

Instituto Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería Electrónica  
Laboratorio de Control Automático

Proyecto:

**Control de la posición de un motor para los  
cursos de Laboratorio de Control Automático y  
Control Automático**

Profesor:

Ing. Eduardo Interiano, MSc.

Estudiante asistente:

Ricardo Solano Ávila

Tipo de documento:

Manual de usuario de la herramienta V1

Contacto:

ricardosolano@gmail.com

Enero del 2006

# Tabla de contenidos

Tabla de contenidos	ii
Tabla de figuras	iii
Índice de controles e indicadores de la herramienta	iv
1. Introducción	1
2. Materiales y equipo	3
3. Conexiones	6
3.1. Conexión de la tarjeta de adquisición de datos a la placa	6
3.2. Conexión de la placa al módulo hps5131	6
3.2.1. Conexión del cable de control continuo	6
3.2.2. Conexión del cable de control discreto	7
3.3. Resumen de conexiones	7
4. Descripción del <i>software</i>	8
4.1. Estimulación	10
4.1.1. Etapa 1	10
4.1.2. Etapa 2	10
4.2. Estimación	12
4.3. Verificación	13
4.4. Diseño	15
4.4.1. Síntesis del compensador	16
4.4.2. Lugar de las raíces	16
4.4.3. Respuesta temporal	17
4.5. Control	17
4.6. Guardar	19
4.7. Acerca de	19

## Tabla de figuras

Figura 1: Diagrama de bloques del sistema.....	1
Figura 2: Diagrama simplificado del sistema con sus módulos principales.....	3
Figura 3: Diagrama de regulación simplificado .....	3
Figura 4: Servomotor modelo hps5131 de SystemTechnik .....	4
Figura 5: Cable para mediciones y control continuo.....	4
Figura 6: Cable para mediciones y control discreto .....	5
Figura 7: Cable para la conexión entre la tarjeta de adquisición y la placa .....	5
Figura 8: Placa de terminales para la tarjeta de adquisición de datos .....	6
Figura 9: Ejecución e inicialización del la herramienta .....	8
Figura 10: Indicadores de estado de la herramienta .....	9
Figura 11: Primer paso de la estimulación .....	10
Figura 12: Estimulación del motor .....	11
Figura 13: Finalización de la función de estimulación.....	12
Figura 14: Estimación del modelo.....	12
Figura 15: Parámetros de estimación.....	13
Figura 16: Modelo estimado.....	13
Figura 17: Ingreso a la función de verificación.....	14
Figura 18: Resultado de la verificación.....	14
Figura 19: Función de diseño .....	15
Figura 20: Sección para la síntesis del compensador .....	16
Figura 21: Salida de la función de diseño .....	17
Figura 22: Función de control .....	18
Figura 23: Control de visibilidad de formas de onda de control .....	18
Figura 24: Función de guardar .....	19
Figura 25: Datos para guardar .....	19

# Índice de controles e indicadores de la herramienta

---

## *C*

Controles para el usuario  
Amplitud del estímulo · 14  
Características del Control · 21  
Control de ejecución · 13  
CTRL OK · 21  
Diseño Listo · 18  
Forma de onda · 21  
Generar Modelo · 16  
Guardar · 6, 21, 22  
Medición de posición · 20  
Método de estimulación seleccionada · 14  
Modelo Generado OK · 16  
Número de muestras · 14  
Periodo de muestreo · 13, 14, 21  
Posición del motor · 5, 6, 10, 13, 14, 21  
Potenciómetro · 8, 20  
Referencia · 10, 20, 21  
Selección realizada · 13, 14, 15, 16, 18, 20  
selector de compensador · 18, 19  
Selector de función · 13, 14, 15, 16  
Síntesis del compensador · 18, 19  
Verificación OK · 17  
Visible · 21

---

## *F*

Funciones de la herramienta  
Controlar · 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 13, 18, 20, 21  
Diseñar · 5, 6, 13, 17, 18, 20  
Estimar · 3, 5, 13, 14, 15, 16  
Estimular · 3, 5, 6, 13, 14, 15, 17, 20  
Guardar · 6, 21, 22  
Verificar · 5, 13, 17, 21

---

## *I*

Indicadores para el usuario  
Avisos contextuales · 13  
Compensador Diseñado · 20  
Datos de estimulación · 15  
Estado del sistema · 13  
Modelo Listo · 16  
Selección actual · 16

---

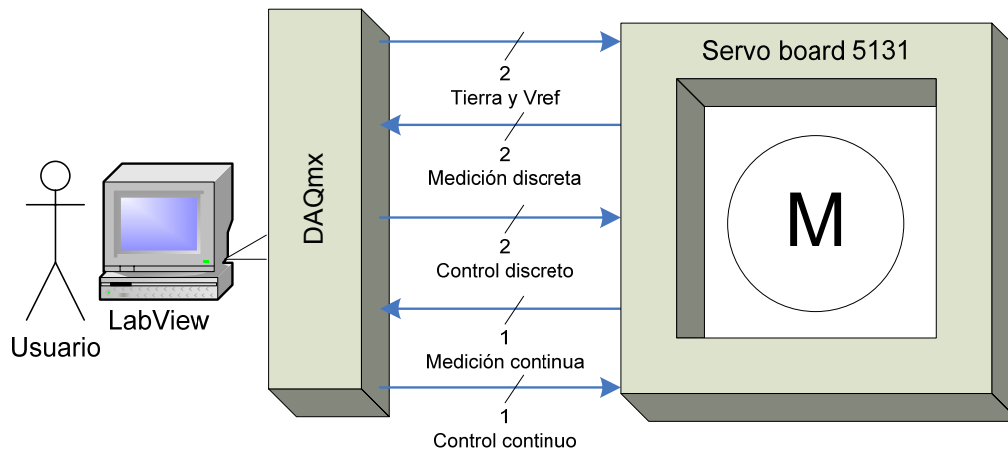
## *M*

Mediciones-Simulación  
Amortiguamiento relativo · 20  
Frecuencia natural · 20  
Ganancia de CD · 20  
Parámetros dinámicos · 20  
Sobreimpulso · 20  
Tiempo de estabilización · 6, 20  
Tiempo de subida · 20  
Tiempo del pico · 20

# 1. Introducción

El proyecto realizado consiste en el desarrollo de un programa de diseño, en adelante llamado simplemente herramienta, para ser usado en el cursos Laboratorio de Control Automático. Esta herramienta se implementó con Labview, que es un *software* especializado de National Instruments para el desarrollo de sistemas electrónicos, con un módulo de servomotor tipo hps5131 de SystemTechnik y una tarjeta de adquisición de datos PCI6221 serie M, también de National Instruments.

Esta herramienta le permite al estudiante estimar el modelo matemático del servomotor de forma gráfica y sencilla, para que pueda calcular un regulador para el control automático de posición del motor en un “tablero de diseño y simulación” integrado en la misma herramienta. Este regulador será sintetizado de una manera gráfica en LabView, la herramienta tomará el regulador y lo utilizará para controlar el motor, también permite medir las características dinámicas más importantes del sistema. La figura 1 muestra un diagrama de bloques del sistema.



**Figura 1: Diagrama de bloques del sistema**

La herramienta tiene la capacidad de aproximar con un modelo matemático el motor. Dado que el control que se realizará con el motor es de posición, el modelo que se obtiene es el de tensión aplicada contra la posición del motor. Una vez que se tiene el modelo, éste se puede verificar en la misma herramienta.

Con el modelo se podrá realizar un regulador, según lo que se vea en el curso de teoría, para sintetizarlo en un banco de simulaciones y diseño integrado en la herramienta y con este regulador realizar el control de la posición del motor. Además se pueden medir las características dinámicas del sistema regulado, ante una entrada escalón positivo.

# 2. Descripción

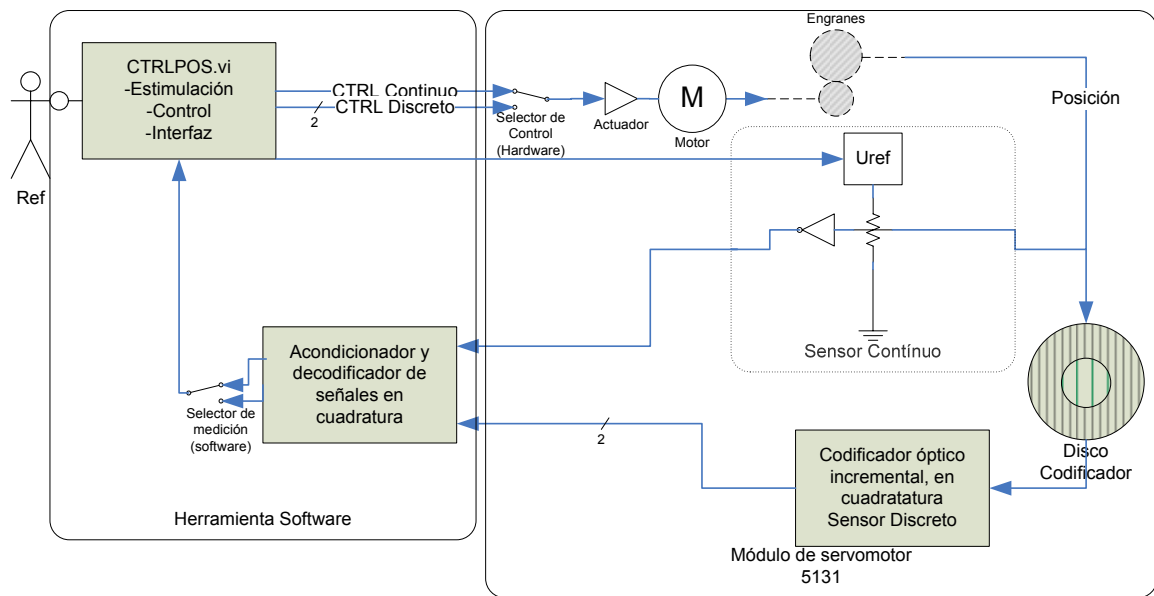
Las tareas que la herramienta es capaz de realizar se enumeran a continuación:

1. **Estimular** la planta para tomar datos de entrada y salida para estimar el modelo.
  - a. Los datos, de estímulo-respuesta se pueden tomar desde un archivo.
  - b. Se puede estimular directamente el motor en la entrada analógica y obtener la respuesta en la salida analógica.
2. **Estimar** el modelo de la planta con los datos de la estimulación. Para la estimación se pueden usar varios tipos de modelos con diferentes parámetros, como se verá más adelante.
3. **Verificar** el modelo estimado, mediante la comparación de la respuesta temporal obtenida en la estimulación y la respuesta del modelo estimado, ante el mismo estímulo aplicado.
4. **Diseñar** un regulador para controlar la posición del motor, con el modelo estimado. Se presenta una simulación de la respuesta al escalón del sistema, el lugar de las raíces y características dinámicas tales como:  $\zeta$ ,  $\omega_n$ ,  $M_p$ ,  $t_s$  entre otros.
5. **Controlar** la posición del motor, con el regulador hecho por el estudiante. Puede hacerse un total de cuatro combinaciones para estímulo analógico o digital (PWM) y respuesta continua (potenciómetro) o discretas (codificador incremental).
6. **Guardar** datos importantes para su uso posterior.
  - a. Puede guardarse los datos con que se estimuló el motor junto con los resultados de ese estímulo para su uso futuro.
  - b. Puede generarse un reporte impreso, en la **impresora predeterminada** en la máquina donde se corre la herramienta. El reporte muestra las señales de estímulo y respuesta, el regulador utilizado para el control y los parámetros dinámicos de la respuesta.

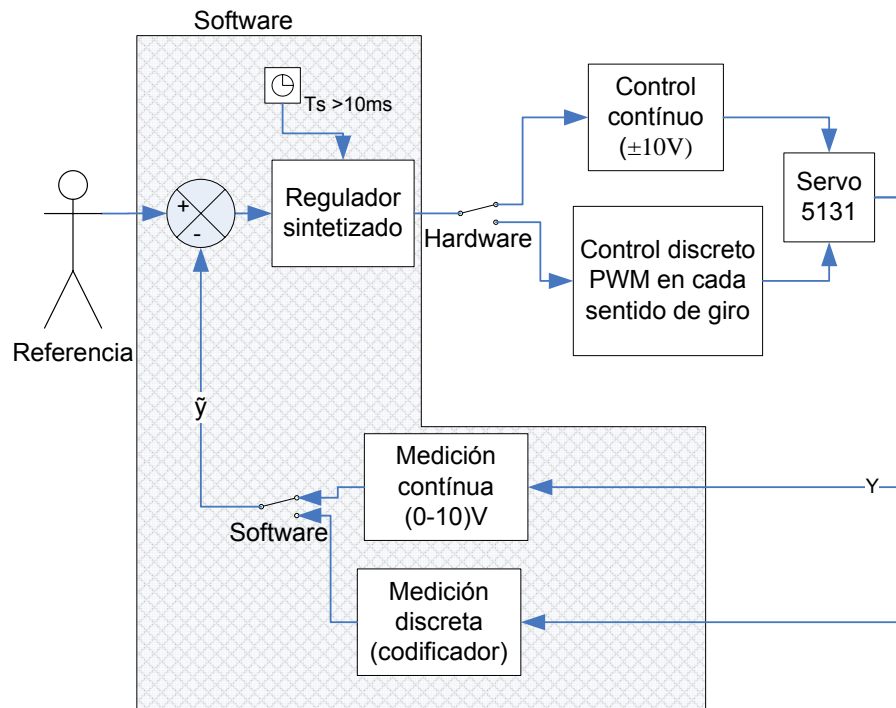
Gracias a que la planta hps5131 es un módulo diseñado con fines académicos, se cuenta una gran versatilidad para realizar las mediciones y el control, pues se tiene un sensor de posición analógico y otro digital, una señal de control continua y otra discreta (PWM), y se puede hacer una combinación entre cualesquiera de ellas sin tener que detener la ejecución de la herramienta, lo que da un total de cuatro combinaciones de mediciones y control. La siguiente figura presenta un diagrama simplificado del sistema y sus conexiones.

En la figura 2 es importante que el usuario tome en cuenta la posición de los selectores o conmutadores; pues, se muestran en la posición recomendada para el funcionamiento del sistema para control y medición continua y además que tome en cuenta que conmutador es físico y está en el módulo 5131 y el otro es lógico y se manipula en la herramienta.

La siguiente imagen presenta el diagrama de control del sistema, de una manera simplificada. Sombreados se encuentran los módulos que se implementaron en *software* y todo lo demás son módulos de *hardware*. Los selectores de control y medición se pueden cambiar en cualquier momento durante la ejecución de la herramienta, pero no durante la **estimulación** del sistema ya que ésta utiliza siempre la medición continua. Además no se garantizan periodos de muestreo menores a los 10ms.



**Figura 2: Diagrama simplificado del sistema con sus módulos principales**



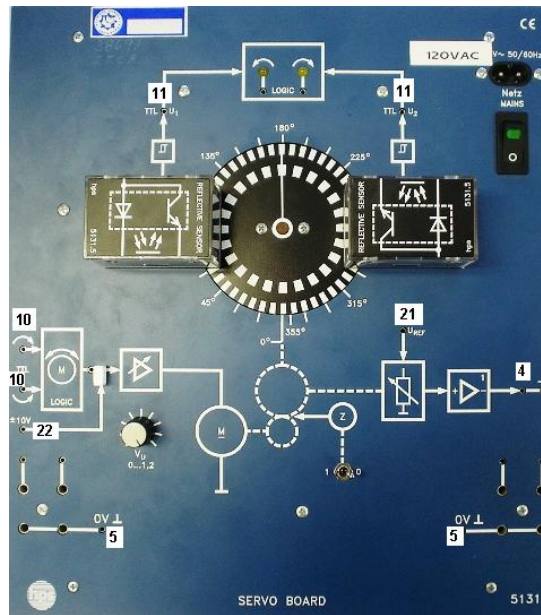
**Figura 3: Diagrama de regulación simplificado**

### 3. Materiales y equipo

En esta sección se presenta la lista de materiales y equipo que constituyen al sistema y los materiales necesarios para la conexión y su correcto funcionamiento.

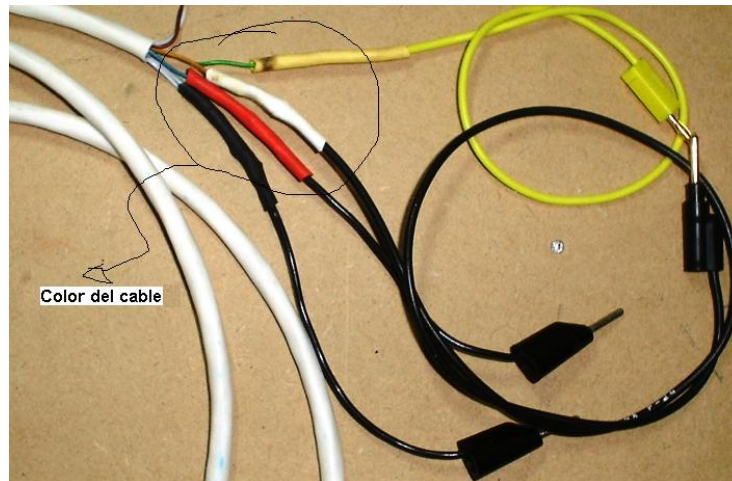
- *Servo board* hps5131 de SystemTechnik, el cual incluye:
  - Dos barreras de luz reflejada tipo 5131.5 para el sensor discreto. Si el sensor discreto no se va a utilizar, no son necesarias las barreras.

- Cable para la conexión a la red eléctrica de 110V@60Hz



**Figura 4: Servomotor modelo hps5131 de SystemTechnik**

- Placa de conexiones de la tarjeta de adquisición de datos, que incluye:
  - Cable para el control “continuo”. Ver la figura siguiente para el código de colores, este cable se diferencia del otro por que **no** tiene una cinta negra en el centro. Este cable es indispensable y permite la conexión a:
    - Sensor de posición continuo (pot.) del hps5131 (Blanco)
    - Tierra del módulo hps5131 (Negro)
    - Señal de control continua del hps5131 (Rojo)
    - Tensión  $U_{ref}$  para el potenciómetro del hps5131 (Amarillo)

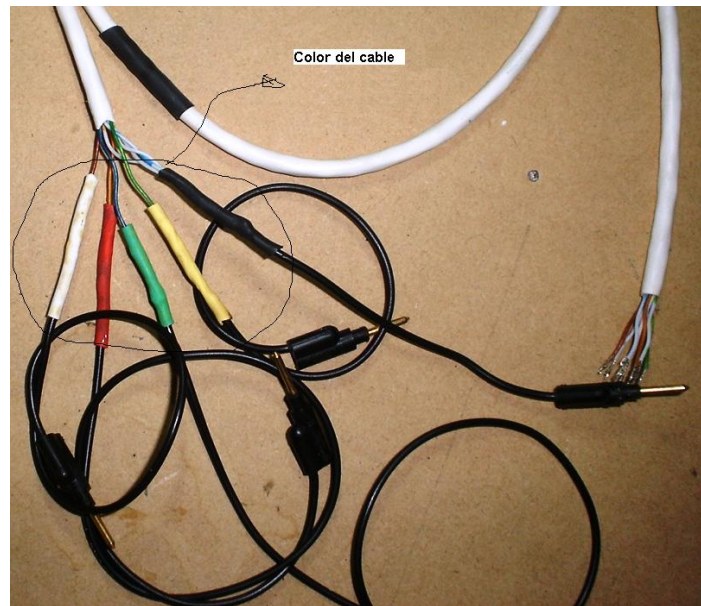


**Figura 5: Cable para mediciones y control continuo**

- Cable para el control “discreto”. Este cable no es necesario si no se van a realizar ni mediciones y ni control discreto. Se diferencia del otro por que **sí** tiene una cinta negra en el centro. Permite la conexión a:
  - Sensor discreto, señal  $U_1$  del hps5131 (Verde)
  - Sensor discreto, señal  $U_2$  del hps5131 (Rojo)
  - Lógica de control, giro sentido horario del hps5131 (Amarillo)

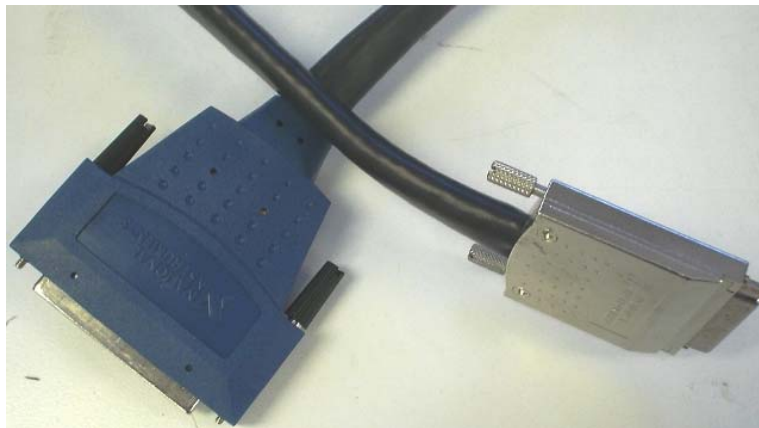


- Lógica de control, giro sentido antihorario del hps5131 (Blanco)
- Tierra del módulo hps5131 (Negro)



**Figura 6: Cable para mediciones y control discreto**

- Cable para la conexión de la placa de terminales a la tarjeta de adquisición de datos en la computadora.



**Figura 7: Cable para la conexión entre la tarjeta de adquisición y la placa**

La siguiente imagen muestra la placa de terminales



Figura 8: Placa de terminales para la tarjeta de adquisición de datos

## 4. Conexiones

Debido a la cantidad de conexiones que se deben realizar entre la placa de la tarjeta de adquisición de datos y la placa hps5131, se establece esta sección para especificar más claramente como conectar los sistemas correctamente.

### 4.1. Conexión de la tarjeta de adquisición de datos a la placa

Esta es la conexión más simple pero es necesaria, se realiza con el cable que NI provee junto con la tarjeta. Ver Figura 7. Procedimiento:

- Si necesita hacer esta conexión asegúrese de que el hps5131 esté apagado.
- Conecte un extremo del cable a la tarjeta de adquisición que se está en la parte posterior de la computadora, por lo general esta conexión ya está hecha.
- Conecte el otro extremo del cable a la placa.

### 4.2. Conexión de la placa al módulo hps5131

Esta conexión se divide en dos partes, la conexión del cable para el control discreto y el control continuo, las cuales se realizan de manera separada. En ambos casos se utilizó un cable UTP para hacer los cables, así que el color de los cables UTP no es el que menciona en este documento sino el color del plástico que se muestra en Figura 5 y Figura 6.

#### 4.2.1. Conexión del cable de control continuo

Esta conexión es necesaria, pero a pesar del nombre este cable, Figura 5, no solamente conecta la señal de control sino que también conecta:

- Sensor continuo o salida de valor real, terminal 33 en la placa, cable color blanco y enchufe numerado como 4 en la Figura 4.
- Señal de control continua, terminal 22 en la placa, cable color rojo y enchufe numerado como 22 en la Figura 4.
- Señal de referencia  $U_{ref}$ , terminal 21 en la placa, cable color amarillo enchufe numerado como 21 en la Figura 4.

- Tierra para el hps5131, terminales 32, 55 y 54 en la placa, debe conectarlas todas, cable color negro enchufe numerado como 5 en la Figura 4.

#### 4.2.2. Conexión del cable de control discreto

Esta conexión solamente es necesaria si se desea realizar la medición de la posición del motor con el codificador incremental (el sensor discreto) o realizar el control del motor con las entradas TTL disponibles en la lógica de control del hps5131.

Con este cable se completan las conexiones entre el hps5131 y la placa de la tarjeta de adquisición de datos, las señales que lo componen son las siguientes:

- Sensor discreto o salidas U1 y U2 para un decodificador de cuadratura.
  - Señal U1. Terminal 37 en la placa, cable color verde, enchufe numerado como 11 en la Figura 4.
  - Señal U2. Terminal 45 en la placa, cable color rojo, enchufe numerado como 11 en la Figura 4.
- Señal de control discreta, está compuesta de dos señales TTL para la lógica de control, una para giro horario y otro para el contrario.
  - Señal de control de giro horario: Terminal 10 en la placa, cable color blanco, enchufe número 10 en la Figura 4.
  - Señal de control de giro antihorario: Terminal 11 en la placa, cable color amarillo, enchufe numerado como 10 en la Figura 4.
- Tierra del hps5131, terminales 44, 39, 36 y 35 debe conectarlas todas, cable de color negro, enchufe numerado como 5 en la Figura 4.

#### 4.3. Resumen de conexiones

La siguiente tabla presenta un resumen de las conexiones entre la placa de la tarjeta de adquisición y el módulo del servomotor hps5131. En la placa puede conectar dos tierras en un mismo bloque terminal.

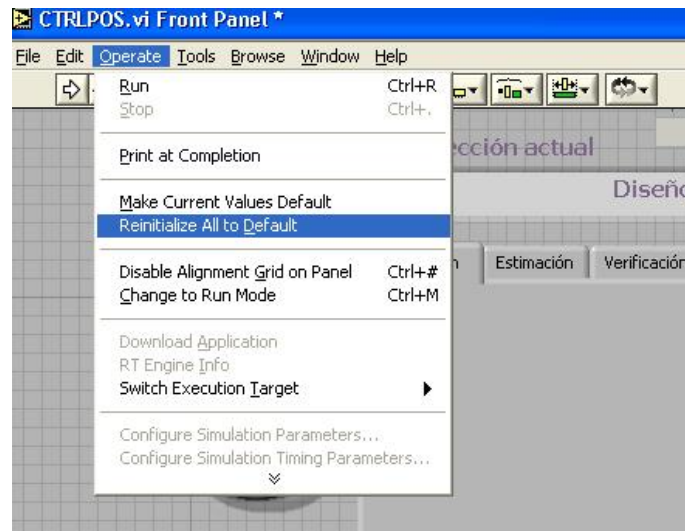
**Tabla 1: Tabla resumen de conexiones de la herramienta**

Señal	Tipo	Terminal en la placa	Color del cable	Enchufe en el 5131
Sensor continuo	Necesaria	33	Blanco	4
Control continuo	Opcional	22	Rojo	10
Uref	Necesaria	21	Amarillo	6
Tierra	Necesaria	32, 55 y 54	Negro	5
U <sub>1</sub>	Opcional	37	Verde	11
U <sub>2</sub>	Opcional	45	Rojo	11
Giro horario	Opcional	10	Blanco	10
Giro antihorario	Opcional	11	Amarillo	10
Tierra	Opcional	44, 39, 36 y 35	Negro	5

Tome nota que las señales de control aparecen ambas como opcionales pero tiene que conectar al menos una, si conecta la de control discreto entonces debe conectar la tierra respectiva.

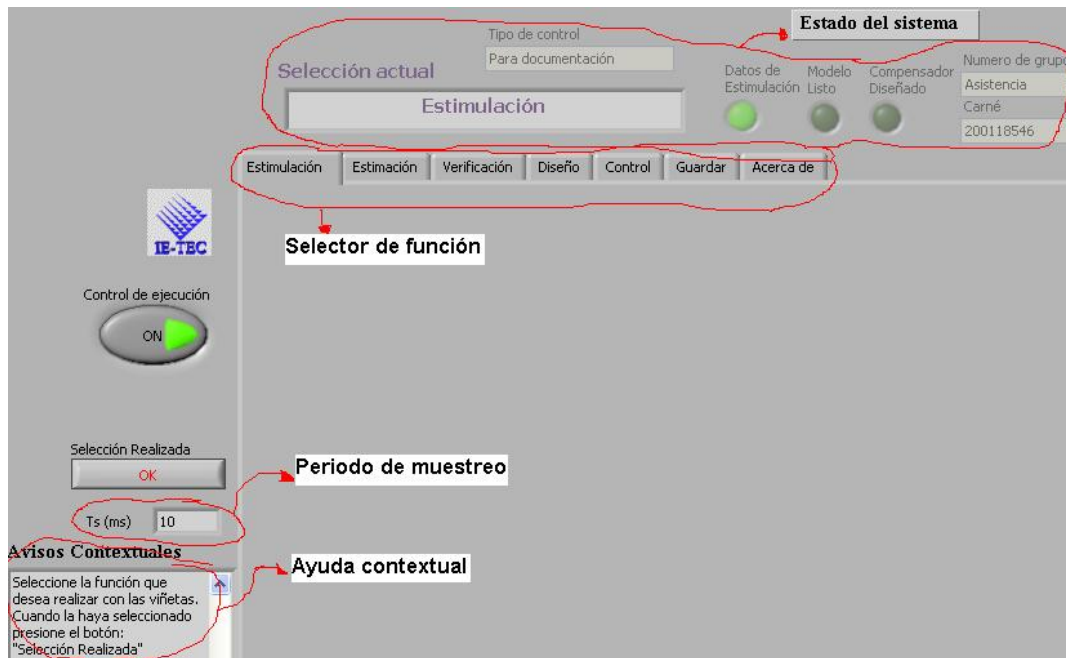
## 5. Descripción del software

Para comenzar la ejecución de la herramienta deje ejecutar el archivo llamado CTRLPOS.vi que es un instrumento virtual (*Virtual Instrument*) y por lo tanto una vez que el VI ha sido abierto entonces debe correrlo, esto se hace en el botón *run* de LabView. Se recomienda que antes de ejecutar la herramienta se inicialice todo a su valor por defecto esto se hace dando clic en *operate*, luego en *Reinitalize All to Default* la ilustración siguiente muestra el procedimiento.



**Figura 9: Ejecución e inicialización del la herramienta**

La herramienta cuenta con diversos indicadores de su estado que están siempre visibles sin importar el estado la herramienta, la imagen siguiente los muestra.



**Figura 10: Indicadores de estado de la herramienta**

La mayoría de los indicadores de la imagen anterior son bastante descriptivos como para ser tratados más detalladamente; pero, se mencionarán los más importantes:

- **Selector de función:** Estas viñetas se utilizan para desplazarse entre las diferentes funciones que tiene la herramienta. Cuando se selecciona una función el selector de función desaparece hasta la tarea haya finalizado u ocurra un error.
- **Periodo de muestreo:** Este se especifica durante la estimulación y se utiliza tanto para las muestras de la estimulación como para las simulaciones y el control de la posición del motor.
- **Estado del sistema:** Este conjunto de indicadores orientan al usuario en cuando al avance que lleva en el control y además le muestra cuáles son los datos de identificación con que será impreso el reporte.
- **Avisos contextuales:** Dependiendo de la función que ha seleccionado el usuario y la etapa de dentro de la cual se encuentra, este bloque le indica los pasos que debe seguir para continuar, es un manual de usuario que depende del contexto en el que se encuentre la herramienta.
- **Control de ejecución:** Este botón sirve para pausar y reanudar la ejecución de la herramienta.
- **Selección realizada:** Este botón junto con el selector de funciones, determina cuándo el usuario está listo para comenzar a utilizar una función de la herramienta. Cuando el usuario lo presiona comienza la función que está actualmente seleccionada en el selector, luego cuando termina la función, el botón y el selector están de nuevo disponibles para seleccionar otra función.

A continuación se presenta una descripción de cada una de las funciones con las que cuenta la herramienta.

## 5.1. Estimulación

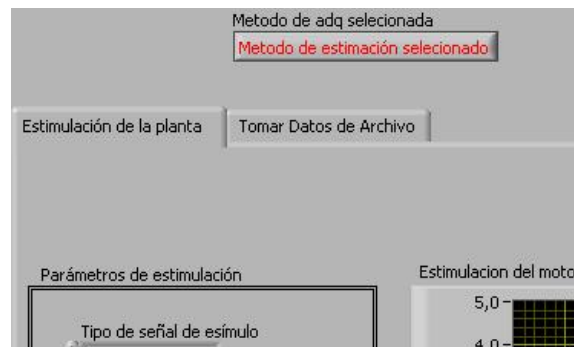
Al final de esta función la herramienta deberá tener datos válidos de estímulo y respuesta que le permitan estimar un modelo a partir de los mismos. Estos datos se pueden obtener de un archivo, o estimulando directamente el motor.

La capacidad de tomar los datos desde un archivo le da a la herramienta la posibilidad de utilizar las funciones de estimación del modelo, su verificación, simulación, diseño y generación de reportes en plantas que no sean necesariamente el motor hps5131; e inclusive permite utilizar la herramienta en máquinas que no tengan el motor, pero deben contar al menos con la simulación de la tarjeta NI PCI6221 de la serie M.

Esta última característica es especialmente importante para el profesor ya que le permite usar la herramienta en clase, simular otros sistemas, entre otras aplicaciones para que los estudiantes se familiaricen con ella.

### 5.1.1. Etapa 1

La estimulación tiene varias etapas, la primera se presenta en la figura 11



**Figura 11: Primer paso de la estimulación**

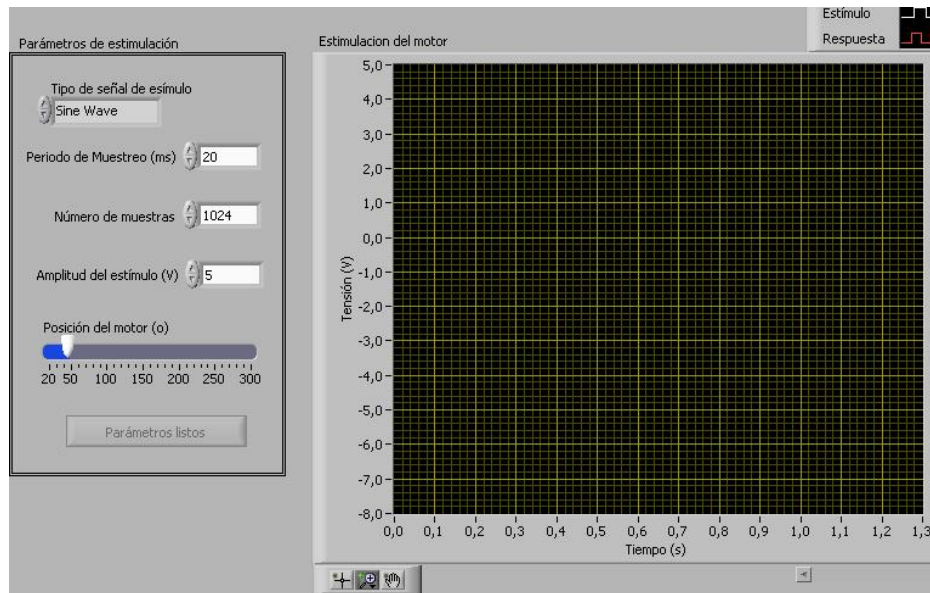
Cuando se selecciona la función de estimulación aparece el **selector de función** y el botón de **selección realizada** se presenta en la figura anterior. El usuario debe seleccionar cuál tipo de estimulación desea y luego debe presionar el botón, hecho esto, ambos el botón y el selector desaparecen.

Es importante aclarar que si se selecciona dos veces la estimulación desde archivo, la herramienta dará un mensaje de error; esto se debe a los VI con que se implementó la función. Una manera de solucionar esto es que si se debe cargar otro conjunto de datos, se detenga la herramienta (con el botón *stop* de LabView) y se vuelva a iniciar con el botón *run*.

### 5.1.2. Etapa 2

Si selecciona estimular directamente el motor se presentan los controles mostrados en la figura 12, con los cuales debe de configurar los parámetros de estímulo:



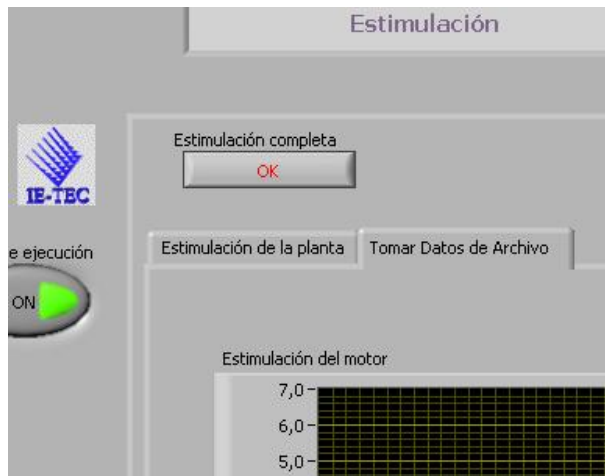


**Figura 12: Estimulación del motor**

- a) Tipo de señal de estímulo
- b) El **número de muestras**, que pueden ser unas 240 ó 300; pero, puede escoger cualquier número entero positivo
- c) La **amplitud del estímulo**, es la tensión pico de la señal de estímulo, debe ser menor a 10V
- d) El **periodo de muestreo**, no debería ser menor a 10ms; aunque se recomienda 15ms, si desea que se mantenga exacto.
- e) La **posición del motor**, indica la posición inicial. Este parámetro es importante; pues, si la posición pasa de 360° a 0° hay una discontinuidad en la medición y la estimación será errónea. Se recomienda usar 135° pero debe tomar en cuenta el tipo y la amplitud de la señal que utilice como estímulo. En el dibujo de la derecha se graficarán los datos de estímulo y respuesta contra el tiempo.

Si decide leer los datos de estímulo y respuesta de un archivo; una vez que presione el botón de **método de estimulación seleccionado**, la herramienta le presentará un explorador de archivos para que seleccione el archivo que contiene los datos. Si no tiene datos válidos se le presentará un mensaje de error. En el caso anterior, puede seguir usando la herramienta; pero, se debe tener en cuenta que no se pueden cargar datos de un archivo dos veces. Los datos de estímulo y respuesta se presentan en un gráfico similar al de la figura 12.

Cuando se haya terminado la estimulación aparecerá el siguiente botón.



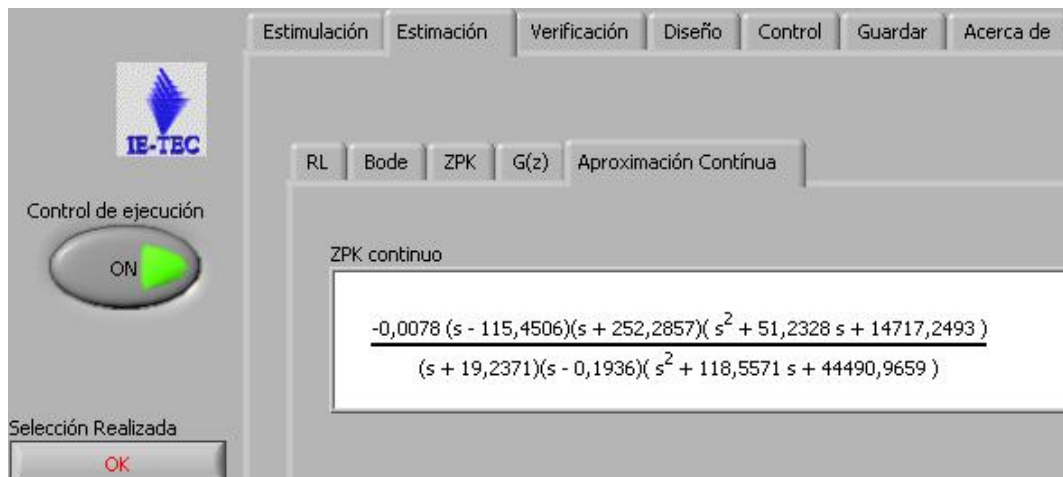
**Figura 13: Finalización de la función de estimulación**

Hasta que el usuario no presione ese botón no se dará por terminada la función y por lo tanto no podrá seleccionar ninguna otra. Una vez que oprima este botón, la herramienta volverá a desplegar el **selector de función** y el botón de **selección realizada**; además, el indicador de **datos de estimulación** se encenderá. En cualquier caso el usuario podrá volver a entrar a esta función.

## 5.2. Estimación

En esta etapa es donde se estima el modelo del motor. Si no hay datos de estímulo la herramienta lo indicará mediante un mensaje de error. Si por alguna razón con los datos no se pudiera estimar un modelo, la herramienta lo indicará de la misma manera.

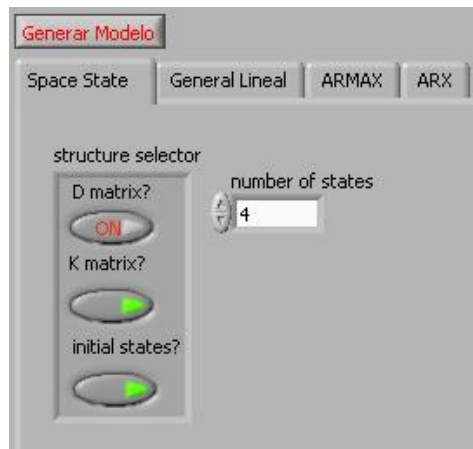
Además no es necesario entrar a la función para poder presentar el modelo estimado por los diferentes métodos, tales como: Lugar de las raíces discretas, gráficas de bode, función de transferencia como ZPK y cociente de polinomios y también una aproximación continua presentada como ZPK. La figura 14 muestra lo descrito antes.



**Figura 14: Estimación del modelo**

Cuando se presione el botón **selección realizada** se le indicará a la herramienta que entre en la función de estimulación y al usuario se le desplegará la siguiente pantalla.





**Figura 15: Parámetros de estimación**

En donde el usuario puede seleccionar los parámetros de estimación, que incluye diferentes tipos de estimadores y diferentes parámetros para cada uno de ellos. Está fuera del alcance de este manual abarcar teoría de cada uno, por lo que se recomienda consultar la bibliografía respectiva.

Cuando se haya seleccionado y configurado el estimador que se necesite el usuario deberá presionar el botón **Generar Modelo**. Cuando lo haga ese botón desaparecerá y se mostrará el modelo en las distintas presentaciones junto con el botón **Modelo Generado OK** que se utiliza para indicarle a la herramienta que ha terminado la función de estimación, además se encenderá el indicador **Modelo Listo** como se muestra en la figura 16.



**Figura 16: Modelo estimado**

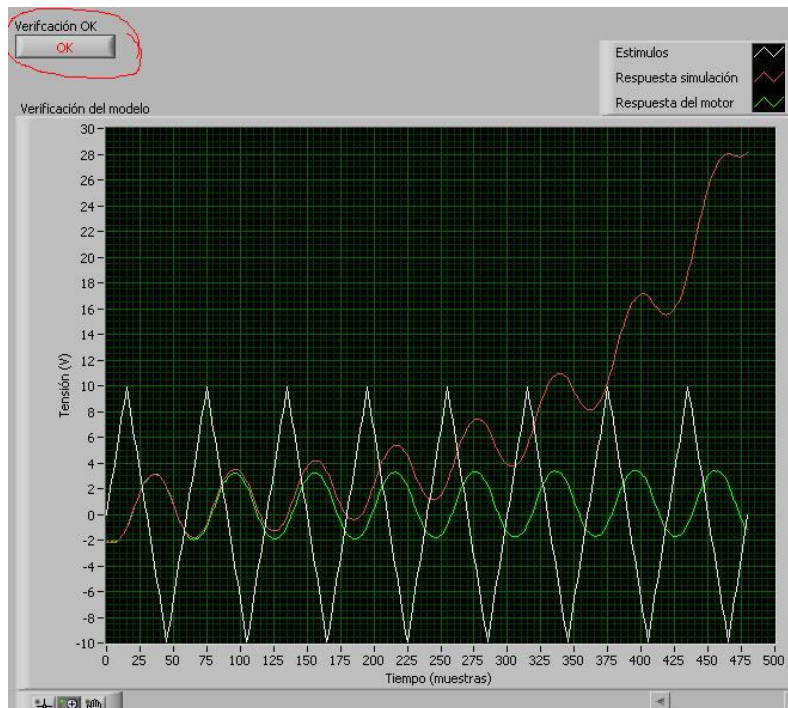
### 5.3. Verificación

Esta función se debe seleccionar con el **selector de función** y luego presionar el botón **selección realizada**, tal y como se ha hecho con las otras funciones y se hará con las siguientes. La siguiente figura presenta ese procedimiento. Tome nota que el indicador **Selección actual** se actualiza hasta que haya seleccionado la función y no mientras se desplace por el **selector de función**.



**Figura 17: Ingreso a la función de verificación**

La verificación propiamente consiste en presentar en una misma gráfica: la señal estímulo, la señal de salida obtenida del sistema real y la señal obtenida del modelo, ambas con ese mismo estímulo. Si se intenta ingresar en la función sin haber estimado previamente el modelo entonces la herramienta mostrará un mensaje de error. La figura siguiente muestra el resultado obtenido de una verificación



**Figura 18: Resultado de la verificación**

Para indicarle a la herramienta que la verificación se ha realizado ya se debe presionar el botón **Verificación OK**. Si como resultado de esta verificación se observa que no satisfactorio el modelo estimado, el usuario puede retornar a cualquiera de las funciones anteriores. Una vez que se considere que se tenga un modelo satisfactorio se puede pasar a la función de diseño que se presenta a continuación.

## 5.4. Diseño

No es necesario haber verificado el modelo antes de entrar a esta función pero es recomendable para que el usuario tenga una noción del comportamiento esperado, pues la simulación no siempre va a coincidir en un cien por ciento con las mediciones obtenidas del motor. De nuevo, para entrar a esta función solamente debe seleccionarla y presionar el botón **selección realizada**.

La función **diseño** está dividida en diferentes secciones o campos que se presentan en la figura 19 y se enumeran a continuación:

- **Síntesis del compensador:** Es donde el usuario prueba un posible compensador, se recomienda SIEMPRE escribir primero los polos que los ceros. Si no se especifica un compensador se supone unitario.
- El usuario puede elegir sintetizar tanto un compensador continuo como uno discreto, para seleccionar entre ambos debe utilizar el **selector de compensador** que se presenta en el campo **síntesis del compensador**. El compensador que se utilizará para el control del motor será el que esté seleccionado cuando se presione el botón **Diseño Listo**.

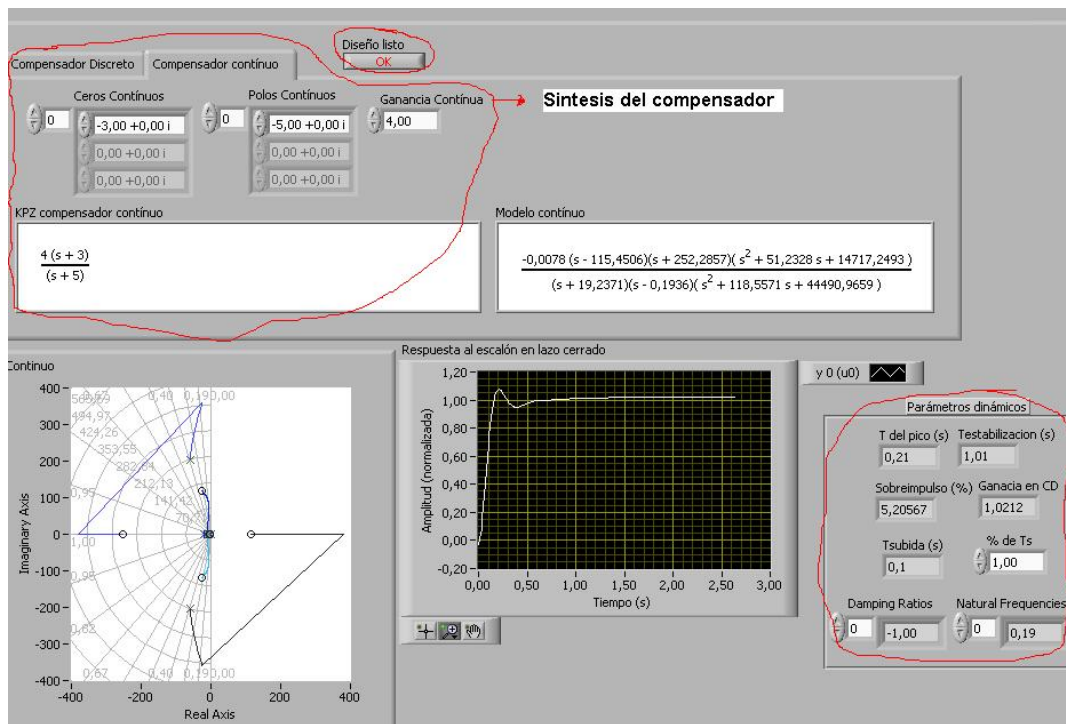


Figura 19: Función de diseño

- Resultados de la simulación. Este campo incluye tanto el lugar de las raíces como la respuesta temporal ante un escalón. A manera de recordatorio, la respuesta al escalón está en lazo cerrado, mientras que el lugar de las raíces no.
  - Debido a que el compensador puede ser tanto discreto como continuo, el gráfico de las raíces se actualiza automáticamente para reflejar el comportamiento actual del sistema (su simulación); es decir, que si el

usuario decide usar un compensador discreto el lugar de las raíces que verá será discreto y de igual forma para uno continuo.

- Se presenta una sección con la función de transferencia, en formato ZPK, del modelo estimado; para que el usuario pueda realizar el compensador con el modelo estimado. Si el compensador que se está probando es continuo entonces se presentará el modelo continuo y de igual forma para el compensador discreto.

#### 5.4.1. Síntesis del compensador

Este campo es muy simple, pero es tal vez el más importante, ya que es donde se escribe propiamente la ecuación del compensador. Este compensador puede ser continuo o discreto, esto se selecciona con el **selector de compensador**. Luego el usuario deberá introducir cada uno de los polos y ceros del compensador al igual que la ganancia además se debe recordar que ambos compensadores son independientes.

**Es altamente recomendable que el usuario introduzca primero los polos antes que los ceros. Además si necesita eliminar un par polo-cero se recomienda que elimine primero el cero, con un polo; si no lo hace así es posible que le aparezca un mensaje de error haciéndole saber al usuario que el compensador no puede ser sintetizado y termine la función, pero puede volver a ingresar.**

Los polos y ceros se introducen de la misma manera, simplemente debe escribir el valor de s o z en el campo correspondiente, así por ejemplo si se quiere sintetizar el compensador  $4 \frac{s+3}{s+5}$  el usuario simplemente tiene que introducir -5, -3 y 4. En el campo de polos, ceros, y ganancia respectivamente. Estos campos también admiten valores complejos. La imagen siguiente presenta con más detalle este campo.

**Figura 20: Sección para la síntesis del compensador**

#### 5.4.2. Lugar de las raíces

Es importante que considere que el gráfico del lugar de las raíces, en esta versión de la herramienta, es relativamente elemental y por lo tanto hay algunas situaciones en las que no es un lugar válido, como se muestra en la Figura 19. Para estos casos se pueden considerar varias soluciones como cambiar de modelo, cambiar de compensador o utilizar una herramienta externa para hacer la gráfica. Es importante que tenga en cuenta que el lugar de las raíces que se presenta es el del compensador en serie con el modelo estimado y no solamente el modelo. Es decir es el lugar de:

$$1 + K \cdot \hat{K}(s) \cdot G(s) = 0 \quad \text{ó}$$

$$1 + K \cdot \hat{K}(z) \cdot G(z) = 0$$

Donde  $K(x)$  representa la función del compensador y  $G(x)$  el modelo de la planta.

### 5.4.3. Respuesta temporal

A pesar de que en algunas ocasiones el lugar de las raíces no es el esperado, la respuesta temporal al escalón sí es consistente siempre, al igual que las mediciones de la simulación que se hacen en el campo de **Parámetros dinámicos** y son:

- **Tiempo de subida**
- **Tiempo de estabilización:** Tome en cuenta el control  $\%Ts$ , que generalmente debe estar en 2
- **Tiempo del máximo**
- **Sobreimpulso**
- **Ganancia de CD**
- **Frecuencia natural**
- **Amortiguamiento relativo**

Las mediciones anteriores se basan en la estimulación del modelo estimado con una señal escalón unitario, con el sistema en lazo cerrado. Si el usuario no define un compensador para esta sección la herramienta utilizará uno unitario. Es importante mencionar que con los valores de **frecuencia natural** y **amortiguamiento relativo** es posible conocer la posición actual del sistema en el lugar de las raíces.

Cuando el usuario haya terminado su compensador entonces deberá presionar el botón **Diseño listo** para indicar a la herramienta que ha terminado esta función. Además el indicador **Compensador Diseñado** se encenderá como se muestra en la siguiente imagen.

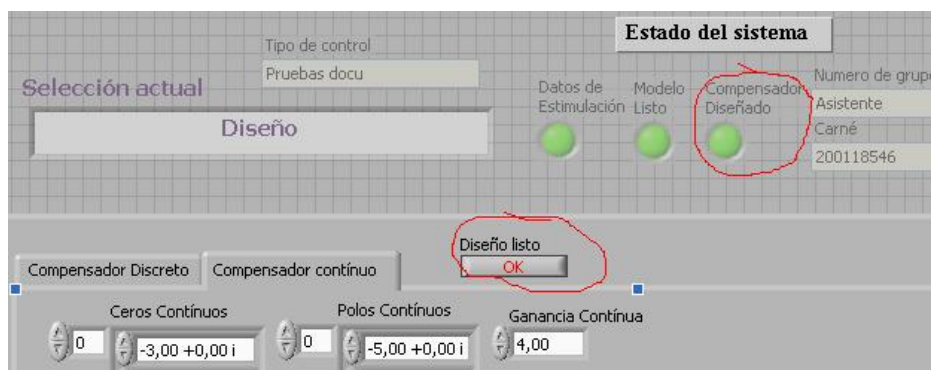


Figura 21: Salida de la función de diseño

## 5.5. Control

Una vez que se han tomado los datos de estímulo y respuesta, se ha estimado un modelo y se ha sintetizado un compensador se puede acceder a la función de control. En realidad siempre se puede, pero si hay un compensador sintetizado la herramienta utilizará uno proporcional de ganancia cuatro. Para ingresar a esta función simplemente se debe seleccionar y presionar el botón **selección realizada**. El esquema de control se muestra en la Figura 3.

La figura 22 muestra la pantalla de la función de control. En ella se pueden observar marcados diferentes campos como el conmutador de medición de posición, que



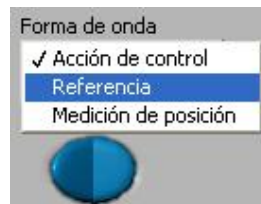
es el botón **medición de posición** que permite mediante *software* cambiar el sensor con el que se mide la posición, como se mencionó en secciones anteriores. Se recomienda, en esta versión de la herramienta utilizar el sensor continuo o **potenciómetro**.

Se muestra también la **Referencia**, que puede ser cambiada tanto con el control digital como con el de agujas. Para introducir una entrada escalón se recomienda utilizar el indicador digital y hacer un cambio no menor a 100° para poder hacer las mediciones, puede ser uno escalón entre los 60° hasta los 225°.



**Figura 22: Función de control**

Esta función, por defecto, le presenta al usuario tres formas de onda de control diferentes: la referencia, la posición del motor y la acción de control. Las dos primeras tienen su escala en grados y la tercera en tensión aplicada al servo. El usuario puede hacer visible o quitar cualquiera de las gráficas con los controles **Forma de onda** y **Visible** que se presenta en la figura 23.



**Figura 23: Control de visibilidad de formas de onda de control**

Para visualizar o no una de la formas de onda, el usuario debe seleccionarla con el primer control, y cambiar la propiedad según lo requiera con el botón **Visible**. Además estas gráficas tienen una longitud de 512 muestras esto es importante para que el usuario lo tome en cuenta en lo referente al tiempo de visualización de cada una. Además cada una tiene un indicador digital del último valor medido.

Queda únicamente referirse al campo, **Características del Control** el cual se presenta en la parte superior de la Figura 22. En éste se presentan las mediciones hechas por la herramienta ante una entrada escalón. Para realizar las mediciones el usuario debe presionar el botón **CTRL OK** mientras el escalón aún sea visible en la gráfica esto provocará también que termine la función de control.

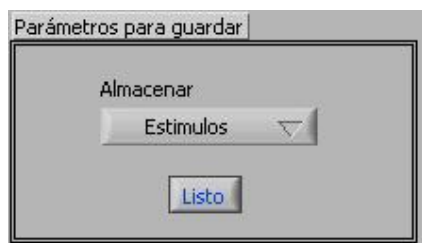
En caso de que la herramienta no pueda realizar las mediciones, entonces al usuario se le desplegará un mensaje advirtiéndoselo. Una posible solución a ese problema es utilizar el control digital de la referencia, y hacer un escalón que tenga como valor inicial los 60° y como final los 225° para que sea suficientemente amplio.

Si esto no resuelve el problema el usuario deberá verificar que se puede ver la mayor parte de la respuesta en el gráfico y de no ser así deberá o tratar de presionar el

botón de manera acertada o cambiar el compensador para hacer el sistema más rápido (en pruebas se ha alcanzado el valor final en fracciones de segundo) o disminuir el periodo de muestreo, pero nunca por debajo de los 10ms.

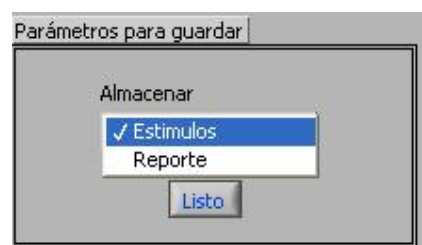
## 5.6.Guardar

Esta es la última función de la herramienta. Permite guardar las señales de estímulo y respuesta, además de generar un reporte impreso que incluye información para la identificación del usuario, el compensador, la respuesta obtenida en la función de control y las mediciones hechas ahí. La siguiente imagen muestra esta pantalla.



**Figura 24: Función de guardar**

Con el selector **Almacenar** el usuario selecciona qué es lo que va a guardar como se muestra en la figura 25, cuando esté seguro debe presionar el botón **Listo**.



**Figura 25: Datos para guardar**

Si el usuario decide que guardará las señales de estímulo y respuesta la herramienta le mostrará un cuadro donde podrá seleccionar la ubicación destino; pero, si elige generar el reporte el mismo se imprimirá en la impresora predeterminada del sistema. Por eso es importante que el usuario tenga al menos una impresora configurada en la máquina donde corre la herramienta; sino, se le presentará un mensaje de error. Una impresora en formato PDF se recomienda.

El usuario puede seleccionar como impresora predeterminada una impresora hacia fax o hacia diferentes tipos de archivos como pdf o tif, lo que evita tener que tener conectada una impresora física en la máquina. Por último si el usuario no corre la herramienta en la máquina del laboratorio deberá crear la carpeta c:\archivos de programa\National instruments\labview 7.1\www considere los espacios son muy importantes. Si no crea la carpeta entonces la herramienta le presentará un mensaje de error, pero puede seguir utilizando el programa sin ningún problema.

## 5.7.Acerca de

Esta sección no es una función y sirve solamente para información acerca de la herramienta. Aquí el usuario podrá encontrar el contacto para que reporte cualquier error que no se haya mencionado en el documento pues la herramienta aún no ha sido probada en el laboratorio y es muy importante que se tenga en cuenta esta sección.

**Mediciones de control automático de posición**

By Laboratorio de Control Automático

Operator: Administrador

Número de carné:

Número de grupo:

Tipo de control:

\*\*\*\*\*MEDICIONES\*\*\*\*\*

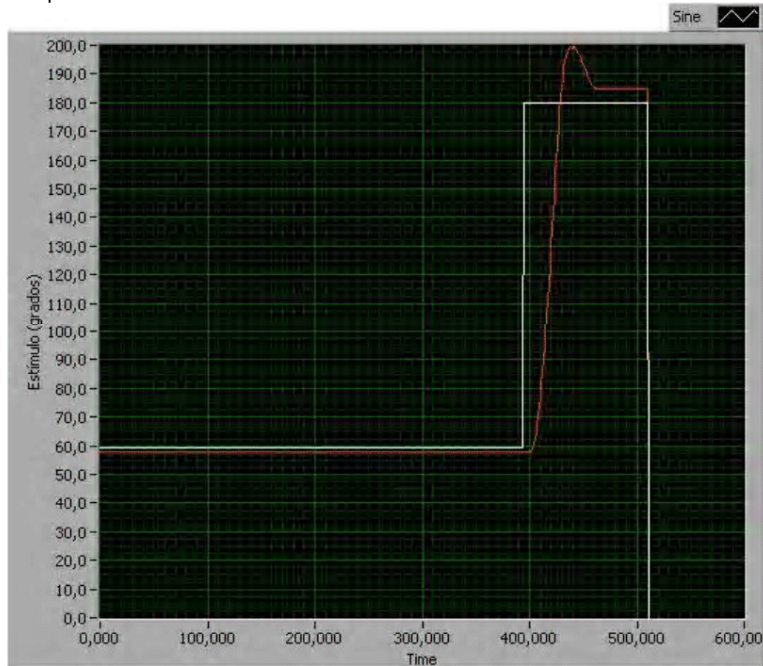
Sobre impulso (porcentaje): 12,037

Periodo de Muestreo (ms): 10,000

Valor en alto (deg): 184,316

Tiempo de subida (muestras): 18,897

Respuesta al escalón



Compensador

$$\frac{5(s+9)}{(s+15)}$$

Compensador utilizado

Mediciones de control automático de posición

**Figura 26: Reporte generado al finalizar el diseño y verificación del control**