busco algo de
precisión
ia=xant(3);
tita = xant(4);
```

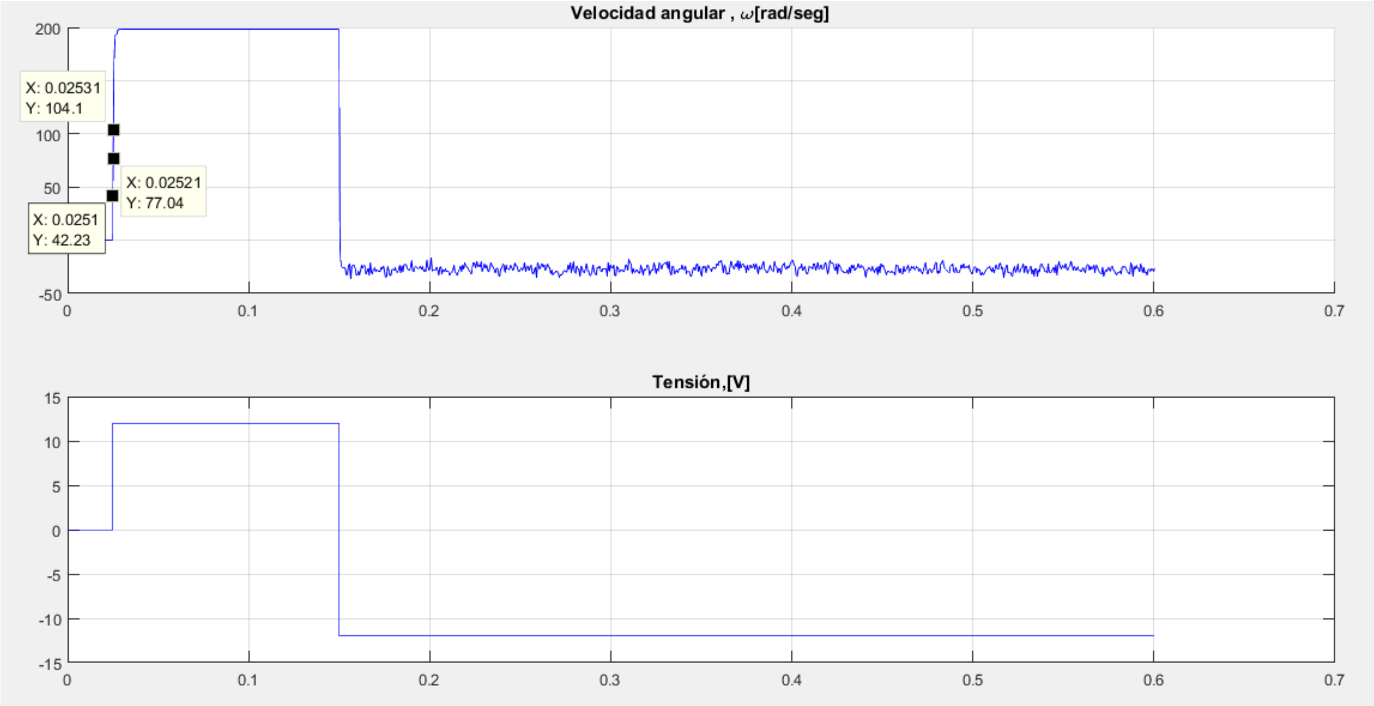
```
for ii=1:t_etapa/h
wpp =(-wp*(Ra*J+Laa*B)-omega*(Ra*B+Ki*Km)+Va*Ki)/(J*Laa);
iap=(-Ra*ia-Km*omega+Va)/Laa;
wp=wp+h*wpp;
wp=wp-((1/J)*TL);
ia=ia+iap*h;
omega = omega + h*wp;
tita = tita + h*omega;
end
X=[omega,wp,ia,tita];
end
```

3) *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 a partir de 0,1segundo se aplica un TL aproximado de 7,5 10-2 Nm. 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 de la corriente.*

Para la resolución de este enunciado, se lo particiona en 3 etapas:

En las dos primeras se aplica el algoritmo de Chen, utilizado en el Caso de estudio 1, para poder obtener dos modelos aproximados del sistema original, un modelo tomando como salida la velocidad angular y un segundo modelo tomado como salida la corriente de armadura del motor. A partir esos modelos se buscan los parámetros para definir el motor para luego en la tercera etapa poder simular con los valores de TL indicados en los tiempos indicados.

Etapa 1



Se importan los datos de la tabla brindada y se grafica la velocidad angular y el valor de tensión de armadura. Se observa que la tensión de entrada tiene un retardo, luego cuando se aplica el Step con amplitud 12[V] el motor sin carga reacciona como es esperado y se va a la máxima velocidad angular que puede lograr estando en vacío. Luego de un tiempo se aplica una carga y el motor disminuye si velocidad angular y pasa a negativa, por lo tanto se puede inferir que la carga aplicada es superior a la máxima tolerada, además la tensión de armadura presenta un valor negativo que estaría representado al motor funcionando como generador.

De todas maneras, el análisis se hace sobre el momento estable y sin carga, por lo tanto para aplicar Chen se toman los 3 puntos solicitados y la ganancia mientras TL=0.

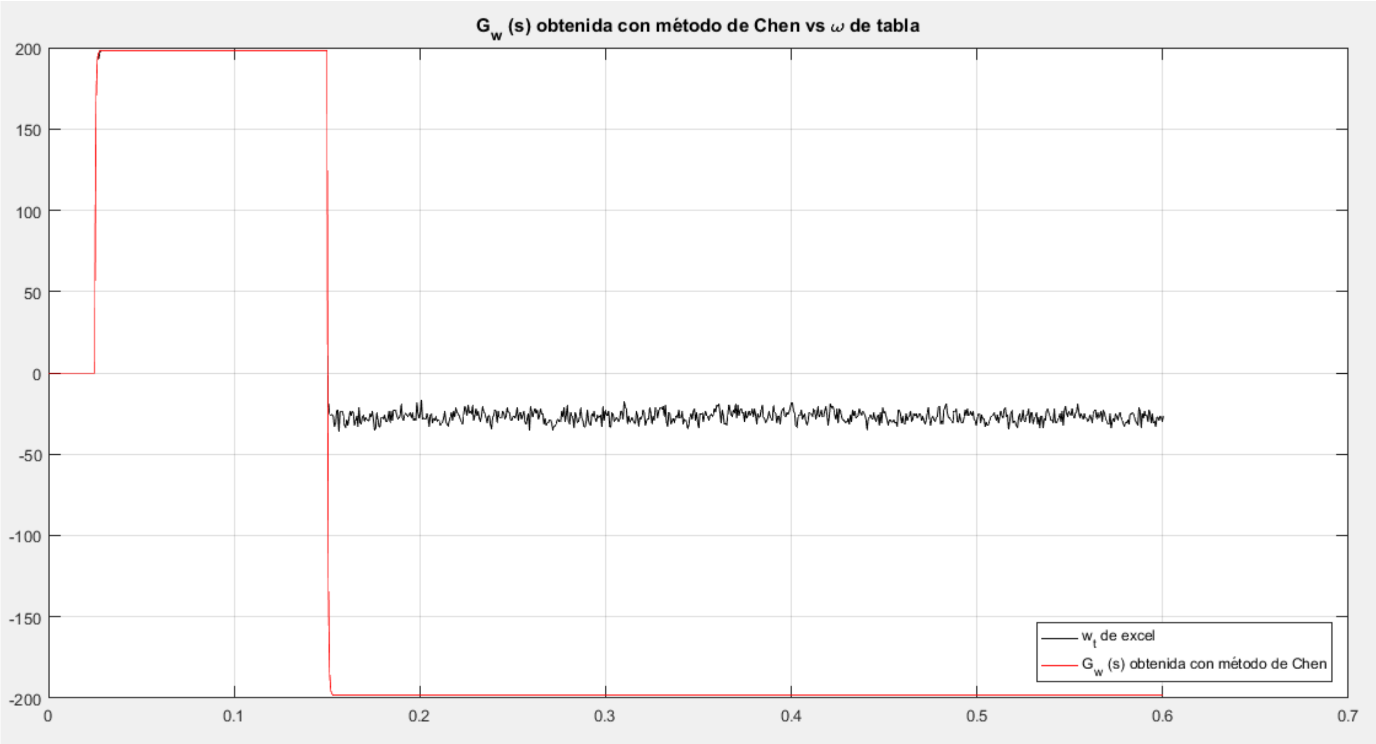
X1=(0.0251 , 42.23)
X2=(0.02521 , 77.04)
X2=(0.02531 , 104.1)
K=198
Como estos valores son respuesta a un escalón con amplitud 12 entonces, se trabajan con valores de y1,y2,y3 y K todos dividido 12 para obtener un modelo con respuesta a un escalón unitario.

$$G_\omega(s) = \frac{-4.128\ 10^{-6}s + 16.52}{2.045 * 10^{-09}s^2 + 0.0004129\ s + 1} \approx \frac{\omega(s)}{Vf(s)} = \frac{K_i}{L_{AA}\, J\, s^2 + (R_A\, J + L_{AA}\, B)s + (R_A\, B + K_i\, K_m)}$$

Despreciando el término $-4.128\ 10^{-6}s$ se aproxima la FT obtenida con la FT del motor que relaciona la velocidad angular con la tensión de entrada. Se obtiene el valor del parámetro Ki =16.52.

Se simula la FT encontrada, para verificar si la aproximación es aceptable, por lo que se observa una muy buena aproximación.

La simulación se realizó sin carga, y se puso una tensión variable al momento en que se le agrega una carga al motor original, para simular una tensión invertida a la entrada, efecto que en el motor original se da por efecto de la carga excesiva.



Script usado para la simulación del incisos 3 etapa 1

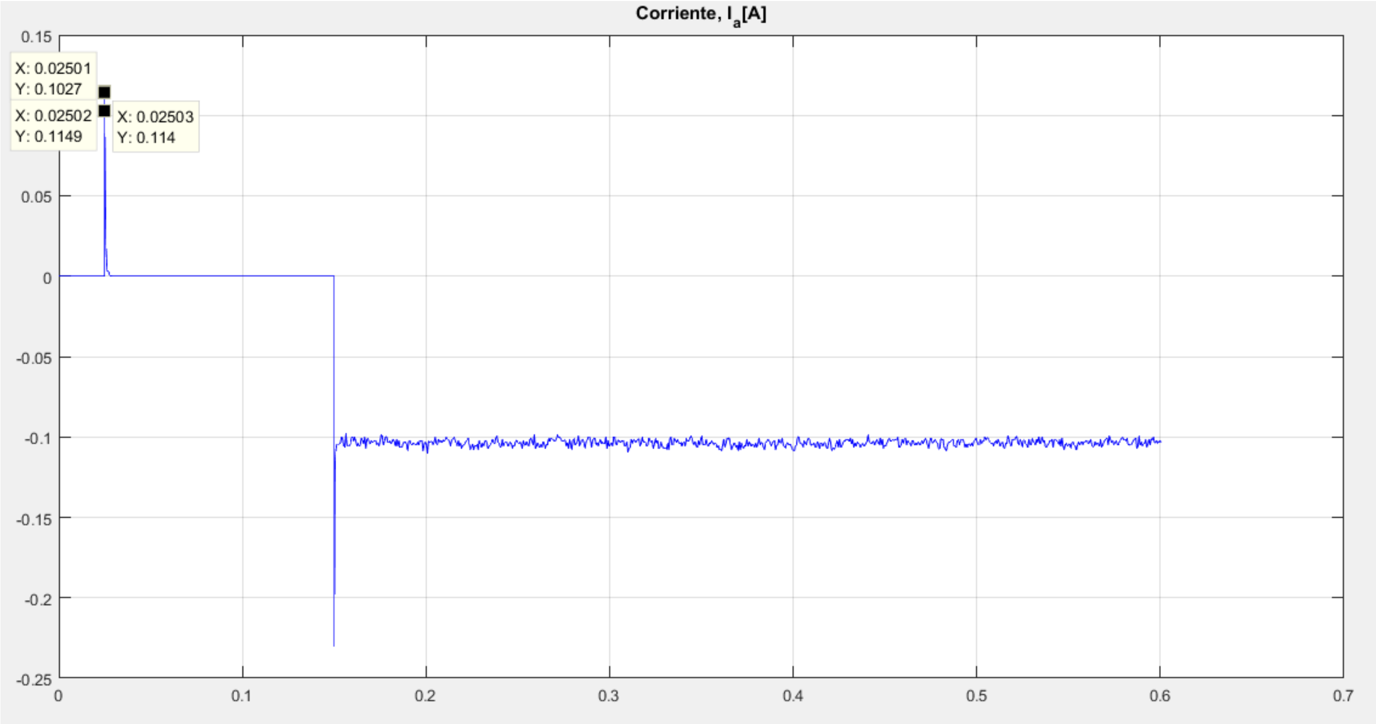
```
% Sistemas de Control II -FCEFyN-UNC
% Profesor: Dr.Ing. Pucheta, Julian
% Alumno: Valdez Benavidez, Mauricio Luciano
% Tp N° 1 - Caso de estudio 2 -
%   Inciso 3 Parte 1.1
%   A partir de las curvas de mediciones de las variables graficadas
en la Fig. 1-3, se requiere
%   obtener el modelo del sistema considerando como entrada un escalón
de 12V, como salida
%   a la velocidad angular, y a partir de 0,1segundo se aplica un TL
aproximado de 7,5 10-2
%   Nm. 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 de la corriente.

%% Lectura de los datos de planilla excel
clear all; close all; clc;
```

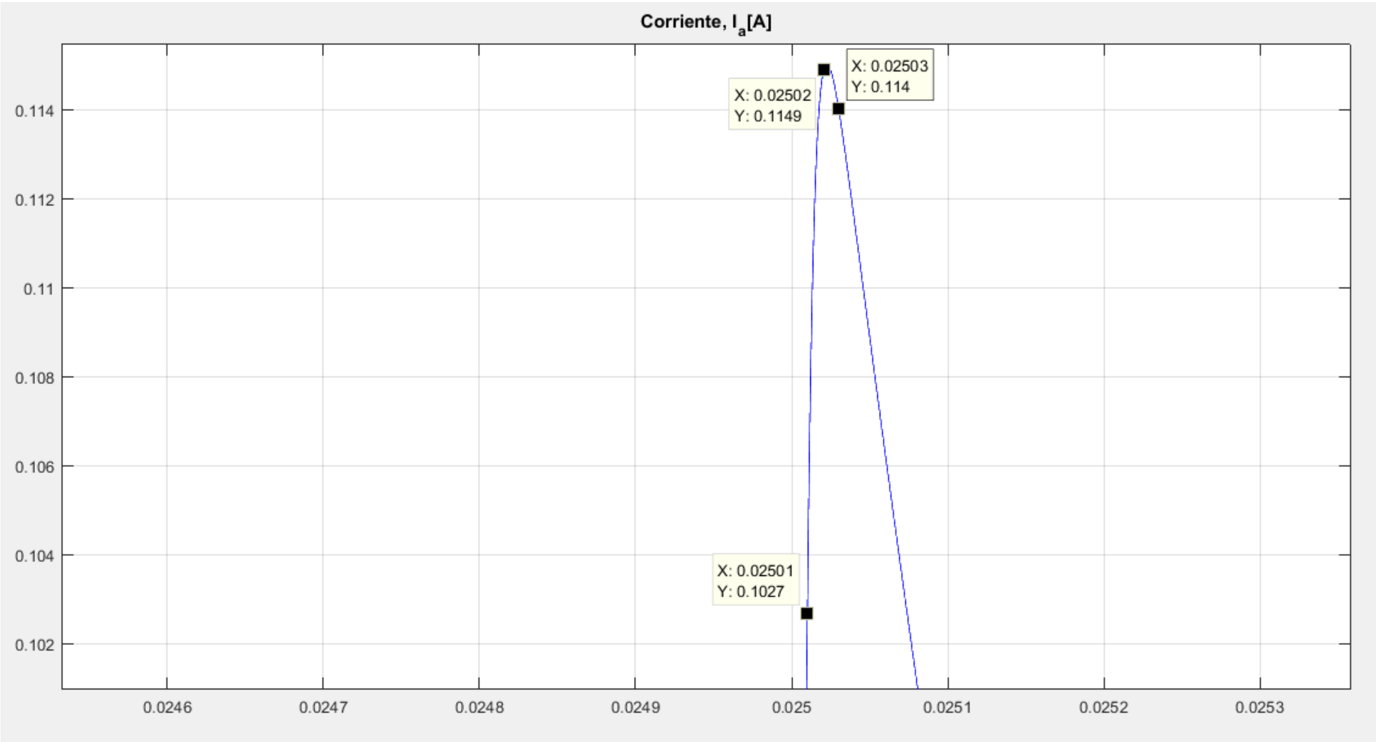
```
valores=xlsread('Curvas_Medidas_Motor_2023.xlsx');
tt=valores(1:end,1);
W=valores(1:end,2);
Ia=valores(1:end,3);
Vin=valores(1:end,4);
TL_=valores(1:end,5);
%Grafico de tensión y corriente de los valores importados
figure(1)
subplot(2,1,1);hold on
plot(tt,W, 'b' );title('Velocidad angular , \omega[rad/seg]'); grid
on;hold on;
subplot(2,1,2)
plot(tt,Vin, 'b' );title('Tensión,[V]');grid on;hold on;

%Defino la entrada para la simulación posterior
t_etapa=1e-7;
tF=.6;
u=linspace(0,0,(100e3-1));
ii=0;
for t=0:t_etapa:tF
ii=ii+1;
    u(ii)=0;
    if(t>=0.025)
        u(ii)=12;
    end

    if(t>=0.1501)       % Hago variar el valor de la tension de en-
trada
         u(ii)=-12;     % para simular el comporamiento de la tension
con la Tl agregada
     end
end
t=0:t_etapa:tF;
% figure(4)
% plot(t,u, 'm' );title('Tensión de Entrada, u_t');grid on%

 % Aplicando el Metodo de Chen

 %Se eligen los tres puntos según el artículo de Chen
t1=valores(1130,1); y1=(valores(1130,2));
t2=valores(2160,1); y2=(valores(2160,2));
t3=valores(3190,1); y3=(valores(3190,2));

figure(1)
subplot(2,1,1);hold on
plot([t1 t2 t3],[y1,y2,y3],'+');hold on;

%Ganancia seleccionada desde el grafico

K=(valores(15306,2))/12;
y1=y1/12;
y2=y2/12;
y3=y3/12;
```

```
%Defino las 3 k correspondientes a las 3 ecuaciones para los puntos
tomados
k1= (y1/K) - 1;
k2= (y2/K) - 1;
k3= (y3/K) - 1;

%Despejo de las ecuaciones alfa 1, alfa 2 y beta
b=4*(k1^3)*k3-3*(k1^2)*(k2^2)-4*(k2^3)+(k3^2)+6*k1*k2*k3; %EC 23 Chen
alfa1=(k1*k2+k3-sqrt(b))/(2*(k1^2+k2)); %EC 21 Chen
alfa2=(k1*k2+k3+sqrt(b))/(2*(k1^2+k2)); %EC 22 Chen
beta=(k1+alfa2)/(alfa1-alfa2); %EC 20 Chen
%beta=(k2+alfa2^2)/(alfa1^2-alfa2^2); %EC 20 Chen
%beta=(k3+alfa2^3)/(alfa1^3-alfa2^3); %EC 20 Chen

%beta=(2*(k1^3)+3*k1*k2+k3-sqrt(b))/(sqrt(b)); %EC 24 Chen

%Sustituyendo EC 21 y EC 24 en EC 19 obtengo el cero y ambos polos
T1= -(t1-0.025)/log(alfa1);
T2= -(t1-0.025)/log(alfa2);
T3=(beta*(T1-T2))+T1;

%Hago la nueva funcion de transferencia de tensión
G_w=tf(K*[T3 1],conv([T1 1],[T2 1]));

[y_G_w,t_G_w]=lsim(G_w,u,t);

figure(2)
plot(tt,W, 'k' ); grid on; hold on;
plot(t_G_w,y_G_w,'r'); title('G_w (s) obtenida con método de Chen vs
\omega de tabla');
legend({'w_t de excel','G_w (s) obtenida con método de Chen'},'Loca-
tion','southeast')
```

Etapa 2

Se plotea la respuesta de la corriente del sistema original, y se seleccionan los 3 puntos y una ganancia para aplicar el Método de Chen.





X1=(0.02501 , 0.1027)

X2=(0.02502 , 0.1149)

X2=(0.02503 , 0.114)

K=3,46 10^{-14}

Como estos valores son respuesta a un escalón con amplitud 12 entonces, se trabajan con valores de y1,y2,y3 y K todos dividido 12 para obtener un modelo con respuesta a un escalón unitario.

$$G_i(s) = \frac{3.963\ 10^{-6}s + 2.88\ 10^{-15}}{2.009 * 10^{-09}s^2 + 0.0003952\ s + 1} \approx \frac{I_a(s)}{Vf(s)} = \frac{J\ s + B}{L_{AA}\ J\ s^2 + (R_A J + L_{AA}\ B)s + (R_A\ B + K_i\ K_m)}$$

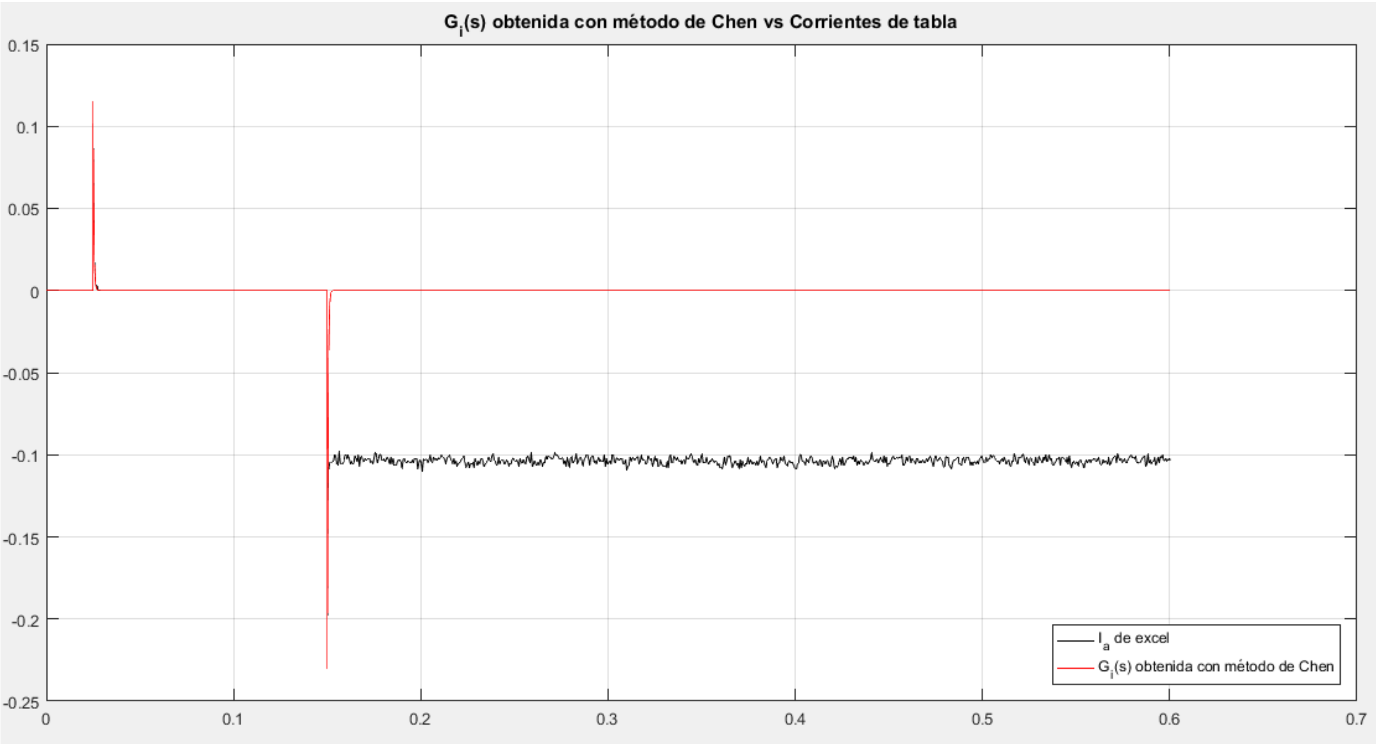
La FT obtenida se la puede aproximar con la FT del motor que relaciona la corriente de armadura con la tensión de entrada. De la cual podemos obtener otros parámetros para modelar un aproximado del motor original.

Se obtiene el valor del parámetro B $=2.88\ 10^{-15}$ que prácticamente lo podemos despreciar haciéndolo cero.

Entonces quedan:

$J=3.963\ 10^{-6}$; $B=0$; $K_i=16.52$; $K_m=60.53\ 10^{-3}$; $L_{AA}=506.94\ 10^{-6}$; $R_A=99,74$

Se simula la FT encontrada, para mostrar que la aproximación es aceptable.



La simulación se realizó sin carga, y se puso una tensión variable al momento en que se le agrega una carga al motor original, para simular una tensión invertida a la entrada, efecto que en el motor original se da por efecto de la carga excesiva.

Script usado para la simulación del incisos 3 etapa 2

```
% Sistemas de Control II -FCEFyN-UNC
% Profesor: Dr.Ing. Pucheta, Julian
% Alumno: Valdez Benavidez, Mauricio Luciano
% Tp N° 1 - Caso de estudio 2 -
%   Inciso 3 Parte 1.2
%   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 a partir de 0,1segundo se aplica un TL
aproximado de 7,5 10-2
%   Nm. 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 de la corriente.
%% Lectura de los datos de planilla excel
clear all; close all; clc;

valores=xlsread('Curvas_Medidas_Motor_2023.xlsx');
tt=valores(1:end,1);
W=valores(1:end,2);
Ia=valores(1:end,3);
Vin=valores(1:end,4);
TL_=valores(1:end,5);

figure(1)
plot(tt,Ia, 'b' );title('Corriente, I_a[A]');grid on;hold on;

%Defino la entrada para la simulación posterior
t_etapa=1e-7;
tF=.6;
u=linspace(0,0,(100e3-1));
ii=0;
for t=0:t_etapa:tF
ii=ii+1;
    u(ii)=0;
    if(t>=0.025)
        u(ii)=12;
    end
    if(t>=0.1501)  % Hago variar el valor de la tension de entrada
         u(ii)=-12; % para simular el comporamiento de la tension con
la Tl agregada
    end
end
t=0:t_etapa:tF;

% figure(2)
% plot(t,u, 'm' );title('Tensión de Entrada, u_t');grid on;



% Aplicando el Metodo de Chen
```

```
 %Se eligen los tres puntos según el artículo de Chen
t1=valores(200,1); y1=(valores(200,3));
t2=valores(300,1); y2=(valores(300,3));
t3=valores(400,1); y3=(valores(400,3));

figure(1)
plot([t1 t2 t3],[y1,y2,y3],'+');hold on;

%Ganancia seleccionada desde el grafico

K=(valores(15306,3))/12;
y1=y1/12;
y2=y2/12;
y3=y3/12;

%Defino las 3 k correspondientes a las 3 ecuaciones para los puntos
tomados
k1= (y1/K) - 1;
k2= (y2/K) - 1;
k3= (y3/K) - 1;

%Despejo de las ecuaciones alfa 1, alfa 2 y beta
b=4*(k1^3)*k3-3*(k1^2)*(k2^2)-4*(k2^3)+(k3^2)+6*k1*k2*k3; %EC 23 Chen
alfa1=(k1*k2+k3-sqrt(b))/(2*(k1^2+k2)); %EC 21 Chen
alfa2=(k1*k2+k3+sqrt(b))/(2*(k1^2+k2)); %EC 22 Chen
beta=(k1+alfa2)/(alfa1-alfa2); %EC 20 Chen
%beta=(k2+alfa2^2)/(alfa1^2-alfa2^2); %EC 20 Chen
%beta=(k3+alfa2^3)/(alfa1^3-alfa2^3); %EC 20 Chen

%Sustituyendo EC 21 y EC 24 en EC 19 obtengo el cero y ambos polos
T1= -(t1-0.025)/log(alfa1);
T2= -(t1-0.025)/log(alfa2);
T3=(beta*(T1-T2))+T1;

%Hago la nueva funcion de transferencia
G_i=tf(K*[T3 1],conv([T1 1],[T2 1]));

[y_G_i,t_G_i]=lsim(G_i,u,t);

figure(3)
plot(tt,Ia, 'k' ); grid on; hold on;
plot(t_G_i,y_G_i,'r'); title('G_i(s) obtenida con método de Chen vs
Corrientes de tabla');
legend({'I_a de excel','G_i(s) obtenida con método de Chen'},'Loca-
tion','southeast')
```

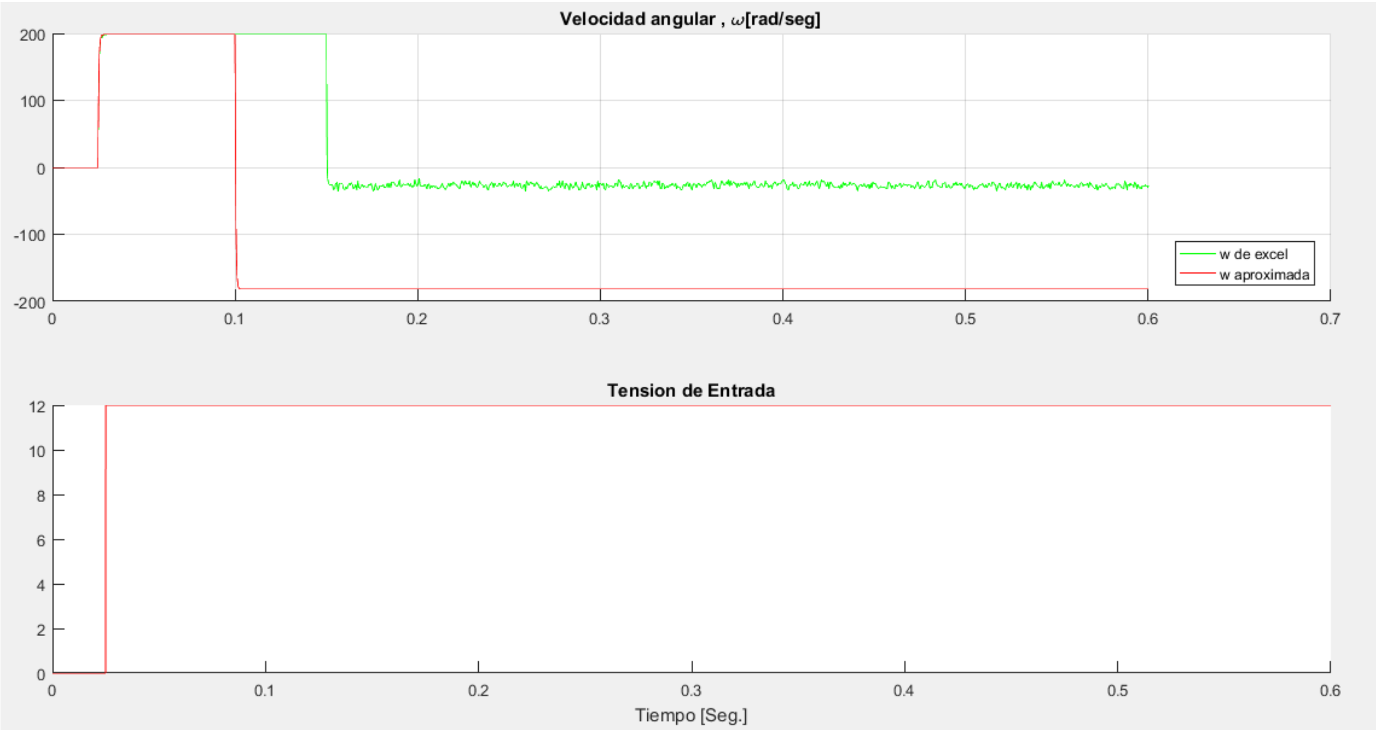
Etapa 3

En esta etapa se simula el motor aproximado con los parámetros calculados. Hay que hacer 2 aclaraciones. La primera es que en la consigna dice a partir de 0.1[s] se agrega la carga, sin embargo para las muestras dadas, la carga se agrega en 0.151[s], por lo tanto al comparar las dos curvas se ve que hay una diferencia.

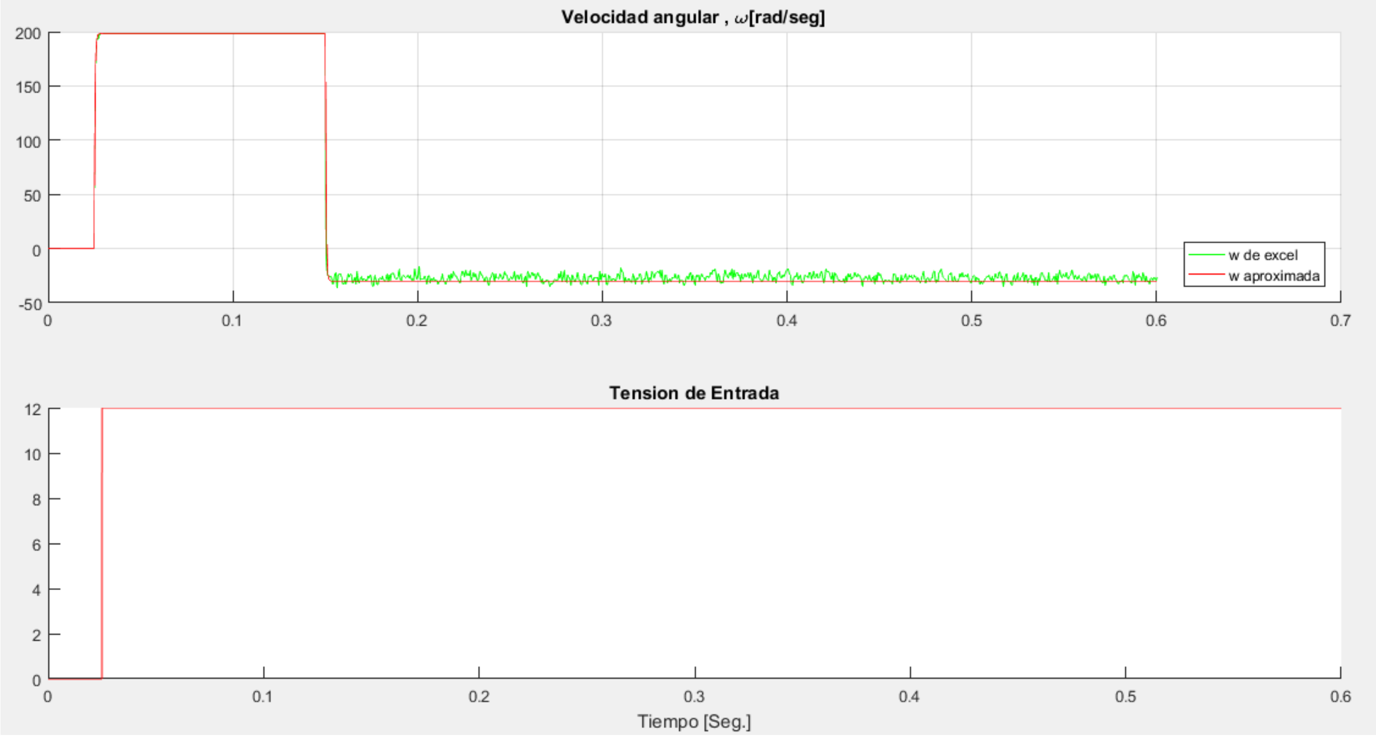
La segunda aclaración, es que para TL=7,5 10^{-2} es demasiada grande y la velocidad angular se hace negativa, mucho más que como se muestra en la gráfica de los datos proporcionados.

Se hace una segunda simulación pero ahora se modifica el tiempo que se agrega la carga en t = 0.151 [s] y un valor de TL = 4.5 10^{-2} y se ve que los parámetros calculados del motor responden a los datos brindados en el archivo Excel.

Por lo tanto, se puede decir que el motor aproximado es muy parecido al original, y su comportamiento queda definido ahora por la carga que se le agrega.



Simulación para TL=7,5 10^{-2} [Nm] y tiempo de carga 0.1[s]



Simulación para TL=4,5 10^{-2} [Nm] y tiempo de carga 0.151[s].

<u>Script usado para la simulación del incisos 3 etapa 3</u>

```
% Sistemas de Control II -FCEFyN-UNC
% Profesor: Dr.Ing. Pucheta, Julian
% Alumno: Valdez Benavidez, Mauricio Luciano
% Tp N° 1 - Caso de estudio 2 -
%   Inciso 3 Parte 2
%   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 a partir de 0,1segundo se aplica un TL
aproximado de 7,5 10-2
%   Nm. 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 de la corriente.
%%
clc;clear;close all;
X=-[0; 0; 0; 0];ii=0;t_etapa=1e-7;tF=.6;
color_='r';
Ts=t_etapa;
%u=12;
for t=0:t_etapa:tF
ii=ii+1;k=ii+2;
Tl=0; u=0;
    if(t>=0.025)
        u=12;
    end
%     if(t>=0.1)        %tiempo indicado por consigna
```

```
%          Tl=7.5e-2;     %Tl indicado por consigna
%     end
    if(t>=0.1501)   % tiempo tabla excel
       Tl=4.5e-2; % Tl que se ajusta a la rta de los datos del excel
    end

X=modmotorpunto2(t_etapa, X, u,Tl);
x1(ii)=X(1);%Omega
x2(ii)=X(2);%wp
x3(ii)=X(3);%ia
x4(ii)=X(4);%tita
acc(ii)=u;
end
t=0:t_etapa:tF;

%Cargo valores para la Comparacion
valores=xlsread('Curvas_Medidas_Motor_2023.xlsx');
tt=valores(1:end,1);
W=valores(1:end,2);


figure(1)
subplot(2,1,1);hold on;
plot(tt,W, 'g' );title('Velocidad angular , \omega[rad/seg]'); grid
on;hold on;
plot(t,x1,color_);hold on;
legend({'w de excel','w aproximada'},'Location','southeast')

subplot(2,1,2);hold on;
plot(t,acc,'r');title('Tension de Entrada');
xlabel('Tiempo [Seg.]');hold on;

%figure(2)
% plot(t,x3, color_);title('Corriente de armadura , Ia'); grid on;hold
on;
% legend({'Ia aproximada'},'Location','southeast')


%motor
function [X]=modmotorpunto2(t_etapa, xant, accion,Tl)
Laa=506.94e-6; J=3.963e-6;Ra=99.7224;B=0;Ki=16.52;Km=(1/16.52);
Va=accion;
h=1e-7;
TL=Tl;
omega= xant(1);
wp= xant(2);
ia=xant(3);
tita = xant(4);
for ii=1:t_etapa/h
wpp =(-wp*(Ra*J+Laa*B)-omega*(Ra*B+Ki*Km)+Va*Ki)/(J*Laa);
iap=(-Ra*ia-Km*omega+Va)/Laa;
wp=wp+h*wpp;
wp=wp-(TL/J);
ia=ia+iap*h;
```

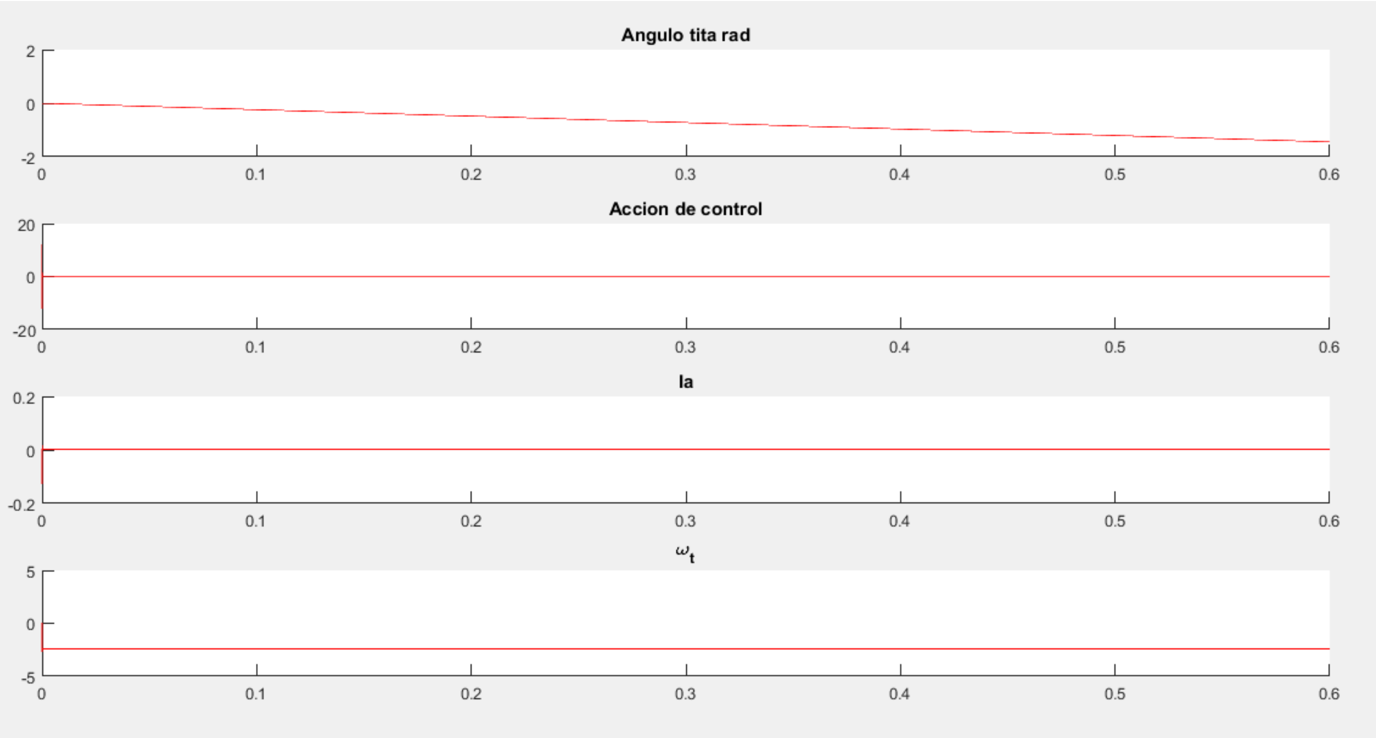
```
omega = omega + h*wp;
tita = tita + h*omega;
end

X=[omega,wp,ia,tita];
end
```

4) *Implementar un PID en tiempo discreto para que el ángulo del motor permanezca en una referencia de 1radian. (Tip: partir de KP=0,1; Ki=0,01; KD=5).*

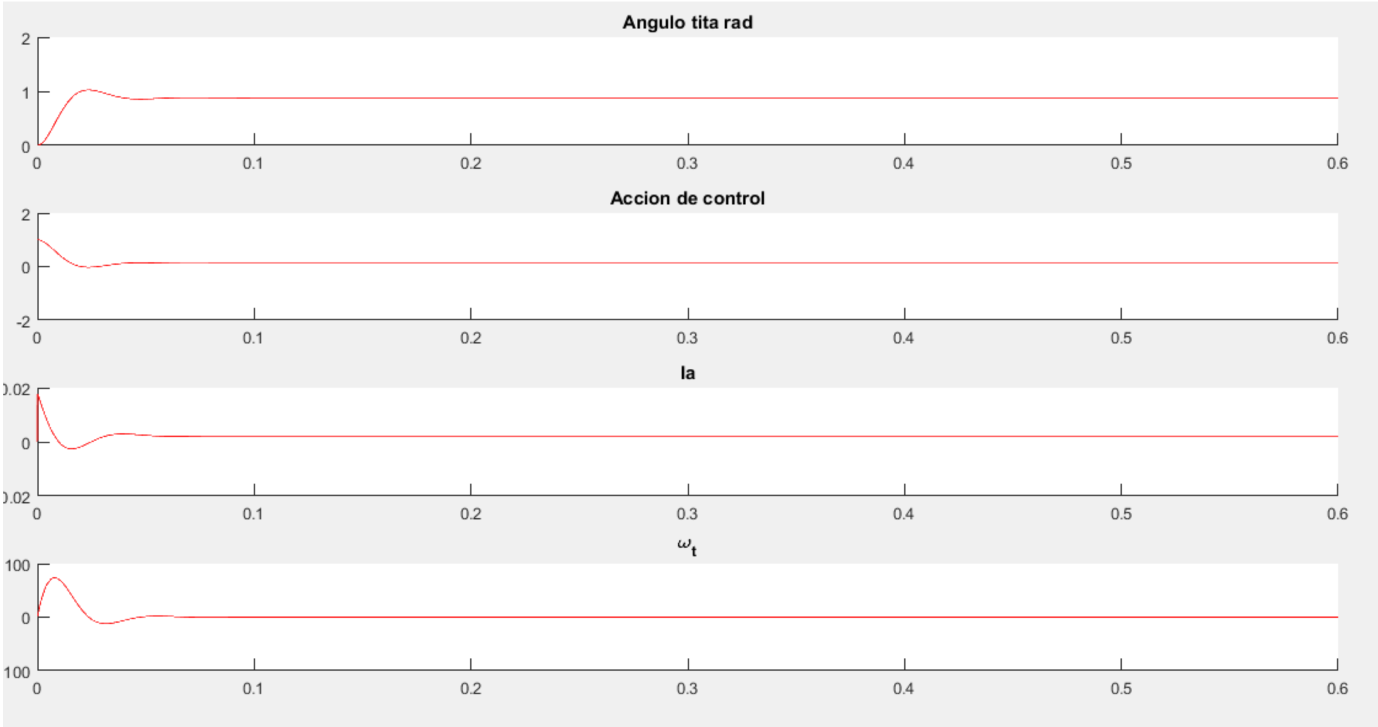
Para esta consigna se trabaja con los parámetros del motor del punto 1, ya que sabemos el valor del TL_{max} entonces se trabaja con un valor 100 veces más pequeño para trabajar holgados. $TL=2.13\ 10^{-7}$[Nm].

Se establece también como referencia el angulo θ=1 [rad], luego se simula y se van modificando los parámetros del PID hasta encontrar la respuesta más apropiada. Es importante comentar que para la aplicación del PID, se limita la acción de control en +-12[V], es decir un valor acorde al sistema.

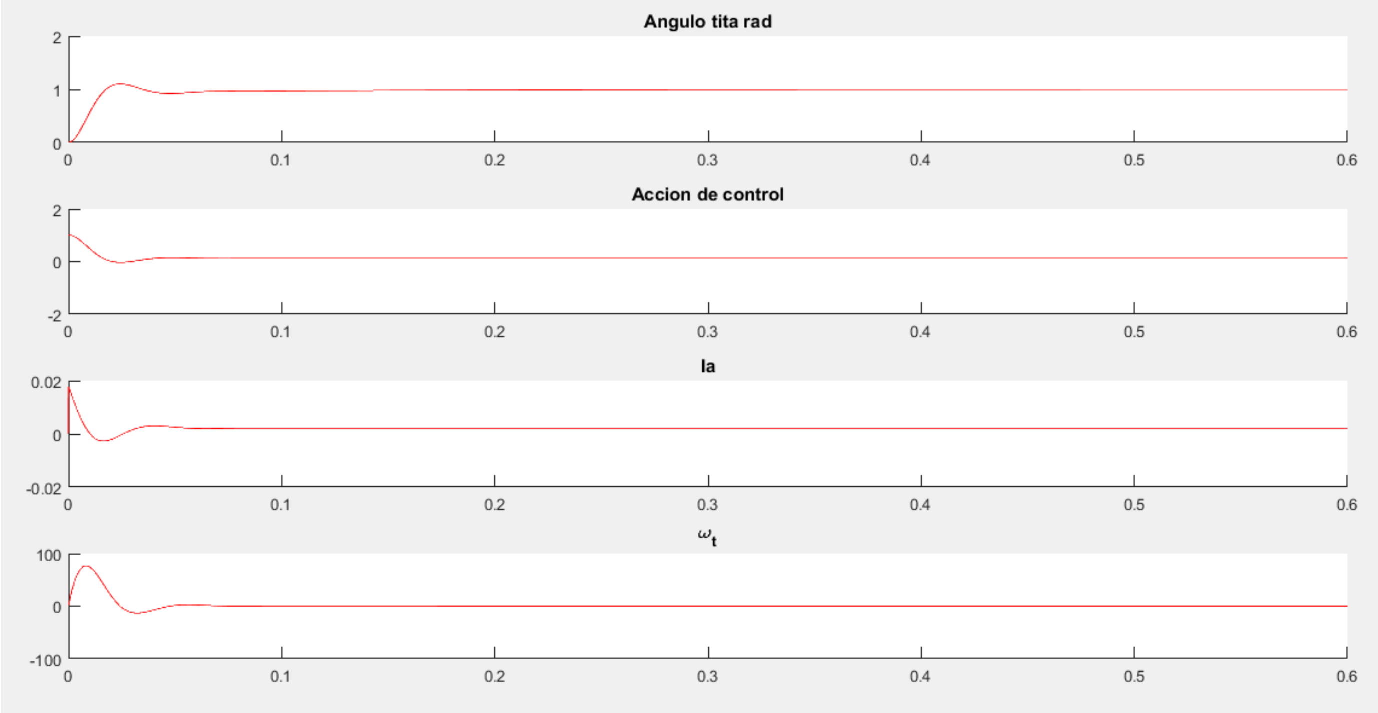
En el primer intento se establecen los valores indicados por la consigna pero el resultado no es satisfactorio dado que el ángulo tita decrece alejándose de la referencia. La acción de control se mantiene se mantiene estable en valores muy pequeños y además que el tiempo de establecimiento es casi nulo.



Luego se ponen las constantes Ki =Kd=0 y se establece Kp=1. Con este cambio se ve que tita se mantiene a lo largo del tiempo constante cerca del valor de referencia. Ahora se acomodan las demás constantes para suavizar el efecto y el establecimiento del controlador.



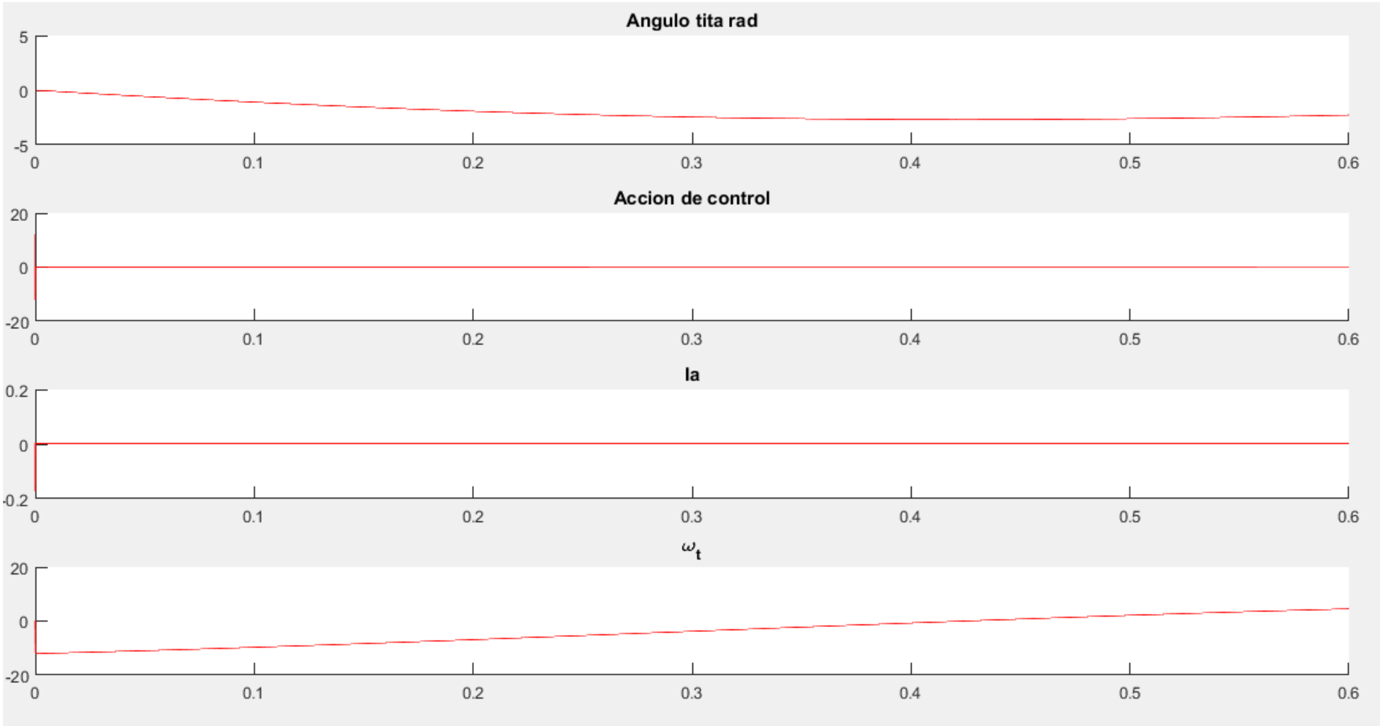
Para la siguiente simulación Kp=1 ; Ki=8 ; Kd=0



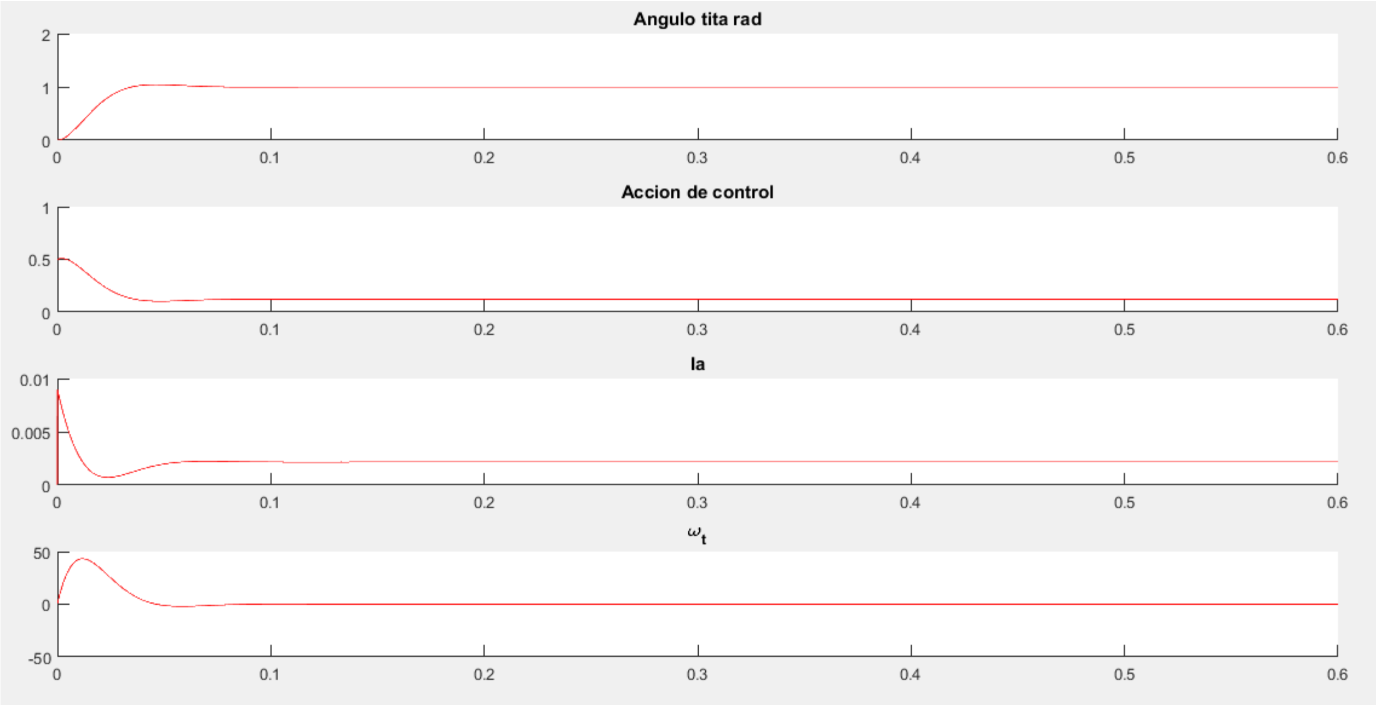
Se observa un ligero cambio, y el ángulo tita sigue estando estable respecto al valor de referencia.

Para la siguiente simulacion Kp=1 ; Ki=8 ; Kd=1

Al agregar un valor a Kd vemos que el angulo se aleja de la referencia. Por lo tanto Kd quedará fijado en cero.



Se hace una prueba más pero esta vez con los valores Kp=0.5;Ki=8;Kd=0 y los resultados parecen bastantes acertados.



<u>Script usado para la simulación del incisos 3 etapa 3</u>

```
% Sistemas de Control II -FCEFyN-UNC
% Profesor: Dr.Ing. Pucheta, Julian
% Alumno: Valdez Benavidez, Mauricio Luciano
% Tp N° 1 - Caso de estudio 2 - Inciso 4
%   Implementar un PID en tiempo discreto para que el ángulo del motor
permanezca en una
%   referencia de 1radian. (Tip: partir de KP=0,1; Ki=0,01; KD=5).

%%
clc;clear;close all;
X=-[0; 0; 0; 0];ii=0;t_etapa=1e-7;tF=.6;wRef=1;
color_='m';

%Constantes del PID
Kp=0.5;Ki=8;Kd=0; %definitivas
%Kp=1;Ki=8;Kd=1; %de puebas
color_='r';
Ts=t_etapa;
A1=((2*Kp*Ts)+(Ki*(Ts^2))+(2*Kd))/(2*Ts);
B1=(-2*Kp*Ts+Ki*(Ts^2)-4*Kd)/(2*Ts);
C1=Kd/Ts;
e=zeros(tF/t_etapa,1);u=0;

for t=0:t_etapa:tF
ii=ii+1;k=ii+2;
Tl=2.13e-5/100; % Tl se busca un valor mucho mas chico
```

```
                % que el limite encontrado en inciso 1
X=modmotorpunto4(t_etapa, X, u,Tl);

e(k)=wRef-X(4); %ERROR
u=u+A1*e(k)+B1*e(k-1)+C1*e(k-2); %PID
    if u>12         %limito accion de control a +-12
        u=12;
    end
    if u<-12
        u=-12;
    end

x1(ii)=X(1);%Omega
x2(ii)=X(2);%wp
x3(ii)=X(3);%ia
x4(ii)=X(4);%tita
acc(ii)=u; %accion de control
end
t=0:t_etapa:tF;


figure(1)
subplot(4,1,1);hold on;
plot(t,x4,color_);title('Angulo tita rad');hold on;

subplot(4,1,2);hold on;
plot(t,acc,color_);title('Accion de control');hold on;

subplot(4,1,3);hold on;
plot(t,x3,color_);title('Ia');hold on;

subplot(4,1,4);hold on;
plot(t,x1,color_);title('\omega_t');hold on;

%motor
function [X]=modmotorpunto4(t_etapa, xant, accion,Tl)
Laa=366e-6; J=5e-9;Ra=55.6;B=0;Ki=6.49e-3;Km=6.53e-3;Va=accion;
h=1e-7;
TL=Tl;
omega= xant(1);
wp= xant(2);
ia=xant(3);
tita = xant(4);
for ii=1:t_etapa/h
wpp =(-wp*(Ra*J+Laa*B)-omega*(Ra*B+Ki*Km)+Va*Ki)/(J*Laa);
iap=(-Ra*ia-Km*omega+Va)/Laa;
wp=wp+h*wpp;
wp=wp-(TL/J);
ia=ia+iap*h;
omega = omega + h*wp;
tita = tita + h*omega;
end
X=[omega,wp,ia,tita];
end
```

Lecciones aprendidas y problemas que se presentaron

- Se reforzó el uso del método de Chen para buscar aproximaciones de otros sistemas a partir de los datos de entrada y salida.
- Un problema que llevó mucho tiempo fue el tener en cuenta los valores límites para el controlador y dejarlos fijos en +-12[V]

Identificadores de logros:

- ID 1.1.1.1: Se analizó la factibilidad de controlar un proceso a partir de su modelo matemático.
- ID 1.1.1.3: Se brindaron los datos de la respuesta al escalón del sistema, para una entrada y dos salidas (tensión y corriente), aplicando el método de Chen se calculó el modelo lineal del proceso estable.
- ID 1.1.1.8: Se diseñó un controlador PID en tiempo discreto, considerando la dinámica del proceso y el valor de las constantes Kp, Ki y Kd.

Bibliografía

- Apuntes de las clases teóricas de Sistemas de Control 2 - Dr Ing Pucheta, Julian
- Identification for the second-order systems based on the step reponse. – Lei Chen, Junhong Li, Ruifeng Ding.
- Apuntes de las clases prácticas de Sistemas de Control 1 - Ing. González Reyes, Reinaldo
- Ingeniería de control moderna, quinta edición – Ogata
- Links de internet :
  - https://la.mathworks.com/help/index.html
  - https://controlautomaticoeducacion.com/analisis-de-sistemas/modelo-de-motor-dc/
- Repositorio de GitHub donde están los codigos a disposición del docente ya que fue designado como colaborador. https://github.com/mauriciovaldez19/Sistemas-de-Control-II---FCEFyN-UNC