



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES  
EXPERIMENTALES USANDO LA TARJETA PCI-MIO-  
16E-1 Y HERRAMIENTAS DE LABVIEW**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELÉCTRICO-ELECTRÓNICO**

P R E S E N T A

**JORGE ARMANDO RODRÍGUEZ VERA**

DIRECTORA DE TESIS:

**DRA. MARGARITA NAVARRETE MONTESINOS**



CIUDAD UNIVERSITARIA

MÉXICO, D.F. 2009

# *Dedicatoria*

*Con mucho cariño y afecto  
a toda  
mi familia*

# *Agradecimientos*

*Numerosas personas intervinieron de forma directa e indirecta para la realización de la presente tesis de licenciatura así que no deseo en ningún momento excluir a nadie.*

*Primeramente a mi papá y mamá por todo el apoyo tanto económico como en lo moral así como la motivación que lograron se inculcara en mí.*

*A mi hermana Guadalupe Rodríguez Vera a quien le debo mucho, porque sin sus consejos no hubiera alcanzado muchas de mis metas.*

*A toda la comunidad (amigos, compañeros de trabajo, jefes etc.) de la Unidad de Servicios de Cómputo Académico de la Facultad de Ingeniería que sin la formación proporcionada no sería la persona que hoy por hoy soy.*

*A la UNAM por permitirme utilizar todas sus instalaciones y la preparación que me ha brindado.*

*A la Dra. Margarita Navarrete por su apoyo en todo el desarrollo de este proyecto.*

*Al instituto de ingeniería por permitirme utilizar las instalaciones y en particular las del Laboratorio de Pruebas no destructivas aun en periodos vacacionales.*

*A DGAPA-PAPIIT con el proyecto 9114-1N107509-3.*

*A Dr. Rogelio Alcántara, M.I. Larry Escobar y al Ing. Noe Cruz por sus consejos para la elaboración de la tesis.*

*Por último, agradezco a todos mis amigos que se interesaron con el desarrollo de la tesis y por la atención prestada.*

<b>Dedicatoria</b>	1
<b>Agradecimientos</b>	2
<b>Índice</b>	3
<b>Resumen</b>	5
<b>Introducción</b>	6
<b>I Descripción de la tarjeta PCI-MIO-16E-1</b>	
1.1 Descripción del experimento	9
1.2 Conceptos Generales	
1.2.1 Resolución de un convertidor A/D	12
1.2.2 Margen del convertidor A/D	13
1.2.3 Límites de la señal de entrada	13
1.2.4 Definición de la señal de entrada (consideraciones)	14
1.2.5 Tarjeta de Adquisición de datos tipo DAQ	15
1.2.6 Adquisición de señales Analógicas	16
1.2.7 Configuración de terminales	17
1.2.8 Conversión a Digital	19
1.2.9 Procesamiento	20
1.3 Implementación de la tarjeta PCI-MIO-16E-1	
1.3.1 Características de las tarjetas de la serie E	22
1.3.2 Módulo y cables de Conexión	23
1.3.3 Bloque de terminales de Conexión	24
1.3.4 Cable de Conexión	25
1.3.5 Especificaciones del equipo de Cómputo	26
1.3.6 Sistema completo	27
<b>II Programación de la tarjeta PCI-MIO-16E-1 mediante herramientas de LabView</b>	
2.1 Breve introducción a LabView	30
2.2 Pruebas de funcionamiento de la DAQ mediante MAX	32
2.3 Programar con LabView	36
2.4 Panel de Control del sistema de adquisición de datos	40
2.5 Controles e indicadores	41
2.6 Diagrama a bloques del programa	49
2.6.1 Bloque de configuración	51
2.6.2 Bloque de Adquisición	52
2.6.3 Subrutina para guardar datos	53
2.6.4 Filtrado de la señal	54
2.6.5 Selección de las señales	55
2.6.6 Espectro de la señal	56

### **III Desarrollo de pruebas de enlace y correcciones**

3.1	Inicio del programa	59
3.2	Aliasing de la señal	63
3.3	Descripción de las transformadas de Fourier	65
	3.3.1 La FFT en LabVIEW	71
	3.3.2 Fuga Espectral	75
3.4	Filtrado de una señal	78
	3.4.1 Filtros en LabVIEW	80
	3.4.2 Filtros Digitales de Respuesta Finita al Impulso	82
	3.4.3 Prueba de Filtrado	84
3.5	Almacenado de la señal en un archivo	89

### **IV Presentación de resultados en pantalla**

4.1	Obtención de las señales experimentales	92
-----	---	----

<b>Conclusiones</b>	99
---------------------	----

<b>Recomendaciones</b>	101
------------------------	-----

#### **Anexos**

A	Glosario	104
B	Tipos de tarjetas de adquisición	106
C	Diagrama de bloques de la tarjeta PCI-MIO-16E-1	107
D	Diseño del bloque conector	108

<b>Referencias</b>	109
--------------------	-----

## RESUMEN

En el Laboratorio de Pruebas no destructivas ubicado en el edificio 18 del Instituto de Ingeniería de la UNAM se realizan proyectos de investigación en Lumniscencia, hidrodinámica y sus aplicaciones así como experimentos en donde se necesitan medir diferentes variables. El laboratorio cuenta con una tarjeta de adquisición de datos de propósito general de la serie E desarrollada por National Instruments. De las actividades anteriormente mencionadas en muchas ocasiones los equipos como los osciloscopios, no proporcionan un número suficiente de canales para medir dichas variables para su estudio.

Por lo anterior, la instrumentación virtual se usa como una alternativa, ya que de este modo se adapta: el hardware, una interfaz para la adquisición de datos y un software a nuestras necesidades.

El hardware es el equipo de cómputo a utilizar para gobernar al sistema de adquisición de datos. La interfaz para la adquisición de datos corresponde a un módulo que se encarga de interactuar con el fenómeno y el hardware para medir sus parámetros. Por último, tenemos el software que permite desarrollar una interfaz gráfica para que el usuario adquiera las mediciones que necesita y presente los resultados en pantalla.

En la presente tesis se describe la implementación de un sistema de adquisición de datos que corresponde al hardware, interfaz para la adquisición de datos y al software con los que se realiza la adquisición de señales experimentales.

## **OBJETIVO**

Implementar un sistema completo de adquisición de datos a partir de una tarjeta previamente seleccionada, tomando en cuenta las limitaciones de la misma, para la adquisición de cuatro señales experimentales.

## **INTRODUCCION**

Actualmente existen muchas empresas que se dedican al campo de los instrumentos de medición y la mayoría ofrece soluciones específicas pero con un alto costo. National Instruments es una empresa que desarrolla software y hardware de multipropósito que nos permite elegir entre varios de sus productos para dar solución a diversas aplicaciones sin necesidad de volverse experto en un área en específico. Por ejemplo, la facilidad de manejo del software permite desarrollar una interfaz gráfica personalizada en muy poco tiempo. Cabe mencionar que la integración de manejadores para diversos dispositivos y un lenguaje de alto nivel que sirven con el mismo propósito.

En la presente tesis se hace una breve descripción de las señales experimentales y las consideraciones correspondientes para la utilización de la tarjeta, así como la implementación de una interfaz física para realizar las conexiones entre los equipos utilizados.

Por último se presentan los datos y se realizan algunas pruebas para comparar los datos con los resultados obtenidos en equipos convencionales analizando posibles mejoras para la implementación de este tipo soluciones.

Breve descripción de la tesis:

En el capítulo I se hace una breve descripción del experimento para el cual se adapta la tarjeta; se hace mención de algunos conceptos para el empleo de la tarjeta así como de sus características generales destacando las utilizadas para la medición de los experimentos. También, se incluye el bloque conector y el equipo de cómputo que se ocupa durante la medición.

Se describe el software del sistema en el capítulo II, primeramente se hace una descripción general del entorno utilizado en el diseño, para después describir los algoritmos aplicados. El diseño final se presenta en LabView.

En el capítulo III se enseña la integración y las pruebas a las que se sometió el sistema completo para verificar el funcionamiento y la fiabilidad de las mediciones así como la explicación de una serie de conceptos necesarios para la comprensión de los resultados.

Se presentan los resultados en el capítulo IV donde las mediciones están de forma gráfica y se comparan con los ya obtenidos mediante un osciloscopio.

Finalmente en el capítulo V se resumen los resultados y las conclusiones alcanzados en el desarrollo de este trabajo, se agregan también algunas recomendaciones para futuros desarrollos o mejoras del sistema.

En la sección de referencias se listan los libros consultados durante el desarrollo de este trabajo y se proporcionan enlaces o sitios web sobre artículos en publicaciones periódicas a los que también se recurrió.



# **CAPÍTULO I**

Descripción de la tarjeta PCI-MIO-16E-1

En el presente capítulo se hace una descripción del experimento denominado “*Luminiscencia por colapso de burbuja cónica*”.

Se presentan conceptos generales y consideraciones para la utilización de la tarjeta en la adquisición de las señales del experimento.

### 1.1. Descripción del experimento

Para estudiar el caso del experimento para la reproducción de la luminiscencia por colapso de burbuja cónica se tienen cuatro señales distintas a capturar: el disparo para la apertura de una válvula, la enviada por fotodiodo utilizada como velocímetro láser, un sensor de fuerza, y por último un fotomultiplicador que sirve para detectar un pulso de luz .

El arreglo experimental a monitorear se despliega en la figura I.1.

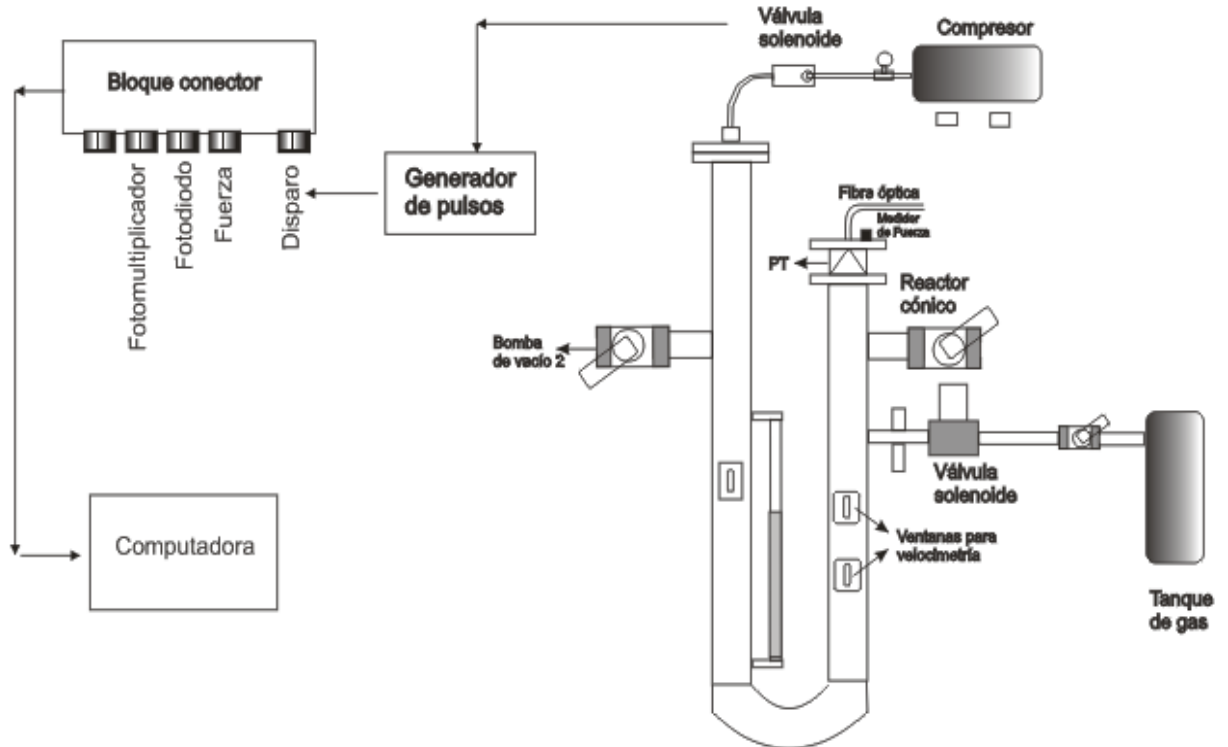


Figura I.1 Esquema del experimento de luminiscencia por colapso de burbuja cónica.

Como se observa en la figura I.1 el arreglo experimental consiste en un tubo de acero en forma de U que termina en un cono en uno de sus brazos en donde se hace colapsar inercialmente un volumen de gas previamente introducido a baja presión. El inicio de la adquisición se realiza en el momento que se envía una señal por medio de un generador de pulsos sincronizado con la apertura de la válvula.

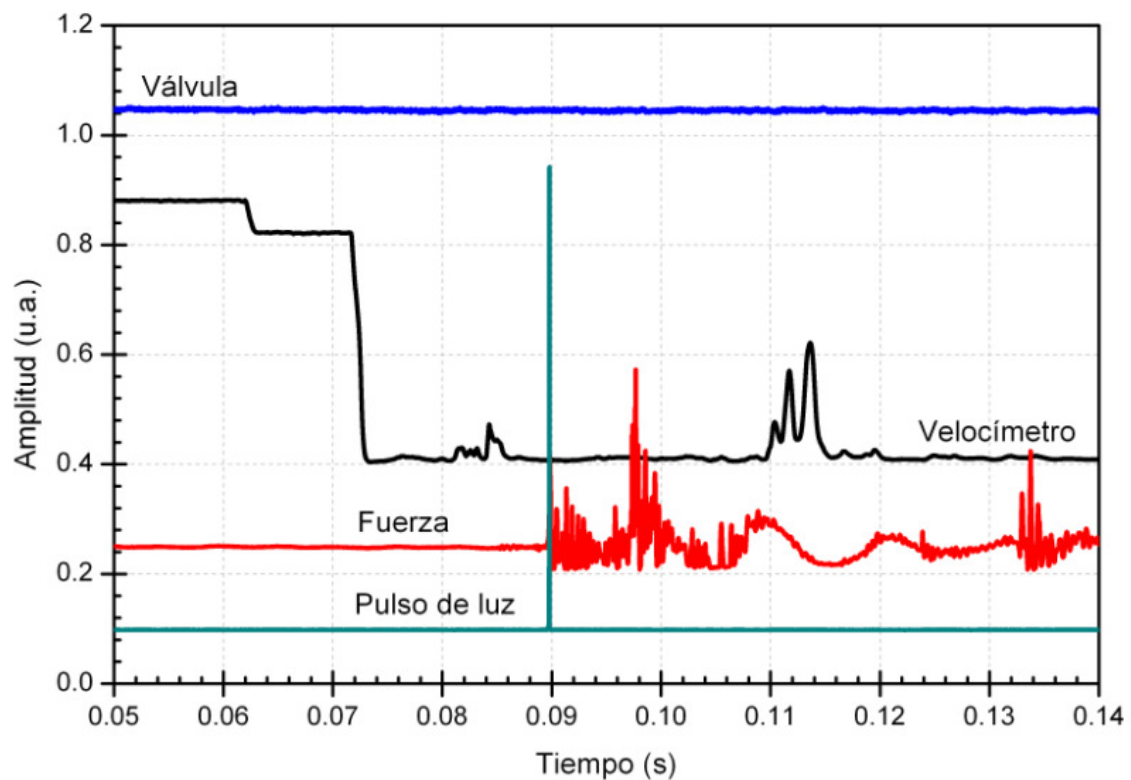
Para generar el pulso de luz, se llena parcialmente el tubo U con un líquido, luego se hace vacío en ambos brazos y posteriormente, se le introduce gas a baja presión en el brazo en donde se encuentra la terminación cónica, en seguida, en el otro brazo, se introduce rápidamente aire a presión, alcanzando una relación de compresión de alrededor de 300 veces.

Las señales a adquirir durante la reproducción del fenómeno se resumen en la tabla I.1.

Origen de las señales	Intervalo de Voltaje (560- 1000) ms
Válvula Solenoide (Disparo)	5 V TTL
Fotodiodo (Velocímetro)	0 a 5 V
Medidor de Fuerza (Piezoeléctrico)	0 a 5 V
Fotomultiplicador	0 a - 1 V

*Tabla I.1 Origen de las señales e intervalo de voltaje*

El comportamiento de las cuatro fuentes mencionadas anteriormente se muestra en la figura I.2 con su respectiva representación gráfica.



*Figura 1.2 Gráficas obtenidas del experimento*

De la figura anterior se tienen las gráficas realizadas con los datos adquiridos mediante un osciloscopio. En la misma figura, se observa que la duración de los datos provenientes del piezoeléctrico, el pulso de luz y el fotodiodo utilizado como velocímetro coinciden con el tiempo de duración en que la válvula se encuentra abierta (560 ms).

Para entender el funcionamiento de la tarjeta y su interacción con los dispositivos anteriormente mencionados es necesario definir algunos conceptos que se presentan a continuación.

## 1.2. Conceptos Generales

Antes de iniciar con la descripción de la tarjeta de adquisición se revisan algunos conceptos que se requieren para entender su funcionamiento.

### 1.2.1. Resolución de un convertidor Analógico Digital (A/D)

Para determinar la resolución de un A/D es suficiente con saber el número de bits que maneja. Por ejemplo, un convertidor A/D de 3 bits nos permite representar únicamente 8 niveles de una señal (positiva). Si el número de bits de un convertidor A/D aumenta se reproduce a la señal analógica con mayor precisión como se aprecia en la siguiente figura donde se compara a un convertidor A/D de 3 bits contra uno de 16 bits.

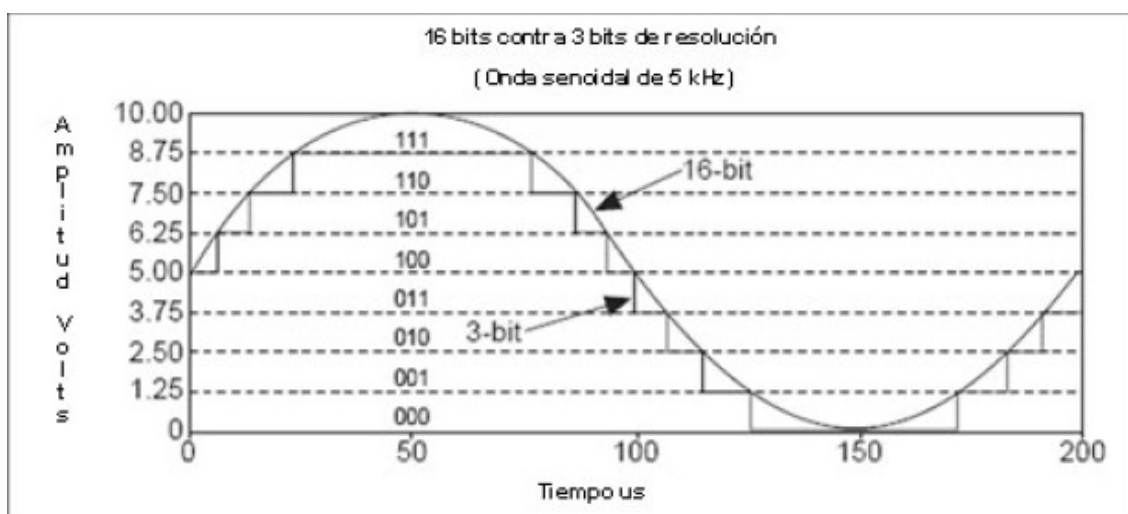


Figura 1.3 Diferencias entre un convertidor A/D de 3 bits y uno de 16 bits

Es notable que el número de divisiones aumenta de 8 a 65,536 ( $2^{16}$ ).

### 1.2.2. Margen del convertidor A/D

Hay que tomar en cuenta que el convertidor A/D mide entre un nivel máximo y un mínimo: margen del convertidor. Si tenemos una señal entre 0 a 10 V es posible medir un voltaje de 1.25 V como mínimo para un convertidor analógico digital de 3 bits. Sin embargo, si la señal a medir tiene un intervalo de -10 a 10 V se mide como mínimo únicamente 2.50 V haciendo menos precisa la medición, esto se aprecia en la figura I.4.

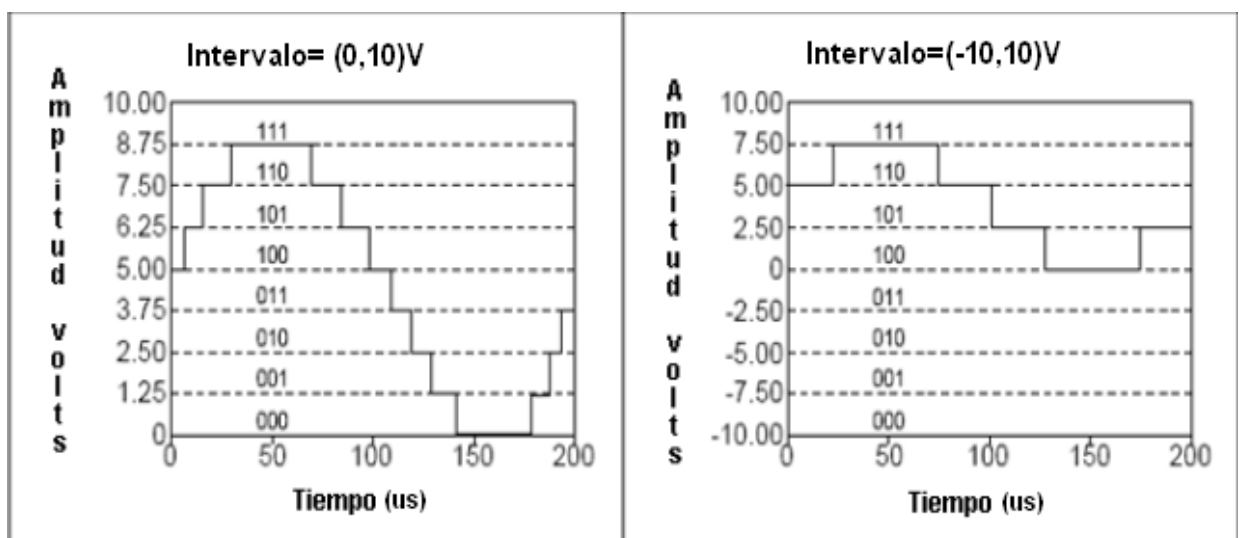


Figura I.4. Margen del convertidor A/D

### 1.2.3. Límites de la señal de entrada

En LabView se define como límites de la señal, al valor máximo y mínimo de la señal que se está midiendo. Como ejemplo: En un convertidor A/D de 3 bits, los efectos de establecer los límites entre 0 y 5 V y entre 0 y 10 V se visualizan en la figura I.5.

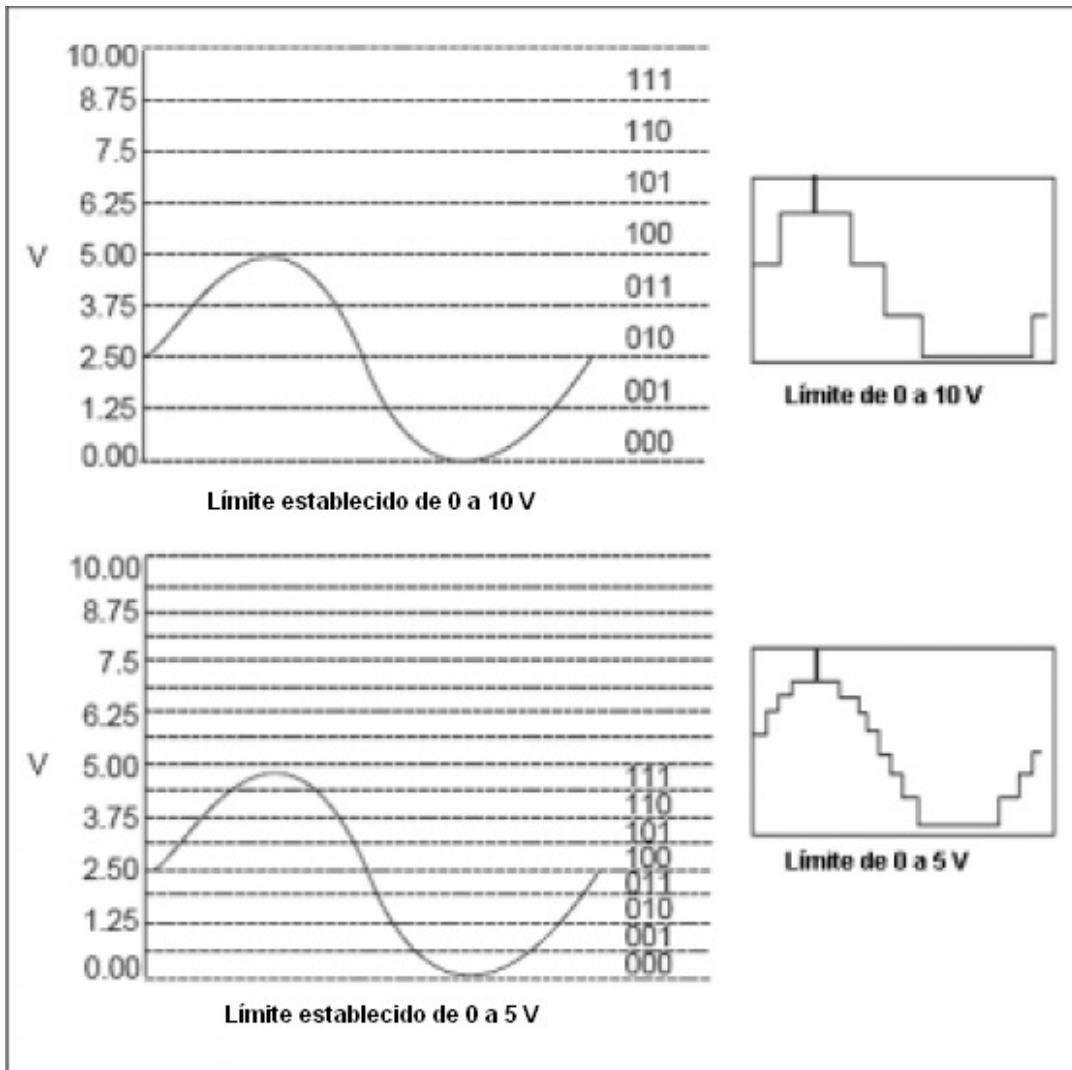


Figura 1.5 Límites de la señal de entrada

#### 1.2.4. Definición de la señal de entrada (consideraciones)

La resolución y el margen del convertidor A/D en el dispositivo de adquisición de datos determinan el cambio mínimo detectable en la señal. Al cambio mínimo detectable se le conoce como *ancho de código* [3] y se calcula como:

$$\text{Ancho de código} = \frac{\text{Margen del dispositivo}}{2^{\text{resolución}}}$$

Para mostrar la aplicación de este concepto se presenta el siguiente ejemplo:  
Dado un margen de entrada de 0 a 10 V y un margen de -10 a 10 V con una resolución de 12 bits.

$$\frac{\text{Margen del dispositivo}}{2^{\text{resolución}}} = \frac{10 - 0}{2^{12}} = 2.4 \text{ mV}$$

$$\frac{\text{Margen del dispositivo}}{2^{\text{resolución}}} = \frac{10 - (-10)}{2^{12}} = 4.8 \text{ mV}$$

Por lo que, entre menor sea el ancho de código se obtiene mayor precisión.

### **1.2.5. Tarjeta de adquisición de datos tipo DAQ (Data Acquisition)**

La tarjeta que se utiliza para realizar la obtención de las señales experimentales y las mediciones correspondientes es una DAQ .

Las capacidades comunes que suelen tener las DAQ son:

- Adquisición de señales analógicas.
- Generación de señales analógicas
- Generación y adquisición de señales digitales
- Contadores y timers
- Trigger
- Autocalibración, sensores, etc.



### 1.2.6. Adquisición de señales analógicas

La entrada de señales analógicas es solo una de las partes que componen a una DAQ. Su estructura habitual se muestra en la figura I.6, en ésta se observa que los canales de entrada se multiplexan, no obstante también hay tarjetas sin multiplexar, lo cual eleva notablemente sus prestaciones y precio; el siguiente bloque es un amplificador de ganancia programable que se usa para adecuar el nivel de la señal al convertidor con el fin de aprovechar todo su intervalo; los siguientes bloques son un filtro “antialiasing”, un circuito de muestreo y retención (SH) y un convertidor analógico digital (A/D); finalmente las muestras adquiridas se almacenan en una memoria FIFO dentro de la propia tarjeta.

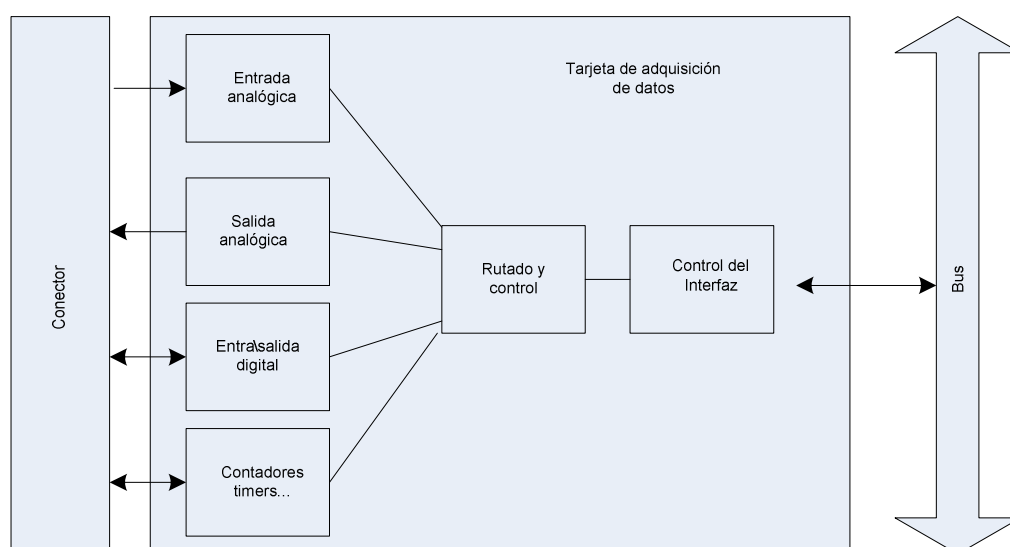


Figura I.6. Esquema a bloques de una tarjeta de adquisición de datos.

### 1.2.7. Configuración de terminales

- La adquisición de la señal puede ser diferencial, referenciada a un punto o no referenciada.
- En la medida diferencial (DIFF) se tendrá en cuenta la diferencia de voltaje entre una línea y otra. En la figura 1.7 se ve cómo el valor final es la diferencia entre las dos líneas de uno de los ocho canales diferenciales, por ejemplo tomando el primer canal.
- Como regla general es preferible una medida diferencial a las otras porque permite que el amplificador de instrumentación rechace tanto el ruido de modo común (aquel que se presenta en ambas entradas del amplificador de instrumentación) que acompaña a la señal y la diferencia de potencial de tierra entre la señal a medir y la tierra de la tarjeta.
- Las medidas con referencia (referenced single-ended, RSE) sí tienen un punto común entre el exterior y la tarjeta DAQ. En el esquema de la figura 1.8 el circuito exterior y la tarjeta DAQ compartirían la misma referencia: AIGND (analog input ground).
- La ventaja de esta medida respecto a la anterior es que habrá más canales disponibles, pero todas esas entradas tendrán la misma referencia. No se recomienda si los voltajes son pequeños, si hay una gran distancia entre el acondicionador y la tarjeta, los cables no están apantallados o se está en un ambiente ruidoso.
- En las medidas sin referencia (nonreferenced single-ended, NRSE) la señal exterior y la circuitería de la tarjeta DAQ no tienen una referencia común.

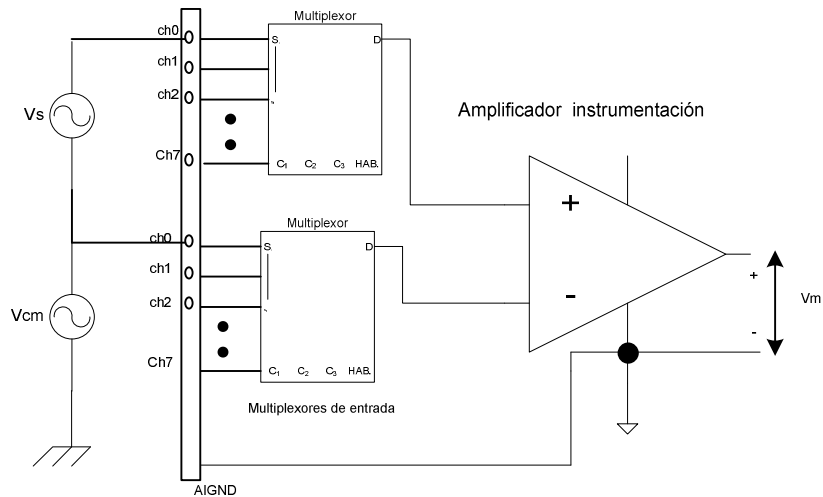


Figura I.7. Conexión de una señal a un canal en modo diferencial

El modo de conexión diferencial se utiliza cuando el sistema de adquisición de datos DAQ posee una de las siguientes características:

- Las señales de entrada son de bajo nivel (menores a 1 V).
- Los conductores de conexión de la señal son generalmente mayores a 3 m.
- Los conductores de conexión de la señal se encuentran instalados en ambientes ruidosos.
- Cualquiera de las señales de entrada requiere de una señal de referencia o retorno separada.

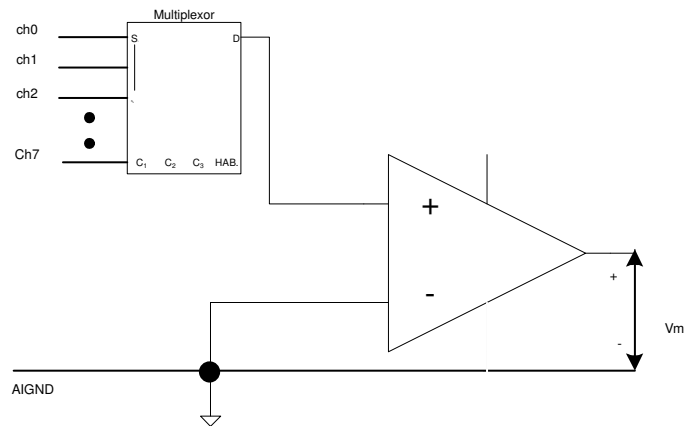


Figura 1.8. Entrada analógica con referencia común.

### 1.2.8. Conversión a digital

- El paso clave en la adquisición de datos es la digitalización. Para ello se emplea un circuito de muestro y retención (*Sample and Hold*) que captura el voltaje de la entrada y lo mantiene estable el tiempo necesario para que el conversor analógico a digital calcule el valor de su salida. El voltaje ha sido previamente escalado por un amplificador de ganancia programable para ajustarse lo máximo posible al intervalo conversor.
- El proceso de muestreo de una señal es obtener el valor de la misma en ciertos instantes, esos valores son muestras de la señal o “samples”. En una adquisición continua se considera por simplicidad que el tiempo entre una muestra y la siguiente será constante, es lo que se denomina frecuencia de muestreo. En la figura 1.9 se despliega este proceso, los puntos sobre la curva representan los “samples” (muestras), el valor en esos puntos será el que le llegue al conversor analógico digital.

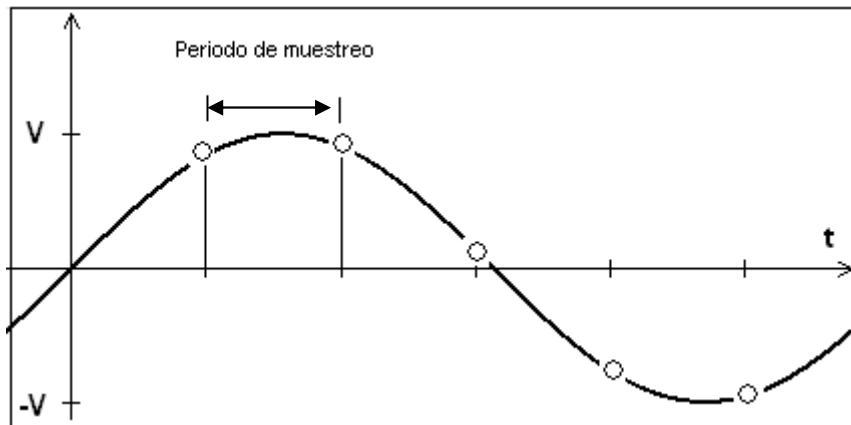


Figura 1.9 Periodo de muestreo

### 1.2.9. Procesamiento

- La digitalización de señales analógicas es necesaria para ser procesada y/o almacenada por ordenadores u otros equipos que trabajan en el dominio digital.
- Las tarjetas de adquisición de datos tienen una memoria en la que almacenan las muestras adquiridas. Esta memoria es de tipo FIFO (*First Input First Output*). Por su parte, el ordenador también tendrá reservado un espacio de memoria para transferir los datos de la tarjeta al PC; la parte de memoria del ordenador reservada para las muestras de la tarjeta DAQ se llamará “buffer”.
- En la transferencia de datos entre la tarjeta y el ordenador habrá mayor o menor flujo de información en función de la aplicación. El volcado de datos de una memoria a otra se realiza de forma programada, usando interrupciones o mediante una transferencia DMA (*Direct Memory Acces*); este último método suele ser el más eficaz al realizarse todo el proceso sin intervención del CPU, la

transferencia es gobernada por un controlador DMA que toma posesión del “bus”, mientras tanto la CPU puede realizar otras tareas (que no necesiten acceder al bus).

- Las tarjetas DAQ pueden tener varias FIFO, por ejemplo uno para la adquisición analógica, otro para la generación y otro para los canales digitales. Tanto las memorias FIFO como los “buffers” tienen un tamaño limitado, por lo que se deben evitar errores de “underflow” y “overflow” que se producen cuando la memoria es insuficiente para representar los bits resultantes de alguna operación realizada durante la adquisición de las señales.
- Para la generación de datos hay varias formas de usar los buffers. El primer método es parecido a la adquisición: se van almacenando las muestras en memoria y se van generando. Almacenar en memoria todas y cada una de las muestras genera un gran tráfico de datos en el “bus”, cuando se forma una señal periódica es más eficiente almacenar todas las muestras en memoria en una sola vez y repetir el patrón almacenado varias veces, disminuyendo así la transferencia de datos; National Instruments llama a este método “regeneración”.
- En el caso concreto de la adquisición, una vez que las muestras están en el “buffer” sólo resta ordenarlas (en el caso que haya varios canales adquiriendo datos a la vez), escalarlas y asignarles atributos como tiempo, etc. En algunas aplicaciones de alto rendimiento estos datos podrían posponerse para hacerlos “offline” (fuera de línea) en lugar de hacerlos en tiempo real, y así

evitar una sobrecarga de tareas a la CPU que podría provocar los errores antes comentados.

### **1.3. Implementación de la tarjeta PCI-MIO-16E-1**

#### **1.3.1. Características de las tarjetas de la serie E**

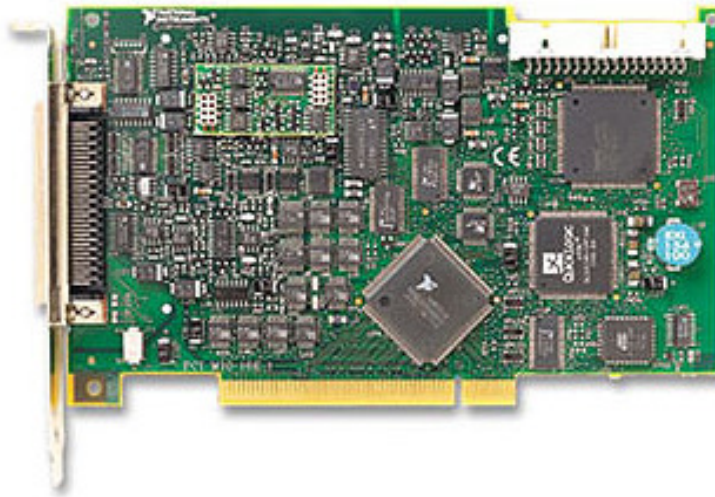
La tarjeta PCI-MIO-16E-1 pertenece a la familia PCI E de National Instruments y es detectable por “Plug” y “Play”. Esta familia de tarjetas se caracterizan con entradas de convertidores A/D de 16 y 64 bits así como con voltajes de salida DACs de 12 y 16 bits, y ocho líneas de entrada/salida digital TTL, y dos contadores para “timing” de 24 bits. La familia de tarjetas PCI E no tiene DIP “switches”, “jumpers” o potenciómetros y por lo tanto son configurables desde software.

Las especificaciones de la tarjeta son las siguientes:

- Tiene 16 canales “single-ended” (los canales pueden ser usados para entradas analógicas o como salidas analógicas ) u 8 diferenciales
- El tipo de convertidor A/D es de aproximaciones sucesivas.
- Tiene una resolución de 12 bits.
- La velocidad máxima de muestreo es de 1.25 MS/s por los 16 canales.

Intervalos de entrada de la señal		
Ganancia de canal	Intervalo	
	Bipolar	Unipolar
0.5	$\pm 10$ V	-
1	$\pm 5$ V	0 a 10 V
2	$\pm 2.5$ V	0 a 5 V
5	$\pm 1$ V	0 a 2 V
10	$\pm 500$ mV	0 a 1 V
20	$\pm 250$ mV	0 a 500 mV
50	$\pm 100$ mV	0 a 200 mV
100	$\pm 50$ mV	0 a 100 mV

*Tabla I.2 Intervalos de voltaje de la tarjeta*



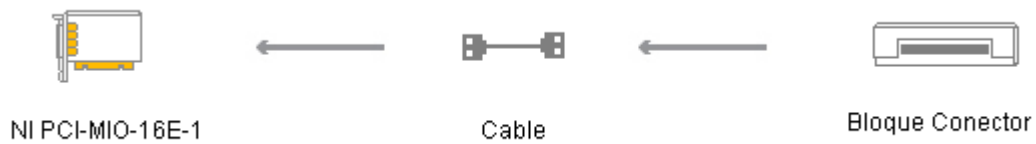
*Figura I.10. Tarjeta de adquisición de datos PCI-MIO-16E-1*

### 1.3.2. Módulo y cables de conexión

Las señales que provienen del fotomultiplicador, fotodiodo, medidor de fuerza y el disparo (ver figura I.1.) se conectan a la tarjeta de adquisición de datos, con un cable especial que comunica directamente con la tarjeta más un



bloque que se manipula con entradas BNC para medir la señal. En la figura I.11 se muestra el esquema de conexión.



*Figura I.11 Esquema de conexión de la tarjeta*

### **1.3.3. Bloque de terminales de conexión**

Debido a que el tipo de señales son menores a un volt, bipolares y la longitud de los cables de conexión son de aproximadamente 1 m, se diseñó un bloque para 6 entradas en modo diferencial más el “trigger” (disparo) para conectar la fuente de cada señal con la tarjeta de adquisición (Ver Figura 1.12).



*Figura I.12. Bloque de terminales de conexión*

El diagrama de bloques de la tarjeta PCI-MIO-16E-1 y el diseño del impreso del bloque de terminales de conexión se encuentran en el anexo C y anexo D respectivamente.

#### **1.3.4. Cable de conexión**

Para la conexión de la tarjeta con el bloque se optó por el tipo convencional que tiene las entradas seleccionadas y corresponde al número de pines de la tarjeta. En la figura I.13 se muestra la forma física del cable de tipo R6850; en el caso de la figura I.14 se muestra la configuración de los pines.



*Figura I.13 Cable R6850*

AIGND	1	2	AIGND
ACH0	3	4	ACH8
ACH1	5	6	ACH9
ACH2	7	8	ACH10
ACH3	9	10	ACH11
ACH4	11	12	ACH12
ACH5	13	14	ACH13
ACH6	15	16	ACH14
ACH7	17	18	ACH15
AISENSE	19	20	DAC0OUT
DAC1OUT	21	22	EXTREF
AOGND	23	24	DGND
DIO0	25	26	DIO4
DIO1	27	28	DIO5
DIO2	29	30	DIO6
DIO3	31	32	DIO7
DGND	33	34	5 V
5 V	35	36	SCANCLK
EXTSTROBE	37	38	PF10/TRIG1
PF11/TRIG2	39	40	PF12/CONVERT
PF13/GPCTR1_SOURCE	41	42	PF14/GPCTR1_GATE
GPCTR1_OUT	43	44	PF15/UPDATE
PF16/WFTRIG	45	46	PF17/STARTSCAN
PF18/GPCTR0_SOURCE	47	48	PF19/GPCTR0_GATE
GPCTR0_OUT	49	50	FREQ_OUT

*Figura 1.14 Configuración de los pines*

### 1.3.5. Especificaciones del equipo de cómputo

Las especificaciones del equipo propuesto son las siguientes:

- CPU: Procesador Intel® Core™2 Quad 2.4 GHz.
- Memoria Ram: 2 Gb expandible a 3 Gb
- Controlador de Video integrado de 128 Mb
- 3 slots de expansión PCI
- Gabinete genérico minitorre
- Tarjeta LAN integrada Gigabit Ethernet
- Ratón óptico
- Teclado multimedia

- Disco duro de 80 Gb

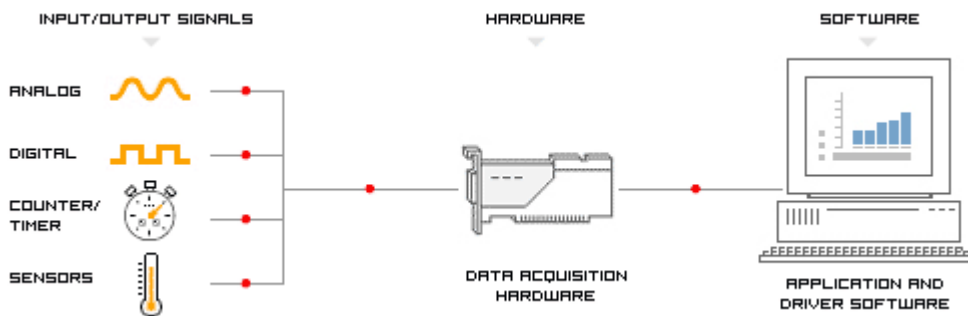
Cabe aclarar que el equipo fue ensamblado dentro del laboratorio de pruebas no destructivas. En la figura I.15 se muestra una imagen con las características del equipo elegido.



Figura I.15 Características del equipo de cómputo

### 1.3.6. Sistema completo

Por último, en la figura I.16 se muestra el esquema general de un sistema de adquisición de datos. Como se aprecia la tarjeta no requiere de algún acondicionador de señales y lo que importa en este caso es el bloque conector y el software que controlará a la tarjeta.



*Figura I.16. Esquema general de un sistema de adquisición.*

Por último en la figura 1.17 se tiene al sistema completo de adquisición de datos donde se aprecia tanto al bloque conector como al hardware. La programación del software y el diseño final son mostrados en el capítulo II.



*Figura I.17 Sistema completo de adquisición*

# **CAPÍTULO II**

Programación de la tarjeta PCI-MIO-16E-1 mediante  
LabView

En este capítulo se hace una descripción del software utilizado para programar la tarjeta. Se describe el entorno del software empleado para la generación de la interfaz de usuario, justificando su empleo sobre otras plataformas disponibles en el mercado. Al final se describen las rutinas y funciones necesarias para la instrumentación del experimento de la reproducción de la luminiscencia por colapso de burbuja cónica.

## **2.1. Breve introducción a LabView**

LabVIEW es el acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench. Es un lenguaje y a la vez un entorno de programación gráfica en el que se pueden crear aplicaciones de una forma rápida y sencilla.

National Instruments es la empresa desarrolladora y propietaria de LabVIEW, comenzó en 1976 en Austin, Texas y sus primeros productos eran dispositivos para el bus de instrumentación GPIB. En abril de 1983 comenzó el desarrollo de lo que sería su producto estrella: LabVIEW, que vería la luz en octubre de 1986 con el lanzamiento de LabVIEW 1.0 (los ordenadores más populares en aquella época que ya disponían de interfaz gráfica) y en 1990 la versión 2. Para Windows habría que esperar a septiembre de 1992.

LabVIEW es una herramienta de programación gráfica. Originalmente estaba orientado a aplicaciones de control de instrumentos electrónicos usadas en el desarrollo de sistemas de instrumentación, lo que se conoce como instrumentación virtual. Por este motivo los programas creados en LabVIEW se guardarán en ficheros llamados VI y con la misma extensión, que significa

instrumento virtual (Virtual Instrument). También relacionado con este concepto se da nombre a sus dos ventanas principales: un instrumento real tendrá un Panel Frontal donde estarán sus botones, pantallas, etc. y una circuitería interna. En LabVIEW estas partes reciben el nombre de Panel Frontal y Diagrama de Bloques respectivamente.

Las ventajas principales de usar LabView son:

- La posibilidad de trabajar con programas con otra área de aplicación, como Matlab o Excel. Además, se adapta a muchos sistemas operativos, incluyendo Windows y Unix, siendo el código transportable de uno a otro sistema.
- Permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes).
- Es simple de manejar, debido a que está basado en un sistema de programación gráfica, llamado lenguaje G.
- Es un programa enfocado hacia la instrumentación virtual, por lo que cuenta con numerosas herramientas de presentación, en gráficas, botones, indicadores y controles, los cuales son muy esquemáticos y versátiles. Estos serían complicados de realizar en bases como C++, donde el tiempo para lograr el mismo efecto sería mayor.
- Es un programa que contiene librerías especializadas para manejo de diversas tarjetas de adquisición de datos (DAQ, por sus siglas en inglés),



redes, comunicaciones, análisis estadístico, comunicación con bases de datos (útil para la automatización de una empresa a nivel total).

- LabView se programa con subrutinas en módulos de bloques que interactúan con otros bloques anteriores que suelen haber sido creados por otras personas.

## **2.2. Pruebas de funcionamiento de la DAQ mediante MAX**

Cuando se tiene un producto de National Instruments se verifica y accede al mismo mediante un asistente denominado MAX (Measurement & Automation Explorer). Usando MAX es más fácil y rápido realizar pruebas del producto (compatibilidad con el hardware, requerimiento de drivers, medición de prueba de alguna variable, etc.) antes de iniciar con la programación y puesta en funcionamiento. La tarjeta PCI-MIO-16E-1, como se mencionó en el capítulo I, cuenta con diferentes entradas analógicas, por lo cual cada una fue probada utilizando como fuente a un generador de señales.

En la parte izquierda de la ventana, en la sección de *Configuration* se exploran las distintas capetas que contienen la información sobre los distintos dispositivos, drivers y programas como se muestra en la figura II.1.

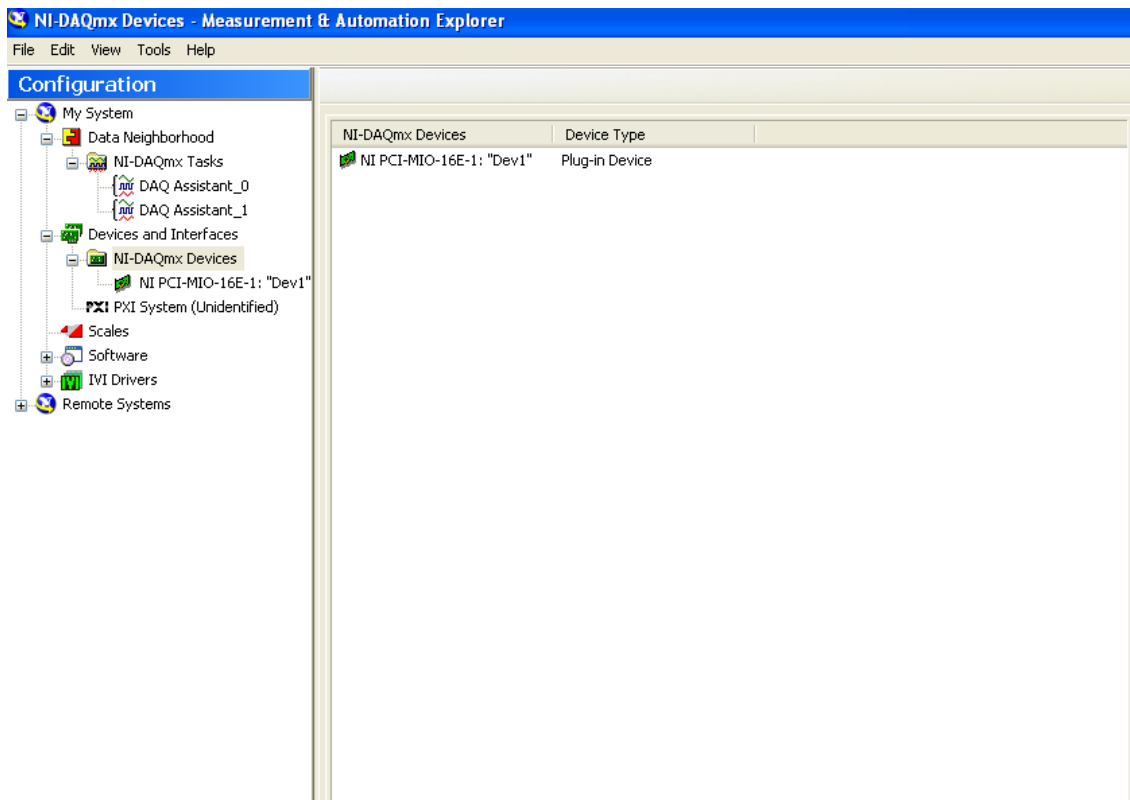


Figura II.1 Pantalla de presentación de MAX

A continuación se hace una breve descripción de cada una de ellas.

- **Data Neighborhood:** en esta carpeta es donde se establecen los canales virtuales, tareas, etc., de los diferentes dispositivos que van a ser implementados. Para ello se utiliza un asistente que aparece al seleccionar el botón *Create New*. En la figura II.2a se muestra el asistente a elegir llamado *NI-DAQmx Task* que corresponde al de la tarjeta PCI-MIO-16E-1 figura II.2b.

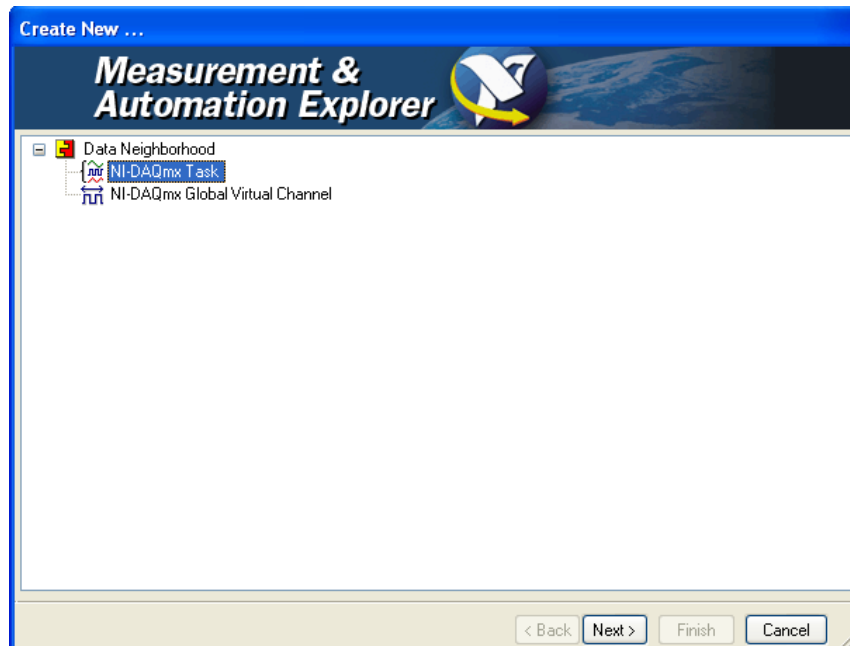


Figura II.2a Creando una nueva tarea.

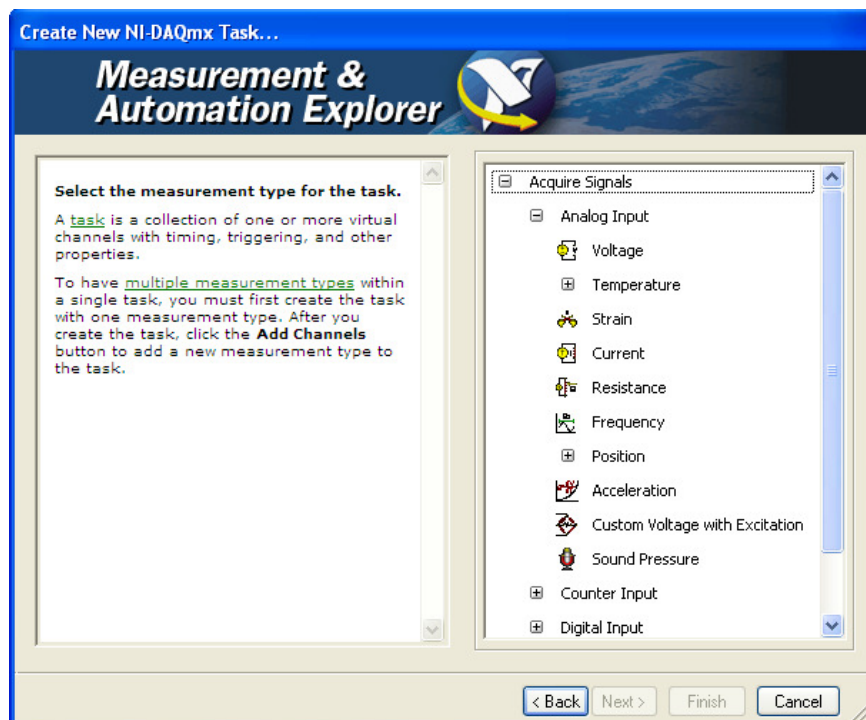


Figura II.2b Tarea correspondiente a la tarjeta PCI-MIO-16E-1

- **Devices and Interfaces:** en esta carpeta es donde se muestran y se editan los atributos de los diferentes dispositivos que se encuentran instalados en el ordenador. La tarjeta PCI-MIO-16E-1 se muestra en la figura II.3.

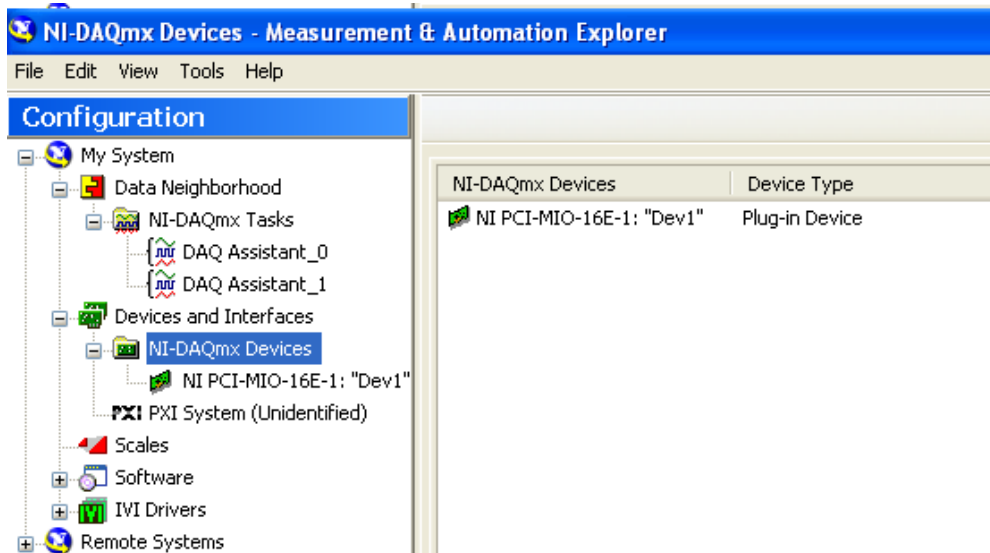


Figura II.3 Se visualiza que la tarjeta PCI-MIO-16E-1 está instalada en el equipo

- **Scales:** aquí es donde se almacenan y modifican los parámetros relacionados con las escalas que pueden usar las tareas. Las escalas son una fórmula que se aplica a todas las tareas.
- **Software:** muestra información sobre el software instalado, entre otros LabView, librerías GPIB, librerías DAQ y sobre el propio MAX.

Por último en la figura II.4 se muestra una señal senoidal de 100 Hz y 200 mV<sub>pp</sub> adquirida mediante la tarjeta de adquisición de datos.

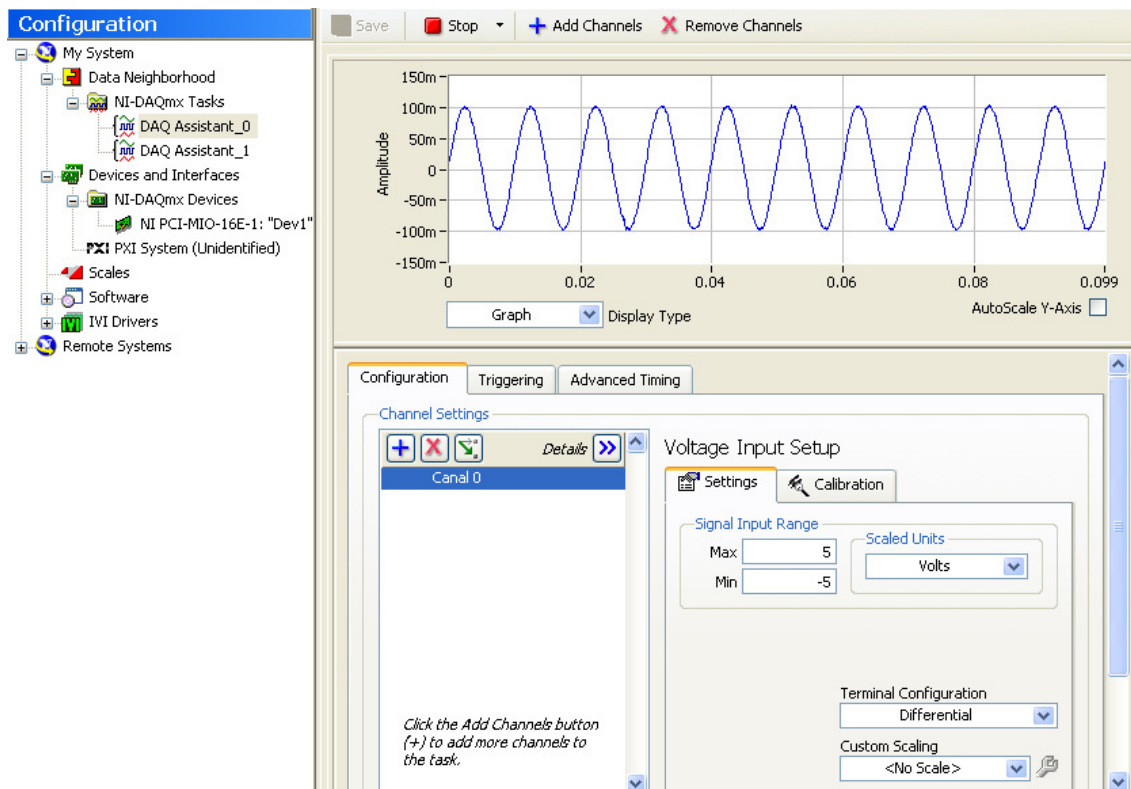


Figura II.4 señal de prueba adquirida mediante MAX.

Nuevamente se hace énfasis que utilizando MAX no es necesario saber programar en LabView y cualquier dispositivo de National Instruments es susceptible de ser probado, adelantando los posibles inconvenientes que pueda tener el dispositivo o hardware en uso.

### 2.3. Programar con LabView

Como se hizo mención anteriormente LabView utiliza un sistema de programación gráfica haciéndolo un lenguaje muy distinto a lenguajes de programación que se basan en texto, como C, Visual Basic o Fortran

[2,3,16,17]. La principal diferencia de LabView respecto a los lenguajes de programación anteriormente mencionados y por lo cual utiliza símbolos gráficos, denominados iconos, para representar el programa de acciones.

En LabVIEW un instrumento virtual se define como un módulo de software que simula el panel frontal en un instrumento físico, y requiere de la ayuda de algunos elementos del hardware como tarjeta de adquisición de datos, puerto USB, puerto serie, etc. Para realizar mediciones que son equivalentes a las obtenidas por un instrumento real. De esta forma, cuando se ejecuta un programa que actúa como instrumento virtual, el usuario observará en la pantalla de una computadora un panel que tiene una función idéntica a la de un instrumento físico que puede ser fácilmente manipulado para los fines que se tengan.

Cuando se tiene un programa realizado en LabView, éste consta de dos partes: el panel frontal y el diagrama de bloques. En el panel frontal de la aplicación desarrollada se visualiza la interfaz de usuario que contiene los elementos que caracterizan el programa. En él se ven y se manipulan los datos como se muestra en la figura II.5

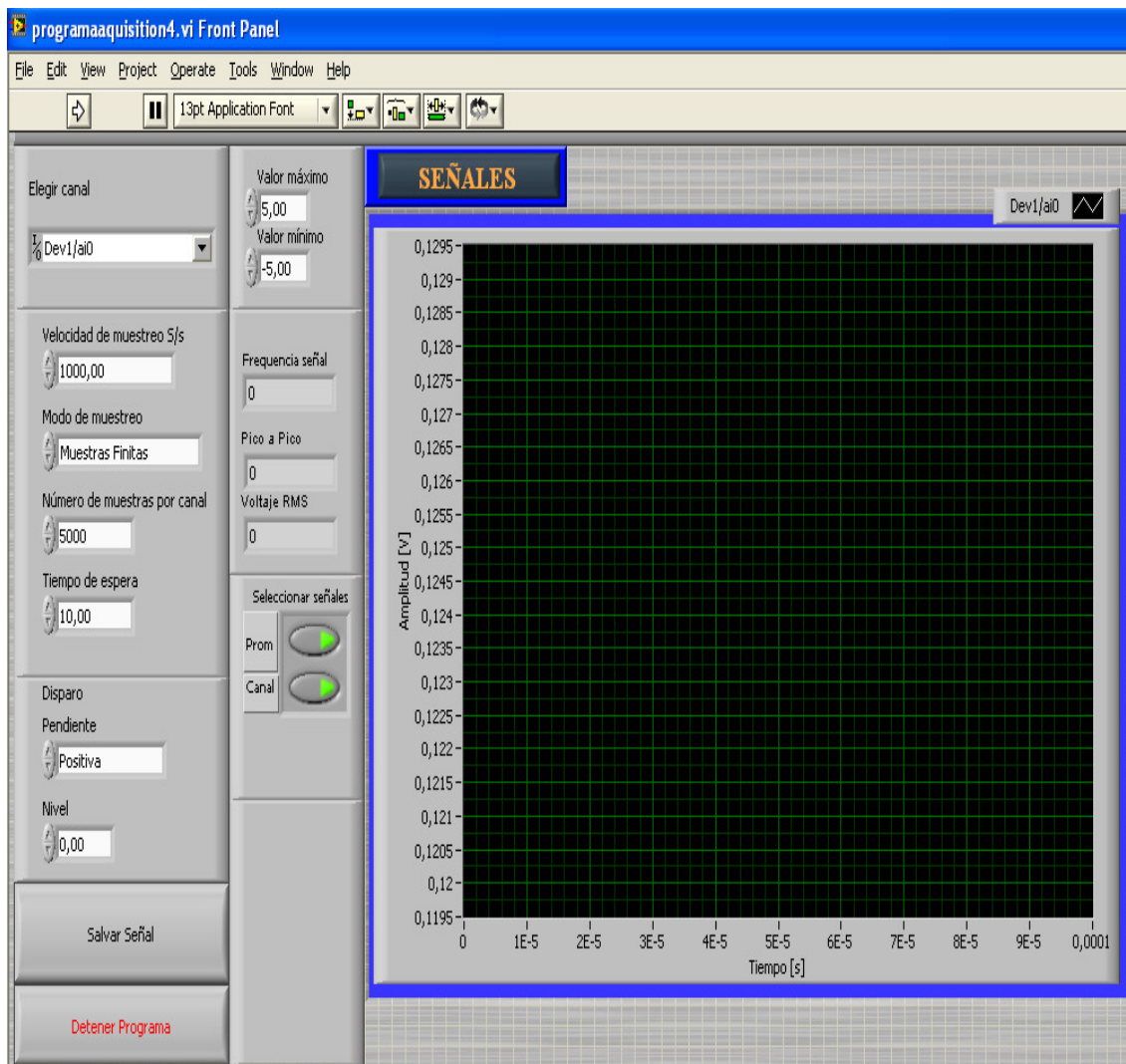


Figura II.5 Panel Frontal del Instrumento Virtual (VI)

En el caso del diagrama de bloques se visualiza la estructura del programa, su función y algoritmo, de forma gráfica en lenguaje G, en el cual los datos “fluyen” a través de líneas, Figura II.6. Más adelante se hace una explicación a detalle de cada bloque.

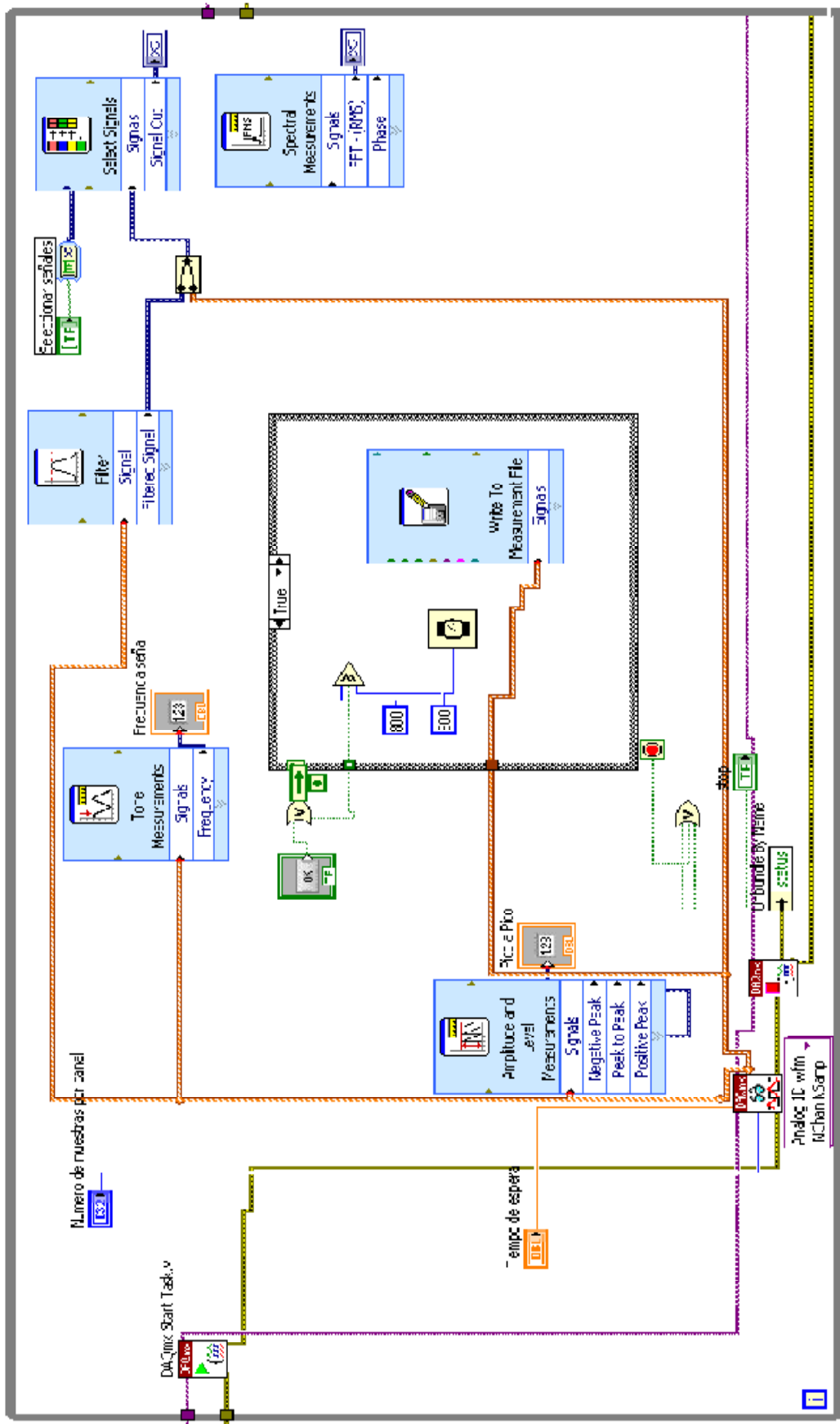


Figura II.6 Diagrama de bloques en lenguaje G



## 2.4. Panel de control del sistema de adquisición de datos

El sistema de adquisición de datos es muy similar a un osciloscopio, por lo cual cuenta con una interfaz que permite al usuario interactuar con los parámetros del equipo y que se encuentran limitados propiamente por la tarjeta PCI-MIO-16E-1. En este panel de control se incluyen dos pantallas gráficas que permiten visualizar las señales adquiridas durante el experimento así como su procesamiento. Por otro lado se agregan varios campos *select* que permiten la configuración de la tarjeta para adquirir las señales así como indicadores para realizar las mediciones necesarias.

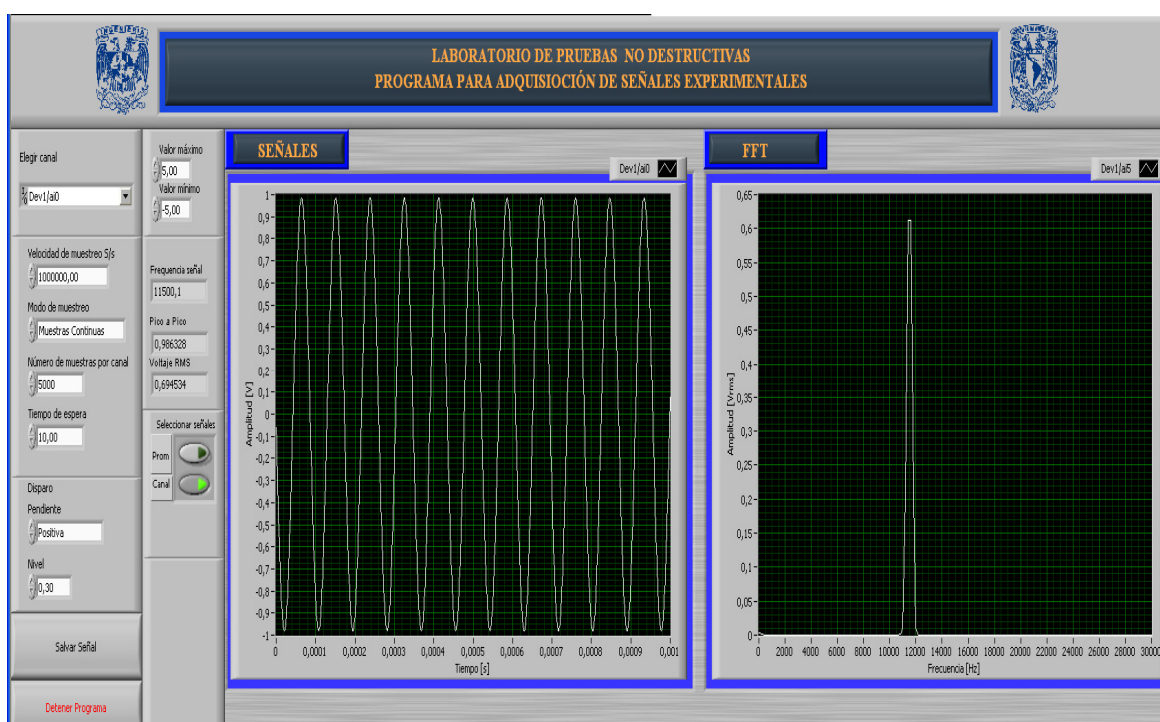
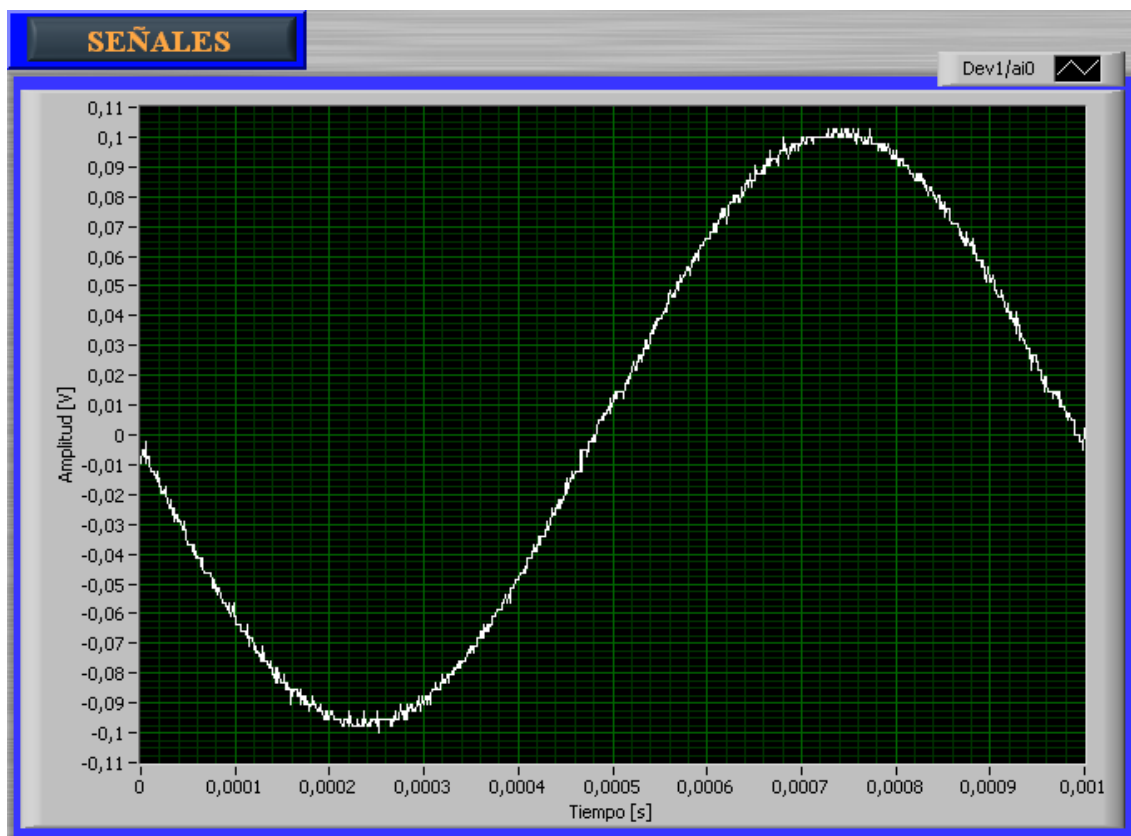


Figura II.8 Panel Frontal del programa para la adquisición de señales experimentales

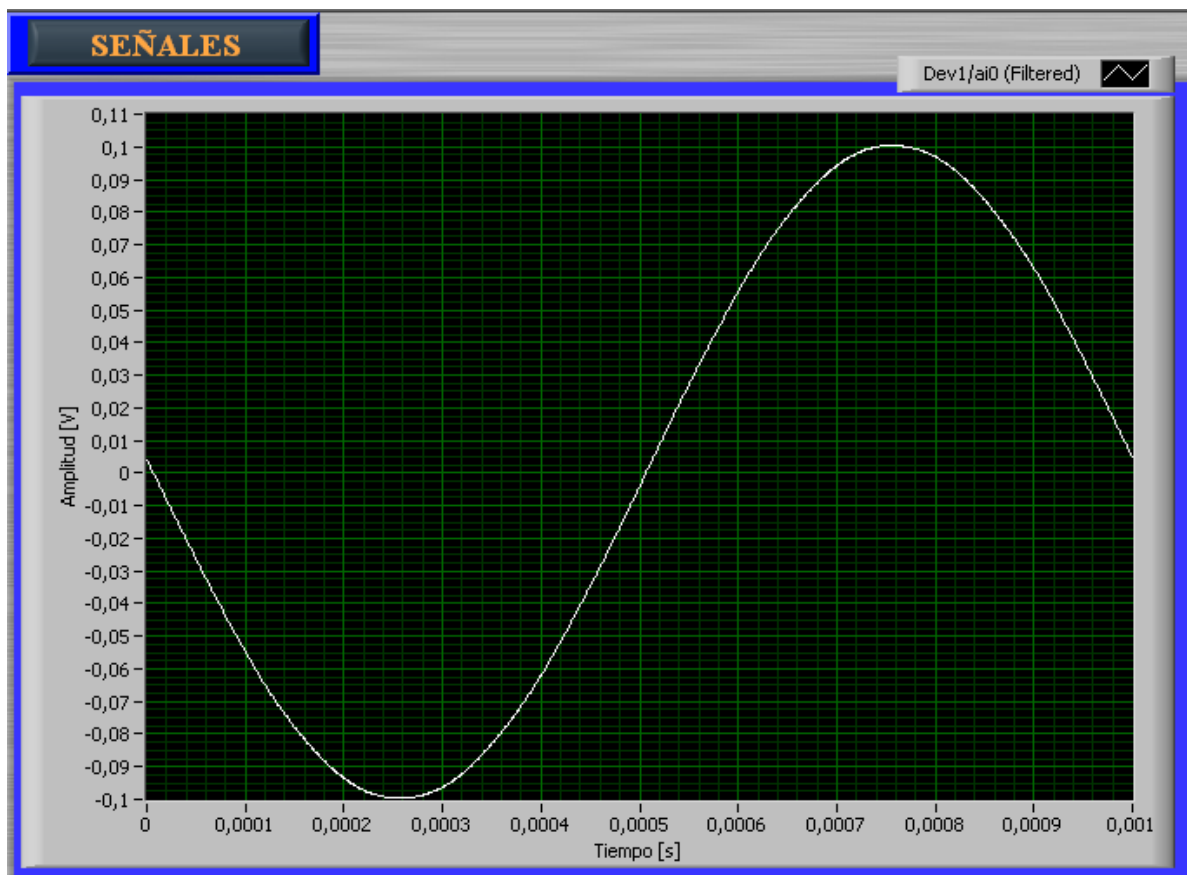
## 2.5. Controles e indicadores

En el panel frontal, la primera pantalla gráfica tiene la capacidad de mostrar dos tipos de gráficas. El primer tipo corresponde a la señal adquirida en el dominio del tiempo. En el eje de las abscisas se muestra el tiempo en segundos; para el caso del eje de las ordenadas la información contenida corresponde al nivel de voltaje de la señal y se encuentra en volts.



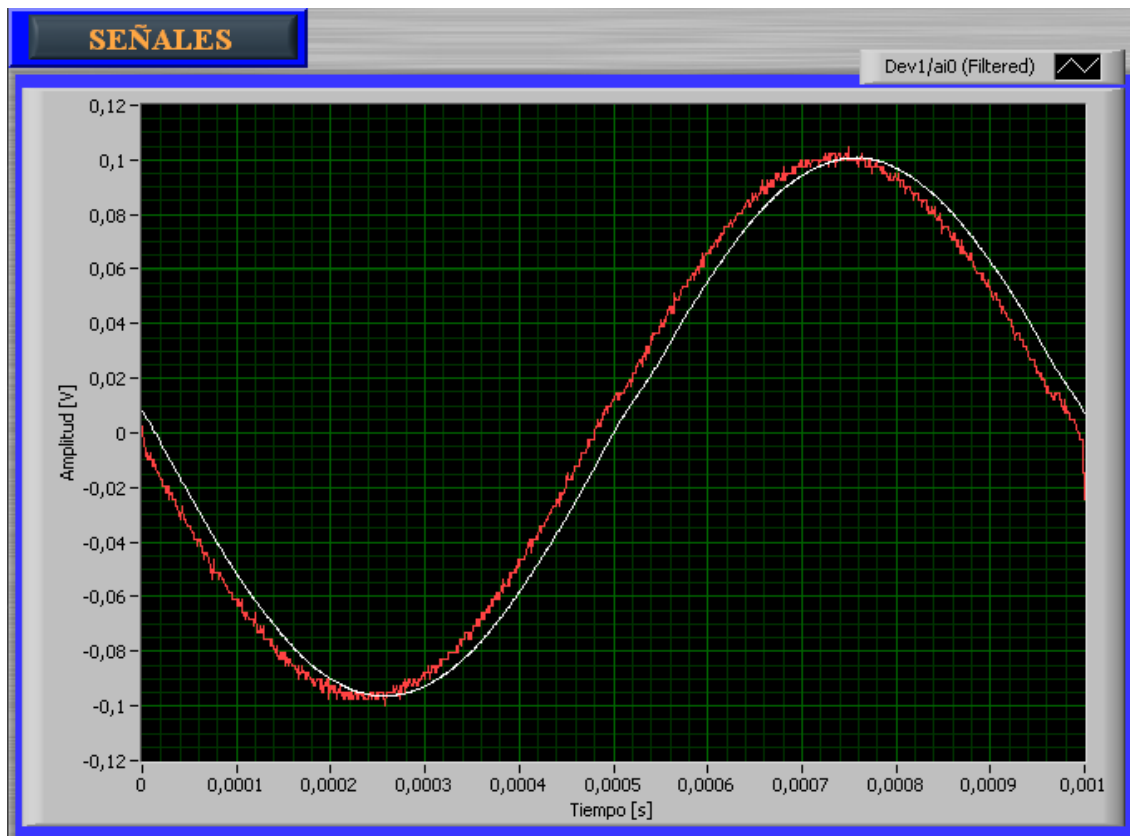
*Figura II.9 Señal adquirida en el dominio del tiempo.*

El segundo tipo de gráfica mantiene las mismas características descritas anteriormente pero corresponde a la señal filtrada. Ver figura II.10.



*Figura II.10 Gráfica de la señal filtrada.*

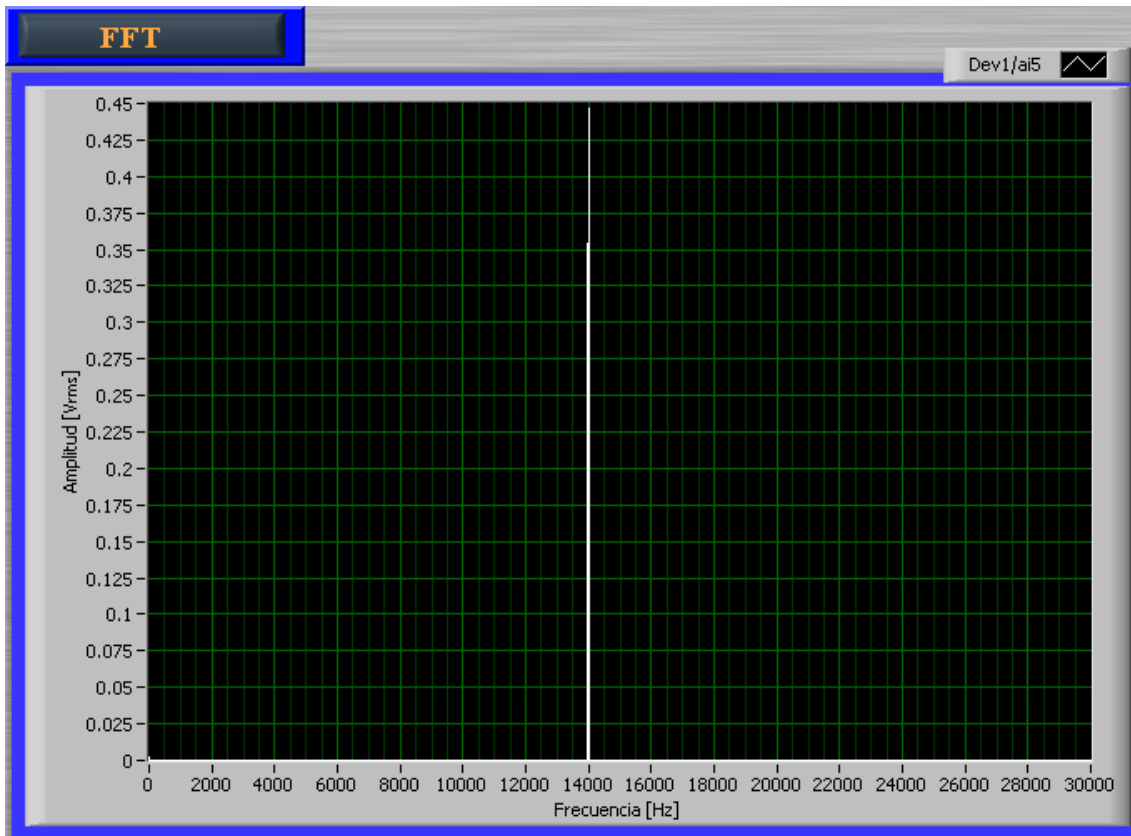
Si se compara la gráfica de la figura II.9 con la figura II.10 se observa que la última no tiene ruido agregado además de aparecer en la esquina superior derecha una leyenda entre paréntesis con el contenido Filtered indicando que la gráfica que se muestra corresponde a la misma señal pero después de haber sido filtrada. En la figura II.11 se muestran ambas gráficas en la misma pantalla haciendo la comparación descrita.



*Figura II.11. Comparación de las dos señales*

La señal anteriormente descrita tiene una frecuencia de 1 KHz y una amplitud de  $2 V_{pp}$ .

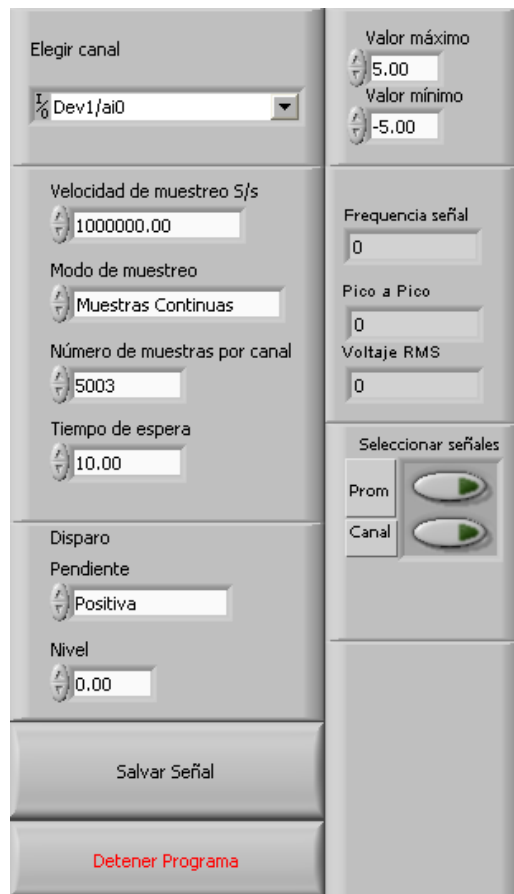
La segunda pantalla gráfica muestra la FFT (Fast Fourier Transform) de la señal. El eje de las abscisas muestra la frecuencia en Hertz mientras que el eje de las ordenadas muestra la amplitud en  $V_{rms}$ . La figura II.12 muestra un espectro de una señal senoidal de 14 KHz.



*Figura II.12 Espectro de una señal senoidal*

En el Capítulo III se hace una descripción más completa de los conceptos anteriormente mencionados como el filtrado y el espectro de una señal.

En la parte izquierda del panel frontal se agregaron todos los controles para manipular los parámetros necesarios cuando se realiza una medición. En la figura II.13 se muestra la sección de botones y controles.



*Figura II.13 Sección de controles*

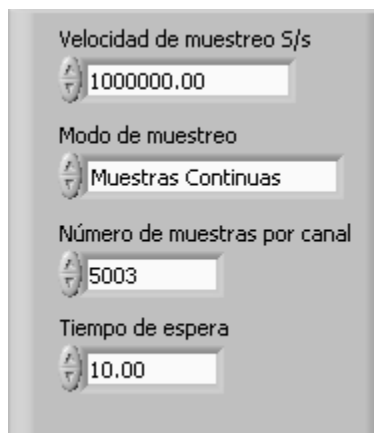
En la parte superior izquierda se muestra un campo denominado *elegir canal* que tiene como finalidad especificar los nombres de los canales físicos a usar para crear canales virtuales. Cuando se presiona sobre el seleccionador, se muestran todos los canales disponibles de la DAQ instalados. En la figura II.14 se muestran los canales de la DAQ PCI-MIO-16E-1.



Figura II.14 Listado de los canales de la DAQ

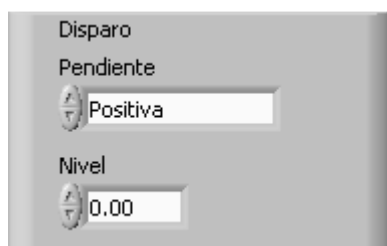
El segundo módulo que se encuentra debajo de la opción de *elegir canal* consiste en un grupo de controles numéricos con el propósito de configurar la forma en que se toman las muestras de la señal adquiridas. El primer control numérico denominado *velocidad de muestreo* se encarga de modificar la velocidad con que las muestras son adquiridas en S/s (de las siglas en inglés Samples per second). El segundo control denominado *Modo de muestreo* permite seleccionar entre tres opciones diferentes (Muestras continuas, Muestras Finitas y Muestreo por hardware) para comenzar con la adquisición de la señal. Por defecto se tiene seleccionado Muestras continuas debido a que el número de muestras serán adquiridas siempre que el VI se encuentre en ejecución. Con el tercer control numérico, *Número de muestras por canal*, se modifica la cantidad de muestras que son adquiridas y presentadas en las pantallas gráficas. Por último el control numérico, *Tiempo de espera*, modifica la cantidad de tiempo en segundos a esperar para que las muestras se encuentren disponibles. Esto implica que después de haber obtenido el número de muestras indicadas con el tercer control, los datos volverán a ser adquiridos

hasta que haya pasado el tiempo establecido mediante el control *Tiempo de espera*. En la figura II.15 se muestra el módulo completo sobre muestreo.



*Figura II.15 Módulo de muestreo con 4 controles*

El tercer módulo después del módulo de muestreo se denomina *Disparo* o trigger. Éste módulo tiene como función establecer una referencia para iniciar con la adquisición de datos. Con el control superior se tienen dos posibles niveles de referencia que establece el signo, ya sea positivo o negativo, del siguiente control numérico denominado *Nivel*. En el caso del control numérico inferior se establece un valor numérico positivo que al ser superado por la señal se comienza con la adquisición. Cabe aclarar que de no establecerse nivel numérico el programa indica un error debido a que no existe una referencia. En la figura II.16 se muestra el módulo mencionado.

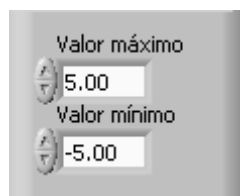


*Figura II.16 Módulo de disparo.*



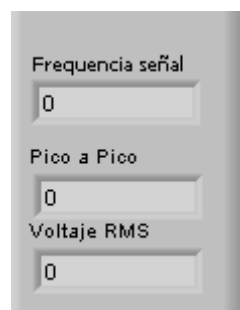
Debajo del módulo de disparo hay dos botones. El botón *Salvar Señal* guarda los datos adquiridos en un archivo de texto que puede ser utilizado desde cualquier programa que pueda realizar el procesamiento de la señal. Por último el botón *Detener Programa* termina con la ejecución del programa.

En la parte superior derecha se encuentran 2 controladores numéricos que tienen como función establecer los límites a medir de la señal de entrada como se definió en el Capítulo I. En la figura II.17 se muestra los dos controladores numéricos donde el valor establecido por defecto es de -5 a 5 V.



*Figura II.17 Límites de medición de la señal.*

El segundo módulo, debajo del módulo que establece los límites de la señal, tiene como función mostrar tres parámetros medibles de la señal. El primer parámetro presentado es la frecuencia en Hz, el segundo es la amplitud en  $V_{pp}$  y por último la amplitud en  $V_{rms}$ .



*Figura II.18 Medidas de la señal*

El tercer módulo tiene la finalidad de seleccionar entre visualizar la señal recién adquirida en la primera pantalla gráfica o mostrar en la misma pantalla a la señal promediada.

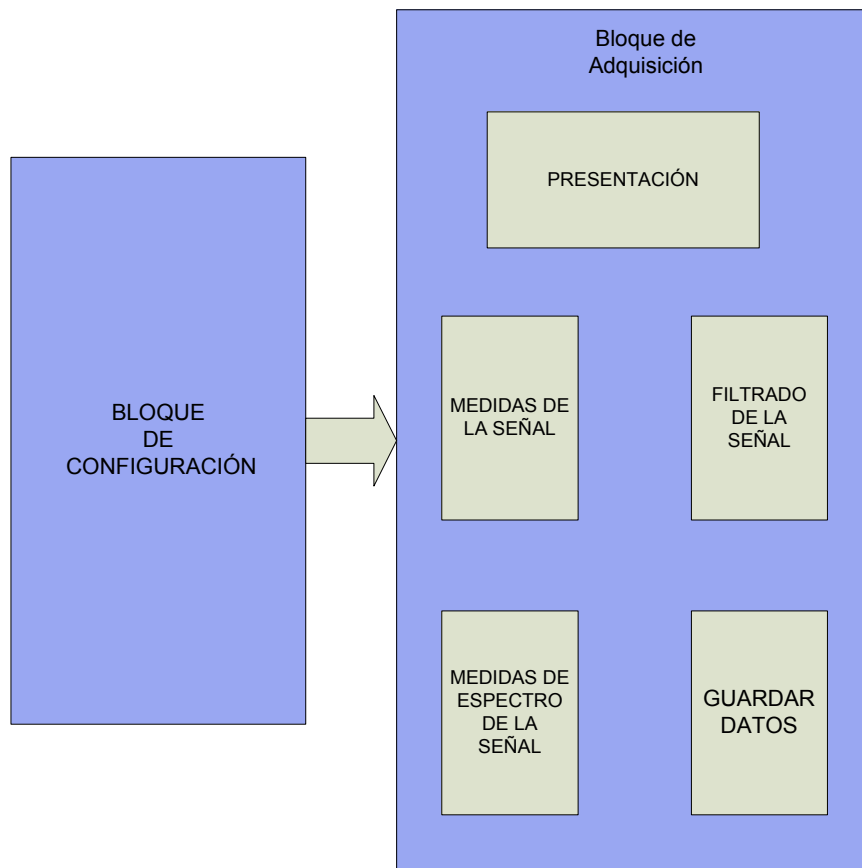


*Figura II.19 Seleccionador de señales*

## **2.6. Diagrama a bloques del programa**

Anteriormente se mencionó que LabView se compone del panel frontal que sirve como interfaz entre la computadora y el usuario, y un diagrama de bloques que es donde se programan las rutinas necesarias para que la interfaz realice los objetivos para los que fue diseñada. En el sistema de adquisición de datos realizado existen dos etapas principales, mismas que en conjunto permiten la lectura y obtención de la señal por medio de la tarjeta de adquisición de datos además de guardar los datos para su posterior procesamiento o análisis.

En la figura II.20 se muestra un diagrama general que ilustra las dos etapas que componen al sistema de adquisición de datos, antes de iniciar con la ejecución del programa, seguido por el inicio de la adquisición de los datos y la lectura de sus respectivos parámetros a medir.



*Figura II.20 Bloques generales que componen al sistema de adquisición de datos*

Como se observa en la figura II.20 el bloque de Adquisición depende únicamente de la configuración de los parámetros de la tarjeta para iniciar con la ejecución del programa. Los pequeños bloques dentro del bloque de Adquisición se ejecutan todo el tiempo a excepción de *Guardar Datos* debido a que éste únicamente se activa cuando el usuario se lo indica y permanece en ese estado hasta que nuevamente se le indique ser detenido.

## 2.6.1. Bloque de configuración

Antes de iniciar con la ejecución del programa, como ya se había mencionado, es necesario configurar los diferentes parámetros de la DAQ para obtener las medidas más confiables. En la figura II.21 se tienen los elementos correspondientes a todo el bloque de configuración.

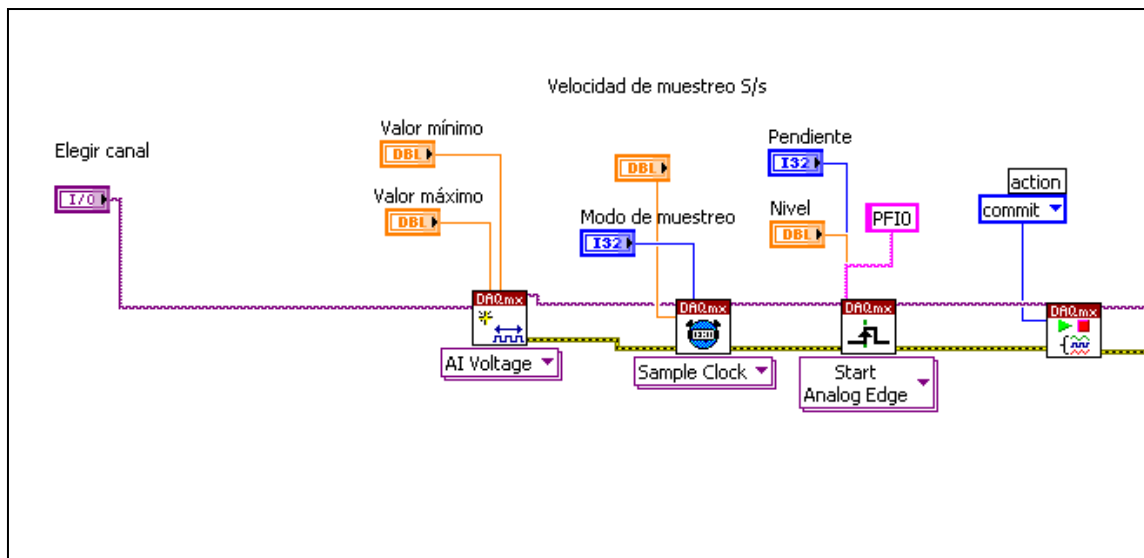






Figura II.21 Bloque de configuración

El bloque de configuración cuenta con tres funciones que controlan la forma en que los datos serán adquiridos por la tarjeta (canales a usar, disparo y la velocidad y modo de muestreo).


La elección del canal y la definición de los límites inferior y superior de la señal son controlados mediante la función DAQmx Create Virtual Channel . Lo que realiza propiamente ésta función es crear un canal virtual para medir voltaje de la señal que es adquirida.

La función DAQmx Timing  configura el número de muestras que son adquiridas además de fijar la velocidad de muestreo.

Como tercera función del bloque de configuración se encuentra el DAQmx Trigger  que tiene como objetivo configurar la forma en que se va a iniciar la adquisición de datos. El disparo o inicio de la adquisición de datos comienza cuando la señal ha superado un cierto nivel de voltaje.

Cada que se inicia el programa para la adquisición de datos es necesario que exista una relación entre el ciclo “*while*” que envuelve al bloque de adquisición y el bloque de configuración. La función DAQmx Control Task  se encarga de mantener la relación entre el bloque de configuración y el bloque de adquisición.

## 2.6.2. Bloque de Adquisición

Una vez que la información necesaria es fijada mediante el bloque de configuración, el programa comienza la ejecución cuando el usuario lo indica. Los datos comienza a “fluir” del bloque de configuración hacia el bloque de adquisición y se inicia la medición. Dentro del bloque de adquisición la función DAQmx Read  se encarga de especificar el formato de las muestras que serán utilizadas por el resto de las funciones que conforman el bloque completo de adquisición. La programación de las medidas de la señal es realizada mediante dos asistentes. El primer asistente denominado “*Tone Measurements*” se encarga de obtener la frecuencia de la señal. El segundo asistente denominado “*Amplitud and Level Measurements*” tiene la finalidad de obtener el valor del voltaje en  $V_{rms}$  y en  $V_{pp}$ .

La figura II.22 muestra los asistentes utilizados para la programación de los parámetros a medir de la señal.

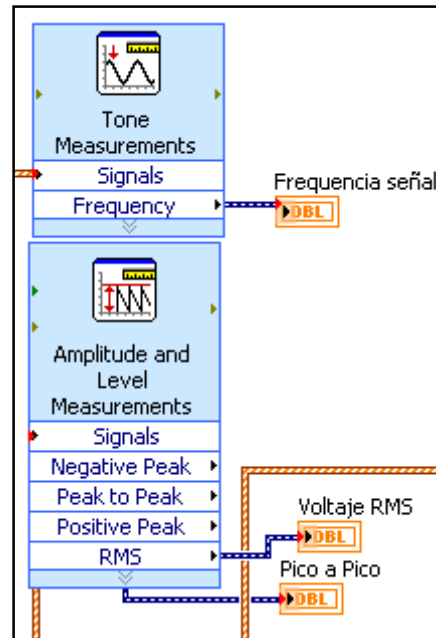


Figura II.22 Asistentes de medición de la señal.

### 2.6.3. Subrutina para guardar datos

Cuando los datos son adquiridos, presentados en pantalla y van de acuerdo a las expectativas del usuario es posible que el usuario desee guardar los datos. Dentro del bloque de Adquisición existe una subrutina que se encarga de guardar una cierta cantidad de datos que el usuario indique en un cierto tiempo. En la figura II.23 se muestra la subrutina completa para guardar los datos.

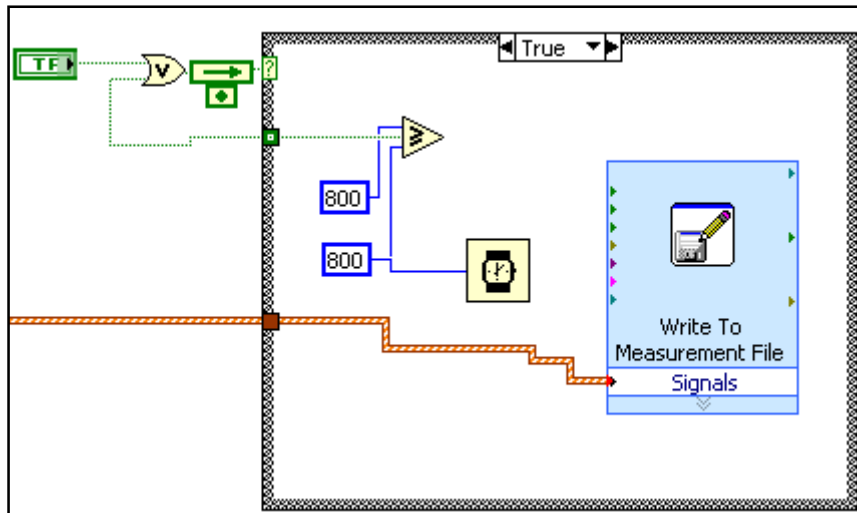



Figura II.23 Subrutina para guardar los datos.

La subrutina para guardar datos consta de una estructura tipo “case” con dos opciones tratándose de una selección tipo “booleana”. Dentro de la estructura case se encuentra un asistente que guarda los datos dentro de un archivo de texto y los separa en dos columnas para su posterior tratamiento. Como los datos continúan siendo adquiridos mientras el programa esté siendo ejecutado, la estructura case también cuenta con una función denominada *wait*  que retarda el tiempo inicial de ejecución del contenido en la estructura case y de esta forma evita generar un número extenso de archivos de texto que no serían de utilidad para el usuario. El número de muestras que se guardan dentro del archivo creado por el asistente se encuentra limitado a 10000.

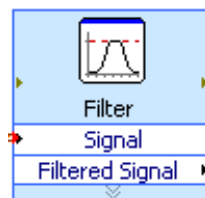
#### 2.6.4. Filtrado de la señal

La finalidad de un filtro es procesar una señal determinada, de tal manera que el término del proceso la señal presente ciertas características en la frecuencia, cambiadas de acuerdo a ciertas especificaciones. El comportamiento selectivo

en frecuencias de un filtro puede manifestarse en el módulo de la señal de salida, en la fase o en ambos.

El filtrado digital es un algoritmo matemático, expresable como una ecuación en diferencias e implementado en hardware o software. El filtro digital tiene varias ventajas, como por ejemplo la capacidad de ejecución de decisiones basadas en reglas lógicas, según valores observados en las señales de entrada o salida.

LabView cuenta con diversas herramientas para la implementación de un filtro digital. Para el caso del programa de adquisición de datos experimentales se eligió a uno en específico dentro de las muchas opciones con las que ofrece LabView. En el capítulo III se darán más detalles de las características del filtro elegido además de profundizar en los conceptos anteriormente mencionados. En la figura II.24 se muestra al asistente denominado *Filter* que se encarga del Filtrado de la señal.



*Figura II.24 Función para filtrado de la señal*

### **2.6.5. Selección de las señales**

Una vez que los datos han sido adquiridos, el usuario tiene la posibilidad de visualizar ya sea a la señal sin procesar o la señal recién filtrada. La figura II.25



muestra el asistente que permite la selección entre la señal filtrada y sin procesar.

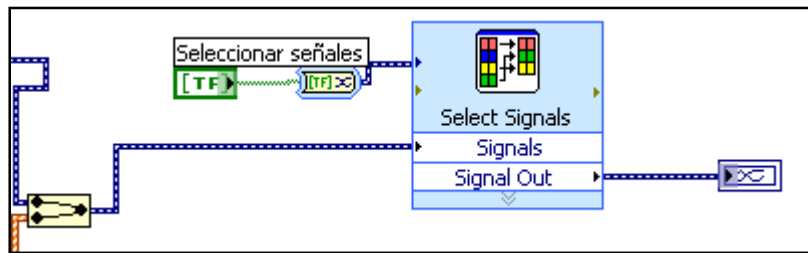





Figura II.25 Asistente para seleccionar señales.

La función Merge Signals  “mezcla” dos señales que provengan de distintas fuentes en este caso la señal sin procesar y la señal filtrada. Los iconos   solo tienen la función de pasar de un estado verdadero a falso. Por último a la izquierda del asistente se encuentra el icono que representa la pantalla gráfica.

## 2.6.6. Espectro de la Señal

El programa para la adquisición de señales experimentales utiliza un asistente para obtener la FFT de la señal y así poder ser mostrada al usuario. En la figura II.26 se muestra el asistente de obtención de la FFT así como su respectiva conexión a la pantalla gráfica.

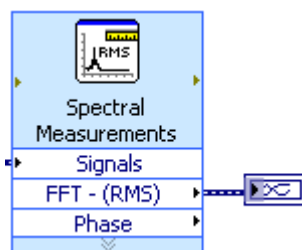


Figura II.26 Asistente FFT.

En el capítulo III se mostrarán las pruebas realizadas al sistema completo de adquisición de datos, también se ampliará sobre los conceptos anteriormente mencionados.

# **CAPÍTULO III**

Desarrollo de pruebas de enlace y correcciones

En este capítulo, se presenta al sistema completo de adquisición de datos. Se muestra la manera en que se utiliza el programa y el bloque de terminales de conexión mencionado en el capítulo I, usando como fuente de prueba un generador de señales. También se hace énfasis en conceptos que se requieren para la comprensión de las pruebas empleadas.

### 3.1. Inicio del programa

En el capítulo II se mostraron algunos ejemplos de señales obtenidas mediante el sistema de adquisición de datos pero no se dieron detalles del procedimiento para lograr este objetivo ni la forma en que se accede al programa. En esta sección se explican los pasos para acceder el programa.

LabView cuenta con diversas herramientas que permiten un mejor desempeño de los programas en cuanto a la interacción con el usuario. Por ejemplo en LabView, existe una herramienta denominada *Constructor de Aplicaciones* que permite la ejecución de cualquier VI creando un ejecutable sin la necesidad de tener instalado LabView; el único inconveniente es que después de la versión LabView 7.1 el *Constructor de Aplicaciones* es vendido de forma independiente elevando el costo del software. En el caso del programa para la adquisición de señales experimentales es necesario tener instalado LabView para poder hacer uso del mismo.

Para acceder al programa solo es necesario seleccionar al acceso directo creado en el escritorio (figura III.1a) o desde el menú inicio > todos los programas (figura III.1b).

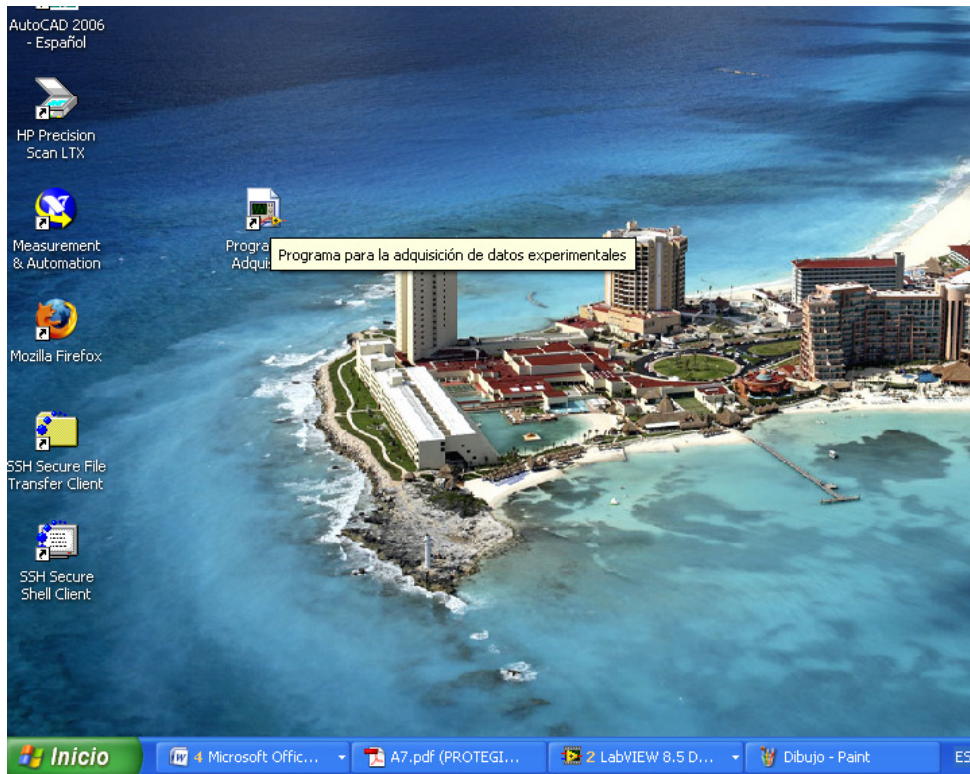


Figura III.1a Acceso al programa de adquisición desde el escritorio

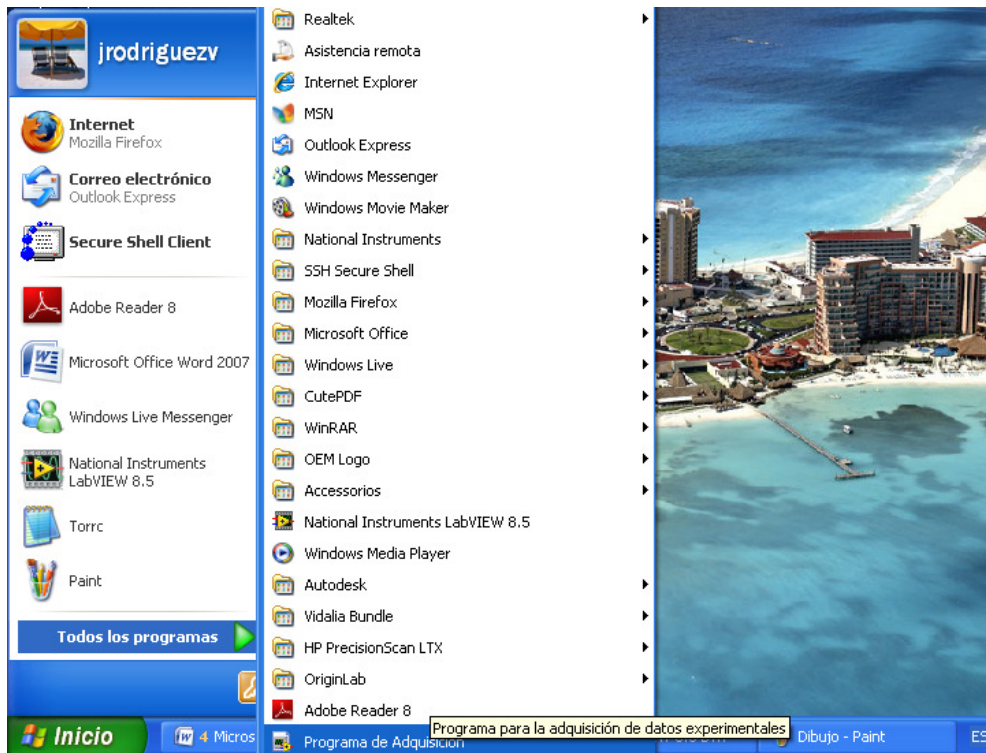


Figura III.1b Acceso al programa de adquisición desde el menú inicio

Cabe aclarar que es necesario tener instalado el driver para que el programa de adquisición de datos experimentales pueda comunicarse con la tarjeta PCI-MIO-16E-1.

Una vez seleccionado alguno de los dos métodos mencionados anteriormente para acceder al programa, se inicia LabView cargando las librerías y herramientas necesarias para su uso.

Antes de ejecutar el programa es necesario estar seguro que las conexiones en el bloque de terminales se encuentran en el lugar correcto o que realmente sean las que van a ser usadas. Por ejemplo, si no se conecta alguna señal en la conexión de disparo que se encuentra en el bloque de terminales, inmediatamente al ejecutar el programa nos mostrará un mensaje de error de que es necesario tener una señal de disparo. Por último, en el panel frontal del programa de adquisición de señales experimentales se fija el canal con el que se pretende realizar la adquisición de la señal, el valor máximo y mínimo, la velocidad de muestreo, el modo de muestreo, el tiempo de espera entre muestras y el nivel de voltaje de disparo.

Como un ejemplo se tiene una señal senoidal de 50 khz y  $4 V_{pp}$  mostrada en la figura III.2a. Es observable en la figura III.2b que el canal 0 se encuentra seleccionado para adquirir la señal descrita. La velocidad de muestreo se encuentra fija a 1000,000 S/s que es prácticamente el límite de la tarjeta, el modo de muestreo es por medio de muestras continuas, el número de muestras obtenidas es de 100,000 y el tiempo de espera por defecto es de 10 segundos. Por último el nivel de disparo se fijó a 0.3 V y al superar una pendiente positiva.

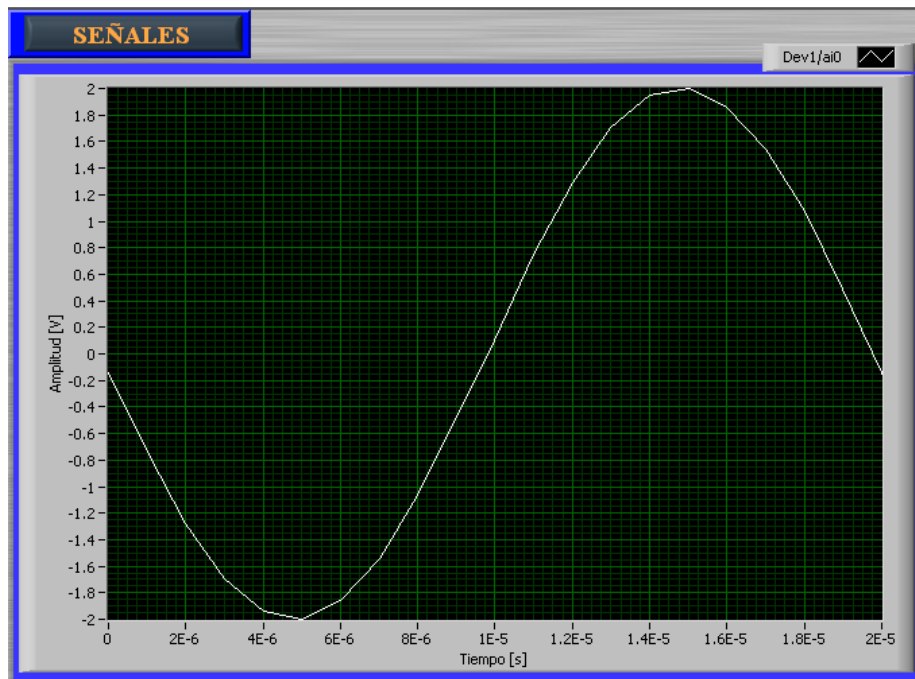


Figura III.2a Señal senoidal de 50 Khz

Elegir canal Dev1/ai0	Valor máximo 5.00 Valor mínimo -5.00
Velocidad de muestreo S/s 1000000.00	Frecuencia señal 50000.4
Modo de muestreo Muestras Continuas	Voltaje Pico a Pico 4.01855
Número de muestras por canal 100000	Voltaje RMS 1.41798
Tiempo de espera 10.00	Seleccionar señales Prom <input checked="" type="checkbox"/> Canal <input checked="" type="checkbox"/>
Disparo Pendiente Positiva	
Nivel 0.30	
Salvar Señal	
Detener Programa	

Figura III.2b Configuración del programa y obtención de mediciones

En la figura III.2b también se observan las mediciones obtenidas de la señal como el voltaje y frecuencia.

### 3.2. Aliasing de la señal

Una señal con alias provee una representación pobre de una señal analógica. El aliasing causa la aparición de una componente falsa de baja frecuencia en los datos muestreados de una señal. En la figura III.3a se tiene una señal adecuadamente muestreada mientras que en la figura III.3b se tiene una señal submuestreada.



*Figura III.3a Señal adecuadamente muestreada*



*Figura III.3b Señal submuestreada*

Para eliminar el problema de aliasing presente en la señal se aplica el teorema de Nyquist que implica el utilizar una frecuencia de muestreo al menos dos veces mayor que la frecuencia de la señal. La expresión matemática que representa el criterio de Nyquist es la siguiente:

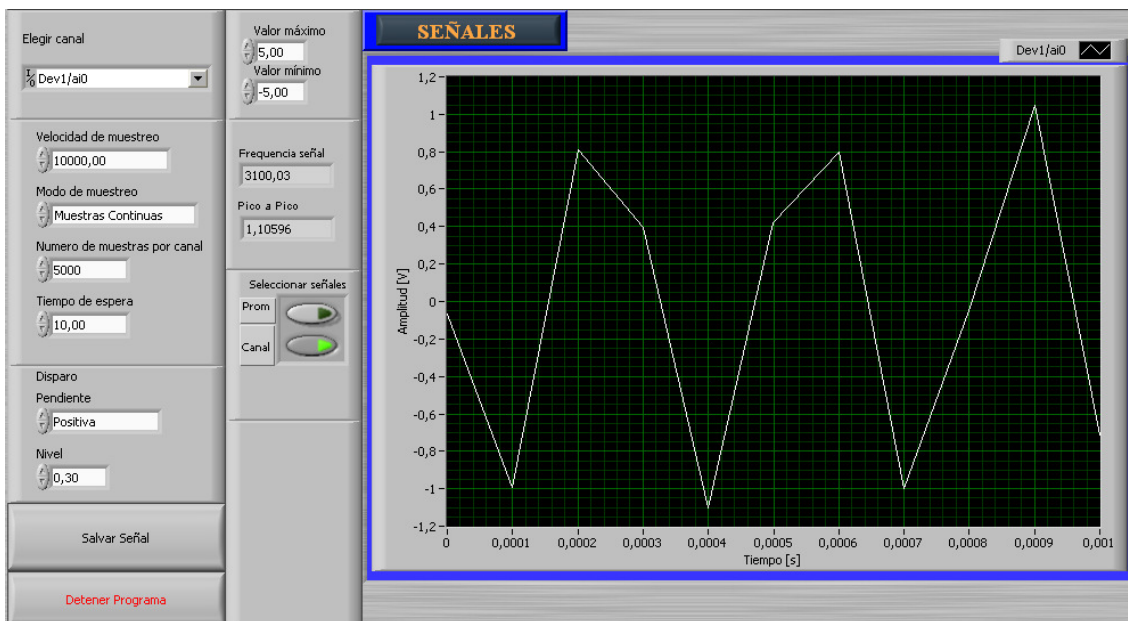
$$f_s \geq 2f$$

Donde  $f_s$  es la frecuencia de muestreo y  $f$  es la frecuencia de la señal.



Al utilizar el criterio de Nyquist se verifica que entre mayor sea la frecuencia de muestreo se obtiene una mejor representación de la señal. En la figura III.4 se tiene una señal obtenida mediante el programa de adquisición de señales experimentales.

La figura III.4 muestra un ejemplo de una señal senoidal de prueba con una frecuencia de 3.1 Khz y la velocidad de muestreo elegida es de 10 KS/s que apenas supera la frecuencia de Nyquist (6.2 Khz).



*Figura III.4 Señal con velocidad de muestreo de 10 KS/s*

Del ejemplo anterior se observa que la representación de la señal parece más a una forma de onda triangular. En cambio en el ejemplo de la figura III.5 se muestra a la misma señal con una frecuencia de 3.1 Khz pero con una velocidad de muestreo de 1 MS/s donde se observa que la señal se encuentra con una mejor representación en el tiempo.

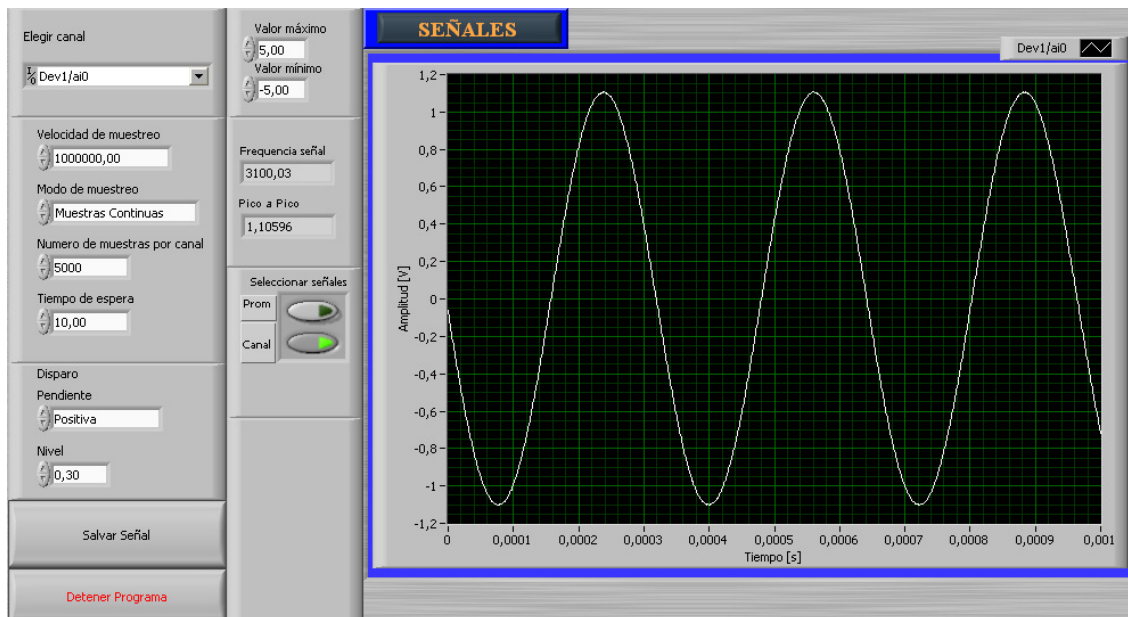
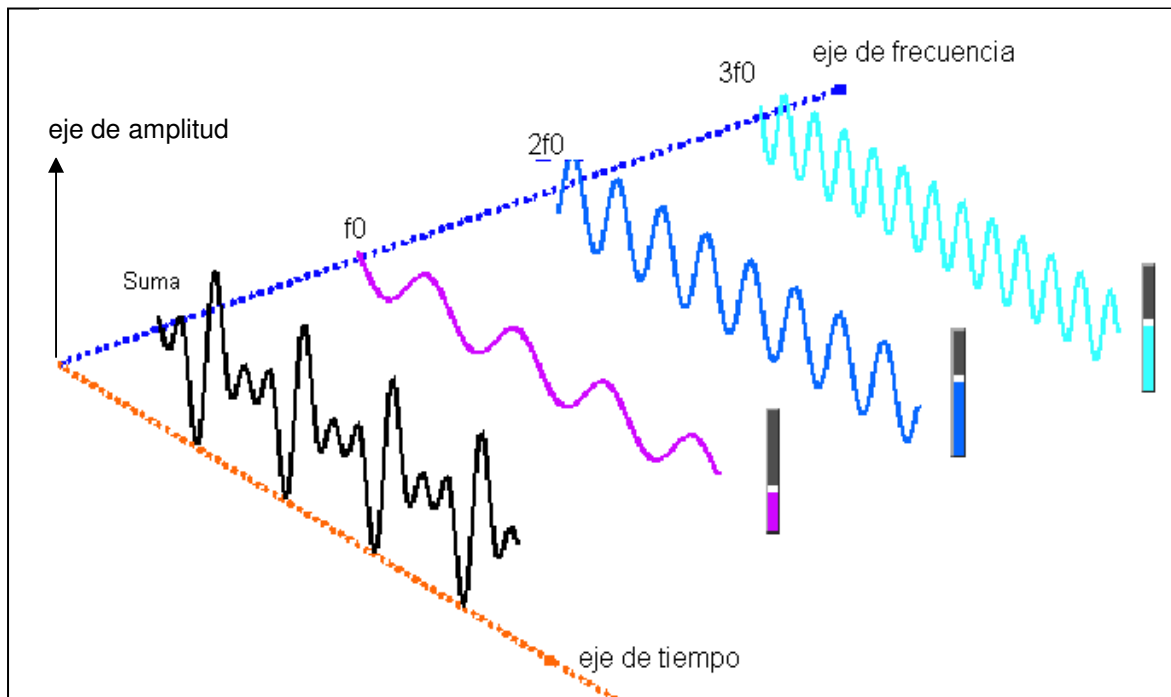


Figura III.5 Señal senoidal muestreada a 1MS/s

### 3.3. Descripción de las Transformadas de Fourier

En ocasiones no es suficiente con obtener la representación de una señal en el dominio del tiempo, debido a que no se tendrá a una simple señal senoidal. De acuerdo a la teoría de Fourier se establece que toda señal en el dominio del tiempo puede ser representada como una suma ponderada de senos y cosenos [11]. Por ejemplo, la señal denominada “Suma” que se muestra en la figura III.6 está compuesta de ondas senoidales y cosenoidales con frecuencias distintas en el dominio del tiempo. La misma señal “Suma” aparece en el dominio de la frecuencia con valores de amplitud y fase en cada componente frecuencial (que corresponde a  $f_0$ ,  $2f_0$  y  $3f_0$ ).



*Figura III.6 Descomposición de una forma de onda*

La transformada de Fourier es un método que convierte la representación de una señal en el dominio del tiempo a una representación en el dominio de frecuencia. A la representación de una señal en el dominio de la frecuencia también es conocida como espectro de la señal. Sin embargo, como se explicó en el capítulo I el convertidor A/D se encarga de obtener las muestras de una señal y las transforma a valores discretos. Por lo cual la transformada de Fourier no puede ser utilizada para valores discretos. En su lugar se utiliza la Transformada Discreta de Fourier (DFT, por sus siglas en inglés), con la cual se obtienen las componentes en el dominio de la frecuencia en valores discretos. La Transformada Rápida de Fourier (FFT, por sus siglas en inglés) es una forma optimizada de la DFT que toma menos tiempo para su cálculo.

La Transformada de Fourier está definida por la siguiente ecuación:

$$X(f) = F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

Donde  $x(t)$  es la señal en el dominio del tiempo,  $X(f)$  es la Transformada de Fourier y  $f$  es la frecuencia que se va a analizar.

De manera similar, la DFT mapea secuencias de tiempo discreto a representaciones discretas en frecuencia. La DFT está dada por la siguiente ecuación:

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} f[k]e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad \text{para } n=0,1,2,\dots,N-1 \quad (2)$$

Donde  $x$  es la entrada de la secuencia,  $X$  es la DFT, y  $N$  es el número de muestras tanto para el dominio de tiempo discreto y el dominio de frecuencia discreta.

Para realizar el cálculo de la DFT también se expresa en forma matricial como se muestra a continuación:

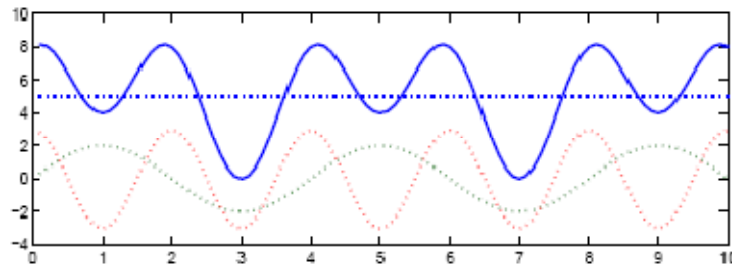
$$\begin{pmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ \vdots \\ X[N-1] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & W & W^2 & W^3 & \dots & W^{N-1} \\ 1 & W^2 & W^4 & W^6 & \dots & W^{N-2} \\ 1 & W^3 & W^6 & W^9 & \dots & W^{N-3} \\ 1 & W^4 & W^8 & W^{12} & \dots & W^{N-4} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & W^{N-1} & W^{N-2} & W^{N-3} & \dots & W \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x[0] \\ x[1] \\ x[1] \\ \vdots \\ x[N-1] \end{pmatrix}$$

Donde  $W = e^{-\frac{j2\pi}{N}}$  y  $W = W^{2N}$  etc. =1.

En el siguiente ejemplo se presenta el cálculo de la DFT para una forma de onda compuesta de una suma de seno y coseno.

$$x[t] = \underbrace{5}_{dc} + \underbrace{2 \cos(2\pi t - 90^\circ)}_{1 \text{ Hz}} + \underbrace{3 \cos 4\pi t}_{2 \text{ Hz}}$$

En la figura III.7 se muestra las gráficas de la forma de onda anterior y sus componentes.



*Figura III.7 Gráficas de una forma de onda y componentes*

Antes de proceder con el cálculo de la DFT hay que considerar dos conceptos.

El primero es definir la frecuencia máxima que se va a analizar de acuerdo al criterio de Nyquist establecida por la siguiente ecuación:

$$F_{Max} = \frac{f_s}{2}$$

Donde  $F_{max}$  es la frecuencia máxima de la forma de onda o señal y  $f_s$  es la frecuencia de muestreo.

El segundo concepto a relacionar es la resolución frecuencial que establece separación en frecuencia de cada uno de los coeficientes obtenidos de la DFT.

La relación anteriormente mencionada se establece en la siguiente ecuación:

$$\Delta f = \frac{f_s}{N}$$

Donde  $\Delta f$  es la resolución frecuencial,  $f_s$  la frecuencia de muestreo y  $N$  el número de muestras obtenidas.

Continuando con el ejemplo, para  $x(t)$  se elije obtener muestras 4 veces cada segundo en el intervalo de  $t=0$  a  $t=3/4$ , lo que implica que  $f_s$  es 4 Hz. Los valores de las muestras en tiempo discreto están dados por:

$$x[k] = 5 + 2 \cos\left(\frac{\pi}{2}k - 90^\circ\right) + 3 \cos \pi k \quad \text{sustituyendo } t = kT_s = \frac{k}{4}$$

Evaluando la función para  $N=4$

$$x[0]=8, x[1]=4, x[2]=8, x[3]=0$$

$$X[n] = \sum_{k=0}^3 x[k]e^{-j\frac{\pi}{2}nk} = \sum_{k=0}^3 x[k](-j)^{nk}$$

Expresando la evaluación de la DFT en forma matricial

$$\begin{pmatrix} X[0] \\ X[1] \\ X[2] \\ X[3] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -j & -1 & j \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & j & -1 & -j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f[0] \\ f[1] \\ f[2] \\ f[3] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 20 \\ -j4 \\ 12 \\ j4 \end{pmatrix}$$

En la figura III.8 se muestra la gráfica del espectro de la DFT donde cada línea pertenece a los coeficientes anteriormente calculados.

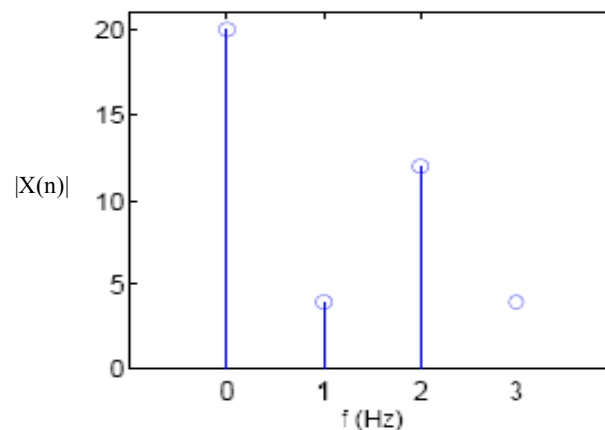


Figura III.8 Espectro de la forma de onda  $x(t)$  propuesta

De la figura anterior se observa que cada espiga se encuentra a 1 Hz de separación dado que  $f_s=4$  Hz y  $N=4$  la resolución frecuencial es  $\Delta f=4/4=1$  Hz.

La implementación directa de la DFT tal y como se muestra en la ecuación (2) requiere un número aproximado de  $N^2$  operaciones con números complejos. Sin embargo como se mencionó anteriormente la FFT reduce este cálculo a  $(N/2)\log_2 N$  de multiplicaciones con números complejos y a  $(N)\log_2 N$  de sumas con números complejos [12].

La DFT involucra muchas operaciones redundantes lo cual es aprovechado mediante la FFT.

$$\text{Reescribiendo } X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad \text{a} \quad X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k)W_N^{nk} \quad (3)$$

Es fácil demostrar que los mismos valores de  $W_N^{nk}$  son calculados en varias ocasiones conforme se realizan las operaciones del algoritmo. Primero, el producto  $nk$  se repite para diferentes combinaciones de  $n$  y  $k$ ; Segundo,  $W_N^{nk}$  es una función periódica con solamente  $N$  valores distintos.

Por ejemplo, considerando  $N=8$  (El cálculo de la FFT se hace más simple si  $N$  es un entero y potencia de 2).

$$W_8^1 = e^{-\frac{j2\pi}{8}} = e^{45^\circ} = \frac{1-j}{\sqrt{2}} \quad \text{y para simplificar se dice que } \frac{1-j}{\sqrt{2}} = a$$

$$\text{Entonces } a^2 = -j \quad a^3 = -ja = -a^* \quad a^4 = -1$$

$$a^5 = -a \quad a^6 = j \quad a^7 = ja = a^* \quad a^8 = 1$$

De lo anterior se observa que:

$$W_8^4 = -W_8^0$$

$$W_8^5 = -W_8^1$$

$$W_8^6 = -W_8^2$$

$$W_8^7 = -W_8^3$$

También, si  $nk$  se encuentra fuera del intervalo 0-7 se calcula con los valores anteriormente obtenidos.

Ejemplo:

$$\text{Si } n=1 \text{ y } k=7, \quad W_8^{35} = a^{35} = (a^8)^4 \cdot a^3 = a^3$$

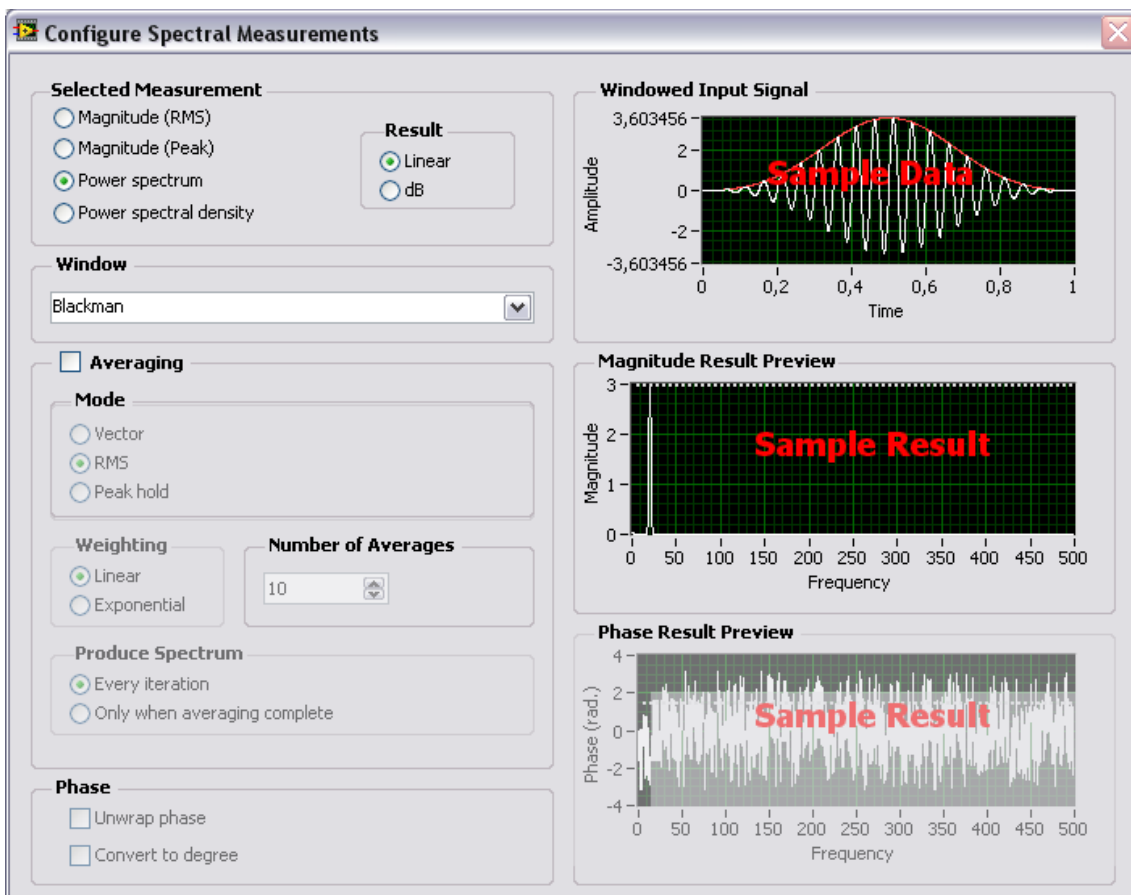
La FFT no consiste únicamente de un solo algoritmo para la realización de su cálculo, sino de un conjunto de algoritmos entre los que se encuentra la decimación radix-2, decimación radix-4, Split-radix por mencionar algunos [12].

### 3.3.1. La FFT en LabVIEW

Dentro de las diversas herramientas que se tienen en LabVIEW particularmente una se ha elegido para el desarrollo del programa para la adquisición de datos



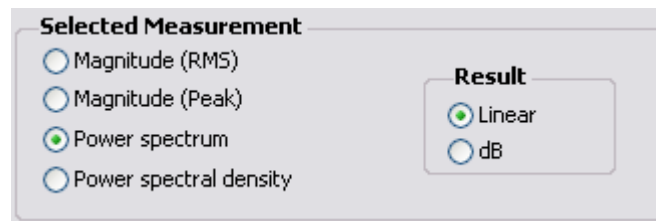
experimentales. El asistente para la obtención de la FFT que tiene el nombre de *Spectral Measurements*, mencionado en el capítulo II pero del cual no se dieron detalles de su funcionamiento. La característica principal del asistente es que contiene una serie de opciones con las cuales se manipula el resultado del cálculo de la FFT. En la figura III.9 se muestran todas las opciones que el asistente contiene después de haber sido invocado antes de la ejecución del programa general.



*Figura III.9 Opciones del asistente para la medición de la FFT*

De la figura III.9 se observa que está dividido en dos secciones. Del lado izquierdo se tienen las medidas a seleccionar sobre el cálculo de la FFT, mientras que en la parte derecha se tienen los ejemplos de cómo se verán los resultados en forma gráfica.

En la figura III.10 se muestra la sección denominada *Selected Measurement* donde se encuentran seleccionadas dos opciones. Una corresponde a *Power Spectrum* y otra que se encuentra a la derecha correspondiente a *linear*.



*Figura III.10 Opciones seleccionadas del asistente*

Para entender lo que implican estas dos opciones hay que definir a qué se refiere el *Power Spectrum*. El Power Spectrum o Espectro de Potencia es el resultado de haber obtenido la amplitud de la FFT. Debido a que el resultado de la FFT es una secuencia de números complejos, la información que se obtiene es la amplitud y fase. Como se mencionó antes el haber seleccionado *Power Spectrum* y *Linear* implica que únicamente se obtendrá el módulo de la FFT en valor rms (root mean square). El cálculo del valor rms de la FFT se obtiene mediante la siguiente relación:

$$\text{Amplitud de un espectro en } V_{rms} = \sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{[\text{real}[FFT(n)]]^2 + [\text{imag}[FFT(n)]]^2}}{N}$$

Donde  $FFT(n)$  es el cálculo de un solo coeficiente de la Transformada Rápida de Fourier, y  $N$  es la longitud o número total de muestras obtenidas.

En la figura III.11 se tiene un ejemplo de cuál es la gráfica correspondiente al cálculo de la *FFT*.

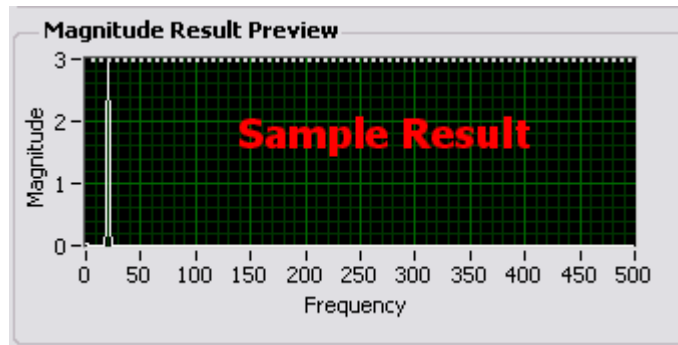


Figura III.11 Gráfica ejemplo de la FFT.

Para completar con las opciones seleccionadas que se tienen en el asistente, se procede con la explicación de la sección *window* que aparece debajo de la sección *Selected Measurement* como se observa en la figura III.12.

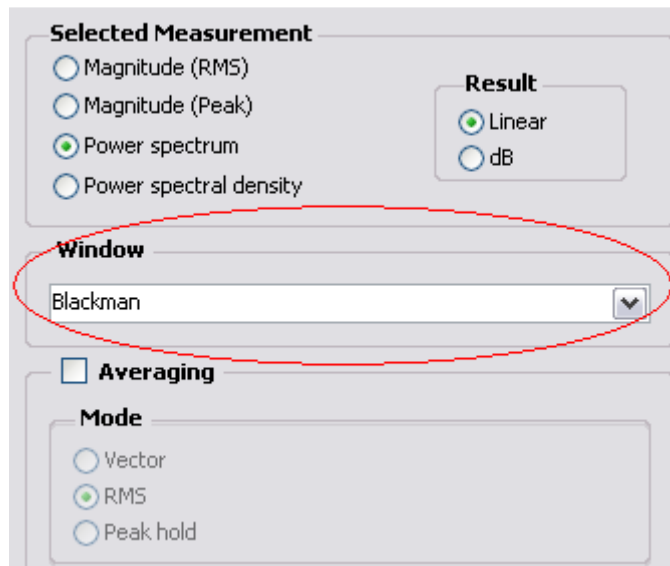


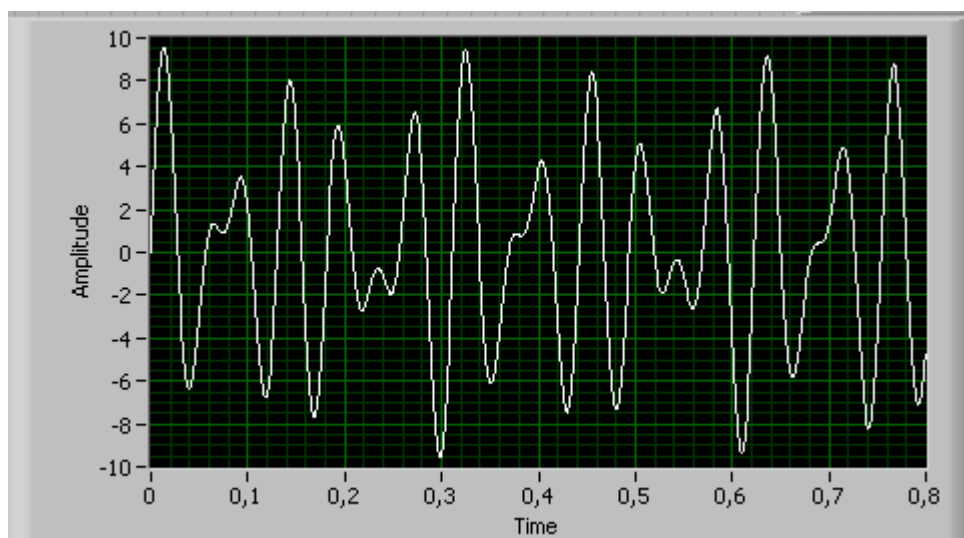
Figura III.12 Selección de ventana

La opción *window* tiene como finalidad desplegar una lista de opciones de diversas ventanas para aminorar la fuga espectral en la obtención de la FFT.

### 3.3.2. Fuga espectral

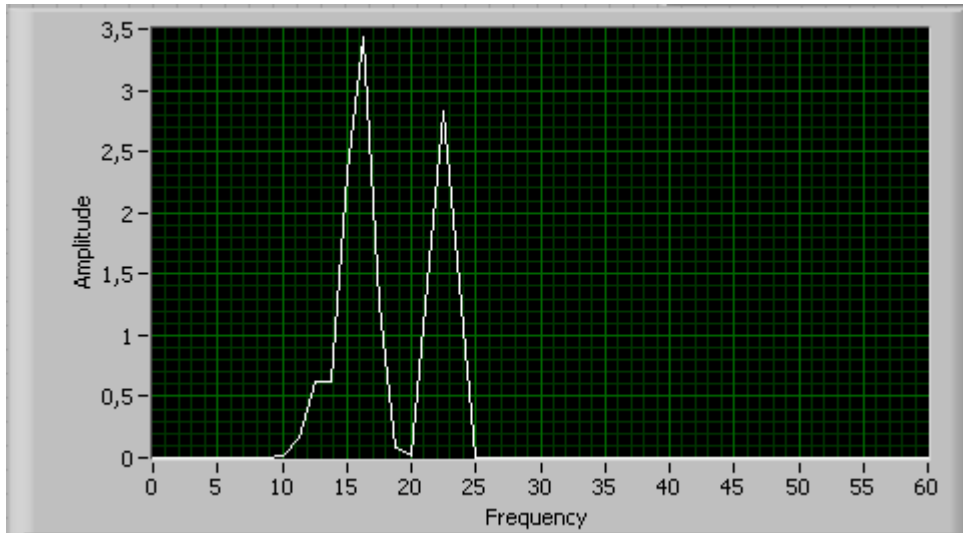
La fuga espectral se produce por el truncamiento necesario para convertir la señal adquirida en una secuencia de muestras de longitud finita [13, 14]. El procedimiento más común para disminuir a un nivel aceptable la fuga espectral, en este caso elegido por la capacidad que tiene LabVIEW, consiste en multiplicar la señal adquirida por una ventana senoidal, la cual hace converger suavemente la discontinuidad a un valor de amplitud común, tanto al inicio como al final de la secuencia.

En la figura III.13 se muestra la gráfica de la suma de 3 señales senoidales, cada una con frecuencias de 13 Hz, 16 Hz , 22.5 Hz y 1 V, 5 V y 4 V respectivamente .



*Figura III.13 Suma de señales senoidales*

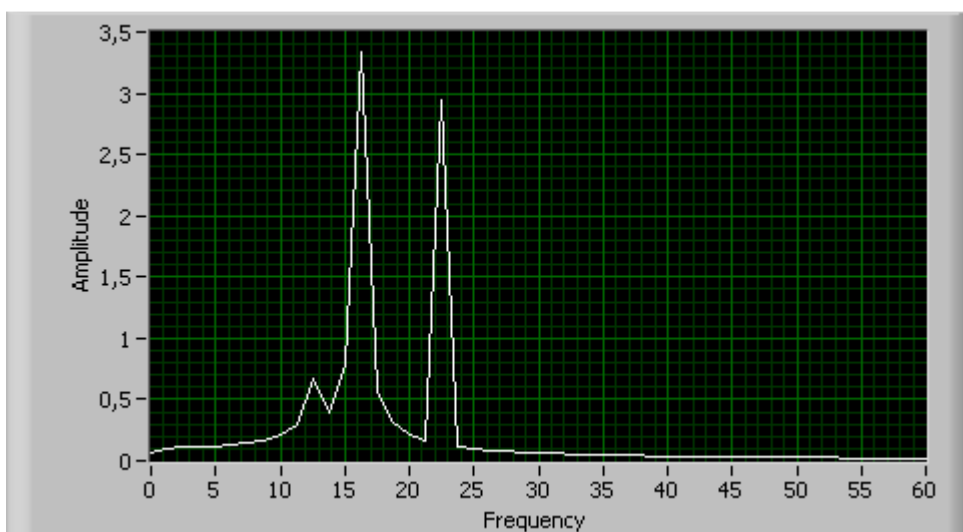
En este ejemplo se obtiene el espectro de la señal sin utilizar una ventana como se muestra en la figura III.14.



*Figura III.14 Espectro de la señal anterior sin ventana*

De la figura anterior se observa que solo se han obtenido dos espectros los cuales corresponden a las frecuencias de 16 Hz y 22.5 Hz. Dado que la magnitud de la señal con frecuencia de 13 Hz es entre 5 y 4 veces menor con respecto a las anteriores pasa desapercibido el espectro de esa misma señal.

Para este mismo ejemplo se aplica una ventana tipo Hanning y se muestra en la figura III.14. En esta figura se observa que la aplicación de la ventana ayuda a la detección del espectro oculto a 13 Hz.



*Figura III.15 aplicación de la ventana Hanning*

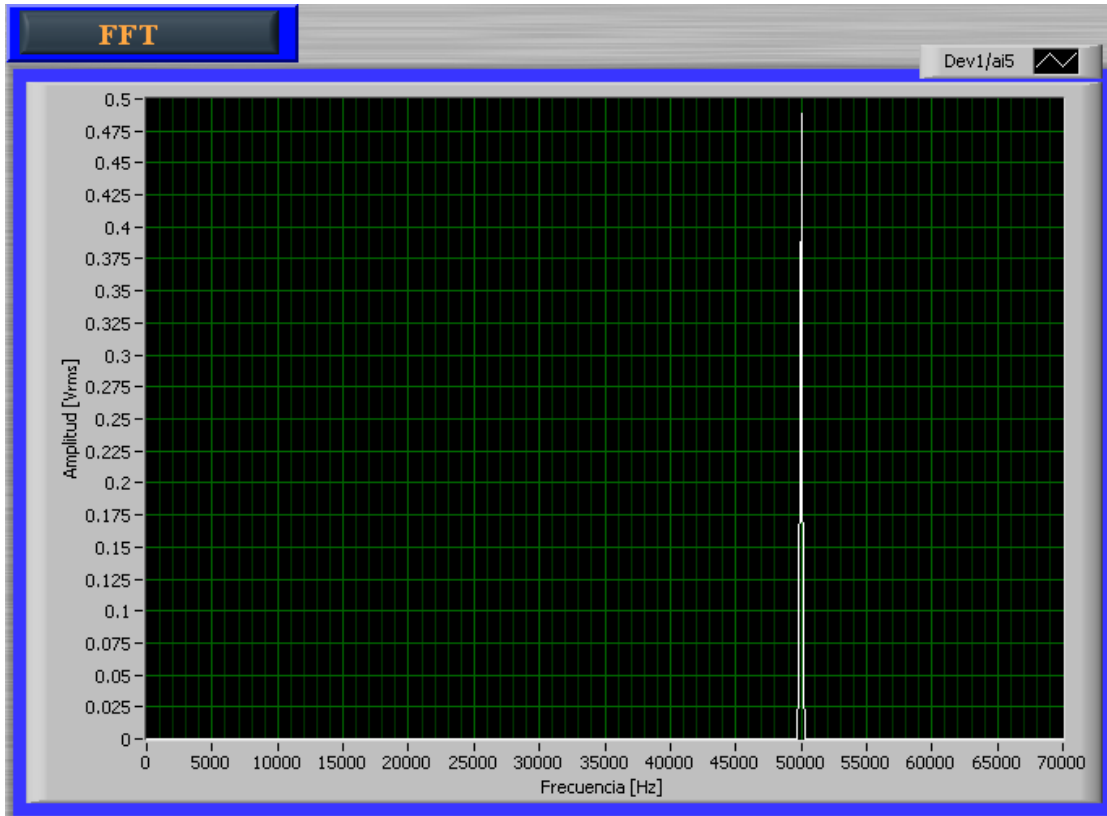
En el dominio del tiempo, las principales características de las ventanas senoidales son: el número de términos de la función, el tipo de desplante inicial y final, la forma de acometida al centro y el área bajo la curva, y éstas están muy relacionadas con las del dominio de la frecuencia que son: la resolución, la atenuación del lóbulo principal y lateral, y la tasa de decaimiento, respectivamente [14].

En la siguiente tabla se resumen algunas recomendaciones para elegir un determinado tipo de ventana para la obtención del espectro de una señal [13].

<b>Contenido de la Señal</b>	<b>Ventana</b>
Onda senoidal o combinación de ondas senoidales	Hanning
Onda senoidal (la predicción de la amplitud es importante).	Flat Top
Banda estrecha de una señal aleatoria (Datos de vibración)	Hanning
Ruido Blanco	Uniforme
Contenido desconocido	Hanning

*Tabla III.1 Elección recomendada de ventanas en LabVIEW,*

Por último para la prueba de funcionamiento de la tarjeta PCI-MIO-16E-1 y del programa se obtuvo la FFT de la señal de la figura III.2a que mantiene una frecuencia de 50 KHz (ver figura III.16).



*Figura III.16 FFT de la señal senoidal de 50 KHz*

### **3.4. Filtrado de una señal**

Un filtro tiene como objetivo modificar o suprimir ciertas características de una señal de entrada. El filtrado consiste en la aplicación de un filtro para dejar pasar señales con ciertas frecuencias y suprimir otras con distintas frecuencias.

Una vez que se ha definido el objetivo de un filtro, cabe mencionar que existen dos tipos de filtros: los filtros analógicos y filtros digitales.

Los filtros analógicos están constituidos por elementos cuya impedancia varía con la frecuencia (capacitores e inductores). Dentro de los tipos de filtros

analógicos que existen están los pasivos, activos, electromecánicos y de cristal [3, 9,15]. Como principales características de uso de los filtros analógicos es la capacidad para manejar niveles de potencia importantes, aspecto difícil o, en muchos casos, imposible de conseguir con solamente filtrado digital. Por último, los filtros analógicos permiten trabajar con bandas de frecuencias muy altas, aspecto que en el filtro digital se ve limitado por la velocidad del procesador.

En general un filtro digital realiza las mismas funciones similares a un filtro analógico [9], entre las que se resaltan:

1. Separar dos señales que han sido combinadas o mezcladas.
2. Restaurar señales que han sido distorsionadas.
3. Extraer información de interés de una señal con rasgos conocidos a priori.
4. Remover ruido indeseable
5. Compensación en frecuencia.
6. Análisis espectral
7. Modelado de señales

La diferencia entre un filtro digital y un filtro analógico es que el primero es un algoritmo matemático implementado en hardware o software y opera sobre una señal de entrada digital para producir una señal de salida digital y está compuesto de coeficientes que caracterizan al filtro.

Algunas de las ventajas que tienen los filtros digitales sobre los filtros analógicos son:



- Los filtros digitales son muy flexibles, esto implica que pueden ser programados para diferentes respuestas en frecuencia, con solo cambiar los coeficientes se puede obtener otro FD. En un filtro analógico para variar su respuesta en frecuencia, es necesario rediseñarlo y rearmarlo.
- En el caso de un filtro analógico el desempeño del mismo depende de la tolerancia de cada uno de sus componentes.

Como ya se había mencionado antes, la tarjeta PCI-MIO-16E-1 trabaja con señales digitales después del procesamiento realizado con el convertidor A/D. Por ésta razón se implementa un filtro digital para las señales obtenidas durante el experimento de luminiscencia.

Los filtros digitales se clasifican en forma general de acuerdo a las frecuencias en bandas de paso (Paso bajas, Paso altas, Paso banda), de acuerdo a su aproximación polinómica (Butterword, Chebyshev, Elípticos, Bessel), Lineales (Respuesta Finita al Impulso, Respuesta Infinita al Impulso) y filtros variantes en el tiempo [19].

### **3.4.1. Filtros en LabVIEW**

LabVIEW tiene una gran variedad de herramientas para seleccionar algún tipo de filtro que van desde aquellas que permiten su diseño hasta únicamente la implementación de acuerdo al problema planteado. En el caso del programa para la adquisición de datos experimentales se requiere eliminar el ruido agregado a la señal durante la adquisición. El ruido que se agrega a una señal puede deberse a muchas razones, por ejemplo el Dithering que es un método

utilizado por la tarjeta PCI-MIO-16E-1 para recuperar la mayor parte de la información de la amplitud de la señal durante el proceso de adquisición y consiste en agregar ruido blanco de forma deliberada a la señal [10].

En el capítulo II se mostró un ejemplo de cómo se veía una señal después de haber sido filtrada mediante el método elegido en el asistente denominado *Filter*. Ahora se muestran las opciones elegidas en el asistente para la realización del filtrado (ver figura III.17).

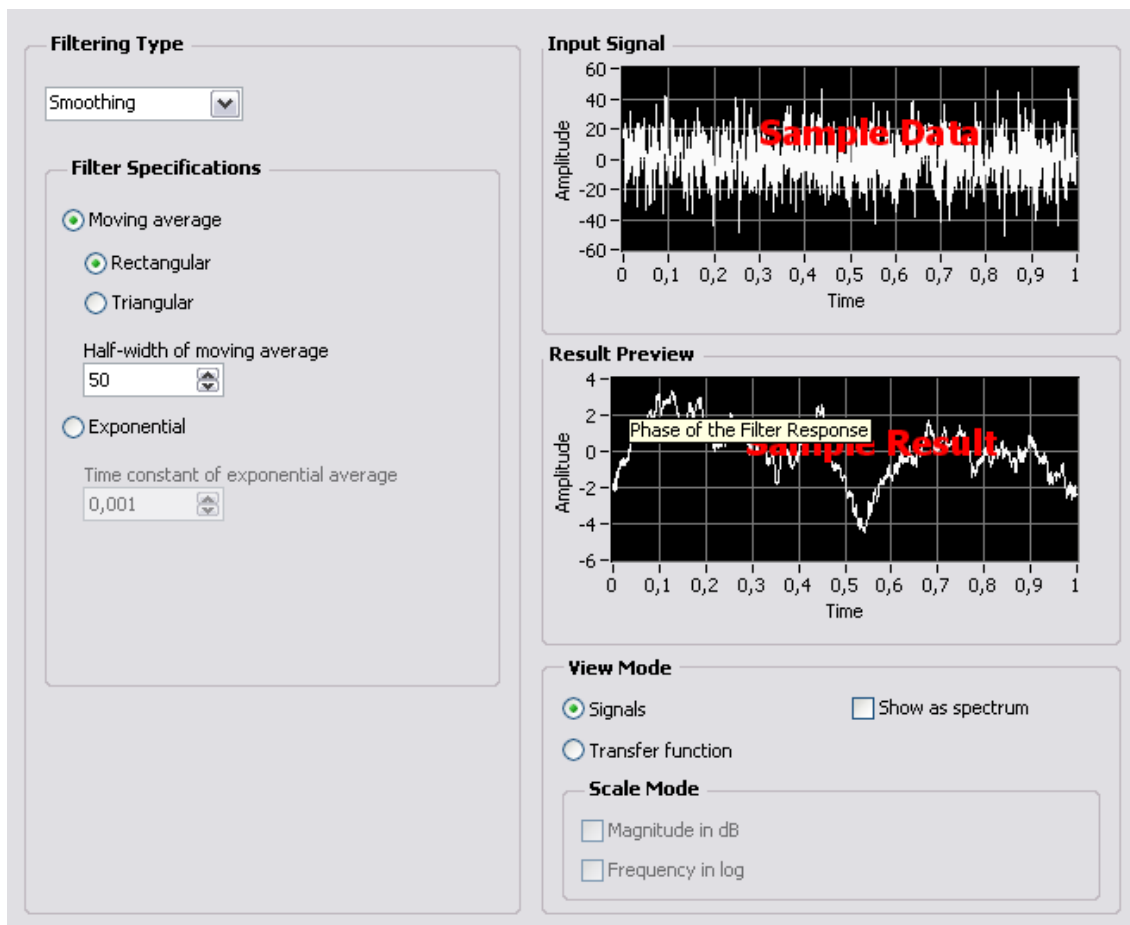


Figura III.17 Opciones elegidas en el asistente Filter

En la figura anterior se aprecia que las opciones elegidas corresponden a un tipo de filtro denominado smoothing (suavizado) con especificaciones que sea Moving Average y Rectangular con un tamaño de ventana de 50. Para

comprender la elección anterior es necesario continuar con más definiciones acerca del filtrado digital.

### 3.4.2. Filtros digitales de Respuesta Finita al Impulso

Los filtros de respuesta finita al impulso (FIR, por sus siglas en inglés) son utilizados ampliamente en el procesamiento digital de señales por su estabilidad. Debido a que la salida de este tipo de filtro sólo depende de la muestra actual de entrada y  $N-1$  retardos de la entrada, también son conocidos como no recursivos, donde  $N$  es la longitud del filtro (no confundir con la  $N$  utilizada en la DFT para denotar el número de muestras). Por las características de estos filtros, su implementación es la convolución entre la respuesta al impulso del filtro y una ventana de tiempo de la señal de entrada de longitud  $N$ .

La forma en que se expresa un filtro FIR es por medio de la convolución como se aprecia en la siguiente ecuación:

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} h(i)x(n-i) \quad (4)$$

Donde  $x(n)$  representa la muestra actual de una señal discreta como entrada y  $x(n-i)$  un conjunto de muestras pasadas,  $h(n)$  es una secuencia de coeficientes

de la respuesta al impulso del filtro  $h(0), h(1), \dots, h(N-1)$ , y  $y(n)$  es la salida del filtro [9].

De acuerdo a lo que se mencionó al inicio de este apartado sobre el filtrado en LabVIEW, el objetivo de la selección del filtro es eliminar el ruido de la señal en el tiempo con ruido agregado. Una de las formas más simples de eliminar el ruido o suavizar la señal, es ir calculando el promedio de las muestras sobre una ventana de tiempo y recorrer la ventana.

Retomando la ecuación (4) la  $h(n)$  propuesta es  $1/N$  en toda la ventana. A este tipo de filtro también se le conoce como *Moving Average* (MA), ya que realiza el promedio sobre la muestra actual de entrada  $x(n)$  y  $N-1$  muestras pasadas. Si se visualiza una señal con ruido agregado (figura III.18), la forma sencilla de suavizar la señal (eliminar el ruido) es ir tomando promedios de la señal en un intervalo de tiempo (una ventana de longitud  $N$ ). Aplicando promedios a una señal de entrada  $x(n)$  en una ventana de tiempo de longitud  $N$  se obtiene la salida  $y(n)$

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{N} x(n-i)$$

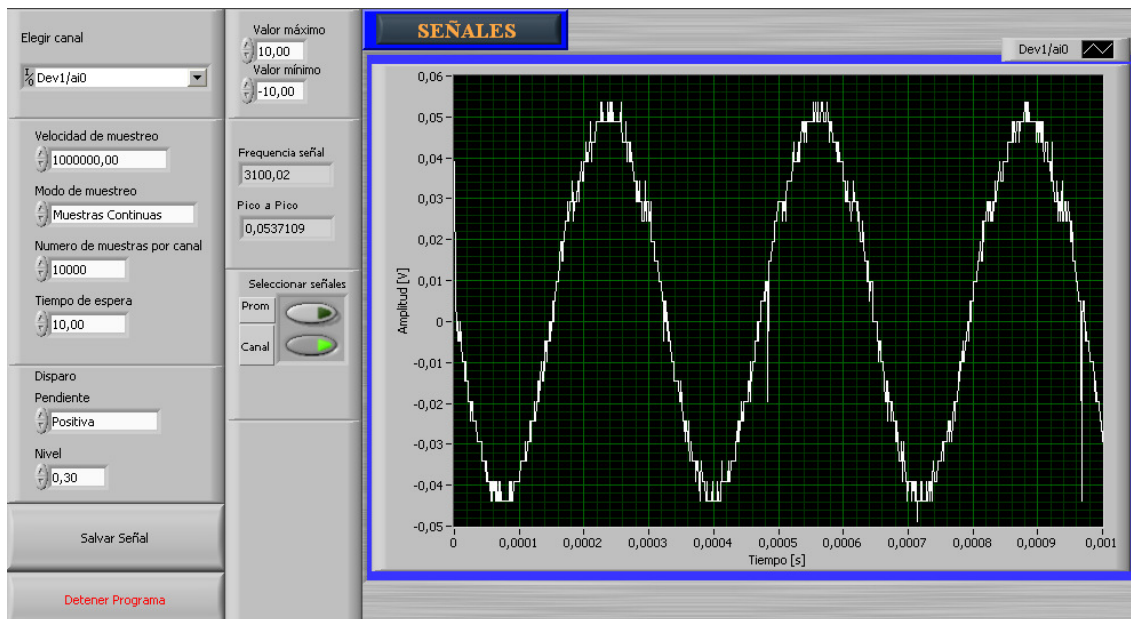
Entre los filtros digitales, los filtros MA producen el menor ruido para bordes muy agudos, la cantidad de reducción de ruido es igual a la raíz cuadrada del número de puntos promediados, por ejemplo si  $N=100$ , un filtro FIR MA reduce el ruido por un factor de 10 [9].

### 3.4.3. Prueba de Filtrado

En la figura III.17 se tiene una señal senoidal proveniente del generador de señales, la frecuencia de la señal corresponde a una frecuencia de 3.1 Khz y una amplitud de 50 mV<sub>p</sub>. En la misma figura se observa del lado izquierdo que el valor máximo y valor mínimo son 10 y -10 V respectivamente. Si se calcula el ancho de código de acuerdo a la relación presentada en el capítulo I entre el margen del convertidor definido y la resolución del convertidor A/D se obtiene que:

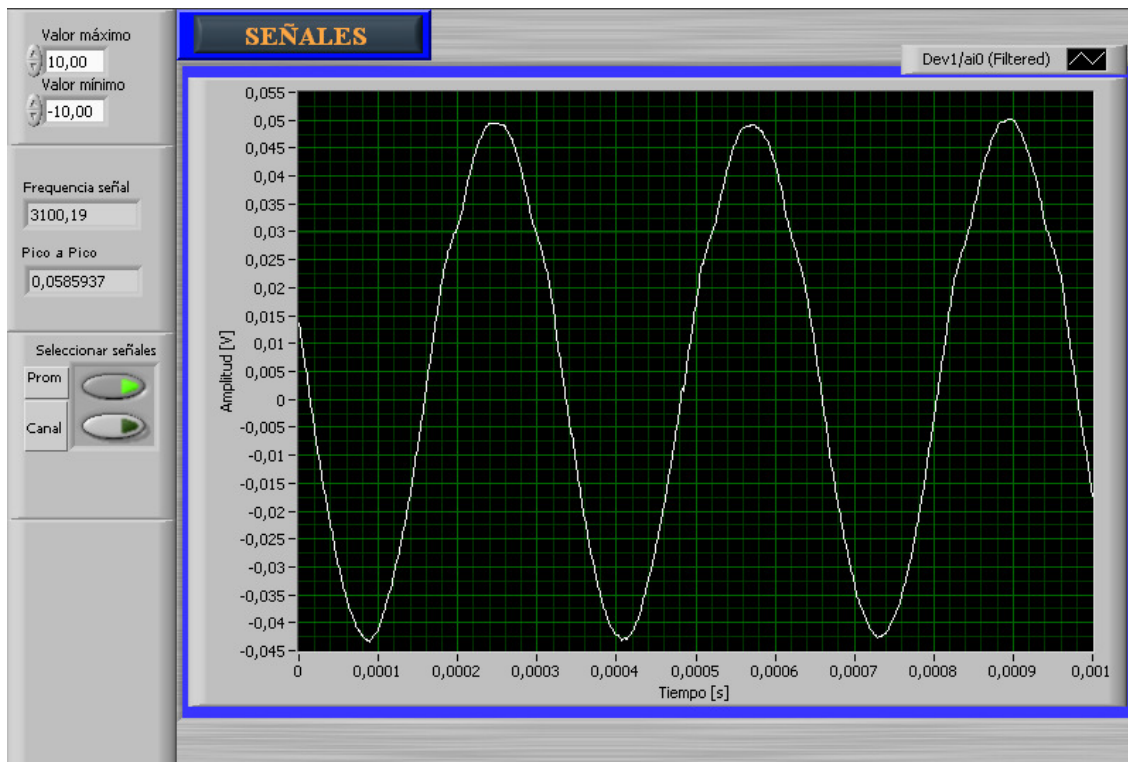
$$\text{Ancho de código} = \frac{10 - (-10)}{2^{12}} = 4.8 \text{ mV}$$

De acuerdo al resultado anterior, 4.8 mV es la amplitud mínima detectable por el convertidor A/D lo que arroja una representación pobre de la señal. En este caso es cuando el ruido es agregado de forma deliberada a la señal (Dithering) por la propia tarjeta.



*Figura III.18 Señal con ruido agregado*

En la figura III.18 se tiene a la señal después de haber sido procesada por medio del filtro. La longitud de la ventana elegida para este ejemplo es  $N=10$ . Se observa que la señal ya no presenta los bordes tan pronunciados como en la figura III.18 sin embargo su representación no es la deseable si la comparamos con una forma onda senoidal libre de ruido.



*Figura III.19 Señal filtrada con longitud  $N=10$*

En la figura III.20 se muestra a la señal después de haber sido procesada con el filtro pero ahora la longitud de la ventana es  $N=25$ . En ésta misma figura se observa que la amplitud de la señal es menor a  $50 \text{ mV}_p$  que corresponde a la entrada enviada por el generador de señales.

En la figura III.21 se tiene a la señal filtrada ahora con una longitud de ventana  $N=50$ . Se observa que la amplitud de la señal es afectada y su amplitud ahora es menor  $45 \text{ mV}_p$ ; del resultado anterior se concluye que aumentando la longitud de la ventana, la atenuación en la señal es mayor.

LabVIEW ofrece la posibilidad de disminuir o aumentar la longitud de la ventana del filtro por lo cual sin necesidad de ser un experto en filtrado la elección dependerá del nivel del ruido o del resultado que se quiera observar en la señal.

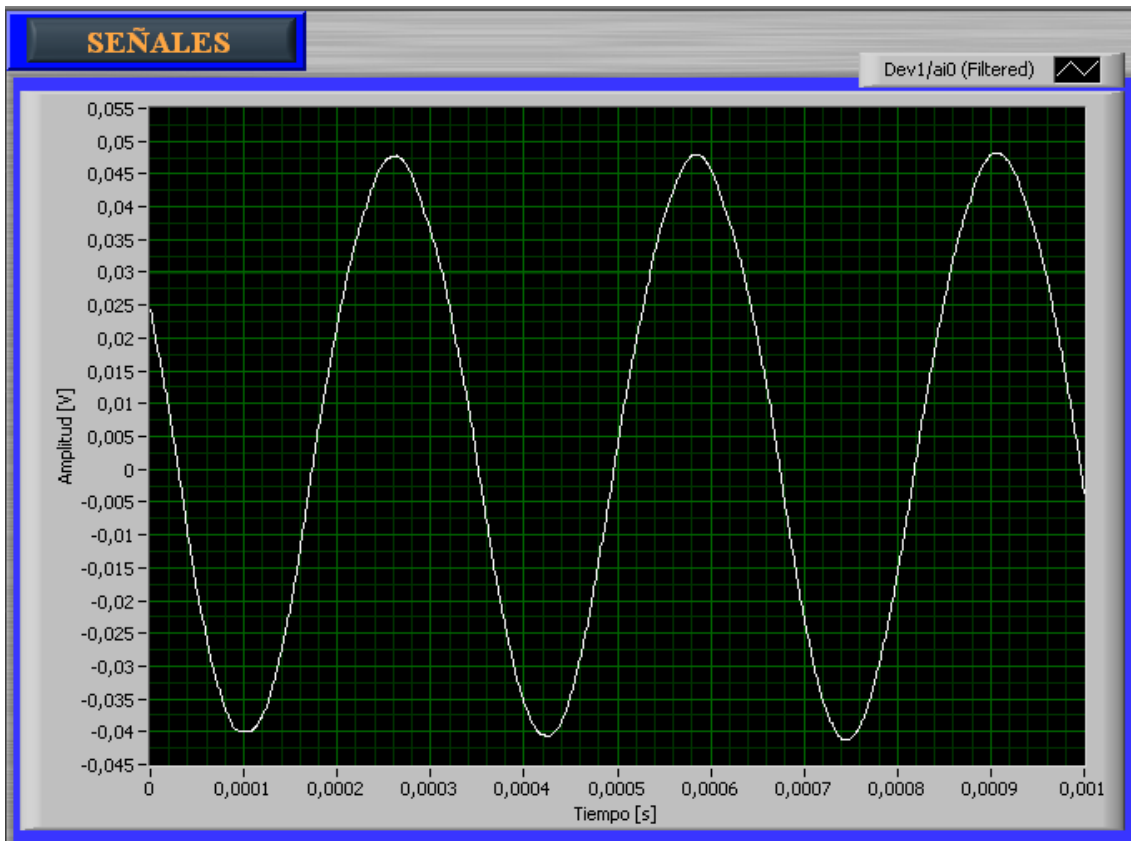


Figura III.20 Señal filtrada con  $N=25$ .

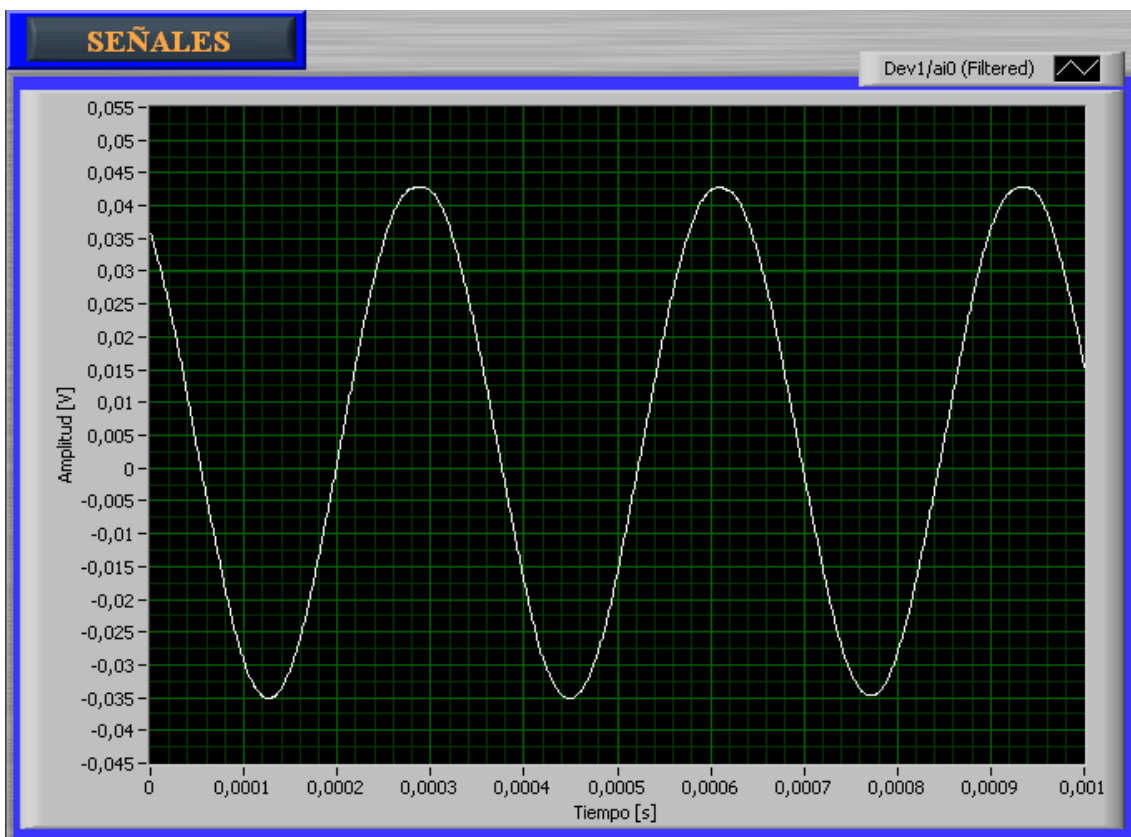
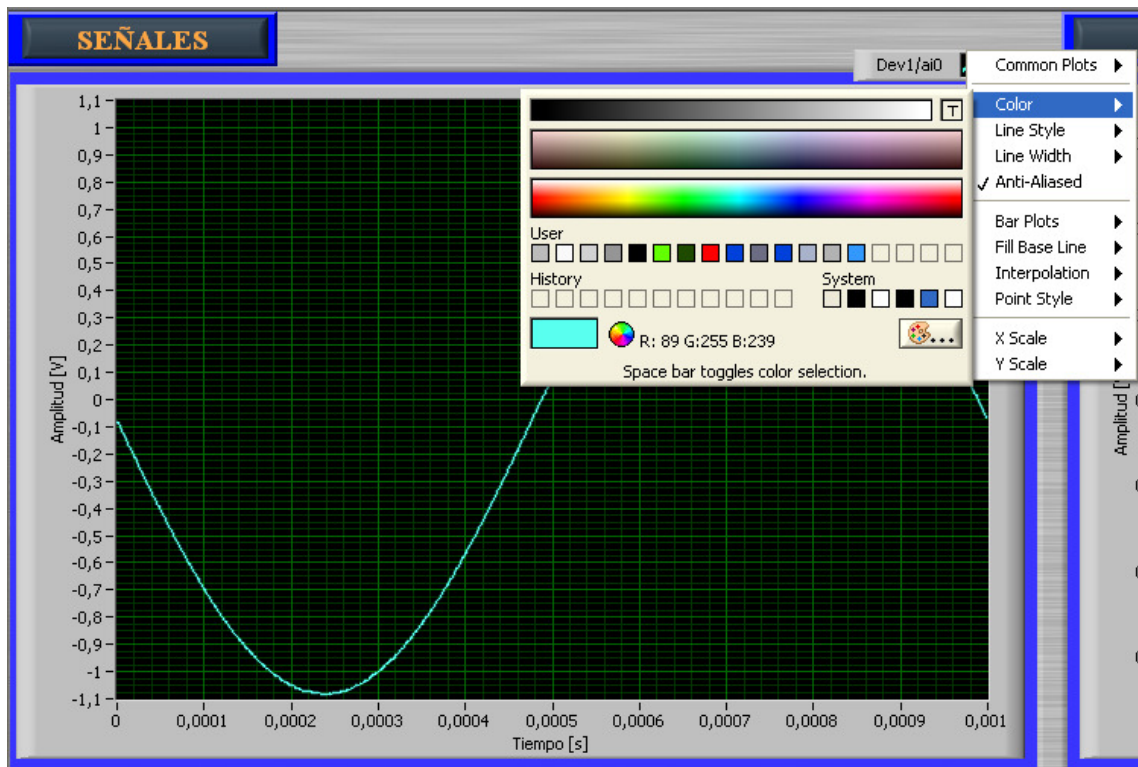


Figura III.21 Señal filtrada con  $N=50$



Por último en la figura III.22 se muestra a una señal que se modificó su aspecto haciendo uso de funciones ya disponibles en el software empleado. Las funciones en el panel frontal se activan al posicionar el ratón sobre algún área en específico de la pantalla gráfica. Como en este ejemplo donde el menú emergente aparece justo en la pestaña Dev1/ai0 donde se configura el color de la gráfica, el tipo y ancho de línea, los ejes y respecto al filtrado se tiene una opción seleccionada denominada Anti-Aliased que elimina una parte del rizo que aparece en la señal.



*Figura III.22 Cambiando configuración de la pantalla gráfica*

### 3.5. Almacenado de la señal en un archivo

Una vez que la señal presentada dentro de la pantalla gráfica es muy parecida a la deseada, el usuario puede guardar los datos numéricos correspondientes a la señal en un archivo de texto por medio del botón *salvar señal*. La figura III.22 muestra el cambio de color del botón *salvar señal* cuando la acción de guardar se encuentra en proceso.

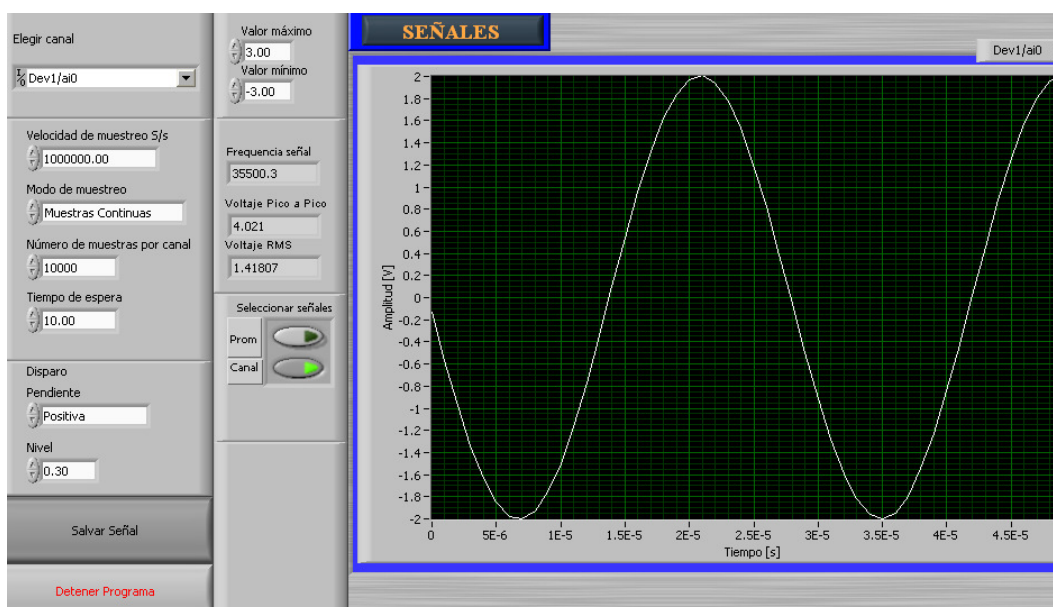


Figura III.23 Cambio de color del botón *salvar señal*

Para detener éste proceso es necesario seleccionar nuevamente *salvar señal*. Los datos son almacenados en un archivo de texto dividiéndolos en dos columnas separadas por el tabulador. Al ser almacenados dentro del archivo de texto hace posible su tratamiento en algún software de propósito específico (Matlab, Origin, LabView, Excel, etc.). En la figura III.24 se tiene un ejemplo del archivo de texto para la misma señal presentada en la figura III.23.

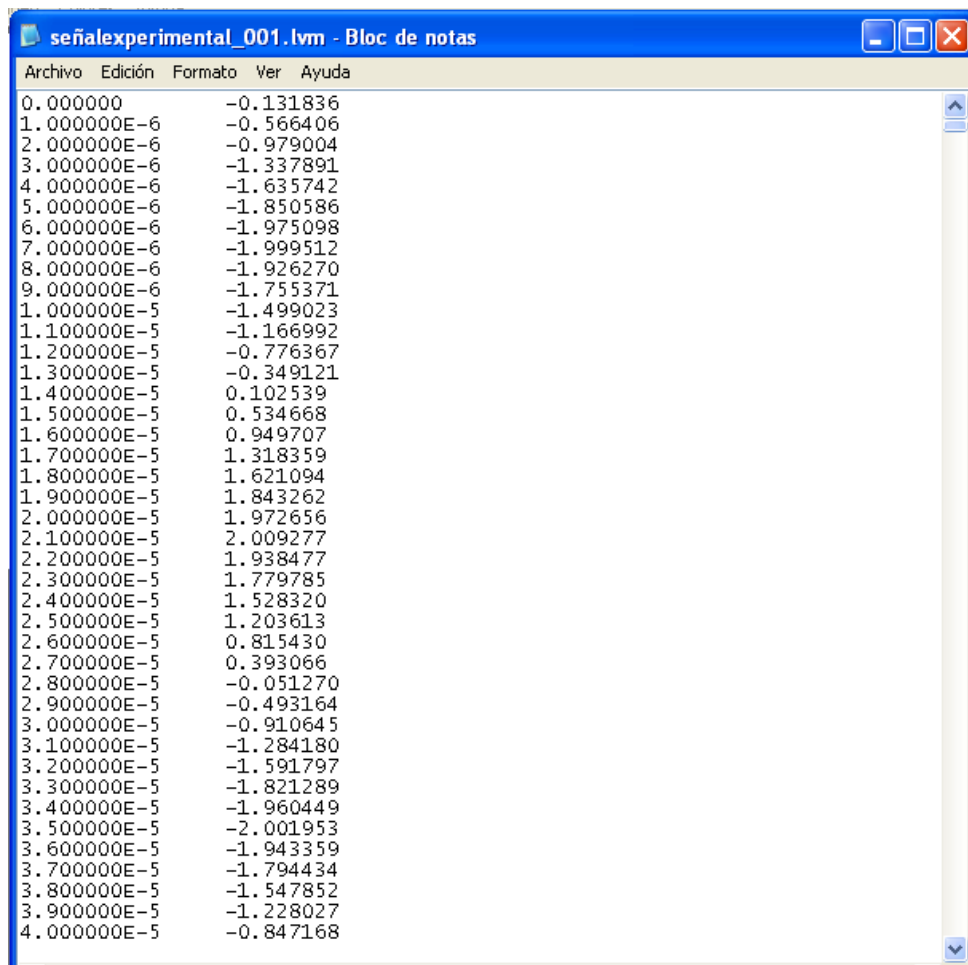


Figura III.24 Ejemplo de archivo de texto

Por último los archivos de texto se almacenan dentro de una carpeta denominada *datos experimentales*.

Las primeras pruebas mencionadas se realizaron para cada uno de los canales de la tarjeta PCI-MIO-16E-1 haciendo énfasis que aunque las señales pueden estar conectadas al mismo tiempo en todos y cada uno de los canales únicamente se pueden obtener datos de forma individual y no al mismo tiempo en todos los canales.

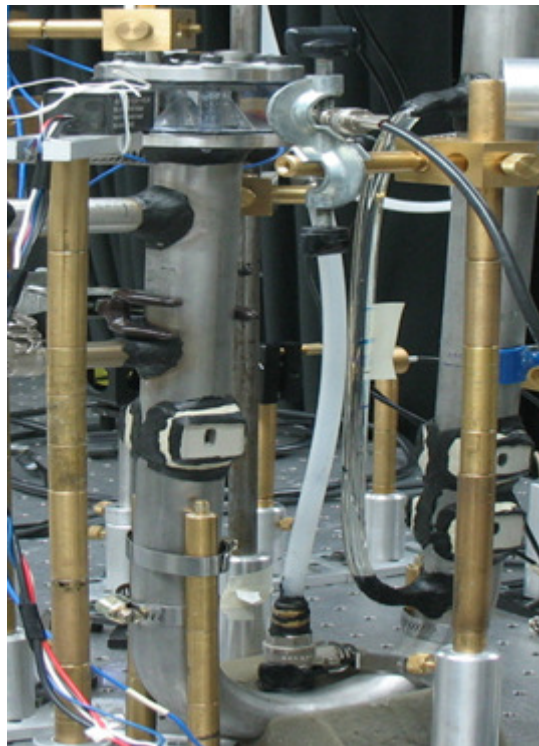
# **CAPÍTULO IV**

Presentación de resultados en pantalla

En el capítulo I se hizo una descripción del experimento de Luminiscencia por colapso de burbuja cónica; en el presente capítulo se abordan las pruebas realizadas directamente con los datos obtenidos del experimento de Luminiscencia comparando los resultados entre el programa para la adquisición de datos experimentales y Origin (software para el análisis de datos).

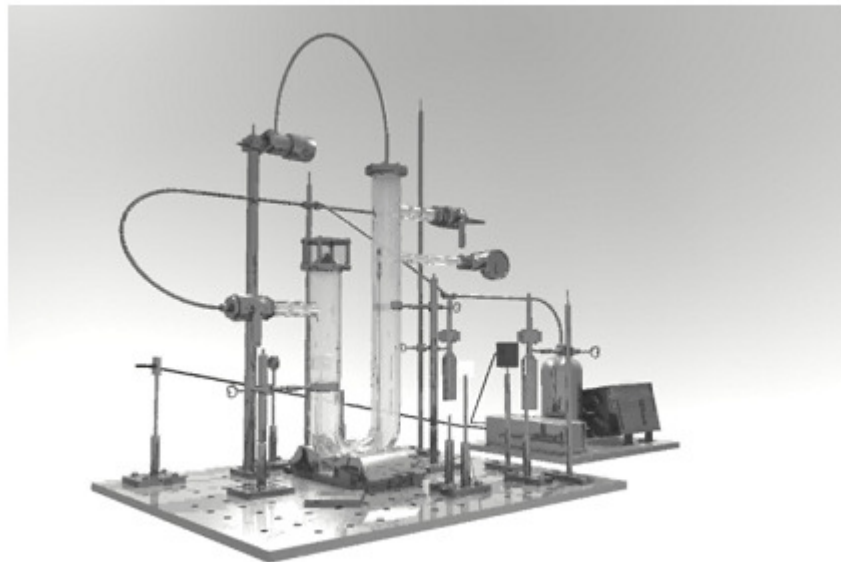
#### 4.1. Obtención de las señales experimentales

En la figura IV.1 se muestra una imagen del dispositivo en U para la reproducción de luminiscencia por colapso de burbuja cónica.



*Figura IV.1 Imagen del dispositivo en U*

En la figura IV.2 se muestra en forma más general el arreglo del dispositivo en U.



*Figura IV.2 Arreglo del dispositivo en U.*

En la figura IV.1 y IV.2 se observan los elementos que conforman al dispositivo en U. Lo anterior tiene como finalidad mostrar algunos de los elementos que conforman al dispositivo en U de una forma más detallada.

En las figuras subsecuentes a la del experimento de luminiscencia se presentan las gráficas obtenidas para las 4 señales que integran al experimento. Las figuras IV.3, IV.5, IV.7 y IV.9 muestran a las señales obtenidas mediante el programa de adquisición de datos experimentales. En el caso de las figuras IV.4, IV.6, IV.8 y IV.10 corresponden a las gráficas obtenidas mediante un osciloscopio y que fueron guardados los datos correspondientes a cada una dentro de un archivo y además se importaron los datos para ser procesados con Origin.

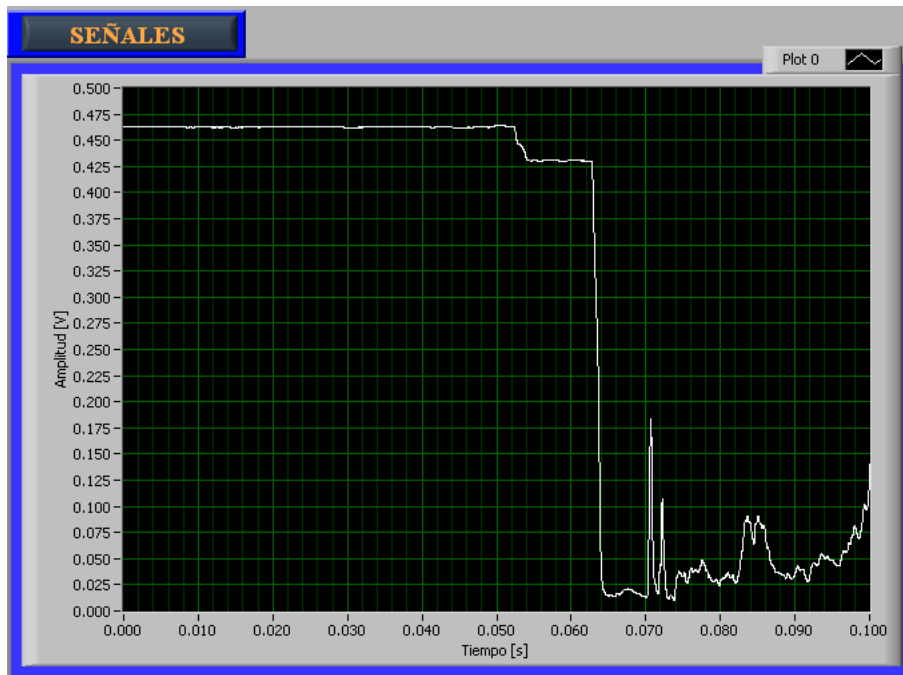


Figura IV.3 Velocímetro

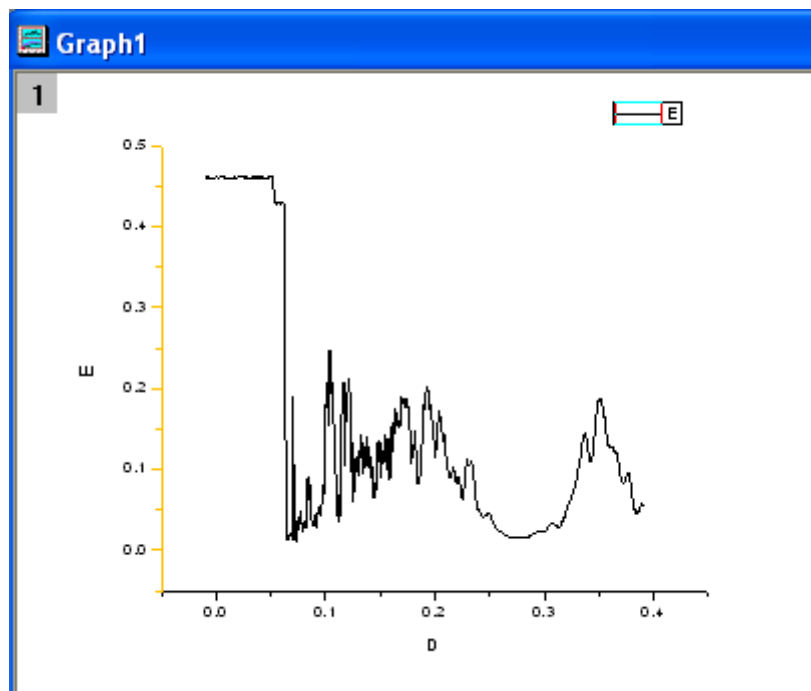


Figura IV.4 Señal de velocímetro en Origen

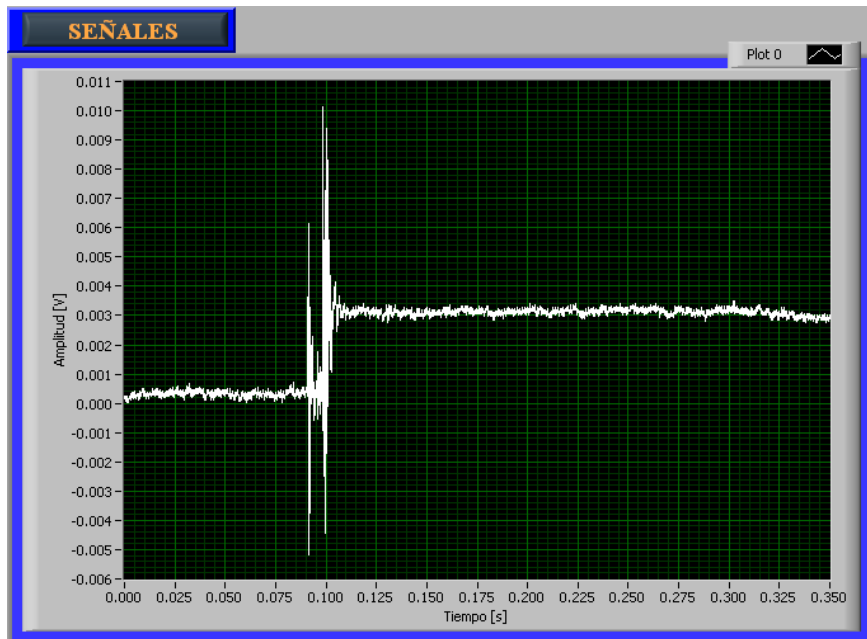


Figura IV.5 Señal de piezoeléctrico

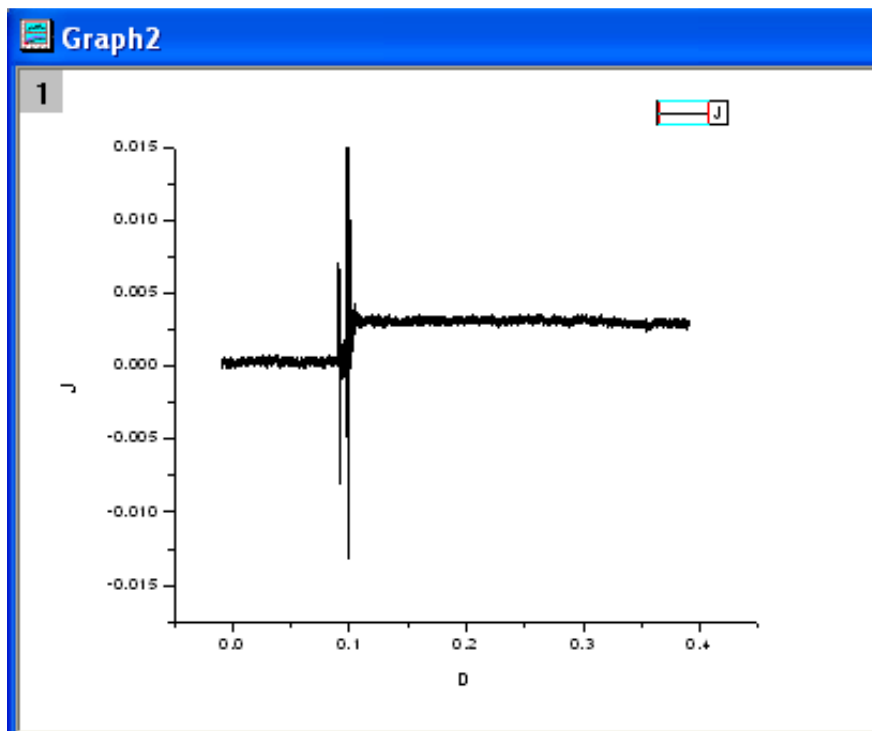


Figura IV.6 Señal de piezoeléctrico con Origin



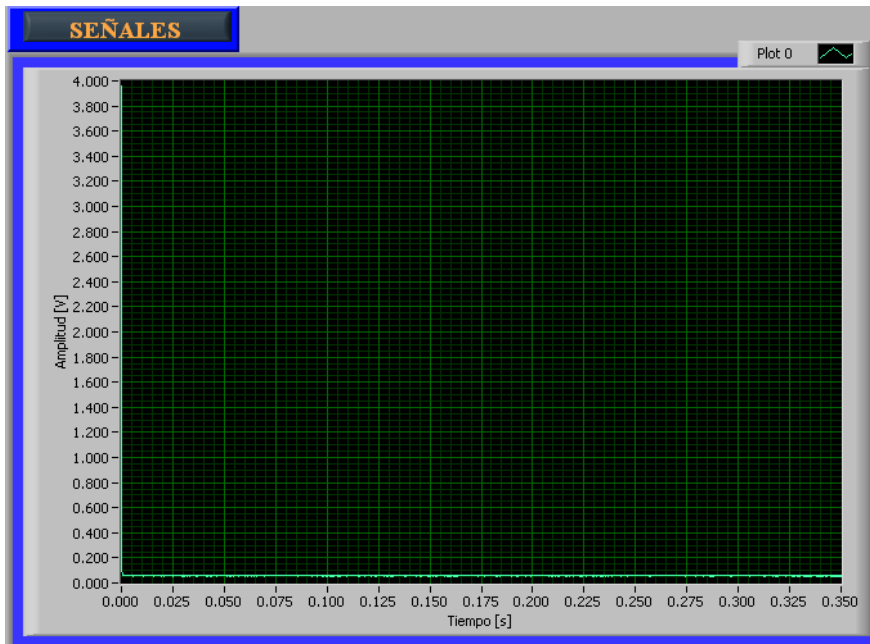


Figura IV.7 Señal de apertura de Válvula

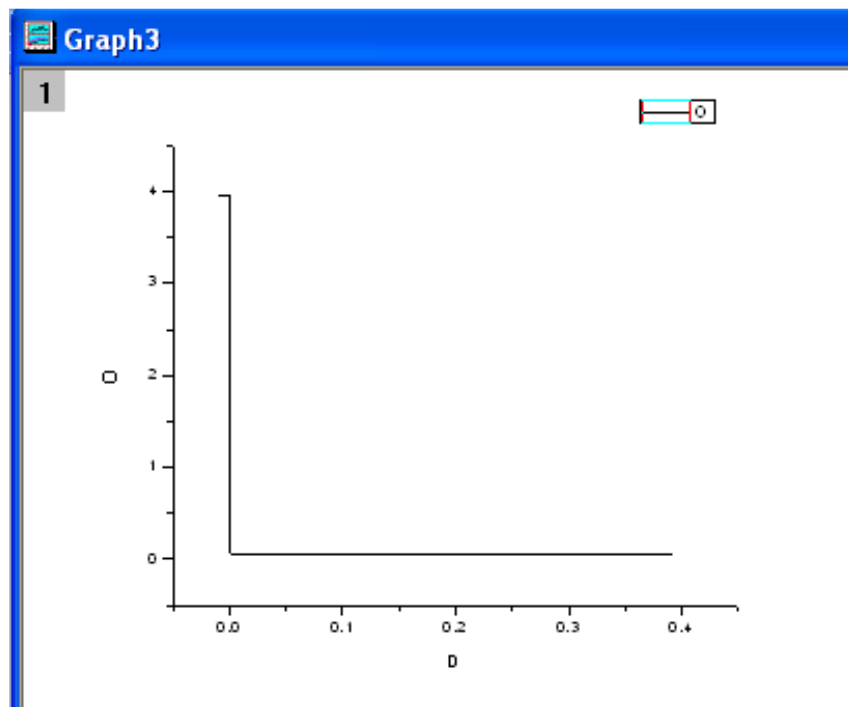
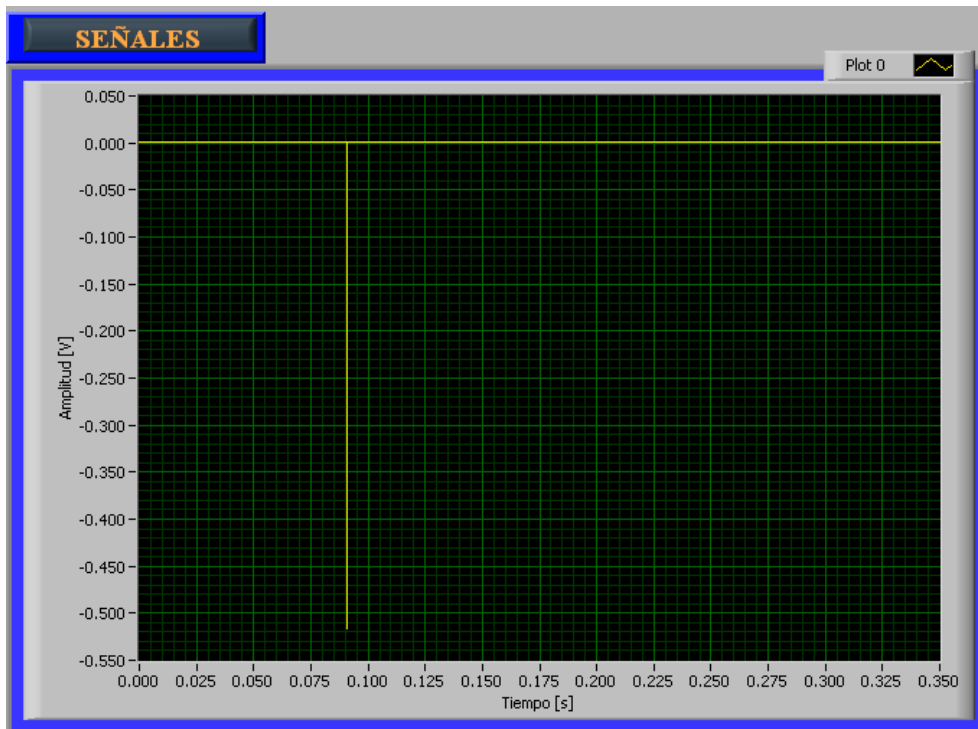
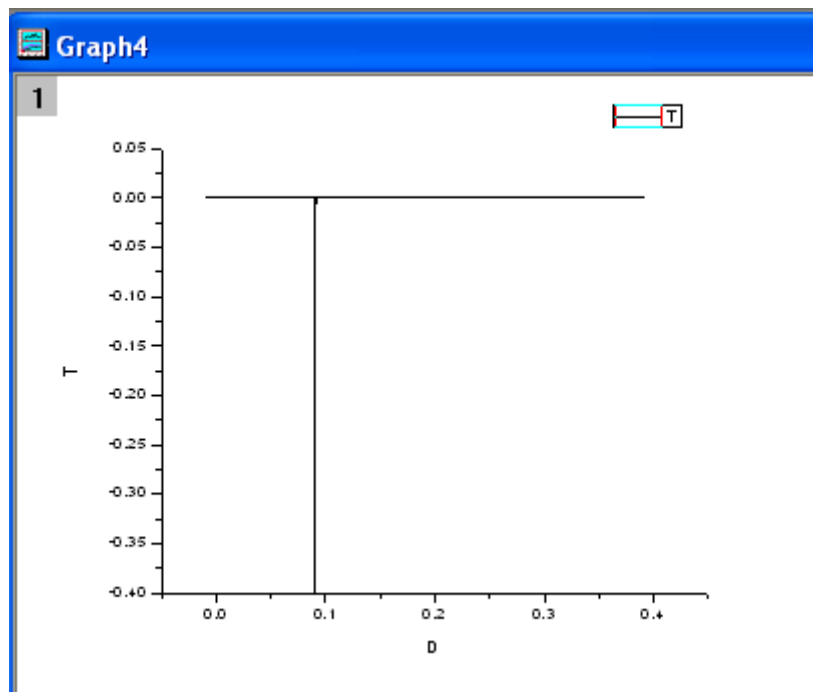


Figura IV.8 Señal de apertura de Válvula con Origin



*Figura IV.9 Pulso de luz*



*Figura IV.10 Pulso de luz en Origin*

Se observa que en las señales adquiridas mediante el programa de adquisición de datos experimentales solamente se tiene referencia a 0 en el eje de las abscisas mientras que las señales obtenidas con el osciloscopio tienen referencias negativas para el mismo eje. Lo que implica que en el programa de adquisición de datos el disparo solo puede establecerse a partir de 0 segundos.

# CONCLUSIONES

Se cumplió el objetivo al implementar un sistema completo de adquisición de datos que es utilizable en los experimentos realizados dentro del laboratorio de pruebas no destructivas. El sistema completo puede sustituir a un osciloscopio convencional y ser utilizado para experimentos que requieran más de cuatro canales.

Al ser una PC de escritorio la que se utiliza para almacenar los datos pueden utilizarse distintos tipos de software para realizar el procesado o análisis de los datos en la misma. También, permite que los datos sean almacenados en cualquier medio extraíble compatible con la PC.

El programa es fácil de utilizar e intuitivo de tal forma que el usuario no necesita tener un manual de referencia en todo momento para hacer uso del mismo. Por otro lado las funcionalidades que se encuentran implícitas en el software empleado para la programación son fácilmente descubiertas por el usuario y ser aprovechadas para la realización de cualquier medición durante el proceso de experimentación.

# RECOMENDACIONES

Como se mencionó en el capítulo I la tarjeta PCI-MIO-16E-1 tiene una velocidad máxima de muestreo limitada y si se compara con la de un osciloscopio digital es mucho menor la que corresponde a la de la tarjeta impidiendo la medición de señales que superen la frecuencia de muestreo de la tarjeta. Por lo cual si se va a emplear una tarjeta de adquisición de datos siempre debe de tomarse en cuenta las especificaciones que tiene .

La tarjeta es de tipo multiplexado así que si se desea utilizar todos los canales al mismo tiempo para la medición de diferentes señales, es necesario tomar en cuenta otros problemas que no han sido mencionados. Como por ejemplo replicas de una misma señal en cada canal o la división de la frecuencia de muestreo de la tarjeta por canal entre otros problemas existentes.

El tipo de disparo se establece en el programa cuando la señal supera un límite superior o inferior pero bien podría establecerse entre una ventana.

El programa no es interactivo por lo cual es susceptible de mejora al utilizar cuadros de dialogo que permitieran al usuario reconocer o configurar algún aspecto deseable.

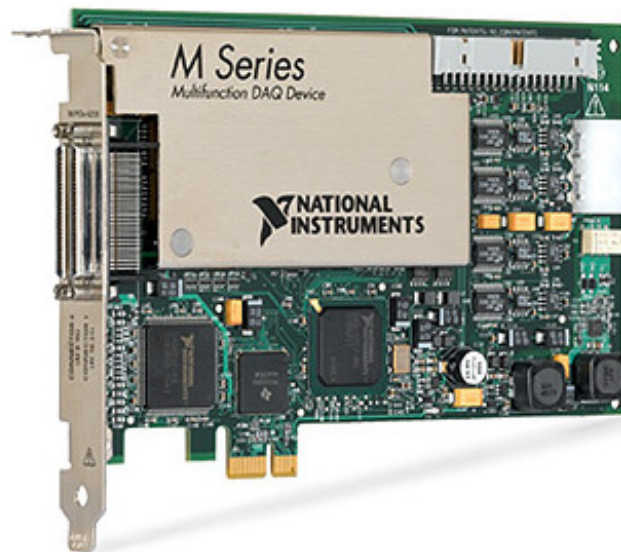
# ANEXOS



<b>A/D</b>	Analógico Digital
<b>DAC</b>	Digital Analog Converter
<b>DAQ</b>	Data Acquisition
<b>DIP</b>	Dual in-line package
<b>DFT</b>	Discrete Fourier Transform
<b>FD</b>	Filtro Digital
<b>FIR</b>	Finite Impulse Response
<b>FFT</b>	Fast Fourier Transform
<b>Gb</b>	Giga bytes
<b>GHz</b>	Giga Hertz
<b>Khz</b>	Kilo Hertz
<b>LabVIEW</b>	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
<b>m</b>	metro
<b>MA</b>	Moving Average
<b>MAX</b>	Measurement and Automation eXplorer
<b>Mb</b>	Mega bytes
<b>MS/s</b>	Mega Samples per second
<b>S/s</b>	Samples per second
<b>TTL</b>	Transistor Transistor Logic
<b>V</b>	Volts
<b>V<sub>pp</sub></b>	Volts pico a pico
<b>V<sub>rms</sub></b>	Volts root mean square
<b>VI</b>	Virtual Instrument

**Tipos de tarjetas de adquisición**

Hay varios tipos de sistemas de adquisición de datos. Los Data Loggers son sistemas que operan de forma independiente (stand-alone), la única función del ordenador es el volcado (cambiar los datos almacenados en soportes que están en un formato ó sistema de ficheros que no se utilizan habitualmente a un dispositivo de uso cotidiano) de los datos adquiridos. Las tarjetas DAQ (Data Acquisition) no operan de forma independiente sino que necesitan de un ordenador para gobernarlas, las hay internas que usan como interfaces más habituales PCI, PXI o PCI Express y externas como USB o RS-232.



*Figura B.1 Ejemplo de tarjeta DAQ PCI Express*



*Figura B.2 Ejemplo de tarjeta DAQ tipo USB*



*Figura B.3 Ejemplo de Data Logger Wifi*

Diagrama de bloques de la tarjeta PCI-MIO-16E-1

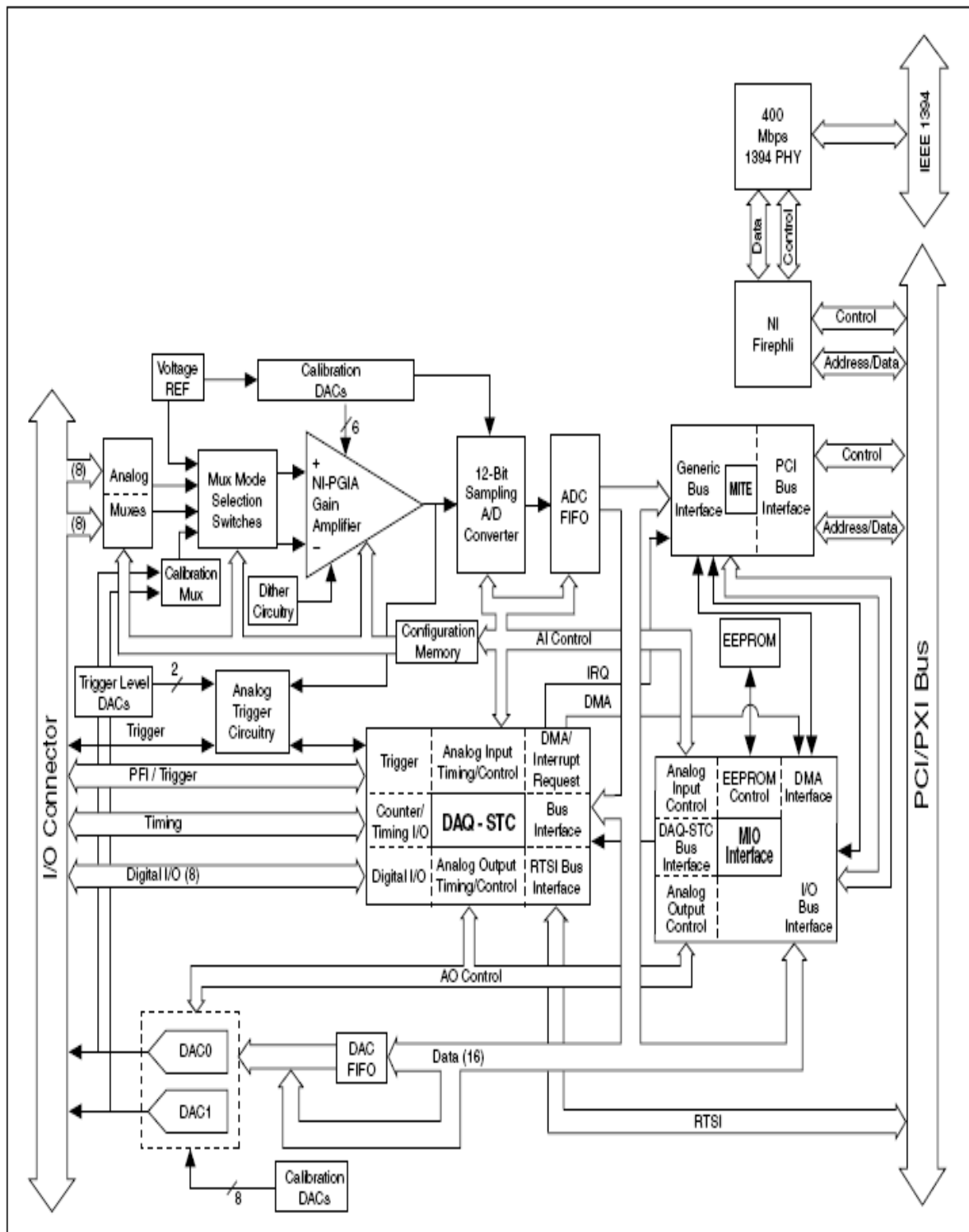
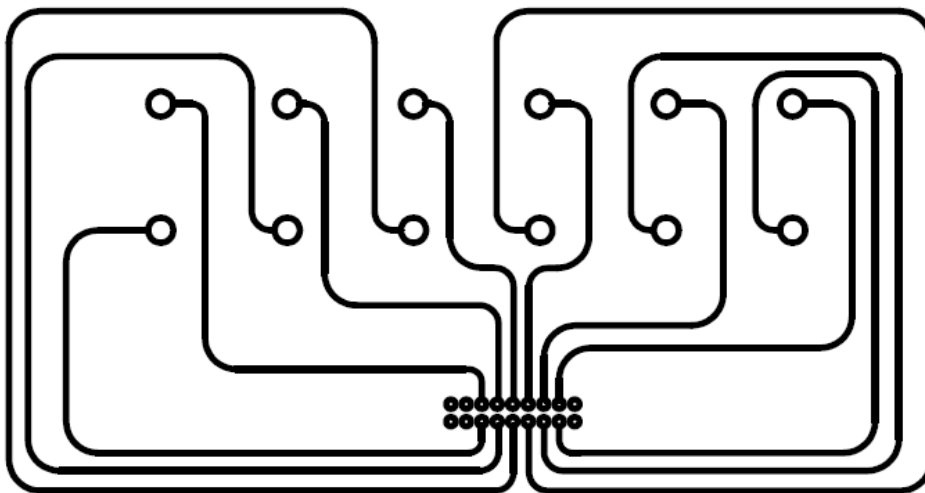


Figura C.1 Diagrama de bloques de la tarjeta PCI-MIO-16E1

Diseño del bloque conector

El bloque conector consta de un impreso que funciona como interfaz de conexión entre la computadora y los parámetros a medir del fenómeno. La figura A.1 muestra el diseño del impreso para el bloque conector.



*Figura D.1 Impreso del bloque conector.*

El diseño anterior fue realizado mediante AutoCAD. Posteriormente fue grabado en una placa fenólica. A su vez la placa fenólica fue montada en una caja de aluminio previamente perforada para unir las conexiones BNC con la placa mediante soldadura.

## Referencias

- [ 1] MORALES ROMERO, J. Luis. *Sistema para la reproducción de sonoluminiscencia en resonador esférico*. Tesis para obtener el título de maestro en ingeniería, México, Instituto de Ingeniería UNAM, 2006.
- [ 2] LAJARA, J. Rafael y José Pelegrí, *LabView entorno gráfico de programación*. España, Alfaomega, 2007.
- [ 3] NAVA, Israel. *Diseño e integración de un sistema de adquisición de datos para la medición de perfiles en pavimentos*. Tesis para obtener el título de maestro en ingeniería, México, Instituto de Ingeniería UNAM, 2007.
- [ 4] *PCI E Series User Manual*. National Instruments, 1997.
- [ 5] National Instruments. *NI PCI-6070E*. Estados Unidos, Austin Texas .(22 de Octubre, 2008: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/1041>)
- [ 6] *LabView User Manual*. National Instruments, 1998
- [ 7] Franz, Erwin. *Seminario Práctico LabView 8.5*. National Instruments, 28 de abril de 2008.
- [ 8] Franz, Erwin. *Programación Gráfica para Científicos e Ingenieros LabView 8.5*. National Instruments, 14 de julio de 2008.
- [ 9] Escobar Salguero, Larry. *Diseño de Filtros Digitales*. México, Facultad de Ingeniería UNAM, Marzo 2006.
- [ 10] National Instruments. *Analog Samplig Basics*. Estados Unidos, Austin Texas. (28 de abril de 2009: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3016>)
- [ 11] National Instruments. *FFT Analysis*. Estados Unidos, Austin Texas. (28 de abril de 2009: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3342>)

- [ 12] PROAKIS J.G. & MANOLAKIS. *Digital Signal Processing, Algorithms and Applications, United States of America, Prentice Hall, fourth edition, 2007.*
- [ 13] National Instruments. *The Fundamentals of FFT-Based Signal Analysis and Measurement in LabVIEW and LabWindows/CVI.* Estados Unidos, Austin Texas. (29 de abril de 2009: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4278>).
- [ 14] NUÑEZ, Raúl. *Obtención eficiente de espectros basada en un algoritmo mejorado de ventana ajustable.* México, Revista Mexicana de Física (30 de abril de 2009: [http://rmf.fciencias.unam.mx/pdf/rmf-e/53/1/53\\_1\\_020.pdf](http://rmf.fciencias.unam.mx/pdf/rmf-e/53/1/53_1_020.pdf)).
- [ 15] PSENICKA, Bohumil. *Filtrado de Señales Analógicas.* México, Facultad de Ingeniería UNAM, 2001.
- [ 16] ACHA, Eloisa. *¿Qué es la Instrumentación virtual?.* Estados Unidos, Austin Texas, National Instruments. (11 de mayo de 2009: <http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/web/all/01E4BFF8EC93532086256B6000669953>)
- [ 17] National Instruments. *LabVIEW and Visual Basic.* Estados Unidos, Austin Texas.(11/05/2009: <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/2828>)