

# Instrumentación virtual aplicada al monitoreo radioeléctrico en la banda de 2 m

Darien Morales Arboláez  
Sergio Rodríguez Arias  
Francisco Vázquez Romero

Edición: Liset Ravelo Romero

Corrección: Fernando Gutiérrez Ortega

Diagramación: Roberto Suárez Yera

Darien Morales Arboláez, Sergio Rodríguez Arias y Francisco Vázquez Romero, 2009

Editorial Feijóo, 2009

ISBN: 978-959-250-460-8



EDITORIAL  
*Feijóo*

Editorial Samuel Feijóo, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Carretera a Camajuaní, km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba. CP 54830

## RESUMEN

En este trabajo se desarrolla el diseño de un sistema de monitoreo del espectro radioeléctrico utilizando la instrumentación virtual como alternativa para aumentar el desempeño de algunos equipos de comunicaciones. En este diseño se utiliza una tarjeta de adquisición de señal AT-MIO-16E-1, creada por la *National Instruments* y se diseña un software utilizando la plataforma 'LabView', propiedad de la misma compañía. El software implementa una adquisición de la señal de radio, sin demodular, en el dominio del tiempo para realizar, a través de un procesamiento digital de señales, un análisis en el dominio de la frecuencia, monitoreando un segmento de la banda de 2 m y observándose la aparición de señales en determinada frecuencia. Dentro de un canal previamente asignado, se le determina un posible corrimiento en frecuencia a la transmisión, estimándose la potencia recibida. El equipo de comunicaciones que se utiliza es un 'Telindel-25' donde se le prepara para extraer la información a muestrear después de la segunda FI, la cual opera a 100 Khz. Este equipo está diseñado para trabajar a una frecuencia fija, por lo que en el trabajo se describe cómo prepararlo para que el software lo resintonice y así cambiarlo de canal continuamente. Este conjunto de instrumentos se maneja a través de la red de computadoras y con la ayuda de los protocolos desarrollados por la *National Instrument*, se controla el funcionamiento de todo el sistema. Se analizan las posibles variantes de comunicación a través de la red que utilizan los instrumentos virtuales.

## ÍNDICE

### INTRODUCCIÓN 6

### CAPÍTULO 1. ANÁLISIS Y ETAPAS DE LA INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL ...9

1.1	Definición de Instrumentación Virtual .....	9
1.1.1	Instrumentos virtuales contra instrumentos tradicionales.....	10
1.1.2	¿Por qué el LabVIEW? .....	11
1.2	Análisis en el dominio de la frecuencia .....	12
1.2.1	Transformada Discreta de Fourier .....	15
1.3	Instrumentación Virtual Remota (IVR). .....	16
1.3.1	Tecnologías de LabVIEW para el trabajo en red.....	18
1.3.2	Visualización remota utilizando LabVIEW incorporado en un Servidor-Web.	19

### CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍA DE ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN DE DATOS POR LA RED .....21

2.1	Dispositivos de Adquisición (DAQ).....	21
2.1.1	Tarjetas de adquisición de datos. ....	21
2.2	El Receptor de Radiofrecuencia .....	25
2.3	Configuración de la Tarjeta de Adquisición de Datos. ....	27
2.4	Visualización Remota utilizando el Servidor Web de LabVIEW .....	28

### CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SOFTWARE. ....31

3.1	Medidor de desviación de frecuencia. ....	32
3.1.1	Sintonizar el equipo de Comunicaciones.....	34

## ÍNDICE

---

3.1.2	• Adquisición de muestras .....	35
3.1.3	Procesamiento digital de la señal adquirida.....	36
3.1.4	Visualización de los resultados.....	38
3.2	Analizador de espectro radioeléctrico.....	40
3.3	Visualización Remota utilizando el Servidor Web de LabVIEW. ....	44
CONCLUSIONES		48
RECOMENDACIONES.....		49
ANEXOS - 50 -		
Anexo II	Diagrama de bloques de la TAD “AT-MIO-16E-1”. ....	- 51 -
Anexo III	Asignaciones a los pines del conector entrada-salida. ....	- 52 -
Anexo VI	Diagrama del “Medidor de Desviación de Frecuencia”. ....	- 53 -
Anexo VII	Diagrama del “Analizador de Espectro”.....	- 54 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		- 57 -

### INTRODUCCIÓN

El acelerado desarrollo de la computación ha permitido implementar modernos y complejos instrumentos que basan su principio de funcionamiento en la aplicación de las técnicas del Procesamiento Digital de Señales.

Frecuentemente es necesario, por parte del Ministerio del Interior, revisar una porción de la banda de 2 m, específicamente el segmento donde operan sus comunicaciones. Esta revisión se realiza con el objetivo de saber en qué frecuencias se está transmitiendo de manera que se puedan detectar posibles interferencias no deseadas. Además se ha hecho necesario conocer, dentro de la frecuencia de un canal, si la modulación de un transmisor está lo suficientemente al medio del canal como para que no realice interferencias al canal adyacente.

Se ha contado tradicionalmente con receptores en la banda de 2 m y uno de los más utilizados es el Telindel-25 de fabricación búlgara, el cual se sintoniza con tecnología basada en PLL y la selección de cada canal se realiza ubicando una serie de diodos dentro de una matriz de conexión que se encuentra interna dentro del equipo. Cambiar de canal, para este equipo de comunicaciones, implica cambiar la conexión de los diodos por lo que si un usuario quisiera moverse dentro de la banda resultaría demasiado trabajoso. Además con un receptor convencional no se puede comprobar exactamente en qué frecuencia dentro de la banda se está realizando la modulación.

Para resolver los anteriores requerimientos se contaba con una tarjeta de adquisición de datos, la AT-MIO-16E-1 y dicho receptor de radio, Telindel-25, convirtiéndose en una interrogante el ¿cómo diseñar un sistema que le incorpore la capacidad de moverse de canal al equipo de radio?, y a su vez realice un análisis espectral de cada frecuencia sintonizada para mostrar al usuario cualquier transmisión dentro de la banda de comunicaciones. También se necesita que al detectarse una señal, el usuario pueda analizar la modulación del equipo que está transmitiendo con un nivel de detalle mayor que la información que se muestra de toda la banda.

Otro requerimiento a cumplir, consiste en controlar el sistema desde una ubicación remota y para esto se cuenta con una red corporativa en uso dentro de la institución la cual sería apropiada utilizar. El usuario tiene que ser capaz de controlar la medición aun cuando esta

se esté realizando en otro lugar con conexión de red y sin importar cuán distante se encuentre. Si tenemos en cuenta que esta no sería la única función de la red de computadoras, la otra interrogante sería ¿cómo diseñar la comunicación entre el usuario y el instrumento de medición sin que esto sea una carga de tráfico excesiva para la red?

Existen varios software de instrumentación virtual por solo mencionar algunos:

- LABView
- LabWindows /CVI
- Agilent-VEE, antes (Hp-VEE)
- Cyber Tools

Teniendo en cuenta que la tarjeta de adquisición de datos ha sido producida por la compañía ‘National Instruments’ y que se cuenta con las funciones necesarias (Drivers) para la confección del software utilizando la plataforma de desarrollo ‘LabView’, y además las experiencias anteriores de trabajos desarrollados en la Universidad “Marta Abreu” de Las Villas con dicha plataforma, se decide utilizarla como herramienta para diseñar el software que de respuesta a los requerimientos antes mencionados.

Por más de 25 años, la empresa norteamericana National Instruments (NI) ha revolucionado la manera de abarcar medición y automatización, utilizando los recursos de las computadoras y tecnologías comerciales. La instrumentación virtual unida a los dispositivos de adquisición de datos (DAQ), aumentan la productividad y reducen costos para aplicaciones de pruebas, control y diseño a través de un software fácil de integrar, como lo es LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) de NI. Los dispositivos multifuncionales DAQ de NI están disponibles en la mayoría de los buses más usados, incluyendo ISA, PCI, PCI Express, PXI, IEEE 1394 (FireWire) y USB y trabajan con los sistemas operativos más populares de la industria como Windows, Linux y Mac OSX. [1]

Para escoger una variante de solución que resuelva controlar de forma remota la medición, hay que tener en cuenta que dentro de esta plataforma existen varias formas de resolver este problema. El sistema a diseñar comprende un sistema de adquisición de datos enviados desde el equipo de comunicaciones y su utilización de forma eficiente dentro de la red de computadoras. Para esto surgen las interrogantes ¿cómo diseñar un software eficiente que

integre los recursos de hardware y realice el procesamiento digital? Y ¿Cuál de las tecnologías que implementa LabVIEW, para trabajar en la red sería la más adecuada para este problema?

Por tanto, los objetivos del trabajo se concentran en lograr un software que realice el procesamiento digital correspondiente de acuerdo a la información espectral que se necesita, una correspondiente a toda la banda de trabajo para detectar interferencia y otra correspondiente a un canal en específico para ver los posibles corrimientos de la transmisión de los equipos móviles. Además de que esta información pueda ser accedida de forma remota al sistema de adquisición utilizando la red corporativa de la institución, utilizando la tecnología más adecuada de trabajo con la red dentro de las variantes que LabVIEW implementa.

En el presente trabajo se desarrolla un complejo de instrumentación totalmente virtual, el cual deberá ser controlado a través de una red corporativa. Este sistema cuenta con 2 instrumentos:

1. Analizador de Espectro.
2. Medidor de Desviación de Frecuencia.

El soporte para la implementación de los mismos se basa en:

1. Microcomputadora (x486 o superior).
2. Tarjeta de Adquisición de datos (NI-DAQ) (AT-MIO-16E-1).
3. Interfaces de acople o acondicionamiento de las señales a medir o tratar.
4. Software especializado en el Procesamiento Digital de Señales (LabVIEW\_7.1).



## CAPÍTULO 1. ANÁLISIS Y ETAPAS DE LA INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL

### 1.1 Definición de Instrumentación Virtual

La instrumentación virtual es un concepto introducido por la compañía National Instruments. En el año 1983, Truchard y Kodosky, de National Instruments, decidieron enfrentar el problema de crear un software que permitiera utilizar la computadora personal (PC) como un instrumento para realizar mediciones. No fue sino hasta tres años después que se creó la primera versión del software que permitió, de una manera gráfica y sencilla, diseñar un instrumento en la PC. De esta manera surge el concepto de instrumento virtual (VI), definido como, "un instrumento que no es real, se ejecuta en una computadora y tiene sus funciones definidas por software."[2]. A este software le dieron el nombre de *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*, más comúnmente conocido por las siglas LabVIEW. Este es el primer software empleado para diseñar instrumentos en la PC, y emplea una metodología de programación gráfica, a diferencia de los lenguajes de programación tradicionales. Su código no se realiza mediante secuencias de texto, sino en forma gráfica, similar a un diagrama de flujo. Una de las propiedades básicas de un instrumento virtual es su habilidad de cambiar su forma a través del software, permitiéndole al usuario modificar su función a voluntad para satisfacer una amplia gama de aplicaciones[3].

**“Un sistema de instrumentación virtual es un software usado por el usuario para desarrollar un sistema de prueba y medición informatizado, con el objetivo de controlar un dispositivo de hardware de medición externo desde una computadora de escritorio, y para desplegar los datos de la prueba o medición en un panel de control en la pantalla de la computadora. Estos datos de las pruebas o mediciones son reunidos por el dispositivo externo interconectado con la computadora del escritorio.”[4]**

## 1.1.1 Instrumentos virtuales contra instrumentos tradicionales

Los instrumentos tradicionales autosuficientes como los osciloscopios y generadores de formas de onda son muy poderosos, caros, y diseñados para realizar una o más tareas específicas definidas por el fabricante. Sin embargo, el usuario generalmente no puede perfeccionarlos o personalizarlos. Los controles y botones en el instrumento, los componentes electrónicos incorporados, y las funciones disponibles al usuario, es todo específico a la naturaleza del instrumento. Además, deben desarrollarse tecnología especial y componentes costosos para construir estos instrumentos, haciéndolos muy caros y lentos de adaptar.

Los instrumentos virtuales, en virtud de ser basados en computadoras, aprovechan los beneficios de la última tecnología incorporada a las PCs. Estos adelantos en la tecnología y desempeño, que están cerrando rápidamente la brecha entre los instrumentos autosuficientes y las PCs, incluyen procesadores poderosos como el Pentium 4 y sistemas operativos y tecnologías como Microsoft Windows XP, .NET y Apple Mac OS X. Además, estas plataformas ofrecen también el acceso fácil a herramientas poderosas como la Internet.[4]

En la Tabla 1.1 se realiza una comparación de los instrumentos tradicionales con los instrumentos virtuales basados en diferentes aspectos.

**Tabla 1.1** Instrumentos tradicionales contra instrumentos virtuales

<b>Instrumentos tradicionales</b>	<b>Instrumentos Virtuales</b>
Definidos por el fabricante	Definidos por el usuario
Función específica, autosuficiente y con conectividad limitada	Sistema orientado a la aplicación con conectividad a las redes, periféricos y aplicaciones
El hardware es lo principal	El software es lo principal
Muy costosos	Económico, reusable
Funcionalidad cerrada, fija	Abierto, funcionalidad flexible independientemente de la tecnología de la computadora

Lento cambio en la tecnología (ciclo de vida de 5-10 años)	Rápido cambio en la tecnología (ciclo de vida de 1-2 ciclo años)
Economía mínima	Máxima economía
Alto costo de mantenimiento y desarrollo	El software minimiza el costo de desarrollo y mantenimiento.

### 1.1.2 ¿Por qué el LabVIEW?

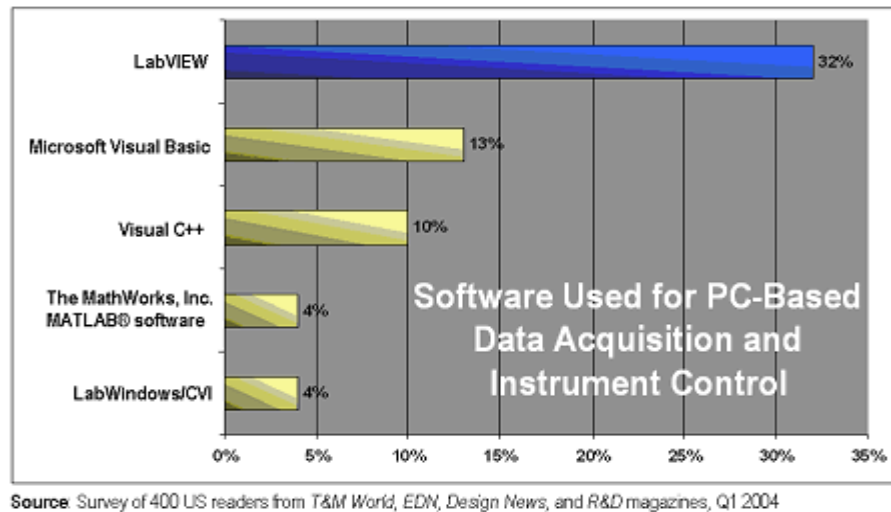
La elección del software es importante porque este es generalmente el componente central que une el sistema completo. Escogiendo el software correcto se puede aumentar al máximo la productividad, mientras que un paquete de software que no cubre las necesidades pudiera agotar tiempo y productividad. LabVIEW ayuda a que el usuario haga más proyectos en menos tiempo. Hay varias áreas en LabVIEW que contribuyen a una ganancia significativa en la productividad cuando es comparado con otro software de desarrollo, por ejemplo:

- Es fácil de aprender
- Es fácil de usar
- Posee una funcionalidad completa
- Posee un desarrollo modular

Debido a estas características propias de este poderoso software, en el trabajo con el mismo se obtienen las siguientes ventajas:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Ofrece la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.

- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad posible de elaboración del diseño.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.



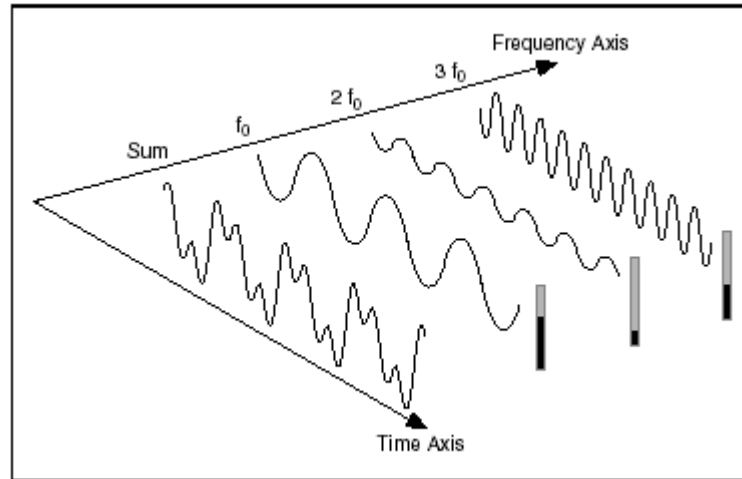
**Figura 1.5** Diferencias entre los diferentes softwares de Instrumentación Virtual en cuanto a su uso por parte de los programadores.

La figura 1.5 refleja de manera cuantitativa las preferencias de la mayoría de los diseñadores de instrumentos virtuales de todo el mundo. En la misma se puede observar que LabVIEW es un líder en software de aplicación usado en instrumentos de control y adquisición de datos basados en computadoras.

### 1.2 Análisis en el dominio de la frecuencia

Cuando se realiza una medición de una señal la representación en el dominio del tiempo muestra las amplitudes de esta en los instantes de tiempo mientras fue muestreada. Sin embargo, en muchos casos es necesario conocer los contenidos de frecuencia de una señal en lugar de las amplitudes de las muestras individuales.

El teorema de Fourier declara que cualquier forma de onda en el dominio de tiempo puede ser representada por la suma de cierta cantidad de senos y cosenos. Las mismas pueden representarse entonces en el dominio de frecuencia como un par de valores de amplitud y fase para cada componente de frecuencia.[5]



**Figura 1.6** Señal formada mediante la adición de tres componentes de frecuencia.

Es posible generar cualquier forma de onda mediante la suma de ondas seno, cada una con una amplitud y fase particular. La figura 1.6 muestra la forma de onda original, llamada suma, y sus componentes de frecuencias. La frecuencia fundamental se muestra en la frecuencia  $f_0$ , el segundo armónico a frecuencia  $2f_0$ , y el tercer armónico a frecuencia  $3f_0$ .

En el dominio de la frecuencia, usted puede separar las ondas de senoide que se agregan para formar la señal compleja en el dominio del tiempo. La figura 1.6 muestra además las componentes de frecuencia que se muestran por separado en el dominio de tiempo como impulsos distintos en el dominio de frecuencia. La amplitud de cada línea de frecuencia es la amplitud de la forma de onda para ese componente de frecuencia. La representación de una señal en términos de sus componentes de frecuencia individuales es la representación en el dominio de la frecuencia de la señal. La representación en el dominio de la frecuencia podría proporcionar más visión sobre la señal y el sistema del que fue generada.

Las muestras de una señal obtenidas por un dispositivo de adquisición de datos (DAQ) constituyen la representación en dominio del tiempo de la señal. Algunas mediciones, como la distorsión armónica, son difíciles de cuantificar inspeccionando la forma de onda de tiempo en un osciloscopio. Cuando la misma señal se despliega en el dominio de frecuencia por un Analizador de FFT, también conocido como un Analizador Dinámico de Señales, usted puede medir más fácilmente las frecuencias y amplitudes de las armónicas.[5]

La transformada de Fourier provee un método para el examen de una relación en términos del dominio de la frecuencia. Las aplicaciones más comunes de la transformada de Fourier son el análisis de sistemas lineales invariantes en el tiempo y el análisis espectral.

La ecuación siguiente define los dos lados de la transformada de Fourier.

$$X(f) = F\{x(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1.1)$$

La ecuación siguiente define los dos lados de la transformada inversa de Fourier.

$$x(t) = F^{-1}\{X(f)\} = \int_{-\infty}^{\infty} X(f)e^{j2\pi ft} df \quad (1.2)$$

Los lados significan que la implementación matemática de la transformada de Fourier directa e inversa consideran todas las frecuencias, así como el tiempo de la señal, en las partes negativa y positiva. Un solo lado significa que la implementación matemática de la transformada considera sólo las frecuencias e historia de tiempo de la señal, positivas.

Un par transformado de Fourier consiste en la representación de la señal en los dominios del tiempo y de la frecuencia. La siguiente relación normalmente denota un par transformado de Fourier.

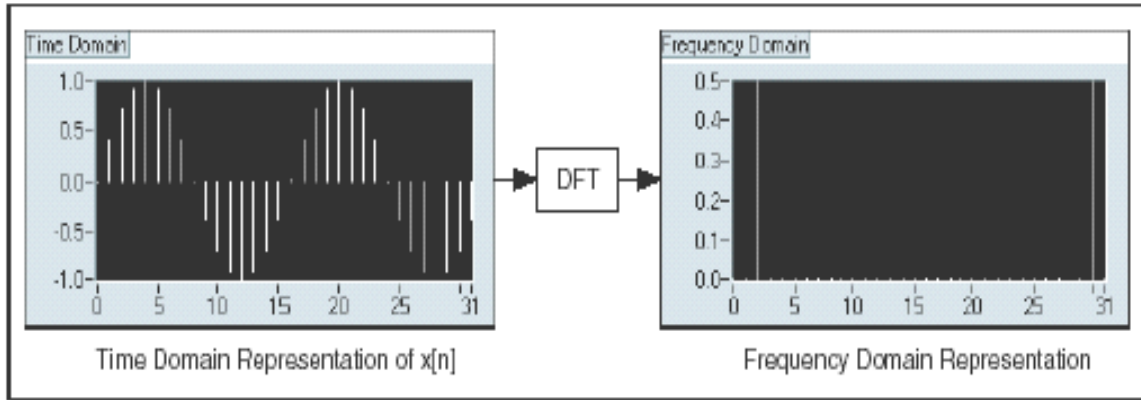
$$x(t) \Leftrightarrow X(f) \quad (1.3)$$

Esta información se puede representar como un vector bidimensional o como un número complejo. En las representaciones gráficas, frecuentemente sólo se representa el módulo al cuadrado de ese número, y el gráfico resultante se conoce como “espectro de potencia” o “densidad espectral de potencia”.

Es importante recordar que la transformada de Fourier de una onda aleatoria, mejor dicho estocástica, es también aleatoria. Un ejemplo de este tipo de onda es el ruido ambiental. Por tanto para representar una onda de ese tipo se requiere de cierto tipo de promedio para representar adecuadamente la distribución de frecuencias. Para señales estocásticas digitalizadas de ese tipo se emplea con frecuencia la “transformada de Fourier” discreta (DFT).

### 1.2.1 Transformada Discreta de Fourier

El algoritmo usado para transformar muestras de datos del dominio de tiempo al dominio de frecuencia es la transformada discreta de Fourier (DFT). El DFT establece la relación entre las muestras de una señal en el dominio de tiempo y su representación en el dominio de frecuencia. La DFT se usa ampliamente en los campos de análisis espectral, mecánica aplicada, acústica, imágenes médicas, análisis numérico, instrumentación, y telecomunicaciones. La figura 1.7 ilustra el uso del DFT para transformar los datos del dominio de tiempo al dominio de frecuencia.



**Figura 1.7** Transformada Discreta de Fourier

Suponiendo que se han obtenido  $N$  muestras de una señal de un dispositivo DAQ. Si se aplica el DFT a  $N$  muestras de esta representación en el dominio del tiempo de la señal, el resultado también es de  $N$  muestras de longitud, pero la información que contiene es de la representación del dominio de la frecuencia.

Si una señal se muestrea a una razón de muestreo dada, la Ecuación 1.4 define el intervalo de tiempo entre las muestras, o el intervalo de muestreo.

$$\Delta t = \frac{1}{f_s} \quad (1.4)$$

Donde  $\Delta t$  es el intervalo de muestreo y  $f_s$  es la razón de muestreo en muestras por segundo.

El intervalo de muestreo es la mínima frecuencia que el sistema puede resolver a través del DFT o las rutinas relacionadas.

La Ecuación 1.5 define la DFT. La ecuación obtiene  $X[k]$ , la representación en el dominio de la frecuencia de la muestra de la señal.

$$X[k] = \sum_{i=0}^{N-1} x[i] e^{\frac{-j2\pi ik}{N}} \quad \text{para } k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (1.5)$$

Donde el  $x[i]$  es la representación en dominio del tiempo de la señal de la muestra y  $N$  es el número total de muestras. Ambos, el dominio de tiempo  $x$  y el dominio de frecuencia  $X$  tienen un total de muestras de  $N$ .

Similar al espacio de tiempo de  $\Delta t$  entre las muestras de  $x$  en el dominio de tiempo, se tiene un espaciado de frecuencia, o resolución de frecuencia, entre los componentes de  $X$  en el dominio de frecuencia que define la Ecuación 1.6.

$$\Delta f = \frac{f_s}{N} = \frac{1}{N\Delta t} \quad (1.6)$$

Donde  $\Delta f$  es la resolución de frecuencia,  $f_s$  es la razón de muestreo,  $N$  es el número de muestras,  $\Delta t$  es el intervalo de muestreo, y  $N\Delta t$  es el tiempo total de adquisición.

Para mejorar la resolución de frecuencia, esto es, para disminuir  $\Delta f$ , se debe aumentar  $N$  y mantener constante  $f_s$  o disminuir  $f_s$  y mantener  $N$  constante. Ambas aproximaciones son equivalentes a aumentar  $N\Delta t$  que es la duración de tiempo de las muestras adquiridas.

### 1.3 Instrumentación Virtual Remota (IVR)

Así como los avances en la tecnología de las PCs transformaron la manera en que se automatizan las mediciones, las redes están revolucionando la arquitectura fundamental de los sistemas de medición basados en PC. Al usar las tecnologías de red en los sistemas de medición, se pueden implementar entradas/salidas en el piso de producción, distribuir procesamiento adicional para análisis en el centro de control, almacenar información post-análisis en bases de datos corporativas y desplegar información clave a clientes alrededor del mundo a través de un navegador de Web. La herramienta esencial que se necesita para acoplar todos los componentes es el software. LabVIEW provee una plataforma para diseñar un sistema de prueba que toma ventaja de las tecnologías más recientes mientras el ambiente sigue enfocado a desarrollar sus aplicaciones rápidamente.



Existen muchas tecnologías disponibles para compartir información y datos a través de la red y es útil entender algunas de las clasificaciones básicas antes de empezar su aplicación. Por conveniencia y claridad se han dividido las **aplicaciones en diferentes** tipos, los cuales son: Publicación de Datos, Compartir Datos, Control Remoto y Ejecución Distribuida.

- **Publicación de Datos:** es generar un reporte de Web estático de los resultados de las pruebas que después se puede compartir con otros. Esta función es la versión electrónica del tradicional reporte impreso pero tiene la ventaja de ser fácilmente accedido a través de un navegador de Web estándar.
- **Compartir Datos:** expande las funciones de la publicación de datos para incluir la transferencia de datos entre computadoras donde diferentes tipos de análisis se pueden realizar dependiendo de las necesidades en particular. Algunas aplicaciones requieren la transferencia de datos para almacenamiento, procesamiento o monitoreo adicional. Por ejemplo, un ingeniero puede actualizar los parámetros de entrada mientras la prueba sigue en progreso.
- **Control Remoto:** expande el concepto de sólo compartir datos para habilitar otra computadora a que se conecte al experimento y lo controle remotamente. Para muchas aplicaciones la prueba se lleva a cabo en un ambiente rudo y es inconveniente tener un supervisor en la terminal continuamente.
- **Ejecución Distribuida:** combina varios de los conceptos al crear una arquitectura de sistema que comparte la adquisición y análisis de la prueba entre varias computadoras. Los sistemas del futuro estarán compuestos de nodos que pueden transferir datos entre computadoras para que diferentes partes de la prueba se ejecuten en diferentes lugares y los datos aún puedan ser correlacionados y usados para controlar otros objetos de hardware.

Debido a que LabVIEW ofrece diferentes métodos para operar, monitorear y/o controlar una aplicación vía Internet o World Wide Web (WWW), es importante conocer el rango de aplicabilidad de cada método y sus facilidades de implementación en la práctica. Es necesario también, para la utilización de estos métodos, poseer un cierto nivel de

conocimiento de programación de LabVIEW, así como de los principios de las tecnologías de Internet.

### 1.3.1 Tecnologías de LabVIEW para el trabajo en red

Las dos categorías de aplicaciones de LabVIEW con capacidad para el trabajo en línea son WWW (*World Wide Web*, en español, Red Global Mundial) y a través de una red corporativa ó de Internet, como también se le conoce.(Masoud Naghedolfeizi, 2002)

Las tecnologías implementadas mediante WWW pueden ser muy simples o relativamente complejas en dependencia del tipo de aplicación o del uso de sistemas de software agregados. Los principales métodos Web proporcionados por LabVIEW incluyen:

- Visualización remota utilizando LabVIEW incorporado en un Servidor-Web.
- Tecnología CGI.
- Tecnologías DataSocket y ActiveX.
- Tecnologías DataSocket y applet de Java.
- Tecnología AppletVIEW.

Los métodos a través de cualquier red corporativa aplican el protocolo TCP/IP para construir sus aplicaciones. Al igual que en los métodos Web, la complejidad de los métodos de Internet depende del tipo de aplicación y el uso de los sistemas de software agregados. Cabe señalar que las aplicaciones que utilicen los métodos de Internet se basan en arquitectura cliente/servidor y por lo general no se controla a través de la Web. Estas aplicaciones normalmente requieren el sitio remoto (cliente), que posea el software LabVIEW (programa cliente), para acceder al servidor web que contiene la aplicación principal de funcionamiento, por ejemplo, un experimento en línea. Entre estos métodos llamados “Métodos de Internet”, los principales son:

- Aplicación cliente/servidor utilizando las funciones TCP/IP de LabVIEW.
- Tecnología VI Server.
- Tecnología DataSocket.

### 1.3.2 Visualización remota utilizando LabVIEW incorporado en un Sevidor-Web

Este es el método más simple de conectar una aplicación de LabVIEW con la WWW. En este método, pueden ser difundidas a través de la Web y en relativamente breves intervalos de tiempo, imágenes del panel de la aplicación, a los usuarios. La ventaja de este método es su simplicidad y el hecho de que no necesita ningún código o sistemas de software agregado. Sin embargo, la principal desventaja es que el usuario no puede interactuar con el Instrumento Virtual (VI). Además, una disminución relativamente notable en la calidad de la ejecución de la aplicación puede ocurrir si un gran número de usuarios la acceden simultáneamente. La configuración de esta variante es muy sencilla y directa.

Esta tecnología puede ser utilizada para experimentos en los que sólo necesitan fijarse los valores de entrada y pueden ser fácilmente repetidos cada cierto intervalo de tiempo de manera automática o manual. Cabe señalar que este método no mostrará los datos en tiempo real y el usuario remoto no tiene un acceso directo a los datos generados durante la ejecución de la aplicación. Para aplicar este método durante un experimento en línea, el programa de LabVIEW debe contener rutinas para publicar los datos experimentales en el sitio Web del experimento y de informar al usuario cuando termina de correr la aplicación experimental. Este método permite a los usuarios observar el experimento y el uso posterior de los datos experimentales, accesibles a través de la Web para su análisis.

**Tabla 1.2** Ventajas y desventajas de las tecnologías de LabVIEW para aplicaciones a través de Internet/WWW

	<b>Desarrollo de la Aplicación</b>	<b>Rango de Aplicación</b>	<b>Interacción con el usuario</b>	<b>Conocimientos de Programación</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Costo (Software Adicional)</b>
<b>Remote Viewing</b>	Muy simple	Limitado (no datos en vivo)	Ninguna	Sólo LabVIEW	Buena	Ninguno
<b>CGI</b>	Relativamente difícil	Moderado (no datos en vivo)	Moderada	LabVIEW +CGI +HTML	Buena	HTML
<b>DataSocket &amp; ActiveX</b>	Moderadamente difícil	Bueno (soporta datos en vivo)	Buena (solo con IExplorer)	LabVIEW +Visual Basic +HTML	Puede ser problemático	Component Work +VB

<b>DataSocket &amp; Java Applet</b>	Muy poca dificultad	Bueno (soporta datos en vivo)	Muy buena	LabVIEW +Java +HTML	Buena	Visual Java +VIB
<b>AppletView</b>	Relativamente fácil	Bueno (soporta datos en vivo)	Muy buena	LabVIEW +AppetView	Buena	AppletView
<b>Client/Server (TCP/IP)</b>	Difícil	Muy bueno(soporta datos en vivo)	Excelente	LabVIEW	Muy buena	Ninguna
<b>VI Server</b>	Relativamente difícil	Bueno (soporta datos en vivo)	Buena	LabVIEW	Muy buena	Ninguna
<b>DataSocket</b>	Muy poca dificultad	Bueno (soporta datos en vivo)	Buena	LabVIEW	Buena	Ninguna

Como se puede apreciar en las descripciones son varias las tecnologías que ofrece LabVIEW para el trabajo en redes de la instrumentación virtual, las cuales pueden ser usadas en dependencia de los requerimientos del diseño en particular.

Para la confección de este proyecto, se analizarán las variantes que por sus características se consideran las más idóneas, ya que no requieren el conocimiento de otros lenguajes de programación, y sólo necesitan de LabVIEW instalado para su ejecución:

## Para la interacción a través de la web:

- Visualización Remota utilizando el Servidor Web de LabVIEW.

## **CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍA DE ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN DE DATOS POR LA RED**

### **2.1 Dispositivos de Adquisición (DAQ)**

La tarea fundamental de todos los sistemas de medición es la medición y/o generación de señales físicas reales. Los dispositivos de medición ayudan a adquirir, analizar, y presentan las mediciones tomadas.

A través de la adquisición de datos, se adquieren y convierten señales físicas, como voltaje, corriente, presión y temperatura, en los formatos digitales y son transferidos a la computadora. Los métodos populares para adquirir los datos incluyen DAQ plug-in y dispositivos de instrumentación, instrumentos GPIB, PXI (las extensiones de PCI para la Instrumentación), e instrumentos de RS-232.

Un dispositivo DAQ de propósito general es un dispositivo que adquiere o genera datos y puede contener múltiples canales. También es posible usar dispositivos DAQ de propósito general para generar señales analógicas, ondas sinusoidales y señales digitales, como pulsos. Típicamente, se pueden conectar estos dispositivos directamente al bus interno de la computadora a través de una ranura de conexión.

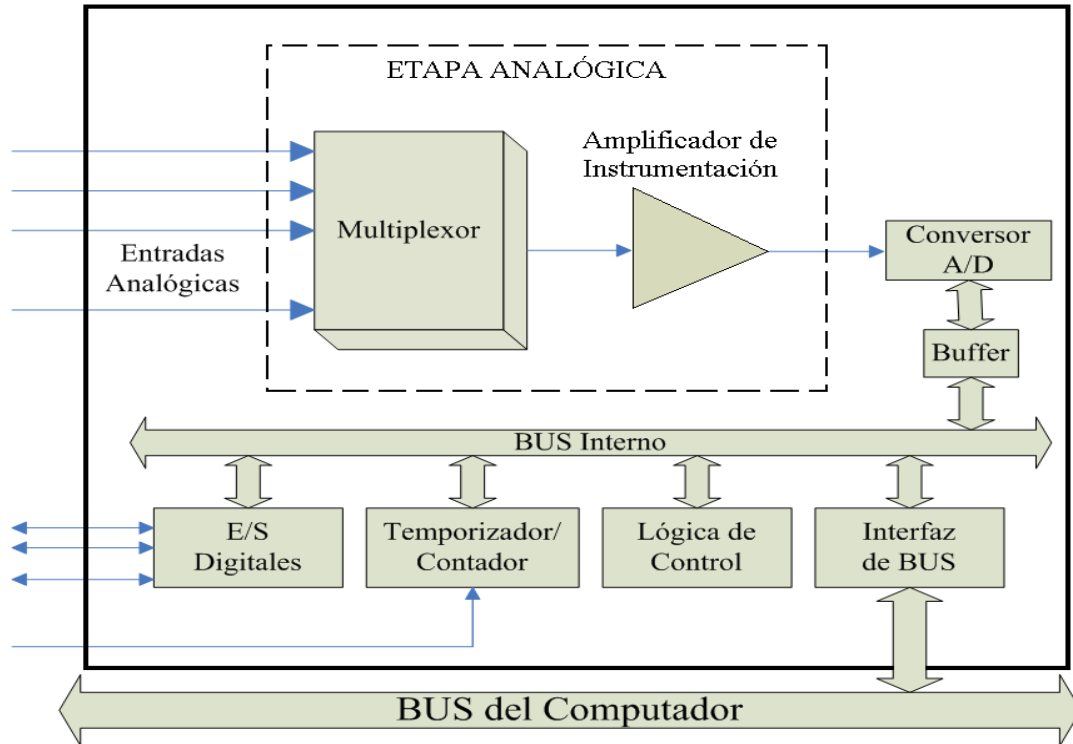
Un sistema de medición DAQ de propósito general es diferente de otros sistemas de medición ya que el software instalado en la computadora determina la medición. El dispositivo DAQ sólo convierte la señal entrante en una señal digital que pueda ser usada por la computadora. Esto permite que el mismo dispositivo pueda realizar una gran variedad de mediciones simplemente cambiando la aplicación del software que lee los datos.

#### **2.1.1 Tarjetas de adquisición de datos**

Las tarjetas de adquisición de datos (TAD) son dispositivos en formato de tarjeta de circuito impreso que se conectan directamente al computador a través de las ranuras de expansión.

## CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍA DE ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN DE DATOS POR LA RED

La TAD más sencilla consiste en un hardware de adquisición que tan solo convierte la señal analógica de entrada en una señal digital que es enviada a la computadora sin realizar ningún tipo de procesamiento. En otras tarjetas puede realizarse un tratamiento de los datos en la propia tarjeta incorporando para ello uno o varios procesadores digitales de señales especializados.



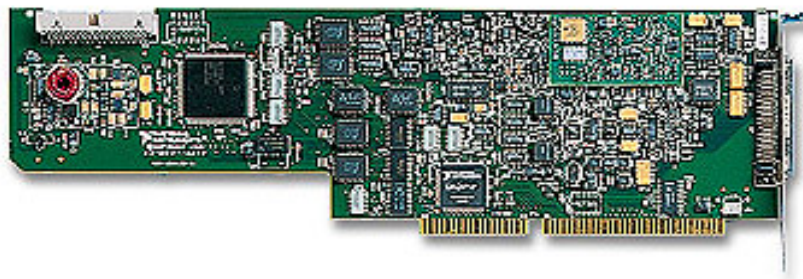
**Figura 2.1** Estructura general de una tarjeta de adquisición de datos

Algunas tarjetas son instrumentos en sí mismas y se denominan instrumentos en tarjetas, las que aprovechan la capacidad de comunicación y representación de datos de la computadora, pero contienen todas las características que lo hacen funcionar como un instrumento autónomo. Las tarjetas de adquisición de datos no responden a este concepto y poseen un carácter más general. La figura 2.1 muestra el diagrama de bloques de una tarjeta de adquisición típica.

El núcleo central de una tarjeta de adquisición está compuesto por los circuitos analógicos de entrada y el convertor Análogo-Digital(A/D). Los circuitos analógicos de entrada incluyen un multiplexor, al que llegan las distintas variables de entrada, un amplificador de ganancia programable, y un circuito de muestreo y retención (S&H); a continuación se encuentra el propio convertidor A/D. En general, las tarjetas disponen de una memoria

temporal o *buffer* donde se almacenan las muestras capturadas por el convertidor A/D antes de transferirlas, a través de la interfaz del bus, a la memoria de la PC. El objetivo de esta memoria es permitir una mayor velocidad de adquisición del sistema. Junto a estos elementos suelen incluirse otros dispositivos en la tarjeta para incrementar su funcionalidad (tarjetas multifunción). Así, es común que se incluyan en la misma tarjeta: convertidores Digital-Analógico (D/A), entradas y salidas digitales y circuitos contadores y de temporización. Las salidas analógicas permiten el control de dispositivos de procesos de control analógico. Los puertos digitales de E/S suelen implementarse con ayuda de algún circuito que actúe de puerto paralelo programable y lo mismo ocurre en el bloque contador temporizador. La comunicación entre los bloques que constituyen la tarjeta se realiza a través de un bus interno y la conexión con el bus de E/S del computador se realiza a través de la interfaz de bus.[6]

Para el procesamiento y adquisición de datos existen muchos tipos de tarjetas e interfaces a utilizar y una de las familias más dotadas en estos requisitos es la AT-MIO de la serie E (Figura 2.2), la cual viene acompañada de su manual, su interfase SCB-68 y el cable de conexión (Figuras 1, 2 y 3 respectivamente del **Anexo I**), y los controladores (*drivers*) de la misma.



**Figura 2.2** Tarjeta AT-MIO-16E-1

Estas tarjetas, en especial las de la serie E, son muy prácticas en el desarrollo de diferentes aplicaciones. En este trabajo se utiliza la AT-MIO-16E-1.

La AT-MIO-16E-1 cuenta con 16 canales de entrada en el modo simple y 8 canales en el modo diferencial. Ella posee una frecuencia máxima de muestreo de 1,25M muestras/ a una resolución de 12 bits y un convertidor análogo-digital (ADC) de aproximaciones sucesivas.

[7]

## CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍA DE ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN DE DATOS POR LA RED

---

El voltaje de trabajo de la tarjeta está entre -10 y +10 volt con una protección de sobre voltaje de  $\pm 25V$  *power on* y  $\pm 15V$  *power off* y una protección contra corto circuito a tierra.

En el **Anexo II** se muestra el diagrama en bloques de la tarjeta AT-MIO-16E-1.

Esta tarjeta consta de dos polaridades de entrada:

**Unipolar:** Esta entrada tiene un rango de voltaje que está entre 0 y  $V_{ref}$ , dónde el  $V_{ref}$  es un voltaje de referencia positivo. En este caso su rango de entrada unipolar es de 10 V (0 a 10 V).

**Bipolar:** El rango de voltaje es entre  $-V_{ref}/2$  y  $+V_{ref}/2$ . La AT-MIO-16E-1 tiene un rango de entrada bipolar de 10 V (-5 a +5 V).

La AT-MIO-16E-1 tiene ganancias programables por el software preparadas para una variedad ancha de niveles de señal. Con la configuración de ganancia apropiada, se puede usar la máxima resolución del ADC para medir la señal de la entrada (Véase **Anexo III**). Escoger una adecuada polaridad y rango de entrada hace que la tarjeta reconfigure la ganancia apropiada para la mayor precisión posible.

La sección de Entrada Analógica (AI) de cada dispositivo AT de la serie E es configurable por software. Se pueden seleccionar las configuraciones de las diferentes AI según la aplicación diseñada para controlar el dispositivo AT de la serie E.

La AT-MIO-16E-1 solo cuenta con 2 canales de salidas analógicas con un tamaño de buffer de 2048 muestras. La transferencia de datos por parte de la tarjeta ocurre por Acceso Directo a Memoria (DMA), interrupciones o programando las I/O.

El número de canales digitales es 8 tanto de entrada como de salida (I/O) y estos tienen compatibilidad con TTL/CMOS.

Existen 68 asignaciones de pines en el conector de entrada-salida I/O de la tarjeta AT-MIO-16E-1 (**Anexo IV**). En esta interfase se encuentra el filtro Anti-Aliasing analógico que se diseña según las características de cada aplicación y los diferentes interruptores (switch) que configuran el sensor de temperatura en cada uno de los modos de trabajo.

Los dispositivos AT de la serie E tienen tres modos de entrada: *nonreferenced single-ended* (NRSE), *referenced single-ended* (RSE) y el *differential* (DIFF). Las



configuraciones *single-ended* de entrada usan 16 canales y la configuración de entrada de DIFF solo utiliza 8 canales.

Los modos de entrada se programan por canales básicos para lograr una búsqueda múltiple. Las tres configuraciones de entrada posibles con que cuentan estos dispositivos se describen en la tabla 2.1.[7]

**Tabla 2.1** Configuraciones de entrada

Configuración	Descripción
DIFF	Un canal configurado en este modo utiliza 2 canales analógicos entre las líneas. Una línea conecta el dispositivo a la entrada positiva del amplificador de instrumentación de ganancia programable (PGIA) y la otra se conecta a la entrada negativa del PGIA.
RSE	Un canal configurado en este modo utiliza 1 canal analógico para las líneas de entrada que se conectan a la entrada positiva del PGIA. La entrada negativa del PGIA se conecta internamente a la AI de tierra (AIGND)...
NRSE	Un canal configurado en este modo utiliza 1 canal analógico para la línea de entrada que se conecta a la entrada positiva del (PGIA). La entrada negativa del PGIA se conecta al sentido de AI (AISENSE).

### 2.2 El Receptor de Radiofrecuencia

Como receptor de RF para el Analizador de Espectro se empleó el equipo Telindel-25 de fabricación búlgara. Este equipo cuenta con una primera FI de 21,4 Mhz y una segunda FI de 100 KHz. Posee la posibilidad de programar 10 canales en una banda de frecuencia de 144 a 174 Mhz con una separación mínima entre canal de 25 Khz y con una estructura

## CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍA DE ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN DE DATOS POR LA RED

---

formada por cuatro bloques principales: Amplificador de potencia del transmisor, Receptor, Sintetizador y Sistema de selección.

El oscilador del Telindal (LEN160E) PLL genera las frecuencias para el mezclador del receptor y el transmisor. Los canales son programados instalando los diodos en un tablero impreso que el equipo de comunicaciones posee que no es más que la matriz de diodo del receptor.

El voltaje que se obtenga está en dependencia de la combinación de diodos que se tenga a la entrada. Su numeración (a partir de la 1 hasta la 10) corresponde al número de canal. Las columnas verticales (símbolo de la letra: A, B, C, D, E, F, G, H, I, K, L, M, N, P) están conectadas con las entradas de programación correspondientes. Las frecuencias de cada canal son un resultado de su propio factor **N**. de la división.

$$N = \frac{f(\text{canal}, \text{kHz}) - 21400}{12.5} \quad (2.1)$$

Donde “N” es siempre un número par de 5 dígitos para una gama de frecuencia e/ 144-174 Mhz y en el espaciamiento de canal de 25 Khz. Las tres cifras más significativas de **N** especifican la programación de las columnas B1, B2, B4, B8, B16, B32, B64 y B128. Las dos cifras menos significativas especifican la programación de las columnas A2, A4, A8, A16, A32 y A64.[8]

Por ejemplo, para determinar la palabra digital que se debe colocar a la entrada de este sintetizador para sintonizar la frecuencia de 150.200 MHz, se sustituye en la ecuación 2.1 obteniéndose:

$$N = 10304$$

Este número se divide en sus tres dígitos más significativos (103) y los dos menos significativos (04) y cada uno de estos es llevado a binario.

$$103(D)=01100111(B)$$

$$04 (D)=00000100(B)$$

Los primeros ocho bits son los más significativos de la palabra, y a continuación se colocan sólo los seis bits señalados del segundo número. La palabra quedaría: 0110011100 010.

Tal como se muestra en la tabla 2.2

## CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍA DE ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN DE DATOS POR LA RED

Columnas de la Matriz	P	N	M	L	K	I	H	G	F	E	D	C	B	A
Entradas del sintetizador	B12 8	B6 4	B3 2	B1 6	B 8	B 4	B 2	B 1	A6 4	A3 2	A1 6	A 8	A 4	A 2
Ejemplo de palabra digital	0	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0

**Tabla 2.2** Palabra digital a la entrada del sintetizador

### 2.3 Configuración de la Tarjeta de Adquisición de Datos

La tarjeta AT-MIO-16E-1 será utilizada en el modo *nonreferenced single-ended* (NRSE) de entrada donde se utiliza 1 canal analógico para las líneas de entrada y se toma como tierra (AIGND).

Se utilizarán como entradas analógicas:

- El canal cero; que corresponde al pin 68 (ACH0) del panel de entrada y salida de la interfase SCB-68 con que cuenta la tarjeta referenciado al pin 69 (AIGND); por el cual entrará la señal que el equipo de comunicaciones envía para ser posteriormente procesada por el instrumento virtual diseñado: “Analizador de Espectro”.
- El canal uno; que corresponde al pin 33 (ACH1) referenciado al pin 67 (AIGND); por el cual entrará la señal que el equipo de comunicaciones envía para ser posteriormente procesada por el instrumento virtual “Medidor de Desviación de Frecuencia” que será diseñado.

Como salida se empleará el puerto digital de la tarjeta que va desde DIO 0 hasta DIO 7, estas salidas son los pines 52, 17, 49, 47, 19, 51, 16 y 48, respectivamente. Este puerto digital da como salida una palabra digital en binario que junto con el puerto paralelo de la maquina hacen que el Telindal haga el barrido del espectro radioeléctrico.

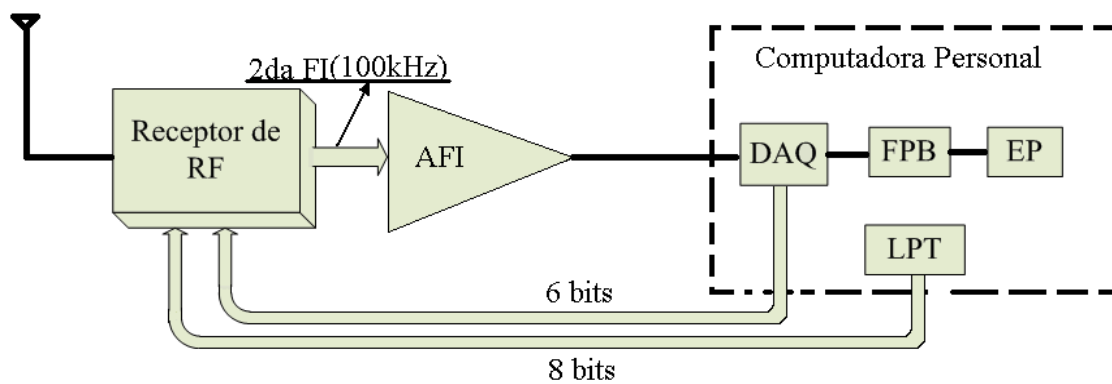
Del equipo de comunicaciones, Telindel-25, se utiliza la segunda FI de 100Khz, debido a que la frecuencia máxima de muestreo de la tarjeta de adquisición es de 1.25M muestras/ para cumplir con el criterio de Nyquist y con criterios prácticos que plantean que para obtener resultados satisfactorios al aplicar la transformada de Fourier, para el análisis espectral, se debe muestrear al menos a 10 veces la frecuencia máxima.

Para la utilización del mismo fue necesario adicionarle un amplificador de FI porque los niveles de voltajes de la muestra disponible no eran lo suficientemente elevados para llevarlos directamente a la tarjeta, otro de los requisitos indispensables a cumplir.

Basado en la Ecuación de 2.1, los 5 dígitos del número par que se obtiene como resultado se dividen en tres más significativos y dos menos significativos.

Los tres dígitos más significativos se convierten en binario y representan la palabra digital que se escribe en el puerto paralelo de la computadora (PC), específicamente en los bits de datos. Estos 8 bits configuran las líneas B1, B2, B4, B8, B16, B32, B64 y B128. Los dos menos significativos una vez convertidos en binario, representan la palabra digital que se escribe en el puerto digital de la tarjeta de adquisición que configura las líneas A2, A4, A8, A16, A32 y A64.[8]

En la figura 2.4 se muestra el esquema en bloques del instrumento virtual, incluyéndose, de forma general, la configuración electrónica del Analizador de espectro.



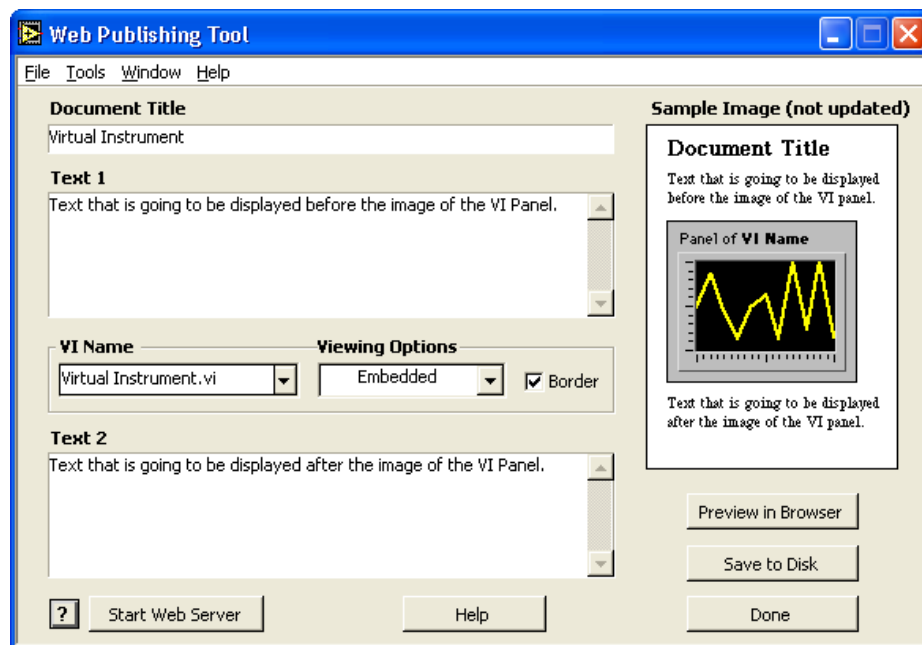
**Figura 2.4** Esquema en bloques del control del Receptor de RF.

### 2.4 Visualización Remota utilizando el Servidor Web de LabVIEW

Una herramienta estándar de LabVIEW, para la publicación de datos, es el Panel Remoto. El usuario puede fácilmente publicar el panel frontal de un instrumento virtual. Una vez

publicado, cualquier usuario en la web puede acceder y controlar una aplicación desde su computadora con LabVIEW instalado y a través de cualquier navegador como Internet Explorer o NetScape.

“*Web Publishing Tool: Web Server*” es una herramienta que incorpora LabVIEW y que permite crear una sencilla página web que estará compuesta por un título, un primer párrafo de texto, una imagen del panel frontal de la aplicación en cuestión o bien el panel frontal real de la misma para poder controlarla y monitorearla a distancia utilizando un navegador http. Esta herramienta está disponible en el menú de herramientas de LabVIEW en la opción *Web Publishing Tool*.



**Figura 2.5** Ventana de diálogo del “*Web Publishing Tool*”

En la figura 2.5 se puede ver la ventana de diálogo que permite configurar la creación de un archivo con extensión html con los elementos comentados anteriormente. Se observan tres campos donde se configuran el título del documento y la posibilidad de escribir dos párrafos de texto (la cabecera y el pie de la página).

Existe la opción de enmarcar la imagen del panel frontal (*Border*) y de configurar la forma de mostrarse, estas pueden ser *Snapshot*, *Monitor* o *Embedded*. Mediante las opciones de *Snapshot* o *Monitor* aparecerá en la página Web creada una captura de pantalla del panel

## CAPÍTULO 2. TECNOLOGÍA DE ADQUISICIÓN Y TRANSMISIÓN DE DATOS POR LA RED

---

frontal, es decir, una imagen estática que puede ir refrescándose para observar las actualizaciones de los valores.

La opción más interesante y potente es la posibilidad de manipular los controles del panel frontal desde el propio navegador, opción *Embedded*. Esta es la opción más pesada, en cuanto al consumo de ancho de banda, porque el envío de información a través de la red va a ser mayor, pero permite controlar y monitorear la aplicación en LabVIEW vía web. Para poder utilizar esta opciones es necesario instalar en la PC cliente, el ‘LabVIEW *Run-Time Engine*’, que es una herramienta de libre distribución que permitirá utilizar tanto los archivos ejecutables como el programa en cuestión desde el navegador Web remoto.

Una vez realizadas estas configuraciones se debe arrancar el servidor Web mediante el botón *Start Web Server* y guardar el documento a través del botón *Save to Disk*. A partir de este momento el usuario está preparado para ver el documento mediante el explorador. Se oprime el botón *Done* para salir de la ventana y se arranca el explorador.

Para visualizar el archivo, en el campo de direcciones se escribe **http://nombre de la pc/nombre vi.htm**, ejemplo, si se encuentran en la misma computadora el software y el usuario accediendo con su navegador, la dirección será **http://localhost/Complejo de Medicion vi.htm**.

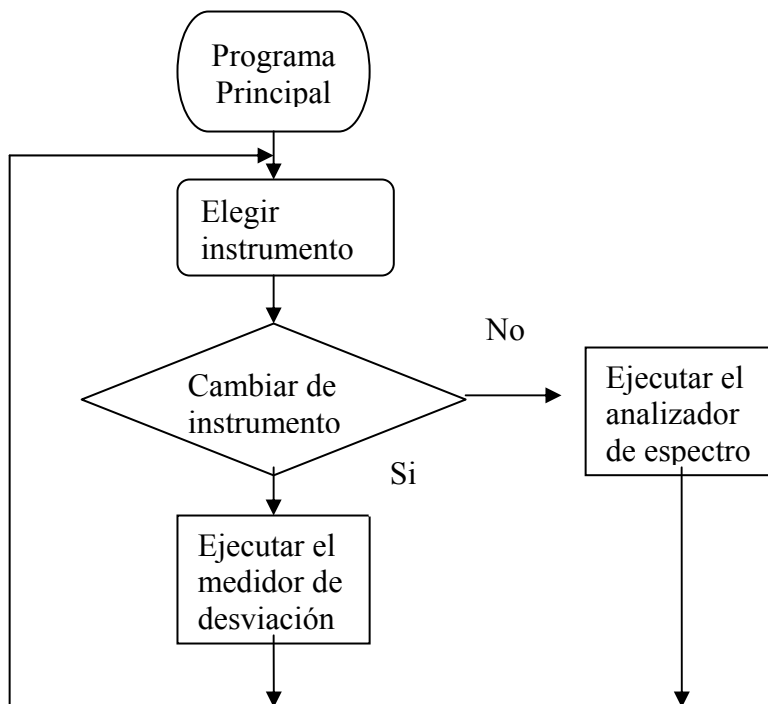
Se ha de tener en cuenta que a la hora de publicar este panel frontal como una imagen mediante las opciones *Snapshot* o *Monitor*, lo que se envía a través de la red es una imagen. Si se monta un panel frontal con un gran número de controles e indicadores de forma tal que ocupe mucha pantalla, esto se va a convertir en una imagen de más o menos tamaño. Por este motivo es conveniente que los paneles que se quieran publicar sean lo más pequeños posible con el fin de hacer más rápida la transmisión. Con esta configuración se ha convertido el panel frontal de nuestra aplicación en un archivo, de extensión *html*, que se actualiza periódicamente y se puede visualizar a través de cualquier explorador Web. De esta forma aunque el VI no se esté ejecutando, si está activo el servidor Web, se podrá acceder a esta página Web con los últimos resultados.

## CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SOFTWARE

El sistema de monitoreo virtual del espacio radioeléctrico consiste en un instrumento virtual confeccionado con LabVIEW. El mismo está dividido en dos segmentos de programa independientes que conforman el paquete de instrumentación que cumplirá con los requerimientos de diseño. Estos son:

- Medidor de desviación de frecuencia.
- Analizador de espectro.

Estos programas están relacionados en el programa principal mediante el siguiente algoritmo:



**Figura 3.1** Diagrama de flujo del programa principal.

### CAPÍTULO 3. Analizador de Espectro Radioeléctrico.

Esto se realiza utilizando en el panel de control el objeto “REGISTER BOX” la cual posee en cada división de la misma, uno de los instrumentos. En el diagrama de bloques se conecta el icono correspondiente al bucle “CASE” que ejecutará según el instrumento que seleccione el usuario, el programa correspondiente.

El primer paso a realizar es el acondicionamiento de la señal. Para esto se diseña un filtro paso bajo. El filtrado de la señal se hará lo más cerca posible de la fuente para evitar que ocurran solapamientos de frecuencias.

Este tipo de filtro es caracterizado por la siguiente ecuación:

$$F_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (3.1)$$

En este caso la  $F_c$  sería el valor de la segunda FI del Telind-25, 100 Khz.  $C=1\text{nf}$  y se obtiene un valor de  $R = 1,59 \text{ K}\Omega$ .

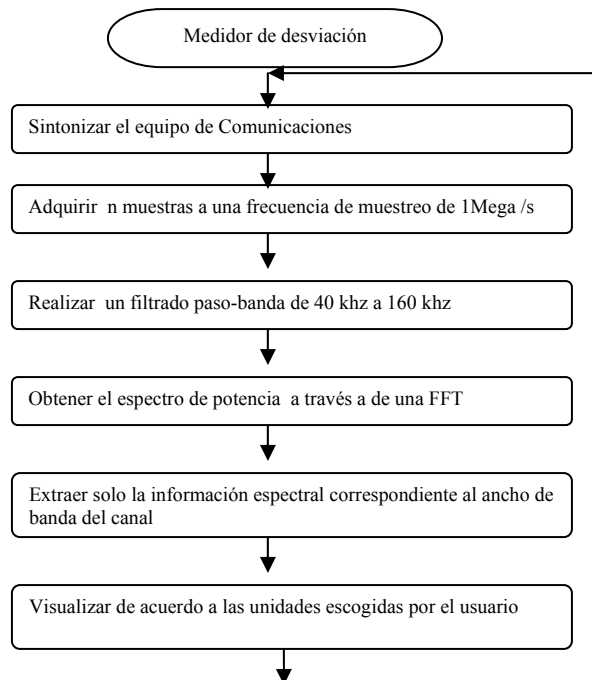
El montaje y conformación del filtro se lleva a cabo en la interfase SCB-68 de la tarjeta de adquisición, en esta interfase existe un tablero con todas las condiciones necesarias a la hora de hacer una adquisición de datos. Después de pasar la señal por el filtro paso bajo esta debe ser muestreada y condicionada por la tarjeta de adquisición.

#### 3.1 Medidor de desviación de frecuencia

El instrumento de medición de la desviación de frecuencia basa su principio de funcionamiento en la exploración del espectro radioeléctrico a través del receptor de RF, el cual se programa mediante el puerto paralelo de la computadora y el puerto digital de la tarjeta de adquisición de datos AT-MIO-16E-1 para realizar la sintonía de un canal de frecuencia deseado. La 2da frecuencia intermedia (FI) del receptor es muestreada, a través de la tarjeta de adquisición de datos, y procesada con el software desarrollado, obteniéndose en la pantalla de la computadora la información gráfica relacionada con el espectro radioeléctrico en el canal deseado. Una vez que se tiene la información sobre la portadora que se recibe es posible analizar la desviación de frecuencia de la portadora en el canal especificado. La figura 3.2 muestra el algoritmo del segmento de programa correspondiente al medidor de desviación de frecuencia.



### CAPÍTULO 3. Analizador de Espectro Radioeléctrico.



**Fig. 3.2** Algoritmo del medidor de desviación de frecuencia.

Para la culminación de este instrumento fue necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Escoger el equipo de radio con la segunda FI de 100 KHz, al estar limitada la frecuencia máxima de muestreo de la tarjeta AT-MIO-16E-1 a 1.25 Mmuestras/ para cumplir con el criterio de Nyquist y con criterios prácticos que plantean que para obtener resultados satisfactorios al aplicar la transformada de Fourier, para el análisis espectral, se debe muestrear al menos a 10 veces la frecuencia máxima.
- Implementar un filtro paso bajo que atenúe las frecuencias mayores de 100 Khz.
- Garantizar el nivel mínimo necesario para que la tarjeta AT-MIO-16E-1 reconozca la señal que va a medir por un determinado canal de entrada.
- Conocer la resolución y el ancho de banda con que se va a explorar el espectro radio eléctrico.

En la figura 3.3 se muestra el panel frontal del medidor de desviación de frecuencia.



Fig. 3.3 Panel frontal del medidor de desviación


### 3.1.1 Sintonizar el equipo de comunicaciones


Para sintonizar el equipo de comunicaciones se emplea la ecuación (2.1). Si tenemos en cuenta que el usuario a través del panel frontal escoge la frecuencia central del canal, figura 3.3. Una vez calculado el número a enviar al equipo de comunicaciones este se divide en sus tres cifras más significativas y sus dos menos significativas, formándose dos números. El primero se envía a través del puerto paralelo de la PC y el segundo se envía a través del puerto digital de la tarjeta pero solo 6 de 8 bits, porque teniendo en cuenta que siempre es un número par no hace falta enviar el bit menos significativo y como es de dos cifras tampoco hace falta enviar el bit más significativo.

Una vez que el equipo está sintonizado se le incluye una demora de 1 ms para garantizar que los PLL del equipo de radio acepten la programación apropiadamente.

Los tres dígitos más significativas son convertidos a binario y enviados por el puerto paralelo de la PC utilizando el VI “Out Port” , al equipo de comunicaciones y los dos

## CAPÍTULO 3. Analizador de Espectro Radioeléctrico.

menos significativos son convertidos también a binario y enviados por el puerto digital de la tarjeta de adquisición mediante el VI “*DIO Port Write*” , hacia el receptor.

Para lograr la escritura en el puerto digital de la tarjeta se necesita una configuración del puerto. Para ello se utiliza el VI “*DIO port config*” .

Este VI es configurado con tres variables:

- 1 (*Device 1*), expresa el dispositivo que se va a utilizar por si existe más de uno en la máquina, en este caso la tarjeta de adquisición AT-MIO-16E-1.
- 0 para decir que se usa este puerto digital y como la tarjeta tiene solo uno le corresponde este número.
- 1 selecciona los canales digitales de la tarjeta como salidas

En la figura 3.4 se observa el código de este segmento

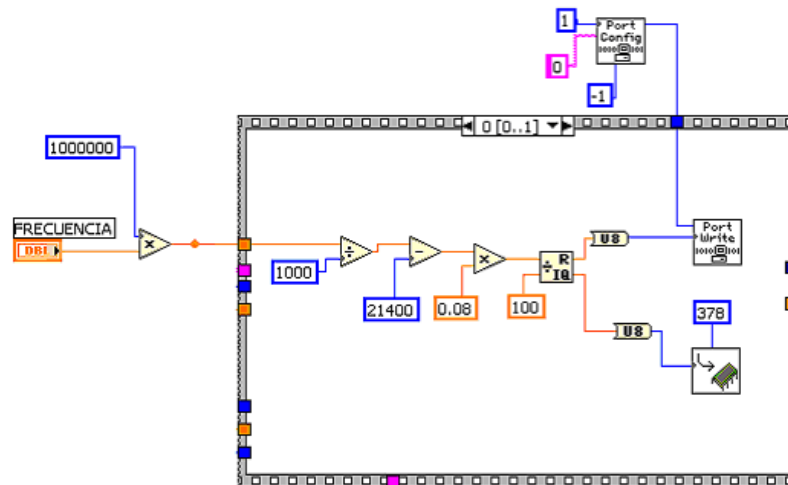



Fig. 3.4 Segmento de código para la sintonía del Telindel

### 3.1.2 • Adquisición de muestras

La próxima sección, del algoritmo, consiste en la adquisición de  $n$  muestras, considerando que el usuario puede escoger esta cantidad entre múltiplos de potencia de 2. La frecuencia de muestreo es 1000 muestras por segundo y no se permite cambiar, se escoge este número porque la segunda FI de este equipo es a 100 KHz. Para realizar la adquisición se utiliza una

## CAPÍTULO 3. Analizador de Espectro Radioeléctrico.

función que se le incorpora al LabVIEW una vez que se instalan los manipuladores (*drivers*) de la tarjeta. La función **'AI WAVE'**  está encargada de recoger las muestras y escalar los datos digitalizados de la señal a analizar. El mismo es configurado para seleccionar el dispositivo de adquisición de datos a utilizar, se utiliza la constante 1 porque hay una sola tarjeta de adquisición en la PC. El canal analógico de entrada se especifica a través de la constante del tipo cadena de caracteres 'CANAL' esta tiene valor 0 para escoger el canal 0 de la tarjeta de adquisición. El número de muestras a obtener en cada ciclo de la señal a medir se escoge a través de un control 'CANTIDAD DE MUESTRAS' ubicado en el panel de control. La frecuencia de muestreo queda seleccionada a 100 mega muestras por segundo a través de la constante 'FREC. DE MUESTREO (Hz)', véase la figura 3.5.

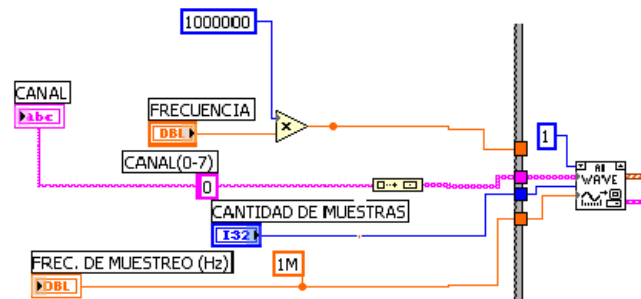



Fig. 3.4 Segmento de código para la Adquisición de la señal


### 3.1.3 Procesamiento digital de la señal adquirida

Los próximos 3 segmentos del algoritmo de la figura 3.2 se resumen en el procesamiento digital de la señal.

Una vez adquirida la señal esta se presenta como un vector de muestras representado a través del tipo de dato 'Waveform data'. Esta sería la entrada del filtrado, para el cual se utiliza la función 'Filter' , el cual se configura como un filtro pasabanda, del tipo Chebyshev, con frecuencia de corte inferior 40 kHz y superior 160 kHz y de orden 16. El filtro se encuentra centrado en los 100 kHz y con un ancho de banda de 120 kHz. Se escogió este tipo de filtro por poseer un rizado de magnitud constante en la banda de paso, una respuesta de magnitud monótona decreciente en la banda de parada y un corte más abrupto que los filtros de Butterworth[9].


### CAPÍTULO 3. Analizador de Espectro Radioeléctrico.

Una vez filtrada la señal, la próxima etapa la constituye el análisis espectral y se utilizo uno de los instrumentos virtuales que tiene implementado el LabVIEW, la función,

‘Spectral Measurements’  que posee varios tipos de configuración, los cuales permiten variar el tipo de enventanado, la magnitud y escala que se obtendrá a la salida del mismo.

Para el enventanado de la señal se utiliza una ventana de Hanning porque es el tipo de ventana que más se emplea en aplicaciones de propósito general que analizan respuestas de frecuencias en sistemas aleatorios, una de las características que la distingue es su utilización cuando la señal en el dominio del tiempo es mayor que el tamaño de la ventana[10].

La configuración escogida para el resultado de la FFT es el espectro de potencia, de forma lineal. Esta función devuelve los datos correspondientes a la información sobre la portadora recibida y su modulación en un arreglo unidimensional. Del mismo sólo es necesario tomar las muestras que contienen información sobre el canal, o sea las que están alrededor de los 100KHz en un ancho espectral escogido por el usuario a través de la variable ‘BW de medición’, figura 3.3.

Para la extracción, se utiliza el VI ‘Extract Portion off Signal’ , el cual extrae de la señal, un ancho de banda de 25 kHz, (ancho de banda de un canal), centrado en los 100 kHz. Los parámetros de entrada de esta función serían:

- El vector con la señal de entrada.
- El desplazamiento, o sea, a partir de qué frecuencia se debe comenzar a extraer señal.
- La longitud de la señal a extraer.

El desplazamiento se determina restándole la mitad de la cantidad ‘BW de medicion’, escogida por el usuario, a 100 Khz ecuación (3.1).

$$Desplazamiento = 100Khz - \frac{BW \text{ de medicion}}{2} \quad [3.1]$$

La longitud de la señal a extraer es igual al parámetro ‘Bw de medición’, utilizando la ecuación (3.1). La salida de la función ‘Extract Portion off Signal’ contiene la

## CAPÍTULO 3. Analizador de Espectro Radioeléctrico.

información referida a un canal con un ancho de banda de 25 KHz, si se escogió este tamaño para el canal. En la figura 3.5 se muestra esta parte del código.

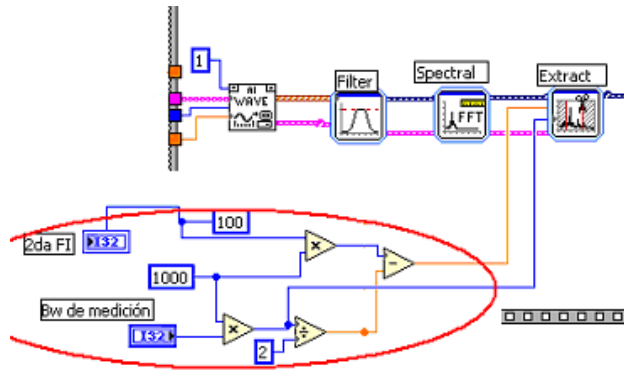



Figura 3.5 procesamiento digital

### 3.1.4 Visualización de los resultados

Una vez que se tiene la porción de señal de salida de un canal, esta tiene que ser convertida al tipo de dato 'waveform data' si se quieren ajustar algunas escalas antes de ser graficada (véase figura 3.6)

Esta porción de señal, correspondiente a la información de la portadora en una frecuencia

seleccionada es procesada por la función '*Spectrum Units Conversion*'  en el cual el vector de muestras será convenientemente tratado y escalado para lograr su representación en pantalla. Esta función es la encargada de acondicionar la señal antes de que sea representada. Como entradas él utiliza varios tipos de parámetros, algunos inicializados y otros configurables por el usuario.

El parámetro que especifica el tipo de espectro de entrada es inicializado y se especifica a través de una constante, porque esta señal fue calculada como espectro de potencia cuando se realizó la FFT, además esta constante se representa como un indicador en el panel frontal para que el usuario conozca en qué tipo de espectro está su señal, '*Espectro de potencia*', figura 3.3.

Los parámetros de entradas que van a ser configurables en la función son: el tipo de unidades en que se quiere representar las ordenadas y los intervalos de frecuencia en que estarán en el eje de las 'abscisas'. La señal es un vector de muestras en unidades de potencias que puede ser recalculado por la función en dependencia de las unidades del eje

## CAPÍTULO 3. Analizador de Espectro Radioeléctrico.

de las ‘ordenadas’ que se seleccionen. Existen varios tipos de unidades y en la Tabla 3.1 se exponen algunos ejemplos.


**Tabla 3.1** Valores para cada tipo de unidad de salida

0	Vrms (volts rms)
1	Vpk (volts peak)
2	Vrms^2 volts (squared rms)
3	Vpk^2 volts (squared peak)
4	Vrms/sqrt(Hz) volts (rms per root Hz)
5	Vpk/sqrt(Hz) volts (peak per root Hz)
6	Vrms^2/Hz volts (squared rms per Hz)
7	Vpk^2/Hz volts (squared peak per Hz)

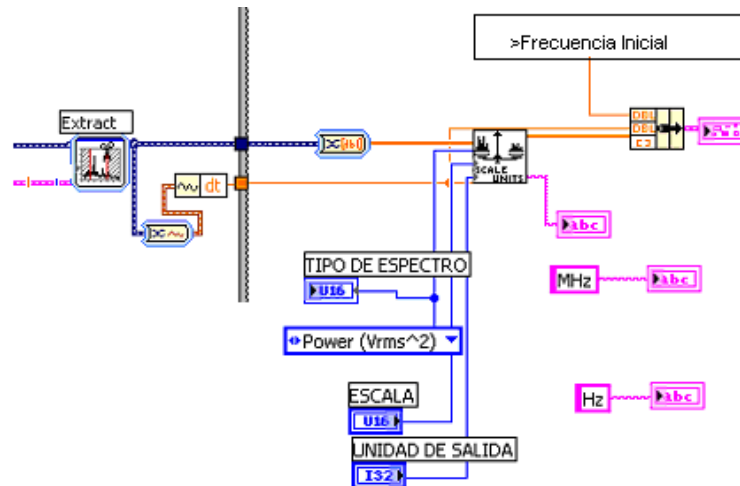
Las abscisas pueden ser configuradas de dos formas: linear o logarítmicas. Esta representación va a estar dada por la entrada Log/linear puesta como un control con todas sus variantes, como se muestra en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Valores cada tipo de escala de salida

0	Linear
1	dB
2	dBm

Para una correcta visualización del espectro es necesario que la función le llegue el valor de diferencial de frecuencia (df) de las muestras, que conforman el vector. Con todos estos parámetros se recalcula el vector y se devuelve uno nuevo con todos los cambios seleccionados. Este nuevo vector necesita ser escalado y para ello es necesaria la utilización de un cluster **Bundle** , encargado de acoplar el espectro de la señal que se obtiene como resultado de todo un tratamiento, muestreo y procesamiento de señal.

El cluster además de recibir el nuevo vector también toma como parámetros la frecuencia de inicio del barrido y el (df) de las muestras para una correcta separación en frecuencias de las mismas. A su salida se tiene el espectro que se quiere visualizar y por lo tanto es representado en el gráfico. Véase la figura 3.6 para analizar su programación.



**Figura 3.6** Visualización del procesamiento digital de la señal

El panel frontal de este instrumento se puede observar en la figura 3.3, se puede apreciar la profundidad de la modulación de un transmisor en la frecuencia de 150.200 MHz. Utilizando los cursores se puede calcular la desviación máxima de la frecuencia de la señal, que debe ser menor que 5 kHz según las especificaciones de estos equipos. Igualmente, se observa como la información útil se encuentra dentro del ancho de banda de transmisión de los transreceptores de este tipo que es 25 kHz. [8]

### 3.2 Analizador de espectro radioeléctrico

El Analizador de espectro radioeléctrico basa su principio de funcionamiento en explorar el espectro radioeléctrico, en la banda deseada. Este instrumento posee las mismas etapas que el Medidor de Desviación de Frecuencia:

- Control del equipo de comunicaciones.
- Muestreo y acondicionamiento de la señal.
- Procesamiento digital en el dominio de la frecuencia.
- Acondicionamiento y representación de la señal en el espectro radioeléctrico.

Y su principal diferencia es que realiza la misma adquisición, procesamiento y visualización pero no solo de un canal de radio sino de una banda que el usuario escoge al decidir las frecuencias inicial, final y ancho de banda del canal. El número de muestras no se selecciona por parte del usuario, para garantizar que el sistema opere eficientemente en cuanto al tiempo, esto trae como desventaja que la resolución espectral no sea tan buena



### CAPÍTULO 3. Analizador de Espectro Radioeléctrico.

como el medidor de desviación, pero la función de este instrumento es brindar una idea sobre la frecuencia donde se está transmitiendo. La información espectral de la banda se construye concadenando la información espectral de cada canal. Como datos preliminares determinados por el usuario para este instrumento tenemos:

- Frecuencia de Inicio
- Frecuencia de Parada
- BW de canal
- Las unidades de visualización (similar al medidor de desviación)

La sintonía del equipo de comunicaciones no está fija en un canal, como en el código del medidor de desviación de frecuencia. Si comparamos este software con al anterior control del equipo de comunicaciones, la cantidad ‘N’ de la ecuación (2.1), ahora es calculada de forma iterativa dentro de un ciclo donde va cambiando la variable ‘fcanal (Khz.)’ de la ecuación (2.1). El código del medidor de desviación se toma como una pieza clave de este instrumento, ubicándose en el centro de todo el programa, la figura 3.7 muestra el algoritmo general de este instrumento. El código del medidor de desviación es considerado sin visualizar los resultados, solo hasta el segmento ‘*Extraer solo la información espectral correspondiente al ancho de banda del canal*’ y con un número fijo de muestras para ser adquiridas

Para calcular el número de iteraciones del ciclo se toman las variables de entrada de acuerdo a la ecuación (3.2)

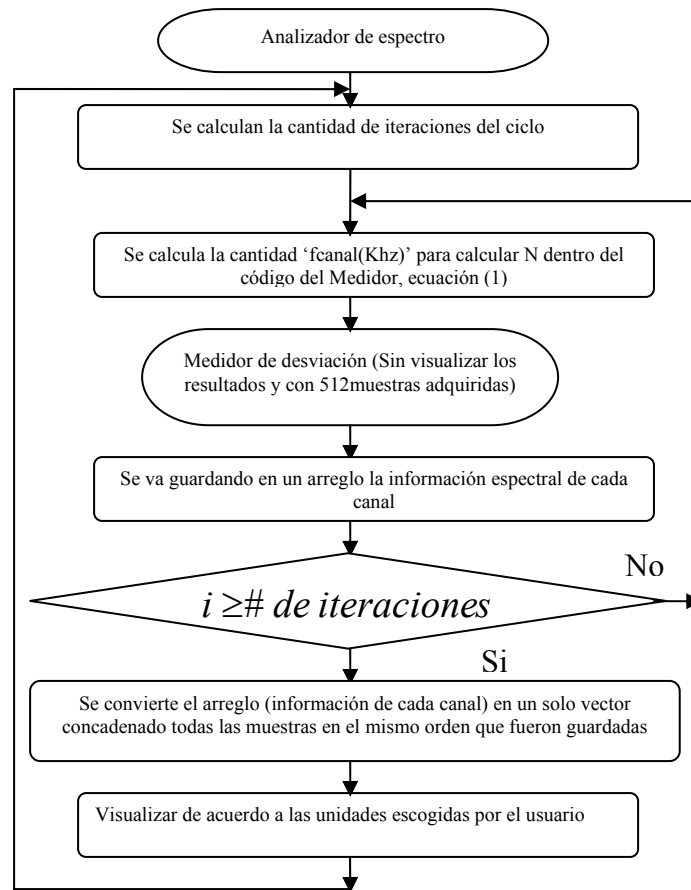
$$\text{Número Iteraciones} = \frac{\text{Frec Inicio(Khz)} - \text{Frec Parada(Khz)}}{\text{BW de Canal(Khz)}} [3.2]$$

Para calcular la cantidad ‘fcanal (Khz)’ se utilizan las variables de entrada y el valor de la iteración en ese momento, ecuación (3.3).

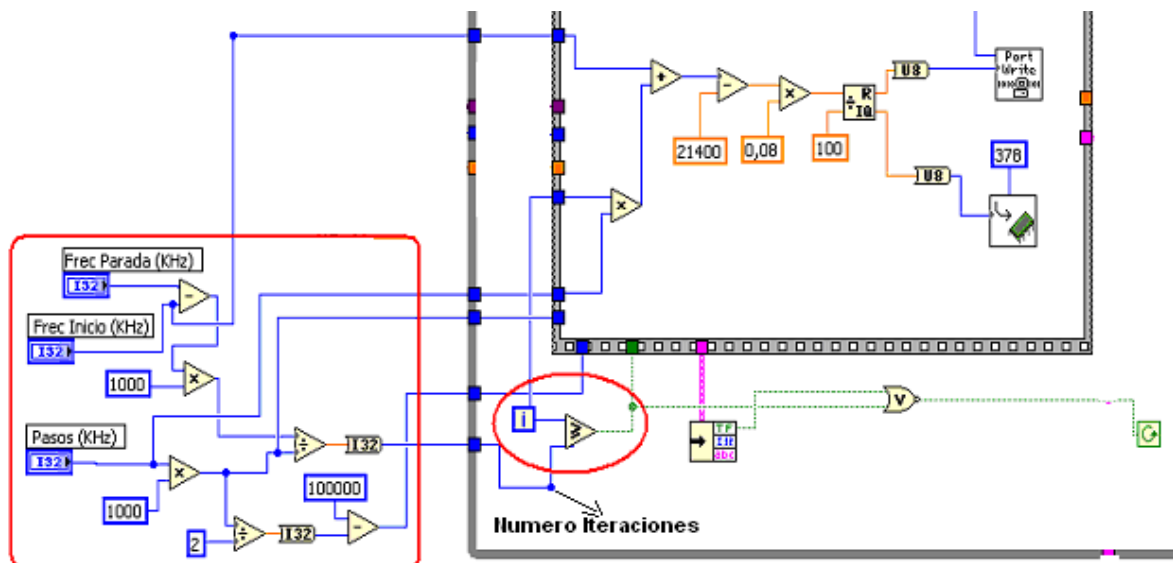
$$f_{\text{canal}}(\text{Khz}) = (\text{BW canal(Khz)} * i) + \text{Frec Inicio(Khz)} [3.3]$$

Véase la programación de estas dos ecuaciones en la figura 3.8, nótese que la ecuación 3.3 controla el ciclo ‘while’.

## CAPÍTULO 3. Analizador de Espectro Radioeléctrico.



**Fig. 3.7** Algoritmo del Analizador de Espectro.





**Figura 3.8** Programa de control del equipo de comunicaciones para el Analizador de Espectros.

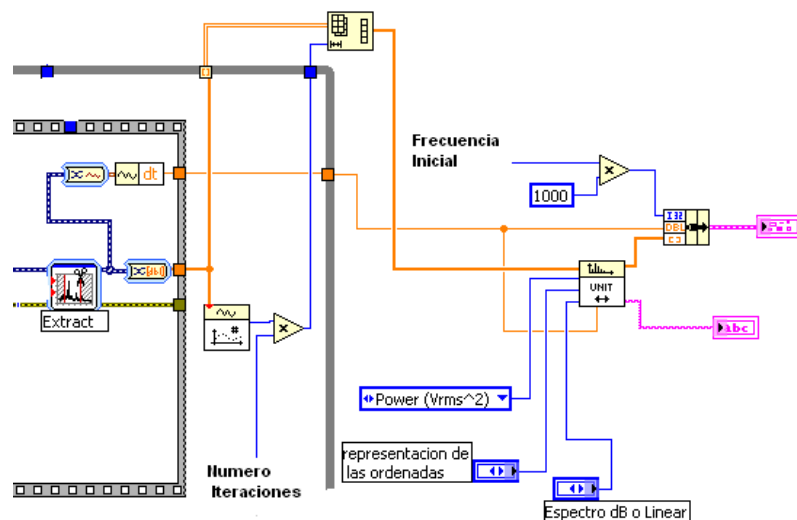
### CAPÍTULO 3. Analizador de Espectro Radioeléctrico.

La visualización se realiza de la misma forma que en el código del medidor de desviación solo que el vector de muestras es ahora más largo porque trae la información espectral de varios canales de radio.

Este ciclo tiene una demora para que el tiempo de ejecución entre iteraciones sea 1m/s, teniendo en cuenta el tiempo necesario para que el PLL del Telindal-25 pueda sintonizarse y estabilizar la frecuencia de recepción. Los resultados de cada iteración se almacenan en

un arreglo mediante la función **“Reshape Array”**  por el orden en que se van adquiriendo las muestras correspondientes a cada frecuencia desde la frecuencia de inicio hasta la de parada, listas para ser acondicionadas y convenientemente graficadas. Nótese que este bloque cambia de dimensión el arreglo de vectores, o sea, una vez concluido el ciclo ‘while’ le llega un arreglo de n vectores con m muestras cada uno donde n es el número de veces que se ha sintonizado el equipo y que se determina utilizando la ecuación 3.2 y m es la cantidad de muestras de uno de estos vectores determinado por la función

 la cual cuenta los elementos de un vector. Para que este arreglo se convierta en un solo vector, enlazando cada uno del arreglo, se determina el número de muestras total multiplicando el resultado de la fórmula anterior por m y ese sería el parámetro de entrada para la función **“Reshape Array”**, ver figura 3.9 para analizar su implementación.



**Figura 3.9** Visualización de la banda

Esta etapa es muy similar a la del desviador de frecuencia solo que se muestra un arreglo con la información espectral de varios canales y no uno solo. La figura 3.11 muestra el

## CAPÍTULO 3. Analizador de Espectro Radioelétrico.

panel frontal del analizador espectro con la información de una banda que va desde 150 Mhz a 151 Mhz

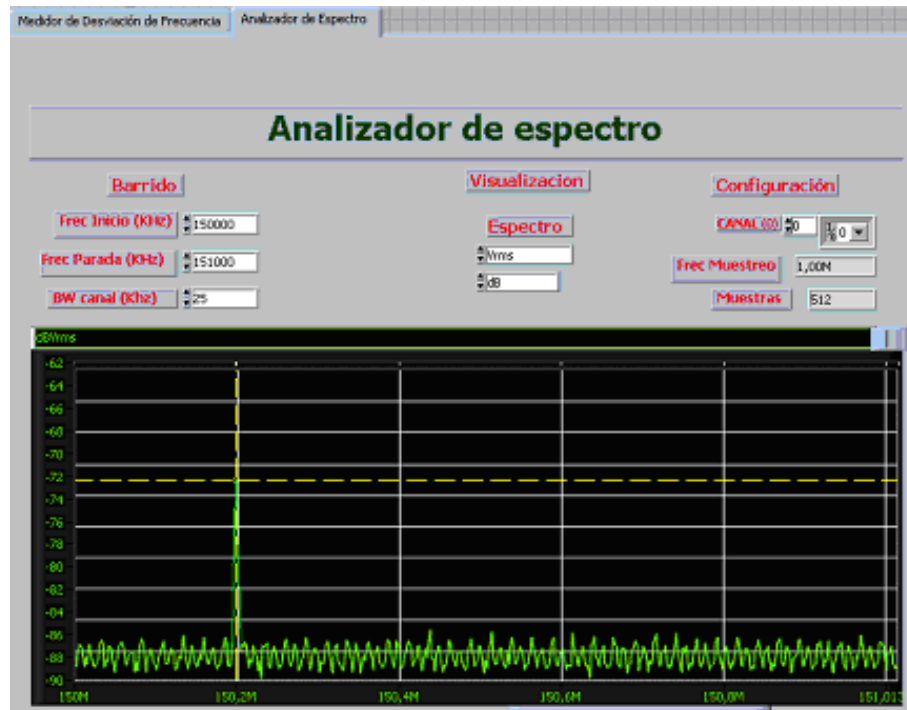
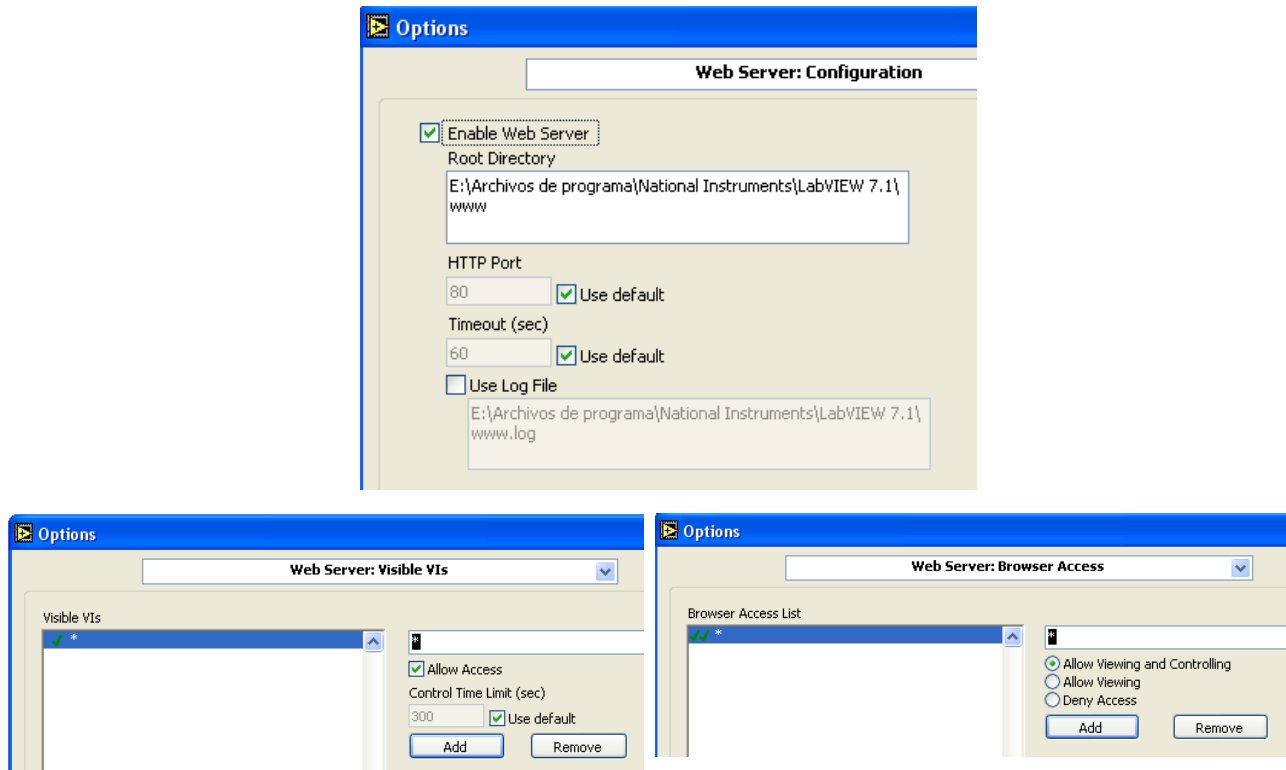


Fig. 3.10. Analizador de Espectro

### 3.3 Visualización Remota utilizando el Servidor Web de LabVIEW

La primera versión del programa viene diseñada con el software necesario para la operación de todo el sistema en una computadora y además su publicación en el servidor Web de LabVIEW, de manera que un usuario pueda acceder a los datos operando la PC donde radica la tarjeta de adquisición o a través de un navegador Web utilizando la dirección **<http://nombre de la pc/nombre vi.htm>**. Los requerimientos de este sistema comprenden el tener instalado LabView en la PC y configurado el servidor Web por defecto como muestra la figura 3.11



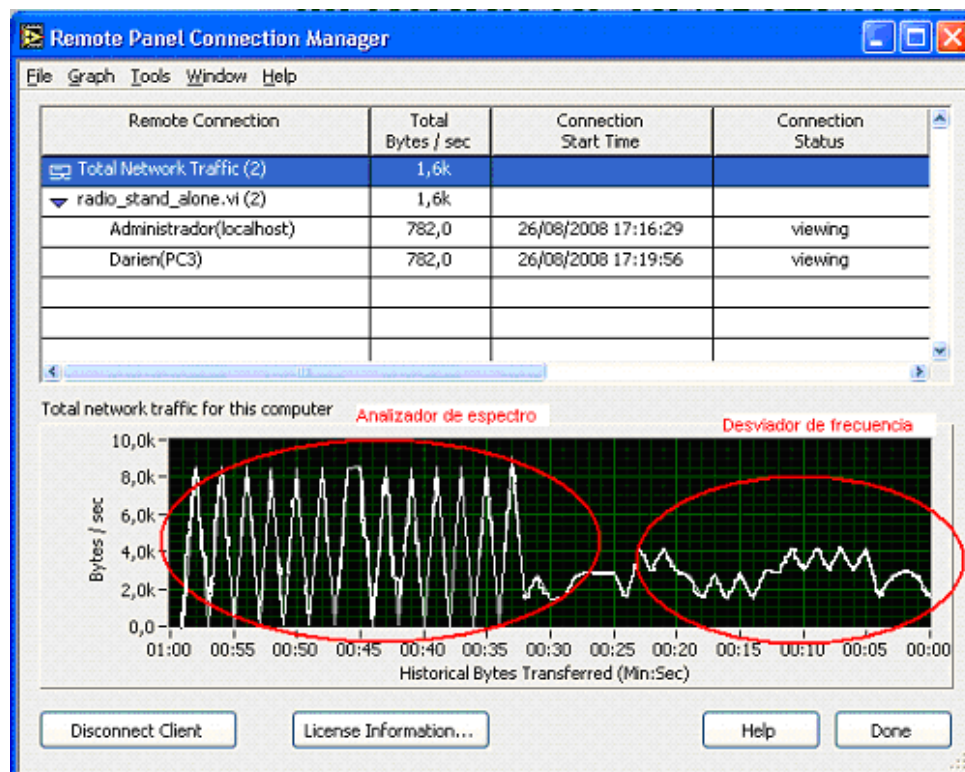
**Figura 3.11** Configuración del servidor Web

Además se necesita tener activo el instrumento virtual, llamado desde el LabVIEW. Aunque se dispone del instalador de este software, este correría en una PC sin necesidad de tener instalado el labVIEW, pero esta función de acceso a través de la Web no estaría disponible porque depende del servidor Web de la plataforma.

Analizando el ancho de banda que demandaría cada usuario conectado al servidor Web donde radica la aplicación, es necesario tener en cuenta que los instrumentos que se encuentran dentro del programa son diferentes en cuanto a la cantidad de puntos a visualizar en cada una de sus gráficas. Si tomamos en cuenta al analizador de espectro, para dos usuarios conectados a la misma vez y uno de ellos en la propia computadora, tendríamos que se demanda alrededor de 8 Kbytes por segundo, de forma intermitente, mientras que en el caso de que se esté usando el medidor de desviación de frecuencia serían unos 4 Kbytes por segundo. En la figura se puede apreciar la medición realizada utilizando el 'Remote Panel Connection Manager' que tiene la plataforma para medir el ancho de banda por usuarios que se conectan al servidor Web de LabVIEW, esta herramienta puede

## CAPÍTULO 3. Analizador de Espectro Radioeléctrico.

ser accedida cuando el software está ejecutándose desde ‘**Tools»Remote Panel Connection Manager**’. Véase la figura 3.12, la cual ilustra este análisis para los dos instrumentos.



**Figura 3.12** Análisis del ancho de banda para la conexión remota vía Web

### 3.4 Análisis Económico

Para el empleo de este instrumento virtual por parte de diferentes usuarios fue necesaria la creación de un ejecutable que puede ser abierto en cualquier aplicación de Windows. Este ejecutable es de un tamaño pequeño y cuenta con todas las herramientas necesarias para su instalación, siendo de vital importancia tener en cuenta algunas características de Hardware:

- 1- Se necesita una computadora que posea puertos ISA para la conexión de la tarjeta de Adquisición de datos.
- 2- Esta PC debe tener como mínimo 128 megas de memoria RAM y una frecuencia del reloj de al menos 500 Mhz.
- 3- Tener en funcionamiento un equipo de comunicaciones Telindel 25 con las conexiones correspondientes.

Mientras más sofisticada sea la computadora donde se monte el instrumento virtual más rápido se pueden ver los resultados que se obtengan en cada una de las aplicaciones que se desarrollen. El precio de costo de este tipo de instrumento está dado por el junto de accesorios que lo conforman (PC, Tarjeta de adquisición de datos, Interfase y equipo de comunicaciones).

Una estimación del precio de costo de esta tarjeta se puede apreciar en el anexo VIII. Téngase en cuenta que el resto de los dispositivos, como la PC y equipos de radio ya han sido adquiridos. Siendo de interés para la institución utilizarlos de forma eficiente.

En el caso del analizador de espectro se puede ver una estimación del precio en el anexo IX. Evidentemente el equipo real es más caro, y aunque realiza muchas más funciones que las requeridas para el problema descrito en este trabajo, este no se encuentra disponible en la institución y no posee la capacidad de comunicación a través de la red que nos ofrece la instrumentación virtual. Además el software puede ser constantemente cambiado de acuerdo a las necesidades y adaptado a nuevos requerimientos, algo que un equipo real no podría hacer.

### CONCLUSIONES

- Se aborda una solución a la problemática de la carencia de sistemas de medición de radio en Cuba, basada en la instrumentación virtual, la cual es capaz de operar equipos no tan modernos pero que aún pueden ser utilizados y readquieren valor de uso.
- Se desarrolla un software de instrumentación virtual a través del cual se demuestran las potencialidades de esta tecnología en equipos de radio de sintonía fija, donde la selección de frecuencia se realiza a través de una palabra digital. Estos receptores de radio pueden ser controlados desde una computadora y aumentadas sus funciones.
- Se analiza la variante de comunicación en red que ofrece la plataforma LabVIEW a través de su servidor Web, indicándose el procedimiento para su puesta en funcionamiento.
- El control de esta aplicación dentro de un ambiente de red de computadoras, muestra las ventajas de esta técnica realizándose mediciones del ancho de banda que se necesita para que un usuario desde un explorador pueda ver la medición.

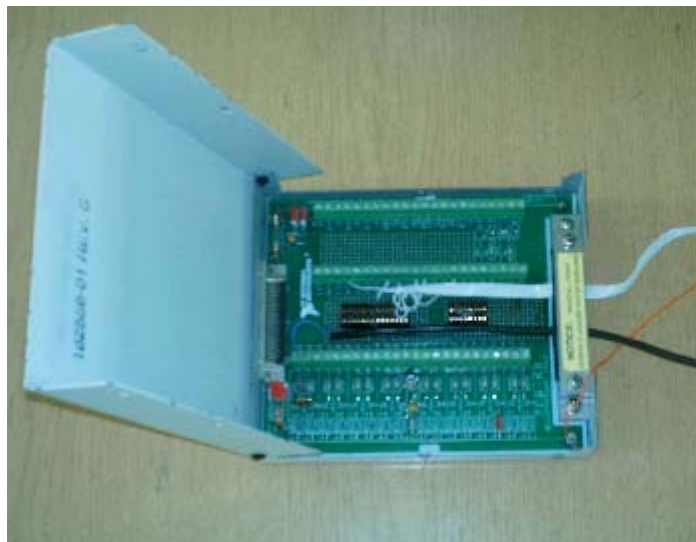


### **RECOMENDACIONES**

- Continuar el desarrollo del software de manera que se creen nuevos instrumentos virtuales.
- Continuar investigando sobre las posibilidades que ofrecen los software de instrumentación virtual para el desarrollo de aplicaciones virtuales remotas, para implementar proyectos a gran escala en el ambiente operativo del Ministerio del Interior.
- Aumentar las funciones de esta aplicación adicionándole manejo de base de datos o registros de reporte para que la medición no tenga que ser presencial.

## ANEXOS

### Anexo I Principales materiales usados durante el diseño

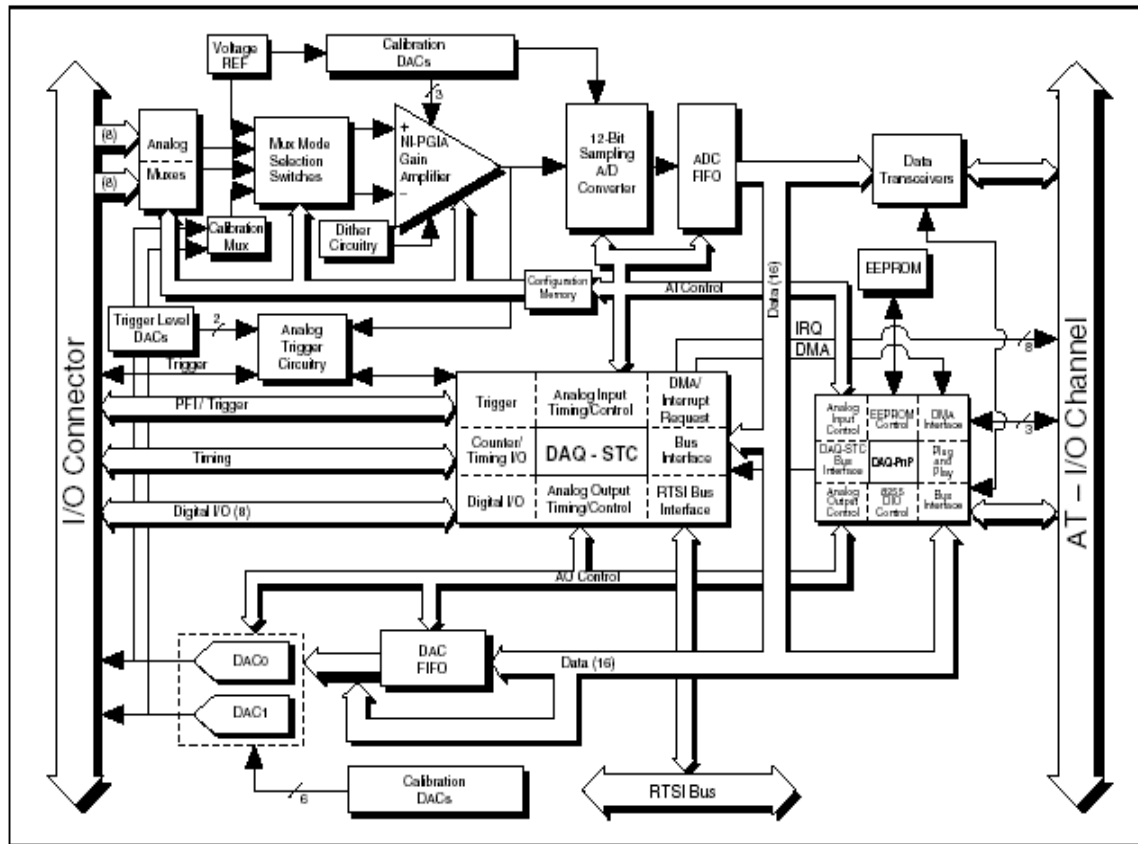


**Figura 1** Interfase SCB-68.



**Figura 2** Equipo de comunicaciones “Telindel-25”.

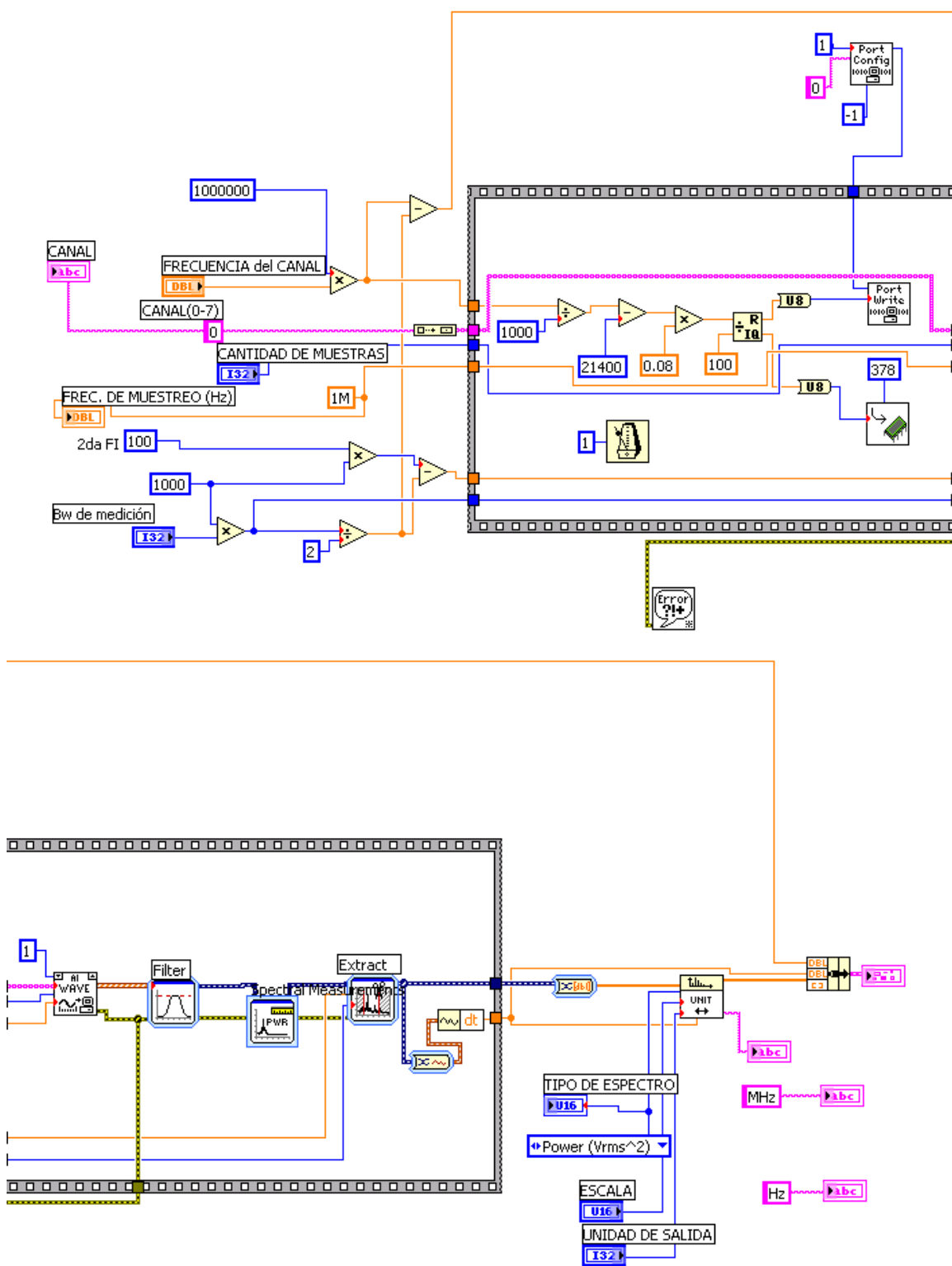
## Anexo II Diagrama de bloques de la TAD “AT-MIO-16E-1”.



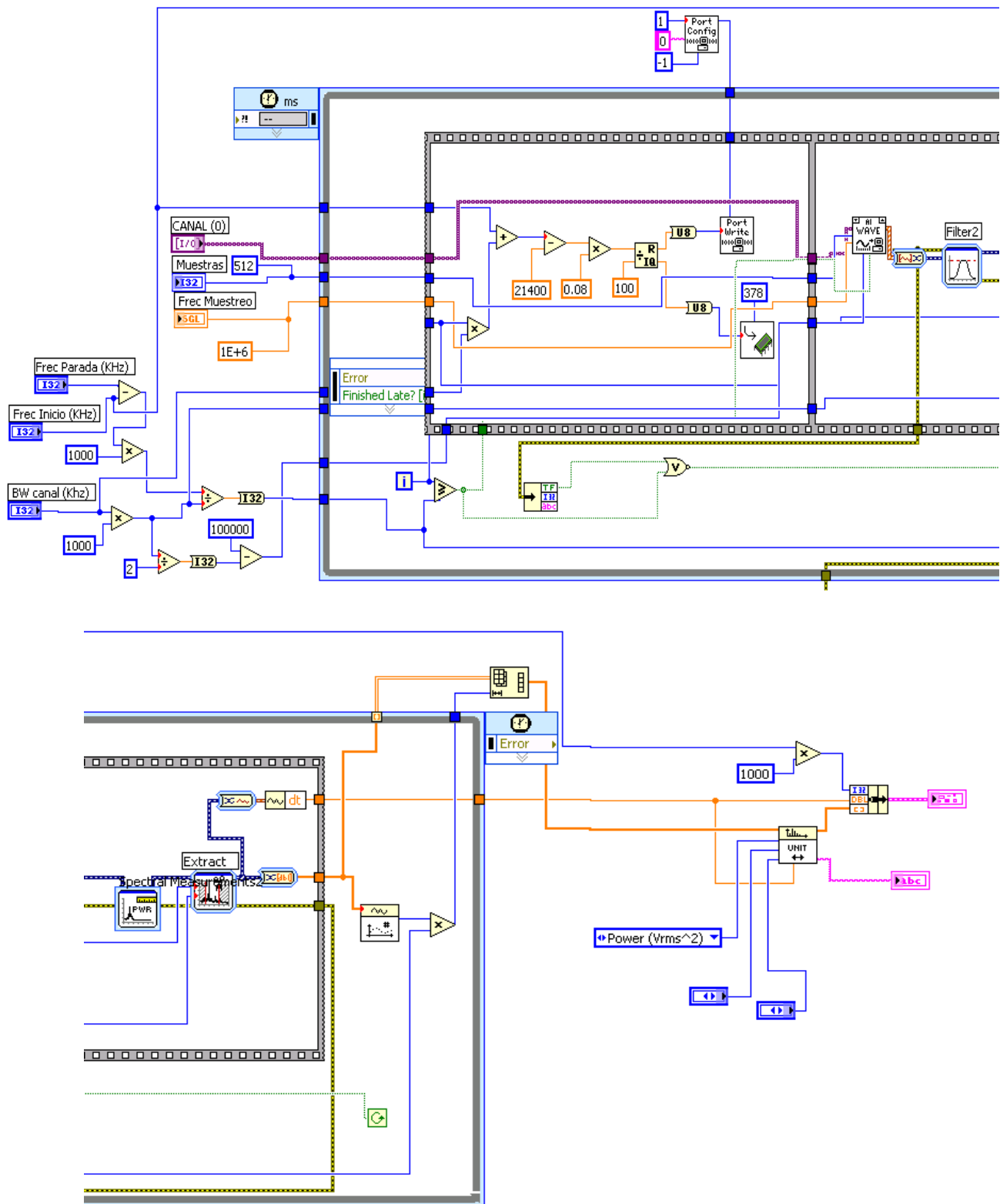
**Anexo III Asignaciones a los pines del conector entrada-salida.**

ACH8	34	68	ACH0
ACH1	33	67	AIGND
AIGND	32	66	ACH9
ACH10	31	65	ACH2
ACH3	30	64	AIGND
AIGND	29	63	ACH11
ACH4	28	62	AISENSE
AIGND	27	61	ACH12
ACH13	26	60	ACH5
ACH6	25	59	AIGND
AIGND	24	58	ACH14
ACH15	23	57	ACH7
DAC0OUT <sup>1</sup>	22	56	AIGND
DAC1OUT <sup>1</sup>	21	55	AOGND
EXTREF <sup>2</sup>	20	54	AOGND
DIO4	19	53	DGND
DGND	18	52	DIO0
DIO1	17	51	DIO5
DIO6	16	50	DGND
DGND	15	49	DIO2
+5V	14	48	DIO7
DGND	13	47	DIO3
DGND	12	46	SCANCLK
PFI0/TRIG1	11	45	EXTSTROBE*
PFI1/TRIG2	10	44	DGND
DGND	9	43	PFI2/CONVERT*
+5V	8	42	PFI3/GPCTR1_SOURCE
DGND	7	41	PFI4/GPCTR1_GATE
PFI5/UPDATE*	6	40	GPCTR1_OUT
PFI6/WFTRIG	5	39	DGND
DGND	4	38	PFI7/STARTSCAN
PFI9/GPCTR0_GATE	3	37	PFI8/GPCTR0_SOURCE
GPCTR0_OUT	2	36	DGND
FREQ_OUT	1	35	DGND

# Anexo VI Código del “Medidor de Desviación de Frecuencia”.



## Anexo VII Código del “Analizador de Espectro”



## Anexo VIII Estimación del precio de la tarjeta AT-MIO-16E-1



National Instruments UK  
UK Price List

Effective 17 January 2008

Prices are subject to change without notice

EURO (240 V)					
780114-06	NI USB-6259 M SERIES DAQ DEVICE, BNC TERM, NI-DAQMX DRIVER, SIGNAL EXPRESS LE, U.K. (240 V)	£1,599.00	777740-01	NI PCI-6711 ANALOG OUTPUT BOARD AND NI-DAQ	£599.00
194929-01	USB-6259 OEM BOARD-ONLY KIT (NO ENCLOSURE)	£1,099.00	777741-01	NI PCI-6713 ANALOG OUTPUT BOARD	£849.00
776542-01	AT-AO-10 + NI-DAQ SOFTWARE	£1,449.00	778705-01	NI PCI-6722, 8-CHANNEL ANALOG OUTPUT BOARD	£529.00
776541-01	AT-AO-6 + NI-DAQ SOFTWARE	£1,049.00	778701-01	NI PCI-6723, 32-CHANNEL ANALOG OUTPUT BOARD	£699.00
777367-01	PC-DIO-24 (JUMPERED SURFACE MOUNT) AND NI-DAQ FOR WINDOWS	£159.00	778511-01	NI PCI-6731 ANALOG OUTPUT BOARD	£949.00
777368-01	PC-DIO-24PNP AND NI-DAQ FOR WINDOWS	£159.00	778510-01	NI PCI-6733 ANALOG OUTPUT BOARD	£1,099.00
777418-01	PC-DIO-96 (JUMPERED SURFACE MOUNT) AND NI-DAQ FOR WINDOWS	£249.00	777690-01	NI PCI-6503 AND NI-DAQMX SOFTWARE	£109.00
777271-01	PC-DIO-96PNP AND NI-DAQ SW FOR WINDOWS	£249.00	778792-01	NI PCI-6509 INDUSTRIAL 96-CH 5V/TTL/CMOS DIGITAL I/O MODULE WITH HIGH CURRENT (24 MA) AND NI-DAQ	£179.00
777084-01	PC-ER-8 KIT FOR PC COMPUTERS	£399.00	778936-01	NI PCI-6509 BUNDLE INDUSTRIAL 96-CH 5V/TTL/CMOS DIGITAL I/O W/CB-100 I/O CABLE/CONN. KIT, NI-DAQ	£269.00
777085-01	PC-ER-16 KIT	£469.00	779081-01	NI PCI-6510 INDUSTRIAL 32 SOURCE/SINK DI, BANK ISOLATED DIGITAL INPUT MODULE AND NI-DAQ	£179.00
777094-01	PC-OPDIO-16 AND NI-DAQ SOFTWARE	£199.00	778966-01	NI PCI-6511 INDUSTRIAL 64 SOURCE/SINK DI, BANK ISOLATED DIGITAL INPUT MODULE AND NI-DAQ	£219.00
777279-01	AT-AI-16XE-10 + NI-DAQ SW	£1,299.00	778972-01	NI PCI-6511 BUNDLE INDUSTRIAL 64 SOURCE/SINK DI, BANK ISOL. DI MOD. W/CB-100 I/O CABLE/CONN. KIT, NI-DAQ	£309.00
777640-01	AT-MIO-16DE-10 AND NI-DAQ	£1,299.00	778968-01	NI PCI-6512 INDUSTRIAL 64 SOURCE DO, BANK ISOLATED DIGITAL OUTPUT MODULE AND NI-DAQ	£219.00
777142-01	AT-MIO-16E-1 AND NI-DAQ SOFTWARE FOR WINDOWS NT/98/95	£1,899.00	778973-01	NI PCI-6512 BUNDLE INDUSTRIAL 64 SOURCE DO, BANK ISOL. DO MODULE W/CB-100 CABLE/CONN. KIT, NI-DAQ	£309.00
777521-01	AT-MIO-16E-10 (SHORT) AND NI-DAQ FOR WINDOWS, CD	£979.00	778970-01	NI PCI-6513 INDUSTRIAL 64 SINK DO, BANK ISOLATED DIGITAL OUTPUT MODULE AND NI-DAQ	£219.00
776791-01	AT-MIO-16E-2 + NI-DAQ SOFTWARE FOR WINDOWS NT/98/95	£1,749.00	778974-01	NI PCI-6513 BUNDLE INDUSTRIAL 64 SINK DO, BANK ISOLATED DO MODULE W/CB-100 CABLE/CONN. KIT, NI-DAQ	£309.00
777181-01	AT-MIO-16XE-10 + NI-DAQ FOR WINDOWS NT/98/95	£2,099.00	778836-01	NI PCI-6514 INDUSTRIAL 32 SOURCE/SINK DI, 32 SOURCE DO BANK ISOLATED DIGITAL I/O MODULE AND NI-DAQ	£219.00
776910-01	AT-MIO-16XE-50 + NI-DAQ SOFTWARE	£1,099.00	778939-01	NI PCI-6514 BUNDLE INDUSTRIAL 32 DI, 32 SOURCE DO ISOLATED DIO W/CB-100 I/O CABLE/CONN. KIT, NI-DAQ	£309.00
776911-01	AT-MIO-64E-3 + NI-DAQ SOFTWARE FOR WINDOWS NT/98/95	£1,899.00	778835-01	NI PCI-6515 INDUSTRIAL 32 SOURCE/SINK DI, 32 SINK DO BANK ISOLATED DIGITAL I/O MODULE AND NI-DAQ	£219.00
777227-01	LAB-PC-1200 AND NI-DAQ SW	£879.00	778938-01	NI PCI-6515 BUNDLE INDUSTRIAL 32 DI, 32 SINK DO BANK ISOL. DIO W/CB-100 I/O CABLE/CONN. KIT, NI-DAQ	£309.00
777292-01	LAB-PC-1200AI AND NI-DAQ SW	£879.00	779082-01	NI PCI-6516 INDUSTRIAL 32 SOURCE DO, BANK ISOLATED DIGITAL OUTPUT MODULE AND NI-DAQ	£179.00
777229-01	PC-516 AND NI-DAQ SW	£699.00	779083-01	NI PCI-6517 INDUSTRIAL 32 SINK DO, BANK ISOLATED DIGITAL OUTPUT MODULE AND NI-DAQ	£179.00
776454-01	PC-LPM-16 (JUMPERED) AND NI-DAQ SOFTWARE	£629.00			
776581-02	DAQ SOURCE CODE/PC-LPM-16	£249.00			
777298-01	PC-LPM-16PNP AND NI-DAQ SW	£629.00			
776452-01	PC-TIO-10 + NI-DAQ SOFTWARE	£489.00			
778316-01	NI PCI-6703 AND NI-DAQ SOFTWARE	£649.00			
777306-01	NI PCI-6704 DC ANALOG OUTPUT AND NI-DAQ	£849.00			

## Anexo VIII Estimación del precio de un Analizador de espectro

Sitio Web: [www.leasametric.com](http://www.leasametric.com)



### Analizadores de espectro | Agilent E4411B

ESA-L Analizador de espectro 9KHz hasta 1,5GHz, resolución 1KHz (100Hz) hasta 5MHz, gama -117 hasta + 30dBm, sintetizado, lector 3"1/2, GPIB

#### VENTA

	Tarifa sin IVA	Garantizado
Nuevo	7100 €	1 año
<b>renewed*</b>	<del>6445 €</del> <b>2845 €</b>	1 mes

Ver todas las promociones !

#### ALQUILER

Semana	Mes	Por mes para 3 meses
201 €	472 €	330 €

#### OPCIÓN PARA E4411B

▶

1DR

685 €

▶

BTG

1689 €

- Añadir a mi petición de oferta
- Datasheet
- Pedir un financiación Flexo®
- Las mejores oportunidades



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] N. Instruments, "El Líder en Instrumentación Virtual ". vol. 2008, 2008.
- [2] N. Instruments, "Our History." vol. 2008, 2001.
- [3] R. C. Rugeles, "La instrumentacion virtual en la enseñanza de la ingeniería electrónica," in *A C C I Ó N P E D A G Ó G I C A*. vol. 11, 2002, pp. 74-84.
- [4] P. S. S. Sumathi, *LabVIEW based Advanced Instrumentation Systems*. Berlin: Springer 2007.
- [5] N. I. Corporation, "LabVIEW, Analysis Concepts," 11500 North Mopac Expressway, 2004.
- [6] J. C. Á. A. Miguel A. Pérez García, Juan C. Campo Rodríguez, Fco. Javier Martín, Gustavo J. Grillo Ortega, *Instrumentación Electrónica*. Madrid: Thompson, 2004.
- [7] N. Instruments, *DAQ AT E Series User Manual*. Austin,Texas: National Instruments, 1997.
- [8] P. Hinkov, "Telindel," 2007.
- [9] N. KEHTARNAVAZ, "Digital Signal Processing System-Level Design Using LabVIEW," Elsevier, Ed. Burlington, USA, 2005.
- [10] P. S. S. SUMATHI, "LabVIEW based Advanced Instrumentation Systems," Springer, Ed. Berlin, 2007.

**Datos del Autor**

Nombre: Darien Morales Arbolaez.  
Lugar de Nacimiento: Santa Clara, Villa Clara, Cuba.  
E-mail: [darien@uclv.edu.cu](mailto:darien@uclv.edu.cu)

**Formación Académica:**

Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en la Universidad Central Marta Abreu de la Villas.(2001)

**Categoría Académica:** Profesor Auxiliar.

**Experiencia Profesional:**

- 2001-2002 Como Profesor en el departamento de Telecomunicaciones y Electrónica en la facultad de Eléctrica.
- 2002-2005 Cumple Misión Internacionalista por dos años como profesor en el colegio de profesores de Nazareth (NCTTE) de (Etiopía), Evaluación de Excelente.
- 2004 Imparte cursos de postgrado en las temáticas: Hardware de computadoras, Sistemas operativos, mantenimiento y redes de computadoras. para los profesores del colegio de Nazareth (NCTTE) (Ethiopia).
- 2005- Hasta la Fecha imparte en el departamento de Telecomunicaciones y Electrónica en la facultad de Eléctrica como profesor Auxiliar.
- 2007- (Octubre) Imparte cursos de Arquitectura de redes y Administración de redes en la Universidad Cooperativa de Colombia (UCC).
- 2008-(Mayo) Imparte cursos de Transmisión de datos y Administración de redes en la Universidad Cooperativa de Colombia (UCC).

**Publicaciones:**

- “Diseño Asistido por Computadoras para procesos Eléctricos y Electrónicos”. Memorias del Seminario “Seminario de verano”. Nazareth, Etiopía. Junio , 2003.
- “Los principales problemas de la Intranet y servicios de Internet en el NCTTE”. Memorias del Seminario “Seminario investigativo de Octubre”. Nazareth, Etiopía. Octubre, 2003.
- “Diseño de KIT de Microcontrolador MCS851 para aplicaciones docentes” Informe de Investigación publicado en la Biblioteca “Chiqui Gómez Lubián” (Codigo 621 Baz D)

**Actividades Investigativas:**

- Participación en los seminarios investigativos:
  - “Seminario de verano”. Nazareth, Etiopía. Junio, 2003.
  - “Seminario investigativo de Octubre”. Etiopía Octubre, 2003.
  - Actualmente participa en la Realización del proyecto de tesis de Maestría en Telemática.2008