



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**FACULTAD DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN**

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA MEDICIÓN DE PARÁMETROS  
RADIOELÉCTRICOS EN ANTENAS LOGARÍTMICAS EN LA BANDA DE 30 MHz A  
1300 MHz UTILIZANDO LABVIEW

**TESINA DE SEMINARIO**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**AUTOR**

BRAVO LALAMA IVÁN JAVIER

**AÑO**

2011

# AGRADECIMIENTO

*A mi director Msc. Luis Fernando Vásquez  
quien me guió en el proceso para  
culminar esta tesis.*

*A la Ing. María Antonieta Álvarez por su ayuda  
con los equipos necesarios para realizar  
las pruebas requeridas.*


*Al Ing. Andrés Vanegas por su ayuda  
incondicional, su apoyo fue fundamental para el  
desarrollo de esta tesina.*

# DEDICATORIA

*Mis padres, hermanos, mi novia y a mi abuela Piedad.*


*Iván Bravo Lalama*

# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



---

Msc. Luis Fernando Vásquez  
Profesor del Seminario de Graduación

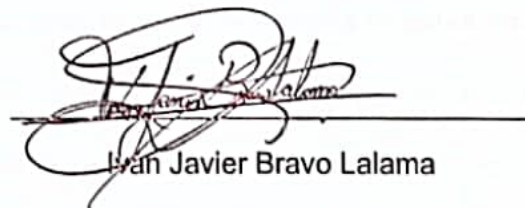


---

Ing. Washington Medina  
Profesor Delegado del Decano

# DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de esta Tesina de Grado, me corresponde exclusivamente y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



Ivan Javier Bravo Lalama

## RESUMEN

La finalidad del proyecto es proporcionar al Laboratorio de Telecomunicaciones un sistema de rotación de antenas, en este caso una logarítmica instalada en un rotor, siendo la forma de enviar y transmitir datos para el control de este rotor desde un PC por medio de Labview a través de una tarjeta de adquisición de datos conectado al rotor .

La función de este sistema de rotación es poder desde el laboratorio y con la utilización de los analizadores de espectro, realizar pruebas de radiogoniometría, direccionamiento y polarización de emisiones, así como poder obtener cálculos y gráficos de radiación y cobertura a partir de la potencia de recepción para las antenas logarítmicas.

La función del rotor será orientar la antena para lograr el mejor aprovechamiento de la ganancia que ésta posee ya sea en transmisión como recepción, evitando a su vez la interferencia de otras emisiones fuera de su ángulo de discriminación. Cabe recalcar que la orientación de la antena se hará de forma automática (hacia el sitio de mayor recepción), y dependerá de los datos antes mencionados.

La antena será construida en un rango de 30 Mhz a 1300 Mhz cubriendo toda la gama de sistemas de radiocomunicaciones que radian desde cerro Azul o Mapasingue y que pueden ser receptadas en la ESPOL, esta antena será parte del proyecto.

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL .....	VII
GLOSARIO.....	X
ABREVIATURAS .....	XIII
INDICE DE TABLAS.....	XIV
INDICE DE FIGURAS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII

### **CAPITULO 1**

#### **GENERALIDADES**

1.1 Antecedentes .....	2
1.2 Planteamiento y justificación del problema.....	2
1.3 Objetivos del proyecto.....	3
1.3.1 Objetivos Generales.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4

### **CAPITULO 2**

#### **MARCO TÉORICO**

2.1 Descripción General.....	6
2.2 Espectro radioeléctrico.....	6
2.3 Antenas.....	9
2.3.1 Parámetros de una antena .....	10
2.3.2 Tipos de antena .....	13
2.3.3 Antenas logarítmicas.....	15
2.4 Motores de paso .....	18
2.5 Tarjeta de adquisición de datos .....	20
2.6 Analizador de Espectros .....	22

**CAPITULO 3****DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

3.1	Diseño del hardware .....	26
3.1.1	Circuito de potencia.....	28
3.1.2	Diseño de la antena logarítmica .....	29
3.1.3	Analizador de Espectros Agilent E4404B .....	32
3.2	Implementación del Software.....	32
3.3	Programación en LabVIEW.....	33
3.4	Diagrama de bloques LabVIEW .....	36
3.5	Estructura final del sistema.....	42

**CAPITULO 4****PRUEBAS Y RESULTADOS FINALES**

4.1	Pruebas realizadas .....	44
4.2	Cuadro comparativo de los resultados obtenidos.....	47

**CONCLUSIONES..... 48**

**RECOMENDACIONES..... 49**

**ANEXO A: GUÍA DE ESPECIFICACIONES NI USB-6009**

**ANEXO B: CONFIGURACIÓN DEL MAX PARA AGILENT**

**ANEXO C: CIRCUITO DE POTENCIA**

**ANEXO D: MANUAL DE INSTALACIÓN PROGRAMAS REQUERIDOS**

**BIBLIOGRAFÍA**



## GLOSARIO

**Analógico:** Se refiere a una señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético, representable por una función matemática continua en función del tiempo.

**Ancho de banda:** En señales analógicas, el ancho de banda es la longitud medida en Hz. del rango de frecuencias en el que se concentra la mayor parte de la potencia de la señal.

**Antena Logarítmica:** Es una antena cuyos parámetros de impedancia o de radiación son una función periódica del logaritmo de la frecuencia de operación.

**Antena:** Dispositivo diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre.

**Arrays:** En antenas, se refiere a un grupo de elementos radiantes individuales alimentados desde un mismo terminal mediante redes lineales.

**Azimut:** Es el ángulo horizontal que hay que girar la antena, desde el polo Norte terrestre hasta encontrar el satélite o el punto requerido.

**Balun:** Del inglés balanced-unbalanced lines transformer y se define como un dispositivo adaptador de impedancias que convierte líneas de transmisión simétricas en asimétricas.

**Bobina:** O también denominado inductor es un componente pasivo de un circuito eléctrico que debido al fenómeno de la autoinducción, almacena energía en forma de campo magnético.

**Conductores Eléctricos:** Material capaz de transmitir a distancia el efecto de algún fenómeno físico.

**Directores:** Tipo de elementos parásitos situado delante del elemento alimentado y que refuerza el campo eléctrico hacia adelante.

**Elevación:** Es el ángulo vertical que hay que girar la antena hasta encontrar el punto requerido.

**Ethernet:** Es un estándar de redes de computadoras del área local con acceso al medio por contienda CSMA o detección de colisiones.

**Frecuencia:** Es una magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier fenómeno o suceso periódico.

**Ganancia:** Se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección.

**Guía de onda:** Es cualquier estructura física que guía las ondas electromagnéticas.

**Impedancia:** Es una magnitud que establece la relación entre la tensión y la intensidad de la corriente.

**Infrarrojo:** Es un tipo de radiación electromagnética de mayor longitud de onda que la luz visible pero menor que la de las microondas.

**LabVIEW:** Herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación.

**Lóbulo principal:** Margen angular en torno a la dirección de máxima radiación.

**Lóbulo secundario:** Son los restos de máximos relativos

**Longitud de onda:** Es el periodo espacial de la misma, es decir la distancia a la que se repite la forma de onda.

**Microondas:** Son ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado, normalmente entre 300 MHz. Y 300 GHz.

**MOSFET:** Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, consiste en un transistor de efecto de campo basado en estructura MOS.

**Ondas electromagnéticas:** Es una propagación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía.

**Polarización:** Proceso mediante el cual en un conjunto originariamente indiferenciado se establecen características o rasgos distintivos que determinan la aparición en él de dos o más zonas mutuamente excluyentes llamadas polos.

**Potencia radiada aparente:** Es la potencia que se tiene que introducir en una antena isotrópica para obtener la misma fuerza de campo.

**Radiogoniometría:** Consiste en determinar el lugar del que procede una señal de radio.

**Rayos Gamma:** Tipo de radiación electromagnética formada por fotones, producida por elementos radioactivos.

**Rayos X:** Tipo de radiación electromagnética, invisible capaz de atravesar cuerpos opacos y de imprimir películas fotográficas.

**Reflectores:** Elementos parásitos situados detrás del elemento alimentado y que refuerzan el campo hacia adelante.

**Resistor Pull-up:** Usados en circuitos lógicos electrónicos para asegurarse que las entradas a los circuitos lógicos estén en el nivel deseado si dispositivos externos son desconectados del circuito.

**Resonancia:** Fenómeno que se produce al coincidir la frecuencia propia de un circuito con la frecuencia de una excitación externa.

**Ultravioleta:** Radiación electromagnética que puede ser producida por los rayos solares cuya longitud de onda está comprendida entre los 400 nm y los 15 nm

**Yagi:** Clase de antena direccional con estructura simple de dipolos conocida por su alto rendimiento.

## ABREVIATURAS

**AI:** Analog Input, entradas analógicas.

**AM:** Amplitude Modulation, modulación en amplitud.

**AO:** Analog Output, salidas analógicas.

**DAQ:** Data Acquisition, Adquisición de datos.

**dB:** Decibelios.

**dBd:** Decibel for dipoles, decibelios relativos a los dipolos.

**dbi:** Decibel Isotropic, decibelios relativos a antenas isotrópicas.

**DC:** Direct Current, corriente directa.

**FM:** Frequency Modulation, modulación en frecuencia.

**GSM:** Groupe Spécial Mobile, sistema global para las comunicaciones móviles.

**GPB:** General Purpose Interface Bus, interface bus de propósitos generales.

**HZ:** Hertz.

**LED:** Light-Emitting Diode, diodo emisor de luz.

**LEO:** Low Earth Orbit, Órbita baja terrestre.

**LF:** Low Frequency, bajas frecuencias.

**MAX:** Measurement & Automation Explorer, explorador de automatización y mediciones.

**MF:** Medium frequency, frecuencia media.

**NI:** National Instruments.

**PaP:** Motores Paso a Paso.

**PXI:** Extensiones PCI para instrumentación.

**RF:** Radiofrecuencia.

**RMS:** Root Mean Square, valor cuadrático medio.

**SHF:** Super High Frequency, frecuencia super alta.

**SLL:** Relación de lóbulo principal a secundario.

**TRC:** Tubo de Rayos Catódicos.

**UHF:** Ultra High Frequency, frecuencia ultra alta.

**UIT:** Unión Internacional de Telecomunicaciones.

**USB:** Universal Serial Bus.

**VHF:** Very High Frequency, frecuencias muy altas.

**VXI:** Virtualization Experience Infrastructure, Infraestructura de virtualización por experiencia.

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 2.1	Tabla del espectro electromagnético.....	8
Tabla 2.2	Tabla del espectro radioeléctrico.....	9
Tabla 3.1	Longitud experimental de los dipolos en una antena logarítmica.....	30
Tabla 3.2	Distancia entre los dipolos de la antena logarítmica.....	30
Tabla 3.3	Frecuencias de corte alta y baja para antena logarítmica.....	31
Tabla 4.1	Cuadro comparativo de los experimentos realizados .....	47

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Diagrama de radiación de una antena en polares y dos dimensiones.....	11
Figura 2.2	Antena de dipolo logarítmica.....	14
Figura 2.3	Antena parabólica.....	14
Figura 2.4	Antena de arrays.....	15
Figura 2.5	Estructura y patrón de radiación de una antena logarítmica.....	16
Figura 2.6	Esquema de las bobinas motor de paso unipolar con 5 y 6 hilos de salida.....	19
Figura 2.7	Diagrama de bloques de la DAQ NI-USB 6009.....	21
Figura 2.8	Tarjeta de adquisición de datos NI-USB 6009.....	22
Figura 2.9	Diagrama de bloques analizador de filtros en paralelo.....	24
Figura 3.1	Polarización horizontal de la antena logarítmica.....	27
Figura 3.2	Polarización vertical de la antena logarítmica.....	27
Figura 3.3	Circuito de potencia para el control del motor PaP.....	28
Figura 3.4	Diseño de la antena logarítmica.....	29
Figura 3.5	Patrón de radiación de una antena logarítmica.....	31
Figura 3.6	Entorno gráfico del sistema de rotación de la antena.....	35
Figura 3.7	Bloque inicializamos de la programación.....	36
Figura 3.8	Bloque Inicializamos Analizador de Espectros.....	37
Figura 3.9	Bloque Adquirimos Potencia.....	38
Figura 3.10	Bloque Giro Completo.....	39
Figura 3.11	Bloque Incrementamos Ángulo.....	39
Figura 3.12	Bloque Buscar Mayor Potencia.....	40
Figura 3.13	Bloque Ubicarnos en la potencia deseada.....	41
Figura 3.14	Bloque Salir.....	41
Figura 3.15	Estructura final del sistema.....	42
Figura 4.1	Gráfico de radiación generado al terminar el proceso en primera prueba ..	44

Figura 4.2	Gráfico de radiación generado al terminar el proceso en segunda prueba.	45
Figura 4.3	Gráfico de radiación obtenido con una antena logarítmica.....	46
Figura B.1	Instalación Típica del Agilent IO Libraries Suite	
Figura B.2	Habilitar modo side-by-side en la instalación típica	
Figura B.3	Instalando el Agilent 82357B USB/GPIB	
Figura B.4	Conectar el instrumento al convertidor USB/GPIB	
Figura B.5	Habilitar NI-VISA Passport para Tulip	
Figura C.1	Arte del circuito impreso	
Figura C.2	Esquemático del circuito	
Figura D.1	Pantalla principal del software LabVIEW 2010	
Figura D.2	Agilent Connection Expert con analizador E4404B	
Figura D.3	Opción de NI-MAX para descargar driver de interfaz GPIB	
Figura D.4	Selección de fabricante del analizador	
Figura D.5	Ejemplos de proyectos en LabVIEW para series Agilent ESA PSA	

## INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad las personas han tenido la necesidad de comunicarse, ya sea mediante voz o de forma escrita. Las primeras redes de telecomunicaciones surgieron con la aparición de la telegrafía óptica, estas redes sustituyeron a la mensajería, por cuanto facilitan la transmisión de cualquier mensaje.

Uno de los desarrollos más sorprendentes en los últimos años es sin lugar a dudas la posibilidad de poder conectar todas las redes de cobertura limitada en una red global que permita enlazar y comunicar usuarios ubicados en cualquier parte de mundo. Esto es lo que ha dado origen a términos como globalización de la información. Actualmente existen redes de telecomunicaciones que permiten la comunicación vía telefónica, redes de internet, comunicaciones satelitales o mediante dispositivos denominados antenas, que es el dispositivo clave sobre el cual trabajaremos esta tesina.

Las ventajas de la comunicación vía satélite son evidentes pues pueden salvar grandes distancias sin importar la topografía del terreno, además se pueden utilizar antenas que tengan coberturas geográficas amplias de tal manera que muchas estaciones receptoras terrenas puedan recibir y distribuir simultáneamente la misma señal que fue transmitida una sola vez.

Las comunicaciones satelitales han servido para una gran variedad de aplicaciones que van desde la transmisión de conversaciones telefónicas,



transmisión de televisión teleconferencias y hasta transmisión de datos en tiempo real.

Aplicando estas ideas de telecomunicaciones decidimos crear un proceso de automatización para adecuar una antena logarítmica en los parámetros óptimos de la misma, con la finalidad de poder dar uso a los equipos de la ESPOL y poder tener una aplicación práctica del mundo real sobre cómo manejar la adquisición de datos aplicada en las telecomunicaciones. El medio para poder lograr este proceso de automatización es el software licenciado de National Instruments Labview el cual trabaja con tarjetas de adquisición especiales que se encuentran en los laboratorios de la ESPOL, además utilizamos otros elementos tales como analizadores de espectros, motores de paso para así poder realizar el proceso de automatización el cual en una empresa, nos ahorraría tiempo que demoramos físicamente en mover una antena y personal para realizar monitoreo del enlace de una antena.

# **CAPITULO 1**

## **GENERALIDADES**

El presente capítulo tiene como finalidad recalcar la importancia de las antenas en el mundo de las telecomunicaciones así como el crecimiento de las aplicaciones mediante la adquisición de datos para la obtención de resultados más precisos y eficientes sin tener que contar con recursos humanos de manera presencial en el lugar donde se realiza este proceso. Además exponemos los objetivos de nuestro proyecto y de la implementación del mismo en el Laboratorio de Telecomunicaciones de la ESPOL.

## **1.1 Antecedentes**

Desde hace muchos años el ser humano ha tenido la necesidad de comunicarse y ésta comunicación le ha permitido crear redes que al mismo tiempo se enlazan con otras y siempre lo ha hecho según las posibilidades tecnológicas propias de cada época o situación.

En un entorno donde la información a tiempo real es imprescindible para la correcta toma de decisiones, las antenas juegan un papel determinante. Gracias a ellas somos capaces de comunicarnos sin necesidad de cables, tenemos acceso a todo tipo de información en cualquier lugar y en cualquier momento [1].

Hoy en día es imposible imaginar un mundo sin tecnologías de la información y muy pocas veces nos damos cuenta que uno de los pilares más importantes de estas tecnologías son las antenas y el correcto posicionamiento de las mismas [2].

Así mismo trabajando en las comunicaciones satelitales, el posicionamiento de las antenas en azimut como elevación, mediante un sistema de adquisición de datos facilita las tareas de enlace sobre todo en satélites de órbita baja (LEO) [3].

## **1.2 Planteamiento y justificación del problema**

El Laboratorio de Telecomunicaciones de la FIEC, carece de experimentos aplicados en el ámbito profesional por lo cual nosotros

proponemos un sistema de posicionamiento de las antenas, mediante la adquisición de datos usando Labview para conocer los parámetros radioeléctricos de una antena logarítmica.

El proyecto se presenta básicamente como un elemento didáctico de apoyo para la comprensión y claridad sobre el uso de las antenas, generadores de funciones, analizadores de espectro y la importancia de la adquisición de datos en tiempo real para monitorear un enlace.

### **1.3 Objetivos del proyecto**

Los objetivos generales y específicos del presente proyecto, se detallan a continuación.

#### **1.3.1 Objetivos Generales**

El objetivo principal de este proyecto es realizar un sistema de rotación de antenas, en este caso una logarítmica, instalada en un motor de paso, siendo la forma de enviar y transmitir datos para el control de este rotor desde un PC por medio de Labview a través de una tarjeta de adquisición de datos conectado al motor de paso.

Otro objetivo es adquirir, analizar y presentar datos provenientes del sistema electro-mecánico de una antena para

lo cual se crea una interface gráfica amigable para el manejo del usuario donde se muestren los atributos de la antena.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos del presente trabajo son:

- Controlar el movimiento en el eje azimutal con los resultados medidos y de forma automática la posición de una antena logarítmica.
- Aprender a utilizar la consola de programación LABVIEW y sus ventajas para solucionar problemas complejos.
- Adquirir todos los datos necesarios por DAQ para que estos sean procesados de manera gráfica mediante LABVIEW.
- Diseñar un sistema de monitoreo y análisis de la antena logarítmica base y sus patrones de radiación.

## **CAPITULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

Definiremos el concepto del espectro radioeléctrico, su clasificación y los usos más comunes que tienen las bandas de frecuencia en nuestro país. Además, mostraremos los parámetros de una antena, así como la clasificación de las mismas. Hacemos énfasis también en la importancia de la adquisición de datos en el ámbito laboral, en nuestro caso mediante el entorno gráfico Labview, tarjetas de adquisición de National Instruments y la importancia de los analizadores de espectros.

## **2.1 Descripción General**

El desarrollo de la tecnología en especial de la electrónica orientada a las telecomunicaciones, en las últimas décadas, ha llevado a los ingenieros a la vanguardia mundial de la ciencia, permitiendo que cada día sea una labor más ligada a la solución de problemas que se presentan en cualquier situación.

Las antenas, su ensamblaje y el correcto manejo de sus parámetros, han ocupado un lugar muy importante en el desarrollo de las telecomunicaciones, pues sin ellas las estaciones radioeléctricas no podrían funcionar [4]. Una clase de antenas independientes de la frecuencia son las llamadas antenas logarítmicas, las cuales describiremos en los siguientes subcapítulos.

## **2.2 Espectro Radioeléctrico**

El espectro radioeléctrico es una porción del espectro electromagnético que proviene de las perturbaciones de las interferencias entre campos eléctricos y magnéticos. Las ondas electromagnéticas transportan energía y no necesitan medio material para su transporte. Las Ondas de radio, de luz, de rayos X y los rayos gamma son ejemplo de ondas

electromagnéticas y difieren solamente en sus frecuencias o longitud de onda.

Las ondas electromagnéticas cubren una amplia gama de frecuencias o de longitudes de ondas y pueden clasificarse según su principal fuente de generación. Las ondas de radiofrecuencia y las microondas son especialmente útiles porque en esta pequeña región del espectro las señales producidas pueden penetrar las nubes, la niebla y las paredes; estas son las frecuencias que se usan para las comunicaciones vía satélite y entre teléfonos móviles.

Los gobiernos y Las organizaciones internacionales elaboran normas para decidir que intervalos de frecuencias se usan para distintas actividades: entretenimiento, servicios públicos, defensa, etc.

La frecuencia de la onda,  $f$  se mide en Hertzios y la longitud de onda  $\lambda$  se mide en metros, en ondas de radio se usan metros, centímetros y milímetros; la relación entre frecuencia y longitud es inversa [5].

Según la Unión internacional de Telecomunicaciones (UIT), el espectro radioeléctrico es el conjunto de ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin guía artificial. Además, es un recurso natural, de carácter limitado, que constituye un bien de dominio público, sobre el cual el Estado ejerce su soberanía.



Dentro del espectro electromagnético se encuentra el espectro de RF (Radio Frecuencia) que son las frecuencias en las cuales al aplicarle una corriente alterna a una antena, este produce un campo electromagnético en el cual se pueden transmitir datos [6]. A continuación se muestra la tabla del espectro electromagnético y radioeléctrico.

Frecuencia (Hz)	Radiación	Longitud de onda $\lambda$ (m)
$10^{22}$	Rayos Gamma	$3 \times 10^{-14}$
$10^{18}$	Rayos X	$3 \times 10^{-10}$
$10^{16}$	Ultravioleta lejano	$3 \times 10^{-8}$
$10^{15}$	Ultravioleta cercano	$3 \times 10^{-7}$
$10^{14}$	Visible	$3 \times 10^{-6}$
$10^{13}$	Infrarrojo	$3 \times 10^{-5}$
$10^{11}$	Ondas milimétricas	$3 \times 10^{-3}$
$10^{10}$	Comunicación Satelital	$3 \times 10^{-2}$
$10^9$	Telefonía celular, radar	$3 \times 10^{-1}$
$10^8$	Microondas	$3 \times 10^0$
$10^7$	FM, TV	$3 \times 10^1$
$10^6$	AM, TV, Banda Civil, RF	$3 \times 10^2$
$10^5$	Policía, servicios	$3 \times 10^3$
$10^4$	Onda Larga	$3 \times 10^4$
$10^1$	Energía Eléctrica	$3 \times 10^7$

**Tabla 2.1** Tabla del espectro electromagnético

Frecuencia (Hz)	Banda	Longitud de onda
<b>30 kHz a 300 kHz</b>	LF – Low frequency	10 Km a 1 Km
<b>300 kHz a 3 MHz</b>	MF – Medium Frequency	1Km a 100 m
<b>3 MHz a 30 MHz</b>	HF – High Frequency	100 m a 10 m
<b>30 MHz a 300 MHz</b>	VHF – Very High Frequency	10 m a 1 m
<b>300 MHz a 3 GHz</b>	UHF – Ultra High Frequency	1 m a 10 cm
<b>3 GHz a 30 GHz</b>	SHF – Super High Frequency	10 cm a 1 cm

**Tabla 2.2** Tabla del espectro radioeléctrico

Para efectos de esta tesina, hemos escogido trabajar con una antena logarítmica en la banda de los 30 MHz a 1300 MHz que corresponde al rango de VHF y UHF que van desde aplicaciones en telefonía móvil (GSM 900 MHz), comunicaciones punto a punto hasta aplicaciones militares.

### 2.3 Antenas

Una antena es un dispositivo diseñado para emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma voltaje en ondas electromagnéticas y la receptora realiza la función inversa [7].

Existe una amplia diversidad de antenas, dependiendo del uso que estas tengan. Las características de las antenas dependen de la relación entre las dimensiones y la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida [7].

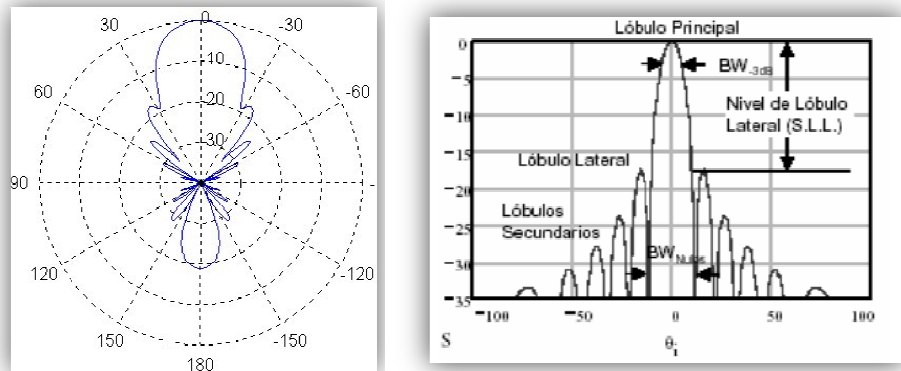
### 2.3.1 Parámetros de una antena

Las antenas se caracterizan por una serie de parámetros, entre los más comunes tenemos los siguientes:

- Diagrama de radiación
- Ancho de banda
- Directividad
- Ganancia
- Eficiencia
- Impedancia de entrada
- Polarización

**Diagrama de radiación:** Es una representación gráfica de las características de radiación de una antena, en función de la dirección, azimut y elevación. Usualmente se representa la densidad de la potencia radiada, aunque es común también mostrar diagramas de polarización o fase [6].

Los parámetros más importantes del diagrama de radiación son: dirección de apuntamiento que es la máxima radiación, muestra directividad y la ganancia; lóbulo principal que es el margen angular en torno a la dirección de máxima radiación; lóbulos secundarios son el resto de máximos relativos; ancho de haz, margen angular en el cual el diagrama de radiación toma un valor de 3 dB por debajo del máximo; SLL es el cociente en dB entre el lóbulo principal y el máximo del lóbulo secundario [5]. A continuación se demuestran gráficamente los parámetros del diagrama de radiación de una antena, que como se hablo en el subcapítulo anterior depende de las especificaciones del fabricante de la antena.



**Figura 2.1** Diagrama de radiación de una antena en coordenadas polares y en dos dimensiones

**Ancho de Banda:** Se define como el margen de frecuencias en el cual los parámetros de la antena cumplen determinadas características. Por lo general se toma entre los puntos de media potencia sobre las cuales la operación de la antena es satisfactoria [5].

**Directividad:** También llamado máxima ganancia directiva, es la relación de la densidad de potencia radiada en una dirección en particular con la densidad de potencia radiada al mismo punto por una antena de referencia, suponiendo que cada antena irradia la misma cantidad de potencia [6].

**Ganancia:** Es la relación de potencia entregada por la antena y sus unidades de ganancia se expresan en dBi, dBd o dB [4].

**Eficiencia:** Consiste en la relación entre la potencia radiada y la potencia entregada a la antena, también se define como la relación entre ganancia y directividad, de acuerdo a la siguiente ecuación, este parámetro es adimensional [6].

$$e = \frac{\text{Potencia radiada}}{\text{Potencia entregada}} = \frac{\text{Ganancia}}{\text{Directividad}}$$

**Impedancia de entrada:** Refiere a la impedancia de la antena en sus terminales.

**Polarización:** Se define como la figura geométrica que traza el extremo del vector campo eléctrico a una cierta distancia de la antena, al variar el tiempo. La polarización puede ser lineal, circular o eclíptica. El concepto de polarización es importante en los sistemas de radiocomunicaciones, porque la antena receptora sólo es capaz de captar la potencia contenida en la polarización del campo coincidente con la suya [7].

### 2.3.2 Tipos de Antenas

Cada aplicación y cada banda de frecuencia presentan características diferentes que dan origen a diversos tipos de antenas. De una forma más amplia, los tipos más comunes de antenas se pueden agrupar en los siguientes bloques:

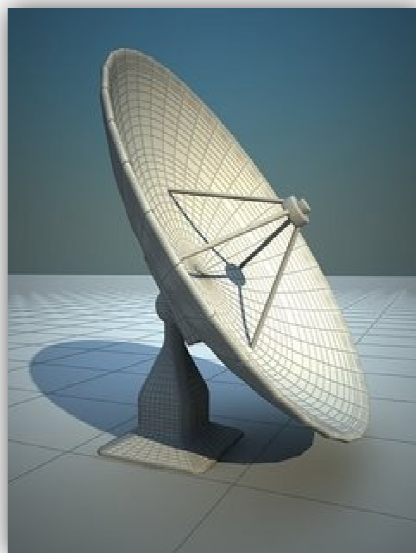
**Antenas de hilo:** Se distinguen porque están construidas con hilos conductores que soportan las corrientes que dan origen a campos radiados. Pueden estar formados por hilos rectos como dipolos, rombos, V, o hilos en espirales circulares, cuadrados o cualquier forma arbitraria y también en hélices [8].

En la siguiente figura se muestra el modelo de antena utilizado para este proyecto.



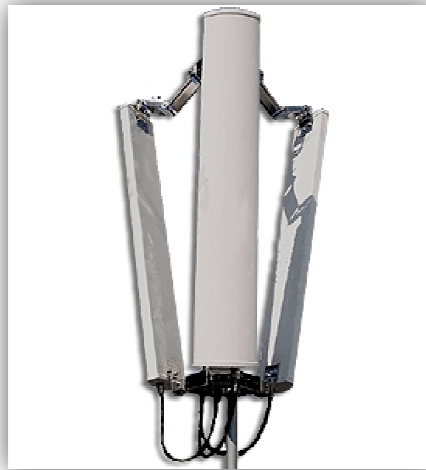
**Figura 2.2** Antena de dipolo logarítmica

**Antenas de apertura:** En estas antenas la onda radiada se consigue a partir de la distribución de campo soportada por la antena y se suelen excitar por guías de onda. Las antenas de apertura pueden ser bocinas piramidales o cónicas [8].



**Figura 2.3** Antena Parabólica

**Agrupaciones de antenas:** En algunas aplicaciones son requeridas características de radiación que no se pueden conseguir con un único elemento, es por ello que con la combinación de varias antenas también conocidas como arrays, podemos obtener una gran flexibilidad [8]. Generalmente este tipo de arreglos se utilizan en estaciones bases de telefonía celular.



**Figura 2.4** Antena de arrays

### **2.3.3 Antenas logarítmicas**

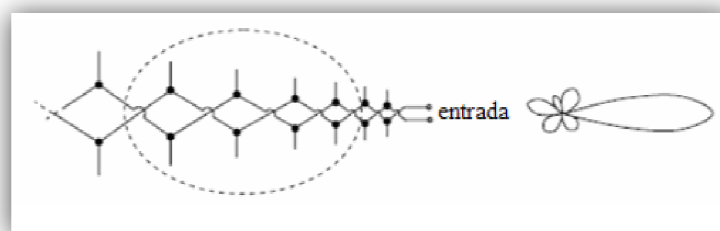
Una antena de tipo log periódica es una antena cuyos parámetros de impedancia o de radiación son una función periódica del logaritmo de la frecuencia de operación. El diseño



de estas antenas se realiza a partir de ciertas dimensiones, como las dimensiones de un dipolo o la separación que se van multiplicando por una constante. Uno de los diseños más conocidos es la agrupación log periódica de dipolos.

Esta configuración de antenas es muy cercana al concepto de antenas de frecuencia independiente, que son antenas cuya geometría es únicamente definida por ángulos. Ya que la forma completa de una antena logarítmica no puede ser especificada únicamente por ángulos, no es totalmente una antena de frecuencia independiente [6].

En la siguiente figura se muestra la estructura de una antena logarítmica, así como el patrón de radiación sugerido para la estructura.



**Figura 2.5** Estructura y patrón de radiación de una antena logarítmica

Las antenas logarítmicas se componen de un grupo de dipolos abiertos dispuestos en el mismo plano y colocados

paralelamente de forma similar a las Yagi sobre una barra que actúa como soporte. Todos los elementos son activos y están interconectados en oposición de fase. Las dimensiones y la separación entre los elementos decrecen gradualmente según un factor  $R$  que se determina en función de la ganancia y el ancho de banda que se desea.

Para frecuencias medias con respecto a la antena los elementos del centro de la antena entran en resonancia, los elementos mayores actúan como reflectores y los más pequeños como directores. Para frecuencias más bajas el elemento resonante es posterior, por lo que decrecen los reflectores y aumentan los directores; por el contrario, para frecuencias altas decrece el número de elementos directores y aumenta el de los que actúan como reflectores [9].

La alimentación de esta antena se realiza de manera simétrica, o simetrizada mediante un balun por la parte delantera. Las antenas logarítmicas más habituales tienen ganancias típicas entre 8 y 12 dB.

Hay distintas clases de antenas logarítmicas. Las más conocidas son las del tipo direccional que han sido empleadas durante años en los receptores de TV hogareños. Su propiedad principal es la

de operar sobre un amplio rango de frecuencias sin ajustes ni interruptores de ninguna clase y es el tipo de antena que utilizaremos para el prototipo de esta tesina [9].

## **2.4 Motores de paso**

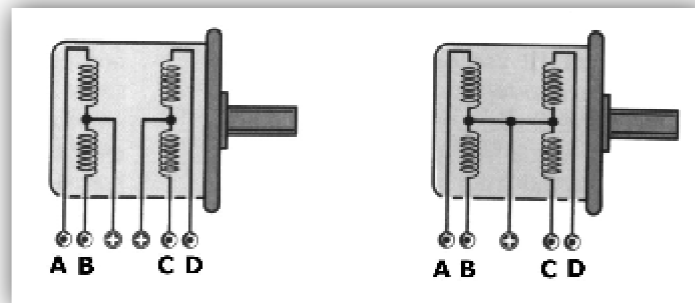
Se define un motor como una máquina eléctrica rotativa que es capaz de transformar energía eléctrica en energía mecánica.

Los denominados motores de paso también abreviados PaP, son un caso particular dentro de los motores en general. La señal eléctrica de alimentación no es de corriente continua ni alterna como en otros motores, sino que actúa a través de un tren de pulsos que suceden con una frecuencia previamente definida, a cada una de las bobinas que componen el estator, cada vez que alguna de estas bobinas recibe un pulso, el motor se desplaza un paso, y queda fijo en esa posición.

Dependiendo de las características constructivas del motor este paso puede ser desde  $90^\circ$  hasta incluso  $0,9^\circ$ , el motor de paso utilizado en la tesina nos servirá para rotar nuestra antena en pasos de 9 grados [10].

Existen diferentes tipos de motores de paso pero nos centraremos en los motores de imán permanente unipolares que es el tipo de motor utilizado en nuestro proyecto.

En los motores unipolares el estator está conformado por dos bobinas con tomas intermedias, lo que equivale a cuatro bobinas. Las tomas intermedias de las dos bobinas pueden estar interconectadas en el interior o no. Externamente se apreciarán cinco conductores en el primer caso y seis en el segundo. La forma de alimentar este motor consiste en poner a tierra la toma central e ir aplicando una secuencia determinada de pulsos a un extremo de la bobina y después en el otro extremo pero nunca simultáneamente. De tal manera que la intensidad que circula por cada media bobina siempre lo hace en el mismo sentido, de ahí su nombre motores unipolares [11]. El esquema de las bobinas del motor de paso unipolar se muestra en la siguiente figura.



**Figura 2.6** Esquema de las bobinas motor de paso unipolar con 5 y 6 hilos de salida

Existen dos modos de funcionamiento en paso completo y en medio paso. En paso completo, las bobinas se van alimentando de dos en dos, siempre teniendo en cuenta que no pueden estar alimentadas

simultáneamente las dos partes de una misma bobina, es decir A y B o C y D. En medio paso, igual que los motores bipolares, se puede conseguir si entre paso y paso se deja una bobina sin utilizar [10].

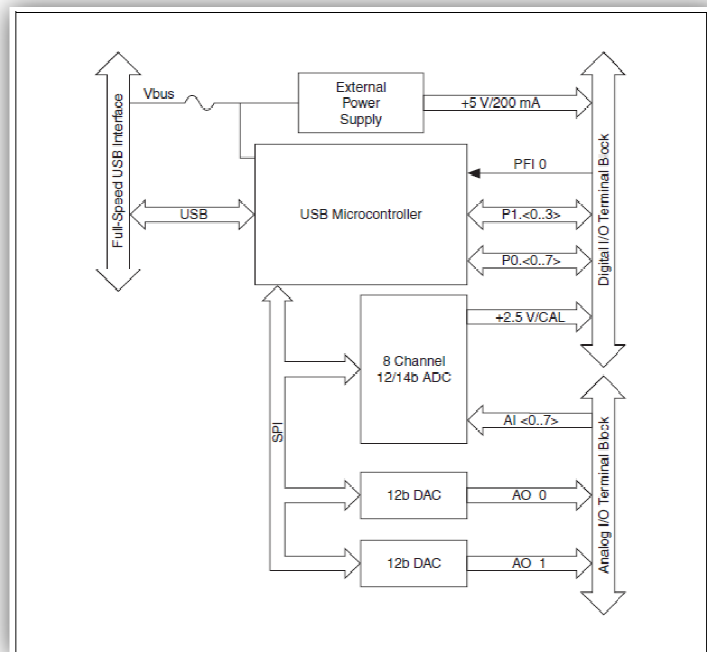
Las especificaciones del motor de paso, así como la tabla de excitación de bobinas se presentan en la sección de anexos de la presente tesina.

## **2.5 Tarjeta de adquisición de datos**

La adquisición de datos o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real, sistema analógico, para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador, sistema digital. Consiste, en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan procesar en una computadora y procesarlas para obtener el resultado esperado.

La etapa de acondicionamiento, es la que adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital. El elemento que hace dicha transformación se conoce como módulo de digitalización o tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ) [12].

Para la implementación de este proyecto hemos decidido utilizar la tarjeta de National Instruments NI USB- 6009 la cual se detalla a continuación:



**Figura 2.7** Diagrama de bloques de la DAQ NI-USB 6009

La tarjeta NI USB 6009 posee ocho puertos para entradas analógicas (AI), dos puertos para salidas analógicas (AO), doce puertos que pueden funcionar tanto como entradas o salidas digitales (DIO) y además tiene un contador de 32 bits con interfaz USB de alta velocidad. Las entradas analógicas convierten las señales a valores discretos para que puedan ser procesados, estos valores se obtienen de aproximaciones sucesivas, la velocidad de muestreo es de 48 kS/s. Las salidas analógicas tienen 12 bits de resolución y la salida tiene entre 0 y 5 voltios de amplitud, y una frecuencia de 150Hz. Los puertos de entradas/salidas digitales pueden programarse

individualmente para funcionar como entrada o salida. El contador tiene una resolución de 32 bits, el conteo es ascendente. Se necesita un resistor de Pull-up de 4.7 KOhms. La frecuencia máxima de entrada es de 5 MHz y el máximo ancho de pulso es de 100 ns [13].



**Figura 2.8** Tarjeta de adquisición de datos NI-USB 6009

La hoja de especificaciones de esta tarjeta se presenta en la sección de anexos de la presente tesina.

## 2.6 Analizador de Espectros

Los fenómenos físicos pueden convertirse en señales eléctricas si se emplean transductores adecuados. Estas señales pueden estudiarse mediante su representación en función del tiempo con un osciloscopio y

mediante su representación en frecuencia, empleando un analizador de espectro. El analizador de espectro presenta información de amplitudes y frecuencias de las diferentes componentes discretas de la señal eléctrica. En ambos casos la información se presenta en un tubo de rayos catódicos (TRC) [14].

El analizador de espectros puede realizar diferentes tipos de mediciones como por ejemplo:

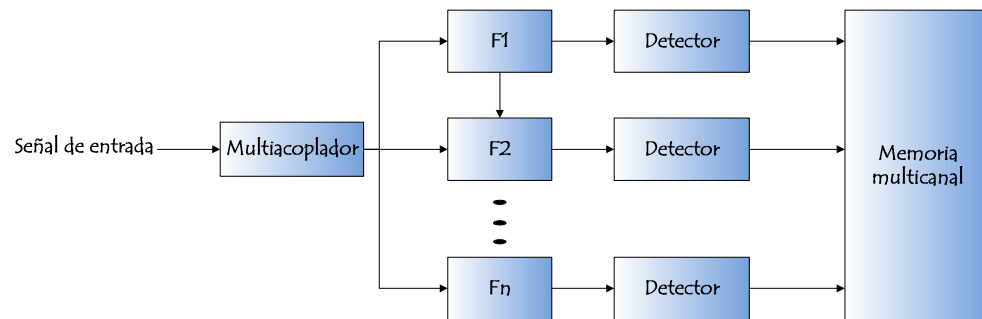
- Potencia y tensión RMS.
- Potencia de ruido.
- Medidas de relación señal a ruido.
- Frecuencia.
- Distorsión.
- Medidas relativas a modulaciones en amplitud
- Medidas relativas a modulaciones de frecuencia y fase.
- Intensidad de campo.

En resumen, como puede deducirse a partir de la lista, el analizador de espectro permite realizar gran variedad de medidas con un único instrumento, por lo que es muy importante para cualquier laboratorio.

Su presencia, en muchos casos, evita la adquisición de un completo y costoso equipamiento específico para cada tipo de medidas [14].



El tipo de analizador usado en esta tesina se trata de un analizador de filtros en paralelo, que se refiere a un analizador en tiempo real formado por un banco de filtros paso-banda contiguo y un banco de detectores, donde cada conjunto analiza una porción del espectro para luego almacenarlo en una memoria multicanal. A continuación se muestra el diagrama de bloques de un analizador de filtros en paralelo.



**Figura 2.9** Diagrama de bloques analizador de filtros en paralelo

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

Se requiere de un sistema que será dividido en dos partes, la primera será el diseño del hardware del proyecto, el cual requerirá de una base metálica para poder sujetar la antena. En este montaje estará además un motor de paso trabajando en pasos completos para poder realizar la rotación del eje de la antena. El motor de paso será alimentado por una batería de 24 VDC y controlado por la DAQ mediante un driver de corriente. La segunda parte del proyecto tratará sobre la implementación del software mediante LabVIEW.

### 3.1 Diseño del hardware

Como habíamos indicado en capítulos anteriores, la antena necesita un sistema de soporte para poder realizar la rotación de la misma. Para esta tesina rotaremos únicamente la antena en el eje azimutal.

El montaje de la antena se compone de un soporte metálico de 90 centímetros y una base metálica 20 centímetros de ancho. A esta base metálica se sujeta el motor de paso.

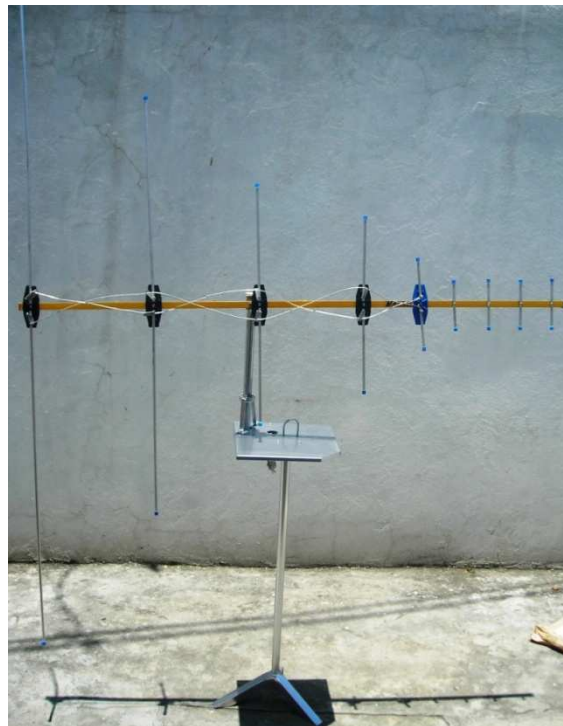
El motor de paso utilizado necesita una alimentación de 24 voltios DC, posee una impedancia por fase de 18.8 ohmios y se mueve en pasos de 9°, en capítulos anteriores vimos el funcionamiento y control de un motor PaP. Para el control de este motor utilizaremos un circuito de potencia, el cual se detalla en el subcapítulo 3.1.1.

En el eje del motor de paso se coloca un tubo plástico de 1 pulgada y 40 centímetros de alto. A los 15 centímetros de este tubo se coloca un rulimán que le dará estabilidad y permitirá su normal funcionamiento.

En el extremo superior de este tubo se coloca una bisagra, la cual permitirá mover manualmente la antena para posicionarla en polarización horizontal o polarización vertical. En las figuras 3.1 y 3.2 se muestran el montaje para la antena logarítmica con polarización horizontal y polarización vertical.



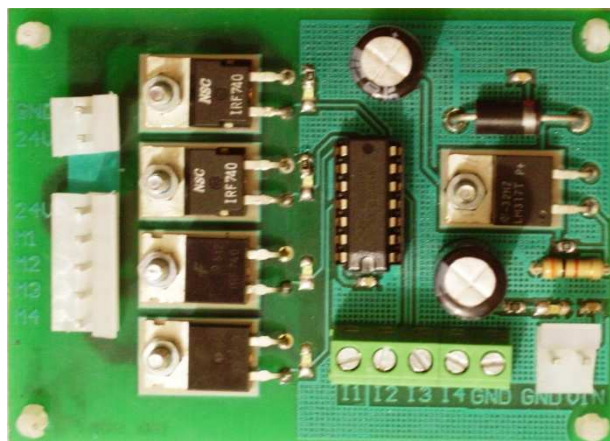
**Figura 3.1** Polarización horizontal de la antena logarítmica



**Figura 3.2** Polarización vertical de la antena logarítmica

### 3.1.1 Circuito de potencia

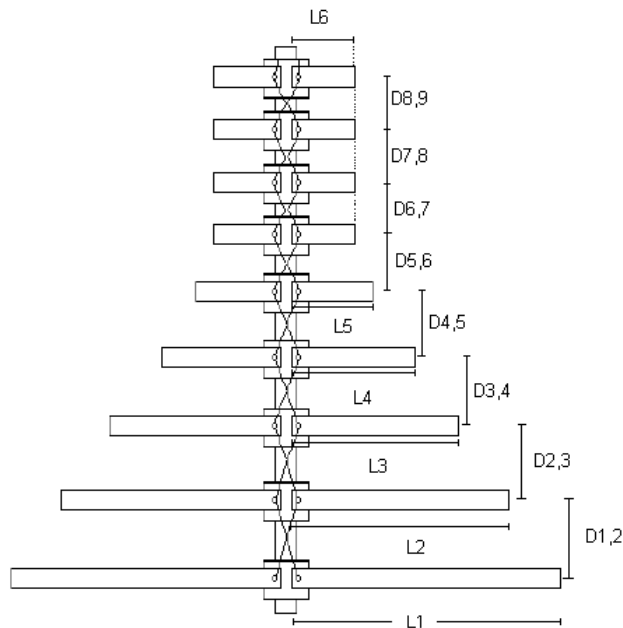
El presente circuito permite adaptar los niveles de potencia presentes en los puertos de las salidas digitales de una DAQ para poder manejar cómodamente un motor paso a paso por medio de un programa que será desarrollado bajo entorno LabVIEW. La primera etapa del circuito se encarga de aislar la entrada proveniente de la DAQ por medio del integrado SN74LS125AN, este aislamiento lo realiza mediante buffers de tres estados. La segunda etapa es la de amplificación de potencia. Esta etapa está basada en un arreglo de Mosfets canal N IRF740, que permite manejar las bobinas del motor. Los resistores de 560 ohmios junto con los diodos LED permiten monitorizar el adecuado funcionamiento del sistema. A continuación se muestra el circuito amplificador de corriente.



**Figura 3.3** Circuito de potencia para el control del motor PaP

### 3.1.2 Diseño de la antena logarítmica

A continuación se describirán las características técnicas de la antena logarítmica utilizada para este experimento. Esta antena posee 9 dipolos y hemos obtenido en base a ecuaciones y mediciones experimentales la distancia entre dipolos y la longitud de los mismos, en el siguiente diagrama mostramos gráficamente la composición de nuestra antena.



**Figura 3.4** Diseño antena logarítmica

Donde  $D_{x,y}$  nos indica la distancia entre cada dipolo de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$d_{x,y} = 2\sigma l_{m\acute{a}x}$$

Lx refiere a la longitud real de cada dipolo de la antena utilizada en nuestro proyecto, se ha medido experimentalmente y se muestra en la siguiente tabla.

Longitud del dipolo	Valor medido
<b>L1= Lmáx</b>	100 cm.
<b>L2</b>	61,27 cm.
<b>L3</b>	36 cm.
<b>L4</b>	25.1 cm.
<b>L5</b>	12.7 cm.
<b>L6 = L7 = L8 = L9= Lmín</b>	6.7 cm.

**Tabla 3.1** Longitud experimental de los dipolos en la antena logarítmica

En base a las fórmulas de las antenas logarítmicas, las distancias entre dipolos son las siguientes:

Distancia entre dipolos	Valor medido
<b>D1,2</b>	35 cm.
<b>D2,3</b>	30 cm.
<b>D3,4</b>	30 cm.
<b>D4,5</b>	16.5 cm.
<b>D5,6</b>	10 cm.
<b>D6,7= D7,8= D8,9</b>	10 cm.

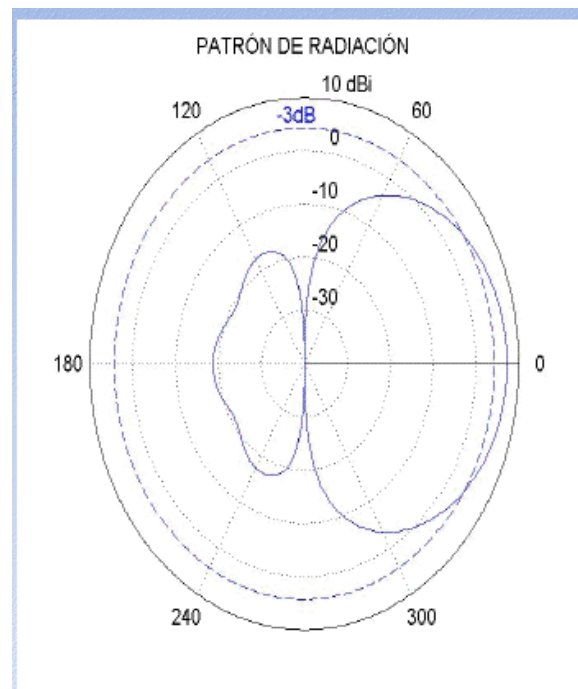
**Tabla 3.2** Distancia entre dipolos de la antena logarítmica

Tenemos además la frecuencia de corte en baja y alta para la antena logarítmica, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Frecuencias	Resultados
<b>Frecuencia de corte en alta</b> $F_{cH} = \frac{c}{2L_{mín}}$	2.24 GHz.
<b>Frecuencia de corte en baja</b> $F_{cL} = \frac{c}{2L_{máx}}$	150 MHz.

**Tabla 3.3** Frecuencias de corte alta y baja para antena logarítmica

Para el capítulo de resultados finales y pruebas esperamos tener un diagrama de radiación de la siguiente forma, el cual explicamos en anteriores capítulos y corresponde al diagrama de radiación para una antena logarítmica ideal.



**Figura 3.5** Patrón de radiación de antena logarítmica



### **3.1.3 Analizador de espectros Agilent E4404B**

Como habíamos indicado, un analizador de espectros es un equipo de medición electrónica que permite visualizar en pantalla las componentes espectrales de las señales presentes en la entrada. Estas señales pueden ser eléctricas, acústicas u ópticas.

En el eje de ordenadas se representa en una escala logarítmica el nivel de dBm del contenido espectral de la señal. En el eje de las abscisas se representa la frecuencia, número de frecuencias capturadas, y otras opciones dependiendo del tipo de analizador [15].

Para la realización de esta tesina vamos a utilizar el analizador de espectros marca Agilent modelo E4404B de 9 KHz – 6.7 Ghz, el cual tiene compatibilidad con la tarjeta de adquisición de datos y con el software LabVIEW de National Instruments, mediante comunicación GPIB.

## **3.2 Implementación del software**

Para realizar el diseño y la implementación con LabVIEW primero necesitamos preparar el computador en el cual deseamos trabajar. En

este caso hemos utilizado una computadora portátil con las siguientes especificaciones: HP Pavilion dv4 Notebook PC, procesador AMD Athlon™ II Dual-Core de 2 GHz. con memoria RAM de 3 GB y sistema operativo Windows 7 de 32 bits. El manual de instalación de todos los programas requeridos se detallan en el Anexo D de la presente tesina.

### 3.3 Programación en LabVIEW

Como expusimos anteriormente, el equipo en el cual vamos a empezar la programación debe tener instalado lo siguiente:

- Agilent Connection Expert
- NI-VISA, NI-MAX
- LabVIEW 2010

Empezaremos mostrando la interfaz del usuario de nuestra programación en LabVIEW, en el cual tenemos lo siguiente:

**Iniciar prueba y detener:** Para empezar a correr el programa e ingresar los parámetros para preparar el analizador de espectros, liberar puertos del PC y encerrar el diagrama polar. Detener como su nombre lo indica detiene aplicación en cualquier punto de ejecución.

**Parámetros de configuración:** En esta parte tenemos la posibilidad de escoger el nombre de la comunicación VISA, lo que establecerá la

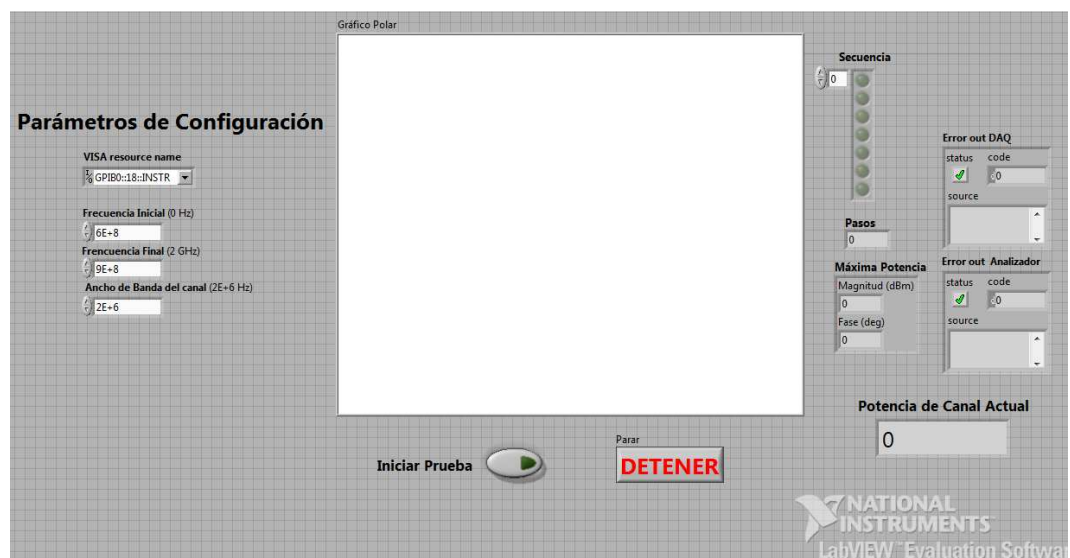
conexión con el analizador de espectros. En nuestro caso esta comunicación es mediante GPIB. Tenemos además la selección de la frecuencia inicial y la frecuencia final, las que se cargaran en el analizador de espectros para obtener una mejor visualización de los parámetros, estas dos frecuencias tienen como limite lo siguiente: frecuencia inicial mínima 0 Hz y frecuencia final máxima 2 GHz. Tenemos también la selección del ancho de banda del canal, que es el parámetro mediante el cual se va seleccionar la mejor potencia recibida y permitirá la rotación de la antena.

**Secuencia, pasos y máxima potencia:** Esta parte del entorno grafico del sistema de rotación nos muestra los parámetros automatizados de nuestro proyecto, en la parte de secuencia podemos visualizar mediante indicadores LED la fase del motor que está siendo activada mediante la tarjeta de adquisición hacia el circuito de potencia. El parámetro pasos nos muestra la rotación en grados del eje de nuestra antena con la conversión 1 paso es equivalente a 9°. En la máxima potencia tenemos que nuestro programa ha realizado automáticamente la selección de la máxima potencia recibida y debe posicionarse en las coordenadas de fase y magnitud mostrada en los clústeres.

**Potencia del canal actual:** Este parámetro refiere a la potencia que se obtiene con cada paso de rotación de la antena, este parámetro depende principalmente del ancho de banda del canal.

**Errores Out DAQ y Analizador:** Esta parte de la programación nos muestra un mensaje de error cuando existe algún problema de comunicación entre la portátil y la tarjeta de adquisición en el caso de Error out DAQ y en Error out Analizador nos muestra como su nombre indica, un posible error en el analizador y la comunicación GPIB, alguna inhibición del equipo o fallas generales en la comunicación.

En el siguiente gráfico mostramos el entorno grafico final del sistema de posicionamiento de la antena logarítmica.

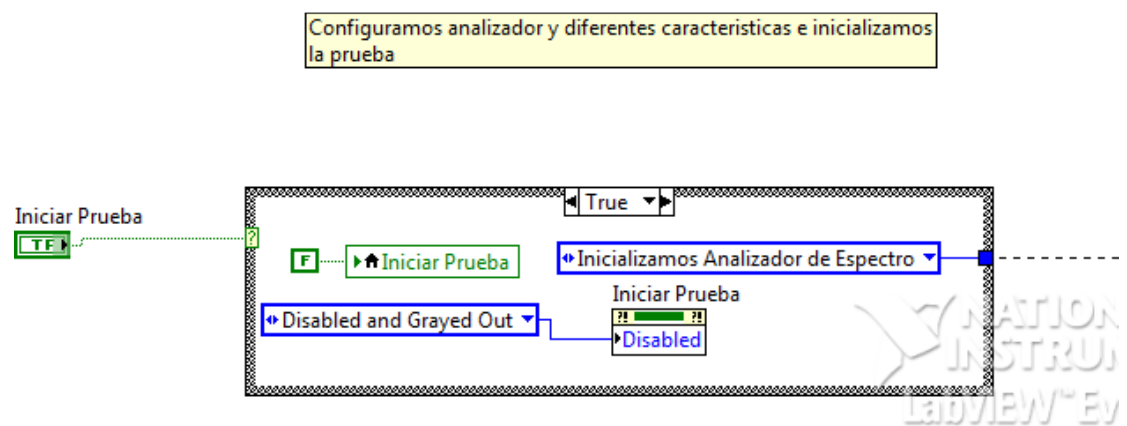


**Figura 3.6** Entorno gráfico del sistema de rotación de la antena

### 3.4 Diagrama de bloques LabVIEW

A continuación describimos los bloques utilizados en la programación del sistema de adquisición de datos y rotación de la antena logarítmica.

#### Bloque Inicializamos

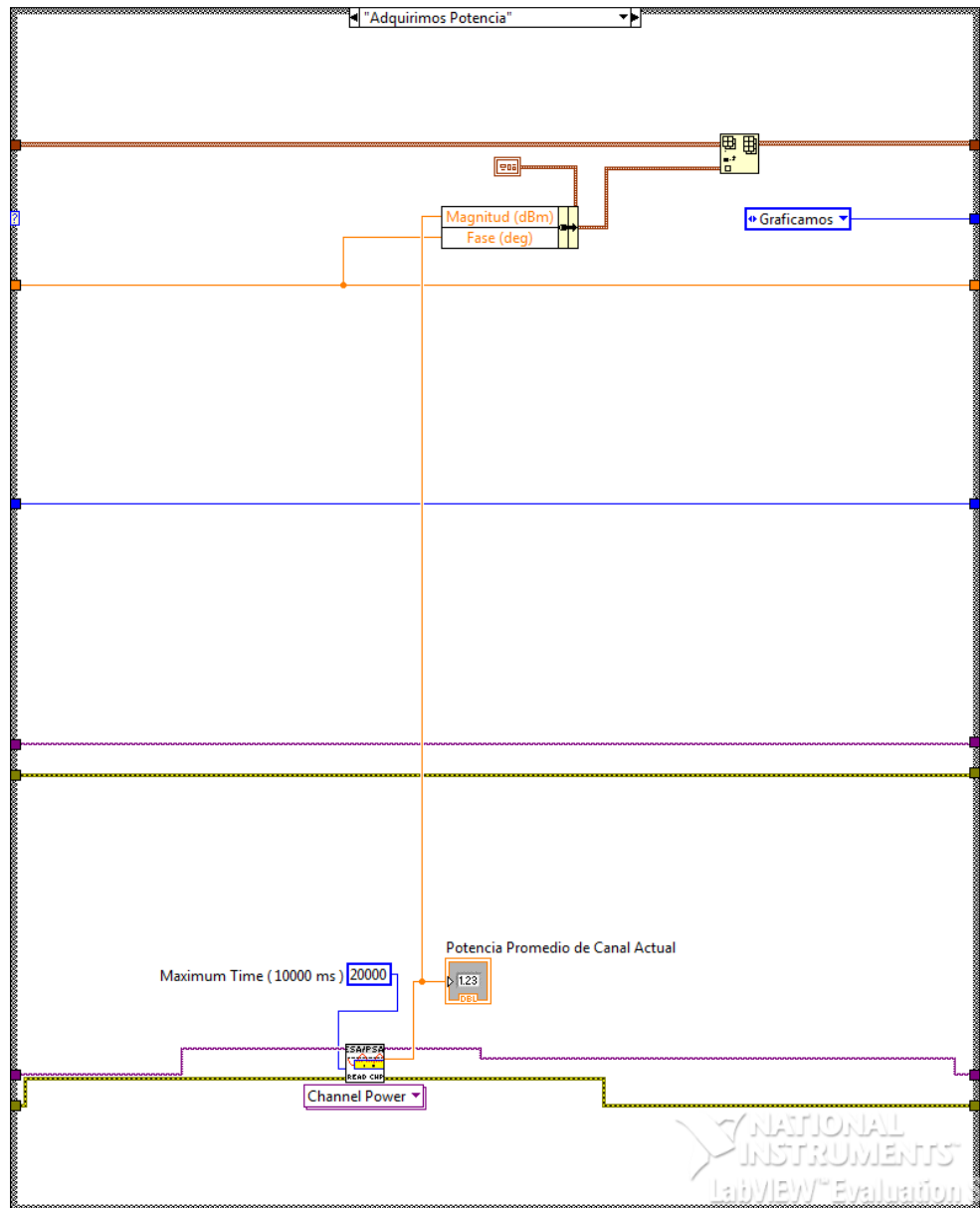


**Figura 3.7** Bloque Inicializamos de la programación

Con este bloque inicializamos el analizador de espectros Agilent E4404B. La inicialización se hace cada vez que se corre el programa.



## Bloque Adquirimos Potencia



**Figura 3.9** Bloque Adquirimos Potencia

Con este segmento del programa medimos la potencia recibida por el analizador, la medición se realiza con cada paso que da el motor.

## Bloque Giro Completo

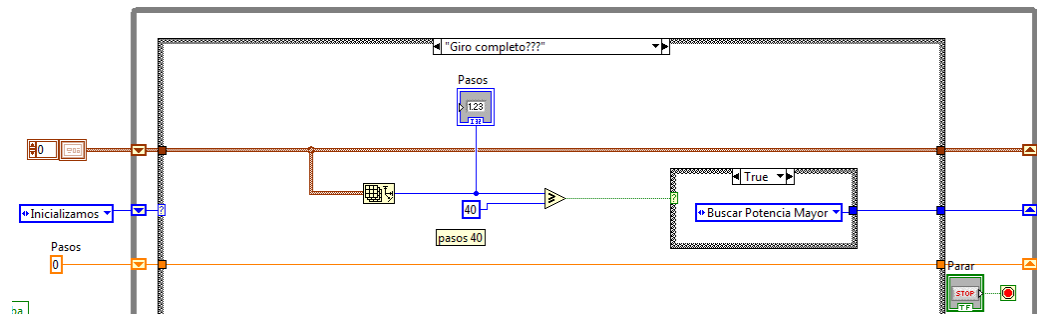


Figura 3.10 Bloque Giro Completo

Giro completo nos permite comparar el número de pasos que el motor ha dado hasta el momento, con el número total de pasos que el motor da por vuelta. El resultado de esta comparación es un valor de verdad, es decir, es verdadero o falso.

## Bloque Incrementamos Ángulo

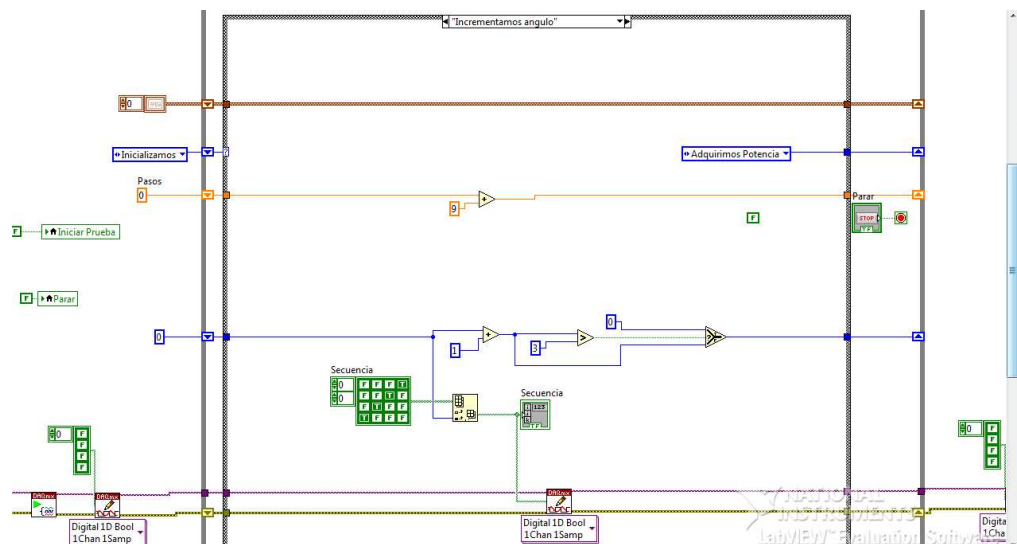
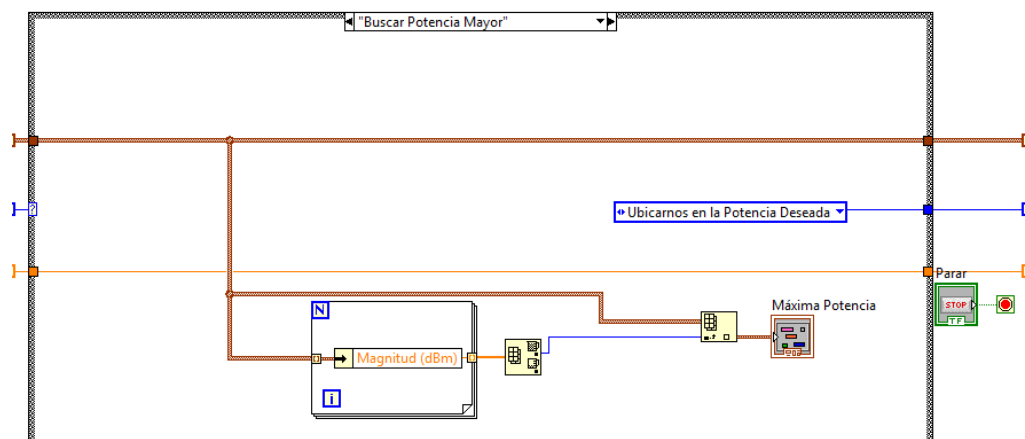


Figura 3.11 Bloque Incrementamos Ángulo



Incrementamos ángulo utiliza el valor de verdad entregado por Giro completo. Si el valor fue verdadero, la función incrementamos ángulo modifica el estado de las salidas digitales de la DAQ para que el motor de un paso más, si el valor fue falso las salidas digitales de la DAQ se ponen en bajo.

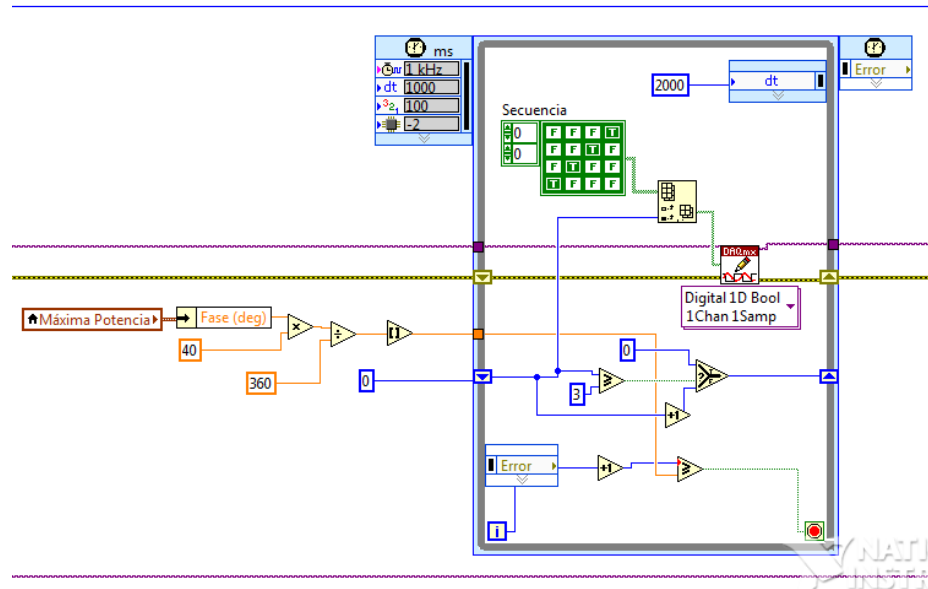
### Bloque Buscar Potencia Mayor



**Figura 3.12** Bloque Buscar Potencia Mayor

Buscar potencia mayor compara la magnitud de la potencia promedio del canal en cada paso del motor. Luego de la comparación entrega el valor de potencia mayor y el ángulo correspondiente a dicha potencia.

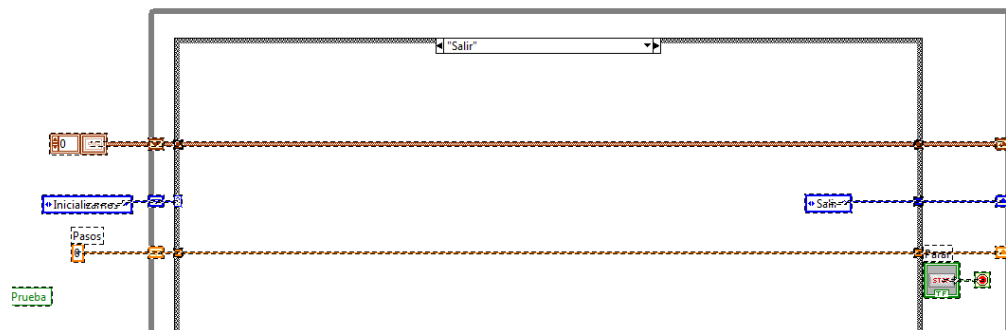
### Bloque Ubicarnos en la potencia deseada



**Figura 3.13** Bloque ubicarnos en la potencia deseada

Esta parte del programa se encarga de colocar la antena en el ángulo correspondiente a la mayor potencia. Para esto debe modificar el estado de las salidas digitales de la DAQ hasta alcanzar la posición calculada.

### Bloque Salir

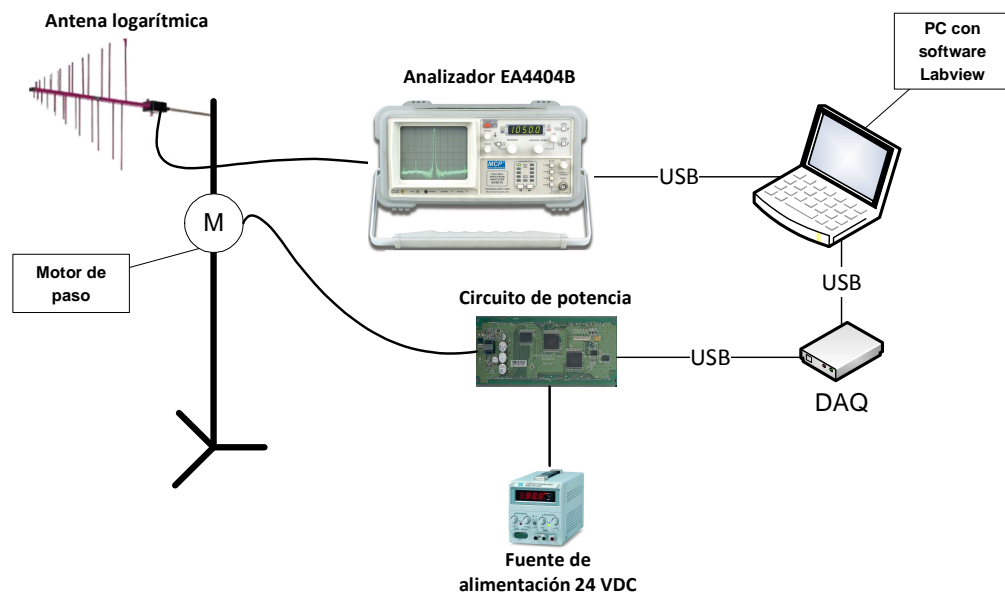


**Figura 3.14** Bloque Salir

Esta función termina el proceso, deja en bajo las salidas digitales de la DAQ y encera las funciones del analizador de espectros.

### 3.3 Estructura final del sistema

Como estructura final del proyecto esperamos tener un completo sistema como se muestra en el siguiente diagrama y un software educativo el cual nos permita de manera automática posicionar una antena según los parámetros de frecuencias establecidos en LabVIEW.



**Figura 3.15** Estructura final del sistema

# **CAPÍTULO 4**

## **PRUEBAS Y RESULTADOS**

### **FINALES**

En este capítulo se proponen diferentes mediciones y variaciones de transmisores y frecuencias y así poder comprobar el correcto funcionamiento del sistema de adquisición de datos para poder rotar nuestra antena con el software previamente descrito. Se han realizado 3 experimentos los cuales han presentado diferentes comportamientos y se van a describir en los siguientes subcapítulos.

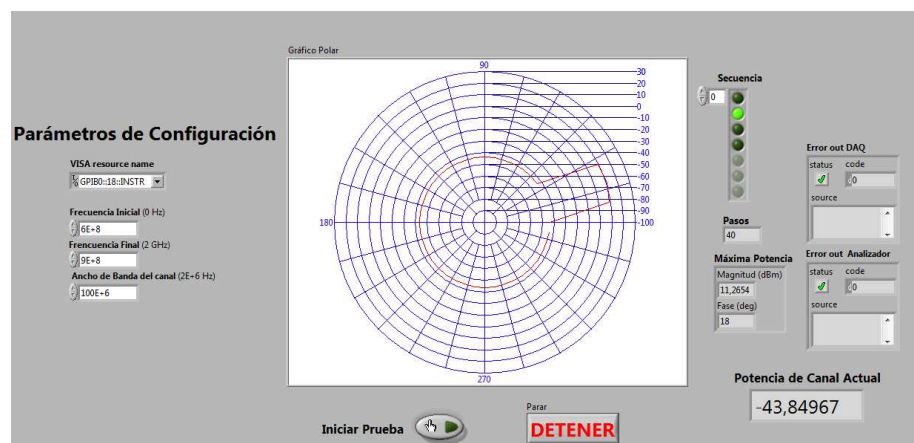
## 4.1 Pruebas realizadas

En los siguientes párrafos se describirán las pruebas realizadas para validar el funcionamiento del sistema de adquisición de datos, realizando cambios en el transmisor, frecuencias, entre otros.

### Primera prueba

Se utiliza el generador de funciones con  $f = 700$  MHz y una amplitud de 6 dBm. Mediante el cable coaxial se conecta la salida del generador con la entrada del analizador.

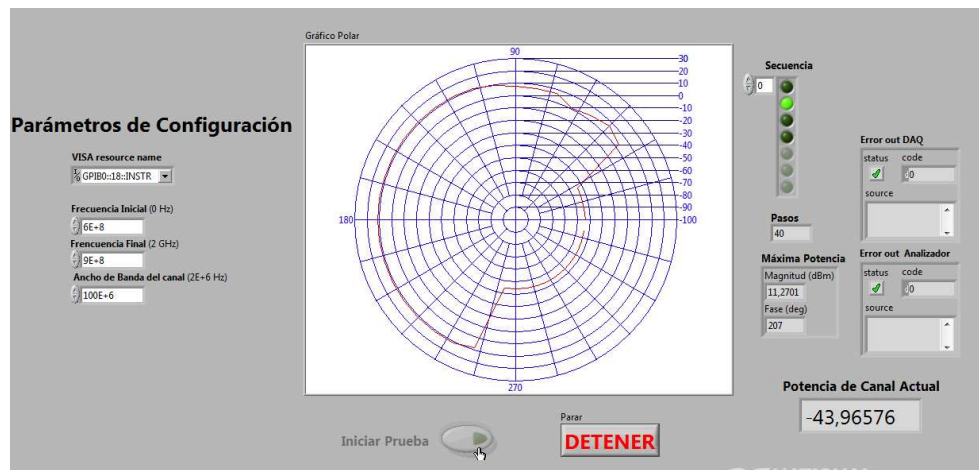
Se corre el programa con la salida del generador deshabilitada. Cuando el motor se encuentre en  $9^\circ$  habilitamos la salida y la deshabilitamos luego de tres pasos seguidos. Al terminar la antenna se debe ubicar en  $9^\circ$  o  $18^\circ$  o  $27^\circ$ .



**Figura 4.1** Gráfico de radiación generado al terminar el proceso en primera prueba

## Segunda prueba

Utilizaremos el generador de funciones con los datos de la primera prueba. Corremos el programa con la salida del generador deshabilitada. Cuando el motor se encuentre en  $36^\circ$  habilitamos la salida y la deshabilitamos cuando la posición del motor esté en  $252^\circ$ . Mientras el motor avanza, la amplitud de la señal del analizador es modificada periódicamente para obtener mediciones distintas. Al terminar la antenna se debe ubicar en el sitio que recibió mayor potencia promedio.



**Figura 4.2** Gráfico de radiación generado al terminar el proceso en segunda prueba

## Tercera prueba

En esta prueba conectamos una antena omnidireccional a la salida del generador de funciones y nuestra antena logarítmica en la entrada del

anализador de espectros. Esta prueba la realizamos en 2 ocasiones. La potencia de la señal generada es de 20 dBm. En ambos casos se observa el patrón de radiación de una antena logarítmica.

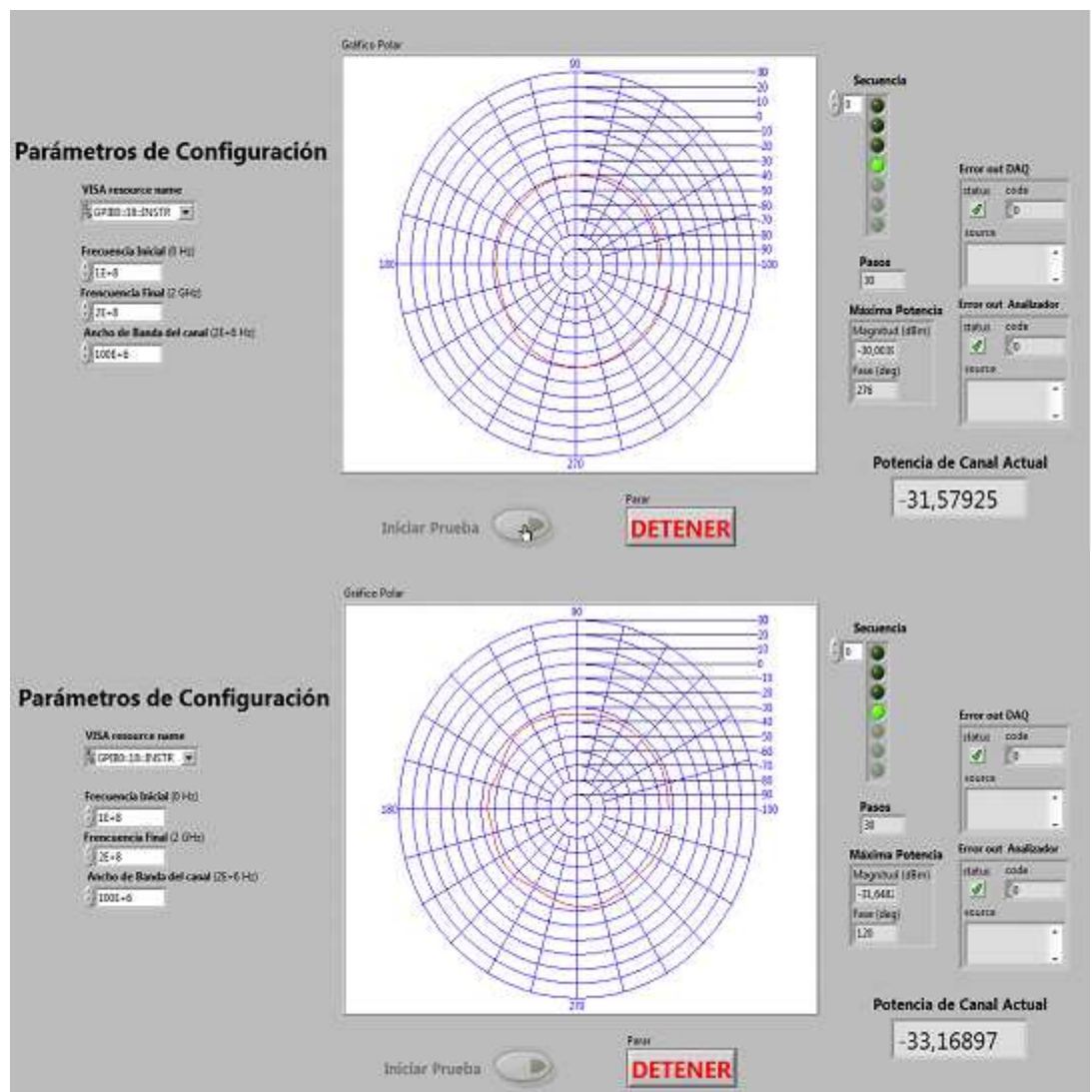


Figura 4.3 Gráfico de radiación obtenido con una antena logarítmica

## 4.2 Cuadro comparativo de los resultados obtenidos

A continuación mostramos un resumen de los 3 experimentos realizados y los principales parámetros medidos, como frecuencia final, inicial, ancho de banda del canal, la máxima potencia radiada, la posición del motor en la máxima potencia y la posición real de la antena luego del proceso de rotación.

finicial	ffinal	Ancho de banda	Máxima potencia promedio medida	Posición de máxima potencia promedio medida	Posición real de la antena luego del proceso
<b>600 MHz</b>	900 MHz	2 MHz	11.2654 dBm	18°	27°
<b>600 MHz</b>	900 MHz	2 MHz	11.2701 dBm	207°	225°
<b>100 MHz</b>	200 MHz	1 MHz	-31,6482 dBm	276°	294°
<b>100 MHz</b>	200 MHz	1 MHz	-30.0036 dBm	120°	132°

**Tabla 4.1** Cuadro comparativo de los experimentos realizados

Esta diferencia entre la posición real de la antena, con el ángulo correspondiente se debe a que el motor no tiene pasos exactos y además a la inercia de la antena, es decir, cuando el motor da un paso la antena avanza, pero por la inercia avanza mas grados de los debidos.



# **CONCLUSIONES**

1. Se realizó con éxito la programación del sistema de adquisición de datos para la medición de parámetros radioeléctricos en una antena logarítmica, obteniendo el correcto posicionamiento de la antena en la ubicación de la mayor potencia recibida por el analizador.
2. El sistema de adquisición fue creado para propósitos estudiantiles ya que depende de un costoso analizador de espectros marca Agilent y fue creado para poder implementar una aplicación práctica con el software LabVIEW aplicado a las telecomunicaciones.
3. Se puede realizar un sistema de medición de bajo costo, siempre y cuando poseamos un analizador de espectros y se puedan facilitar los drivers correspondientes entre LabVIEW y el analizador, mediante comunicación serial, GPIB, RS232.
4. El peso y tamaño de la antena influye en el posicionamiento final de la misma, ya que al moverse un paso, avanza más de lo debido. Este problema se puede evitar con un motor de pasos con mayor torque y que se mantenga fijo en ambos sentidos de rotación, es decir un motor de mejor calidad.
5. El diagrama de radiación obtenido con nuestro proyecto es similar al de una antena logarítmica, las diferencias se deben a que los pasos del motor son relativamente grandes, por lo que se pierden datos.

# **RECOMENDACIONES**

1. Al momento de ejecutar el programa es preferible tener un punto de referencia previo para determinar con respecto a qué punto el sistema adquirió su máxima potencia para el posicionamiento.
2. Mediante la compra de un motor de paso de mayor exactitud se pueden obtener mejores resultados en el sistema de medición.
3. Se recomienda además tener una antena logarítmica más ligera debido a que la inercia de misma nos puede llevar a datos y resultados con un margen de error.
4. El ancho de banda del canal ingresado no debe ser mayor a 2 MHz, ya que el analizador tendría muchos más cálculos que realizar en un mismo tiempo lo que ocasiona que se inhiba.

## **ANEXO A**

# **GUÍA DE ESPECIFICACIONES NI USB-6009**

# USER GUIDE AND SPECIFICATIONS

## NI USB-6008/6009

Français    Deutsch    日本語    繁體中文    简体中文  
[ni.com/manuals](http://ni.com/manuals)

This user guide describes how to use the National Instruments USB-6008/6009 data acquisition (DAQ) devices and lists specifications.

### Introduction

The NI USB-6008/6009 provides connection to eight analog input (AI) channels, two analog output (AO) channels, 12 digital input/output (DIO) channels, and a 32-bit counter with a Full-Speed USB interface.



**Note** This manual revision updates naming conventions to reflect the conventions used in NI-DAQmx. Table 1 notes the correlation between the old and updated names.

Table 1. Digital Output Drive Type Naming Conventions

Hardware Functionality	NI-DAQmx Terminology
Open-drain	Open collector
Push-pull	Active drive

## Dimensions

Figure 3 illustrates the dimensions of the NI USB-6008/6009 device.

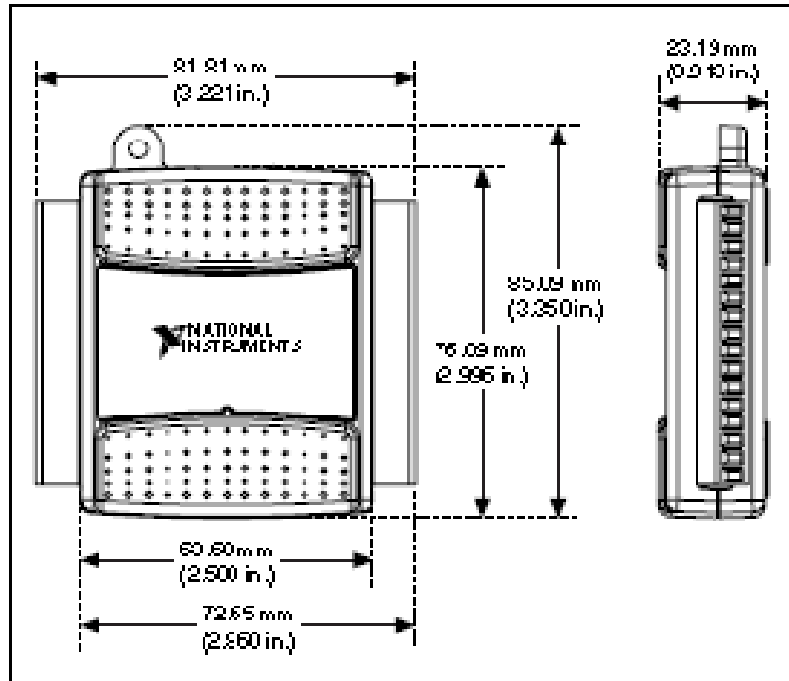


Figure 3. NI USB-6008/6009 in Millimeters (Inches)

## Safety Guidelines



**Caution** Operate the NI USB-6008/6009 only as described in these operating instructions.

The following section contains important safety information that you must follow when installing and using the NI USB-6008/6009.



**Caution** Do not operate the NI USB-6008/6009 in a manner not specified in this document. Misuse of the device can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the device if the device is damaged in any way. If the device is damaged, contact National Instruments for repair.



**Caution** Do not substitute parts or modify the device except as described in this document. Use the device only with the chassis, modules, accessories, and cables specified in the installation instructions. You must have all covers and filler panels installed during operation of the device.

## Installing the NI USB-6008/6009 Device

Before installing the device, you must install the software you plan to use with the device. Refer to the [Installing the Software](#) section of this guide and the documentation included with the software for more information.

Figure 4 shows key functional components of the NI USB-6008/6009.

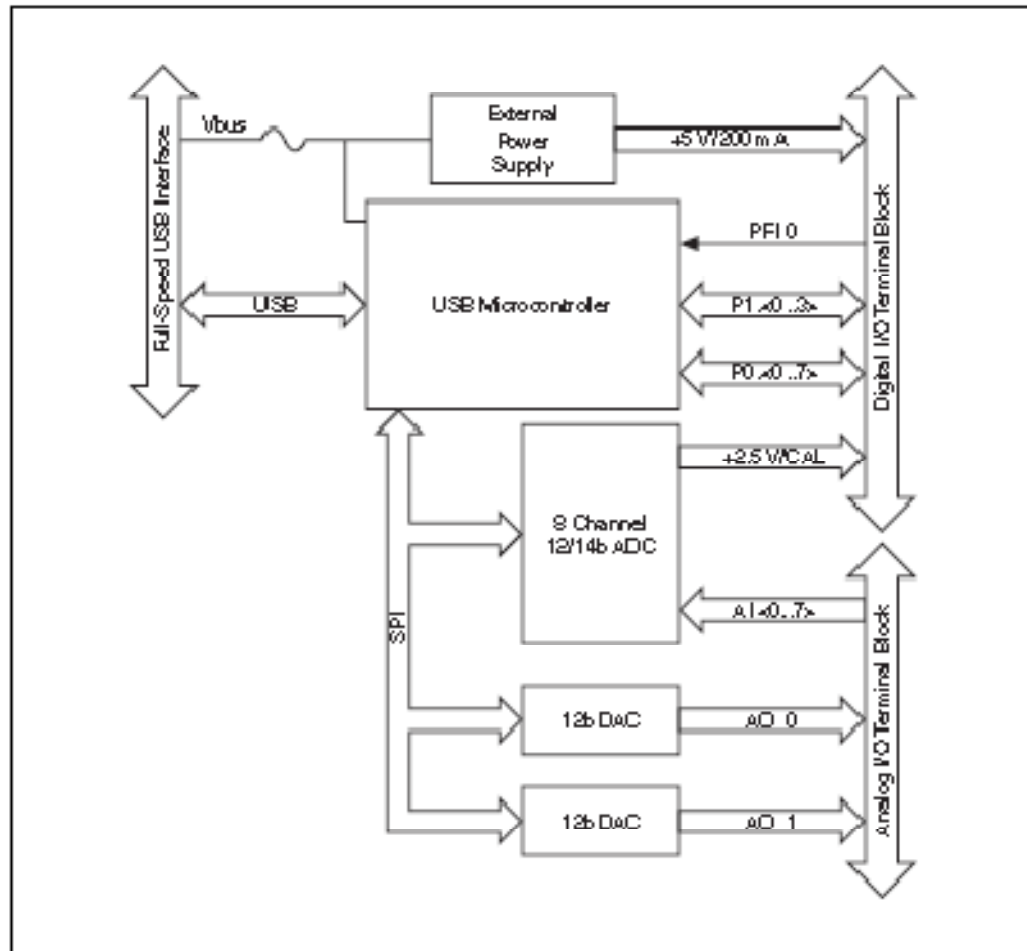


Figure 4. Device Block Diagram

### Setting Up the NI USB-6008/6009 Device

Complete the following steps to set up the NI USB-6008/6009:

1. Install combination screw terminal blocks by inserting them into the combination jacks.



- Figure 5 illustrates the signal labels that ship in the NI USB-6009/6009 kit. You can apply the signal labels to the screw terminal blocks for easy signal identification.

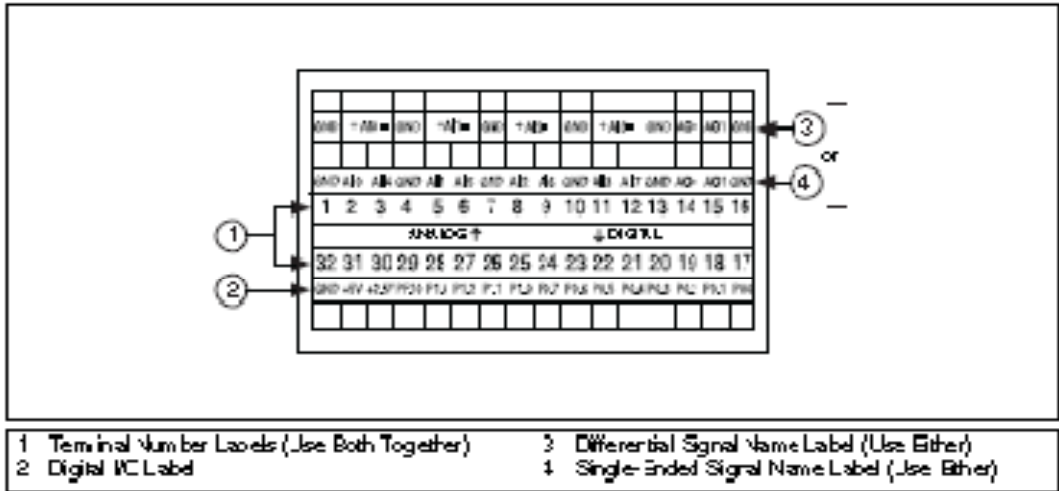


Figure 5. NI USB-6009/6009 Signal Labels

- Refer to Table 4 and Figures 5 and 6 for signal label orientation and affix the provided signal labels to the screw terminal blocks. Until the signal labels are applied, you can insert the screw terminal blocks into either of the combicon jacks.

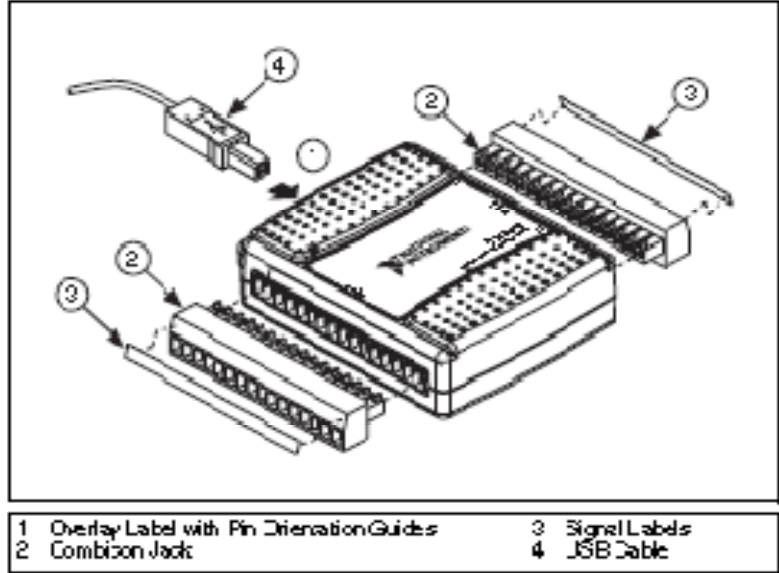


Figure 6. Signal Label Application Diagram

Table 4 lists the analog terminal assignments, and Table 5 lists the digital terminal assignments.

Table 4. Analog Terminal Assignments

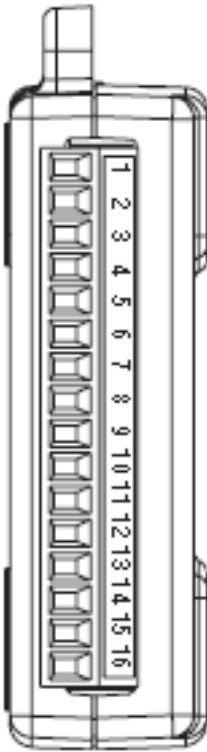
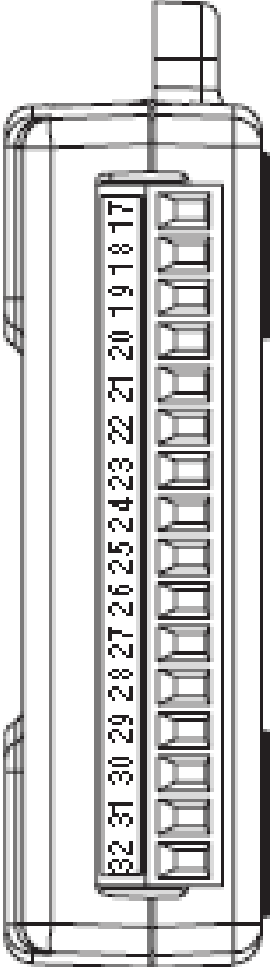
Module	Terminal	Signal, Single-Ended Mode	Signal, Differential Mode
	1	GND	GND
	2	AI 0	AI 0+
	3	AI 4	AI 0-
	4	GND	GND
	5	AI 1	AI 1+
	6	AI 5	AI 1-
	7	GND	GND
	8	AI 2	AI 2+
	9	AI 6	AI 2-
	10	GND	GND
	11	AI 3	AI 3+
	12	AI 7	AI 3-
	13	GND	GND
	14	AO 0	AO 0
	15	AO 1	AO 1
	16	GND	GND

Table 5. Digital Terminal Assignments

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

## Reference and Power Sources

---

The NI USB-6008/6009 creates an external reference and supplies a power source. All voltages are relative to COM unless otherwise noted.

### +2.5 V External References

The NI USB-6008/6009 creates a high-purity reference voltage supply for the ADC using a multi-stage regulator, amplifier, and filter circuit. You can use the resulting +2.5 V reference voltage as a signal for self test.

### +5 V Power Source

The NI USB-6008/6009 supplies a 5 V, 200 mA output. You can use this source to power external components.



Note While the device is in USB suspend, the output is disabled.

## Specifications

---

The following specifications are typical at 25 °C, unless otherwise noted.

### Analog Input

Converter type .....	Successive approximation
Analog inputs .....	8 single-ended, 4 differential, software selectable
Input resolution	
NI USB-6008 .....	12 bit differential, 11 bit single-ended
NI USB-6009 .....	14 bit differential, 13 bit single-ended
Max sampling rate (aggregate) <sup>1</sup>	
NI USB-6008 .....	10 kS/s
NI USB-6009 .....	48 kS/s
AI FIFO .....	512 bytes
Timing resolution .....	41.67 ns (24 MHz timebase)

---

<sup>1</sup> System dependent.

Timing accuracy ..... 100 ppm of actual sample rate

Input range

Single-ended .....  $\pm 10$  V

Differential .....  $\pm 20$  V<sup>1</sup>,  $\pm 10$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 4$  V,  
 $\pm 2.5$  V,  $\pm 2$  V,  $\pm 1.25$  V,  $\pm 1$  V

Working voltage .....  $\pm 10$  V

Input impedance ..... 144 k $\Omega$

Overvoltage protection .....  $\pm 35$

Trigger source ..... Software or external digital trigger

System noise<sup>2</sup>

Single-ended

$\pm 10$  V range ..... 5 mVrms

Differential

$\pm 20$  V range ..... 5 mVrms

$\pm 1$  V range ..... 0.5 mVrms

Absolute accuracy at full scale, single-ended

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
$\pm 10$	14.7	138

Absolute accuracy at full scale, differential<sup>3</sup>

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
$\pm 20$	14.7	138
$\pm 10$	7.33	84.8
$\pm 5$	4.28	38.4
$\pm 4$	3.59	33.1
$\pm 2.5$	2.56	45.1

<sup>1</sup>  $\pm 20$  V means that  $|A_{I+} - (A_{I-})| \leq 20$  V. However,  $A_{I+}$  and  $A_{I-}$  must both be within  $\pm 10$  V of GND. Refer to the [Connecting Differential Voltage Signals](#) for more information.

<sup>2</sup> System noise measured at maximum sample rate.

<sup>3</sup> Input voltages may not exceed the working voltage range.

Range	Typical at 25 °C (mV)	Maximum over Temperature (mV)
±2	2.21	42.5
±1.25	1.70	38.9
±1	1.53	37.5

## Analog Output

Analog outputs	2
Output resolution	12 bit
Maximum update rate	150 Hz, software-timed
Output range	0 to +5 V
Output impedance	50 Ω
Output current drive	5 mA
Power-on state	0 V
Slew rate	1 V/μs
Short circuit current	50 mA
Absolute accuracy (no load)	7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale

## Digital I/O

Digital I/O	
PO.<0..7>	8 lines
PI.<0..3>	4 lines
Direction control	Each channel individually programmable as input or output
Output driver type	
NI USB-6008	Open collector (open-drain)
NI USB-6009	Each channel individually programmable as active drive (push-pull) or open collector (open-drain)

Compatibility ..... TTL, LVTTL, CMOS  
 Absolute maximum voltage range ..... -0.5 to 5.8 V with respect to GND  
 Pull-up resistor ..... 4.7 k $\Omega$  to 5 V  
 Power-on state ..... Input  
 Digital logic levels

Level	Min	Max	Units
Input low voltage	-0.3	0.8	V
Input high voltage	2.0	5.8	V
Input leakage current	—	50	$\mu$ A
Output low voltage (I = 8.5 mA)	—	0.8	V
Output high voltage			
Active drive (push-pull), I = -8.5 mA	2.0	3.5	V
Open collector (open-drain), I = -0.6 mA, nominal	2.0	5.0	V
Open collector (open-drain), I = -8.5 mA, with external pull-up resistor	2.0	—	V

## External Voltage

+5 V output (200 mA maximum) ..... +5 V typical, +4.85 V minimum  
 +2.5 V output (1 mA maximum) ..... +2.5 V typical  
 +2.5 V accuracy ..... 0.25% max  
 Reference temperature drift ..... 50 ppm/ $^{\circ}$ C max

## Counter

Number of counters ..... 1  
 Resolution ..... 32 bits  
 Counter measurement ..... Edge counting (falling-edge)  
 Counter direction ..... Count up  
 Pull-up resistor ..... 4.7 k $\Omega$  to 5 V  
 Maximum input frequency ..... 5 MHz  
 Minimum high pulse width ..... 100 ns

Minimum low pulse width.....	100 ns
Input high voltage.....	2.0 V
Input low voltage.....	0.8 V

## Dus Interface

USB specification.....	USB 2.0 Full-Speed
USB bus speed.....	12 Mb/s

## Power Requirements

### USB

4.10 to 5.25 VDC.....	80 mA typical, 500 mA max
USB suspend.....	300 $\mu$ A typical, 500 $\mu$ A max

## Physical Characteristics

### Dimensions

Without connectors.....	6.35 cm $\times$ 8.51 cm $\times$ 2.31 cm (2.50 in. $\times$ 3.35 in. $\times$ 0.91 in.)
With connectors.....	8.18 cm $\times$ 8.51 cm $\times$ 2.31 cm (3.22 in. $\times$ 3.35 in. $\times$ 0.91 in.)
I/O connectors.....	USB series B receptacle, (2) 16 position terminal block plug headers

### Weight

With connectors.....	84 g (3 oz)
Without connectors.....	54 g (1.9 oz)
Screw-terminal wiring.....	16 to 28 AWG
Torque for screw terminals.....	0.22–0.25 N $\cdot$ m (2.0–2.2 lb $\cdot$ in.)



**ANEXO B**

**CONFIGURACIÓN DEL MAX PARA**

**AGILENT**

Si estamos instalando el convertidor Agilent 82357B USB/GPIB por primera vez y no poseemos LabVIEW o el Agilent IO Library instaladas, necesitaremos lo siguiente:

- Habilitar el proceso NIVISATulip.dll
- Habilitar el Agilent IO Libraries Suite para trabajar con NI 488.2

NI-VISA busca y accede a todos los dispositivos GPIB. Aunque el MAX de NI y el control interactivo del NI-VISA son capaces de detectar el hardware de Agilent, NI-VISA no configura el software del Agilent. Debemos utilizar la herramienta de configuración del Agilent I/O Libraries Suite para configurar el hardware.

Seguimos los siguientes pasos:

**Paso 1:** Instalar NI-VISA library (versiones de 3.6 a 4.4)

- a. Si tenemos NI-VISA instalado, luego podremos instalar Agilent VISA como un VISA secundario. Esto es solo válido con las versiones K y superiores del Agilent VISA.
- b. Si Agilent IO Libraries Suite están instaladas, podremos proseguir al paso 3.

**Paso 2:** Instalar Agilent IO Libraries Suite , el cual lo podemos descargar de la página oficial de la compañía Agilent

- a. Escoger instalación típica para que pueda detectar automáticamente NI-VISA como se muestra en la siguiente figura:

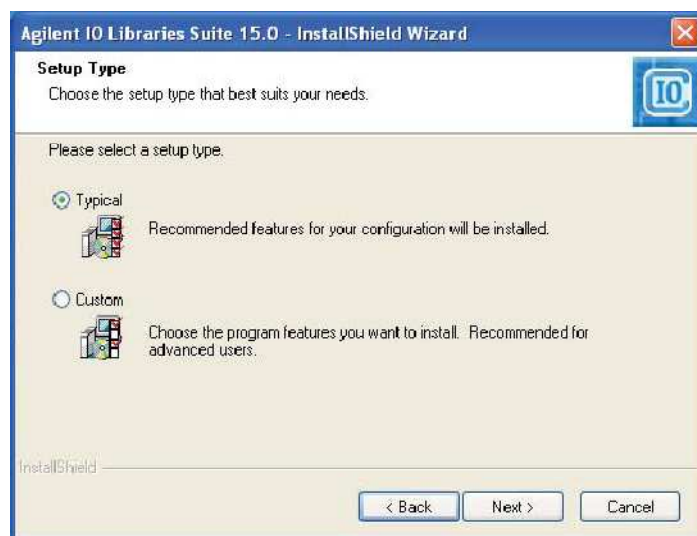


Figura B.1 Instalación Típica del Agilent IO Libraries Suite

Lo siguiente es habilitar la opción Side By Side en la instalación típica.



Figura B.2 Habilitar modo side-by-side en la instalación típica

b. Alternativamente, podemos escoger instalación Custom y luego seleccionar side-by-side. Debemos completar la instalación para las IO Libraries antes del paso 3.

**Paso 3:** Conectar el 82357 USB/GPIB convertidor al puerto USB de computador, automáticamente el instalador de Windows buscara y adecuare el driver correspondiente para nuestro hardware, apareciendo la siguiente ventana:



**Figura B.3** Instalando el Agilent 82357B USB/GPIB

**Paso 4:** Conectar el convertidor USB/GPIB al instrumento, aplicar voltaje al instrumento y asegurarse que si exista conectividad a través de la interfaz GPIB. Podemos usar el Agilent Connection Expert para verificar la conexión.

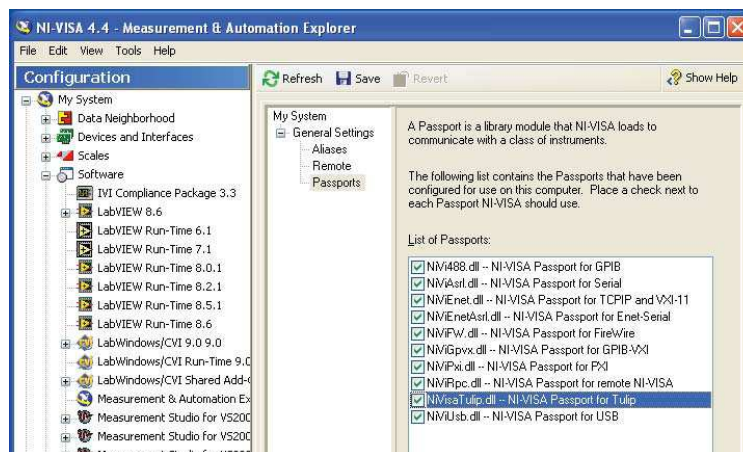


**Figura B.4** Conectar el instrumento al convertidor USB/GPIB

**Paso 5:** Habilitar el software NI-VISA Passport para TULIP de manera que NI-VISA sea capaz de reconocer y detectar el hardware del Agilent.

El NI-VISA Passport es un modulo de software incluido con NI-VISA para permitir el uso del hardware de Agilent y que no está habilitado por defecto. Para activar este módulo realizaremos los siguientes pasos:

- a. Usar el NI Measurement and Automation Explorer (NI-MAX). Para la versión 3.1 y versiones subsecuentes de NI-MAX, seleccionar Tools, luego NI-VISA y después VISA Options, dar click en Save para grabar las opciones.
- b. Seleccionar Passport for Tulip (NIVisaTulip.dll) como se muestra en la siguiente figura.



**Figura B.5** Habilitar NI-VISA Passport para Tulip

## **ANEXO C**

### **CIRCUITO DE POTENCIA**

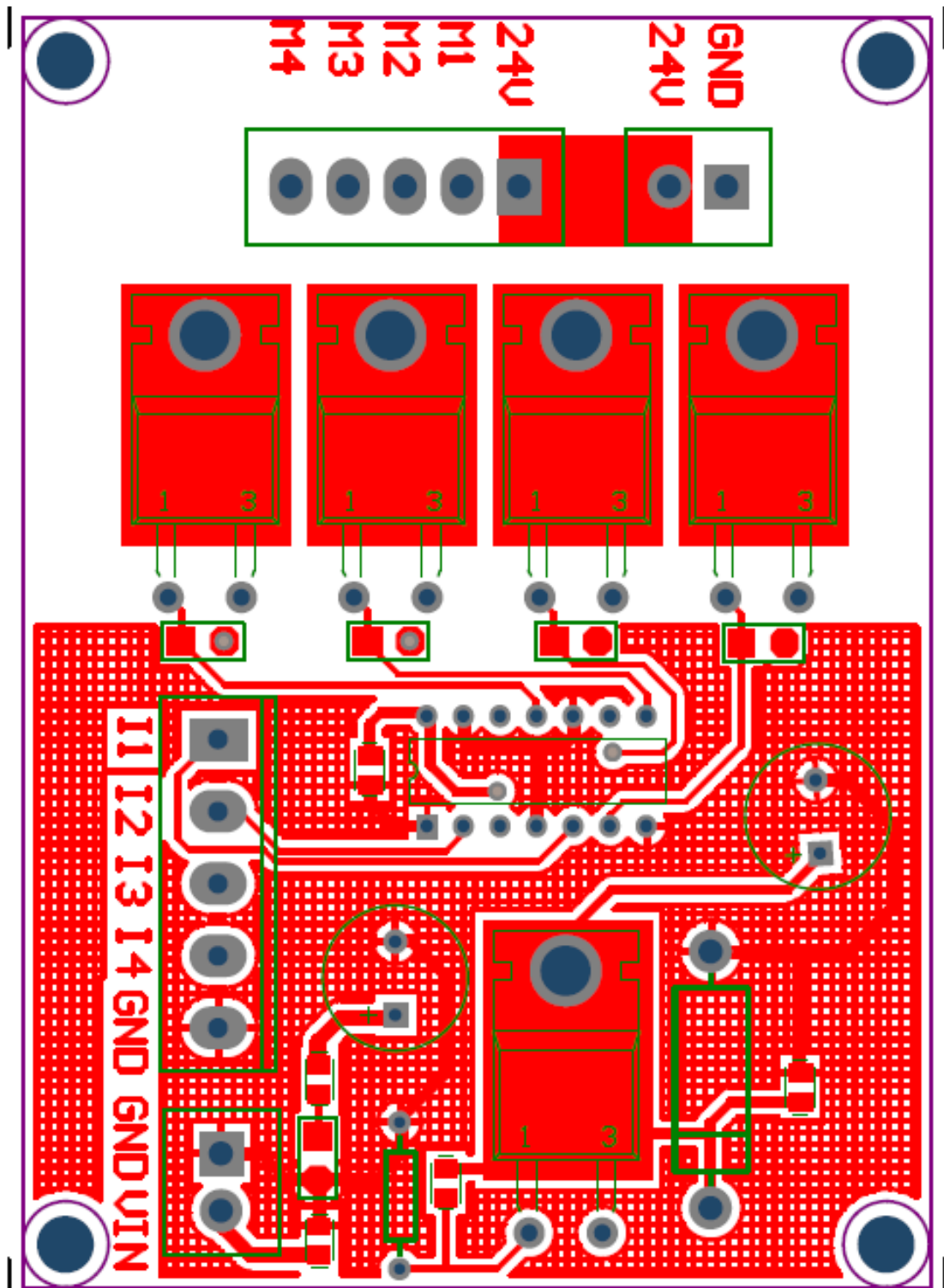


Figura C.1 Arte del circuito impreso

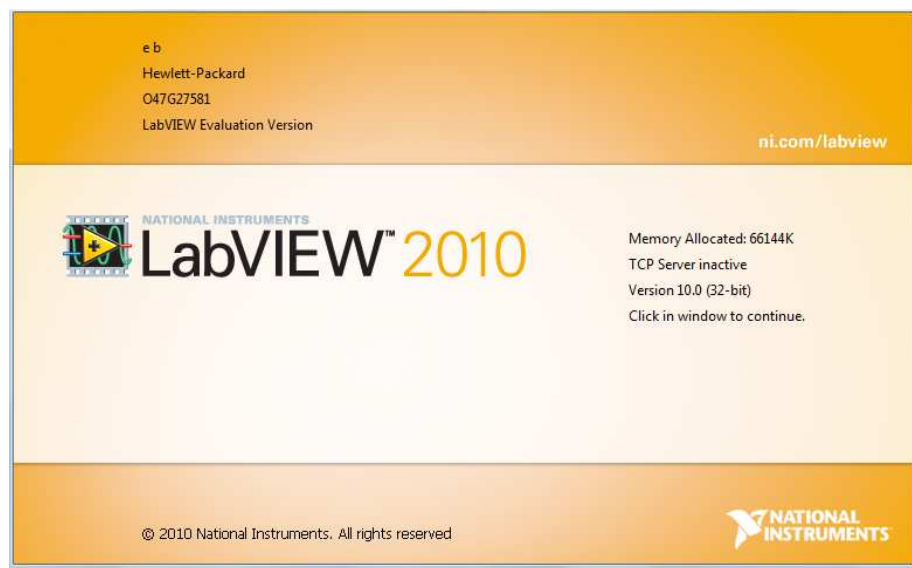




## **ANEXO D**

# **MANUAL DE INSTALACIÓN PROGRAMAS REQUERIDOS**

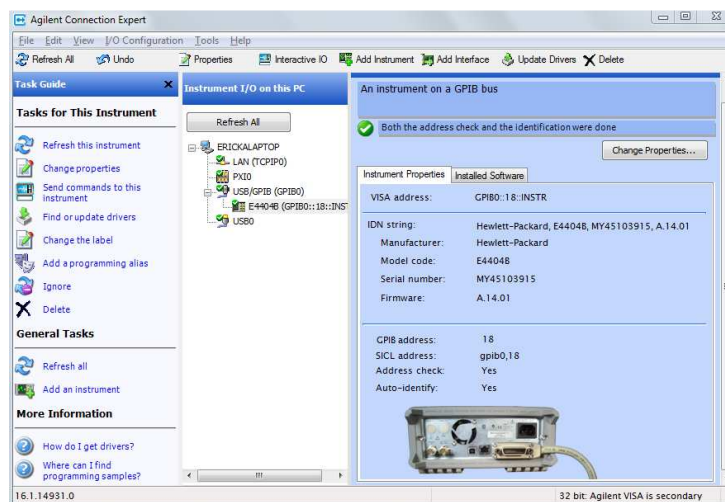
Primero debemos tener instalado en nuestro computador una versión de LabVIEW que sea compatible con el sistema operativo Windows 7, en nuestro caso hemos escogido la versión de prueba de 30 días proporcionada por National Instruments del LabVIEW 2010 v.10.0, en el cual la pantalla principal de acceso se muestra en la siguiente figura:



**Figura D.1** Pantalla principal del software LabVIEW 2010

Una vez instalado el software LabVIEW, National Instruments también provee del toolkit MAX, Measurement & Automation Explorer, una interfaz gráfica de usuario para la automatización y medición de un sistema, el cual viene instalado en el paquete LabVIEW Measurement Studio y nos servirá como interfaz entre la comunicación GPIB y el puerto USB del computador [16].

Antes de poder realizar la comunicación con el analizador E4404B debemos descargar el software Agilent IO Libraries Suite de la compañía Agilent, el cual posee la aplicación Agilent Connection Expert que nos va a permitir instalar los drivers de comunicación entre analizador E4404B y nuestra portátil. En la siguiente grafica podemos observar que el computador ya detecta el analizador y que han sido instalados los drivers correspondientes, de manera automática al conectar el analizador mediante el cable GPIB – USB al computador.

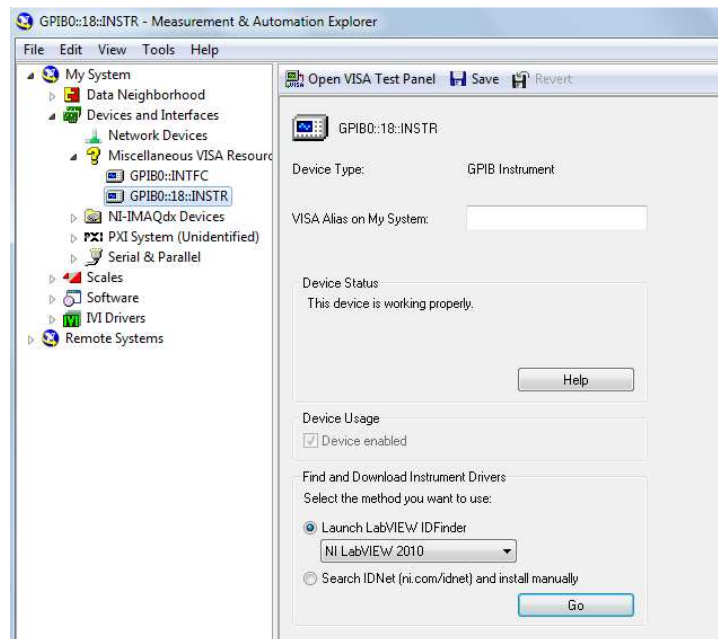


**Figura D.2** Agilent Connection Expert con analizador E4404B

Luego de tener instalado el software de Agilent en el computador procedemos a instalar el driver de instrumentación y el software I/O correspondiente.

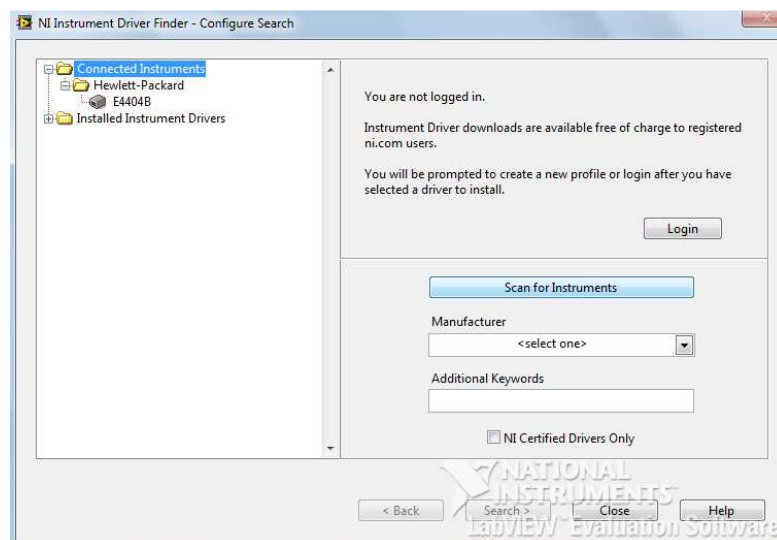
Para poder interconectar el analizador de espectros al entorno gráfico de LabVIEW y poder manejar los parámetros de las antenas, debemos recurrir al software de instrumentación virtual NI-VISA que por su siglas en inglés significa Virtual Instrument Software Architecture, el cual comprende de un sistema de configuración, instrumentación y programación con las interfaces GPIB, VXI, PXI, Serial, Ethernet y también USB [17]. Para una información mas detallada sobre la instalación y adecuación de parámetros con el analizador de espectros E4404B consultar los anexos de la tesina.

Una vez instalados todos los drivers y programas mencionados corremos el NI-MAX y en la opción Devices and Interfaces bajo la leyenda Miscellaneous VISA resources debemos encontrar habilitada la interfaz GPIB con el analizador de espectros para poder utilizarlo con el software LabVIEW. En la figura 3.6 se puede observar que se está reconociendo un instrumento GPIB y debemos descargar los drivers en la opción Find and Download Instrument Drivers con la versión de LabVIEW 2010.



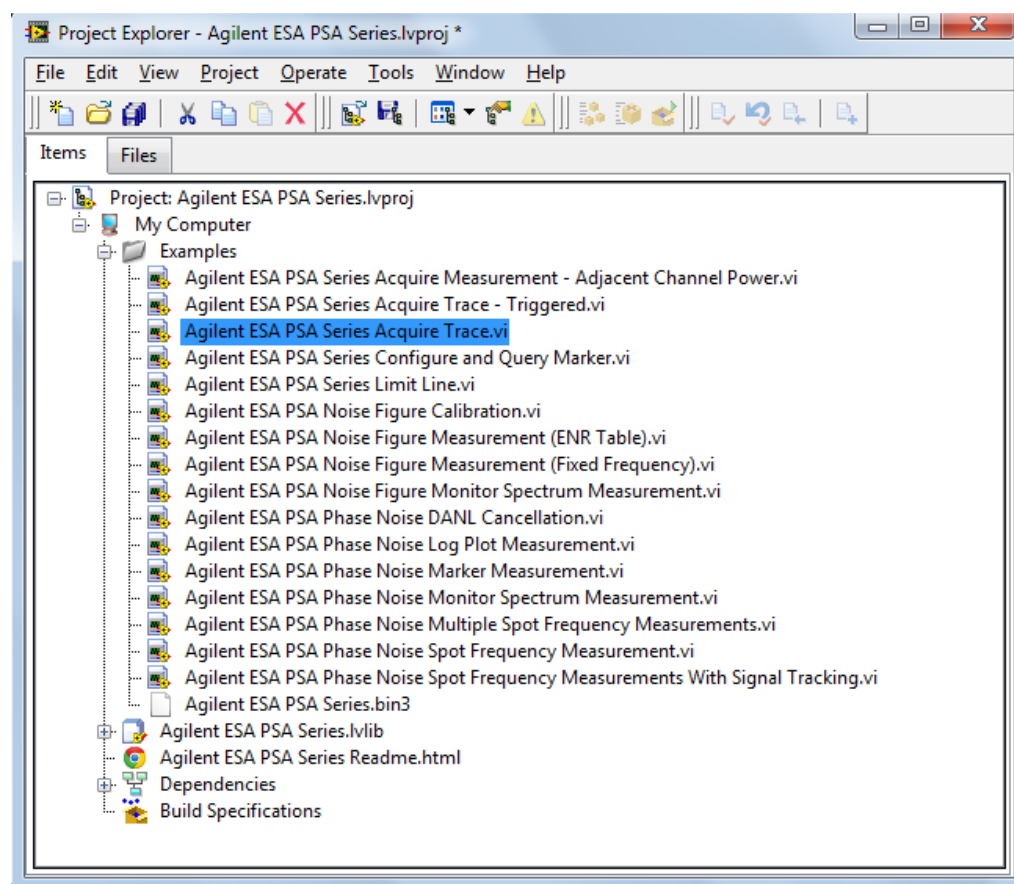
**Figura D.3** Opción de NI-MAX para descargar driver de interfaz GPIB

NI-MAX automáticamente encontrará el driver y la versión apropiada para la comunicación GPIB según los parámetros del fabricante y el modelo del analizador Agilent como se indica en la figura.



**Figura D.4** Selección de fabricante del analizador

Una vez descargados todos los drivers correspondientes de comunicación GPIB tendremos además ejemplos sobre cómo manejar los parámetros del analizador Agilent E4404B mediante LabVIEW. Hemos utilizado estos ejemplos para probar la comunicación teniendo éxito al ingresar parámetros en el analizador.



**Figura D.5** Ejemplos de proyectos en LabVIEW para series Agilent ESA PSA

# **BIBLIOGRAFÍA**



- [1] Los medios de comunicación frente a la revolución de la información; Junio 2011; Nhuna Daiana Jiménez; <<http://www.monografias.com/trabajos14/medios-comunicacion/medios-comunicacion.shtml>>; Última revisión: Julio 2011
- [2] Antenas para radioaficionados; Junio 2008; Villena Osorio Rafael Alejandro; <<http://www.radioaficion.com/HamNews/mr-aluminio.html>>; Última revisión: Abril 2011
- [3] Módulo para el control y posicionamiento de antenas; Abril 2007; Menéndez Miguel Ángel; <[www.ea.amsat.org/sattracker.pdf](http://www.ea.amsat.org/sattracker.pdf)>; Última revisión: Abril 2011
- [4] Antenas logarítmicas; Mayo 2011; Gaitán Rugaba David, Lezama Luis Alfredo; <<http://www.slideshare.net/lez06/antena-logaritmica>>; Última revisión: Abril 2011
- [5] Espectro Radioeléctrico; Agosto 2004; Zuning Miguel; <<http://mailman-new.greenet.org.uk/pipermail/lac/2004-September/002770.html>>; Última Revisión: Julio 2011
- [6] Diseño, Construcción y Caracterización de antenas para UHF; Sánchez Diana; <[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/sanchez\\_i\\_d.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/sanchez_i_d.html)>; Última Revisión: Julio 2011
- [7] Wikipedia Categoría: Antenas; Septiembre 2011; Antenas; <<http://es.wikipedia.org/wiki/Antena>>; Última Revisión: Julio 2011
- [8] Fundamentos de antenas; Mezquida Carlos; Agosto 2010 <<http://www.carlosmezquida.com/word/wp-content/archive>>; Última Revisión: Julio 2011
- [9] Tutoriales Antenas, Tipos de Banda Ancha; Ing. Roberto Beltrán; Mayo 2009; <<http://www.metahuman.com.mx/tutoriales/antenas/bandancha1.shtml>>; Última Revisión: Junio 2011
- [10] Proyecto CRR- Motores Paso a Paso; García García Pilar; Mayo 2009; <[http://www.sebyc.com/crr/descargas/motores\\_pap.pdf](http://www.sebyc.com/crr/descargas/motores_pap.pdf)>; Última Revisión: Julio 2011
- [11] Control de un motor paso a paso con PC; Canello Pablo; Noviembre 2009; <<http://www.pablin.com.ar/electron/circuito/computer/motpap/index.htm>>; Última Revisión: Agosto 2011
- [12] Wikipedia Categoría: Datos Informáticos; Adquisición de datos; Marzo 2011; <[http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n\\_de\\_datos](http://es.wikipedia.org/wiki/Adquisici%C3%B3n_de_datos)>; Última Revisión: Agosto 2011
- [13] User Guide and Specifications NI USB-6008/6009; Mayo 2008: <[www.ni.com/pdf/manuals/371303l.pdf](http://www.ni.com/pdf/manuals/371303l.pdf)>; >; Última Revisión: Septiembre 2011

**[14]** Práctica 1: El analizador de espectros; Laboratorio de comunicaciones; Andreu Vila; Agosto 2011 < [http://www.tav.net/audio/analizador\\_espectros.pdf](http://www.tav.net/audio/analizador_espectros.pdf)>; Última Revisión: Septiembre 2011

**[15]** Manejo del analizador de espectros; Juan Jose Mora Velásquez; <<http://www.slideshare.net/jjmorave/analizador-de-espectros-5518987>>; Última revisión: Agosto Septiembre 2011

**[16]** Using Measurement & Automation Explorer to Configure Your IVI System; National Instrumente; <<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/4594>>; Última Revisión: Septiembre 2011

**[17]** National Instruments VISA; National Instruments; <<http://www.ni.com/visa/>>; Última revision: Septiembre 2001