

## 6. Apéndices.

### 6.1. Especificaciones de la tarjeta de adquisición de datos NI USB-6009.

#### 6.1.1. Diferencias entre las tarjetas de adquisición de datos NI USB-6008 y NI USB-6009.

En el laboratorio de la asignatura de fundamentos de control de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se cuenta con dos tarjetas de adquisición de datos, la NI USB-6008 y la NI USB-6009, la figura 85 muestra las principales diferencias entre ambos tipos de tarjetas.

<b>Feature</b>	<b>USB-6008</b>	<b>USB-6009</b>
AI Resolution	12 bits differential, 11 bits single-ended	14 bits differential, 13 bits single-ended
Maximum AI Sample Rate, Single Channel*	10 kS/s	48 kS/s
Maximum AI Sample Rate, Multiple Channels (Aggregate)*	10 kS/s	48 kS/s
DIO Configuration	Open collector	Open collector or active drive
* System dependent.		

Figura 85: Diferencias entre NI USB-6008 y NI USB-6009. Tomado de la guía de usuario y especificaciones USB-6008/6009.

### 6.1.2. Diagrama de bloques de la tarjeta NI USB-6008/6009.

El Diagrama de Bloques (Block Diagram)s de la figura 86 muestra los principales componentes funcionales de la tarjeta USB-6008/6009.

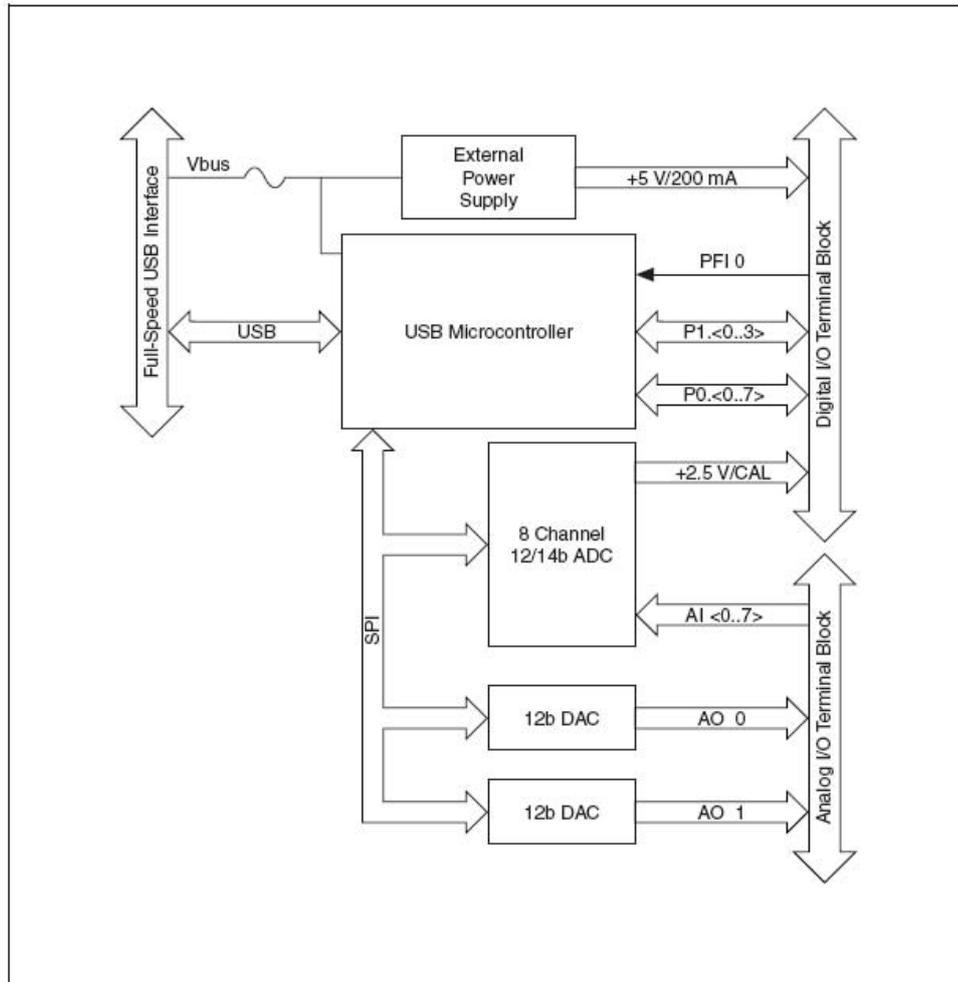


Figura 86: Diagrama de Bloques (Block Diagram)s de la tarjeta USB-6008/6009. Tomado de la guía de usuario y especificaciones USB-6008/6009.

### 6.1.3. Puertos digital y analógico de la tarjeta NI USB-6008/6009.

La tarjeta de adquisición de datos USB-6008/6009 cuenta con puertos digitales y analógicos, la figura 87 muestra la configuración de los pines del puerto analógico y la figura 88 muestra la configuración de los pines del puerto digital.

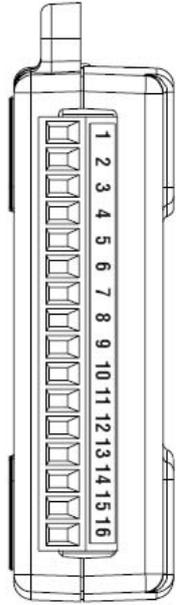
Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Figura 87: Configuración del puerto analógico. Tomado de la guía de usuario y especificaciones USB-6008/6009.

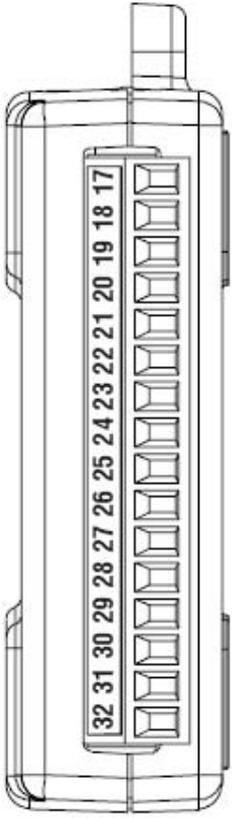
Module	Terminal	Signal
	17	P0.0
	18	P0.1
	19	P0.2
	20	P0.3
	21	P0.4
	22	P0.5
	23	P0.6
	24	P0.7
	25	P1.0
	26	P1.1
	27	P1.2
	28	P1.3
	29	PFI 0
	30	+2.5 V
	31	+5 V
	32	GND

Figura 88: Configuración del puerto digital. Tomado de la guía de usuario y especificaciones USB-6008/6009.

La figura 89 muestra la descripción de cada pin de la tarjeta USB-6008/6009.

Signal Name	Reference	Direction	Description
GND	—	—	<b>Ground</b> —The reference point for the single-ended AI measurements, bias current return point for differential mode measurements, AO voltages, digital signals at the I/O connector, +5 VDC supply, and the +2.5 VDC reference.
AI <0..7>	Varies	Input	<b>Analog Input Channels 0 to 7</b> —For single-ended measurements, each signal is an analog input voltage channel. For differential measurements, AI 0 and AI 4 are the positive and negative inputs of differential analog input channel 0. The following signal pairs also form differential input channels: <AI 1, AI 5>, <AI 2, AI 6>, and <AI 3, AI 7>.
AO 0	GND	Output	<b>Analog Channel 0 Output</b> —Supplies the voltage output of AO channel 0.
AO 1	GND	Output	<b>Analog Channel 1 Output</b> —Supplies the voltage output of AO channel 1.
P1.<0..3> P0.<0..7>	GND	Input or Output	<b>Digital I/O Signals</b> —You can individually configure each signal as an input or output.
+2.5 V	GND	Output	<b>+2.5 V External Reference</b> —Provides a reference for wrap-back testing.
+5 V	GND	Output	<b>+5 V Power Source</b> —Provides +5 V power up to 200 mA.
PFI 0	GND	Input	<b>PFI 0</b> —This pin is configurable as either a digital trigger or an event counter input.

Figura 89: Descripción de las terminales de la tarjeta USB-6008/6009. Tomado de la guía de usuario y especificaciones USB-6008/6009.

## 6.2. Acondicionamiento de señal.

El objetivo del acondicionamiento de señal es el de poder usar los módulos de presión y de posición-velocidad con la tarjeta de adquisición de datos *USB – 6009*. La tarjeta de adquisición de datos *USB – 6009*, en su entrada analógica, puede aceptar tensiones en el rango de  $[-10V, 10V]$  si está trabajando en el modo referido a tierra, y si está trabajando en el modo diferencial, acepta tensiones en el rango de  $[-20V, 20V]$  y corrientes de hasta  $200mA$ . La salida analógica de la tarjeta de adquisición de datos provee tensiones en el rango de  $[0V, 5V]$  con corrientes de hasta  $50mA$ .

El módulo de presión requiere una entrada de tensión en el rango de  $[0V, 10V]$ , su sensor de presión entrega una tensión en el rango de  $[0V, 8V]$ , cuya equivalencia en Pascales es de  $[0Pa, 200kPa]$ . El módulo de posición-velocidad requiere de tensiones en el rango de  $[-8V, 8V]$  de entrada para funcionar y la tensión que entrega su sensor de velocidad está en el rango de  $[-8V, 8V]$ , cuya equivalencia en revoluciones por minuto es de  $[-4000RPM, 4000RPM]$ . En ambos módulos la demanda de corriente es despreciable, sin embargo tienen requerimientos de voltaje distintos, por eso se diseñarán dos acondicionamientos de señal, uno para cada módulo.

### 6.2.1. Acondicionamiento de señal para el módulo de presión.

Para el módulo de presión se necesita un acondicionamiento que amplifique el rango de tensión de  $[0V, 5V]$  a  $[0V, 8V]$ , para lograr esto se requerirá del amplificador operacional *LM358* configurado como amplificador de voltaje no inversor con ganancia de 1.6. Se eligió este amplificador operacional porque tiene dos amplificadores operacionales en cada encapsulado.

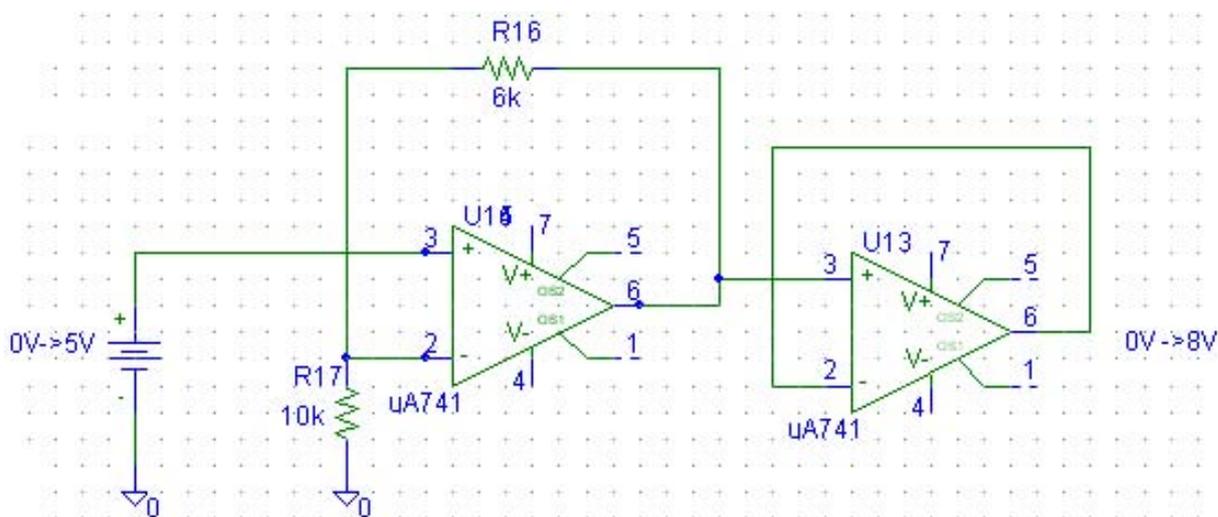


Figura 90: Amplificador de voltaje no inversor con seguidor de voltaje a la salida.

En la figura 90 se muestra el amplificador de voltaje con un seguidor de voltaje a su salida, esto para asegurar que el voltaje no se caerá del valor requerido entre  $[0V, 8V]$ .

### 6.2.2. Acondicionamiento de señal para el módulo de posición-velocidad.

El acondicionamiento de señal para el módulo de posición-velocidad requiere de varias etapas, ya que se necesita un rango de voltajes de  $[-8V, 8V]$ . Para lograr ese rango a partir del rango de voltajes de  $[0V, 5V]$  se requieren las siguientes etapas:

1. Amplificar el rango de  $[0V, 5V]$  a  $[0V, 10V]$ . Con un amplificador operacional configurado como amplificador de voltaje no inversor con una ganancia de 2. Su diagrama se muestra en la figura 91.

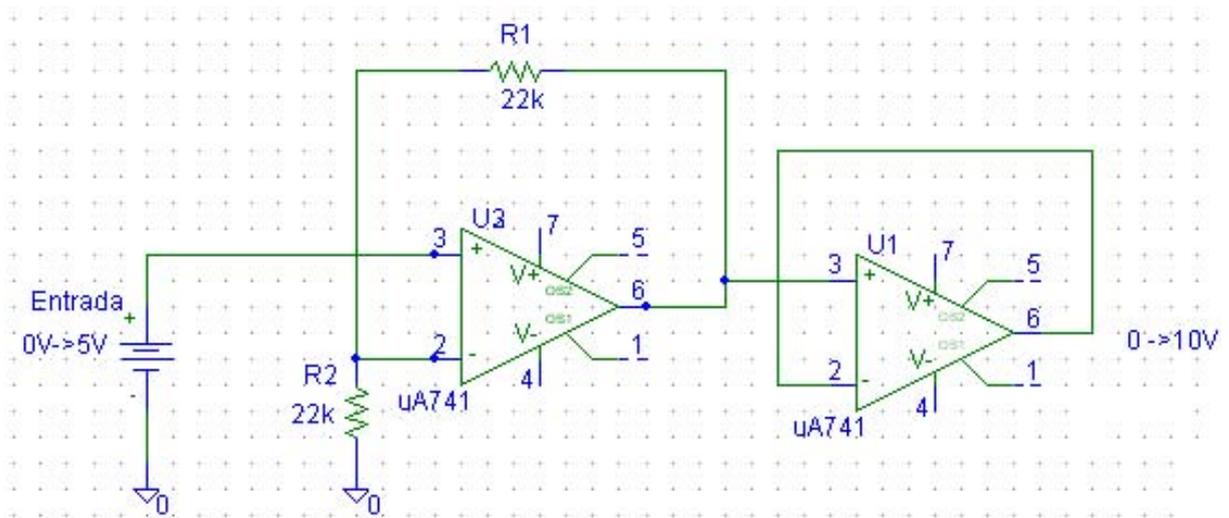


Figura 91: Amplificador de voltaje no inversor con seguidor de voltaje a la salida.

2. Obtener un voltaje constante de  $-5V$  a partir de la fuente simétrica de alimentación. Se hace un divisor de voltaje con dos resistencias de  $1k\Omega$  en serie entre  $0V$  y  $12V$  para obtener  $6V$  en cada resistencia. Esos  $6V$  se toman de una de las resistencias y se aplican a un amplificador operacional configurado como amplificador de voltaje inversor con ganancia de  $0,813$ , de esta manera se obtiene la constante de  $-5V$ . El diagrama se muestra en la figura 92.

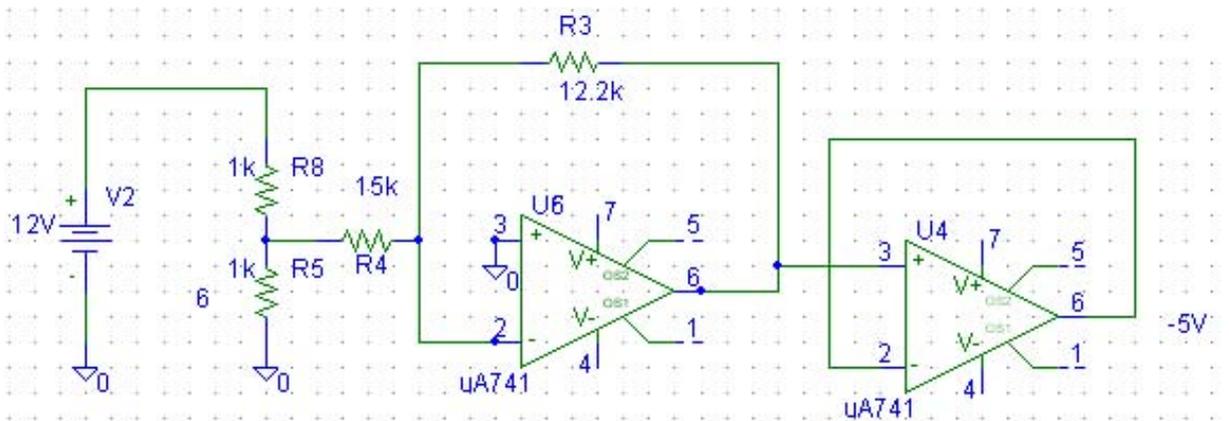


Figura 92: Amplificador de voltaje inversor con seguidor de voltaje a la salida.

3. Sumar el voltaje constante de  $-5V$  al rango de  $[0V, 10V]$  obteniendo así un rango de  $[-5V, 5V]$ . Para sumar estos dos voltajes, se usa el amplificador operacional configurado como amplificador sumador no inversor con ganancia unitaria. El diagrama se muestra en la figura 93.

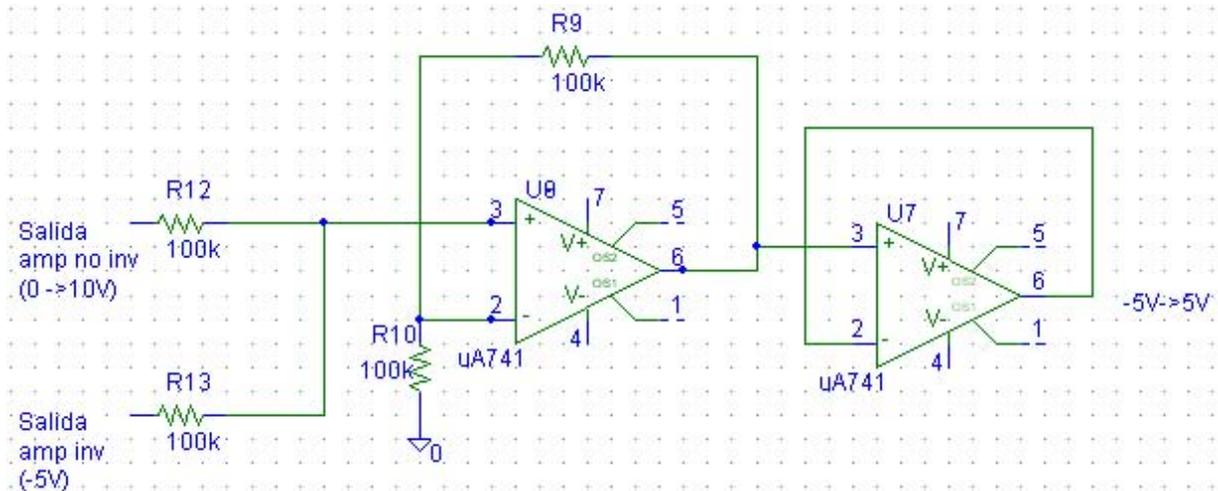


Figura 93: Amplificador sumador no inversor con seguidor de voltaje a la salida.

4. Multiplicar el rango de  $[-5V, 5V]$  por una ganancia de 1,6 para obtener el rango de  $[-8V, 8V]$ . Esto se logra usando un amplificador operacional configurado como amplificador de voltaje no inversor con una ganancia de 1,6. El diagrama se muestra en la figura 94.

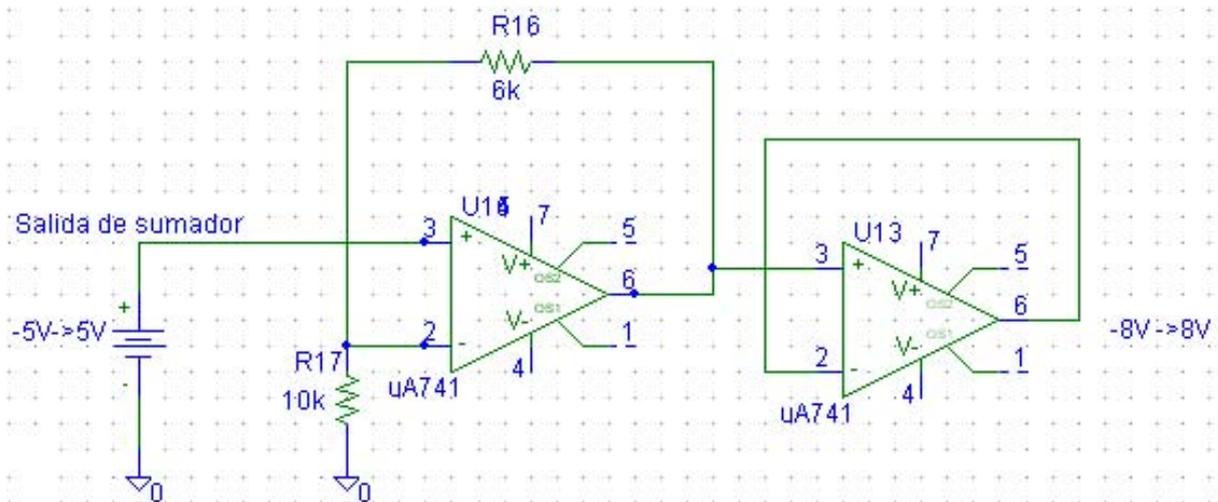


Figura 94: Amplificador no inversor con seguidor de voltaje a la salida.

El acondicionamiento para el módulo de posición-velocidad queda ensamblado todo junto como se muestra en la figura 95.

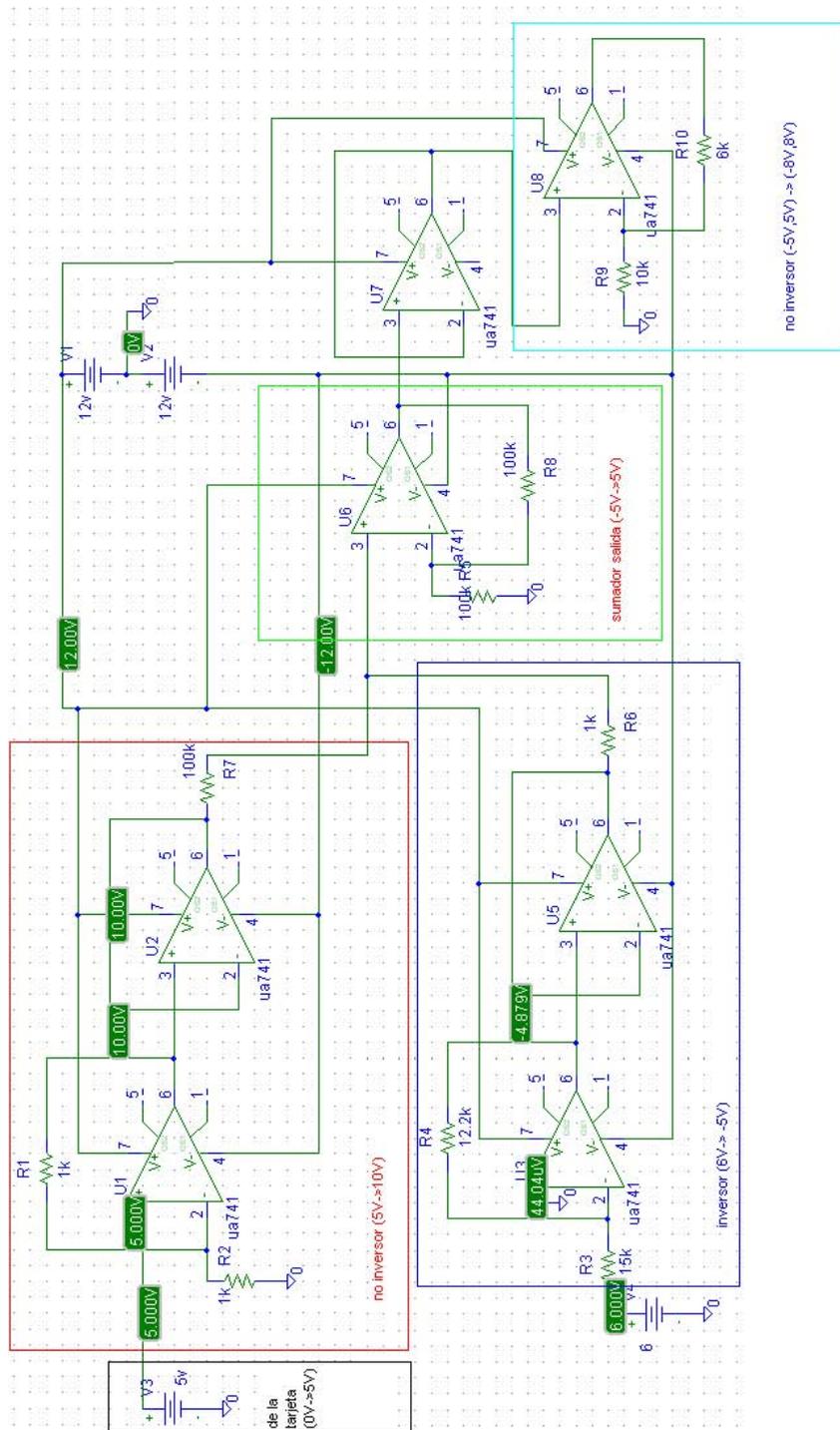


Figura 95: Acondicionamiento de señal para el módulo de posición-velocidad.

## 7. Prácticas.

### 7.1. Práctica 1 Módulo de presión.

#### 7.1.1. Objetivos.

1. Conocer cada elemento del módulo  $G35A/EV$ , así mismo, la unidad exterior de generación de la magnitud física  $TY35/EV$ .
2. Utilizar los transductores de presión.
3. Entender los conceptos: lazo abierto, realimentación o *feedback*, estabilidad y los tipos de respuesta del sistema.
4. Conocer el funcionamiento de un  $PID$ .
5. Realizar la función de transferencia a partir de la respuesta transitoria.
6. Manejar la tarjeta de adquisición de datos USB-6009.

#### 7.1.2. Material a utilizar

- Fuente  $PS1/EV$ , figura 96.



Figura 96: Fuente de 24V y  $\pm 12V$ .

- Módulo de Presión *G36/EV*, figura 97.

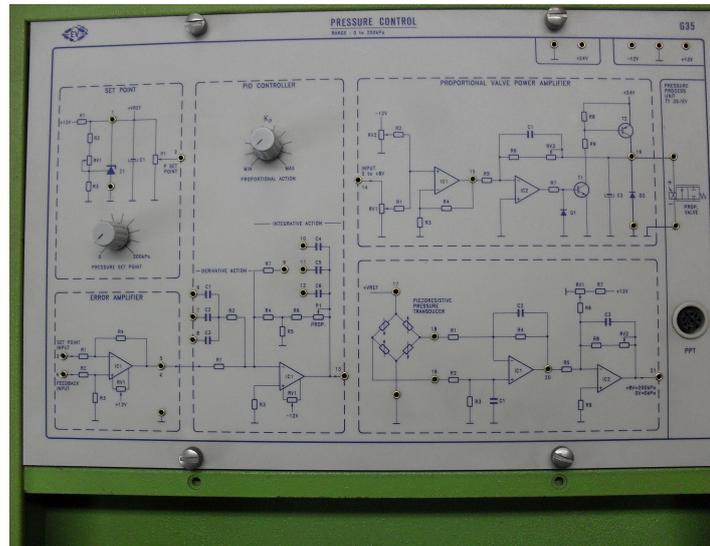


Figura 97: Módulo de Presión.

- Unidad Exterior de Generación de la magnitud física *TY36/EV*, figura 98.



Figura 98: Unidad exterior.

- Acondicionamiento de señal, figura 99.



Figura 99: Acondicionamiento de señal.

- Multímetro, figura 100.

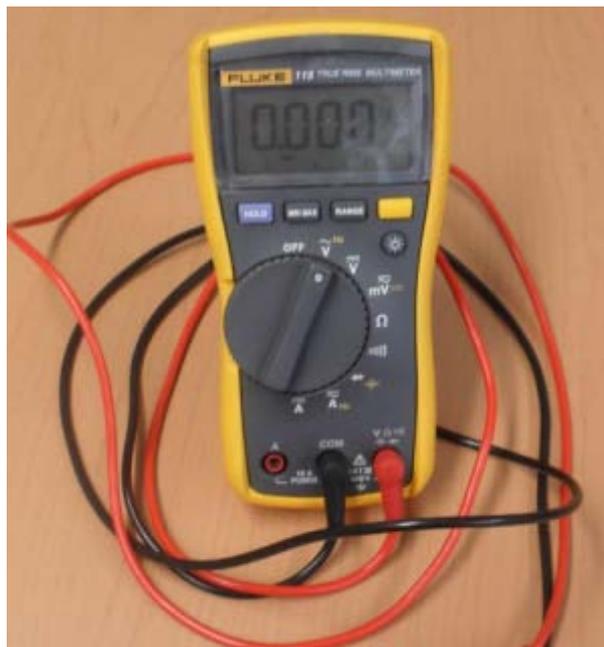


Figura 100: Multímetro digital

- Juego de cables, figura 101.

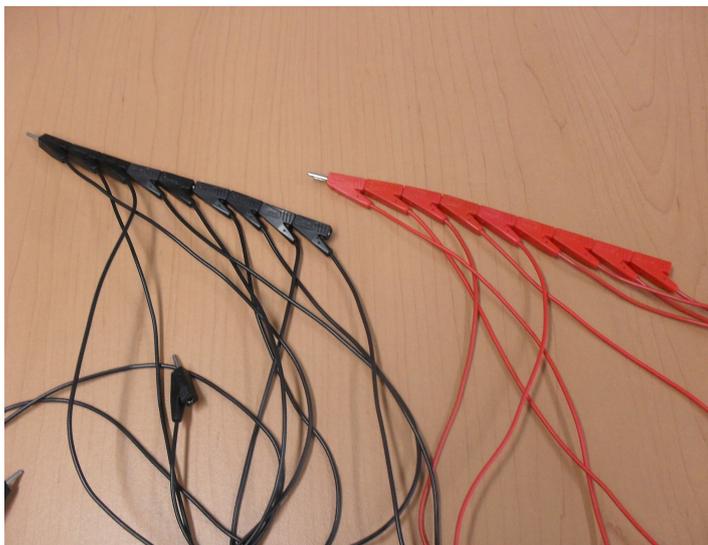


Figura 101: Cables

- Cable conexión DIN 8, figura 102.



Figura 102: Cable DIN 8.

- Cables de alimentación, figura 103.



Figura 103: Cable de alimentación

- Tarjeta USB-6009, figura 104.



Figura 104: Tarjeta de adquisición de datos.

### 7.1.3. Desarrollo.

#### *Ajuste del equipo.*

Conectar y encender la fuente, ajustar a cero el valor de la corriente, girar hasta que se encienda en indicador CV. Ajustar el voltaje a 24V. APAGAR LA FUENTE.

Conectar la tarjeta *USB – 6009* a la PC. Para verificar que está en perfectas condiciones, abrir el programa *National Instruments, Measurement* del escritorio, aparecerá una pantalla como la mostrada en la figura 105.

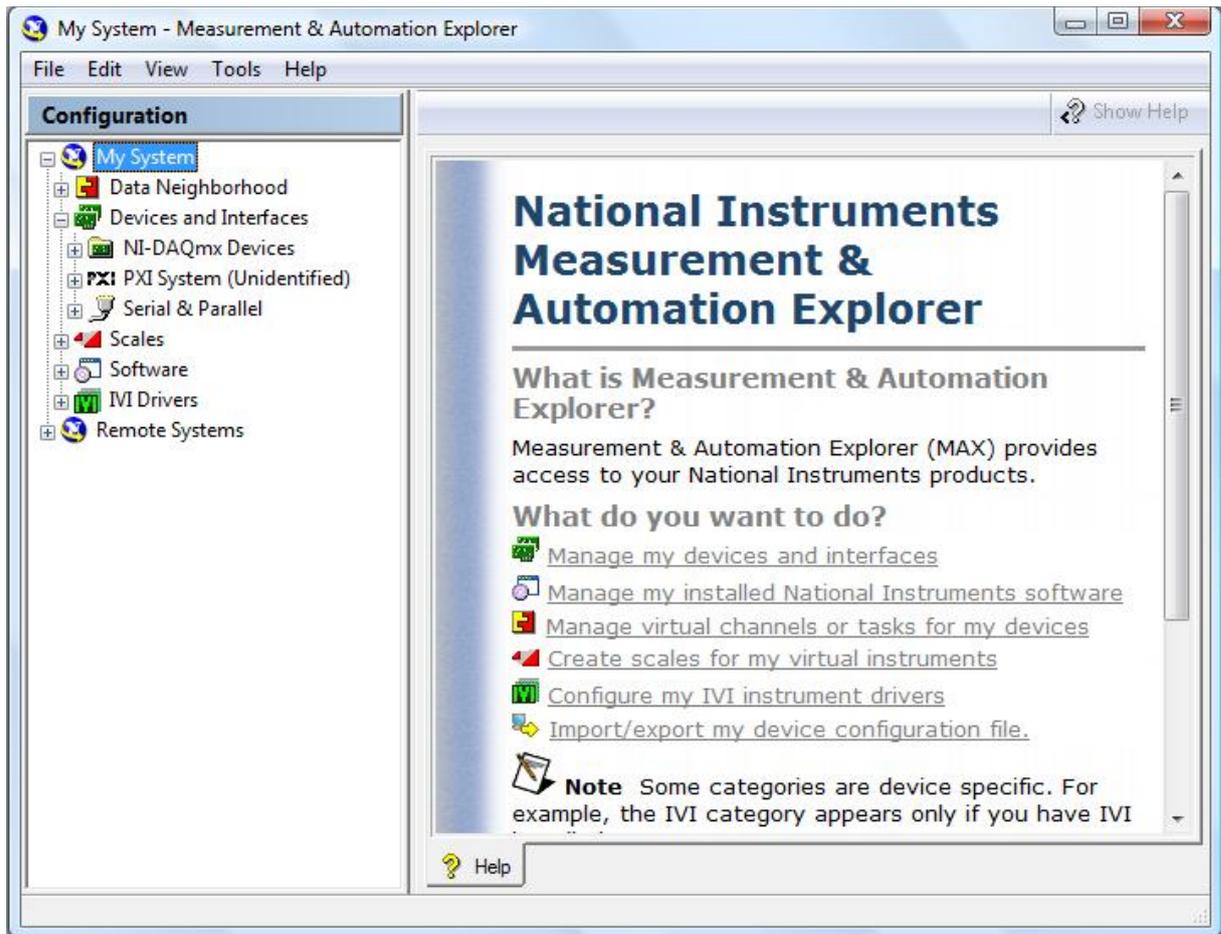


Figura 105: My System-Measurement & Automation Explorer.

En la caja *Configuration*, elegir *My System/Devices and Interfaces/NI-DAQmx Devices*, aparecerá una pantalla como la mostrada en la figura 106.

Dar click derecho sobre el dispositivo coloreado en verde de la pantalla para desplegar el menú y elegir *Test Panels* como se muestra en la figura 107.

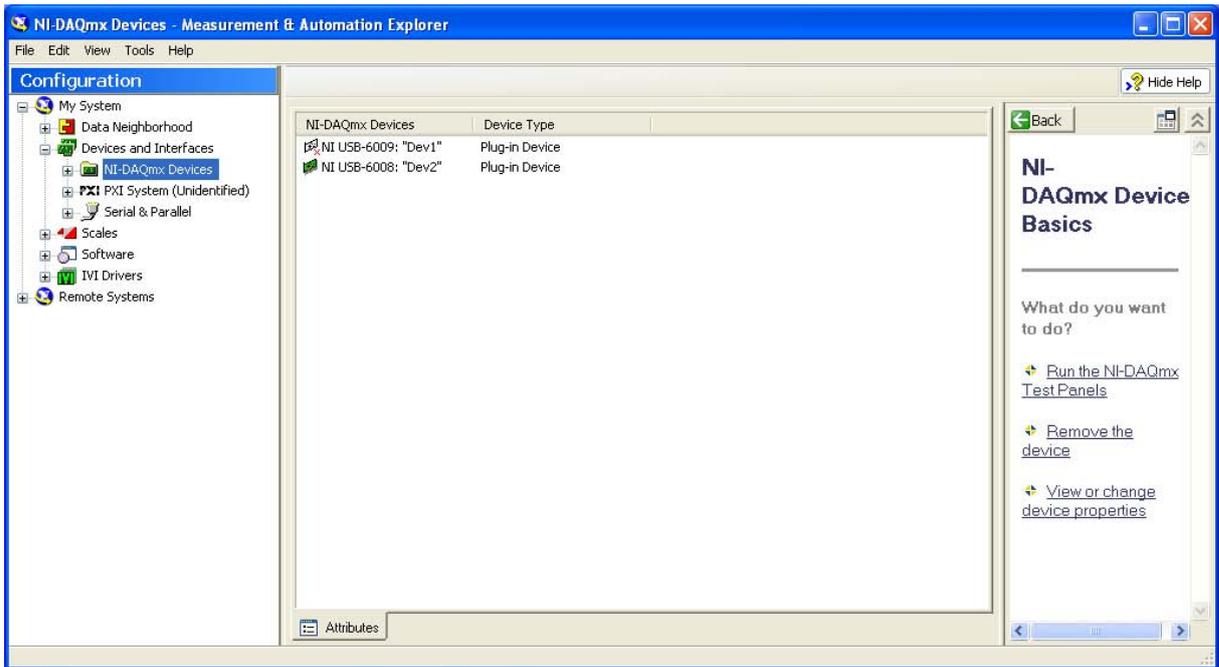


Figura 106: Configuración del sistema.

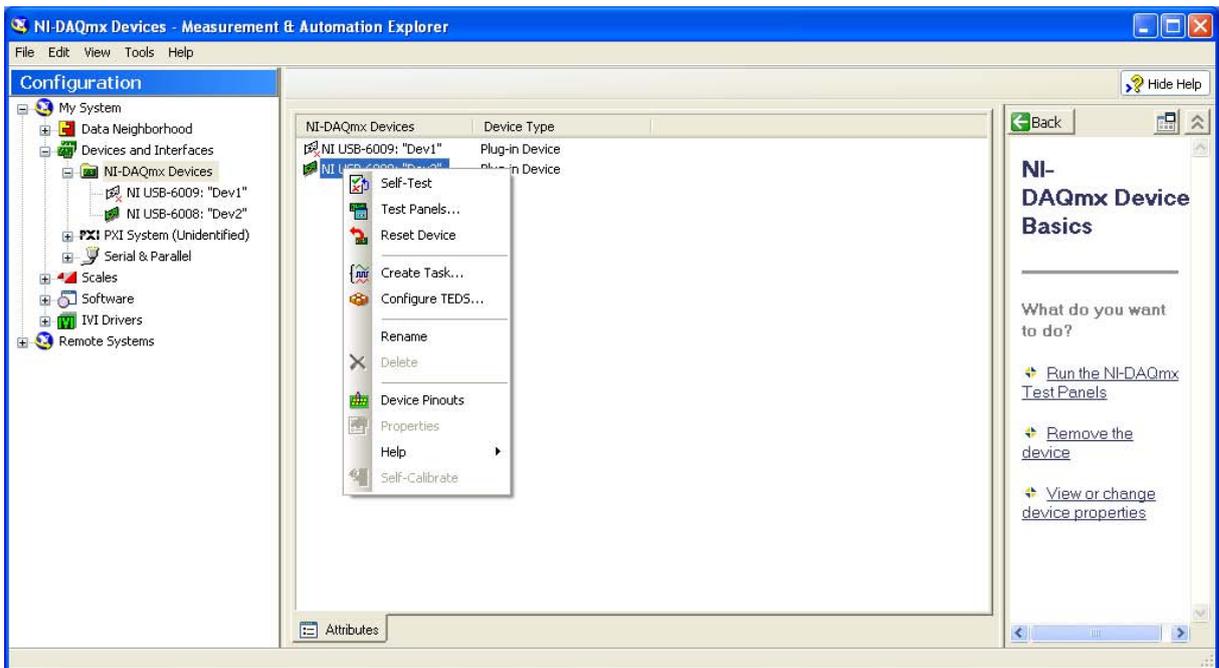


Figura 107: Menú del dispositivo NI USB-6009.

Se desplegará un menú con varias pestañas, pero sólo se utilizarán las pestañas *Analog Input*, *Analog Output*.

En *Analog Input* están las opciones:

- *Channel Name*, donde se escoge el canal que será usado como entrada.
- *Mode*, donde se establece la manera en que se adquirirán los datos
- *Input Configuration* donde se establece cómo operará la entrada. En modo diferencial se usa como referencia un nivel bajo distinto de la tierra física, permitiendo voltajes de entrada de  $[-20V, 20V]$ , en modo *RSE* se usa como referencia a la tierra física, permitiendo voltajes de entrada de  $[-10V, 10V]$ .
- *Max Input Limit* y *Min Input Limit* establecen los límites máximo y mínimo de tensión de entrada respectivamente.

Lo anterior se puede observar en la figura 108.



Figura 108: Pestaña Analog Input del menú Test Panels.

En *Analog Output* están las opciones:

- *Channel Name*, donde se escoge el canal que será usado como salida.
- *Mode* que establece la manera en que se enviarán los datos.
- *Max Output Limit* y *Min Output Limit* que establecen los límites máximo y mínimo de tensión de salida respectivamente.
- *Output Value* que es el valor que el *Test Panels* enviará a la salida escogida por el usuario.

Lo anterior se puede observar en la figura 109.

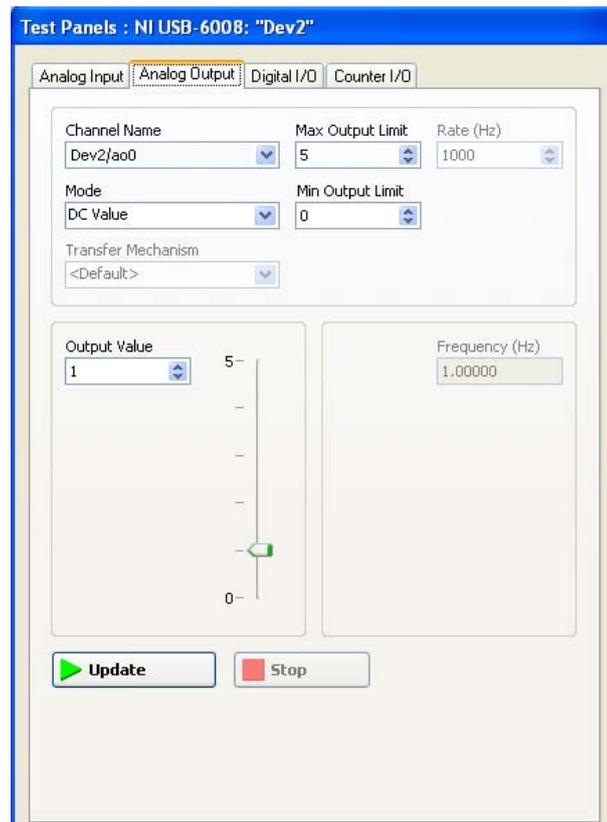


Figura 109: Pestaña Analog Output del menú Test Panels.

En la pestaña *Analog Input*, se usan los valores predeterminados y se da click en <Start>. Se observará una gráfica en la que el voltaje será 0V o tendrá un valor muy cercano a él. Si es así, significa que la tarjeta funciona bien, si da una lectura muy distinta de cero, significa que la entrada está dañada y habrá que elegir otra entrada y probarla de la misma manera.

En la pestaña *Analog Output* usar los valores predeterminados y en el campo *Analog Value* establecer un valor entre 0V y 5V de salida y medir el valor con el multímetro en el canal de salida seleccionado por el usuario. Si el valor medido con el multímetro corresponde al valor que el usuario estableció en el campo *Analog Value*, significa que el canal de salida funciona bien, si los valores son distintos por un valor muy grande, significa que ese canal de salida está dañado, habrá que elegir otro y probar de nuevo.

Conectar el equipo de la siguiente manera:

- Conectar los voltajes de polarización que se encuentran en la parte superior derecha del Módulo *G36/EV*.
- Conectar una entrada de la tarjeta *USB-6009* al borne 23 del módulo *G36/EV*.
- Conectar la salida del acondicionamiento al borne 18.
- Conectar los bornes 26 con 27 y 29 con el borne 30.
- Conectar el módulo *G36/EV* con la unidad exterior *TY36/EV* mediante el cable DIN 8.

Una vez comprobada la tarjeta de adquisición de datos, abrir LabVIEW 8.5 y buscar el programa en el escritorio de la PC *Presión*, la figura 110 muestra el panel frontal del programa. En la pantalla se observan los siguientes elementos:

- Set Point en *kP*
- Interruptor *ON – OFF*, que acciona el *PID*.
- Cuadro de ganancias del *PID*

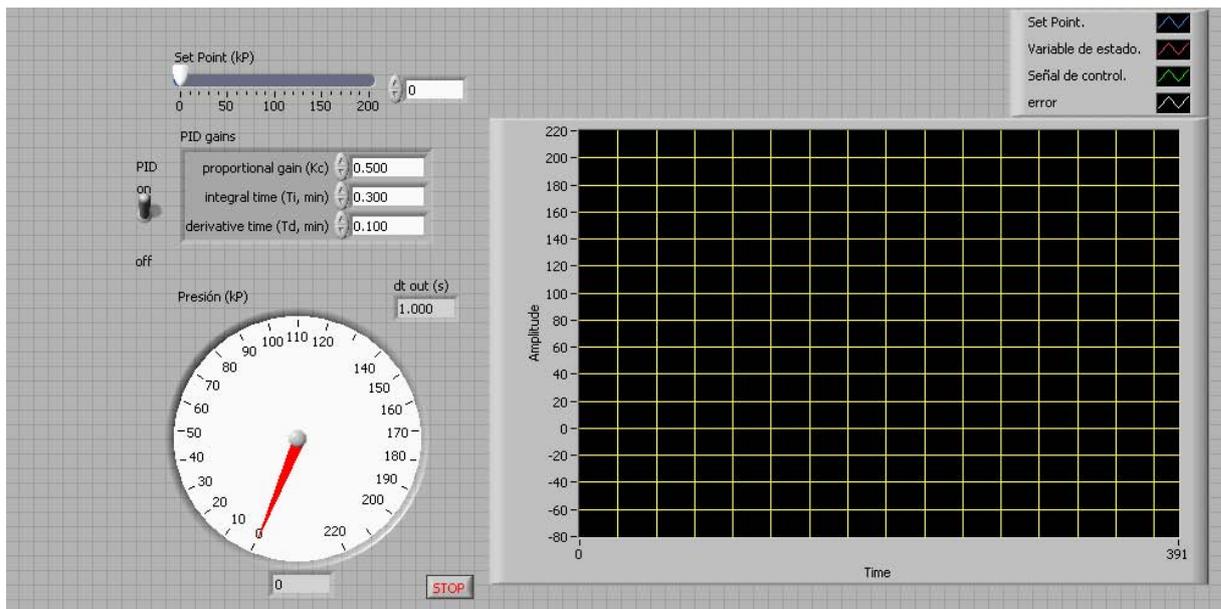


Figura 110: Panel Frontal del programa Posición- velocidad.

En la Unidad exterior de generación de la magnitud física *TY36/EV* se encuentra la válvula auxiliar 5b mostrada en la figura 111, que moveremos cuidadosamente en sentido antihorario, verificar que ésta sólo rota media vuelta.



Figura 111: Válvula manual 5b.

En el programa de *Presión* colocaremos el set point en  $100kP$  como referencia. El interruptor en *ON*. Verificar que la válvula auxiliar 5b este cerrada.

#### 7.1.4. Actividad 1 *Análisis de un Sistema Amortiguado*

. Para diseñar un control *PID* se utiliza el método manual de sintonización mediante ensayo y error, en los siguientes rangos:

$$0,047 \leq K_C \leq 0,052$$

$$0,295 \leq T_i \leq 0,305$$

$$0,000 \leq T_d \leq 0,003$$

El método consiste en:

- Aumentar la ganancia hasta que la respuesta a los cambios de consigna sea rápida, pero sin oscilación.
- Introducir el término integral, comenzando por un valor de  $T_i$  igual al tiempo de estabilización.
- Disminuir  $T_i$  para aumentar la rapidez de la respuesta, siempre y cuando no aparezca oscilación.
- Si se desea acción derivativa, comenzar con un valor de  $T_d$  igual a la tercera parte del retraso puro del sistema.
- Aumentar  $T_d$  hasta el valor máximo para el cual la respuesta no es oscilante. Intentar aumentar la ganancia.

Observar que la función de transferencia debe tener la forma siguiente:

$$G(s) = \frac{K}{\tau s + 1} \dots (1)$$

#### 7.1.5. Actividad 2 *Sistema Subamortiguado.*

Aplicar el método de la actividad anterior para obtener las constantes que satisfagan una respuesta rápida con sobrepaso, utilizando el rango:

$$0,995 \leq K_C \leq 1,005$$

$$0,045 \leq T_i \leq 0,055$$

$$0,000 \leq T_d \leq 0,003$$

Observar que la función de transferencia debe tener la forma siguiente:

$$G(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

### 7.1.6. Actividad 3 *Compensador*.

Utilizaremos la válvula *5b* mostrada en la figura 111 con el sistema subamortiguado. Abrir o cerrar esta válvula crea perturbaciones que el compensador debe eliminar. La válvula es muy sensible, por lo que debe accionarse sólo parcialmente. A este sistema se aplicará el controlador *PID* con las constantes obtenidas en la actividad anterior, mover la válvula *5b* ligeramente y observar en la gráfica que el control será capaz de compensar la señal. Así mismo cerrar la válvula y observar como compensa la perturbación.

### 7.1.7. Informe.

Llena la siguiente tabla

Ganancia	Sistema Sobreamortiguado	Sistema Subamortiguado
$K_C$		
$t_i$		
$t_d$		

Para todos los casos realizados en el trabajo hacer la Función de Transferencia y presentar la gráfica correspondiente indicando los parámetros necesarios.

Explique los diferentes efectos que tienen cada una de las acciones de control  $K_C$ ,  $t_i$ ,  $t_d$ , en la respuesta del sistema.

Presentar otra forma de sintonización de controladores PID, además de la manual.

Explicar ¿Por qué un control PID es capaz de compensar cualquier perturbación constante?

## 7.2. Práctica 2 Módulo de Posición-Velocidad.

### 7.2.1. Objetivos.

1. Conocer cada elemento del módulo *G36A/EV*, así mismo, conocer la unidad exterior de generación de la magnitud física *TY36/EV*.
2. Utilizar los transductores de velocidad.
3. Entender los conceptos: lazo abierto, realimentación o *feedback*, estabilidad y tipos de respuesta del sistema.
4. Conocer el funcionamiento de un *PID*.
5. Calcular la función de transferencia a partir de la respuesta transitoria.
6. Manejar la tarjeta de adquisición de datos USB-6009.

### 7.2.2. Material a utilizar.

- Fuente *PS1/EV*, ver figura 112.



Figura 112: Fuente de 24V y  $\pm 12V$ .

- Módulo de Posición-Velocidad *G36/EV*, ver figura 113.

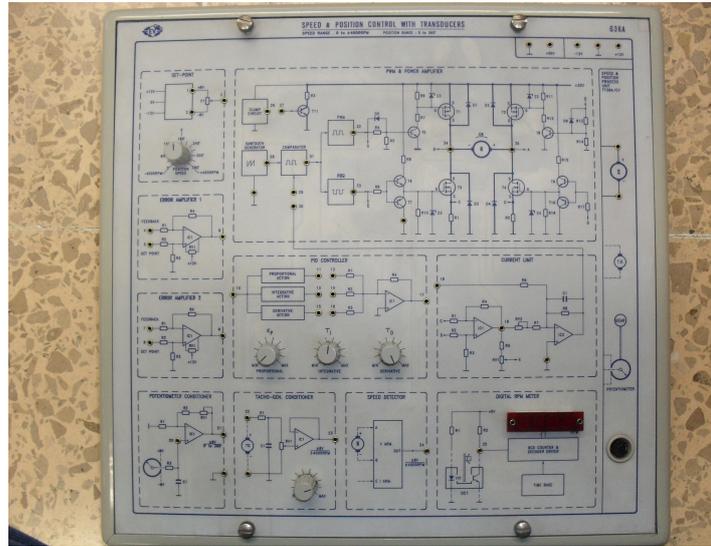


Figura 113: Módulo de Posición-Velocidad

- Unidad Exterior de Generación de la magnitud física *TY36/EV*, ver figura 114.

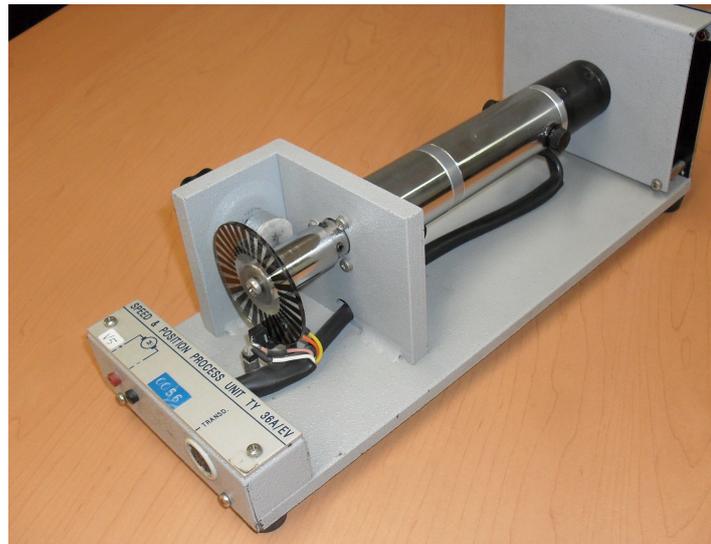


Figura 114: Unidad Exterior.

- Acondicionamiento de señal, figura 115.



Figura 115: Acondicionamiento de señal.

- Multímetro, ver figura 116.

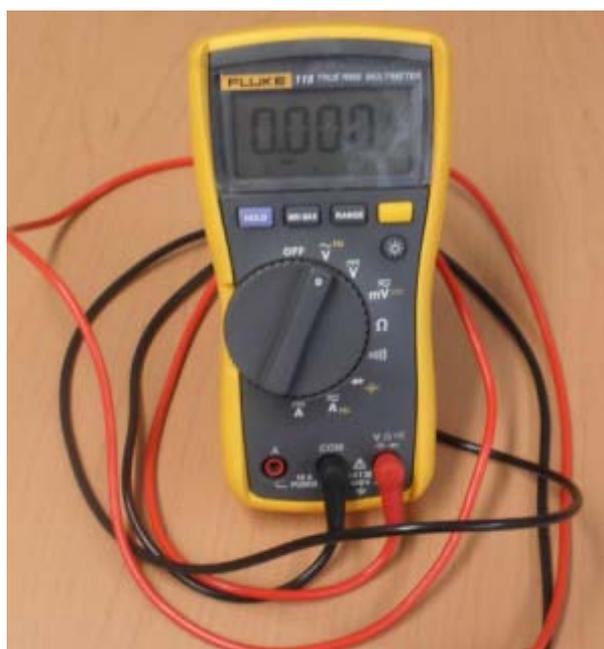


Figura 116: Multímetro digital

- Juego de cables, ver figura 117.

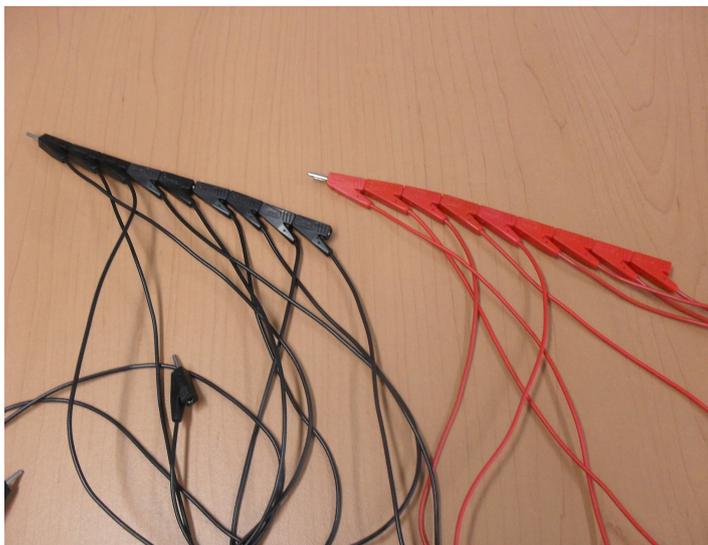


Figura 117: Cables

- Cable conexión DIN 8, ver figura 118.



Figura 118: DIN 8

- Cables de alimentación, ver figura 119.



Figura 119: Cable de alimentación

- Tarjeta USB-6009, ver figura 120.



Figura 120: Tarjeta.

### 7.2.3. Desarrollo.

#### *Ajuste del equipo.*

Conectar y encender la fuente, ajustar a cero el valor de la corriente, girar hasta que se encienda en indicador CV. Ajustar el voltaje a 24V. APAGAR LA FUENTE.

Conectar la tarjeta *USB – 6009* a la PC. Para verificar que está en perfectas condiciones, abrir el programa *National Instruments, Measurement* del escritorio, aparecerá una pantalla como la mostrada en la figura 121.



Figura 121: My System-Measurement & Automation Explorer.

En la caja *Configuration*, elegir *My System/Devices and Interfaces/NI-DAQmx Devices*, aparecerá una pantalla como la mostrada en la figura 122.

Dar click derecho sobre el dispositivo coloreado en verde de la pantalla para desplegar el menú y elegir *Test Panels* como se muestra en la figura 123.

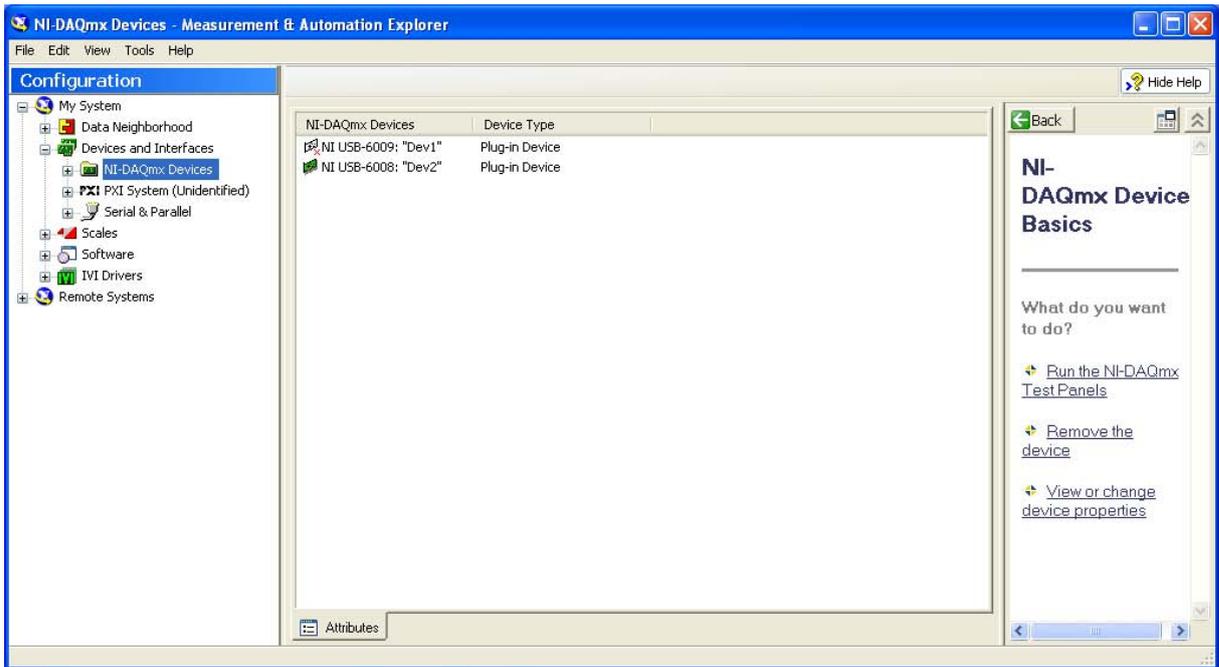


Figura 122: Configuración del sistema.

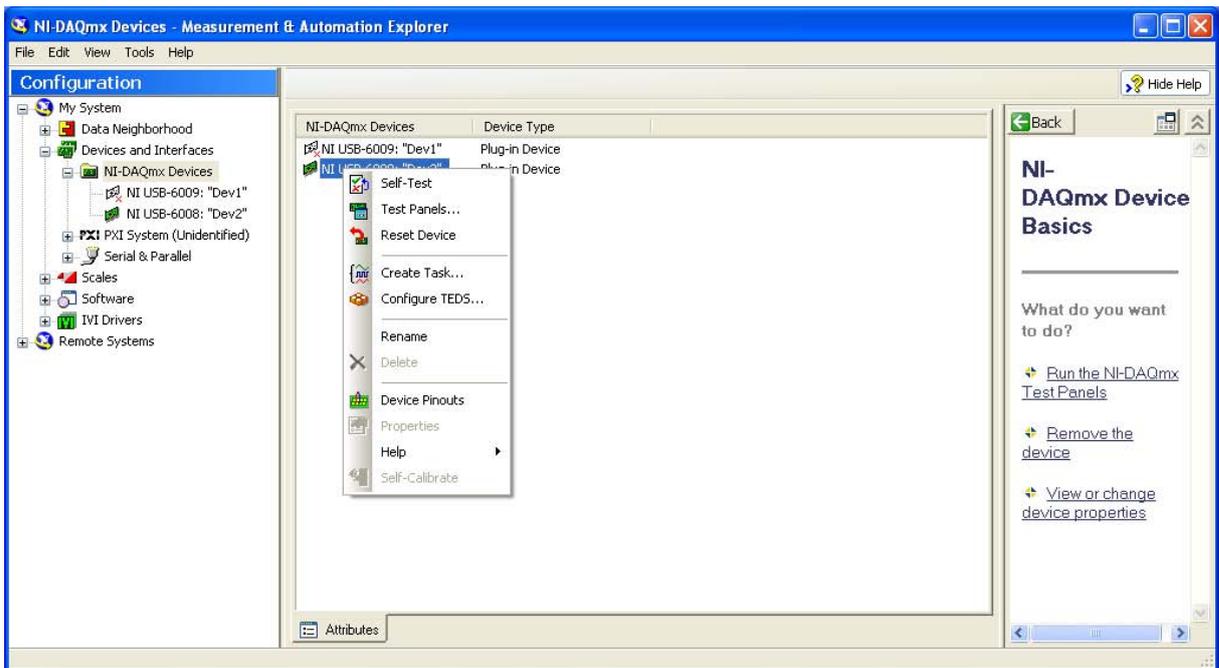


Figura 123: Menú del dispositivo NI USB-6009.

Se desplegará un menú con varias pestañas, pero sólo se utilizarán las pestañas *Analog Input*, *Analog Output*.

En *Analog Input* están las opciones:

- *Channel Name*, donde se escoge el canal que será usado como entrada.
- *Mode*, donde se establece la manera en que se adquirirán los datos
- *Input Configuration* donde se establece cómo operará la entrada. En modo diferencial se usa como referencia un nivel bajo distinto de la tierra física, permitiendo voltajes de entrada de  $[-20V, 20V]$ , en modo *RSE* se usa como referencia a la tierra física, permitiendo voltajes de entrada de  $[-10V, 10V]$ .
- *Max Input Limit* y *Min Input Limit* establecen los límites máximo y mínimo de tensión de entrada respectivamente.

Lo anterior se puede observar en la figura 124.

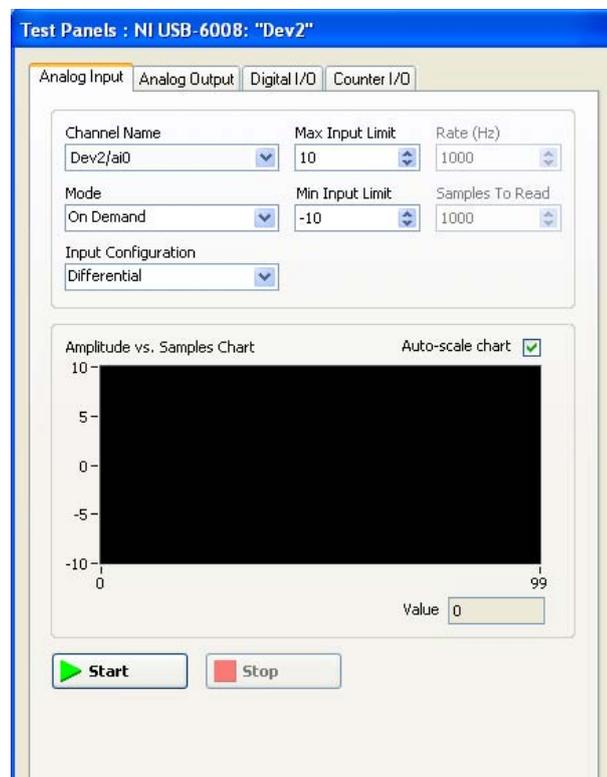


Figura 124: Pestaña Analog Input del menú Test Panels.

En *Analog Output* están las opciones:

- *Channel Name*, donde se escoge el canal que será usado como salida.
- *Mode* que establece la manera en que se enviarán los datos.
- *Max Output Limit* y *Min Output Limit* que establecen los límites máximo y mínimo de tensión de salida respectivamente.
- *Output Value* que es el valor que el *Test Panels* enviará a la salida escogida por el usuario.

Lo anterior se puede observar en la figura 125.

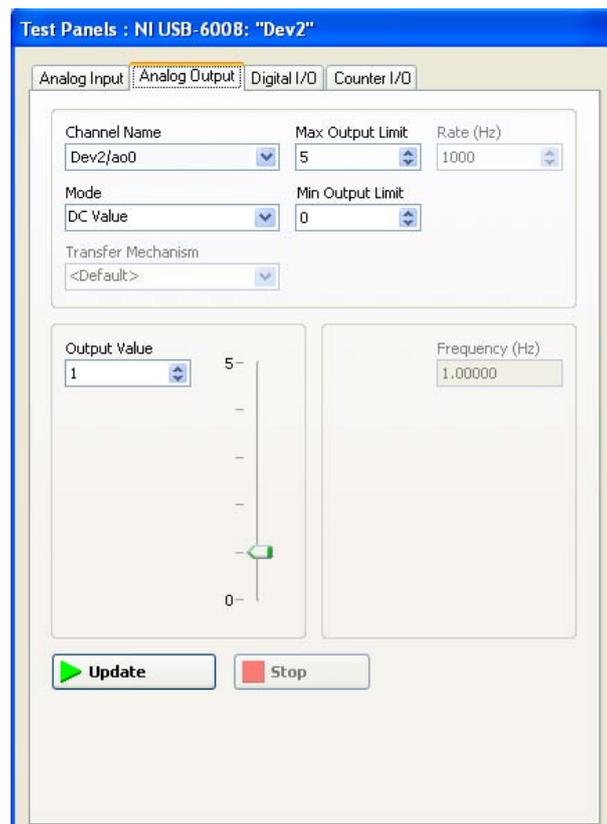


Figura 125: Pestaña Analog Output del menú Test Panels.

En la pestaña *Analog Input*, se usan los valores predeterminados y se da click en <Start>. Se observará una gráfica en la que el voltaje será 0V o tendrá un valor muy cercano a él. Si es así, significa que la tarjeta funciona bien, si da una lectura muy distinta de cero, significa que la entrada está dañada y habrá que elegir otra entrada y probarla de la misma manera.

En la pestaña *Analog Output* usar los valores predeterminados y en el campo *Analog Value* establecer un valor entre 0V y 5V de salida y medir el valor con el multímetro en el canal de salida seleccionado por el usuario. Si el valor medido con el multímetro corresponde al valor que el usuario estableció en el campo *Analog Value*, significa que el canal de salida funciona bien, si los valores son distintos por un valor muy grande, significa que ese canal de salida está dañado, habrá que elegir otro y probar de nuevo.

Conectar el equipo de la siguiente manera:

- Conectar los voltajes de polarización que se encuentran en la parte superior derecha del Módulo *G36/EV*.
- Conectar una entrada de la tarjeta *USB-6009* al borne 23 del módulo *G36/EV*.
- Conectar la salida del acondicionamiento al borne 18.
- Conectar los bornes 26 con 27 y 29 con el borne 30.
- Conectar el módulo *G36/EV* con la unidad exterior *TY36/EV* mediante el cable DIN 8.

Una vez comprobada la tarjeta de adquisición de datos, abrir LabVIEW 8.5 y buscar el programa en el escritorio de la PC *Posición-Velocidad*, la figura 126 muestra el panel frontal del programa. En la pantalla se observan los siguientes elementos:

- Set Point en *RPM*
- Interruptor *ON – OFF*, que acciona el *PID*.
- Cuadro de ganancias del *PID*

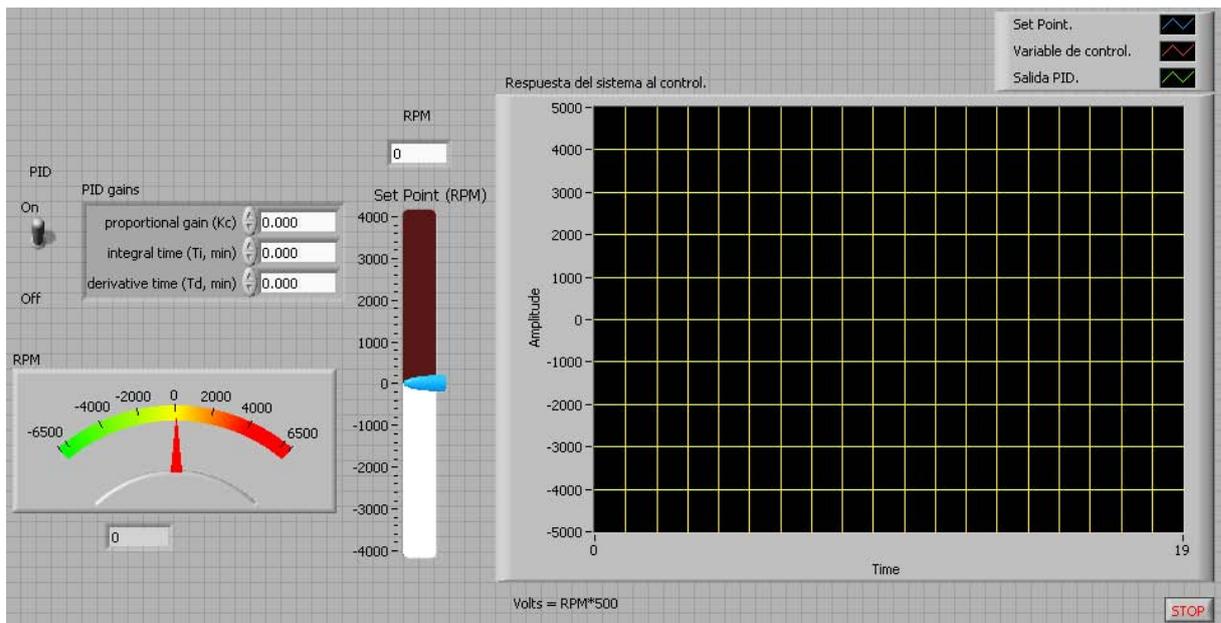


Figura 126: Panel Frontal del programa Posición- velocidad.

#### 7.2.4. Actividad 1 *Lazo abierto*

Colocar el interruptor *PID* en <OFF> implica desconectar el control *PID* y dejar el sistema en lazo abierto. Aplicar una entrada escalón de 1200 *RPM* con el set point, y observar la gráfica que se obtiene.

**\*Parámetros del motor.**

Algunos de estos son proporcionados por el fabricante y se encuentran en el manual de usuario de la unidad *TY36A*, en las especificaciones del motor.

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidades
Tensión Nominal	$v$	24	$V$
Velocidad Nominal	$\omega$	4000	$RPM$
Constante de Par	$K_T$	0,046	$Nm/A$
Resistencia	$R$	5,5	$\Omega$
Momento de inercia rotórico	$J$	$5,18E^{-6}$	$Kgm^2$
Inductancia	$L$	2,8	$mH$

Cuadro 2: 1

Nota. Para hallar el valor de la constante de contra fem  $K_e$ , investigar la relación entre esta y la constante de par  $K_T$ .

### 7.2.5. Actividad 2 *Análisis de un Sistema Sobreamortiguado.*

Accionar el interruptor *PID* y aplicar una entrada escalón de 2500 *RMP*.

Para diseñar un control se utiliza el método manual de sintonización mediante ensayo y error, en los siguientes rangos:

$$0,069 \leq K_C \leq 0,076$$

$$0,019 \leq T_i \leq 0,022$$

$$0,000 \leq T_d \leq 0,003$$

El método consiste en:

- Aumentar la ganancia hasta que la respuesta a los cambios de consigna sea rápida, pero sin oscilación.
- Introducir el término integral, comenzando por un valor de  $T_i$  igual al tiempo de estabilización.
- Disminuir  $T_i$  para aumentar la rapidez de la respuesta, siempre y cuando no aparezca oscilación.
- Si se desea acción derivativa, comenzar con un valor de  $T_d$  igual a la tercera parte del retraso puro del sistema.
- Aumentar  $T_d$  hasta el valor máximo para el cual la respuesta no es oscilante. Intentar aumentar la ganancia.

### 7.2.6. Actividad 3 *Análisis de un Sistema Subamortiguado.*

Aplicar el mismo método para obtener las constantes que satisfagan una respuesta rápida con sobre paso, utilizando el rango:

$$0,069 \leq K_C \leq 0,076$$

$$0,095 \leq T_i \leq 0,013$$

$$0,000 \leq T_d \leq 0,003$$

### 7.2.7. Informe.

Llena la siguiente tabla

Ganancia	Sistema Sobreamortiguado	Sistema Subamortiguado
$K_C$		
$t_i$		
$t_d$		

Para todos los casos realizados en el trabajo calcular la función de transferencia y presentar la gráfica correspondiente.

Explique los diferentes efectos que tienen cada una de las acciones de control  $K_C$ ,  $t_i$ ,  $t_d$ , en la respuesta del sistema.

Presentar otra forma de sintonización de controladores PID, además de la manual.

Explicar ¿Por qué un control PID es capaz de compensar cualquier perturbación constante?