



Universidad  
Carlos III de Madrid

Departamento de Tecnología Electrónica

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

# **Desarrollo con instrumentación virtual de un sistema multicanal de detección acústica y localización de descargas parciales**

Autor: Juan Manuel Rivas Díaz

Tutor: José Antonio García Souto

Leganés, Febrero de 2014



Título: DESARROLLO CON INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL DE UN SISTEMA MULTICANAL DE DETECCIÓN ACÚSTICA Y LOCALIZACIÓN DE DESCARGAS PARCIALES

Autor: JUAN MANUEL RIVAS DÍAZ

Director: JOSÉ A. GARCÍA SOUTO

EL TRIBUNAL

Presidente: \_\_\_\_\_

Vocal: \_\_\_\_\_

Secretario: \_\_\_\_\_

Realizado el acto de defensa y lectura del Trabajo Fin de Grado el día \_\_ de \_\_\_\_\_ de 20\_\_ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de:

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE



*Si buscas resultados distintos, no hagas siempre lo mismo*

*Albert Einstein*



# Agradecimientos

Quisiera agradecer a las personas que se citan a continuación su apoyo y dedicación, gracias a los cuales ha sido menos duro superar este último escollo para obtener finalmente el título de Ingeniero.

Primero quiero agradecer a mi tutor, José A. García Souto, por haberme dado la oportunidad de realizar mi proyecto basándome en la programación gráfica que ofrece LabVIEW. También he de agradecer el tiempo que me ha dedicado en las reuniones mantenidas durante todos estos meses. La confianza e interés que ha mostrado con respecto a mi trabajo han sido una motivación más para llevar el proyecto a buen término.

También agradecer a Iago Búa Núñez por el tiempo y paciencia que ha empleado explicándome todo lo relacionado con las descargas parciales y reducción de ruido. Sin su ayuda no habría podido realizar un buen montaje de los experimentos.

Por supuesto, he de dar las gracias a mis compañeros de trabajo, los cuales siempre eran capaces de sacar tiempo para echar una mano con los problemas complicados y se implicaban como si el trabajo fuese suyo.

Por último, he de agradecer a mi familia y amigos el apoyo que me han dado a lo largo de estos meses, pero en especial a mi padre, el cual ha sacado siempre tiempo para explicarme algún concepto de programación o aportando buenas ideas para la mejora del proyecto.

Mis más sentidas gracias a todos.





# Resumen

La detección de descargas parciales a través de emisiones acústicas proporciona información fiable acerca de la degradación del aislante en equipos eléctricos. El análisis de los datos recogidos permite determinar la vida útil de estos.

En este trabajo se describe y optimiza un sistema de instrumentación de 8 canales a los que conectan una serie de sensores piezoeléctricos que serían ubicados en las paredes del tanque de un transformador, un sistema de adquisición de datos PXI y una aplicación diseñada en el entorno gráfico de programación NI LabVIEW 2010. La herramienta se encarga de adquirir las descargas parciales detectadas por los sensores piezoeléctricos, procesar las señales aplicando técnicas de filtrado digital, analizar y salvar a disco las amplitudes y tiempos de vuelo. El salvado a disco se realiza en formato HTML, lo que permite abrir los datos en una hoja de cálculo como Excel y a la par realizar una presentación profesional en cualquier navegador de internet y dispositivo (Dispositivos móviles, tablets u ordenadores).

El programa proporciona una interfaz de usuario dinámica e intuitiva que facilita la interacción con el hardware. Además con el fin de facilitar la implementación de nuevas funcionalidades o aumentar el número de canales, la programación cumple con las buenas prácticas de programación (escalabilidad, legibilidad y buen mantenimiento).

**Palabras clave:** Sistema de Instrumentación Multicanal, Emisión Acústica, Descargas Parciales, Reducción de Ruido, PXI, LabVIEW, Programación.



# Abstract

Partial discharge detection through acoustic emissions provides reliable information about the degradation of the insulation in electrical equipment. The analysis of the data collected is useful to determine the life cycle of these equipments.

This paper describes and optimizes an instrumentation system with 8 channels that connect piezoelectric sensors on the tank walls of a transformer, a system PXI data acquisition and an application designed in the graphical programming environment NI LabVIEW 2010. This tool is able to acquire partial discharges detected by piezoelectric sensors, process the signals using digital filtering techniques, analyze and save disk amplitudes and times of flight. Data is saved in HTML format, which allows you to open the data in a spreadsheet such as Excel and make a professional presentation in any browser and device (mobile devices, tablets or computers).

The application provides a dynamic and intuitive user interface that facilitates the user interaction with hardware. Furthermore in order to facilitate the implementation of new features or increase the number of channels, programming meets good programming practice (scalability, readability and good maintenance)

**Keywords:** Multichannel Instrumentation System, Acoustic Emission, Partial Discharge, Noise Reduction, PXI, LabVIEW, Programming.



# Índice general

<b>1. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS</b> .....	1
1.1 Motivación .....	1
1.2 Objetivos .....	3
1.3 Fases del desarrollo .....	3
1.4 Medios empleados.....	4
1.5 Estructura de la memoria .....	4
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b> .....	7
2.1 Descargas Parciales y tipos .....	7
2.2 Técnicas de reducción de ruido.....	11
2.2.1 <i>Wavelet</i> .....	11
2.2.2 <i>Filtro Paso Bajo</i> .....	12
2.2.3 <i>Filtro Paso Alto</i> .....	12
2.3 Recomendación IEEE Std c57.127 para emisiones acústicas de descargas parciales.....	13
2.4 Localización espacial de descargas parciales usando tiempos de llegada .....	15
2.5 Diseños de programación basados en Labview .....	16
2.5.1 <i>Máquina de estados</i> .....	16
2.5.2 <i>Patrón de diseño maestro / esclavo</i> .....	19

2.5.3 Patrón de diseño productor / consumidor .....	20
2.5.4 Patrón de diseño <i>Queued Message Handler (QMH)</i> .....	21
2.6 Desarrollo eficiente de aplicaciones en LabVIEW .....	22
2.6.1 Escalabilidad .....	23
2.6.2 Legibilidad .....	23
2.6.3 Fácil de mantener .....	25
2.7 Interfaz de usuario en LabVIEW .....	25
2.7.1 Estilos del Panel Frontal .....	26
2.7.2 Fuentes y características del texto.....	26
2.7.3 Colores.....	27
<b>3. INSTRUMENTACIÓN MULTICANAL PARA LA DETECCIÓN DE DESCARGAS PARCIALES .....</b>	<b>29</b>
3.1 Instrumentación con sensores piezoeléctricos .....	29
3.2 Sistema de adquisición de datos.....	31
3.3 Etapas de la aplicación .....	33
3.3.1 Etapa de adquisición.....	33
3.3.2 Etapa de procesado.....	36
3.3.3 Etapa de Análisis .....	38
3.3.4 Etapa de guardado a disco .....	41
<b>4. CASO DE ESTUDIO: EMISIONES ACÚSTICAS EN TANQUE DE LABORATORIO .....</b>	<b>45</b>
4.1 Montaje experimental.....	45
4.2 Testeo de la aplicación en un experimento .....	48
<b>5. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>53</b>
5.1 Conclusiones .....	53
5.2 Trabajos futuros .....	55
<b>6. ANEXOS.....</b>	<b>59</b>

# Índice de figuras

Figura 2.1 DP externas (corona). .....	8
Figura 2.2 DP superficiales. ....	8
Figura 2.3 DP internas. ....	9
Figura 2.4 Representación del campo eléctrico para un modelo estocástico AC. .	10
Figura 2.5 Filtro Paso Alto.....	13
Figura 2.6 Filtro Paso-Banda IEEE.....	14
Figura 2.7 Sensores en las paredes del tanque y la fuente de DP en el interior. ....	16
Figura 2.8 Diagrama de estados con cuatro estados. ....	17
Figura 2.9 Máquina de estados con estado de Inicio. ....	18
Figura 2.10 Estado 1, Estado2 y Estado Apagar.....	18
Figura 2.11 Patrón de diseño de maestro / esclavo. ....	20
Figura 2.12 Patrón de diseño productor / consumidor. ....	21
Figura 2.13 Patrón de diseño Queued Message Handler. ....	22
Figura 2.14 Ejemplo de un diagrama de bloques mal diseñado.....	24
Figura 2.15 Ejemplo de un diagrama legible y bien diseñado. ....	24
Figura 2.16 Elementos para construcción de una UI en LabVIEW.....	25

Figura 2.17 Ejemplos de estilos modern, classic, system y silver. ....	26
Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema de instrumentación acústico. ....	30
Figura 3.2 Sistema PXI multicanal del laboratorio. ....	32
Figura 3.3 Sistema PXI completo .....	32
Figura 3.4 Etapas del programa. ....	33
Figura 3.5 Etapas de la adquisición: Inicio, Escuchando canales, Adquirir y Stop. .....	35
Figura 3.6 Panel de configuración general de la adquisición.....	35
Figura 3.7 Código de la etapa de procesamiento en el estado Inicio. ....	36
Figura 3.8 Ventana emergente para configurar el procesado de la señal. ....	37
Figura 3.9 Bloques de la etapa de análisis. ....	38
Figura 3.10 Cálculo de tiempos de vuelo y amplitud de las señales. ....	39
Figura 3.11 Cálculo del tiempo de referencia. ....	39
Figura 3.12 Código para el cálculo del fin de un evento. ....	40
Figura 3.13 Cálculo del tiempo de vuelo relativo. ....	40
Figura 3.14 Código para indexar los datos en un array de clusters.....	41
Figura 3.15 datos tomados vistos en a) Navegador y b) Hoja de cálculo Excel. ...	42
Figura 3.16 Estados del volcado a disco: Inicio, escritura, Stop y actualizar configuración.....	43
Figura 4.1 Esquema experimental del laboratorio. ....	46
Figura 4.2 a) Plataforma experimental b) Sensores piezoeléctricos c) Generador de funciones para simular las descargas parciales. ....	47
Figura 4.3 Acondicionador de los sensores Bias T. ....	47
Figura 4.4 a) Panel frontal completo. b) Panel frontal extendido. ....	48
Figura 4.5 Panel frontal del experimento. ....	50
Figura 5.1 Ayuda contextual de una función. ....	54



# Capítulo 1

## Motivación y objetivos

### 1.1 Motivación

Durante los últimos años se ha incrementado el interés por el mantenimiento predictivo de los equipos eléctricos de alta tensión, como los transformadores, con el fin de evitar las pérdidas materiales asociadas al fallo de éstos. El estudio de las descargas parciales es vital ya que representa un indicador muy fiable de la degradación de los aislantes eléctricos en este tipo de equipos.

El estudio y análisis de la degradación que sufren los aislantes debido a los fenómenos de descargas parciales permite determinar la vida útil de los mismos. Por ello se han creado y desarrollado tecnologías en los últimos años para la detección de estos fenómenos con técnicas digitales de procesamiento de señal (*wavelet*, filtrado digital etc.) aplicadas a medidas eléctricas [1].

Existen varios métodos de detección de descargas parciales en transformadores, entre los cuales se ha elegido la detección acústica para este trabajo, ya que posee grandes ventajas como la inmunidad a interferencias electromagnéticas, aporta información para la localización de la fuente de emisión y su instalación en campo es sencilla [2]. No

obstante, debido a la presencia de fuentes de perturbación acústica se plantea aplicar una serie de técnicas de reducción de ruido para minimizar el impacto del ruido interferente.

El IEEE ha publicado una guía para la detección y localización de emisiones acústicas, procedentes de descargas parciales en transformadores de potencia inmersos en aceite [3]. Este estándar ha servido como referencia y recoge muchas de las consideraciones tenidas en cuenta en este trabajo.

Hasta ahora para la detección de estos fenómenos se disponía de un sistema de adquisición multicanal programado en el entorno de programación LabVIEW 2010, capaz de adquirir, filtrar y calcular los tiempos de vuelo y amplitudes de las señales. Debido a que la aplicación ha ido creciendo y se prevé que lo haga en un futuro según avance la investigación, en primer lugar se presenta la necesidad de rediseñar la aplicación para hacer frente y facilitar al máximo la programación de futuras modificaciones cómo aumentar el número de canales o implementar nuevas funcionalidades.

En segundo lugar, debido al gran desarrollo y creciente utilización de las tecnologías móviles, se presenta al reto de poder visualizar los datos recopilados en cualquier dispositivo llegado el momento, así como poder analizarlos con una hoja de cálculo. Para ello se utiliza el volcado a disco en formato HTML, el cual es reconocido por Excel y puede ser abierto en un dispositivo con un navegador de internet convencional.

En tercer lugar, hasta ahora no se había diseñado una interfaz de usuario intuitiva y profesional que ayudase al operador a la hora de trabajar con la aplicación y comunicarse con el hardware. Por ello se ha decidido realizar una interfaz de usuario con botones que activan ventanas emergentes, llevan a la aplicación a distintos estados, esconden botones y amplían el espacio de visualización de las señales captadas [4]. Esto es especialmente importante por el número de señales implicadas habitualmente en la medida.

Para finalizar, lo que se pretende con estas mejoras en cuanto a la programación e interfaz de usuario, es dar un salto y llevar la aplicación del laboratorio a campo en una puesta en marcha real realizada por un operador.

## 1.2 Objetivos

El objetivo de este trabajo es la implementación y programación de un sistema multicanal para la detección de emisiones acústicas procedentes de descargas parciales.

Para alcanzar este objetivo se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollar un sistema de adquisición multicanal para la monitorización de señales captadas por varios sensores piezoeléctricos.
- Implementar una etapa de procesado de las señales adquiridas empleando técnicas de reducción de ruido.
- Implementar una etapa de análisis de los datos procesados con el fin de obtener la información esencial de ellos.
- Implementar una etapa de guardado a disco que ofrezca una presentación clara y eficiente de la información procesada por la aplicación.
- Implementar una interfaz de usuario dinámica, intuitiva y profesional.
- La programación de la aplicación se guiará por los principios de fácil mantenimiento, legibilidad y escalabilidad.

## 1.3 Fases del desarrollo

- Fase 1:** Recogida de información de múltiples fuentes acerca de descargas parciales, su procesado de señal y más en particular sobre programación gráfica con LabVIEW 2010.
- Fase 2:** Estudio del diseño de programación sobre el que se basará la aplicación. También se hace un esbozo de la futura interfaz de usuario (botones, gráficas, funcionalidad etc.).
- Fase 3:** Programación de la aplicación completa en base a las especificaciones y al diseño elegido en la Fase 2.
- Fase 4:** Test de la aplicación en el laboratorio.
- Fase 5:** Escritura de la memoria y manuales de la aplicación.

## 1.4 Medios empleados

En este apartado se presentan los principales medios empleados en este trabajo:

- Plataforma experimental de ensayos acústicos:
  - Tanque de PMMA (Polimetilmetacrilato) de forma cúbica y dimensiones 70 x 40 x 50 cm.
  - Sistema de instrumentación con sensores de ultrasonidos piezoeléctricos: 4 sensores PZT externos (R15I-AST) y acondicionadores Bias T.
  - Generador de señales Rigol DG4162 (LXI).
- Sistema de adquisición de datos multicanal de National Instruments:
  - Chasis NI PXIe-1071.
  - Controlador PXIe-8135 con i7 a 2,3 GHz, 4GB RAM DDR3.
  - Módulo de adquisición de datos NI PXI-5105 con 12 bits, 60MS/s y 8 canales.
- Entorno de programación gráfico NI LabVIEW 2010.

Las pruebas y ensayos realizados se llevaron a cabo en el laboratorio de instrumentación optoelectrónica (Grupo de Optoelectrónica y Tecnología Láser), dentro del Departamento de Tecnología Electrónica de la Universidad Carlos III de Madrid.

## 1.5 Estructura de la memoria

El documento está estructurado de la siguiente manera. En una primera parte se realiza un estudio teórico del estado del arte. Desde el fenómeno de descarga parcial, pasando por el procesado a aplicar y finalizando por los diseños de programación e interfaces de usuario.

En la segunda parte se presenta el sistema de instrumentación desarrollado. Por un lado en el Capítulo 3 se describe el entorno de trabajo en el laboratorio, toda la

instrumentación empleada en los experimentos y el sistema de adquisición de datos. Por otra, se hace una detallada explicación de las partes del programa y el código empleado.

Posteriormente se ha llevado a cabo un estudio experimental. En el Capítulo 4 se presentan el montaje y los resultados, testeando el funcionamiento de la aplicación en el laboratorio en unas determinadas condiciones correspondientes al caso de estudio.

Por último, en el Capítulo 5 se extraen las conclusiones y se plantea el trabajo futuro.

El documento también incluye una serie de anexos con información complementaria: Diagramas de estado de las distintas etapas del programa (Anexo I), documentación técnica de los sensores externos (Anexo II), módulo de adquisición de datos para PXI (Anexo III), Instrucciones para una futura ampliación del número de canales o nuevas funcionalidades (Anexo IV) y presupuesto (Anexo V).



# Capítulo 2

## Estado del arte

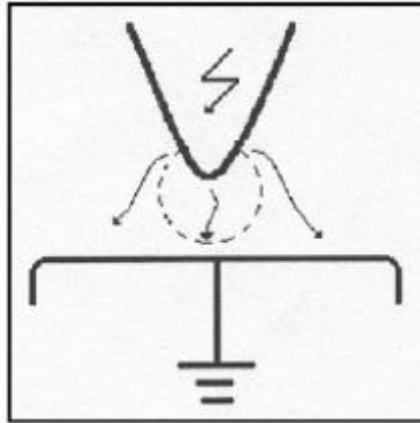
### 2.1 Descargas Parciales y tipos

Una descarga parcial (DP) es un fenómeno de ruptura eléctrica que está confinado y localizado en la región de un medio aislante, entre dos conductores que se encuentran a diferente potencial [1].

La aparición de la descarga puede ser la consecuencia de un aumento del campo eléctrico en un determinado espacio, relativamente pequeño comparado con las dimensiones del medio aislante. El aumento del campo puede ser debido a cambios bruscos en la naturaleza del aislante, provocados por vacuolas en un medio sólido o espacios de gas entre superficies aislante - aislante o conductor - aislante.

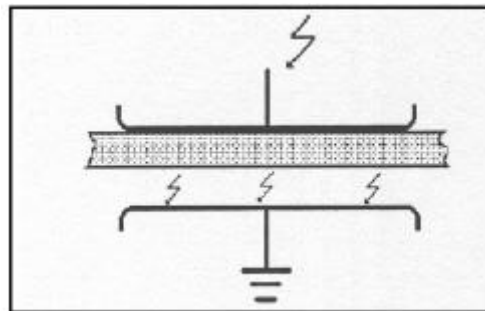
Con la descarga parcial se produce un proceso de ruptura dieléctrica en el cual el arco que se forma entre dos electrodos es de carácter parcial y transitorio, con un tiempo de duración muy corto y de bajo contenido energético. Atendiendo a esta definición como un proceso de ruptura dieléctrica, las descargas parciales se pueden caracterizar y dividir en tres tipos en función de las propiedades del medio existente entre los electrodos:

- DP externa (corona): Las descargas parciales externas ocurren normalmente por el proceso de ionización del aire contenido entre los electrodos. Cuando el fenómeno comienza a ser visible es denominado corona (Figura 2.1).



*Figura 2.1 DP externas (corona).*

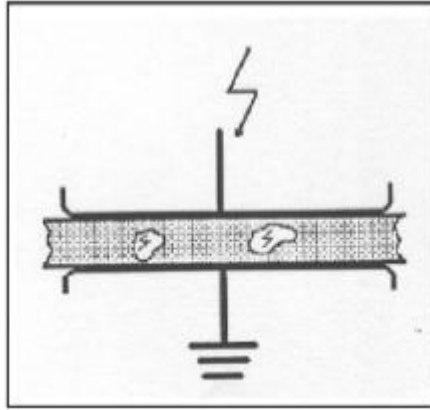
- DP superficiales: Las descargas parciales se producen en la superficie de contacto de dos materiales aislantes diferentes (Figura 2.2).



*Figura 2.2 DP superficiales.*

- DP internas: Las descargas parciales internas se producen en el interior del aislante (Figura 2.3).





*Figura 2.3 DP internas.*

El fenómeno de descargas parciales puede tratarse como un modelo estocástico AC [5]. Este modelo consiste en intervalos de flujo / recombinación de portadores de carga entre descargas de pequeña duración. Se asumen las siguientes suposiciones:

1. Los parámetros físicos del sistema de descargas parciales son independientes del tiempo, excepto para las descargas espaciales o superficiales.
2. Resulta suficiente considerar que el campo eléctrico resultante ( $E_i$ ) es provocado por una distribución de carga en el lugar donde se produce la descarga parcial. Por tanto, dicho campo ( $E_i$ ) describe completamente la parte dependiente del tiempo del estado físico del sistema de descargas parciales.

El campo eléctrico total durante la descarga en un tiempo  $t$  es:

$$E_{tot}(t) = E_0(t) + E_i(t) \quad (1)$$

Este campo produce otro residual  $E_{res}$  ( $+E_{res}$  si  $E_{tot} > 0$  y  $-E_{res}$  si  $E_{tot} < 0$ ).  $E_0(t)$  es el campo de conducción externo. El proceso de flujo / recombinación cambia el campo  $E_i$  del siguiente modo:

$$E_i(t) = f(E_i(t), E_0(t)) \quad (2)$$

Si el modo exacto en el que decae  $E_i$  no es importante:

$$E_i(t) = \frac{-E_i}{\tau_{dec}} \quad (3)$$

Ambos procesos, descarga y flujo / recombinación se unen mediante la probabilidad de descarga del siguiente modo:  $-c \cdot dt$  es la probabilidad de que se produzca una descarga rápida en el intervalo  $\{t, t + dt\}$ .

$$c = c(E_I(t), E_0(t)) \quad (4)$$

El valor de  $c$  es cero si  $E_{tot}$  es menor que  $E_{inc}$  (campo de origen) y si  $E_{tot}$  es mayor que  $E_{inc}$ , depende del primer electrón suministrado. El proceso de descargas parciales está determinado por  $c$ ,  $E_{res}$ ,  $f(E_i(t), E_0(t))$  y  $E_0(t)$ . En la Figura 2.4 se muestran  $E_i(t)$ ,  $E_{tot}(t)$  en una descarga parcial de corona.

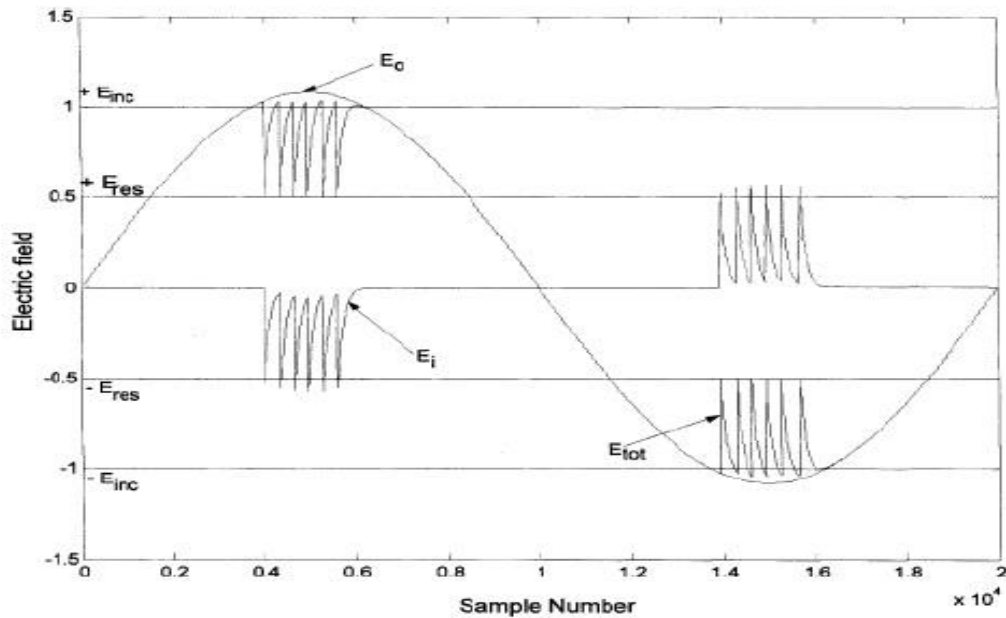


Figura 2.4 Representación del campo eléctrico para un modelo estocástico AC.

Los pulsos de descargas parciales se representan por una doble exponencial:

$$f(t) = e^{-t/\tau} - e^{-2t/\tau} \quad (5)$$

## 2.2 Técnicas de reducción de ruido

A continuación describiremos las técnicas de reducción de ruido utilizadas en el trabajo.

### 2.2.1 Wavelet

La expresión *wavelet* [6] de una función,  $f(t)$ , es:

$$f(t) = \sum_k \sum_j a_{j,k} \Psi_{j,k}(t) \quad (6)$$

dónde  $j, k$  son los índices enteros y  $\Psi_{j,k}(t)$  es la función de expansión *wavelet* formada habitualmente por una base ortonormal. Los coeficientes  $a_{j,k}$  son la transformada *wavelet* discreta (DWT) de  $f(t)$ .

Se implementan dos métodos:

1. Con umbral (Donoho) [6]: Se propone el siguiente esquema:

- i. Calcular la DWT de la señal ruidosa.
- ii. Calcular el umbral:

$$\text{Umbral duro: } \delta_\lambda(t) = \begin{cases} x(t) & \text{si } |x(t)| > \lambda \\ 0 & \text{resto} \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{Umbral suave: } \delta_\lambda(t) = \begin{cases} x(t) - \lambda \cdot \text{sgn}(x(t)) & \text{si } |x(t)| > \lambda \\ 0 & \text{resto} \end{cases}$$

- iii. Reconstruir la señal con la IDWT (DWT inversa) mediante los coeficientes umbrales.

Este método se basa en las propiedades de los coeficientes *wavelet* para formar una base independiente. Esto significa que los

coeficientes *wavelet* decrecen rápidamente, lo cual resulta muy útil para eliminar el ruido. Las reglas para elegir el umbral se basan en el principio de riesgo imparcial de Stein.

2. Usando el Algoritmo de Mallat [7]: En este caso, la señal se descompone en varias escalas, los coeficientes detallados se desechan y la señal se reconstruye usando los coeficientes aproximados. Se procede de este modo porque la información importante sobre las componentes del ruido están contenidas en los coeficientes detallados, por lo que se desechan para eliminar el ruido.

### 2.2.2 Filtro Paso Bajo

La componente sinusoidal del ruido se encuentra, normalmente, en alta frecuencia. Por esta razón, dicha componente se puede eliminar empleando un filtro paso bajo. Esta técnica es útil siempre y cuando el nivel de ruido blanco sea bajo.

Existen diversos tipos de filtros paso-bajo digitales [8]. A continuación se exponen un ejemplo de esos cuatro tipos:

Tipo de Filtro	Orden	Frecuencia de Corte	Banda de Paso	Banda Eliminada
Butterworth	3	$0.5/\pi$	-	-
Chebyshev	3	$0.5/\pi$	$A_{\text{máx}} = 0.5$	-
Chebyshev Inverso	3	$0.5/\pi$	-	$A_{\text{mín}} = 20 \text{ dB}$
Elíptico	3	$0.5/\pi$	$A_{\text{máx}} = 0.5$	$A_{\text{mín}} = 20 \text{ dB}$

Si incrementamos el orden del filtro mejorará su comportamiento.

### 2.2.3 Filtro Paso Alto

Aplicando el filtro paso alto (Figura 2.5) junto con el paso bajo, conseguimos reducir el ruido monocromático e interferente que pueda existir en el sistema.

Al igual que en el filtro paso bajo, existen diversos tipos de filtro paso-alto digitales: Butterworth, Chebyshev, Chebyshev Inverso, Elíptico y Bessel [9].

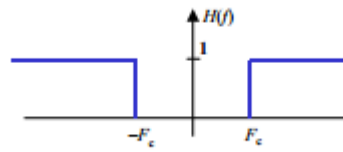
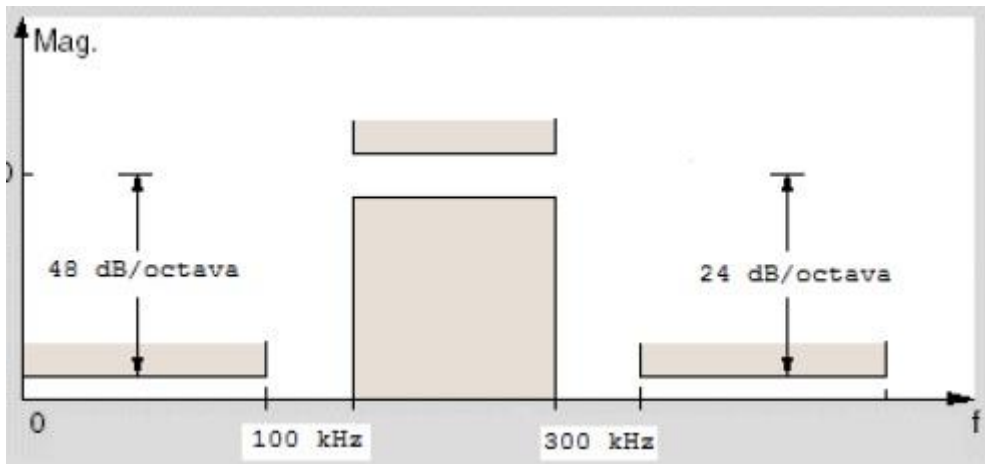


Figura 2.5 Filtro Paso Alto.

## 2.3 Recomendación IEEE Std c57.127 para emisiones acústicas de descargas parciales

Dentro del apartado 6 del estándar (IEEE STD C57.127-Ap. 6.8) se propone el uso de un filtro paso-banda (Figura 2.6) para eliminar todas aquellas vibraciones ajenas a las producidas por las descargas parciales [3]. Estas incluyen las vibraciones causadas por bombas, ventiladores y otros elementos. La mayoría de ellas se encuentran por debajo de 30 kHz, sin embargo, el ruido Barkhausen (relacionado con la emisión magneto-acústica) se encuentra en torno a los 50 kHz. Por esta razón, la norma recomienda un filtro paso-banda con un ancho de banda de 200 kHz.

Cuando se utiliza con un sensor de 150 kHz, la frecuencia de corte inferior debe ser de 100 kHz y la frecuencia de corte superior será aproximadamente 300 kHz. La sección paso-alto del filtro debe presentar como mínimo una atenuación de 48 dB/octava (240 dB/década). Esto significa que, en relación con la señal de interés (150 kHz), una señal de 50 kHz se atenuará 48 dB. En el caso de la sección paso-bajo, la atenuación no debe ser inferior a 24 dB/octava (120 dB/década) para que una señal de 600 kHz se atenúe 24 dB.



*Figura 2.6 Filtro Paso-Banda IEEE.*

En el Anexo B de este estándar se enumeran también una serie de técnicas para la localización de la fuente de señal de descargas parciales. Dichas técnicas son:

1. Dominio del tiempo: El enfoque más simple y más fiable es encontrar el comienzo de una señal en el dominio del tiempo.
2. Correlación cruzada: Se requieren dos canales de datos conectados a dos sensores acústicos con diferentes localizaciones, a uno de los dos canales de datos se le introduce un retardo con respecto al otro. Se trata de evaluar la correlación cruzada de estos datos, multiplicando los puntos correspondientes. Cuando el retardo de tiempo artificial es equivalente al retardo de tiempo real entre los dos canales de datos, se produce un máximo que indica la posible ubicación de la fuente después de que se lleven a cabo las correspondientes manipulaciones matemáticas. Este método se ve obstaculizado por la necesidad de registrar formas de onda en diferentes localizaciones en el caso de realizarse con un solo sensor.
3. Mejora de la señal: El promediado es una técnica muy poderosa para la recuperación de señales repetitivas de ruido aleatorio cuando existe un disparo estable. En este método, la aleatoriedad de la señal se reduce a prácticamente cero mientras que la porción repetitiva de la señal se mantiene inalterada. Sin embargo, como las señales varían en amplitud, el grado de mejora que se obtiene es por lo general menor que el predicho teóricamente.

4. Transformada Rápida de Fourier (FFT): La señal se puede analizar en el dominio de la frecuencia usando las técnicas de Fourier adecuadas. Esto dará lugar a las densidades espectrales de potencia correspondientes, las cuales pueden ser manipuladas matemáticamente para obtener la estimación del retardo de tiempo y la correspondiente ubicación de origen.
5. Transformada Wavelet: La señal se puede analizar tanto en frecuencia como en tiempo usando las técnicas wavelet adecuadas. Esto dará lugar a las correspondientes funciones de ambigüedad cruzada de ancho de banda con una mejor estimación del retardo de tiempo y una mayor precisión en la ubicación de la fuente. Estos retardos estimados de tiempo en conjunto con características de la señal (la amplitud, la relación señal-ruido, y la forma) mejoran la precisión de la localización de la fuente de descarga parcial.

## 2.4 Localización espacial de descargas parciales usando tiempos de llegada

Las dos principales alternativas en la localización de descargas parciales son:

1. El análisis de las alteraciones de la amplitud de la señal o de las deformaciones de la misma a lo largo del camino de propagación. Este hecho puede darnos una idea de la ubicación de la fuente de emisión.
2. Determinar el emplazamiento de la fuente midiendo los tiempos de llegada (también conocido como triangulación).

La Figura 2.7 muestra un esquemático del tanque de un transformador con un número  $i$  de sensores acústicos externos, los cuales se encuentran a una distancia  $D_i$  de la fuente de descarga parcial (ubicada en el interior). Dichas distancias son la base geométrica de las diferentes ecuaciones matemáticas. Las ecuaciones no-lineales de observación, en el caso más simple, representan esferas que se cortan en un punto (la fuente de emisión de la descarga parcial).

Dependiendo del tipo de medida tendremos más o menos incógnitas en las ecuaciones de localización espacial, así en medidas mixtas (trigger con señal eléctrica) se

necesitarían las tres coordenadas espaciales de la descarga parcial ( $x, y, z$ ), mientras que en medidas completamente acústicas, en las que desconocemos el origen de los tiempos, se necesitarían cuatro incógnitas: las tres coordenadas espaciales más el instante de la descarga.

Por tanto, para una localización exacta de la fuente de descarga parcial, se necesitan como mínimo tres o cuatro tiempos de llegada (tres o cuatro sensores).

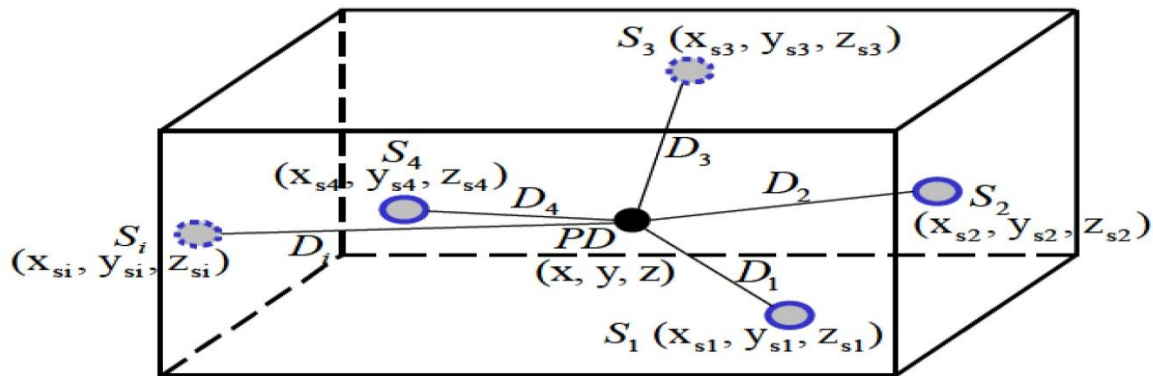


Figura 2.7 Sensores en las paredes del tanque y la fuente de DP en el interior.

## 2.5 Diseños de programación basados en Labview

### 2.5.1 Máquina de estados

La máquina de estados es una de las arquitecturas de programación fundamentales en el desarrollo de aplicaciones en LabVIEW (y en multitud de lenguajes de programación) ya que permite un diseño e implementación rápido de la aplicación.

El patrón puede utilizarse para implementar complejos algoritmos de *decision-making* representados por diagramas de estados o flujo. En particular, una máquina de estados puede implementar cualquier algoritmo descrito por la "Máquina de estados de Moore", el cual realiza una acción específica para cada estado de su diagrama [10].

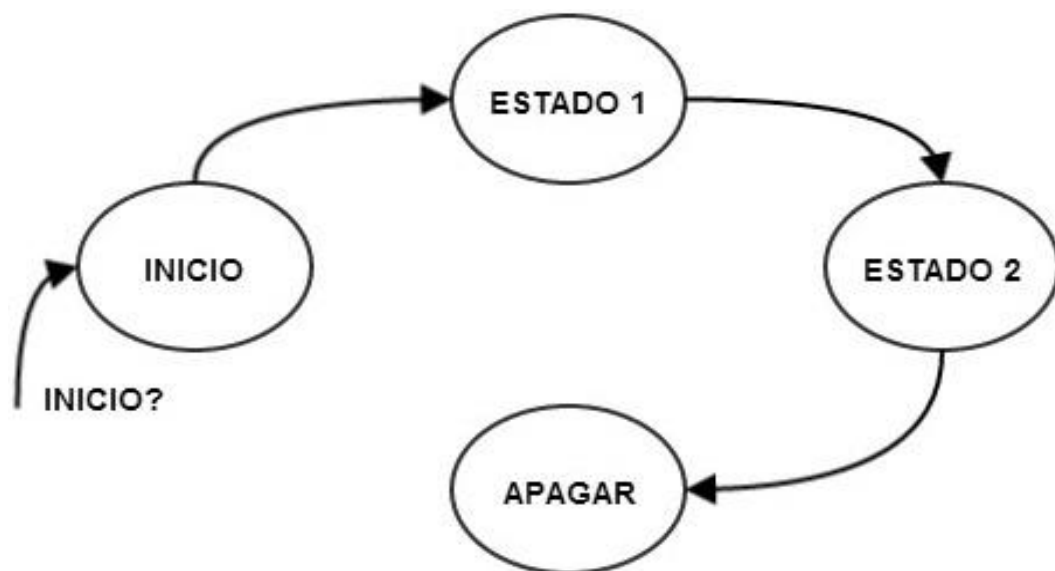
Este patrón de programación es usado en aplicaciones donde se puede distinguir una serie de estados o etapas. Cada estado puede llevar a un nuevo estado o a múltiples estados a su vez e incluso puede finalizar el flujo de datos del programa. La máquina de



estados se basa en la entrada de datos por parte del usuario o en los cálculos que se hacen en un estado para determinar cuál será el siguiente estado a ejecutar.

El uso más habitual de este patrón es para la programación de interfaces de usuario. Cuando se crea una interfaz de usuario, las diferentes acciones realizadas por el usuario ejecutan diferentes segmentos de código en función del estado al que se les haya llevado con esas acciones. También es muy utilizado en el diseño de sistemas de test, ya que estos procesos de testeo tienen una serie de etapas muy específicas en las cuales dependiendo de los valores calculados o testeados se pasa a un estado u otro.

Una máquina de estados en LabVIEW consta de un bucle While, una estructura Case y un registro de desplazamiento. Cada estado de la máquina es un caso distinto de la estructura Case (Figura 2.8). Se deberán colocar los VI's (Funciones de LabVIEW) a ejecutar dentro del caso apropiado. El registro de desplazamiento almacena el estado que debe ejecutarse en la siguiente iteración del bucle. En la Figura 2.9 se muestra el diagrama de bloques de un VI de máquina de estados con cinco estados. La Figura 2.10 muestra los otros casos, o estados, de la máquina de estados.



*Figura 2.8 Diagrama de estados con cuatro estados.*

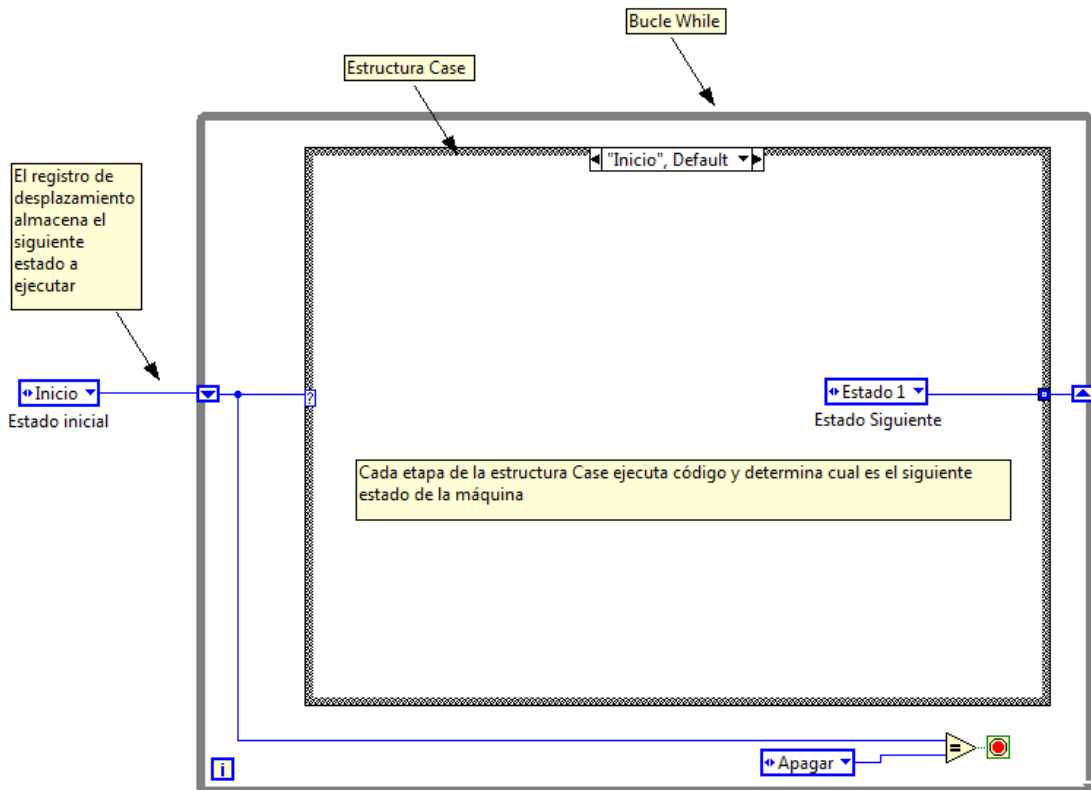


Figura 2.9 Máquina de estados con estado de Inicio.

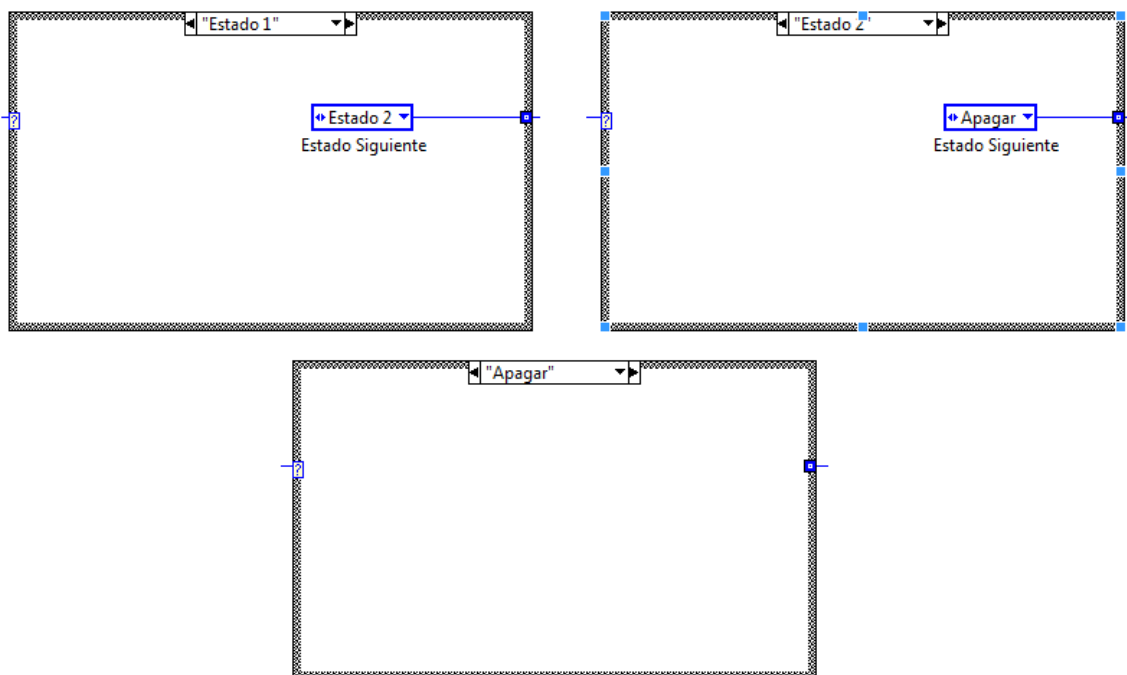


Figura 2.10 Estado 1, Estado2 y Estado Apagar.

## 2.5.2 Patrón de diseño maestro / esclavo

Otra de las arquitecturas fundamentales para la programación en LabVIEW es el patrón de diseño maestro / esclavo. Es utilizado cuando es necesario tener dos o más procesos ejecutándose simultáneamente y de forma continuada pero a diferentes velocidades. Si estos procesos se ejecutan en un solo bucle se experimentarían graves problemas de temporización. Estos problemas de temporización aparecen cuando un segmento de código del bucle necesita más tiempo para ejecutarse del que se había previsto. Si esto ocurre, el resto de código del bucle sufrirá retrasos en su ejecución.

El patrón maestro / esclavo consiste en múltiples bucles en paralelo que ejecutan código a diferente velocidad. Uno de estos bucles tendrá la responsabilidad de ser el maestro y el resto serán los esclavos. El bucle maestro controla todos los bucles esclavos y se comunica con ellos a través de arquitecturas de comunicación con mensajes, como se muestra en la Figura 2.11.

El uso más habitual de este patrón es en aplicaciones que responden a eventos de la interfaz de usuario y a la vez recolectan datos simultáneamente. Un posible ejemplo es cuando se desea construir una aplicación que adquiera y registre una tensión que varía lentamente una vez cada cinco segundos. Además adquiere una forma de onda de una línea de montaje, lo representa gráficamente cada 100 ms y permite al usuario cambiar las configuraciones de cada parámetro para cada adquisición.

En este caso el diseño maestro/esclavo se adapta perfectamente. El bucle maestro ejecutará todo lo relacionado con la interfaz de usuario. La adquisición del voltaje y su registro se llevará a cabo en uno de los bucles esclavo y la adquisición y representación gráfica de la línea en otro.

Esto garantiza que los procesos de adquisición no interfieran entre sí y que cualquier retardo ocasionado por la interfaz de usuario, como mostrar un cuadro de diálogo, no retrase iteraciones de los procesos de adquisición.

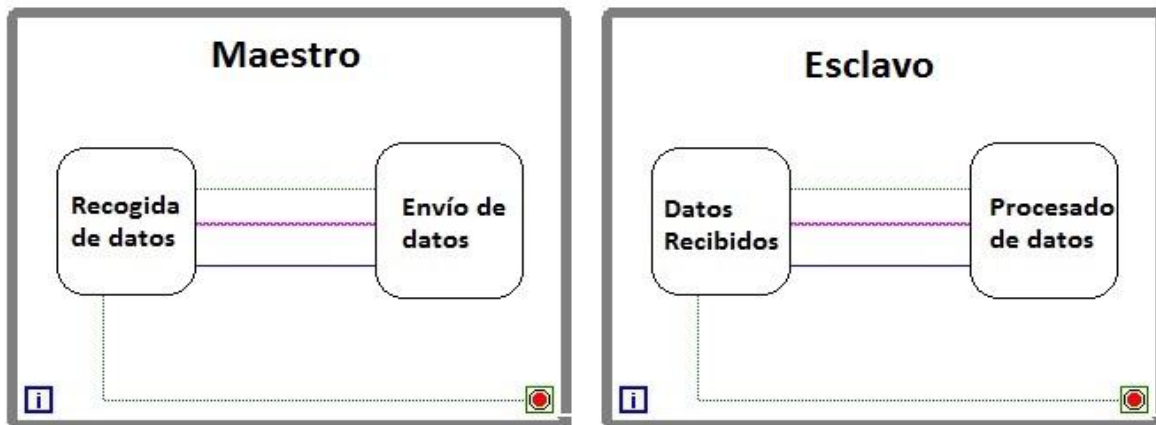


Figura 2.11 Patrón de diseño de maestro / esclavo.

### 2.5.3 Patrón de diseño productor / consumidor

El patrón de diseño de productor / consumidor se basa en el patrón de diseño de maestro / esclavo y mejora la compartición de datos entre varios bucles que se ejecutan a distintas velocidades. Al igual que el patrón de diseño maestro / esclavo, el patrón de diseño de productor / consumidor separa tareas que producen y consumen datos a distintas velocidades. Los bucles paralelos en el diseño productor / consumidor están separados en dos categorías: los que producen datos y los que consumen los datos producidos. Las colas de datos comunican los datos entre bucles y almacenan temporalmente datos en un búfer. Podemos ver una plantilla de este patrón en la Figura 2.12.

El uso típico de este diseño es cuando se desea adquirir varios conjuntos de datos que se deben procesar en orden. Por ejemplo si se desea diseñar una aplicación que acepte datos mientras procesa los conjuntos en el orden que se recibieron. El patrón es ideal porque poner en cola (producir) los datos se realiza mucho más rápidamente que el procesamiento de éstos (consumir).

Otro ejemplo de aplicación puede ser crear un programa que analice la comunicación en red. Este tipo de VI requiere dos procesos simultáneos y a distintas velocidades. El primer proceso sondea constantemente la línea de red y captura paquetes. El segundo analiza los paquetes que captura el primer proceso.

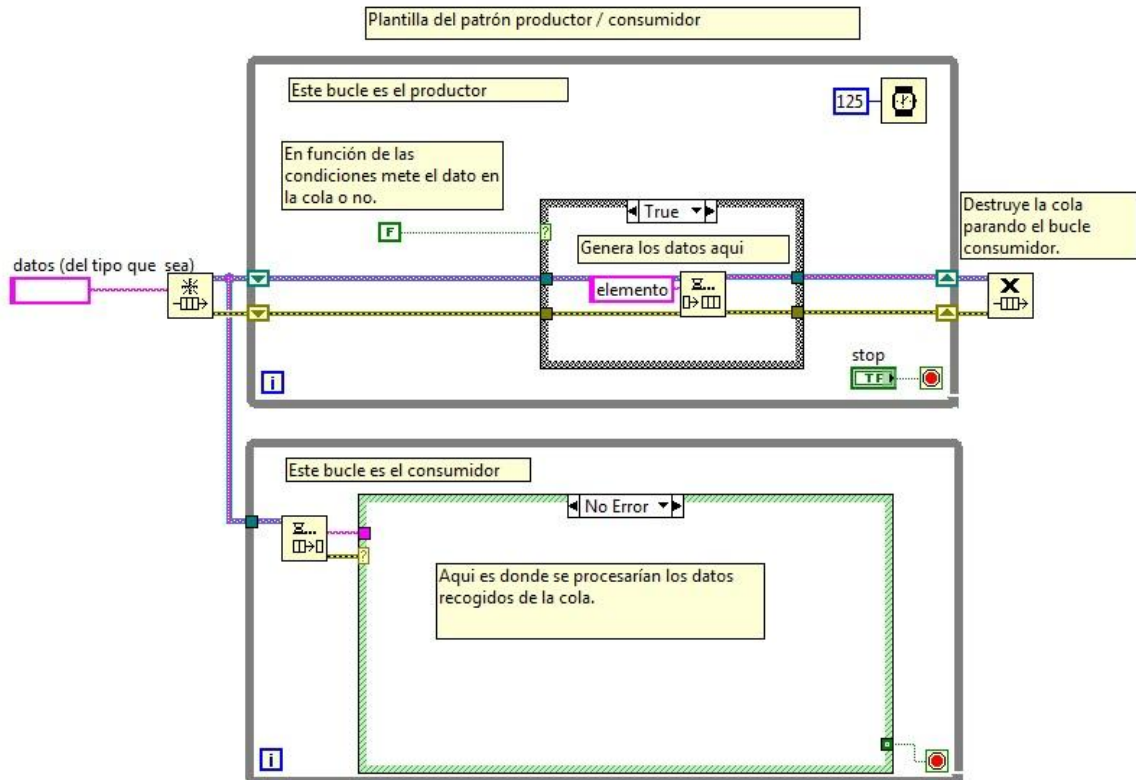


Figura 2.12 Patrón de diseño productor / consumidor.

## 2.5.4 Patrón de diseño Queued Message Handler (QMH)

El diseño QMH es una versión del patrón productor / consumidor , donde la interfaz de usuario (productor) produce mensajes y las tareas (consumidores) los consumen. Sin embargo, tiene la ventaja de que también se pueden producir mensajes desde un bucle consumidor.

El patrón de diseño Controlador de Mensajes en Fila (QMH) permite la ejecución de múltiples secciones de código en paralelo y la comunicación entre ellos. Cada segmento de código representa una tarea, como puede ser la adquisición de datos, procesamiento, volcado a disco etc. El patrón está diseñado de modo semejante a una máquina de estados, por lo que se pueden dividir las distintas tareas en estados, como podemos apreciar en la Figura 2.13.

Este diseño es útil para aplicaciones donde ocurren múltiples tareas en paralelo, generalmente a diferentes velocidades. Por ejemplo, una aplicación que adquiere, registra y muestra de manera continua dos señales: una señal RS-232 y una señal analógica. Estas señales ocurren a velocidades diferentes, así la aplicación debe tener dos ciclos que se

ejecutan en paralelo. Además se requiere una interfaz de usuario eficiente, es decir, los usuarios deben poder hacer clic en los botones aún cuando la aplicación está ejecutando otro comando. Por ello se necesita tener un tercer ciclo en paralelo que monitorea continuamente el panel frontal para detectar posibles eventos del usuario.

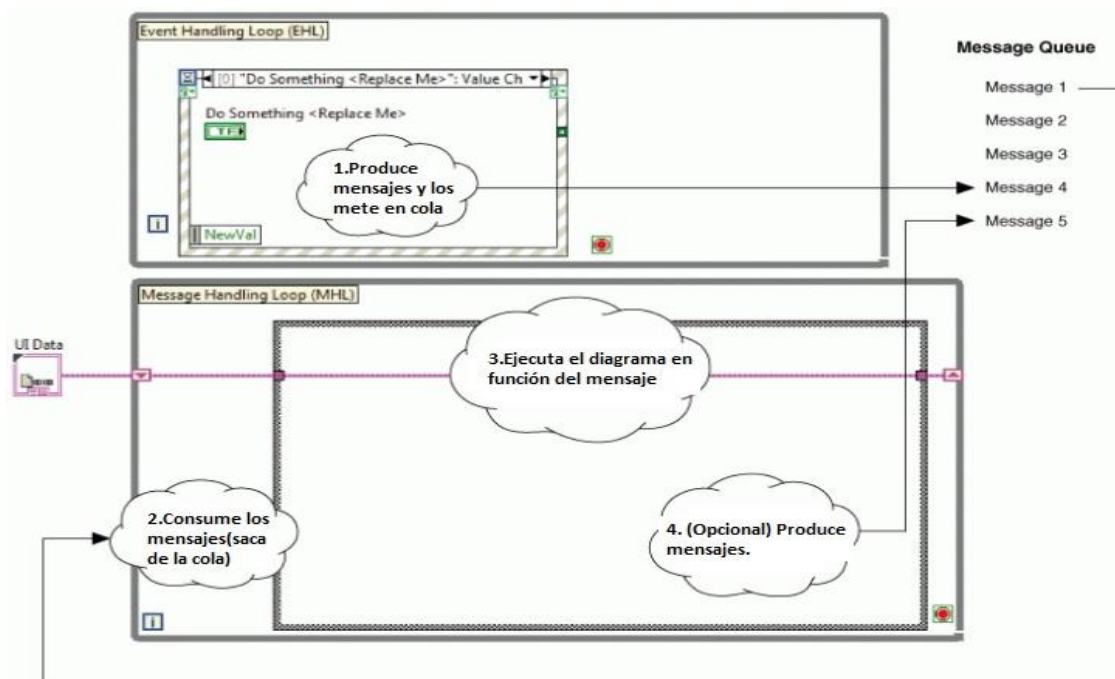


Figura 2.13 Patrón de diseño Queued Message Handler.

## 2.6 Desarrollo eficiente de aplicaciones en LabVIEW

Las aplicaciones en LabVIEW pueden abarcar un gran rango de dificultad, yendo desde un simple VI, a una aplicación extensa que contenga cientos de VI's organizados en una compleja jerarquía. A medida que se hace un mayor uso de la programación gráfica en LabVIEW para la creación de grandes aplicaciones, el código de estas se hace más complejo.

El desarrollo de aplicaciones en LabVIEW (y en cualquier tipo de lenguaje) usa VI's que son escalables, legibles y con un sencillo mantenimiento.

1. Escalable: Fácil de expandir el diseño para abarcar un mayor carga de trabajo o nuevas tareas sin tener que rediseñar completamente el VI.

2. Legible: Capacidad para que la función de un VI sea rápidamente comprendida debido a la claridad del código.
3. Fácil mantenimiento: Facilidad para añadir nuevas mejoras a un VI sin afectar la funcionalidad original.

Cuando se programa una aplicación en LabVIEW, se puede apreciar que muchos diseños de programación y estructuras son iguales a los de otros lenguajes de programación basados en texto (C,C++,Java etc.). Sin embargo, LabVIEW proporciona técnicas de programación que permiten centrarse en producir una solución a un problema en vez de centrarse en errores de sintaxis o memoria.

### **2.6.1 Escalabilidad**

Con el fin de crear VIs escalables, hay que empezar a pensar en el patrón de diseño de la aplicación en la etapa dónde se concibe la funcionalidad y objetivos a seguir de la aplicación. Un VI bien diseñado y que sea escalable permite expandir fácilmente el diseño original para manejar más tareas. Por ejemplo, considerando un VI que adquiriera datos de tres galgas. Si los requerimientos de la aplicación cambian y hay necesidad de adquirir datos de cientos de galgas, será mucho más fácil expandir el diseño anterior a rediseñar uno nuevo.

Cuando se está diseñando una aplicación, hay que considerar el propósito de ésta y cómo manejar los cambios cuando la escala de la aplicación va más allá de la especificación original.

### **2.6.2 Legibilidad**

Cuando se ha de leer o entender código de otro programador, muchas veces se encontrarán códigos sin estructura y difíciles de comprender. Diagramas confusos y desestructurados pueden hacer casi imposible la tarea de descifrar la funcionalidad original del VI. La Figura 2.14 muestra un diagrama de bloques mal diseñados y en la Figura 2.15 uno bien estructurado y ordenado que permite una rápida comprensión.

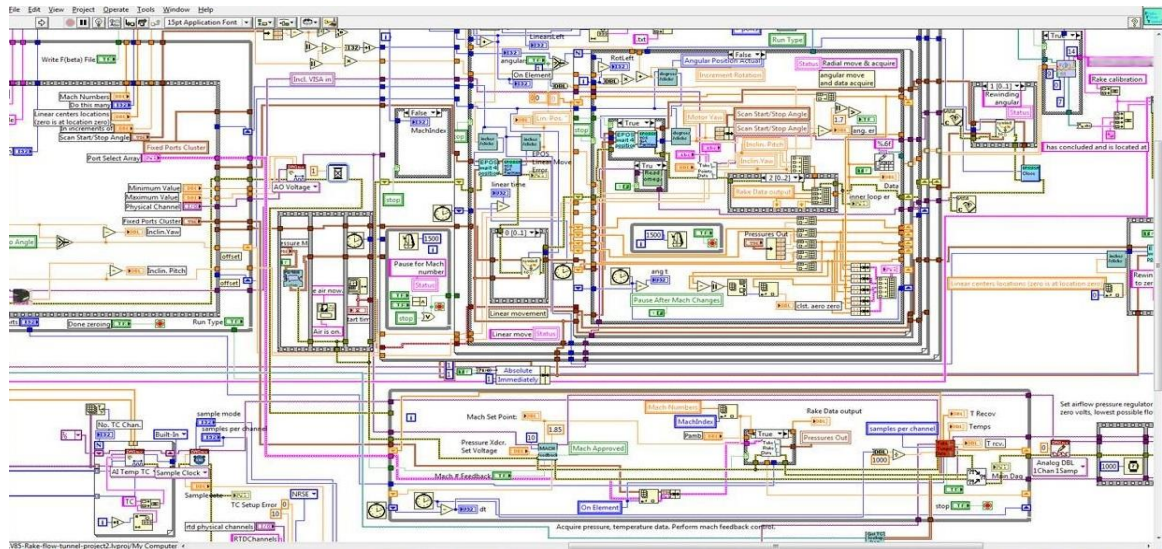


Figura 2.14 Ejemplo de un diagrama de bloques mal diseñado.

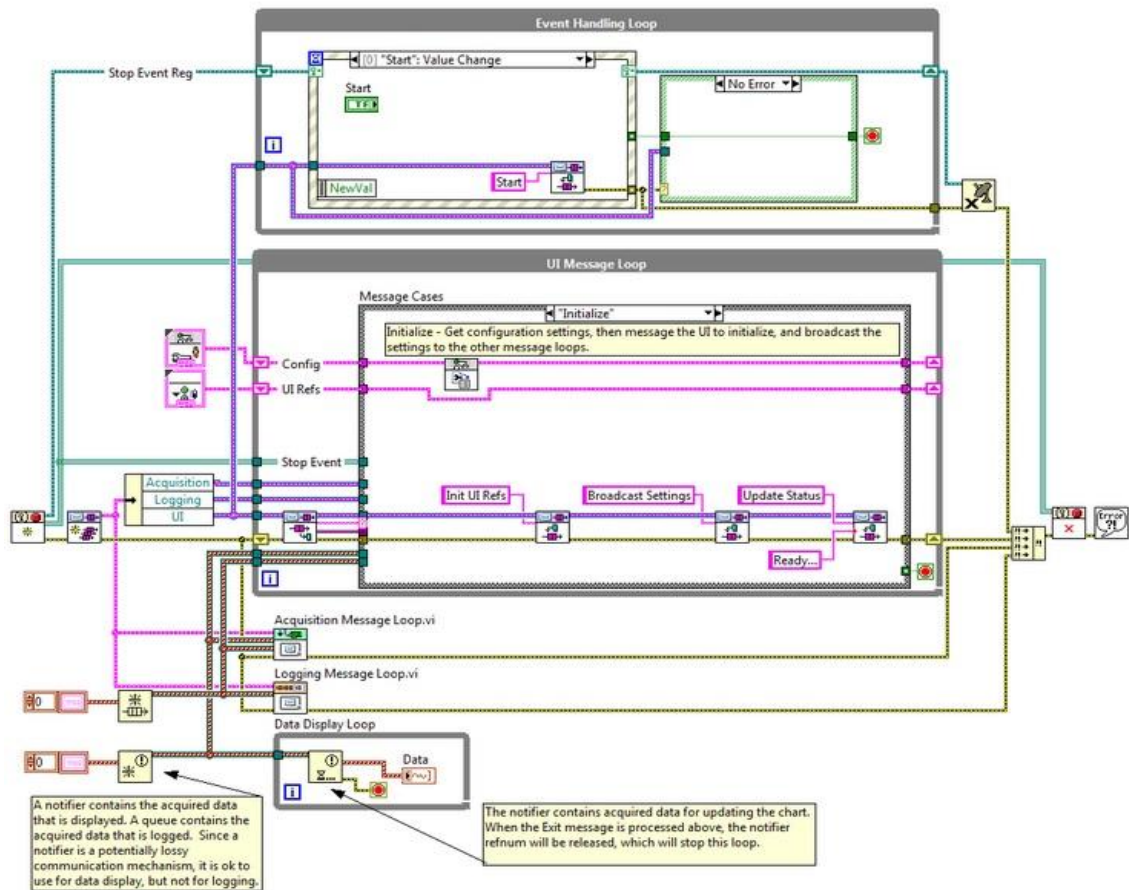


Figura 2.15 Ejemplo de un diagrama legible y bien diseñado.



### 2.6.3 Fácil de mantener

Cuando se desarrolla un aplicación, hay que tener en cuenta que otro programador puede necesitar utilizar y modificar el VI en un futuro. En el diseño y creación de una aplicación se debe programar pensando en el mantenimiento. Un VI bien escrito usando buenas técnicas de programación y diseño, permite a posteriori implementar nuevas funcionalidades sin tener que reescribir de nuevo todo el código.

## 2.7 Interfaz de usuario en LabVIEW

La interfaz de usuario es la parte más importante de cualquier sistema basado en computador ya que es el sistema de interacción entre hombre-máquina. Puede ser vista, escuchada o táctil. El grueso del código de la aplicación o sistema es invisible, escondido detrás de la pantalla, teclado y ratón. El objetivo del diseño de una interfaz de usuario es simple: hacer funcionar una aplicación en un ordenador de forma sencilla, productiva y agradable. Una interfaz de usuario es una colección de técnicas y mecanismos para interactuar con algo [11].

LabVIEW ofrece una amplia variedad de posibilidades a la hora de configurar la interfaz gráfica: Leds para representar valores booleanos, indicadores de nivel, salida de texto, gráficos de distintos colores personalizables, iconos, botones predefinidos... Podemos apreciarlo en la Figura 2.16.

Si un VI va a ser utilizado como interfaz de usuario o cuadro de diálogo, la apariencia y disposición de los elementos del panel frontal es importante. Cuando se diseña un panel frontal para una interfaz de usuario, hay que elegir cuidadosamente las fuentes, colores y gráficos con el fin de construir una interfaz fácil e intuitiva.

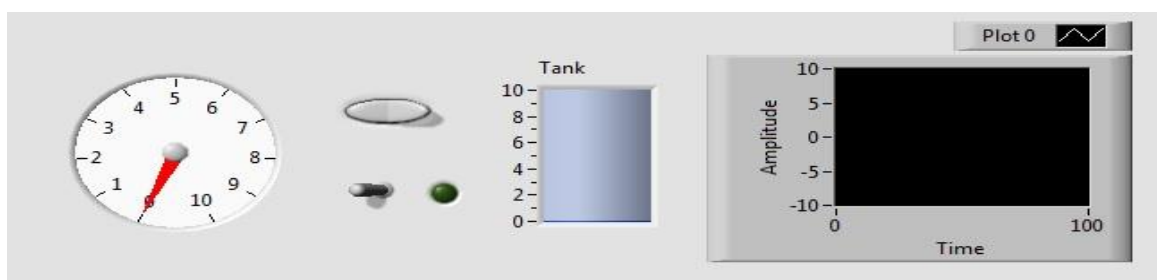


Figura 2.16 Elementos para construcción de una UI en LabVIEW.

## 2.7.1 Estilos del Panel Frontal

En LabVIEW pueden utilizarse controles y objetos procedentes de distintas paletas a la hora de construir una interfaz de usuario. En la Figura 2.17 se puede apreciar cuatro ejemplos de estilo de una misma interfaz de usuario. En LabVIEW podremos elegir entre los estilos *modern*, *classic*, *system* y *silver*.

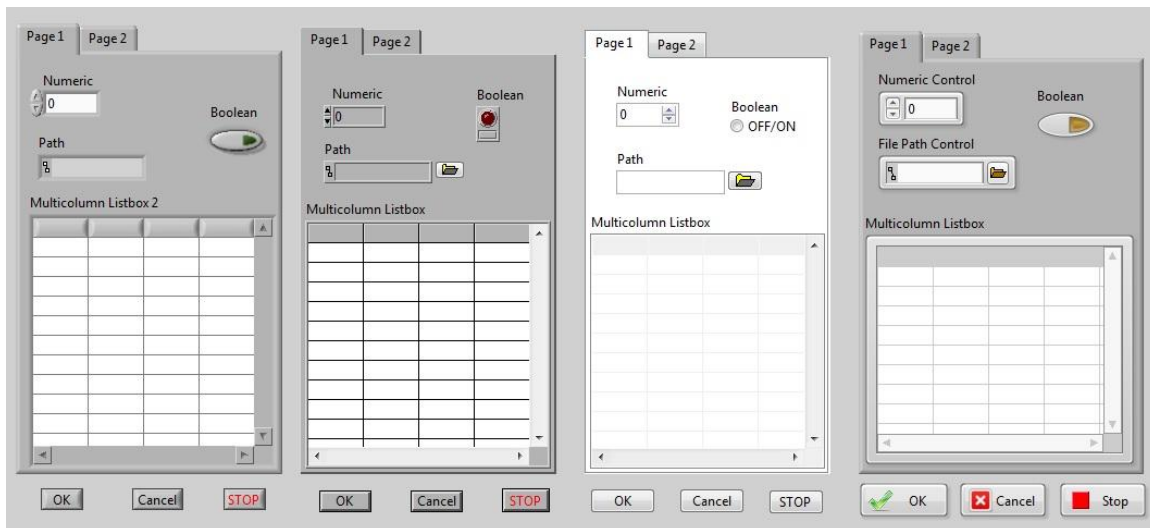


Figura 2.17 Ejemplos de estilos *modern*, *classic*, *system* y *silver*.

La elección de un estilo u otro puede basarse en el aspecto o en características determinadas, los usos más habituales son:

- *Modern*: Son los más utilizados para funciones secundarias sin función visual.
- *Classic*: Utilizados para compatibilidades con otros códigos o como punto de partida para la creación de una interfaz de usuario.
- *System*: Su aplicación más habitual es en cuadros de diálogo ya que aparecen en los colores configurados para el sistema.
- *Silver*: Utilizados para interfaces de usuario futuristas y de buen aspecto debido a su apariencia moderna y amigable.

## 2.7.2 Fuentes y características del texto

En el diseño de una interfaz gráfica es aconsejable limitar el uso de las fuentes de texto a tres: *application font*, *system* and *dialog* a no ser que se tenga una razón específica para usar una distinta. Por ejemplo, las fuentes mono espacio (separa los caracteres de

forma proporcional) son útiles para controles e indicadores dónde el espacio para el texto es crítico [12].

La fuente usada variará en función de la plataforma. Por ejemplo, cuando se trabaja en Windows la configuración del driver de video afecta al tamaño de la fuente. El texto puede ser más grande o más pequeño en distintos sistemas dependiendo de factores como el mencionado. Con el fin de compensar esto, es habitual dejar espacio extra y habilitar la opción "Size to Text" del menú del objeto.

### **2.7.3 Colores**

El color es un factor importante ya que puede distraer al usuario de una información importante. Por ejemplo un fondo amarillo, verde o naranja brillante dificulta la visualización de un led rojo en una alarma. Otro problema es que no todas la plataformas tienen una gran variedad de colores disponibles. Es aconsejable utilizar un número de colores reducido, siendo los más utilizados el negro, blanco y gris. Hay algunas recomendaciones a seguir a la hora de elegir el color:

- Nunca utilizar un color parecido al de un indicador crítico, algunas personas con cierta discapacidad visual podrían no detectar el cambio.
- Es recomendable rellenar los fondos de los paneles frontales con colores del sistema ya que estos se adaptan a los colores del sistema en el que se va a ejecutar.
- Es aconsejable usar el gris claro, blanco, o colores pastel para los fondos ya que son colores cálidos que no provocan nerviosismo o intranquilidad en el operador.



# Capítulo 3

## Instrumentación multicanal para la detección de descargas parciales

### 3.1 Instrumentación con sensores piezoeléctricos

A continuación se explicaran los bloques más importantes del sistema de instrumentación de los sensores piezoeléctricos. En la Figura 3.1 podemos apreciar los bloques constituyentes del sistema.

El elemento sensible es un transductor piezoeléctrico situado fijamente en la pared exterior de la cuba. El contacto del elemento sensible con la cuba se hace a través de un medio que facilita la transmisión de la energía acústica. El medio utilizado es gel de glicerina o grasa de silicona.

El sensor piezoeléctrico es el modelo R15I-AST (Physical Acoustic Corporation)(Anexo II), con las siguientes características:

- Rango de operación de 80 - 200 kHz, resonante a 150 kHz.
- Preamplificador de bajo ruido, salida filtrada y adaptada a 50Ω de impedancia.
- Sensibilidad de 1 V/Pa tras pasar por la etapa de pre-amplificación de 40dB integrada en el propio sensor.

La electrónica integrada en el sensor R15I necesita ser alimentada, pero el transductor no cuenta con ninguna entrada de alimentación para ello. La solución pasa por acondicionar la toma de la medida con un circuito Bias-T, el cual aporta alimentación al preamplificador y al filtro (integrados), proporcionando también una salida desacoplada de la etapa de alimentación.

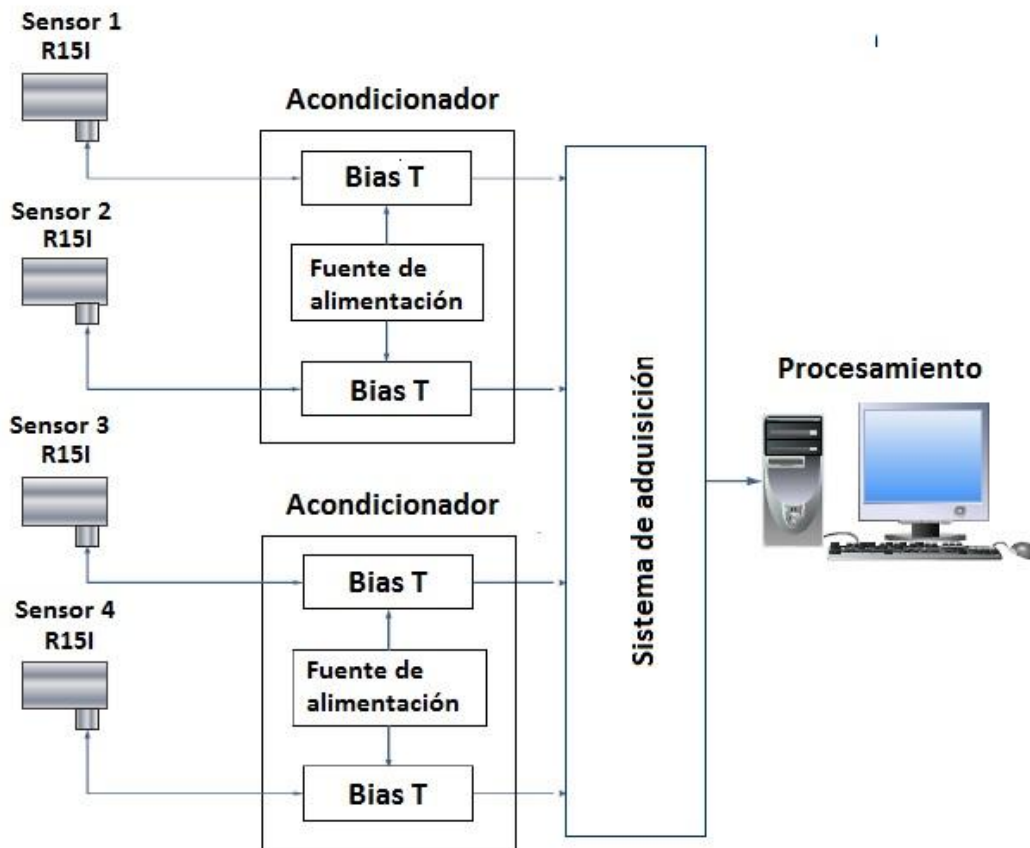


Figura 3.1 Diagrama de bloques del sistema de instrumentación acústico.

## 3.2 Sistema de adquisición de datos

Con el fin de recoger y digitalizar la información en forma de voltaje procedente de los sensores, se va a utilizar un sistema de adquisición de datos de la marca National Instruments (Figura 3.3)(Anexo III).

El sistema está basado en el bus de datos PXI, desarrollado a partir del bus para PC (PCI), ofreciendo una solución de despliegue de alto rendimiento y bajo costo para sistemas de medida y automatización.

Los sistemas PXI están compuestos de tres componentes básicos (Figura 3.2):

- Chasis PXI: Proporciona un empaque robusto y modular al sistema, permitiendo múltiples configuraciones de sistemas PXI según las necesidades. En nuestro caso realizamos las pruebas con un PXIe-1071 de 3 ranuras y 1Gb/s de ancho de banda por ranura.
- Controlador embebido PXI: El controlador embebido elimina la dependencia de un PC externo. Estos controladores poseen dispositivos estándar tales como CPU integrada, disco duro, RAM, Ethernet, video, teclado, puerto serie etc. En nuestro experimento utilizamos un PXIe-8135 con un procesador i7 a 2.3GHz, 4Gb de memoria RAM y SO Windows.
- Módulos periféricos: Debido a que PXI es un estándar industrial abierto, hay disponibles más de 1500 módulos para cubrir todas las necesidades. En nuestro caso hemos elegido un módulo digitalizador de alta densidad PXI-5105 con 12bits, 60MS/s y 8 canales muestreados simultáneamente.

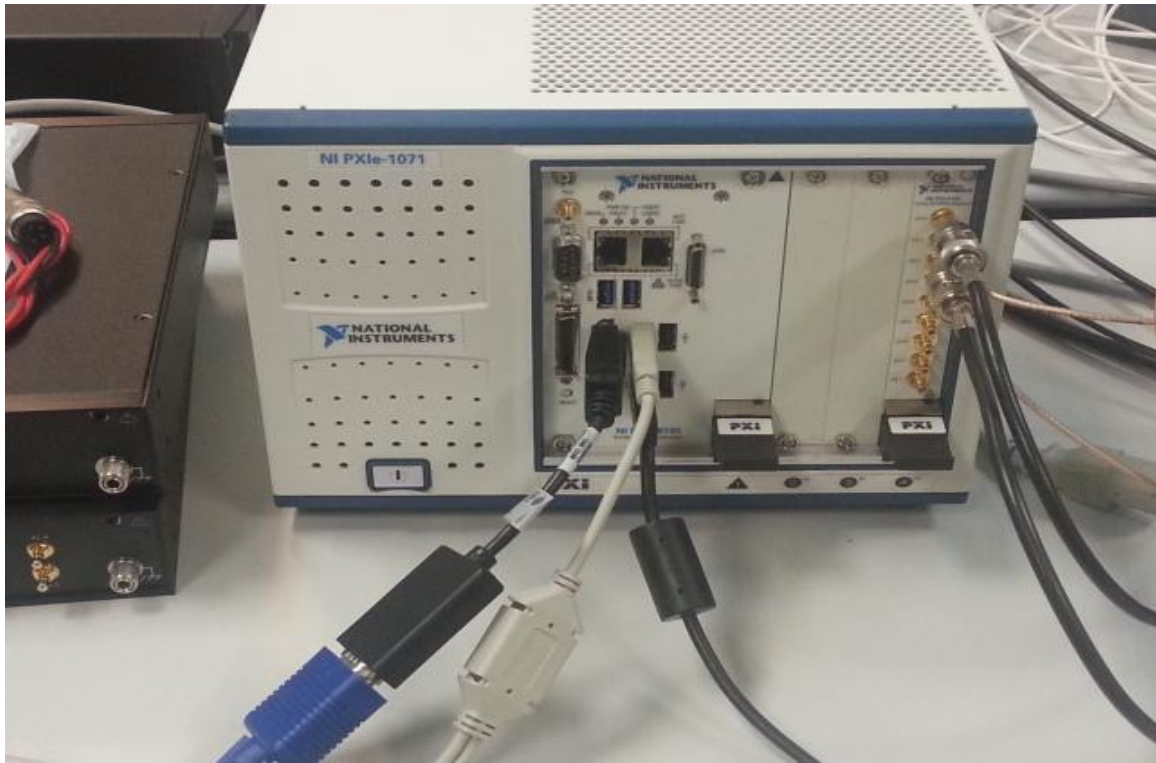


Figura 3.2 Sistema PXI multicanal del laboratorio.

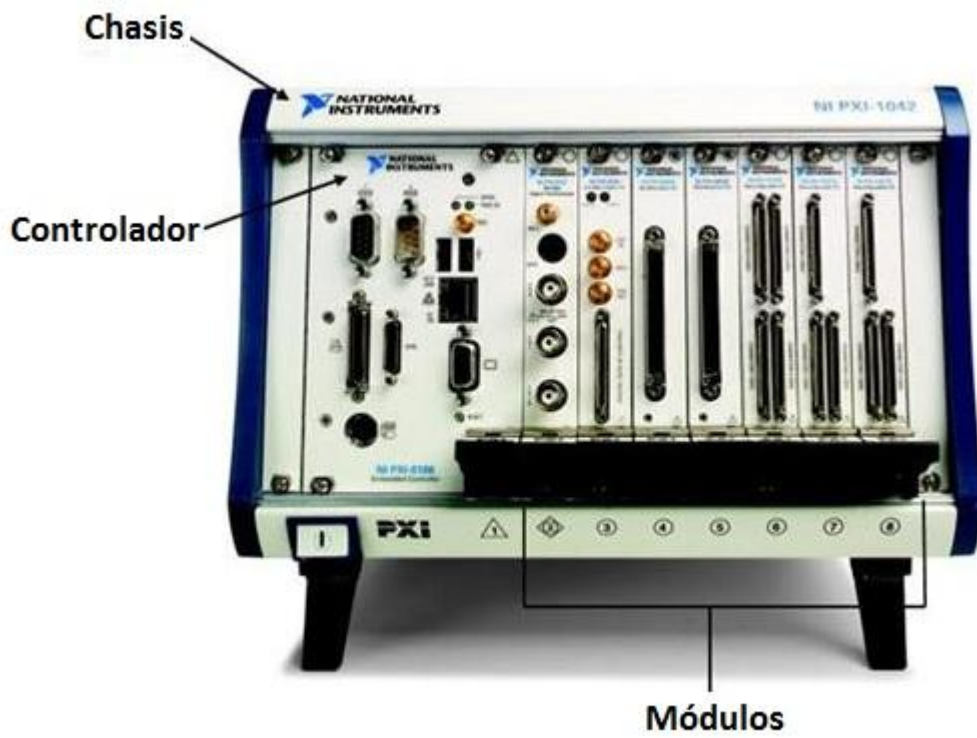


Figura 3.3 Sistema PXI completo



## 3.3 Etapas de la aplicación

La aplicación se ha implementado completamente en el entorno de programación gráfica NI LabVIEW 2010. En el programa se pueden distinguir una serie de etapas muy diferenciadas. Estas etapas pueden apreciarse con facilidad en la función *main* del programa (Figura 3.4). Cada etapa supondría un problema a resolver y a enfocar de forma distinta con el fin de conseguir la mejor solución. Las máquinas de estados y diagramas de flujo de todas las etapas se encuentran en el Anexo I. A continuación se explica cada etapa.

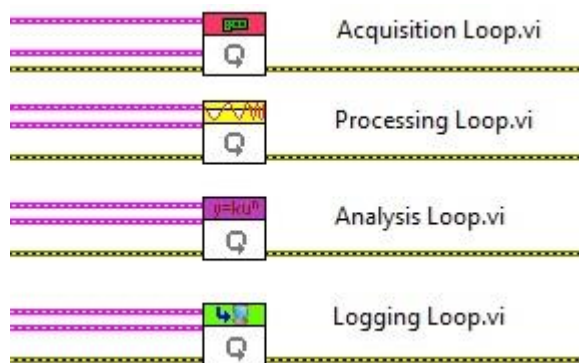


Figura 3.4 Etapas del programa.

### 3.3.1 Etapa de adquisición

Cuando se quiere iniciar una adquisición de datos desde un dispositivo se ha de seguir un procedimiento concreto con el fin de que tenga un buen comportamiento.

En la aplicación, la ejecución de estas etapas se ha llevado a cabo con una máquina de estados. Cada caso de la estructura Case ejecuta una etapa, y pasa a la siguiente etapa o se queda en la que está en función de distintas variables.

Los pasos a seguir para la configuración de la adquisición son los siguientes:

1. **Start:**
  - a. Crear sesión de adquisición de datos: Con esta tarea se abre la referencia de la nueva tarea de adquisición de datos.

- b. Configuración vertical: Configura los parámetros verticales del hardware, tales como el rango, acoplamiento y offset.
  - c. Configuración Horizontal: Configura los parámetros horizontales del hardware, tales como frecuencia de muestreo, tamaño de las muestras o referencia de tiempos (relativa o absoluta).
2. **Listening Channels:** Escucha todos los canales simultáneamente, en el momento que uno de ellos supere el umbral configurado previamente (trigger) se envía una señal para pasar a la siguiente etapa.
  3. **Acquire:** Adquirimos datos de todos los canales debido al disparo del trigger. Estos datos son transferidos al bucle de procesamiento a través de una cola de datos con buffer.
  4. **Stop:** Para la adquisición de datos y elimina las referencias con el fin de liberar recursos del sistema.
  5. **Update configuration:** En caso de que se realice algún cambio en la configuración de la adquisición, este estado la actualizará.
  6. **Exit:** Para el bucle de adquisición de forma segura.

Existen una serie de etapas adicionales como "Initialize", "Update configuration" o "Exit" que son utilizadas bajo ciertas circunstancias pero que no interfieren directamente en la correcta configuración de la adquisición.

Podemos ver el conjunto de etapas y la programación de cada una en la Figura 3.5.

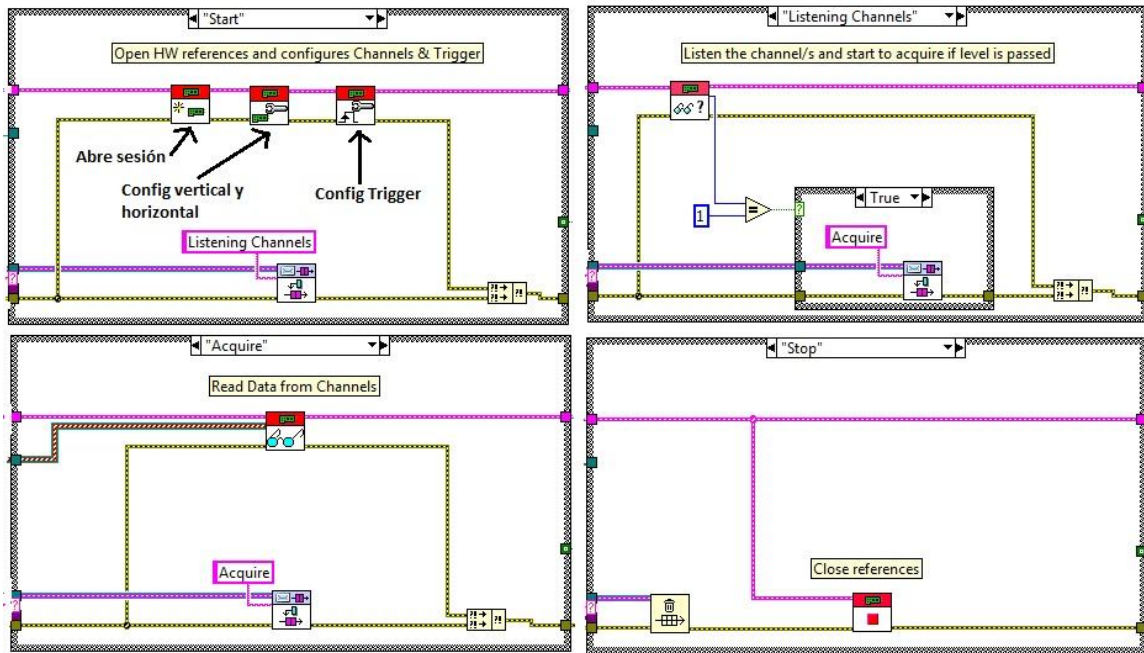


Figura 3.5 Etapas de la adquisición: Inicio, Escuchando canales, Adquirir y Stop.

El usuario puede configurar los parámetros de la adquisición de datos a través de la ventana emergente que aparecerá cuando se pulse el botón "Settings" y cuya apariencia podemos visualizar en la Figura 3.6.

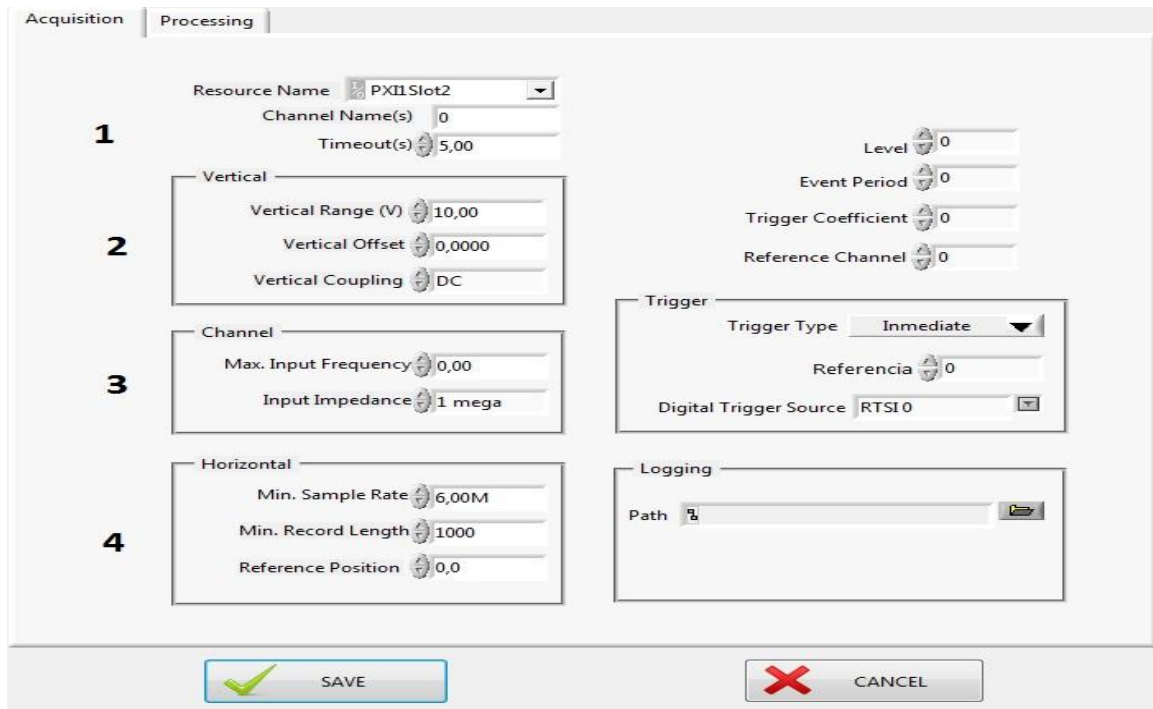


Figura 3.6 Panel de configuración general de la adquisición.

El panel de configuración anterior está constituido por varios bloques. El primero de ellos permite seleccionar tanto el slot en el que se encuentra el módulo de adquisición como los canales a utilizar (1). En el segundo bloque se configuran los parámetros verticales de los canales (Rango, offset y acoplamiento DC/AC) (2). Por último en el tercer y cuarto bloque se configuran los parámetros horizontales (Frecuencia de muestreo, tamaño de las muestras, impedancia de entrada etc.) (3), (4).

### 3.3.2 Etapa de procesado

En la segunda etapa se aplican los algoritmos de reducción de ruido que se hayan configurado previamente. La aplicación consta de un filtro Wavelet, un filtro paso alto y otro filtro paso bajo. El usuario puede seleccionar aplicar uno de ellos, dos, todos o ninguno.

El orden de aplicación es Wavelet - Paso alto - Paso bajo ya que tras muchos ensayos experimentales se observó que era la mejor combinación [13].

A diferencia de la etapa de adquisición, la fase de procesado solo cuenta con una etapa dónde se realizan todos los algoritmos de reducción de ruido (aunque también cuenta con etapas auxiliares como "Exit" o "Update configuration" que llevan al programa a un estado distinto). En la Figura 3.7 podemos apreciar el código de dicha etapa.

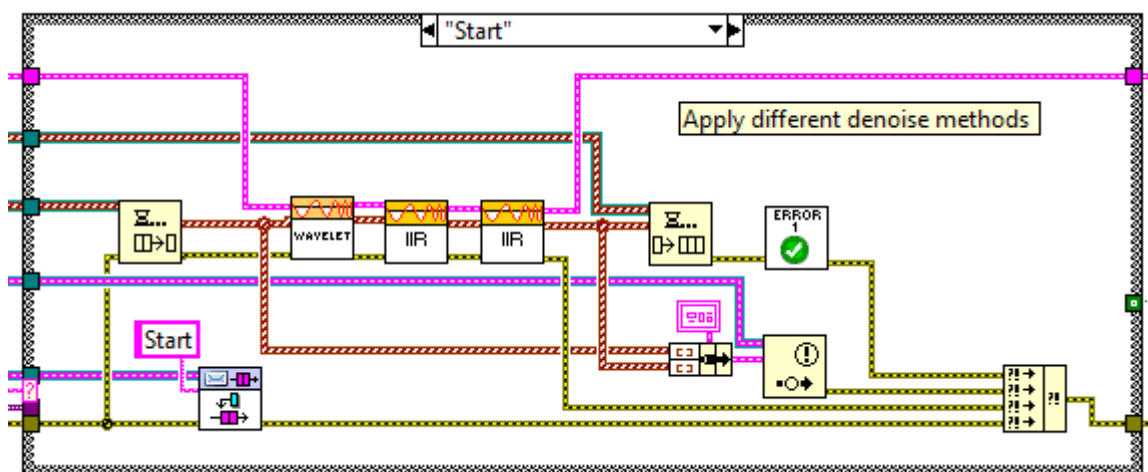


Figura 3.7 Código de la etapa de procesamiento en el estado Inicio.

El usuario puede configurar los algoritmos y parámetros de estos a través de la ventana emergente de configuración, cuyo aspecto es el de la Figura 3.8.

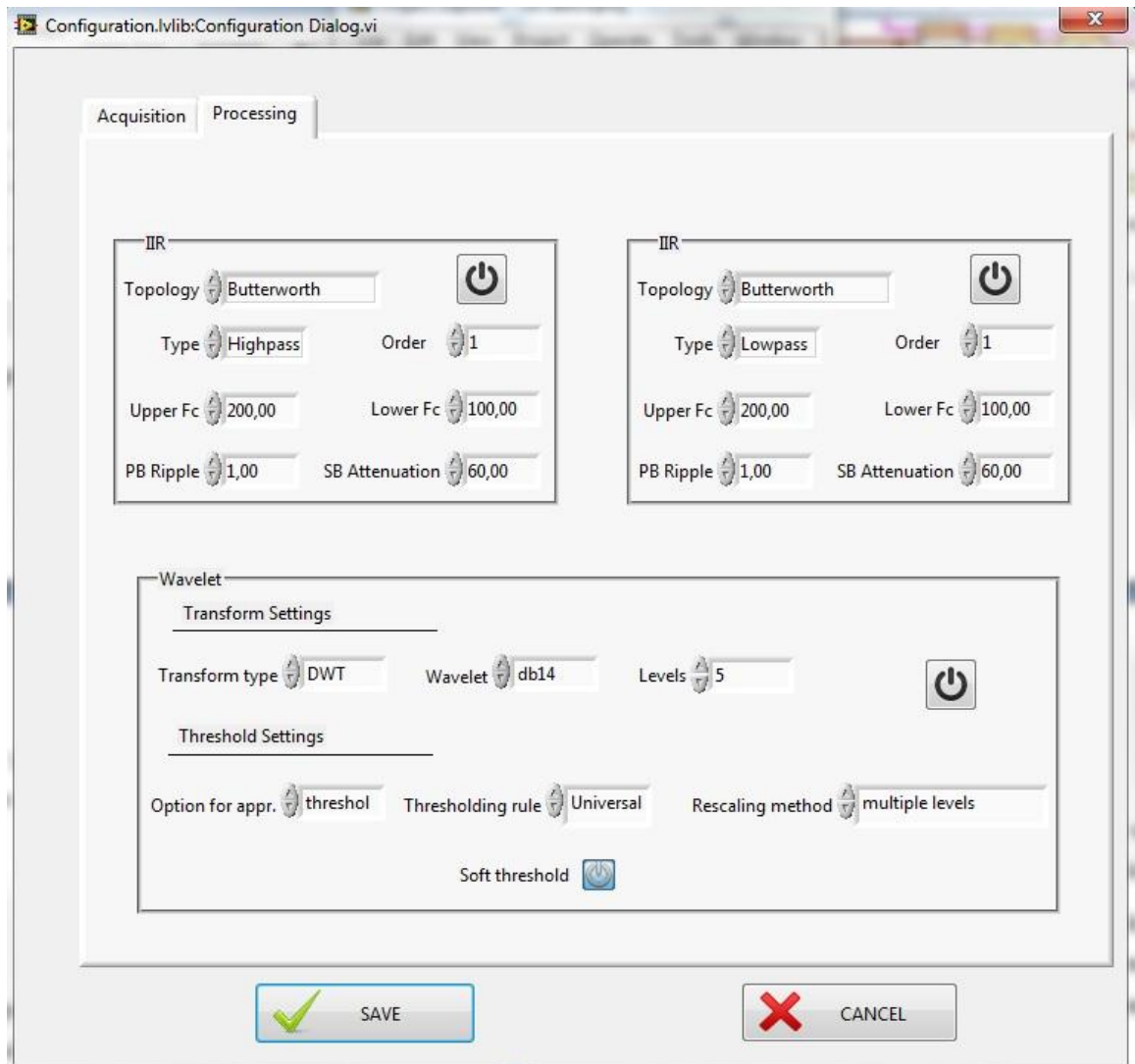


Figura 3.8 Ventana emergente para configurar el procesado de la señal.

El panel de configuración está compuesto por tres bloques, dónde el usuario seleccionara qué técnica desea. Para aplicar un método de reducción de ruido tendrá que introducir los parámetros y pulsar el interruptor del bloque correspondiente.

El primer y segundo bloque corresponden al filtro paso Alto (1) y Bajo (2) (Frecuencias de corte, orden del filtro y topología) y último al filtrado Wavelet (3) (Wavelet madre, niveles de descomposición, tipo de umbral etc.).

### 3.3.3 Etapa de Análisis

En la etapa de análisis es dónde tiene lugar el cálculo de las amplitudes y tiempo de vuelo. En la Figura 3.9 se muestran los distintos bloques que constituyen la etapa:

Cálculo de tiempos de vuelo y amplitud de las señales (a), captura del tiempo de referencia (b), algoritmo que determina si el evento ha terminado o no (c), obtención de los tiempos relativos ( $T_{ref}-T$ ) (d) y empaquetamiento de las muestras que cumplen las condiciones (e).

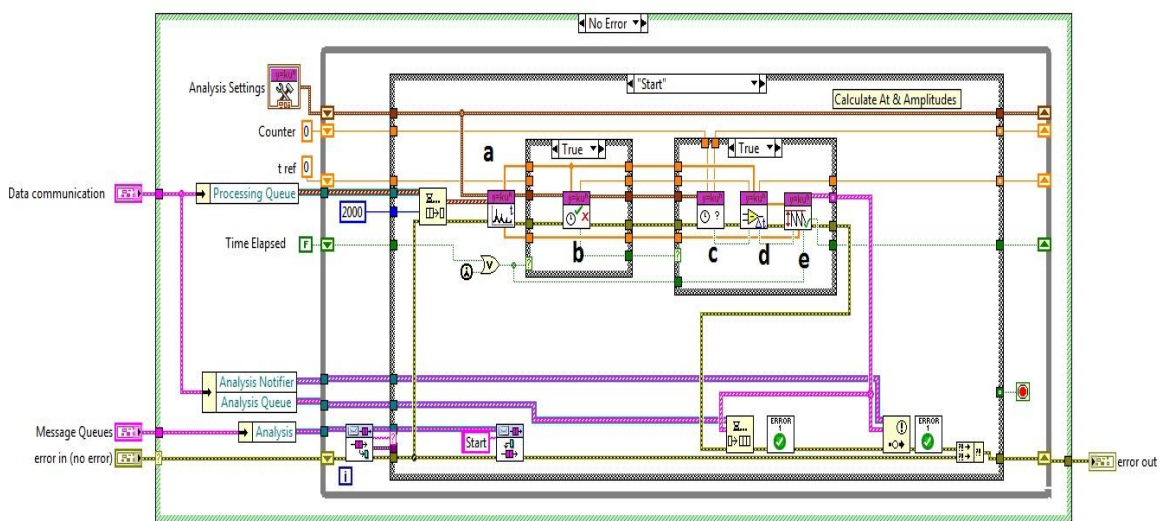


Figura 3.9 Bloques de la etapa de análisis.

En el primer bloque se obtiene por un lado la amplitud de cada una de las señales (2) y por otro se detecta en que instante de tiempo las señales han pasado el valor o trigger que hemos configurado previamente (1). La sección del programa que lo realiza es la mostrada en la Figura 3.10.







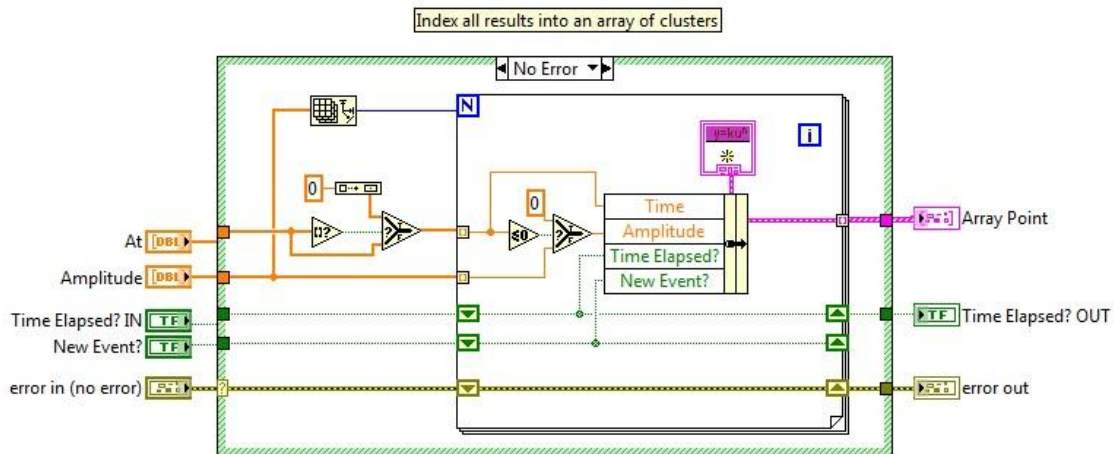


Figura 3.14 Código para indexar los datos en un array de clusters.

La información de amplitudes y tiempos es introducida en un array de clusters y enviada al bucle de guardado a disco a través de una cola de datos con búfer.

### 3.3.4 Etapa de guardado a disco

La etapa de guardado a disco es la más crítica de toda la aplicación, debido a que es la etapa que más tarda en ejecutarse. Un mal dimensionamiento de la aplicación podría llevarla a un desbordamiento de memoria, ya que la memoria iría llenándose porque el volcado a disco no es capaz de vaciarla a tiempo. En programación y otras disciplinas este hecho es conocido como cuello de botella.

La escritura a disco puede ser binaria o texto. En esta aplicación se eligió escribir en modo texto y en formato HTML. Este formato nos va a permitir abrir los datos tabulados en cualquier navegador de internet y si a posteriori se necesitase algún tipo de cálculo, se podría abrir en Excel ya que también lo reconoce. En la Figura 3.15 podemos ver un ejemplo de una toma de datos vista en un navegador y en el Excel.

Event detected at 17:18:18,26															
Channel 0		Channel 1		Channel 2		Channel 3		Channel 4		Channel 5		Channel 6		Channel 7	
A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t
0,000	0,000	0,000	-948,000	0,000	0,000	0,000	-948,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4,009	2,000	0,000	-958,000	0,000	0,000	0,000	-958,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4,405	1,000	0,000	-953,000	0,000	0,000	0,000	-953,000	0,000	0,000	0,000	-953,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	-973,000	0,000	0,000	0,000	-973,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	-964,000	0,000	0,000	0,000	-964,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	-978,000	0,000	0,000	0,000	-978,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	-974,000	0,000	0,000	0,000	-974,000	0,000	0,000	0,000	-925,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4,438	1,000	0,000	-951,000	0,000	0,000	0,000	-951,000	0,000	0,000	0,000	-951,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	-969,000	0,000	0,000	0,000	-969,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	-38,000	0,000	-947,000	0,000	0,000	0,000	-947,000	0,000	0,000	0,000	-947,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Event detected at 17:18:18,30															
Channel 0		Channel 1		Channel 2		Channel 3		Channel 4		Channel 5		Channel 6		Channel 7	
A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t
0,000	0,000	0,000	-993,000	0,000	0,000	0,000	-993,000	0,000	0,000	0,000	-644,000	0,000	0,000	0,000	0,000

(a)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Event detected at 17:18:18,26																
2		Channel 0		Channel 1		Channel 2		Channel 3		Channel 4		Channel 5		Channel 6		Channel 7	
3		A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t
4		0	0	0	-948	0	0	0	-948	0	0	0	0	0	0	0	0
5		4,009	2	0	-958	0	0	0	-958	0	0	0	0	0	0	0	0
6		4,405	1	0	-953	0	0	0	-953	0	0	0	-953	0	0	0	0
7		0	0	0	-973	0	0	0	-973	0	0	0	0	0	0	0	0
8		0	0	0	-964	0	0	0	-964	0	0	0	0	0	0	0	0
9		0	0	0	-978	0	0	0	-978	0	0	0	0	0	0	0	0
10		0	0	0	-974	0	0	0	-974	0	0	0	-925	0	0	0	0
11		4,438	1	0	-951	0	0	0	-951	0	0	0	-951	0	0	0	0
12		0	0	0	-969	0	0	0	-969	0	0	0	0	0	0	0	0
13		0	-38	0	-947	0	0	0	-947	0	0	0	-947	0	0	0	0
14	Event detected at 17:18:18,30																
15		Channel 0		Channel 1		Channel 2		Channel 3		Channel 4		Channel 5		Channel 6		Channel 7	
16		A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t	A	t
17		0	0	0	-993	0	0	0	-993	0	0	0	-644	0	0	0	0

(b)

Figura 3.15 datos tomados vistos en a) Navegador y b) Hoja de cálculo Excel.

Al igual que el resto de etapas, el volcado a disco está organizado por una máquina de estados que en función de determinados valores pasa a un estado u otro. Los estados del volcado a disco son los siguientes y podemos apreciarlos en la Figura 3.16:

1. **Start:** Crea las referencias para reservar memoria y espacio en disco. También escribe la cabecera del documento HTML.

2. **Log:** La función de logging escribe los datos procedentes de la etapa de análisis. Además tiene algoritmos para reaccionar ante señales procedentes de otras partes del programa, de tal forma que cada vez que el bucle de análisis le avisa que ha empezado un nuevo evento(descarga parcial), escribe la cabecera de una nueva tabla y la hora exacta a la que ha empezado el evento.
3. **Stop:** Se vacía el buffer de memoria de la cola de análisis y se escriben los datos. Una vez que se han registrado todo, escribe el fin del documento HTML y cierra las referencias para liberar recursos del sistema.
4. **Update configuration:** En caso de que se realice algún cambio en la configuración del volcado a disco, este estado la actualizará.
5. **Exit:** Para el bucle de guardado a disco de forma segura.

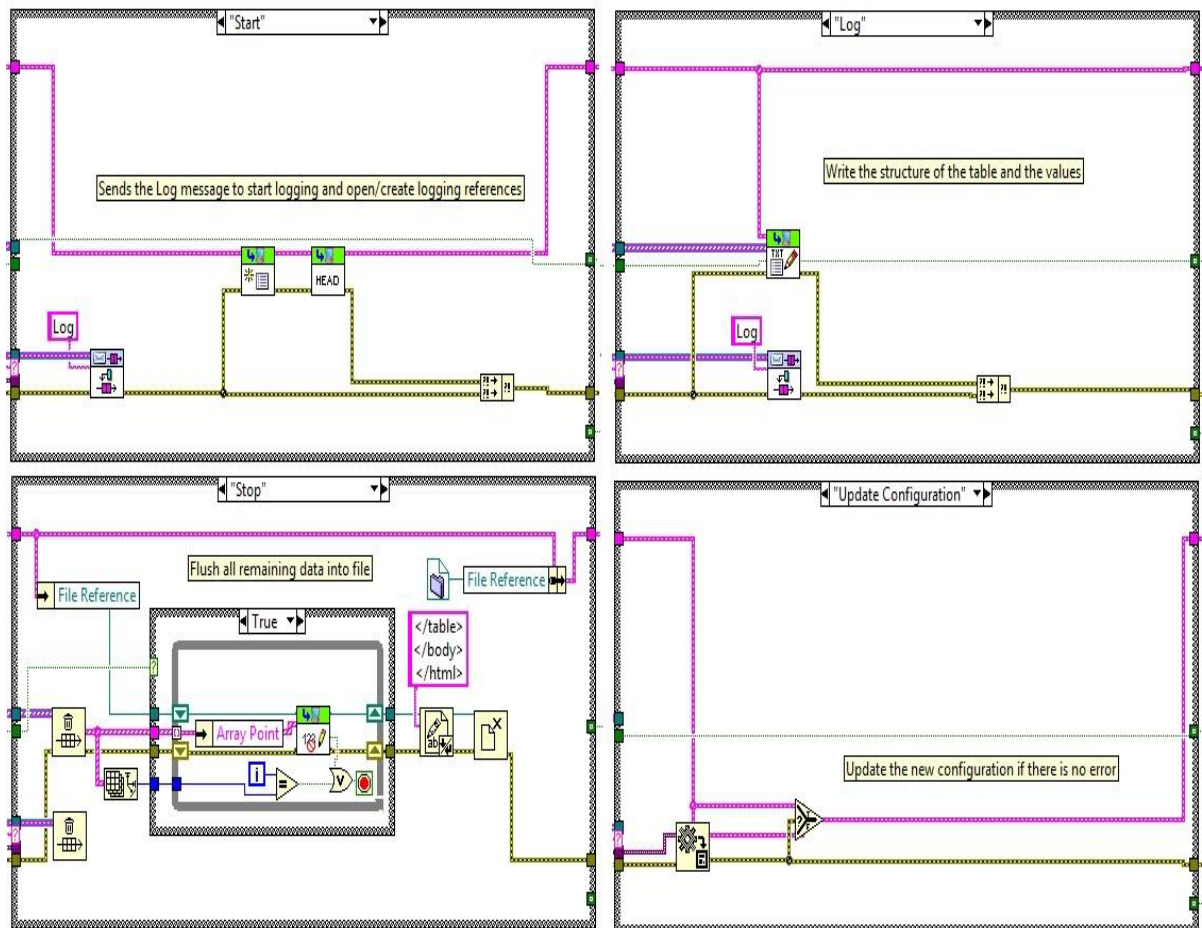


Figura 3.16 Estados del volcado a disco: Inicio, escritura, Stop y actualizar configuración.



# Capítulo 4

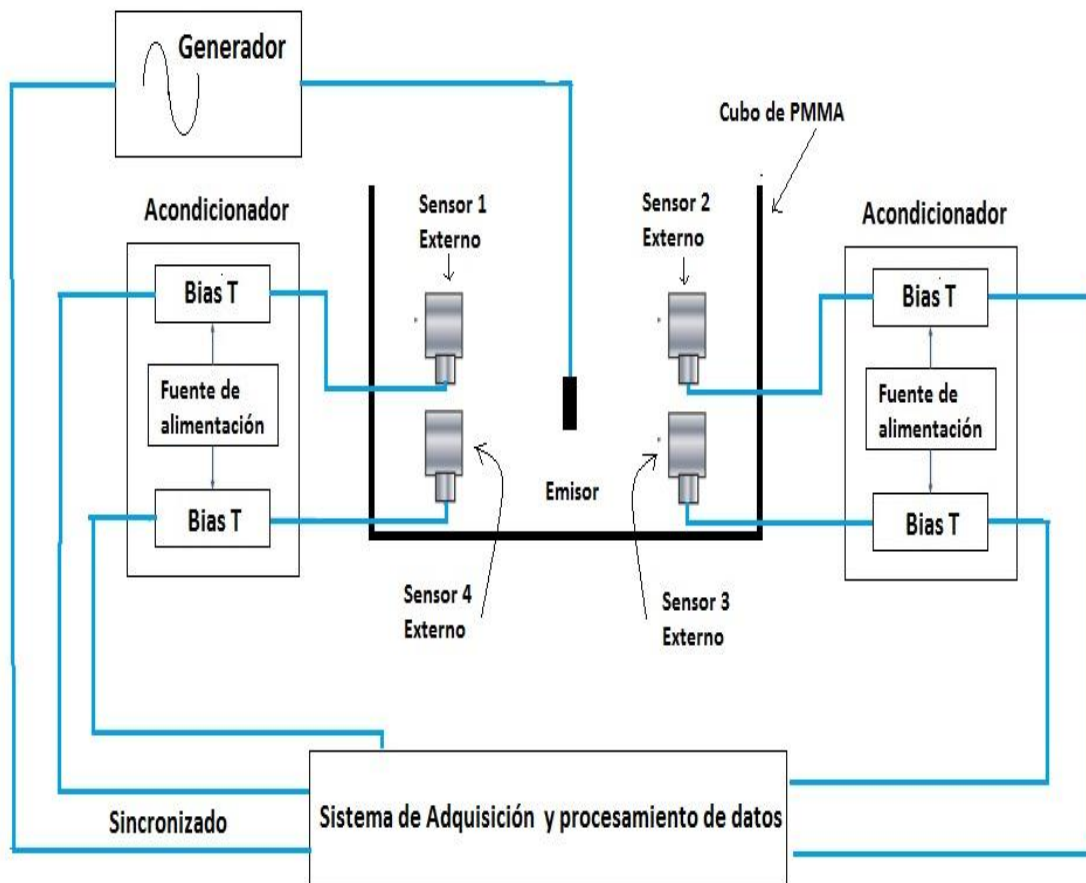
## Caso de estudio: emisiones acústicas en tanque de laboratorio

### 4.1 Montaje experimental

Con el objetivo de reproducir un entorno de emisiones acústicas similar a las procedentes de descargas parciales que este lo más cercano a la realidad, se ha construido una plataforma experimental [14] que está constituida principalmente por un recipiente con forma cúbica, cuyas dimensiones son de 70 cm x 40 cm x 50 cm, e hidrófonos emisores. Las paredes de dicho recipiente tienen un espesor de 1.4 cm y son de PMMA (Polimetilmetacrilato). La ventaja que presenta el uso de este material es que permite un mejor acoplo de la señal acústica hacia los sensores piezoeléctricos externos.

Las emisiones acústicas ultrasónicas generadas poseen características similares a las descargas parciales. Para emular a las descargas parciales se empleó un generador de funciones (Rigol DG4152) para aplicar un transitorio a un transductor ultrasónico piezoeléctrico (B&K 8103 / Anexo II) que funciona como emisor.

En el experimento que se llevo a cabo, se utilizaron cuatro sensores ultrasónicos piezoeléctricos (R151) fijados a la cara exterior de las paredes de la cuba con gel de silicona.



*Figura 4.1 Esquema experimental del laboratorio.*

La Figura 4.1 muestra la configuración implementada para la medida de las descargas parciales. La Figura 4.2 es un detalle de la plataforma experimental para las medidas, los sensores piezoeléctricos y el generador de señal utilizados. El acondicionamiento de los sensores a través de los Bias-T podemos apreciarlo en la Figura 4.3.



a



b



c

*Figura 4.2 a) Plataforma experimental b) Sensores piezoeléctricos c) Generador de funciones para simular las descargas parciales.*



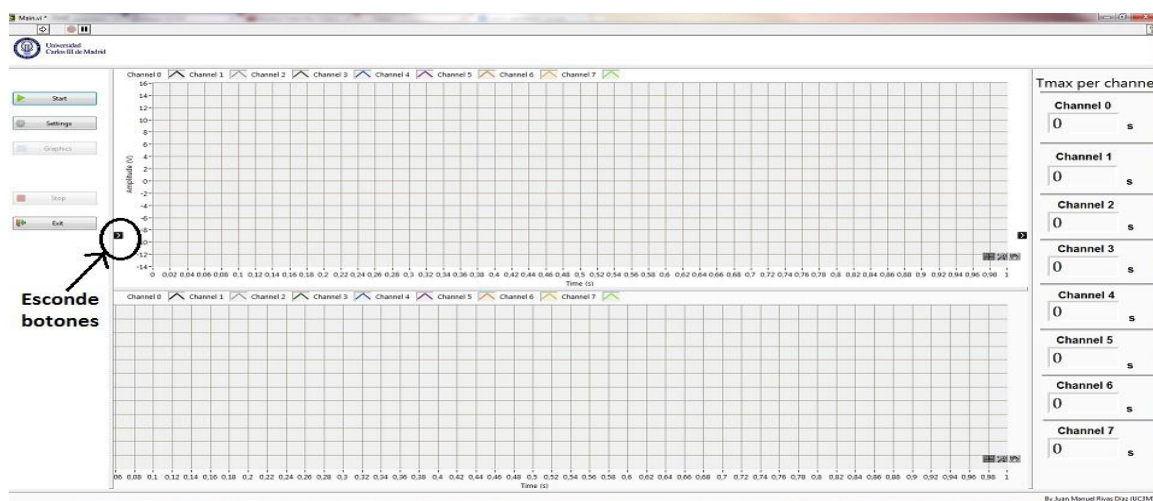
*Figura 4.3 Acondicionador de los sensores Bias T.*

El propósito de todo el montaje experimental es la comprobación del correcto funcionamiento de la aplicación diseñada.

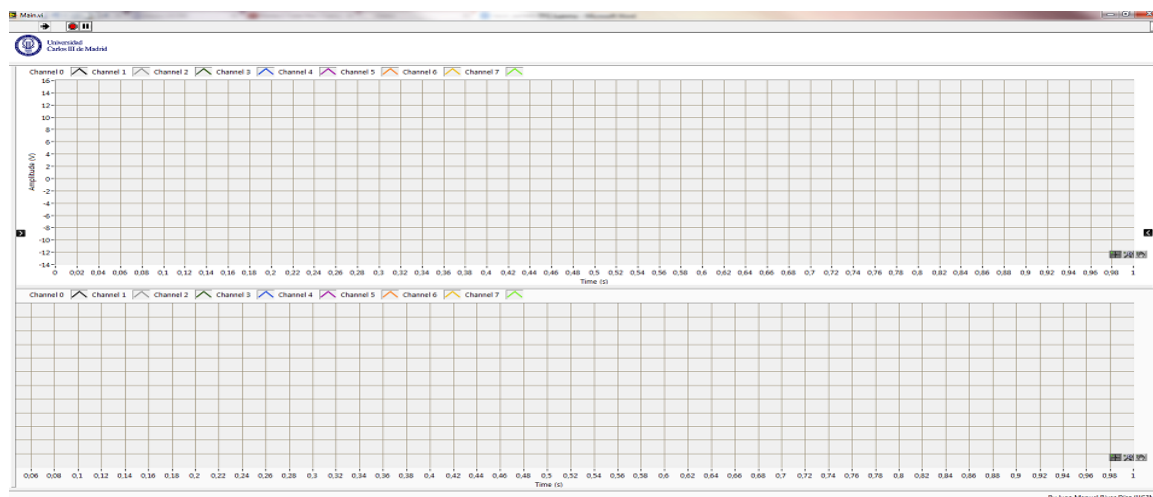
## 4.2 Testeo de la aplicación en un experimento

Con el sistema experimental montado y configurado se procedió a realizar un test de la aplicación para comprobar el correcto funcionamiento. El emisor (RIGOL) emitirá ráfagas de señales emulando a las descargas parciales cuya frecuencia es de 150 kHz y amplitud 2Vpp.

Se inicia la aplicación y se comprueba que se puede cambiar el tamaño del panel frontal, escondiendo algunos elementos a izquierda y derecha haciendo clic en las flechas negras, tal y como se puede apreciar en la Figura 4.4.



(a)



(b)

Figura 4.4 a) Panel frontal completo. b) Panel frontal extendido.



A continuación se procede a pulsar el botón "Settings" en el panel frontal izquierdo con el fin de introducir los parámetros. En la ventana emergente que aparecerá introducimos los siguientes valores:

Pestaña de adquisición:

- Resource Name: PXI Slot5
- Channel Name(s): 0-4
- Vertical Range: 6 V
- Min.Sample Rate: 6MS/s
- Min.Record Length: 1000
- Level: 3V
- Event Period: 50 $\mu$  (Suficiente para registrar toda la duración de una emisión)
- Trigger Coefficient: 0,9
- Reference Channel: 0
- Path: Se escribió la ruta dónde se guardaron los datos.

Pestaña de Procesado:

- Filtro High Pass:
  - Fc: 100 kHz
  - Order: 8
- Filtro Low Pass
  - Fc: 300 kHz
  - Order: 8
- Wavelet:
  - Transform type: DWT
  - Wavelet: db14
  - Levels: 5
  - Option for appr: Threshold

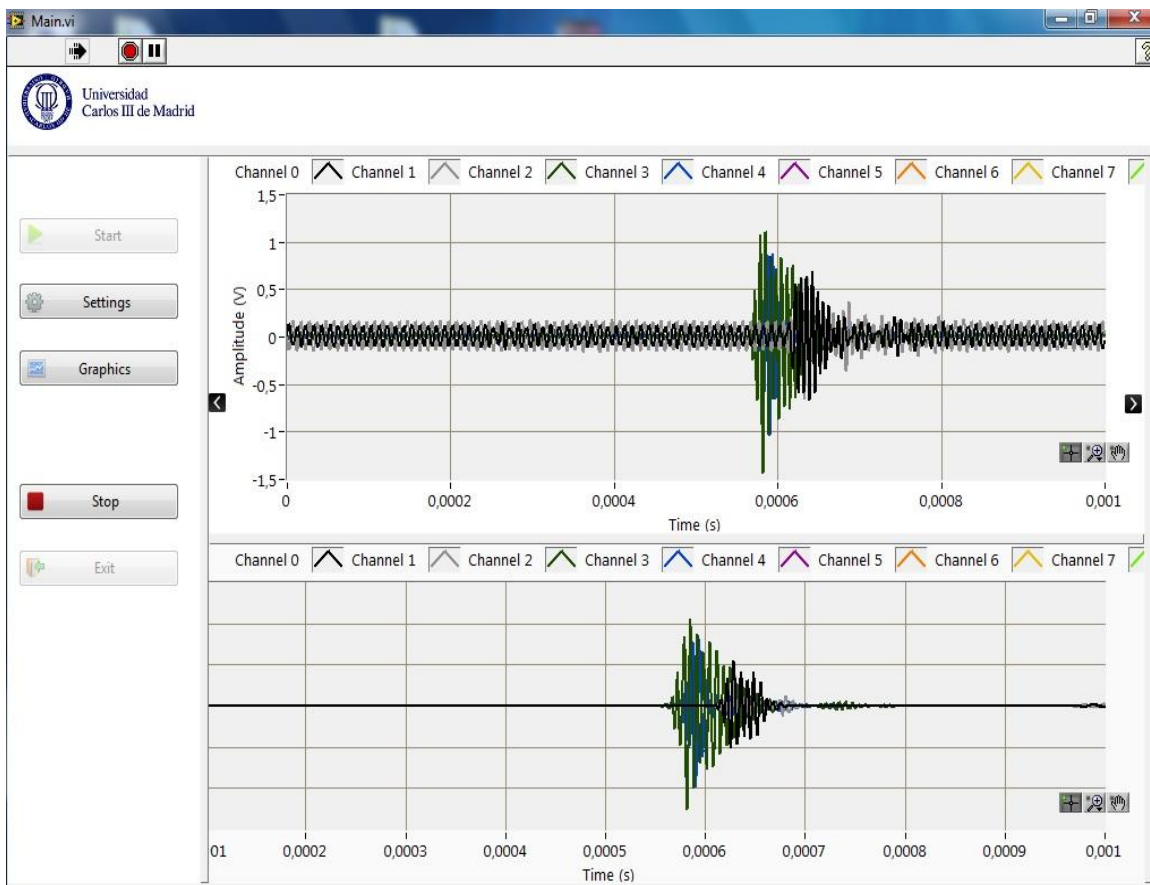
- Thresholding rule: Universal
- Rescaling method: Multiple levels
- Soft threshold: Activado

Los parámetros que aparecen en la ventana y no son nombrados, se les deja los valores que tienen por defecto para este experimento.

Finalizada la introducción de los parámetros, pulsamos en "Save" para guardar y pulsamos el botón de "Start".

Configurada e iniciada la aplicación, empieza a adquirir las señales, las representa, las procesa y guarda a disco los valores esenciales de ellas.

En la Figura 4.5 podemos apreciar cómo en el gráfico superior aparecen las señales de los cuatro sensores con un nivel de ruido alto y en el gráfico inferior aparecen las señales filtradas en línea.



*Figura 4.5 Panel frontal del experimento.*

## Evaluación

Analizando los resultados obtenidos se pudo observar que:

- La aplicación responde ante el redimensionamiento pulsando en los botones laterales.
- La configuración se introduce correctamente en la aplicación y es propagada a las distintas partes del programa.
- Los resultados observados por pantalla de las señales adquiridas son coherentes.
- El resultado observado del proceso de filtrado (*denoising*) es satisfactorio, pudiendo apreciar la reducción del ruido introducido en el sistema.
- El volcado a disco se realiza correctamente sin pérdida de información obteniendo resultados coherentes con las condiciones del experimento.



# Capítulo 5

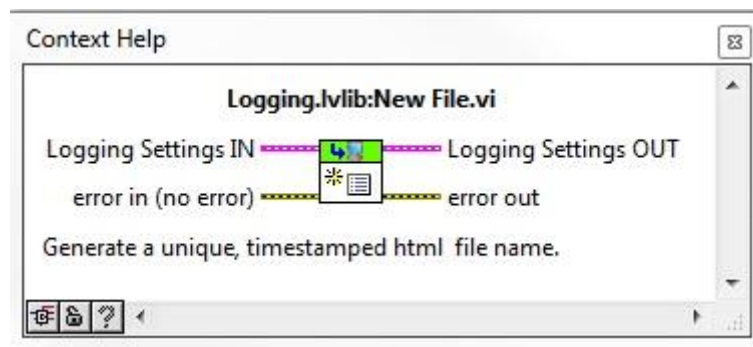
## Conclusiones y trabajos futuros

### 5.1 Conclusiones

En este trabajo, se ha desarrollado un sistema completo de adquisición multicanal en LabVIEW 2010, que permite monitorizar las señales captadas por varios sensores acústicos al mismo tiempo. Por otro lado se ha incluido una secuencia de procesamiento de la señal empleando técnicas de reducción de ruido (Wavelet, Paso Bajo y Paso Alto), consiguiendo reducir el umbral detectable y mejorando la adquisición de los tiempos de vuelo de los distintos sensores. Por último se ha diseñado un algoritmo de cálculo de los tiempos de vuelo y un sistema de guardado a disco en formato HTML, proporcionando una gran potencia de cálculo a posteriori si es abierto en Excel o una buena visualización si es abierto por el explorador. Con respecto al diseño de la aplicación, en un principio se propuso un diseño simple de máquina de estados. Sin embargo, una vez realizado el análisis se vio que la aplicación no sería capaz de manejar el gran volumen de datos (hasta 60 millones de muestras por segundo) y manejar los eventos de la interfaz de usuario al mismo tiempo. Por otra parte, se trataba de sustituir la programación secuencial original por una más eficiente, ampliable en número de canales y con posibilidad de

respuesta en-línea (en contraposición a un post-procesamiento). Por ello se decidió basar la aplicación en la estructura QMH (Queued Message Handler), ya que permite ejecutar paralelamente todas las etapas del programa (Adquisición, procesados, análisis, volcado a disco, interfaz de usuario y representación) y manejar los eventos procedentes de la interfaz de usuario.

Adicionalmente se han seguido los principios de escalabilidad, legibilidad y fácil mantenimiento. El programa es escalable y fácil de mantener ya que con unos pequeños cambios puede afrontar adquirir datos de más canales o introducir nuevas operaciones y cálculos. En cuanto a la legibilidad, si en un futuro otro programador necesitase hacer algún tipo de ampliación o modificación, le sería fácil ya que todo el código está ordenado y cada función tiene introducido un pequeño resumen de lo que realiza (Pulsando Control + H y pasando el ratón por encima de la función), en la Figura 5.1 podemos ver un ejemplo de ello.



*Figura 5.1 Ayuda contextual de una función.*

Como conclusión, se ha creado una aplicación escalable, legible y fácil de mantener con interfaz de usuario que permite detectar emisiones acústicas como las generadas por las descargas parciales y preparada para su utilización en ensayos y medidas en campo.

## 5.2 Trabajos futuros

Partiendo del sistema de instrumentación multicanal desarrollado en este trabajo es posible abordar nuevas metas relacionadas con la detección y localización de emisiones acústicas y su aplicación a descargas parciales. Entre los futuros objetivos a desarrollar estaría:

1. Introducir los algoritmos de localización como una nueva etapa de la aplicación, con el fin de obtener una representación gráfica del fenómeno. La información fuente se genera de forma estructurada con la actual aplicación.
2. Diseñar una aplicación que lea el código HTML y analice los resultados con el fin de profundizar en el estudio del fenómeno físico de las descargas parciales.
3. Introducir nuevas formas de guardado a disco con el fin de que sean utilizados en otras plataformas que incluyen algoritmos de diagnóstico basados en múltiples fuentes de información. Cabe destacar la posibilidad de incorporar información para la localización del fallo, complementaria a la información más habitual de detección y decisión.
4. Integrar un sistema multicanal de sensores de fibra óptica para mejorar la detección de las descargas parciales en entornos blindados y apantallados como la cuba de un transformador.





# Referencias

- [1] S.Sriram et al, "Signal Denoising Techniques for Partial Discharge Measurements"; IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. Vol 12, pp. ISSN 1070-9878, 2005.
- [2] L.E Lundgaard, "Partial Discharge XIII, Acoustic Partial Discharge Detection-Fundamental Considerations", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol 8, No.4, July/August 1992, pp. 25-31.
- [3] "IEEE Guide for the Detection and Location of Acoustic Emissions from Partial Discharges in Oil-immersed Power transformers and Reactors", IEEE Standard C57.127, 2007.
- [4] National Instruments, "LabVIEW Core 3", Course Manual, January 2013, pp 1-3 - 1-4.
- [5] C. Heitz, "A Generalized Model for Partial Discharge Processes based on a Stochastic Process Approach", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 32, pp.1012\_1023, 1999.
- [6] C.S.Burrus, R.A.Gopinath and H.Guo, "Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms", Prentice-Hall International, chs 1, 2, 3 and 10, 1998.
- [7] W. Hang, T. Kexiong and Z. Deheng, "Extraction of Partial Discharge Signals using Wavelet Transform", 5th IEEE Int. Conf. Properties and Applications of Dielectric Materials, Seoul, Korea, pp. 322\_325, 1997.
- [8] T. W. Parks and C. S. Burrus, Digital Filter Design, New York: John Wiley and Sons, 1987.

- [9] Karl, J. H., "An Introduction to Digital Signal Processing", Academic Press, Inc, 1989.
- [10] National Instruments, " LabVIEW Core 2", Course Manual, January 2011, pp 1-2 - 1-12.
- [11] Wilbert O. Galitz, "The Essential Guide to User Interface Design" , Wiley, Third Edition, ISBN: 0-570-05342-9, pp 1-12
- [12] National Instruments LabVIEW Help, "Text Characteristics", LabVIEW 2010.
- [13] Iago Búa Núñez, Julio E. Posada Román, Jesús Rubio Serrano y José A. García Souto "Multichannel Acquisition System and Denoising for the Detection and Location of Partial Discharges using Acoustic Emissions" , Universidad Carlos III de Madrid, I2MTC 2013.
- [14] Julio E. Posada Román, Jesús Rubio Serrano y José A. García Souto, "Sistema de Instrumentación para la detección y Localización de Descargas Parciales por medio de emisiones acústicas" , SAAEI 1, Julio 2011, pp. 379-384.

# Capítulo 6

## Anexos

**Anexo I:** Máquinas de Estado y Diagramas de flujo de la aplicación.

**Anexo II:** Documentación técnica de sensores R15I-AST e Hidrófono B&K 8103.

**Anexo III:** Documentación técnica del sistema de adquisición de datos.

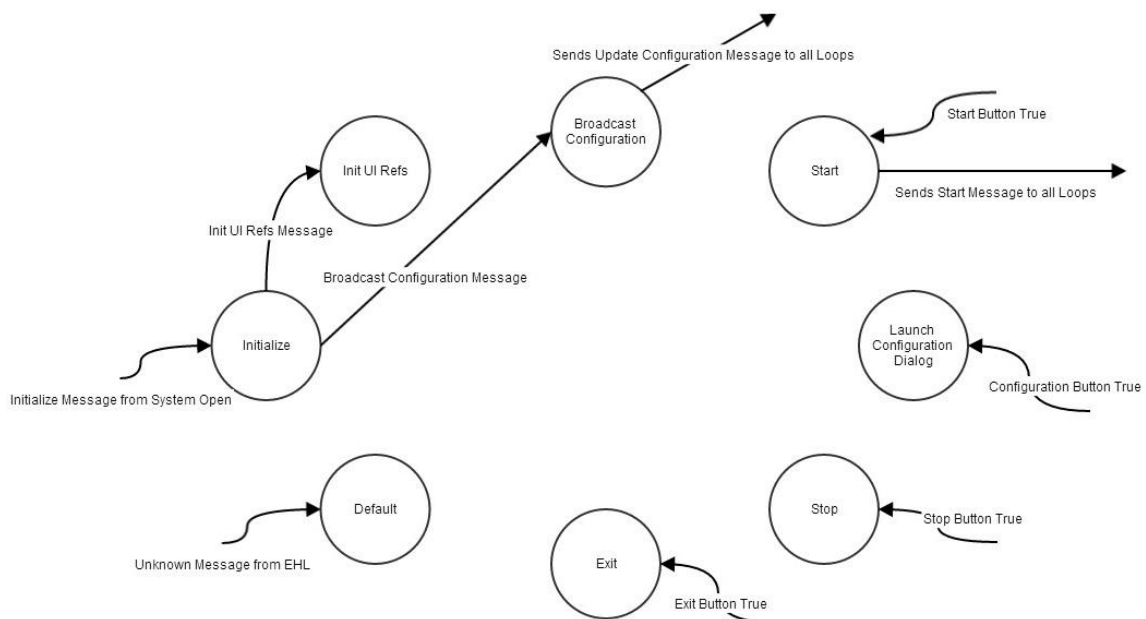
**Anexo IV:** Manual para una futura ampliación de la aplicación.

**Anexo V:** Presupuesto.

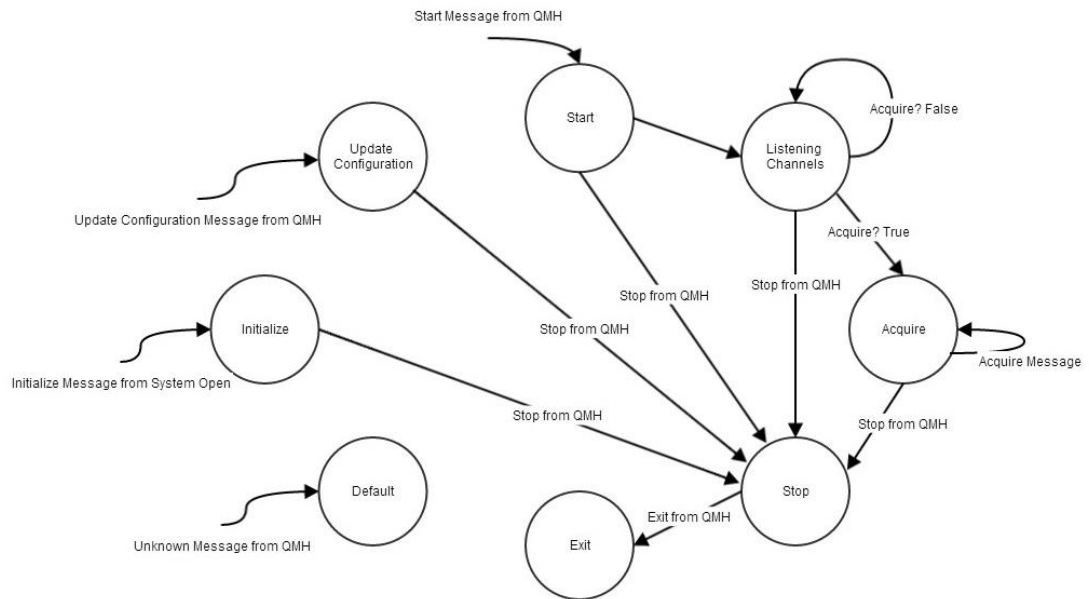
# Anexo I:

## Máquinas de Estados y Diagramas de Flujo

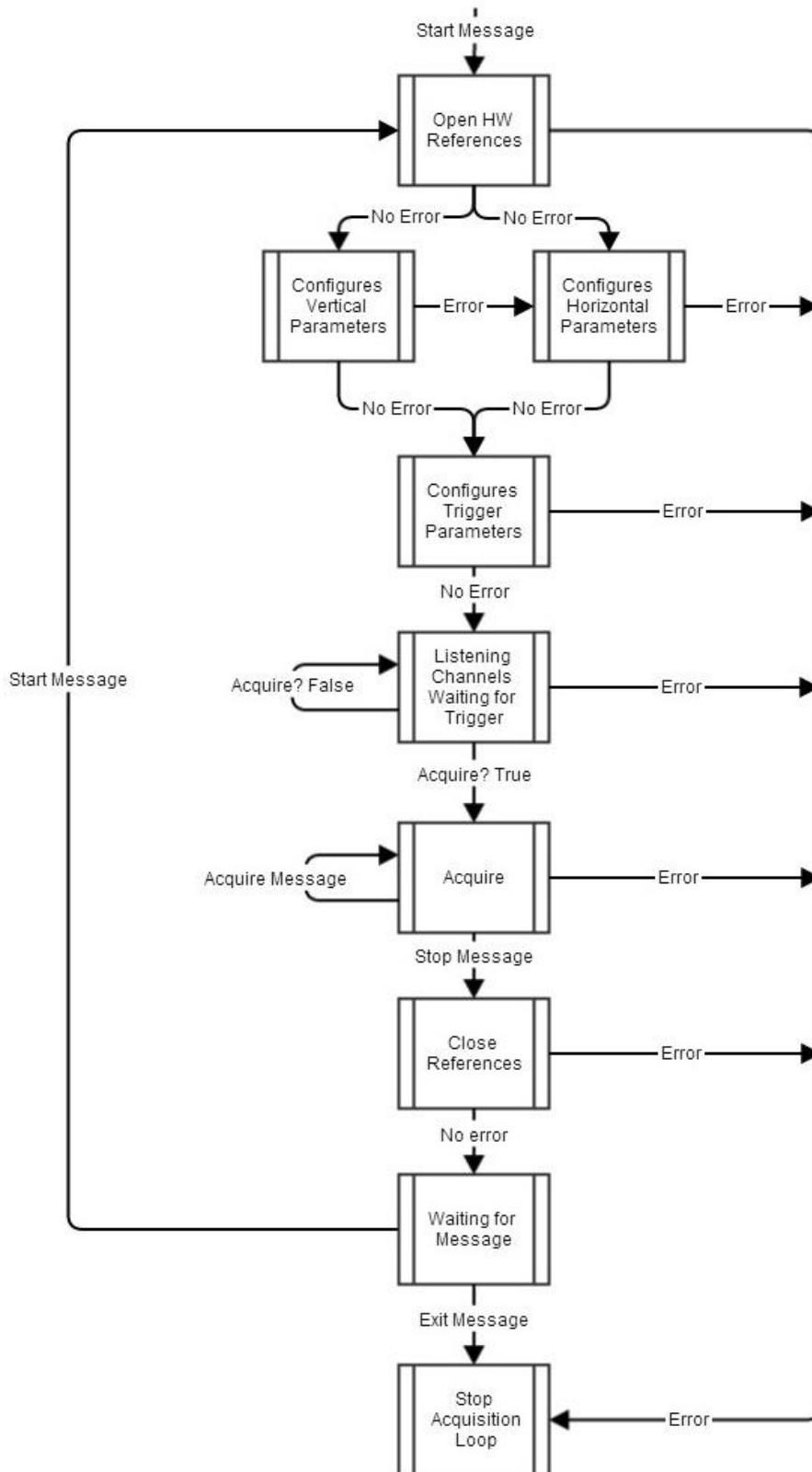
### QMH State Machine



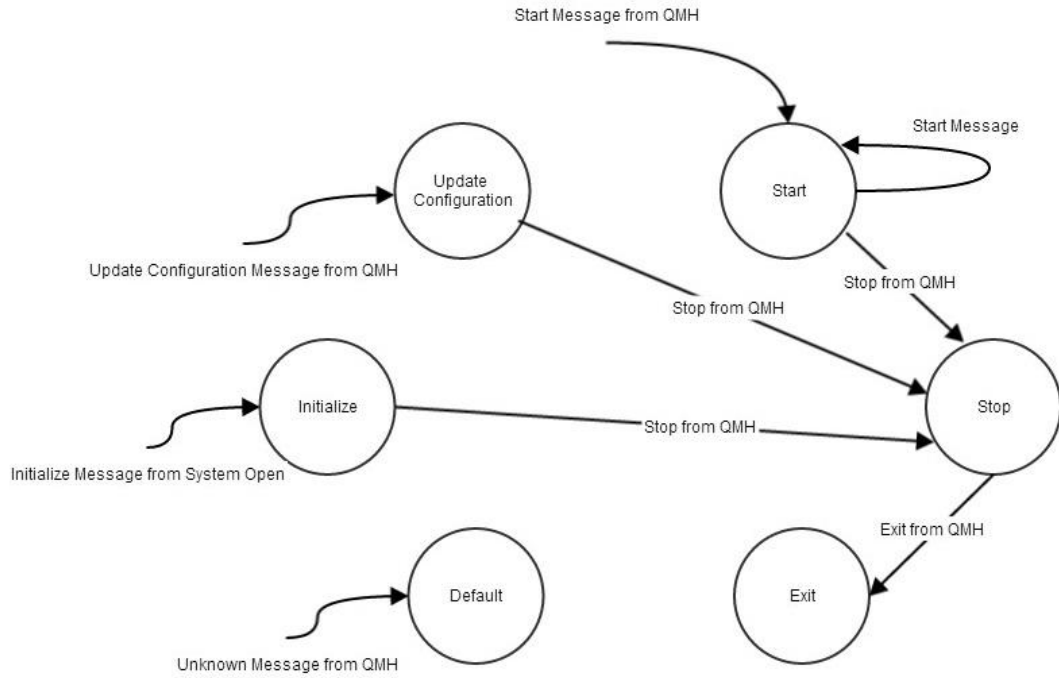
# Acquisition State Machine



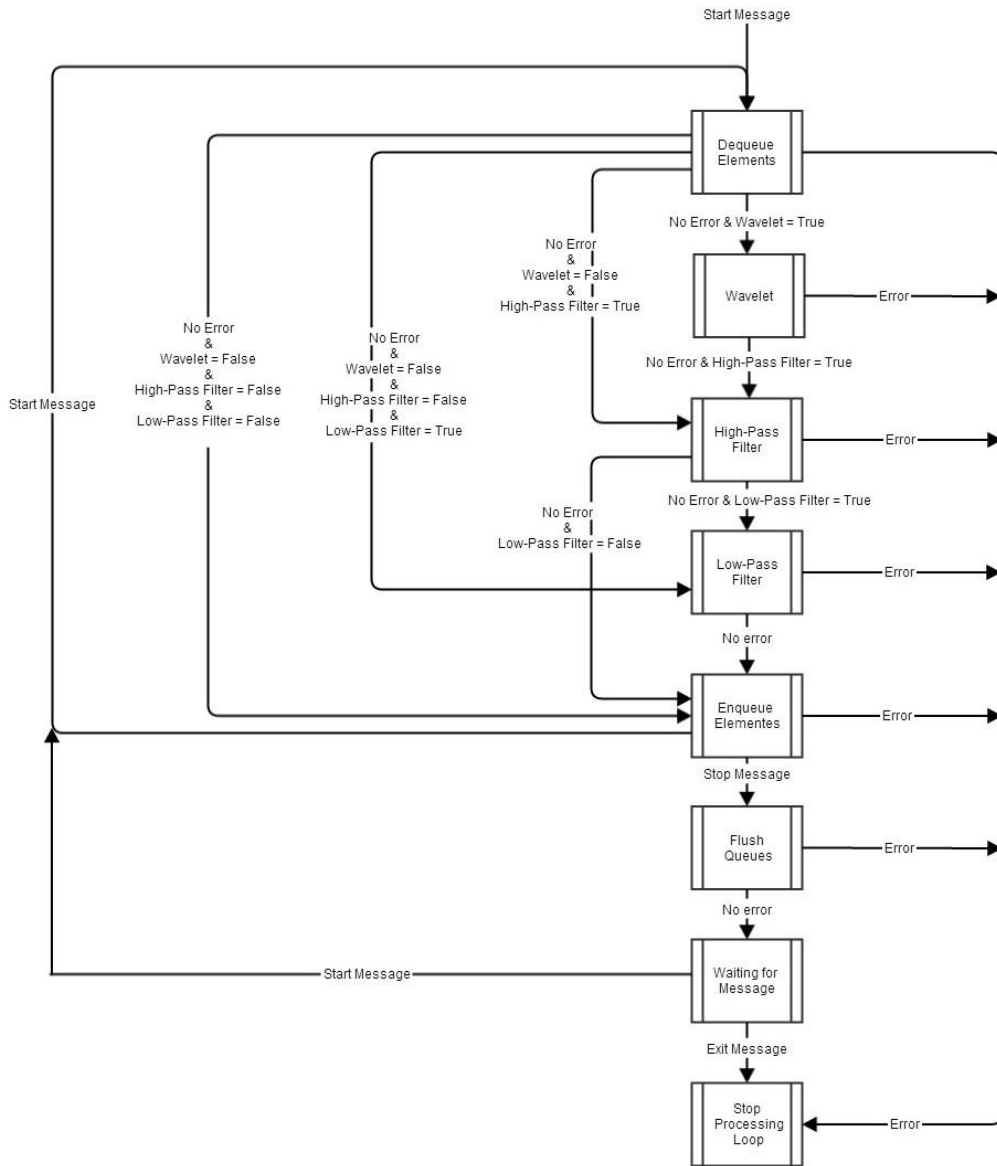
# Acquire Flowchart



# Processing State Machine

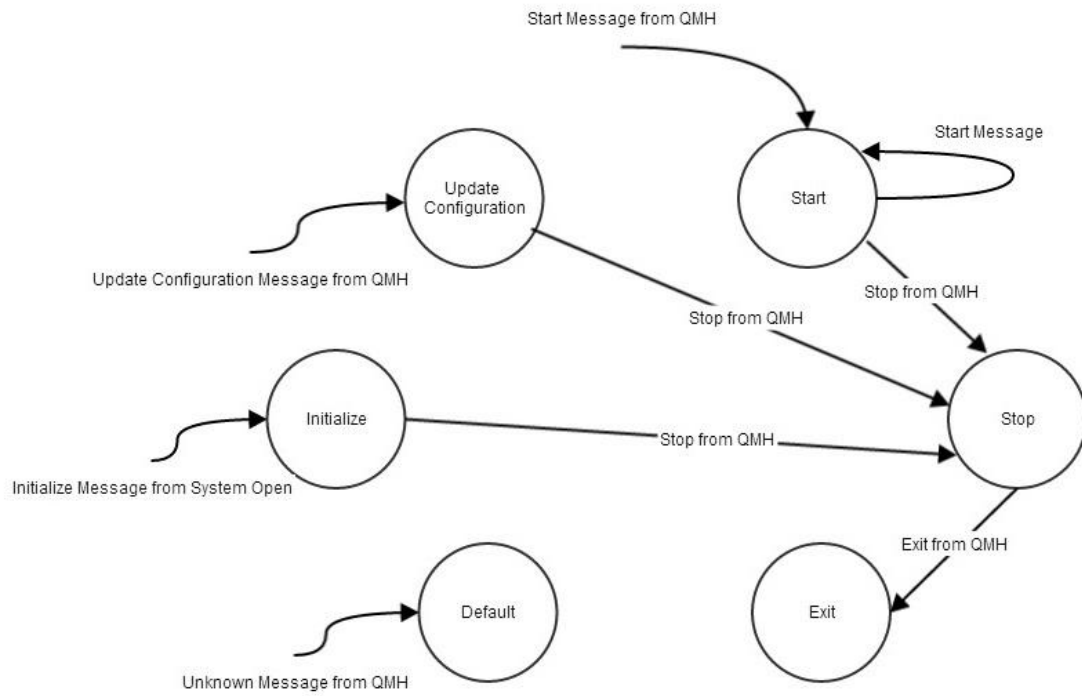


# Processing Flowchart

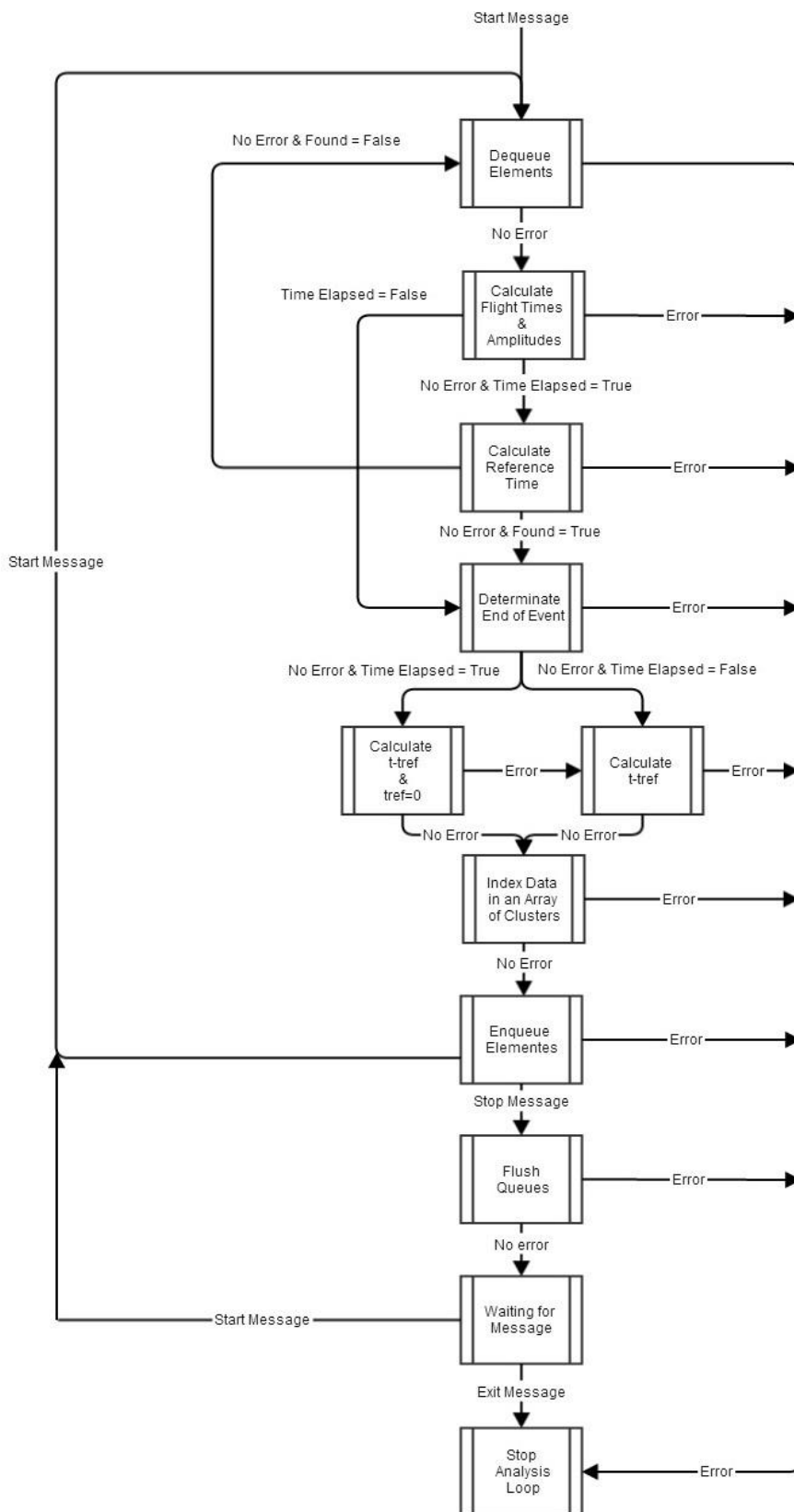




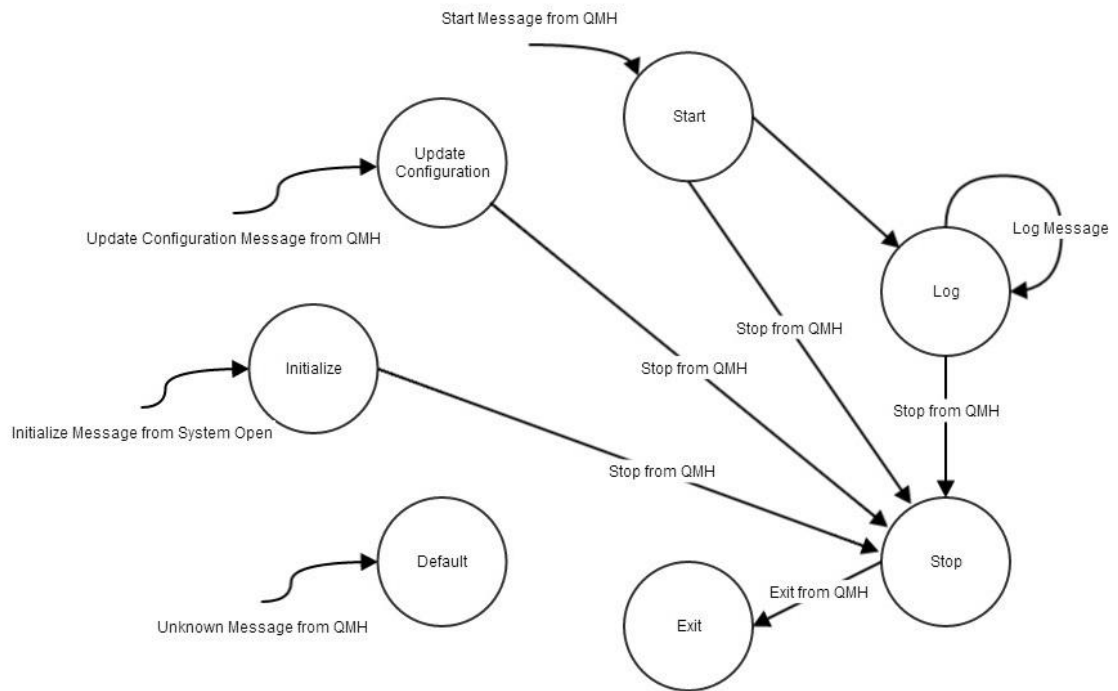
# Analysis State Machine



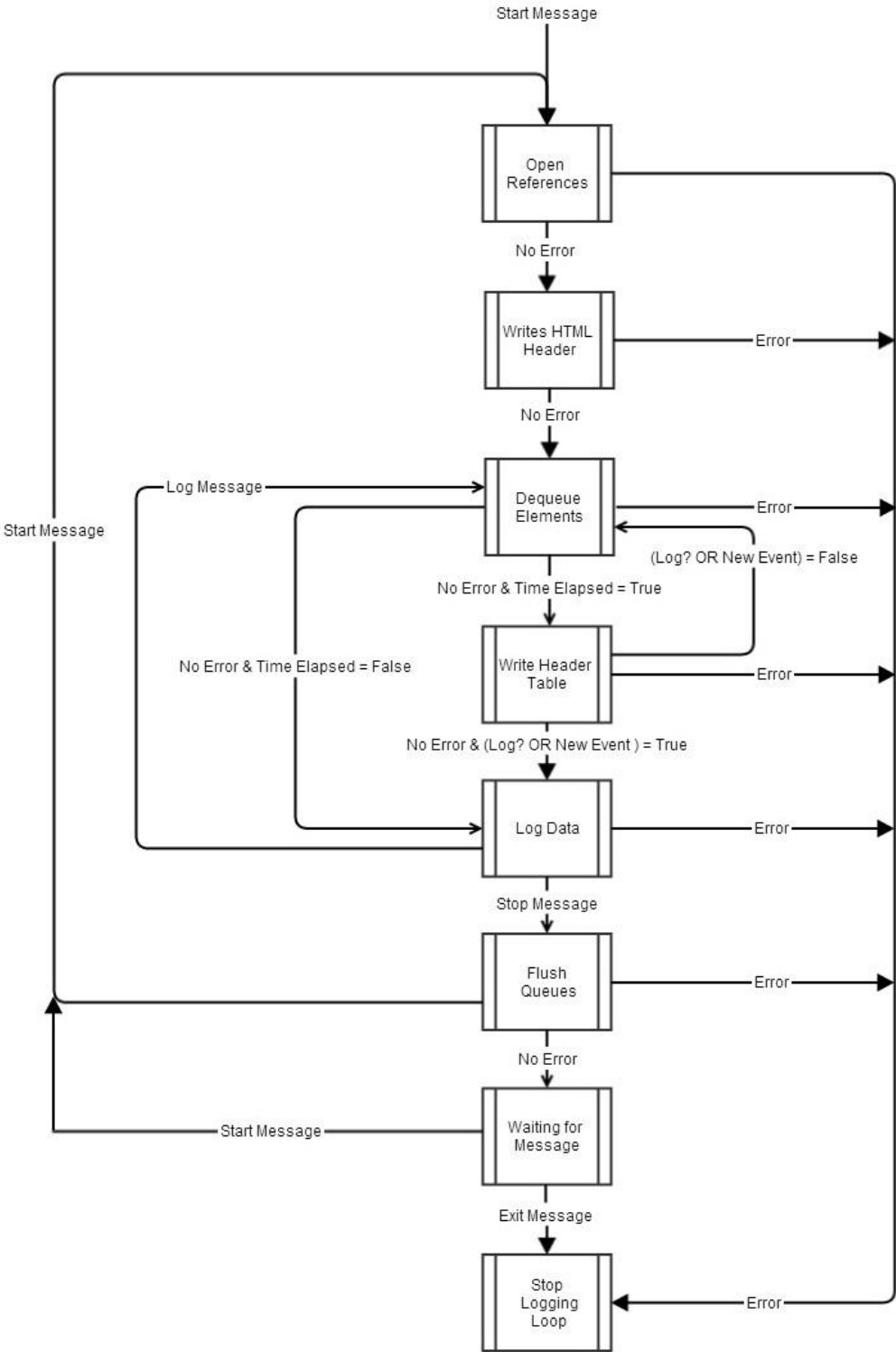
# Analysis Flowchart



# Logging State Machine



# Logging Flowchart



# Product Data

## Hydrophones — Types 8103, 8104, 8105 and 8106

### USES:

- Calibration reference standard
- Ultrasonic measurements in liquids
- Cavitation measurements
- Laboratory and industrial measurements in liquids and gases
- As underwater projectors (8103, 8104 and 8105)
- Noise measurements in humid and polluted atmospheres

### FEATURES:

- Frequency ranges from 0.1 Hz to 180 kHz
- Individually calibrated; traceable to NIST
- Flat frequency response over wide range
- Omnidirectional over wide frequency range
- Working pressures up to  $9.8 \times 10^6$  Pa (100 atm. [1000 m])
- Shielded-element construction
- Highly corrosion resistant

### ADDITIONAL FEATURES 8103:

- Very small size (50×9.5 mm)
- -3 dB limit in air at 15 kHz
- Double-shielded low-noise integral cable

### ADDITIONAL FEATURES 8105:

- Omnidirectional over full frequency range
- No metallic parts exposed
- -3 dB limit in air at 7 kHz

### ADDITIONAL FEATURES 8106:

- High sensitivity: -174 dB re 1 V/μPa
- Built-in preamplifier with provision for insert-voltage calibration
- Durable construction
- Equivalent noise level well below sea-state zero

The Brüel & Kjær range of hydrophones is a range of individually calibrated waterborne-sound transducers which have a flat frequency response and are omnidirectional over a wide frequency range. Their construction is such that they are absolutely waterproof and have good corrosion resistance. There are four types of Brüel & Kjær Hydrophone:

Type **8103** is suitable for laboratory and industrial use and particularly for the acoustic study of marine animals or for cavitation measurements.

Type **8104** is ideal for calibration purposes.

Type **8105** is a robust spherical hydrophone usable down to 1000 m ocean depth with excellent directional characteristics, being omnidirectional over 270° in the axial plane and 360° in the radial plane.

Type **8106** has a built-in amplifier which gives a signal suitable for transmission over long underwater cables. It is usable down to 1000 m ocean depth.



The Brüel & Kjær range of water-borne-sound transducers consists of the following:

**Hydrophone Type 8103.** A small-size, high-sensitivity transducer for making absolute sound measurements over the frequency range 0.1 Hz to 180 kHz with a receiving sensitivity of  $-211$  dB re  $1$  V/ $\mu$ Pa. It has a high sensitivity relative to its size and good all-round characteristics which make it generally applicable to laboratory, industrial and educational use. The 8103's high-frequency response is especially valuable when making acoustic investigations of marine animals and in the measurement of the pressure-distribution patterns in ultrasonic-cleaning baths. It is also useful for cavitation measurements. Fig. 1 indicates the major features of the 8103.

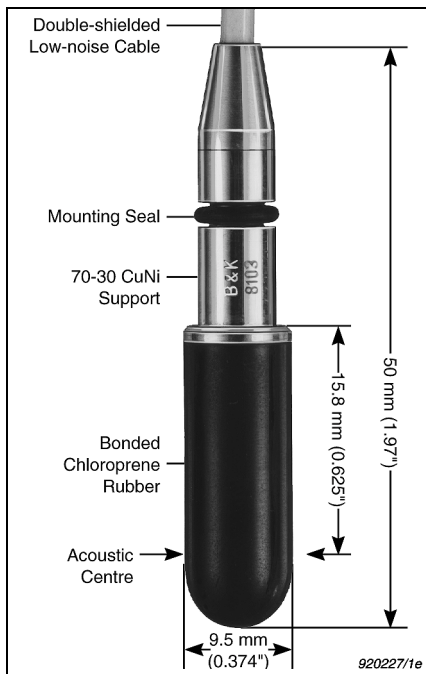


Fig. 1 Hydrophone Type 8103

**Hydrophone Type 8104.** A wide-range standard measuring transducer for making absolute sound measurements over the frequency range 0.1 Hz to 120 kHz with a receiving sensitivity of  $-205$  dB re  $1$  V/ $\mu$ Pa. It can also be used as a sound transmitter (projector) which makes it ideal for calibration purposes by the reciprocity, calibrated-projector and comparison methods. The main features of the 8104 are shown in Fig. 2.

**Hydrophone Type 8105.** A small, spherical transducer for making absolute sound measurements over the frequency range 0.1 Hz to 160 kHz with a receiving sensitivity of  $-205$  dB

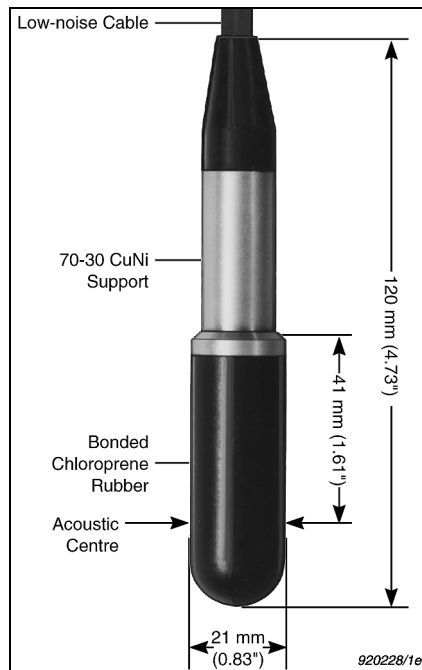


Fig. 2 Hydrophone Type 8104

re  $1$  V/ $\mu$ Pa. It is rugged, being capable of withstanding pressures of up to  $10^7$  Pa (100 atm.; 1000 m (3250 ft.) ocean depth). This hydrophone has excellent directional characteristics: at 100 kHz, it is omnidirectional over  $360^\circ$  in the  $x$ - $y$  (radial) plane and  $270^\circ$  in the  $x$ - $z$  (axial) plane. The Type 8105 is illustrated in Fig. 3.

**Hydrophone Type 8106.** A wide-range, general-purpose transducer for making absolute sound measurements over the frequency range 7 Hz to 80 kHz with a receiving sensitivity of  $-174$  dB re  $1$  V/ $\mu$ Pa. The hydrophone is capable of withstanding high static pressure, the operational upper limit being  $10^7$  Pa (100 atm.; 1000 m (3250 ft.) ocean depth). A built-in high-quality, thick-film, low-noise, 10 dB preamplifier provides signal conditioning for transmission over long underwater cables. The preamplifier features a 7 Hz high-pass filter and an insert-voltage calibration facility, but does not allow the hydrophone to be used as a projector. An integrated watertight connector allows quick disconnection of the cable and makes replacements and storage very easy. Type 8106 is shown in Fig. 4.

## Construction

The four Brüel & Kjær Hydrophones are piezoelectric transducers, i.e., they use piezoelectric ceramics as

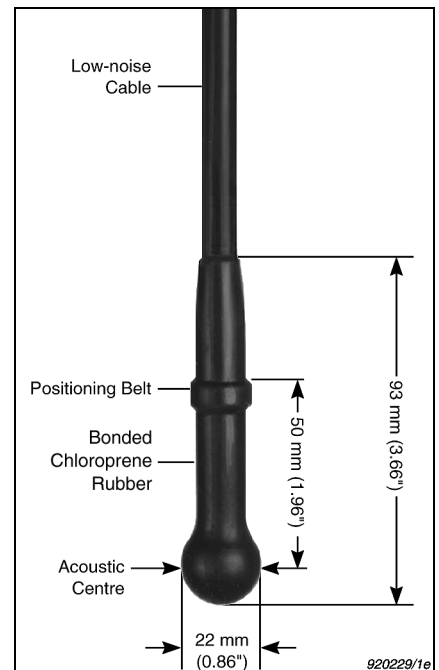


Fig. 3 Hydrophone Type 8105

sensing elements. The piezoelectric sensing element and its internal supporting structure are permanently bonded into sound-transparent polychloroprene rubber.

The support body of Hydrophones Types 8103 and 8104 is made from a 70-30 Copper-Nickel alloy. Type

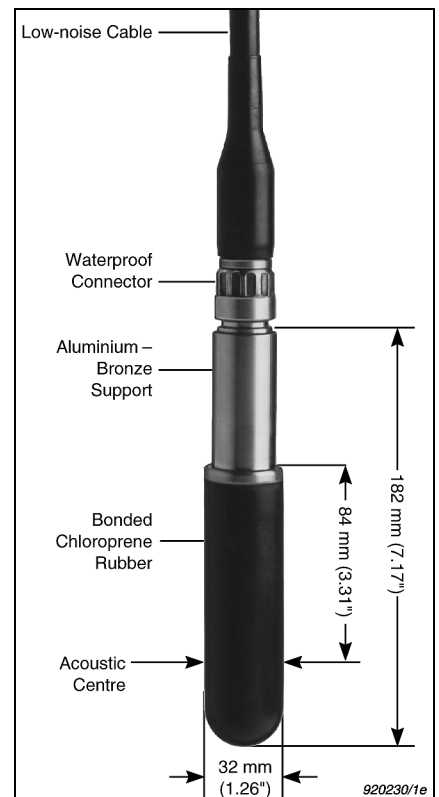


Fig. 4 Hydrophone Type 8106

8106's support body is made of Aluminium-Bronze alloy  $\text{CuAl}_{10}\text{Ni}_5\text{Fe}_4$  (ISO 428). Both alloys have extremely high corrosion resistance to virtually all hostile environments, and very good anti-fouling properties when immersed in seawater. Type 8105 has no metal parts exposed.

The internal support is mechanically and electrically isolated from the metal housing, being coupled only by synthetic rubber. This provides vibration isolation of the sensing element. Except for Type 8106, the hydrophones are equipped with an integral cable, the shield of which is connected to the internal support/housing, thus providing electrical shielding for the sensing element. Note that Type 8103 has its internal support and metal housing connected at the plug end of the cable.

## Cables and Connectors

Special care has been taken in the production of Brüel & Kjær Hydrophone Cables in order to obtain good electrical shielding. This enables the hydrophones to be used in air and in water tanks where the electrical potential of the water is different from the ground potential, as well as in cases of high electromagnetic interference.

The miniature Hydrophone Type 8103 is fitted with 6 m integral double-shielded cable terminated with a Brüel & Kjær Miniature Plug JP 0056. In cases of high electromagnetic interference, a metal screen can be clamped onto the metal support. This support is connected internally to the outer shield of the cable which is in turn connected to the inner shield of the terminating plug end of the cable.

Hydrophones Types 8104 and 8105 have integral 10 m cables (AC 0034) fulfilling MIL-C-915. These are fitted with BNC plugs. For use at greater depths (up to 1000 m with the 8105), MIL-C-915 standard extension cables of up to 300 m are available to order. These can be fitted to the hydrophone's integral cable with Brüel & Kjær Waterproof Connectors JP 0415 (male) and JJ 0415 (female), which are suitable for use with Hydrophones Types 8104 and 8105. Pictorial assembly instructions are provided with each male or female connector set. We recommend that the male connector (JP 0415) is fitted to the cable on the hydrophone.

Hydrophone Type 8106 is supplied without a cable. A 10 m Cable

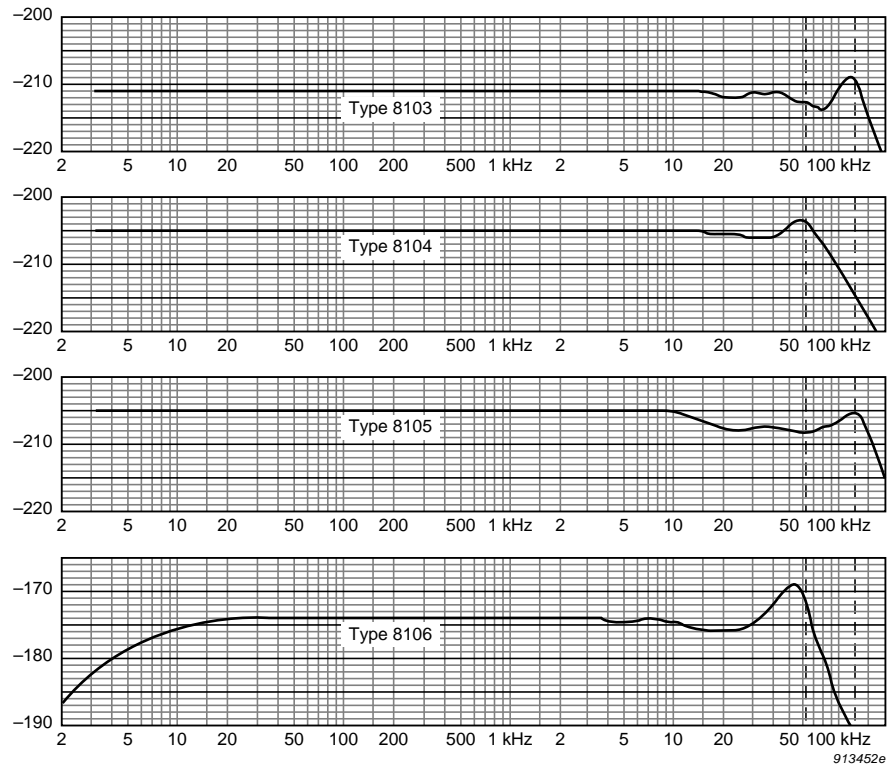


Fig. 5 Typical receiving frequency characteristics of Hydrophones Types 8103, 8104, 8105 and 8106 (dB re 1V/ $\mu\text{Pa}$ )

AO 0390 (a 10 m length of AC 0101: see below) mounted with a watertight Connecting Plug JP 0735 and a Brüel & Kjær 7-pin Plug JP 0717 is available for direct connection to the Preamp. socket of Brüel & Kjær Measuring Amplifiers and Frequency Analyzers. The Connecting Plug JP 0735 fits the 7-pin female connector (corresponding to the Jupiter® connector series 10M) which is an integrated part of the hydrophone's bronze support.

For use of Type 8106 at depths greater than 10 m, Hydrophone Cable AC 0101 can be supplied in continuous lengths of up to 300 m. This cable is a screened, 4-core cable with built-in KEVLAR® reinforcement. AC 0101 can tolerate high loads – 1300 N in service, with a breaking load of 2600 N. This makes the cable strong enough to be self-supporting for measurements at ocean depths of 1000 m.

## Frequency Response and Directivity Patterns

Typical frequency responses of the hydrophones are shown in Fig. 5. These were measured in a water tank in free-field conditions achieved by means of pulse techniques using a

factory calibration Gating System Type 4440.

The hydrophones have very good omnidirectional characteristics. Typical directivity patterns of the hydrophones in water are shown in Fig. 6. These polar directivity patterns were measured in free-field conditions achieved by means of gating techniques in a water tank. This method requires a standard hydrophone as a projector and the unknown hydrophone as the receiver whose polar directivity pattern is to be determined.

## Calibration System

Fig. 7 shows a system which can be used for measurement of the frequency response of hydrophones and for calibration of hydrophone systems. With additional components, the directivity pattern is also included. The PULSE system Type 3560 is a PC-based system including a front-end with generator and input modules, Power Amplifier Type 2713, Turntable Type 3922, Turntable Interface Type 5997, Current Probe WB 1490 and a PC with software and Windows operating system. The principle is the well-known gating technique, where a tone burst is sent out from the generator, amplified in the power amplifier and sent to the transmitter (in

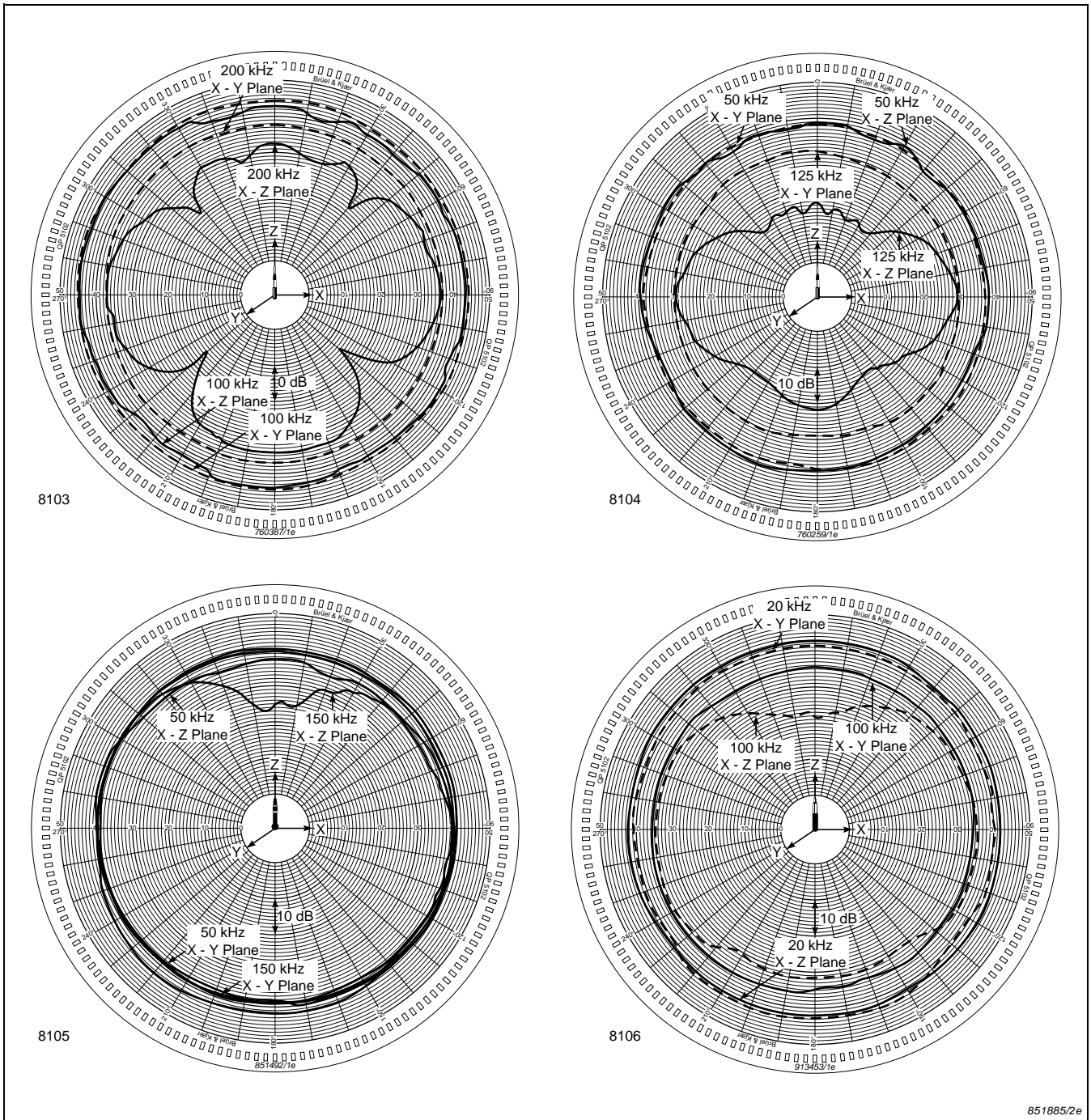


Fig.6 Typical directivity patterns of Hydrophones Types 8103, 8104, 8105 and 8106

this case a Hydrophone Type 8104). The signal received from another hydrophone is amplified and the time signal is shown on the PC monitor. A delay due to the distance between transmitter and receiver and a gating period depending on frequency range and tank dimensions is set up in the analyzer in order to analyze on a stable direct signal without transients or reflections from walls. The measurements are performed at specified frequencies and a complete report is

available. Directivity patterns can be found with software for the turntable. All responses include amplitude and phase. This system can be used for reciprocity, comparison and impedance measurements.

### Calibration

Each Brüel & Kjær Hydrophone is submitted to an extensive ageing and temperature stabilizing procedure be-

fore being individually calibrated. Individual calibration data and frequency response curves are supplied with each hydrophone. The receiving sensitivity calibration of Brüel & Kjær Hydrophones is traceable to NIST.

A convenient calibration check at low frequencies can be performed using Brüel & Kjær Hydrophone Calibrator Type 4229 (the sensitivity of a hydrophone is the same in air as in water for low frequencies). This pro-



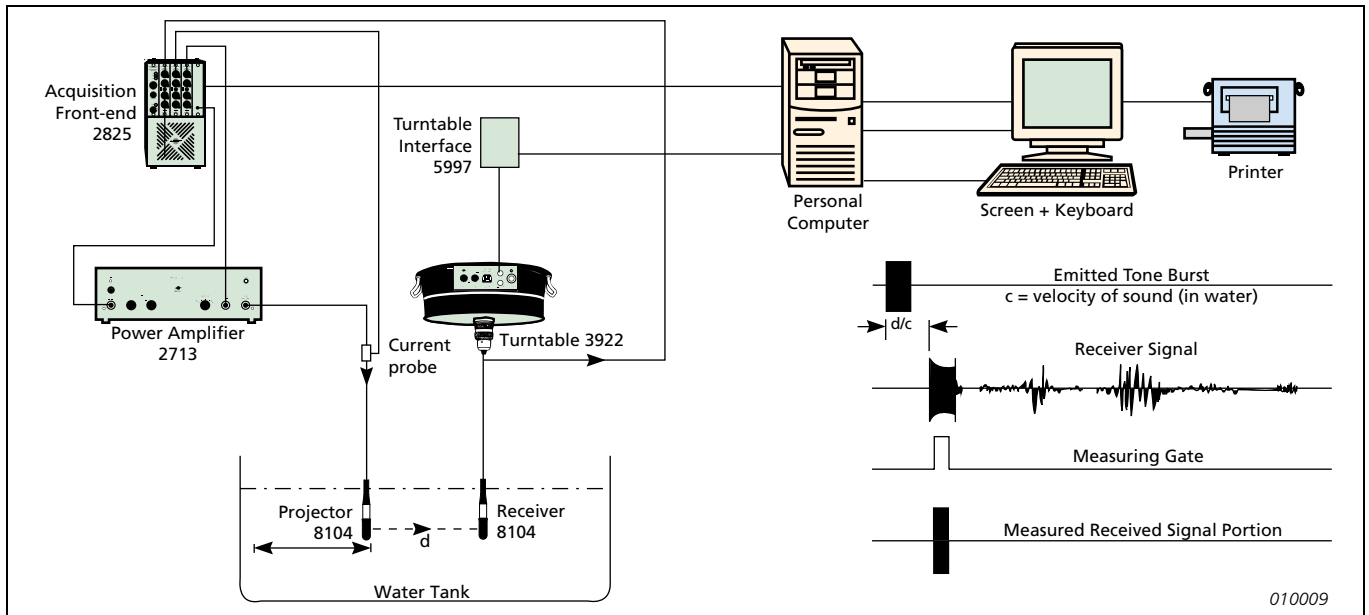


Fig.7 Hydrophone Calibration System: Set-up for Calibration in the 4kHz to 100kHz range using PULSE Multi-analyzer System Type 3560

vides a rapid and easy method for air calibration of sound measuring systems terminating in Brüel & Kjær Hydrophones. Type 4229 is battery powered and can be used both in the laboratory and in the field.

The principle of operation of the 4229 is the production of a sound pressure in the coupler cavity by four pistons which oscillate back and forth in phase. A frequency of 251.2 Hz is produced which is electronically maintained within  $\pm 0.1\%$ .

Fig. 8 shows sectional drawings of the Calibrator. The calibrator couplers are shown fitted with their respective Brüel & Kjær Hydrophones. The typical sound pressure levels produced in the coupler volumes are 166, 162, 151.5 and 152 dB re  $1 \mu\text{Pa}$  for the 8103, 8104, 8105 and 8106, respectively. Note that the sound pressure level in the coupler volume can be monitored with a  $\frac{1}{2}$ " microphones (see inset of Fig. 8), thus enabling the calibration to be traceable to NIST.

**Note:** The 8106 coupler, WA 0658, is available separately. The other couplers are supplied with Type 4229.

A barometer is supplied with the 4229 giving the atmospheric pressure correction in dB in the range  $0.65 \times 10^5$  to  $1.08 \times 10^5$  Pa (650 to 1080 hPa), i.e.  $-3.85$  to  $+0.55$  dB.

## Measurements

Before measurements are taken, the high-impedance output signals from Hydrophones Types 8103, 8104 and 8105 should be routed through a signal-conditioning amplifier. Although the entire Brüel & Kjær range of accelerometer preamplifiers is suitable, Conditioning Amplifier Type 2635 or Measuring Amplifier Type 2525 is recommended. These amplifiers feature sensitivity adjustment to give convenient output values (for example 0.1 or 1 V/Unit) and have a wide frequency range, and adjustable low-pass and high-pass filters. Note that Type 2635 is battery powered and portable. For technical details of these preamplifiers, the reader is referred to their respective product data sheets.

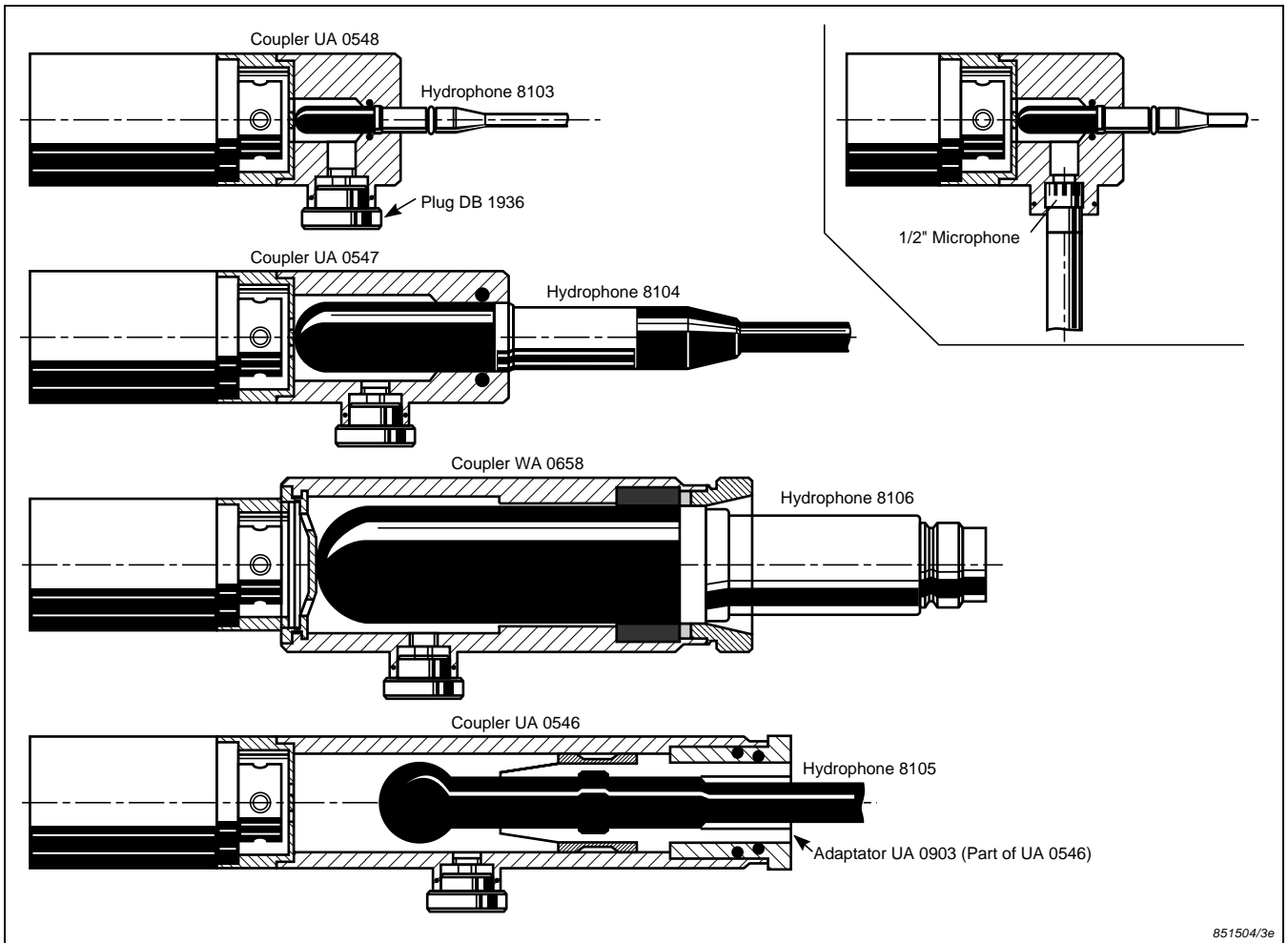
When using Type 8104 or 8105 with Measuring Amplifier Type 2525, BNC to TNC Adaptor JP 0226 must be used. The built-in preamplifier of Hydrophone Type 8106 provides an output signal which does not require further conditioning. The 8106 can be directly plugged into the Preamplifier socket of the Brüel & Kjær range of Measuring Amplifiers and Frequency Analyzers, with 7-pin Brüel & Kjær sockets, which supply the necessary voltages. Dual Microphone Supply Type 5935 must be ordered with modification WH 3125 and requires an external supply. Microphone

Multiplexer Type 2822 must be ordered with modification WH 3127.

## Use as Projectors

The piezoelectric effect of the sensing element is reversible, i.e., mechanical excitation causes an electrical output, and conversely, an applied alternating voltage causes corresponding mechanical excitation. Therefore, Hydrophones Types 8103, 8104 and 8105 (but not Hydrophone Type 8106 because it also includes a built-in preamplifier), can be used as sound transmitters (projectors), for both measurement and reciprocity calibration. Transmitting responses to voltage for Hydrophones Types 8103, 8104 and 8105 in water are shown in Fig. 9. Note the 12 dB/octave slope which is typical for piezoelectric hydrophones driven with constant voltage input.

When hydrophones are used as projectors, the driving signal requires power amplification. Brüel & Kjær Power Amplifier Type 2713 has been especially designed for driving Hydrophones Types 8103, 8104 and 8105 as projectors, but is also useful for driving other highly reactive loads. Type 2713 is a low-noise 100 VA power amplifier with a frequency range extending from 10 Hz up to 200 kHz, and a gain continuously adjustable between 0 and 60 dB



851504/3e

Fig.8 Mounting of Brüel & Kjær Hydrophones Types 8103, 8104, 8105 and 8106 on their respective couplers with Calibrator Type 4229. The inset shows a 1/2" microphone inserted into a coupler for monitoring the sound pressure level

over six 10 dB ranges. It also features selectable maximum output voltage limits, as well as extensive protective functions to prevent damage to both the amplifier and the transducer.

A feature of the Sine Generator 1051 is that its amplitude memory can be programmed with the inverse

of the projector hydrophone's transmitting response (Fig. 9). The combination of drive signal and projector characteristic then results in constant SPL with frequency. The set-up for this method of calibration is the same as that shown in Fig. 7.

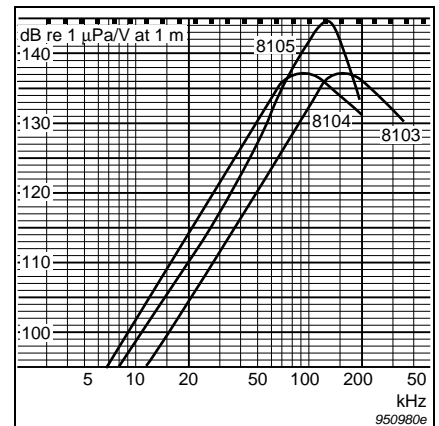


Fig.9 Typical transmitting response to voltage of Types 8103, 8104 and 8105

# Specifications 8103, 8104, 8105 and 8106

Type	8103	8104	8105	8106
Voltage sensitivity*: (with cable) at 20°C	30 $\mu$ V/Pa $\pm$ 8 $\mu$ V (-211 dB re 1 V/ $\mu$ Pa $\pm$ 2 dB)	56 $\mu$ V/Pa $\pm$ 15 $\mu$ V (-205 dB re 1 V/ $\mu$ Pa $\pm$ 2 dB)		2000 $\mu$ V/Pa $\pm$ 500 $\mu$ V (-174 dB re 1 V/ $\mu$ Pa $\pm$ 3 dB)
Charge sensitivity*:	0.12 pC/Pa	0.44 pC/Pa	0.42 pC/Pa	
Capacitance*: (with integral cable)	3850 pF	7800 pF	7500 pF	
Frequency range* (re 250 Hz):	(+1.5 dB) 0.1 Hz to 100 kHz (-6.0 dB) (+3.5 dB) 0.1 Hz to 180 kHz (-12.5 dB)	( $\pm$ 4.0 dB) 0.1 Hz to 80 kHz  (+4.0 dB) 0.1 Hz to 120 kHz (-12.0 dB)	(+1.0 dB) 0.1 Hz to 100 kHz (-6.5 dB) (+3.5 dB) 0.1 Hz to 160 kHz (-10.0 dB)	(+0.5 dB) 10 Hz to 10 kHz (-3.0 dB) (+0.5 dB) 7 Hz to 30 kHz (-8.0 dB)
Horizontal directivity*† (radial xy plane)	$\pm$ 2 dB at 100 kHz			$\pm$ 2 dB at 20 kHz
Vertical directivity: (axial xz plane)	$\pm$ 4 dB at 100 kHz	$\pm$ 2 dB at 50 kHz	$\pm$ 2 dB over 270° at 100 kHz	$\pm$ 3 dB at 20 kHz
Leakage resistance*: (at 20°C)	>2500 M $\Omega$			
Operating temperature range Short-term: Continuous:	-40°C to +120°C -40°C to +80°C			-10°C to +60°C
Sensitivity change with temperature Charge: Voltage:	0 to +0.03 dB/°C 0 to -0.03 dB/°C	0 to +0.03 dB/°C 0 to -0.04 dB/°C	0 to +0.03 dB/°C 0 to -0.03 dB/°C	- 0 to +0.01 dB/°C
Max. operating static pressure:	252 dB = 4 $\times$ 10 <sup>6</sup> Pa = 40 atm. = 400 m ocean depth		260 dB = 9.8 $\times$ 10 <sup>6</sup> Pa = 100 atm. = 1000 m ocean depth	
Sensitivity change with static pressure:	0 to -3 $\times$ 10 <sup>-7</sup> dB/Pa (0 to -0.03 dB/atm.)			0 to 1 $\times$ 10 <sup>-7</sup> dB/Pa 0 to 0.01 dB/atm.
Allowable total radiation dose:	5 $\times$ 10 <sup>7</sup> Rad.			
Dimensions: Length: Body dia:	50 mm (1.97") 9.5 mm (0.37")	120 mm (4.73") 21 mm (0.83")	93 mm (3.66") 22 mm (0.87")	182 mm (7.17") 32 mm (1.26")
Weight: (including integral cable)	170 g (0.37 lb)	1.6 kg (3.5 lb)		382 g (0.84 lb)
Integral cable:	6 m waterproof low-noise double-shielded teflon cable with standard miniature coaxial plug	10 m waterblocked low-noise shielded cable to MIL-C-915 with BNC plug		

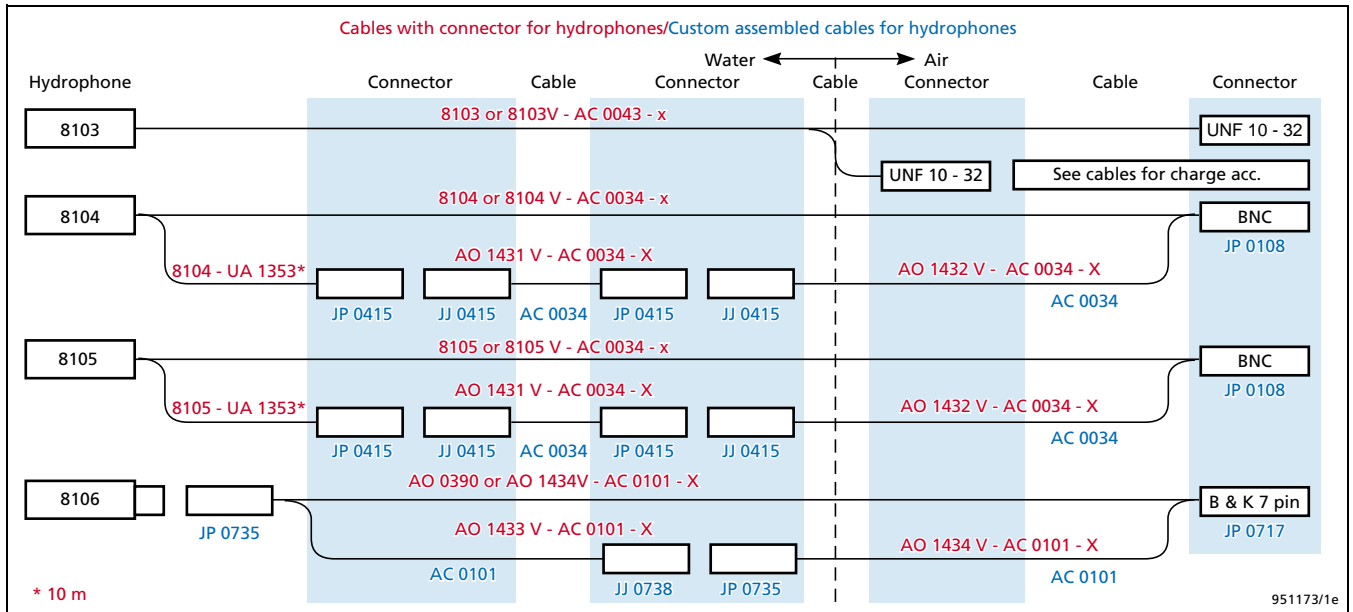
\* Nominal value, each hydrophone is supplied with its own calibration data

† See polar directivity given in Fig. 7

**Note:** All values are typical at 25°C (77°F), unless measurement uncertainty is specified. All uncertainty values are specified at 2 $\sigma$  (i.e. expanded uncertainty using a coverage factor of 2)

## Ordering Information

Optional Accessories	Type 8106:	Adaptors:
<b>Types 8104 and 8105:</b> AC 0034: Waterblocked low-noise shielded extension cable to MIL-C-915 available to any length up to 300 m JP 0415: Male underwater connector (for integral cable) JJ 0415: Female underwater connector (for extension cable) JP 0108: BNC connector for extension cable	WB 0850: Insert-voltage Junction Unit AC 0101: Watertight, shielded 4-core cable, Kevlar reinforced. Any length up to 300 m AO 0390: 10 m of AC 0101, with JP 0735 and JP 0717 JP 0717: 7-pin Brüel & Kjaer input connector JP 0744: Male underwater connector for Extension Cable AC 0038 JP 0735: Male underwater connector (for extension cable) JJ 0738: Female underwater connector (for underwater extension cable)	JP 0145: 10 - 32 UNF to BNC JP 0226: BNC to TNC JP 0162: 10 - 32 UNF to TNC JJ 2617: 10 - 32 UNF to 1/2" mic. amp WL 1260: 7 pin B&K to 7 pin LEMO  <b>General:</b> 4229: Hydrophone Calibrator Cables: See next page
		* Type 8106 requires Adaptor WA 0658, available separately



## Additional Specifications 8106

**MAX. OUTPUT SIGNAL:**  
 12 V supply: 3.5 V or 28 mA  
 24 V supply: 7.0 V or 28 mA

**MAX. POWER OUTPUT:**  
 50 mW

**OUTPUT IMPEDANCE:**  
 <30 Ω

**HIGH-PASS FILTER:**  
 -3 dB at 7 Hz (±2 Hz)

**DC RIPPLE REJECTION:**  
 20 Hz to 20 kHz: 70 dB

**OVERLOAD SOUND PRESSURE LEVEL:**  
 12 V supply: 182 dB re 1 μPa  
 24 V supply: 188 dB re 1 μPa

### Power Supply

**SUPPLY VOLTAGE:**  
 12 to 24 VDC

**POWER CONSUMPTION:**  
 6 mA without load

**Note:** All values are typical at 25°C (77°F), unless measurement uncertainty is specified. All uncertainty values are specified at 2σ (i.e. expanded uncertainty using a coverage factor of 2)

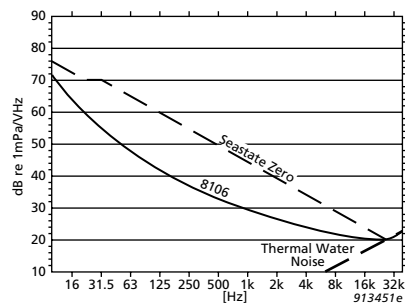


Fig. 10 Typical equivalent noise pressure level of Type 8106

### COMPLIANCE WITH STANDARDS:

	CE-mark indicates compliance with: EMC Directive IEC 61010-1
<b>Safety</b>	EN 61010-1 and IEC 1010-1: Safety requirements for electrical equipment for measurement, control and laboratory use.
<b>EMC Emission</b>	EN 50081-1: Generic emission standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50081-2: Generic emission standard. Part 2: Industrial environment. CISPR 22: Radio disturbance characteristics of information technology equipment. Class B Limits. FCC Class B limits.
<b>EMC Immunity</b>	EN 50082-1: Generic immunity standard. Part 1: Residential, commercial and light industry. EN 50082-2: Generic immunity standard. Part 2: Industrial environment. <b>Note 1:</b> The above is guaranteed using accessories listed in this Product Data sheet only. <b>Note 2:</b> Susceptibility when exposed to levels specified in EN 50082-2. Conducted RF: <30 mV Radiated RF: <120 mV
<b>Temperature</b>	IEC 60068-2-1 & IEC 60068-2-2: Environmental Testing. Cold and Dry Heat. Operating Temperature: -10 to +60°C (+14 to +140°F) Storage Temperature: -40 to +80°C (-40 to +176°F)
<b>Humidity</b>	IEC60068-2-3: Damp Heat: 90% RH (non-condensing at 40°C (104°F))
<b>Mechanical</b>	Non-operating: IEC 60068-2-6: Vibration: 0.3 mm, 20 m/s <sup>2</sup> , 10-500 Hz IEC 60068-2-27: Shock: 1000 m/s <sup>2</sup> IEC60068-2-29: Bump: 3000 bumps at 250 m/s <sup>2</sup>
<b>Enclosure</b>	IEC60529: Protection Provided by Enclosures: IP 68

Brüel&Kjær reserves the right to change specifications and accessories without notice

**Brüel & Kjær**

HEADQUARTERS: DK-2850 Nærum · Denmark · Telephone: +4545800500 · Fax: +4545801405 · <http://www.bksv.com> · e-mail: [info@bksv.com](mailto:info@bksv.com)  
 Australia (02)9450-2066 · Austria 0043-1-8657400 · Brazil (011)5182-8166 · Canada (514)695-8225 · China (86) 1068029906  
 Czech Republic 02-67021100 · Finland (09)755 950 · France (01)69907100 · Germany 06103/7335-0 · Hong Kong 25487486 · Hungary (1)2158305  
 Ireland (01)803 7600 · Italy 02 57 68061 · Japan 03-3779-8671 · Republic of Korea (02)3473-0605 · Netherlands (31) 318 559290 · Norway 66771155  
 Poland (22)858 9392 · Portugal (1)4711453 · Singapore (65) 377-4512 · Slovak Republic 421 7 544 307 01 · Spain (91)6590820 · Sweden (08)4498600  
 Switzerland (0)1 880 70 35 · Taiwan (02)7139303 · United Kingdom (0)1438 739 000 · USA 800 332 2040  
 Local representatives and service organisations worldwide



# R15I-AST Sensor

## Integral Preamplifier

### Acoustic Emission Sensor

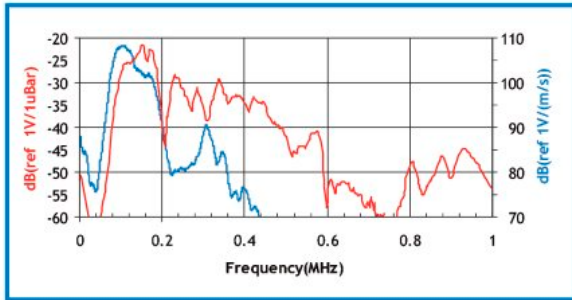
#### Description and Features

PAC's integral preamp sensors were specifically engineered to attain high sensitivity and have the capability to drive long cables without the need for a separate preamplifier. Incorporating a low-noise input, 40 dB preamplifier and a filter all inside the sensor housing, these transducers are completely enclosed in metal stainless steel (or aluminum) housings that are treated to minimize RFI/EMI interference. Care has also been taken to thermally isolate the critical input stage of the preamplifier in order to provide excellent temperature stability over the range of -35° to 75° C.

Their integrated Auto Sensor Test (AST\*) capability allows these sensors to pulse as well as receive. This feature lets you verify the sensor coupling and performance at any time throughout the test.

#### Applications

This general purpose sensor provides a good mix of high sensitivity and high low frequency rejection. These properties make it very useful for monitoring common structures such as pipelines, vessels, bridges, and storage tanks in petroleum, refineries, chemical plants, offshore platforms, as well as factory and process monitoring applications. It is PAC's most popular and highest volume selling sensor.



Frequency response of the R15I-AST. Calibration based on ASTM E1106; Calibration based on ASTM E976.

#### Operating Specifications

##### Dynamic

Peak Sensitivity, Ref V/(m/s) .....	109 dB
Peak Sensitivity, Ref V/ $\mu$ bar .....	-22 dB
Operating Frequency Range .....	80-200 kHz
Resonant Frequency, Ref V/(m/s).....	75 kHz
Resonant Frequency, Ref V/ $\mu$ bar .....	150 kHz
Directionality.....	+/-1.5 dB

##### Environmental

Temperature Range .....	-35 to 75°C
Shock Limit .....	500 g
Completely shielded crystal for maximum RFI/EMI immunity	

##### Physical

Dimensions.....	1.13" diameter x 1.23" h .....(29 x 31 mm)
Weight .....	70
Case Material.....	Stainless Steel (304)
Face Material.....	Ceramic
Connector .....	BNC
Connector Locations .....	Side

#### Ordering Information and Accessories

R15I .....	R15I-AST
Cable (specify cable length) .....	1234 - X
Magnetic Hold-Down .....	MHR15I
Amplifier .....	AE2A

##### Sensors include

NIST Calibration Certificate & Warranty

\* AST – Auto Sensor Testing feature allows AE systems to control the sensor as a pulser and a receiver at the same time. It can therefore characterize its own condition as well as send out a simulated acoustic emission wave that other sensors can detect, so the condition of the nearby sensors also can be tested.



195 Clarksville Road, Princeton Junction, NJ 08550

Phone: 609-716-4000 • Fax: 609-716-0706 •

Email: sales.systems@mistrasgroup.com • www.mistrasgroup.com



Due to continuing improvement, MISTRAS Group, Inc. reserves the right to amend specifications without notice.  
Copyright © 2010 MISTRAS Group, Inc. All Rights Reserved.

Rev. 10/05 #81-05

Last Revised: 2012-10-01 12:14:58.0

## 2.3 GHz Quad-Core Embedded Controller for PXI Express

### NI PXIe-8135



- Intel Core i7-3610QE quad-core processor (2.3 GHz (base), 3.3 (single-core Turbo Boost))
- Up to 8 GB/s system, up to 2 GB/s slot bandwidth
- 4 GB (1 x 4 GB DIMM) dual-channel 1600 MHz DDR3 standard, 16 GB (2 x 8 GB DIMM) maximum
- High-performance 7200 rpm integrated hard drive with standard option
- Six USB ports - 2 SuperSpeed USB, 4 Hi-Speed USB
- Two 10/100/1000BASE-TX Ethernet ports
- Other peripherals (GPIB (IEEE 488) controller, RS232 serial port, and IEEE 1284 ECP/EPP parallel port)
- In-ROM memory and hard drive diagnostics
- Software - already installed OS and drivers and hard-drive-based recovery image
- Complete PXI system configuration at ni.com/pxiadvisor

### Overview

The NI PXIe-8135 is a high-performance Intel Core i7-3610QE processor-based embedded controller for PXI Express systems. With the 2.3 GHz base frequency, 3.3 GHz (single-core Turbo Boost) quad-core processor, and dual-channel 1600 MHz DDR3 memory, the NI PXIe-8135 is ideal for processor-intensive, modular instrumentation, and data acquisition applications.

[Back to Top](#)

## Requirements and Compatibility

### OS Information

Windows 7  
Windows XP

[Back to Top](#)

## Application and Technology

### NI PXIe-8135 Features

CPU	Intel Core i7-3610QE, 2.3 GHz (base), 3.3 GHz (single-core Turbo Boost mode), 3.2 GHz (dual-core Turbo Boost mode), 3.1 GHz (quad-core Turbo Boost mode) <sup>1</sup>
L3 cache	6 MB shared Intel smart cache
System bandwidth	Up to 8 GB/s
Slot bandwidth	Up to 2 GB/s
PXI Express 4-link configuration	Four x4 links or two x8 links
Dual-channel 1600 MHz DDR3 RAM, standard	4 GB (1 x 4 GB)
Dual-channel 1600 MHz DDR3 RAM, maximum	16 GB (2 x 8 GB)
Hard drive (standard option), minimum	250 GB SATA (7200 rpm)

Hard drive (extended temperature and 24/7 option), minimum	80 GB SATA (5400 rpm)
10/100/1000BASE-TX (Gigabit) Ethernet ports	2
SuperSpeed USB ports	2
Hi-Speed USB ports	4
GPIO (IEEE 488) controller	
Serial port (RS232)	
Parallel port	
Watchdog/trigger SMB	
Installed OS <sup>2</sup>	Windows 7 Professional, Windows XP Professional SP3 for Embedded Systems <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Processor should not throttle CPU frequency under reasonable, worst-case processor workloads in high operating temperature.

<sup>2</sup> Contact National Instruments or visit [ni.com/pxiadvisor](http://ni.com/pxiadvisor) for information on other available operating systems.

<sup>3</sup> Windows XP Pro for Embedded Systems contains the same software bits and operates identically to Windows XP Pro. The main difference is the licensing that is used for Windows XP Pro for Embedded Systems.

Due to the [Microsoft support life cycle](#) for Windows XP, National Instruments will be unable to provide PXI embedded controllers with Windows XP preinstalled after 2015. View the [Microsoft support life cycle](#) for full details about Windows XP end of life for OEM partners.

Table 1. NI PXIe-8135 Features

## Quad-Core Processor

The NI PXIe-8135 includes the quad-core Intel Core i7-3610QE processor. Quad-core processors contain four cores, or computing engines, in one physical package. To increase the number of threads that you can process, the NI PXIe-8135 incorporates Intel Hyper-Threading technology that takes each of the four physical cores and splits them into two virtual cores, for a total of eight virtual cores. These eight virtual cores can execute eight computing tasks, which is advantageous in multitasking environments such as Windows 7. Multithreaded system development environments, such as NI LabVIEW, can take full advantage of the processing cores on the NI PXIe-8135 by automatically separating their tasks into independent threads. Figure 1 compares the SYSmark 2012 overall performance of the NI PXIe-8135 controller with other PXI embedded controllers.

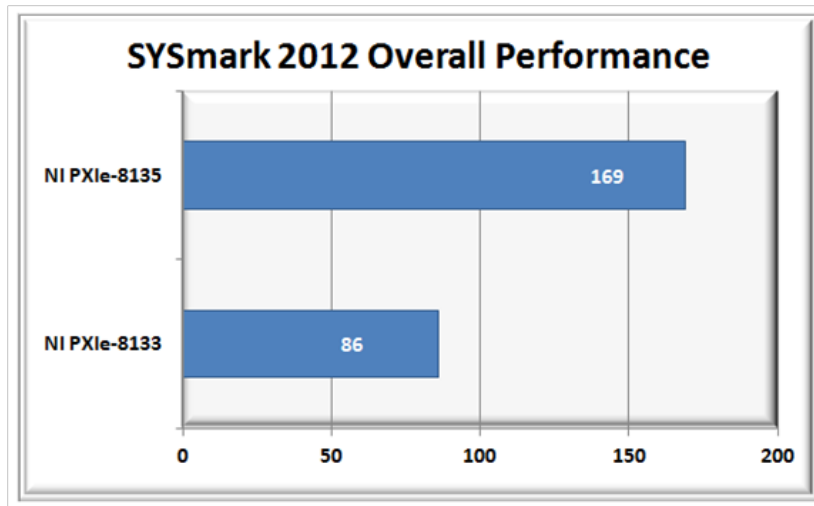


Figure 1. The NI PXIe-8135 provides up to 97 percent better performance than the NI PXIe-8133 embedded controller.

Previously, to fully exercise the four physical cores on the NI PXIe-8135, applications had to be architected to create four independent execution threads by implementing programming strategies such as task parallelism, data parallelism, and pipelining. However, Intel introduced Turbo Boost technology to provide performance benefits for all types of applications without requiring the application to be optimized for multicore processors. The NI PXIe-8135 has a 2.3 GHz base clock frequency, and, with Intel Turbo Boost technology, the frequency automatically increases based on the application type. For example, when running applications that generate only a single processing thread, the CPU places the three unused cores into an idle state and increases the active core's clock frequency from 2.3 to 3.3 GHz.<sup>1</sup> For applications that are processing two threads, the CPU places the two unused cores into an idle state and increases the active core's clock frequency from 2.3 to 3.2 GHz.<sup>1</sup> For applications using four threads, the CPU increases from 2.3 to 3.1 GHz.<sup>1</sup> Turbo Boost provides performance increases for all types of applications and can significantly reduce test times for applications that are processor-intensive.

<sup>1</sup>Processor should not throttle CPU frequency under reasonable, worst-case processor workloads in high operating temperatures.

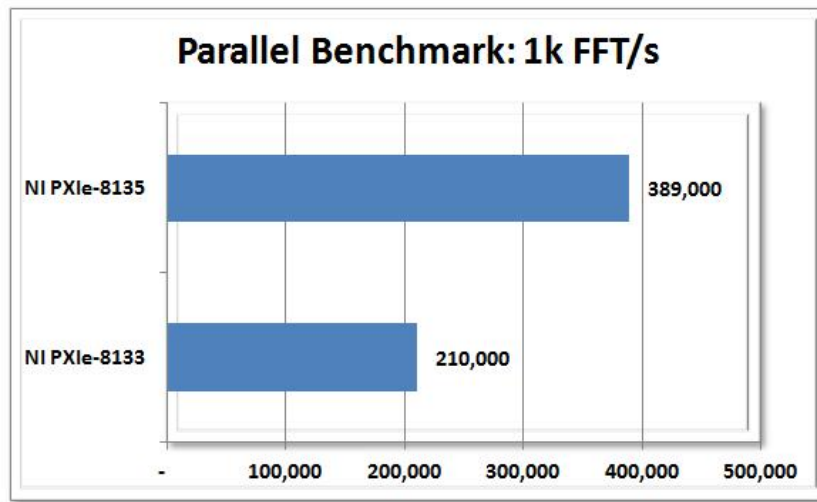


Figure 2. The NI PXIe-8135 can process 389,000 1K FFTs per second, which is up to 85 percent faster than the NI PXIe-8133 embedded controller.

### High Bandwidth

This controller features the Intel Core i7-3610QE processor and takes advantage of advancements in PCI Express technology. This processor provides four x4 (“by four”) PCI Express Gen 2 lanes to the PXI chassis backplane. This generates up to 2 GB/s of dedicated slot bandwidth with the overall system bandwidth of up to 8 GB/s. Pairing the NI PXIe-8135 with a PXI Express chassis, such as the NI PXIe-1085, you can simultaneously stream a larger set of I/O channels to the controller’s system RAM, allowing for the creation of larger and more complex data record and playback applications. For example, by using an NI PXIe-1085 PXI Express chassis and an NI PXIe-8135 embedded controller, you can stream data from 32 input channels with 16-bit resolution sampled at 100 MS/s into system memory for analysis or postprocessing.

### Building Hybrid Test Systems

The NI PXIe-8135 has two Ethernet ports, which enable the development of a hybrid test system. With the ability to use the second Ethernet port, you can combine multiple buses into your test systems. By taking advantage of hybrid test systems that combine components from multiple platforms, you can integrate new buses into existing test systems to help balance design considerations, take advantage of various technologies, and extend the life of your systems.

### Hardware

With state-of-the-art packaging, the NI PXIe-8135 integrates the Intel Core i7-3610QE processor and all standard and extended PC I/O ports into a single unit. Because many of the I/O ports on the controller are integrated, all active slots in the chassis remain available for measurement and control modules. This rugged controller design minimizes integration issues and eliminates the need for complex cabling to daughter boards. The NI PXIe-8135 block diagram is shown in Figure 3.

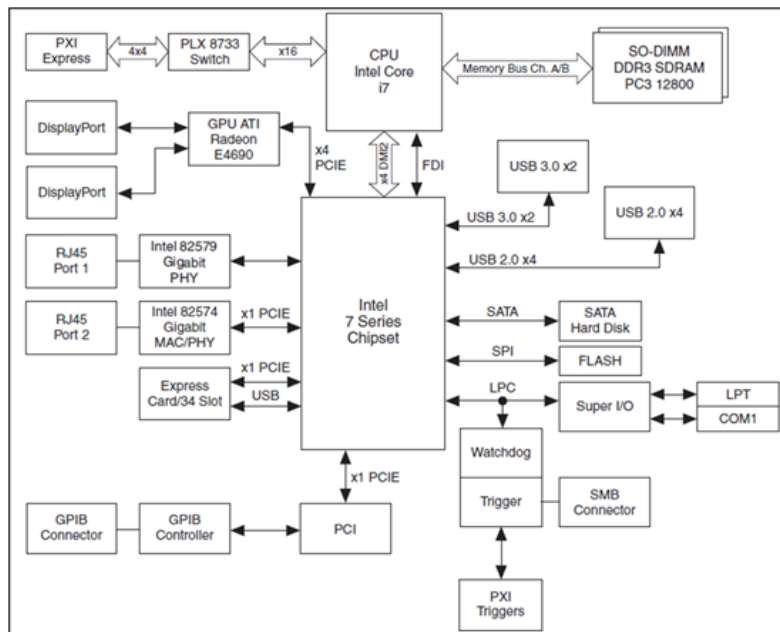


Figure 3. NI PXIe-8135 Block Diagram

### Peripheral I/O

This module includes high-performance peripheral I/O such as two 10/100/1000BASE-TX (Gigabit) Ethernet ports, two SuperSpeed USB ports, and four Hi-Speed USB ports for connection to a keyboard, mouse, CD-ROM/DVD-ROM drive for software installation, or other standard PC peripherals such as speakers, printers, or memory sticks. Use the IEEE 1284 ECP/EPP parallel port to connect to a wide variety of devices, including tape backup drives and printers. An RS232 port is available for connecting to serial devices. Additionally, the NI PXIe-8135 controller includes an integrated GPIB (IEEE 488) controller, which provides control of external instrumentation, saving additional cost and a slot.

### Video

The NI PXIe-8135 includes an integrated ATI Radeon E4690 graphics processing unit, which delivers intense, realistic 3D graphics with sharp images, fast rendering, smooth motion, and high detail, without the need for an additional video card or peripheral. This unique architecture provides balanced memory usage between graphics and the system for optimal performance. Additionally, the



NI PXIe-8135 features two Display Port video connectors. A Display Port to VGA adapter is included with the controller for use with VGA monitors. For information on approved Display Port to DVI adapters, reference this [KnowledgeBase](#).

## Dual Monitor Support

The dual Display Port video ports on the NI PXIe-8135 support simultaneous output. With this built-in capability, you can connect two monitors to your PXI system at the same time with independent displays. This negates the need for a separate PXI or CompactPCI video module to connect two monitors to your PXI system.

## Memory

The NI PXIe-8135 uses dual-channel 1600 MHz DDR3 SDRAM, which makes the controller ideal for data-intensive applications requiring significant analysis. It has two SO-DIMM sockets for the DDR3 SDRAM. 4 GB (1 x 4 GB DIMM) of RAM is standard with upgrade options to 16 GB.

Memory Options	Configuration	Part Number	
		Included in Kit	Additional P/N Required
Standard - 4 GB	1 x 4 GB DIMM	1 x 4 GB DIMM	N/A
8 GB	2 x 4 GB DIMM	1 x 4 GB DIMM	Add 1 x 782341-4096
12 GB	1 x 4 GB DIMM and 1 x 8 GB DIMM	1 x 4 GB DIMM	Add 1 x 782341-8192
16 GB	2 x 8 GB DIMM	N/A	2 x 782341-8192

Table 2. Memory Upgrade Options

## Extended Temperature and 24/7 Operation Option

You can choose from two versions of the NI PXIe-8135 embedded controller to address different environmental and usage conditions. The primary difference between the versions is that the version for extended temperature and 24/7 operation uses a different hard drive that is designed for both reliability in low- and high-temperature extremes and 24/7 operation. The standard version of the controllers has an operating temperature of 5 to 50 °C and a storage temperature of -40 to 65 °C. The extended temperature and 24/7 operation version has an operating temperature of 0 to 55 °C and a storage temperature of -40 to 70 °C.

You can also use the extended temperature and 24/7 operation version for applications that require continuous operation for up to 24 hours/day, seven days/week because the hard drive is rated for 24/7 operation. The hard drive in the standard version of the controllers is designed to be powered on for eight hours/day, five days/week. Additionally, 24/7 operation applications may subject the hard drive to a high-duty cycle (the percentage of the maximum sustained throughput of the hard drive). The hard drive in the extended temperature and 24/7 operation version has a capacity of 80 GB (minimum). See specifications for further details.

## USB Peripherals

National Instruments offers a USB-to-dual-PS/2 keyboard/mouse adapter cable to connect a legacy PS/2 keyboard and mouse to a single USB port on your embedded controller. Additionally, NI offers external USB CD-ROM/DVD-ROM and USB floppy drives for use with your embedded controller. Connect these drives to your embedded controller for easy software installation and upgrades. Both are completely powered through the USB ports, so no external power connections are required. Additional USB peripherals, such as USB speakers to add audio or USB memory sticks to add easily removable memory, are widely available from PC peripheral manufacturers.

## In-ROM Memory and Hard-Drive Diagnostics

To improve the serviceability of the NI PXIe-8135, in-ROM diagnostics for the hard drive and memory can be quickly accessed without requiring external third-party tools. By running these diagnostics, the results of analysis can determine if replacement of the hard drive or memory is required. The design of the controller allows for quick field replacement of critical components such as the hard drive and the memory without affecting the warranty. To ease the process of buying spare components, you can purchase hard drive and memory upgrades with the NI PXIe-8135. The combination of this and the in-ROM diagnostics significantly improves NI PXIe-8135 serviceability.

## Hard-Drive-Based Recovery Image

The NI PXIe-8135 embedded controller is shipped with a factory image of the software installation stored on a separate partition of the hard drive. In the case of software corruption, you can invoke a recovery tool during the controller's boot-up process that can use this backup image to restore the controller to its shipping software configuration. You also can use this recovery tool to create custom images that you can store on external mass storage devices such as a USB memory stick, USB hard drives, and USB CD/DVD drives. With this ability, you can create custom backup images that you can use to either recover an NI PXIe-8135 controller or replicate the installation on other NI PXIe-8135 controllers. For more information on this tool, refer to [KnowledgeBase 2ZKC02OK](#).

## Software

The NI PXIe-8135 comes with the following minimum set of software already installed:

Microsoft Windows 7 Professional OS (contact National Instruments or visit [ni.com/pxiadvisor](http://ni.com/pxiadvisor) for localized versions of Windows XP and for other available OSs)

Hard-drive-based recovery image

NI-VISA and NI-488.2 drivers

Drivers for all built-in I/O ports

With an NI system assurance program (base or standard) added to your PXI system order, your embedded controller is shipped already configured with all software and drivers applicable for your system. For example, assume you order a PXI system that includes NI LabVIEW and NI TestStand software, as well as data acquisition modules, a digitizer, an arbitrary waveform generator, and a digital multimeter (DMM). With an NI system assurance program, NI not only assembles and tests your system but also fully configures the embedded controller with the appropriate NI-DAQmx, NI-SCOPE, NI-FGEN, and NI-DMM drivers, as well as LabVIEW and NI TestStand.

Additionally, your embedded controller is configured with a customized hard-drive-based recovery image, so you can restore your controller to the as-shipped configuration at any time. This combination of software configuration and recovery tools provides both a productive and reliable development experience with your PXI system out of the box. To configure a complete PXI system with an NI system assurance program, contact National Instruments or visit [ni.com/pxiadvisor](http://ni.com/pxiadvisor).

[Back to Top](#)

## Support and Services

### System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at [ni.com/advisor](http://ni.com/advisor) to find a system assurance program to meet your needs.

## Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

**Support** - Visit [ni.com/support](http://ni.com/support) to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.

**Discussion Forums** - Visit [forums.ni.com](http://forums.ni.com) for a diverse set of discussion boards on topics you care about.

**Online Community** - Visit [community.ni.com](http://community.ni.com) to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

## Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit [ni.com/repair](http://ni.com/repair).

## Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

**Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.

**On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.

**Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.

**Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.

**Training memberships** and training credits - to buy now and schedule training later.

Visit [ni.com/training](http://ni.com/training) for more information.

## Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit [ni.com/warranty](http://ni.com/warranty).

## OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem).

## Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit [ni.com/alliance](http://ni.com/alliance).

[Back to Top](#)

## Detailed Specifications

This appendix lists the electrical, mechanical, and environmental specifications of the NI PXIe-8135 embedded controller.

### Features

NI PXIe-8135

CPU	Intel Core i7 3610 QE
CPU Frequency	2.3 GHz (base), 3.3 GHz (single-core Turbo mode)
On-die L2 cache	256 KB x4 (256 KB per core)
Dual-Channel DDR3 RAM, PC3 12800	4 GB Standard 16 GB Maximum
Hard Drive	250 GB or larger Serial ATA*
Ethernet	10/100/1000 BaseTX, 2 ports
PXI Express 4 Link Configuration	x4, x4, x4, x4
PXI Express 2 Link Configuration	x8, x8
GPIO (IEEE 488 Controller)	Yes
Serial Ports (RS-232)	Yes (1)
Parallel Port	Yes (1)
Hi-Speed USB (2.0) Ports	Yes (4)
Hi-Speed USB (3.0) Ports	Yes (2)
ExpressCard/34 Slot	Yes
PS/2 Keyboard/Mouse Connector	No
PXI Express Trigger Bus Input/Output	Yes

## NI PXIe-8135


Installed Operating System	Windows 7 Professional, Windows XP Professional SP3 for Embedded Systems
* Extended-temperature 24/7 option provides 80 GB minimum hard drive. Controllers configured for LabVIEW RT provide a 80 GB (minimum) SATA hard drive.	

### Electrical


Voltage (V)	Current (Amps)	
	Typical	Maximum
+3.3 V	3.75 A	5.4 A
+5 V	1.5 A	2.0 A
+12 V	3.5 A	5.0 A
-12 V	0.00 A	0.00 A
+5 V Aux	0.3 A	0.4 A

### Physical

Board dimensions	Four-wide 3U PXI Express module
Slot requirements	One system slot plus three controller expansion slots
Compatibility	Fully compatible with PXI Express Specification 1.0
Weight	1.30 kg (2.87 lb) typical
<b>Environmental</b>	
Maximum altitude	2,000 m (800 mbar) (at 25 °C ambient temperature)
Pollution Degree	2
Indoor use only.	

 **Caution** Clean the NI PXIe-8135 with a soft nonmetallic brush. Make sure that the device is completely dry and free from contaminants before returning it to service.

<b>NI PXIe-8135</b>	
Ambient temperature range	
Standard	5 to 50 °C1 (Tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2. Meets MIL-PRF-28800F Class 3 high temperature limit.)
<b>Extended Temperature</b>	
Option	0 to 55 °C1 (Tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2. Meets MIL-PRF-28800F Class 3 low temperature limit and MIL-PRF-28800F Class 2 high temperature limit.)
Relative humidity range	10% to 90%, noncondensing (Tested in accordance with IEC-60068-2-56.)

 **Caution** The operating temperature must not be exceeded, even when used in a chassis with a higher temperature range.

### Storage Environment

<b>NI PXIe-8135</b>	
Ambient temperature range	
Standard	-40 to 65 °C (Tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2. Meets MIL-PRF-28800F Class 3 low temperature limit.)
Extended Temperature	
Option	-40 to 71 °C (Tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2. Meets MIL-PRF-28800F Class 3 limits.)
Relative humidity range	5% to 95%, noncondensing (Tested in accordance with IEC-60068-2-56.)

### Shock and Vibration

Operating Shock	30 g peak, half-sine, 11 ms pulse (Tested in accordance with IEC-60068-2-27. Meets MIL-PRF-28800F Class 2 limits.)
Random Vibration	
Operating	5 to 500 Hz, 0.3 g <sub>rms</sub> (with solid-state hard drive)
Nonoperating	5 to 500 Hz, 2.4 g <sub>rms</sub> (Tested in accordance with IEC-60068-2-64. Nonoperating test profile exceeds the



**Note** Specifications are subject to change without notice.

## Safety

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- IEC 61010-1, EN 61010-1
- UL 61010-1, CSA 61010-1



**Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label or the Online Product Certification section.



**Caution** Using the NI PXIe-8135 in a manner not described in this document may impair the protection the NI PXIe-8135 provides.

## Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

- EN 61326-1 (IEC 61326-1): Class A emissions; Basic immunity
- EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions
- AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions
- FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions
- ICES-001: Class A emissions



**Note** In the United States (per FCC 47 CFR), Class A equipment is intended for use in commercial, light-industrial, and heavy-industrial locations. In Europe, Canada, Australia and New Zealand (per CISPR 11) Class A equipment is intended for use only in heavy-industrial locations.



**Note** Group 1 equipment (per CISPR 11) is any industrial, scientific, or medical equipment that does not intentionally generates radio frequency energy for the treatment of material or inspection/analysis purposes.



**Note** For EMC declarations and certifications, and additional information, refer to the Online Product Certification section.

## CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives as follows:

- 2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)
- 2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

## Online Product Certification

To obtain product certifications and the Declaration of Conformity (DoC) for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by model number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

## Environmental Management

NI is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial to the environment and to NI customers.

For additional environmental information, refer to the NI and the Environment Web page at [ni.com/environment](http://ni.com/environment). This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

## Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



**EU Customers** At the end of the product life cycle, all products must be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers, National Instruments WEEE initiatives, and compliance with WEEE Directive 2002/96/EC on Waste and Electronic Equipment, visit [ni.com/environment/weee](http://ni.com/environment/weee).

## Battery Replacement and Disposal



This device contains a long-life coin cell battery. If you need to replace it, use the Return Material Authorization (RMA) process or contact an authorized National Instruments service representative. For more information about compliance with the EU Battery Directive 2006/66/EC about Batteries and Accumulators and Waste Batteries and Accumulators, visit [ni.com/environment/batterydirective](http://ni.com/environment/batterydirective).

[Back to Top](#)

[Ordering Information](#) | [Detailed Specifications](#)

For user manuals and dimensional drawings, visit the product page resources tab on ni.com.

Last Revised: 2012-08-06 23:11:24.0

## NI PXIe-1071

### 4-Slot 3U PXI Express Chassis



- Compact form factor - ideal for desktop, rack-mount, or portable applications
- 3 peripheral slots - accepts 3U PXI Express and CompactPCI Express, PXI and CompactPCI modules in every slot
- Up to 1 GB/s per-slot dedicated bandwidth (x4 PCI Express), 3 GB/s total system bandwidth
- Low-jitter 10 MHz and 100 MHz reference clocks with 25 ppm stability
- No system timing slot
- 230 W total power available from 0 to 50 °C
- HALT-tested for increased reliability
- Field-replaceable fan
- Optional rack-mount kit
- Optional handle and side feet kit

#### Overview

The NI PXIe-1071 chassis kit consists of a low-cost, compact 4-slot chassis featuring a 4-slot-wide system controller slot, which can accept either an embedded controller or a remote controller, and three peripheral slots. The NI PXIe-1071 offers the flexibility to populate each peripheral slot with either a PXI Express module or PXI module. In addition, it features compact, rugged packaging and quiet operation, which make it ideal for portable, desktop, and industrial control applications.

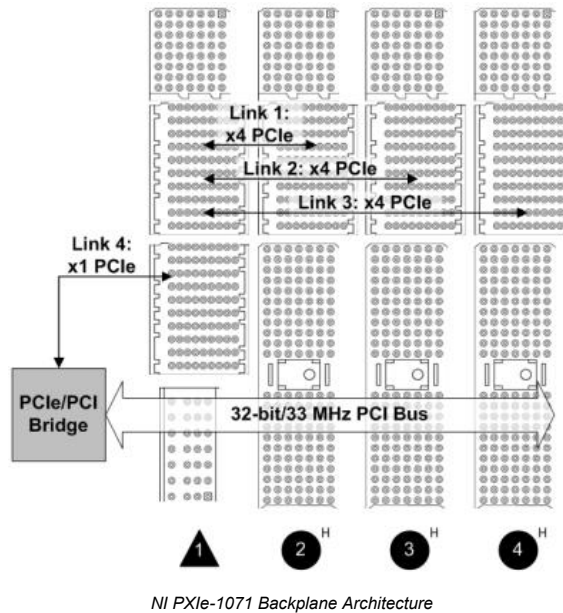
[Back to Top](#)

#### Application and Technology

##### High-Performance Backplane

This chassis enables high-bandwidth systems and provides the flexibility you need to work with both PXI and PXI Express modules. The NI PXIe-1071 features three PXI Express slots and four PXI hybrid-compatible slots. PXI hybrid-compatible slots can accept either a PXI Express module or a standard PXI module.

The PXI Express system slot offers three x4 PCI Express links (1 GB/s single direction per link) connected to the three peripheral slots. In addition, there is one x1 PCI Express link to a PCI Express-to-PCI translation bridge on the backplane. The three PXI Express hybrid slots deliver connectivity to either a x4 PCI Express link or to the 32-bit, 33 MHz PCI bus on the backplane.



### PXI Timing and Synchronization

For PXI modules, the NI PXIe-1071 backplane is fully compliant with PXI timing and synchronization standards. The chassis includes a 10 MHz reference clock with an accuracy of  $\pm 25$  parts per million (ppm), less than 5 ps jitter, and a maximum slot-to-slot skew of 250 ps. For triggering and handshaking needs, the NI PXIe-1071 offers the PXI trigger bus.

For PXI Express modules, in addition to PXI timing and synchronization features, the NI PXIe-1071 backplane delivers a differential 100 MHz reference clock with an accuracy of  $\pm 25$  ppm, less than 3 ps jitter, and a maximum slot-to-slot skew of 100 ps.

The NI PXIe-1071 does not offer a system timing slot, which provides the ability to import/export the 10 MHz clock and PXI triggers. It also does not provide a star trigger. For more advanced timing and synchronization, consider one of the high-performance NI PXI Express chassis.

### Compact and Quiet Portable System

The compact, rugged, and portable NI PXIe-1071 weighs 13.1 lb, making it ideal for portable applications. It features an AUTO/HIGH fan-speed selector that provides a HIGH fan-speed setting to maximize cooling and AUTO fan setting to minimize acoustic emissions. When set to AUTO, the NI PXIe-1071 chassis monitors air intake temperature and adjusts the fan speed accordingly. When set to AUTO in an environment with an ambient temperature of 25 °C, the sound pressure level measured at the operator interface is only 48.4 dBA.

[Back to Top](#)

### Ordering Information

For a complete list of accessories, visit the product page on ni.com.

Products	Part Number	Recommended Accessories	Part Number
<b>NI PXIe-1071</b>			
NI PXIe-1071: Power Cord, AC, U.S., 120 VAC	763000-01	No accessories required.	
PXI-103x and PXIe-107x Side handle and rubber feet kit	781482-01	No accessories required.	
PXI-103x and PXIe-107x Rack Mount Kit	778948-01	No accessories required.	
NI PXIe-1071: Power Cord, 240V, 10A, North American	763068-01	No accessories required.	

[Back to Top](#)

### Software Recommendations

#### NI LabVIEW for Test Automation and Validation



Reduce development time with intuitive graphical programming  
 Communicate with thousands of instruments using free instrument drivers  
 Take advantage of high-performance technologies such as FPGAs and multicore processors  
 Incorporate low-cost USB instruments to get started on your test applications

[Back to Top](#)

### Support and Services

## System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at [ni.com/advisor](http://ni.com/advisor) to find a system assurance program to meet your needs.

## Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

## Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

**Support** - Visit [ni.com/support](http://ni.com/support) to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.

**Discussion Forums** - Visit [forums.ni.com](http://forums.ni.com) for a diverse set of discussion boards on topics you care about.

**Online Community** - Visit [community.ni.com](http://community.ni.com) to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

## Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit [ni.com/repair](http://ni.com/repair).

## Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

**Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.

**On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.

**Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.

**Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.

**Training memberships** and training credits - to buy now and schedule training later.

Visit [ni.com/training](http://ni.com/training) for more information.

## Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit [ni.com/warranty](http://ni.com/warranty).

## OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem).

## Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit [ni.com/alliance](http://ni.com/alliance).

[Back to Top](#)

## Detailed Specifications

This appendix contains specifications for the NI PXIe-1071 chassis.



**Caution** Specifications are subject to change without notice.

### Electrical

#### AC Input

Input voltage range	100 to 240 VAC
Operating voltage range <sup>1</sup>	90 to 264 VAC
Input frequency	50/60 Hz
Operating frequency range <sup>1</sup>	47 to 63 Hz
Input current rating	4–2 A

Line regulation	
3.3 V	<±0.2%
5 V	<±0.1%
±12 V	<±0.1%
Efficiency	70% typical
Power disconnect	The AC power cable provides main power disconnect.

### DC Output

DC current capacity ( $I_{MP}$ )	
Voltage	Maximum Current
+3.3 V	18 A
+5 V	17 A
+12 V	17 A
-12 V	1 A
5 V <sub>AUX</sub>	0.75 A



**Note** Maximum total usable power is 230 W.



The -12 V regulation is ± 5% for loads of 10 A or less on the +12 V rail.

Backplane slot current capacity						
Slot	+5 V	V (I/O)	+3.3 V	+12 V	-12 V	5 V <sub>AUX</sub>
System Controller Slot	15 A	—	15 A	30 A	—	1 A
Hybrid Peripheral Slot with PXI-1 Peripheral	6 A	5 A	6 A	1 A	1 A	—
Hybrid Peripheral Slot with PXI-5 Peripheral	—	—	6 A	4 A	—	1 A



### Note

Total system slot current should not exceed 45 A.

PCI V(I/O) pins in PXI-1 peripheral slots and hybrid peripheral slots are connected to +5 V.

The maximum power dissipated in the system slot should not exceed 140 W.

The maximum power dissipated in a peripheral slot should not exceed 38.25 W.

### Chassis Cooling

Per slot cooling capacity	38.25 W
Module cooling system	Forced air circulation (positive pressurization) through a 150 CFM fan with High/Auto speed selector
Slot airflow direction	Bottom of module to top of module
Module cooling intake	Bottom of chassis
Module cooling exhaust	Right side, rear, and top of chassis
Power supply cooling system	Forced air circulation through integrated fan
Power supply cooling intake	Front and left side of chassis
Power supply cooling exhaust	Rear of chassis

### Environmental

Maximum altitude	2,000 m (800 mbar) (at 25 °C ambient)
Measurement Category	II
Pollution Degree	2

For indoor use only.

### Operating Environment

Ambient temperature range	0 to 50 °C (Tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2. Meets MIL-PRF-28800F Class 3 low temperature limit and MIL-PRF-28800F Class 2 high temperature limit.)
Relative humidity range	20 to 80%, noncondensing (Tested in accordance with IEC-60068-2-56.)



## Storage Environment

Ambient temperature range	-40 to 71 °C (Tested in accordance with IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2. Meets MIL-PRF-28800F Class 3 limits.)
Relative humidity range	5 to 95%, noncondensing (Tested in accordance with IEC-60068-2-56.)

## Shock and Vibration

Operational shock	30 g peak, half-sine, 11 ms pulse (Tested in accordance with IEC-60068-2-27. Meets MIL-PRF-28800F Class 2 limits.)
Random Vibration	
Operating	5 to 500 Hz, 0.3 g <sub>rms</sub>
Nonoperating	5 to 500 Hz, 2.4 g <sub>rms</sub> (Tested in accordance with IEC-60068-2-64. Nonoperating test profile exceeds the requirements of MIL-PRF-28800F, Class 3.)

## Acoustic Emissions


### Sound Pressure Level (at Operator Position)

(Tested in accordance with ISO 7779. Meets MIL-PRF-28800F requirements.)

Auto fan (up to ~30 °C ambient)	48.4 dBA
High fan	61.9 dBA

### Sound Power


Auto fan (up to ~30 °C ambient)	59.9 dBA
High fan	68.7 dBA

 **Note** Specifications are subject to change without notice.

## Safety Standards

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:


IEC 61010-1, EN 61010-1  
UL 61010-1, CSA 61010-1


 **Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

## Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

EN 61326 (IEC 61326): Class A emissions; Basic immunity  
EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions  
AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions  
FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions  
ICES-001: Class A emissions

 **Note** For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.

 **Note** For EMC compliance, operate this device with shielded cables.

## CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)  
2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

## Online Product Certification


Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by module number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

## Environmental Management

National Instruments is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial not only to the environment but also to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at [ni.com/environment](http://ni.com/environment). This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

## Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)

 **EU Customers** At the end of the product life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers, National Instruments WEEE initiatives, and compliance with WEEE Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment, visit [ni.com/environment/weee.htm](http://ni.com/environment/weee.htm).



中国客户 National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china)。(For information about China RoHS compliance, go to [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china).)


## Backplane

Size	3U-sized; one system slot (with three system expansion slots) and three peripheral slots. Compliant with IEEE 1101.10 mechanical packaging. PXI Express Specification compliant. Accepts both PXI Express and CompactPCI (PICMG 2.0 R 3.0) 3U modules.
Backplane bare-board material	UL 94 V-0 Recognized
Backplane connectors	Conforms to IEC 917 and IEC 1076-4-101, and are UL 94 V-0 rated

## System Synchronization Clocks (PXI\_CLK10, PXIe\_CLK100, PXIe\_SYNC100)


### 10 MHz System Reference Clock: PXI\_CLK10

Maximum slot-to-slot skew	500 ps
Accuracy	±25 ppm max (guaranteed over the operating temperature range)
Maximum jitter	5 ps RMS phase-jitter (10 Hz–1 MHz range)
Duty-factor	45%–55%
Unloaded signal swing	3.3 V ±0.3 V


 **Note** For other specifications refer to the *PXI-1 Hardware Specification*.

### 100 MHz System Reference Clock: PXIe\_CLK100 and PXIe-SYNC100

Maximum slot-to-slot skew	100 ps
Accuracy	±25 ppm max (guaranteed over the operating temperature range)
Maximum jitter	3 ps RMS phase-jitter (10 Hz–12 kHz range) 2 ps RMS phase-jitter (12 kHz–20 MHz range)
Duty-factor for PXIe_CLK100	45%–55%
Absolute differential voltage (When terminated with a 50 Ω load to 1.30 V or Thévenin equivalent)	400–1000 mV

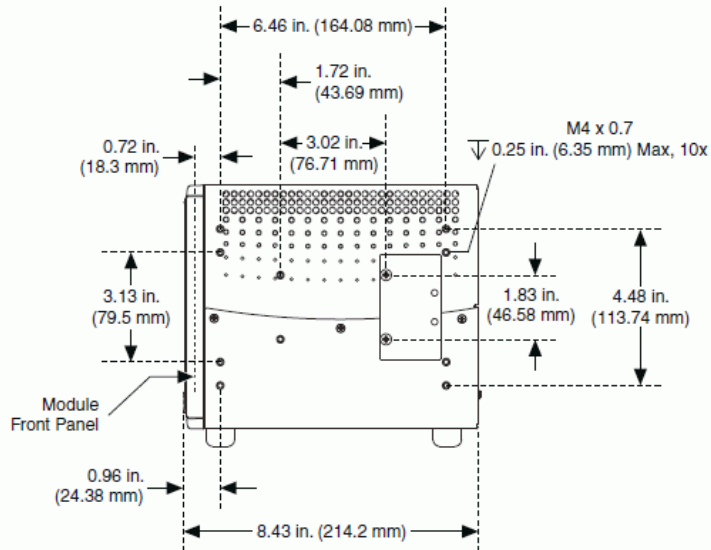
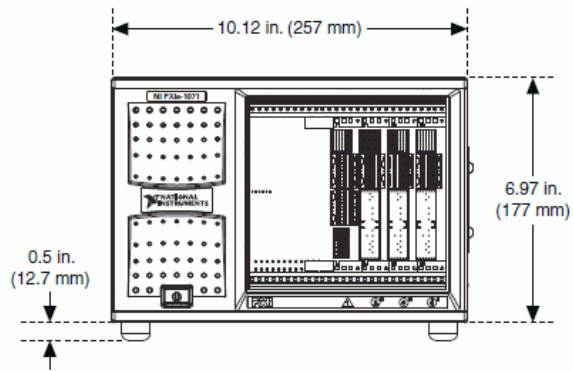
 **Note** For other specifications refer to the *PXI-5 PXI Express Hardware Specification*.

## Mechanical

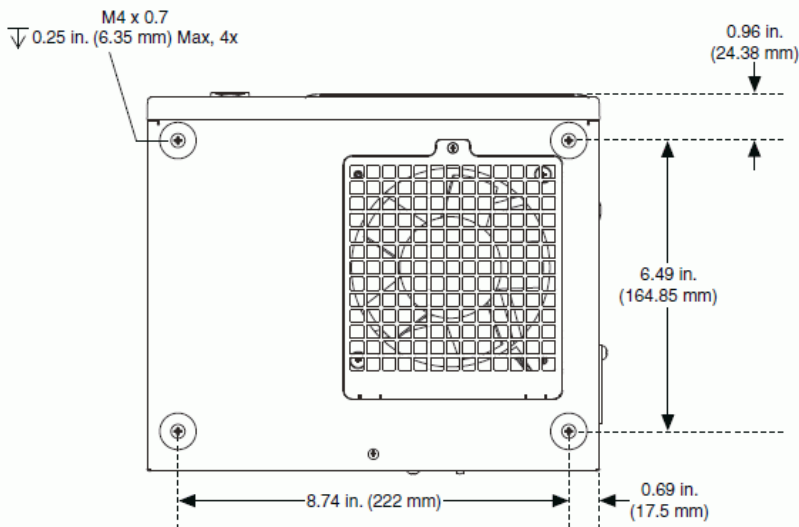
Overall dimensions	
Standard chassis	
Height	6.97 in. (177 mm)
Width	10.12 in. (257 mm)
Depth	8.43 in. (214.2 mm)
 <b>Note</b> 0.5 in. (12.7 mm) is added to height when feet are installed.	
Weight	5.94 kg (13.1 lb)
Chassis materials	Stainless Steel, Extruded Aluminum, Cold Rolled Steel, and PC-ABS
Finish	Conductive Clear Iridite on Aluminum, Clear Chromate Zinc Plating on Cold Rolled Steel, Polyurethane Enamel, and Polyester Urethane Powder Paint

The following two figures show the NI PXIe-1071 chassis dimensions. The holes shown are for the installation of the optional rack mount kits. Notice that the front and rear chassis mounting holes (size M4) are symmetrical.

### NI PXIe-1071 Chassis Dimensions (Front and Side)

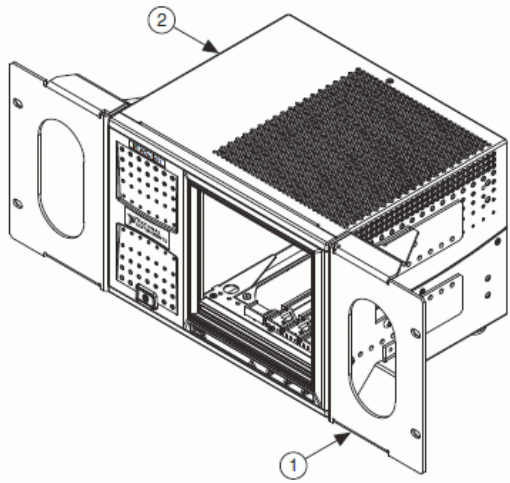


**NI PXIe-1071 Chassis Dimensions (Bottom)**



The following figure shows the chassis rack mount kit components.

**NI Chassis Rack Mount Kit Components**



1 Front Rack Mount Kit	2 NI Chassis
------------------------	--------------

<sup>1</sup> The operating range is guaranteed by design.

[Back to Top](#)

©2012 National Instruments. All rights reserved. CompactRIO, FieldPoint, National Instruments, NI, and ni.com are trademarks of National Instruments. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2012 National Instruments Corporation. All rights reserved.

[Ordering Information](#) | [Detailed Specifications](#)

For user manuals and dimensional drawings, visit the [product page resources tab](#) on ni.com.

Last Revised: 2012-12-12 10:04:08.0

## 60 MS/s, 60 MHz, 12-Bit, 8-Channel Digitizers

### NI PCI-5105, NI PXI-5105

- 8 channels simultaneously sampled at 12-bit resolution
- 60 MS/s real-time sampling
- 60 MHz bandwidth
- 50 mVpp to 30 Vpp input range
- 72 dBc SFDR
- 16, 128, or 512 MB of onboard memory
- Edge, window, hysteresis, and digital triggering

### Overview

NI 5105 high-resolution digitizers feature eight 60 MS/s simultaneously sampled input channels with 12-bit resolution, 60 MHz bandwidth, and up to 512 MB of memory in a compact, 3U PXI/PXI Express or PCI device. An NI 5105 uses the National Instruments Synchronization and Memory Core (SMC) architecture, so you can combine multiple devices to build up to 136 phase-coherent channels in a single PXI chassis. You can also synchronize an NI 5105 with other analog and digital instruments to create mixed-signal test systems. NI 5105 devices are ideal for a wide range of applications including ultrasonic nondestructive test (NDT), medical imaging, scientific research, military/aerospace, and consumer electronics.

[Back to Top](#)

### Application and Technology

#### Eight 60 MS/s, 12-Bit Input Channels for Time and Frequency Analysis

- 60 MHz input bandwidth with antialias and noise filters
- >72 dBc spurious-free dynamic range (SFDR)
- Independent channel-selectable 50 mVpp to 30 Vpp input ranges
- Independent channel-selectable 50 Ω or 1 MΩ input impedance
- 2-year calibration interval and 0 to 55 °C operating temperature

#### Deep Onboard Memory

- 16, 128, or 512 MB of onboard memory
- Capture more than 1 million triggered waveforms in multiple record mode, with hardware trigger rearming
- Stream data continuously from onboard memory to host memory or disk

#### Triggering, Clocking, and Synchronization

- Edge, window, hysteresis, and digital triggering
- Pretrigger and posttrigger acquisition in single- and multiple-record mode
- Internal 60 MHz clock or external clock from 4 to 65 MHz
- Phase lock to PXI 10 MHz reference or external reference from 1 to 20 MHz
- Timestamp-triggered events with 100 ps resolution

[Back to Top](#)

### Ordering Information

For a complete list of accessories, visit the [product page](#) on ni.com.

Products	Part Number	Recommended Accessories	Part Number
<b>NI PXI-5105/128MB</b>			
NI PXI-5105/128MB Requires: 1 Cables ;	779685-02	Cables: Unshielded - SMB-100, SMB Female to BNC Female Coax Cable, 50 Ohms, 0.6m, Qty 1	763389-01
<b>NI PCI-5105_128</b>			
NI PCI-5105 128MB Requires: 1 Cables ;	779686-02	Cables: Unshielded - SMB-100, SMB Female to BNC Female Coax Cable, 50 Ohms, 0.6m, Qty 1	763389-01

[Back to Top](#)

### Support and Services

#### System Assurance Programs

NI system assurance programs are designed to make it even easier for you to own an NI system. These programs include configuration and deployment services for your NI PXI, CompactRIO, or Compact FieldPoint system. The NI Basic System Assurance Program provides a simple integration test and ensures that your system is delivered completely assembled in one box. When you configure your system with the NI Standard System Assurance Program, you can select from available NI system driver sets and application development environments to create customized, reorderable software configurations. Your system arrives fully assembled and tested in one box with your software preinstalled. When you order your system with the standard program, you also receive system-specific documentation including a bill of materials, an integration test report, a recommended maintenance plan, and frequently asked question documents. Finally, the standard program reduces the total cost of owning an NI system by providing three years of warranty coverage and calibration service. Use the online product advisors at [ni.com/advisor](http://ni.com/advisor) to find a system assurance program to meet your needs.

## Calibration

NI measurement hardware is calibrated to ensure measurement accuracy and verify that the device meets its published specifications. To ensure the ongoing accuracy of your measurement hardware, NI offers basic or detailed recalibration service that provides ongoing ISO 9001 audit compliance and confidence in your measurements. To learn more about NI calibration services or to locate a qualified service center near you, contact your local sales office or visit [ni.com/calibration](http://ni.com/calibration).

## Technical Support

Get answers to your technical questions using the following National Instruments resources.

**Support** - Visit [ni.com/support](http://ni.com/support) to access the NI KnowledgeBase, example programs, and tutorials or to contact our applications engineers who are located in NI sales offices around the world and speak the local language.

**Discussion Forums** - Visit [forums.ni.com](http://forums.ni.com) for a diverse set of discussion boards on topics you care about.

**Online Community** - Visit [community.ni.com](http://community.ni.com) to find, contribute, or collaborate on customer-contributed technical content with users like you.

## Repair

While you may never need your hardware repaired, NI understands that unexpected events may lead to necessary repairs. NI offers repair services performed by highly trained technicians who quickly return your device with the guarantee that it will perform to factory specifications. For more information, visit [ni.com/repair](http://ni.com/repair).

## Training and Certifications

The NI training and certification program delivers the fastest, most certain route to increased proficiency and productivity using NI software and hardware. Training builds the skills to more efficiently develop robust, maintainable applications, while certification validates your knowledge and ability.

**Classroom training in cities worldwide** - the most comprehensive hands-on training taught by engineers.

**On-site training at your facility** - an excellent option to train multiple employees at the same time.

**Online instructor-led training** - lower-cost, remote training if classroom or on-site courses are not possible.

**Course kits** - lowest-cost, self-paced training that you can use as reference guides.

**Training memberships** and training credits - to buy now and schedule training later.

Visit [ni.com/training](http://ni.com/training) for more information.

## Extended Warranty

NI offers options for extending the standard product warranty to meet the life-cycle requirements of your project. In addition, because NI understands that your requirements may change, the extended warranty is flexible in length and easily renewed. For more information, visit [ni.com/warranty](http://ni.com/warranty).

## OEM

NI offers design-in consulting and product integration assistance if you need NI products for OEM applications. For information about special pricing and services for OEM customers, visit [ni.com/oem](http://ni.com/oem).

## Alliance

Our Professional Services Team is comprised of NI applications engineers, NI Consulting Services, and a worldwide National Instruments Alliance Partner program of more than 700 independent consultants and integrators. Services range from start-up assistance to turnkey system integration. Visit [ni.com/alliance](http://ni.com/alliance).

[Back to Top](#)

## Detailed Specifications

### 12-Bit 60 MS/s Digitizer

This topic lists the specifications for the NI PXI/PCI-5105 (NI 5105) high-speed digitizer. Unless otherwise noted, these specifications are valid for the following conditions:

All filter settings

All impedance selections

Sample clock set to 60 MS/s

Typical values are representative of an average unit operating at room temperature. Specifications are subject to change without notice. For the most recent NI 5105 specifications, visit [ni.com/manuals](http://ni.com/manuals).

To access the NI 5105 documentation, including the *NI High-Speed Digitizers Getting Started Guide*, which contains functional descriptions of the NI 5105 signals, navigate to **Start»All Programs»National Instruments»NI-SCOPE»Documentation**.



**Hot Surface** If the NI 5105 has been in use, it may exceed safe handling temperatures and cause burns. Allow the NI 5105 to cool before removing it from the PXI chassis or PC. Refer to the *Environment* section for operating temperatures of this device.

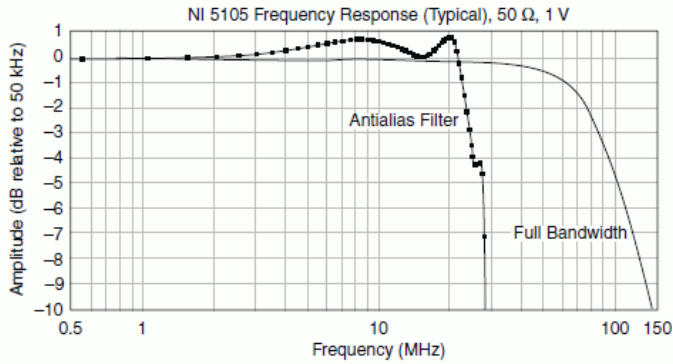
### Vertical

### Analog Input (Channels 0–7)

Specification	Value		Comments			
Number of Channels	Eight (simultaneously sampled)		—			
Connectors	SMB		—			
<b>Impedance and Coupling</b>						
Input Impedance	50 Ω ±2% 1 MΩ ±1% in parallel with a typical capacitance of 50 pF		Software selectable			
Input Coupling	AC, DC		AC coupling available on 1 MΩ only			
<b>Voltage Levels</b>						
Full Scale (FS) Input Range	50 Ω Range ( $V_{pk-pk}$ )	1 MΩ Range ( $V_{pk-pk}$ )	—			
	0.05	0.05	—			
	0.2	0.2	—			
	1	1	—			
	6	6	—			
	—	30	—			
Maximum Input Overload	50 Ω	1 MΩ	—			
	7 $V_{rms}$ with  Peaks  ≤10 V	Peaks  ≤42 V	—			
<b>Accuracy</b>						
Resolution	12 bits		—			
DC Accuracy	NI PXI-5105		Within ±5 °C of self-calibration temperature			
	50 Ω	1 MΩ				
	All ranges: ±(1% of Input + 0.25% of FS + 600 μV)	50 mV range: ±(1% of Input + 0.25% of FS + 600 μV)				
		200 mV, 1 V, and 6 V ranges: ±(0.65% of Input + 0.25% of FS + 600 μV)				
		30 V range: ±(0.75% of Input + 0.25% of FS + 600 μV)				
	NI PCI-5105					
	50 Ω	1 MΩ				
	All ranges: ±(1% of Input + 0.25% of FS + 1.4 mV)	50 mV range: ±(1% of Input + 0.25% of FS + 1.4 mV)				
		200 mV, 1 V, and 6 V ranges: ±(0.65% of Input + 0.25% of FS + 1.4 mV)				
		30 V range: ±(0.75% of Input + 0.25% of FS + 1.4 mV)				
DC Drift	±(0.05% of Input + 0.02% of FS + 20 μV) per °C		—			
AC Amplitude Accuracy	50 Ω		1 MΩ	Within ±5 °C of self-calibration temperature		
	Range ( $V_{pk-pk}$ )	At 50 kHz, Typical			Range ( $V_{pk-pk}$ )	At 50 kHz, Guaranteed
	0.05	±0.1 dB (±1.2%)			0.05	±0.2 dB (±2.3%)
	0.2	±0.1 dB (±1.2%)			0.2	±0.13 dB (±1.5%)
	1	±0.1 dB (±1.2%)			1	±0.13 dB (±1.5%)
	6	±0.1 dB (±1.2%)			6	±0.4 dB (±4.7%)
	—	—			30	±0.4 dB (±4.7%)
Crosstalk, Typical	50 Ω		1 MΩ	Channel to nearest channel Channels in same configuration		
	All ranges: ≤-80 dB at 1 MHz				50 mV range: ≤-75 dB at 1 MHz All other ranges: ≤-80 dB at 1 MHz	

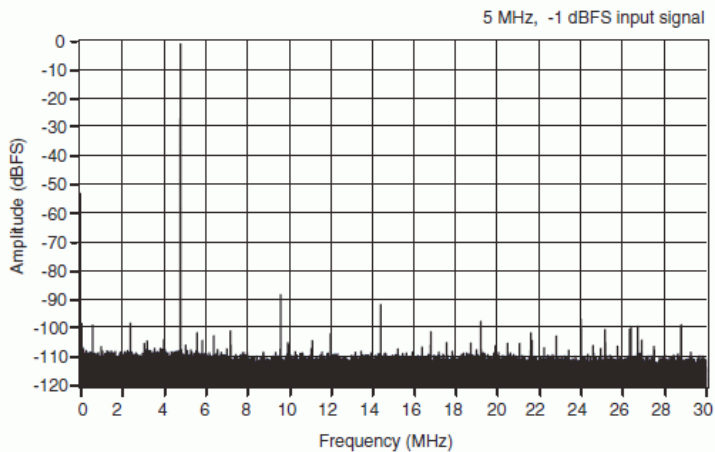
Specification	Value			Comments
<b>Bandwidth</b>				
Bandwidth (-3 dB), Typical	Range ( $V_{pk-pk}$ )	50 $\Omega$	1 M $\Omega$	—
	0.05	55 MHz	35 MHz	
	All other ranges	60 MHz	60 MHz	
Bandwidth Limit Filter	24 MHz Antialias Filter			—
AC Coupling* Cutoff (-3 dB), Typical	12 Hz			* AC coupling available on 1 M $\Omega$ only
Passband Flatness	Refer to the following figure.			—

### NI 5105 Frequency Response (Typical)



Specification	Value			Comments	
<b>Spectral Characteristics</b>					
Spurious-Free Dynamic Range with Harmonics (SFDR), Typical	Range ( $V_{pk-pk}$ )	50 $\Omega$	1 M $\Omega$	5 MHz, -1 dBFS input signal Includes the 2 <sup>nd</sup> through the 4 <sup>th</sup> harmonics 24 MHz filter on	
	0.2	72 dBc <sup>1</sup>	70 dBc <sup>1</sup>		
	1	72 dBc	65 dBc		
	6	72 dBc	65 dBc		
Total Harmonic Distortion (THD), Typical	Range ( $V_{pk-pk}$ )	50 $\Omega$	1 M $\Omega$		
	0.05	-75 dBc	-72 dBc		
	0.2	-75 dBc	-75 dBc		
	1	-75 dBc	-65 dBc		
Signal to Noise and Distortion (SINAD), Typical	Range ( $V_{pk-pk}$ )	50 $\Omega$	1 M $\Omega$		
	0.05	59 dB <sup>1</sup>	50 dB <sup>1</sup>		
	0.2	62 dB	59 dB <sup>1</sup>		
	1	62 dB	61 dB		
		6	62 dB	59 dB	

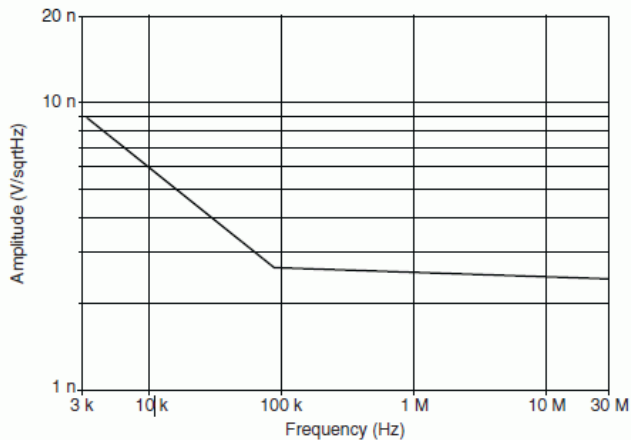
### NI PXI/PCI 5105 Dynamic Performance, 50 $\Omega$ , 1 V Range, with 24 MHz Filter Enabled



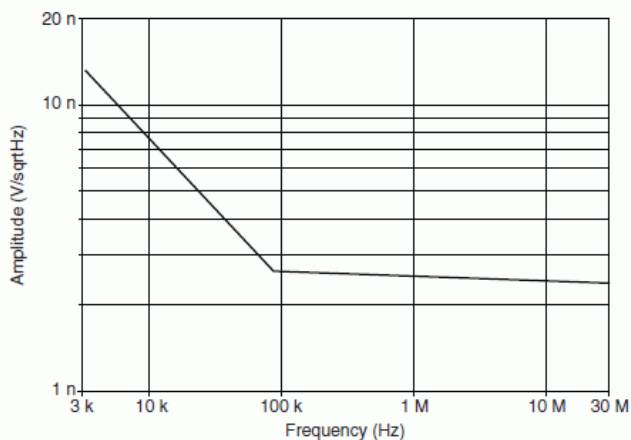


Specification	Value				Comments	
RMS Noise	Range ( $V_{pk-pk}$ )	50 $\Omega$		1 M $\Omega$		50 $\Omega$ terminator connected to input
		Full BW	24 MHz Filter On	Full BW	24 MHz Filter On	
	0.05	0.06% FS (30 $\mu$ V) <sup>1</sup>	0.038% FS (19 $\mu$ V) <sup>1</sup>	0.16% FS (80 $\mu$ V) <sup>1</sup>	0.12% FS (60 $\mu$ V) <sup>1</sup>	
	0.2	0.035% FS (70 $\mu$ V) <sup>1</sup>	0.028% FS (56 $\mu$ V) <sup>1</sup>	0.055% FS (110 $\mu$ V) <sup>1</sup>	0.036% FS (72 $\mu$ V) <sup>1</sup>	
	1	0.03% FS (300 $\mu$ V)	0.029% FS (290 $\mu$ V)	0.03% FS (300 $\mu$ V)	0.03% FS (300 $\mu$ V)	
	6	0.03% FS (1.8 mV)	0.028% FS (1.68 mV)	0.055% FS (3.3 mV)	0.036% FS (2.16 mV)	
	30	—	—	0.03% FS (9 mV)	0.03% FS (9 mV)	

Representation of NI PXI-5105 Spectral Noise Density on 50 mV<sub>pk-pk</sub> Range, 50  $\Omega$  Input Impedance with Antialias Filter Enabled



Representation of NI PCI-5105 Spectral Noise Density on 50 mV<sub>pk-pk</sub> Range, 50  $\Omega$  Input Impedance with Antialias Filter Enabled



Specification	Value		Comments
<b>Skew</b>			
Channel to Channel Skew, Typical	24 MHz Filter Off	24 MHz Filter On	10 MHz sine input signal
	≤500 ps	≤600 ps	

**Sample Clock**

Specification	Value		Comments
Sources	NI PXI-5105	NI PCI-5105	* Internal Sample Clock is locked to the Reference Clock or derived from the onboard VCXO
	Internal: Onboard Clock (internal VCXO)*	Internal: Onboard Clock (internal VCXO)*	
	External: PFI 1, PXI Star	External: PFI 1	
<b>Onboard Clock (Internal VCXO)</b>			
Sample Rate Range (Real-Time Sampling, Single Shot)	60 MS/s*		* Divide by <i>n</i> decimation used for all rates less than 60 MS/s For more information about Sample Clock and decimation, refer to the <i>NI High-Speed Digitizers Help</i> .
Timebase Frequency	60 MHz		—
Timebase Accuracy	Not Phase-Locked to Reference	Phase-Locked to Reference Clock	

Specification	Value		Comments
	Clock		ppm = parts per million ( $1 \times 10^{-6}$ )
	$\pm 25$ ppm	Equal to the Reference Clock accuracy	
Sample Clock Delay Range	$\pm 1$ Sample Clock period		—
Sample Clock Delay Resolution	<10 ps		—
<b>External Sample Clock</b>			
Sources	NI PXI-5105	NI PCI-5105	—
	PFI 1, PXI Star	PFI 1	
Frequency Range	8 MHz to 65 MHz (using NI-SCOPE 3.2) 4 MHz to 65 MHz (using NI-SCOPE 3.3 or later)		Divide by $n$ decimation available where $1 \leq n \leq 65,535$ For more information about Sample Clock and decimation, refer to the <i>NI High-Speed Digitizers Help</i> .
Duty Cycle Tolerance	45% to 55%		—
<b>Sample Clock Exporting</b>			
Exported Sample Clock Destinations	Destination	Maximum Frequency	Cannot export decimated Sample Clock
	PFI 1	65 MHz	

#### Phase-Locked Loop (PLL) Reference Clock

Specification	Value	
Sources	NI PXI-5105	NI PCI-5105
	PXI_CLK10 (backplane connector)	PFI 1 (front panel SMB connector)
	PFI 1 (front panel SMB connector)	RTSI 7
Frequency Range	1 MHz to 20 MHz in 1 MHz increments. Default of 10 MHz. The PLL Reference Clock frequency must be accurate to $\pm 50$ ppm.	
Duty Cycle Tolerance	45% to 55%	
Exported Reference Clock Destinations	PFI 1	

#### Trigger

##### Reference (Stop) Trigger

Specification	Value		Comments
Trigger Types	Edge, Window, Hysteresis, Digital, Immediate, and Software		Refer to the following sections and to the <i>NI High-Speed Digitizers Help</i> for more information about what sources are available for each trigger type.
Trigger Sources	NI PXI-5105	NI PCI-5105	—
	CH 0–CH 7, PFI 1, PXI_Trig <0..6>, PXI Star Trigger, and Software	CH 0–CH 7, PFI 1, RTSI <0..6>, and Software	
Time Resolution	Sample Clock Timebase Period		—
Minimum Rearm Time	Internal Onboard Clock	External Sample Clock	Holdoff set to 0. Onboard sample clock at maximum rate.
	2.4 $\mu$ s	144 $\times$ External Clock Period	
Holdoff	From Rearm time up to $[(2^{32} - 1) \times \text{Sample Clock Timebase Period}]$		—
<b>Analog Trigger (Edge, Window, and Hysteresis Trigger Types)</b>			
Sources	CH 0–CH 7 (front panel SMB connectors)		—
Trigger Level Range	100% FS		—
Edge Trigger Sensitivity	2% FS		—
Trigger Jitter	Sample Clock Timebase Period		—
<b>Digital Trigger (Digital Trigger Type)</b>			
Sources	NI PXI-5105	NI PCI-5105	—
	PFI 1 (front panel SMB connector)	PFI 1 (front panel SMB connector)	
	PXI_Trig <0..6> (backplane connector)	RTSI <0..6>	
	PXI Star Trigger (backplane connector)		

**PFI 1 (Programmable Function Interface, Front Panel Connector)**

Specification	Value
Connector	SMB
Direction	Bidirectional
Coupling	AC, DC
<b>As Sample Clock, Reference Clock</b>	
Input Voltage Range	Sine Wave: $0.65 V_{pk-pk}$ to $2.8 V_{pk-pk}$ (0 dBm to 13 dBm) Square Wave: $0.2 V_{pk-pk}$ to $2.8 V_{pk-pk}$
Maximum Input Overload	$7 V_{rms}$ with $ Peaks  \leq 10 V$
Input Impedance	50 $\Omega$
Coupling	AC
<b>As an Input (Digital Trigger)</b>	
Destinations	Start Trigger (Acquisition Arm) Reference (Stop) Trigger Arm Reference Trigger Advance Trigger
Input Impedance	150 k $\Omega$
$V_{IH}$	2.0 V
$V_{IL}$	0.8 V
Maximum Input Overload	-0.5 V, 5.5 V
Maximum Frequency	65 MHz
<b>As an Output</b>	
Sources	Start Trigger (Acquisition Arm) Reference (Stop) Trigger End of Record Done (End of Acquisition) Sample Clock Timebase Reference Clock
Output Impedance	50 $\Omega$
Logic Type	3.3 V CMOS
Maximum Drive Current	$\pm 24$ mA

**TCIk Specifications**

National Instruments TCIk synchronization method and the NI-TCIk driver are used to align the sample clocks on any number of SMC-based modules in a chassis. For more information about TCIk synchronization, refer to the *NI-TCIk Synchronization Help*, which is located within the *NI High-Speed Digitizers Help*.

Specifications are valid for any number of PXI modules installed in one NI PXI-1042 chassis. These specifications do not apply to PCI modules.

All parameters set to identical values for each SMC-based module.

Sample Clock set to 60 MS/s and all filters are disabled.

For other configurations, including multichassis systems, contact NI Technical Support at [ni.com/support](http://ni.com/support).



**Note** Although you can use NI-TCIk to synchronize nonidentical modules, these specifications apply only to synchronizing identical modules.

Specification	Value	Comments
<b>Intermodule SMC Synchronization Using NI-TCIk for Identical Modules (Typical)</b>		
Skew	500 ps	Caused by clock and analog path delay differences No manual adjustment performed
Average Skew After Manual Adjustment	<10 ps	For information about manual adjustment, refer to the <i>Synchronization Repeatability Optimization</i> topic in the <i>NI-TCIk Synchronization Help</i> . For additional help with the adjustment process, contact NI Technical Support at <a href="http://ni.com/support">ni.com/support</a> .
Sample Clock Adjustment Resolution	<10 ps	—

**Waveform Specifications**

Specification	Value	Comments
Onboard Memory Size	16 MB Standard	Onboard Memory is shared between all enabled channels
	128 MB Option	
	512 MB Option	
Minimum Record Length	1 Sample	—
Number of Pretrigger Samples	Zero up to full record length	Single-record mode and multiple-record mode
Number of Posttrigger Samples	Zero up to full record length	Single-record mode and multiple-record mode
Allocated Onboard Memory per Record	$[(\text{Record length}^* \times 2^\dagger \times \text{number of enabled channels}) + 480^\ddagger]$ rounded up to nearest 128 bytes <b>Note:</b> The maximum number of records is 100,000.	*samples †bytes/sample ‡bytes

### Calibration

Specification	Value
Self-Calibration	Self-calibration is done on software command. The calibration corrects for gain, offset, triggering, and timing errors for all input ranges.
External Calibration (Factory Calibration)	The external calibration calibrates the VCXO and the voltage reference. Appropriate constants are stored in nonvolatile memory.
Interval for External Calibration	2 years
Warm-Up Time	15 minutes

### Power

Specification	Typical Value	
+3.3 VDC	NI PXI-5105	NI PCI-5105
	1.5 A	1.7 A
+5 VDC	1.7 A	2 A
+12 VDC	200 mA	20 mA
−12 VDC	25 mA	0 A
Total Power	16.15 W	15.85 W

### Software

Specification	Value
Driver Software	NI PXI-5105: NI-SCOPE 3.1 or later NI PCI-5105: NI-SCOPE 3.2 or later NI-SCOPE is an IVI-compliant driver that allows you to configure, control, and calibrate the NI 5105. NI-SCOPE provides application programming interfaces for many development environments.
Application Software	NI-SCOPE provides programming interfaces, documentation, and examples for the following application development environments: LabVIEW LabWindows™/CVI™ Measurement Studio Microsoft Visual C/C++ Microsoft Visual Basic
Interactive Soft Front Panel and Configuration	The Scope Soft Front Panel 2.5 or later supports interactive control of the NI 5105. The Scope Soft Front Panel is included on the NI-SCOPE CD. National Instruments Measurement & Automation Explorer (MAX) also provides interactive configuration and test tools for the NI 5105. MAX is included on the NI-SCOPE CD.

### Environment

#### NI PXI-5105



**Note** To ensure that the NI PXI-5105 cools effectively, follow the guidelines in the *Maintain Forced-Air Cooling Note to Users* included in the NI PXI-5105 kit. The NI PXI-5105 is intended for indoor use only.

Specification	Value
Operating Temperature	0 °C to +55 °C in all NI PXI chassis except the following: 0 °C to +45 °C when installed in an NI PXI-1000/B or PXI-101 x chassis Meets IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2

Specification	Value
Storage Temperature	–40 °C to +71 °C Meets IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2
Operating Relative Humidity	10% to 90%, noncondensing Meets IEC-60068-2-56
Storage Relative Humidity	5% to 95%, noncondensing Meets IEC-60068-2-56
Operating Shock	30 g, half-sine, 11 ms pulse Meets IEC-60068-2-27. Test profile developed in accordance with MIL-PRF-28800F
Storage Shock	50 g, half-sine, 11 ms pulse Meets IEC-60068-2-27. Test profile developed in accordance with MIL-PRF-28800F
Operating Vibration	5 Hz to 500 Hz, 0.31 g <sub>rms</sub> Meets IEC-60068-2-64
Storage Vibration	5 Hz to 500 Hz, 2.46 g <sub>rms</sub> Meets IEC-60068-2-64. Test profile exceeds requirements of MIL-PRF-28800F, Class 3
Altitude	2,000 m maximum (at 25 °C ambient temperature)
Pollution Degree	2

#### NI PCI-5105



**Note** To ensure that the NI PCI-5105 cools effectively, make sure that the chassis in which it is used has active cooling that provides at least some airflow across the PCI card cage. To maximize airflow and extend the life of the device, leave any adjacent PCI slots empty. Refer to the *Maintain Forced-Air Cooling Note to Users* included in the NI PCI-5105 kit for important cooling information. The NI PCI-5105 is intended for indoor use only.

Specification	Value
Operating Temperature	0 °C to +45 °C Meets IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2
Storage Temperature	–40 °C to +71 °C Meets IEC-60068-2-1 and IEC-60068-2-2
Operating Relative Humidity	10% to 90%, noncondensing Meets IEC-60068-2-56
Storage Relative Humidity	5% to 95%, noncondensing Meets IEC-60068-2-56
Storage Shock	50 g, half-sine, 11 ms pulse Meets IEC-60068-2-27 Test profile developed in accordance with MIL-PRF-28800F
Storage Vibration	5 Hz to 500 Hz, 2.46 g <sub>rms</sub> Meets IEC-60068-2-64 Test profile exceeds requirements of MIL-PRF-28800F, Class 3
Altitude	2,000 m maximum (at 25 °C ambient temperature)
Pollution Degree	2

#### Safety, Electromagnetic Compatibility, and CE Compliance

##### Safety Standards

This product is designed to meet the requirements of the following standards of safety for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

IEC 61010-1, EN 61010-1  
UL 61010-1, CSA 61010-1



**Note** For UL and other safety certifications, refer to the product label or the *Online Product Certification* section.

## Electromagnetic Compatibility

This product meets the requirements of the following EMC standards for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use:

EN 61326 (IEC 61326): Class A emissions; Basic immunity

EN 55011 (CISPR 11): Group 1, Class A emissions

AS/NZS CISPR 11: Group 1, Class A emissions

FCC 47 CFR Part 15B: Class A emissions

ICES-001: Class A emissions



**Note** For the standards applied to assess the EMC of this product, refer to the *Online Product Certification* section.



**Note** For EMC compliance, operate this device with RG223/U or equivalent shielded cable. Operate according to product documentation.

## CE Compliance

This product meets the essential requirements of applicable European Directives, as amended for CE marking, as follows:

2006/95/EC; Low-Voltage Directive (safety)

2004/108/EC; Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)

## Online Product Certification

Refer to the product Declaration of Conformity (DoC) for additional regulatory compliance information. To obtain product certifications and the DoC for this product, visit [ni.com/certification](http://ni.com/certification), search by module number or product line, and click the appropriate link in the Certification column.

## Environmental Management

National Instruments is committed to designing and manufacturing products in an environmentally responsible manner. NI recognizes that eliminating certain hazardous substances from our products is beneficial not only to the environment but also to NI customers.

For additional environmental information, refer to the *NI and the Environment* Web page at [ni.com/environment](http://ni.com/environment). This page contains the environmental regulations and directives with which NI complies, as well as other environmental information not included in this document.

## Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)



**EU Customers** At the end of the product life cycle, all products *must* be sent to a WEEE recycling center. For more information about WEEE recycling centers, National Instruments WEEE initiatives, and compliance with WEEE Directive 2002/96/EC on Waste Electrical and Electronic Equipment, visit [ni.com/environment/weee.htm](http://ni.com/environment/weee.htm).

## 电子信息产品污染控制管理办法（中国 RoHS）



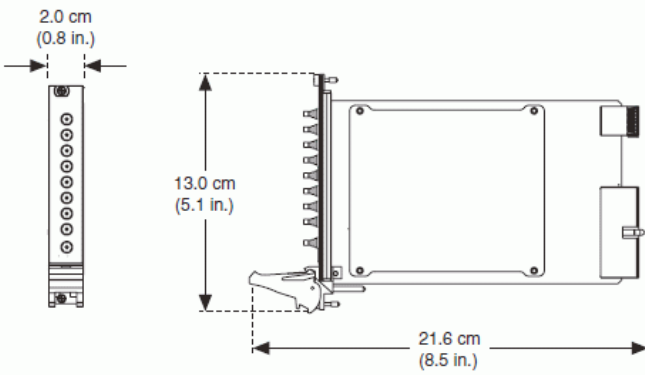
**中国客户** National Instruments 符合中国电子信息产品中限制使用某些有害物质指令 (RoHS)。关于 National Instruments 中国 RoHS 合规性信息，请登录 [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china)。(For information about China RoHS compliance, go to [ni.com/environment/rohs\\_china](http://ni.com/environment/rohs_china).)

## Physical

### Front Panel Connectors

Specification	Value	
Label	Function	Connector Type
CH 0–CH 7	Analog input	SMB jack
PFI 1	Trigger input/output, external clock in, reference clock input/output, and timebase out	SMB jack

### Dimensions and Weight

NI PXI-5105	
Dimensions	3U, One slot, PXI/cPCI Module 21.6 × 2.0 × 13.0 cm (8.5 × 0.8 × 5.1 in.) 
Weight	474 g (16.7 oz)

NI PCI-5105	
Dimensions	35.5 × 2.0 × 11.3 cm (14.0 × 0.8 × 4.4 in.)
	<p>The diagram shows a side view of the NI PCI-5105 card. It is a long, thin rectangular component. On the left side, there is a vertical edge with several circular connectors. Dimension lines indicate the following measurements: a width of 2.0 cm (0.8 in.) across the top edge, a height of 11.3 cm (4.4 in.) from the bottom edge to the top of the main body, and a total length of 35.5 cm (14.0 in.) from the left edge to the right edge.</p>
Weight	433 g (15.2 oz)

<sup>1</sup> (NI PCI-5105 only) Due to high spectral noise content below 5 kHz caused by some computer chassis, spectral performance of the NI PCI-5105 is specified for 5 kHz and above on the indicated ranges. For more information on preventing ground loop noise, refer to the *Ground Loop Noise* topic in the *NI High-Speed Digitizers Help*. **Note:** The specifications listed here apply for all frequencies on the NI PXI-5105.

[Back to Top](#)

©2010 National Instruments. All rights reserved. CompactRIO, CVI, FieldPoint, LabVIEW, Measurement Studio, National Instruments, National Instruments Alliance Partner, NI, and ni.com are trademarks of National Instruments. The mark LabWindows is used under a license from Microsoft Corporation. Windows is a registered trademark of Microsoft Corporation in the United States and other countries. Other product and company names listed are trademarks or trade names of their respective companies. A National Instruments Alliance Partner is a business entity independent from National Instruments and has no agency, partnership, or joint-venture relationship with National Instruments.

[My Profile](#) | [RSS](#) | [Privacy](#) | [Legal](#) | [Contact NI](#) © 2012 National Instruments Corporation. All rights reserved.

# Anexo IV

## Manual para la ampliación de canales

Para la adición de nuevos canales se deben seguir los siguientes pasos:

### 1. Modificación de las definiciones tipo:

Desde el explorador del proyecto dónde se puede ver toda la jerarquía, abrir el typedef *Hardware Configuration* (My Computer → Acquisition.lvlib → HardwareConfiguration.ctl). Una vez abierto duplicar cada elemento, de tal forma que unos elementos sean para la configuración de una de las tarjetas PXI-5105 y los otros para la otra.

Aquellos elementos que se sepan de antemano que van a ser siempre iguales para ambas tarjetas (Por ejemplo la impedancia de entrada o rango) no hará falta duplicarse. Una vez finalizado guardar y salir del typedef.

Por otro lado hay que modificar el control *Data communication* (My Computer → Data communication → Communication references.ctl) y modificar la referencia de la cola de adquisición al de una cola con tipo de data 2D Array Waveform.

### 2. Etapa de Adquisición:

2.1. Abrir el VI *Initialize Hardware Reference* (My Computer → Acquisition.lvlib → Initialize Hardware Reference.vi). Una vez dentro añadir otra función *NiScope Initialize*, expandir el *Unbundle by name* y conectar de la misma forma que el existente pero con los nuevos parámetros creados en el paso 1.

2.2. Abrir el VI *Configure Vertical & Horizontal HW* (My Computer → Acquisition.lvlib → VI Configure Vertical & Horizontal HW.vi) y duplicar el código pero conectándolo a los parámetros creados previamente en 1 que aparecerán al ampliar los *Unbundle by name*.

2.3. Repetir la misma acción para el VI *Configure Trigger* (My Computer → Acquisition.lvlib → Configure Trigger.vi).

NOTA: En el paso 2.2 y 2.3, aquellos parámetros que decidimos que iban a ser iguales para ambas tarjetas, se conectarán a los VIs por partida doble.



- 2.4. Repetir la misma acción para el VI *Listening Channels* (My Computer →Acquisition.lvlib →Listening Channels.vi).
  - 2.5. Abrir la función *Acquire* (My Computer →Acquisition.lvlib →Acquire.vi) pero metiendo los datos de ambas tarjetas en la misma cola. Para poder hacerlo habrá que construir un array 2D con la función *Build Array*.
  - 2.6. Abrir la función *Close Acquisition Task* (My Computer →Acquisition.lvlib →Close Acquisition Task.vi) y cerrar la referencia de la segunda tarjeta duplicando el VI *Close References*.
3. **Modificación de la visualización de las señales:**
- 3.1. Abrir el VI *Display Signals* (My Computer→Support VIs→Display Signals.vi) añadir los gráficos para la visualización de las 8 nuevas señales. Debido al aumento de señales habrá que pensar en meter 2 señales por gráfico o bien rediseñar la interfaz de visualización.

# Anexo V

## Presupuesto

En este presupuesto se muestra una estimación de los gastos que ha conllevado la realización del proyecto, quedando reflejado los costes de personal y equipamiento.

La duración del proyecto ha sido de 5 meses, abarcando desde Septiembre de 2013 hasta Enero de 2014.

### 1.1 Costes de personal

Capítulo 1: Horas de Ingeniería				
Unidad	Descripción	Cantidad	Precio Unidad (€)	Precio Total (€)
Hora	<b>Hora de Ingeniería</b> -Análisis de especificaciones. -Recogida de información. -Reuniones con el tutor.	140	19	2660
Hora	<b>Hora de Ingeniería</b> -Elección de diseño de programación. -Esbozo de la interfaz de usuario. -Reuniones con el tutor.	100	19	1900
Hora	<b>Hora de Ingeniería</b> -Creación del código de la aplicación. - Implantación de la interfaz de usuario	240	19	4560
Hora	<b>Hora de Ingeniería</b> -Testo de la aplicación. -Reuniones con el tutor.	24	19	456
Hora	<b>Documentación</b> -Memoria. -Manuales. -Hojas de características.	100	19	1900
			<b>Total (€)</b>	<b>11476</b>

## 1.2 Costes de material

Estos costes son los referentes al coste de hardware necesario para el montaje del sistema, y los costes de equipos y software que han sido necesarios para la ejecución del proyecto.

Capítulo 2: Sumistro de equipamiento para el Laboratorio				
Unidad	Descripción	Cantidad	Precio Unidad (€)	Precio Total (€)
Unidad	<b>Chasis PXIe-1071</b> -4 Slots 3U. -1 GB/s de ancho de banda dedicado por slot. - Relojes de referencia a 10 Mhz y 100 MHz. -Suministro incluido.	1	820	820
Unidad	<b>Controlador Embebido PXIe-8135</b> -Procesador i7-3610QE a 2.3 GHz. -4 GB RAM DDR3 a 1600 MHz. - SO Windows 7. -Suministro incluido.	1	4560	4560
Unidad	<b>Digitalizador de alta densidad PXI-5105</b> -8 Canales muestreados simultáneamente. -Resolución vertical de 12 bits. - Velocidad de muestreo en tiempo real de 60 MS/s. -128 MB de memoria interna.	1	6130	6130
Unidad	<b>Sensor Piezoeléctrico R15I-AST</b> -Rango de operación 80-200 kHz. -Preamplificador de bajo ruido. - Salida filtrada y adaptada a 50 $\Omega$ de impedancia. - Sensibilidad de 1 V/Pa.	8	1500	12000
Unidad	<b>Hidrófono Brüel &amp; Kjær 8103</b> -Rango de operación 0,1 Hz a 180 kHz. -Presiones de trabajo superiores a 100 atm. -Alta resistencia a la corrosión.	1	2000	2000
Unidad	<b>Entorno de programación LabVIEW 2010</b> -Versión Developer Suite 2010 -Librería Signal Analysis. -Librería Report Generator.	1	2200	2200
Unidad	<b>Cuba de PMMA</b> -Dimensiones 70cm x 40cm x 50cm. -Suministro incluido.	1	300	300
			<b>Total (€)</b>	<b>28010</b>

# Resumen de Costes

Para finalizar se incluye una tabla con el resumen de costes y el presupuesto final.

Resumen del Presupuesto		
Capítulo	Concepto	Precio (€)
1	Suministro de equipamiento para el laboratorio	28010
2	Horas de Ingeniería	11476
	<b>TOTAL(€)</b>	<b>39486</b>

El presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de **TREINTA Y NUEVE MIL CUATROCIENTOS OCHENTA SEIS EUROS** incluyendo el impuesto sobre el valor añadido.

Leganés a 23 de Febrero de 2014

Fdo. El ingeniero proyectista

Juan Manuel Rivas Díaz

