

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

I SEMESTRE 2016

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA

CURSO: EL-5409 LABORATORIO DE CONTROL AUTOMÁTICO

MEDIO: Proyecto corto 1

FECHA: 1 de marzo de 2016

PROF: Ing. Eduardo Interiano

PROYECTO CORTO 1

Tema: Obtención del modelo empírico SIMO del sistema motor CD hps5130.

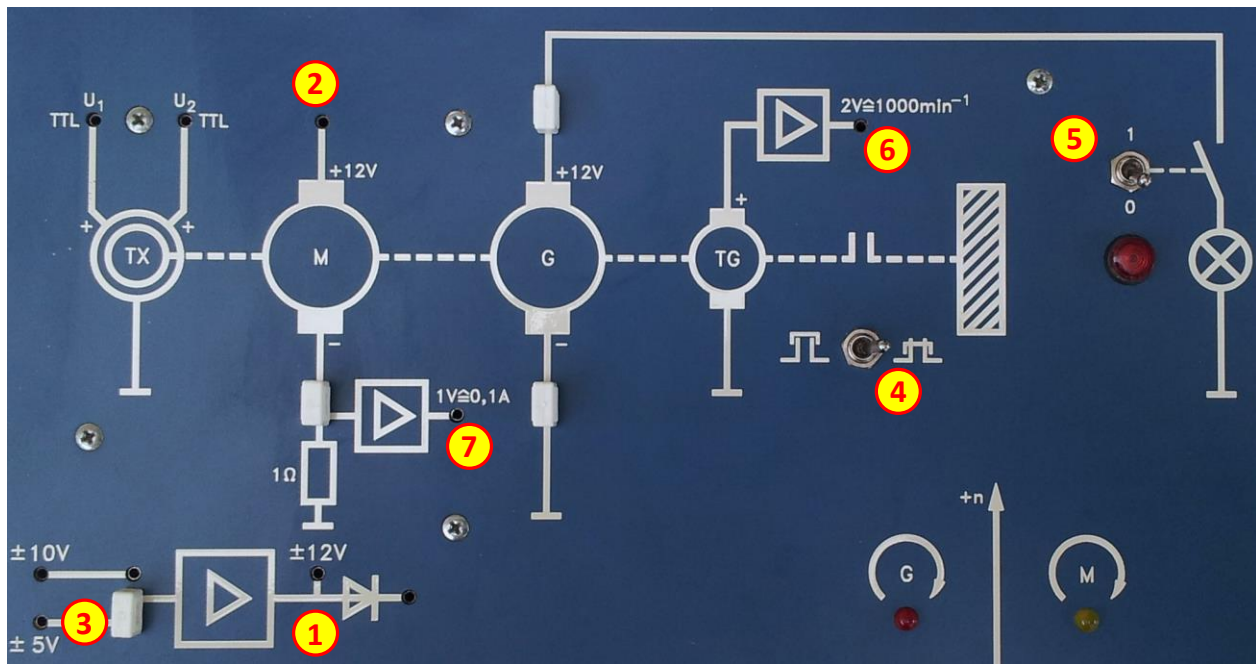


Figura 1: Esquema del sistema de velocidad angular hps5130

Recursos: Planta hps5130 con motor CD de imán permanente y tacogenerador. Computador con Matlab e *ident* instalado. Un osciloscopio Keysight InfiniiVision DSXO2014A; una fuente de alimentación Agilent E3631A y un generador de señal capaz de proporcionar señales pseudoaleatorias de hasta 5 V de amplitud (pulsador para dedo gordo).

Descripción del trabajo:

Debe utilizar el osciloscopio para capturar los datos de un experimento para obtener las respuestas de velocidad y de corriente de un motor de CD ante estímulos pseudoaleatorios de tensión de armadura. Posteriormente debe utilizar la herramienta *ident* de Matlab para identificar y estimar modelos adecuados para el motor y finalmente debe verificar los modelos así obtenidos.

Parte I: El experimento

Usando como referencia la figura 1:

Paso 1) Se sugiere ajustar las propiedades del osciloscopio como se muestra en la tabla 1. Ud. puede modificar estos ajustes para adecuarlos a su experimento si es necesario.

Paso 2) Conecte un cable entre el punto 1 (+/- 12V), salida del amplificador; y el punto (2), +12V, armadura del motor CD.

Paso 3) Conecte el canal 1 del osciloscopio, el cual se usará para medir la señal de entrada al motor, al punto (1), la salida del amplificador.

Paso 4) Conecte un generador de señales pseudoaleatorias a la entrada del amplificador, punto (3). Note que el amplificador tiene una entrada máxima de +/- 5V y una ganancia de $12V/5V = 2.4$. Esto es por cada voltio en la entrada el motor recibe 2.4 voltios en el devanado de armadura.

Paso 5) Asegúrese de que el interruptor que controla la inercia, punto (4), esté hacia la derecha.

Paso 6) Asegúrese de que el interruptor que controla la carga, punto (5), esté en la posición de apagado (0).

Paso 7) Conecte el canal 2 del osciloscopio, con el que se medirá la respuesta de velocidad, a la salida del tacómetro, punto (6), La ganancia de esta salida es de 2V/1000 rpm (aunque las rpm no son unidades adecuadas, sería mejor trabajar en rad/s).

Paso 8) Conecte el canal 3 del osciloscopio al sensor de corriente, punto (7) y repita el paso 9 para obtener la respuesta de corriente. La ganancia de esta salida es de 1V/0.1A.

Paso 9) Conecte la tierra del generador de señales y la del osciloscopio a un punto de tierra del hps5130 (no se muestra en la figura 1).

Paso 10) Con el generador pseudoaleatorio produzca una señal de excitación de entrada, con amplitud constante de aproximadamente **3.5V** para no saturar el sistema y con duraciones en alto y en bajo variables, tal como se muestra en la figura 2 y mida con el osciloscopio usando el modo de disparo único. Repita el experimento tantas veces como crea conveniente hasta obtener un oscilograma parecido al de la figura 2 para las respuestas de velocidad y corriente.

Paso 11) Guarde sus experimento, como datos en formato CSV y como imagen en formato PNG, en una memoria flash USB y dele un nombre descriptivo a cada archivo.

Tabla 1: Ajustes del osciloscopio

Función	Propiedades	Comentario
Ajustes del canal 1 Entrada	5 voltios por división. Punta de prueba 10:1	La señal de entrada (punto 3) puede variar entre +/- 5 voltios y la salida del amplificador (punto 1) entre +/- 12V.
Ajustes del canal 2 Velocidad	5 voltios por división. Punta de prueba 10:1	La señal de salida tiene una ganancia de 2V/1000 rpm y podría llegar a +/- 12V.
Ajustes del canal 3 Corriente	0.5 amperios por división. Punta de prueba 10:1	La señal de salida tiene una ganancia de 1V/0.1A
Barrido horizontal	1 segundo por división	Para una duración máxima del experimento de unos 10 segundos
Retardo del disparo	4 segundos	Para lograr que el disparo se produzca al inicio de la pantalla
Disparo	Modo único, canal 1, flanco de subida.	La excitación del motor es un evento único

Parte II: Estimación y verificación del modelo del motor

Objetivo: Estimar, a partir de los resultados experimentales de entrada-salida de la planta, los modelos numéricos de velocidad y corriente de un motor de CD.

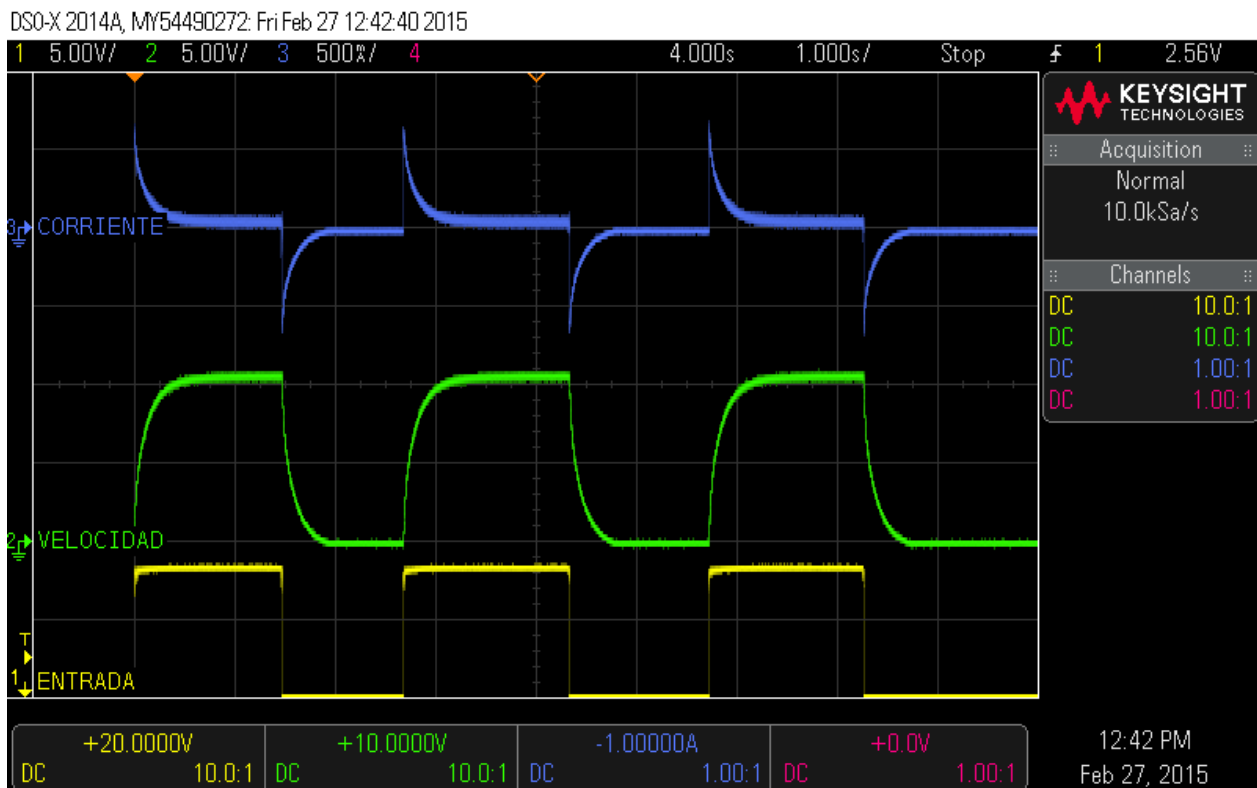


Figura 2: Captura de la entrada, canal 1 en [V] medido en (3); de la velocidad angular, canal 2 [2V/krpm] medido en (6); de la corriente [A] medido en (7); del sistema motor hps5130 mostrado en la figura 1.

Procedimiento:

NOTA 1: Antes de iniciar, opcionalmente puede ejecutar *iddemo* en Matlab, seleccione el tipo de demostración 1 y luego seleccione la demostración de la interfaz gráfica de usuario para estimación (opción 1) o consulte [3] y [4].

Paso 1) Identifique y estime, con ayuda de *ident* de Matlab, varios modelos de función de transferencia para la velocidad y corriente del motor CD (Motor(s)). Seleccione el modelo con el mejor ajuste a los datos y valide ese modelo seleccionado contra los datos experimentales.

NOTA 2: En el ejemplo aquí mostrado se utilizan datos experimentales contenidos en el archivo llamado **hps5130.csv**, que se encuentra en la carpeta de la clase de laboratorio, www.ie.tec.ac.cr/einteriano/control, además allí se encuentra el video llamado **EstimacionServo10ms_720P.mp4**, el cual ejemplifica el procedimiento seguido para un caso SISO. **Ud. debe utilizar los datos de su experimento que corresponden a un caso SIMO.**

NOTA 3: Antes de iniciar esta parte limpie el encabezado del archivo .CSV, eliminando las unidades y renombrando las columnas con identificadores simbólicos adecuados tales como “Tiempo”, para la primera columna; “Entrada”, para la segunda columna y “Velocidad” y “Corriente”, para la tercera y cuarta columnas respectivamente si utiliza los canales del osciloscopio como se indica en la tabla 1. **De preferencia use un editor de texto simple** para esta labor, (el *Notepad* por ejemplo).

También verifique la **consistencia del separador decimal** de sus datos con las herramientas a usar; esto es, si las herramientas están en inglés, el separador decimal debe ser punto (.); si están en español, el separador decimal debe ser coma (,).

Paso 2) Importe a Matlab los datos contenidos en el archivo .CSV guardado en la parte I; para ello, inicie Matlab y vaya al menú **File\Import Data...**, y luego oprima **Open** y luego **Next**, en la siguiente ventana seleccione **Create vectors ...**, como se muestra en la figura 3 y luego oprima **Finish**. Los datos están ahora disponibles como vectores en el *workspace* de Matlab.

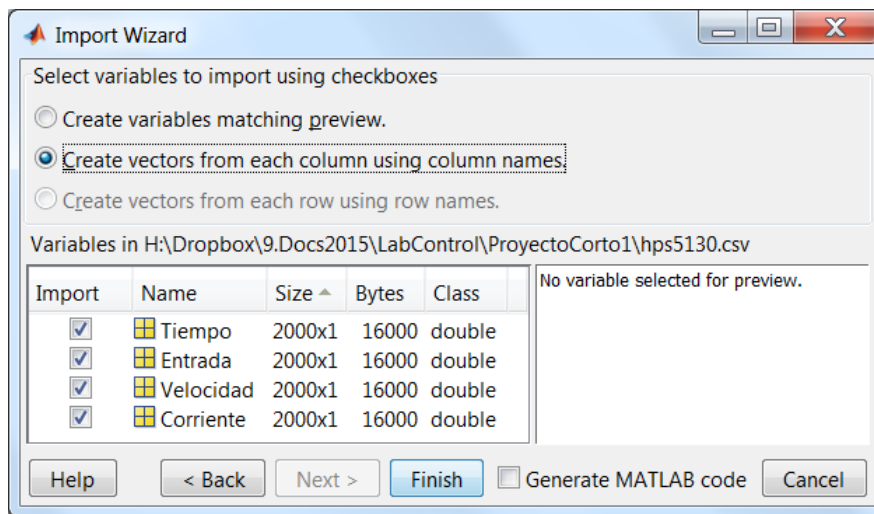


Figura 3: Importar datos en forma de vectores al *workspace* de Matlab.

Paso 3) Cree en Matlab un objeto de datos para identificación, en este caso llamado 'Motor', usando las siguientes sentencias:

NOTA 4: Antes de crear el objeto de datos asegúrese de filtrar el ruido de los datos (un filtro de media móvil es muy práctico para esto) y de linealizar los datos si es necesario (restar e valor inicial), de lo contrario, el ruido y la no linealidad de los datos evitarán que obtenga modelos apropiados con la exactitud suficiente.

NOTA 5: Asegúrese que el periodo de muestreo sea constante, revisando el vector de **Tiempo**; y en Matlab use la orden ***format shortg*** para poder ver los datos en formato sin redondeos.

```
deltaT = Tiempo(2)-Tiempo(1);  
Motor = iddata([Velocidad, Corriente], [Entrada], deltaT);  
Motor.inputname = {'Entrada'};  
Motor.outputname = {'Velocidad'; 'Corriente'};
```

Paso 4) Luego en el *workspace* de Matlab ejecute la orden ***ident***; espere unos segundos y se abrirá la ventana del ***ident***, en la cual debe seleccionar ***Import data\Data object ...***, llene los campos de la ventana con los datos correspondientes **a su experimento**: nombre del objeto de datos, creado en el paso anterior, que contiene los datos experimentales como se muestra en la figura 4 y oprima ***Import***. Una vez hecho lo anterior puede cerrar esa ventana. Asegúrese que el periodo de muestreo sea constante en el **vector de tiempo del experimento**.

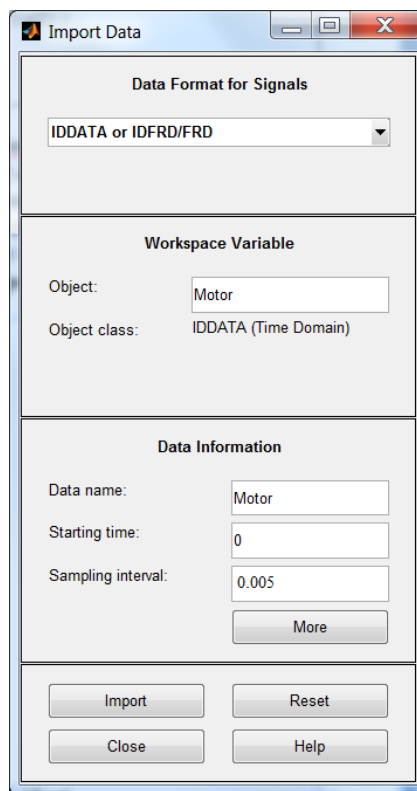


Figura 4: Ventana para importar datos al ***ident***. Ponga los datos de **su experimento**.



Figura 5: Visualización de los datos experimentales importados en *ident*.

En este ejemplo, en la ventana principal del *ident*, figura 7, debe tener ahora un objeto, llamado **Motor**, debajo de *Import data*. Este objeto contiene todos los datos del experimento, los cuales pueden visualizarse en dos partes. Usaremos para ello la casilla *Time plot*, que abrirá una ventana en la cual podemos seleccionar el canal (*Channel*) que deseamos ver, tal como se muestra en la figura 5.

Paso 5) En la ventana del *ident*, figura 7, debe tener ahora un objeto, llamado **Motor** en este ejemplo. Este objeto contiene todos los datos del experimento, el cual se dividirá en dos partes, una para estimar el modelo ("**Motore**") y otra para validar los datos ("**Motorv**"). La figura 5 muestra esta selección con los colores verde y rojo respectivamente. Se usa para la selección de los datos la operación *Preprocess\Select range*, que abrirá una ventana en la cual con el ratón se crea un rectángulo alrededor de los datos a seleccionar y luego se oprime *Insert*; repitiendo para cada rango a crear; al terminar de insertar los segmentos seleccionados podemos cerrar esta ventana. Al finalizar se debe tener tres objetos en la ventana del *ident*, el objeto original **Motor** y dos más que llamaremos **Motore** y **Motorv**. Figura 7.

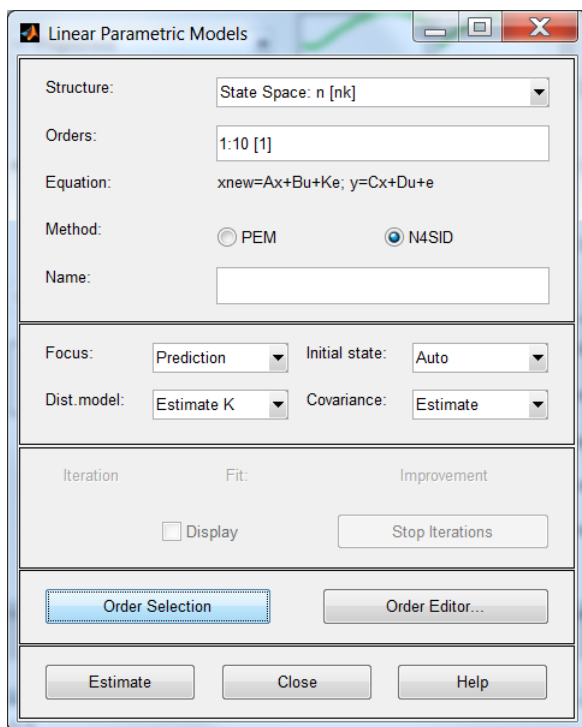
Se arrastra y coloca el segundo objeto (**Motore**, color verde) en la posición llamada *Working Data* y el tercer objeto (**Motorv**, color rojo) en la posición llamada *Validation Data*.

Paso 6) En la ventana principal del *ident* seleccionamos *Estimate* → *Linear Parametric models...* y en esta ventana, ya que nuestro modelo tiene una entrada y dos salidas (SIMO) se escoge una estructura de variables de estado y al oprimir el botón *Order Selection* se buscarán modelos desde orden 1 a 10 como se muestra en la figura 6a. Una vez hecho lo anterior se oprime el botón *Estimate*, el cual hará que se abra la ventana de selección del orden del modelo, como se muestra en la figura 6b. Aquí se seleccionan los modelos que tengan valores singulares pequeños, sin aumentar excesivamente el orden del modelo.

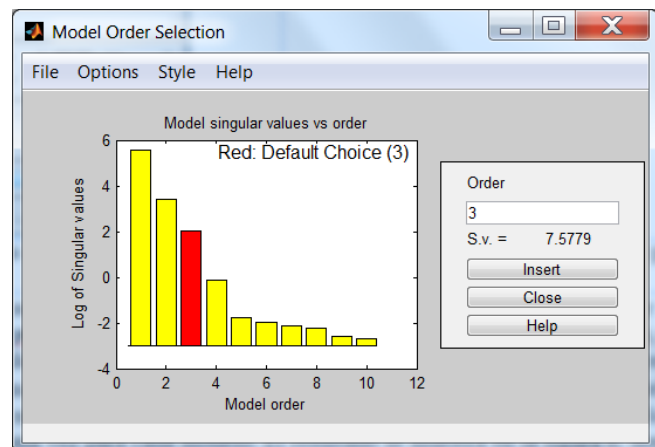
Paso 7) Para validar nuestros modelos obtenidos, podemos comparar su salida ante el estímulo original del experimento seleccionando la opción *Model output* que nos presenta el porcentaje de aproximación entre nuestro modelo y la respuesta original. Como puede observarse en la figura 8, para la salida **Velocidad**, el modelo **Primero** posee la mejor aproximación a los datos

experimentales (95.1) y para la salida **Corriente** el mejor modelo, con una aproximación del 88.72, también es **Primero**; aunque ambos modelos difieren muy poco. Pruebe **varios métodos**; además pruebe también **filtrando** los datos para eliminar el ruido, un filtro de media móvil en **Excel** (promedio de la muestra actual con las 7 anteriores) puede ser el adecuado.

NOTA 6: En su **experimento**, para seleccionar su modelo final de entre los diferentes modelos obtenidos, debe utilizar criterios de aproximación y de complejidad, (la mejor aproximación en simulación a los resultados experimentales; con la menor complejidad del modelo y que éste llene las expectativas de la dinámica del modelo teórico, si este existe). En este caso, como puede observarse en la figura 2, el motor se comporta como un sistema de primer orden, sin sobreimpulso; así que no es conveniente obtener modelos de órdenes altos, por ello después de evaluar las funciones de transferencia se escoge el modelo **Segundo** por tener un orden adecuado.



a)



b)

Figura 6: Ventanas del proceso de obtención de modelos en variables de estado del *ident* con:
a) la selección de parámetros y b) los modelos obtenidos para el ejemplo.

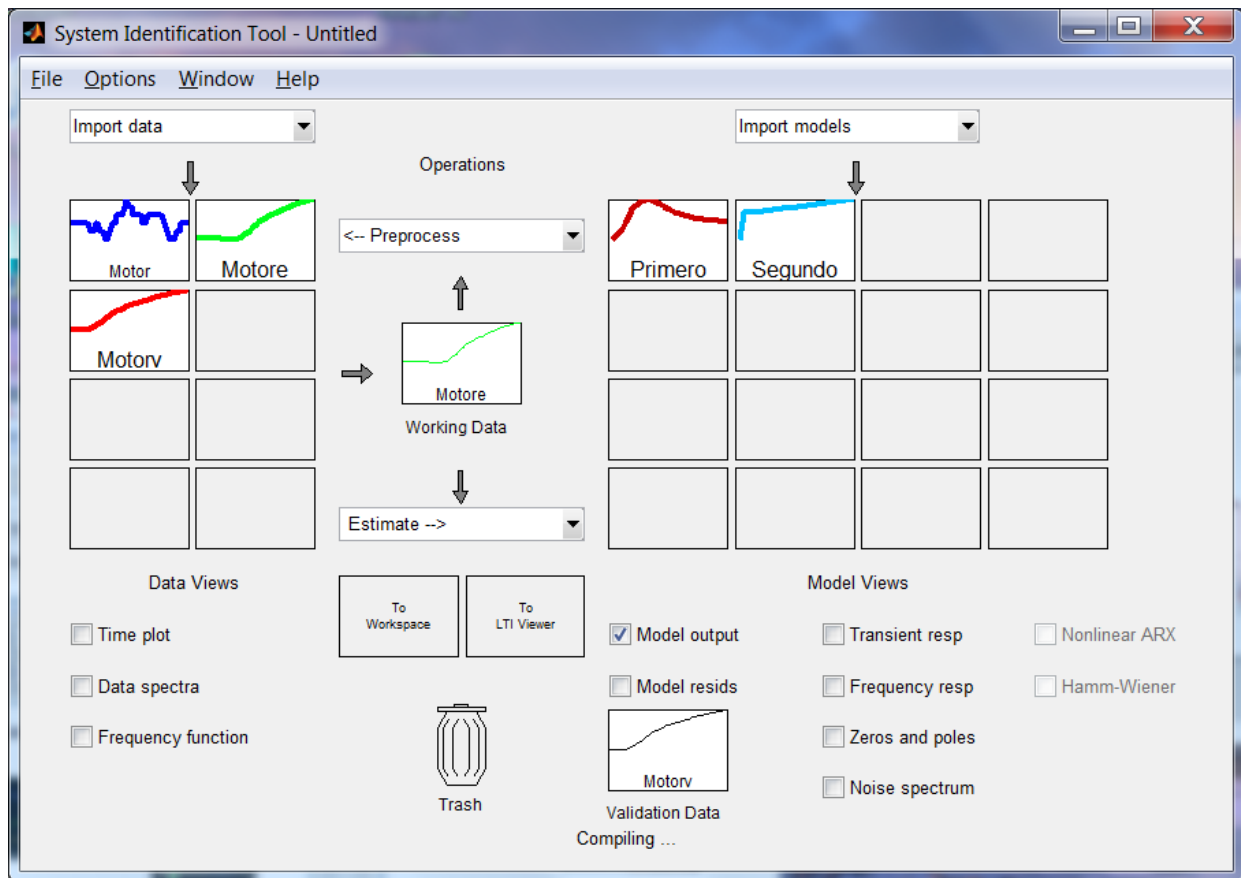


Figura 7: Ventana del *ident* con los objetos de experimento y los modelos obtenidos

Paso 8) Para exportar el modelo seleccionado se arrastra hasta la posición *To workspace* en la ventana del *ident*. Luego en el *workspace* de Matlab, se puede extraer la función de transferencia de entrada-salida. Para extraer la función de transferencia se usa una variable intermedia, por ejemplo **M**, así: **M = zpk(Segundo)**; y luego se extrae por ejemplo la primera función de transferencia del modelo con **modelovelocidad = M(1,1)** y luego la segunda función de transferencia con **modelocorriente = M(2,1)**.

NOTA 7: En este caso, al extraer las funciones de transferencia de esta forma, **no se contempla** el hecho de que internamente las **variables estén acopladas entre sí** y debe ser evaluada su conveniencia como modelos SISO para representar al sistema. Puede ser preferible extraer el modelo SIMO en variables de estado con **M = ss(Segundo)**.

NOTA 8: En otros casos, eventualmente, si el orden estimado para la planta es muy grande, será necesario reducirlo [4], cambiando polos y ceros no dominantes por sus ganancias estáticas u otra forma adecuada; por ejemplo con las funciones *balreal* y *modred* de Matlab.

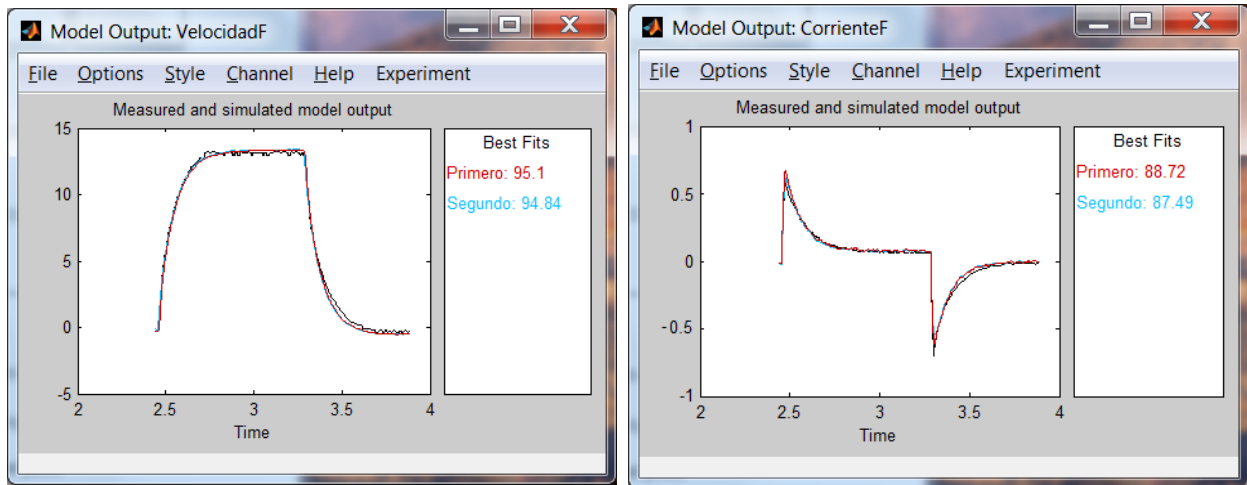


Figura 8: Comparación de modelos con *Model output*

Una verificación del modelo obtenido se puede realizar también graficando, con la función *plot* de Matlab, los resultados experimentales junto a resultados de simulación producidos con la función *lsim*. La figura 9 muestra esta comparación realizada con las sentencias mostradas en el recuadro a continuación, que además sirven para documentar la gráfica:

```
y = lsim(modelocorriente,Entrada,Tiempo)
plot(Tiempo, Entrada, Tiempo, Corriente, Tiempo, y)
grid
title('Verificación de la respuesta del modelo de corriente')
xlabel('Tiempo [s]')
ylabel('Corriente')
legend('Entrada', 'Corriente', 'Modelo')
```

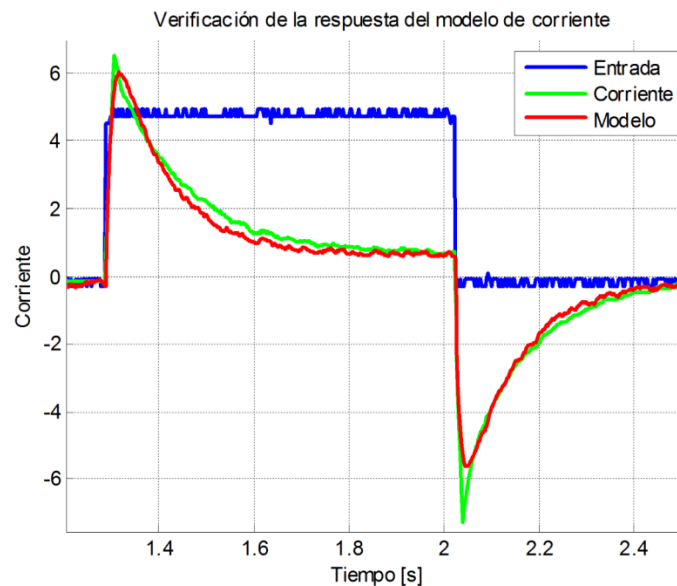


Figura 9: Verificación del modelo de corriente del motor
(Solo se muestra aprox. un segundo y la corriente está escalada por 10)

Los resultados deben mostrarse al profesor durante la clase y la documentación debe enviarse a más tardar a la medianoche del día en que se cumple una semana después de realizado el experimento, esto es el **11 o el 15 de marzo 2016**, al correo electrónico einteriano@tec.ac.cr, con todos los documentos y archivos creados para resolver el problema.

Referencias

- [1] <http://www.ie.tec.ac.cr/einteriano/control/Laboratorio/3.Models.pdf>
- [2] <http://www.ie.tec.ac.cr/einteriano/control/Laboratorio/3.6ModeladoEstocastico.pdf>
- [3] <http://www.ie.tec.ac.cr/einteriano/control/Laboratorio/Identificacion de sistemas.PDF>
- [4] <http://www.ie.tec.ac.cr/einteriano/control/Laboratorio/3.6.1EjemploModeladoEstocastico.pdf>

EIS/eis
2016