SISTEMAS DE CONTROL II - FCEFyN - UNC - 2025

Alumno: Ferraris Domingo

Caso de estudio 1. Sistema de dos variables de estado

Resultados

Item 1:

Se obtuvo el modelo en espacio de estados partiendo de las ecuaciones del sistema, ademas se calcularos **parametros de simulacion adecuados** segun la dinamica del mismo.

> - t_step = 6.7726e-03
> - t_max = 0.013617

Se pudo simular exitosamente para los parametros requeridos y se creo un framework de simulacion y graficas que se reutilizaran para posteriores items

Item 2:

Se aprendio a aplicar el metodo de Chen y la **importancia en la eleccion de los puntos** sobre la respuesta que se quiere estimar
Se simularon extosamente las funciones de transferencia estimadas, tanto para cero-polos como para solo-polos
Se logro estimar los parametros RLC para las mediciones dadas:

> - R = 220.00
> - C = 2.2032e-06
> - L = 6.6224e-04

Item 3:

Se utilizaron las mediciones de corriente para **verificar los parametros RLC estimados** exitosamente, si bien se detectaron algunas diferencias en los ultimos puntos de tiempo, se consideraron aceptables para esta aplicacion

Detalles

Item 1:

Con las ecuaciones del modelo primero identificaron las entradas/salidas de interes y asignaron las variables de estado
Luego se plantearon las ecuaciones de estados y salida, y mediante Octave se obtuvieron las **matrices del modelo:**

```
Variables De Estado
============================
x1 == ii  ->  x1_p == ii_p
x2 == vc  ->  x2_p == vc_p

Entradas / Salidas
============================
u == ve, y1 == vr == R ii
```

```
Matrices De Estado
===================================
matA = (sym 2×2 matrix)

  ⎡-R   -1 ⎤
  ⎢───  ───⎥
  ⎢ L    L ⎥
  ⎢        ⎥
  ⎢ 1      ⎥
  ⎢ ─    0 ⎥
  ⎣ C      ⎦

matB = (sym 2×1 matrix)

  ⎡1⎤
  ⎢─⎥
  ⎢L⎥
  ⎢ ⎥
  ⎣0⎦

matC = (sym) [R  0]  (1×2 matrix)
matD = (sym) 0
```

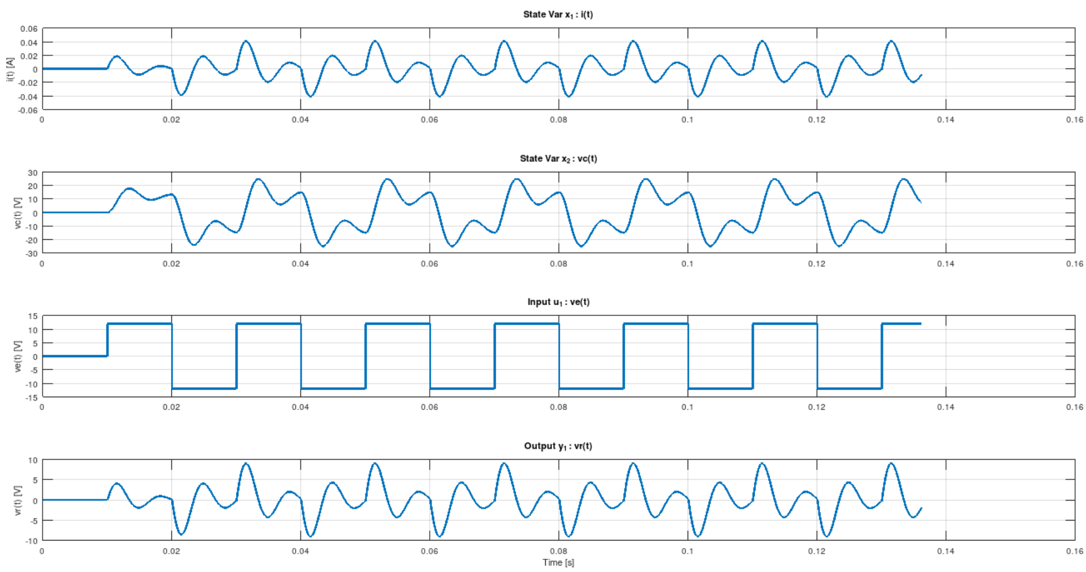
Seguidamente se valuaron los parametros RLC con los valores requeridos, obteniendo el modelo numerico en espacio de estados
Utilizando la informacion del modelo, se obtuvieron los **parametros de simulacion adecuados:**

```
Parametros
==============================
R = 220
L = 0.5000
C = 2.2000e-06

Modelo En Espacio De Estados
==============================

sys.a =
              x1          x2
   x1       -440          -2
   x2  4.545e+05           0

sys.b =
       u1
   x1   2
   x2   0

sys.c =
        x1   x2
   y1  220    0

sys.d =
       u1
   y1   0
```

```
   Pole                    Damping        Frequency          Time Constant
                                          (rad/seconds)      (seconds)

   -2.20e+02+9.28e+02i     2.31e-01       9.53e+02           4.55e-03
   -2.20e+02-9.28e+02i     2.31e-01       9.53e+02           4.55e-03
```

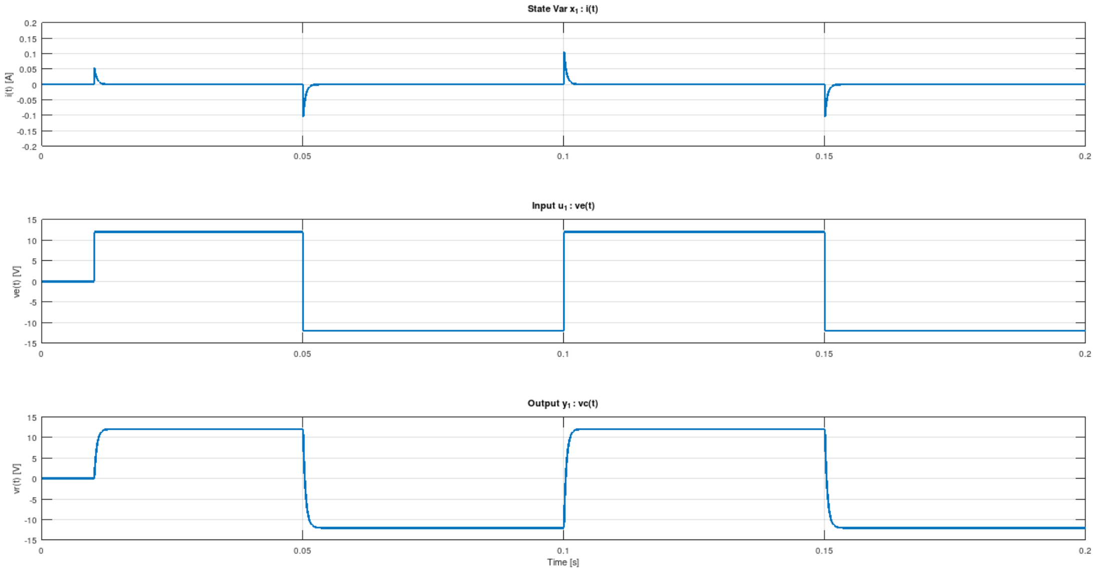
```
Simulacion
=====================
t_step = 2.3315e-04
t_max = 0.013617
```

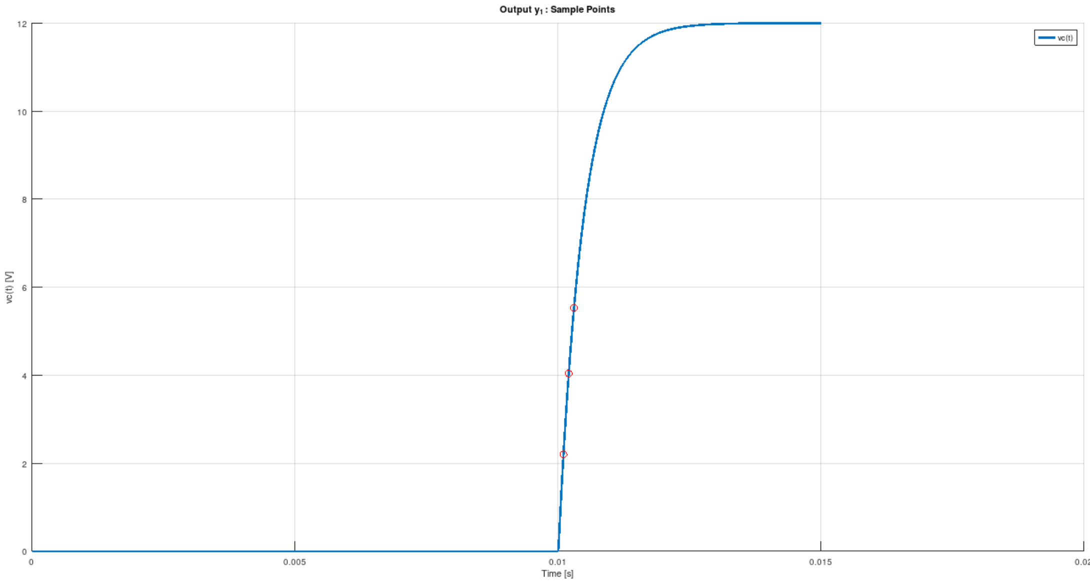
Finalmente se simulo el modelo exitosamente:



Item 2:

De las graficas de las mediciones se identificaron los parametros y **puntos de muestreo** para aplicar el metodo de Chen
Se tuvo en cuenta que la respuesta comienza a los 10ms y se tomo un t1 100us despues de ese punto:

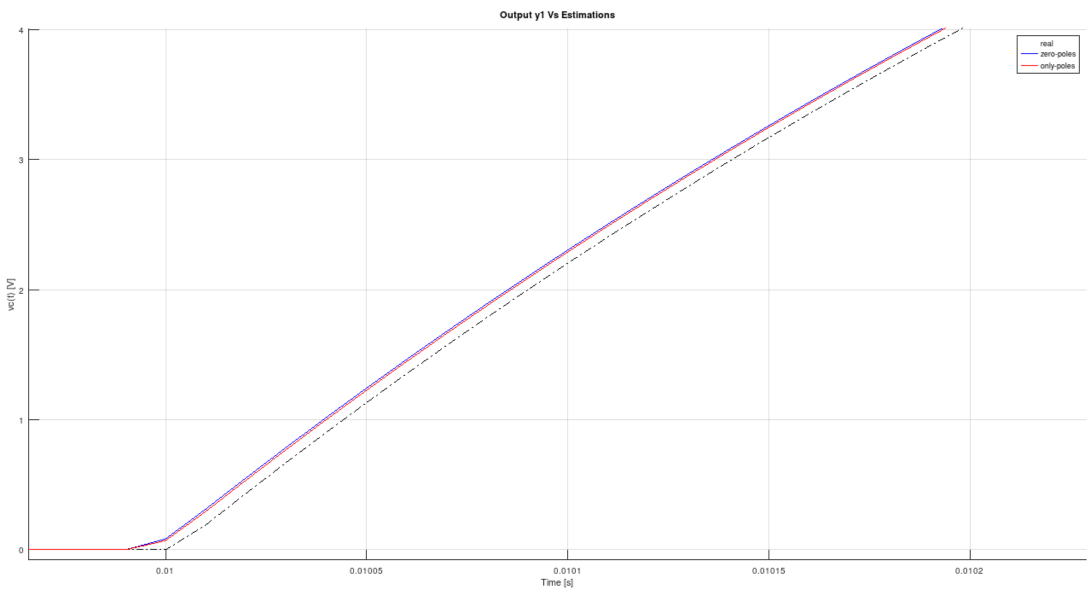




Gracias al metodo se obtuvieron las constantes de tiempo estimadas y se plantearon las funciones de transferencia en forma de cero-polos y solo-polos para comparacion:

```
METODO DE CHEN (polos distintos)
===========================================================================

  tau_1   == -t1/Ln(alpha1)
  tau_2   == -t1/Ln(alpha2)
  tau_3   == beta (tau_1 - tau_2) + tau_1

Donde:
===========================================================================

      alpha1  == (k1 k2 + k3 - sqrt(b)) / 2(k1**2 + k2)
      alpha2  == (k1 k2 + k3 + sqrt(b)) / 2(k1**2 + k2)
      beta    == ((2 k1**3 + 3 k1 k2 + k3) / sqrt(b)) - 1
      b       == 4 k1**3 k3 - 3 k1**2 k2**2 - 4 k2**3 + k3**2 + 6 k1 k2 k3
          k1      == y(t1)/K - 1
          k2      == y(2t1)/K - 1
          k3      == y(3t1)/K - 1
          K       == y(inf)
===========================================================================
tau_1 = 3.0291e-06
tau_2 = 4.8167e-04
tau_3 = 7.4939e-07
```

```
Transfer function 'sys_zero_poles' from input 'u1' to output ...

              7.494e-07 s + 1
 y1:  -------------------------------
      1.459e-09 s^2 + 0.0004847 s + 1

Continuous-time model.

Transfer function 'sys_only_poles' from input 'u1' to output ...

                     1
 y1:  -------------------------------
      1.459e-09 s^2 + 0.0004847 s + 1

Continuous-time model.

La Funcion De Transferencia De Solo-Polos Aproxima Mejor A La Respuesta
=======================================================================
```



Para relacionar los parametros RLC con las constantes de tiempo estimadas, se obtuvo mediante Octave la funcion de transferencia en forma simbolica del sistema dado

Finalmente **por igualacion** se obtuvieron los parametros requeridos:

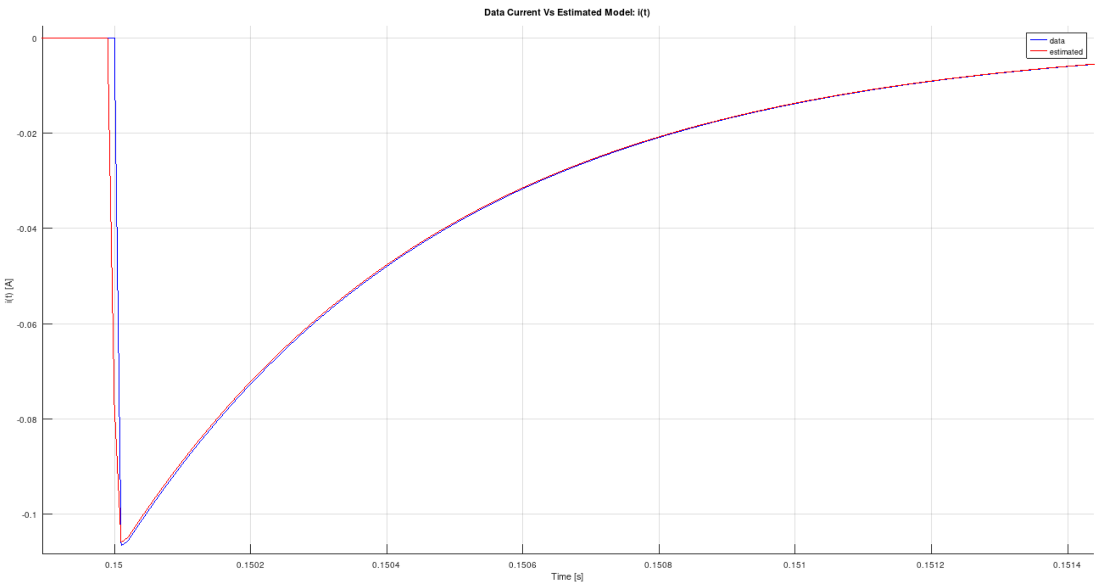
```
sys_sym = (sym)

          1
  ──────────────────
       2
  C·L·s  + C·R·s + 1


Estimar Parametros Por Igualacion
=================================

R = 220.00
C = 2.2032e-06
L = 6.6224e-04
```

Item 3:

Finalmente con los parametros RLC estimados se obtuvo el modelo (estimado) en espacio de estados y utilizo la medicion de **corriente en t > 50ms para comparar** con el modelo

Para 150ms se detectaron las maximas diferencia pero se consideraron aceptables para la aplicacion:

```
Parametros Estimados
==================================

R = 220
C = 2.2032e-06
L = 6.6224e-04

Modelo En Espacio De Estados
==================================


sys.a =
                   x1          x2
   x1  -3.322e+05       -1510
   x2   4.539e+05           0

sys.b =
         u1
   x1  1510
   x2     0

sys.c =
        x1   x2
   y1  220    0

sys.d =
       u1
   y1   0

Continuous-time model.

Simular Y Comparar Data
==================================
```



Caso de estudio 2. Sistema de tres variables de estado

Resultados

Item 4:

Se obtuvo el modelo en espacio de estados partiendo de las ecuaciones del sistema, ademas se definieron los parametros de simulacion adecuados segun la dinamica del mismo.
Para obtener torque/corriente maximos se barrio con una rampa u2 y se encontro el **punto donde la velocidad es cero:**

> - tl_max = 1.5357e-03
> - ia_max = 0.2158

Item 5:

Se aplico exitosamente el metodo de Chen para **estimar las constantes dinamica del sistema** en base a las mediciones dadas
Se eligio modelar a TL como una **atenuacion k1 a la salida omega**
Se obtuvieron los parametros dinamicos:

> - Ganancia Omega/Va: k0 = 3.8093
> - Ganancia Omega/TL: k1 = -34.500
> - tau_1 = 2.2687e-03
> - tau_2 = 0.092176

Item 6:

Usando los parametros estimados proporcionados, se calcularos el tiempo se simulacion y resolucion adecuados para el sistema
Se implemento el algoritmo **PID en tiempo discreto** y se lo aplico al sistema exitosamente
Mediante prueba y error se encontro una configuracion para el PID con la cual **el sistema se comporta de manera deseada:**

> - kp = 17
> - kp = 100
> - kd = 0.8

Detalles

Item 4:

Con las ecuaciones del modelo primero se identificaron las entradas/salidas de interes y asignaron las variables de estado
Luego se plantearon las ecuaciones de estados y salida, y mediante Octave se obtuvieron las matrices del modelo donde **se definio como salida a la posicion angular:**

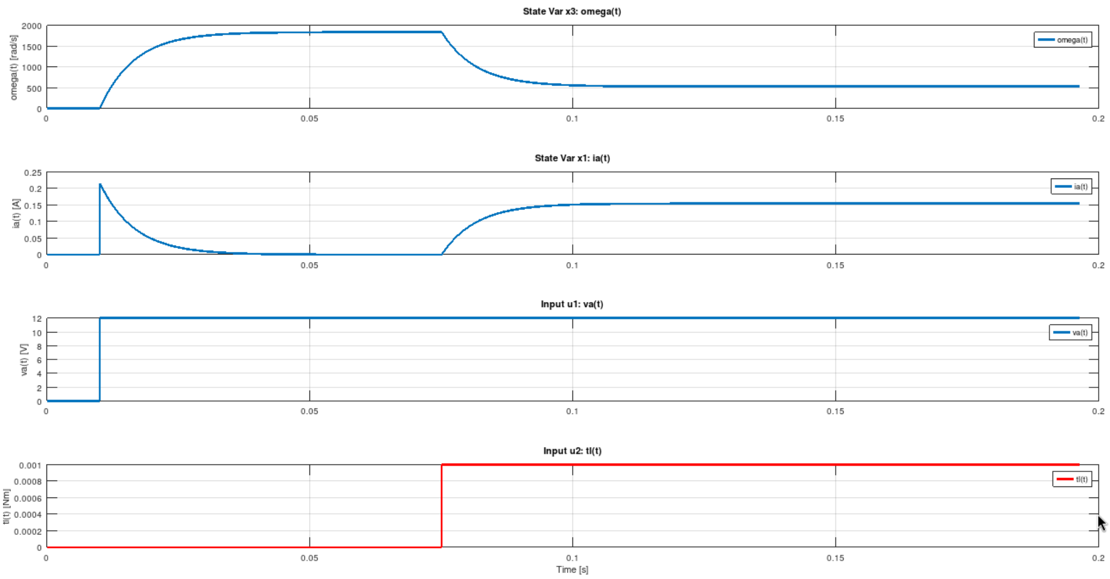
```
Variables De Estado
======================================================================

x1 == ia       ->  x1_p == ia_p
x2 == theta    ->  x2_p == theta_p == omega == x3   -> x3_p == theta_pp == omega_p

Entradas / Salidas
======================================================================

u1 == va, u2 == TL    ,   y1 == theta
```

```
Matrices De Estado
========================================

matA = (sym 3×3 matrix)

  ⎡-Ra      -Km ⎤
  ⎢────  0  ────⎥
  ⎢Laa      Laa ⎥
  ⎢             ⎥
  ⎢ 0    0   1  ⎥
  ⎢             ⎥
  ⎢ Ki      -Bm ⎥
  ⎢ ──   0  ────⎥
  ⎣ JJ       JJ ⎦

matB = (sym 3×2 matrix)

  ⎡ 1       ⎤
  ⎢───   0  ⎥
  ⎢Laa      ⎥
  ⎢         ⎥
  ⎢ 0    0  ⎥
  ⎢         ⎥
  ⎢     -1  ⎥
  ⎢ 0   ─── ⎥
  ⎣     JJ  ⎦

matC = (sym) [0  1  0]  (1×3 matrix)
matD = (sym) [0  0]  (1×2 matrix)
```

Seguidamente se valuaron los parametros del motor con los valores dados, obteniendo el modelo numerico en espacio de estados
La resolucion requerida para el eje de tiempo es de 10E-7s pero para este sistema una simulacion de 5s resulto en un **tiempo de simulacion excesivo**, por tanto para agilizar las simulaciones se utilizo la resolucion sugerida y se calculo un tiempo de simulacion mas adecuado
Con esto se simulo el modelo exitosamente para un va = 12V y TL = 1mNm:

```
Parametros
================================================================

Laa = 3.6600e-04
JJ = 5.0000e-09
Ra = 55.600
Bm = 0
Ki = 6.4900e-03
Km = 6.5300e-03

Modelo En Espacio De Estados
================================================================

   Pole          Damping       Frequency         Time Constant
                               (rad/seconds)     (seconds)

   0.00e+00      -1.00e+00     0.00e+00          -Inf
   -1.53e+02     1.00e+00      1.53e+02          6.55e-03
   -1.52e+05     1.00e+00      1.52e+05          6.59e-06
```

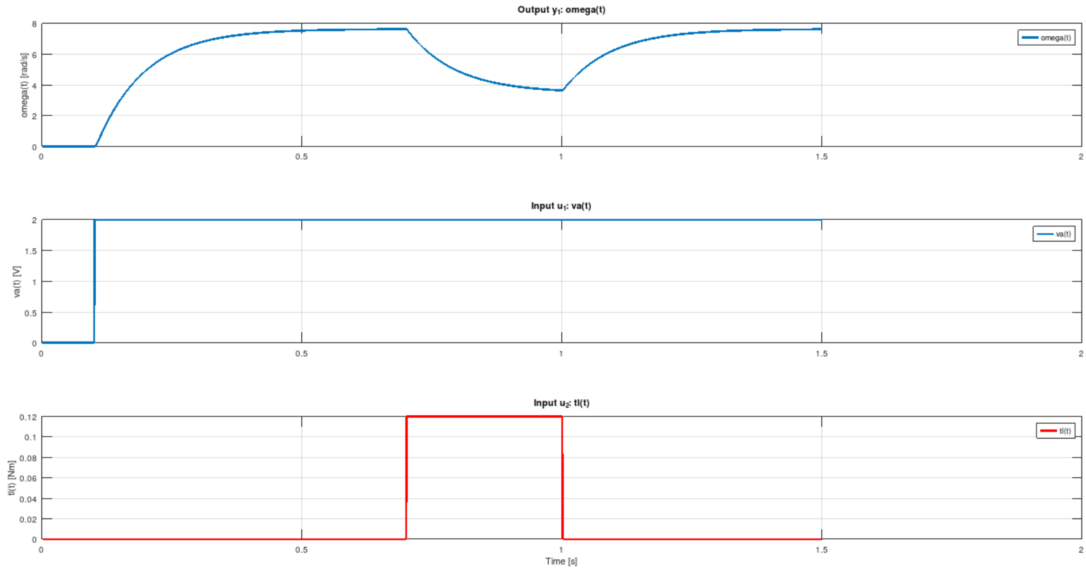
```
Simulacion
=====================

re_min = -1.5176e+05
t_step = 1.0000e-06
t_max = 0.1963
```

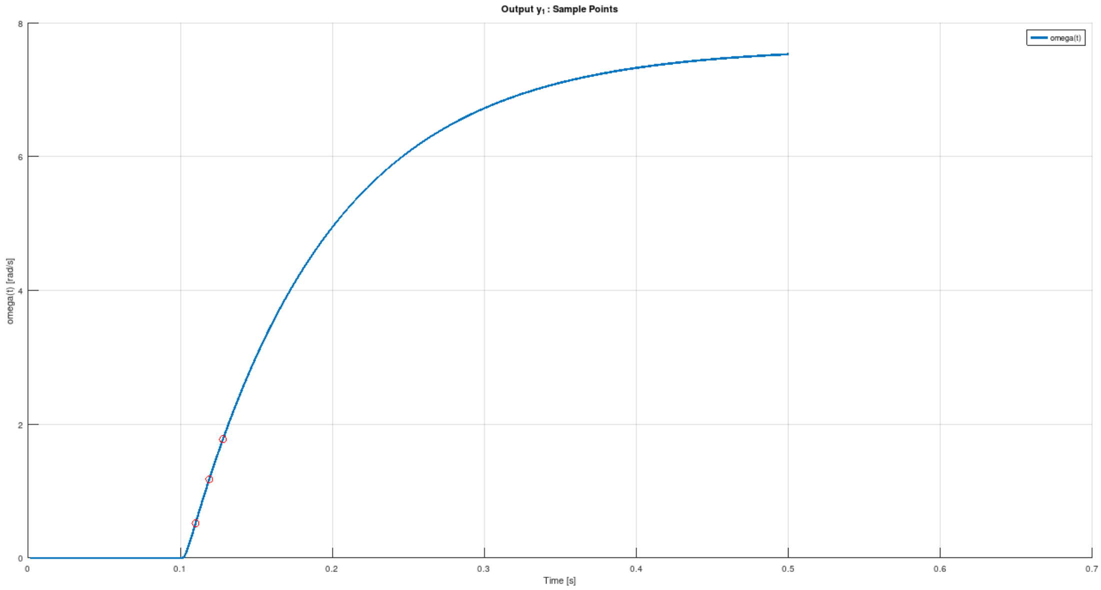


Item 5:

Se comenzo estimando la dinamica para omega/Va, para ello de las graficas se identificaron los parametros y puntos de tiempo de muestreo para aplicar el metodo de Chen

Se tuvo en cuenta que la respuesta comienza a los 101ms y se tomo un t1 9ms despues de ese punto:



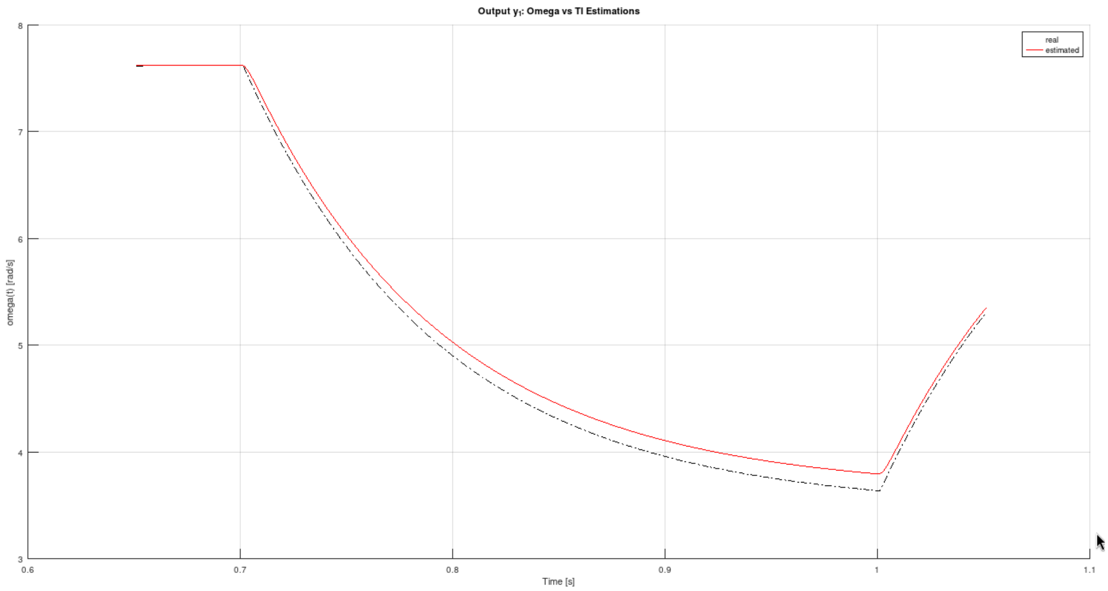


Gracias al metodo **se obtuvieron las constantes de tiempo estimadas** para la respuesta de omega/Va:

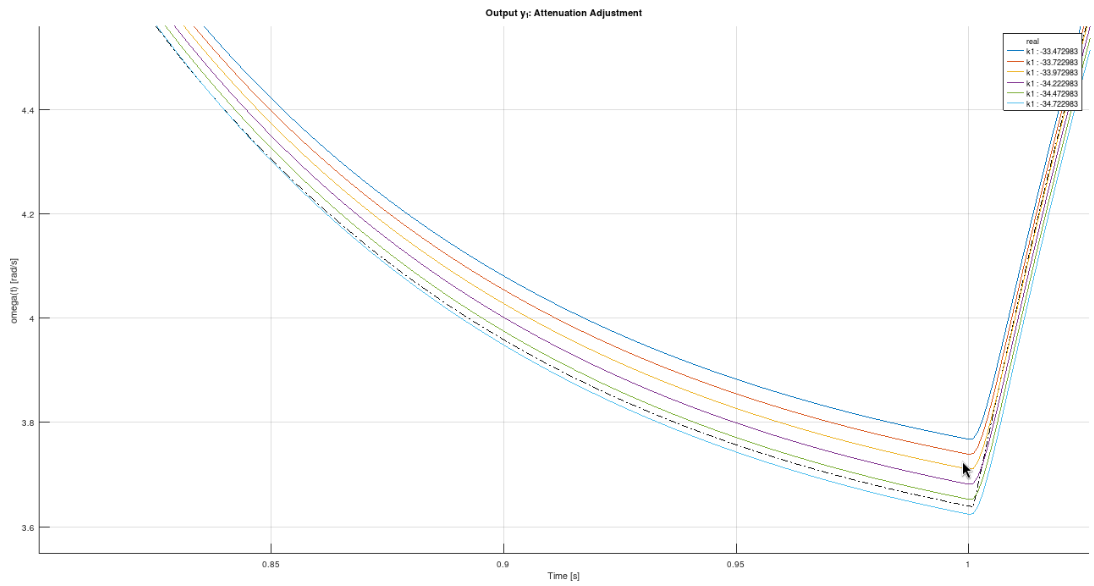
```
tau_1 = 2.2687e-03
tau_2 = 0.092176
tau_3 = -2.3657e-04

Sistema De Orden 2 Sin Ceros: G(s) == k0 / ((T1s + 1)(T2s + 1)), T1 < T2
========================================================================


Transfer function 'omega_vs_va' from input 'u1' to output ...

                  3.809
 y1:  -----------------------------
      0.0002091 s^2 + 0.09444 s + 1

Continuous-time model.
```

Para la dinamica de omega/TL se decidio **modelarla como una simple ganancia** con la misma ecuacion caracteristica
Para esto se busco la relacion entre variacion de omega y el TL aplicado

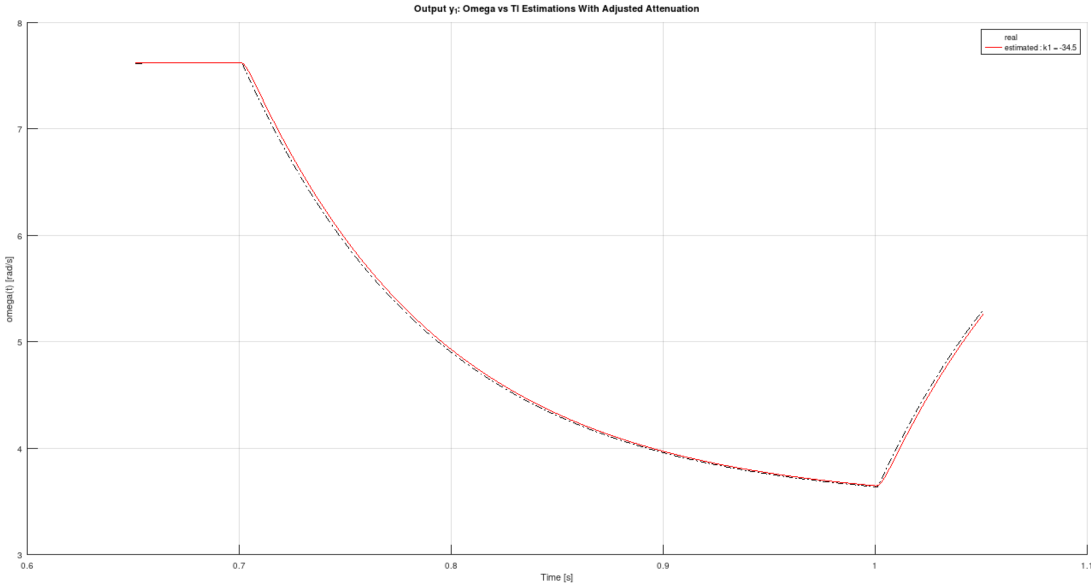
Se obtuvo un primer valor teorico pero este no ajustaba bien a la respuesta, por tanto se hizo un rapido **barrido simulando para distintas atenuaciones** y se eligio la que mejor ajusta:




```
Modelar Efecto De TL Como Una Atenuacion
=========================================

k1 = -33.223
```

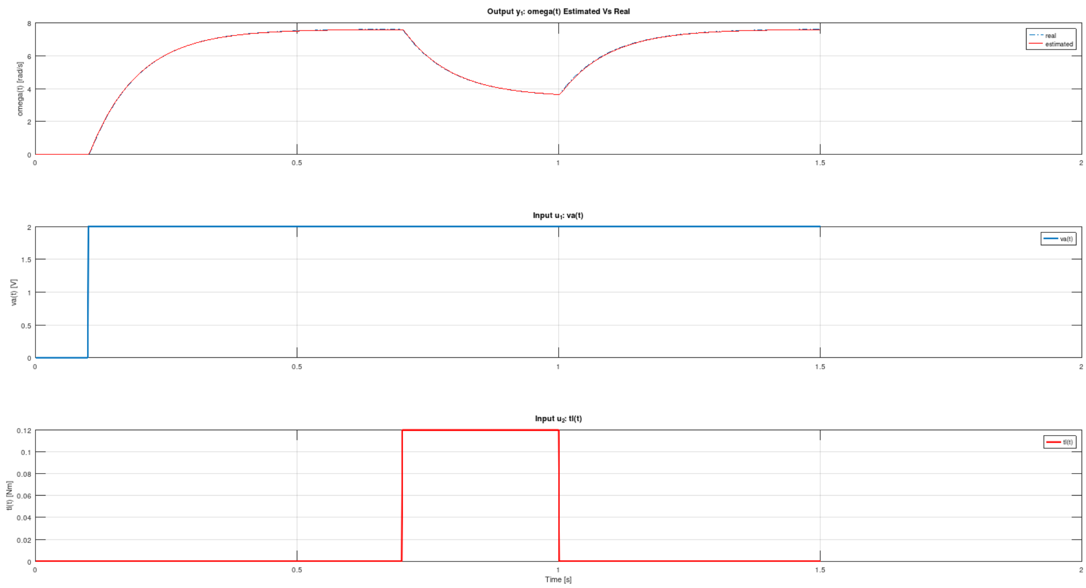


```
Atenuacion Seleccionada
==================================================================

k1 = -34.500

Transfer function 'omega_vs_tl' from input 'u1' to output ...

                  -34.5
 y1:  -----------------------------
      0.0002091 s^2 + 0.09444 s + 1

Continuous-time model.
```



Consiguiendo modelar a la transformada de omega como k0*Va mas k1*TL ambas sobre la misma ecuacion caracteristica dada por los tau1 y tau2 estimados por Chen: Finalmente se simulo el sistema MISO utilizando lsim de Octave para comparacion:

```
Constantes Finales
====================

k0 = 3.8093
k1 = -34.500
tau_1 = 2.2687e-03
tau_2 = 0.092176
```



Item 6:

Para diseñar el PID discreto, primero se tomaron los **parametros estimados de:** https://github.com/Julianpucheta/OptimalControl/blob/main/TP_N1_Identificacion_Exacta.ipynb
Se compararon las respuestas estimadas vs mediciones y con estos parametros se calcularon tiempo de simulacion y resolucion aceptables para las simulaciones:

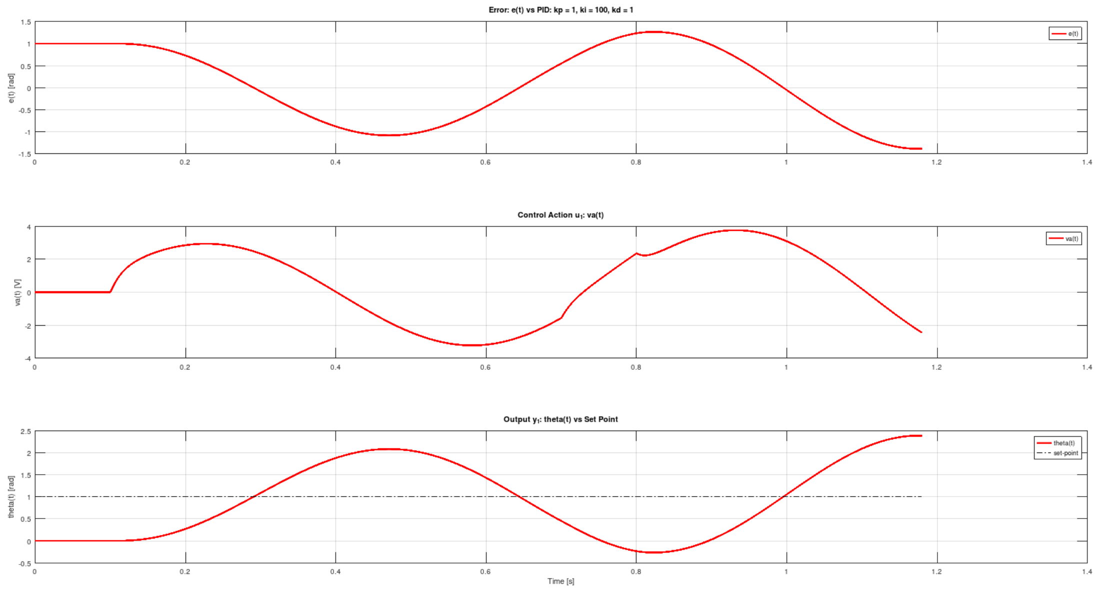
```
Parametros Tomados De: OptimalControl/TP_N1_Identificacion_Exacta.ipynb
=======================================================================

Ra = 2.2700
Laa = 4.7000e-03
Ki = 0.2500
Km = 0.2500
Bm = 1.3100e-03
JJ = 2.3300e-03

Simulacion
=======================================================================

re_min = -470.84
t_step = 3.6313e-05
t_max = 1.1796
```

El ajuste del PID se hizo a prueba y error, para ello primeramente se definieron como objetivos:

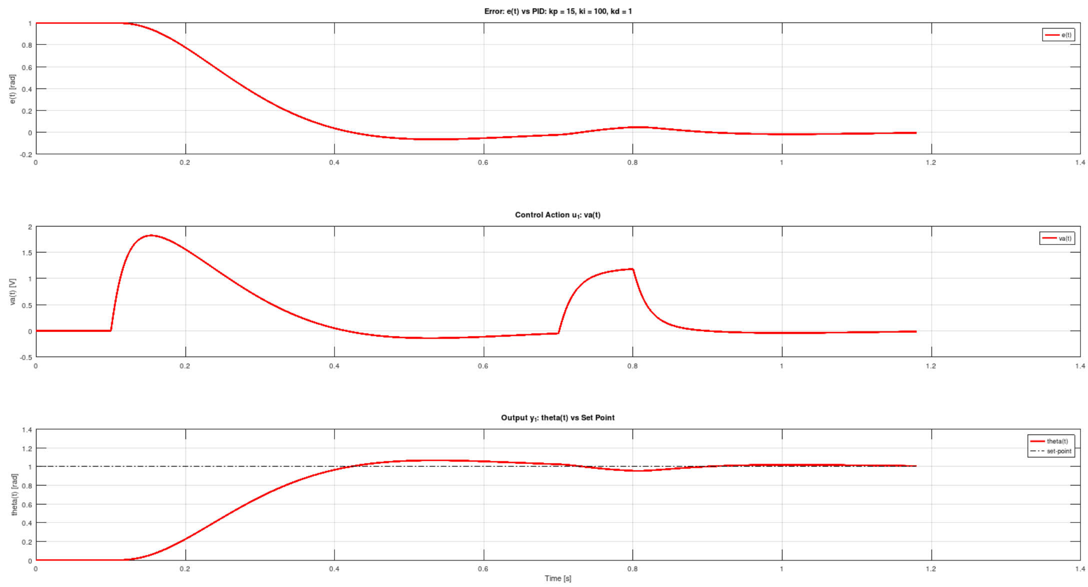
> - Que la posicion angular se estabilice en la referencia antes de aplicar el TL
> - Que la accion de control no supere los 2V del motor
> - Que al aplicar la perturbacion la salida vuelva al set-point lo mas rapido posible con una accion de control acorde

Con las especificaciones definidas y con kp = ki = kd = 1, se comenzo a variar iterativamente cada constante kp, ki y kd para visualizar los cambios en el error para cada accion de control

En base a lo aprendido se decicio como punto de partida aumentar la accion integral para que **el error llegue a cero lo mas rapido posible:**

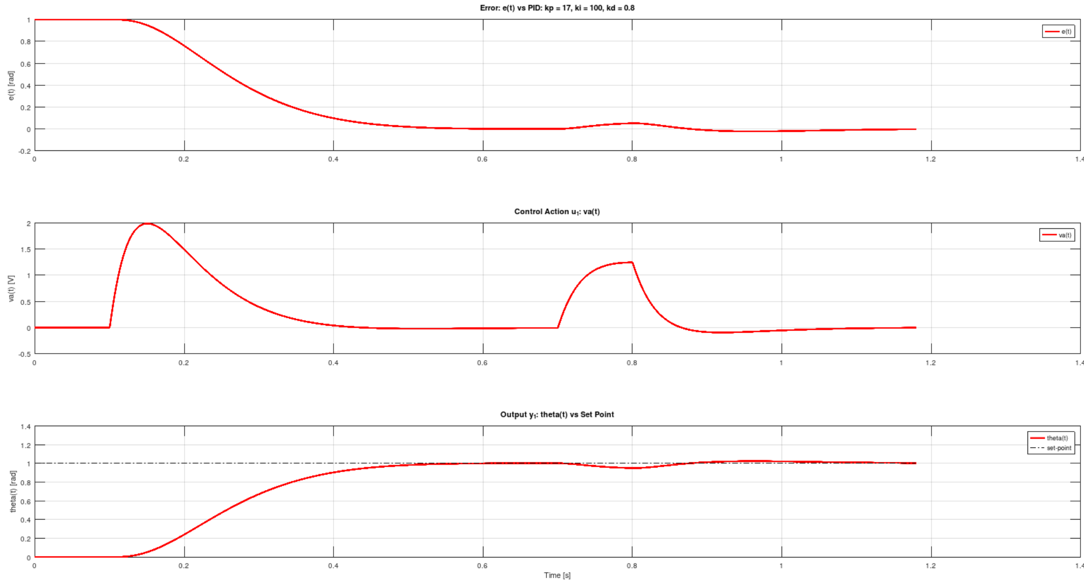


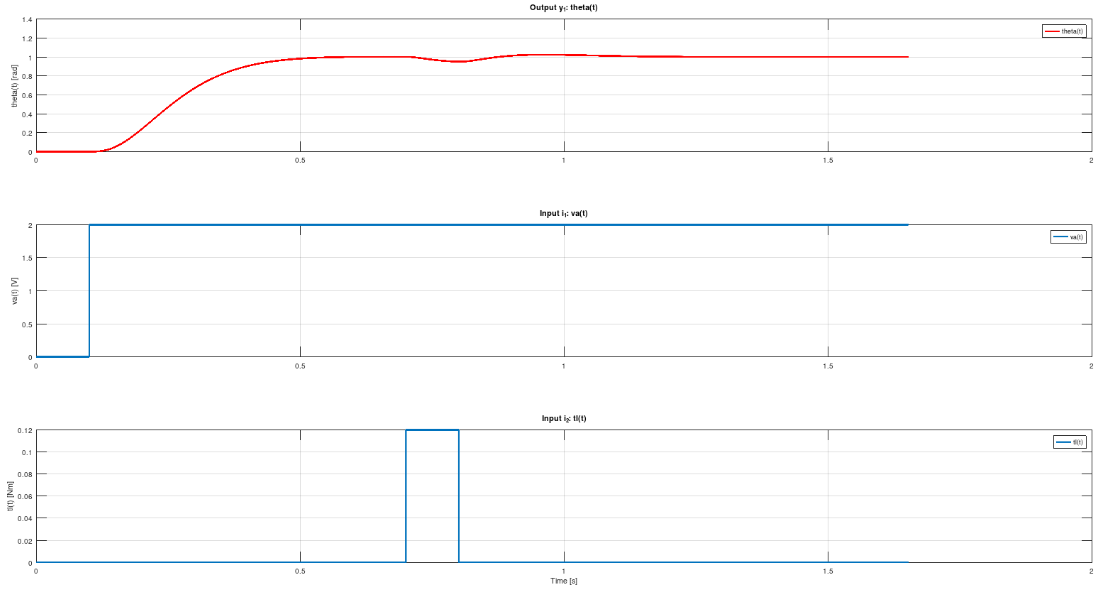
Aqui se noto que por ki el error baja rapidamente pero luego se pasa del cero exageradamente y ademas la accion de control es inadmisible
Con esta configuracion se comenzo a incrementar la accion proporcional, logrando que el sistema si bien se hace mas lento, **no pase a error negativo tan agresivamente:**



Con esto se logro mejorar el error y ademas la accion de control ahora es aceptable
Por ultimo se intento **disminuir el sobrepasamiento de la respuesta**, para esto se disminuyo la accion derivativa y aumento la proporcional manteniendo siempre una accion de control aceptable para este motor
Luego de varias iteraciones se obtuvo la **respuesta y configuracion del PID deseadas:**

```
pid_config =

    17.0000   100.0000     0.8000
```





Fuente/herramientas

1. Apuntes/Videos De La Materia
2. Octave, Chat-GPT, vscode
3. https://github.com/Julianpucheta/OptimalControl/blob/main/TP_N1_Identificacion_Exacta.ipynb

GitHub

1. https://github.com/Clifferto/carrerpath/tree/control2/nationalUniversity/2025/controlSystems2
