

## **HARDWARE Y SOFTWARE DE LA ADQUISICIÓN DE DATOS**

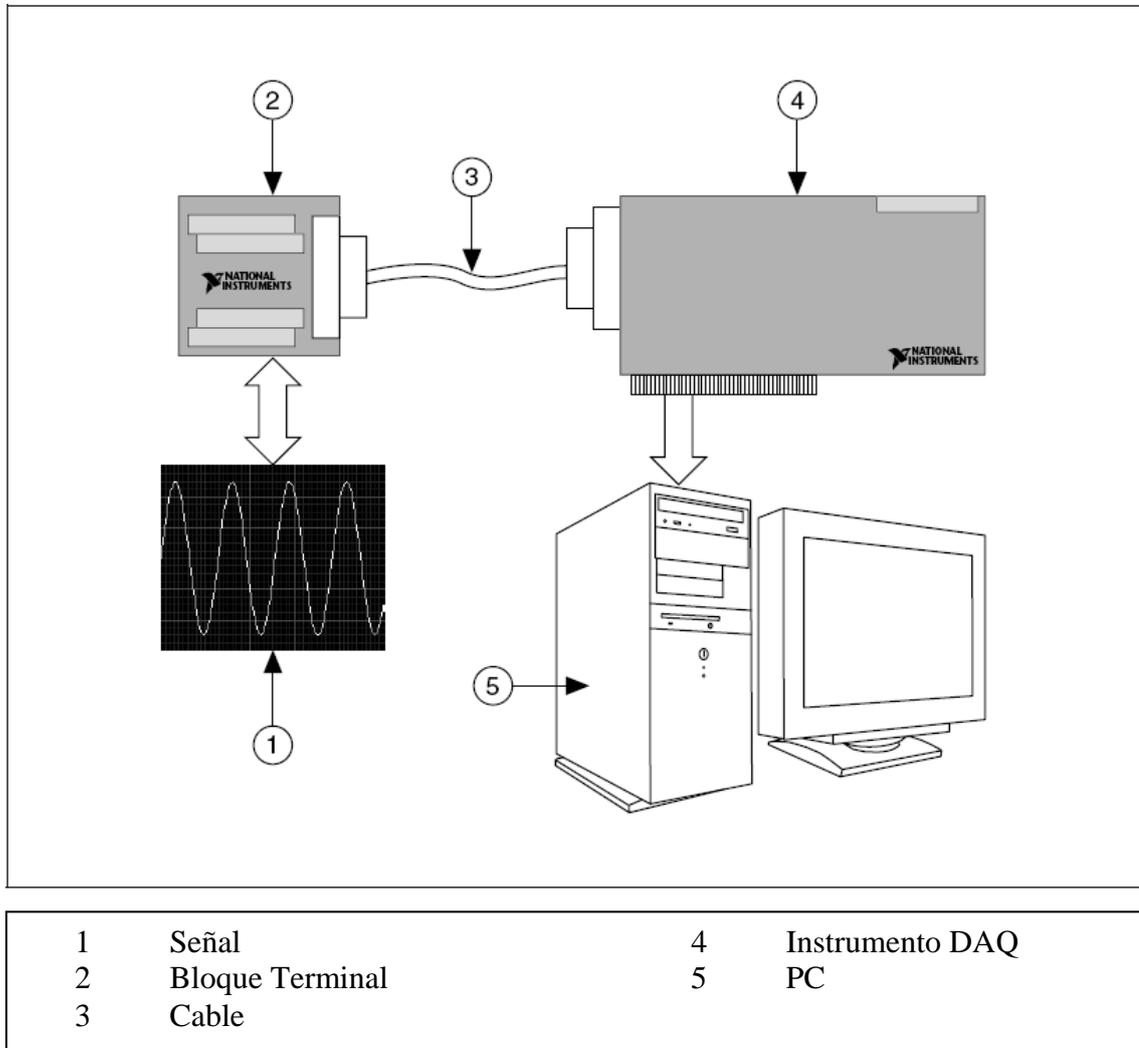
Esta lección describe el hardware y el software de la adquisición de datos.

Tenemos los siguientes apartados:

- A. Descripción del hardware DAQ
- B. Componentes del dispositivo DAQ
- C. Consideraciones de la configuración
- D. Software DAQ
- E. NI-DAQ
- F. Measurement & Automation Explorer (MAX)

## A. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DAQ

Un sistema DAQ está formado por tres tipos básicos de hardware, un bloque Terminal, un cable y un instrumento DAQ. Este apartado describe cada tipo de hardware, se centra en la función que desempeñan los componentes del instrumento DAQ.

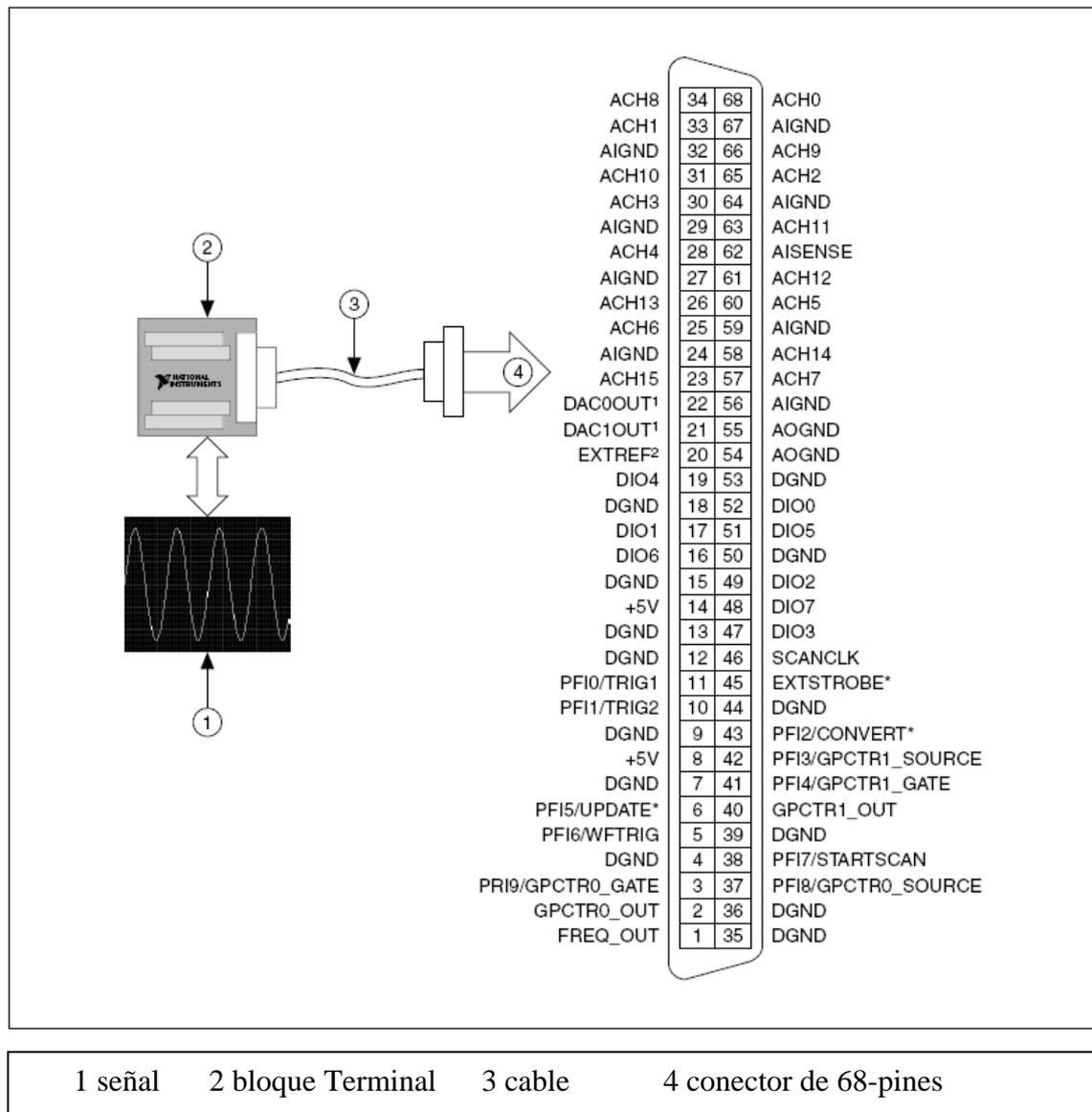


Después de convertir el fenómeno físico en una señal medible con o sin acondicionarla, se debe adquirir esa señal. Para adquirir la señal es necesario un bloque Terminal, un cable, un dispositivo DAQ y un PC. Esta combinación de hardware puede transformar un PC estándar en un sistema de medición y automatización.

### **El Bloque Terminal y el Cable**

El bloque Terminal consiste en unos terminales de conexión para las señales y otro conector para poder conectarlo al dispositivo DAQ. Estos bloques terminales tienen 100, 68 o 50 terminales. El tipo que se debe elegir depende de dos factores, el dispositivo y el número de señales a

medir. Un bloque de 68 terminales tiene más terminales de tierra que uno de 50. Al tener más terminales de tierra la probabilidad de tener interferencias entre señales disminuye. Los bloques terminales pueden ser blindados o no-blindados, los blindados ofrecen una mayor protección contra el ruido. A continuación se muestra el layout de las terminales del bloque Terminal.



El cable lleva la señal del bloque Terminal al dispositivo DAQ.

### Accesorio de señales DAQ

#### Dispositivo DAQ

Los dispositivos DAQ tienen cuatro elementos estándares: entradas analógicas, salidas analógicas, E/S digitales y contadores. Los dispositivos

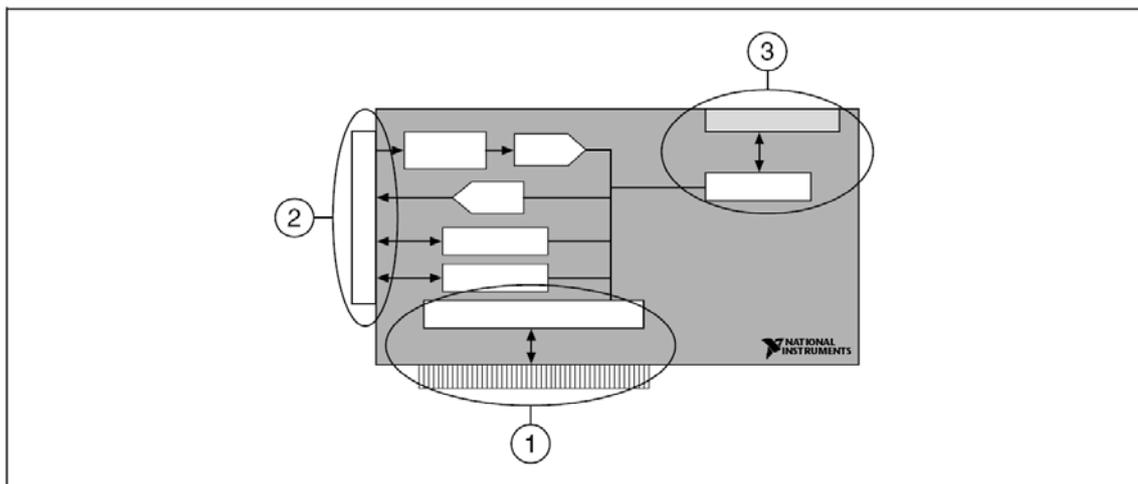
DAQ más comunes de National Instruments son de las series E y M. La serie E consta de 16 entradas analógicas, 2 salidas analógicas, 8 líneas digitales de E/S y 2 contadores. La serie M se diferencia de la serie E por tener 24 líneas digitales de E/S y dos contadores/temporizadores.

Se puede transferir la señal que se mide con el dispositivo DAQ al PC a través de diferentes estructuras de buses.

Si no se dispone de un dispositivo DAQ se puede simular uno mediante el "Measurement and Automation Explorer".

## **B. COMPONENTES DE UN DISPOSITIVO DAQ**

En la siguiente ilustración se pueden apreciar los componentes de un dispositivo DAQ.



1 Circuitería de interfaz E/S del PC  
2 Conector E/S

3 "Real time System integration"  
(RTSI) Bus

### **Interfaces**

Un típico dispositivo DAQ tiene 3 interfaces para recibir y enviar señales: el conector de entradas y salidas, la Circuitería de interfaz E/S del PC y "Real time System integration" (RTSI) Bus.

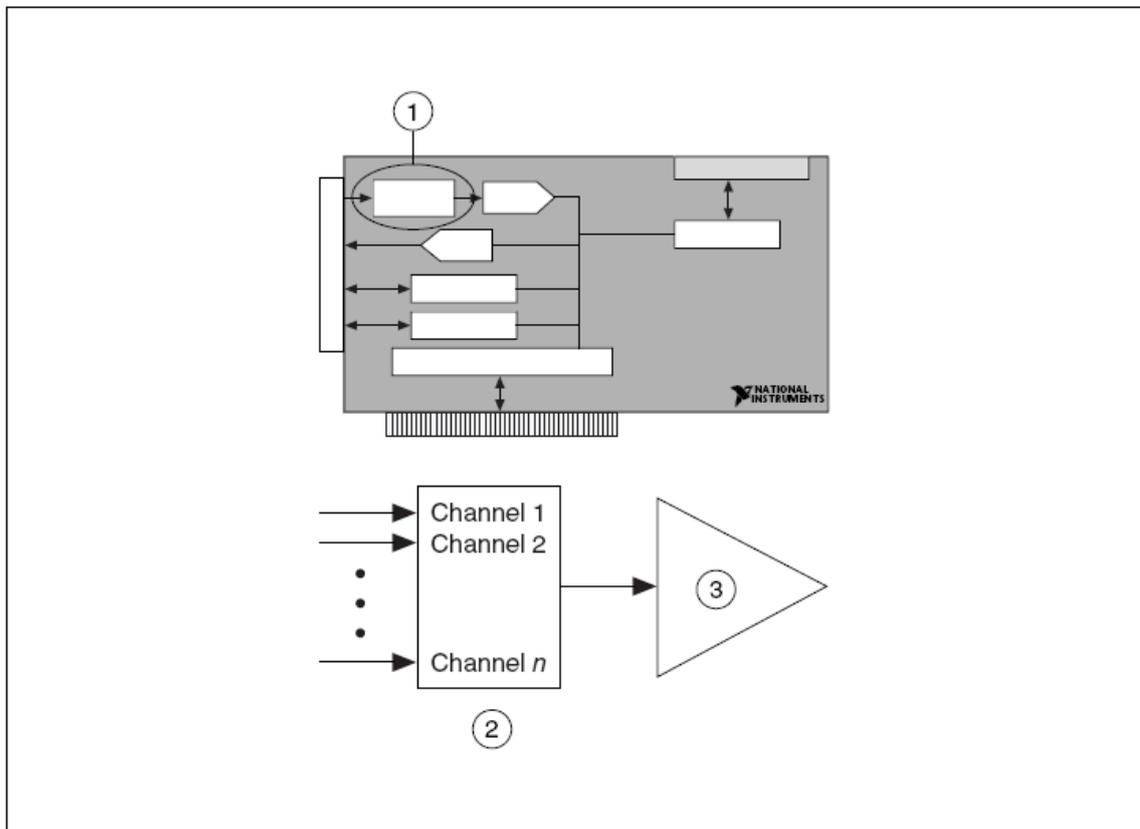
**Conector E/S**-- El conector E/S es el medio por el cual las señales entran y salen del dispositivo DAQ. El conector tiene 100, 68, 50 pines dependiendo del dispositivo. Un extremo del cable se conecta al conector E/S y el otro extremo al bloque Terminal.

**Circuitería de interfaz E/S del PC**—transfieren la información entre el DAQ y el PC se pueden diferenciar dependiendo del protocolo de bus que se utilice.

**Bus RTSI**—Comparte y sincroniza señales entre varios DAQ en el mismo ordenador. Por ejemplo, si tenemos dos dispositivos para realizar entradas analógicas al mismo tiempo, se puede compartir una señal de reloj a través del bus RTSI a los dos dispositivos, por lo tanto usan la misma señal de reloj.

### Circuitría de entrada analógica

Después de entrar por el conector E/S, la señal analógica de entrada pasa a través de la circuitría de entrada analógica antes de pasar al convertidor analógico digital. La circuitría consiste en un multiplexor y un amplificador de instrumentación. En la siguiente figura se muestran los detalles de la circuitría.



1 Circuitría de la entrada analógica      2 Multiplexor  
3 Amplificador de instrumentación

**Multiplexor:** El multiplexor es un switch que conecta solo un canal de entrada, entre varios canales, al amplificador de instrumentación al mismo tiempo. El multiplexor rota la señal haciendo pasar uno cada vez. LabVIEW controla el orden en el que el multiplexor conecta las señales entrantes.

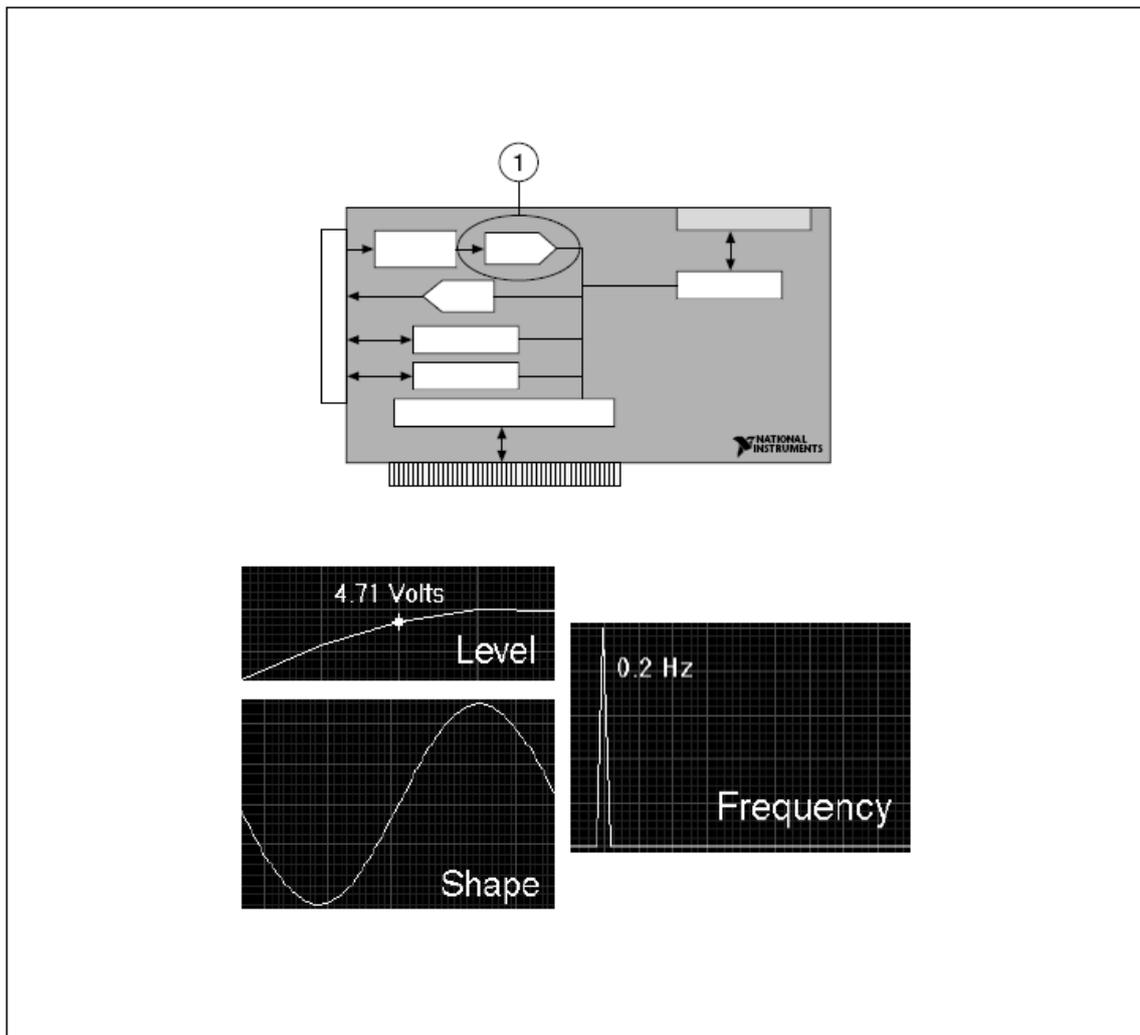
**Amplificador de instrumentación:** Puede amplificar o atenuar la señal que recibe.

El propósito del amplificador es hacer que la señal se adecue al rango del ADC.

### **Convertidor analógico a digital (ADC):**

El ADC es un dispositivo electrónico que convierte la tensión analógica en un número digital para enviarlo al ordenador para interpretación usando la circuitería de interfaz de E/S. La circuitería de entrada analógica combina con el ADC para adquirir una señal analógica para medir el nivel, la forma o la frecuencia de la señal.

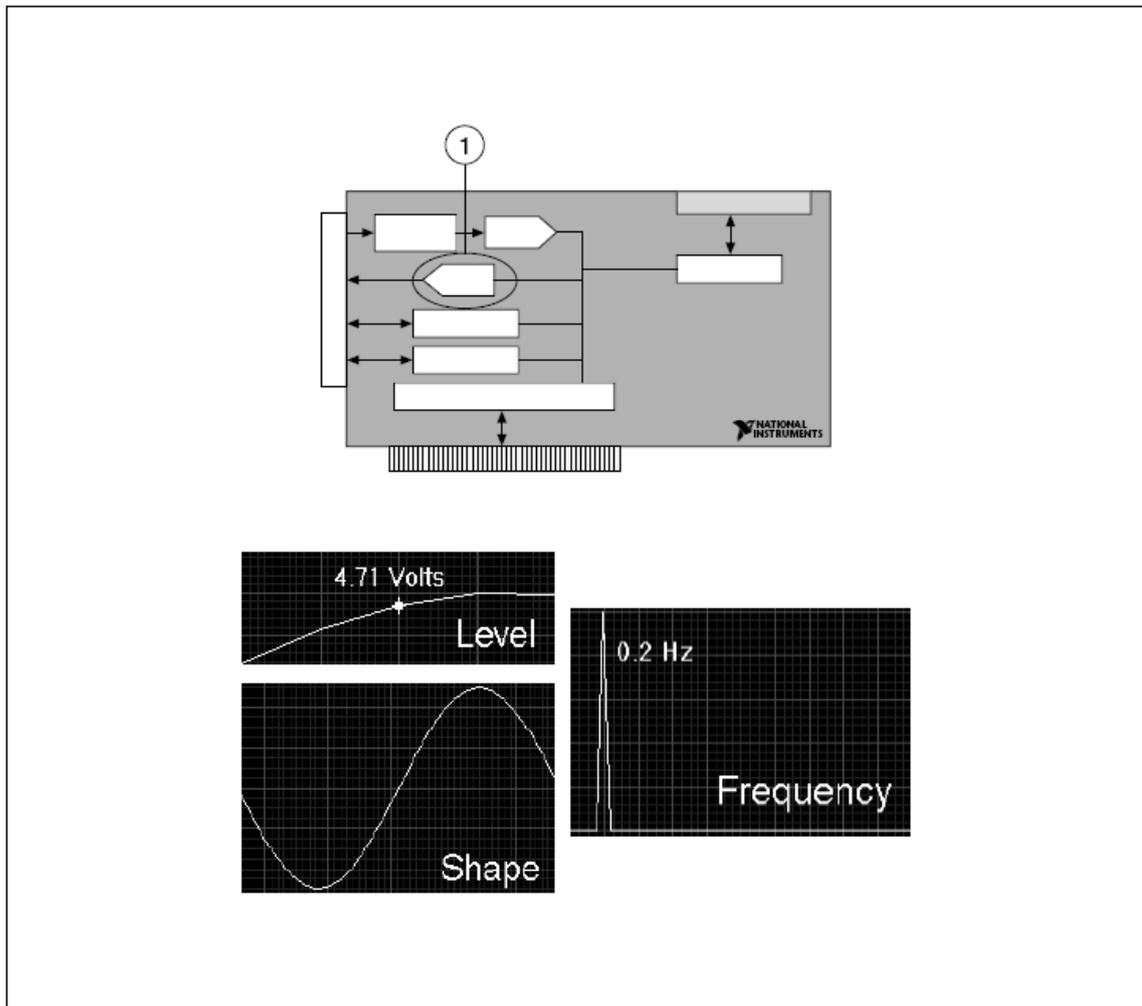
En la siguiente ilustración se muestra el ADC.



### **Convertidor Digital Analógico**

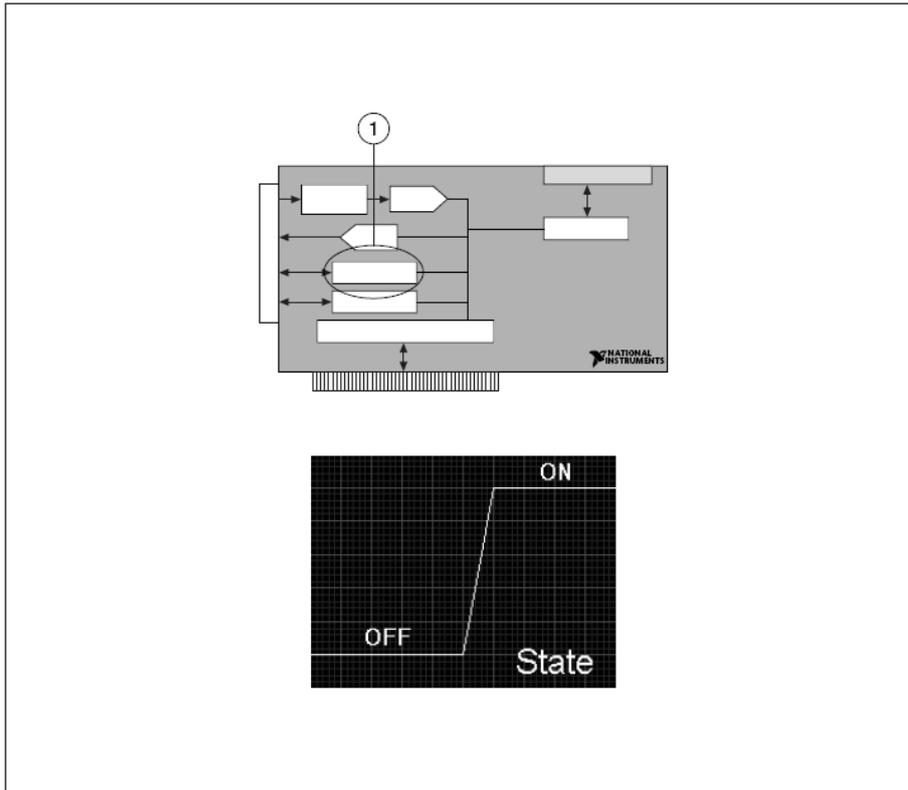
Un DAC coge un número digital que ha sido enviado del ordenador a través de la circuitería de interfaz E/S del PC, y lo convierte en una señal analógica que es la salida del conector E/S. Un DAC se utiliza para la generación de señales DC, tonos específicos (frecuencias) y formas de onda (formas). Se puede usar la funcionalidad de la salida analógica de un dispositivo DAQ en

aplicaciones desde sistemas de control usando un control PID, a controlar servo motores, para generar una serie de tonos específicos para una sirena o alarma. En la siguiente ilustración se ve un DAC.



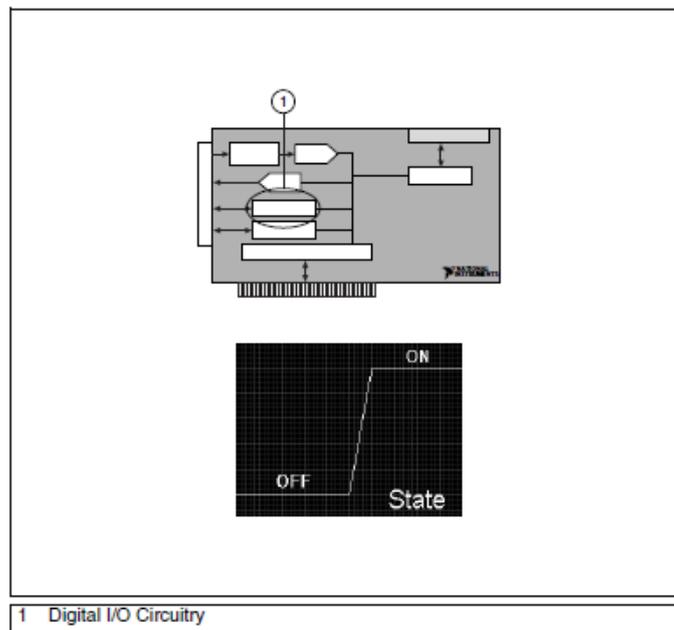
### Circuitería Digital E/S

La circuitería digital E/S puede tener funciones de entrada y salida. Se puede utilizar la funcionalidad digital E/S del dispositivo DAQ en aplicaciones desde monitorizar un switch hasta ver si han cambiado los estados que controlan un relé. El siguiente dibujo se muestran los detalles de una circuitería E/S.



### Circuito Contador

Los contadores adquieren y generan señales digitales. Sus señales de tiempo integradas llamadas *timebases* hacen que sean ideales para medir la frecuencia de una señal digital.



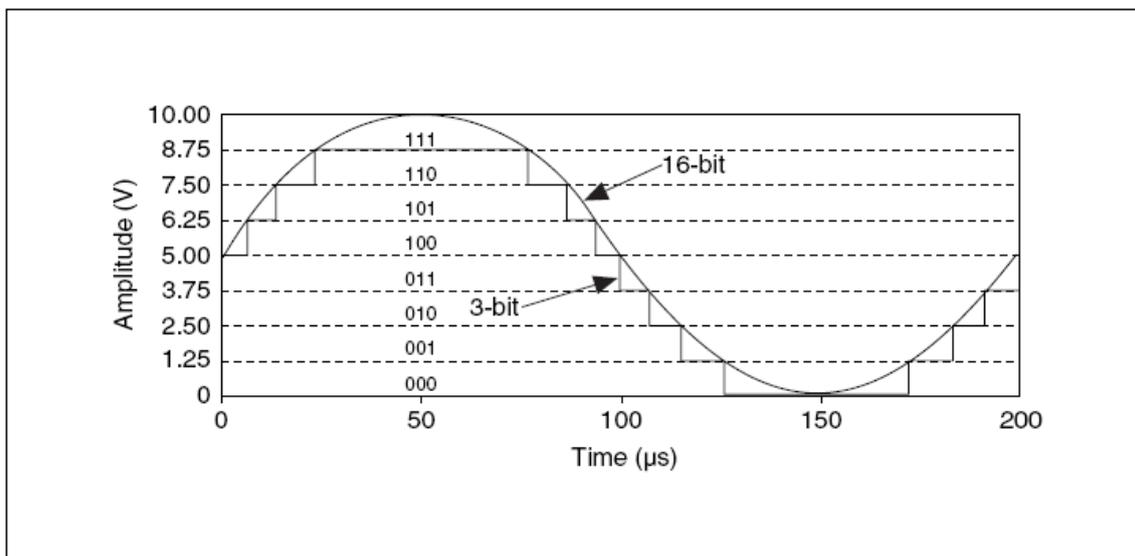
### **C. CONSIDERACIONES PARA LA CONFIGURACIÓN.**

Estos son algunos aspectos de los circuitos con entradas y salidas analógicas que afectan a la configuración del dispositivo DAQ.

- La resolución y rango del ADC
- La ganancia aplicada por el amplificador de instrumentación
- La combinación de la resolución, rango y ganancia para calcular la propiedad llamada valor ancho de código.

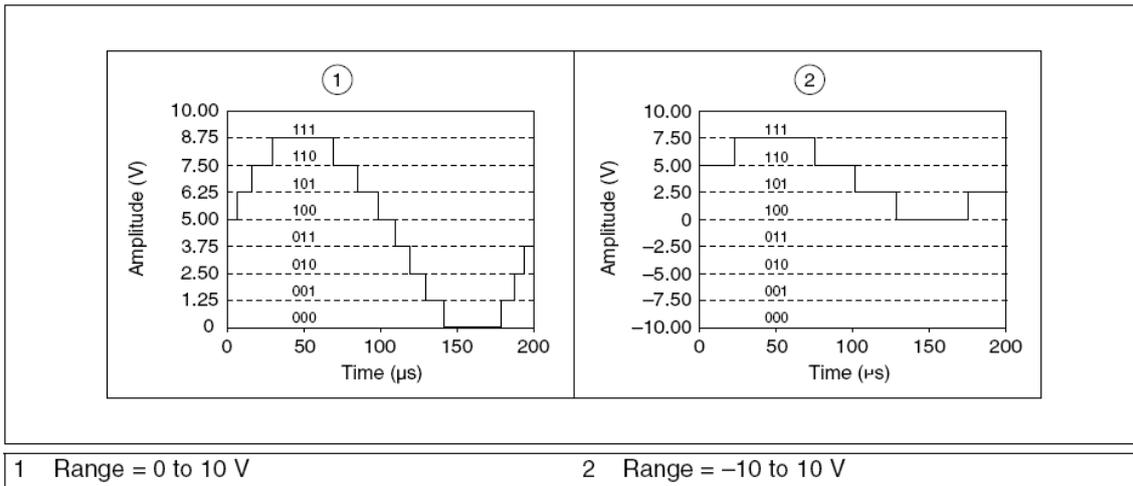
#### **Resolución**

El número de bits usados para representar una señal analógica determina la resolución del ADC. Cuanto mayor sea la resolución del DAQ, mayor es el número de divisiones en las que el sistema puede romper el rango del ADC, por lo tanto, menor será el cambio detectable. Un ADC de 3 bit divide el rango en  $2^3$  divisiones. Un código binario o digital entre 000 y 111 representa cada división. En la imagen siguiente vemos una función senoidal de 5kHz obtenida con un ADC de 3 bits. La señal obtenida no representa adecuadamente la señal original, aumentando la resolución de 3 bit ( $2^3=8$  divisiones) a 16 bit ( $2^{16}=65.536$  divisiones) hace que la representación que se obtiene sea mucho más precisa.



#### **Rango del dispositivo**

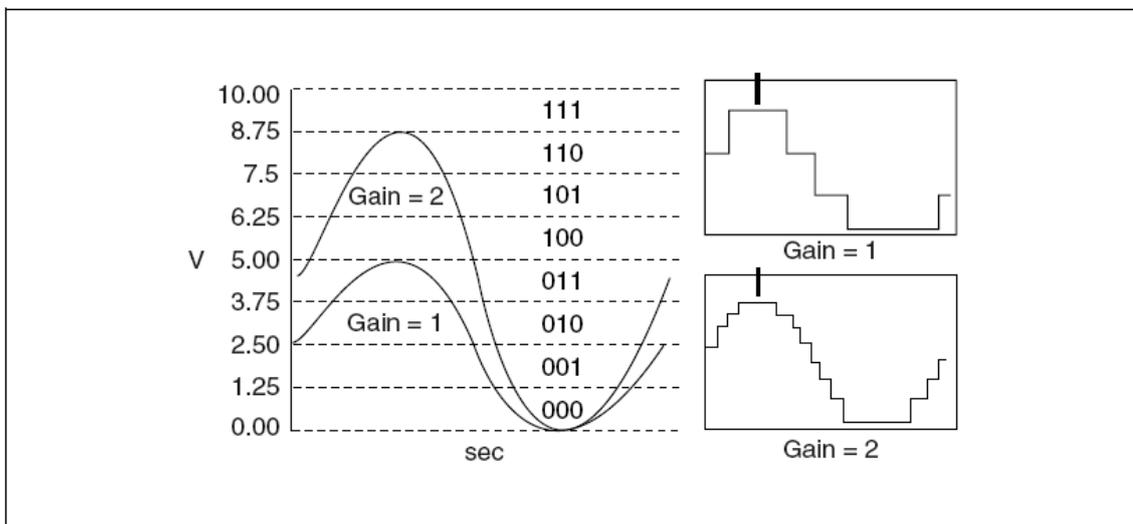
El rango se refiere a los niveles máximo y mínimo de la señal analógica que el ADC puede digitalizar. Muchos dispositivos tienen el rango seleccionable (normalmente de 0 a 10 V o de -10 a 10 V). Se puede igualar el rango del ADC con el de la señal para obtener una mayor resolución para poder medir con precisión la señal. En la siguiente ilustración el ADC de 3bit de la figura 1 tiene ocho divisiones en un rango de 0 a 10 V (rango unipolar). Si seleccionamos un rango de -10 a 10 V (rango bipolar) como se puede ver en la figura 2. El mismo ADC



**Amplificación**

La amplificación o atenuación de la señal ocurre antes de que dicha señal se digitalice para mejorar su representación. Amplificando o atenuando la señal podemos decrementar el rango de entrada de un ADC y esto permite al ADC utilizar tantas divisiones digitales como sea posible para representar la señal.

Por ejemplo en el próximo dibujo se muestra los efectos de amplificar una señal que oscila entre 0 y 5V utilizando un ADC de 3 bits en una amplitud de 0 a 10V. Sin amplificación (ganancia=1) el ADC en la conversión solamente utiliza 4 de las 8 divisiones. Para amplificar la señal dos veces antes de digitalizar, la señal utiliza las 8 divisiones y la representación de la señal es mucho más exacta. De este modo el dispositivo tiene permitido un rango de entrada de 0 a 5V porque cualquier señal por encima de los 5V cuando se amplifica con un factor de 2 hace que la entrada del ADC sea mayor que 10V.



El rango, resolución y la amplificación disponible en un dispositivo DAQ determinan el menor cambio en la tensión de entrada. Este cambio en voltios representa el LSB (bit de menor peso) y es llamado también ancho de código.

### **Ancho de código**

El ancho de código es el cambio más pequeño que puede detectar un sistema. Se calcula mediante la siguiente fórmula.

$$\text{Ancho de código} = \frac{\text{Rango de voltaje}}{\text{Amplificación} \times 2^{\text{resolución en bits}}}$$

Cuanto más pequeña es la anchura del código, el dispositivo puede representar con mayor exactitud la señal.

- Mayor resolución = menor ancho de código = representación más exacta de la señal.
- Mayor amplificación = menor ancho de código = representación más exacta de la señal.
- Mayor rango = mayor ancho de código = representación menos exacta de la señal.

## **D. SOFTWARE DAQ**

El último componente de un sistema completo DAQ es el software. La computadora recibe la información virgen a través del dispositivo DAQ. La aplicación presenta y manipula la información virgen en una forma que se pueda comprender. El software también controla el sistema DAQ mandando al dispositivo DAQ cuando y de qué canales adquirir datos. El software DAQ actúa como un simple interfaz de programación para programar la entrada analógica, salida analógica, E/S digitales, y contadores/temporizadores en centenas de multifunciones de dispositivos hardware DAQ.

Normalmente, el software de DAQ incluye drivers y aplicaciones software. Los drivers son únicos para el dispositivo o tipo de dispositivo e incluyen el sistema de comandos que el dispositivo acepta. El programa de aplicaciones, como LabVIEW, envía los comandos de drivers, por ejemplo adquirir y devolver una lectura del termopar. El programa de aplicaciones también muestra y analiza los datos adquiridos.

Los dispositivos de medida del NI incluyen el software de los drivers.

Un sistema de medida consiste en las siguientes aplicaciones informáticas:

- NI-DAQ-Software que controla el dispositivo DAQ.
- Measurement & Automation explore (MAX)- software de comunicación entre LabVIEW y NI-DAQ.
- LabVIEW- Software utilizado para crear una aplicación para enviar comandos al driver y adquirir, analizar y representar datos.

### **E. NI-DAQ**

El NI-DAQ contiene dos drivers NI-DAQ: El Tradicional y NI-DAQmx. Cada uno con su interfaz de programación(API), la configuración de hardware, y la configuración de los programas. Se utiliza el software NI-DAQ para la comunicación con dispositivos NI DAQ, tales como los dispositivos (MIO) de múltiples funciones de entrada-salida de la serie M y de la serie E y los módulos del condicionamiento de señal de SCXI. Este curso describe el desarrollo de LabVIEW usando solamente el NI-DAQmx.

NI-DAQ es compatible con las siguientes aplicaciones informáticas y los lenguajes de programación:

- National Instruments LabVIEW
- National Instruments Real-Time Module
- National Instruments LabWindows/CVI
- National Instruments Measurement Studio
- Microsoft Visual C/C++
- Microsoft C# .NET
- Microsoft Visual Basic .NET
- ANSI C

### **NI-DAQ tradicional**

El NI-DAQ tradicional es una mejora del NI-DAQ 6.9.x, la versión anterior de NI-DAQ. El NI-DAQ tradicional tiene las mismas VIs y funciones y trabaja la de la misma manera que el NI-DAQ 6.9.x. Se puede utilizar el NI-DAQ tradicional en la misma computadora que el NI-DAQmx, que no se puede hacer con NI-DAQ 6.9.x

### **NI-DAQmx**

El NI-DAQmx es el último driver de NI-DAQ con nuevas VIs, funciones, y herramientas de desarrollo para controlar los dispositivos de medida. NI-DAQmx proporciona un interfaz de usuario y un sistema de herramientas para programar y configurar su dispositivo DAQ. El NI-DAQmx incluye las siguientes ventajas sobre versiones previas NI-DAQ:

- El *DAQ assistant*, es un interfaz gráfico para configurar tareas, los canales, y las escalas de medida del NI-DAQmx para el uso en LabVIEW. Se utiliza el *DAQ assistant* para generar el código NI-DAQmx para funcionar con tareas y canales, o para desplegar el código NI-DAQmx a otro sistema DAQ. Se puede utilizar LabVIEW o el max para lanzar el *DAQ assistant*.
- Funcionamiento creciente, incluyendo una E/S analógica simple más rápida.
- Un API más simple para crear aplicaciones DAQ usando menos funciones y VIs que en versiones anteriores de NI-DAQ.
- Funcionalidad ampliada en LabVIEW incluyendo los Property Nodes para la adquisición de datos y mejorado de la forma de onda ayudando a la entrada-salida análoga y digital.

## **F. MEASUREMENT & AUTOMATION EXPLORER (MAX)**

El MAX es un aplicación basada en Windows que se instala al mismo tiempo que el NI-DAQ. Se utiliza MAX para configurar y testear el software y el hardware de NI, añadir nuevos canales e interfaces, ejecutar diagnosticos del sistema y visualizar los dispositivos e instrumentos conenctados al sistema. Se debe utilizar MAX para la programación con el NI-DAQ tradicional o NI-DAQmx. El MAX se crea con las siguientes funciones:

- Data Neighborhood
- Devices and Interfaces
- Historical Data
- Scales
- Software
- VI Logger Tasks
- IVI Drivers
- Remote Systems

### **Data Neighborhood**

*Data Neighborhood* proporciona el acceso a los descriptivamente llamados atajos para configurar los canales físicos en el sistema, incluyendo los canales virtuales DAQ y las tareas. La categoría *Data Neighborhood* también proporciona las utilidades para la prueba y reconfiguración de esos canales virtuales. Usted también puede tener acceso al *DAQ assistant* de *Data Neighborhood* para crear y para configurar los ajustes para los canales virtuales y las tareas.

1. **DAQ Assistant:** El DAQ Assistant es un interfaz gráfico para la construcción y configuración de los canales y tareas de medida.
  - Canal: Un canal NI-DAQmx trae la información de configuración por ejemplo la escala y límites de entrada a un canal físico especificado. Se puede fijar la información de configuración para el canal y dar al canal un nombre descriptivo al mismo tiempo. Más adelante, se puede utilizar el nombre descriptivo para tener acceso a ese canal y a su configuración en una tarea o LabVIEW. Se puede dar al canal una descripción, decidir el tipo de transductor que el canal utiliza, fijar el rango, elegir modo de puesta a tierra, asignar la escala para el canal virtual, y dar al canal un nombre descriptivo para sustituir el número de canal, todo al mismo tiempo.
  - Tarea: Una tarea NI-DAQmx es una colección de uno o más canales virtuales con la misma sincronización y accionamiento. Conceptualmente, una tarea representa una medida o una generación que se quiera realizar. Los canales que componen la tarea se pueden utilizar en las tareas múltiples (canal global) o asignar a una tarea específica (canal local). Se pueden también crear nuevos canales mientras se crea una tarea o se puede componer una tarea con los canales que se han creado usando el DAQ Assistant.
2. **Devices & Interfaces:** La categoría de los dispositivos y de los interfaces (*Devices & Interfaces*) enumera el hardware NI instalado y detectado. También incluye una autopruueba (*self-test*), los paneles de prueba, reajuste, características, y las utilidades de autocalibrado para los dispositivos de configuración y de prueba.
  - Self-Test: La utilidad *self-test* funciona con una prueba interna en un dispositivo de DAQ para asegurarse de que todos los recursos están asignados correctamente y de que el dispositivo está configurado correctamente.
  - Test Panels: La utilidad del panel de prueba (*test panels*), prueba la funcionalidad E/S analógica, la E/S digital, y la de E/S del contador de un dispositivo DAQ. Se utiliza el test panels para localizar averías de funcionalidad del dispositivo y la configuración del sistema directamente de NI-DAQmx. Si el dispositivo no funciona en el panel de prueba, no trabajará en LabVIEW. Si se experimenta problemas con de adquisición de datos en LabVIEW, hay que ejecutar el self-test y las utilidades del test panel para comenzar localización de averías.
  - Reset: La utilidad del reset resetea el dispositivo DAQ a su estado inicial.
  - Properties (propiedades): La utilidad *properties* permite configurar y ver la configuración RTSI y dispositivos accesorios que se utilizan con el dispositivo DAQ. Los recursos de sistema para el dispositivo, tal como la gama de la memoria y nivel de IRQ, se enumeran en la lengüeta de

las cualidades (Attributes) en la ventana a la derecha de la ventana de la configuración en MAX.

- **Self-Calibrate** (autocalibrado): La utilidad de autocalibrado realiza una calibración interna del dispositivo DAQ.

**3. Escalas:** La categoría de escalas lista todas las escalas personalizadas actualmente configuradas y proporciona las utilidades para la prueba y reconfiguración de dichas escalas. Las escalas también proporcionan el acceso al *DAQ assistant*, que permite crear nuevas escalas personalizadas.

- **DAQ assistant:** Utilice el *DAQ assistant* para crear escalas personalizadas que usted puede utilizar para determinar la información del escalamiento para los canales virtuales existentes. Cada escala personalizada puede tener su propio nombre y descripción para ayudarle a identificarla. Una escala personalizada puede ser uno de los cuatro siguientes tipos:

- ▶ **Linear:** Escalas que usan la fórmula:  $y = mx + b$ .

- ▶ **Map Ranges:** Escalas en las cuales los valores se escalan proporcionalmente de una gama de valores brutos a una gama de valores escalados.

- ▶ **Polynomial:** Escalas que usan la fórmula:  
 $y = a_0 + (a_1 * x) + (a_2 * x^2) + \dots + (a_n * x^n)$ .

- ▶ **Table:** Escalas en las cuales se incorpora el valor bruto y correspondiente valor escalado en un formato de tabla.

## **TRIGGERING**

Esta lección describe la teoría y los conceptos de disparos analógicos y digitales.

- A. Disparo
- B. Tipos de disparo.
- C. Acciones causadas por disparos.

## **A. DISPARO**

Un disparo es una señal que causa una acción, como el inicio de la adquisición de datos. Se utiliza el disparo si se necesita fijar una medición para empezar en un tiempo concreto. Por ejemplo, si se quiere probar la respuesta de un circuito a un pulso de entrada. Usted puede utilizar ese pulso de entrada como disparador para comunicar al dispositivo de medida para comenzar a adquirir muestras. Si no se utiliza este disparador, hay que comenzar a adquirir datos antes de aplicar el pulso de la prueba.

Al configurar un disparador, se deben tomar dos decisiones - qué acción se quiere que el disparador cause y cómo producir el disparo.

Si se quiere el disparo comience la medición, hay que utilizar un disparo de inicio. Si se quieren adquirir datos antes de que ocurra el disparo, hay que utilizar un disparo de referencia, también conocido como disparo de parada, que captura muestras antes y después de un punto de disparo, que se convierte en la posición de referencia en las muestras.

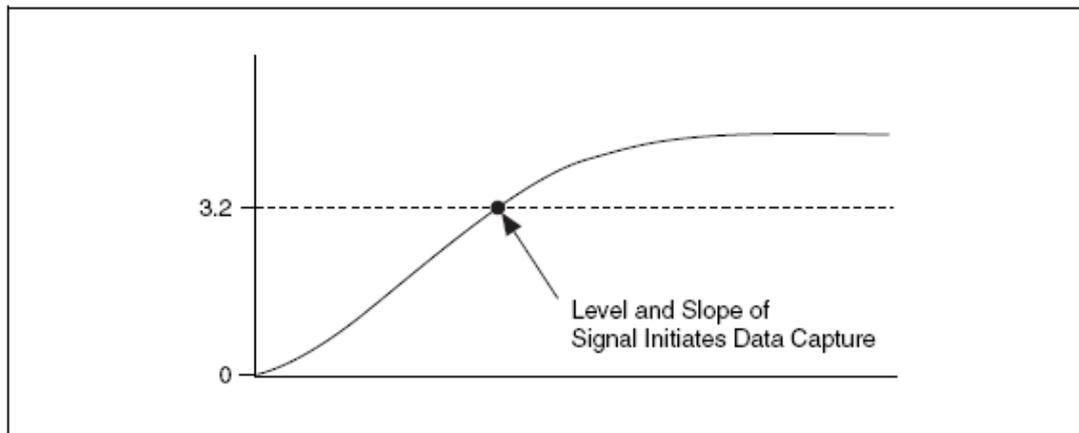
Además de especificar la acción que se quiere que cause un disparo, se necesita determinar la fuente del disparo. Si se necesita accionar una señal analógica, se utiliza un disparo analógico de flanco. Si la señal de disparo es digital, se puede utilizar un disparo digital de borde con un pin de PFI como fuente.

## **B. TIPOS DE DISPARO**

Hay diferentes tipos de disparo, basados en señales analógicas y digitales.

### **Analog Edge Triggering**

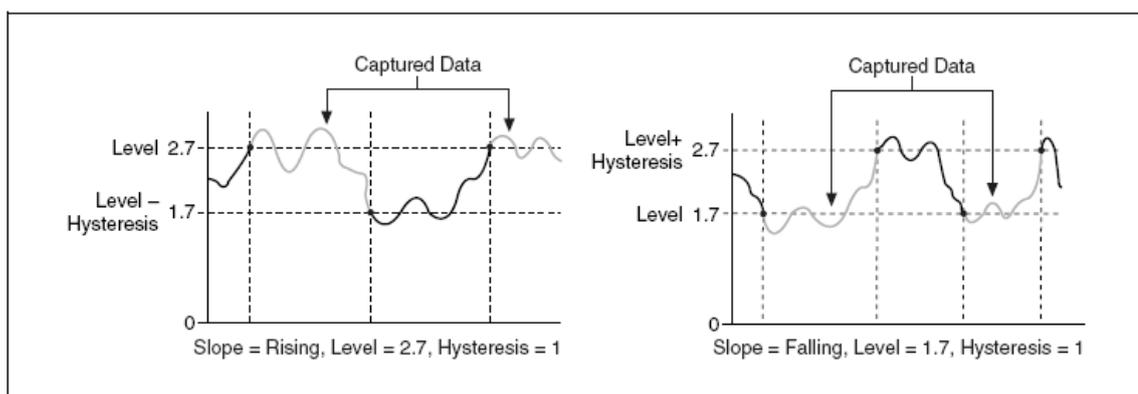
Un analog Edge trigger ocurre cuando una señal analógica reconoce una condición como el nivel de la señal o como la subida/caída del escalón. Cuando el dispositivo de medida identifica la condición de disparo, realiza la acción asociada al disparo, tal como comenzar la medida o marcar la muestra fue adquirida cuando ocurrió el disparo. Por ejemplo, considerar una aplicación que supervise un sistema de temperatura. Si se quiere comenzar la adquisición de datos solamente después de que la temperatura sobrepase los 50°C, configure un disparador analógico para que cuando la señal de la temperatura tiene una pendiente y un nivel de voltaje que corresponden a 50 °C. La siguiente ilustración muestra el accionamiento en una pendiente de subida en un nivel de 3.2 V.



### Histeresis

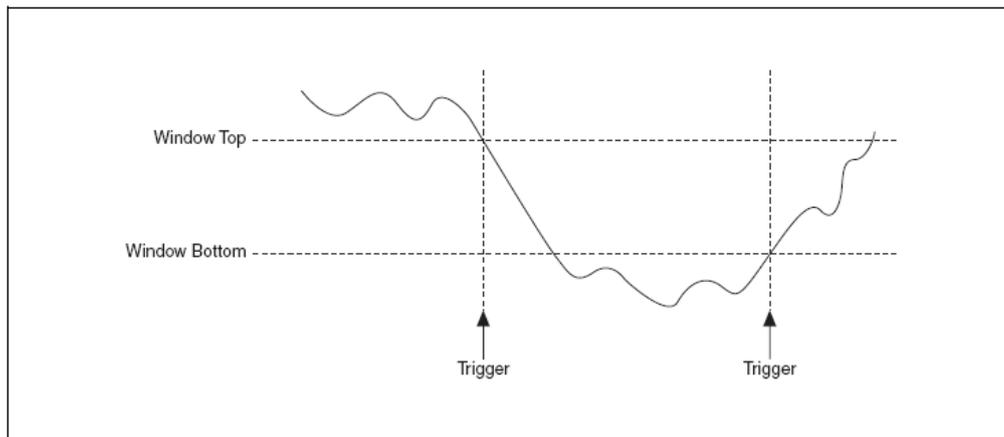
La histéresis agrega una ventana encima o debajo del nivel de disparo y reduce a menudo el falso accionamiento debido al ruido de la señal. Al usar histéresis con una pendiente de subida, el disparo dice cuando la señal comienza debajo de nivel (o de límite de alarma) y cuando sobrepasa el nivel.

Al usar histéresis con una cuesta que cae, el disparador afirma cuando la señal comienza sobre nivel (o límite de alarma) y después cruza debajo de nivel. Los deasserts del disparador cuando la señal cruza sobre nivel más histéresis. La ilustración siguiente demuestra los datos capturados al usar histéresis con un levantamiento y el borde que cae se inclina en un nivel de 2.7 V.

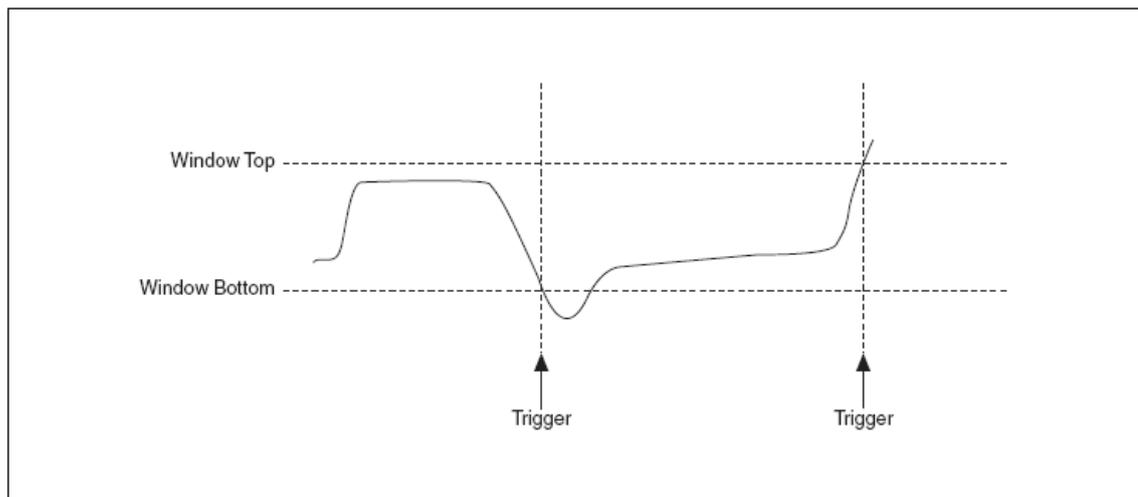


### Disparo analógico de ventana

Un disparo analógico de ventana ocurre cuando una señal analógica entra o sale de una ventana definida por dos niveles de voltaje, ventana superior y ventana inferior. Hay que especificar los niveles de voltaje fijando los valores de las ventanas superior e inferior. En la siguiente ilustración el disparo adquiere datos cuando la señal entra en la ventana.



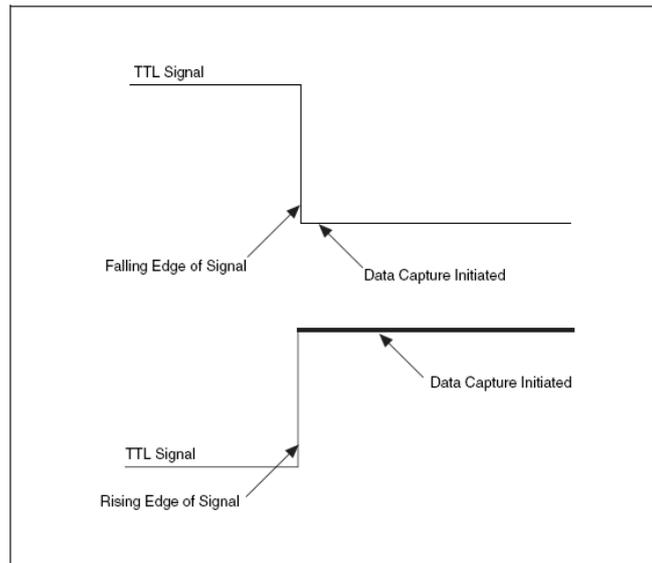
En la siguiente ilustración, el disparo adquiere los datos cuando la señal abandona la ventana.



### Disparo por borde digital

Un disparo por borde digital es normalmente una señal TTL que tiene dos niveles discretos: nivel alto y nivel bajo. Una señal digital crea un borde de bajada cuando se mueve de un nivel alto a uno bajo. La señal crea un borde de subida cuando se mueve de un nivel bajo a uno alto.

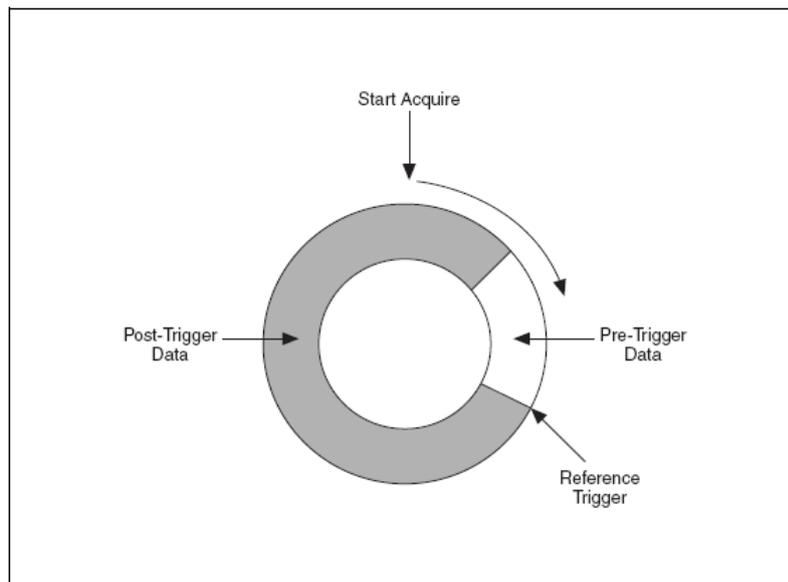
Se pueden producir disparos de comienzo o de referencia basados en el borde de bajada o de subida de una señal digital según las indicaciones de la ilustración siguiente. Se conectan generalmente señales digitales de disparo con los pines de PFI en un dispositivo de medida de NI.



### C. ACCIONES CAUSADAS POR DISPARO

Hay cuatro acciones que un disparo puede causar. Los disparos se nombran después de las acciones que causan:

- Disparo de avance - Causa una interrupción en el dispositivo para ejecutar la entrada siguiente en su lista de la instrucción (exploración).
- Disparo de pausa - Se pausa la adquisición. Cuando termina su efecto vuelve a su estado.
- Disparo de referencia - Establece el punto de referencia en un sistema de muestras de entrada. Los datos adquiridos hasta el punto de referencia son datos de predisparo. Los datos adquiridos después de este punto de referencia son datos del postdisparo.



- Disparo de inicio – Comienza la adquisición o generación.

## **ENTRADAS ANALÓGICAS**

Esta lección describe decisiones que se deben tomar para muestrear una señal de entrada analógica y las características de LabVIEW que se utilizan específicamente con los VIs NI-DAQmx.

- A. Entrada Analógica
- B. Filtros anti-aliasing
- C. Usando el DAQmx Read VI.

## A. ENTRADA ANALÓGICA

Todo lo que vemos y oímos es una transmisión continua de la información a nuestros sentidos. Esta corriente continua es la que define datos analógicos. La información digital, por otro lado, estima los datos analógicos utilizando solo unos y ceros. Debido a las diversas ventajas del procesamiento de la señal digital, las señales analógicas se convierten a la forma digital antes de procesarlas con una computadora. Una señal digital puede asumir solamente un sistema finito de valores en las variables dependientes e independientes. La variable independiente es normalmente tiempo o espacio, y la variable dependiente la amplitud.

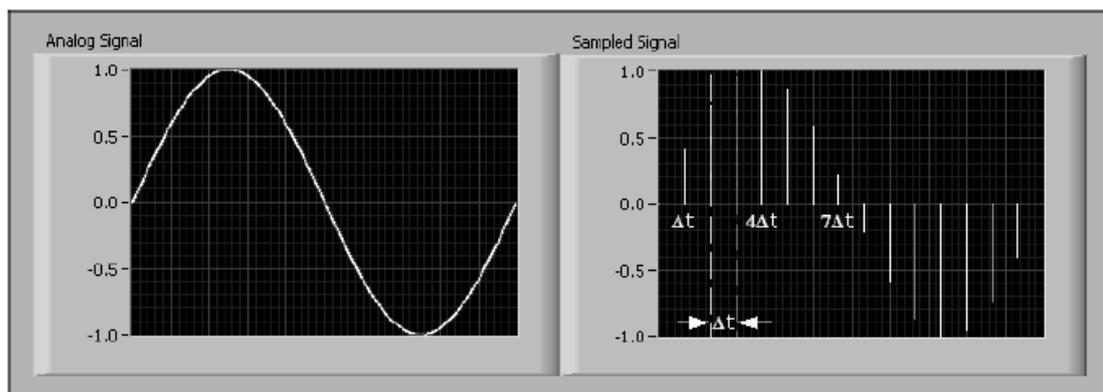
### Muestreo de señales

Para adquirir una señal analógica, primero se debe convertir la señal analógica en una señal digital, en la práctica esto se implementa con un convertidor A/D.

Se considera una señal analógica  $x(t)$  que se muestrea cada  $\Delta t$  segundos ( $\Delta t$ : periodo de muestreo).  $1/\Delta t$  es la frecuencia de muestreo, siendo sus unidades muestras por segundo. Cada valor discreto de  $x(t)$  en  $t = 0, \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \text{etc.}$ , es conocido como una muestra. Así,  $x(0), x(\Delta t), x(2\Delta t), \dots$ , son todas muestras. La señal  $x(t)$  puede representarse por el sistema de muestras discretas como se indica en la siguiente ecuación.

$$\{x(0), x(\Delta t), x(2\Delta t), x(3\Delta t), \dots, x(k\Delta t), \dots\}$$

La siguiente figura indica una señal analógica y su correspondiente muestreo. El periodo de muestreo es  $\Delta t$ . Las muestras se definen en intervalos discretos de tiempo.



Las siguientes notaciones representan las muestras individuales:

$$X[i] = x(i\Delta t), \quad \text{para } i = 0, 1, 2,$$

Si para la señal  $x(t)$  se obtienen  $N$  muestras,  $x(t)$  puede representarse con la secuencia:

$$X = \{x[0], x[1], x[2], x[3], \dots, x[N-1]\}$$

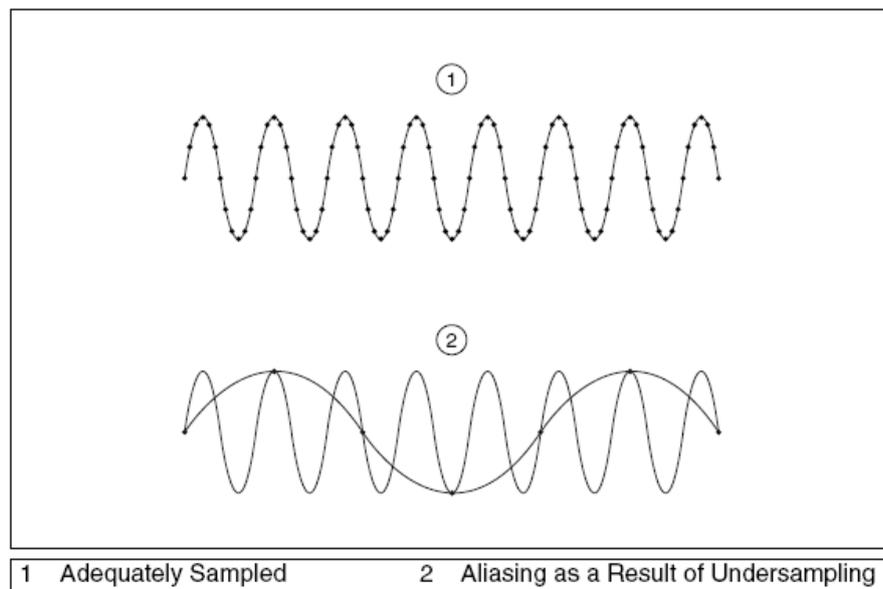
Esto es conocido como la representación digital o versión de muestreo de  $x(t)$ . Hay que tener en cuenta que la secuencia  $X = \{x[i]\}$  se indexa la variable de número entero  $i$ , y no contiene ninguna información sobre la frecuencia de muestreo. Conociendo solamente los valores de las muestras contenidas en  $X$ , no es posible saber la frecuencia de muestreo.

### Frecuencia de muestreo

Uno de los elementos más importantes de un sistema de medida de entrada analógica o de salida analógica es la frecuencia en la cual el dispositivo de medida muestrea una señal entrante o genera la señal de salida. La frecuencia de muestreo en el NI-DAQmx, determina cuantas veces ocurre la conversión A/D o D/A. Una frecuencia de muestreo rápida de la entrada adquiere más puntos en un tiempo dado y puede formar una mejor representación de la señal original que una frecuencia de muestreo lenta. La generación de una señal de 1 Hz usando 1.000 puntos por ciclo en 1.000 muestras/s produce una representación mucho más exacta que usando 10 puntos por ciclo que una frecuencia de muestreo de 10 muestras/s.

**Aliasing:** Un muestreo demasiado lento da lugar al aliasing, que es una mala representación de la señal analógica. Un bajo muestreo causa que la señal aparezca como si tuviera una frecuencia diferente a la real. Para evitar aliasing, hay que muestrear varias veces más rápido que la frecuencia de la señal.

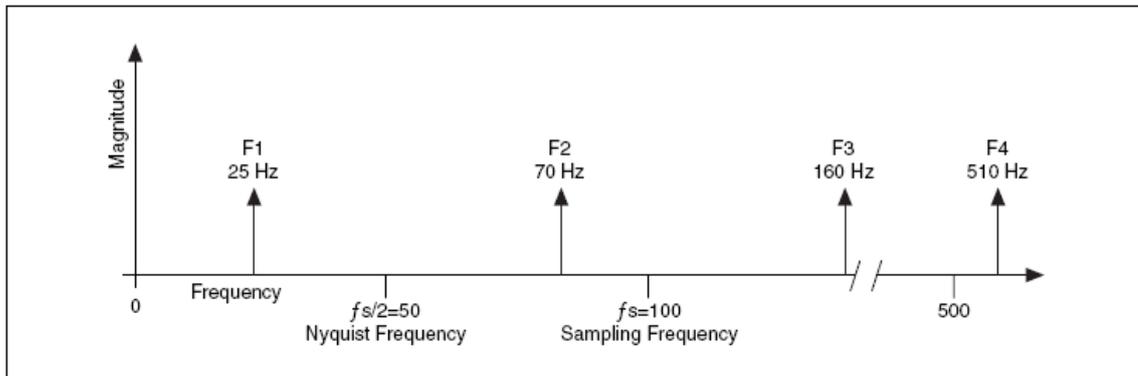
En la ilustración siguiente aparece una señal adecuadamente muestreada y los efectos del aliasing de bajo muestreo.



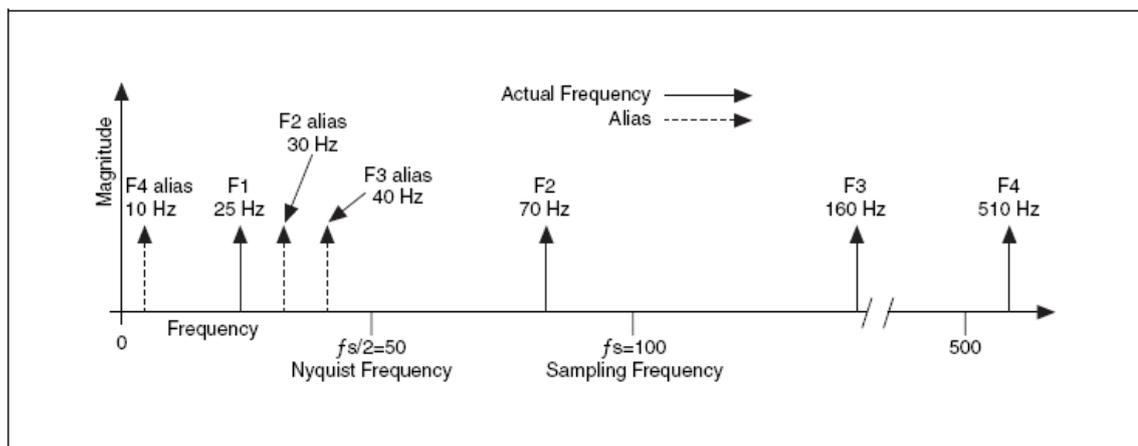
Para las medidas de la frecuencia, según el teorema de Nyquist, se debe muestrear a una frecuencia mayor que el doble de la frecuencia máxima en la señal que se está adquiriendo para representar exactamente la señal. La frecuencia de Nyquist es la frecuencia máxima que se puede representar

exactamente sin el aliasing para una frecuencia de muestreo dada. La frecuencia de Nyquist es la mitad de la frecuencia de muestreo.

Por ejemplo, la frecuencia de muestreo,  $f_s$ , es de 100 Hz. Y que la señal de entrada tiene las siguientes frecuencias: 25 Hz, 70 Hz, 160 Hz, y 510 Hz según las indicaciones de la ilustración siguiente.



Las frecuencias por debajo de la frecuencia de Nyquist ( $f_s/2 = 50$  Hz) se muestrean correctamente, según las indicaciones de la siguiente ilustración. Las frecuencias mayores que la frecuencia de Nyquist aparecen como aliasing. Por ejemplo, F1 (25 Hz) aparece en la frecuencia correcta, pero F2 (70 Hz), F3 (160 Hz), y F4 (510 Hz) tienen aliasing en 30 Hz, 40 Hz, y 10 Hz, respectivamente.



Utilizar la siguiente ecuación para calcular la frecuencia de aliasing:

Alias Frec = | (Frec. de muestreo más cercana a la frec. de entrada – frec. de entrada) |

Por ejemplo:

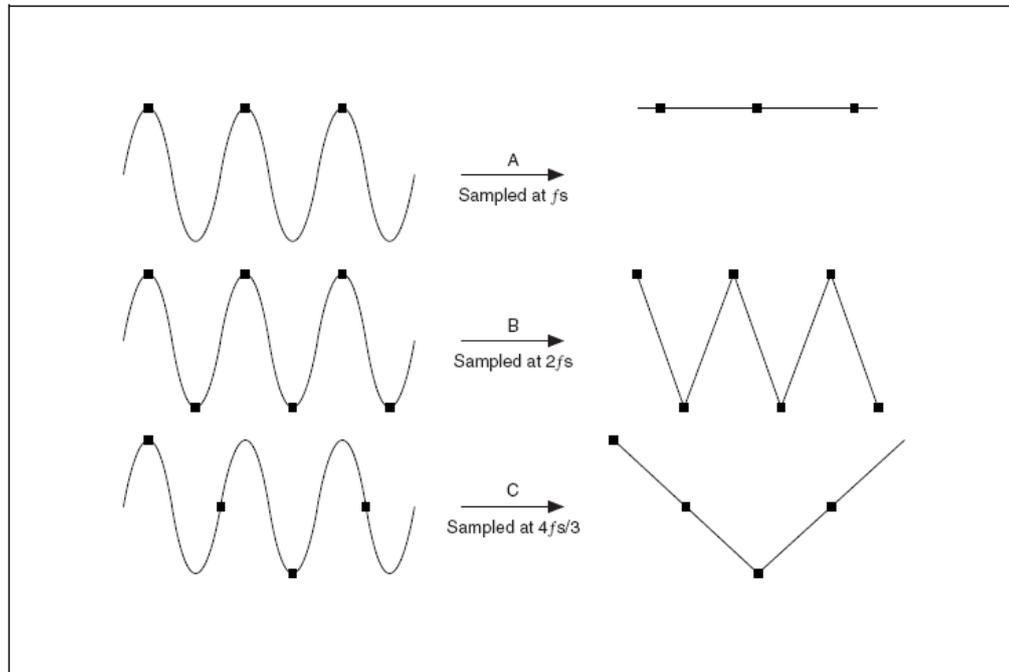
$$\text{Aliasing } F_2 = |100 - 70| = 30 \text{ Hz}$$

$$\text{Aliasing } F_3 = |2 \cdot 100 - 160| = 40 \text{ Hz}$$

$$\text{Aliasing } F_4 = |5 \cdot 100 - 510| = 10 \text{ Hz}$$

### Determinar la Frecuencia de muestreo

Puede ser que se quiera muestrear a la frecuencia máxima disponible en el dispositivo de medida. Sin embargo, si se muestrea muy rápidamente durante largos periodos del tiempo, puede ser que no se tenga bastante memoria o espacio de disco duro para llevar a cabo los datos. La ilustración siguiente demuestra los efectos de las varias frecuencias de muestreo.



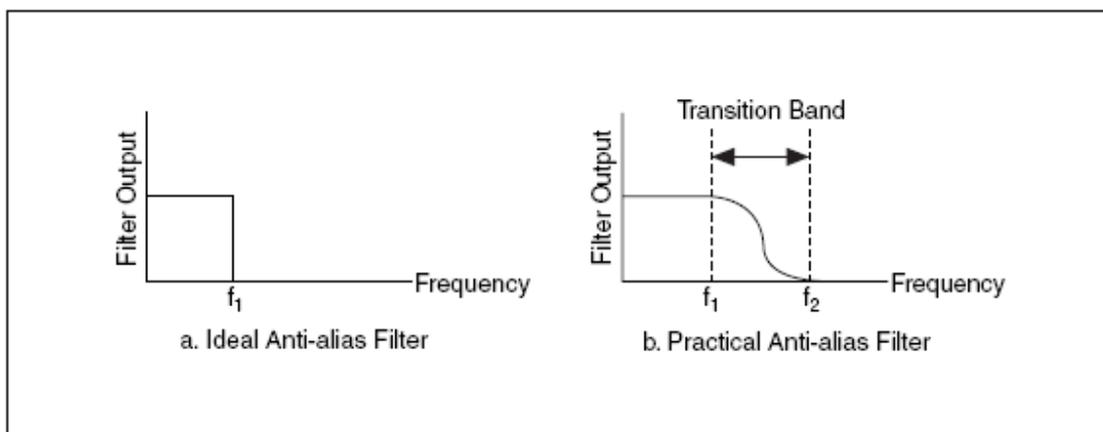
Ejemplo A, muestrea la onda de seno de frecuencia  $f$  en la misma frecuencia  $f_s$ . Las muestras adquiridas dan lugar a un alias en C.C. Sin embargo, si usted aumenta la frecuencia de muestreo a  $2f_s$ , la forma de onda convertida a digital tiene la frecuencia correcta o el mismo número de ciclos que la forma de onda original pero aparece como forma de onda triangular según las indicaciones del ejemplo B. Aumentando la frecuencia de muestreo bien por encima de  $f_s$ , se puede reproducir más exactamente la forma de onda. En el ejemplo C, la frecuencia de muestreo está en  $4f_s/3$ . En este caso la frecuencia de muestreo reproduce una forma de onda de frecuencia y de forma incorrectas porque la frecuencia de Nyquist está por debajo de  $f_s$ ,  $(4f_s/3 \times 1)/2 = 2f_s/3$ .

El teorema de Nyquist proporciona un punto de partida para una adecuada frecuencia de muestreo - mayor que dos veces la frecuencia más alta de la señal. Desafortunadamente, esta frecuencia es a menudo inadecuada para los propósitos prácticos. Las señales del mundo real, contienen componentes de frecuencia que engañan sobre la frecuencia de Nyquist y se agregan a menudo a los componentes de la señal que se muestrean correctamente, presentando datos muestreados erróneamente. Por lo tanto, para los propósitos prácticos, el muestreo se hace generalmente varias veces por encima del máximo frecuencia, en la industria es típico 5 a 10 veces.

## B. FILTROS ANTI-ALIASING

Se ha observado que la frecuencia de muestreo debe ser por lo menos dos veces la frecuencia máxima de la señal que se está muestreando. Es decir la frecuencia máxima de la señal de entrada debe ser menor o igual que la mitad de la frecuencia de muestreo.

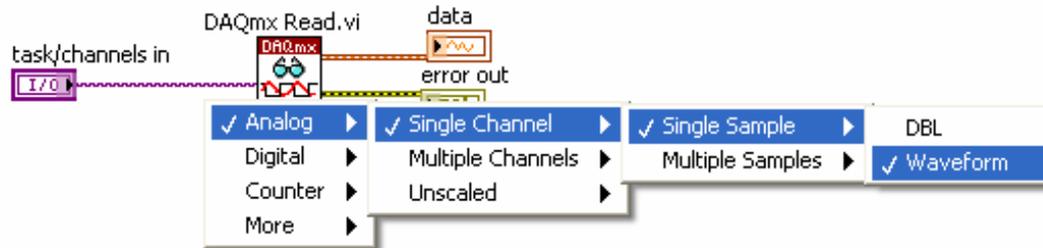
Para estar totalmente seguro que el contenido de la frecuencia de la señal de entrada es limitado, se agrega antes del ADC un filtro de paso bajo (un filtro que deja pasar frecuencias bajas pero atenúan los de alta frecuencia). Este filtro se llama un filtro del anti-aliasing porque evita que los componentes del aliasing sean muestreados atenuando las frecuencias más altas (mayores que Nyquist). Los filtros de la anti-aliasing son filtros analógicos. La ilustración siguiente muestra un filtro ideal anti-aliasing.



Un filtro ideal de anti-aliasing pasa todas las frecuencias de entrada deseadas (por debajo de  $f_1$ ) y corta todas las frecuencias indeseadas (por encima de  $f_1$ ). Sin embargo, un filtro ideal no es físicamente posible. En la práctica, los filtros son como la ilustración (b). Los filtros prácticos anti-aliasing dejan pasar todas las frecuencias menores que  $f_1$  y cortan todas las frecuencias mayores que  $f_2$ . La región entre  $f_1$  y  $f_2$  se conoce como la banda de transición, que contiene una atenuación gradual de las frecuencias de entrada. Aunque se quiera pasar solamente señales con frecuencias menores que  $f_1$ , las señales de la banda de transición pueden todavía causar aliasing. Por lo tanto, en la práctica, se deben utilizar frecuencias de muestreo mayores del doble que la frecuencia más alta en la banda de transición. Por esto la frecuencia de muestreo ( $f_1$ ) resulta ser más de dos veces la frecuencia máxima de la entrada.

### C. USANDO EL DAQmx READ VI

El VI *DAQmx Read* situado en el *DAQmx–data acquisition*, lee muestras de la tarea o de los canales que se especifican. Utilizar el menú pull-down para seleccionar un caso del VI, según las indicaciones de la figura siguiente:



En el primer menú se elige el tipo de entrada. En el segundo menú se determina el número de canales o si los datos están sin escalar. En el tercero se selecciona el número de muestras a leer. En el cuarto menú el modo que se van a enviar los datos.

Cuando se está tratando los canales de entrada analógica o de salida analógica, puede ser que se quiera tratar más de un canal a la vez. Si estos canales tienen el mismo tipo de sincronización (*timing*) y de accionamiento (*triggering*), los canales se agrupan en una tarea.

#### Tipos de datos Waveform

El tipo de datos Waveform es un cluster que consiste en los siguientes elementos:

- **Y**--- Un array 1D de puntos de datos numéricos, que puede ser un simple punto o un waveform dependiendo de la operación. La representación del array 1D es DBL.
- **t<sub>0</sub>** --- Un valor escalar que representa el tiempo de acuerdo con el reloj del sistema, cuando se adquiere el primer punto en el array Y. También llamado tiempo de inicio.
- **Δt** --- Valor escalar que representa el tiempo entre los puntos de datos del array Y.
- **Atributos** --- Un string que permite empaquetar otra información con el waveform, como puede ser el número de dispositivo o número de canal.

El tipo de datos waveform, tiene muchos beneficios respecto al array escalado convencional.

- **La presencia de t<sub>0</sub>** --- El tipo de datos waveform devuelve automáticamente la hora y la fecha en el elemento t<sub>0</sub>.
- **Una representación gráfica más fácil** --- El waveform contiene los valores del punto inicial (x<sub>0</sub>) y el tiempo entre los puntos (Δx) con el

dato (array Y). Por lo tanto solo hay que cablear los datos del waveform con el gráfico.

- **Una representación gráfica múltiple más fácil** --- Si se adquieren datos de múltiples canales con una VI de entrada analógica, el VI devuelve un array de 1D, que se cablea directamente al gráfico.

## **ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL**

Esta lección enseña a utilizar el acondicionamiento de señal con un sistema de adquisición de datos para medir exactamente una gran variedad de fenómenos físicos. Esta lección también describe métodos del acondicionamiento de señal para mejorar calidad de señal.

- A. Descripción del acondicionamiento de señal
- B. Configuración del acondicionamiento de señal
- C. Funciones del acondicionamiento de señal
- D. Filtrado
- E. Aislamiento
- F. Acondicionamiento del transductor
- G. Termopares
- H. Circuitos de Termopar
- I. Linearización de datos
- J. Strain

## **A. DESCRIPCIÓN DEL CONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL**

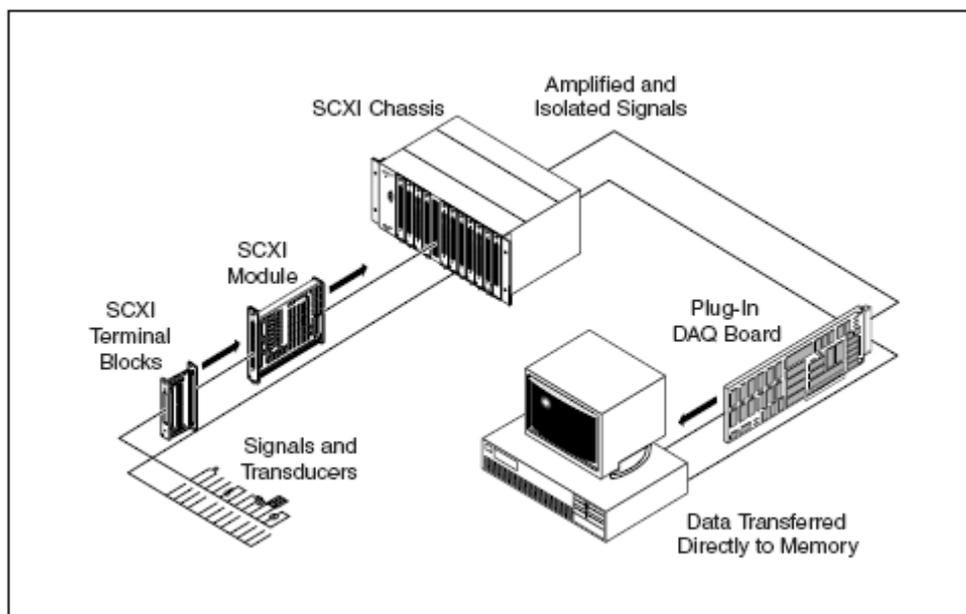
Un típico sistema de adquisición de señales consiste en un fenómeno físico, transductores, acondicionamiento de señal, DAQ y un ordenador.

La mayoría de los sensores y de los transductores del mundo real generan las señales que deben condicionarse antes de que un dispositivo DAQ pueda adquirir exactamente la señal. Este proceso anticipado, designado el acondicionamiento de señal, incluye funciones, tales como amplificación de la señal, filtración, aislamiento eléctrico, y multiplexación.

El dispositivo de adquisición de datos es típicamente un dispositivo enchufable de la computadora, tal como un el DAQ de NI. El dispositivo de adquisición de datos proporciona la capacidad para convertir la señal analógica condicionada a digital. La computadora puede después analizar y presentar la señal condicionada y digitalizada.

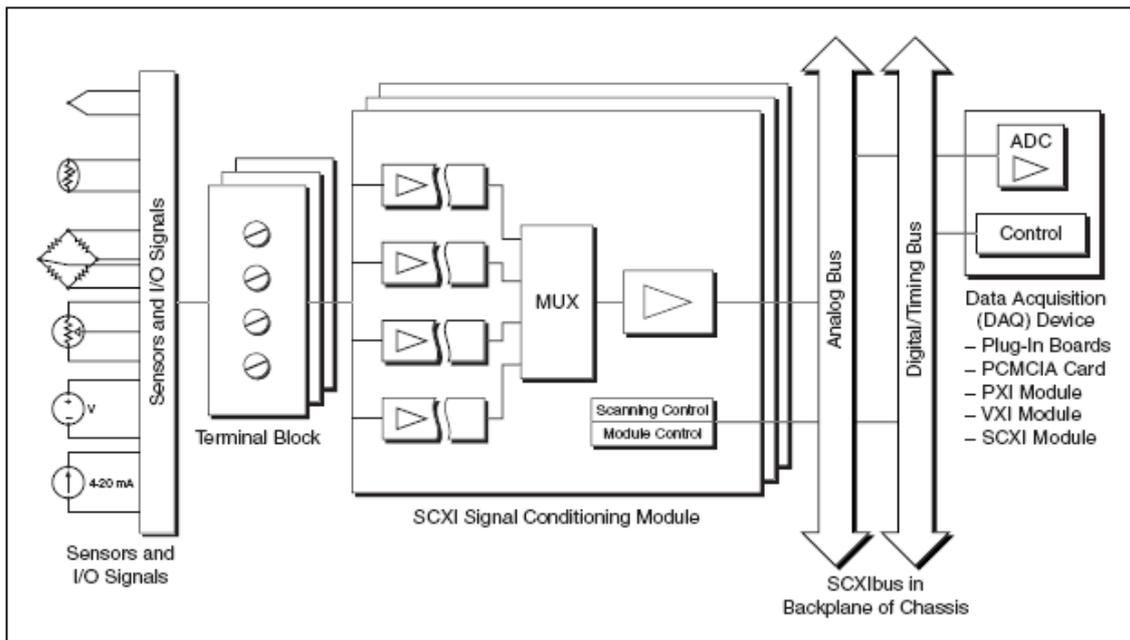
## **B. CONFIGURACIÓN DE LA SEÑAL CONDICIONAL**

SCXI es una arquitectura completa del acondicionamiento de señal que proporciona una versátil, plataforma de acondicionamiento de señal y de alto rendimiento para la medida y los sistemas de automatización. La ilustración siguiente muestra los componentes de sistema básico de un sistema de acondicionamiento de señal.



Los transductores se conectan al bloque terminales. El chasis de SCXI contiene los módulos SCXI, la energía de abastecimiento y el controlador SCXibus. El chasis de SCXI se conecta a un dispositivo enchufable DAQ dentro de la computadora. El dispositivo DAQ controla la operación del chasis SCXI.

El siguiente dibujo muestra la arquitectura del sistema de acondicionamiento de la señal de SCXI.



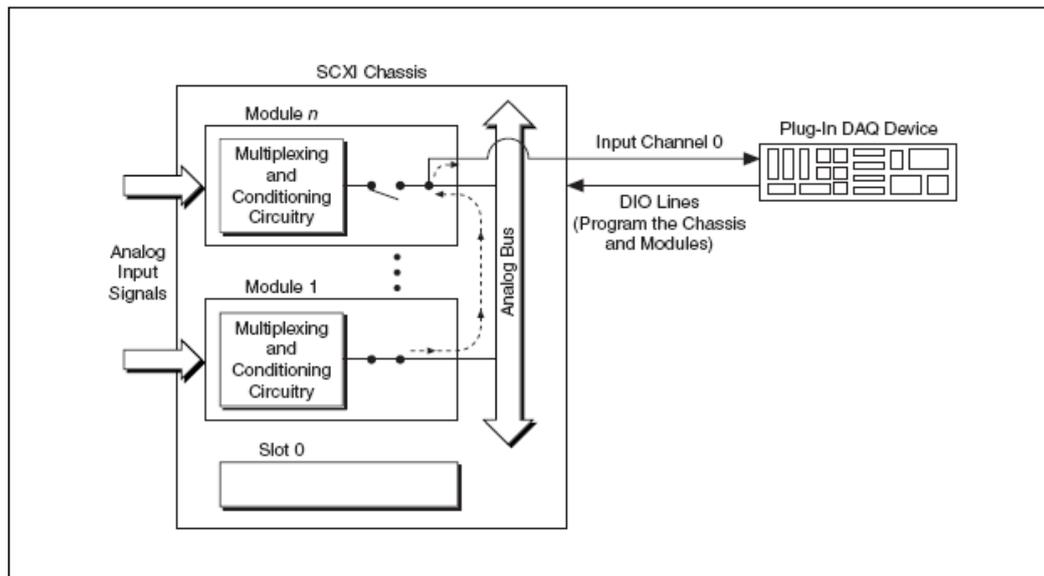
Los transductores se conectan a un bloque terminal que se conectan directamente con el frente del módulo SCXI dentro del chasis. El módulo SCXI utiliza un multiplexor para encaminar las señales condicionadas al SCXibus. El dispositivo DAQ controla la operación entera del chasis de SCXI.

Los módulos analógicos del SCXI pueden funcionar en modo paralelo o modo multiplexado. En modo paralelo, los módulos no realizan ninguna señal multiplexada y simplemente pasan las señales condicionadas directamente a los canales correspondientes del dispositivo DAQ. Por lo tanto, cada módulo se conecta directamente con su propio dispositivo DAQ. En modo paralelo, la velocidad de adquisición está limitada solamente por el dispositivo DAQ, y no por el sistema SCXI. Sin embargo, en el modo paralelo, un dispositivo DAQ puede recibir señales solamente desde un módulo SCXI.

La mayoría de los sistemas SCXI funcionan en modo multiplexado. La multiplexación permite miles de señales condicionadas para ser condicionadas sobre un dispositivo DAQ. En modo multiplexado, un simple DAQ está conectado al chasis de un módulo SCXI. Las líneas Digitales del DAQ controlan los módulos y el chasis. El dispositivo de DAQ utiliza tres o cuatro líneas de salida digital y la línea de EXTSTROBE para controlar el sistema SCXI. Además, una línea de entrada digital lee la parte posterior de la información de los módulos SCXI.

Al utilizar los módulos de entrada analógica del SCXI, se pueden medir las señales haciendo una lectura de canal simple.

Durante las lecturas de canal-simple, el dispositivo DAQ escribe en serie un patrón digital al slot 0 del SCXI, situada en el chasis, indicando el módulo SCXI a tratar. El dispositivo DAQ entonces escribe un patrón digital a la indicación del módulo del canal de entrada que se lee, que configura el módulo para encaminar la señal deseada al bus analógico del chasis del SCXI. Por último, la señal se encamina al canal de entrada analógica del DAQ. El DAQ entonces lee el canal 0, según las indicaciones de la ilustración siguiente. El driver de NI-DAQ realiza toda esta comunicación digital de nivel bajo y de la señal cuando se llama a las funciones de entrada analógicas de canal simple.



Con la exploración de varios canales, el DAQ programa el slot 0 de SCXI con una lista de módulos y el número de canales para explorar de cada módulo. Cada módulo en la lista se programa con el canal en el que va a comenzar la exploración. El dispositivo o el módulo DAQ entonces comienza la exploración de varios canales. La señal de SCANCLK del DAQ sincroniza la multiplexado del SCXI con el reloj interno que acciona las conversiones del A/D en el DAQ. El slot 0 de SCXI habilita e inhabilita los módulos según la lista preprogramada. De esta forma el sistema multiplexa los canales de varios módulos a un canal de entrada analógico del DAQ en altas frecuencias. El DAQ de NI contiene las funciones de alto nivel que realizan las operaciones de exploración de varios canales.

Completar los siguientes pasos para fijar el sistema SCXI.

1. Cercionarse de que el cableado y el adaptador del cable estén conectados con el módulo correcto.
2. Conectar el módulo con el DAQ.
3. Cerciórese de que los bloques terminales correctos estén conectados con el módulo correcto.
4. Alimentar el chasis de SCXI.

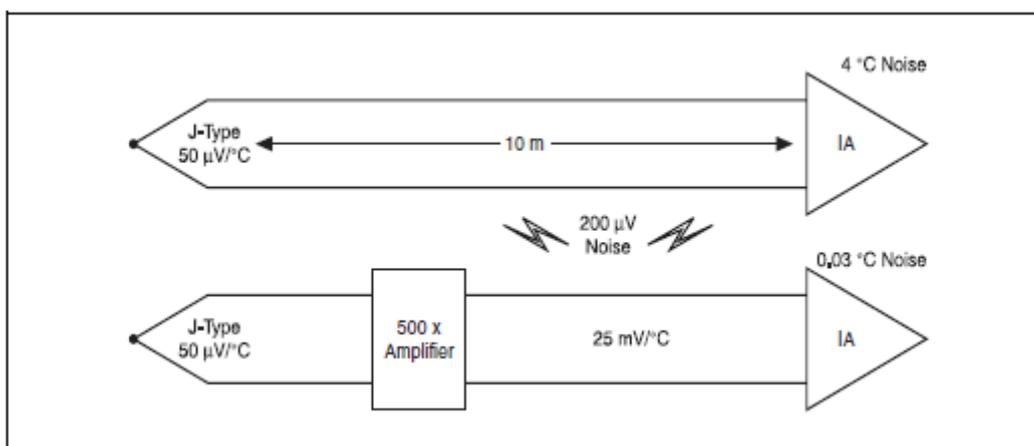
### **C. FUNCIONES DEL CONDICIONAMIENTO DE SEÑAL**

Además de manejar los transductores específicos, los dispositivos del acondicionamiento de señal realizan una variedad de funciones de acondicionamiento de fines generales para mejorar la calidad, la flexibilidad, y la confiabilidad de un sistema de medida.

#### **AMPLIFICACIÓN DE LA SEÑAL**

Las señales del mundo real son a menudo muy pequeñas en magnitud, el acondicionamiento de señal puede mejorar la exactitud de datos. Los amplificadores amplían el nivel de la señal de entrada de mejorar el ADC, aumentando la resolución y la sensibilidad de la medida. Aunque muchos dispositivos de DAQ tienen amplificadores, muchos transductores, tales como termopares, requieren la amplificación adicional.

Muchos transductores producen señales de salida de milivoltios o de microvoltios. La amplificación de estas señales de bajo nivel directamente en un dispositivo de DAQ, también amplifica cualquier ruido de las conexiones de la señal. Cuando la señal es pequeña, incluso un pequeño ruido puede perturbar la señal llevando datos erróneos. Un método simple para reducir el de relación señal/ruido es amplificar la señal tan cerca a la fuente como sea posible. De esta forma se amplía la señal sobre el nivel de ruidos antes de que el ruido en las conexiones pueda corromper la señal y mejore la relación señal/ruido de los medidores. Por ejemplo, la siguiente ilustración demuestra un termopar de tipo J que tiene como salida, una señal de pequeña tensión que varíe por cerca de  $50 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ .



Supongamos el recorrido de los plomos del termopar de 10 m a través de un ambiente eléctricamente ruidoso al sistema de DAQ. Si las fuentes de ruido en el ambiente son de  $200 \mu\text{V}$  sobre el termopar, se consigue una lectura de la temperatura de  $4^\circ\text{C}$  cerca del ruido. Al amplificar la señal cerca del termopar, antes de que el ruido perturbe la señal se reduce el efecto sobre la medida final. La amplificación de la señal con una ganancia de 500 cerca de el

termopar produce una señal del termopar que varía  $25 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ . Esta señal de alto nivel se traslada 10m, el ruido de  $200 \mu\text{V}$  se une a la señal después de la amplificación de modo que tenga menos efecto sobre la medida final agregando solamente  $0.03 \text{ }^\circ\text{C}$  de ruido.

## D. FILTRADO

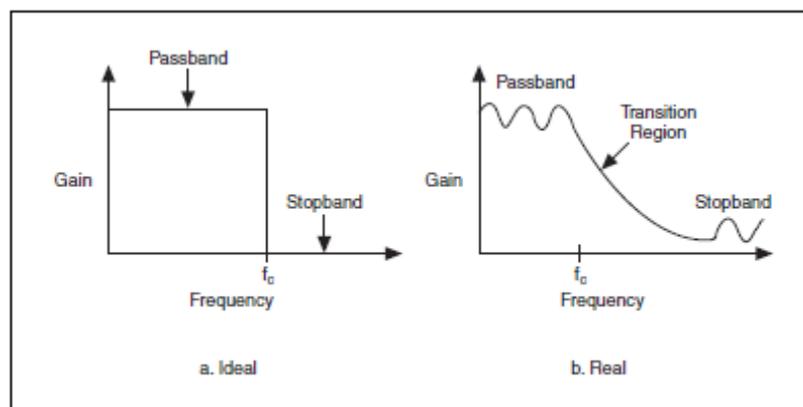
Los sistemas de acondicionamiento de señal pueden incluir filtros para rechazar el ruido indeseado dentro de cierta gama de frecuencia de 50 y 60 Hz. Por lo tanto, la mayoría de los sistemas de acondicionamiento de señal incluyen filtros de paso bajo diseñados específicamente para proporcionar el rechazo del ruido de 50 o 60 Hz. Por ejemplo, el módulo SCXI-1125 incluye un filtro de paso bajo con una anchura de banda del atajo de 4 hertzios para maximizar el rechazo de 50 o 60 hertzios de ruido (DB 90).

Los filtros se dividen en 5 grupos: paso bajo, paso alto, bandpass, all-pass, y bandstop.

Un filtro de paso bajo ideal no atenúa ninguna señal de entrada de frecuencia en la banda útil, que se definen como todas las frecuencias de paso bajo.

Los filtros reales son señales de entrada sujetas a funciones de transferencia matemáticas que aproximan sus características a las de un filtro ideal.

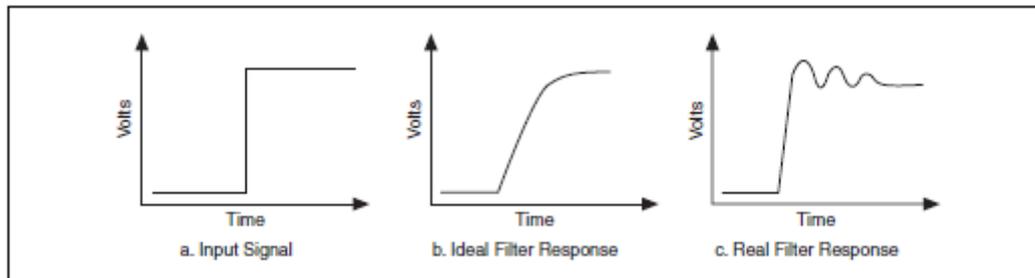
En el siguiente dibujo se comparan la atenuación de las funciones de transferencia de un filtro ideal y real.



Este dibujo muestra un filtro real que tiene una ondulación en la banda útil, una región de transición entre la banda útil y el stopband, y un stopband con la atenuación y la ondulación finitas. Además, los filtros reales tienen cierta ausencia de linealidad en su respuesta de fase, que hace que los componentes de señal de frecuencias más altas se retrasen por tramos más largos que componentes de señal de frecuencias más bajas, dando por resultado una distorsión de forma total de la señal. Esto se puede observar cuando una señal cuadrada o paso de entrada se envía a través de un filtro de paso bajo. Un filtro

ideal alisa los bordes de la señal de entrada. Un filtro real causa algunos picos en la señal final por los componentes de alta frecuencia que retrasan la señal.

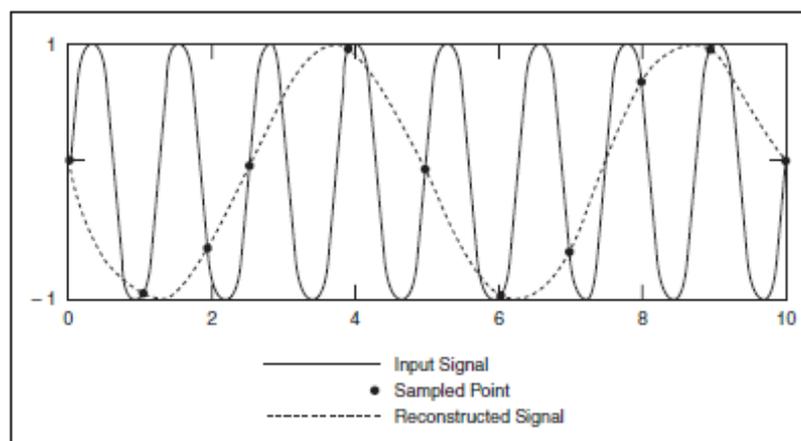
El siguiente dibujo muestra ejemplos de estas respuestas a una entrada de paso.



### FILTROS ANTI-ALIASING.

Otro uso común de los filtros es la prevención del fenómeno aliasing, fenómeno que se presenta cuando la señal se muestrea lentamente. El teorema de Nyquist indica que al muestrear una señal analógica, cualquier componente de la señal en las frecuencias mayores a la mitad de la frecuencia de muestreo aparecen los datos muestreados como señal más baja de la frecuencia. Usted puede evitar la distorsión de la señal solamente quitando cualquier componente de la señal sobre la mitad de la frecuencia de muestreo con los filtros de paso bajo.

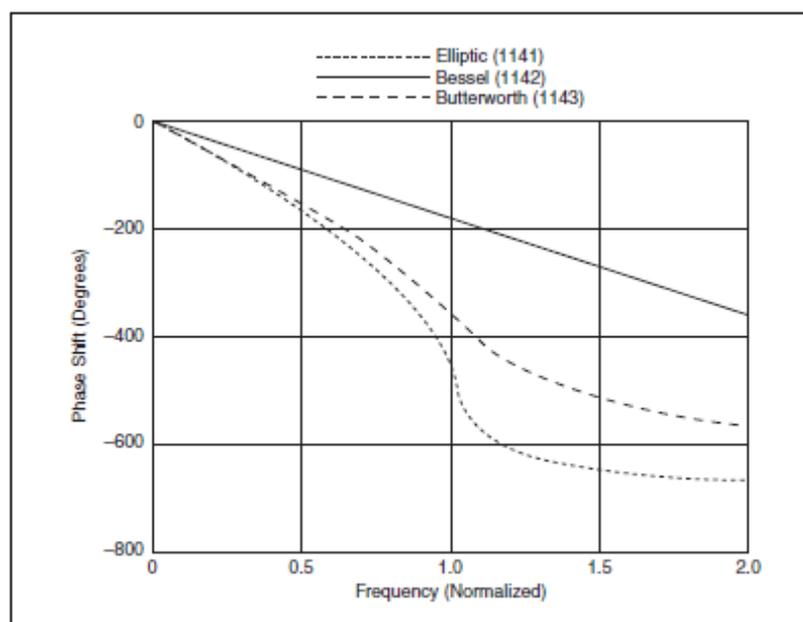
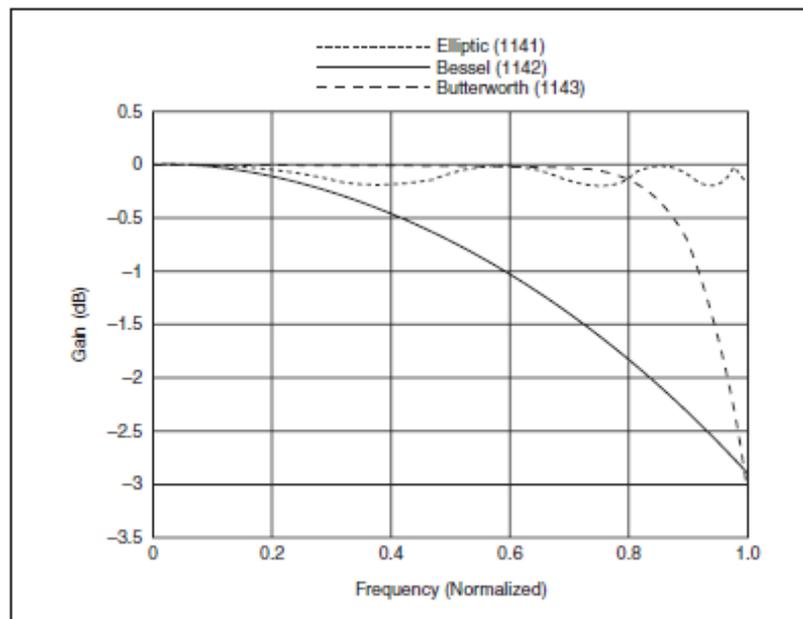
El siguiente dibujo muestra una señal senoidal muestreada en los puntos indicados. Cuando los puntos de muestreo se utilizan para la reconstrucción de la forma de onda, la señal aparece con una frecuencia menor que la original.



Se incrementa el rango de muestreo o paso de la señal a través de filtros de paso bajo para remover componentes de frecuencias altas.

Solamente los filtros analógicos pueden prevenir el aliasing. Los filtros digitales no pueden remover las señales de Aliasing porque es imposible modificarlo después de que la señal sea muestreada.

Los filtros Butterworth exhiben respuesta de frecuencia muy plana en la banda útil, mientras que los filtros Chebyshev proporcionan una atenuación más escarpada de la cierta ondulación de la banda útil. El filtro Bessel proporciona una respuesta de fase lineal sobre la banda útil entera, reduciendo al mínimo la distorsión de la forma de onda. El filtro elíptico de Caer, con su descarga rodada extremadamente aguda, es especialmente útil como filtro de la antimelladura para los sistemas de varios canales de DAQ que convierten a digital.



### **E. ISOLACIÓN**

La conexión incorrecta entre los sistemas y tierra, es una de las causas mas comunes de los problemas de medida, ruido. Los sistemas de condicionamiento de señal con aislamiento pueden prevenir la mayor parte de los problemas. Estos dispositivos pasan la señal de su fuente al dispositivo de medida sin una conexión física mediante transformador, óptico, o técnicas de acoplamiento capacitivo.

Por ejemplo, necesitamos supervisar la temperatura usando termopares soldados a una máquina de alto voltaje que irradia campos electromagnéticos grandes: aunque la salida de los termopares sea una diferencia de voltaje menor de 50 mV, este voltaje de salida puede ser un potencial de alto rendimiento con respecto a la tierra debido al acoplador capacitivo que la máquina tiene con el termopar. Este potencial existente entre una señal diferencial y la tierra se llama el voltaje de modo común. En los casos ideales se ignora completamente por sistema de medida. La conexión del termopar directamente a un dispositivo sin aislar probablemente podría dañar al dispositivo. Sin embargo se puede conectar el termopar a un acondicionador de señal aislado, que rechaza el voltaje de modo común, pasando la señal diferencial de 50mV al dispositivo de medida para una medida exacta.

### **F. CONDICIONAMIENTO DEL TRANSDUCTOR**

Los transductores son dispositivos que convierten fenómenos físicos (Temperatura, tensión, presión, luz) en características eléctricas (Voltaje, Resistencia). Las características del transductor definen muchos requisitos del condicionamiento de señal de un sistema DAQ.

### **G. TERMOPARES**

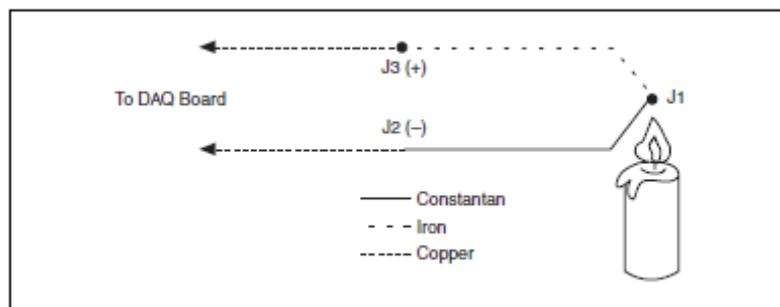
Uno de los transductores de temperatura más utilizados es el termopar. El termopar además de ser barato puede funcionar en una gama de temperaturas amplia. Un termopar se forma a partir de dos metales de propiedades diferentes unidos por un extremo donde se crea un pequeño voltaje en función de la temperatura. El voltaje es no lineal respecto a la temperatura, pero en pequeños cambios la temperatura es lineal o se aproxima a la expresión:  $\Delta V \cong S\Delta T$ . Donde  $\Delta V$  es la diferencia de potencial, S es el coeficiente Seebeck y  $\Delta T$  es el cambio de temperatura.

S varía con los cambios de temperatura que causan que la tensión de salida de los termopares no sea lineal respecto a sus rangos de operación.

## H. CIRCUITOS DE TERMOPAR

Para medir un voltaje del termopar no se puede conectar el termopar con un voltímetro u otro sistema de medida porque la conexión de los metales del termopar con el sistema crea circuitos termoeléctricos adicionales.

En el circuito de la figura un termopar de tipo J está en la llama de una vela cuya temperatura queremos medir. Los dos hilos del termopar están conectados al DAQ.



Si nos fijamos el circuito contiene 3 uniones de metal diferentes: J1, J2, J3. J1 es la unión del termopar que genera una tensión proporcional a la temperatura de la llama de la vela. J2 y J3 cada una tiene su coeficiente Seebeck y proporciona su propia tensión termoeléctrica proporcional a la temperatura de los terminales del DAQ. Para determinar la contribución de temperatura de J1 necesitamos conocer las temperaturas de las uniones J2 y J3 y la relación Tensión-Temperatura de estas uniones.

## I. LINEARIZACIÓN DE DATOS

Las tensiones de salida del termopar son no lineales. El coeficiente de Seebeck varía por un factor de 3 o más sobre la gama de temperaturas del funcionamiento de algunos termopares. Por esta razón se utiliza la aproximación polinomial:

$$T = a_0 + a_1V + a_2V^2 + \dots + a_nV^n$$

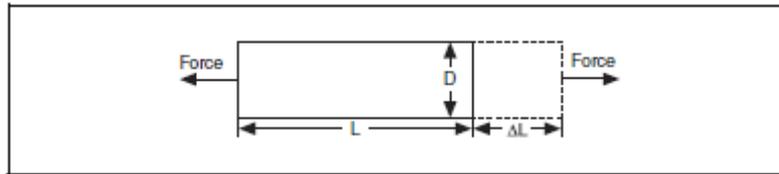
Donde V es la tensión del termopar en Voltios, T es la Temperatura en °C y desde  $a_0$  hasta  $a_n$  son los coeficientes específicos para cada tipo de termopar. El software de NI puede linearizar las tensiones de salida del termopar para diferentes termopares.

## J. STRAIN

La presión, es la deformación que sufre un cuerpo al aplicarle una fuerza:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Concretamente se define strain como el cambio fraccional de la largura tal y como se muestra en la figura.



La presión (Strain) es positiva cuando se tensa y negativa cuando se contrae. La unidad de medida se expresa en: mm/mm o in/in. En la practica la magnitud de medida del Strain es muy pequeña por eso a menudo se expresa en  $\mu\varepsilon$  donde  $\varepsilon = x \cdot 10^{-6}$ .

## **PROCESADO DE SEÑALES**

Esta lección describe los pasos para el procesado de señales

Tenemos los siguientes apartados:

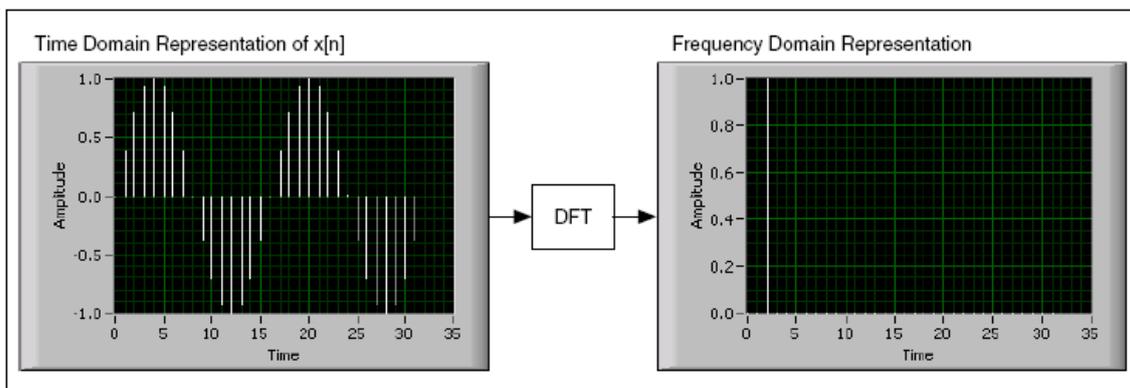
- A. Transformada discreta de Fourier (DFT) y Transformada rápida de Fourier (FFT)
- B. Magnitud e información de la Fase
- C. Espaciamiento de la frecuencia y simetría del DFT/FFT
- D. Fuerza espectral
- E. Salidas espectrales
- F. Características de las diferentes funciones Window
- G. Decisión del tipo de ventana que se va a utilizar
- H. Filtrado
- I. Filtros Ideales
- J. Filtros Reales
- K. Ventajas de los filtros digitales frente a los filtros analógicos
- L. Filtros IIR y FIR
- M. Filtros IIR
- N. Filtros FIR

## A. TRANSFORMADA DISCRETA DE FOURIER (DFT) Y TRANSFORMADA RÁPIDA DE FOURIER (FFT)

Las muestras de una señal obtenidas de un DAQ representan el dominio de tiempo de la señal. La representación del dominio de tiempo muestra las amplitudes de una señal en el instante de tiempo que ocurre el muestreo. En muchos casos se desea saber el contenido de la frecuencia de una señal antes que las amplitudes de señales individuales.

La representación de la banda de frecuencias puede dar más información sobre la señal y el sistema por los que fue generada.

El algoritmo que se utiliza para la transformar ejemplos de datos en el dominio de tiempo dentro del dominio de la frecuencia se conoce como Transformada discreta de Fourier DFT. El DFT estabiliza la relación entre las muestras de una señal en el dominio de tiempo y su representación en el dominio de la frecuencia, como se muestra en el siguiente dibujo.



Si se obtienen N muestras de una señal en la banda de tiempo de un DAQ y se aplica el DFT, el resultado también será N muestras pero la información que contiene está en la banda de frecuencias.

Si la señal se muestrea a un índice de muestreo de  $f_s$  Hz, el intervalo de muestreo  $\Delta t$  será:  $\Delta t = 1/f_s$ .

Las señales muestreadas se denotan  $x[i]$ ,  $0 \leq i \leq N - 1$  (N número de muestras) y la transformada de Fourier que está dada por la expresión:

$$X_k = \sum_{i=0}^{N-1} x_i e^{-j2\pi i k / N} \quad ,, \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

se aplica a las N muestras, el resultado de las salida ( $X[k]$ ,  $0 \leq k \leq N - 1$ ) es la representación del dominio de la frecuencia de  $x[i]$ . El dominio de tiempo  $x$  y el dominio de la frecuencia  $X$  tienen un total de N muestras. Del mismo modo en que  $\Delta t$  es el espacio de tiempo entre las muestras de  $x$  en el dominio de

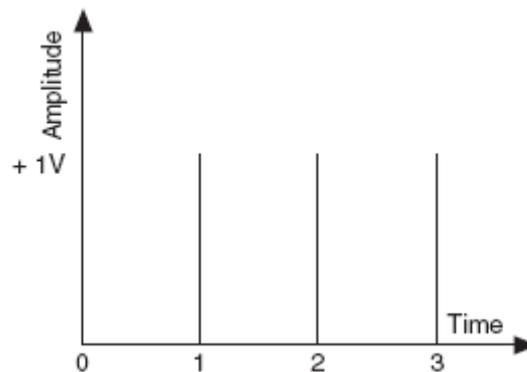
tiempo, tenemos un espacio de frecuencia  $\Delta f$  entre los componentes de X en el dominio de la frecuencia.

$$\Delta f = \frac{f_s}{N} = \frac{1}{N\Delta t} \quad (2)$$

$\Delta f$  también se conoce como resolución de la frecuencia. Para incrementar la resolución de la frecuencia, se debe incrementar el número de muestras N manteniendo  $f_s$  constante o incrementar la velocidad de muestreo para una N constante.

### Ejemplo del cálculo del DFT

$X[0]$  corresponde a DC, o al valor medio de la señal. Para ver el resultado de calcular la forma de onda del DFT con el uso de la ecuación anterior (2), se considera una señal que tiene una amplitud constante de +1V. Se toman cuatro ejemplos de esta señal como se ve en la siguiente figura.



Cada una de las muestras tiene un valor +1, dando la secuencia de tiempo:  $x[0] = x[1] = x[2] = x[3] = 1$ .

Utilizando la ecuación (1) para calcular el DFT de esta secuencia y haciendo uso de la ecuación de Euler:  $\exp(-j\theta) = \cos(\theta) - j\sin(\theta)$  logramos como resultado:

$$X[0] = \sum_{i=0}^{N-1} x_i e^{-j2\pi i0/N} = x[0] + x[1] + x[2] + x[3] = 4$$

$$X[1] = x[0] + x[1] \left( \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) - j \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) \right) + x[2] (\cos(\pi) - j \sin(\pi)) + x[3] \left( \cos\left(\frac{3\pi}{2}\right) - j \sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) \right) = (1 - j - 1 + j) = 0$$

$$X[2] = x[0] + x[1] (\cos(\pi) - j \sin(\pi)) + x[2] (\cos(2\pi) - j \sin(2\pi)) + x[3] (\cos(3\pi) - j \sin(3\pi)) = (1 - 1 + 1 - 1) = 0$$

$$X[3] = x[0] + x[1] \left( \cos\left(\frac{3\pi}{2}\right) - j \sin\left(\frac{3\pi}{2}\right) \right) + x[2] (\cos(3\pi) - j \sin(3\pi)) + x[3] \left( \cos\left(\frac{9\pi}{2}\right) - j \sin\left(\frac{9\pi}{2}\right) \right) = (1 + j - 1 - j) = 0$$

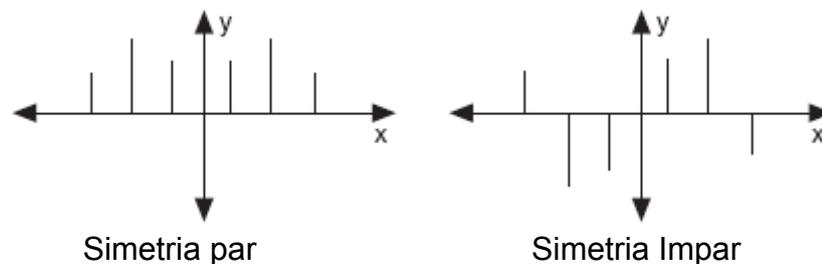
Exceptuando el componente DC,  $X[0]$ , todos los demás valores son 0 como era de esperar. Sin embargo el valor calculado de  $X[0]$  depende del valor de  $N$ . Porque tenemos  $N=4$ ,  $X[0]=4$ . Si  $N=10$  debemos calcular  $X[0]=10$ . Esta dependencia de  $X[.]$  sobre  $N$  también ocurre para otros componentes de frecuencia. Normalmente dividimos la salida del DFT entre  $N$  para obtener la correcta magnitud del componente de la frecuencia.

## **B. MAGNITUD E INFORMACIÓN DE LA FASE**

Se ha visto que las  $N$  muestras de una señal de entrada, resultan en  $N$  muestras de DFT. Esto es, el número de muestras tanto en representación del tiempo y de la frecuencia es el mismo. Para la ecuación (1), no importa si la señal de entrada  $x[i]$  es real o compleja,  $X[k]$  siempre es compleja, aunque la parte imaginaria sea 0. Como la DFT es compleja contiene dos partes de información: la amplitud y la fase. Para las señales reales, como las obtenidas de la salida de un canal del DAQ, el DFT es simétrico sobre el índice  $N/2$  con las siguientes propiedades:

$$|X[k]| = |X[N-k]| \text{ and phase}(X[k]) = -\text{phase}(X[N-k])$$

La magnitud de  $X[k]$  se conoce como simetría par y la fase ( $X[N-k]$ ) se conoce como simetría impar. Una señal simétrica par es una señal que es simétrica al eje y, una señal simétrica impar es la señal que es simétrica respecto al origen. El siguiente dibujo muestra las diferentes simetrías.



El efecto de esta simetría es la repetición de la información contenida en  $N$  muestras del DFT. Por esta repetición de información solo la mitad de las muestras del DFT necesitan ser procesados. La otra mitad se puede obtener de esta repetición.

Nota: Si la señal de entrada es compleja la DFT no es simétrica y no se podrá usar este método.

### C. ESPACIAMIENTO DE LA FRECUENCIA Y SIMETRÍA DEL DFT/FFT

El intervalo de muestreo es de  $\Delta t$  segundos, y si la primera muestra ( $K=0$ ) es el segundo 0,  $k^{\text{th}}$  ( $K>0$ ,  $k$  integer) las muestras serán en  $k\Delta t$  segundos. Del mismo modo si la resolución de muestreo es  $\Delta f$  donde  $\Delta f = f_s/n$  significa que la muestra  $K^{\text{th}}$  del DFT ocurre a una frecuencia de  $K\Delta f$  Hz. Esto es válido solamente para una mitad de las muestras. La otra mitad representa los componentes negativos de la frecuencia. Dependiendo de si el número de muestras es par o impar se pueden hacer diferentes interpretaciones de la frecuencia que corresponde a la muestra  $K^{\text{th}}$  del DFT.

#### Número par de muestras

Supongamos que  $N$  es par y  $p=N/2$ . La siguiente tabla muestra la frecuencia a la que corresponde cada elemento de salida compleja de la secuencia  $X$ .

Array Element	Corresponding Frequency
$X[0]$	DC component
$X[1]$	$\Delta f$
$X[2]$	$2\Delta f$
$X[3]$	$3\Delta f$
$\vdots$	$\vdots$
$X[p-2]$	$(p-2)\Delta f$
$X[p-1]$	$(p-1)\Delta f$
$X[p]$	$p\Delta f$ (Nyquist frequency)
$X[p+1]$	$-(p-1)\Delta f$
$X[p+2]$	$-(p-2)\Delta f$
$\vdots$	$\vdots$
$X[N-3]$	$-3\Delta f$
$X[N-2]$	$-2\Delta f$
$X[N-1]$	$-1\Delta f$

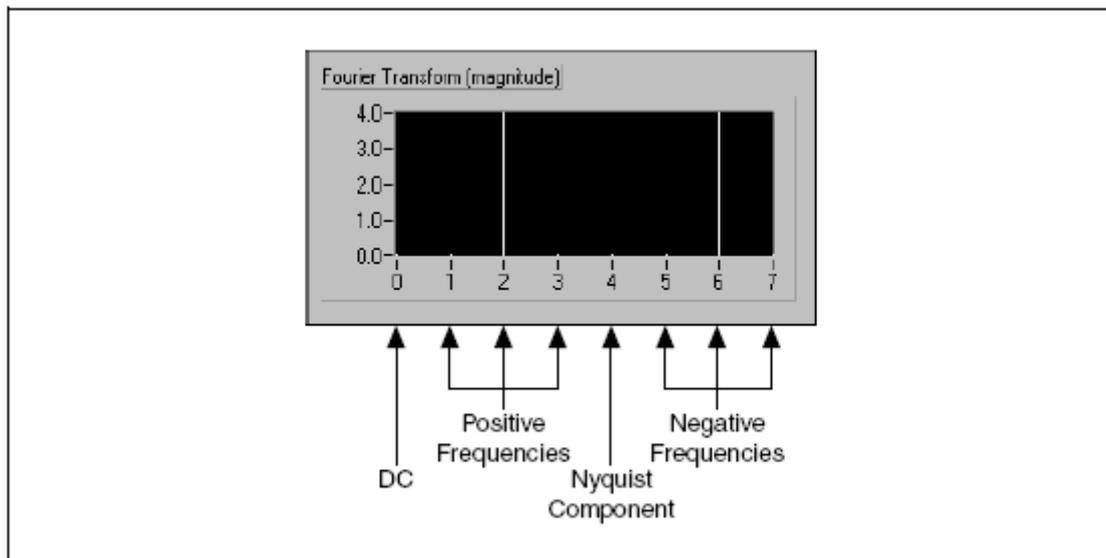
El elemento  $p^{\text{th}}$ ,  $X[p]$ , corresponde a la frecuencia de Nyquist. Las entradas negativas de la segunda columna más allá de la frecuencia de Nyquist representan las frecuencias negativas.

Por ejemplo, si  $N=8$ ,  $p=N/2=4$ , entonces:

$X[0]$	DC
$X[1]$	$\Delta f$
$X[2]$	$2\Delta f$
$X[3]$	$3\Delta f$
$X[4]$	$4\Delta f$ (Nyquist freq)
$X[5]$	$-3\Delta f$
$X[6]$	$-2\Delta f$
$X[7]$	$-\Delta f$

$X[1]$  y  $X[7]$  tienen la misma magnitud,  $X[2]$  y  $X[6]$  también al igual que  $X[3]$  y  $X[5]$ . La diferencia es que  $X[1]$ ,  $X[2]$ ,  $X[3]$  corresponden a los componentes de frecuencias positivas y que  $X[5]$ ,  $X[6]$ ,  $X[7]$  corresponden a las frecuencias negativas.

La siguiente figura representa la secuencia compleja de  $N=8$ .



Este tipo de representación, donde se ven las frecuencias tanto positivas como negativas se conoce como transformada bilateral.

**Número impar de muestras.**

Supongamos que  $N$  es impar,  $p=(N-1)/2$ . La siguiente tabla muestra la frecuencia a la que corresponde cada elemento de salida compleja de la secuencia  $X$ .

Array Element	Corresponding Frequency
$X[p]$	$p\Delta f$
$X[p+1]$	$-p\Delta f$
$X[p+2]$	$-(p-1)\Delta f$
$\vdots$	$\vdots$
$X[N-3]$	$-3\Delta f$
$X[N-2]$	$-2\Delta f$
$X[N-1]$	$-\Delta f$
$X[p]$	$p\Delta f$
$X[p+1]$	$-p\Delta f$
$X[p+2]$	$-(p-1)\Delta f$
$\vdots$	$\vdots$
$X[N-3]$	$-3\Delta f$
$X[N-2]$	$-2\Delta f$
$X[N-1]$	$-\Delta f$

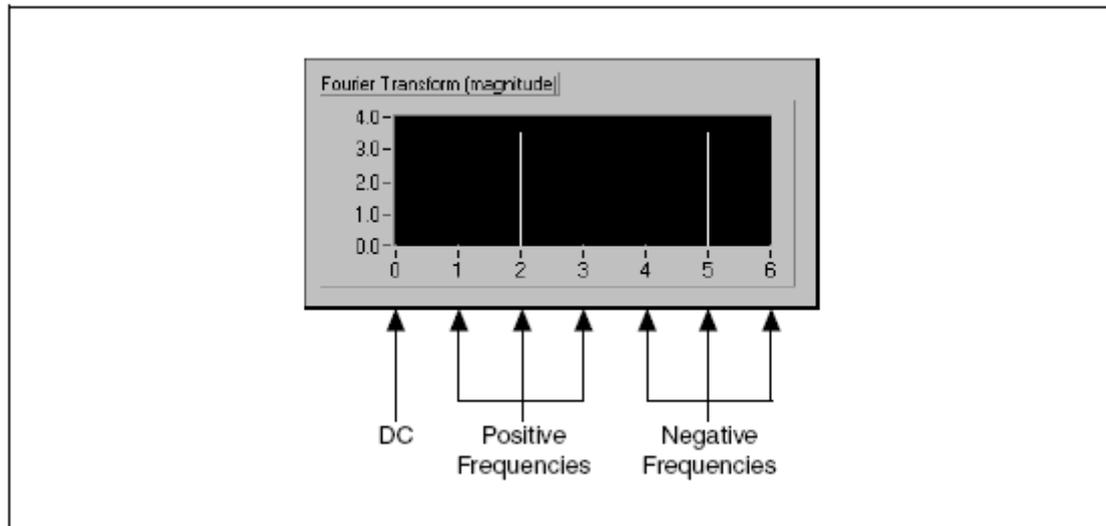
Cuando  $N$  es impar,  $N/2$  no es un entero. Por o tanto, no es un componente de la frecuencia de Nyquist.

Si  $N=7$ ,  $p=(N-1)/2=(7-1)/2=3$  se obtiene:

$X[0]$	DC
$X[1]$	$\Delta f$
$X[2]$	$2\Delta f$
$X[3]$	$3\Delta f$
$X[4]$	$4\Delta f$ (Nyquist freq)
$X[5]$	$-3\Delta f$
$X[6]$	$-2\Delta f$

$X[1]$  y  $X[6]$  tienen la misma magnitud igual que  $X[2]$  y  $X[5]$  y también  $X[3]$  y  $X[4]$ . Sin embargo  $X[1]$ ,  $X[2]$ ,  $X[3]$  corresponden a las frecuencias positivas y  $X[4]$ ,  $X[5]$ ,  $X[6]$  corresponden a las frecuencias negativas. Como  $N$  es impar, no es un componente de la frecuencia de Nyquist.

La siguiente ilustración representa la tabla para N=7.



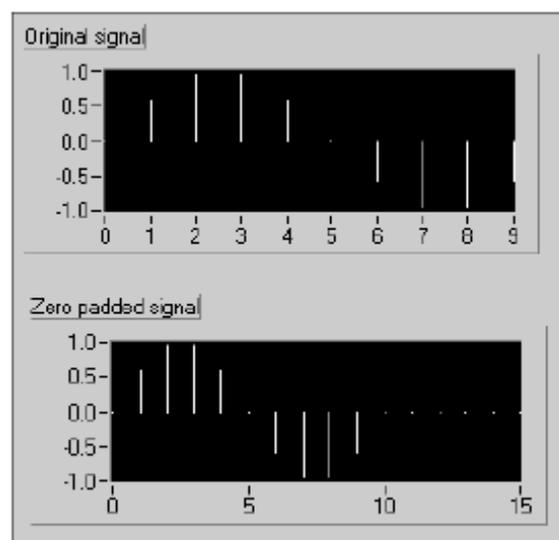
### Transformada Rápida de Fourier.

Las ventajas de la FFT incluyen eficiencia en la velocidad y la memoria por la que la VI realiza la transformada. El tamaño de la secuencia de entrada debe ser múltiplo de 2. El DFT puede procesar cualquier tamaño de la secuencia eficazmente, pero el DFT es más lento que el FFT porque utiliza más memoria porque almacena resultados intermedios durante el procesado.

### Inclusión de Ceros

Una técnica empleada para hacer que el tamaño de la secuencia de entrada sea múltiplo de 2 es agregar ceros al final de la secuencia de modo que el número total de muestras sea igual al siguiente múltiplo de 2.

Por ejemplo, si tienes 10 muestras de una señal puedes añadir seis ceros para hacer que el número total de muestras sea igual a 16 ( $=2^4$ , múltiplo de 2). En la siguiente figura se muestra este concepto.



Además de hacer que el número total de muestras sea múltiplo de 2 de modo que el computo sea más rápido utilizando el FFT, la inclusión de ceros también ayuda a incrementar la resolución de la frecuencia (recordar que  $\Delta f = f_s/N$ ) mediante el incremento de número de muestras  $N$ .

#### **D. FUERZA ESPECTRAL**

El DFT o FFT de una señal real es un número complejo que tiene una parte real e imaginaria. La fuerza representada en cada componente de frecuencia por DFT/FFT puede obtenerse elevando al cuadrado la magnitud de la frecuencia. Por lo tanto la fuerza en el componente de la frecuencia  $K^{\text{th}}$  está dado por  $|X[k]|^2$ . La figura muestra la fuerza en cada componente de la frecuencia conocida como fuerza espectral. Como el DFT/FFT de una señal real es simétrica, la fuerza de la frecuencia positiva de  $K\Delta f$  es la misma que la correspondiente a la frecuencia negativa de  $-K\Delta f$ , no se incluyen los elementos de Nyquist y DC. La fuerza total en DC y componente de Nyquist consiste en  $|X[0]|^2$  y  $|X[N/2]|^2$ , respectivamente.

#### **Pérdida de información de la Fase**

La fuerza se obtiene elevando al cuadrado la magnitud de DFT/FFT, la fuerza espectral es siempre real, y se pierde toda la información. Para obtener información de la fase, se utilizará la DFT/FFT quien dará una salida compleja.

Se puede utilizar la fuerza espectral en aplicaciones donde la información de la fase no es necesaria; por ejemplo, para calcular la fuerza armónica en una señal. Se puede aplicar una entrada sinusoidal a un sistema no lineal y se puede ver la fuerza armónica en el sistema de salida.

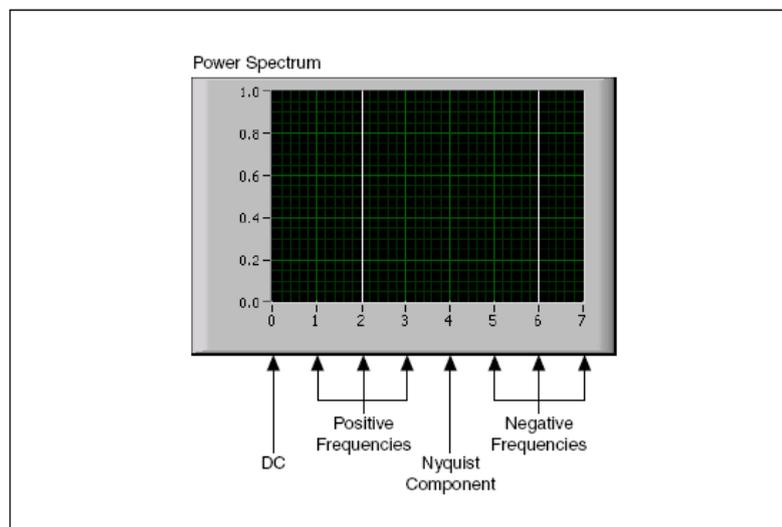
#### **Espaciamiento de la Frecuencia entre muestras.**

El espaciamiento de la frecuencia entre las muestras de salida es  $\Delta f = f_s/n$ . En la siguiente tabla se representa la fuerza espectral de una señal  $X[n]$  mediante  $S_{xx}$ .

**Si  $N$  es par**,  $p=N/2$ . La siguiente tabla muestra el formato de la secuencia de salida  $S_{xx}$  correspondiente a la fuerza espectral.

Array Element	Interpretation
$S_{xx}[0]$	Power in DC component
$S_{xx}[1] = S_{xx}[N-1]$	Power at frequency $\Delta f$
$S_{xx}[2] = S_{xx}[N-2]$	Power at frequency $2\Delta f$
$S_{xx}[3] = S_{xx}[N-3]$	Power at frequency $3\Delta f$
$\vdots$	$\vdots$
$S_{xx}[p-2] = S_{xx}[N-(p-2)]$	Power at frequency $(p-2)\Delta f$
$S_{xx}[p-1] = S_{xx}[N-(p-1)]$	Power at frequency $(p-1)\Delta f$
$S_{xx}[p]$	Power at Nyquist frequency

El siguiente dibujo representa la información de la tabla anterior de una onda sinu de amplitud  $=2 V_{\text{pico}}(V_{\text{pk}})$  y  $N=8$ .



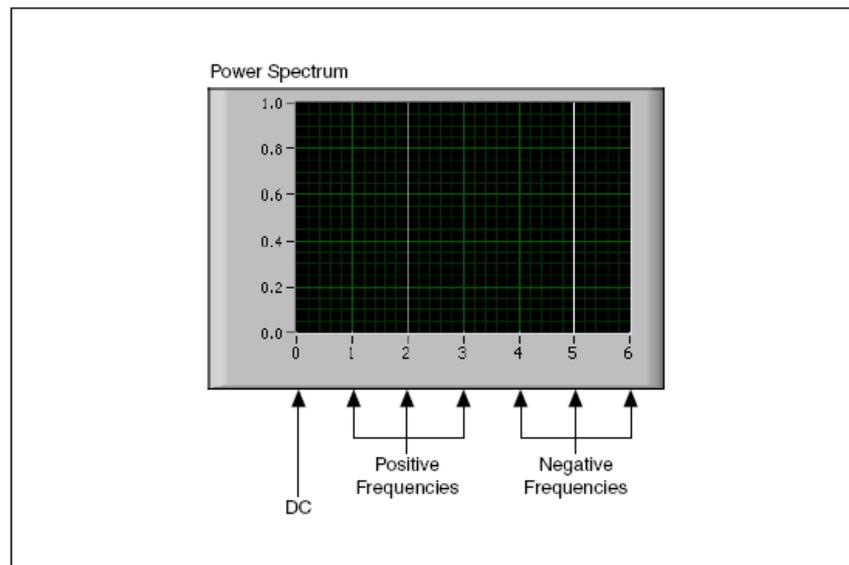
Las salidas del cálculo de la fuerza espectral son  $V_{\text{rms}}^2$ . Por lo tanto si la amplitud de pico,  $V_{\text{pk}}$ , de la señal de salida es  $2V_{\text{pk}}$ , su valor rms es  $V_{\text{rms}} = 2/\sqrt{2} = \sqrt{2}$  por lo tanto  $V_{\text{rms}}^2 = 2$ . Este valor se divide igualmente entre los componentes de frecuencia positivos y negativos que se ven en el dibujo anterior.

**Si N es impar**,  $p = (N-1)/2$ . En la siguiente tabla se ve el formato de la secuencia de salida  $S_{xx}$  correspondiente a la fuerza espectral.

Array Element	Interpretation
$S_{xx}[0]$	Power in DC component
$S_{xx}[1] = S_{xx}[N-1]$	Power at frequency $\Delta f$
$S_{xx}[2] = S_{xx}[N-2]$	Power at frequency $2\Delta f$

$S_{xx}[3] = S_{xx}[N-3]$	Power at frequency $3\Delta f$
$\vdots$	$\vdots$
$S_{xx}[p-2] = S_{xx}[N-(p-2)]$	Power at frequency $(p-2)\Delta f$
$S_{xx}[p-1] = S_{xx}[N-(p-1)]$	Power at frequency $(p-1)\Delta f$
$S_{xx}[p] = S_{xx}[p]$	Power at frequency $p\Delta f$

Esta figura representa la información de la tabla anterior para  $N=7$ .

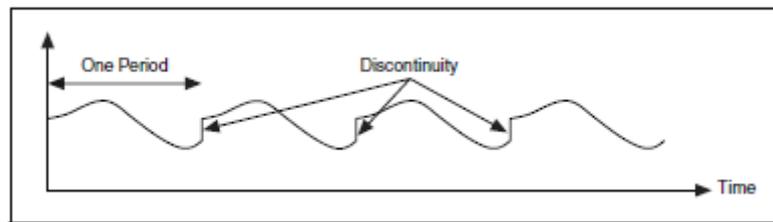


### Spectral Measurements Express VI

La función Spectral Measurements Express VI, localizadas en la paleta de Signal Analysis, permiten relizar fácilmente varias medidas espectrales en una señal. Estas medidas incluyen la computación del espectro de energía y de la magnitud máxima de una señal. Se utiliza la página de propiedades "Configure Spectral Measurements" para configurar el VI Express para realizar una magnitud (pico), la magnitud (RMS), el espectro de energía, o para accionar el cómputo espectral de la densidad en modo lineal o del DB. También se puede visualizar en una ventana, haciendo un promedio de parámetros y de la fase de la medida espectral.

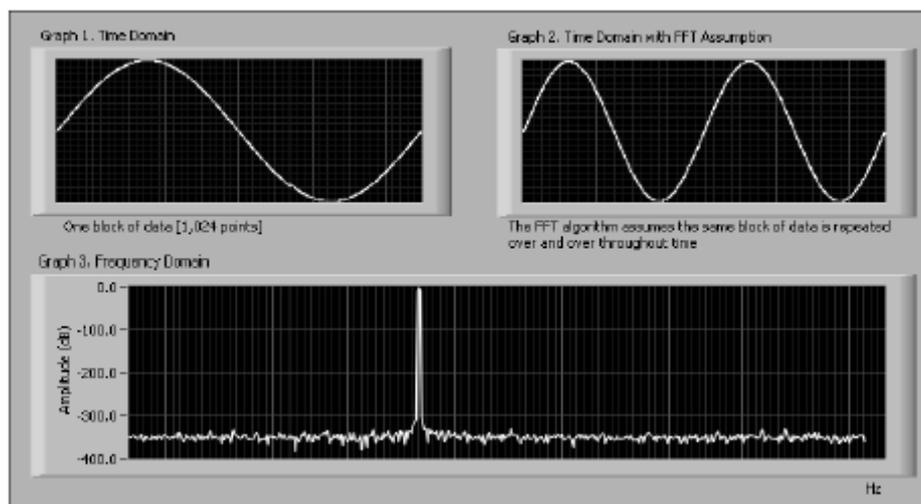
### E. SALIDAS ESPECTRALES

En aplicaciones prácticas podemos obtener sólo un número finito de muestras de la señal. Al utilizar DFT/FFT el contenido de frecuencia de una señal, se cogen los datos para un solo periodo como se indica en el dibujo.



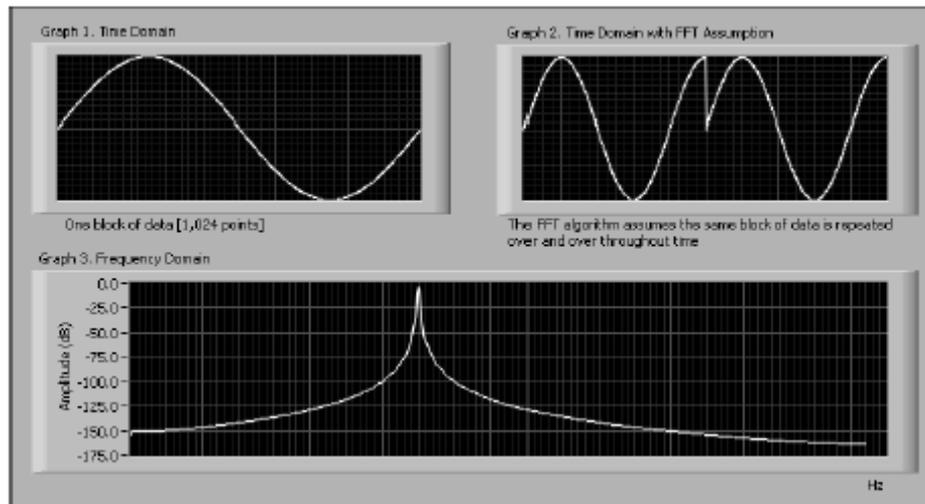
Debido a periodicidad de una forma de onda ocurren discontinuidades entre periodos sucesivos. Esto ocurre cuando se muestrea un número no entero de ciclos. Estas discontinuidades artificiales aparecen como altas frecuencias en el espectro de la señal que no están en la señal original. Estas frecuencias pueden ser más altas que las de la frecuencia de Nyquist, y como se ha visto anteriormente pueden sufrir el *Aliasing* entre 0 y  $f_s/2$ . El espectro obtenido del uso de DFT/FFT no será el espectro actual de la señal original pero será una versión aproximada. Aparece como si la energía de una frecuencia se dividiera en otras frecuencias. Este fenómeno se conoce como *Salida Espectral*.

En la siguiente figura se muestra una onda senoidal y se corresponde con la transformada de Fourier.



En el Graph1 vemos el muestreo en el dominio de tiempo. Como la transformada de Fourier se basa en la periodicidad esta onda se puede repetir en el tiempo como aparece en el Graph2. La correspondiente representación espectral está en el Graph3. El tiempo de grabación en el Graph2 es periódico, sin discontinuidades, su espectro es una simple línea que muestra la frecuencia de la señal senoidal. La razón por la que la forma de onda del Graph2 no tiene discontinuidades es porque el muestreo es un número entero de ciclos.

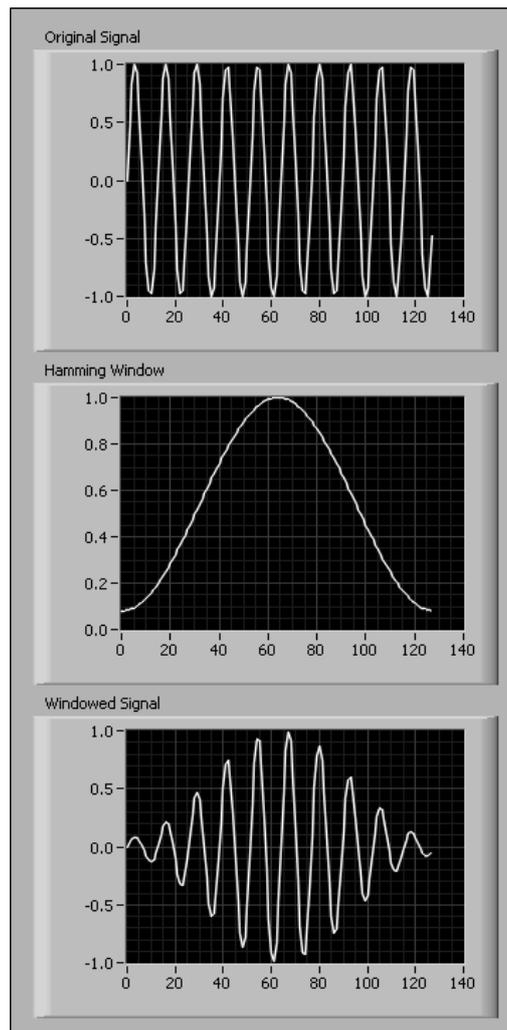
En el diagrama que se muestra a continuación, vemos la representación espectral de un número no entero de muestreo de ciclos llamado 1.25.



El Graph1 consiste en 1.25 ciclos de la onda senoidal. Cuando repetimos el periodo, el resultado será el del Graph2. El correspondiente espectro mostrado en el Graph3, donde la energía se extiende por una amplia gama de frecuencias. Este pico de energía es la salida espectral. La energía que abandona una de las líneas FFT y descompensa el resto de las líneas.

La descompensación es causa del tiempo finito de grabación de la señal de entrada. Una solución para la descompensación es coger un intervalo de tiempo de grabación infinito desde  $-x$  a  $+x$  para que el FFT calcule una simple línea de la frecuencia correcta.

La cantidad de salida espectral depende de la amplitud de la discontinuidad. A mayor discontinuidad mayor salida espectral. Se puede utilizar el *windowing* para la reducción de las discontinuidades en los límites de cada periodo. El *windowing* consiste en multiplicar el tiempo de grabación por una ventana de longitud finita cuya amplitud varía suave y gradualmente hacia 0 en los bordes. En la siguiente figura podemos apreciar el *windowing* aplicado al tiempo de la señal original utilizando una ventana Hamming. El tiempo de la forma de onda en la figura Windowed Signal en los extremos se acerca a 0. Al realizar la transformada de Fourier o el análisis espectral del dato finito se puede utilizar la ventana para minimizar los finales de la transición del muestreo de la forma de onda.



Si el tiempo de grabación contiene un número entero de ciclos, el periodo no tendrá ninguna discontinuidad y por lo tanto no habrá ninguna salida espectral. Sólo tendremos ese problema cuando tengamos un número no entero de ciclos.

Hay varias razones para utilizar el *windowing*:

- Definir de la duración de la observación
- La reducción de la salida espectral
- La separación de una señal de pequeña amplitud de una señal de gran amplitud con frecuencias muy juntas unas de otras.

## F. CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES FUNCIONES WINDOW

La aplicación de una ventana (*windowing*) a una señal en el dominio del tiempo es equivalente a multiplicar la señal por la función window. El windowing cambia la forma de la señal en el dominio del tiempo y afecta al espectro.

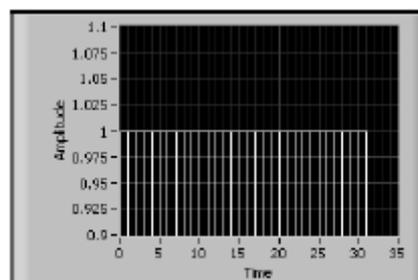
Dependiendo de la aplicación las funciones unos Window pueden ser más utilizables que otras. Con el Spectral Measurements Express VI se pueden elegir el rectangular (ninguno), Hanning, Hamming, Blackman-Harris, Exact Blackman, Blackman, Flat Top, 4 Term B-Harris, 7 Term B-Harris y Low Sidelobe windows. Éstos se encuentran en la paleta Analyze>>Signal Processing>>Windows.

### Rectangular

La ventana rectangular tiene un valor de 1 sobre su intervalo de tiempo Matemáticamente se define:

$$w[n] = 1.0 \quad \text{donde } n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

N es la longitud de la ventana. Aplicar una ventana rectangular es equivalente a no utilizar ninguna ventana porque la función rectangular trunca la señal dentro de un intervalo finito de tiempo. La ventana rectangular es la que tiene mayor número de salidas espectrales. A continuación vemos una ventana rectangular para N=32.



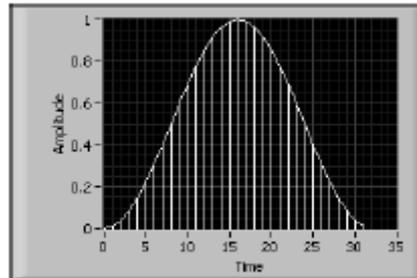
La ventana rectangular es aplicable para analizar los pasos que tienen una duración más corta que la de la ventana. También se utiliza cuando el muestreo de la frecuencia se ajusta a la velocidad del eje de la máquina. Con esta aplicación se detectan las vibraciones de la máquina y sus armónicos.

### Hanning

La ventana Hanning tiene una forma similar a medio ciclo de la onda cosino, la ecuación de su definición es:

$$w[n] = 0.5 - 0.5 \cos(2\pi[n/N]) \quad \text{donde } n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

En la figura vemos una ventana Hanning con N=32



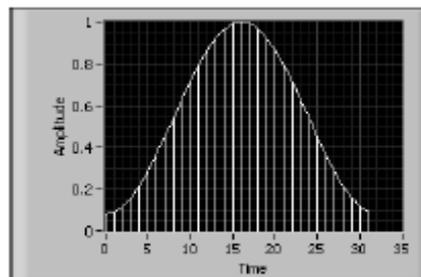
La ventana Hanning es muy útil para el análisis de pasos más largos que el tiempo de duración de la ventana y para aplicaciones de fines generales.

### Hamming

Es una modificación de la Hanning, su forma también es similar a la de la onda coseno y se define:

$$w[n] = 0.54 - 0.46 \cos(2\pi n/N) \quad \text{donde } n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

A continuación se muestra una ventana Hamming con  $N=32$ .



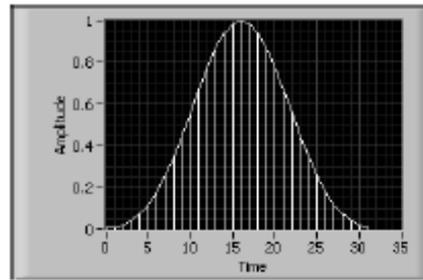
Aunque son muy parecidas en este caso los extremos de la onda no están cerca de 0.

### Blackman-Harris

Es muy útil para la medición de componentes de bajo nivel en presencia de una señal de entrada larga. Aplica una ventana de tres términos a la señal de entrada. Se define:

$$w[n] = 0.422323 - 0.49755 \cos(2\pi n/N) + 0.07922 \cos(4\pi n/N) \quad \text{donde } n = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

En el dibujo tenemos una ventana Blackman-Harris con  $N=32$ .



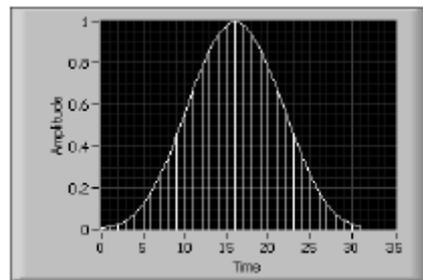
### Exact Blackman

Es parecida a la anterior pero con una menor forma cónica, se define como:

$$w[n] = [a_0 - a_1 \cos(2\pi n/N) + a_2 \cos(4\pi n/N)]$$

donde  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$ .  $a_0 = 7938/18608$ ,  $a_1 = 9240/18608$ ,  $a_2 = 1430/18608$

En la figura vemos una ventana Exact Blackman con  $N=32$



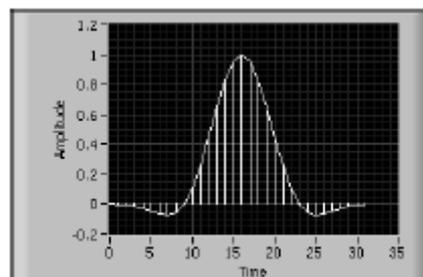
### Flat Top

Esta ventana tiene más términos del coseno que las anteriores. El segundo armónico hace que parte de la onda esté por debajo de 0. Su definición es:

$$w[n] = 0.21557895 - 0.41663158 \cos(2\pi n/N) + 0.277263158 \cos(4\pi n/N) - 0.083578947 \cos(6\pi n/N) + 0.006947368 \cos(8\pi n/N)$$

donde  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

A continuación vemos una ventana Flat Top con  $N=32$



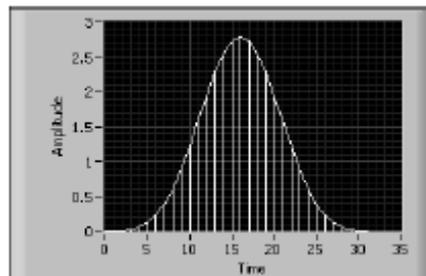
#### 4 Term B-Harris

Esta ventana es una extensión de Blackman-Harris, se añade un término más de coseno:

$$w[n] = 0.35875 - 0.48829 \cos(2\pi n/N) + 0.14128 \cos(4\pi n/N) - 0.01168 \cos(6\pi n/N)$$

donde  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

En esta figura podemos ver una ventana 4 Term B-Harris con  $N=32$



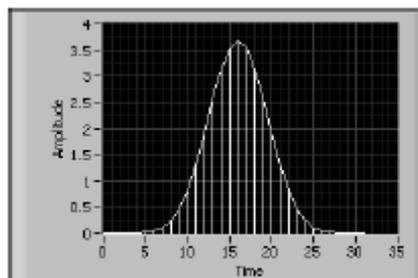
#### 7 Term B-Harris

Esta ventana se convierte en una extensión de Blackman-Harris Ya que se le añaden cuatro términos de coseno:

$$w[n] = 0.27105 - 0.43329 \cos(2\pi n/N) + 0.21812 \cos(4\pi n/N) - 0.06593 \cos(6\pi n/N) + 0.01081 \cos(8\pi n/N) - 7.7658 \times 10^{-4} \cos(10\pi n/N) + 1.3887 \times 10^{-5} \cos(12\pi n/N)$$

donde  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

En el siguiente dibujo observamos la ventana 7 Term Blackman-Harris con  $N=32$



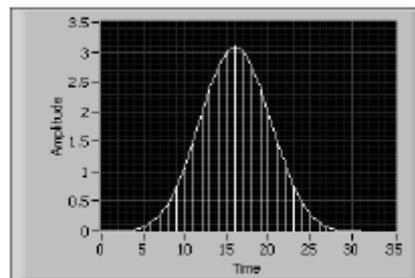
### Low Sidelobe

Este tipo de ventana reduce el tamaño del radar, se define:

$$w[n] = 0.323215218 - 0.471492057\cos(2\pi n/N) + 0.17553428\cos(4\pi n/N) - 0.028497078\cos(6\pi n/N) + 0.001261367\cos(8\pi n/N)$$

donde  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

En la figura se aprecia una ventana Low Sidelobe con  $N=32$



### G. DECISIÓN DEL TIPO DE VENTANA QUE SE VA A UTILIZAR

El tipo de ventana que se elegirá depende del tipo de señal que se tiene y que se está buscando. La elección de una ventana correcta requiere el conocimiento de la señal que se está analizando. En la siguiente tabla se muestran los diferentes tipos de señales y las ventanas que se pueden utilizar con ellas.

Tipo de Señal	Ventana
Transiciones con menor duración que la largura de la ventana	Rectangular
Transiciones con mayor duración que el largura de la ventana	Hanning
Aplicaciones de propósito general	Hanning
Seguimientos de orden	Rectangular
Análisis de sistemas (medidas de la respuesta de frecuencia)	Hanning (alimentación aleatoria) Rectangular (alimentación pseudoaleatoria)
Separaciones de dos tonos con frecuencias muy juntas pero diferentes amplitudes	Kaiser-Bessel
Separación de dos tonos con frecuencias muy juntas y con amplitudes iguales	Rectangular

Si la señal no se conoce lo suficiente habrá que experimentar con diferentes ventanas para decidir cual es la mejor opción.

## H. FILTRADO

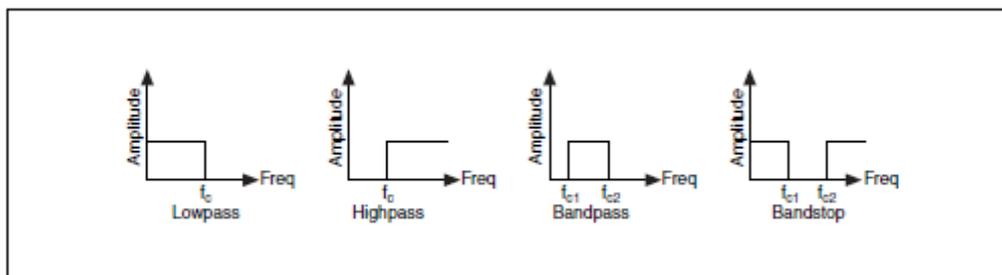
El filtrado es un proceso por el que el contenido de frecuencia de una señal es alterada. Es una de las técnicas más comunes utilizadas para el procesado de señales. Un ejemplo común que encontramos a diario es el control de bajos y agudos de un sistema estéreo. El control bajo altera el contenido de la baja frecuencia y el control agudo altera el de la alta frecuencia. Variando estos controles se filtra la señal de audio. Otra aplicación donde el filtrado es útil es en la disminución de ruidos.

## I. FILTROS IDEALES

Los filtros eliminan frecuencias indeseadas. Dependiendo del rango de frecuencia que dejan pasar o minimizar, se clasifican de la siguiente forma:

- Filtro de *paso Bajo*: Deja pasar frecuencias bajas pero minimiza las altas frecuencias.
- Filtro de *paso Alto*: Deja pasar frecuencias altas pero minimiza las bajas.
- Filtro de *paso de Banda*: Pasan las frecuencias que están dentro de un cierta banda de frecuencias
- Filtro *Bandstop*: minimiza las frecuencias de una cierta banda

En el dibujo vemos las respuestas ideales de estos filtros:



Los Filtros de paso bajo dejan pasar todas las frecuencias menores de  $f_c$ .

Los Filtros de paso alto dejan pasar todas las frecuencias mayores a  $f_c$ .

Los Filtros de paso de banda dejan pasar todas las frecuencias entre  $f_{c1}$  y  $f_{c2}$ .

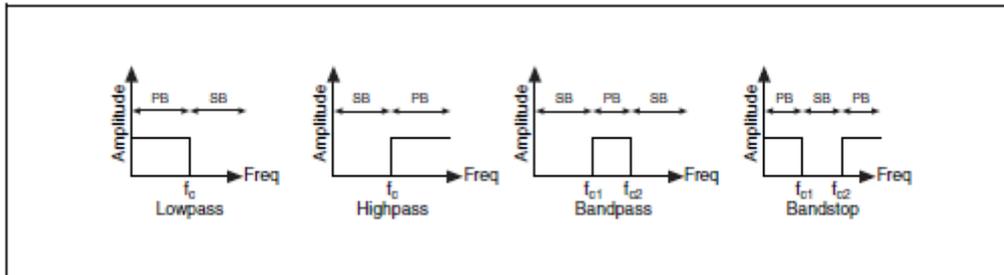
Los Filtros BandStop eliminan las frecuencias entre  $f_{c1}$  y  $f_{c2}$ .

Los puntos de frecuencia  $f_c$ ,  $f_{c1}$  y  $f_{c2}$  se llaman frecuencias de corte del filtro. Al designar los filtros es necesario especificar las frecuencias de corte.

El rango de frecuencias que cruza el filtro se conoce como el passband (PB) del filtro. Un filtro ideal tiene una ganancia de 1 (0dB) en el paso de banda por lo que la amplitud de la señal ni se incrementa ni disminuye. El Stopband (SB)

corresponde al rango de frecuencias que no cruzan el filtro y todas ellas se eliminan.

En el siguiente dibujo podemos ver el passband y el stopband para los diferentes tipos de filtros.



Los filtros de paso bajo y paso alto tienen un passband y un stopband.

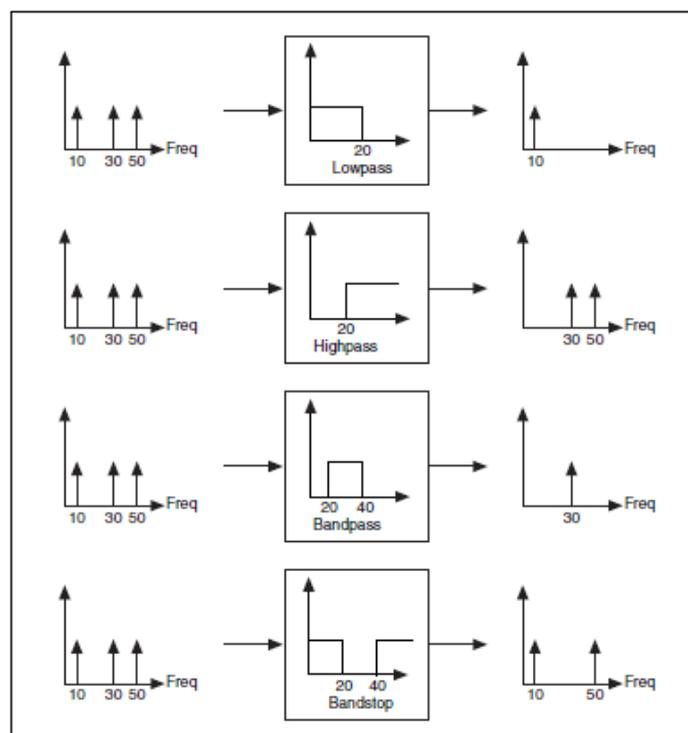
El filtro de paso de banda tiene un passband y dos stopbands.

El filtro Bandstop tiene dos passband y un stopband.

### Como afectan los filtros a la Señal de frecuencia.

Una señal que contiene frecuencias de 10Hz, 30Hz, 50Hz pasa a través de los cuatro filtros. Los filtros de paso bajo y paso alto tienen una frecuencia de corte de 20Hz y los filtros de paso de banda y bandstop tienen frecuencias de corte de 20Hz y 40Hz.

En la figura se dibujan las salidas del filtro en cada caso.

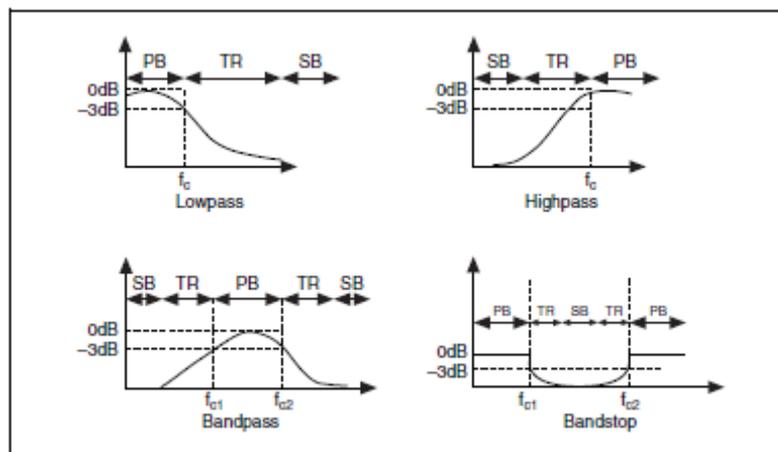


## J. FILTROS REALES

En la práctica hay una región de transición finita entre el passband y el stopband. En este tramo la ganancia del filtro cambia gradualmente desde uno (0dB) en el passband hasta 0 (-infinito dB) en el stopband.

### Banda de Transición

En el dibujo se pueden ver el passband el stopband y la región de transición (TR) para los diferentes tipos de filtros reales. El passband (banda útil) convierte el rango de frecuencia donde la ganancia del filtro varía desde 0dB hasta -3dB. Aunque el rango -3dB es el más común, dependiendo de la aplicación también pueden usarse otros valores (-0.5dB, -1dB,...).



### Ondulación de la Banda Útil y Atenuación del Stopband

En muchos casos es aceptable permitir la leve variación de la ganancia de la banda útil en la unidad. La variación de la banda útil se llama Ondulación de la banda útil, la cual será la diferencia entre la ganancia actual y la deseada ganancia unidad. La atenuación del Stopband no se puede definir y se debe especificar el valor deseado. La ondulación de la banda útil y la atenuación del stopband se miden en decibelios dB, y se definen:

$$\text{dB} = 20 \cdot \log_{10} ( A_0(f) / A_1(f) )$$

donde  $\log_{10}$ : logaritmo de base 10

$A_0(f)$ : Amplitud de la frecuencia  $f$  antes del filtrado

$A_1(f)$ : Amplitud de frecuencia  $f$  después del filtrado

El ratio de entrada y salida de la frecuencia está cerca de la unidad.

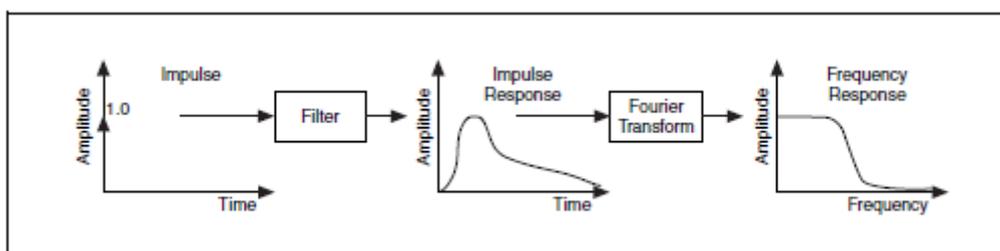
## **K. VENTAJAS DE LOS FILTROS DIGITALES FRENTE A LOS ANALÓGICOS**

Un filtro analógico tiene una entrada  $x(t)$  y una salida  $x(y)$ . La entrada y la salida son funciones de una variable continua ( $t$ ) y toman un infinito número de valores. Las herramientas del proceso del muestreo moderno y de señal numérica permiten sustituir los filtros análogos por los filtros digitales en los usos que requieren flexibilidad y facilidad a la hora de programar. Estas aplicaciones son las telecomunicaciones, el audio, la geofísica y la monitorización en el campo de la medicina. A continuación se muestra una lista con las ventajas de los filtros digitales:

- Se programan por software, por lo tanto son fáciles de construir y testear.
- Solamente requieren operaciones aritméticas (multiplicación, suma, resta) por lo que son fáciles de implementar.
- Son estables (no cambian con la temperatura o el tiempo) también son predecibles.
- No varían su valor con la temperatura o humedad y no requieren precisión de los componentes.
- Tienen mayor coeficiente de funcionalidad-coste.
- No sufren desgaste de fabricación.

## **L. FILTROS IIR Y FILTROS FIR**

Otro modo para clasificar los filtros se basa en el impulso que dan como respuesta. El impulso es la respuesta de un filtro cuya entrada es un impulso  $x[0]=1$  e  $x[i]=0$   $i \neq 0$ . La transformada de Fourier de la respuesta se conoce como respuesta de frecuencia de un filtro. La respuesta de frecuencia nos dice que salida del filtro va a ser en diferentes frecuencias. La respuesta de frecuencia nos dice la ganancia del filtro en diferentes frecuencias. Para un filtro ideal la ganancia debe ser 1 en el passband y 0 en el stopband. Todas las frecuencias en el passband se pasan sin cambios a la salida pero no hay salida para frecuencias en el stopband.



Si la respuesta de impulso del filtro cae a 0 después de un tiempo finito, se conoce como filtro de respuesta de impulso finito (FIR). Si la respuesta de

impulso existe indefinidamente es un filtro de respuesta de pulso infinito (IIR). Dependiendo de cómo se calcule la salida la respuesta impulso será finita (FIR) o infinita (IIR).

Una diferencia básica entre los filtros FIR y IIR es que en los filtros FIR la salida depende solamente de la corriente y del valor de la entrada anterior y que para los filtros IIR la salida depende de la corriente, del valor de la entrada anterior y del valor de la salida anterior.

### **Ventajas y desventajas de los Filtros FIR y IIR**

La ventaja de los filtros digitales IIR respecto a los FIR es que requieren menos coeficientes para llevar a cabo similares operaciones de filtrado. Por esta razón se ejecutan mucho más rápido y no necesitan memoria extra.

La desventaja es que la respuesta de fase no es lineal. Si la aplicación no necesita información de fase los IIR pueden ser apropiados. Se utilizan filtros FIR para aplicaciones que requieren respuestas de fase. La recurrente naturaleza de los IIR hace de ellos que sean difíciles de implementar y diseñar.

### **M. FILTROS IIR**

Son filtros digitales cuya salida se calcula agregando la suma de los últimos valores de la salida y la suma de los valores actuales de entrada.

#### **Filtros IIR Reales**

Un orden menor reduce las operaciones aritméticas y por lo tanto reduce el error de computación. Un problema con órdenes altas de filtrado es que rápidamente se pueden tener errores de precisión con órdenes mayores de 20 o 30. Esta es la principal razón de la implementación en cascada.

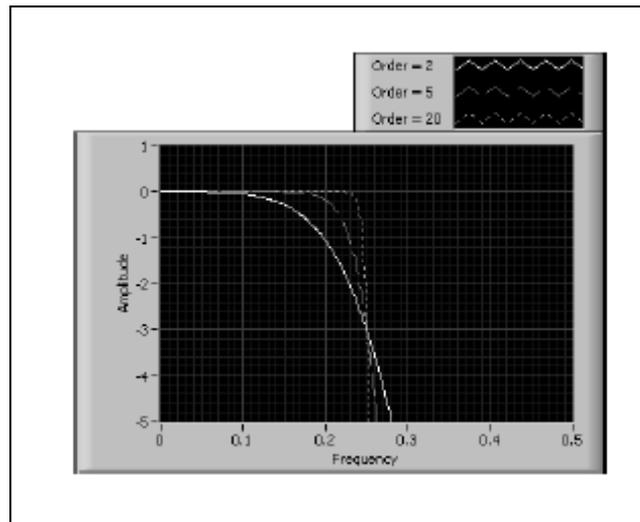
En la práctica la respuesta de frecuencia difiere de los filtros ideales. Dependiendo de la forma de la respuesta los filtros IIR pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- Filtros Butterworth
- Filtros Chebyshev
- Filtros Chebyshev II o Chebyshev invertido
- Filtros Elípticos
- Filtros Bessel

A continuación explicaremos los diferentes filtros, en todos ellos la señal de entrada será un impulso. La señal se filtrará utilizando el *Filter Express VI* y la respuesta se tomará utilizando *Frequency Response Function VI*.

## Filtros Butterworth

Un filtro Butterworth no tiene ondulación en el passband ni en el stopband. Como no hay ondulaciones también se le llama filtro máximo plano. Su respuesta de frecuencia se caracteriza por una respuesta lisa en todas las frecuencias. A continuación podemos ver la respuesta de un filtro Butterworth de paso bajo para diferentes órdenes:



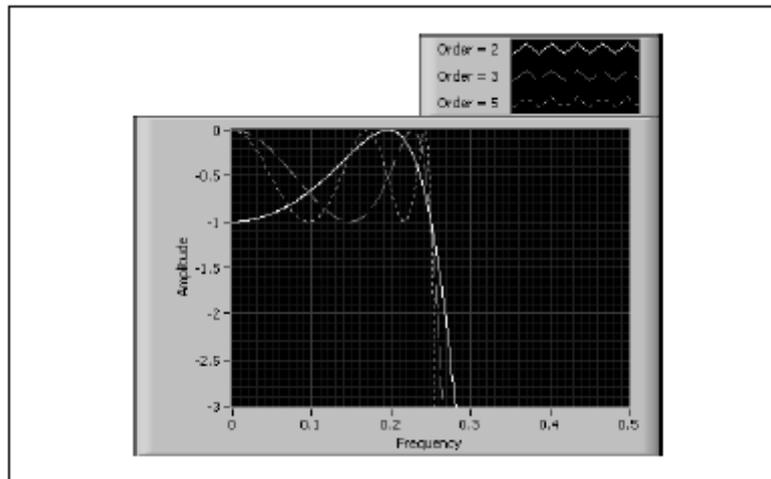
La región donde la salida del filtro es 0 o muy cercana a 0 es el passband del filtro. La zona donde la salida se acerca a las amplitudes negativas es el stopband. La zona entre el passband y el stopband donde la salida gradualmente pasa de 0 a amplitudes negativas es la Zona de Transición.

La ventaja de estos filtros es que su respuesta es lisa y disminuye en la zona de transición.

## Filtros Chebyshev

Los filtros Chebyshev tienen una zona de transición menor que la de los filtros Butterworth del mismo orden. Sin embargo esto se alcanza por las ondulaciones en el passband. Las características de la respuesta de frecuencia en los filtros Chebyshev son; Las ondulaciones tienen la misma magnitud en el passband, la respuesta en el stopband decrece en magnitud y en la zona de transición un descenso muy agudo.

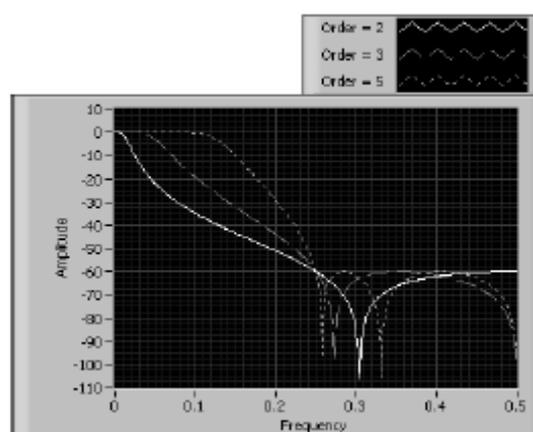
En el dibujo podemos ver la respuesta de un filtro Chebyshev de paso bajo para diferentes órdenes. Cuando aumenta el orden del filtro aumentan la inclinación de la zona de transición y el número de ondulaciones del passband.



La ventaja de estos filtros es que la zona de transición es más aguda con un filtro de orden más bajo. Esto produce un error absoluto menor y una mayor velocidad de ejecución.

### Filtros Chebyshev II o Filtro Chebyshev inverso

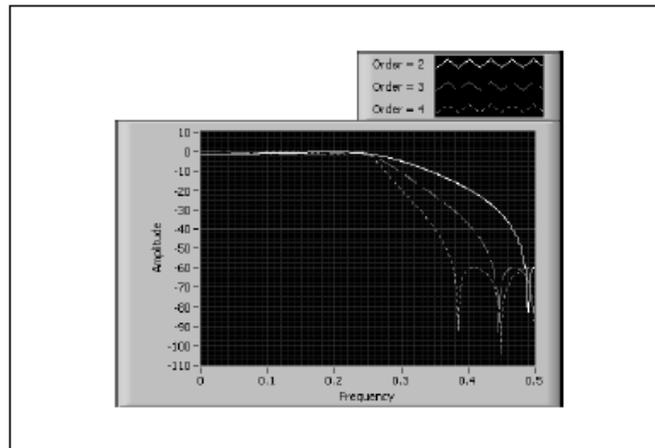
Estos filtros tienen las ondulaciones en el stopband y son más planas en el passband. Se puede especificar la cantidad de atenuación (en dB) en el stopband. En comparación con los filtros Butterworth para la misma orden las características de la respuesta de frecuencia para estos filtros son; En el stopband la magnitud de ondulación es igual para diferentes frecuencias, en el passband la magnitud disminuye y una disminución más aguda. En la figura vemos la respuesta de un filtro Chebyshev II de paso bajo.



La ventaja de estos filtros es que tienen una transición más aguda entre el passband y el stopband con filtros de menor orden. Con esta diferencia se obtienen un menor error absoluto y una mayor velocidad. Estos filtros tienen las ondulaciones en el stopband en vez de en el passband y por ello son mejores que los Filtros Chebyshev.

## Filtros Elípticos

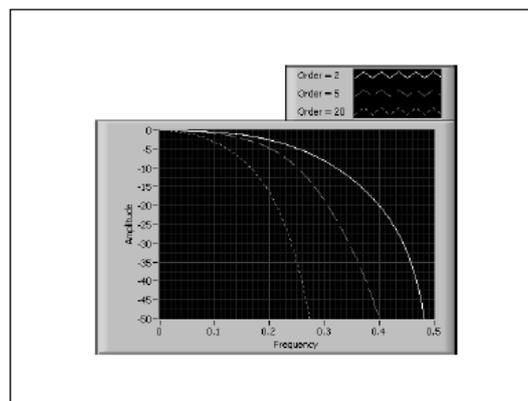
Estos filtros distribuyen las ondulaciones entre el passband y el stopband. Las ondulaciones de la misma magnitud caracterizan la repuesta de estos filtros. Comparando con filtros Butterworth y Chebyshev de la misma orden, los filtros Elípticos proporcionan una transición más aguda entre el passband y el stopband. Por esta razón los filtros Elípticos son más populares en aplicaciones cuyas bandas de transición cortas son requeridas donde se pueden tolerar las ondulaciones. En la siguiente figura se muestra la respuesta de un filtro Elíptico para diferentes órdenes.



Para los filtros Elípticos se pueden especificar la cantidad de ondulaciones (en dB) en el passband y la atenuación en (dB) en el stopband.

## Filtros Bessel

El filtro Bessel fue diseñado con una onda cuadrada en mente y es así ideal para el filtrado digital. El filtro Bessel tiene una respuesta lisa de la banda útil y del stopband. Usando la misma orden de filtrado, la atenuación del filtro Bessel es más baja que la del filtro Butterworth. Para una misma orden el filtro Bessel tiene la zona de transición más amplia. La ventaja principal del filtro Bessel es que la respuesta de fase es casi lineal a través de la banda útil.



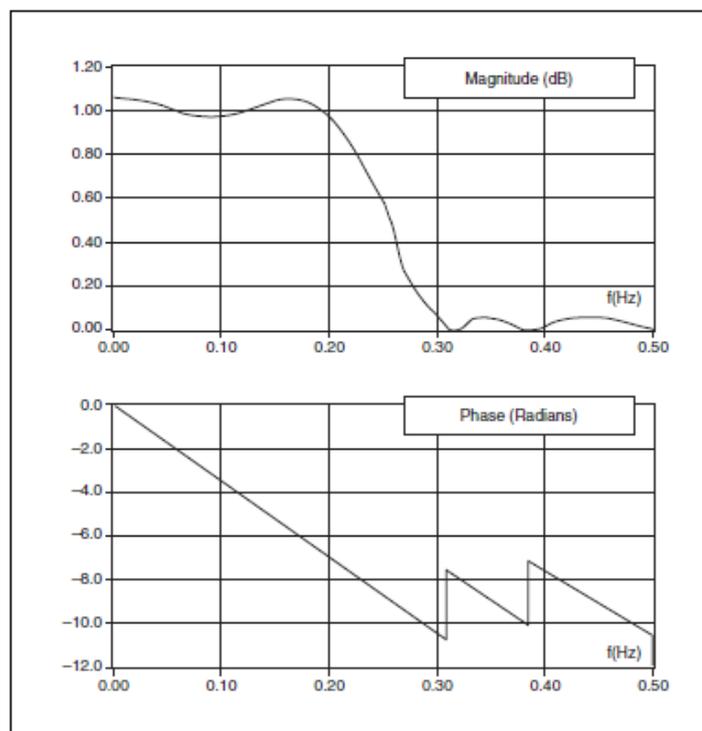
## N. FILTROS FIR

Los filtros finitos de la respuesta de impulso (FIR) son filtros digitales con una respuesta de impulso finita. Los filtros FIR también se conocen como filtros no recurrentes o filtros de la media móvil (mA) porque se puede expresar la salida de un filtro FIR como finita.

La salida de un FIR depende de la corriente y entrada anterior. Como no depende de la salida anterior su respuesta decae a 0 en un tiempo finito.

Estas son algunas de las características más importantes de un FIR:

- Pueden alcanzar respuesta de fase lineal y pasar una señal sin la distorsión de fase.
- Siempre son estables. Durante el filtrado no hay que preocuparse de la estabilidad.
- Los filtros FIR son simples y fáciles de implementar
- La siguiente ilustración muestra la respuesta típica de la magnitud y de fase de los filtros FIR respecto a la frecuencia normalizada. Las discontinuidades en la respuesta fase se presentan ante las discontinuidades introducidas al computar la respuesta de la magnitud utilizando el valor absoluto. Las discontinuidades en fase son del orden de  $\pi$ . La fase es claramente lineal.



El método más simple para diseñar los filtros FIR es el método de diseño de ventana. Para diseñar un filtro FIR por visualización en una ventana, se comienza con una respuesta de frecuencia ideal, se calcula su respuesta de

impulso, y después se trunca la respuesta de impulso para producir un número finito de coeficientes. El truncamiento de la respuesta de impulso ideal da lugar al efecto conocido como el fenómeno de Gibbs

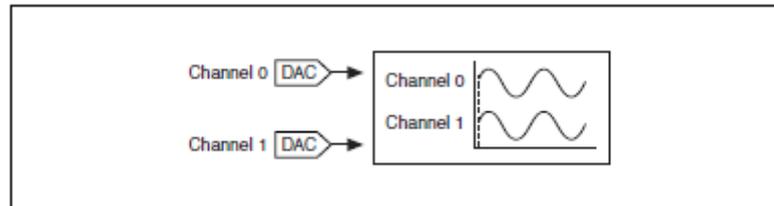
Se puede reducir los efectos del fenómeno de Gibbs alisando el truncamiento de la respuesta de impulso ideal usando una ventana de alisado. Como los coeficientes del FIR son más afilados en cada extremo, se puede disminuir la altura de los lóbulos laterales en la respuesta de frecuencia. La desventaja de este método es que la onda principal se ensancha, dando por resultado una región de transición más amplia en las frecuencias de corte.

## **SALIDAS ANALÓGICAS**

- A. Arquitectura de la salida analógica
- B. Uso del DAQmx Write VI
- C. VI, AO Multipuntos (Buffered)
- D. Generación del Buffer Finito
- E. Generación del Buffer Continuo

## A. ARQUITECTURA DE LA SALIDA ANALÓGICA

La mayoría de los dispositivos de las series E y M tienen convertidores de Digital a Analógico a para cada uno de los canales analógicos de la señal. Todos los DAC-s están sincronizados por lo que solamente es necesaria una señal de reloj. Los canales de salida analógicos están sincronizados del mismo modo que lo están los canales de entrada durante el muestreo.



### **Consideraciones de las salidas analógicas.**

El DAC tiene un rango determinado por una tensión de referencia. Esta referencia puede ser una señal externa o interna. La tensión de referencia interna es una señal de +10V. Se puede determinar el rango del DAC como una señal bipolar o unipolar.

#### **Bipolar**

Una señal bipolar tiene valores negativos y positivos, si determinamos el dispositivo en modo bipolar el rango del DAC queda determinado del siguiente modo:

$$\text{Máxima Tensión} = +V_{\text{ref}}$$

$$\text{Mínima Tensión} = -V_{\text{ref}}$$

Por ejemplo, si utilizamos la tensión de referencia interna de +10V, el rango será de -10V a +10V. Sin embargo si la señal solamente va de -5 a +5V no se está utilizando la máxima resolución y se puede proporcionar una tensión de referencia externa de un valor de +5V. Ahora el rango del DAC va desde -5V a +5V, la misma que la señal y se puede utilizar la resolución completa del DAC para generar la señal.

#### **Unipolar**

Una señal unipolar, tiene un rango que incluye solamente valores positivos. Si ponemos el dispositivo en modo unipolar, el rango del DAC queda determinado del siguiente modo.:

$$\text{Maxima Tensión} = + V_{\text{ref}}$$

$$\text{Mínima Tensión} = 0V$$

Por ejemplo si utilizamos la tensión de referencia de +10V el rango del DAC se sitúa de 0V a +10V. Si la señal va de 0V a +5V no estamos maximizando la resolución del DAC. Para maximizar la resolución proporcionamos una tensión

de referencia externa de +5V. El rango del DAC está entre 0 y +5V, el mismo rango de la señal.

## **B. USO DEL DAQmx WRITE VI**

El DAQmx Write VI situado en la paleta *DAQmx - Data Acquisition* escribe muestras de los canales especificados. En esta lección se describe la salida analógica del DAQmx Write VI. Se utiliza el menú Pull-down para elegir las características del VI. Existen cuatro ventanas de selección para determinar el VI.

- La primera ventana permite elegir el tipo de salida: Analógica, Digital, Contador, Datos
- La segunda ventana determina el número de canales a escribir o si el dato está fuera de escala.
- La tercera ventana de selección permite elegir ambas salidas, salida de muestra simple o salida de varias muestras.
- La cuarta ventana de selección en una salida de muestra simple permite elegir el dato a escribir como a una forma de onda o doble valor. Para una salida de varias muestras permite elegir el dato a escribir como forma de onda o un array de valores dobles.

Para una salida de muestra simple, el Terminal **auto start** se ajusta por defecto como True. Esto se debe a que el modelo puede ser controlado implícitamente por una salida simple. En una salida de varias de varias muestras el Terminal **auto Start** por defecto será False. Esto ocurre cuando se configura un timing adicional en la salida de múltiple muestreo con: DAQmx Timing VI, DAQmx Start Task VI, DAQ mx Stop Task VI.

### **Construcción de muestreo simple**

Si el nivel de generación de la señal es más importante que el rango de generación, la salida será de muestreo simple. Cuando se necesita generar una constante o señal DC se crea una muestra. Para controlar cuándo necesita el dispositivo una señal se pueden utilizar Timing de Software o Hardware.

**Temporización Software:** El rango con que se generan las señales está determinado por la aplicación Software y el sistema operativo y no por el dispositivo DAQ. La generación depende totalmente de los recursos del sistema operativo, cualquier interrupción del sistema puede afectar a la generación.

**Temporización Hardware:** Una señal TTL como puede ser el reloj del DAQ, controla el rango de generación. Una Temporización vía Hardware es más rápida que la vía Software y mantiene una mayor exactitud. Pero no todos

los dispositivos soportan la temporización Hardware para ello debemos consultar la documentación del dispositivo.

### **Determinación de la sincronización para la generación de una salida Analógica**

Para decirle al DAQ si tiene que utilizar temporización hardware o software, hay que usar el *DAQ Timing VI* y/o el Property mode *DAQmx Sample Timing Type*. Para la temporización Software el Property Node Simple Timing Type debe ajustarse a **On Demand**. Si no se especifica el modo de temporización se utilizará por defecto la temporización vía software.

Además el DAQmx Timing VI contiene un apartado Use Waveform. Éste utiliza el componente dt de la forma de onda de entrada para determinar el rango de entrada del Sample Clock. dt es el tiempo entre muestras (en segundos). Así se establece la temporización Hardware para la generación analógica. Para producir muestras hay que cablear la forma de onda al DAQmx Write VI.

### **C. VI, AO MULTIPUNTOS (Buffered)**

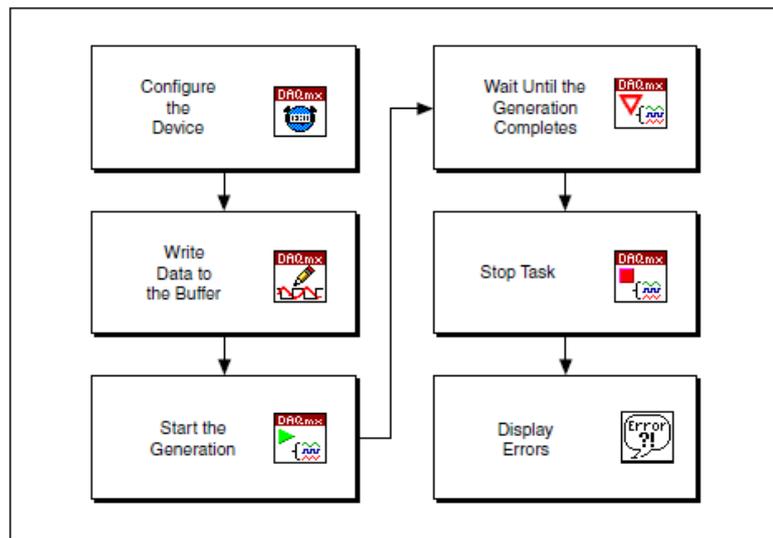
Para generar muestras múltiples de la salida analógica, hay que configurar el menú pull-down del DAQmx Write VI para múltiples muestras. Si queremos generar una señal que varía con el tiempo como puede ser una señal alterna se utiliza una generación de muestras múltiples. La generación multipuntos también se conoce como salida analógica almacenadora. La salida analógica Buffered puede ser finita o continua pero en los dos casos el buffering implica dos pasos:

1. Escribir muestras dentro del Buffer. Se cogen puntos del LabVIEW y se sitúan en una memoria intermedia antes de que se envíen al dispositivo. La generación Buffer es similar al envío de un e-mail completo en vez de enviarlo por palabras.
2. Transferir muestras desde el Buffer al dispositivo. El rango en que se transfieren las muestras depende del tiempo especificado. Al igual que en la generación simple se puede utilizar la temporización hardware o software.

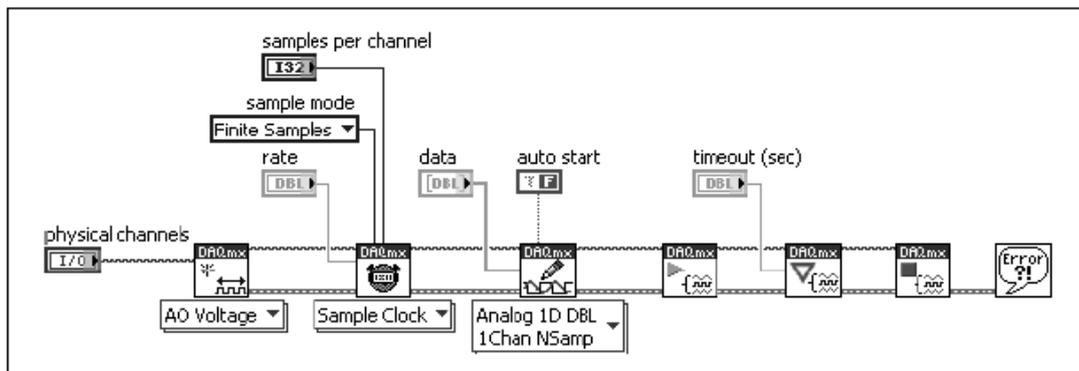
En la generación de la temporización Hardware, una señal hardware llama a la actualización del reloj para que controle el rango de generación. Un *Hardware Clock* es mucho más rápido que el software por lo que puede generarse una gama más amplia de frecuencias y formas. También es más exacto.

### D. GENERACIÓN DEL BUFFER FINITO

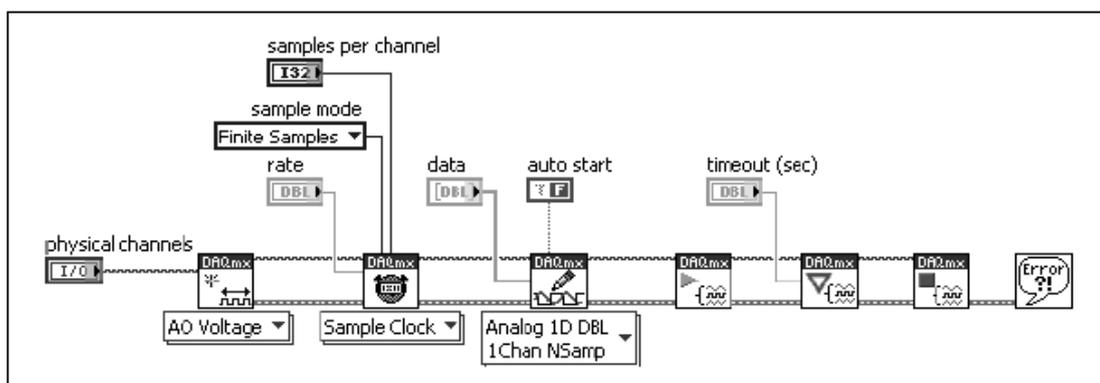
En la siguiente figura vemos el diagrama de flujo de una generación de Buffer.



El dibujo de abajo muestra un ejemplo de una típica generación finita de Buffer utilizando el Sample Clock y un array de dobles para la salida de datos.



También se puede utilizar la forma de onda para determinar la temporización y el dato simple.



Hay algunas diferencias entre los dos tipos de la generación finita de buffer: Utilizando un array doble con el Sample Clock y utilizando una forma de onda como dato para fijar el Sample Clock y las muestras. El DAQmx Timing VI cambia, como lo hace el dato que se cablea al Terminal de datos del DAQmx Write VI. Los dos casos siguen la misma estructura.

El DAQmx Create Virtual Chanel VI se usa para crear mediante programación un canal virtual de salida analógica. Si ya existe un canal virtual que utiliza el DAQ Assistant en MAX, se puede saltar este VI y cablearlo al siguiente canal, DAQmx Timing VI.

El DAQmx Timing tiene dos modos para utilizarse como salida analógica: El Sample Clock y el Use Waveform. En los dos casos desde que generamos un número finito de muestras fijamos el Sample mode a muestras finitas. Al utilizar el Sample Clock se especifica el rango de generación y el número de muestras. El valor número de muestras determina el tamaño del Buffer. Para usar el modo Use Waveform, simplemente hay que cablear el Waveform data al Waveform Terminal. Este modo el VI determinará el rango del Sample Clock y el número de muestras basado en los datos de la forma de onda.

El DAQmx Write VI envía el dato al Buffer del PC. Se selecciona la salida para que sea forma de onda o un array. Para el caso de Forma de onda del DAQmx Timing VI, se selecciona la salida del waveform en el mernu del Write VI. Se cablea la misma forma de onda que se ha utilizado para fijar el timing al dato del Write VI. Al utilizar el Sample Clock la salida será un array doble. Se cablea el array que se quiere generar al Terminal de datos del Write VI.

Para muestras múltiples el parámetro auto Start debe ajustarse en False.

El DAQmx Start VI comienza la generación. El DAQmx Wait Until Done VI espera a que se complete el trabajo.

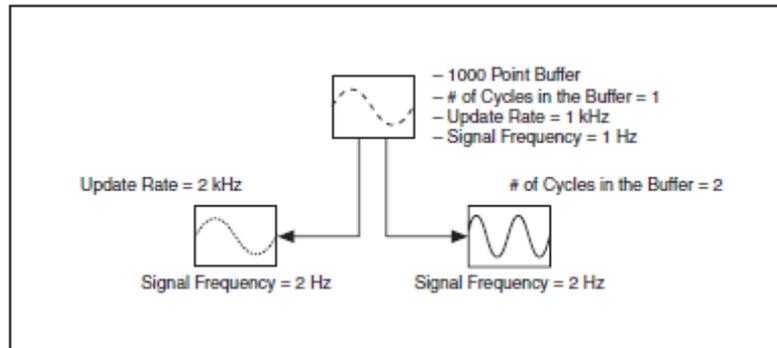
### **El DAQmx Reset VI**

En una salida analógica cuando se escribe un valor en un canal analógico de salida, el canal sigue dando este valor a la salida hasta que se escriba otro valor, se apague el dispositivo o el dispositivo sea Reseteado por el DAQmx Reset VI que está en la paleta *Configuration* -> *DAQmx-Data Acquisition*>>DAQmx Device.

Por ejemplo si a un canal de salida analógico le estamos escribiendo una onda senoidal y el último valor del Buffer es siete, se genera la onda de seno entera y cuando se complete la generación, el canal de salida analógico sigue generando un siete. Además si se reajusta el dispositivo cada vez, es más fácil escribir un cero en el canal después de que se complete la generación. Para esto se utiliza *AO Write One Update VI* situado en la paleta *Utility*.

### Frecuencia de la Forma de onda de Salida

La frecuencia de la forma de onda de salida depende del rango de actualización y del número de ciclos de la forma de onda que presenta en el buffer como se muestra en el dibujo.



La fórmula para calcular la frecuencia de la señal es la siguiente:

Frecuencia de la señal = [(ciclos x rango de actualización)] / (puntos en el buffer)

El siguiente ejemplo muestra como el rango de actualización y el número de ciclos de la forma de onda en el buffer afectan a la señal de frecuencia. Si se genera la señal con un rango de actualización de 1KHz la frecuencia de la señal será:

$$[(1 \text{ ciclo}) \times (1000 \text{ puntos por segundo})] / (1000 \text{ puntos}) = 1\text{Hz}$$

Si se dobla el rango de actualización y se deja el resto igual la frecuencia será:

$$[(1 \text{ ciclo}) \times (2000 \text{ puntos por segundo})] / (1000 \text{ puntos}) = 2\text{Hz}$$

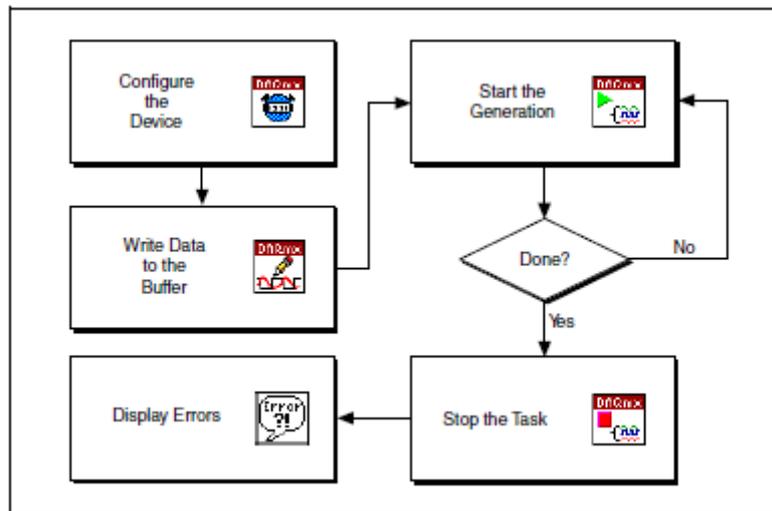
Si se dobla el número de ciclos del búffer y el resto se deja igual la frecuencia será:

$$[(2 \text{ ciclos}) \times (1000 \text{ puntos por segundo})] / (1000 \text{ puntos}) = 2\text{Hz}$$

Por lo tanto si se multiplica por 2 el rango de actualización o el número de ciclos, se multiplicará por 2 el valor de la frecuencia de la onda de salida.

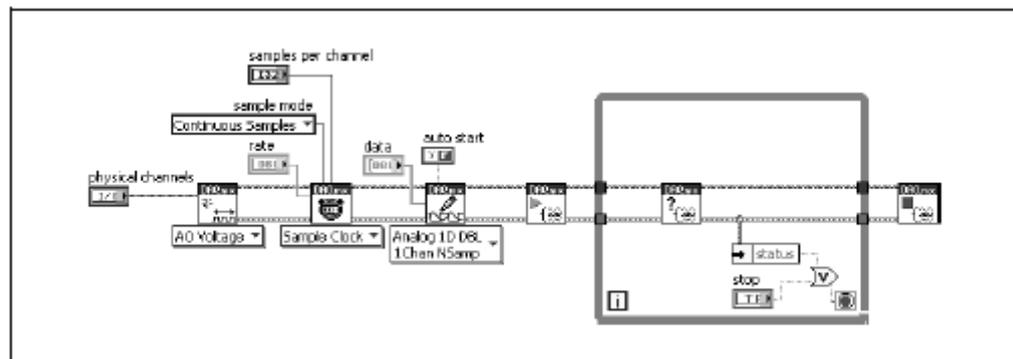
## E. GENERACIÓN DEL BUFFER CONTINUO

La principal diferencia entre una generación de buffer finita y una generación de buffer continuo está en el número de puntos generados. En una generación de buffer finito, se genera el dato en el buffer un número finito de veces mientras que en una generación de buffer continua se genera el dato indefinidamente.



La siguiente figura es similar a la de la generación del Buffer pero con las siguientes diferencias:

- El DAQmx Timing VI se ajusta en modo *Continuous Samples*
- Se utiliza DAQmx Is Task Done VI dentro del While



Se empieza configurando el canal virtual y los ajustes de sincronización con Create Virtual Chanel VI y Timing VI. Después se escribe el Buffer con DAQmx Write VI y se comienza el ejercicio con DAQmx Start Task VI.

El Loop *While* se utiliza para ver si se ha completado el ejercicio durante DAQmx Is Task Done VI. La generación finaliza cuando el usuario hace clic en stop o cuando ocurre un error. El dato en el Buffer va a ser generado después de que sea procesado. Cuando termine el Loop While, el DAQmx Stop Task VI finalizará el ejercicio y se reportarán los errores.

## **E/S DIGITALES**

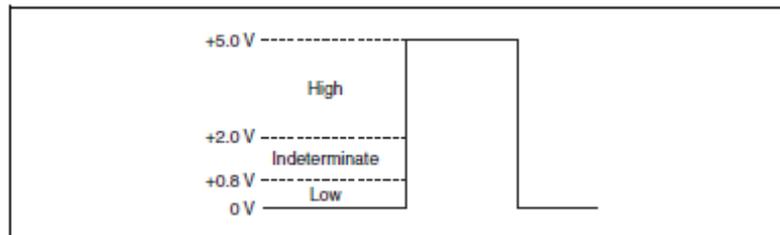
Esta lección describe la funcionalidad Digital de un dispositivo DAQ, que proporciona una entrada y una salida digital.

Los apartados que se van a estudiar:

- A. Señales Digitales
- B. E/S Digitales

## A. SEÑALES DIGITALES

Las líneas digitales de un DAQ aceptan y generan señales compatibles TTL. Una señal TTL tiene dos estados: estado lógico alto y estado lógico bajo. Las señales de nivel bajo son las que están entre 0V y +0.8V y las de nivel alto entre +2V y +5V. Las señales que están entre +0.8V y +2V están indeterminadas.



Para asegurarse de que las líneas digitales miden correctamente hay que asegurarse de que el nivel de tensión de la señal nunca esté entre +0.8V y +2V.

### Terminología Digital

A continuación se definen algunos de los términos más utilizados en cuanto a las operaciones de E/S digitales:

- **Bit:** Es la menor unidad de datos utilizado en una operación digital. Los Bits son Binarios por lo que su valor solo puede ser 1 o 0.
- **Byte:** Es un número binario que consiste en una serie de 8 bits de datos. También se utiliza para denominar la cantidad de memoria a guardar en un Byte de datos.
- **Línea:** Es una señal individual de un puerto digital. La diferencia entre Bit y Línea es que el Bit se refiere al dato actual transferido y la Línea es el Hardware a donde se ha transferido el Bit. Sin embargo algunas veces el término Bit y Línea pueden intercambiarse, ya que un puerto de 8 bits es lo mismo que un puerto de 8 líneas.
- **Puerto:** Es un grupo de líneas digitales. Normalmente las líneas se agrupan en puertos de 4 o 8 bits. Los dispositivos DAQ más antiguos tienen dos puertos de 4 bits y la mayoría de los dispositivos de Serie E tienen un puerto de 8 Bits. La nueva generación de dispositivos DAQ de la familia M tienen un mínimo de 3 puertos de 8 Bits cada uno de ellos contienen 8 líneas de señales bidireccionales. LabVIEW VI normalmente define un puerto como Canal Digital.

- **Ancho de Puerto:** Es el número de líneas por puerto. Por ejemplo una serie E tiene un puerto de 8 líneas de este modo el ancho de puerto es 8. Los dispositivos de la serie M tienen 3 puertos de 8 líneas cada uno. En este caso el ancho de Puerto también será de 8.
- **Máscara:** Determina si se ha ignorado una línea digital. Por ejemplo si se escribe en un puerto pero no en todas las líneas se puede ajustar la máscara de modo que se ignoren las líneas que no se vayan a utilizar.

### Denominación Digital del DAQmx de NI

En un DAQmx de NI se utiliza la siguiente nomenclatura para describir líneas digitales y puertos.

En cada caso:      X: El número de dispositivos del DAQ  
                         Y: El puerto Digital  
                         A y B: Son las líneas digitales del dispositivo DAQ.

- Puerto — DevX/PortY
- Línea Simple — DevX/PortY/LineA
- Líneas Múltiples — DevX/PortY/LineA:B. Las líneas se leen o escriben en orden ascendente comenzando por la línea A y continuando por la B. Para tener el control explícito del orden en que las líneas son leídas o escritas se utiliza las notaciones: DevX/PortY/LineA, DevX/PortY/LineB. La coma separa cada línea digital.

### B. E/S DIGITALES

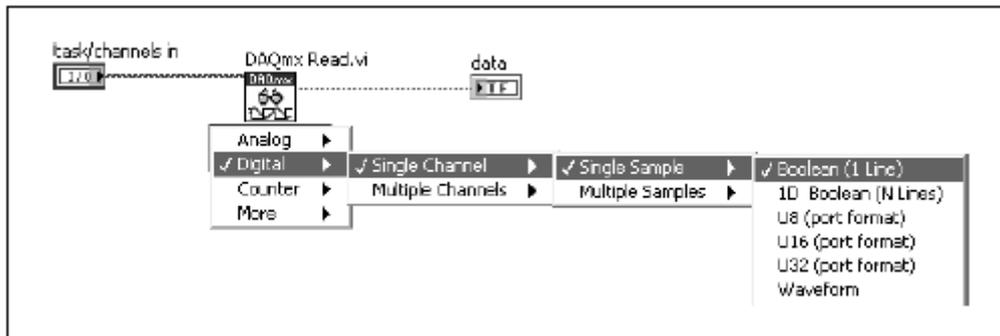
Para realizar la E/S Digital en NI-DAQmx, se debe seleccionar un caso del *DAQmx Read VI* o *DAQmx Write VI*. Además, para configurar los ejercicios de E/S Digitales de estos VI-s también se utilizan *DAQmx Timing VI* y el *DAQmx Triggering VI*. Para crear mediante programa un canal digital se utilizará el *DAQmx Create Virtual Channel VI*.

#### DAQmx Create Virtual Channel VI

Para crear mediante programa una entrada o salida digital se seleccionan las posibilidades Digital Input o Digital Output del *DAQmx Create Virtual Channel VI*. Estas posibilidades del VI permiten crear un canal compuesto por un puerto Digital, una línea Digital o una colección de líneas Digitales. Además se puede utilizar la entrada **line grouping** para determinar el modo en que el canal organizará las líneas Digitales. Se puede seleccionar o crear un canal por cada línea o crear un canal para todas las líneas.

## DAQmx Read VI

El *DAQmx Read VI* lee muestras de los canales especificados. Los casos de este VI especifican el formato de las muestras a devolver, si leer una simple o múltiples muestras a la vez y si hay que leer de un canal o de varios. Hay que elegir la Opción *Digital* del menú desplegable para crear una entrada digital.



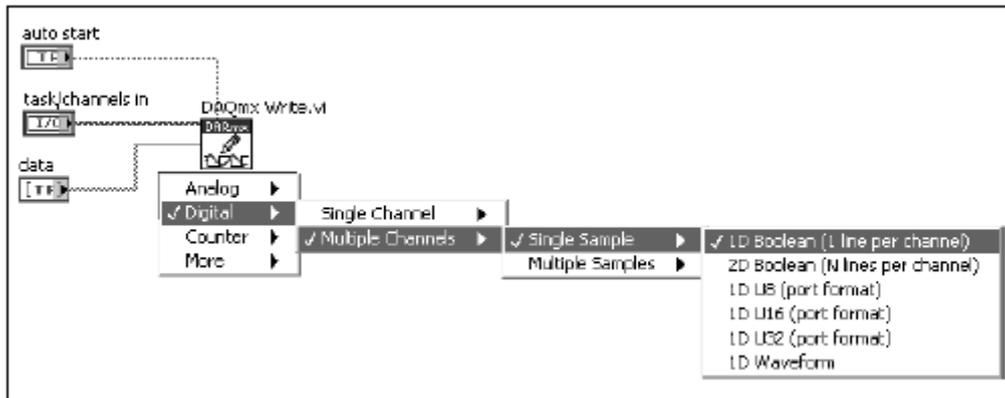
Hay que seleccionar para leer uno o varios canales. Si el canal **Line Grouping** está ajustado para todas las líneas de un canal, la lectura de un simple canal devuelve todos los valores a cada una de las líneas del canal. Si el canal **Line Grouping** está ajustado a cada línea del canal se pueden leer múltiples canales además de leer los valores en cada una de las líneas del canal especificado.

Después hay que seleccionar si se va a leer una simple o múltiples muestras al mismo tiempo. Las opciones de tipo de dato para los valores de vuelta permiten devolver el valor en línea o en formato de Puerto. El formato Línea consiste en un simple valor Booleano o en un array de valores Booleanos. Un número entero sin signo de 8 Bits (U8) o uno de 16 Bits (U16) o de 32 Bits (U32) son las opciones que hay para devolver el valor en formato Puerto. Cuando se leen varios canales las opciones de datos son las mismas, solo que tienen un array añadido a cada tipo de los canales que se van a leer.

Si se seleccionan los formatos de puerto U8, U16 o U32 para devolver el dato, hay que utilizar la Función *Number to Boolean Array* que se encuentra en la paleta **Numeric >> Conversion**. Esta función convertirá el número en un array de valores Booleanos.

## DAQmx Write VI

Este VI escribe muestras en los canales especificados. Las posibilidades de este VI especifican el formato de las muestras a escribir, si escribir una o varias muestras o uno o varios canales. Para crear una salida digital se elige la posibilidad Digital del *DAQmx Write VI*.



Los ajustes para el caso Digital se hacen del mismo modo que en *DAQmx Read VI*.

Por defecto la entrada **auto start** del *DAQmx Write VI* es TRUE cuando se escriben muestras simples y FALSE al escribir múltiples muestras. Si se va a utilizar el *DAQmx Start VI* y *DAQmx Stop Task VI* siempre hay que ajustar la entrada **auto start** a FALSE. Esto permite tener un mayor control y mejora la velocidad del programa.

### DAQmx Timing VI

Este VI determina el número de muestras digitales a adquirir o generar, utilizando la unión digital entre el dispositivo y el periférico. En vez de especificar el rango de muestreo, hay que especificar el número de muestras digitales a adquirir o generar mediante la unión digital.

### DAQmx Trigger VI

Este VI configura el Trigger de la tarea. Los casos de este VI corresponden al disparo y tipo de disparo a configurar. Para configurar Triggers digitales se hace del mismo modo que se configuran los Triggers de las entradas y salidas analógicas.

## **CONTADORES**

Esta lección se basa en la funcionalidad de los contadores del DAQ. Empieza con un repaso de los contadores incluyendo señales contadoras, partes del contador, pines que se conectan a una señal contadora, terminología básica de contadores y diferentes chips que funcionan como contadores. La lección también describe que el *DAQmx VI* se utiliza para las operaciones de contador.

- A. SEÑALES DE LOS CONTADORES
- B. CHIPS CONTADORES
- C. E/S DE CONTADORES
- D. CONTADORES DE FLANCO
- E. CONTADORES DE FLANCO AVANZADOS
- F. GENERADOR DE PULSOS
- G. MEDIDORES DE PULSO
- H. MEDIDORES DE FRECUENCIA
- I. MEDIDORES DE POSICIÓN

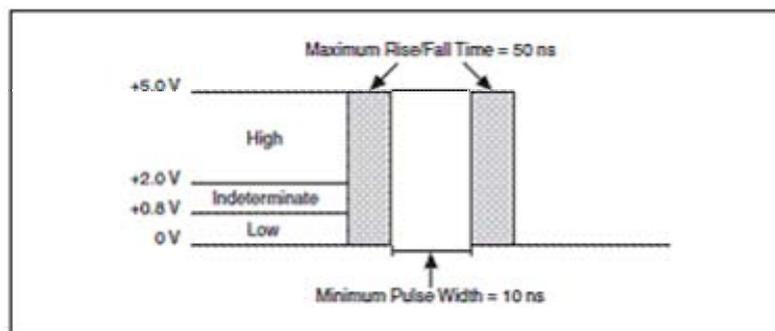
## A. SEÑALES DE LOS CONTADORES

Los contadores trabajan con señales compatibles TTL. Una señal compatible en TTL tiene las siguientes especificaciones:

Lógica baja: entre 0V y +0.8V

Lógica alta: entre 2V y +5V

Tiempo máximo de subida/bajada = 50ns



Los dispositivos de E/S digitales pueden ajustar el estado de una línea digital. Los contadores además de hacerse cargo del estado de la señal se preocupan de la transición de un estado a otro. Un contador puede detectar flancos de subida (transición de nivel lógico bajo al nivel lógico alto) y flancos de bajada (transición del nivel lógico alto a nivel lógico bajo). Dos importantes términos relacionados con ambos flancos son: el tiempo de subida/bajada y el ancho mínimo del pulso. El tiempo de subida/bajada es la medida de la rapidez en que ocurre la transición del cambio de estado entre niveles lógicos de la señal. Para que un contador detecte el flanco la transición debe ocurrir en 50 ns como máximo, tal y como se indica en las especificaciones de una señal TTL compatible.

Además de este tiempo debe haber un retardo mínimo desde que el contador detecta el flanco hasta que pueda detectar el próximo. Este retardo se conoce como el ancho mínimo del pulso. Este parámetro depende del tipo de contador que se utilice. Los dispositivos de la serie E tienen un chip llamado DAQ-STC que tiene un ancho mínimo de pulso de 10 ns para la fuente y la puerta. Se debe consultar la documentación de cada DAQ para determinar el valor del ancho mínimo del pulso requerido por los contadores.

Los dispositivos de la serie M tienen el chip NI-STC 2. Este chip es un circuito integrado con una aplicación específica que controla la sincronización entre tarjetas y el timing para las operaciones del DAQ multifuncional. Este chip también está designado para ser compatible con las últimas tecnologías ADC, incluyendo al ADC de 18 bits usado en dispositivos de alta precisión.

Hay cinco tipos de contadores: contador de flanco, generación de pulso, medición del pulso, medición de frecuencia y medición de la posición.

## Partes de un contador

Un contador consta de los siguientes componentes:

- **Registro contador:** Almacena la cuenta actual del contador. Se puede preguntar el registro de la cuenta mediante software.
- **Fuente:** Es una señal de entrada que puede cambiar la cuenta actual del contador almacenada en el registro contador. El contador busca flancos de subida o bajada de la señal fuente. Si el flanco cambia la cuenta el software es seleccionable. El tipo de flanco seleccionado se llama flanco activo de la señal. Cuando se recibe un flanco en la señal fuente cambia el contador. Si un flanco activo incrementa o decrementa la cuenta actual el software es seleccionable. La señal fuente debe ser TTL compatible.
- **Puerta:** Es una señal de entrada que determina si un flanco activo en la fuente cambia la cuenta. Un contaje puede ocurrir cuando la puerta es alta, baja, o entre varias sucesiones de flancos de subida y bajada. Los ajustes de la puerta se hacen mediante software. La puerta es similar a una línea digital de E/S porque permite apreciar o ignorar los flancos de la fuente.
- **Salida:** Una señal de salida que genera pulsos o una serie de pulsos conocido como pulso de trenes. La señal salida es TTL compatible.

## Pines del Contador

La Entrada analógica, Salida Analógica y todas las E/S digitales tienen pines dedicados a operaciones de entrada o salida. Los contadores utilizan una combinación de pines PFI (Programmable Function Input) y pines dedicados para sus operaciones. Los pines de salida solamente se utilizan para generar pulsos a la salida del contador. Los pines Fuente y Puerta son pines PFI. Por ejemplo en un conector de 68 pines el pin 3 puede utilizarse como PFI9, la puerta de contador 0 o ambas. La capacidad de utilizar un pin para varias aplicaciones ofrece gran flexibilidad. Por ejemplo se puede cablear una señal TTL externa al pin 3 y usarlo para activar una entrada Analógica y ser la puerta de la operación.

## Terminología de los contadores

Los siguiente términos son importantes para entender el uso de los contadores:

- **Terminal Count:** La última cuenta antes de que el contador sea 0. Por ejemplo cuando un contador que incrementa la cuenta alcanza su máximo valor, alcanza el Terminal count. El próximo incremento del contador fuerza al contador a reiniciarse y comenzar a contar en 0.

- **Resolution:** Cómo de alto puede contar el contador antes de alcanzar el Terminal Count, especificado en bits. La siguiente fórmula calcula la máxima cuenta:

Máxima cuenta= 2 (resolution) – 1  
Las resoluciones más comunes son 16, 24 o 32bits.

- **Timebase:** Una señal de frecuencia conocida que está proporcionada por el DAQ. El rango de frecuencias típicas para los Timebases va desde 100Hz hasta 80MHz. El Timebase puede ir internamente a la fuente de un contador para proporcionar una señal de frecuencia conocida.

## **B. CHIPS CONTADORES**

Dependiendo del DAQ se pueden utilizar los Chips Contadores: DAQ-STC, NI-STC2, o NI-TIO.

### **DAQ-STC**

Es un contador de 24 bits distribuido por NI con una amplia gama de funcionalidad utilizada en dispositivos de la serie E. Los DAQ-STC incrementan o decrementan la cuenta, cambian la dirección de la cuenta al instante utilizando una señal hardware y ofrecen timebases de 100KHz y 20MHz.

### **NI-STC2**

Es un chip utilizado en dispositivos de la serie M. Manejan todas las señales digitales del dispositivo incluyendo las entradas y salidas del ADC, líneas E/S digitales y contadores y timers. Cuenta con 6 canales DMA dedicados a las operaciones E/S. Con los 6 canales DMA pueden ejecutarse simultáneamente las 6 operaciones del dispositivo. Incorpora dos contadores/timers de 32 bits de 80MHz.

### **NI-TIO**

Es el primer contador que ofrecieron los dispositivos DAQ. Es un contador de 32 bits que es software- compatible con DAQ-STC. Incrementa y Decrementa la cuenta, tiene filtros digitales para eliminar glitches, cambia la frecuencia del tren de pulsos y ofrece Timebases de 100KHz, 20MHz y 80MHz. Se utiliza en dispositivos de la familia 660x.

## **C. E/S DE CONTADORES**

Como en la entrada analógica, salida analógica y E/S digital; Las operaciones de contadores utilizan el *DAQmx Read VI*. Para las operaciones del contador no se utiliza *DAQmx Read VI*. Para configurar medidas o generaciones de contadores sí se utilizarán: *DAQmx Create Virtual Channel VI*, *DAQmx Timing VI*, *DAQmx Triggering VI*.

## DAQmx Create Virtual Channel VI

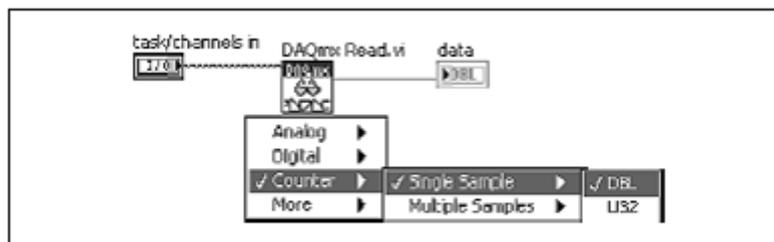
Para crear mediante programa un canal contador de entrada o un canal de contador de salida hay que seleccionar al opción Counter Input o Counter Output del *DAQmx Create Virtual Channel VI*.

Un canal *Counter Input* permite medir su frecuencia, periodo, flancos, ancho de pulso o semiperiodos.

Las opciones de configuración de un canal *Counter Output* permiten generar pulsos en términos de frecuencia, tiempo.

## DAQmx Read VI

Para leer una muestra o muestras de un contador, se selecciona la opción DAQmx Read VI. Para los contadores solamente puedes leer una canal al mismo tiempo, por lo que la elección de simple o múltiple canal no está permitida.



## DAQmx Timing VI

Para operaciones de contador seleccionar Sample Clock or Implicit del *DAQmx Timing VI*. La opción *Sample Clock* permite configurar los ratios actuales de timing. La opción *Implicit* ajusta solamente el número de muestras a adquirir o generar sin un timing específico, esta opción se utiliza para generar un tren de pulsos.

## DAQmx Trigger VI

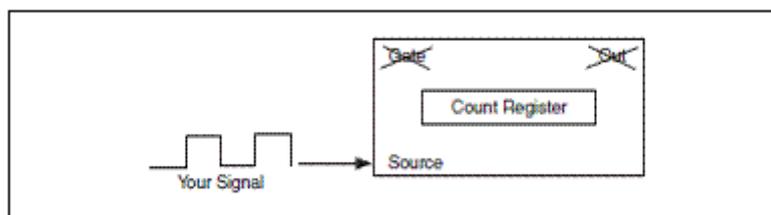
Se utiliza para configurar el accionamiento del ejercicio. Los ajustes se configuran de la misma manera que los triggers de las entradas y salidas analógicas. Se utiliza el *DAQmx Trigger Property Node* para configurar los ajustes de un Trigger Pause .

## D. CONTADORES DE FLANCO

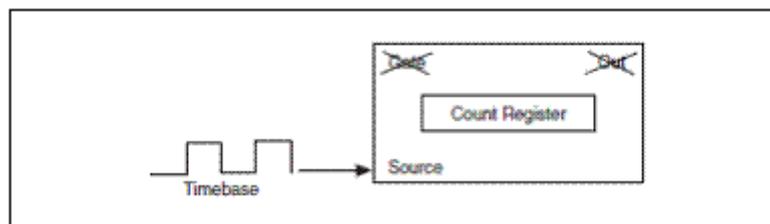
Un contador de flanco es la operación más básica. El contador de flancos se basa en la medida de la señal fuente.

### Contador de Flanco Simple

El contador de flancos se ajusta básicamente a la definición de un contador. Los flancos activos de la señal Fuente incrementan el valor del Registro contador. Un flanco activo puede ser seleccionado por software para ser flanco de subida o de bajada. La puerta y la salida no se utilizan para contar flancos simples.



La medida del tiempo es una variación en un simple flanco. Cuando se realiza un conteo de flanco simple la fuente es la desconocida. Se utiliza el contador para ayudar a medir la fuente. Al realizar la medición del tiempo, la fuente tiene una frecuencia conocida con la que podremos calcular el tiempo transcurrido.



La siguiente fórmula calcula el tiempo transcurrido:

$$\text{Tiempo transcurrido} = (\text{valor registro contador}) \times (\text{periodo})$$

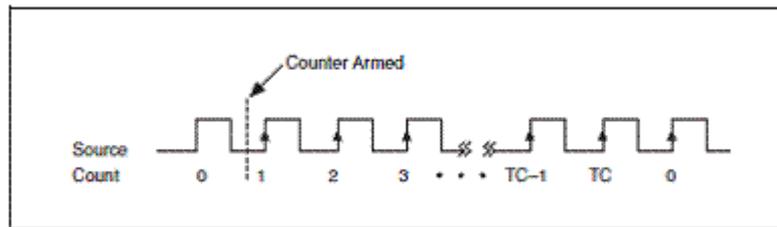
Donde periodo =  $1/\text{frecuencia}$

La única diferencia entre tiempo de medida y cuenta de flanco simple es la señal que se utiliza para la fuente.

### Medida del tiempo

Cuando se configura un contador para contar flancos simples o medición de tiempo, la cuenta incrementa cuando se recibe un flanco activo en la fuente. Se puede utilizar LabVIEW para especificar si el flanco activo está subiendo o bajando.

En el ejemplo, el flanco de subida fue seleccionado como flanco activo. La cuenta incrementa cada vez que se alcanza un flanco de subida.



La cuenta no se incrementa hasta que el contador haya comenzado. Un contador tiene un número fijo que puede contar según lo determinado por la resolución del contador.

Por ejemplo, un contador de 24 bits puede contar hasta:

$$2 (\text{Counter resolution}) - 1 = 2 (24) - 1 = 16.777.215$$

Cuando el contador de bits alcanza el valor de 16.777.215, el contador ha alcanzado el **Terminal Count**. El siguiente flanco activo fuerza al contador a reiniciarse a 0.

## E. CONTADORES DE FLANCO ABANZADOS

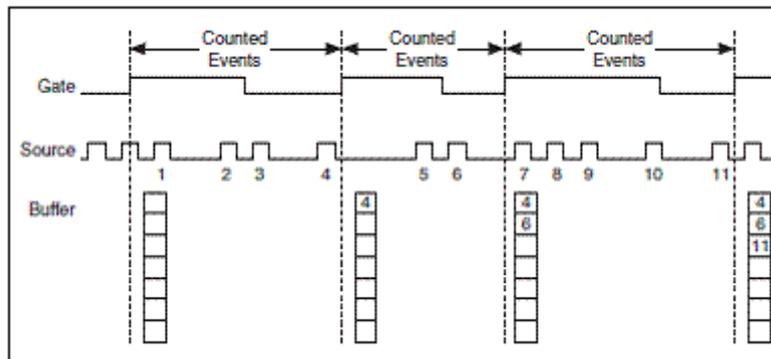
Además de realizar una cuenta de simples flancos, los NI-DAQmx pueden ser fácilmente configurados para realizar métodos de contadores de flanco más avanzados. Estos métodos incluyen un conteo de Trigger pausado (gated) y el conteo por buffer continuo y finito.

### **Conteo mediante Trigger pausado (gated)**

En un Trigger pausado conocido también como Trigger gated , una señal TTL adicional habilita y deshabilita el registro contador. El valor contador incrementa cuando el nivel de la puerta es alto o bajo dependiendo de los ajustes de configuración elegidos en el *DAQmx Trigger property node*.

### **Conteo mediante buffer continuo de flanco**

La señal TTL adicional latched el valor del registro de conteo actual en un buffer. El valor en el buffer es solamente actualizado en el flanco activo de la puerta. El dibujo demuestra la transferencia del registro contador dentro del buffer.



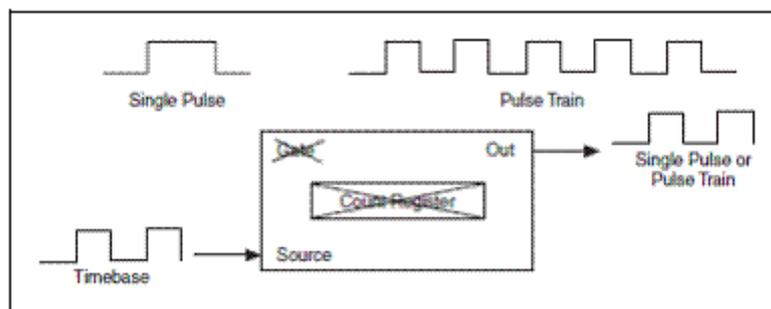
El conteo del Buffer Continuo de Flanco se utiliza para medir el tiempo transcurrido durante la secuencia de flancos que han ocurrido en la puerta del contador. Los flancos activos en la puerta latchean el valor actual del registro contador dentro de la memoria. Usando un interruptor o DMA (software configurable mediante el *DAQmx Channel property node*) los valores del registro contador se transfieren individualmente a un buffer a través del bus PCI.

### Conteo mediante Buffer finito de flanco

Sigue el mismo método para la transferencia de datos que el anterior, exceptuando que solo se adquieren un número finito de cuentas.

## F. GENERADOR DE PULSOS

Un contador además de medir señales TTL también las genera. El uso de un contador para generar señales TTL se conoce como generador de pulsos. La señal de salida de la figura se genera en la salida del contador. La señal generada puede ser un pulso simple o una seguida de pulsos continuos conocida como pulso de trenes. El contador utiliza un **Timebase** como fuente para ayudar a generar el pulso.



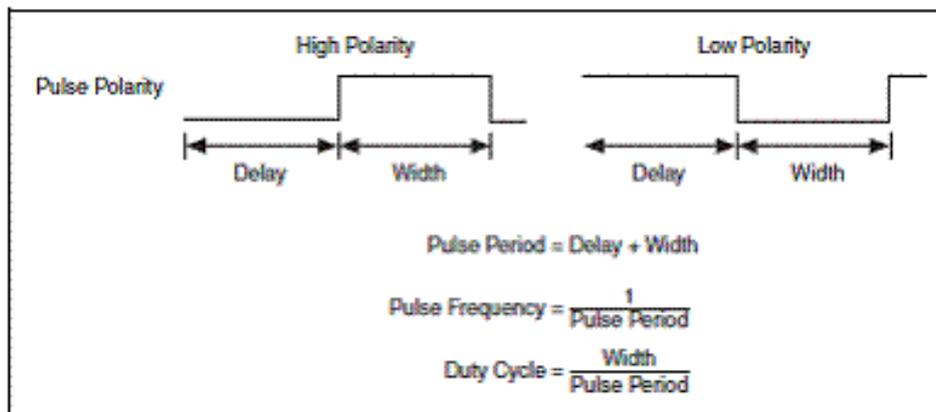
## Características de los pulsos

Un pulso tiene dos partes: el retardo y el ancho. El retardo es la primera parte del pulso y el ancho la segunda. El retardo y el ancho siempre son de niveles lógicos opuestos.

atz

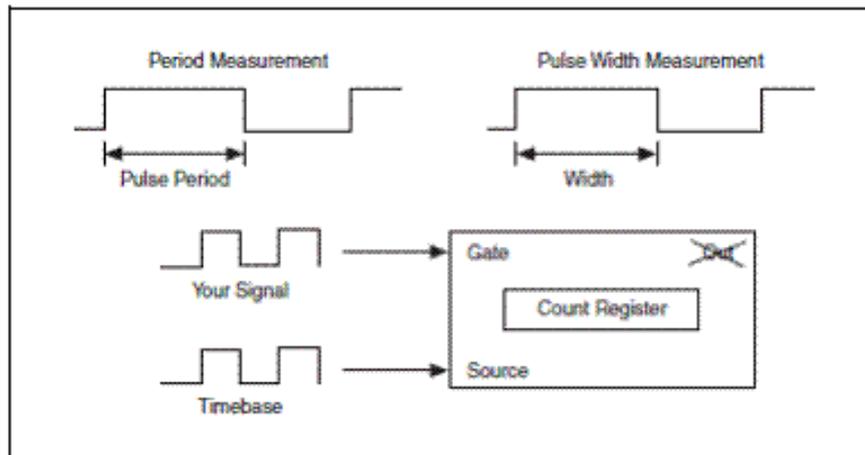
Por ejemplo, si el retardo es de nivel lógico bajo el ancho debe ser de nivel lógico alto. Un pulso se caracteriza como polaridad alta o baja. Un pulso de polaridad alta se caracteriza por un retardo de lógica baja y un ancho de lógica alta. Y un pulso de polaridad baja que tiene un retardo de lógica alta y un ancho de lógica baja. La nomenclatura de la polaridad del pulso corresponde al nivel lógico del ancho. El periodo de un pulso es el tiempo tomado por el pulso para completar un ciclo, por lo que añadiendo el tiempo de retardo al tiempo del ancho se obtiene el pulso del periodo. Después de determinar el periodo del pulso se le calcula la inversa para obtener la frecuencia del pulso. El retardo y el pulso no siempre son iguales por lo que se necesita la propiedad de un pulso que ayude a determinar si el retardo es más largo que el ancho o viceversa. El parámetro utilizado para esto se llama *Duty Cycle*. En el dibujo vemos su fórmula.

El *Duty Cycle* da un valor entre 0 y 1. Este número normalmente se convierte en un porcentaje. Un pulso donde el retardo es igual al ancho tiene un *Duty Cycle* de 0.5 o del 50%. Un *Duty Cycle* mayor que 50% significa que el ancho es más largo que el retardo. Si el *Duty Cycle* es menor que 50% significa que el retardo es más largo que el ancho.



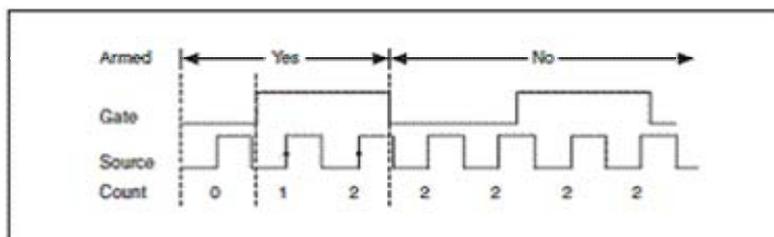
## G. MEDIDORES DE PULSO

Al medir un pulso, la señal que se está midiendo se utiliza como puerta y la alimentación es un *Timebase* como aparece en el dibujo. Se puede utilizar la frecuencia conocida del *Timebase* y el valor del registro de contador para determinar las características del pulso de puerta, como el pulso periodo o el pulso del ancho.



### Medida del Periodo

La medida del periodo es un tipo de medida del pulso. Con la medida del periodo se pueden contar los pulsos flancos activos de la señal fuente. En este caso solamente se incrementa la cuenta durante el periodo de la señal de la puerta. El dibujo muestra la medida del periodo que comienza y finaliza por el flanco de subida de la señal de la puerta.



También se puede comenzar el conteo entre flancos de bajada. La cuenta refleja el número de flancos de subida en la fuente entre dos flancos de subida de la puerta. Por lo tanto para realizar la medida del periodo se necesita una señal con dos flancos de subida o dos flancos de bajada. Un pulso simple solamente tiene un flanco de subida y otro de bajada por lo que no somos capaces de medir su periodo.

Por ejemplo un periodo de la señal puerta tiene un contador de 4. Hay que recordar que la fuente es un Timebase de 100KHz de frecuencia. La fórmula para calcular el periodo de la puerta es:

$$\begin{aligned} \text{Periodo del pulso} &= \text{contador} \times (1/\text{frecuencia de la fuente}) \\ \text{Periodo del pulso} &= 4 \times (1/100000) = 0,04\text{ms} \end{aligned}$$

### Medidas de semiperiodos

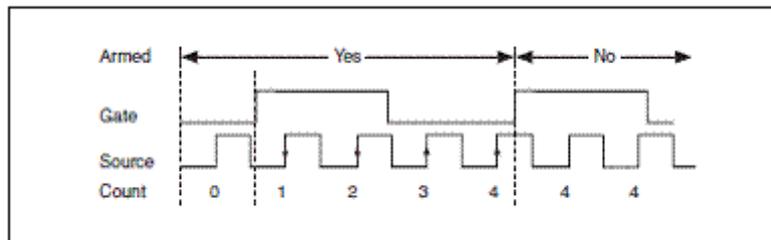
La medida del semiperiodo es muy parecida a la medida del periodo pero en este caso solamente se mide el tiempo entre flancos consecutivos. La fórmula para el cálculo del semiperiodo es:

$$\text{Periodo del pulso} = \text{contador} \times (1 / (2 \times \text{frecuencia de la fuente}))$$

$$\text{Periodo del pulso} = 4 \times (1 / (200000)) = 0,02\text{ms}$$

### Medida del ancho de pulso

Solamente se cuenta durante el ancho del pulso, por lo que se empieza a contar en un flanco y se termina en el flanco opuesto. El valor del contador incrementa solamente entre dos flancos opuestos como se indica en la figura.



La fórmula para calcular el ancho de pulso es la misma que la que se utiliza en la medida del pulso:

$$\text{Ancho de pulso} = \text{contador} \times (1/\text{frecuencia de la fuente})$$

$$\text{Ancho de pulso} = 2 \times (1/100000) = 0,02\text{ms}$$

0,02ms es la mitad del valor obtenido de la medida del periodo, por lo que tenemos una señal de puerta con un Duty Cycle del 50%.

## H. MEDIDORES DE FRECUENCIA

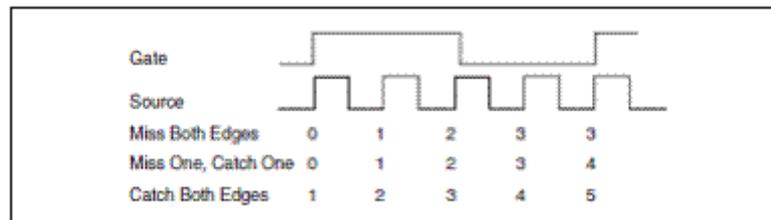
Vamos a describir tres formas para medir la frecuencia de un tren de pulsos TTL utilizando uno o más contadores. La frecuencia de una forma de onda es simplemente la inversa de su periodo. El modo más fácil para medir la frecuencia es simplemente la inversa de la medida del periodo.

### Periodo

La primera medida de frecuencia realmente es la medida del periodo. Al adquirir el periodo, se calcula la inversa consiguiendo de este modo el periodo. La ventaja de este método es que solamente se utiliza un contador y es fácil de realizar. Sin embargo este método cuenta con una señal relativamente lenta en la puerta, porque la precisión de la medida del periodo depende del número de flancos en la fuente que ocurren dentro del periodo de la puerta.

## Error de Sincronización

Las medidas del periodo sufren Error de Sincronización. Por ejemplo: una medida de periodo que tiene un timebase de 20MHz en la fuente. La señal de la puerta está sobre 5MHz ó  $\frac{1}{4}$  de la frecuencia de fuente. En el dibujo vemos tres posibilidades diferentes donde el primer y el último flanco de la fuente pueden ser incluidos o no en la medida del periodo.



En el primer caso, la medida pierde el primer y último flanco contando solamente tres flancos. En el segundo, se coge el primer flanco y se pierde el último. En el último se muestran los cinco flancos que se han contado. El segundo caso es el más exacto porque los flancos de la fuente están más sincronizados con los de la puerta. A la hora de escoger el contador, éste es muy parecido en los tres casos.

Las medidas del pulso siempre tienen un error de ciclo de la fuente de  $\pm 1$ , que generalmente es insignificante cuando un ciclo de la fuente es solamente el 1% (o menor) de la medida del pulso. Sin embargo un ciclo de la fuente es entre el 33% al 20% de la medida. Esto se conoce como error de sincronización y puede evitarse eligiendo diferentes esquemas de medida.

En el recuadro tenemos dos frecuencias 50KHz y 5MHz que afectan a una medida del periodo.

Actual Frequency	Number of 50 ns Cycles	Measurement Error or +1 Cycle	Measurement Error of -1 Cycle	Frequency with Error of +1 Cycle	Frequency with Error of -1 Cycle
50 kHz	400	401	399	49.88 kHz	50.13 kHz
5 MHz	4	5	3	4 MHz	6.67 MHz

En NI-DAQmx, este método se llama: Baja frecuencia con 1 Contador.

## Hacer un Promedio

El segundo método para medir frecuencias es hacer un promedio y utiliza dos contadores; uno que genera un tren de pulsos de una frecuencia conocida y el otro realiza la medida del periodo.

El Contador 1 realiza la medida del periodo utilizando una señal externa como fuente. La señal de la puerta viene de la salida del Contador 0 que está generando un tren de pulsos. Como ya se conoce la frecuencia de la salida del

Contador 0, se sabe exactamente la longitud del ciclo de la puerta del Contador 1. Basándose en el número de flancos de la fuente que llegan a la fuente del Contador 1 se deduce la frecuencia, dividiendo la medida del Contador 1 entre el periodo de la puerta.

Por ejemplo si la salida del Contador 0 es un tren de pulsos de 10Hz, el periodo de la puerta es 0.1s. Si durante ese tiempo se cuentan 100 flancos en la fuente sabemos que la frecuencia en la fuente del Contador 1 es  $(100 \pm 1)/0.1$  ó  $1000 \pm 1$  Hz. En NI-DAQmx este método se llama, Alta frecuencia con 2 Contadores.

### **Método de Divisoria baja**

El tercer método para medir frecuencias también utiliza dos contadores. El contador que genera el tren de Pulsos (Contador0), utiliza una señal externa como fuente y el contador que permite la medida del periodo (Contador1) utiliza un Timebase interno como fuente. Este método utiliza el tren de pulsos para la salida del Contador 0 a la puerta de la medida del periodo del Contador 1.

La ventaja de este método es que introduce menos error que en la medida del periodo o en el promedio.

Por ejemplo supongamos que el Contador 0, se programa para que genere un tren de pulsos de 5 y 5. Esto significa que el retardo y el ancho los dos están compuestos por 5 periodos de la señal de la fuente y que el periodo de la señal resultante consiste en 10 periodos de la señal de la fuente ( la fuente se divide por un factor de 10).

En este ejemplo el Contador 1 está configurado por una medida del periodo, utilizando en la fuente un timebase de 20MHz. Si el Contador 1 registra 100 flancos de fuente durante un periodo en la puerta, se deduce que el periodo dura  $5\mu\text{s}$  ( $5\text{ns} \times 100$  flancos). Por lo tanto se puede concluir que la señal externa cableada a la fuente del Contador 0 tiene un periodo de  $0.5\mu\text{s}$  o una frecuencia de 2MHz. Todo ello expresado mediante una ecuación:

$$F = (\text{pulse espec1} + \text{Pulse espec2}) \times \text{timebase}/(\# \text{de flancos de fuente} \pm 1)$$

$$F = (5+5) \times 2000000/99 = 19801980 \text{ a } 2020202 \text{ Hz.}$$

En NI-DAQmx este método se llama: Rango largo con 2 contadores.

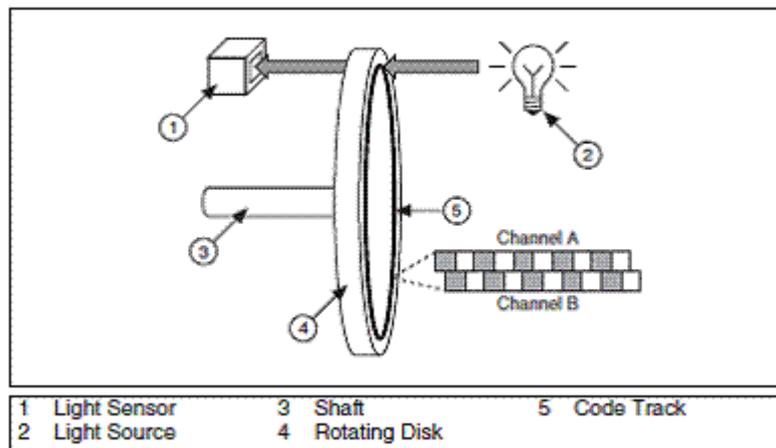
## **I. MEDIDORES DE POSICIÓN**

Un encoder es un transductor utilizado en aplicaciones de contadores. El encoder permite medir la posición y convierte la rotación en una señal de medida. El accesorio *DAQ Signal* tiene un encoder. De los cuatro Chips contadores el NI-TIO es el único que lleva encoder. Los encoder se pueden medir con el AM9513 y con DAQ-STC pero ninguno está designado para la

medición de encoders. Si se quieren medir señales de encoder la mejor opción es utilizar un Chip NI-TIO.

### Como trabajan los Encoder

Un encoder es un transductor que permite medir la posición o la distancia. Para entender como trabajan los encoder vamos a explicar el siguiente dibujo.

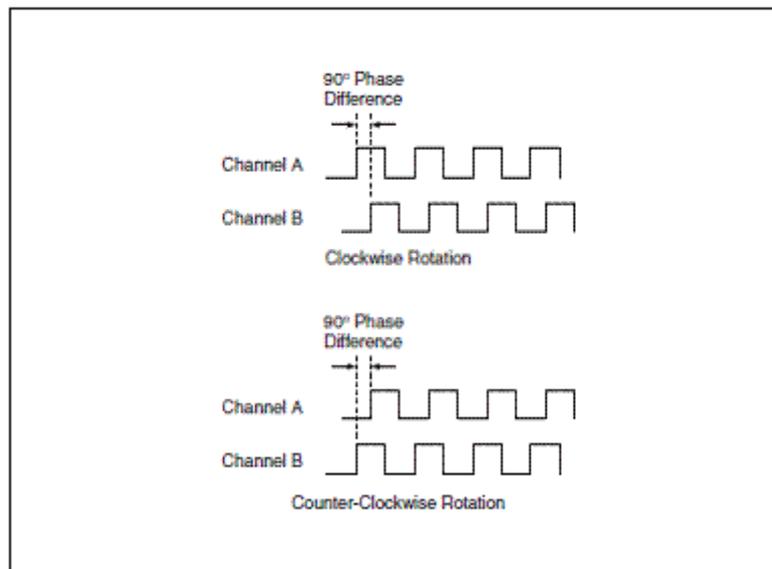


Un encoder ayuda a convertir la rotación en una señal que se puede medir. La rotación a la que vamos a estudiar es el giro del eje. Podemos ver, la dirección de giro del eje, la velocidad o las dos. Se une un disco al eje para que giren en la misma dirección y velocidad. El disco rotatorio está colocado entre la fuente de luz y el sensor de luz. El disco tiene secciones alternas opacas y transparentes llamadas *Pista de código*. Una sección opaca bloquea la luz que va de la fuente al sensor y la sección transparente permite pasar a la luz hasta el sensor. La pista de código consiste en dos anillos de alternancia con secciones opaca y transparente. Cada anillo produce un tren de Pulsos. Los dos anillos están compensados por lo que dependiendo de la dirección en que gire el disco un tren de pulsos lleva al otro.

El número de secciones opacas y transparentes determina cuantos pulsos se producen por revolución. El Encoder del accesorio DAQ Signal produce 24 pulsos por revolución.

### Encoder

La mayoría de los encoder crean una señal TTL que puede usarse con un contador. Como se ha visto anteriormente un encoder produce dos trenes de pulsos, uno para en Canal A y otro para el Canal B. Como se ve en el dibujo, éstos canales siempre están 90° desfasados. El canal principal se resuelve por la dirección de rotación. Si el encoder gira en la dirección a las agujas del reloj el Canal A tiene más peso que el Canal B. Si el encoder gira en dirección contraria a las agujas el Canal B será el principal.



### Línea Arriba/Abajo

Para medir encoders con DAQ-STC, se necesita utilizar una entrada especial al contador que se llama Línea arriba/abajo (up/down Line). Esta línea determina si un flanco activo de la fuente incrementa o decrementa la cuenta. Si la señal enviada a la línea Up/down es TTL de nivel alto, un flanco activo de la fuente incrementará la cuenta. Si la señal enviada al up/down es TTL de nivel bajo, un flanco activo de la fuente decrementará el valor de la cuenta.

### DAQ-STC y Encoders

Para medir un encoder con el DAQ-STC, hay que utilizar la fuente y la Línea up/down. Se conecta el Canal A a la fuente y el Canal B a la Línea up/down. Al conectar las señales del accesorio de DAQ se ve que el Canal B está cableado mediante Hardware al DIO6 por lo que la única conexión que se necesita hacer es desde el Canal A hasta la fuente del contador que se está utilizando. Se configura el contador para contar flancos simples y se ajusta para que el flanco activo sea el de bajada. La cuenta cambia cuando el flanco de bajada se recibe en el Canal A, y el canal B determina si la cuenta incrementa o decrementa. Cuando el encoder gira en el mismo sentido que las agujas del reloj, el Canal A tendrá más peso que el Canal B. Entonces ocurre un flanco de bajada en el canal A e incrementará la cuenta. Por la misma lógica si el encoder gira en dirección opuesta a las agujas del reloj decrece la cuenta.