



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
SEDE LATACUNGA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN  
ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA GRAFICADOR  
DE DIAGRAMAS DE RADIACIÓN DE ANTENAS BASADO EN  
TECNOLOGÍA PXI”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO EN INSTRUMENTACIÓN**

**EDISON MEDARDO LÓPEZ SALGUERO  
ELIZABETH MERCEDES MOLINA ZAPATA**

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2011**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos, que el presente proyecto de grado fue desarrollado en su totalidad por la Srta. Molina Zapata Elizabeth Mercedes y el Sr. López Salguero Edison Medardo.

Latacunga, 23 de febrero del 2011

---

Ing. Nancy Guerrón  
DIRECTORA DE TESIS

---

Ing. Cesar Naranjo  
CODIRECTOR DE TESIS

## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento inmenso a nuestro Dios que supo iluminarnos cada etapa difícil que la vida presentaba.

A la Escuela Politécnica del Ejército que inculcó en nosotros la lealtad, responsabilidad, esfuerzo, para cumplir un objetivo.

A nuestros Padres que de una forma u otra se han esforzado para vernos hoy en día como profesionales.

A nuestros Hermanos, Tíos, Primos que han sabido regalarnos alegrías y estímulos para concretar este proyecto.

## **DEDICATORIA**

### **Elizabeth Molina**

Elizabeth M. Molina Zapata

Dedicado a Dios y a mi familia.

Dedico a mis papitos Hernán y Lourdes por todo su sacrificio, perseverancia, esfuerzo y dedicación para convertir a sus hijos en profesionales.

A mis hermanos Darwin y Stalin por toda la paciencia que me han demostrado, a mis tíos, abuelitos por su apoyo moral.

Además a un ser especial en mi vida, a mi tío Franklin Edmundo Molina Tapia por sus consejos y apoyo mientras lo tuve cerca de mí y de mi familia.

### **Edison López**

A mi mami Enma en especial, por estar incansablemente junto a mí en las buenas y en las malas, que incondicionalmente me apoyó en cualquier momento difícil que mostro la vida.

A mis tíos, Tobías, Genoveva, Enrique, Teresa, Elsa, Mesías, Isaías, por el apoyo moral y económico que brindaron en toda mi vida estudiantil.

A mis primos que han sido como hermanos, que me han brindado su amistad, risas y ayuda en cualquier forma.

# CONTENIDO

<b>1. CAPÍTULO I</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>- 4 -</b>
1.1.	ANTECEDENTES.....	- 4 -
1.2.	TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN RF.....	- 6 -
1.2.1.	RADIOFRECUENCIA (RF).....	- 6 -
1.2.2.	TRANSMISIÓN RF.....	- 13 -
1.2.3.	RECEPCIÓN RF.....	- 13 -
1.2.4.	MODOS DE TRANSMISIÓN.....	- 14 -
1.3.	ANTENAS.....	- 15 -
1.3.1.	PARÁMETROS DE ANTENAS.....	- 15 -
1.3.1.1.	Impedancia.....	- 15 -
1.3.1.2.	Eficiencia.....	- 16 -
1.3.1.3.	Intensidad de radiación.....	- 17 -
1.3.1.4.	Diagramas de radiación.....	- 18 -
1.3.1.5.	Directividad.....	- 20 -
1.3.1.6.	Polarización de una Antena.....	- 20 -
1.3.1.7.	Ancho de banda.....	- 21 -
1.3.1.8.	Ganancia de potencia (G).....	- 21 -
1.3.1.9.	Campos cercanos y lejanos.....	- 21 -
1.3.2.	CLASIFICACIÓN DE ANTENAS.....	- 22 -
1.3.2.1.	Antenas alámbricas.....	- 22 -
1.3.2.2.	Antenas de Apertura.....	- 24 -
1.3.2.3.	Antenas de Reflector.....	- 25 -
1.3.2.4.	Agrupación de antenas.....	- 26 -
1.3.3.	CONECTORES PARA CABLE COAXIAL.....	- 27 -
1.3.4.	PÉRDIDAS EN CABLES Y CONECTORES.....	- 28 -
1.3.5.	FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE LA POTENCIA RECIBIDA EN UN SISTEMA INALÁMBRICO.....	- 28 -
1.4.	MOTORES PASO A PASO.....	- 30 -
1.4.1.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	- 30 -
1.4.2.	TIPOS DE MOTORES PASO A PASO.....	- 31 -
1.4.2.1.	Bipolar.....	- 31 -
1.4.2.2.	Unipolar.....	- 32 -
1.4.3.	SECUENCIA PARA MANEJAR MOTORES PASO A PASO.....	- 32 -
1.4.3.1.	Secuencia para manejar motor paso a paso bipolar.....	- 32 -
1.4.3.2.	Secuencia Wave Drive.....	- 33 -
1.4.3.3.	Secuencia Normal.....	- 34 -
1.4.3.4.	Secuencia Medio Paso.....	- 35 -
1.4.4.	PUENTE H (L293D).....	- 35 -
1.5.	INTRUMENTACION VIRTUAL.....	- 37 -
1.5.1.	ENTORNO INDUSTRIAL.....	- 38 -
1.5.2.	ENTORNO DE LABORATORIO.....	- 39 -
1.5.3.	INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL EN UNA PLATAFORMA PXI RF SIGNAL ANALYZER.....	- 39 -
1.6.	PROGRAMACIÓN EN LABVIEW.....	- 41 -
1.6.1.	PANEL FRONTAL.....	- 41 -
1.6.2.	DIAGRAMA DE BLOQUES.....	- 42 -
1.6.3.	PALETAS.....	- 43 -
1.6.3.1.	Paleta De Herramientas (Tools Palette).....	- 43 -
1.6.3.2.	Paleta De Controles (Control Palette).....	- 43 -
1.6.3.3.	Paleta De Funciones (Functions Palette).....	- 44 -

1.6.4.	NI-DAQ 6009.....	- 44 -
1.6.4.1.	Especificaciones de Pines.....	- 44 -
1.6.5.	SMT (SPECTRAL MEASUREMENT TOOLKIT).....	- 46 -
1.6.5.1.	Paleta de funciones SMT.....	- 46 -
1.6.5.2.	Paleta de configuraciones del Analizador NI-5660.....	- 47 -
1.6.5.3.	Paleta de configuración del generador NI-5671.....	- 47 -
<b>2.</b>	<b>CAPITULO II ANÁLISIS Y DISEÑO .....</b>	<b>- 48 -</b>
2.1.	ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA.....	- 48 -
2.2.	CARACTERÍSTICAS Y ARQUITECTURA DEL WATS-2002.....	- 50 -
2.2.1.	CARACTERÍSTICAS DEL WATS -2002.....	- 51 -
2.2.2.	SISTEMA DE FUNCIONAMIENTO.....	- 52 -
2.2.3.	CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE WATS-2002.....	- 53 -
2.2.4.	CARACTERÍSTICAS DEL PANEL FRONTAL.....	- 54 -
2.3.	CARACTERÍSTICAS Y ARQUITECTURA DEL PXI-5660/5671.....	- 56 -
2.3.1.	INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL BASADA EN PXI.....	- 57 -
2.3.2.	ARQUITECTURA DEL MÓDULO NI PXI-5660.....	- 57 -
2.3.2.1.	Downconverter NI-5600.....	- 58 -
2.3.2.2.	Digitalizador NI 5620.....	- 61 -
2.3.3.	ARQUITECTURA PXI NI-5671.....	- 63 -
2.3.3.1.	NI-5441(Generador de señal IF).....	- 63 -
2.3.3.2.	NI-5610 (CONVERTIDOR ASCENDENTE).....	- 64 -
2.3.3.3.	Chasis NI PXI-1042.....	- 65 -
2.3.3.4.	Controlador PXI NI-8106.....	- 66 -
2.3.4.	ARQUITECTURA DEL SMT (Spectral Measurement Toolkit).....	- 66 -
2.4.	CARACTERÍSTICAS Y ARQUITECTURA DE LOS MOTORES PASO A PASO.....	- 68 -
2.4.1.	SECUENCIAS UTILIZADAS.....	- 69 -
2.4.2.	CIRCUITO INTEGRADO DE CONTROL.....	- 70 -
2.4.3.	CONTROLADOR.....	- 70 -
2.5.	DIAGRAMAS DE BLOQUES DEL SISTEMA COMPLETO.....	- 72 -
2.6.	DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO DE ANTENAS RECEPTORAS CON MOTORES PASO A PASO.....	- 73 -
2.6.1.	SOFTWARE DE CONTROL DEL MOTOR BASE Y MOTOR DE LA PARABÓLICA.....	- 74 -
2.6.1.1.	Interface gráfica del panel frontal para el control de Motores PAP.....	- 75 -
2.6.1.2.	Diagrama de bloques de Motores Base y Parabólica.....	- 76 -
2.6.2.	SOFTWARE CONTROL DEL MOTOR DE POLARIZACIÓN.....	- 82 -
2.6.2.1.	Panel Frontal Motor de Polarización.....	- 82 -
2.6.2.2.	Diagrama de bloques Motor de Polarización.....	- 83 -
a.	Modo Automático.....	- 83 -
b.	Modo Manual.....	- 84 -
2.7.	DISEÑO DEL SOFTWARE GRAFICADOR DEL PATRÓN DE RADIACION DE ANTENAS.....	- 85 -
2.7.1.	ADQUISICIÓN DEL ESPECTRO DE POTENCIA CON EL MÓDULO NI-5660.....	- 85 -
2.7.2.	PROGRAMACIÓN DE SOFTWARE GRAFICADOR DE PATRÓN DE RADIACIÓN.....	- 89 -
2.8.	IMPLEMENTACIÓN DE BASE DE DATOS CON LABVIEW.....	- 92 -
2.8.1.	VARIABLES.....	- 93 -
2.8.2.	VIRTUAL INSTRUMENT DE ACTIVACIÓN DE LIBRERÍAS EXCEL.....	- 95 -
2.8.3.	ALMACENAJE DE DATOS Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARREGLO 2D.....	- 96 -
2.8.4.	PROCESO.....	- 96 -
2.9.	IMPLEMENTACIÓN DE COMUNICACIÓN RED LAN TCP/IP CON LABVIEW.....	- 98 -
2.9.1.	SERVIDOR TCP/IP.....	- 98 -

2.9.2. CLIENTE TCP/IP .....	- 101 -
2.10. CONFIGURACIÓN DE LA INTERFAZ RF ENTRE EL PXI-5660 Y EL WATS-2002..	- 103 -
<b>3. CAPÍTULO III RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>- 106 -</b>
3.1. DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA.....	- 106 -
3.1.1. ANTENAS DE TRABAJO .....	- 106 -
3.1.2. SISTEMA DE TRANSMISIÓN.....	- 107 -
3.1.3. SISTEMA DE RECEPCIÓN.....	- 112 -
3.1.3.1. Estructura de movimiento de antenas microstrip y antenas base de cel	- 112 -
3.1.3.2. Estructura de movimiento de antena parabólica.....	- 115 -
3.1.3.3. Circuito de control de las estructuras.....	- 116 -
3.1.4. ADQUISICION DE LA SEÑAL RF .....	- 118 -
3.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL SISTEMA .....	- 122 -
3.2.1. ANTENA YAGUI A “2,45 GHZ” DE FRECUENCIA DE TRABAJO.....	- 123 -
3.2.1.1. Patrón de radiación con “polarización vertical” antena transmisora yagui y receptora yagui a 3 metros de distancia .....	- 124 -
3.2.1.2. Patrón de radiación con “polarización vertical” antena transmisora yagui y receptora yagui a 1,5 metros de distancia.....	- 126 -
3.2.1.3. Patrón de radiación con “polarización horizontal” antena transmisora yagui y receptora yagui a 3 metros .....	- 128 -
3.2.1.4. Patrón de radiación con “polarización horizontal” antena transmisora yagui y receptora yagui a 1.5 metros de distancia.....	- 130 -
3.2.2. ANTENA TIPO DIPOLO BASE DE CELULAR largo A “2,45 GHZ” .....	- 132 -
3.2.2.1. Patrón de radiación con polarización “vertical” antena transmisora dipolo b.c. y receptora dipolo b.c. a 3 metros de distancia.....	- 133 -
3.2.2.2. Patrón de radiación con polarización “vertical” antena transmisora y receptora a 1.5 metros de distancia. ....	- 135 -
3.2.2.3. Patrón de radiación con polarización “horizontal” antena transmisora dipolo b.c. y receptora b.c. a 3 metros de distancia.....	- 137 -
3.2.2.4. Patrón de radiación con “polarización horizontal” antena transmisora dipolo b.c. y receptora dipolo b.c. a 1.5 m de distancia .....	- 139 -
3.2.3. ANTENA TRANSMISORA TIPO DIPOLO BASE DE CELULAR LARGO A “914 MHz” .....	- 141 -
3.2.3.1. Patrón de radiación con “polarización vertical” antena transmisora b.c. y receptora b.c. a 3 metros de distancia .....	- 142 -
3.2.3.2. Patrón de radiación con polarización vertical antena transmisora b.c. y receptora b.c. a 1.5 metros de distancia .....	- 144 -
3.2.3.3. Patrón de radiación con “polarización horizontal” antena transmisora b.c. y receptora b.c. a 3 metros de distancia .....	- 146 -
3.2.3.4. Patrón de radiación con polarización horizontal antena transmisora b.c. y receptora b.c. a 1.5 metros de distancia .....	- 148 -
3.2.4. ANTENA TIPO MONOPOLO CORTO ( $\lambda/2$ ) A FRECUENCIA DE TRABAJO DE 2,45 GHZ .....	- 150 -
3.2.4.1. Patrón de radiación con “polarización vertical” antena transmisora monopolo corto y receptora monopolo a 3 metros de distancia.....	- 151 -
3.2.4.2. Patrón de radiación con polarización vertical antena transmisora monopolo corto y receptora monopolo corto a 1.5 metros de distancia .....	- 153 -
3.2.4.3. Patrón de radiación con “polarización horizontal” antena transmisora monopolo corto y receptora monopolo corto a 3 metros de distancia .....	- 155 -
3.2.4.4. Patrón de radiación con polarización horizontal antena transmisora monopolo corto y receptora monopolo a 1.5 m de distancia.....	- 157 -
3.2.5. ANTENA TIPO MONOPOLO largo ( $1\lambda$ ) a frecuencia de trabajo de 2.45 ghz.-	- 159 -

3.2.5.1. Patrón de radiación con “polarización vertical” antena transmisora monopolo y receptora monopolo a 1.5 metros de distancia .....	- 159 -
3.2.6. ANTENA TRANSMISORA SEMI-PARABÓLICA TIPO GRILLA a frecuencia de trabajo de 2,45 ghz .....	- 161 -
3.2.6.1. Patrón de radiación con “polarización vertical” con antena transmisora parabólica y receptora yagui a 5 metros de distancia.....	- 162 -
3.2.6.2. Patrón de radiación con “polarización horizontal” con antena transmisora parabólica y receptora yagui a 5 metros de distancia.....	- 164 -
3.3. ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO .....	- 166 -
3.3.1. COSTOS DIRECTOS.....	- 166 -
3.3.2. COSTOS INDIRECTOS .....	- 167 -
3.3.3. COSTOS IMPREVISTOS.....	- 168 -
3.3.4. COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	- 169 -
3.4. ALCANCES Y LIMITACIONES .....	- 170 -
3.4.1. ALCANCES .....	- 170 -
3.4.2. LIMITACIONES.....	- 171 -
<b>4. CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>- 172 -</b>
4.1. CONCLUSIONES.....	- 172 -
4.2. RECOMENDACIONES .....	- 177 -
4.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	- 179 -
4.3.1. BIBLIOGRAFÍA .....	- 179 -
4.3.2. ENLACES WEB .....	- 179 -
<b>ANEXOS.....</b>	<b>-178 -</b>

## FIGURAS

Figura 1.2.1. Bandas de frecuencia del espectro electromagnético. ....	- 7 -
Figura 1.2.2. Línea de vista transmisor y receptor.....	- 9 -
Figura 1.2.3. Onda reflejada utilizando la superficie de un satélite como reflector. ....	- 10 -
Figura 1.2.4. Satélite reflector de señal entre Tx y Rx. ....	- 10 -
Figura 1.2.5. Comportamiento propagación onda ionosférica. ....	- 11 -
Figura 1.2.6. Fenómenos relevantes producidos en la propagación de ondas.....	- 12 -
Figura 1.2.7. Diagrama de bloque de Transmisión.....	- 13 -
Figura 1.2.8. Diagrama de bloque de un sistema Receptor. ....	- 13 -
Figura 1.3.1. Sistema de coordenadas esféricas.....	- 17 -
Figura 1.3.2. a) Diagrama de radiación coordenadas polares. b) Diagrama de radiación coordenadas rectangulares. c) Diagrama de radiación coordenadas esféricas. ....	- 18 -
Figura 1.3.3. Parámetros principales de un Diagrama de Radiación.....	- 20 -
Figura 1.3.4. Dipolo. ....	- 23 -
Figura 1.3.5. Antena Monopolo. ....	- 23 -



Figura 1.3.6. Antena Loop.....	- 24 -
Figura 1.3.7. Antena Patch. ....	- 24 -
Figura 1.3.8. Antenas de Apertura (Bocina Piramidal).....	- 25 -
Figura 1.3.9. Antena parabólica Grilla. ....	- 26 -
Figura 1.3.10. Antena Yagui.....	- 27 -
Figura 1.4.1. Motor Paso a Paso.....	- 30 -
Figura 1.4.2. a) Imagen del Rotor. b) Estator de 4 bobinas.....	- 31 -
Figura 1.4.3. Motor P-P Bipolar.....	- 31 -
Figura 1.4.4. Motor P-P Unipolar.....	- 32 -
Figura 1.4.5. Puente H.....	- 35 -
Figura 1.4.6. Pines del circuito integrado L293D.....	- 36 -
Figura 1.5.1. Aplicación en la Instrumentación Virtual.....	- 37 -
Figura 1.5.2. Diagrama de Bloque en un entorno industrial. ....	- 38 -
Figura 1.5.3. Diagrama de bloque en un entorno de Laboratorio. ....	- 39 -
Figura 1.6.1. Panel Frontal.....	- 41 -
Figura 1.6.2. Diagrama de Bloques. ....	- 42 -
Figura 1.6.3. Paletas de Herramientas. ....	- 43 -
Figura 1.6.4. Paletas de Control.....	- 43 -
Figura 1.6.5. Paleta de Funciones.....	- 44 -
Figura 1.6.6. NI-DAQ 6009.....	- 44 -
Figura 1.6.7. (a) Terminales Análogas. (b) Terminales Digitales.....	- 45 -
Figura 1.6.8. Paleta de funciones SMT.....	- 46 -
Figura 1.6.9. Paleta de configuración del NI-5660.....	- 47 -
Figura 1.6.10. Paleta de configuración del generador NI-5671. ....	- 47 -
Figura 2.1.1. Sistema Graficador de Patrones de radiación.....	- 48 -
Figura 2.1.1. Interfaz de usuario en entorno gráfico. ....	- 49 -
Figura 2.2.1. Watts-2002. ....	- 51 -
Figura 2.2.2. Forma externa del sistema.....	- 54 -
Figura 2.3.1. NI PXI-5660.....	- 56 -
Figura 2.3.2. Tarjeta NI 5600. ....	- 58 -
Figura 2.3.3. Arquitectura Downconverter.....	- 59 -

Figura 2.3.4. Tarjeta NI 5620. ....	- 61 -
Figura 2.3.5. Arquitectura del Digitalizador .....	- 61 -
Figura 2.3.6. Arquitectura Modulo NI-5671. ....	- 63 -
Figura 2.3.7. NI-5441.....	- 63 -
Figura 2.3.8. NI-5610.....	- 64 -
Figura 2.3.9. Chasis PXI 1042. ....	- 65 -
Figura 2.3.10. Controlador PXI 8106. ....	- 66 -
Figura 2.3.11. Arquitectura del SMT.....	- 67 -
Figura 2.4.1. Motor Paso a Paso utilizado en el proyecto. ....	- 68 -
Figura 2.4.2. Circuito de control de un motor a pasos. ....	- 70 -
Figura 2.4.3. Asistente de configuración DAQ-6009 en Labview.....	- 71 -
Figura 2.4.4. Pulso de datos enviado a los puertos de la DAQ-6009.....	- 71 -
Figura 2.5.1.Diagrama de bloques del sistema completo. ....	- 72 -
Figura 2.6.1. Panel Frontal de la interface de control de Posición de los Motores PAP.....	- 75 -
Figura 2.6.2 . Iniciación de pulsos anti horario para las salidas digitales de DAQ-6009. ....	- 76 -
Figura 2.6.3 Reseteo del Modo Manual. ....	- 77 -
Figura 2.6.4 Iniciación de pulsos anti horario para las salidas digitales de DAQ-6009. ....	- 78 -
Figura 2.6.5 Estructura del código en Modo Automático completo.....	- 80 -
Figura 2.6.6 Estructura del código completo en Modo Manual.....	- 81 -
Figura 2.6.7. Identificación en Panel Frontal del control booleano. ....	- 81 -
Figura 2.6.8 Panel Frontal del Motor de Polarización. ....	- 82 -
Figura 2.6.9 Código de programación en Modo Automático. ....	- 83 -
Figura 2.7.1 Diagrama de bloques de la adquisición del espectro de potencia. ....	- 86 -
Figura 2.7.2 Panel frontal Espectro de Potencia. ....	- 88 -
Figura 2.7.3 Diagrama de bloques del Patrón de Radiación. ....	- 89 -
Figura 2.7.4 Panel Frontal del Diagrama de Radiación .....	- 91 -
Figura 2.8.1 Diagrama de bloque base de datos.....	- 92 -
Figura 2.8.2. Panel frontal base de datos. ....	- 97 -
Figura 2.9.1. Diagrama de bloques de servidor TCP/IP.....	- 98 -
Figura 2.9.2. Panel Frontal servidor TCP/IP.....	- 100 -
Figura 2.9.3.Implementación Cliente TCP/IP. ....	- 101 -

Figura 2.10.1. Configuración PXI-5660.....	- 103 -
Figura 2.10.2. Configuración WATS-2002. ....	- 103 -
Figura 3.1.1. Tipos de antenas utilizadas en el proyecto. ....	- 106 -
Figura 3.1.2. Sistema de transmisión RF. ....	- 107 -
Figura 3.1.3. Comunicación watts-2002 y PC. ....	- 108 -
Figura 3.1.4. Soporte de conexión Antena Transmisora. ....	- 108 -
Figura 3.1.5. Terminales de salida RF en Panel frontal del WATTS-2002. ....	- 109 -
Figura 3.1.6. Soporte de conexión entre el cable ECX y la Antena Transmisora. ....	- 109 -
Figura 3.1.7. Tipos de antenas utilizadas.....	- 110 -
Figura 3.1.8. Cable coaxial para conexión de generador y soporte de conexión de la antena transmisora.....	- 110 -
Figura 3.1.9. Conexión equipo Watts y Parabólica como transmisor.....	- 111 -
Figura 3.1.10. Entorno gráfico de elección de frecuencia de trabajo. ....	- 111 -
Figura 3.1.11. Base de la estructura. ....	- 112 -
Figura 3.1.12. Caja de soporte de Antenas PCB y de Base de celular. ....	- 112 -
Figura 3.1.13. Caja de soporte y su conexionado interno. ....	- 113 -
Figura 3.1.14. Conexión interna. ....	- 114 -
Figura 3.1.15. Etapas de conectores utilizados.....	- 114 -
Figura 3.1.16. Base de movimiento de la antena Parabólica. ....	- 115 -
Figura 3.1.17. Graduador de inclinación de la antena parabólica.....	- 115 -
Figura 3.1.18. DAQ 6009.....	- 116 -
Figura 3.1.19. Circuito de control de las estructuras de movimientos.....	- 117 -
Figura 3.1.20. Adaptadores de alimentación para el circuito de control del sistema de movimiento. ....	- 117 -
Figura 3.1.21. NI PXI-5660. ....	- 118 -
Figura 3.1.22. Tarjetas acopladas para formar el NI-5660. ....	- 119 -
Figura 3.1.23. Entorno gráfico de control y supervisión del sistema graficador.....	- 121 -
Figura 3.2.1 Antena PCB tipo Yagui para transmisión y recepción en 2,45GHz. ....	- 123 -
Figura 3.2.2. Patrón de radiación de una antena Yagui basado en un modelo matemático.....	- 123 -
Figura 3.2.3. Patrón de radiación de antenas Yagui como TX y RX con polarización vertical (3m).....	- 124 -
Figura 3.2.4. Espectro de potencia de antenas Yagui como TX y RX con polarización vertical (3m). ...	- 125 -
Figura 3.2.5. Patrón de radiación de antenas Yagui como TX y RX con polarización vertical (1.5m). ...	- 126 -

Figura 3.2.6. Espectro de potencia de antenas Yagui como TX y RX con polarización vertical (1.5m) ..	127 -
Figura 3.2.7. Patrón de radiación de antenas Yagui como TX y RX con polarización horizontal (3m)....	128 -
Figura 3.2.8. Espectro de potencia con antenas Yagui como TX y RX con polarización horizontal a 3m.	129 -
Figura 3.2.9. Patrón de radiación de antenas Yagui como TX y RX con polarización horizontal (1.5m)..	130 -
Figura 3.2.10. Espectro de potencia con antenas Yagui como TX y RX con polarización horizontal a 1.5m y 2,45GHz.....	131 -
Figura 3.2.11. Antena Dipolo B.C. utilizada en transmisión y recepción a 2,45 GHz <sup>-1</sup> .....	132 -
Figura 3.2.12. Patrones de radiación en diferentes planos de un dipolo.....	132 -
Figura 3.2.13. Patrón de radiación polarización vertical de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45GHz (3m).....	133 -
Figura 3.2.14. Espectro de potencia con polarización vertical de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45GHz (3m).....	134 -
Figura 3.2.15. Patrón de radiación de polarización vertical de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45GHz (1.5m).....	135 -
Figura 3.2.16. Espectro de potencia con polarización vertical antenas dipolo base celular como TX y RX 2,45GHz (1.5m).....	136 -
Figura 3.2.17. Patrón de radiación con polarización horizontal de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45Ghz (3m). .....	137 -
Figura 3.2.18. Espectro de potencia con polarización horizontal de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45Ghz. ....	138 -
Figura 3.2.19. Patrón de radiación polarización horizontal de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45Ghz (1,5m). .....	139 -
Figura 3.2.20. Espectro de potencia con polarización horizontal de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45Ghz (1,5m). .....	140 -
Figura 3.2.21. Antena Dipolo B.C. utilizada en Transmisión y recepción a 914 GHz.....	141 -
Figura 3.2.22. Patrón de radiación matemático de un Dipolo.....	141 -
Figura 3.2.23. Patrón de radiación con polarización vertical, antena dipolo base de celular como TX y RX a 914 MHz (3m). .....	142 -
Figura 3.2.24. Espectro de potencia con polarización vertical, antena dipolo base de celular para TX y RX a 914 MHz (3m). .....	143 -
Figura 3.2.25. Patrón de radiación con polarización vertical, antena dipolo base de celular para TX y RX a 914 MHz (1.5m).....	144 -
Figura 3.2.26. Espectro de potencia con polarización vertical, antena dipolo base de celular para TX y RX a 914 MHz (1.5m).....	145 -
Figura 3.2.27. Patrón de radiación con polarización horizontal, antena dipolo base de celular para transmisión y recepción experimento en 914 MHz (3m). .....	146 -

Figura 3.2.28. Espectro de potencia con polarización horizontal, antena dipolo base de celular para transmisión y recepción experimento en 914 MHz (3m). .....	- 147 -
Figura 3.2.29. Patrón de radiación con polarización horizontal, antena dipolo base de celular para transmisión y recepción experimento en 914 MHz (1.5m). .....	- 148 -
Figura 3.2.30. Espectro de potencia con polarización horizontal, antena dipolo base de celular para transmisión y recepción experimento en 914 MHz (1.5m). .....	- 149 -
Figura 3.2.31. Antena Monopolo utilizada en Transmisión a 2,45 GHz. ....	- 150 -
Figura 3.2.32. Patrón de radiación ideal de un Monopolo. ....	- 150 -
Figura 3.2.33. Patrón de radiación con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (3m). .....	- 151 -
Figura 3.2.34. Espectro de potencia con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (3m). .....	- 152 -
Figura 3.2.35. Patrón de radiación con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (1.5m). .....	- 153 -
Figura 3.2.36. Espectro de potencia con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (1,5m). .....	- 154 -
Figura 3.2.37. Patrón de polarización con polarización horizontal, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (3m). .....	- 155 -
Figura 3.2.38. Espectro de potencia con polarización horizontal, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (3m). .....	- 156 -
Figura 3.2.39. Patrón de Radiación con polarización horizontal, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (1.5m). ....	- 157 -
Figura 3.2.40. Espectro de potencia con polarización horizontal, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (1.5m). ....	- 158 -
Figura 3.2.41. Antena PCB tipo Monopolo utilizada en Transmisión a 2.45GHz. ....	- 159 -
Figura 3.2.42. Patrón de radiación con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2.45GHz. ....	- 159 -
Figura 3.2.43. Espectro de potencia con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2.45GHz. ....	- 160 -
Figura 3.2.44. Antena Semi-parabólica utilizada en Transmisión a 2,45 GHz. ....	- 161 -
Figura 3.2.45. Patrón de radiación ideal de una antena Parabólica basado en un modelo matemático. -	161 -
Figura 3.2.46. Patrón de radiación de polarización vertical parabólica como Tx y Yagui como Rx a 2,45Ghz (5m). ....	- 162 -
Figura 3.2.47. Espectro de potencia de polarización vertical parabólica como Tx a 2,45Ghz (5m). .....	- 163 -
Figura 3.2.48. Patrón de radiación de polarización horizontal parabólica como Tx a 2,45Ghz (5m). ....	- 164 -
Figura 3.2.49. Espectro de potencia de polarización horizontal parabólica como Tx a 2,45Ghz (5m). . -	165 -

## TABLAS

Tabla 1.2-1. División del espectro electromagnético y longitudes de onda. ....	- 8 -
Tabla 1.4-1. Secuencia para un motor bipolar .....	- 33 -
Tabla 1.4-2. Secuencia Wave Drive. ....	- 33 -
Tabla 1.4-3. Secuencia Normal. ....	- 34 -
Tabla 1.4-4. Secuencia Medio Paso.....	- 35 -
Tabla 2.8-1. Código para identificar el dato numérico en tipo de polarización.....	- 95 -
Tabla 2.8-2. Código para identificar el dato numérico en tipo de Antena.....	- 95 -
Tabla 3.2-1. Datos Patrón de radiación de antenas Yagui con polarización vertical(3m) .....	- 125 -
-	
Tabla 3.2-2. Datos del Patrón de radiación de antenas Yagui con polarización vertical (1.5m).....	- 127 -
-	
Tabla 3.2-3. Datos del Patrón de radiación de antenas Yagui como TX y RX con polarización horizontal (3m).....	- 129 -
Tabla 3.2-4. Datos del Patrón de radiación de antenas Yagui como TX y RX con polarización horizontal (1.5m).....	- 131 -
Tabla 3.2-5. Datos del Patrón de radiación con polarización vertical de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45GHz (3m).....	- 134 -
Tabla 3.2-6. Datos del Patrón de radiación con polarización vertical de antenas dipolo base celular como TX y Rx a 2,45GHz (1.5m).....	- 136 -
Tabla 3.2-7. Datos del Patrón de radiación con polarización horizontal de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45Ghz.....	- 138 -
Tabla 3.2-8. Datos del Patrón de radiación con polarización horizontal de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45Ghz (1,5m).....	- 140 -
Tabla 3.2-9. Datos del Patrón de radiación con polarización vertical, antena dipolo base de celular como TX y RX a 914 MHz (3m).....	- 143 -
Tabla 3.2-10. Datos del Patrón de radiación con polarización vertical, antena dipolo base de celular para TX y RX a 914 MHz (1.5m). ....	- 145 -
Tabla 3.2-11. Datos del patrón de radiación con polarización horizontal, antena dipolo base de celular para transmisión y recepción experimento en 914 MHz (3m).....	- 147 -
Tabla 3.2-12. Datos del patrón de radiación con polarización horizontal, antena dipolo base de celular para transmisión y recepción experimento en 914 MHz (1.5m).....	- 149 -

Tabla 3.2-13. Datos del patrón de radiación con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (3m).....	- 152 -
Tabla 3.2-14. Datos del patrón de radiación con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (1.5m).....	- 154 -
Tabla 3.2-15. Datos del patrón de radiación con polarización horizontal, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (3m).....	- 156 -
Tabla 3.2-16. Datos del patrón de radiación con polarización horizontal, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (1,5m).....	- 158 -
Tabla 3.2-17. Datos del patrón de radiación con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2.45GHz.....	- 160 -
Tabla 3.2-18. Datos del Patrón de radiación de polarización vertical parabólica como Tx a 2,45Ghz (5m).....	- 163 -
Tabla 3.2-19. Datos del Patrón de radiación con polarización horizontal parabólica como Tx a 2,45Ghz (5m).....	- 165 -
Tabla 3.3-1 Gastos directos .....	- 166 -
Tabla 3.3-2 Gastos indirectos.....	- 167 -
Tabla 3.3-3. Gastos imprevistos .....	- 168 -
Tabla 3.3-4 Costo total del proyecto .....	- 169 -

### **ECUACIONES**

1.1 Longitud de onda.....	- 7 -
1.2. impedancia.....	- 16 -
1.3. Eficiencia.....	- 16 -
1.4. Intensidad de radiación .....	- 17 -
1.5. Ganancia directiva.....	- 20 -
1.6. Ganancia de potencia.....	- 21 -
1.7. Relación de densidades de potencia .....	- 22 -
1.8. Distancia del foco .....	- 25 -
1.9 Ganancia de una parabólica.....	- 26 -
1.10. Potencia recibida nominal .....	- 28 -
1.11. Atenuación .....	- 29 -
2.1. Potencia recibida.....	- 93 -

2.2. Transformación de dBm a mW .....	- 93 -
2.3. Rendimiento de radiación .....	- 93 -
2.4. Ganancia de antena Tx .....	- 94 -
2.5. Campo eléctrico .....	- 94 -
3.1. Potencia Rx calculada .....	- 122 -



## INTRODUCCIÓN

El propósito de un sistema de comunicación es el transmitir la información desde un punto en el espacio y el tiempo, hasta otro. La transmisión de información que envía un equipo por vía RF debe ser igual a la información que obtiene el equipo receptor, teóricamente no debe sufrir ninguna alteración en su contenido.

La medición y prueba de antenas es fundamental en la teoría de RF (Radio Frecuencia). Dado que toda la teoría se cae si se comprueba que la antena no funciona como se desea. Básicamente, se quiere medir muchos de los parámetros fundamentales que se encuentran en la hoja de datos de la antena. Los parámetros más comunes y deseados son los de patrón de radiación, ganancia, eficiencia, impedancia, ancho de banda y polarización más efectiva.

En conjunto con los sistemas de comunicaciones existentes, la tecnología para su desarrollo avanza a pasos agigantados, tal es así que existen equipos analizadores modulares de señal RF vectoriales con capacidades de programación virtual como el equipo PXI-5660, poseedor el laboratorio de Comunicaciones de la ESPE-L, que permiten la codificación del programa y su conectividad con dispositivos inalámbricos y RF, con mediciones de 10 a 100 veces más rápidas que en un sistema de prueba construido únicamente por instrumentos tradicionales. También usando la plataforma de PXI centraliza toda la capacidad del proceso de un sistema de medida en **uno solo**.

Para ello se debe mantener al corriente de estos dispositivos inalámbricos y de RF de última tecnología mediante el conocimiento de **software y hardware**.

Mediante el **software LABVIEW** se puede modelar nuevas técnicas o algoritmos de codificación y modulación, siguiendo un método definido en software para la instrumentación basado en los fundamentos básicos de comunicación RF, proporcionando así un software de codificación y modulación que permita generar y medir señales a través de instrumentos de RF modulares y de propósito general.

Con respecto al **hardware**, el equipo PXI-5660, es un módulo analizador de señales RF que trabaja en frecuencias hasta 2.7 GHz para optimizar pruebas de

automatización, además el NI PXI-5660 ofrece un bandwidth (ancho de banda) instantáneos y favorables, el time base (base de tiempo) estable que lo hacen ideal para las aplicaciones de RF. Adicionalmente al PXI se pueden implementar módulos con capacidades vectoriales como aplicaciones en 3D de espectrogramas, adquisición de datos de E/S para la modulación con su correspondiente análisis y funciones de modulación analógicas.

El PXI-5660 es operado por el programa de National Instrument "**LABVIEW**" que mediante diferentes aplicaciones dentro de su software permiten una amplia gama de aplicaciones en procesamiento y análisis de señales RF que se pueden realizar con este equipo.

Este proyecto que se realiza en este trabajo, tiene por objetivo el implementar un sistema que realice la adquisición de una señal de RF dentro del rango de frecuencia 9KHz - 2.7GHz e implementar un sistema graficador de diagrama de radiación con dicha señal. Para esto va ser muy útil el paquete LABVIEW, el mismo que se define como una "Plataforma Virtual". Con la ayuda de este paquete se desarrollara las funciones que permitan la adquisición de señales RF, Control de posición de antenas y Elaboración de base de datos para su monitoreo, registro y supervisión, a través de la implementación del **código virtual**.

El presente proyecto va dirigido a actualizar aplicaciones en la que interactúen un computador industrial como el PXI 5660 de National Instruments y un equipo específico de generación y recepción de señales de RF como el WATTS 2002, dando lugar a nuevas tecnologías realizadas por la universidad en plataforma PXI y el salto al manejo e implementación de última tecnología del mundo globalizado.

Para el desarrollo del siguiente proyecto se tomaron en cuenta los siguientes capítulos:

En el capítulo uno, se realiza un análisis de cada uno de los fundamentos relacionados con la elaboración del proyecto, dando conceptos básicos de comunicación RF, instrumentación virtual y motores (MPP, servomotores).

En el capítulo dos, se presenta el análisis y diseño del sistema general y como se realiza la estructuración de cada parte del Sistema Graficador.

En el capítulo tres, se realiza un análisis de las diferentes pruebas que se experimentan con el sistema graficador y la presentación de resultados obtenidos en las pruebas.

En el capítulo cuatro, se realiza las conclusiones y recomendaciones sobre el tema desarrollado.

# 1. CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 1.1. ANTECEDENTES

Una de las dificultades principales para medir las características de radiación de las antenas, como por ejemplo, la presencia de lóbulos principales y secundarios, la dirección de apuntamiento, máxima radiación, polarización efectiva, etc, es definir todos estos parámetros en **tiempo real y en forma dinámica**, que permita la manipulación de los datos e interactuar directamente con el usuario.

En la actualidad el laboratorio de Comunicaciones dispone del equipo entrenador de antenas WATS-2002, que permite realizar aplicaciones para trabajar en 2 frecuencias fijas (914 MHz-2,45GHz), y que no admite conocer el comportamiento de otras antenas en rangos intermedios de esas frecuencias, sin embargo el desarrollo del presente proyecto, permitirá esto y las siguientes otras opciones:

- a) Disponer de rangos de recepción comprendidos entre 9KHz y 2.47GHz.
- b) Realizar aplicaciones en el área de comunicaciones, empleando rangos intermedios de frecuencias entre las de recepción fijas que permite el equipo Watts 2002.
- c) Controlar el sistema de movimiento de antenas.
- d) Recoger, analizar y monitorear los datos dentro de un entorno de programación gráfico en el que se ensambla objetos llamados instrumentos virtuales (VIs) para formar el programa de aplicación con el que interactuará el usuario.
- e) Representar los datos de las antenas en paneles interactivos que funcionan como si se tratara de instrumentación real.
- f) Permitir múltiples manejos de datos, como su almacenamiento en disco creando una base de datos (SGBD) para el registro de mediciones, posición angular, etc, y compartirlo en red o con otras aplicaciones.

- g) Elaborar interfaces comunes como el RS-232 o 485, o estándares más específicos de instrumentación como el IEEE-488 más conocido como GPIB, VXI, CAN, según sea el caso.
- h) Realizar la medición y pruebas de antenas de los parámetros fundamentales que se encuentran en la hoja de datos más comunes como son: patrón de radiación, ganancia, eficiencia, impedancia, campo eléctrico radiado y polarización.

El desarrollo del presente proyecto, solventará las falencias de software en gráfica de Diagrama de Radiación propio de fábrica que contiene el equipo “Entrenador de Antenas (WATS-2002)”.

## 1.2. TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN RF.

### 1.2.1. RADIOFRECUENCIA (RF).

Radiofrecuencia (RF) son ondas electromagnéticas de alta frecuencia, comprendidas entre 30MHz a 300GHz; semejantes a las ondas luminosas; viajan a la velocidad de la luz, contienen una componente eléctrica y una componente magnética, que pueden ser afectadas por fenómenos atmosféricos y climatológicos; los cuales pueden modificar las características de radiación de estas ondas.

La **componente eléctrica** se crea por un alto potencial de tensión y la **componente magnética** por el flujo de corriente.

#### 1.2.1.1. Propagación de ondas RF.

La propagación RF se hace a través de las denominadas ondas electromagnéticas. Este tipo de ondas se caracterizan porque están formadas, por la conjunción de un campo eléctrico y otro magnético, que son ortogonales y a la vez perpendiculares a la dirección de propagación.

La unión de estos campos es la que permite que este tipo de ondas se pueda transmitir por el espacio. Este tipo de ondas se propaga por el espacio (independientemente de cuál sea su frecuencia) a la velocidad de la luz ( $3 \times 10^8$  m/s).

Una onda electromagnética se define con tres **parámetros principales**:

- a. **La frecuencia (f)**: define el número de ondas que se transmite en un segundo.
- b. **La velocidad (c)**: Es igual a la velocidad de la luz (300.000 kilómetros por segundo).

c. **La longitud de onda ( $\lambda$ ):** es el resultado de dividir la velocidad de propagación (la velocidad de la luz) por la frecuencia. El resultado viene expresado en metros.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.1.)$$

En la *Figura 1.2.1* se pueden observar las bandas de frecuencias existentes en el espectro electromagnético.

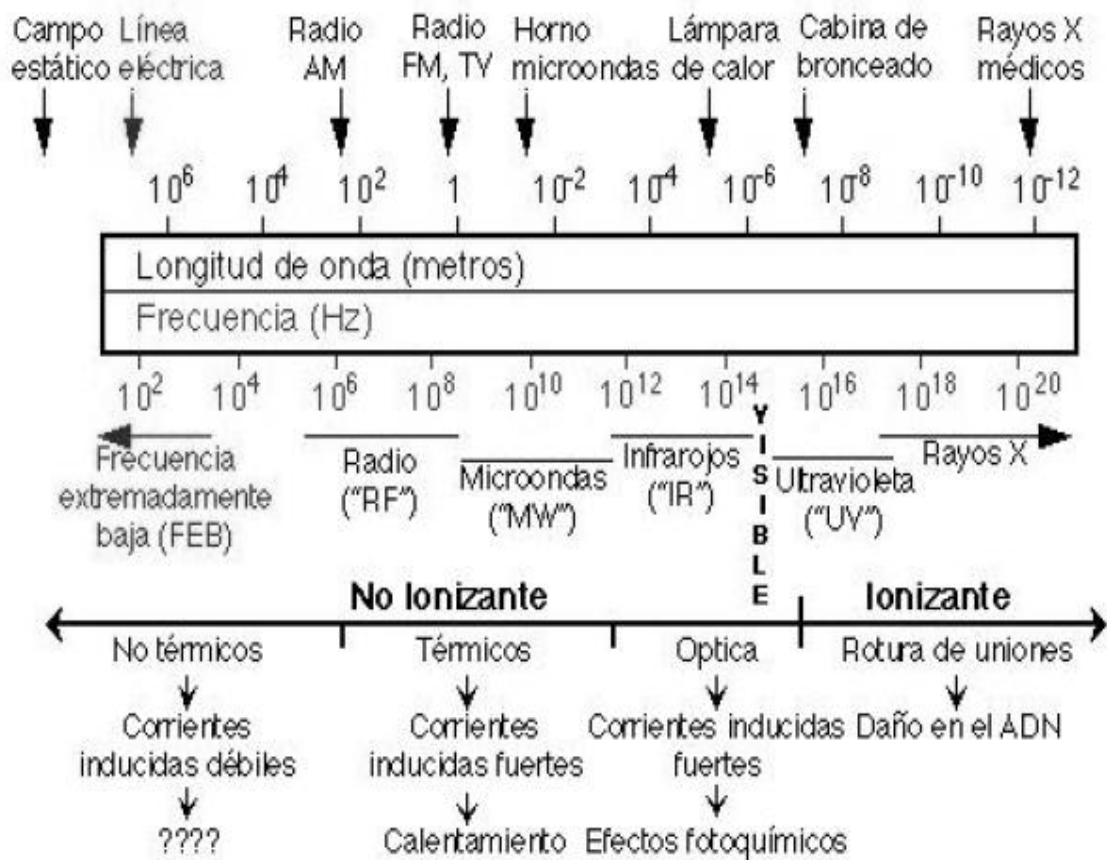


Figura 1.2.1. Bandas de frecuencia del espectro electromagnético.

La siguiente tabla, está basada en la división del espectro que realizó en 1953 el CCIR, actual UIT-R, organismo que depende de la Unión Internacional de las Comunicaciones. Otros datos fueron tomados de la CITELE, Comisión Interamericana de Telecomunicaciones, perteneciente a la Organización de los Estados Americanos (OEA).

**Tabla 1.2-1. División del espectro electromagnético y longitudes de onda.**

<b>Frecuencia</b>	<b>Denominación</b>	<b>Longitud de onda</b>
3 – 30 Khz	VLF Frecuencia muy baja	100,000 – 10,000 m
30 – 300 Khz	LF Frecuencia baja	10,000 – 1000 m
300 – 3000 Khz	MF Frecuencia media	1000 - 100 m
3 – 30 Mhz	HF Frecuencia alta	100 – 10 m
30 – 300 Mhz	VHF Frecuencia muy alta	10 – 1 m
300 – 3000 Mhz	UHF Frecuencia Ultra elevada	1 m – 10 cm
3 – 30 Ghz	SHF Frecuencia Superelevada	10 – 1 cm
30 – 300 Ghz	EHF Frecuencia Extremadamente alta	1 cm – 1 mm

- **V.L.F.** Radio difusión telegráfica a larga distancia.
- **L.F.** Servicio punto a punto de larga distancia, ayudas a la navegación, difusión de sonido, Sistemas de portadora por línea.
- **M.F.** Difusión de sonido, servicios costeros para embarcaciones, sistemas de portadoras Líneas.
- **H.F.** Servicios punto a punto para distancias media y larga, difusión de sonidos, sistemas De portadoras por líneas.
- **V.H.F.** Comunicaciones a corta distancia, difusión de tv y sonido, radar.
- **U.H.F.** Servicios aire-aire y tierra aire.
- **S.H.F.** Sistemas de comunicación de microondas punto a punto, radar.  
Este tipo de transmisión se realiza a través de: Microondas, infrarrojos, láser, otros.



- **E.H.F.** Comunicación a frecuencias extremadamente altas, se encuentran en el rango de 30-300 GHz.

### 1.2.1.2. Trayectos de propagación de las ondas de Radiofrecuencia

#### a. Onda Directa

La propagación por onda directa es necesario que exista línea de vista entre el transmisor y el receptor.

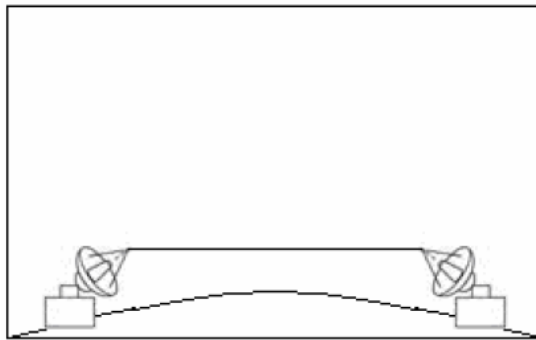


Figura 1.2.2. Línea de vista transmisor y receptor.

Se utilizan frecuencias sobre los 50 MHz, debido a que las altas frecuencias no se ven afectadas por los fenómenos atmosféricos, además no es necesario de antenas con grandes proporciones para obtener una transmisión efectiva de gran directividad. Es más utilizado en la televisión y la radio FM.

### b. Onda reflejada

La propagación por onda reflejada no es necesario que exista línea de vista entre el transmisor y el receptor. Se utiliza una superficie como reflector que realice la operación de espejo para devolver la señal con un cierto ángulo. Por ejemplo es utilizada en la comunicación por medio de satélites.

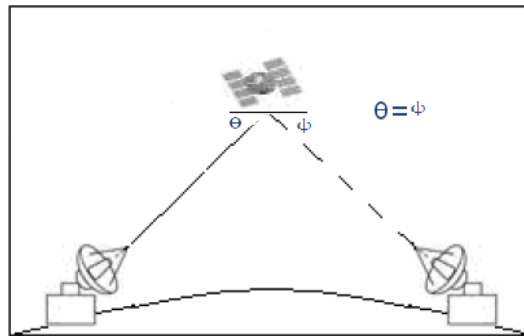


Figura 1.2.3. Onda reflejada utilizando la superficie de un satélite como reflector.

### c. Onda de superficie

Contornea la superficie terrestre, se utiliza para comunicación a largas distancias, los obstáculos no impiden la comunicación entre transmisor y receptor, sin embargo las frecuencias de uso están en el rango de muy baja frecuencia.

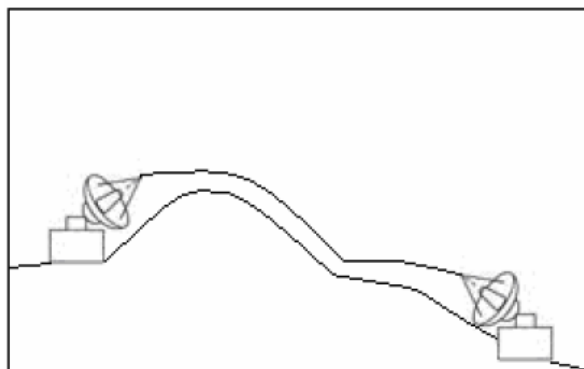


Figura 1.2.4. onda de superficie.

**d. Onda ionosférica, celeste o de cielo**

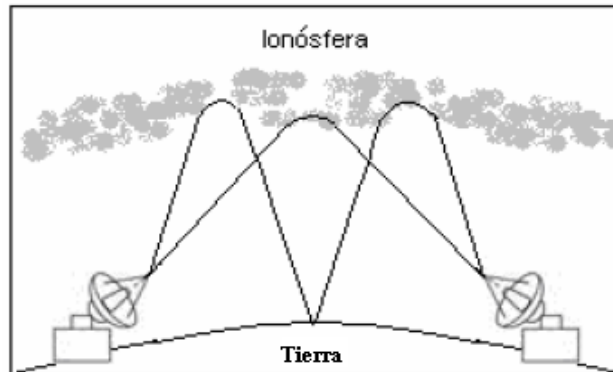
Mediante la propagación por onda ionosférica u onda refractada, influirá la atmosfera como reflector ocurriendo esto a su vez en la ionosfera.

La ionosfera es una capa de la atmósfera que esta a una distancia entre los 40 Km y 320 Km. Esta capa está formada por aire altamente ionizado por la radiación del sol.

Cuando esta capa se encuentra eléctricamente cargada hace que la señal comience a cambiar en un cierto ángulo, esto lo hace sucesivamente hasta que se efectúa una reflexión total y la señal regresa a la tierra.

Es capaz de conectar dos puntos que no tienen línea de vista y puede transmitir a una distancia de 4000 Km.

La propagación ionosférica está determinada por la frecuencia utilizada y el nivel de ionización de la atmosfera.



**Figura 1.2.5. Comportamiento propagación onda ionosférica.**

### 1.2.1.3. Fenómenos relevantes que se producen en la propagación de ondas RF.

En el sistema de comunicación de RF, las ondas se pueden atenuar<sup>1</sup> o desviar debido a fenómenos como los que se describen a continuación:

- a) **Refracción.-** Es cuando la onda sufre desviaciones en su trayectoria cuando atraviesan de un medio a otro con densidad distinta.
- b) **Reflexión.-** Rebote de la señal en un obstáculo de dimensiones mucho mayor que la longitud de la onda incidente.
- c) **Dispersión.-** Esparcimiento de la señal en un obstáculo de dimensiones semejantes a la longitud de onda y produce mayor propagación en mayor número de direcciones.
- d) **Difracción.-** Ocurre en circunstancias de obstrucción del trayecto entre transmisor y receptor con un obstáculo opaco de dimensiones mayor que la longitud de onda de la señal.

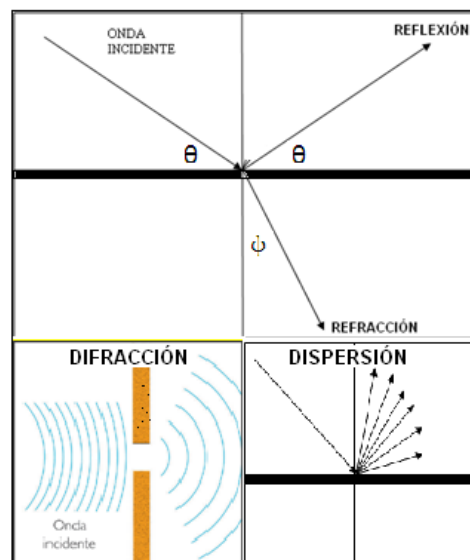


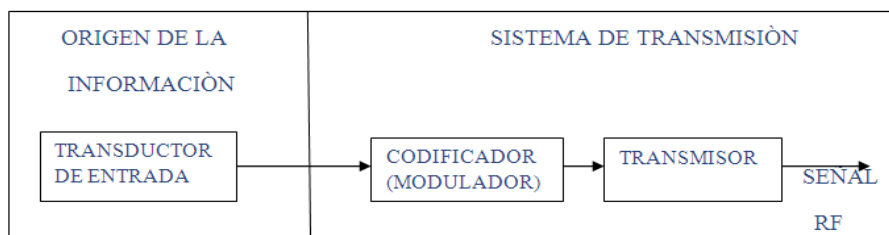
Figura 1.2.6. Fenómenos relevantes producidos en la propagación de ondas.

<sup>1</sup> Atenuación: Pérdida de potencia ocasionadas por la dispersión en el aire.

### 1.2.2. TRANSMISIÓN RF.

En un sistema de comunicación, está conformado por dos partes, la parte del transmisor, ver *Figura 1.2.7*, y el del receptor, *Figura 1.2.8*.

El transmisor envía la señal de RF desde el amplificador de potencia a través de las líneas de transmisión hasta la antena transmisora, la información radiada que se propaga por el aire hasta que la recoge una antena receptora en algún punto lejano.

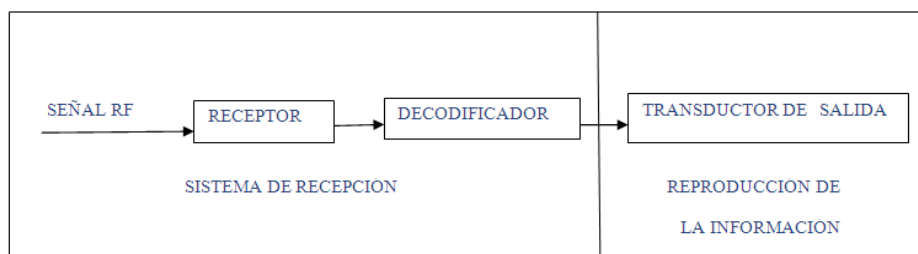


**Figura 1.2.7. Diagrama de bloque de Transmisión.**

En la transmisión de datos es importante saber que cualquier transmisión de datos se puede efectuar sin ningún tipo de cable, simplemente se utiliza dispositivos que transporta la información mediante ondas. Por ejemplo la información recibida a través de radio y televisión.

### 1.2.3. RECEPCIÓN RF.

Es una colección de componentes electrónicos y circuitos que acepta el mensaje transmitido del canal y lo convierte en una forma entendible para los humanos, siendo así es un dispositivo o circuito que intercepta una señal, la procesa y la transforma en una forma útil para una persona.



**Figura 1.2.8. Diagrama de bloque de un sistema Receptor.**

#### 1.2.4. MODOS DE TRANSMISIÓN<sup>2</sup>.

De acuerdo al diseño pueden ser cuatro modos de transmisión:

- **Simplex.-** la transmisión puede ocurrir sólo en una dirección.
- **Half-duplex (HDX).-** La transmisión puede ocurrir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo.
- **Full- dúplex (FDX).-** la transmisión puede ocurrir en ambas direcciones al mismo tiempo.
- **Full/full- duplex (F/FDX).-** la transmisión y recepción se produce simultáneamente pero no necesariamente entre un solo transmisor y receptor, sino entre varios transmisores o receptores.

---

<sup>2</sup> Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, Wayne Tomasi, Segunda Edición, Pag.9.

### **1.3. ANTENAS.**

Una antena es un dispositivo mecánico, que convierte las señales de voltaje en ondas electromagnéticas y viceversa; se considera en tal virtud un dispositivo recíproco pasivo; pasivo en cuanto a que en realidad no puede amplificar una señal, por lo menos no en el sentido real de la palabra, sin embargo, una antena puede tener ganancia y recíproco en cuanto a que las características de transmisión y recepción son idénticas, excepto donde las corrientes de alimentación al elemento de la antena se limitan a la modificación de patrón de transmisión.

Una antena por lo general se utiliza como la interfaz entre un transmisor y el espacio libre o el espacio libre y el receptor acoplando energía de la salida de un transmisor a la atmósfera de la Tierra o de la atmósfera de la Tierra a un receptor.

#### **1.3.1. PARÁMETROS DE ANTENAS.**

Una antena forma parte de un sistema muy amplio, por lo que es necesario caracterizar con una serie de parámetros que la describan y permitan evaluar el efecto sobre el sistema de una determinada antena, o bien especificar el comportamiento deseado de la antena para poder incluirla en nuestro sistema.

A efectos de definición de los parámetros de la antena, conviene definirlos según sean para transmitir o para recibir, pero que en definitiva son equivalentes, por lo que los utilizaremos para ambos casos.

##### **1.3.1.1. Impedancia.**

La impedancia de una antena se define como suma de una parte real  $Re(w)$  y una parte imaginaria  $Ze(w)$  dependientes de la frecuencia. Si  $Ze(w)$  no presenta una parte reactiva a una frecuencia dice que es una antena resonante.

Se usa una antena a su frecuencia de resonancia, que es cuando mejor se comporta.

$$Z = R_e(w) + Z_e(w). \quad (1.2.)$$

La **impedancia de entrada** es un parámetro de gran trascendencia, ya que condiciona las tensiones que hay que aplicar al generador para obtener valores de corrientes en la antena, y en consecuencia, una determinada potencia radiada.

### 1.3.1.2. Eficiencia.

La aparición de pérdidas en la antena provoca que no toda la potencia liberada por el transmisor sea radiada, por lo que se define el rendimiento o eficiencia de la antena, mediante la relación entre la potencia radiada y la liberada.

$$\text{Rendimiento} = \eta_{\text{rad}} = \frac{P_{\text{radiada}}}{P_{\text{entregada}}} = \frac{R_{\text{radiacion}}}{R_{\text{perdidas}} + R_{\text{radiacion}}} \quad (1.3.)$$



### 1.3.1.3. Intensidad de radiación.

Una de las características fundamentales de una antena es la capacidad de radiar en una dirección del espacio, es decir, para concentrar la energía radiada en ciertas direcciones del espacio. Al definir este parámetro, es conveniente definir un plano de referencia donde está situada la antena que se quiere caracterizar, por ello se definen habitualmente un sistema de coordenadas esféricas.

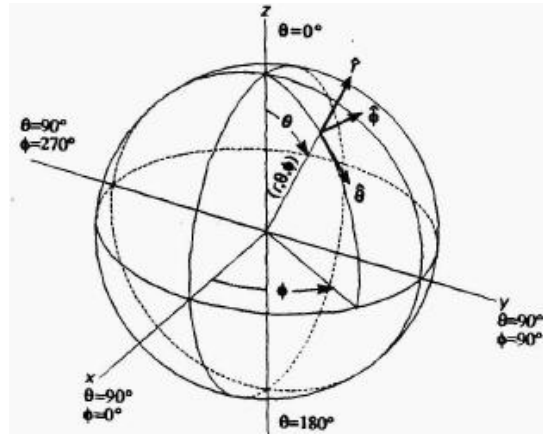


Figura 1.3.1. Sistema de coordenadas esféricas.

En si la intensidad de radiación es la potencia radiada, parte real de la potencia de una antena en dirección dada por una unidad de ángulo solido.

$$U=r^2 * P. \quad (1.4.)$$

U: Intensidad de radiación.

r: Radio de la superficie de la que se calcula la intensidad de radiación.

P: Densidad de potencia.

#### 1.3.1.4. Diagramas de radiación.

Un diagrama de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena, en función de las diferentes direcciones del espacio.

Generalmente es un diagrama polar que representa las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena.

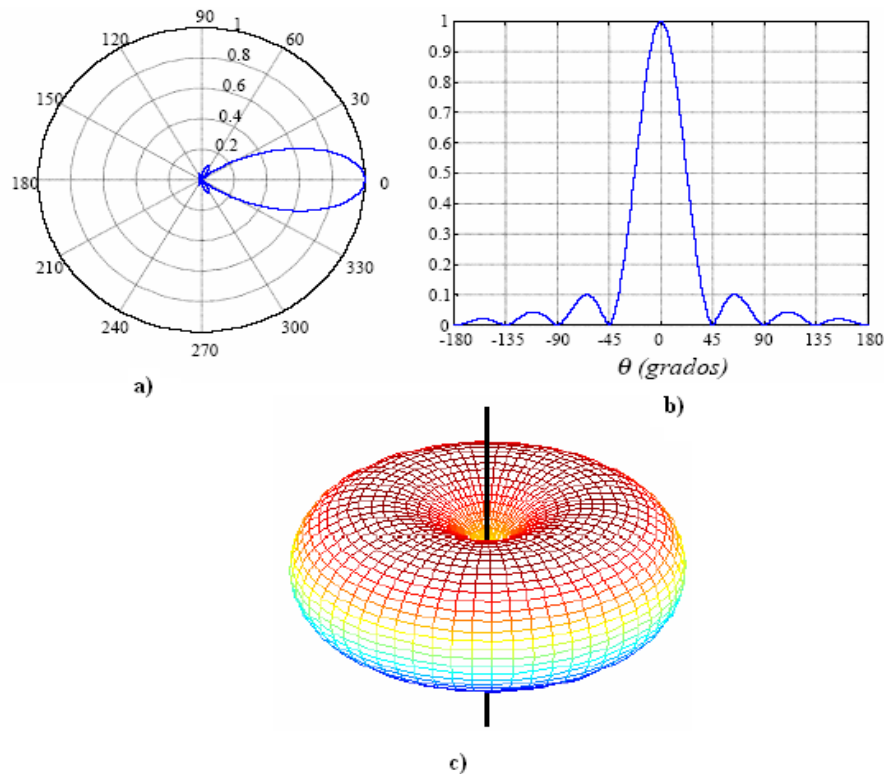


Figura 1.3.2. a) Diagrama de radiación coordenadas polares. b) Diagrama de radiación coordenadas rectangulares. c) Diagrama de radiación coordenadas esféricas.

Si el patrón de radiación se traza en términos de la intensidad del campo eléctrico ( $\mathbf{E}$ ) o de la densidad de potencia ( $\mathbf{P}$ ), se denomina patrón de radiación absoluto.

Si se traza la intensidad del campo o la densidad de potencia en relación al valor en un punto de referencia, se denomina patrón de radiación relativa.

En este proyecto las antenas no radian del mismo modo en todas las direcciones del espacio, sino según su geometría, dimensiones o forma de excitación es capaz de orientar la energía en unas determinadas direcciones del espacio.

### a. Parámetros del diagrama de radiación.

Asociados al diagrama de radiación, se definen una serie de parámetros, que son los que habitualmente se utilizan a la hora de especificar el comportamiento de una antena. Para ello, se define un lóbulo de radiación como la porción del diagrama delimitada por regiones de menor radiación (nulos). Los lóbulos que se suelen definir son:

- **Lóbulo principal:** aquel que contiene la dirección de máxima radiación.
- **Lóbulos secundarios:** todos aquellos distintos al principal.
- **Lóbulos laterales:** son lóbulos adyacentes al principal, que generalmente son los más altos de todos los secundarios.
- **Lóbulo posterior:** el que se encuentra en la dirección opuesta al principal.
- **Nivel de lóbulos secundarios:** es el nivel de mayor lóbulo secundario respecto al principal. Los lóbulos secundarios radian potencia indeseada en direcciones no controladas, que pueden dar lugar a interferencias en sistemas de comunicaciones.
- **Ancho del haz principal a  $-3$  dB:** es el ancho del lóbulo principal entre los puntos de potencia mitad, en el plano considerado.
- **Ancho del haz principal entre nulos:** es el ancho del lóbulo principal completo.

- **Relación delante-atrás:** es la relación entre la potencia del lóbulo principal y del lóbulo posterior.

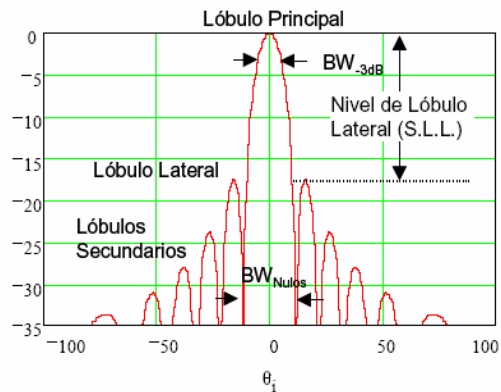


Figura 1.3.3. Parámetros principales de un Diagrama de Radiación.

### 1.3.1.5. Directividad.

#### a. Ganancia Directiva ( $D$ ).

Cociente entre la densidad de potencia ( $P$ ) en una dirección y densidad de potencia con respecto a una antena isotrópica ( $P_{iso}$ ) que radiase la misma potencia total.

$$D = P / P_{iso} \quad (1.5.)$$

#### b. Directividad ( $D_0$ ).

Es la ganancia de la intensidad de radiación en la dirección del máximo con respecto a la que habría, si la antena radiase la potencia uniformemente en el espacio. Es decir es la ganancia directiva en la dirección de máxima radiación. Siempre mayor o igual que 1 (0 dBi). Expresada en dBi<sup>3</sup> :  $10 \log D_0$ .

### 1.3.1.6. Polarización de una Antena.

La polarización de una antena se refiere sólo a la orientación del campo eléctrico radiado por una antena.

<sup>3</sup> dBi: Ganancia en Decibel con relación a una antena isotrópica.

Una antena puede polarizarse en forma lineal por lo regular, polarizada horizontalmente o verticalmente, suponiendo que los elementos de la antena se encuentran dentro de un plano horizontal o vertical, en forma elíptica, o circular.

Si una antena irradia una onda electromagnética polarizada verticalmente, la antena se define como polarizada verticalmente; si la antena irradia una onda electromagnética polarizada horizontalmente, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico gira en un patrón elíptico, está polarizada elípticamente; y si el campo eléctrico gira en un patrón circular, está polarizada circularmente.

#### **1.3.1.7. Ancho de banda.**

Debido a la geometría finita de la antena, están limitadas a operar satisfactoriamente en una banda o margen de frecuencias. Este intervalo de frecuencias es conocido como ancho de banda. Lo podemos definir a partir de varios parámetros, como son el diagrama de radiación, la directividad, la impedancia, etc.

#### **1.3.1.8. Ganancia de potencia (G).**

La ganancia de potencia de una antena es el producto de la directividad ( $D_0$ ) por la eficiencia ( $\eta_{rad}$ ).

$$G = D_0 * \eta_{rad} \quad (1.6.)$$

#### **1.3.1.9. Campos cercanos y lejanos.**

El campo de radiación que se encuentra cerca de una antena no es igual que el campo de radiación que se encuentra a gran distancia.

El término campo cercano se refiere al patrón de campo que está cerca de la antena, y el término campo lejano se refiere al patrón de campo que está a gran distancia.

Durante la mitad del ciclo, la potencia se irradia desde una antena, en donde parte de la potencia se guarda temporalmente en el campo cercano. Durante la segunda mitad del ciclo, la potencia que está en el campo cercano regresa a la antena. Esta acción es similar a la forma en que un inductor guarda y suelta energía. Por tanto, el campo cercano se llama a veces campo de inducción.

La potencia que alcanza el campo lejano continúa irradiando lejos y nunca regresa a la antena. Por tanto, el campo lejano se llama campo de radiación.

### 1.3.2. CLASIFICACIÓN DE ANTENAS.

Las antenas pueden clasificarse en tres grandes grupos: antenas alámbricas, antenas de apertura y reflectores; y agrupaciones de antenas.

#### 1.3.2.1. Antenas alámbricas.

Constan de un hilo conductor el cual produce un campo electromagnético al pasar una corriente sobre él. Este hilo puede ser de diversas formas tales como: espiras, hélices, o hilos rectos. Por ejemplo la antena Dipolo.

##### a. Dipolo

Se le denomina antena de media onda debido a que su *longitud eléctrica*<sup>4</sup>. Su *longitud física*<sup>5</sup> es aproximadamente igual a su longitud eléctrica. Longitud Física = 0.475 \* Longitud de Onda (dada en metros). El valor típico de impedancia para éste tipo de antenas es de 73 ohm en el centro de la antena.

##### ➤ Ganancia de una antena Dipolo

La ganancia de una antena es la relación (cociente) de potencias por unidad de superficie, entre una antena dada y una antena isótropa que se toma como referencia, ambas alimentadas con la misma potencia.

$$G = \frac{\left(\frac{P}{S}\right)_{ant}}{\left(\frac{P}{S}\right)_{iso}} \quad (1.7.)$$

---

<sup>4</sup> Longitud eléctrica: es la mitad de la longitud de onda de la señal que irradia.

<sup>5</sup> Longitud física: es la longitud estructural de la antena.

Su ganancia en dB, está establecida en aproximadamente 1,64 dB o 2.1dBi.

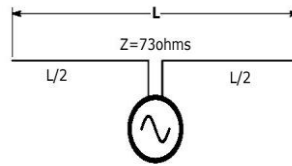


Figura 1.3.4. Dipolo.

### b. Monopolo.

Tiene un cuarto de longitud de onda vertical ( $\lambda/4$ ), se requiere un buen plano de tierra omnidireccional en el plano horizontal. La apertura es la mitad de la de un dipolo.

- Ganancia de una antena Monopolo

La antena es completamente **omnidireccional**, presenta una **ganancia** de 5,15 dBi aproximadamente (3 dBd), es decir, el doble de la ganancia de un dipolo de media longitud de onda.



Figura 1.3.5. Antena Monopolo.

### c. Antena Loop.

Es de pequeñas dimensiones, mayor radiación en el plano de loop, gran ancho de banda, eficiente como antena Receptora.

- Ganancia de una antena Loop

Esta antena tiene una eficiencia superior a otros arreglos de antenas. Su ganancia depende del número de elementos que posee.

- Loop de un elemento= 4.1 dBi
- Loop de dos elementos=9.1 dBi
- Loop de tres elementos=12.1 dBi

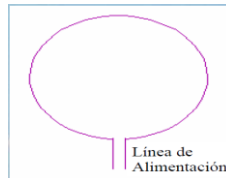


Figura 1.3.6. Antena Loop.

#### d. Antena Patch.

Este tipo de antena es un conductor o reflector de  $1/4\lambda$  con una ganancia de 6dBi.

- Ganancia de una Antena Patch

Estas antenas a menudo tienen una ganancia que se encuentra entre 9 ó 10 dBi.

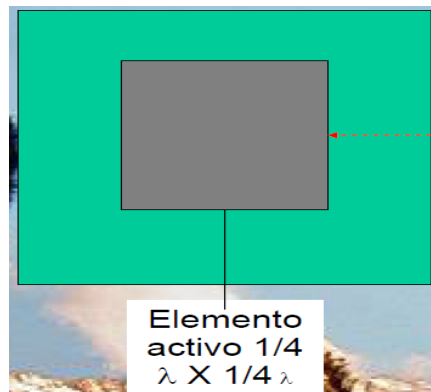


Figura 1.3.7. Antena Patch.

#### 1.3.2.2. Antenas de Apertura.

La radiación se produce en función de los campos de la onda que atraviesa dicha apertura. Son ejemplo de éstas antenas: las bocinas, aperturas y ranuras sobre planos conductores.



- Ganancia de una antena de Apertura(bocina)

A 2,4GHz, una antena bocina simple tiene una ganancia en el orden de 10 a 15 dBi.

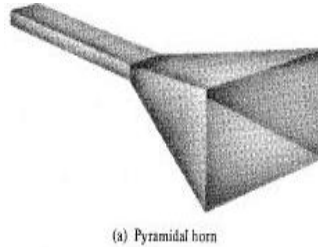


Figura 1.3.8. Antenas de Apertura (Bocina Piramidal).

### 1.3.2.3. Antenas de Reflector.

Cuentan con un elemento activo el cual irradia la energía contra un reflector, el cual la concentra para emitir al espacio libre. El ejemplo más común de antenas de reflector, es la antena parabólica. Sus características las hacen ideales para comunicaciones tanto espaciales como terrestres.

#### a. Antena Parabólica.

La propiedad básica de un reflector parabólico perfecto es que convierte una onda esférica irradiada desde un punto ubicado en el foco, en una onda plana.

El alcance que puede proveer este tipo de antena es de 10 km.

Se empleó para realizar las prácticas acerca de los parámetros de antenas principalmente la graficación del patrón de radiación, acogiendo los parámetros de diseño de siguientes:

$$f = D^2 / (16xc) \quad (1.8.)$$

- Diámetro de la antena parabólica =60cm
- c:profundidad cóncava de la parabólica=10cm
- foco=22cm.

- Ganancia de una antena Parabólica

$$\text{Ganancia} = \eta (\pi \times D/\lambda)^2 \quad (1.9.)$$

- Ganancia (dBi) = 24dBi.
- Ancho de Haz=14,28°



Figura 1.3.9. Antena parabólica Grilla.

#### 1.3.2.4. Agrupación de antenas.

Es un conjunto de antenas iguales donde se controla la amplitud y fase de la alimentación de cada elemento para conseguir unas propiedades de radiación u otras; que no se puede conseguir con una sola de ellas. La antena Yagui es un ejemplo de éste tipo de antenas.

##### a. Antena Yagui.

Una antena Yagui tiene varios elementos dispuestos en forma de escalón a fin de obtener una radiación muy directiva. El elemento de la parte posterior se llama reflector, el siguiente elemento es el irradiador, y todos los elementos restantes se llaman directores.

- Ganancia de una antena Yagui

A mayor número de directores, mayor es la ganancia de la antena. De éste modo es posible obtener ganancias por encima de los 20 dBi. Sin embargo, una desventaja de la Yagui es que es una antena de banda estrecha, a menudo destinada para una sola frecuencia.

Dependiendo de los elementos que posee una antena Yagui se obtiene aproximadamente las siguientes ganancias:

- Yagui de dos elementos= 7.1 dBi
- Yagui de tres elementos= 10.1 dBi
- Yagui de cuatro elementos= 12.1 dBi

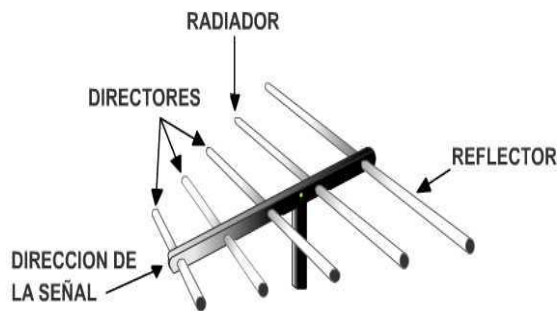


Figura 1.3.10. Antena Yagui.

### 1.3.3. CONECTORES PARA CABLE COAXIAL

Para conectar el equipo de radio frecuencia al cable coaxial y el cable coaxial a la antena, se tiene que escoger los conectores apropiados. La cantidad de conectores es numerosa y se diferencian por los siguientes atributos:

**Tipo:** forma genérica del conector.

**Género:** puede ser macho (Male) o hembra (Female).

**Polaridad:** normal o invertida (RP).

**Rosca:** Normal o invertida (RT).

Los más utilizados son:

- SMA.
- BNC.
- Tipo N.

Los empleados en este proyecto son:

- RP-SMA Male, 50Ω, Gold thread, Polaridad invertida.
- SMA Male, 50 Ω, Gold thread. Polaridad normal, Rosca normal, tipo 905.
- SMA Female, 50 Ω, Gold thread, Polaridad normal, Tipo 905.
- BNC Male, 50 Ω, Polaridad normal, Rosca normal.
- BNC Female, 50 Ω, Polaridad normal.

- Tipo N Male, Polaridad normal, Rosca normal.
- Tipo N Female, Polaridad normal, Rosca Normal.
- Cable de 50  $\Omega$ , RG 58.

#### 1.3.4. PÉRDIDAS EN CABLES Y CONECTORES.

Las pérdidas en la señal de radio tendrán lugar en los cables que se conecte al transmisor y el receptor a las antenas. Las pérdidas dependen del cable y de la frecuencia de operación y son medidas en dB/m<sup>6</sup>.

En general, no importa que tan bueno sea el cable, siempre causara pérdidas. Debido a este parámetro, se debe mantener el cable que va hacia la antena lo más corto posible.

La pérdida típica en los cables oscila entre 0,1 dB/m a 1 dB/m y se debe considerar al menos 0,25 dB de pérdida por cada conector de su cableado. Además se debe examinar las hojas de datos para conocer las pérdidas para la frecuencia de trabajo y el tipo de conector empleado.

En el presente proyecto las pérdidas de los cables de la parte transmisora y la receptora se calcularon en **2,7 dB**.

#### 1.3.5. FÓRMULAS PARA EL CÁLCULO DE LA POTENCIA RECIBIDA EN UN SISTEMA INALÁMBRICO.

La **potencia de recepción nominal** se obtiene restando a la  $P_t$  en dBm las atenuaciones debidas a filtros y circuladores (*branching*)<sup>7</sup>  $A_b$ , a cables coaxiales o guías de onda  $A_g$ , al espacio libre  $A_o$  y sumando las ganancia de antenas  $G_a$ . En términos matemáticos:

$$PRX_n = P_t - A_{b1} - A_{g1} + G_{a1} - A_o + G_{a2} - A_{g2} - A_{b2} \quad (1.10)$$

- Los valores de atenuación por filtros son cercanos a 0,2 dB dentro de la banda de paso.

<sup>6</sup> dB/m: pérdida en dB por metro de distancia.

<sup>7</sup> El circuito de branching es aquel que direcciona mediante circuladores y filtra la señal de microondas a la salida del transmisor y a la entrada del receptor y que luego se transporta hasta el *feeder* o alimentador de antena mediante un cable coaxial o una guía de ondas.

- Los circuladores producen una atenuación en el sentido directo cercano a 0,2 dB. Por ello el valor  $A_b$  depende del número de componentes en el branching.
- La atenuación de cable coaxial, conectores (ver 1.3.4) o guía de onda se expresa en db/100m de longitud y es una función directa de la frecuencia de trabajo.
- La ganancia de la antena se expresa en la dirección de máxima directividad y es función directa de la frecuencia. Ver (1.3.1.5) y (1.3.1.8)
- La atenuación en espacio libre se calcula a partir de la fórmula:

$$A_0 = 32,5 \text{ dB} + 20 \cdot \text{Log} [f(\text{MHz}) \times d(\text{Km})] \quad (1.11.)$$

## 1.4. MOTORES PASO A PASO.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requiere movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique.

Este paso puede variar desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de tan solo  $1.8^\circ$ , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso ( $90^\circ$ ) y 200 para el segundo caso ( $1.8^\circ$ ), para completar un giro completo de  $360^\circ$ .



Figura 1.4.1. Motor Paso a Paso.

Este motor posee la habilidad de poder quedar enclavado en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

### 1.4.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Básicamente este motor está constituido por un rotor sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator, *Figura 1.4.2.*

Las bobinas son parte del estator y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) deber ser externamente manejada por un controlador.

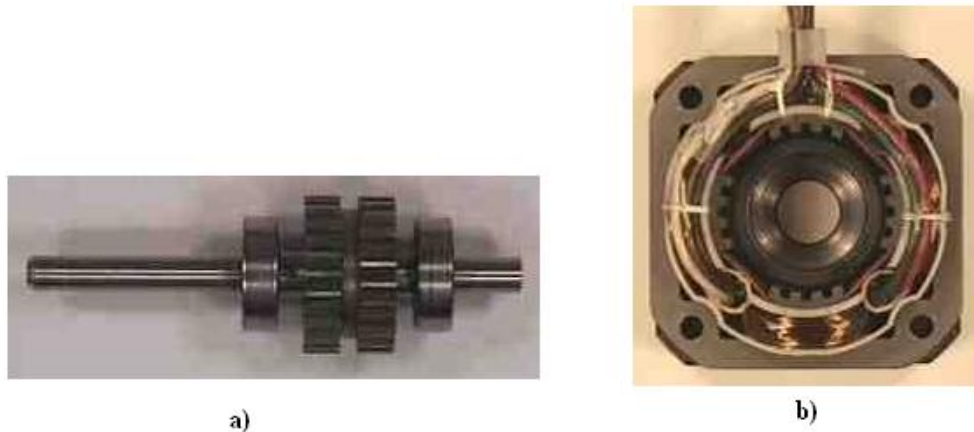


Figura 1.4.2. a) Imagen del Rotor. b) Estator de 4 bobinas.

## 1.4.2. TIPOS DE MOTORES PASO A PASO

### 1.4.2.1. Bipolar.

Este tiene generalmente cuatro cables de salida, requiere un cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas, con la secuencia apropiada para realizar un movimiento.

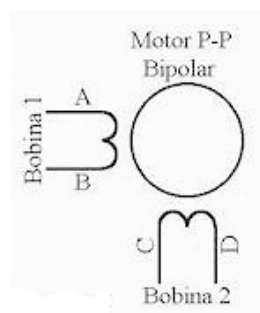


Figura 1.4.3. Motor P-P Bipolar.

El control de este motor se realiza mediante el uso de un puente en H. Es necesario un H-Bridge por cada bobina del motor, es decir que para controlar un motor Paso a Paso de 4 cables (dos bobinas), se necesita dos puentes H-Bridges iguales. En general es recomendable el uso del integrado LM293.

### 1.4.2.2. Unipolar

Este motor suele tener 6 o 5 cables de salida, dependiendo de su conexionado interno. Este tipo se caracteriza por ser más simple de controlar. Para controlar se lo realiza mediante el uso de un LM293 es capaz de manejar carga de hasta 1.2A. Las entradas de activación (Activa A, B, C y D) pueden ser directamente activadas por un microcontrolador o tarjeta de adquisición de Datos.

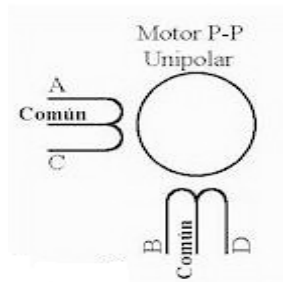


Figura 1.4.4. Motor P-P Unipolar.

### 1.4.3. SECUENCIA PARA MANEJAR MOTORES PASO A PASO.

#### 1.4.3.1. Secuencia para manejar motor paso a paso bipolar

Este motor necesita la inversión de la corriente que circula en sus bobinas en una secuencia determinada. Cada inversión de la polaridad provoca el movimiento del eje en un paso, cuyo sentido de giro está determinado por la secuencia seguida.



A continuación se puede ver la *Tabla 1.4-1* con la secuencia necesaria para controlar el motor paso a paso del tipo Bipolares:

**Tabla 1.4-1. Secuencia para un motor bipolar**

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

#### 1.4.3.2. Secuencia Wave Drive.

La secuencia activa una bobina a la vez, teniendo un funcionamiento suave pero perdiendo torque por paso y la retención es mínima. Esta secuencia es utilizada en el proyecto para el accionamiento del motor base de la estructura de las antenas PCB. En la *Tabla 1.4-2* muestra los pulsos en voltaje que se debe aplicar a las bobinas de los motores.

**Tabla 1.4-2. Secuencia Wave Drive.**

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	+V	-V	-V	-V
2	-V	+V	-V	-V
3	-V	-V	+V	-V
4	-V	-V	-V	+V

### 1.4.3.3. Secuencia Normal.

Esta es la secuencia más usada y la que generalmente recomienda el fabricante. Con esta secuencia el motor avanza un paso por vez y debido a que siempre hay al menos dos bobinas activadas, se obtiene un alto torque.

**Tabla 1.4-3. Secuencia Normal.**

PASO	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D	
1	ON	ON	OFF	OFF	
2	OFF	ON	ON	OFF	
3	OFF	OFF	ON	ON	
4	ON	OFF	OFF	ON	

#### 1.4.3.4. Secuencia Medio Paso.

La secuencia activa las bobinas de una manera que realiza un movimiento igual a la mitad del paso real. En la Tabla 1.4-4 se presenta la secuencia.

Tabla 1.4-4. Secuencia Medio Paso.

Paso	Bobina A	Bobina B	Bobina C	Bobina D
1	+V	-V	-V	-V
2	+V	+V	-V	-V
3	-V	+V	-V	-V
4	-V	+V	+V	-V
5	-V	-V	+V	-V
6	-V	-V	+V	+V
7	-V	-V	-V	+V
8	+V	-V	-V	+V

#### 1.4.4. PUENTE H (L293D)

Los motores paso a paso requieren del cambio de dirección de flujo de corriente a través de sus bobinas en la secuencia apropiada. Dicha corriente es muy elevada con respecto a lo que un microcontrolador puede soportar. Dado lo anterior se utiliza un puente H por cada bobina del motor. Un puente H es un dispositivo capaz de soportar el flujo bidireccional de corriente invertida.

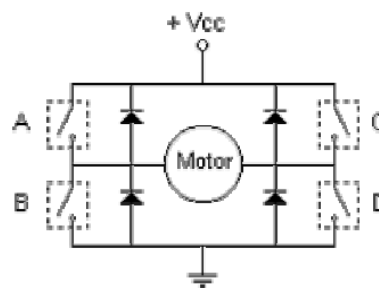


Figura 1.4.5. Puente H.

Un puente H es básicamente un arreglo de cuatro interruptores acomodados como se muestra en la Figura 1.4.5.

Los interruptores A, B, C, D, pueden ser de transistores bipolares, mosfets, jfets, relevadores o cualquier combinación de elementos. El puente H se utiliza para hacer funcionar el elemento central (motor) en dos sentidos sin tener que manejar voltajes negativos.

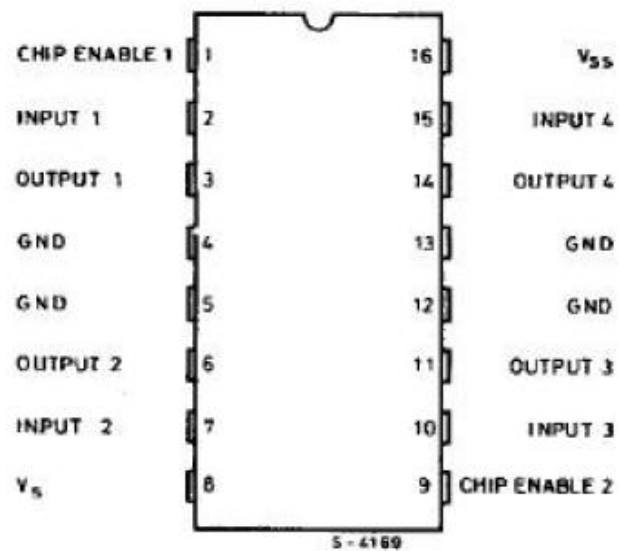


Figura 1.4.6. Pines del circuito integrado L293D.

## 1.5. INSTRUMENTACION VIRTUAL

La instrumentación virtual es un concepto introducido por la compañía National Instruments el año 2001, los cuales crearon un software que le permitía a la computadora realizar mediciones.

El término "virtual" nace a partir del hecho de que cuando se utiliza el PC como "instrumento" es el usuario mismo quién, a través del software, define su funcionalidad y "apariencia" y por ello se dice que " se virtualiza " el instrumento, ya que su funcionalidad puede ser definida una y otra vez por el usuario y no por el fabricante.

La modelación de la realidad que tiene lugar como resultado la simulación, no constituye un elemento determinante para penetrar en la esencia de la misma y llegar a conocerla, es necesario el empleo de procedimientos que la complementen metodológicamente, y alcanzar entonces los objetivos y la escenificación de la misma. La simulación o virtualización consiste por tanto en la representación de la realidad.

La instrumentación virtual implica adquisición de señales, el procesamiento, análisis, almacenamiento, distribución y despliegue de los datos e información relacionados con la medición de una o varias señales, interfaz hombre-máquina, visualización, monitoreo y supervisión remota del proceso, la comunicación con otros equipos, etc.

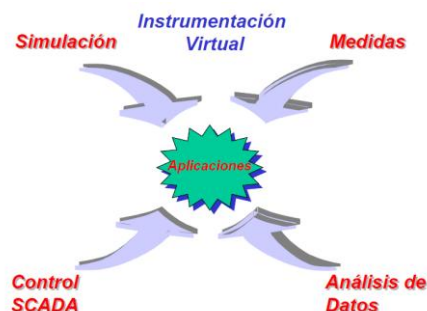


Figura 1.5.1. Aplicación en la Instrumentación Virtual.

El usuario manipula un instrumento que no es real, se ejecuta en una computadora, tiene sus características definidas por software pero realiza las mismas funciones que un equipo real.

La idea es sustituir y ampliar elementos "hardware" por otros "software", para ello se emplea un procesador que ejecute un programa específico, este programa se comunica con los dispositivos para configurarlos y leer sus medidas.

El usuario final del sistema de instrumentación sólo ve la representación gráfica de los indicadores y botones de control virtuales en la pantalla del ordenador.

### 1.5.1. ENTORNO INDUSTRIAL.

En un proceso industrial existen varios sensores que suministran información, convenientemente acondicionada, al elemento controlador del sistema. El elemento controlador, que estará basado en algún microprocesador, recibirá la información de los sensores directamente o mediante un proceso de comunicación.

Además de la presentación de dicha información en la forma deseada (generalmente gráfica) el elemento controlador dará las órdenes oportunas a los actuadores para mantener el proceso funcionando dentro de los márgenes previstos.

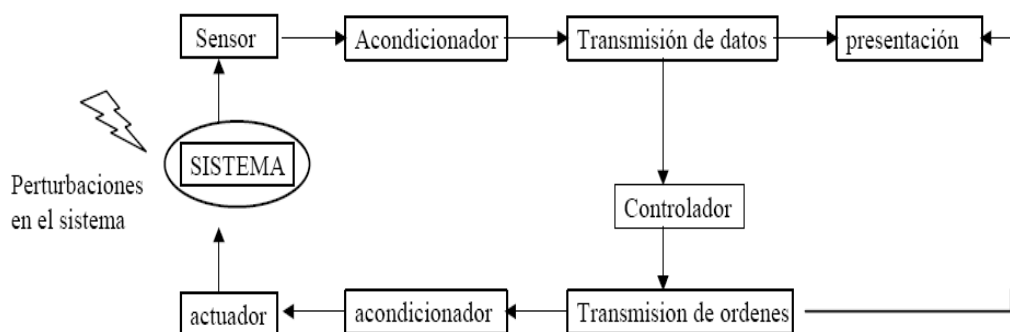


Figura 1.5.2. Diagrama de Bloque en un entorno industrial.

### 1.5.2. ENTORNO DE LABORATORIO.

Para la instrumentación virtual o los procesos de laboratorio, la información puede venir dada no sólo por sensores, sino también por otros sistemas de medida (osciloscopios, multímetros, etc.) con capacidad de comunicación. Partiendo de la información recogida se puede cambiar las condiciones de la prueba, modificando parámetros de los aparatos (generadores de funciones, fuentes de alimentación).

En un entorno de laboratorio la tendencia actual es que sea un software especializado quien se encargue del control del sistema, coordinando el funcionamiento de los distintos elementos.

Labview de la multinacional National Instruments accede a recoger, analizar y monitorizar los datos dentro de un entorno de programación gráfico.

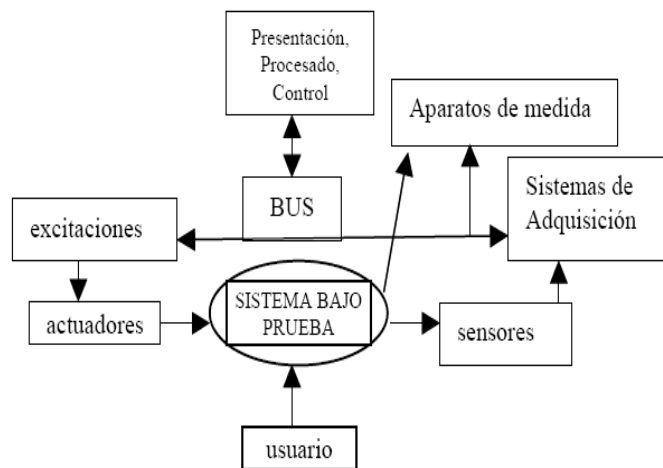


Figura 1.5.3. Diagrama de bloque en un entorno de Laboratorio.

### 1.5.3. INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL EN UNA PLATAFORMA PXI RF SIGNAL ANALYZER.

La instrumentación virtual<sup>8</sup> es una solución innovadora. Para probar los productos multifuncionales y complejos que exige el consumidor, se necesitan mediciones precisas y sincronizadas. Y a medida que se incorporan innovaciones a su

<sup>8</sup> National Instrument: [www.ni.com](http://www.ni.com)

producto para diferenciarlo, su sistema de prueba debe adaptarse rápidamente para probar las nuevas características, combina el rápido desarrollo de software con el hardware modular y flexible para crear sistemas de prueba definidos por el usuario. La instrumentación virtual en una plataforma PXI ofrece:

- Herramientas de software intuitivas para pruebas de desarrollo rápidas.
- E/S basadas en tecnologías comerciales innovadoras, rápidas y precisas.
- Una plataforma basada en PC con sincronización integrada para gran exactitud a lo largo del proceso.
- **PXI<sup>9</sup>** es una plataforma robusta basada en PC que ofrece habilidades de medida y control de alto rendimiento en un paquete de despliegue de bajo costo. El factor de forma modular le permite combinar módulos PXI de NI y de otros proveedores de PXI para incorporar la E/S de medida y control exacta que usted necesite en cada sistema.
- El PXI-5660 2.7 GHz RF el analizador señalado extiende la velocidad y flexibilidad de instrumentación virtual en frecuencia de rangos de GHz.

---

<sup>9</sup> PXI: Extensiones PCI para Instrumentación.



## 1.6. PROGRAMACIÓN EN LABVIEW

Los programas desarrollados mediante Labview se denomina Instrumentos Virtuales (VIs), porque su apariencia y funcionamiento imita los de un instrumento real. Sin embargo son análogos a las funciones creadas con los lenguajes de programación convencionales. Los VIs tienen una parte interactiva con el usuario y otra parte de código fuente, y aceptan parámetros procedentes de otros VIs.

Todos los VIs tienen un panel frontal y un diagrama de bloques. Las paletas contienen las opciones que se emplean para crear y modificar los VIs.

### 1.6.1. PANEL FRONTAL

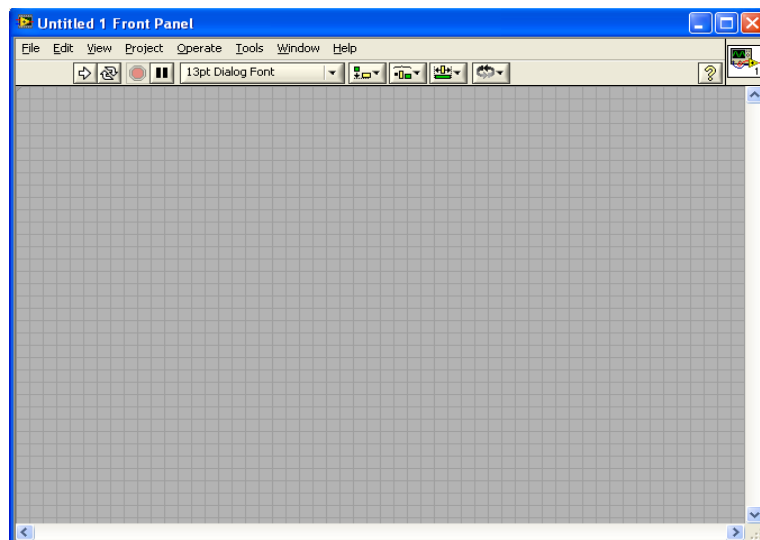


Figura 1.6.1. Panel Frontal.

Se trata de la interfaz gráfica del VI con el usuario. Esta interfaz recoge las entradas procedentes del usuario y representa las salidas proporcionadas por el programa. Un panel frontal está formado por una serie de botones, pulsadores, potenciómetros, gráficos, etc.

Cada uno de ellos puede estar definido como un control (a) o un indicador (b). Los primeros sirven para introducir parámetros al VI, mientras que los indicadores se emplean para mostrar los resultados producidos, ya sean datos adquiridos o resultados de alguna operación.

## 1.6.2. DIAGRAMA DE BLOQUES.

El diagrama de bloques constituye el código fuente del VI. En el diagrama de bloques es donde se realiza la implementación del programa del VI para controlar o realizar cualquier procesamiento de las entradas y salidas que se crearon en el panel frontal.

El diagrama de bloques incluye funciones y estructuras integradas en las librerías que incorpora Labview. En el lenguaje C las funciones y las estructuras son nodos elementales. Son análogas a los operadores o librerías de funciones de los lenguajes convencionales.

Los controles e indicadores que se colocaron previamente en el Panel Frontal, se materializan en el diagrama de bloques mediante los terminales.

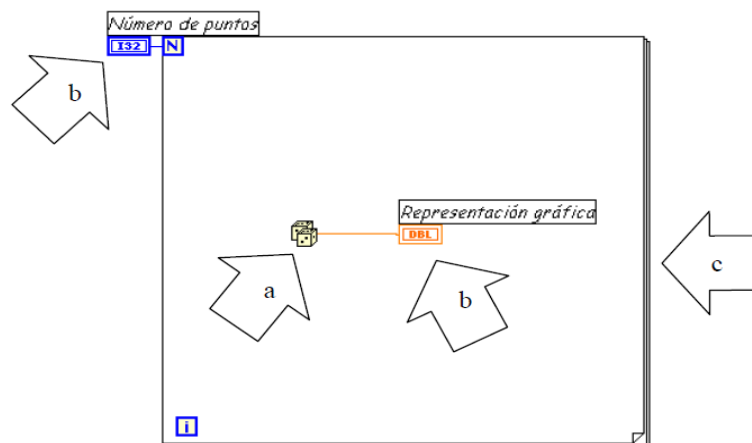


Figura 1.6.2. Diagrama de Bloques.

Donde:

- (a) Función.
- (b) Terminales (control e indicador).
- (c) Estructura.

El diagrama de bloques se construye conectando los distintos objetos entre sí, como si de un circuito se tratara. Los cables unen terminales de entrada y salida con los objetos correspondientes, y por ellos fluyen los datos. Labview posee una extensa biblioteca de funciones, entre ellas, aritméticas, comparaciones, conversiones, funciones de entrada/salida, de análisis, etc.

### 1.6.3. PALETAS.

Las paletas de Labview proporciona las herramientas que se requiere para crear y modificar tanto el panel frontal como el diagrama de bloques. Existen las siguientes paletas.

#### 1.6.3.1. Paleta De Herramientas (Tools Palette)

Se emplea tanto en el panel frontal como en el diagrama de bloques. Contiene las herramientas necesarias para editar y depurar los objetos tanto del panel frontal como del diagrama de bloques.



Figura 1.6.3. Paletas de Herramientas.

#### 1.6.3.2. Paleta De Controles (Control Palette)

Se utiliza únicamente en el panel frontal. Contiene todos los controles e indicadores que se emplearán para crear la interfaz del VI con el usuario.



Figura 1.6.4. Paletas de Control.

### 1.6.3.3. Paleta De Funciones (Functions Palette)

Se emplea en el diseño del diagrama de bloques. La paleta de funciones contiene todos los objetos que se emplea en la implementación del programa del VI, ya sea funciones aritméticas, de entrada/salida de señales, entrada/salida de datos a fichero, adquisición de señales, temporización de la ejecución del programa, etc.



Figura 1.6.5. Paleta de Funciones.

### 1.6.4. NI-DAQ 6009.

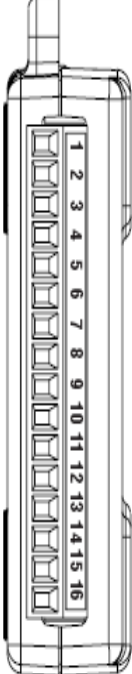
Es una tarjeta de adquisición y de control que posee entradas / salidas analógicas y digitales.

#### 1.6.4.1. Especificaciones de Pines.

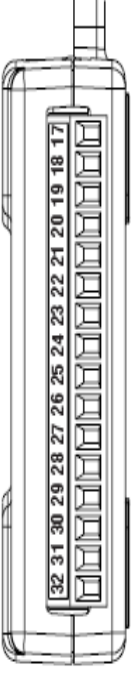
GND	1	17	P0.0
AI 0/AI 0+	2	18	P0.1
AI 4/AI 0-	3	19	P0.2
GND	4	20	P0.3
AI 1/AI 1+	5	21	P0.4
AI 5/AI 1-	6	22	P0.5
GND	7	23	P0.6
AI 2/AI 2+	8	24	P0.7
AI 6/AI 2-	9	25	P1.0
GND	10	26	P1.1
AI 3/AI 3+	11	27	P1.2
AI 7/AI 3-	12	28	P1.3
GND	13	29	PFI 0
AO 0	14	30	+2.5 V
AO 1	15	31	+5 V
GND	16	32	GND

Figura 1.6.6. NI-DAQ 6009

La tarjeta DAQ 6009 tiene dos extremos de puertos, el un extremo salidas y entradas analógicas y el otro extremo salidas y entradas digitales.

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

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

a)

b)

Figura 1.6.7. (a) Terminales Analógicas. (b) Terminales Digitales.

### 1.6.5. SMT (SPECTRAL MEASUREMENT TOOLKIT).

NI Labview Spectral Measurement Toolkit (SMT) es parte de Labview, contiene herramientas y funciones para realizar tareas de análisis de frecuencia. Los VIS Spectral Measurements se encuentran en las funciones »Addons paleta» Spectral Measurements. Permite realizar las siguientes funciones:

- Frecuencia de análisis de transformada rápida de Fourier (FFT).
- Mediciones espectrales.
- Conversión de unidades de RF.
- La potencia máxima y frecuencia central.
- Grafico de Espectrogramas.
- Modulación analógica.

#### 1.6.5.1. Paleta de funciones SMT



Esta paleta de funciones permite convertir los datos digitales adquiridos por él NI-5660 para su análisis de frecuencia y conversión de unidades más comunes como son los dBm, dBW, etc.

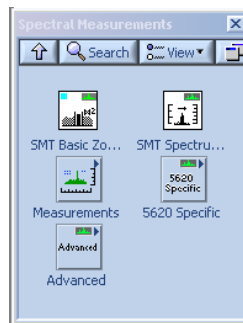


Figura 1.6.8. Paleta de funciones SMT.

### 1.6.5.2. Paleta de configuraciones del Analizador NI-5660



Esta paleta contiene las herramientas de configuración del analizador 5660, como son: inicialización del equipo, adquisición del espectro de potencia, configuración de la adquisición, etc.

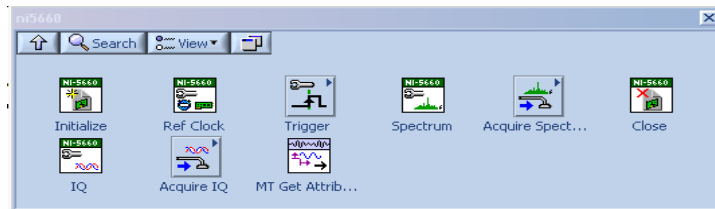


Figura 1.6.9. Paleta de configuración del NI-5660.

### 1.6.5.3. Paleta de configuración del generador NI-5671



Esta paleta contiene todas las herramientas aplicativas para configurar el equipo 5671, para establecer parámetros iniciales de funcionamiento, chequeo de estado, como también el de liberación de recursos.

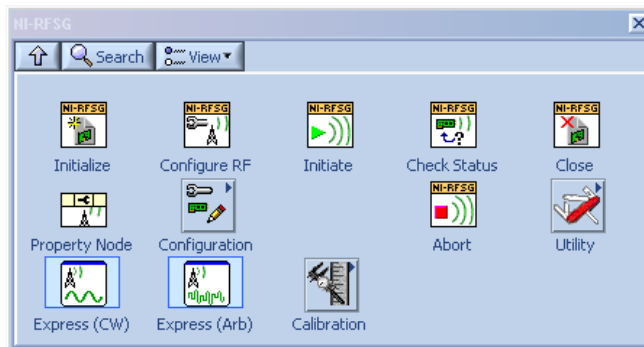


Figura 1.6.10. Paleta de configuración del generador NI-5671.

## 2. CAPITULO II

### ANÁLISIS Y DISEÑO

#### 2.1. ESPECIFICACIÓN DEL SISTEMA

El sistema está conformado por diferentes etapas como muestra la

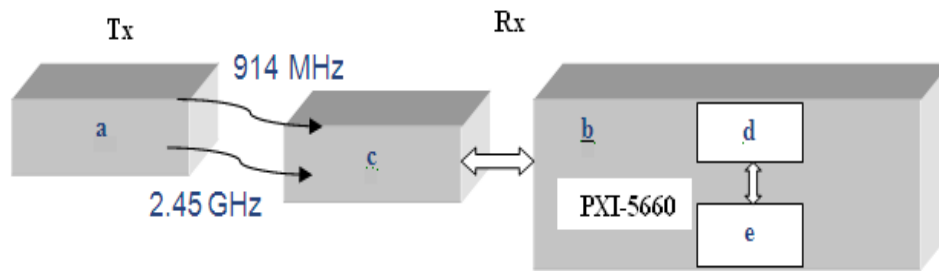


Figura 2.1.1. Sistema Graficador de Patrones de radiación.

- a) El WATTS-2002 proporciona dos frecuencias de Transmisión 914 MHz y 2.45 GHz las cuales son receptoras por el módulo de movimiento y luego pasa al equipo PXI-5660 que posee un rango de recepción de 9 KHz hasta 2.7 GHz. (Nota: Se puede emplear un generador de RF con valores de frecuencia comprendidos en el rango del watts 2002; si se requieren realizar medidas de otro tipo de antenas de RF). También se pudo utilizar el generador vectorial (NI-5671) para la transmisión de frecuencias comprendidas dentro de este rango.
- b) La adquisición de la señal RF es a través del equipo NI -PXI 5660 , es su base de adquisición la programación gráfica, mediante la plataforma Labview, la cual tiene las herramientas de programación y configuración de las tarjetas que forman parte del 5660, como son NI-5600 (Conversión Abajo) y la NI 5620 ( Digitalizador).
- c) El control del sistema de movimiento de antenas se realiza empleando la tarjeta DAQ-6009 y luego a través del sistema diseñado, el cual consiste en 3 motores, el primero corresponde a la base de la primera estructura de las antenas Microstrip o PCB(ver 3.1.3.1), el segundo motor realiza el giro



de las estructuras de las antenas, para adecuar su polarización; y se encuentra en la parte superior de la base de la estructura y el tercer motor corresponde a la rotación de la base de la antena Parabólica (ver 3.1.3.2), para el control del azimut.

- d) El WATTS-2002 envía una de las dos señales en 914 MHz o 2.45 GHz; la cual es receptada por el NI 5600 (Convertidor a bajo) junto con el NI 5620 (Digitalizador); este realiza el procesamiento de la señal con las herramientas propias del software Labview para obtener el espectro de potencia.
- e) Interfaz de usuario en entorno gráfico; se desarrolló un programa, que presenta las siguientes funciones (ver Figura 2.1.1)



Figura 2.1.1. Interfaz de usuario en entorno gráfico.

- **Parámetros de configuración:** Aquí se configura la frecuencia a trabajar, el tipo de antena, la distancia entre Tx y Rx, estructura a utilizar es decir la estructura de las antenas microstrip o de la antena parabólica, tipo de polarización, potencia de Transmisor y operación particular del sistema de movimiento de la antena parabólica.
- **Espectro de Potencia:** Indica el pico máximo de potencia de recepción.

- **Motor Base:** Esta opción controla la rotación de la antena y se puede configurar en forma automática (0 a 360°) o manual (requiere insertar valor).
- **Motor Polarización:** En este menú se puede configurar la polarización horizontal o vertical.
- **Motor antena Parabólica:** En esta función se puede configurar el azimut de la antena parabólica, en forma automática (0 a 360°) o manual.
- **Patrón de radiación:** Esta interfaz indica la gráfica del patrón de radiación en dBm.
- **Base de Datos:** Almacena los datos de: Potencia máxima y el ángulo en el que ocurre; Potencia mínima y ángulo; Potencia en mW; Potencia en dBm, Frecuencia, Ganancia, Eficiencia, Tipo de antena y Polarización; para luego presentarlos en la pantalla principal (panel frontal) de Labview y en el programa de Microsoft Excel.
- **TCP/IP:** Envía la base de datos a una red local; empleando el VI propio de Labview.

## 2.2. CARACTERÍSTICAS Y ARQUITECTURA DEL WATS-2002

Este producto sirve específicamente para analizar las características de las antenas de comunicaciones móviles. Bajo circunstancias normales, las características de las antenas son difíciles de medir y analizar debido a la naturaleza de la onda.

Con este equipo (ver *Figura 2.2.1*) los usuarios seleccionan el tipo de frecuencia a trabajar pulsando botones que se muestran en la pantalla y a continuación el circuito del hardware correspondiente, inicia la operación y los resultados se convierten en datos que son mostrados en la pantalla del ordenador.

### 2.2.1. CARACTERÍSTICAS DEL WATS -2002



Figura 2.2.1. Watts-2002.

- Un sistema de entrenamiento de antenas, que combina hardware y software, para la medición de ciertos parámetros de las antenas.
- Este software se puede instalar de forma independiente como set-up de archivos en Windows.
- Todos los experimentos se puede controlar desde el software.
- Recolección de datos y análisis disponibles desde la pantalla del ordenador.
- Experimentos en comunicaciones móviles.
- Interfaz de usuario en entorno gráfico.
- Circuito de control de movimiento.
- Herramientas de control de movimiento a través de microcomputadora.
- Los datos de medición que aparecen en la pantalla sin necesidad de equipos de medición externos.
- Disponible Simulación.
- Compatibilidad de sistema operativo Windows 98, Windows 2000, Windows XP.
- Apoyo y soporte para Transmisor.
- Apoyo y soporte para Receptor.
- Cable de control de motor RS232C.

- Terminales BNC hembra para TX / RX.
- Cable coaxial 2EA de 1,5 m para TX y RX.
- Software de programa Wats-2002.

## 2.2.2. SISTEMA DE FUNCIONAMIENTO

### a) Potencia

La tarjeta de alimentación es un sistema que se alimenta con CA 110-220 V y proporciona 5V y 12V CC.

Adaptador de toma de corriente de 220V CA y envía 9v 300mA, para el control del motor.

### b) Parte de la transmisión.

Una frecuencia transmitiendo se genera en el sintetizador de frecuencia PLL<sup>10</sup> y es radiada por la antena después de ser incrementada a un nivel requerido por el amplificador. Para una radiación eficiente de la onda, es necesaria la adaptación de impedancia en este caso de 50Ω que debe estar bien acoplado entre un terminal de salida y el conector del cable de una antena.

Para el presente proyecto se utiliza la parte de transmisión que contempla físicamente los terminales de 914Mhz y 2.45Ghz que emite una onda en modulación PSK<sup>11</sup>.

Además se puede realizar diversos experimentos, como por ejemplo obtener las ondas estacionarias de tensión, para medir las intensidades mínimas y máximas del voltaje a través de una línea de transmisión, en nuestro caso el coaxial.

---

<sup>10</sup>PLL: Lazo de seguimiento de fase.

<sup>11</sup> PSK: Modulación digital por desplazamiento de fase.

### c) Parte de la recepción.

Las señales recibidas se amplifican y se convierte en la frecuencia media. Esta frecuencia media se utiliza en el análisis de las características de las señales que recibe, estos valores se transmiten a través del cable RS232 a la computadora y se muestra en la pantalla.

### d) Motor

Motor paso a paso se mueve 0,9 grados.

### e) Apoyo y soportes de la Antenas

Los diferentes tipos de antena se pueden conectar con el soporte de la antena.

En la transmisión, la antena se conecta en la parte superior y tiene la misma estructura para transmitir y recibir. La parte inferior es fija.

En la recepción, la parte inferior está girando con su apoyo de varilla conectada al motor.

## 2.2.3. CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE WATS-2002.

- **Medición del diagrama de radiación:** Grafica el diagrama de radiación de antenas sin datos adicionales.
- **Desvanecimiento:** Características de la tensión de onda formada por la combinación de la onda de incidencia y reflexión. La incidencia de onda está transmitiendo en su forma original y la onda de reflexión se produce por los usuarios a través de retraso de fase y el control de atenuación de la energía, la onda de tensión permanente que combina la incidencia y la onda de reflexión es analizada por el microprocesador y los datos resultante se envía al ordenador a través del cable RS232 y se muestra en la pantalla.
- **Fase de retraso:** Fase de observación de la señal retardada y la señal de onda directa.

- **Atenuación de la energía:** Observar la onda de la señal atenuada y la señal de la onda directa.
- **Múltiples Desvanecimiento:** Combinada las características de desvanecimiento cuando la señal de la incidencia de múltiples rutas posee la atenuación por separado y el retraso de fase.
- **Tiempo de retardo de ondas estacionarias de voltaje:** Tiempo de demora de la señal de datos.
- **Efecto Doppler:** Experimento sobre la frecuencia Doppler de acuerdo a la velocidad de la frecuencia móviles utilizadas.
- **Simulación de la Comunicación móvil en el ambiente:** Características de pérdida de propagación entre el medio ambiente y la frecuencia.

#### 2.2.4. CARACTERÍSTICAS DEL PANEL FRONTAL



Figura 2.2.2. Forma externa del sistema.

- Terminales de transmisión de RF 914 MHz y 2.45 GHz.
- Terminal de salida en caso de retraso de fase y atenuación.
- Terminal de salida para ondas estacionarias de tensión.
- Terminal de salida en caso desvanecimiento.
- Terminales de entrada RF, 914 MHz y 2.45 GHz.

- f. **Po**: Terminal de salida para una señal original o de recepción directa.
- g. **P1**: Terminal de salida para vía de recepción.
- h. **P2**: terminal de salida para una trayectoria de recepción 2.
- i. **Ps**: Resume terminal de salida para cada ruta
- j. **Vo**: Onda de incidencia.
- k. **V1**: Onda de reflexión.
- l. **TO**: Terminal de salida de la onda original
- m. **TD**: Terminal de salida de tiempo de retraso, el tiempo de retardo es el interruptor de selección en el software.
- n. LED indicador.
- o. Interruptor de encendido.
- p. Interruptor de reinicio.

### 2.3. CARACTERÍSTICAS Y ARQUITECTURA DEL PXI-5660/5671

El PXI-5660 proporciona mediciones de RF de hasta 2.7 GHz con rendimiento de 10 a 200 veces mayor que la instrumentación tradicional. Además tiene aplicaciones únicas de procesamiento, visualización avanzada de señales que proporciona National Instruments Labview y LabWindows / CVI<sup>12</sup>.

Mediante el ajuste de toda esta funcionalidad en un paquete muy compacto que es PXI, el analizador de señal RF NI-5660 es una solución rentable para diversas aplicaciones, como en este proyecto al análisis del patrón de radiación y medición de parámetros de diversas antenas.



Figura 2.3.1. NI PXI-5660.

---

<sup>12</sup> Labwindows/CVI: es un entorno de desarrollo integrado para el lenguaje C. CVI es el acrónimo de programación C para Instrumentación Virtual.



### 2.3.1. INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL BASADA EN PXI

El NI PXI-5660 presenta un rendimiento de medición superiores de muy alta velocidad y flexibilidad de adquisición. Utiliza los últimos convertidores analógicos a digital (ADC), ASIC<sup>13</sup> digitales downconversion<sup>14</sup> y filtros ultra miniatura. Además, mediante la construcción de la plataforma abierta de PXI y Labview, el analizador de señal RF NI-5660 refleja las ventajas del estándar de Microsoft y la tecnología Intel.

Se puede utilizar el PXI-5660 para cualquier medida definida en el entorno de software **versátil** de Labview o un entorno de programación C. Junto con el paquete de software de SMT<sup>15</sup>, el NI PXI-5660 ofrece un conjunto completo de herramientas para analizar, medir y visualizar las señales de interés como la señal RF emitida por el WATS-2002.

Labview no sólo toma las mediciones locales, también da las opciones de conectividad Web y otros para compartir los datos con colegas, clientes y proveedores de todo el mundo. Gracias a la tecnología ActiveX de Microsoft, puede conectarse a bases de datos locales y remotos y gestionar eficazmente las aplicaciones.

### 2.3.2. ARQUITECTURA DEL MÓDULO NI PXI-5660

El PXI-5660 es una combinación de dos módulos de hardware y uno de software, el uno de banda ancha downconverter RF NI 5600 (ver 2.3.2.1), el otro hardware es un digitalizador espectral NI 5620 (ver 2.3.2.2) y el paquete de software de SMT con el software de los drivers RFSA<sup>16</sup>. Mediante el uso de una tecnología de última generación, como filtros ultra miniaturizados, osciladores YIG<sup>17</sup> de alta velocidad, el downconverter y digitalizadores RF se puede realizar diversas aplicaciones dinámicas y en tiempo real.

---

<sup>13</sup> ASIC: Circuito integrado de aplicación específica.

<sup>14</sup> Downconversion: Conversión descendente.

<sup>15</sup> SMT: Toolkit de Medición Espectral.

<sup>16</sup> RFSA: Drivers de adquisición Espectral de Radio Frecuencia con Labview.

<sup>17</sup> YIG: (Yttrium-Iron-Garnet) elementos que componen el resonador dentro de un oscilador que genera altas frecuencias.

### 2.3.2.1. Downconverter NI-5600

El PXI-5600 es un sistema modular, cuenta con un amplio ancho de banda en tiempo real, y tiene una excelente integración con digitalizadores PXI para aplicaciones de análisis de RF.



Figura 2.3.2. Tarjeta NI 5600.

La capacidad de ancho de banda del downconverter es útil por dos razones principales.

En primer lugar, mejora el análisis espectral, al aumentar el rendimiento de medición. Debido a que adquiere a 20 MHz de ancho de banda en tiempo real del espectro.

En segundo lugar, debido a la capacidad de ancho de banda, el PXI-5660 captura los datos de frecuencia y fase. Esta información puede ser utilizada como entrada/salida, para la modulación de las mediciones en el software Labview. Súper heterodino.

A la señal entrante primero se aplica una conversión descendente de atenuación seleccionable por el usuario de cualquier señal de hasta 2.7 GHz, se incorpora después una etapa de conversión ascendente. Las señales resultantes son alimentadas a través de un resonador acústico del filtro de rechazo de imagen antes de entrar en un bloque de downconversion multi-etapas. Las señales son convertidas en una salida de IF<sup>18</sup> en una banda de frecuencias de 5 a 25 MHz.

---

<sup>18</sup> IF: Frecuencia Intermedia.

El downconverter utiliza un oscilador de gran estabilidad que conduce el resto de los relojes del sistema y ofrece una precisión de frecuencia  $\pm 50$  ppb. Un oscilador en miniatura de alto rendimiento basado en YIG se utiliza para generar la señal de LO<sup>19</sup> para la etapa Upconverter de alta frecuencia.

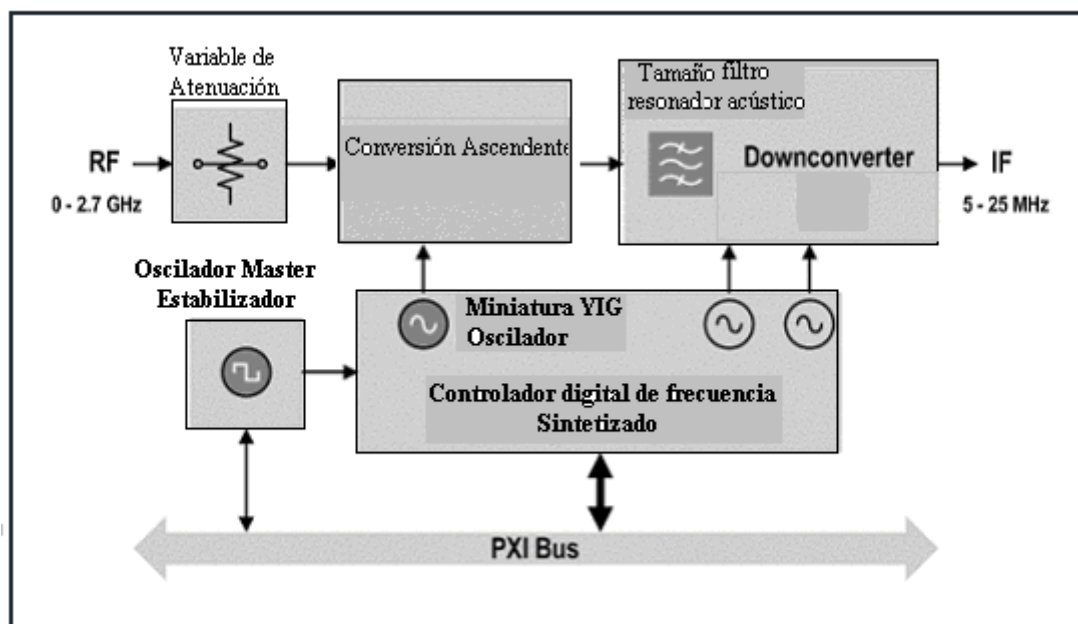


Figura 2.3.3. Arquitectura Downconverter.

#### a) Características Generales

- Recepción de 9 kHz a 2.7 GHz.
- 20 MHz de ancho de banda en tiempo real.
- Alta estabilidad de la base de tiempo (10 MHz OCXO<sup>20</sup>).
- $\pm 20$  ppb de estabilidad de frecuencia.
- $\pm 50$  ppb de precisión de frecuencia.
- $> 80$  dB de rango dinámico sin distorsión.
- $< -135$  dBm / Hz de densidad promedio de ruido.

<sup>19</sup> LO: Oscilador Local.

<sup>20</sup> OCXO: Osciladores de cristal de alto rendimiento.

- 30 dBm de rango de entrada a gran escala.
- Sistema Operativo Windows 2000/NT/XP
- Software de aplicación Labview o LabWindows / CVI.
- Frecuencia IF de 5 MHz a 25 MHz.

#### **b) Entrada analógica**

El PXI-5600 puede adquirir una amplia gama de señales, de +30 dBm a menos de -130 dBm, con 50 dB de atenuación de entrada, escalable en 10 dB que se puede configurar programáticamente desde el software Labview.

#### **c) Características de frecuencia**

- El PXI-5600 ofrece un rango de operación de 9 kHz a 2.7 GHz.
- El PXI-5600 ofrece una base de tiempo de muy alta estabilidad con una estabilidad de frecuencia de  $\pm 20$  ppb<sup>21</sup> y la precisión de frecuencia de  $\pm 50$  ppb, por lo que es útil para una amplia gama de aplicaciones de automatización, donde la precisión de frecuencia se requiere.

#### **d) Precisión**

- El PXI-5600 cuenta con una compensación de software el mismo que reduce el error de amplitud a menos de 0,2 dB.
- Todos los datos adquiridos, tanto en el tiempo y el dominio de la frecuencia se transfiere directamente a Labview o un entorno de programación C, para el análisis y la medición con el más completo conjunto de herramientas de software disponibles.

---

<sup>21</sup> Ppb: Parte por billón

### 2.3.2.2. Digitalizador NI 5620

El PXI-5620 es un módulo digitalizador de un solo canal. Su rango dinámico y resolución lo hacen ideal para todos los tipos de análisis en el dominio de frecuencia. Es adecuado para aplicaciones que van desde ultrasonido a análisis de comunicaciones digitales como pruebas de cable, DSL<sup>22</sup> e inalámbricas.



Figura 2.3.4. Tarjeta NI 5620.

El módulo dispone de un digitalizador ADC rápido y capacidades de hardware de procesamiento.

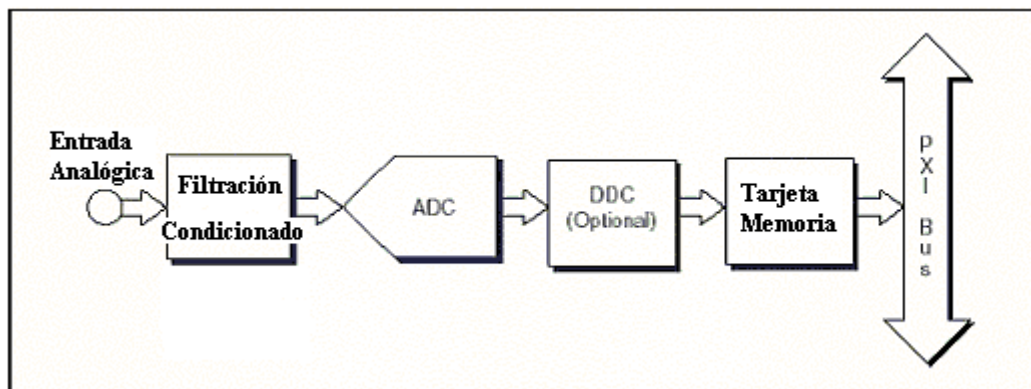


Figura 2.3.5. Arquitectura del Digitalizador

El digitalizador se construye en torno a 14-bit, 64 MS / s ADC<sup>23</sup> y un ASIC de conversión descendente digital. Este chip downconversion digital realiza el diezmado en tiempo real y conversión abajo a la banda de cualquier señal con una duración de hasta 1.25 MHz, ideal para capturar muchos canales de comunicación celular y otros. El ASIC de conversión descendente también genera datos complejos I/O del espectro. El digitalizador incorpora el sistema de alta

<sup>22</sup> DSL: Línea de abonado digital. ( Protocolo de banda ancha de Internet)

velocidad de NI Mini Mite<sup>24</sup> ASIC para la transferencia de datos. El Mini Mite maneja las transferencias de datos DMA<sup>25</sup> de la PC principal, liberando a la CPU para realizar los análisis avanzados, la visualización y las tareas de comunicación.

**a) Características.**

- Ancho de banda (-3 dB) 10 kHz a 36 MHz.
- Memoria segmentada de mayor capacidad.
- Rendimiento excepcional sin distorsión.
- Resolución de 14 bits.
- Rango dinámico sin espurios de 80 dB.
- Velocidad de muestreo de 1 Kmuestras/s a 64 Mmuestras/s.

---

<sup>23</sup> ADC: Conversión Análogo- Digital.

<sup>24</sup> MiniMite: Software de National Instrument.

<sup>25</sup> DMA: Acceso de memoria directa.

### 2.3.3. ARQUITECTURA PXI NI-5671

El modulo NI-5671 es un generador de señales de radio frecuencia (RF) comprendido en un rango de frecuencia de trabajo de 250KHz a 2,7GHz.

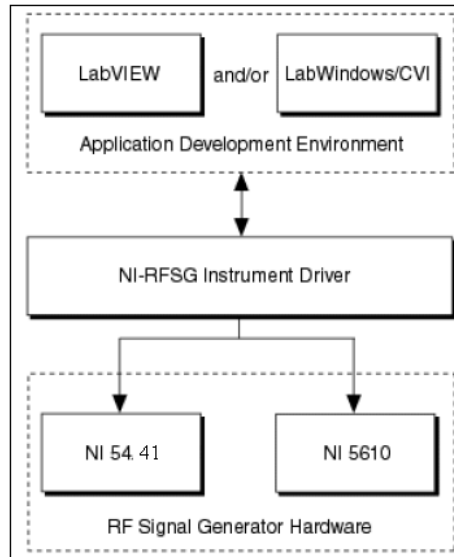


Figura 2.3.6. Arquitectura Modulo NI-5671.

El módulo 5671 está comprendido de dos partes:

#### 2.3.3.1. NI-5441(Generador de señal IF)

Este módulo es el encargado de generar una señal centrada en una frecuencia intermedia entre 15 MHz y 35MHz.

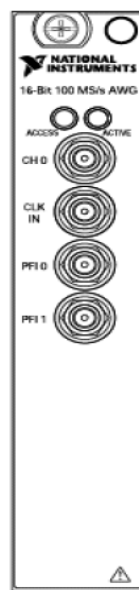


Figura 2.3.7. NI-5441

### 2.3.3.2. NI-5610 (CONVERTIDOR ASCENDENTE)

EL convertidor ascendente NI-5610 recibe la señal centrada IF entre 15MHz y 35MHz del NI-5441 y lo traslada (conversión ascendente) a un rango de frecuencia entre 250KHz y 2,7GHz, que es una señal analógica lista para ser utilizada en una aplicación de generación de señal RF.

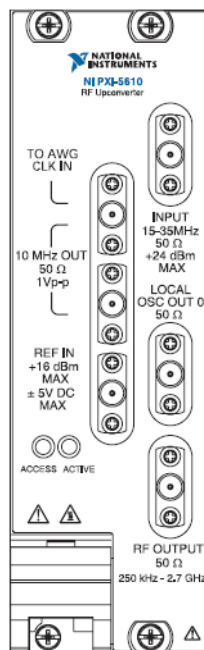


Figura 2.3.8. NI-5610.



### 2.3.3.3. Chasis NI PXI-1042

- Rango de operación extendido de 0 a 55 °C.
- Bajas emisiones acústicas de 43 dBA<sup>26</sup>.
- Selección de ventilador AUTO/ALTO para optimizar el enfriamiento y las emisiones acústicas.
- Cumple con las especificaciones de PXI y Compact PCI<sup>27</sup>.
- Suministro de potencia AC desmontable y de alto rendimiento.
- Acepta ambos módulos PXI y Compact PCI 3U<sup>28</sup>.
- Disponibles 4 slots adicionales, para la conexión de otras tarjetas PXI.

Los chasis de la Serie PXI-1042 están diseñados para cumplir con una amplia variedad de aplicaciones de prueba y medida.

El chasis de la Serie PXI-1042 incorpora todas las características de la última especificación PXI, incluyendo el reloj de referencia integrado de 10 MHz, el bus de disparo PXI en estrella y bus local.



Figura 2.3.9. Chasis PXI 1042.

---

<sup>26</sup> dBA: Decibeles ponderados.

<sup>27</sup> CompactPCI: Placas que están conectadas a través de un pasivo PCI placa madre.

<sup>28</sup> 3U: tres unidades de rack. U es una unidad de medida utilizada para describir la altura de los equipos destinados para el montaje en un rack de 19 pulgadas o un rack de 23 pulgadas.

#### 2.3.3.4. Controlador PXI NI-8106

Este controlador embebido elimina la necesidad de una PC externa, proporcionando un sistema completo contenido dentro del chasis PXI. Este controlador embebido<sup>29</sup> posee dispositivos estándares tales como una CPU integrada, disco duro, RAM, Ethernet, video, teclado/mouse, puerto serial, USB y otros periféricos, así como la plataforma de Windows Microsoft y todos los controladores de dispositivos instalados.

El controlador embebido está disponible para sistema basado en PXI o PXI Express, y su elección de sistema operativo, incluyendo Windows Vista/XP o Labview Real-Time.



Figura 2.3.10. Controlador PXI 8106.

#### 2.3.4. ARQUITECTURA DEL SMT (SPECTRAL MEASUREMENT TOOLKIT)

El software se centra alrededor de entornos de desarrollo de instrumentos de aplicación (ADE<sup>30</sup>) como Labview y LabWindows / CVI.

Posee drivers para el hardware de dos módulos de interfaz directa a la ADE como el NI-5600 y el N-5620, adecuado para las capacidades del hardware nativo con la flexibilidad del entorno de software Labview.

Labview ofrece una serie de herramientas con las que se puede construir una aplicación totalmente personalizada de RF.

---

<sup>29</sup> **Embebido:** Es un sistema empotrado o un sistema de computación diseñado para realizar una o algunas pocas funciones dedicadas frecuentemente en un sistema de computación en tiempo real.

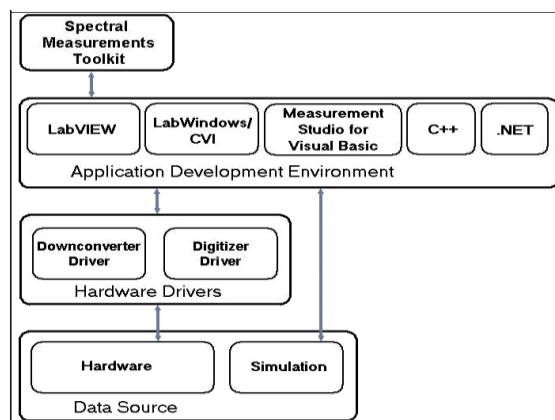
<sup>30</sup> ADE: Entorno de desarrollo de instrumentos de aplicación.

El SMT proporciona capacidades de análisis y presentación. Además contiene algoritmos altamente optimizados como FFT<sup>31</sup> que ofrecen análisis en dominio de la frecuencia, así como algoritmos de medición para el cálculo de medidas espectrales comunes, tales como pico de potencia y frecuencia, potencia en banda, y el ancho de banda ocupada.

También proporciona y captura procesamiento de FFT que es muy útil para aplicaciones donde se requiere el análisis espectral en tiempo real, el procesamiento de bloques de FFT es más útil como método de post procesamiento.

En este proyecto SMT hace parte indispensable de Labview, que en función conjunta proporciona potentes herramientas diseñadas específicamente para extraer información útil de cualquier conjunto de datos obtenidos, análisis de mediciones y procesamiento de señal. Labview ofrece funciones que se puede incorporar de forma sencilla, en otras aplicaciones, con el fin de añadir el análisis en línea y tener una capacidad decisoria basada en criterios técnicos. Las funciones disponibles incluyen bibliotecas de matemáticas, herramientas avanzadas de procesamiento de señales, funciones de medición de análisis como FFT y espectro de potencia, generación de señales, filtros digitales, y el ajuste de la curva.

A continuación se presenta la arquitectura general aplicativa del SMT, ver *Figura 2.3.11*.



**Figura 2.3.11. Arquitectura del SMT.**

<sup>31</sup> FFT: Transformada Rápida de Fourier.

## 2.4. CARACTERÍSTICAS Y ARQUITECTURA DE LOS MOTORES PASO A PASO

Dentro del extenso grupo de motores de corriente continua, se encuentran los motores paso a paso, que a su vez se dividen en Bipolares y Unipolares; los cuales se diferencian entre sí por sus características físicas y su modo de operación.

El manejo y uso de estos motores no es tan simple como en otros motores de corriente continua, puesto que requieren de un circuito de potencia y de un programa que controle el número de grados de giro según los pasos dados, y a su vez el retraso entre pulsos para determinar la velocidad. Los motores unipolares son usados con mayor frecuencia en autómatas y equipos que requieran una alta precisión.

Además existe la posibilidad de enclavar el motor en una posición determinada, cuando una o más de sus bobinas están energizadas; por tanto el motor estará detenido en una sola posición. Por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

Toda la conmutación o excitación de las bobinas de los motores va a ser externamente manejada por un controlador, en este caso la tarjeta DAQ-6009, programada en Labview.



Figura 2.4.1. Motor Paso a Paso utilizado en el proyecto.

### 2.4.1. SECUENCIAS UTILIZADAS

Este tipo de motores poseen de 5 a 6 cables de salida, de los cuales cuatro son para la recepción de los pulsos y activación de las correspondientes bobinas y los cables adicionales se utilizan para la alimentación de 24V, 12V, 5V.

Como son cuatro las bobinas de activación se necesita generar una secuencia de pulsos de 5V. Para revertir el giro de los motores se necesita tan solo invertir la secuencia de los mismos.

➤ Secuencia Wave Drive.

La secuencia activa una bobina a la vez, teniendo un funcionamiento suave pero perdiendo torque por paso y la retención es mínima. Esta secuencia es utilizada en el proyecto para el accionamiento del motor base de la estructura de las antenas PCB. En la **Tabla 1.4-2**. Muestra los pulsos en voltaje que se debe aplicar a las bobinas de los motores.

➤ Secuencia Normal.

La secuencia realiza un paso por pulso y siempre están activas dos bobinas, por lo que genera más torque y retención por paso dado. Se hace referencia en la **Tabla 1.4-3**. Se utiliza esta secuencia en el motor de polarización de las antenas Microstrip y del motor base de la antena Parabólica.

## 2.4.2. CIRCUITO INTEGRADO DE CONTROL

Para los motores utilizados en el proyecto se utilizó un L293D (puente H) por cada motor, y los circuitos de control son equivalentes para los tres motores.

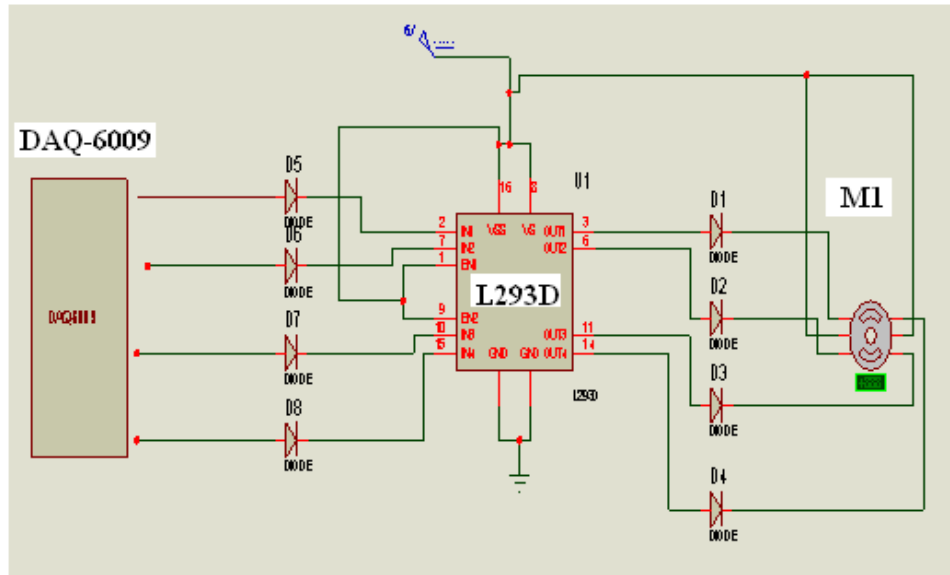


Figura 2.4.2. Circuito de control de un motor a pasos.

## 2.4.3. CONTROLADOR

Labview le da la flexibilidad de un potente ambiente de programación, pero mucho más sencillo que los entornos tradicionales. El lenguaje que usa es lenguaje Gráfico y se puede conectar de manera transparente con todo tipo de hardware como la tarjeta de adquisición NI DAQ-6009.

**La tarjeta NI DAQ-6009**, tiene múltiples propósitos en forma conjunta con sensores, como el medir un fenómeno eléctrico y físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido y también de enviar datos de control en forma digital o analógica hacia diferentes actuadores.

En el presente proyecto, se utiliza Labview, para el envío de datos a los 12 puertos digitales P0.0 a P1.3 (ver Figura 1.6.7) que posee la DAQ; para el control de las bobinas de los motores paso a paso.



Figura 2.4.3. Asistente de configuración DAQ-6009 en Labview.

En Labview se configura en el diagrama de bloques (1.6.2) cada uno de los puertos digitales de la DAQ 6009.

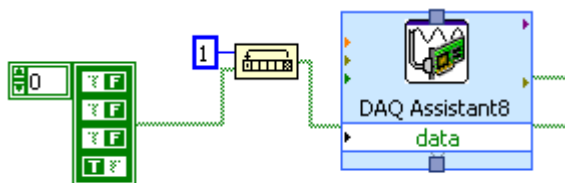
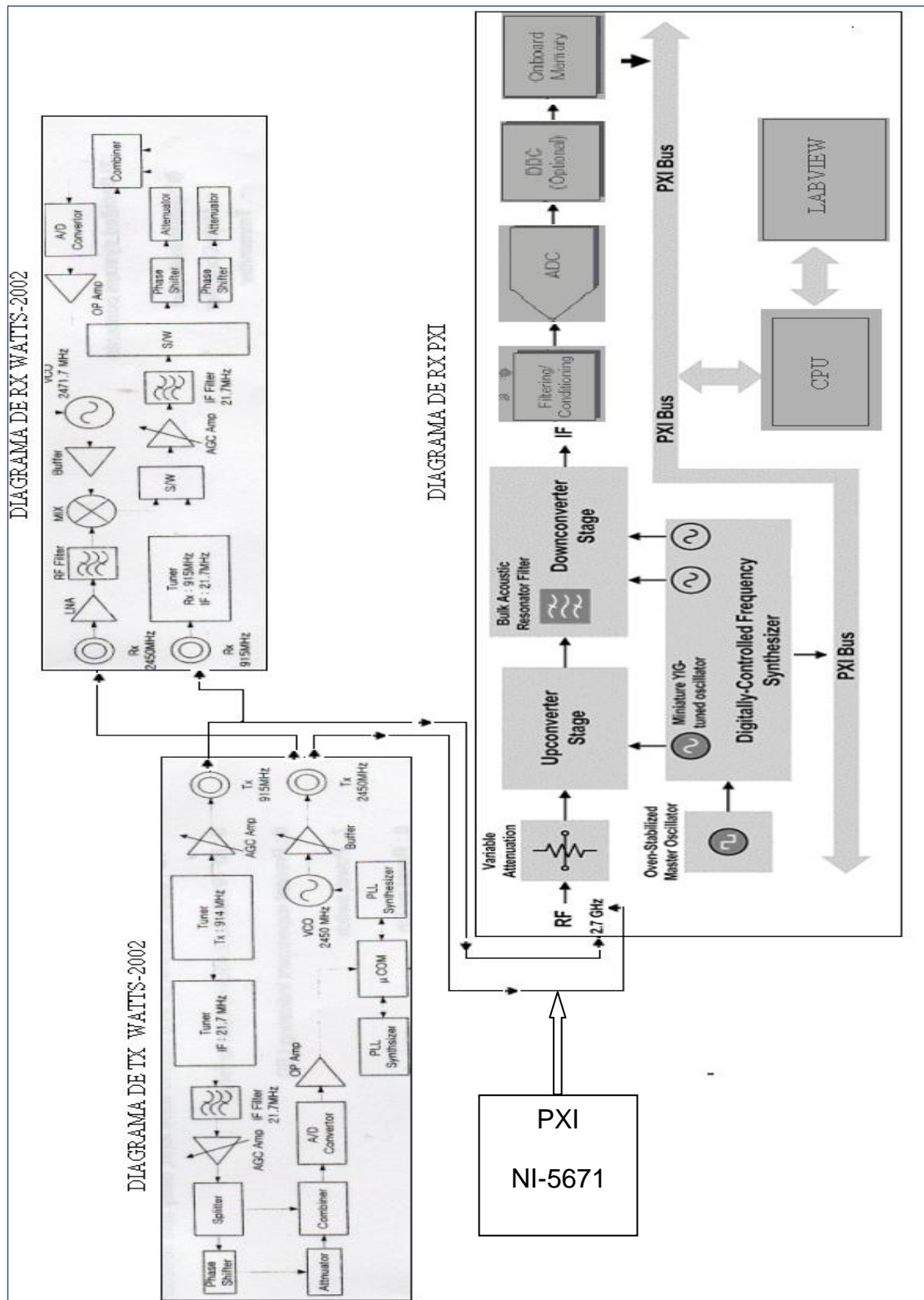


Figura 2.4.4. Pulso de datos enviado a los puertos de la DAQ-6009.

## 2.5. DIAGRAMAS DE BLOQUES DEL SISTEMA COMPLETO





## **2.6. DISEÑO DEL SOFTWARE DE CONTROL DEL SISTEMA DE MOVIMIENTO DE ANTENAS RECEPTORAS CON MOTORES PASO A PASO**

En el proceso de diseño del software para controlar el mecanismo de movimiento del sistema completo de recepción y según la necesidad para la adquisición de los datos y robustez del mecanismo se prefirió en general motores paso a paso unipolares que permitan, por cada pulso aplicado, girar  $1,8^\circ$  por paso y se alimenten con un voltaje de 5V, los mismos proveen facilidad de control un paso a la vez y mayor precisión de posición en grados al momento de realizar la ejecución del sistema de movimiento, optimizando así la adquisición del espectro de potencia y a través de este parámetro se determina a posteriori, el patrón de radiación.

El diseño del control se realiza para tres motores PAP<sup>32</sup> dividido en dos sistemas de movimiento, uno para el sistema de movimiento de antenas impresas o antenas microstrip y el otro para el sistema de movimiento de una antena parabólica. En el primer sistema un motor se encargará de mover la base del soporte en  $360^\circ$  en el plano xz y un segundo motor será el encargado de polarizar horizontalmente o verticalmente a dichas antenas realizando un giro de constante de  $90^\circ$ . Para el segundo sistema se utiliza un solo motor con características más robustas debido al peso de la antena parabólica, el mismo que realizará el movimiento en  $360^\circ$  en el plano xz.

---

<sup>32</sup> PAP: Motores Paso a Paso.

### **2.6.1. SOFTWARE DE CONTROL DEL MOTOR BASE Y MOTOR DE LA PARABÓLICA**

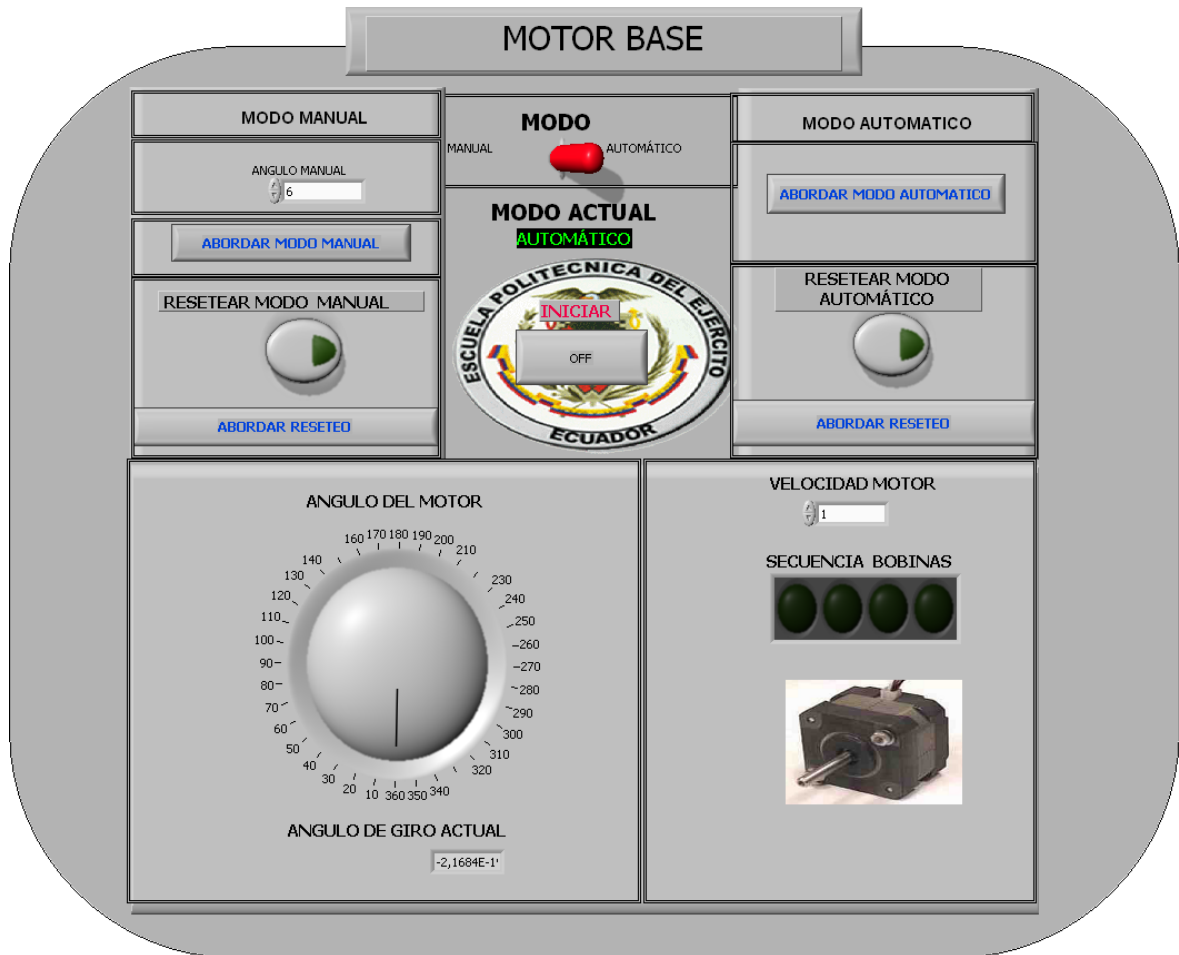
El programa debe controlar una secuencia de 4 bits, con los que se activará cada una de las 4 bobinas del motor base unipolar. Estos bits deben ser generados en el puerto digital de la tarjeta NI DAQ-6009. El software para el código de control del Motor Base y el Motor de la Parabólica es el mismo.

El software consiste de:

- Un control de la velocidad de los pasos, a una velocidad estándar de 1[seg]; establecida por pruebas realizadas, para una óptima recepción de datos.
- Un indicador gráfico y numérico de posición del motor en tiempo real con un rango de 0-360°, el cual debe estar sincronizado con la posición del motor base y motor de la parabólica.
- Un control booleano, para resetear los motores a la posición inicial por cuestiones mecánicas de la estructura.
- Un control booleano que seleccione un modo automático (0-360°) o manual para la ejecución de la posición de los motores.
- Un indicador gráfico que presente la secuencia en estado activo o inactivo de las bobinas de los motores.
- Controles de abordar en caso de emergencia.

### 2.6.1.1. Interface gráfica del panel frontal para el control de Motores PAP

En la *Figura 2.6.1*, se muestra el panel frontal del programa con las funciones antes mencionadas.



**Figura 2.6.1. Panel Frontal de la interface de control de Posición de los Motores PAP.**

Para el desarrollo del código base del sistema de control de movimiento se programa en el Block Diagram de Labview.

A continuación se muestra la programación, donde se explica el funcionamiento de las partes principales y necesarias, de la programación del Motor Base y el Motor de la Parabólica conjuntamente.

### 2.6.1.2. Diagrama de bloques de Motores Base y Parabólica

#### a. Modo Manual

Permite al usuario fijar una posición específica de la posición del motor base y el motor de la parabólica. Y cada parte numerada se explica a continuación:

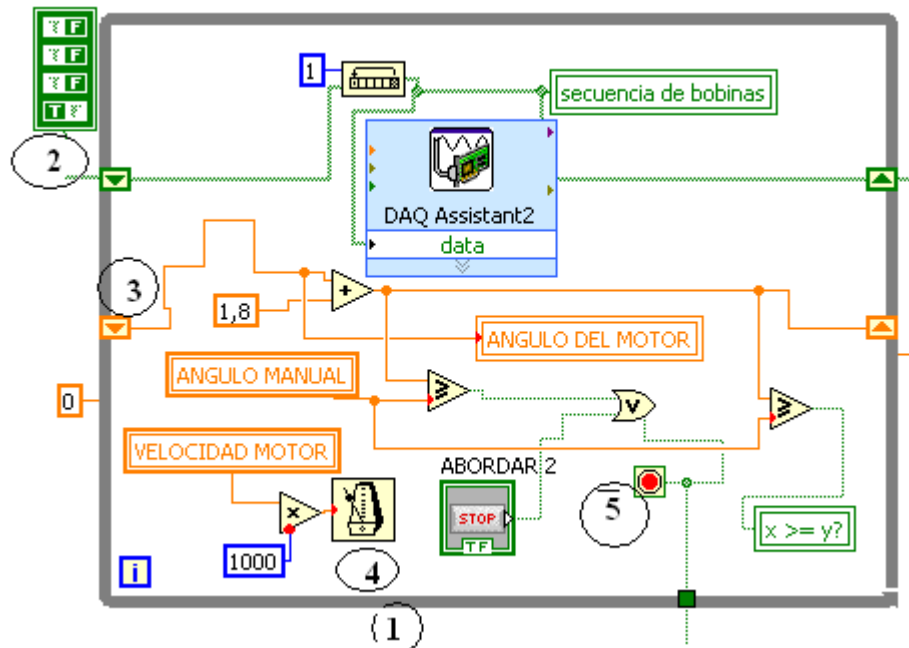


Figura 2.6.2 . Iniciación de pulsos anti horario para las salidas digitales de DAQ-6009.

1. Posee una estructura while para la ejecución continua del envío de datos a las salidas digitales de los puertos P0.0 – P0.3 (Motor Base) y P1.0 – P1.3 (Motor de la Parabólica) de la DAQ-6009.
2. El array<sup>33</sup> de booleanos con un **TRUE** activo indica el dato a ser enviado como pulso de 5V a los puertos P0.0-P0.3 y P1.0-P1.3 de la DAQ, rotándolo consecutivamente con la ayuda de la función **róate 1D array**, que rota un espacio anti horario al **TRUE** y es visualizado en el indicador **secuencia de bobinas**.
3. Un **Shift Register**<sup>34</sup> que contiene la equivalencia del pulso en 1.8° por paso del motor sumando secuencialmente en cada ciclo y mostrado en el indicador **Angulo del Motor** hasta llegar a la posición del **Angulo Manual**.

<sup>33</sup> **Array**: Arreglo de vectores o matrices.

<sup>34</sup> **Shift Register**: Variable de almacenaje sucesiva de dato anterior cuando se utiliza varias interacciones.

4. Un tiempo de envío del pulso a los puertos relacionando entre la **velocidad del motor** y multiplicándolo por 1000 para convertirlo en un tiempo en segundos.
5. Un control que permite **abordar** el modo manual.

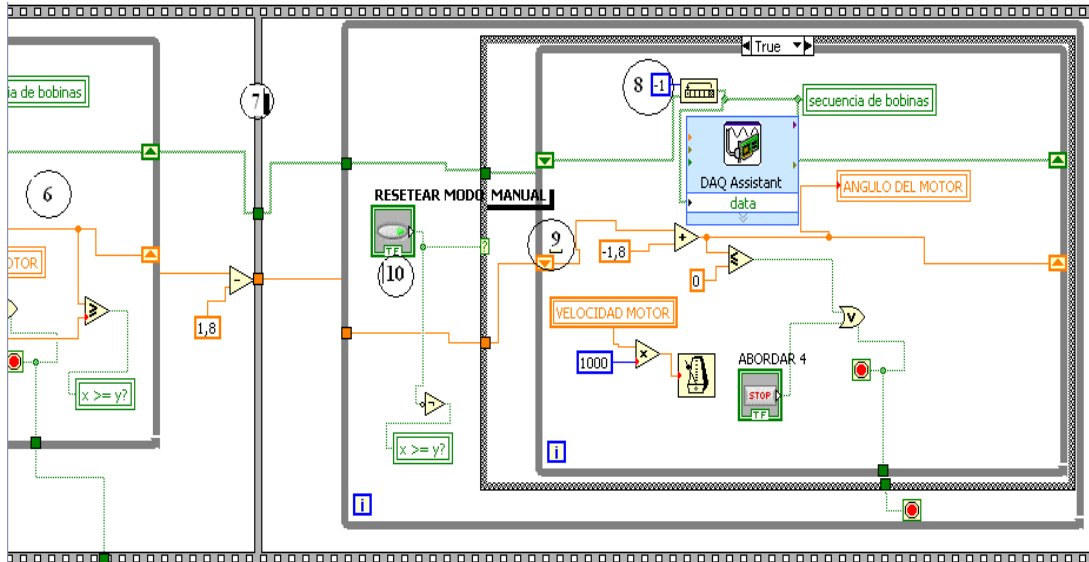


Figura 2.6.3 Reseteo del Modo Manual.

6. Proceso de Iniciación de pulsos anti horario para las salidas digitales de la DAQ-6009 y activar las bobinas de los motores.
7. División del **Flat Sequence Structure** que permite primero se complete la ejecución de un proceso en este caso del punto 6 y luego se habilite el proceso de **Reseteo Modo Manual**.
8. En el proceso de Reseteo se le coloca una constante negativa a la función **rótate 1D array** para que los pulsos se inviertan y se de una rotación secuencial de los motores en forma horaria.
9. Al igual que en el caso del punto 6 se tiene un **Shift Register** que almacena constantemente el reseteo secuencial del **Angulo del Motor** en  $1.8^\circ$  con relación al pulso dado horariamente.
10. Un control booleano **Resetear Modo Manual** que permite activar el proceso de Reseteo del Motor base.

## b. Modo Automático.

Al activar el Modo Automático los motores se posicionan ininterrumpidamente de 0° hasta 360°.

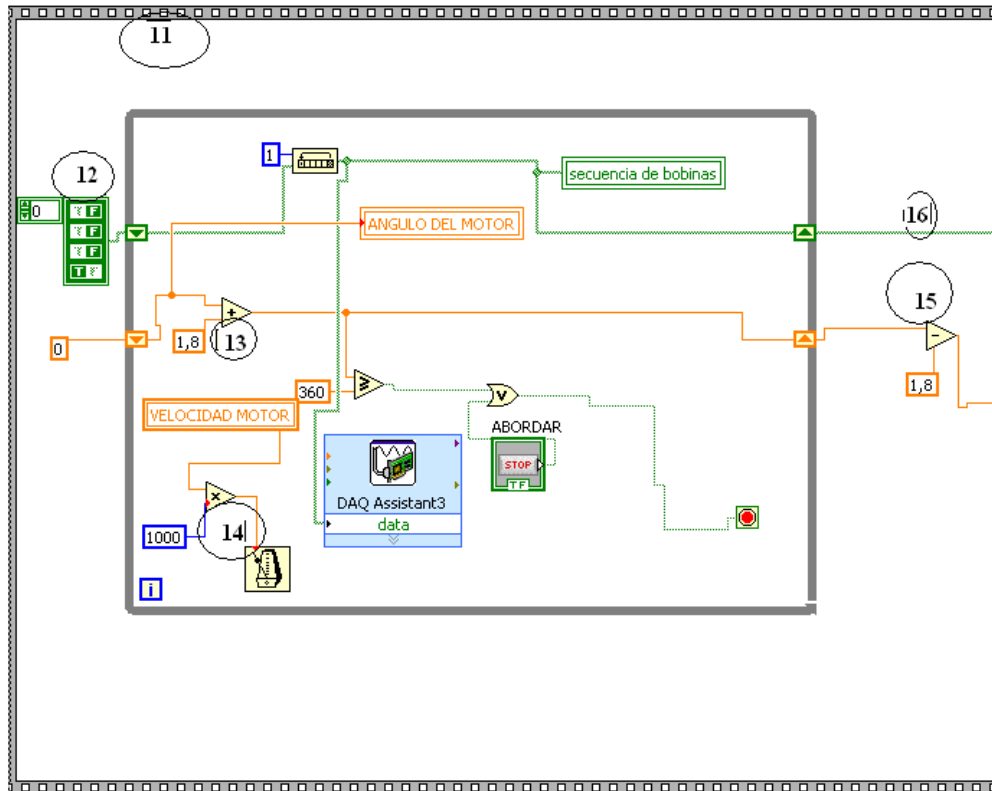


Figura 2.6.4 Iniciación de pulsos anti horario para las salidas digitales de DAQ-6009.

11. El **Flat Sequence Structure** obliga al presente proceso interno se complete en su totalidad la ejecución de iniciación de los pulsos anti horario para el modo automático.
12. **Array** de constantes booleanas<sup>35</sup> que posee un solo elemento **True** el mismo que simula un pulso de 5V en los puertos P0.0 –P0.3 y P1.0 – P1.3 de la DAQ-6009, el mismo que es rotado anti horariamente por la función **rótate 1D array** y son observados en el panel frontal por el indicador **secuencia de bobinas**.
13. Por cada interacción de la **estructura While** el dato 1,8 se almacena en los **Shift Register** y se observa secuencialmente en el indicador **Angulo**

<sup>35</sup> Booleano: Valor que puede adoptar una condición de Verdadero o Falso.

**del Motor** hasta que llegue a 360°, en el cual se detiene la estructura **While** y deja de sumar el dato en 1,8.

14. El tiempo para la salida de los pulsos en los puertos de la DAQ-6009 y ver secuencialmente en el panel frontal como aumenta el dato de 1,8 equivalente a la posición por paso de los motores, relacionada con la velocidad que se utilice para los pulsos del motor.
15. Se resta 1,8 para que en el siguiente **flat sequence** comience desde el último dato del shift register.
16. De igual manera que en el punto 15 pero con datos booleanos.

### c. Selección de modo de operación de los motores.

El código interno de funcionamiento individual de la activación en Modo Manual y en Modo Automático se explicó anteriormente, a continuación se presenta el código que permite activar cada uno de los modos de operación del Motor Base y Motor de la Parabólica según sea la necesidad del usuario e identificar en el panel frontal el control que permite realizar esta operación.

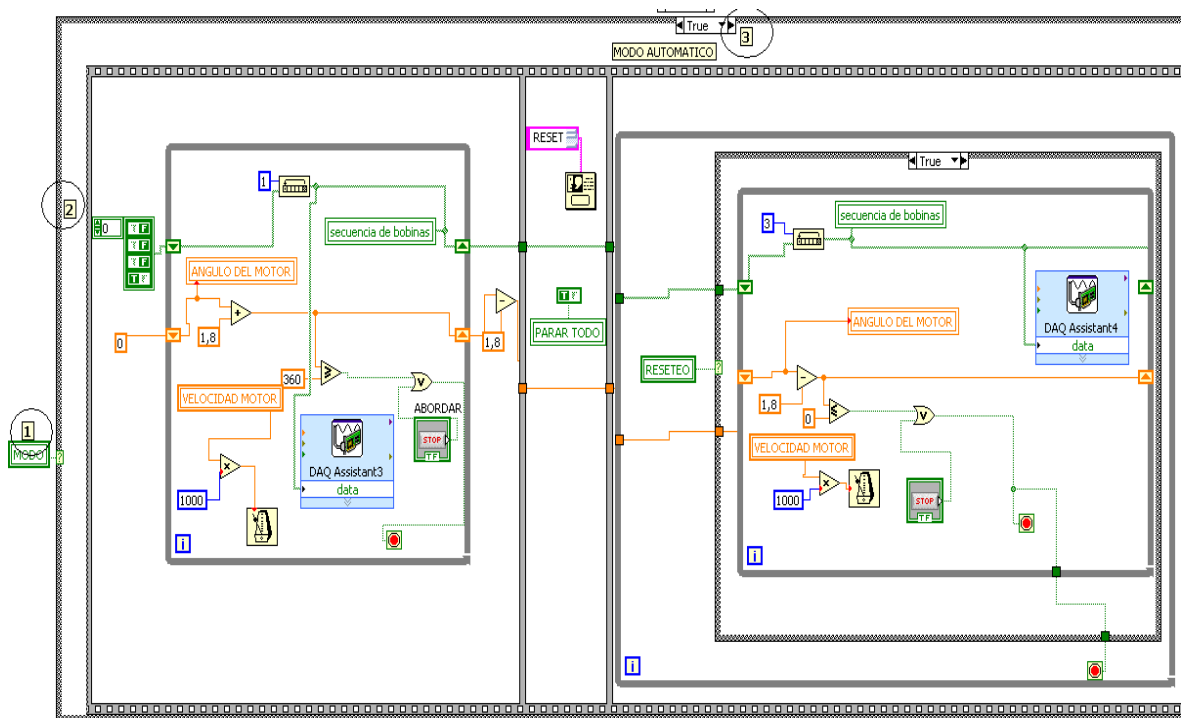


Figura 2.6.5 Estructura del código en Modo Automático completo.

1. **Variable** de control booleano (**True o False**) del panel frontal denominado **MODO**, el cual nos permite seleccionar Modo Automático o Modo Manual.
2. **Estructura Case** que se encarga de ejecutar el código dentro de su estructura dependiendo del valor del selector booleano (**MODO**), es decir, si el valor del control MODO es **True** el código que se ejecuta es el Modo Automático; caso contrario (**False**) se ejecuta el Modo Manual.



3. **Indicador de la estructura en ejecución True o False, Automático y Manual correspondientemente.**

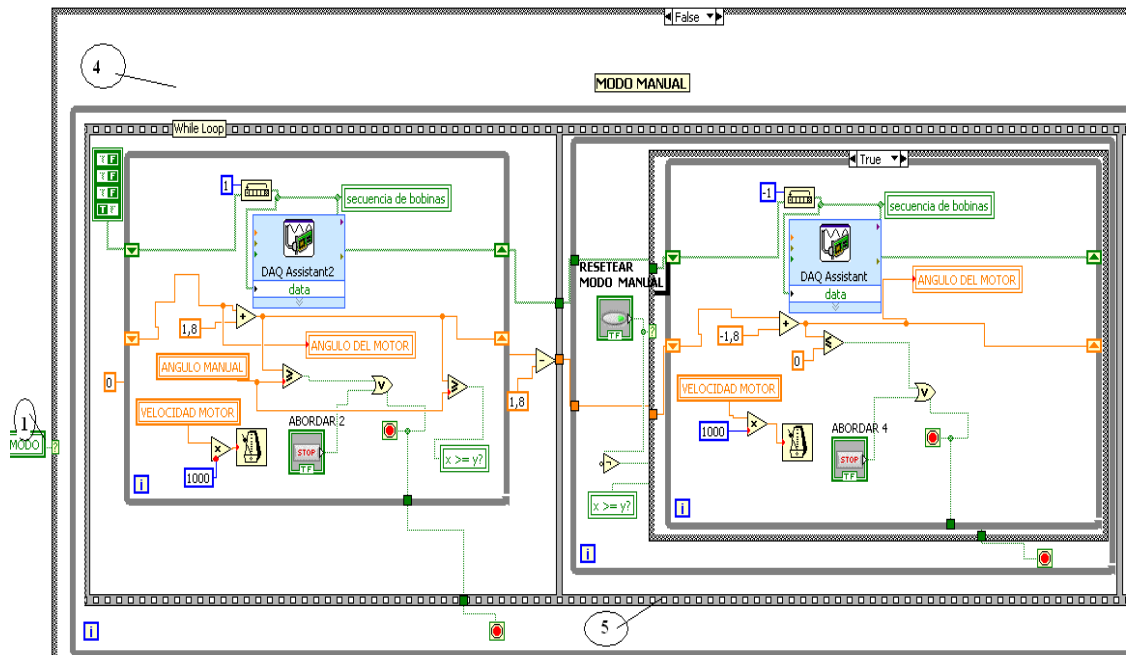


Figura 2.6.6 Estructura del código completo en Modo Manual.

4. **Estructura Case** del código en Modo Manual.

5. **Estructura While** que permite la ejecución de interacciones infinitas del código en Modo Manual.

En el panel frontal se localiza el control booleano **MODO** que interactúa con el usuario.

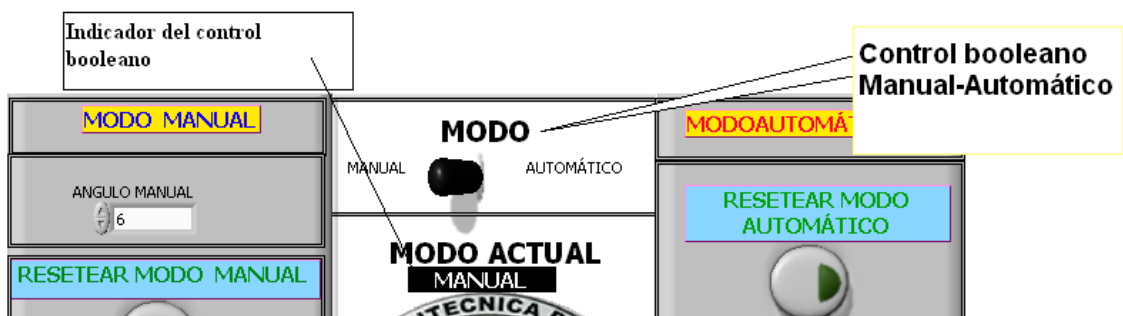


Figura 2.6.7. Identificación en Panel Frontal del control booleano.

## 2.6.2. SOFTWARE CONTROL DEL MOTOR DE POLARIZACIÓN

Para diseñar el programa de control del motor de polarización se hace referencia a los puntos tratados anteriormente (ver 2.6.1) teniendo en cuenta que este motor de polarización solo tendrá un rango de posicionamiento de 0-90°.

### 2.6.2.1. Panel Frontal Motor de Polarización

El panel frontal del Motor de Polarización presenta idénticas características al panel frontal del Motor Base (ver 2.6.1.1) con diferencia en su ángulo máximo de posicionamiento que es de 90°.



Figura 2.6.8 Panel Frontal del Motor de Polarización.

### 2.6.2.2. Diagrama de bloques Motor de Polarización.

### 2.6.2.3. Modo Automático

Presenta algunas modificaciones con respecto a la programación de código del Motor Base.

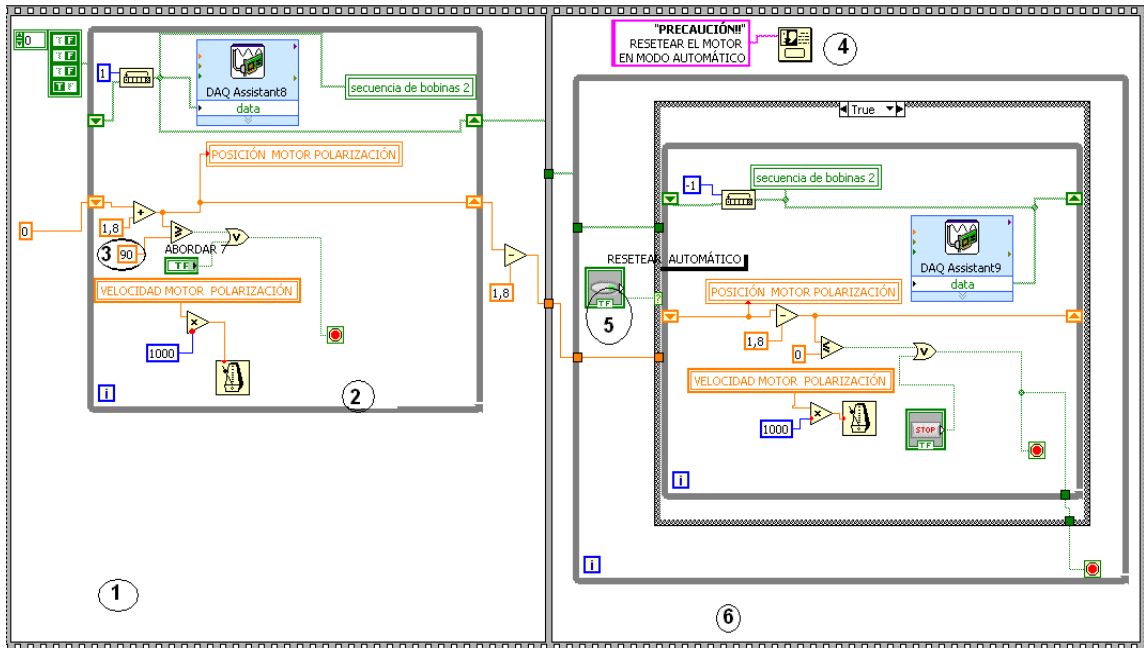


Figura 2.6.9 Código de programación en Modo Automático.

1. Primera estructura Flat Sequence que contiene la inicialización de los pulsos para el control del motor de polarización.
2. Estructura While que permite presentar los pulsos varias veces en la DAQ.
3. Constante de 90 como condición para detener el envío de los pulsos a los puertos P4- P7 de la DAQ-6009 relacionada a la posición máxima de 90° del Motor de Polarización.
4. Despliega un dialogo con el usuario advirtiendole el reseteo obligatorio del Motor de Polarización.
5. Control Booleano (**Resetear Automático**) que da la orden a la Estructura Case de activar el código de reseteo.
6. Segunda estructura secuencial.

## 2.6.2.4. Modo Manual

La estructura de codificación es igual al punto 2.6.1.2.

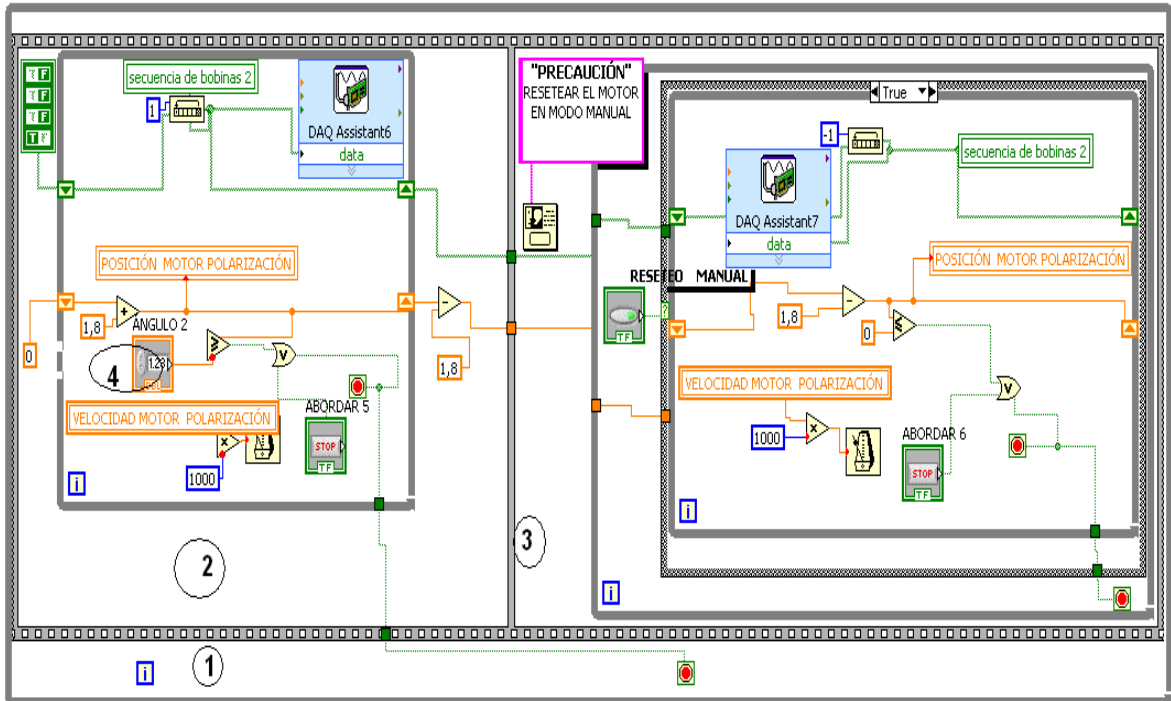


Figura 2.6.2.3. Código de programación en Modo Manual.

1. Estructura While que permite la interacción<sup>36</sup> infinita de la Estructura Flat Sequence y su código interno.
2. Primera estructura secuencial con el código de inicialización de los pulsos enviados a los puertos P4-P7 de la DAQ.6009.
3. Primera estructura secuencial con el código de reseteo del motor enviado a los puertos P4-P7 de la DAQ.6009.
4. Control en panel frontal que ingresa el ángulo de posicionamiento manual del Motor de Polarización.

<sup>36</sup> Interacción: Proceso en un tiempo determinado.

## 2.7. DISEÑO DEL SOFTWARE GRAFICADOR DEL PATRÓN DE RADIACION DE ANTENAS

Para el diseño del software de patrón de radiación se debe definir y tomar mucho en cuenta, factores y parámetros que intervienen, como es el caso de la **Densidad espectral de Potencia** que es una función matemática que informa de cómo está distribuida la potencia de la señal sobre las distintas frecuencias de las que está formada, y principalmente como es la necesidad de la adquisición del **espectro de Potencia** que permite saber la representación grafica del cuadrado medio de la **densidad espectral de Potencia**.

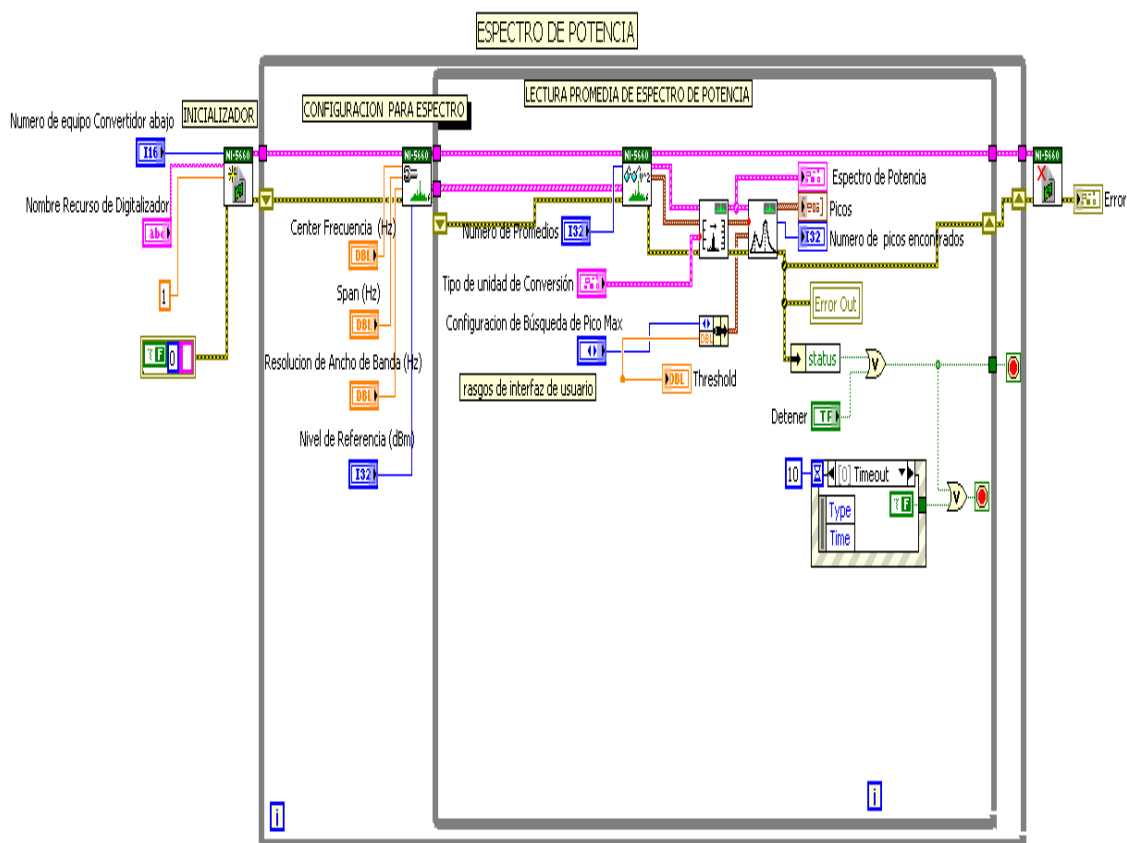
Para el diseño del software Graficador de Patrón de radiación, se emplea el **Espectro de Potencia**, porque permite saber particularmente en que componente de frecuencia está contenida la potencia de la señal, debido a que se encarga de calcular el área bajo la curva de la señal, por medio de la transformada de Fourier.

Labview y el Módulo PXI-5660 tienen las herramientas necesarias para obtener el espectro de Potencia de cualquier señal en un rango de frecuencia que está entre 9 KHz a 2,47GHz, con la utilización del toolkit SMT (Spectral Measurement Toolkit) y los drivers del NI RFSA (Signal Analyzer RF) permite mayor facilidad de adquisición y de análisis de las señales RF.



### 2.7.1. ADQUISICIÓN DEL ESPECTRO DE POTENCIA CON EL MÓDULO NI-5660

Para la adquisición del **espectro de potencia** se utiliza algunos **VI**, que están disponibles en Labview. (Instrument I/O- Instrument Drivers-ni5660)

En la figura *Figura 2.7.1* presenta el código de adquisición del espectro de potencia indicando brevemente algunas herramientas y los 5660 VI utilizados.





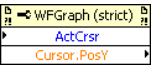
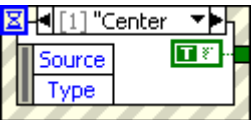



**Figura 2.7.1** Diagrama de bloques de la adquisición del espectro de potencia.

1.  **ni5660 Inicializador VI:** Este VI realiza las acciones de la inicialización siguientes:
  - Crea una nueva sesión de inicialización del instrumento RF analizador de señales (NI-5660), configurando el número de dispositivo correspondiente al downconverter que es NI-5600 y el nombre de recurso del digitalizador siendo el NI-5620.
  - Envía una orden de inicialización para restablecer ambos módulos de hardware (5600 y 5620).
  
2.  **ni5660 Configurador para Espectro VI:** Este VI configura al hardware RF del Analizador Señalado para adquirir un espectro de


frecuencia-dominio con las configuraciones espectrales que se especifique.

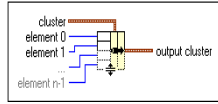
Centra la frecuencia, span<sup>37</sup>, y resolución de ancho de banda, parámetros que se configuran y definen el espectro. También se puede especificar el tipo de la ventana, el número de líneas espectrales, y ancho de banda (RBW).



3.  **ni5660 lectura promedia de espectro de potencia:** Este VI computa el espectro de potencia promediado que corresponde a las configuraciones espectrales especificados en el **ni5660 Configurator para Espectro**.
4.  **SMT espectro unidad conversión vi:** Realiza la conversión de la unidad en un espectro de potencia.
5.  **SMT Búsqueda de Cresta de Espectro vi:** Realiza la búsqueda máxima en un espectro de potencia o espectro de amplitud que se especifique.
6.  **ni5660 Close vi:** Realiza el cierre de todos los recursos de operabilidad del 5660.
7.  **Nodo de propiedad:** El Nodo de Propiedad adapta automáticamente a la clase del objeto que se hace la referencia en este caso hacen referencia al indicador grafico.
8.  **Estructura evento:** La estructura de Evento espera hasta un evento que pase, entonces ejecuta el caso apropiado para ocuparse de ese evento.
9.  **Espectro de Potencia :** Indicador tipo cluster, permite la visualización del espectro de potencia con respecto a la frecuencia en coordenadas xy.

---

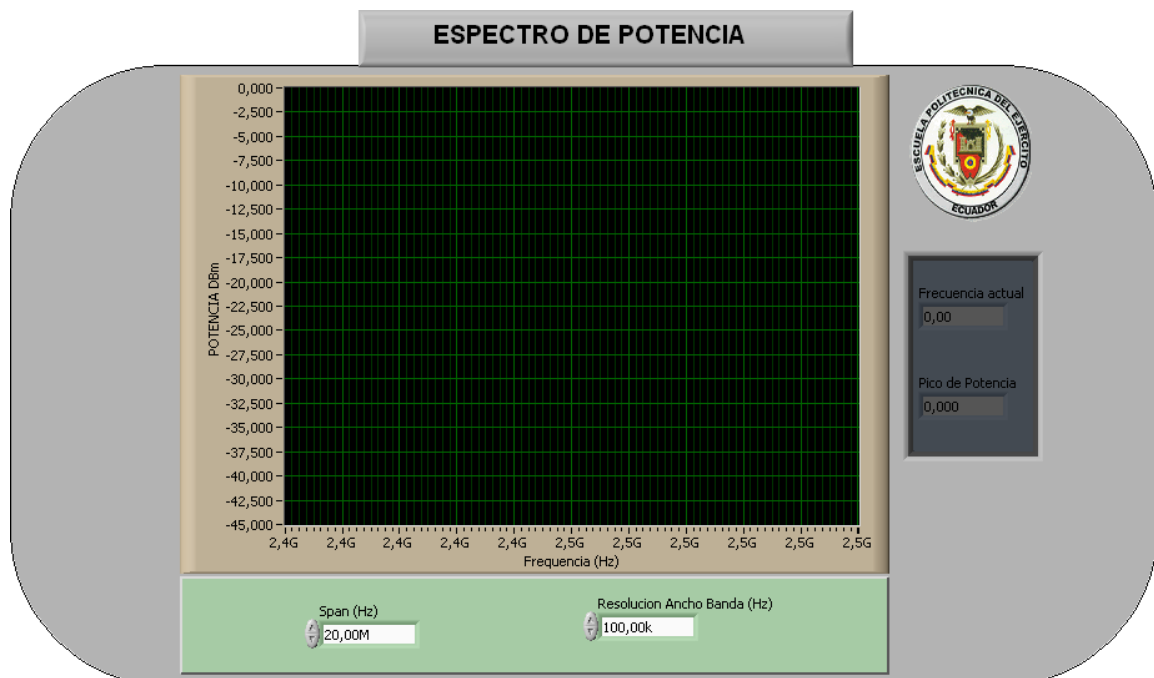
<sup>37</sup> Span: Aproximación del rango necesitado.

10.  valores de frecuencia y potencia : Indicador tipo array cluster, permite la visualización de los valores de potencia y de frecuencia que se presentan.



11.  **Función bundle:** Congrega una porción de elementos individuales y los transforma a un solo cluster.
12.  **Error Out** **Error de salida:** Presenta la descripción del error que haya ocurrido.

A continuación (ver *Figura 2.7.2*) el panel frontal de la adquisición del espectro de potencia.



**Figura 2.7.2** Panel frontal Espectro de Potencia.



## 2.7.2. PROGRAMACIÓN DE SOFTWARE GRAFICADOR DE PATRÓN DE RADIACIÓN

La programación del patrón de radiación comienza a partir de la adquisición del espectro de potencia (2.7.1) y del programa de control de posición de los motores Base y Parabólica (2.6.1).

En la *Figura 2.7.3* se presenta la estructuración de código para obtener el Patrón de Radiación.

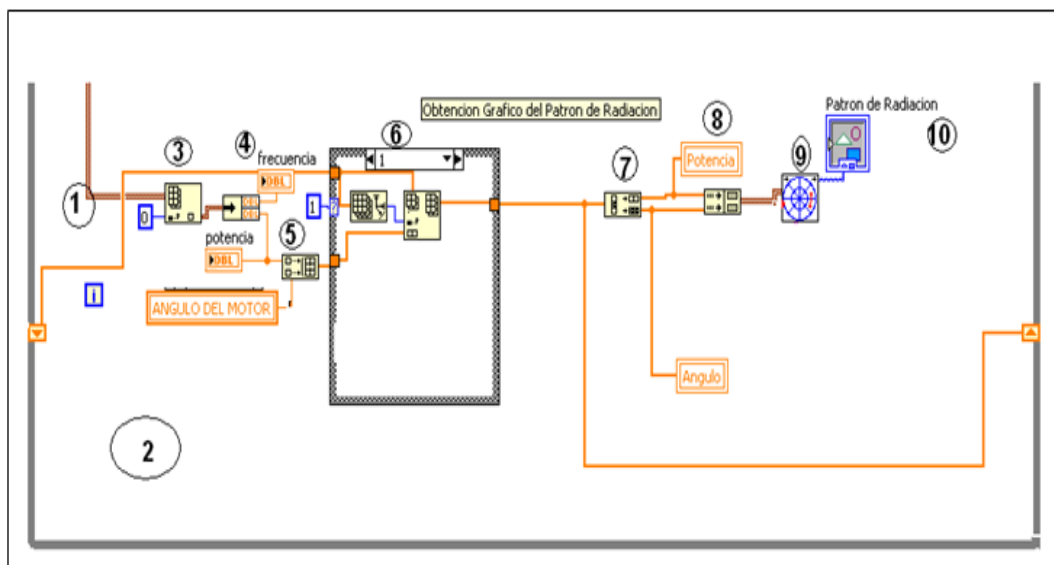









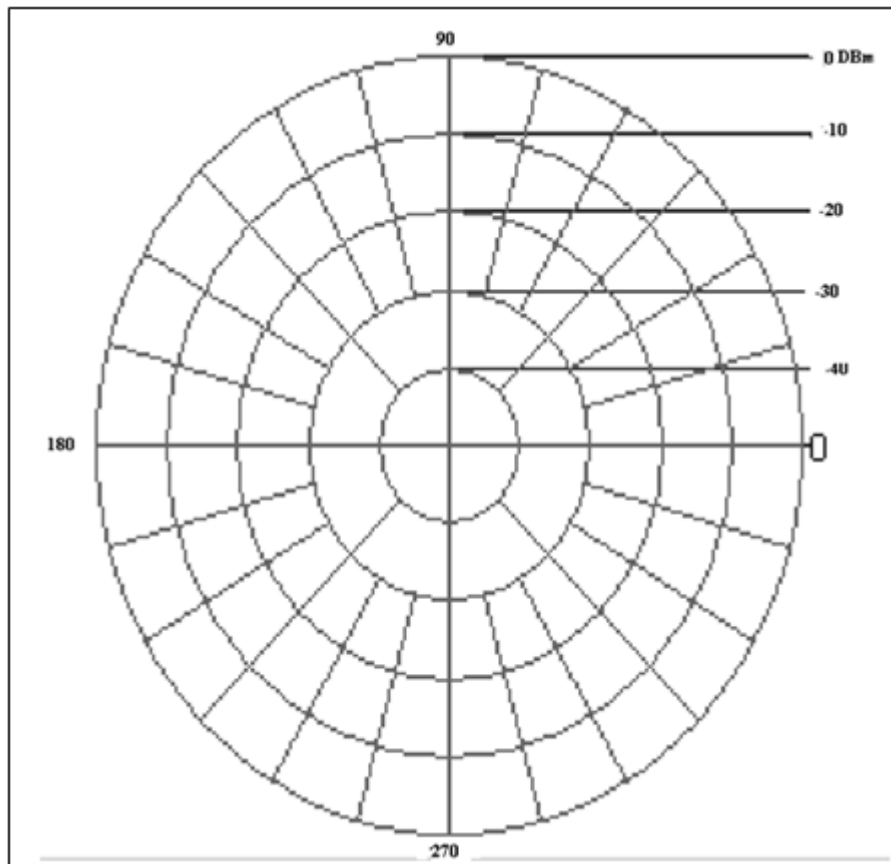
Figura 2.7.3 Diagrama de bloques del Patrón de Radiación.

1. Es una conexión de **array de clusters**<sup>38</sup> de dos elementos, **frecuencia** y **valor** de potencia en dBm que provee el  (SMT Búsqueda de Cresta de Espectro vi).
2. Estructura While necesaria para la constante interacción de los datos.
3.  **Index Array**: retorna solo un cluster de dos elementos.
4.  **Unbundle**: divide el cluster de dos elementos en dos elementos individuales tipo array (frecuencia y potencia).

<sup>38</sup> Cluster: Agrupamiento de diferentes tipos de variables.

5.  **Build Array:** Construye un nuevo array de dos elementos (**potencia** y la variable que posee la **posición en grados** de uno de los dos Motores).
6. Es un case que contiene el algoritmo para que se contruya un array de dos elementos y se vaya guardando sucesivamente en las celdas subsiguientes, sincronizando el almacenamiento de los datos con relación a la velocidad que se aplique al correspondiente motor en ejecución.
7.  **Decimate 1D array:** Devuelve dos Array individuales (Potencia y Angulo), el uno solo los elementos de las filas pares y el otro los elementos de las filas impares.
8.  **Index & Bundle Cluster Array Function:** La salida de esta función da como resultado un Array de una dimensión de cluster de dos elementos necesario para la conexión con el Polar Plot.
9.  **Polar Plot:** Ordena en coordenadas polares la entrada de un array de clusters de dos elementos (Potencia y Angulo).
10. Es la visualización Grafica del Polar Plot en este caso el **Diagrama de Radiación.**

En la *Figura 2.7.4* muestra el panel frontal del Patrón de Radiación configurada en Coordenadas Polares y la magnitud de separación entre círculos.



**Figura 2.7.4** Panel Frontal del Diagrama de Radiación

## 2.8. IMPLEMENTACIÓN DE BASE DE DATOS CON LABVIEW

La implementación de la base de datos consiste en almacenar y realizar algunos cálculos de todos los datos generados en la medición para la obtención del patrón de radiación, almacenando por ejemplo la potencia receptada en dBm<sup>39</sup> con respecto a la posición en grados de los motores, potencia receptada en mW<sup>40</sup>, potencia máxima y su ángulo, potencia mínima y su ángulo, cálculo del campo eléctrico, rendimiento, ganancia, polarización y tipo de antena.

La base de datos será presentada en Excel para facilidad de manipulación de los datos obtenidos.

El desarrollo de la base de datos se presenta en el diagrama de bloques de la *Figura 2.8.1*.

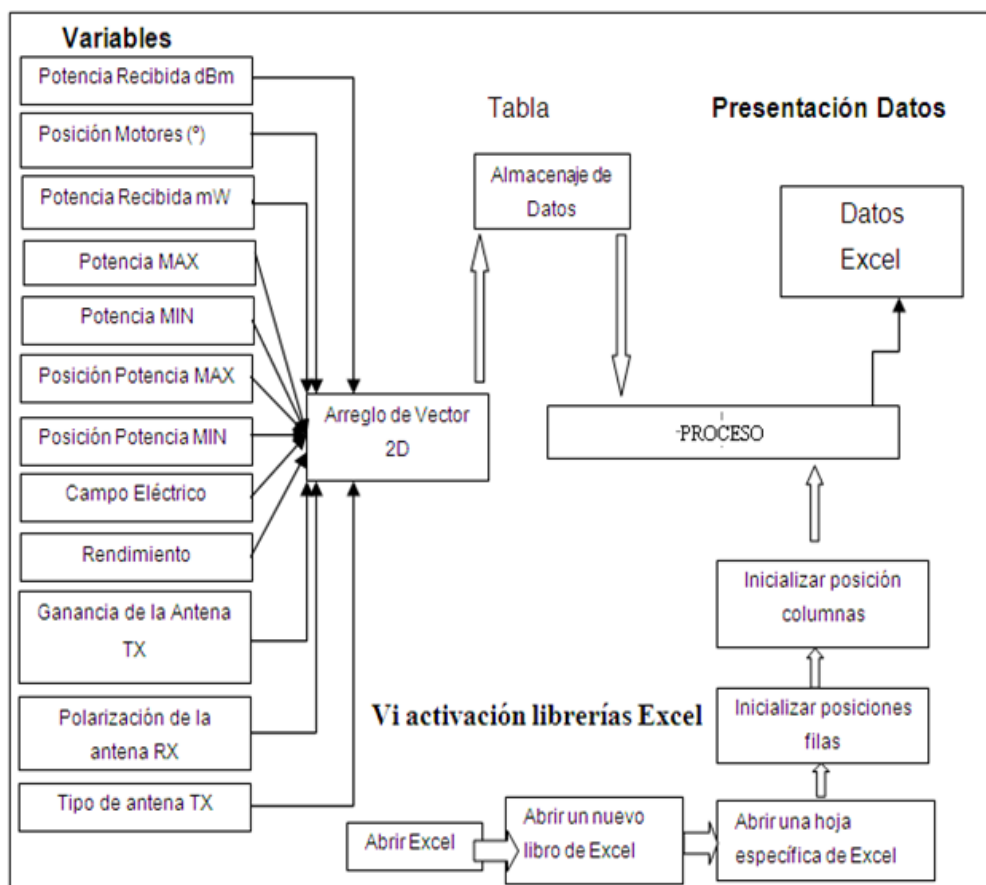


Figura 2.8.1 Diagrama de bloque base de datos.

<sup>39</sup> dBm: unidad de potencia comparada a un mW expresada en Decibelios.

<sup>40</sup> mW: unidad de potencia en Wats por  $10^{-3}$ .

### 2.8.1. VARIABLES

- a) **Potencia** **Potencia Recibida (dBm)**: Es una variable tipo array que almacena los datos de potencia con unidad en Dbm.

$$P_{ENTREGADA} = P_{DISIPADA} + P_{RADIADA} \quad (2.1.)$$

$P_{Radiada}$ : Potencia de Radiación máxima del equipo transmisor.

- b) **Angulo** **Posición motores (grados)**: Es una variable tipo array que almacena los datos de posición en grados de uno de los motores activos.

Potencia mW

- c) **DBL** **Potencia Recibida (mW)**: Es una variable tipo array que almacena los datos de potencia receptada en mW, la transformación de dBm a mW se consigue con la aplicación de la formula 2.8.1.a.

$$mW = 1 \times 10^{-3} \times 10^{(dBm/10)} \times 10^3. \quad (2.2.)$$

- d) **Potencia Máxima y Potencia Mínima**: Son dos variables que indican el máximo y mínimo valor de potencia en dBm. Proviene del array principal **potencia recibida**.
- e) **Ángulo de Potencia Máxima y Ángulo de Potencia Mínima**: Son dos variables que indican la posición de los motores cuando se produjo la potencia máxima y mínima. Proviene del array principal **Ángulo** y se expresan en grados.

Rendimiento

- f) **DBL** **Rendimiento de radiación**: Es una variable tipo array que posee el cálculo del rendimiento de la antena sin expresar en

porcentaje.

$$\eta_R = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} \quad (2.3.)$$

Ganancia antena

- g) **[DBL]** **Ganancia de la antena Transmisora:** Es una variable tipo array que posee el cálculo de de la ganancia de la antena transmisora.

$$G = \frac{P_{RX \text{ Antena transmisora}}}{P_{TX \text{ Antena transmisora}}} \quad (2.4.)$$

Campo Electrico

- h) **[DBL]** **Campo Eléctrico:** Variable que contiene el cálculo del campo eléctrico en función de la ganancia y la distancia.

$$E = \frac{\sqrt{(P_{radiada} \times Ganancia \times 30)}}{Distancia} \quad (2.5.)$$

**Donde:**

- Potencia radiada máxima que provee el transmisor.
- Ganancia de la antena transmisora.
- Distancia que existe entre el transmisor y receptor.

- i) **Polarización de la antena:** Variable de tipo entero que define el tipo de polarización que posee las antenas transmisora y de recepción.

Tabla 2.8-1. Código para identificar el dato numérico en tipo de polarización.

**POLARIZACIÓN**

1----- VERTICAL  
2----- HORIZONTAL





- j) **Tipo de antena:** Variable de tipo entero que define el tipo de antena a ser utilizada.

Tabla 2.8-2. Código para identificar el dato numérico en tipo de Antena.

11----- DIPOLO  
22----- MONOPOLO  
33----- YAGUI  
44----- CHIP  
55----- LOOP  
66----- F INVERTIDA  
77 ----- PATCH  
88----- ARRAY PATCH  
99----- PARABOLICA





## 2.8.2. VIRTUAL INSTRUMENT DE ACTIVACIÓN DE LIBRERÍAS EXCEL

Para la activación de las librerías ODBC y el transporte de los datos desde Labview a Excel presenta los siguientes vi de activación en Labview.

- a)  **Open Excel.VI:** ejecuta y abre el Excel, inicializando la aplicación de objetos excel.
- b)  **Open Book.VI:** abre un nuevo libro de trabajo de Excel.
- c)  **Open Sheet.VI:** abre una hoja de trabajo de Excel y da el nombre a la hoja.
- d)  **Automation Close Application:** Cierra la aplicación de cualquier tipo, sea este un ActiveX o una aplicación en general, en este caso cierra las librerías del Excel hasta una nueva ejecución del programa.


### 2.8.3. ALMACENAJE DE DATOS Y CONSTRUCCIÓN DE UN ARREGLO 2D.

En el almacenaje de datos en Labview se utiliza particularmente arreglo de vectores de dos dimensiones (Matriz), para facilitar el manejo de estos datos en diferentes algoritmos. Para ello se utiliza las siguientes funciones.

- a)  **Build array:** Permite la concatenación<sup>41</sup> de varios array de variables, y puede transformar las entradas de array de una dimensión a una salida de array de dos dimensiones, almacenando los diferentes tipos de datos en una sola Matriz.
- b)  **Transpose 2D Array Function:** Intercambia la posición de filas por las columnas y viceversa.
- c)  **Number to Fractional String Function:** Convierte variables numéricas a tipo string<sup>42</sup> numérico fraccional.
- d)  **Variable Table:** Variable que permite mostrar todos los datos obtenidos en forma de tabla en el panel frontal de Labview.

### 2.8.4. PROCESO

El proceso consiste en tomar los datos almacenados en la variable **Table** de Labview y enviarlo a Microsoft Excel. Se utiliza un VI en especial.

- a)  **Cell Value:** Recoje todos los datos de la variable Table en Labview y los va escribiendo en las diferentes celdas ordenando en fila y columna respectivamente del Excel.

---

<sup>41</sup> Concatenación: el acto de unir o enlazar cosas.

<sup>42</sup> String: Variable de tipo carácter.





## 2.9. IMPLEMENTACIÓN DE COMUNICACIÓN RED LAN TCP/IP CON LABVIEW

### 2.9.1. SERVIDOR TCP/IP

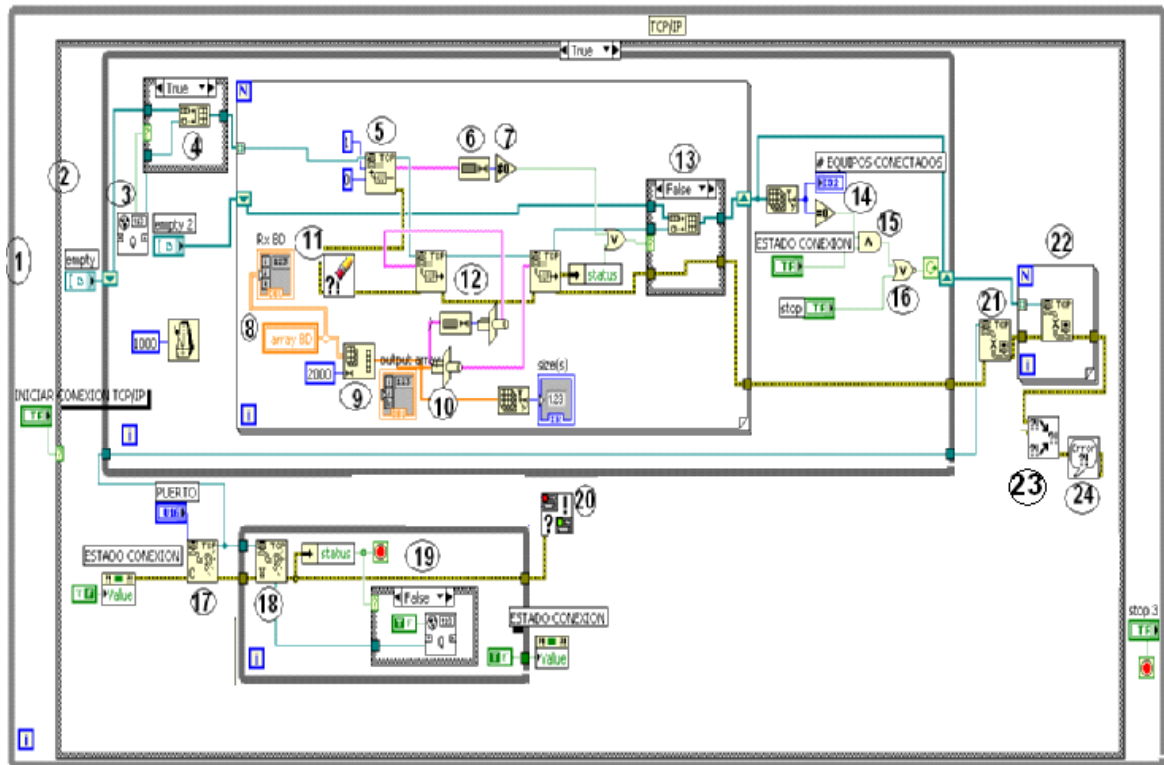














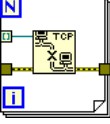




Figura 2.9.1. Diagrama de bloques de servidor TCP/IP.

1. Estructura while, para el envío continuo de los datos.
2. Estructura Case que tiene un control que permite la inicialización de la conexión de TCP/IP<sup>43</sup>.
3.  Date Server Queue.vi se usa como una variable global para pasar los datos y almacenar cada conexión TCP/IP e inicializando el registro.
4. Estructura Case que construye un array de conexión Tcp network de acuerdo al valor de Date Server Queue.vi sea True e inicialice la conexión.

<sup>43</sup> TCP/IP: Protocolo de control transmisión/ Protocolo Internet.

5.  **TCP read:** Lee varios bytes de una red conexión TCP.
6.  **String Length Function:** Retorna el número de caracteres en bytes de la entrada de tipo String.
7.  **Not Equal To 0? Function:** Retorna True si el valor de entrada no es igual a 0 caso contrario retorna False.
8. **Array** que proporciona la base de datos.
9.  **Reshape Array Function:** Cambia la dimensión del array de entrada de acuerdo a la dimensión que se ingrese en este caso como ejemplo se presenta una dimensión de un tamaño de array de 2000.
10.  **Type Cast Function:** la salida es el valor proporcionado en x y se convirtió al mismo tipo de los datos que se especifica en **type**.
11.  **Clear Error:** Resetea el estado de error a no error.
12.  **TCP Write Function:** Escribe los datos a una red conexión TCP.
13. Estructura case que contiene un build array que almacena la lectura en puerto de los equipos que se conectan a la red.
14.  **Array Size:** Devuelve el tamaño del array y muestra en un indicador numérico el número de equipos conectados.
15.  **And:** Devuelve una condición True o False de acuerdo a la operación x\*y a las entradas.
16.  **OR:** Devuelve una condición True o False de acuerdo a la operación x+y de las entradas.
17.  **TCP Create Listener Function:** Crea un oyente para una red de conexión TCP.
18. **TCP Wait On Listener Function:** Realiza una espera para una conexión de red TCP/IP aceptada.
19. **Estructura Case:** Permite de acuerdo a la salida **True** de la variable **Status** almacenar cada conexión TCP/IP hecha en una variable Global denominada Date Server Queue.vi.

20.  **El error a Warning.VI:** se usa aquí para devolver errores de conexión generados y acabar una conexión en una advertencia.
21.  **TCP Close Connection Function:** inicia el cierre de la conexión TCP/IP.
22.  **Lazo For:** envía al puerto un lazo determinado del cierre de la conexión TCP/IP.
23.  **Merge Errors VI:** Combina errores clusters de Entrada/Salida de diferentes funciones.
24.  **Simple Error Handler VI:** Indica si un error ocurrió. Si un error ocurriera, este VI ingresa una descripción del error y opcionalmente los despliega en una caja de diálogo.

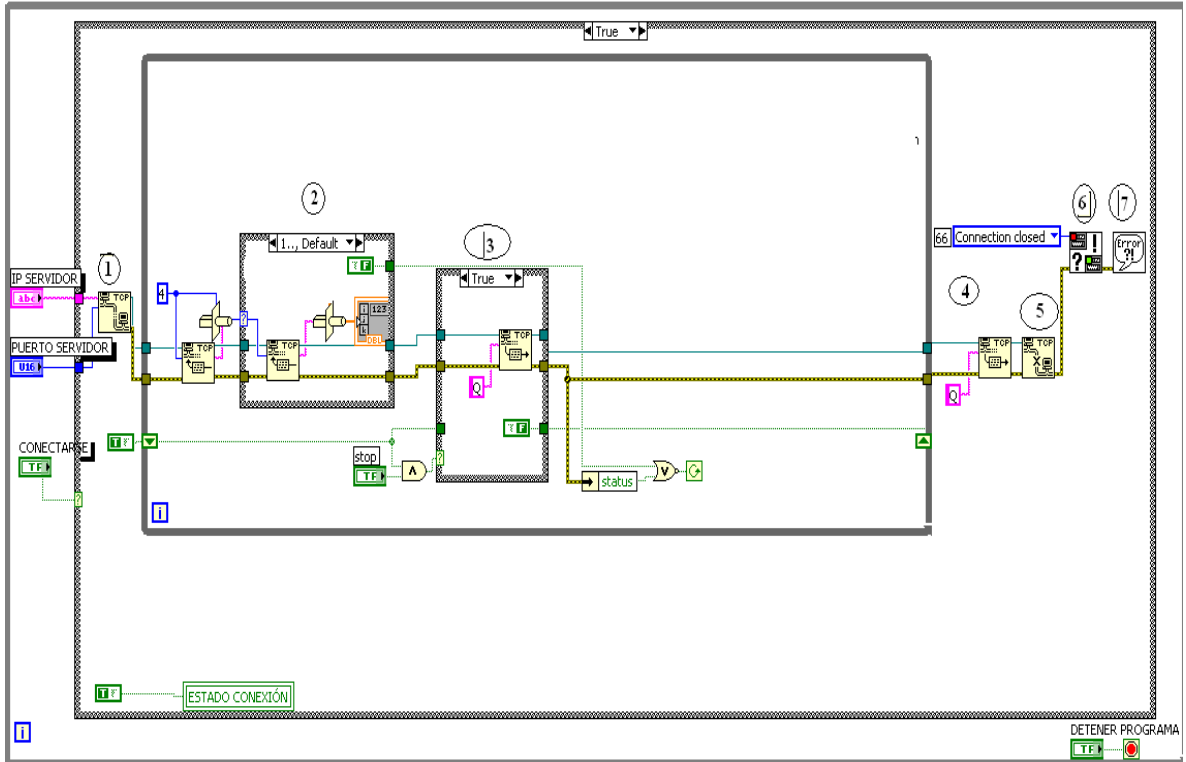
En la *Figura 2.9.2* se presenta el panel frontal de servidor TCP/IP.





Figura 2.9.2. Panel Frontal servidor TCP/IP.


## 2.9.2. CLIENTE TCP/IP





Para la adquisición de los datos enviados por el servidor se debe tener el código de cliente que interprete los datos.



### 2.9.3. Implementación Cliente TCP/IP.

1.  Tcp open connection function: Abre una conexión TCP/IP de acuerdo con la dirección IP del servidor y el puerto remoto o nombre del servidor.
2. Primero el  TCP Read lee 4 bytes de datos para determinar la cantidad de datos que se envían desde el servidor. Luego pasa y suma al segundo TCP Read en la Case Structure y lee los datos.

Estos datos se codifican  type cast, al tipo de dato que se envía desde el servidor caso contrario leerá datos basura.

3.  TCP Write función escribe un ' Q ' a los Datos Server.vi para decirle que deje de enviar los datos cuando el botón de Parada se aprieta.
4. Envía un carácter " Q " que indique al servidor que se ha recibido todos los datos. Limita la conexión y verifica los errores.
5.  TCP Close Connection Function cierra la conexión TCP/IP.
6.  El error a Warning.vi: se usa aquí para devolver errores de conexión generados, y acaba una conexión en una advertencia.
7.  Simple Error Handler VI: Indica si un error ocurrió. Si un error ocurriera, este VI ingresa una descripción del error y opcionalmente los despliega en una caja de diálogo.

El panel frontal se presenta en la *Figura 2.9.4*.



**Figura 2.9.4. Panel frontal Cliente TCP/IP.**

## 2.10. CONFIGURACIÓN DE LA INTERFAZ RF ENTRE EL PXI-5660 Y EL WATS-2002.

La interfaz consiste en general en el sistema de movimiento de antenas y la gráfica del Diagrama de Radiación con la ayuda de la adquisición de señales que provee el equipo PXI-5660, las antenas en este proyecto son las antenas denominadas Microstrip o PCB, que posee el laboratorio de comunicaciones de la ESPE-L y una antena Parabólica que se adquirió para el desarrollo del proyecto.

La configuración de los dos equipos WATTS-2002 y PXI 5660, se realiza por separado.

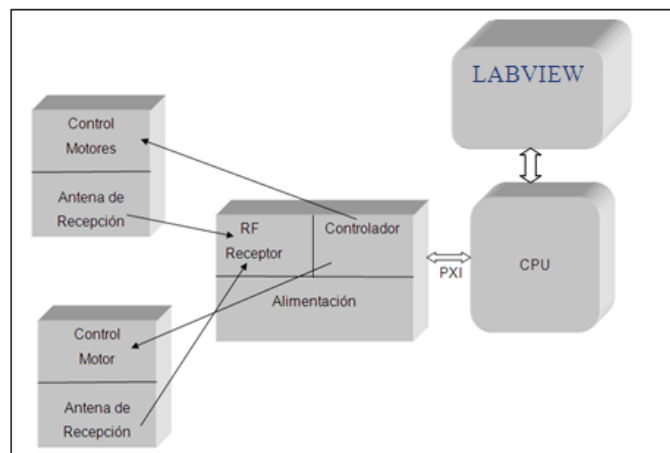


Figura 2.10.1. Configuración PXI-5660.

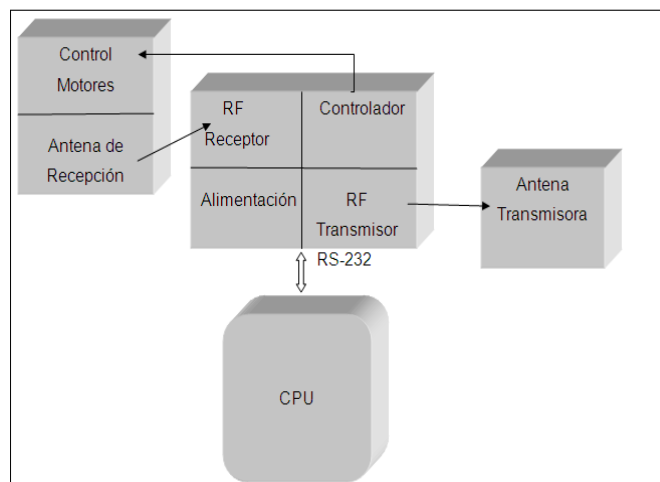



Figura 2.10.2. Configuración WATS-2002.

Para la configuración de la interfaz completa se efectúa lo siguiente:

1. Activar el Equipo WATS-2002, debido a la operatividad en conjunto con un computador tradicional que trabaja con Windows XP, 2000, 98, etc, se inicializa la PC y luego al módulo WATS-2002.
2. Activar el Equipo PXI-5660, a diferencia del WATS-2002 opera en una plataforma Windows Vista de 32 bits para la facilidad de comunicación con varias interfaces.
3. El PXI-5660 se debe instalar el Programa Labview puede ser 8.5, 2009 o 2010. Debido a la presencia de algunos toolkit y mayor confiabilidad que se necesita para la operatividad con las tarjetas 5600 y 5620 se utiliza en el presente proyecto el Labview 2009.
4. Ingresamos al software **WATS-2002**, luego a la paleta de función de **RADIATION PATTERN**.
5. En la pantalla Radiation Pattern se selecciona la frecuencia de trabajo (914MHz o 2,45Ghz).
6. Una vez selecta la frecuencia de trabajo, el WATS-2002 empieza a transmitir la señal de RF.
7. Se activa el equipo PXI-5660, luego cargada completamente la plataforma de Windows Vista se ingresa al **MAX**<sup>44</sup>  a configurar las tarjetas DAQ-6009, 5600 y 5620. Se Ingresa a **Device and Interfaces**, donde se encuentra todas las tarjetas instaladas.
8. Se conecta el USB 2.0 de la tarjeta DAQ-6009 y automáticamente se ejecutará varias opciones en la que se ingresa en **Test Panel**, se configura el ítem **I/O Digital**, poner todos los puertos P0.0 a P1.3 en **OUT**, activar los puertos en nivel **low**, luego **play**. Esta configuración se debe realizar por protección para los motores ya que por default todos los puertos digitales de la tarjeta 6009 envían datos de salida en nivel alto (**1**) y activan todas las bobinas al mismo tiempo y pueden dañar los motores.
9. Se ejecuta el programa Graficador de Diagramas de Radiación de Antenas.

---

<sup>44</sup> MAX: Measurement Automation Explorer, que permite configurar todos los hardware y software de National Instrument.



10. En el panel frontal del programa se ingresan los parámetros de configuración, para comenzar a adquirir la señal RF.

11. Se ejecutan todas las funciones de la interface en entorno gráfico, que se enumeran a continuación:

- a. Espectro de Potencia de la señal RF recibida.
- b. Control de Motor Base
- c. Control de Motor de Polarización.
- d. Control de Motor de la Parabólica.
- e. Diagrama de Radiación.
- f. Base de Datos.
- g. Comunicación TCP/IP.

**Nota:** No se requiere configurar el generador vectorial (NI-5671) con el analizador vectorial (NI-5660), porque están integrados en el mismo equipo y emplean la misma tecnología.

### 3. CAPÍTULO III

## RESULTADOS Y PRUEBAS EXPERIMENTALES

### 3.1. DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA.

#### 3.1.1. ANTENAS DE TRABAJO



ANTENA YAGUI



ANTENA DIPOLO



ANTENA LOOP



ANTENA F INVERTIDA



ANTENA CHIP



YAGUI UDA



ANTENA PATCH



ARRAY PATCH



MONOPOLO LARGO



MONOPOLO CORTO



DIPOLO BASE CELULAR



DIPOLO BASE CELULAR  
PEQUEÑA



ANTENA SEMI-PARABÓLICA  
GRILLADA

Figura 3.1.1. Tipos de antenas utilizadas en el proyecto.

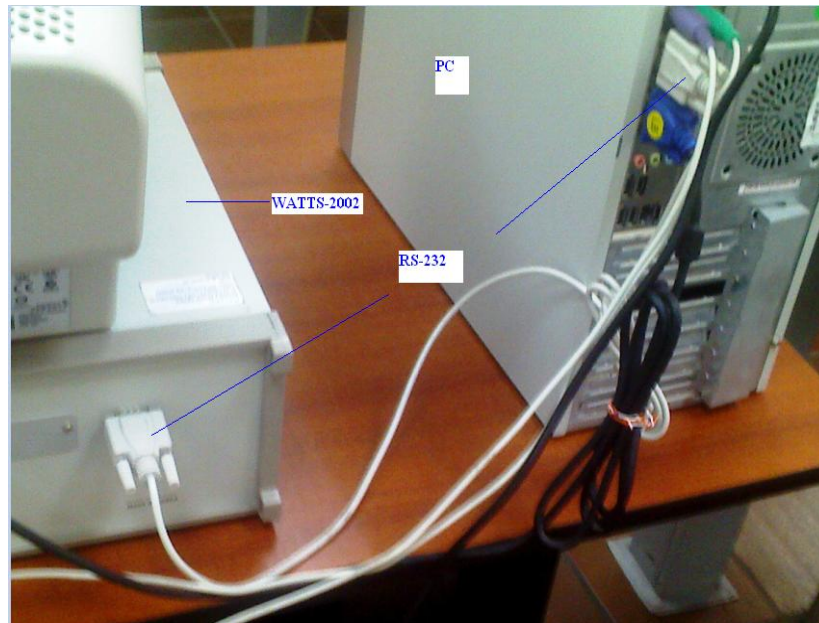
### 3.1.2. SISTEMA DE TRANSMISIÓN.

- a) El sistema de transmisión corresponde en conjunto, módulo Watts-2002, antena transmisora y una Computadora personal con un sistema operativo Microsoft Windows XP Profesional, servipack 3, con un procesador Intel Pentium 4 de 3 GHz de velocidad y 1 GB de RAM (ver *Figura 3.1.2.*)



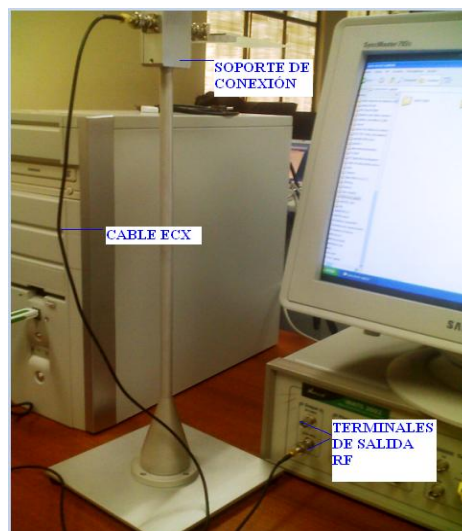
**Figura 3.1.2. Sistema de transmisión RF.**

- b) El módulo WATTS 2002 se comunica a la PC mediante la interfaz RS-232 (ver *Figura 3.1.3*)



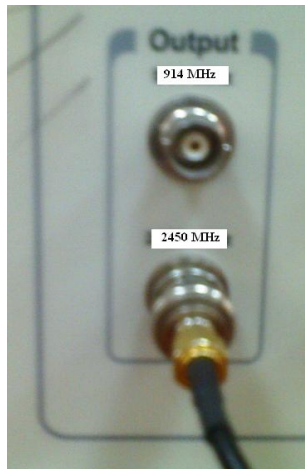
**Figura 3.1.3. Comunicación watts-2002 y PC.**

- c) El soporte de la antena transmisora se conecta mediante un cable coaxial para altas frecuencias modelo ECX1.5D-2V (ver *Figura 3.1.4*) a uno de los conectores que proporcionan señal RF (914MHz o 2450 MHz).



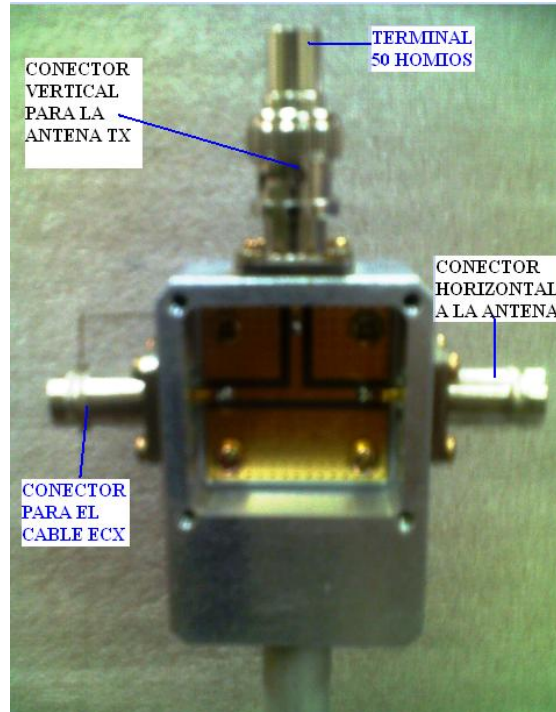
**Figura 3.1.4. Soporte de conexión Antena Transmisora.**

- d) El panel frontal posee dos terminales 914 MHz y 2450MHz tipo de conector BNC hembra normal (ver *Figura 3.1.5*).



**Figura 3.1.5. Terminales de salida RF en Panel frontal del WATTS-2002.**

- e) El soporte de conexión para la antena transmisora está constituido por 3 conectores BNC hembra conectados internamente en forma de T por una placa de cobre (ver *Figura 3.1.6*).



**Figura 3.1.6. Soporte de conexión entre el cable ECX y la Antena Transmisora.**

- f) Las antenas a transmitir son de tres tipos MICROTRIP o PCB con una frecuencia de resonancia en 2.45 GHz, otras que son antenas dipolos de tipo base celular y una antena parabólica que trabaja en un rango de 2.4 GHz a 2.5 GHz (ver *Figura 3.1.7*).



**Figura 3.1.7. Tipos de antenas utilizadas.**

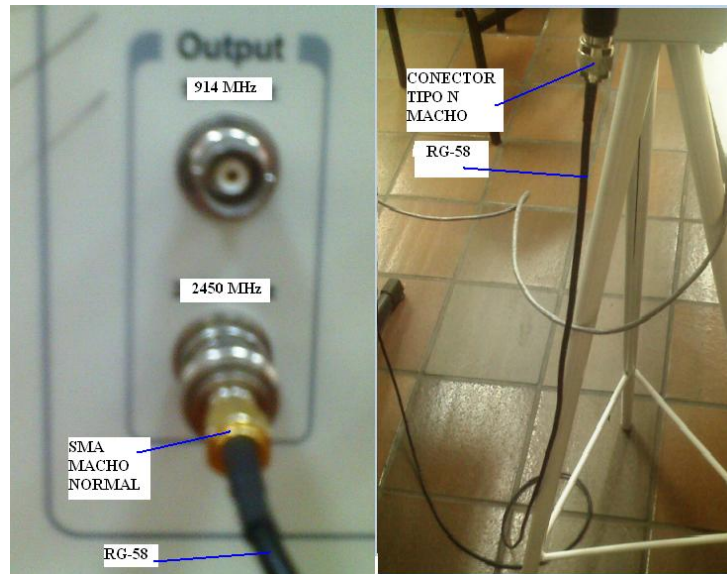
- g) Las antenas PCB y las dipolos de base celular a transmitir se conecta al soporte (ver figura) mediante un cable ECX1.5D-2V con conectores BNC macho en sus terminales (ver *Figura 3.1.8*).



**Figura 3.1.8. Cable coaxial para conexión de generador y soporte de conexión de la antena transmisora.**

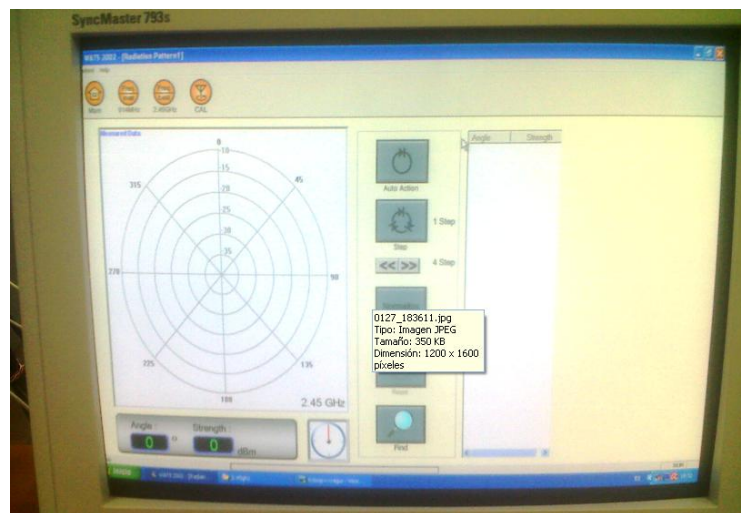
- h) La antena parabólica se conecta al equipo Wats-2002 mediante el **Pigtail** conformado por un conector tipo N macho para conexión con el

conector tipo N hembra del reflector y un conector SMA macho para conexión con el dicho equipo. Ver *Figura 3.1.9*.



**Figura 3.1.9. Conexión equipo Watts y Parabólica como transmisor.**

- i) La elección de la frecuencia a trabajar para la transmisión de la señal de RF se efectúa en el software propio de fábrica del WATTS-2002 (ver *Figura 3.1.10*).



**Figura 3.1.10. Entorno gráfico de elección de frecuencia de trabajo.**

### 3.1.3. SISTEMA DE RECEPCIÓN

#### 3.1.3.1. ESTRUCTURA DE MOVIMIENTO DE ANTENAS MICROSTRIP Y ANTENAS BASE DE CELULAR.

- a) En la base de la estructura posee un motor a pasos de  $1.8^\circ$  por paso, que trabaja a 1 A de consumo (ver Figura 3.1.11), el mismo que sirve como eje del soporte de la estructura permitiendo un movimiento circular de  $360^\circ$ . Y además tiene una salida de los cables de control de los dos motores de la estructura.

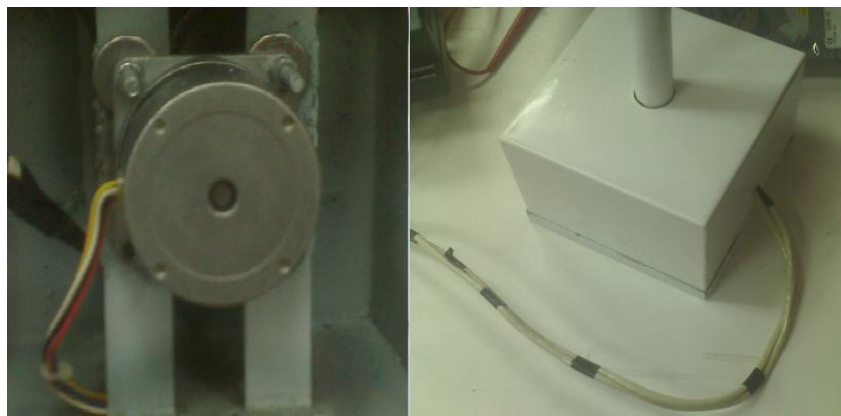


Figura 3.1.11. Base de la estructura.

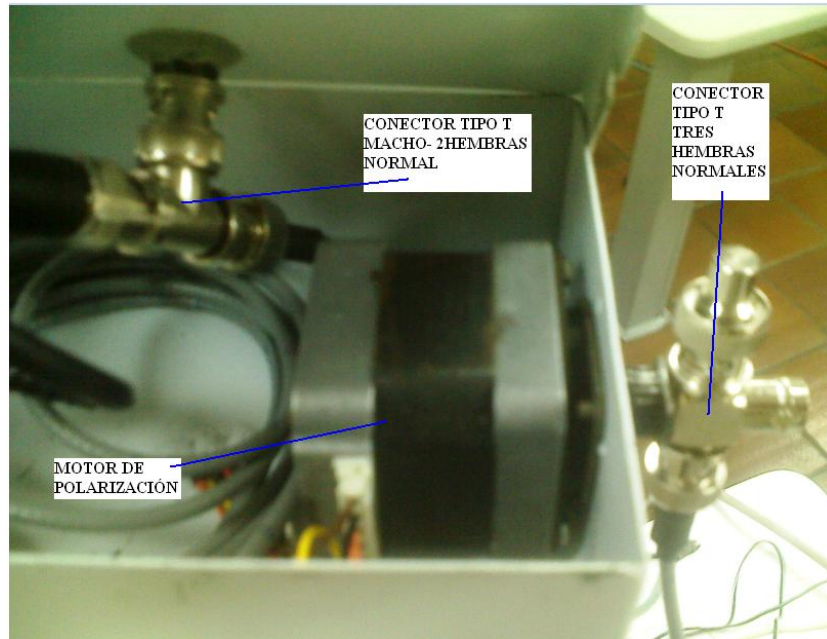
- b) En la parte superior de la estructura está presente una mini caja de soporte para las antenas de recepción (ver Figura 3.1.12). Adicionalmente internamente posee un motor a pasos de  $1.8^\circ$  por paso de menores dimensiones que el motor anterior, trabaja a 1 A de consumo (ver Figura 3.1.13).



Figura 3.1.12. Caja de soporte de Antenas PCB y de Base de celular.



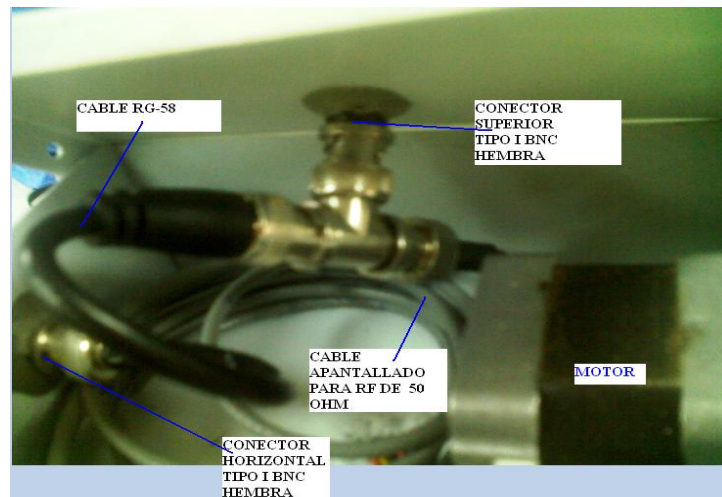
Al motor esta acoplado un conector de tipo T BNC hembra normal que sirve de eje de polarización de las antenas PCB y base de celular. Además uno de los terminales de este conector tipo T se conecta un cable de RF  $50 \Omega$  que se conecta internamente a un extremo del terminal de otro conector tipo T **BNC macho-dos hembras normal** (ver *Figura 3.1.13*).



**Figura 3.1.13. Caja de soporte y su conexionado interno.**

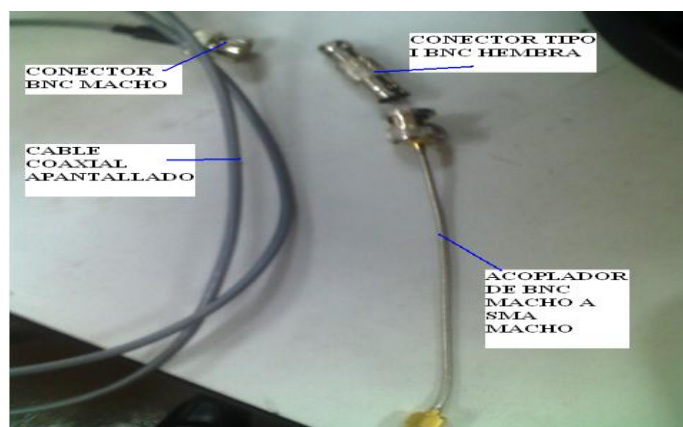
Esta caja de soporte en su parte superior tiene un terminal BNC hembra normal de  $50 \Omega$  (ver *Figura 3.1.14*) que se conecta internamente al conector tipo T BNC macho-hembra dicho anteriormente, el mismo que servirá para colocar las antenas monopolo y las antenas base celular.

La caja de recepción posee otro terminal tipo I BNC hembra en la parte horizontal izquierda de la caja (ver *Figura 3.1.12* y *Figura 3.1.14*) que se conecta internamente al T BNC macho-dos hembras; este conector sirve de conexión para otro cable de RF de 50  $\Omega$  con conectores BNC macho normal encargado de llevar la señal captada en la antena receptora hacia el PXI.



**Figura 3.1.14. Conexión interna.**

- c) Del cable coaxial apantallado para RF de 50  $\Omega$  se acopla a un conector tipo I BNC hembra normal. Luego se acopla a un acoplador BNC macho normal a SMA macho normal para la conexión final con el terminal SMA hembra normal del módulo NI 5600 (ver *Figura 3.1.15*).



**Figura 3.1.15. Etapas de conectores utilizados.**

### 3.1.3.2. ESTRUCTURA DE MOVIMIENTO DE ANTENA PARABÓLICA.

- a) Está constituido por un trípode en el cual sirve como soporte de una caja base constituida por un motor a pasos robusto de  $1.8^\circ$  por paso y consumo de 1.2 A (ver *Figura 3.1.16*) en dicha caja base se tiene una salida para el cable de control del motor. El piñón del motor se acopla a un mástil de 20cm, el cual va a girar  $360^\circ$  en su propio eje. En este mástil esta soldado un graduador de inclinación hasta  $15^\circ$  para incorporar la antena parabólica.

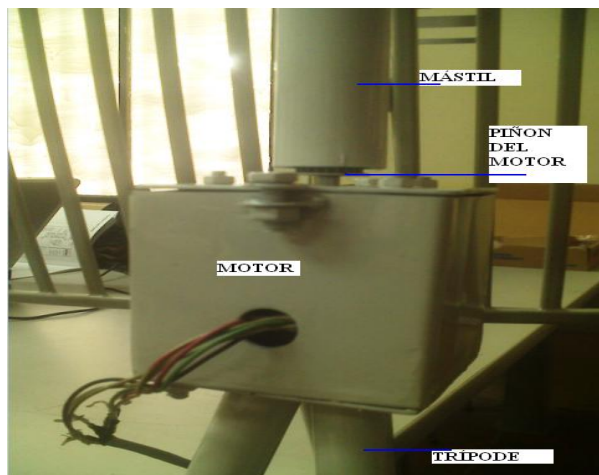


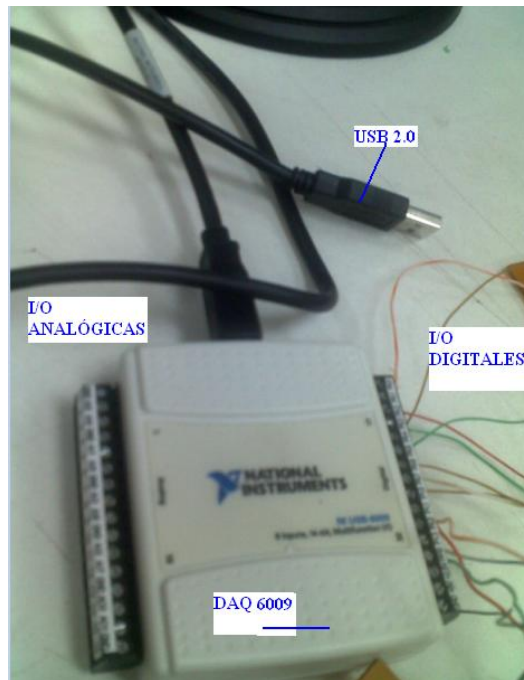
Figura 3.1.16. Base de movimiento de la antena Parabólica.



Figura 3.1.17. Graduador de inclinación de la antena parabólica.

### 3.1.3.3. CIRCUITO DE CONTROL DE LAS ESTRUCTURAS.

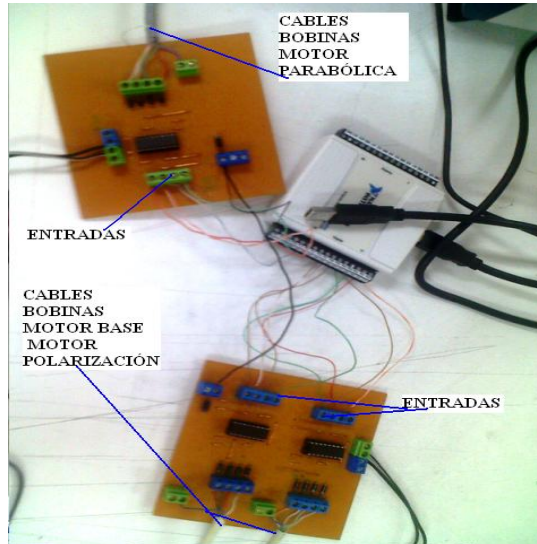
- a) Como controlador de los 3 motores del sistema de movimiento se presenta una DAQ 6009 con comunicación USB 2.0 desde el controlador NI 8106 del PXI que es el encargado de enviar los datos desde el procesador (ver *Figura 3.1.18*).



**Figura 3.1.18. DAQ 6009.**

- b) Las salidas digitales desde el puerto PO.0 hasta P1.3 son los encargados de transmitir los datos de control hacia las borneras de entrada de las placas de control.(ver *Figura 3.1.18*)
- c) Las 12 borneras de entrada envían los datos de control a los pines 2, 7, 10,15, de los 3 circuitos integrados L293D (Puente H) que está conformado el circuito de control.
- d) Los pines 1, 8, 9,16 se alimenta con un voltaje de +6 V.
- e) Los pines 4,5, 12,13 son referencia a tierra.

- f) Los pines 3, 6, 11,14 son las salidas amplificadas de corriente del circuito integrado L293D hacia los cables correspondientes a las bobinas de los motores. (ver *Figura 3.1.19*).



**Figura 3.1.19. Circuito de control de las estructuras de movimientos.**

- g) La alimentación para el circuito de control de movimiento de la antena parabólica es un adaptador universal de AC a DC modelo AD-2000 de 2000 mA. La alimentación para el circuito de control de las antenas MICROSTRIP y antenas base celular se realiza con un adaptador universal AC a DC modelo LLA-1000 de 1000 mA (ver *Figura 3.1.20*).



**Figura 3.1.20. Adaptadores de alimentación para el circuito de control del sistema de movimiento.**

### 3.1.4. ADQUISICION DE LA SEÑAL RF

- a) La adquisición de la señal RF transmitida desde el módulo WATTS-2002 y receptada en las antenas de las estructuras del sistema de movimiento, se opera con el equipo NI PXI- 5660, conformado por dos tarjetas NI 5600 convertidor a abajo de RF y la tarjeta NI 5620 que es un digitalizador para la manipulación de los datos obtenidos de la señal mediante software especializados como por ejemplo Labview (ver Figura 3.1.21).

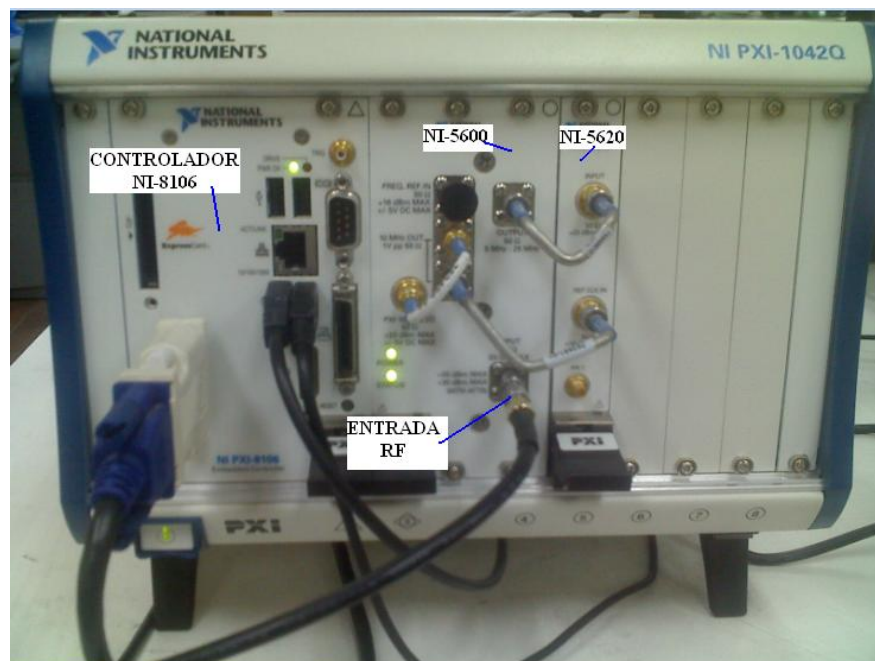


Figura 3.1.21. NI PXI-5660.

- b) En el conector BNC hembra normal INPUT de  $50\Omega$  del NI 5600 RF se conectan los terminales que provienen de los cables de las estructuras microstip y de la parabólica (ver *Figura 3.1.22*).

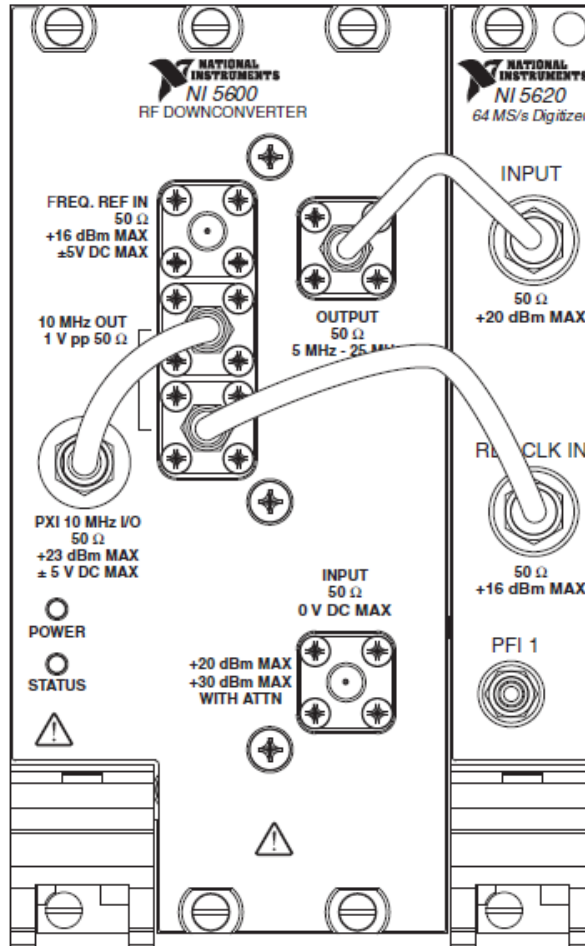


Figura 3.1.22. Tarjetas acopladas para formar el NI-5660.

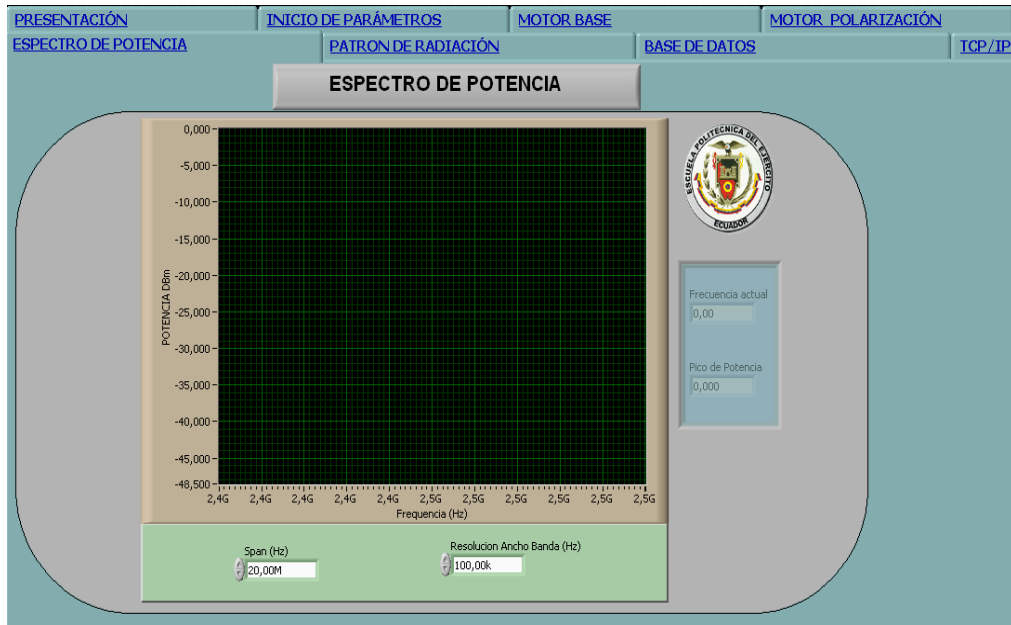
- c) El conector de salida OUTPUT de  $50\Omega$  y un rango de  $5\text{MHz}-25\text{ MHz}$  de la parte frontal del NI 5660 RF convertidor abajo, es el terminal de salida para la frecuencia traducida de señal IF para la digitalización.
- d) FREQ REF IN enruta una señal de frecuencia de referencia externa para que el 5600 pueda bloquearse a esa frecuencia.
- e) 10 MHz OUT 2 conectores, genera repeticiones de conversión abajo de señal de frecuencia de referencia a  $10\text{MHz}$ . Estas señales reproducidas también son útiles para manejar otros dispositivos. Cada repetición es  $180$

grados fuera de fase con el otro. La señal de salida de estos conectores es siempre activa y no puede estar deshabilitada. Conectar la salida de 10 MHz a la REF CLK IN del 5620.

- f) PXI 10 MHz I/O este conector proporciona una conexión bidireccional para el reloj de la parte de atrás del PXI en los conectores BNC de 10 MHz de referencia. Este conector puede usarse para manejar el reloj del backplane del PXI en 10 MHz solo cuando el NI 5600 está instalado en el slot 2 del PXI.
- g) INPUT 50  $\Omega$  Conecta la entrada de señal analógica a ser convertido abajo por el NI-5600 RF.
- h) INPUT del módulo NI 5620 es el conector de entrada de señal IF (5MHz-25 MHz) proporcionada por el NI 5600.
- i) REF CLK IN del módulo NI 5620 es el conector de entrada de señal de referencia de reloj para el trabajo de la tarjeta.
- j) PFI 1 conector que recibe un disparador digital desde una fuente externa.
- k) Los datos adquiridos en las tarjetas 5600 y 5620 son acogidos por el controlador NI 8106 (ver *Figura 3.1.21*) que funciona como un procesador. Estos datos se los puede manipular mediante la utilización del software Labview 2009 conjuntamente con el SMT y drivers RFSA para adquirir el espectro de potencia y correspondientemente la realización del patrón de radiación.



- l) Presenta una interfaz de usuario en entorno grafico para realizar la adquisición de la señal, supervisión y control del sistema graficador de patrones de radiación de antenas basado en Tecnología PXI (ver *Figura 3.1.23*).



**Figura 3.1.23. Entorno gráfico de control y supervisión del sistema graficador.**

### 3.2. PRUEBAS EXPERIMENTALES DEL SISTEMA

En primer lugar, se identifica el patrón de radiación que pertenece a cada una de las antenas a las cuales, se aplicará el sistema de determinación de parámetros principales; para lo cual se ha tomado como referencia, los datos proporcionados por diferentes fabricantes; para luego compararlas con los datos proporcionados por el sistema.

*El valor de **Potencia Recibida calculada** se puede obtener de dos formas aplicando la siguiente ecuación:*

$$P_{RX} \text{ dBm} = 10 \log \left( \frac{P_{TX} \cdot G_{TX} \cdot G_{RX} \cdot \lambda^2}{16\pi^2 r^2} \right) + 30 \quad (3.1.)$$

*O a partir de la (2.1, adicionando el valor de normalización que se aplicó por medio de software que es de 40 dBm para las antenas Microstrip y de 20 dBm para la parabólica.*

*El valor de **Pérdida (dB)**, es la pérdida en dB del sistema y se calcula a partir de la pérdida en el espacio libre (ver 1.3.5) sumándole la pérdida en los cables que esta alrededor de 2.7 dB.*

### 3.2.1. ANTENA YAGUI A “2,45 GHZ” DE FRECUENCIA DE TRABAJO.

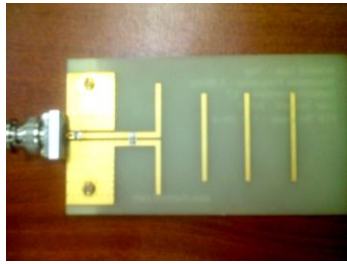


Figura 3.2.1 Antena PCB tipo Yagui para transmisión y recepción en 2,45GHz.

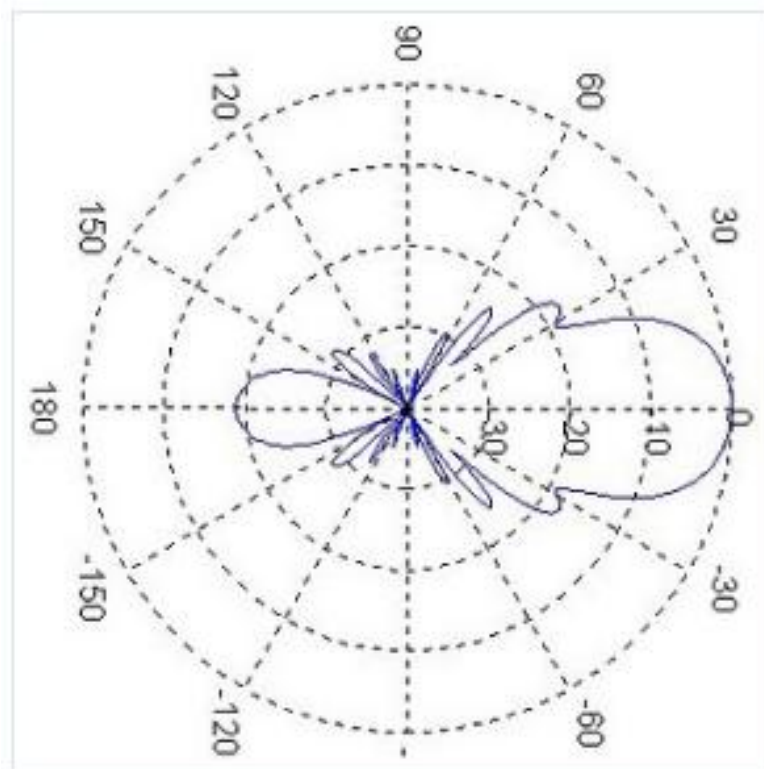
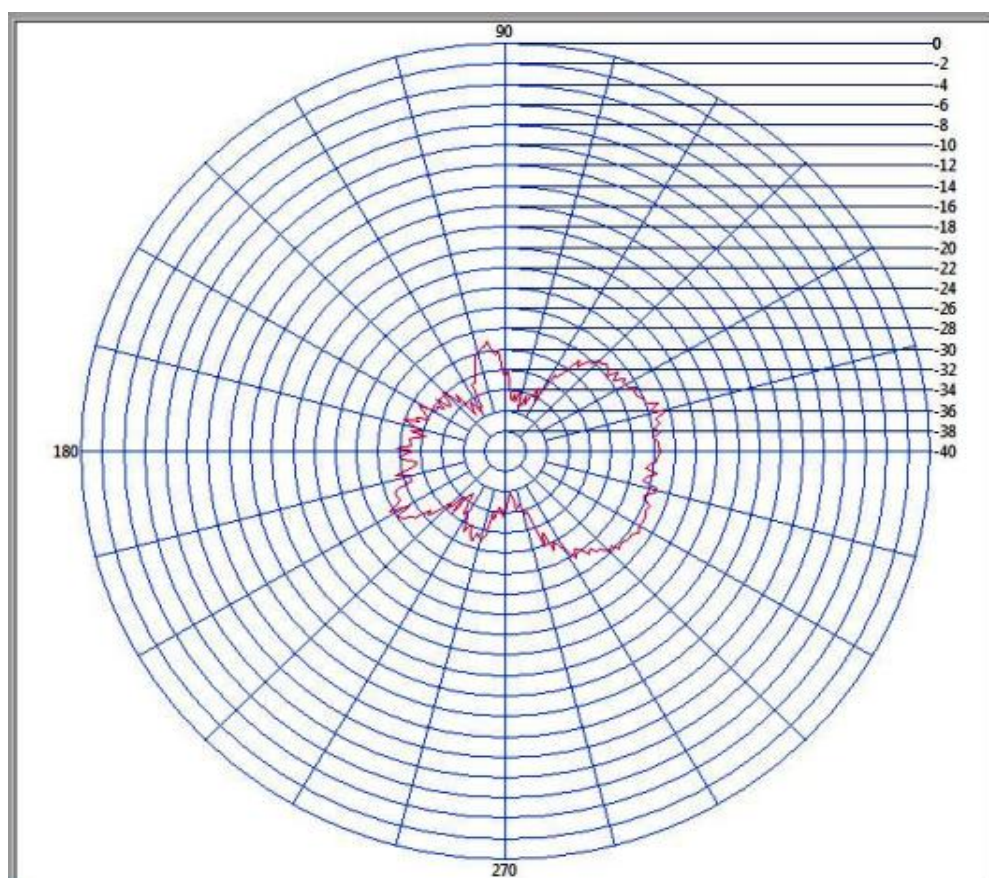


Figura 3.2.2. Patrón de radiación de una antena Yagui basado en un modelo matemático<sup>45</sup>.

<sup>45</sup> [www.antenasparatodos.blogspot.com](http://www.antenasparatodos.blogspot.com)

**3.2.1.1. Patrón de radiación con “polarización vertical” antena transmisora Yagui y receptora Yagui a 3 metros de distancia**



**Figura 3.2.3. Patrón de radiación de antenas Yagui como TX y RX con polarización vertical (3m).**

Tabla 3.2-1. Datos Patrón de radiación de antenas Yagui con polarización vertical (3m).

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-24,407	14,4	40,97	6,01	3	0,44	52,52	-24,78

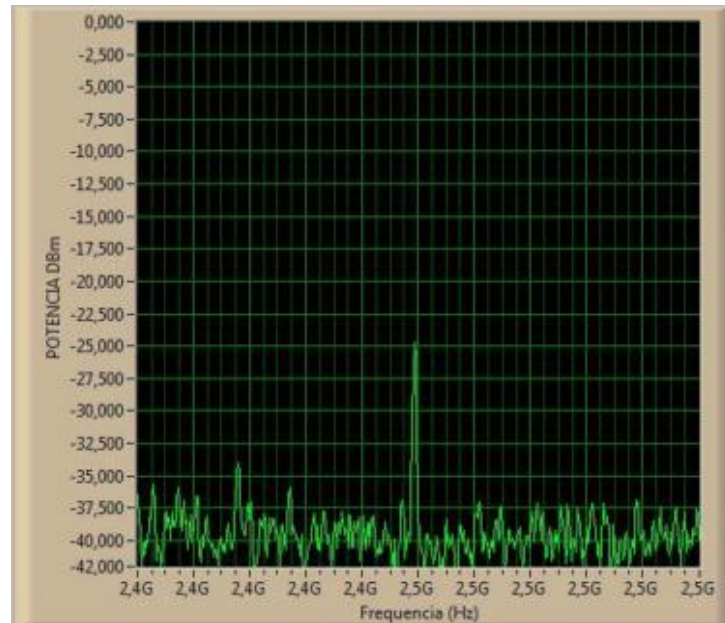
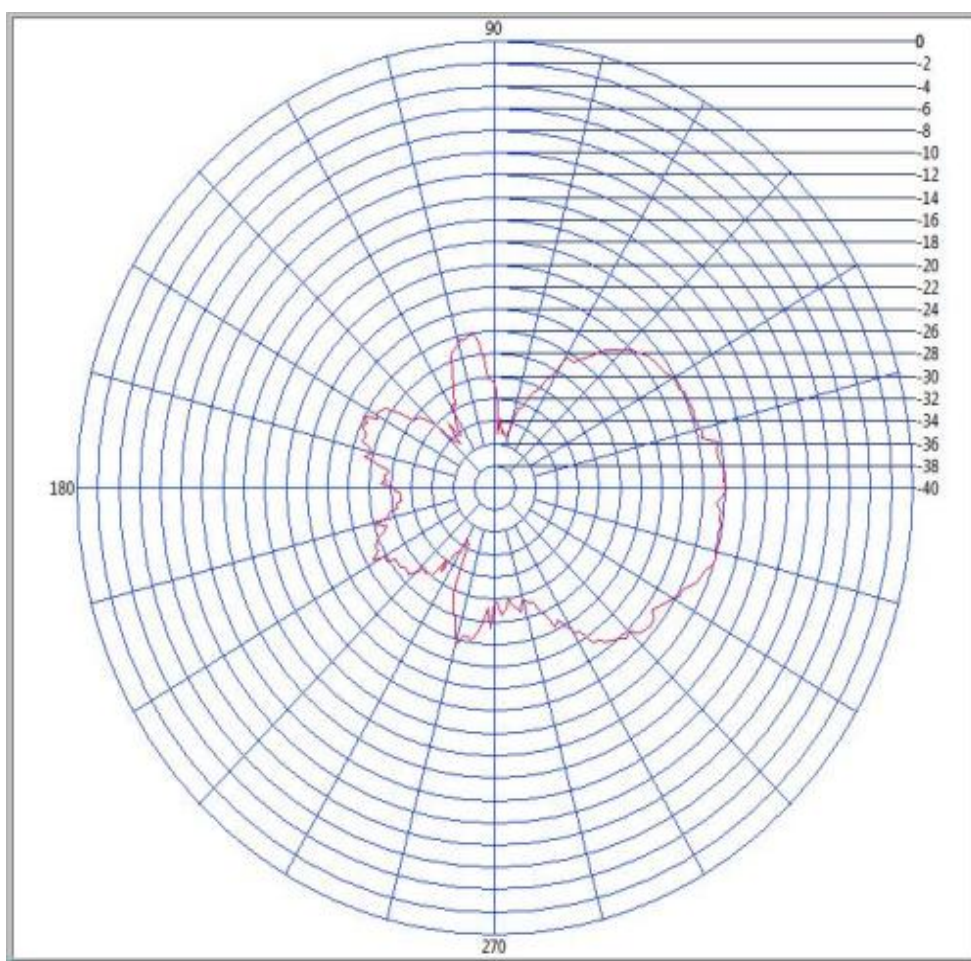


Figura 3.2.4. Espectro de potencia de antenas Yagui como TX y RX con polarización vertical (3m).

**3.2.1.2. Patrón de radiación con “polarización vertical” antena transmisora Yagui y receptora Yagui a 1,5 metros de distancia**



**Figura 3.2.5. Patrón de radiación de antenas Yagui como TX y RX con polarización vertical (1.5m).**

Tabla 3.2-2. Datos del Patrón de radiación de antenas Yagui con polarización vertical (1.5m).

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-17.82	0	56.10	4.64	1.5	0,78	46,5	-21,49

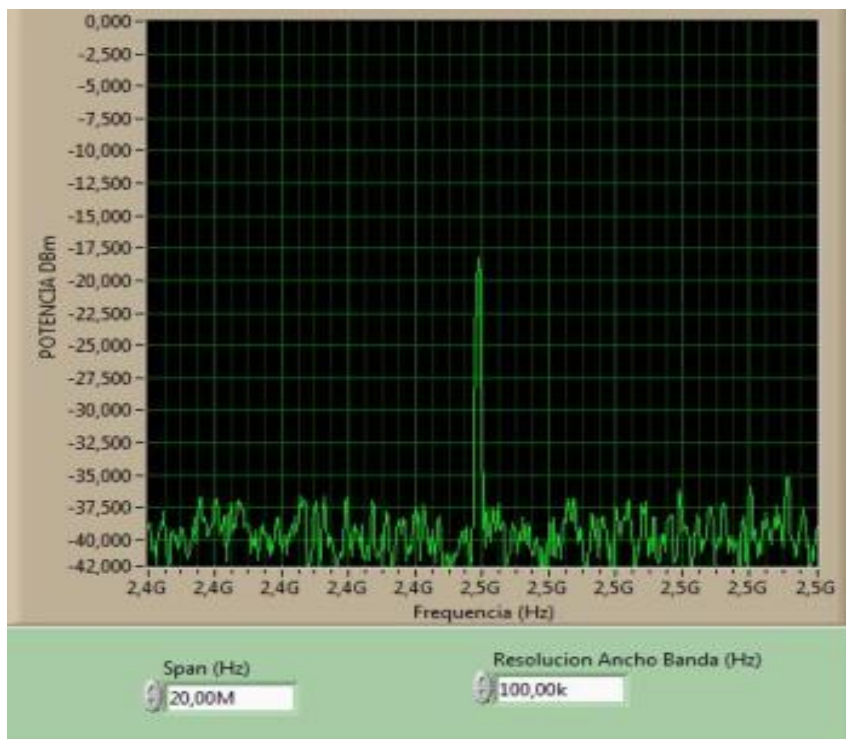


Figura 3.2.6. Espectro de potencia de antenas Yagui como TX y RX con polarización vertical (1.5m)

### 3.2.1.3. Patrón de radiación con “polarización horizontal” antena transmisora Yagui y receptora Yagui a 3 metros

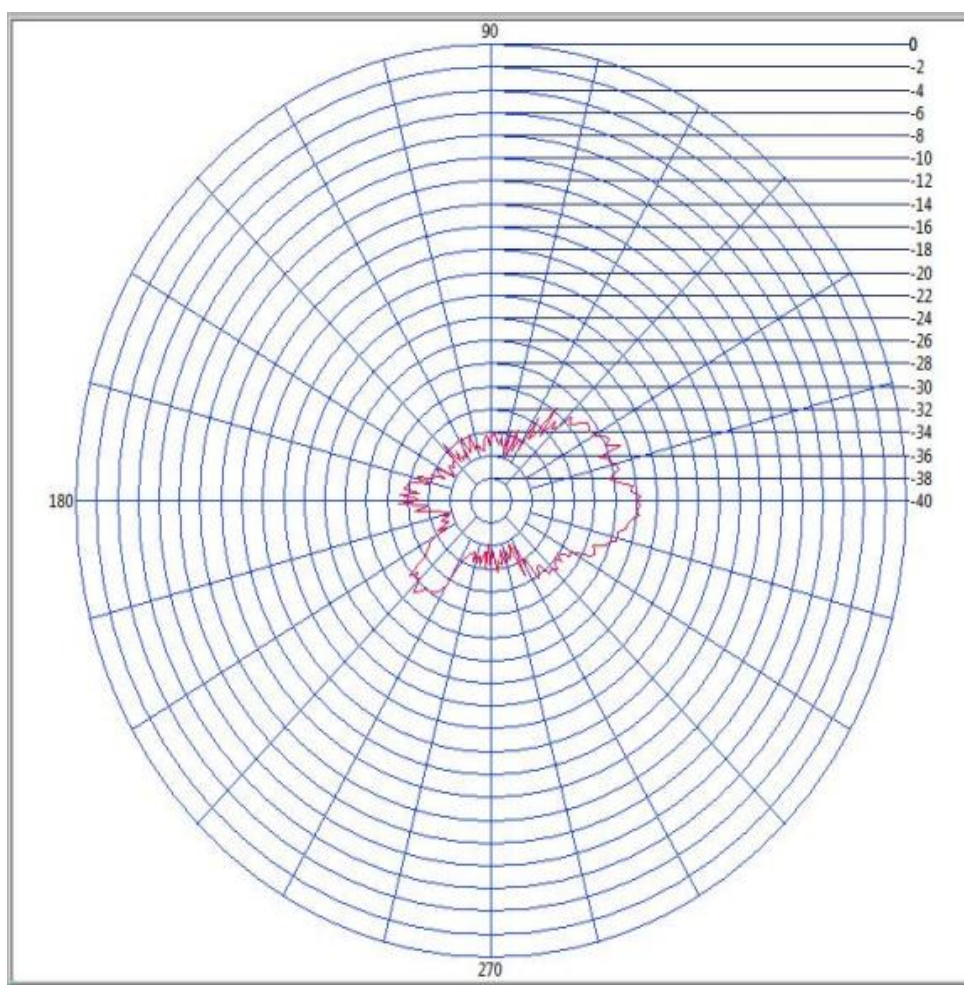


Figura 3.2.7. Patrón de radiación de antenas Yagui como TX y RX con polarización horizontal (3m).



Tabla 3.2-3. Datos del Patrón de radiación de antenas Yagui como TX y RX con polarización horizontal (3m).

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-25,473	0	39,26	6,2	3	0,45	52,52	-23,91

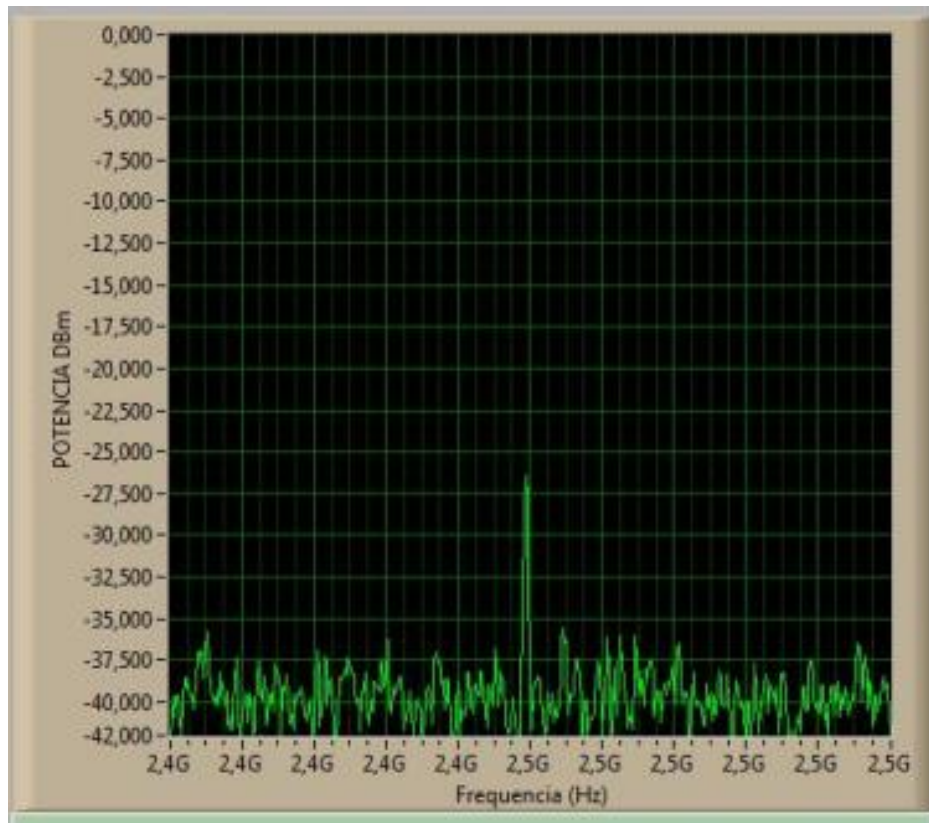
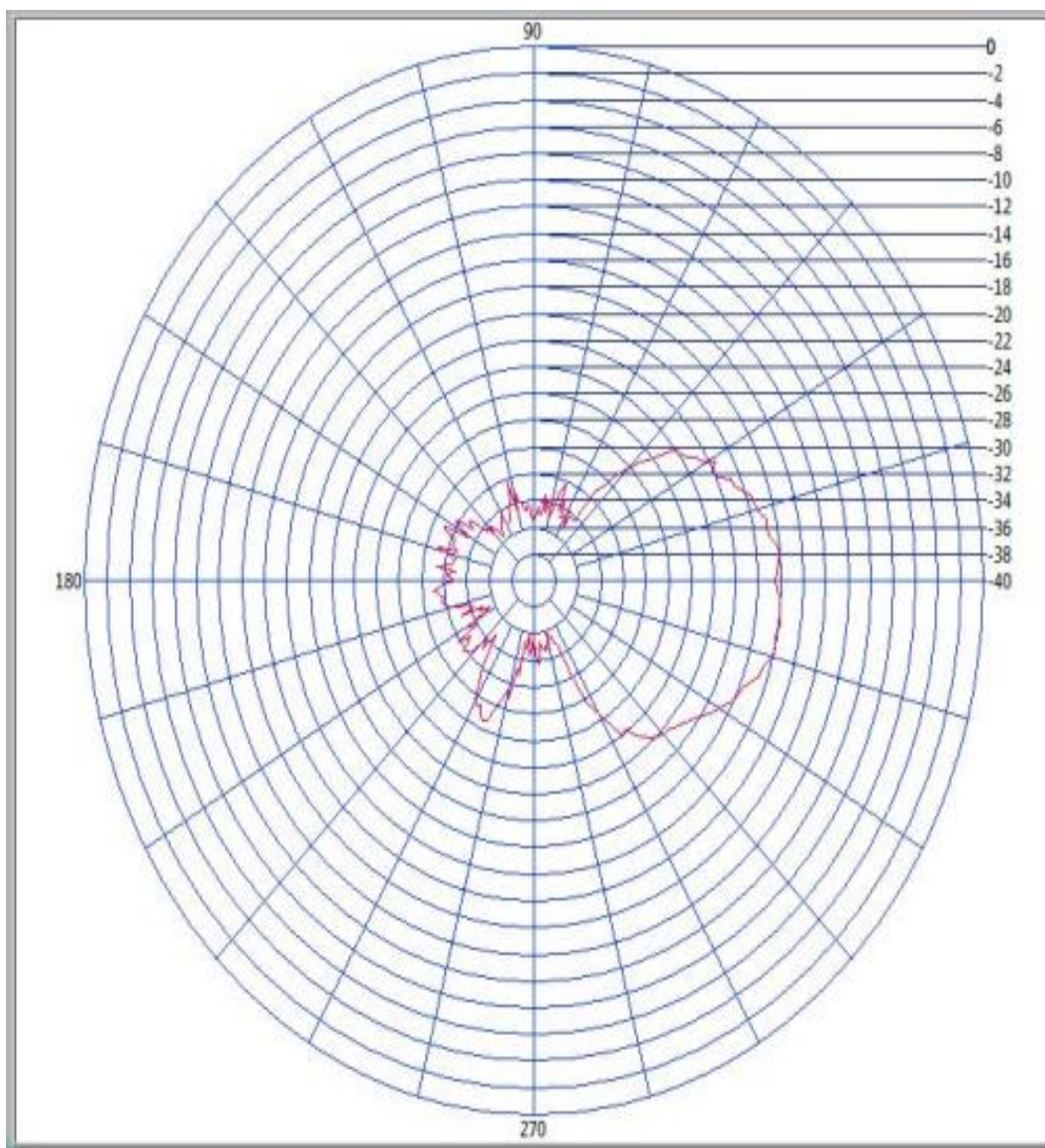


Figura 3.2.8. Espectro de potencia con antenas Yagui como TX y RX con polarización horizontal a 3m.

**3.2.1.4. Patrón de radiación con “polarización horizontal” antena transmisora Yagui y receptora Yagui a 1.5 metros de distancia.**



**Figura 3.2.9. Patrón de radiación de antenas Yagui como TX y RX con polarización horizontal (1.5m).**

Tabla 3.2-4. Datos del Patrón de radiación de antenas Yagui como TX y RX con polarización horizontal (1.5m).

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdidas (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-17.84	351	56.05	4.65	1.5	0,78	46,5	-20,39

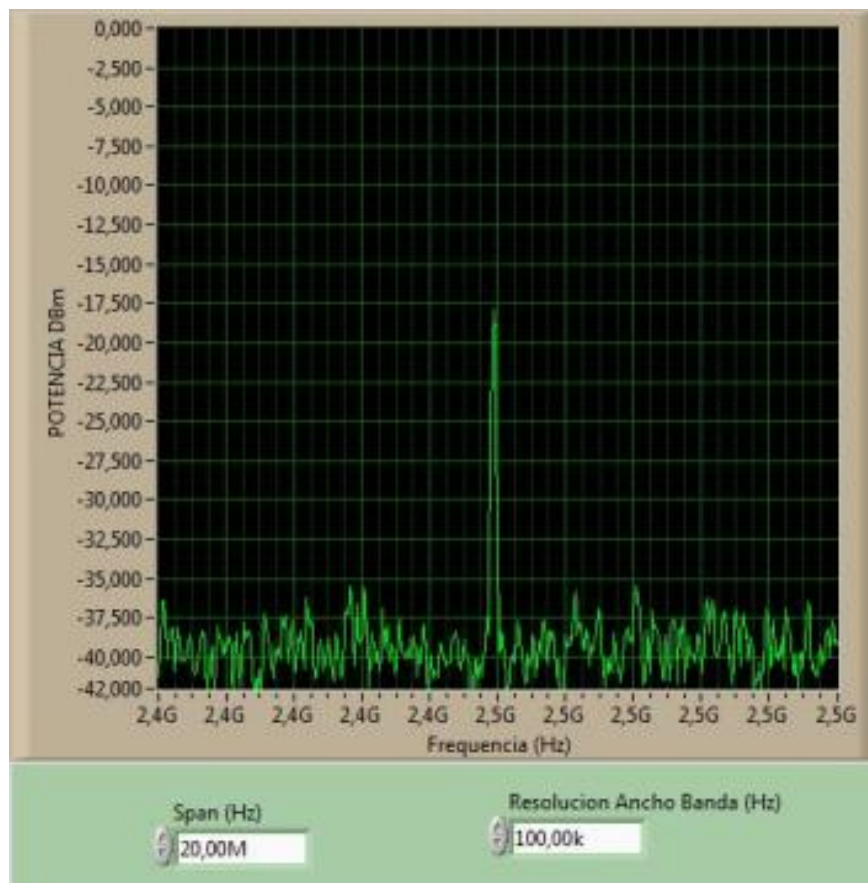


Figura 3.2.10. Espectro de potencia con antenas Yagui como TX y RX con polarización horizontal a 1.5m y 2,45GHz.

### 3.2.2. ANTENA TIPO DIPOLO BASE DE CELULAR LARGO A “2,45 GHZ”



Figura 3.2.11. Antena Dipolo B.C. utilizada en transmisión y recepción a 2,45 GHz<sup>1</sup>

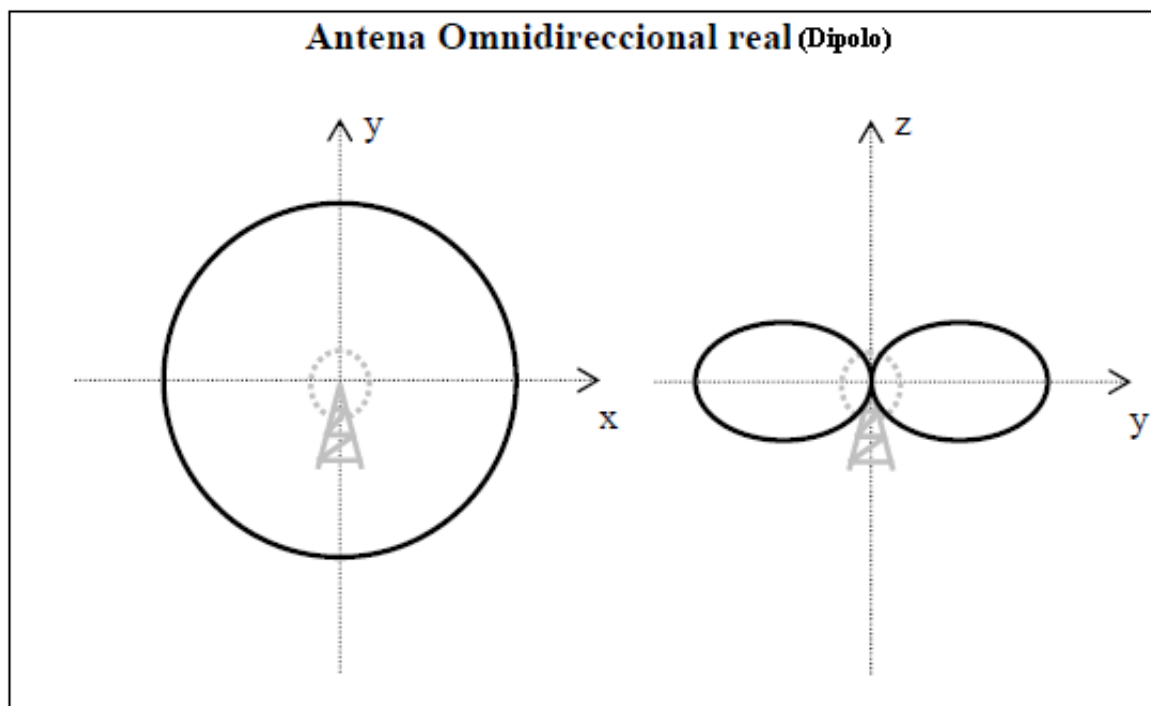
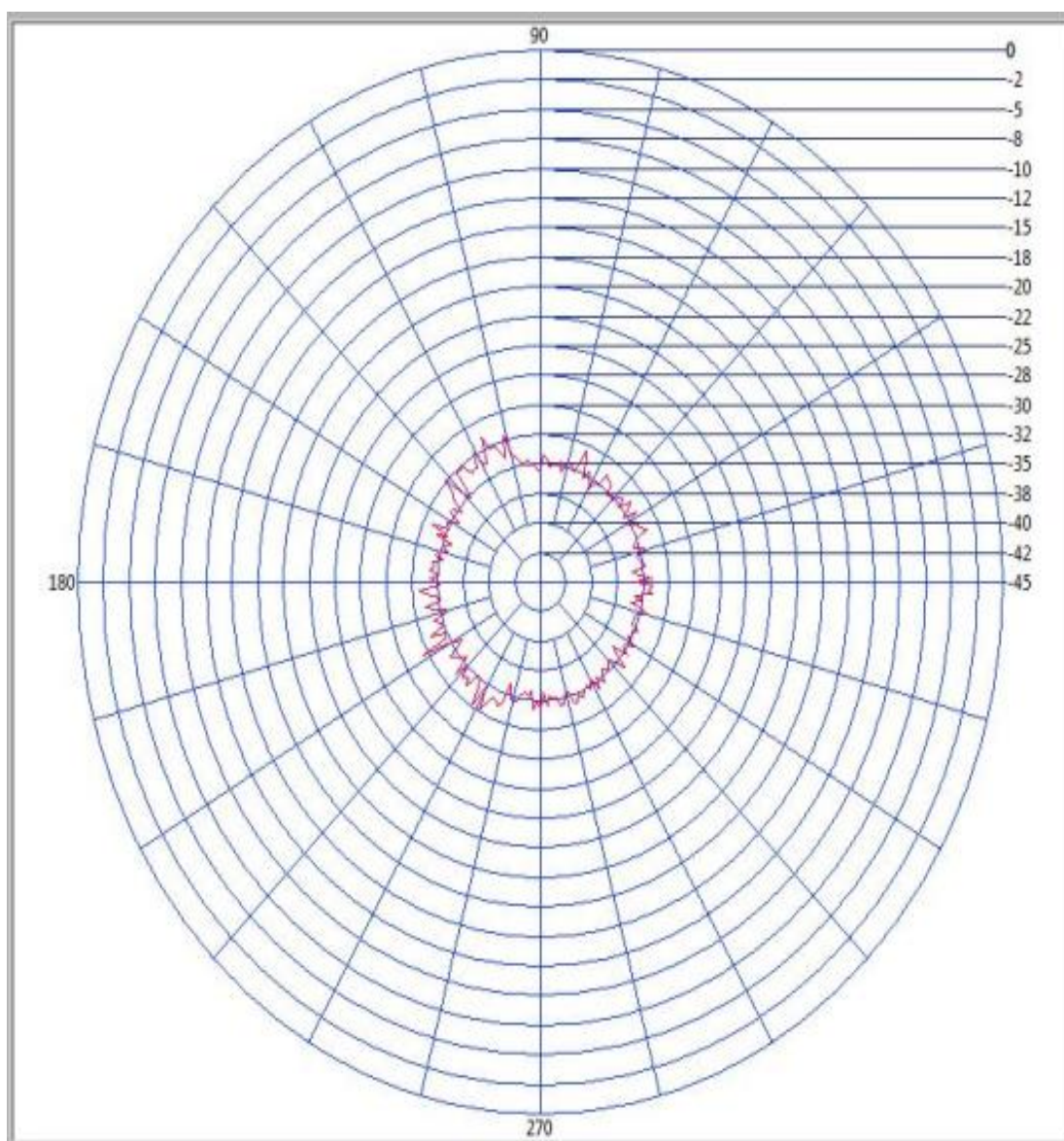


Figura 3.2.12. Patrones de radiación en diferentes planos de un dipolo<sup>46</sup>.

<sup>46</sup> [www.antenasparatodos.blogspot.com](http://www.antenasparatodos.blogspot.com)

**3.2.2.1. Patrón de radiación con polarización “vertical” antena transmisora dipolo b.c. y receptora dipolo b.c. a 3 metros de distancia**



**Figura 3.2.13. Patrón de radiación polarización vertical de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45GHz (3m).**

Tabla 3.2-5. Datos del Patrón de radiación con polarización vertical de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45GHz (3m).

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-31.41	115,2	31,83	7,11	3	0,4868	52,52	-22,72

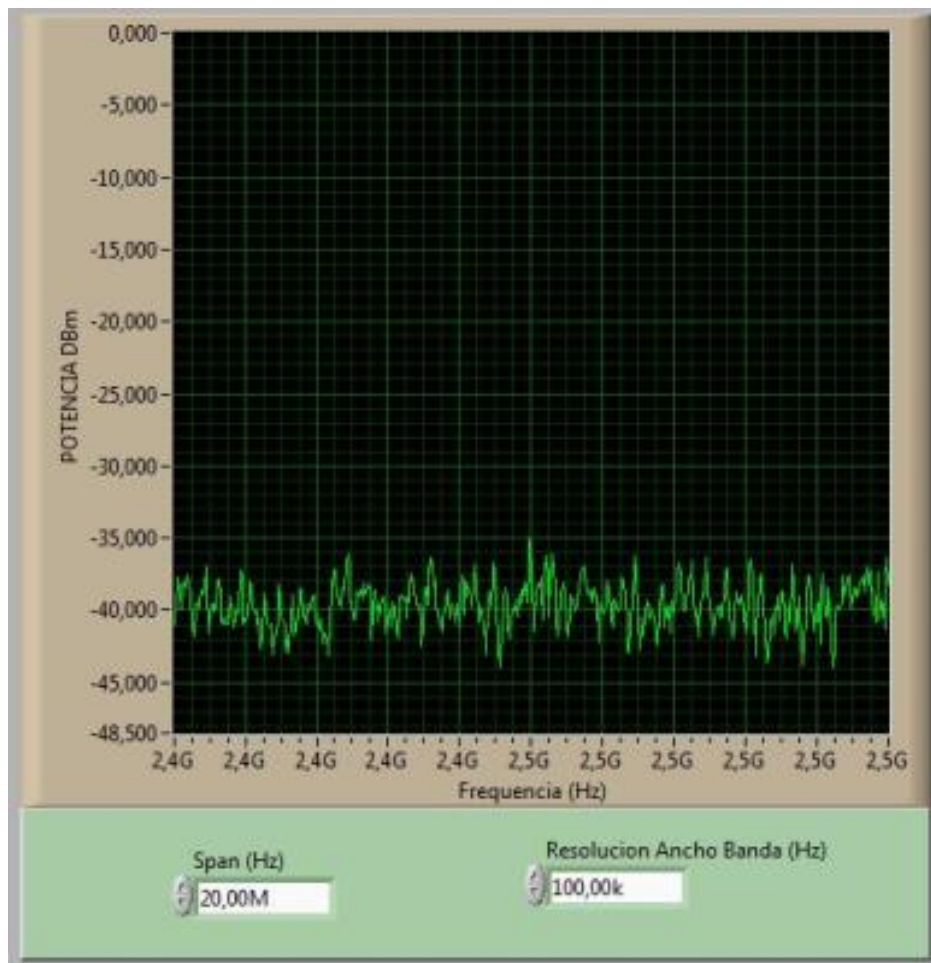
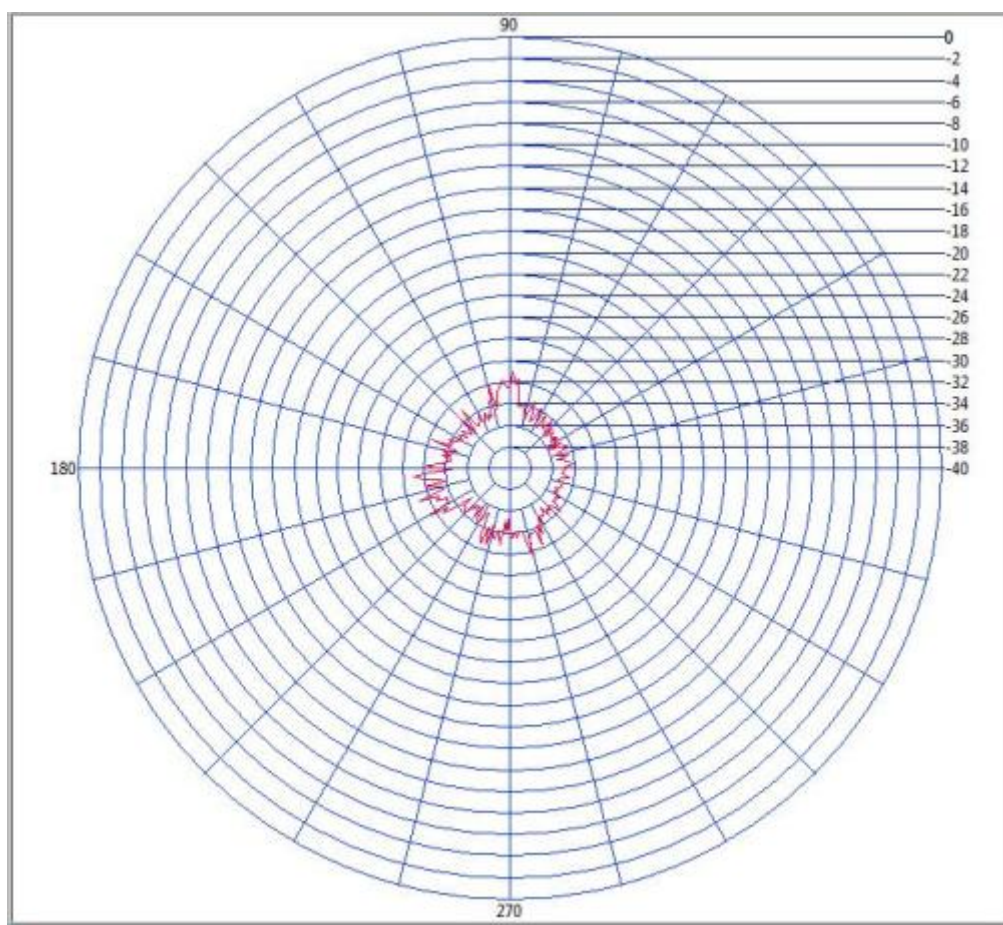


Figura 3.2.14. Espectro de potencia con polarización vertical de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45GHz (3m).

Nota: La notable diferencia de la potencia calculada con la medida es debido a que este tipo de antena no está trabajando a su frecuencia de resonancia y no puede trabajar idealmente a una frecuencia de 2,45GHz. Sin embargo emite señal y puede ser captado por el analizador NI-5660.

**3.2.2.2. Patrón de radiación con polarización “vertical” antena transmisora y receptora a 1.5 metros de distancia.**



**Figura 3.2.15. Patrón de radiación de polarización vertical de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45GHz (1.5m).**

Tabla 3.2-6. Datos del Patrón de radiación con polarización vertical de antenas dipolo base celular como TX y Rx a 2,45GHz (1.5m).

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-30,90	185.4	32,36	7,03	1.5	0.96	46,5	-16,72

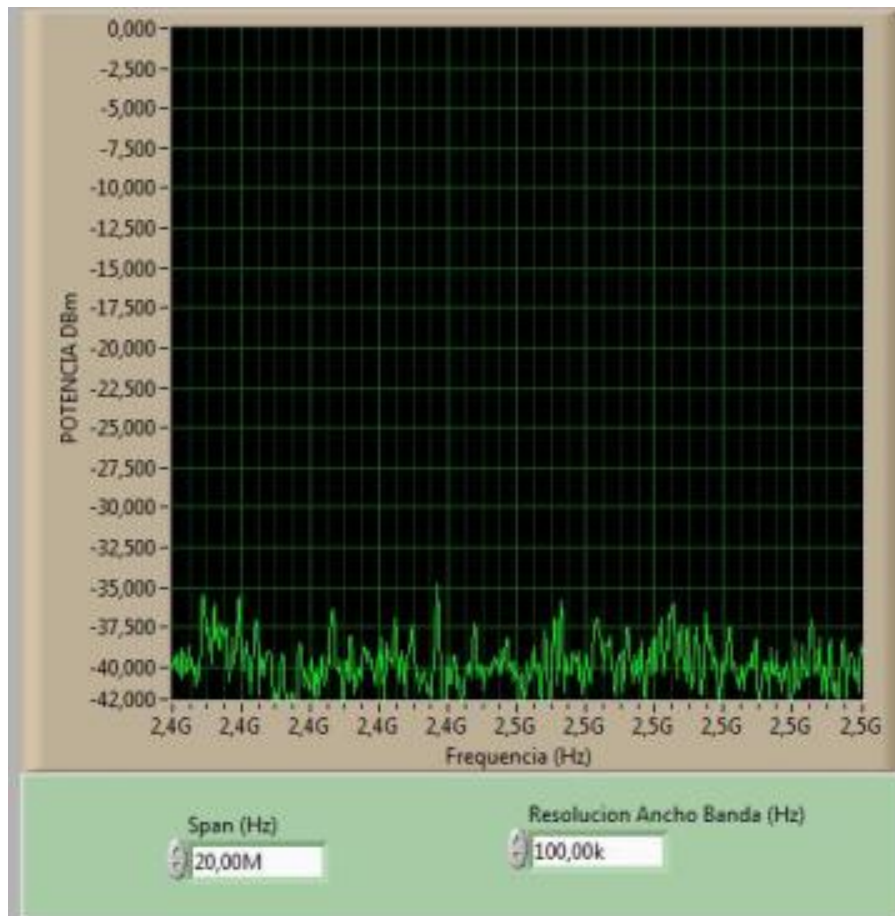
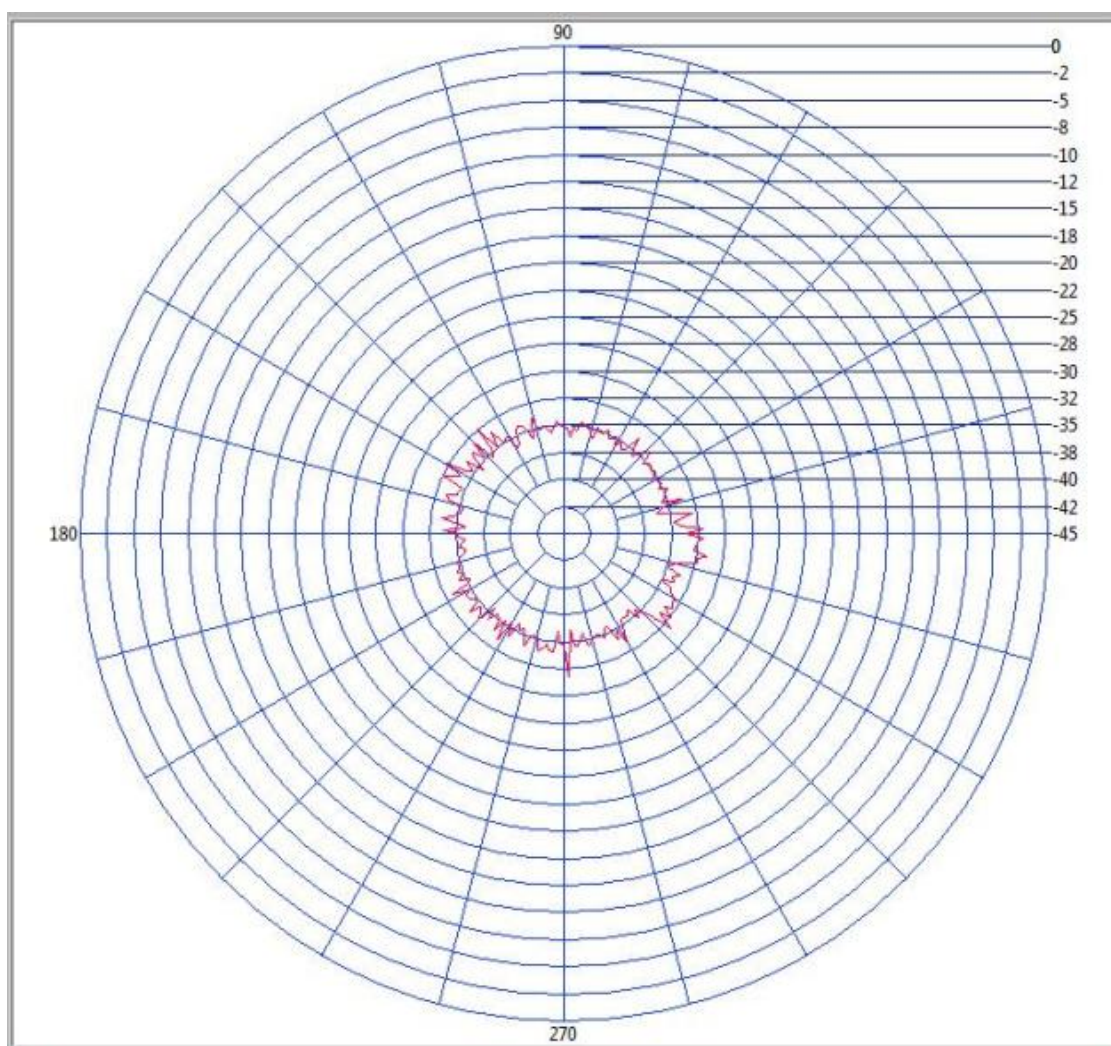


Figura 3.2.16. Espectro de potencia con polarización vertical antenas dipolo base celular como TX y RX 2,45GHz (1.5m).



**3.2.2.3. Patrón de radiación con polarización “horizontal” antena transmisora dipolo b.c. y receptora b.c. a 3 metros de distancia**



**Figura 3.2.17. Patrón de radiación con polarización horizontal de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45Ghz (3m).**

Tabla 3.2-7. Datos del Patrón de radiación con polarización horizontal de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45Ghz.

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción (DBm)
10	-31.29	305	31.95	7.09	3	0,486	52,52	-22,7

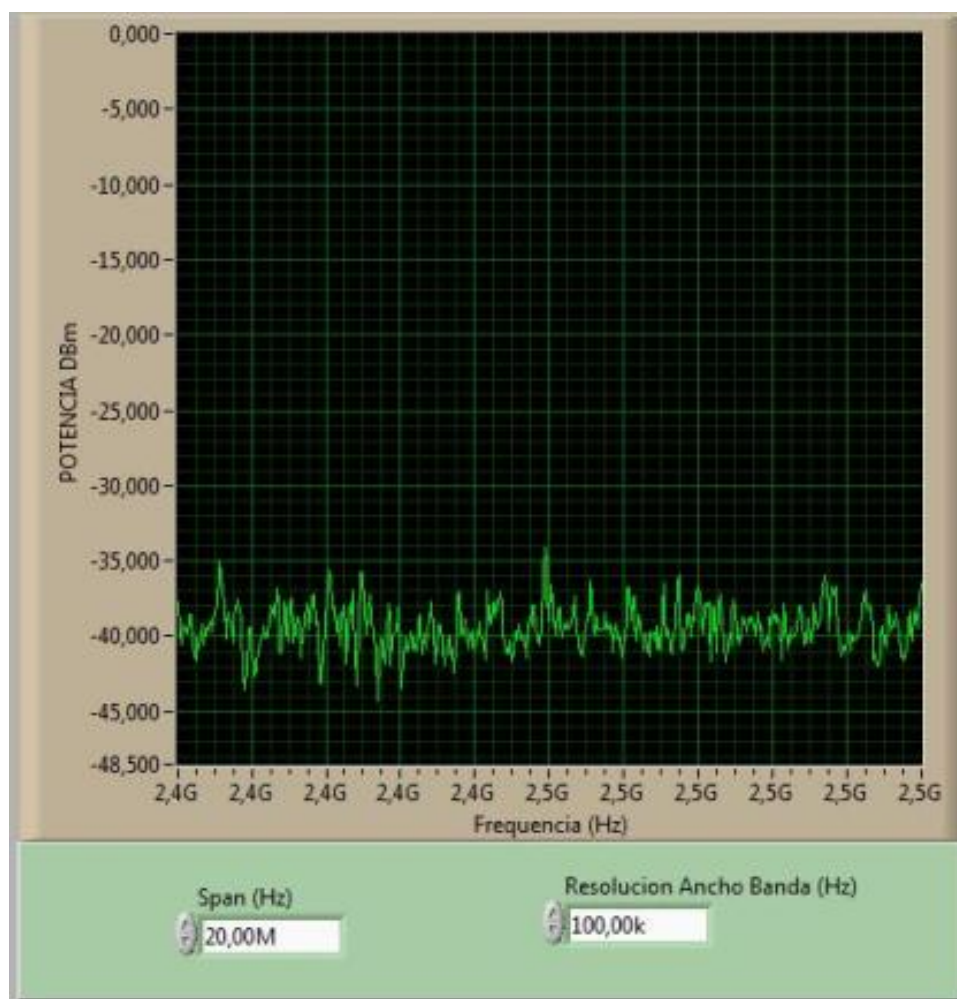
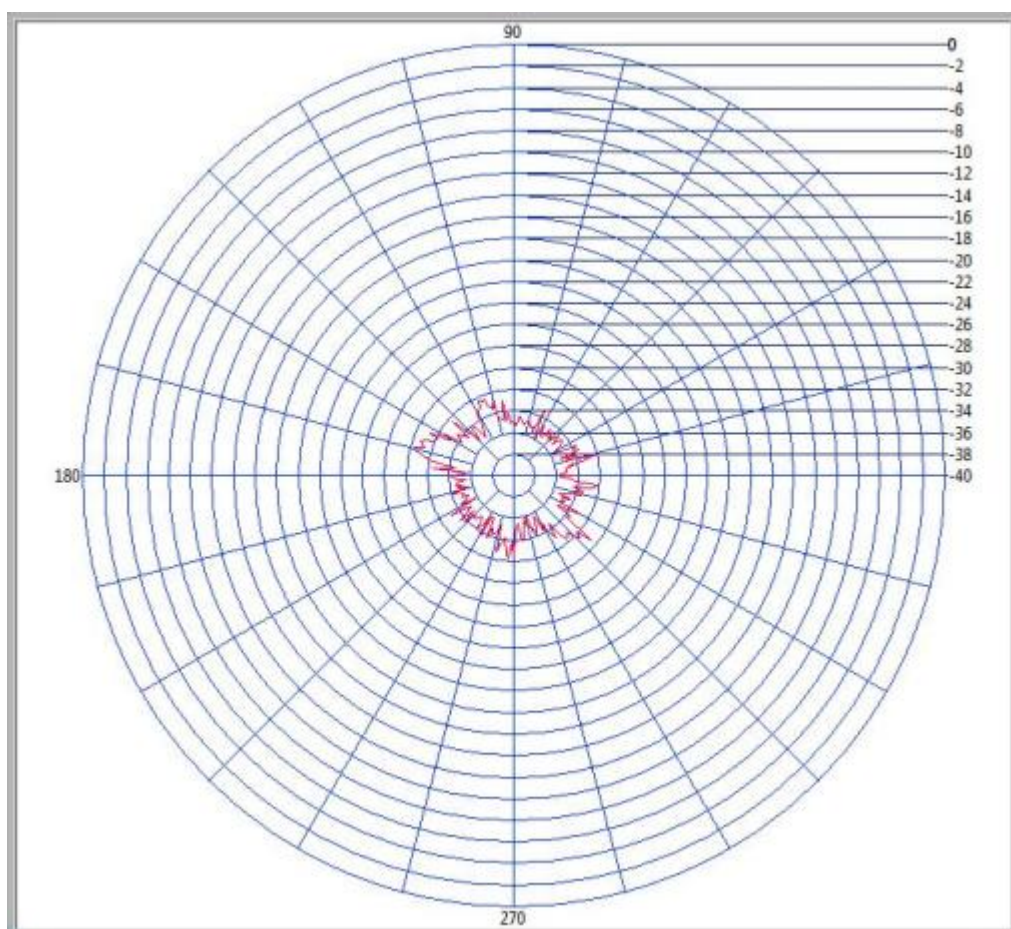


Figura 3.2.18. Espectro de potencia con polarización horizontal de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45Ghz.

**3.2.2.4. Patrón de radiación con “polarización horizontal” antena transmisora dipolo b.c. y receptora dipolo b.c. a 1.5 m de distancia**



**Figura 3.2.19. Patrón de radiación polarización horizontal de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45Ghz (1,5m).**

Tabla 3.2-8. Datos del Patrón de radiación con polarización horizontal de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45Ghz (1,5m).

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-30,42	163	32,87	6,97	1.5	0.96	46,5	-16,84

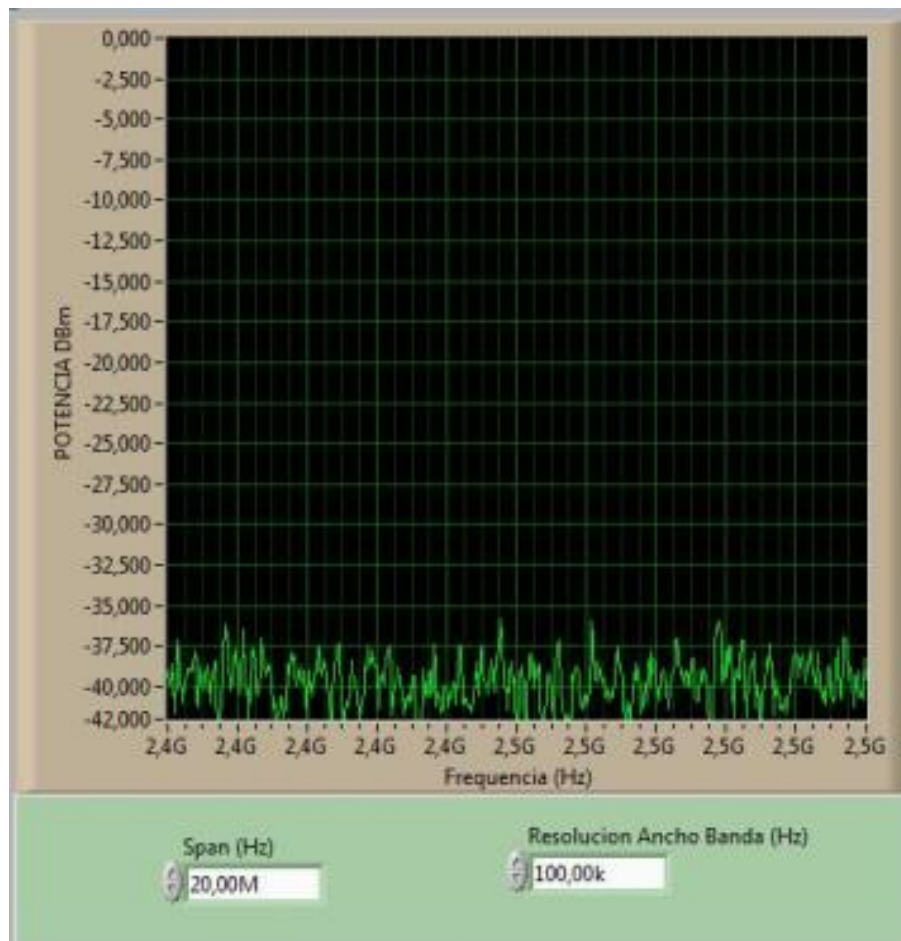


Figura 3.2.20. Espectro de potencia con polarización horizontal de antenas dipolo base celular como TX y RX a 2,45Ghz (1,5m).

### 3.2.3. ANTENA TRANSMISORA TIPO DIPOLO BASE DE CELULAR LARGO A "914 MHZ"



Figura 3.2.21. Antena Dipolo B.C. utilizada en Transmisión y recepción a 914 GHz.

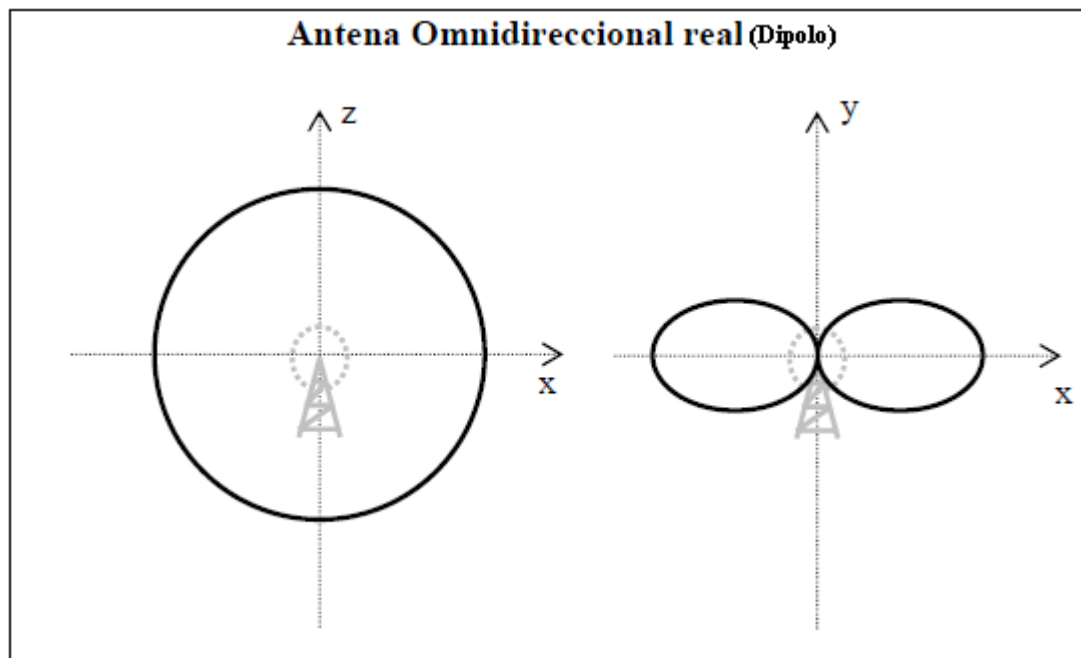
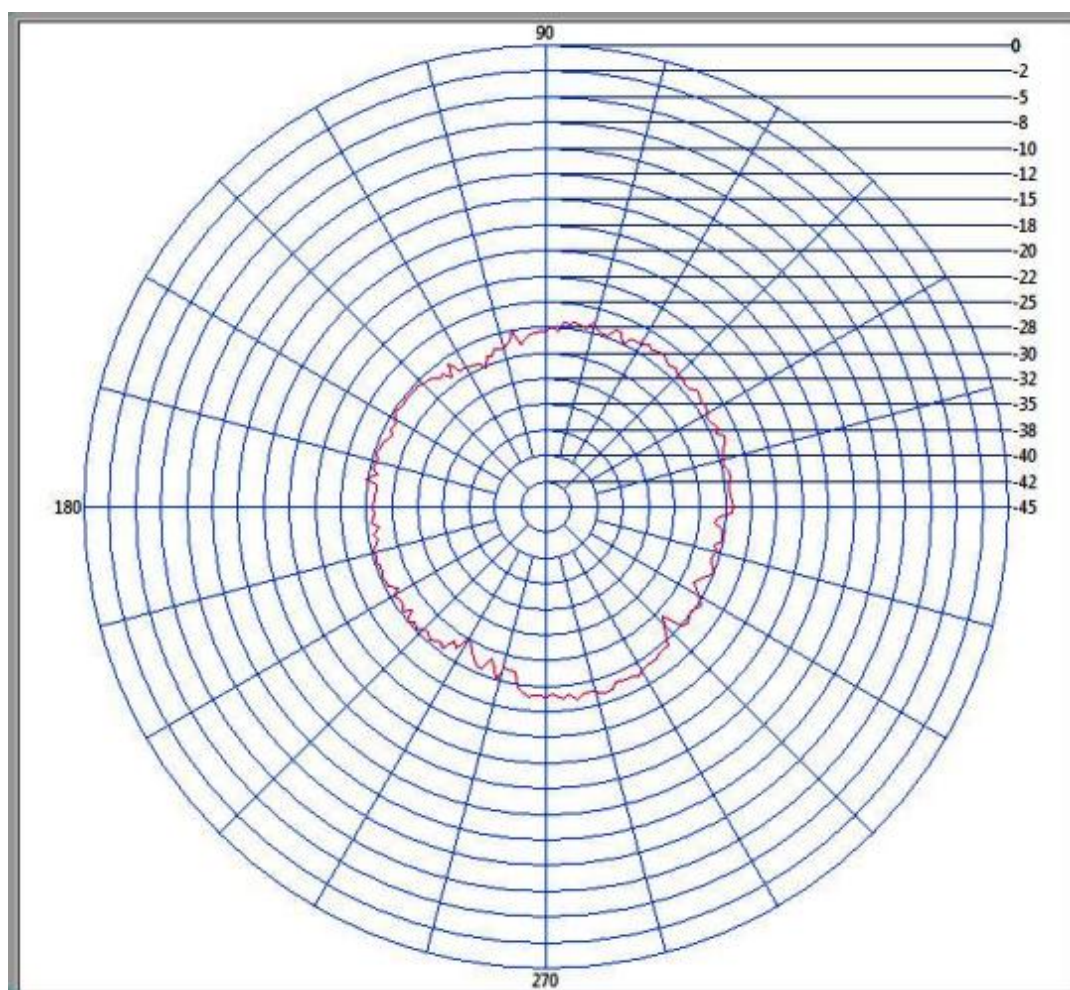


Figura 3.2.22. Patrón de radiación matemático de un Dipolo<sup>47</sup>.

<sup>47</sup> [www.antenasparatodos.blogspot.com](http://www.antenasparatodos.blogspot.com)

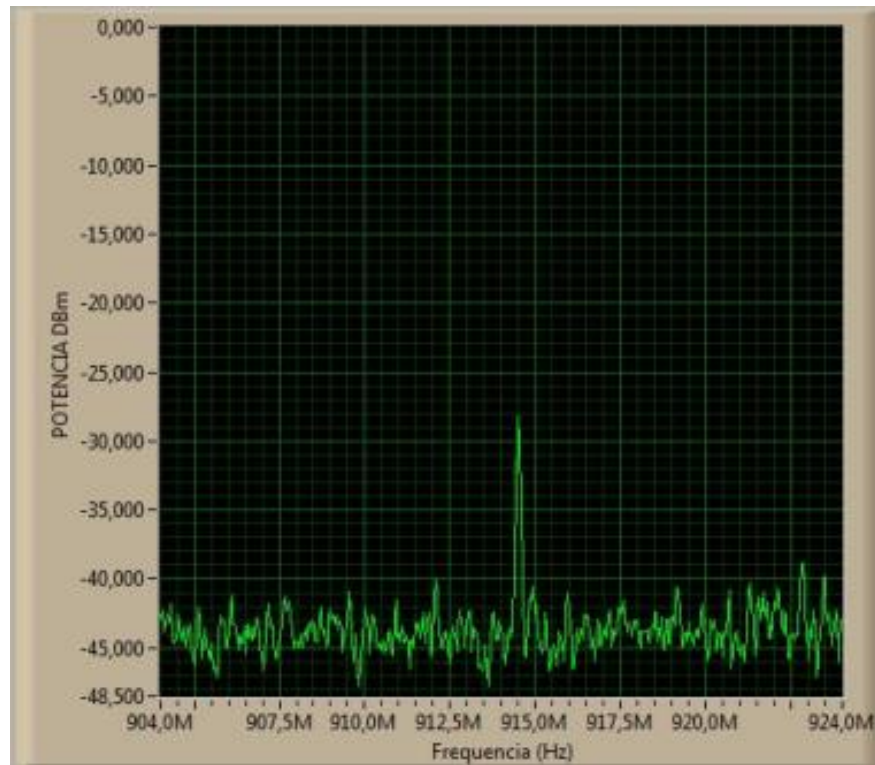
**3.2.3.1. Patrón de radiación con “polarización vertical” antena transmisora b.c. y receptora b.c. a 3 metros de distancia**



**Figura 3.2.23. Patrón de radiación con polarización vertical, antena dipolo base de celular como TX y RX a 914 MHz (3m).**

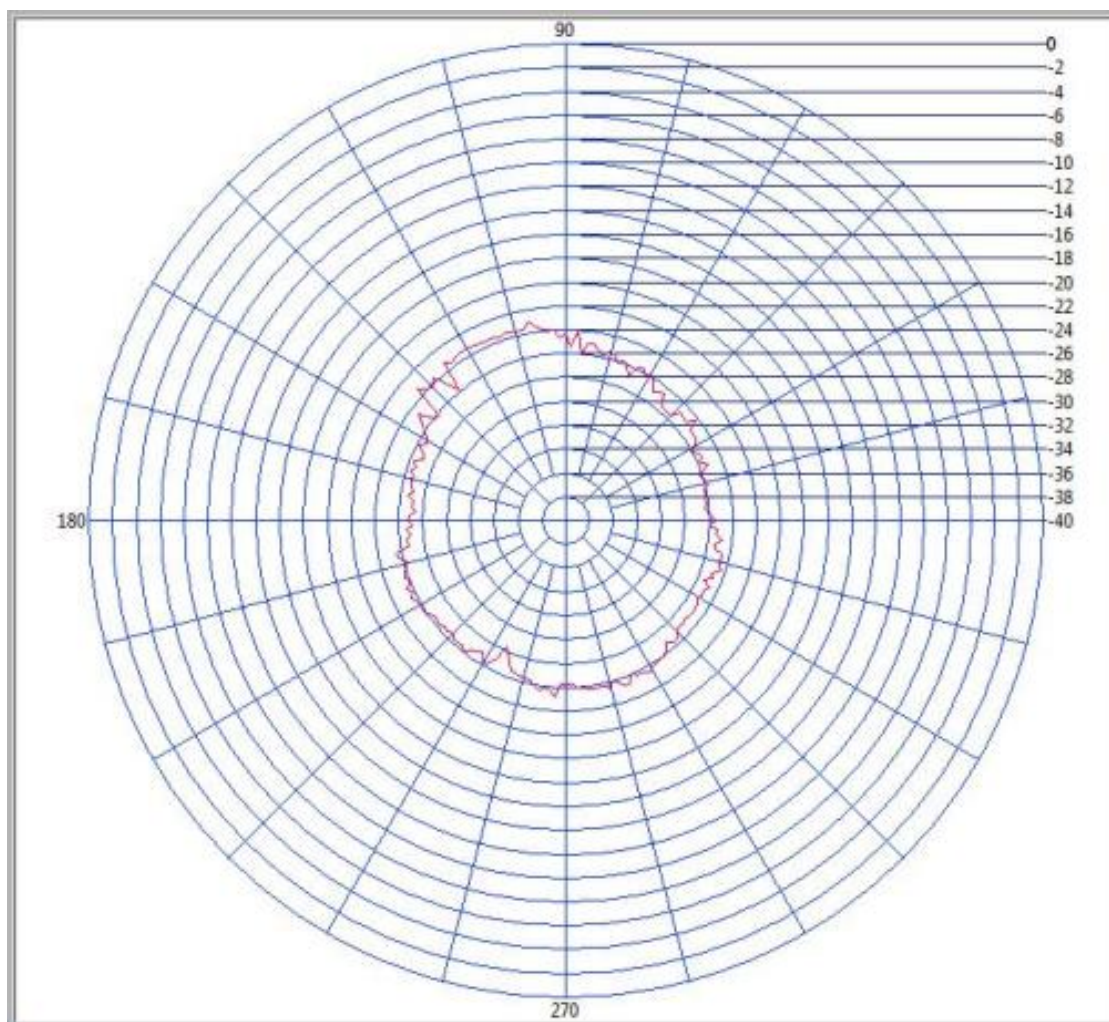
**Tabla 3.2-9. Datos del Patrón de radiación con polarización vertical, antena dipolo base de celular como TX y RX a 914 MHz (3m).**

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-25,86	279	38.66	6,26	3	0,457	43,96	-15,7



**Figura 3.2.24. Espectro de potencia con polarización vertical, antena dipolo base de celular para TX y RX a 914 MHz (3m).**

**3.2.3.2. Patrón de radiación con polarización vertical antenna transmisora b.c. y receptora b.c. a 1.5 metros de distancia**

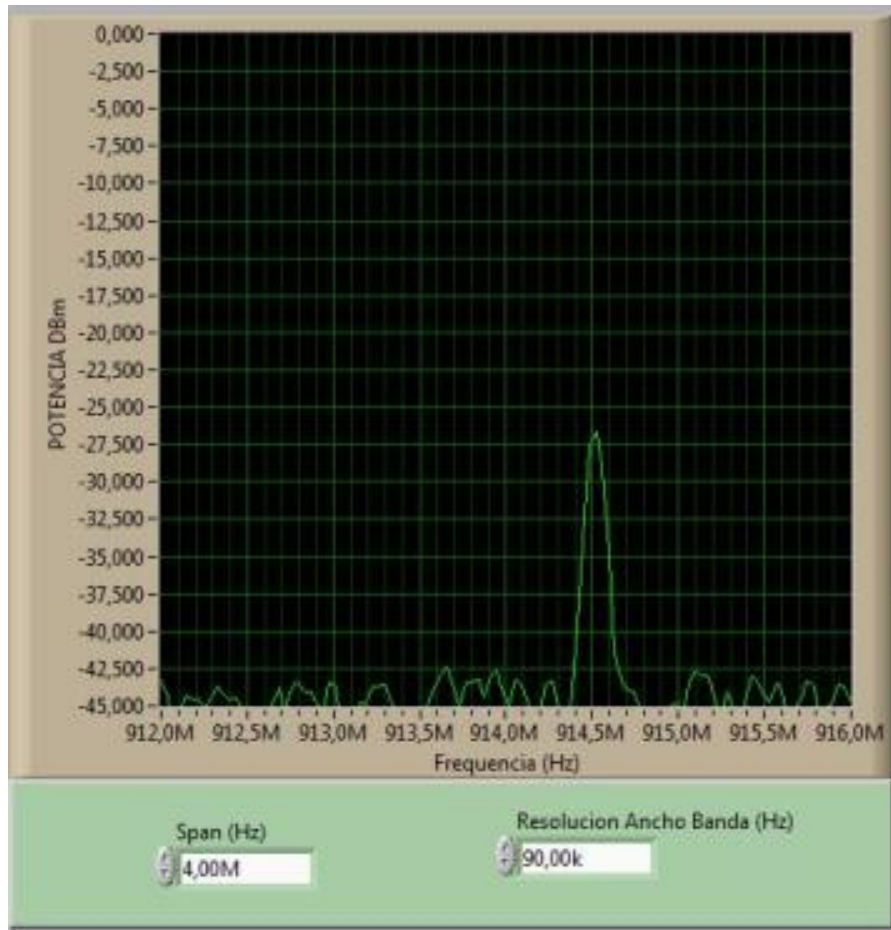


**Figura 3.2.25. Patrón de radiación con polarización vertical, antenna dipolo base de celular para TX y RX a 914 MHz (1.5m).**



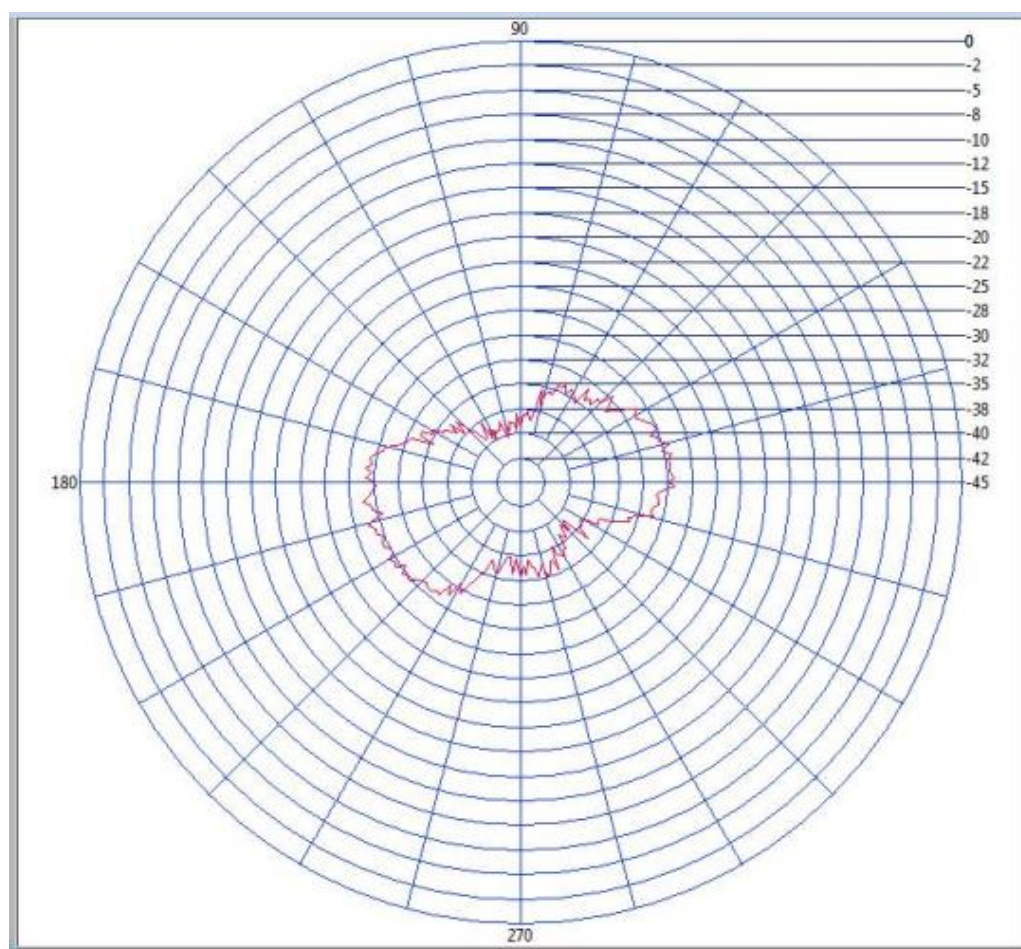
**Tabla 3.2-10. Datos del Patrón de radiación con polarización vertical, antena dipolo base de celular para TX y RX a 914 MHz (1.5m).**

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-23,08	100,8	43,31	5,63	1.5	0,867	37,94	-10,68



**Figura 3.2.26. Espectro de potencia con polarización vertical, antena dipolo base de celular para TX y RX a 914 MHz (1.5m).**

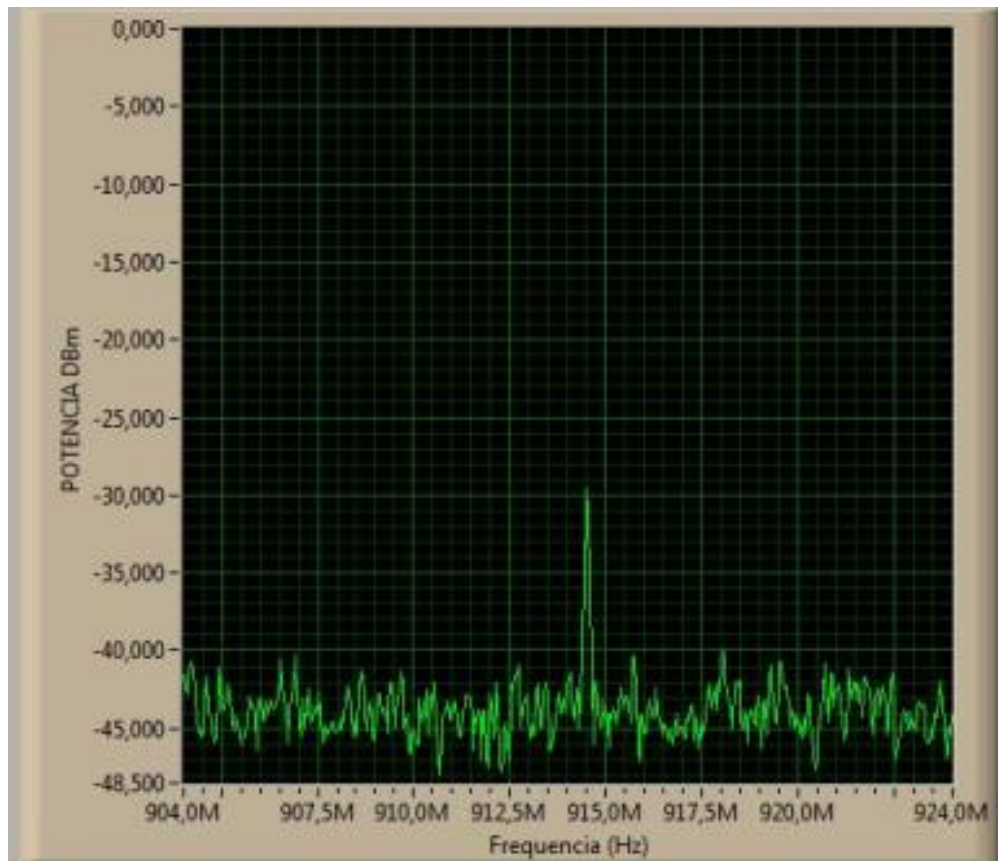
**3.2.3.3. Patrón de radiación con “polarización horizontal” antena transmisora b.c. y receptora b.c. a 3 metros de distancia**



**Figura 3.2.27. Patrón de radiación con polarización horizontal, antena dipolo base de celular para transmisión y recepción experimento en 914 MHz (3m).**

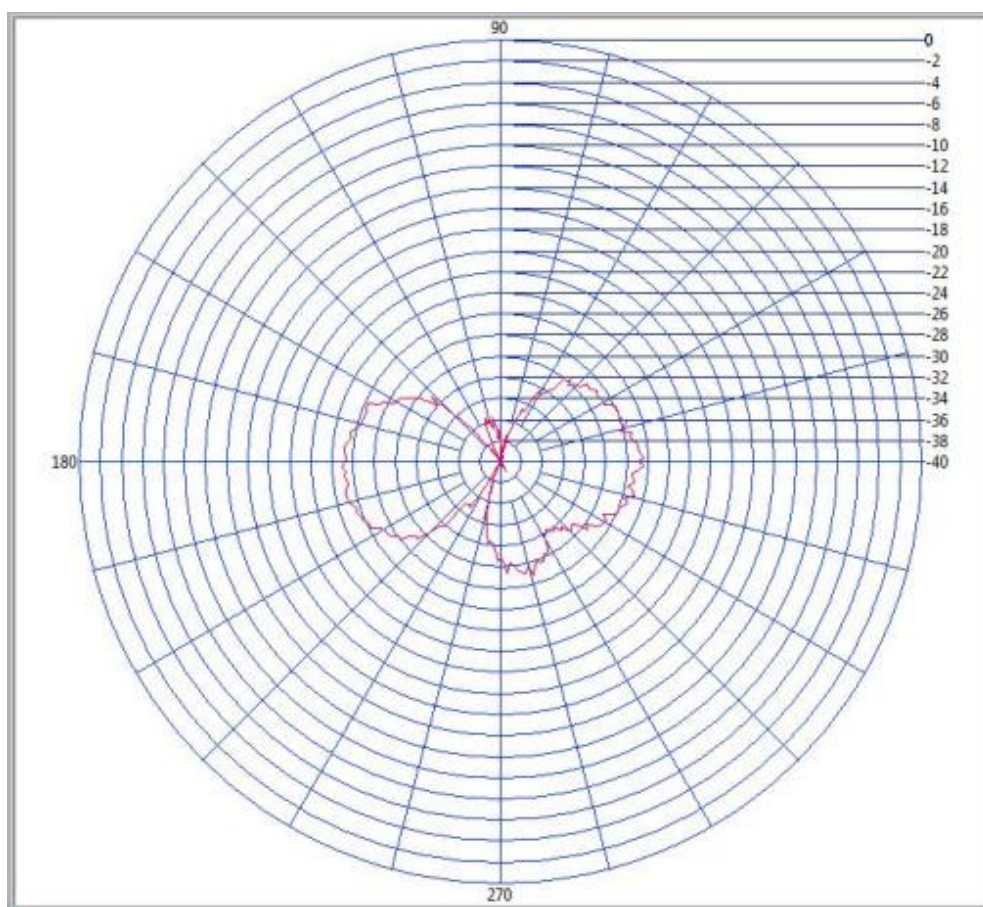
**Tabla 3.2-11. Datos del patrón de radiación con polarización horizontal, antena dipolo base de celular para transmisión y recepción experimento en 914 MHz (3m).**

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-28,71	187,2	34,86	6,72	3	0,473	43,96	-14,80



**Figura 3.2.28. Espectro de potencia con polarización horizontal, antena dipolo base de celular para transmisión y recepción experimento en 914 MHz (3m).**

**3.2.3.4. Patrón de radiación con polarización horizontal antenna transmisora b.c. y receptora b.c. a 1.5 metros de distancia**



**Figura 3.2.29. Patrón de radiación con polarización horizontal, antenna dipolo base de celular para transmisión y recepción experimento en 914 MHz (1.5m).**

Tabla 3.2-12. Datos del patrón de radiación con polarización horizontal, antena dipolo base de celular para transmisión y recepción experimento en 914 MHz (1.5m).

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-24,93	192,6	40,10	5,96	1.5	0,89	52,52	-37,94

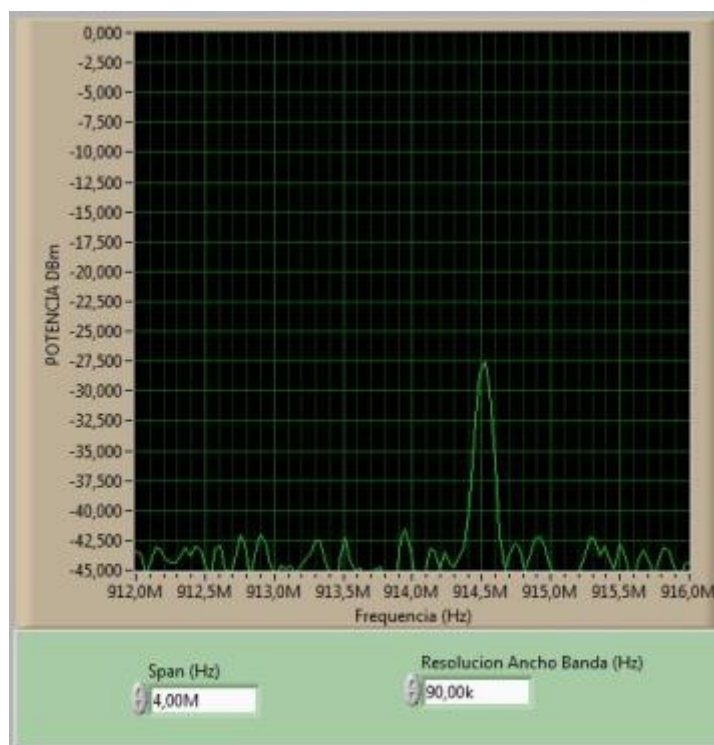


Figura 3.2.30. Espectro de potencia con polarización horizontal, antena dipolo base de celular para transmisión y recepción experimento en 914 MHz (1.5m).

### 3.2.4. ANTENA TIPO MONOPOLO CORTO ( $\lambda/2$ ) A FRECUENCIA DE TRABAJO DE 2,45 GHZ

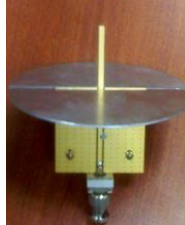


Figura 3.2.31. Antena Monopolo utilizada en Transmisión a 2,45 GHz.

Es una antena Omnidireccional semejante a la antena dipolo, siendo su patrón de radiación parecido a la *Figura 3.2.32*.

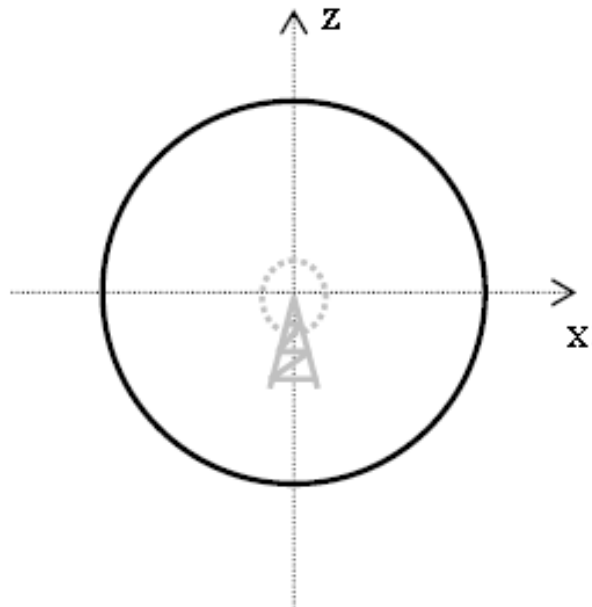
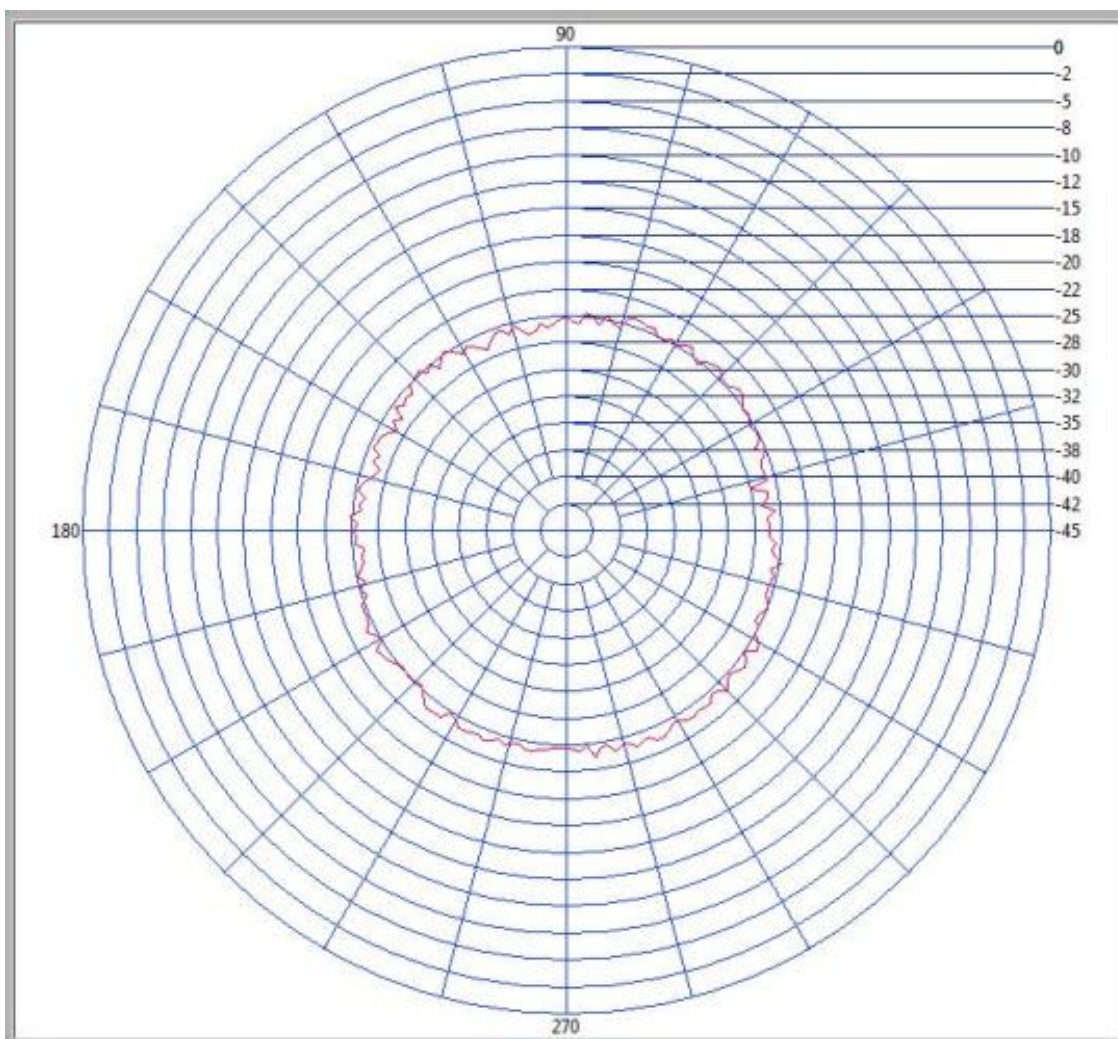


Figura 3.2.32. Patrón de radiación ideal de un Monopolo<sup>48</sup>.

---

<sup>48</sup> [www.antenasparatodos.blogspot.com](http://www.antenasparatodos.blogspot.com)

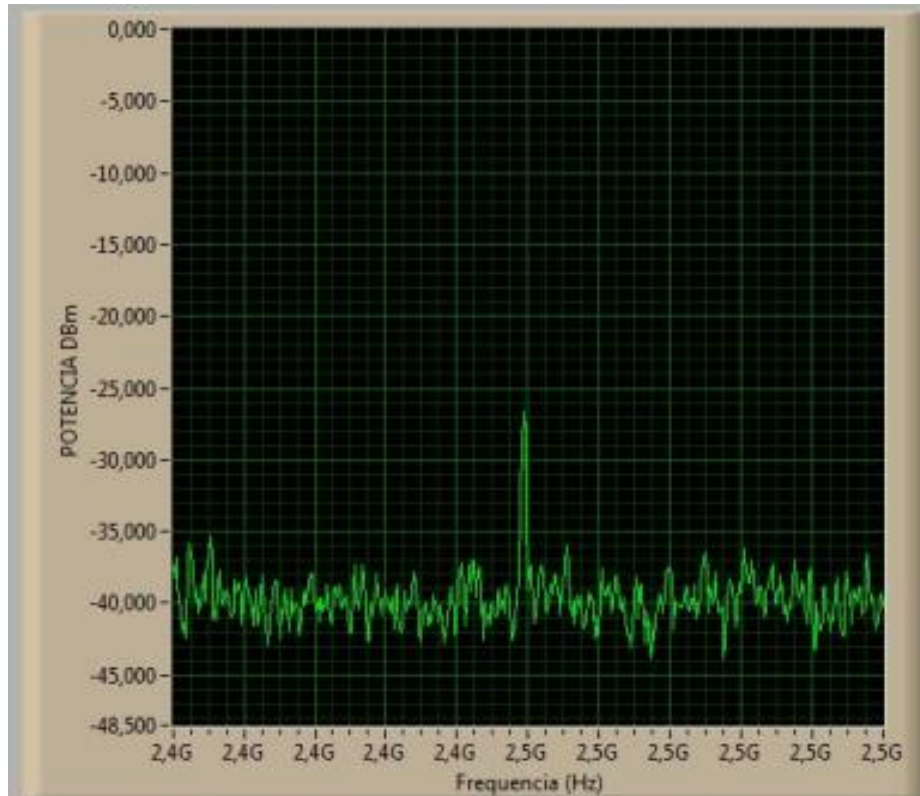
**3.2.4.1. Patrón de radiación con “polarización vertical” antena transmisora monopolo corto y receptora monopolo a 3 metros de distancia**



**Figura 3.2.33. Patrón de radiación con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (3m).**

**Tabla 3.2-13. Datos del patrón de radiación con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (3m).**

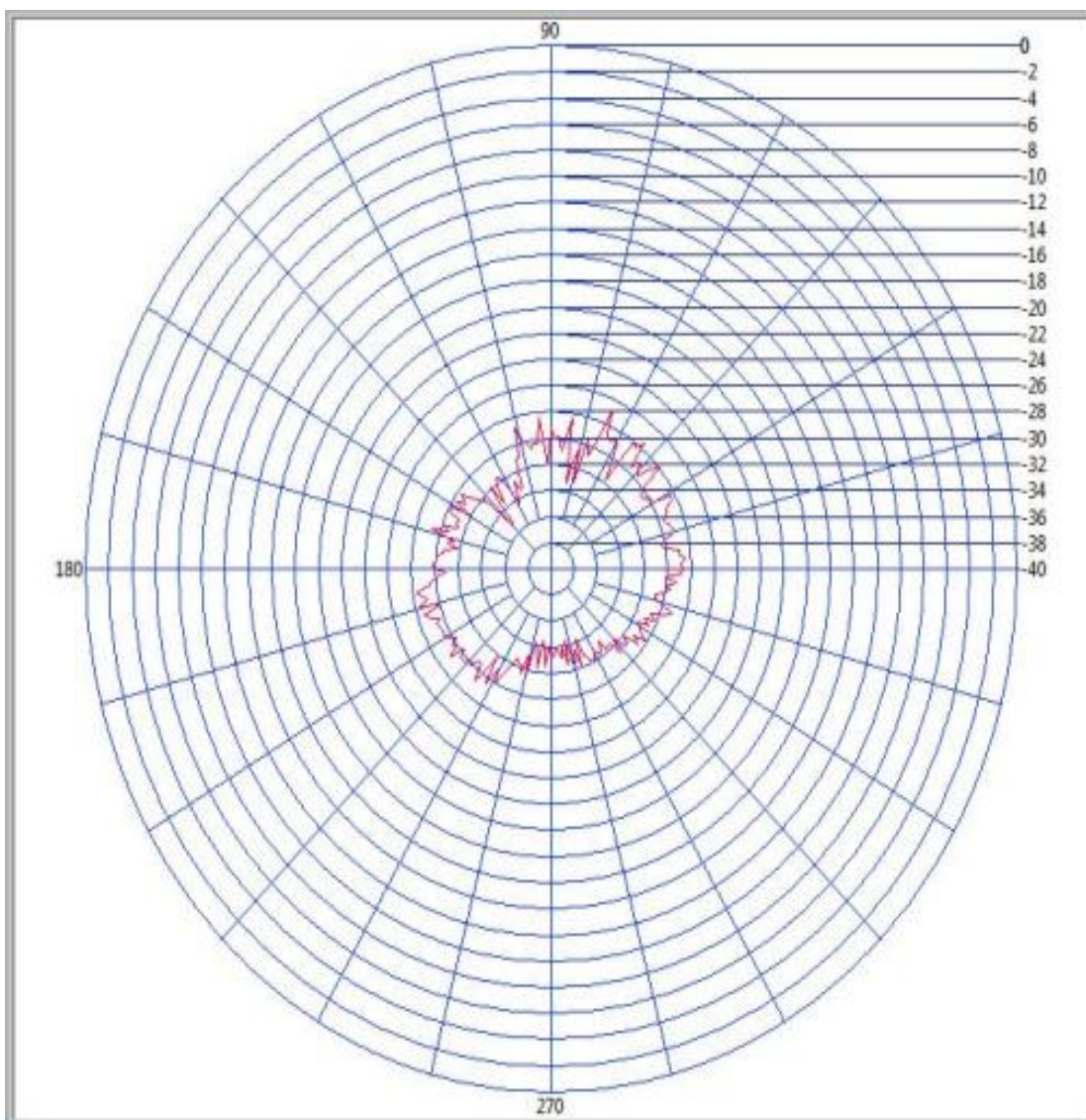
Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-23,71	295,2	42,17	5,88	3	0,443	52,52	-25,03



**Figura 3.2.34. Espectro de potencia con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (3m).**



**3.2.4.2. Patrón de radiación con polarización vertical antenna transmisora Monopolo corto y receptora Monopolo corto a 1.5 metros de distancia**



**Figura 3.2.35. Patrón de radiación con polarización vertical, antenna Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (1.5m).**

Tabla 3.2-14. Datos del patrón de radiación con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (1.5m).

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Máxima de Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Máxima Recepción Calculada (DBm)
10	-26,89	66,6	37,18	6,29	1,5	0,91	46,5	-17,9

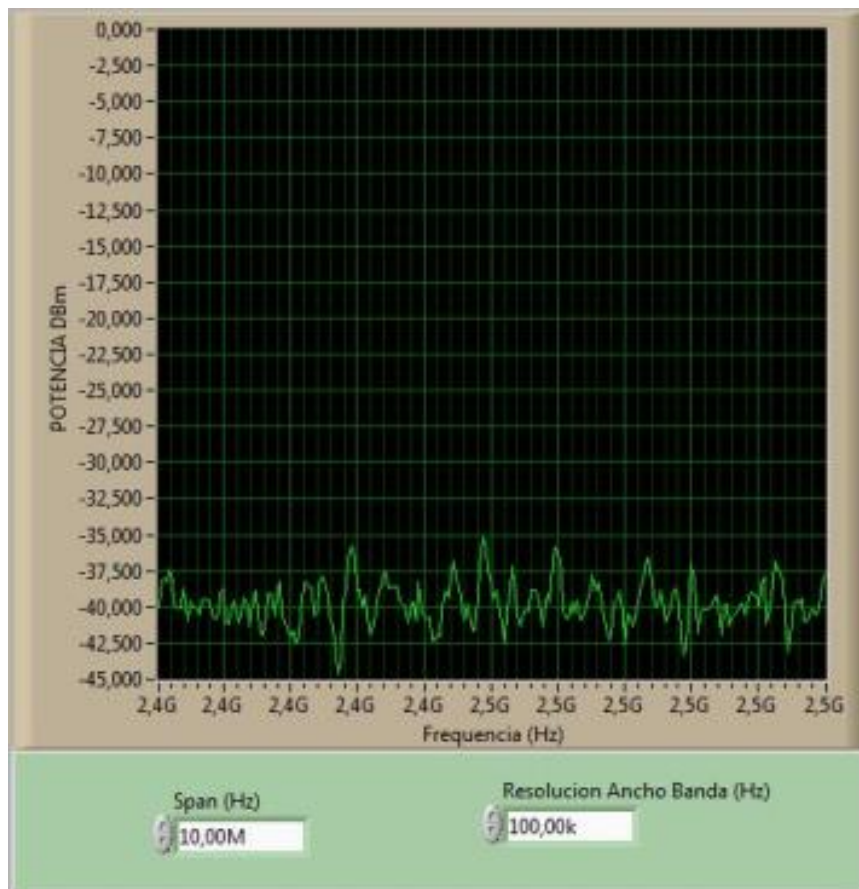
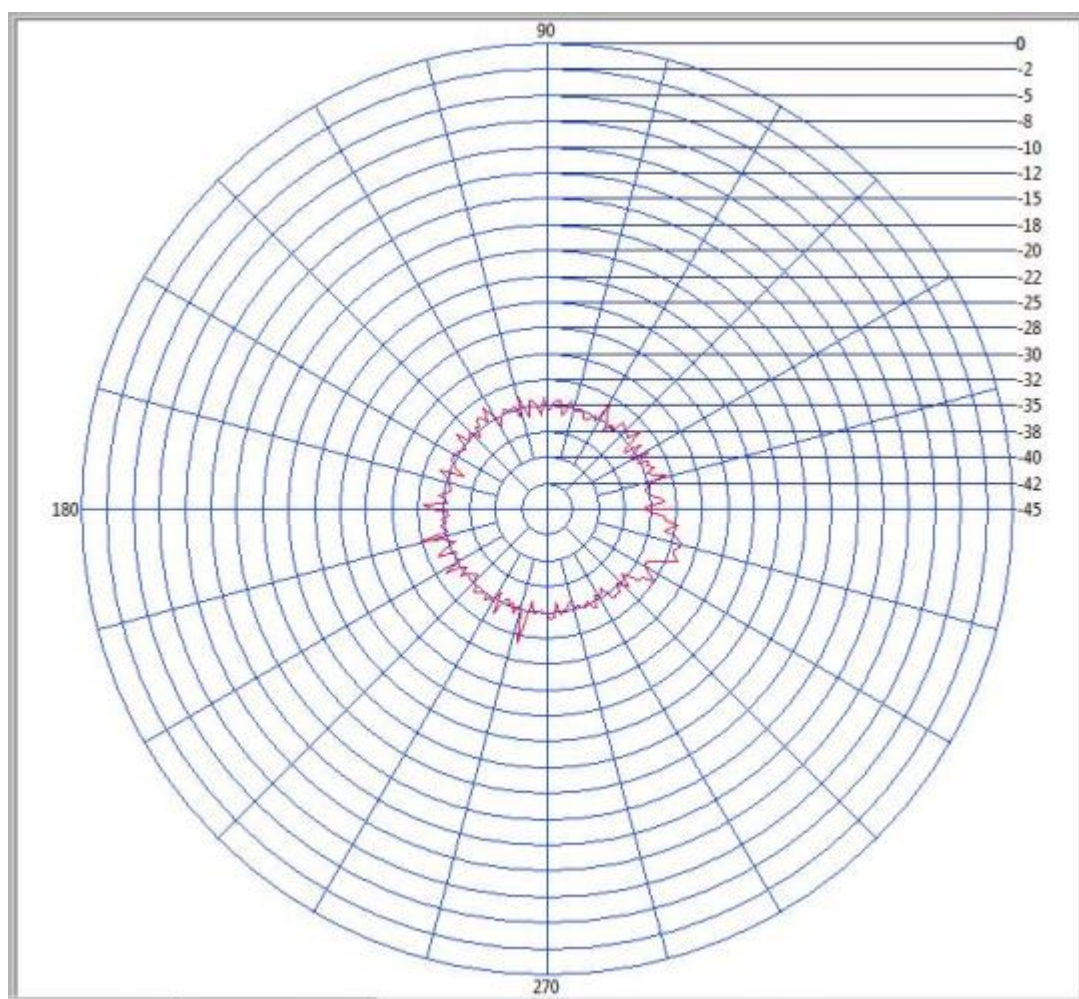


Figura 3.2.36. Espectro de potencia con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (1,5m).

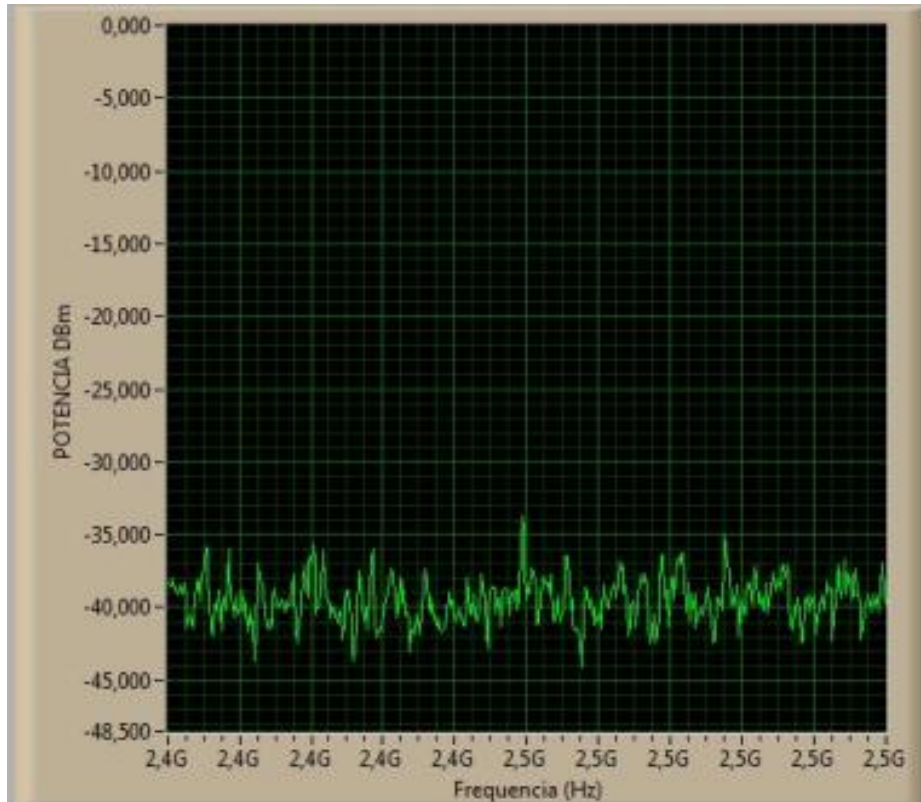
**3.2.4.3. Patrón de radiación con “polarización horizontal” antena transmisora Monopolo corto y receptora Monopolo corto a 3 metros de distancia**



**Figura 3.2.37. Patrón de polarización con polarización horizontal, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (3m).**

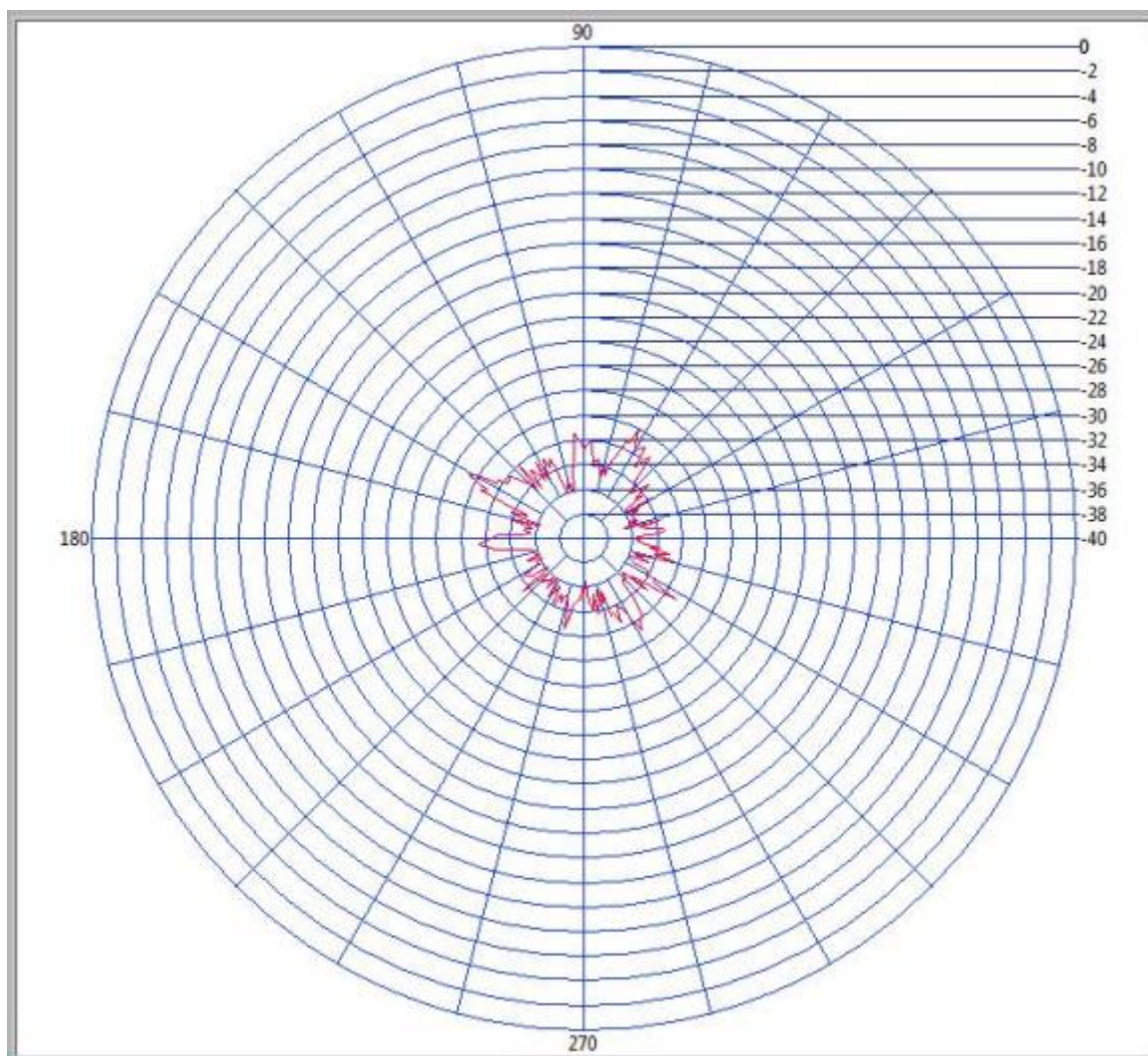
**Tabla 3.2-15. Datos del patrón de radiación con polarización horizontal, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (3m).**

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Máxima de Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Máxima Recepción Calculada (DBm)
10	-31,33	334,8	31,91	7,09	3	0,486	52,52	-22,7



**Figura 3.2.38. Espectro de potencia con polarización horizontal, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (3m).**

**3.2.4.4. Patrón de radiación con polarización horizontal antena transmisora Monopolo corto y receptora Monopolo a 1.5 m de distancia**



**Figura 3.2.39. Patrón de Radiación con polarización horizontal, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (1.5m).**

Tabla 3.2-16. Datos del patrón de radiación con polarización horizontal, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (1,5m).

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-29,41	151,2	33,99	6,68	1.5	0,944	46,5	-17,14

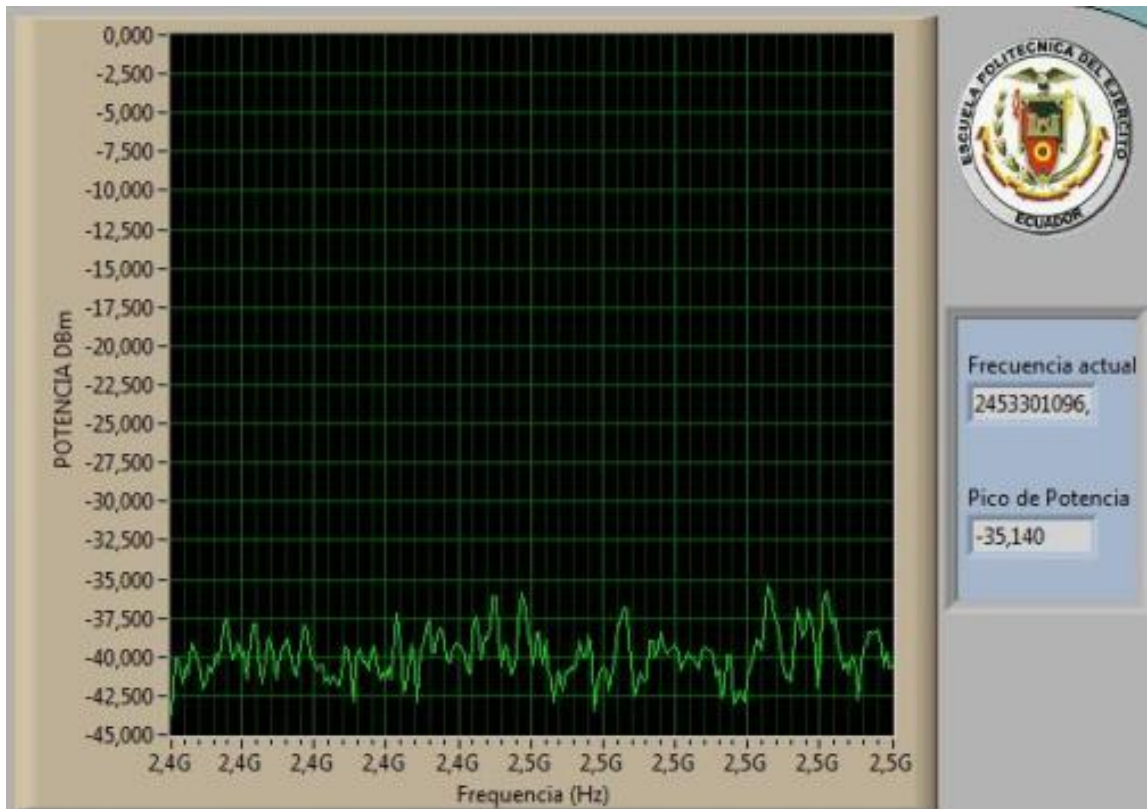


Figura 3.2.40. Espectro de potencia con polarización horizontal, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2,45 GHz (1.5m).

### 3.2.5. ANTENA TIPO MONOPOLO LARGO ( $1\lambda$ ) A FRECUENCIA DE TRABAJO DE 2.45 GHZ.



Figura 3.2.41. Antena PCB tipo Monopolo utilizada en Transmisión a 2.45GHz.

#### 3.2.5.1. Patrón de radiación con “polarización vertical” antena transmisora Monopolo y receptora Monopolo a 1.5 metros de distancia

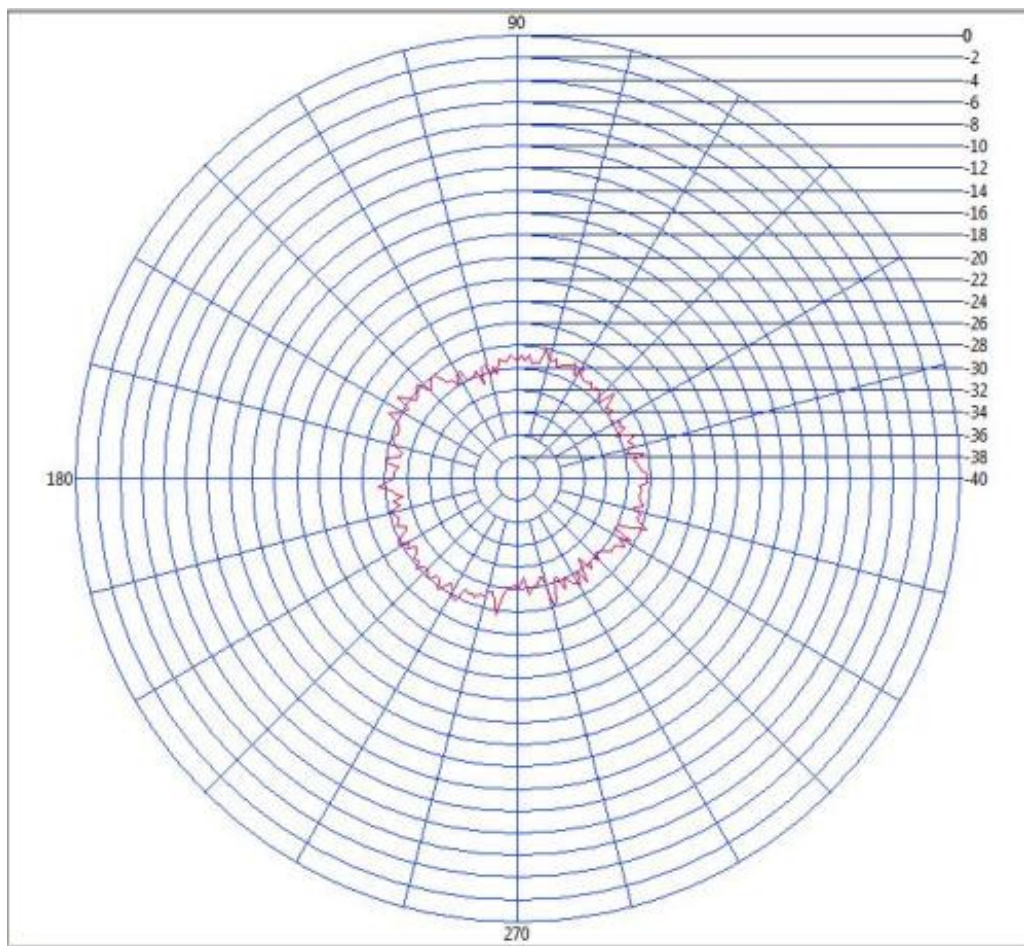


Figura 3.2.42. Patrón de radiación con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2.45GHz.

Tabla 3.2-17. Datos del patrón de radiación con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2.45GHz.

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculado (DBm)
10	-26,87	145,8	37,21	6,29	1,5	0,91	46,5	-17,9

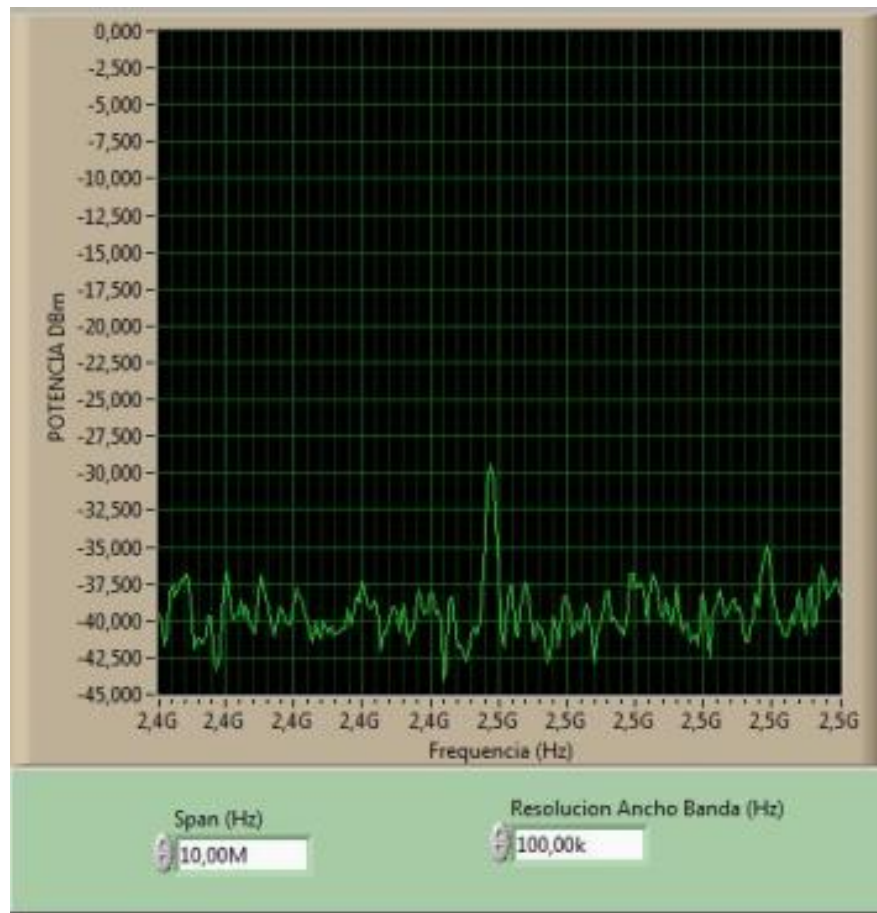


Figura 3.2.43. Espectro de potencia con polarización vertical, antena Monopolo para transmisión y recepción experimento en 2.45GHz.



### 3.2.6. ANTENA TRANSMISORA SEMI-PARABÓLICA TIPO GRILLA A FRECUENCIA DE TRABAJO DE 2,45 GHZ



Figura 3.2.44. Antena Semi-parabólica utilizada en Transmisión a 2,45 GHz.

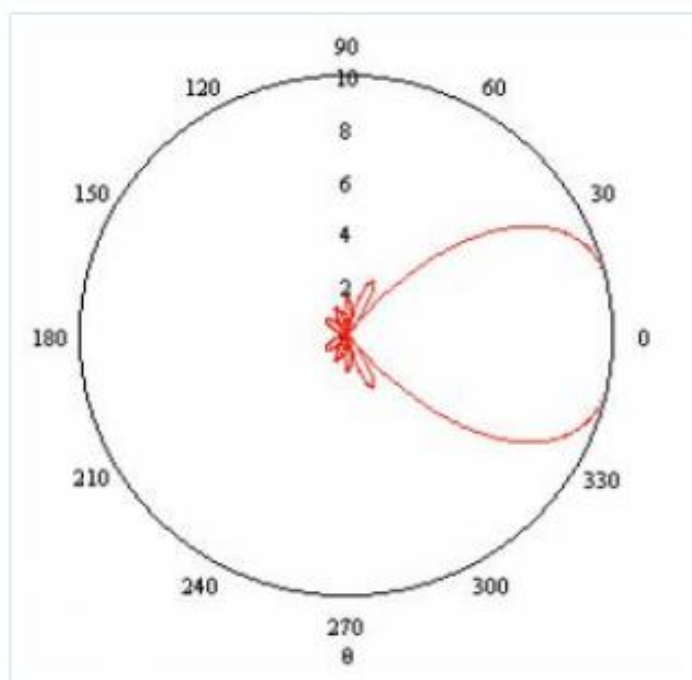
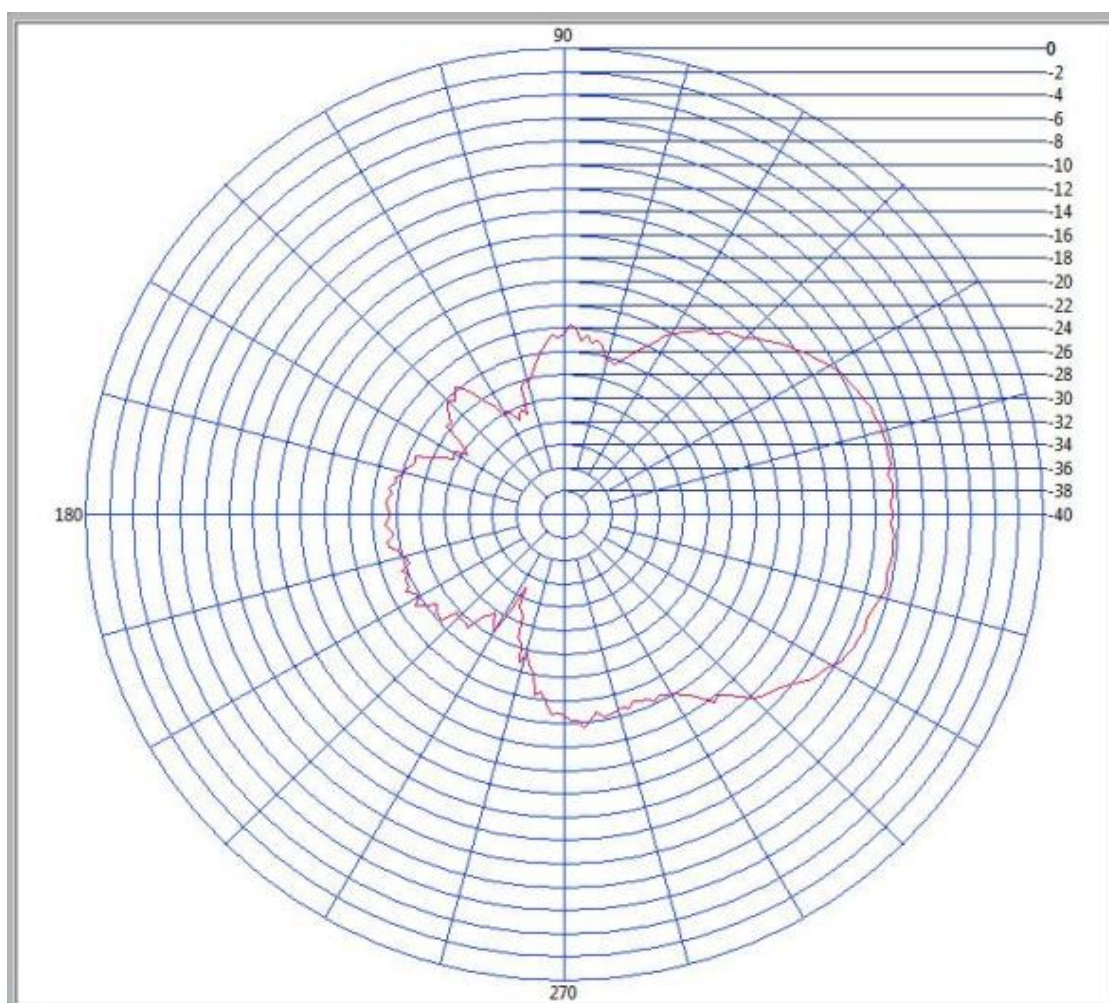


Figura 3.2.45. Patrón de radiación ideal de una antena Parabólica basado en un modelo matemático<sup>49</sup>.

<sup>49</sup> [www.antenasparatodos.blogspot.com](http://www.antenasparatodos.blogspot.com)

**3.2.6.1. Patrón de radiación con “polarización vertical” con antena transmisora Parabólica y receptora Yagui a 5 metros de distancia**



**Figura 3.2.46. Patrón de radiación de polarización vertical parabólica como Tx y Yagui como Rx a 2,45Ghz (5m).**

Tabla 3.2-18. Datos del Patrón de radiación de polarización vertical parabólica como Tx a 2,45Ghz (5m).

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia (DBi)	Distancia entre Tx yRX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculada (DBm)
10	-12,03	350	83,33	23,72	5	0,534	56,96	-13,24

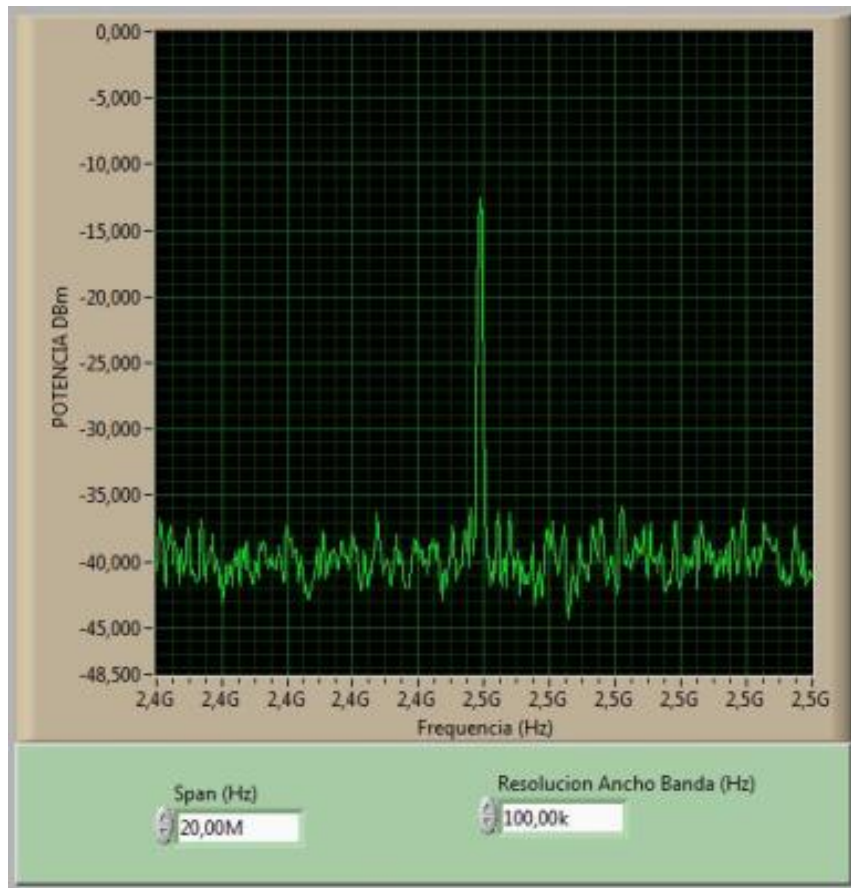
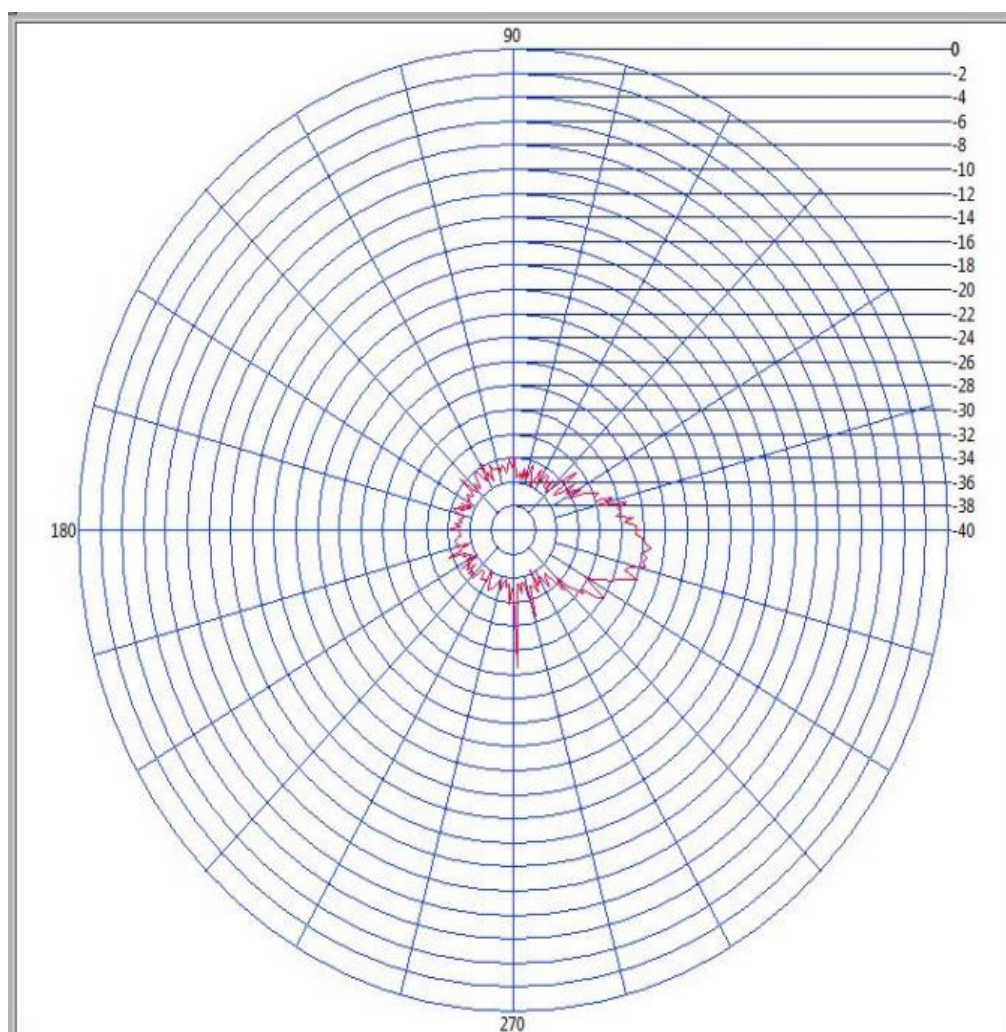


Figura 3.2.47. Espectro de potencia de polarización vertical parabólica como Tx a 2,45Ghz (5m).

**3.2.6.2. Patrón de radiación con “polarización horizontal” con antena transmisora Parabólica y receptora Yagui a 5 metros de distancia**



**Figura 3.2.48. Patrón de radiación de polarización horizontal parabólica como Tx a 2,45Ghz (5m).**

Tabla 3.2-19. Datos del Patrón de radiación con polarización horizontal parabólica como Tx a 2,45Ghz (5m).

Potencia Transmisión (DBm)	Potencia Recepción (DBm)	Posición Potencia Máxima Rx (°)	Rendimiento (%)	Ganancia Antena Tx (DBi)	Distancia entre Tx y RX (m)	Campo Eléctrico (V/m)	Pérdida (DB)	Potencia Recepción Calculado (DBm)
10	-27,266	352,8	36,67	23,7	5	0,534	56,96	-16,7

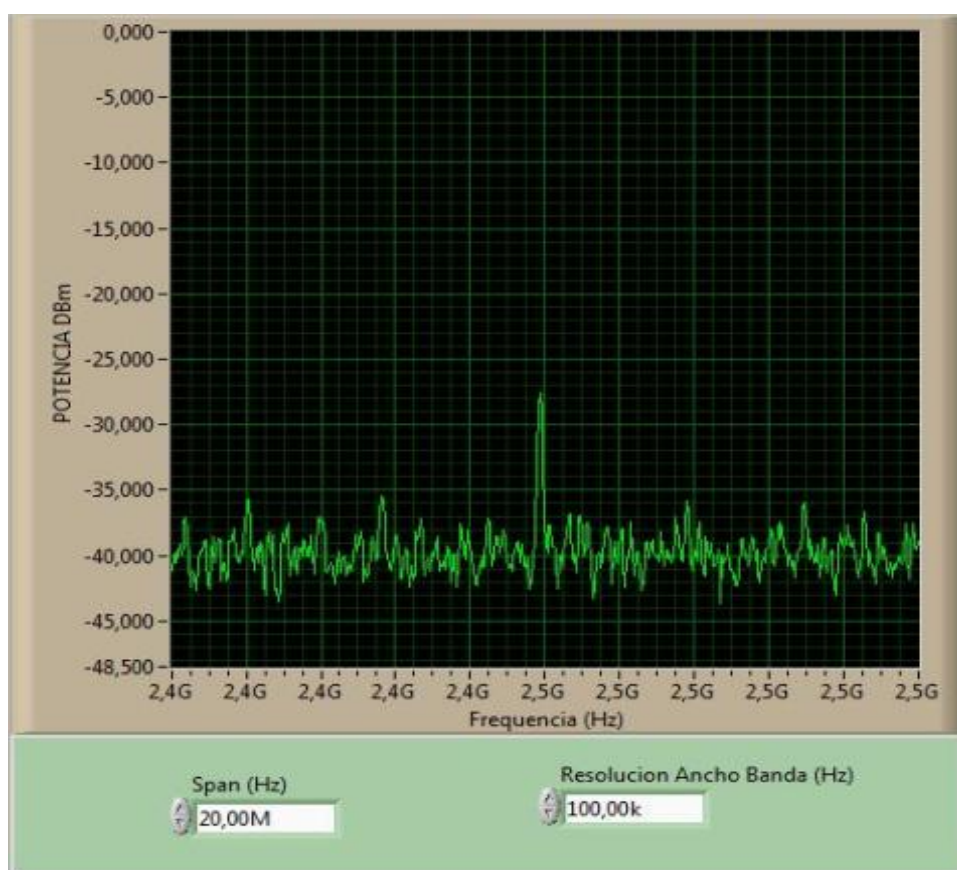


Figura 3.2.49. Espectro de potencia de polarización horizontal parabólica como Tx a 2,45Ghz (5m).

**Nota:** La diferencia de valores entre el valor calculado y medido en esta polarización se debe a que en la polarización horizontal el campo eléctrico puede ser absorbido por la tierra.

**IMPORTANTE:** No se realizó medidas a menor distancia entre Transmisor y receptor por precaución debido a la alta ganancia directiva (24 DBi) que posee la antena semi-parabólica tipo grilla, y de mas distancia entre Tx y Rx debido a la longitud de los cables de control.

### 3.3. ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO

#### 3.3.1. COSTOS DIRECTOS

Van a ser aquellos costos de los dispositivos que van a conformar la parte física.

En la tabla siguiente se detallan todos los materiales que se requieren para el proyecto y sus respectivos costos.

Tabla 3.3-1 Gastos directos

Equipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Tarjeta de Adquisición DAQ 6009	1	\$415.00	\$415.00
Antena Parabólica Grilla de 24 DBi	1	\$180.00	\$180.00
Cables coaxial para comunicaciones RF BNC male-BNC male 50Ω de 1.5m	2	\$10.08	\$20.16
Cables coaxial RG-58 de 1m	1	\$10.00	\$10.00
Motores Paso a paso	3	\$12.50	\$37.50
Motor pequeño Paso a Paso	1	\$8.00	\$8.00
Fuente de alimentación 1A a 6V DC	1	\$7.00	\$7.00
Fuente DC alimentación 2A a 6V	1	\$16.80	\$16.80
Cable pigtail 3m	1	\$25.00	\$25.00
Terminal BNC macho de 50Ω	1	\$3.00	\$3.00
Conector T BNC 3 hembras de 50Ω	1	\$3.00	\$6.00
Conector I BNC hembra de 50Ω	3	\$3.00	\$9.00
Circuito Integrado L293D	3	\$2.00	\$6.00
Placas de cobre 10x10cm	2	\$0.70	\$1.40
Diodos IN4007	12	\$0.10	\$1.20
Borneras	15	\$0.30	\$4.50
		<b>TOTAL</b>	<b>\$750.56</b>

### 3.3.2. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos van a ser aquellos en los que se compra o se construye para la instalación, requerimientos, dispositivos de soporte para los equipos. En la tabla siguiente se detallan los posibles gastos indirectos.

Tabla 3.3-2 Gastos indirectos

Equipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Estructura Metálica Base forma cuadrada 15.5cm x15.5 cm	1	\$25.00	\$25.00
Estructura Metálica Superior forma cuadrada 10.5cm x 13.5 cm	1	\$20.00	\$20.00
Eje de 1" para la base inferior altura 50 cm	1	\$5.00	\$5.00
Estructura de Forma Trípode para Antena Parabólica. 1m 27 cm	1	\$30.00	\$30.00
Estructura metálica cuadrada 20 x20 cm para control	1	\$10.20	\$10.20
		<b>TOTAL</b>	<b>\$90.20</b>

### 3.3.3. COSTOS IMPREVISTOS

Estos costos como su nombre lo indica van hacer imprevistos ya que en caso de que algún daño o falla de los dispositivos, para el proyecto tendremos que gastar en dichos aspectos. En la tabla siguiente se detallan los posibles gastos imprevistos.

Tabla 3.3-3. Gastos imprevistos

Equipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Cables UTP	5 m	\$0.50	\$2.50
Espiral Dexon	10m	\$0.40	\$4.00
Otros (viáticos, materiales artesanales).	-	\$300	\$300
		TOTAL	\$306.5



### 3.3.4. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Es el costo total del proyecto es la suma de todos los costos: directos, indirectos, imprevistos.

Tabla 3.3-4 Costo total del proyecto

ITEM	Cantidad
Gasto Directo	\$750.56
Gasto Indirecto	\$90.20
Gasto Imprevisto	\$306.50
<b>Total Gastos</b>	<b>\$1147.26</b>

De acuerdo a los datos de la *Tabla 3.3-4* se puede afirmar que es muy aceptable realizar la inversión en este proyecto, ya que es necesario como material didáctico para los estudiantes de la Carrera Ingeniería en Electrónica, además para poner en práctica la tecnología PXI que brinda el laboratorio de Comunicaciones con relación a equipos propios de fabrica que son más costosos.

## 3.4. ALCANCES Y LIMITACIONES

### 3.4.1. ALCANCES

- ✓ Con el presente proyecto se tiene control de posición manual y automático del barrido de señal RF en 360° del plano azimut.
- ✓ Se presenta los valores, lo que se considera, principales parámetros de antenas, como: Graficación del patrón de radiación, campo eléctrico, ganancia, rendimiento, tipo de antena, polarización, potencia de recepción máxima y su posición, potencia recepción mínima y su posición, potencia de recepción en WATS-2002. Sin embargo cualquier otro parámetro sería factible de implementarlo, teniendo como base los parámetros anteriores.
- ✓ Se representa gráficamente el espectro de potencia (unidades dBm) de señales RF que se encuentra en el rango de 9KHz a 2.7 GHz.
- ✓ Este sistema se puede emplear como sistema de referencia de análisis de antenas, debido a que se puede obtener varios parámetros de las antenas en tiempo real y en condiciones reales.
- ✓ Es un material didáctico para los estudiantes de Electrónica principalmente para el área de comunicaciones ya que tendrán un refuerzo en el conocimiento de las características, comportamiento y aplicaciones sobre comunicación en Radio Frecuencia y manejo de antenas.
- ✓ Proporciona una base de datos que se conecta en RED a computadoras personales a través del protocolo TCP/IP donde los estudiantes observarán las características de transmisión y recepción de antenas.

- ✓ El sistema permite la incorporación de varias antenas para la recepción, en este caso antenas PCB, antenas base de celular, parabólicas, entre otras.

### **3.4.2. LIMITACIONES**

- ✓ El equipo transmisor es el módulo WATTS 2002 que trabaja solo a dos frecuencias 914MHz y 2450MHz, por lo cual no se puede comprobar con este módulo todas las frecuencias de recepción que se puede adquirir en el modulo PXI -5660. Sin embargo con el 5671, se pudo verificar su funcionamiento para otros rangos.
- ✓ El sistema de recepción no puede realizar un barrido de la señal RF en el plano de elevación.
- ✓ El sistema permite colocar varios tipos de antenas físicas, que no sobrepasen los 4,5Kg de peso en su estructura.
- ✓ Debido al diseño del sistema las antenas que se pueden incorporar para la recepción deben poseer un conector BNC macho para la correspondiente conexión con el terminal BNC hembra de la parte superior de la estructura de antenas pequeñas (PCB).
- ✓ El cable de control de posición para el motor de la antena parabólica es máximo de 5m hasta la caja de control por lo que limita la distancia de pruebas de recepción a mayor distancia.
- ✓ El cable de control de posición para el motor de las antenas pequeñas (microstrip, base de celular) es máximo de 1m hasta la caja de control por lo que limita la distancia de pruebas de recepción a mayor distancia.
- ✓ Este sistema de referencia para el análisis de antenas, se puede emplear en los rangos descritos al inicio del proyecto.

## 4. CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Se ha logrado diseñar e implementar un sistema graficador de diagramas de radiación de antenas basado en tecnología PXI, que cumple a cabalidad la propuesta presentada en el anteproyecto.
- PXI es un sistema robusto basado en el bus PCI expreso para la Instrumentación.
- El sistema de comunicación en RF diseñado, se compone de una parte que genera la señal de onda continua, conocida como Transmisor, del montaje de la antena de prueba, donde se disponen de los motores de paso que le dan movilidad hasta 360° en pasos de 1.8° y toda la plataforma de conexión; el medio por el que se transporta la señal que es el espacio libre y otra parte, la que recepta la señal transmitida y la convierte en una señal visual, donde se indican los principales parámetros de la antena en prueba.
- El sistema de movimiento de antenas de recepción realiza el rastreo en 360° en el plano azimut de la señal RF transmitida por un rango de frecuencias de 9KHz a 2,7GHz.
- La polarización de la antena transmisora y de la antena receptora deben ser la misma, para obtener una potencia medible por el sistema.
- El sistema graficador de diagramas de radiación de antenas además de graficar los patrones de radiación contiene cálculos de otros parámetros importantes de antenas como son campo eléctrico, ganancia directiva, rendimiento, potencia máxima de recepción y su respectiva posición

angular medida, potencia mínima de recepción y su respectiva posición angular medida, potencia de recepción en mW.

- Se determinó en forma teórica y práctica, que los valores obtenidos de potencia son los reales, generados por la antena.
- La programación del control del sistema de movimiento de las antenas receptoras y sistema graficador de patrones de radiación está basado su programación en entorno gráfico realizado en la plataforma Labview.
- Se implementó una base de datos, tanto en Excel como en el panel frontal de Labview, que está en la interfaz de usuario, donde se almacenan las mediciones y los valores obtenidos para la graficación del patrón de radiación.
- El sistema graficador de patrón de radiación se representa en un diagrama polar que presenta las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares a una determinada distancia del transmisor.
- El sistema graficador de patrón de radiación basado en PXI-5660 muestra las características de radiación reales de cualquier tipo de antena y en cualquier polarización.
- La interfaz de RF entre los dos módulos PXI-5660 y el WATTS 2002; así como entre el PXI-5660 y 5671; es eficiente debido a la poca pérdida de potencia que se puede comprobar y visualizar en el patrón de radiación obtenido en cada adquisición de diferentes antenas, hasta una distancia de 3 metros entre transmisor y receptor. Sin embargo es más eficaz el uso del generador vectorial, que trabaja bajo la misma plataforma, y se encuentra adjunto al analizador; esto se debe a que comparten los dos módulos un mismo bus de alta velocidad denominado PCI Express y están sincronizados a la misma frecuencia de oscilación (10MHz).

- El PXI es una plataforma para la instrumentación que ofrece una arquitectura robusta por lo que puede ser usada para varias aplicaciones en automatización, industrias, laboratorios técnicos, aeronáutica y militar.
- La interfaz del sistema graficador de patrón de radiación en con tecnología PXI es una aplicación amigable con el usuario, debido a que posee menús de desplazamiento entre interfaz, permite el cambio de pantalla de espectro de potencia a pantalla de graficación de patrón de radiación en forma sencilla, mientras se está adquiriendo la señal RF y ver en tiempo real el comportamiento de dicha señal.
- Para la graficación del patrón de radiación en forma polar, se tomó como referencia datos provenientes del espectro de potencia, donde nos indica la componente de frecuencia central y su máxima potencia recibida; considerando las pérdidas producidas por el sistema diseñado, después de realizar un sinnúmero de pruebas, como se puede ver en anexos.
- Se concluye que para realizar el control de los motores paso a paso unipolares que conforman todo el sistema de movimiento de las antenas receptoras se utilizó la tarjeta NI DAQ-6009 debido a su arquitectura física ya que posee 12 salidas digitales a 5V y 400mA, facilitando así el circuito de control para cada motor.
- Comprobamos que las antenas dipolo corto como transmisores en la frecuencia de 2.45Ghz no transmitió potencia a la distancia de 3 m entre TX y RX, por ser una antena diseñada para frecuencias de 914Mhz.
- Al emplear arreglos de antenas, se produjo una disminución de potencia de transmisión y un aumento de su ganancia; debido a que el área expuesta a la radiación aumenta y se distribuye para más elementos la corriente.
- Cada antena, presenta su patrón de radiación característico, que está en función de su construcción, tipo y material empleado.

- Se observa que al colocar antenas de igual características y la misma polarización tanto en el transmisor y el receptor, la eficiencia de potencia de transmisión mejora.
- Para una mayor recepción de potencia las antenas de recepción deben tener línea de vista con la antena de transmisor.
- El toolkit SMT (Toolkit de Medida Espectral) proporciona herramientas muy útiles como el Spectrum Unit conversión.VI el cual nos permite cambiar los datos de unidades digitalizadas del NI-5660 que están contenidas en clúster a unidades espectrales medibles como potencia en DBm, DBV, etc y frecuencia para poder utilizarlos en cualquier aplicación.
- Los driver de adquisición de señal RF denominados RFSA son semejantes a los drivers ni5660 pero solo se pueden utilizar en el NI 5600 o 5601 con un digitalizador externo como el NI 5661/5663/5663E ya que estos driver no están diseñados para el control del equipo NI-5660.
- El Modulo de análisis de señales RF NI-5660 realiza un proceso de conversión abajo con el NI-5600 trasladando la frecuencia alta a una baja intermedia que está en 5MHz a 25MHz; mediante tres traslados de frecuencia con osciladores locales; con un ancho de banda de 20MHz.
- El módulo NI-5620 es un digitalizador punto a punto.
- El módulo NI-5620 recibe una señal analógica acondicionada a un rango de 5 a 25MHz a su entrada, proporcionada dicha señal, el convertidor abajo NI-5600.
- Los patrones de radiación obtenidos en los diversos experimentos realizados con diferentes tipos de antenas son equivalentes a los patrones de radiación teóricos u obtenidos con modelos matemáticos.
- Las pequeñas diferencias presentes, entre un patrón de radiación realizado con el equipo, y empleando el modelo matemático; se debe a factores como la adquisición en tiempo real por cada variación angular de potencia

y condiciones reales de ambiente, el tipo de material de la antena, polarización y pérdidas en conectores y cables.



## 4.2. RECOMENDACIONES

- Para el idóneo manejo del sistema con el PXI-5660 es indispensable leer el manual de operaciones y las recomendaciones para no ocasionar daños personales y del equipo.
- Debido a la dificultad de poseer o fabricar una antena que trabaje desde 9 KHz a 2,7GHz de frecuencia, rango que se trabajó en el proyecto por la recepción del equipo PXI 5660, el realizar pruebas para todo este rango de frecuencias es imposible debido al poseer actualmente antenas Microstrip que su frecuencia de resonancia está dada en 2,45GHz por lo cual se recomienda la adquisición de un set de antenas de diversas frecuencias de resonancia para el Laboratorio de Comunicaciones.
- Si se va adquirir la señal RF transmitida por la antena Parabólica debido a la ganancia alta que posee (24DBi) o antenas muy directivas; se debe colocar una atenuador de potencia, o poner la antena a una distancia de por lo menos de 3m del módulo NI-5660, o reducir la potencia transmitida vía software; debido a que el máximo de potencia de entrada que permite el equipo es de 30dBm y si no se toma en cuenta esta precaución podría ocasionar daños en el módulo de análisis.
- Una vez iniciado la rotación del motor base para la adquisición del patrón de radiación de antenas pequeñas se debe resetear el motor base ya que la estructura contiene internamente un cableado que proviene del motor de polarización de la parte superior de la estructura, si no lo resetea a su posición inicial y sigue girando el motor, forzaría al motor base rompiendo el cable del motor de polarización y sobrecalentando los integrados de control.
- La estructura de la antena parabólica no soporta cargas superiores a los 4,5Kg, por tanto no se debe emplear antenas de mayor peso, para no forzar el motor que la acciona.

- Cuando se trabaje con antenas de alta ganancia de 2.4GHz; no se debe mirar directamente a la antena transmisora ya que la densidad de potencia se concentra con un ancho de haz muy directivo y podría afectar la retina de los ojos.
- No colocar en el conector en forma de T BNC hembra, de la estructura de las antenas Microstrip, un peso mayor a 1 libra ya que el eje del motor de polarización no está diseñado para un peso mayor y puede romperse.
- La tapa de la caja de control del sistema de movimiento de antenas, está incorporado un ventilador de 12V y 0,2 mA para la disipación de calor en los integrados, por lo cual al destapar no se debe levantar la tapa más de 5cm, debido a que se pueden romper los cables de conexión del ventilador.

## 4.3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### 4.3.1. BIBLIOGRAFÍA

- TOMASI, Wayne. Sistema de Comunicaciones Electrónicas. México, Prentice Wall Hispanoamericano (1996 Segunda Edición),.
- ARES, Roberto. *Propagación y campo recibido*. Manual de telecomunicaciones.

### 4.3.2. ENLACES WEB

- USB-6008/6009 User Guide and Specifications, 2007.<http://www.ni.com/pdf/manuals/371303h.pdf>.
- <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-218/lang/es>
- [http://www.slideshare.net/guesteddcab/presentacionAntenas1esentation?src=related\\_normal&rel=157194](http://www.slideshare.net/guesteddcab/presentacionAntenas1esentation?src=related_normal&rel=157194)
- [http://eslared.org.ve/tricalcar/08\\_es\\_antenas\\_y\\_cables\\_guia\\_v01%5B1%5D.pdf](http://eslared.org.ve/tricalcar/08_es_antenas_y_cables_guia_v01%5B1%5D.pdf)
- <http://www.monografias.com/trabajos/redesinalam/redesinalam.shtml>
- <http://www.antenna-theory.com/spanish/basics/main.php>
- [http://leici.ing.unlp.edu.ar/mhurta/files/RPIC99\\_Hurtado.pdf](http://leici.ing.unlp.edu.ar/mhurta/files/RPIC99_Hurtado.pdf)
- [http://www.mexart.unam.mx/documentos/Rep\\_Int\\_2008\\_03.pdf](http://www.mexart.unam.mx/documentos/Rep_Int_2008_03.pdf)
- <http://www.radiocomunicaciones.net/teoria-antenas.html>
- <http://www.ni.com/pxi/>
- <http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/global/lang/en/pg/1/sn/n24:PXI-FSLASH-CompactPCI/fmid>
- <http://sine.ni.com/psp/app/doc/p/id/psp-268>
- <http://digital.ni.com/manuals.nsf/websearch/7781F8E689519ED786257411006FB09F>

- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/12591>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/11535>
- <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/en/nid/12613>
- <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb>
- [http://robots-argentina.com.ar/MotorPP\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm)
- [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lep/hernandez\\_b\\_ii/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_b_ii/capitulo3.pdf)
- <http://www.rares.com.ar/>

# ANEXOS

# **ANEXO A**

## **MANUAL DE OPERACIONES DEL SISTEMA**

## **MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA**

### **1. Inicialización de Equipos.**

Conectar el cable RS-232 entre el módulo del Watts y la PC.

Conectar el cable RS-232 del módulo Watts al sistema de movimiento del motor.

Conectar los cables de alimentación AC (110 V) del WATTS 2002, PC, del sistema de movimiento del motor de recepción.

Prender los equipos del sistema en el siguiente orden:

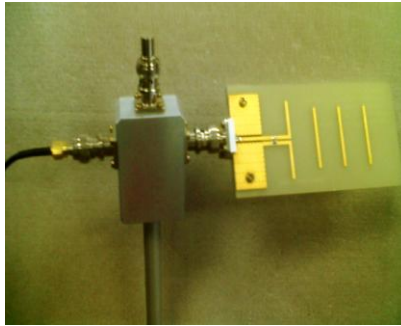
- PC para el WATTS 2002.
- Módulo WATTS 2002.
- Sistema de movimiento propio del Watts 2002.
- Módulo PXI
- Conexión de los adaptadores de alimentación para los motores del sistema de movimiento.

### **2. Sistema De Transmisión (Watts-2002 O NI 5671)**

#### **Conexión de Antenas PCB en la Transmisión**

- Conectar el cable de tipo ECX1.5D-2V en el terminal correspondiente a uno de los dos terminales de frecuencias 914 MHz o 2450MHz del panel OUPUT (*ver Figura 52*).

- Colocar la antena a transmitir en el soporte de conexión.



**Figura 150. Colocación de la Antena Transmisora PCB.**

### Conexión de la Antena Parabólica u otro tipo en la Transmisión

- Del pigtail conectar el terminal SMA macho del cable, al acoplador SMA hembra a BNC macho, a uno de los dos terminales de salida de 914MHz o 2450MHz (ver Figura 52)



**Figura 151. Antena parabólica como transmisora.**



- Conectar en el generador de frecuencia WATTS-2002



Figura 52. Conexión de cables con su conector de las antenas en los terminales de salida de señal RF.

#### Elección de frecuencia de trabajo.

- Para la generación de la señal en una de las dos frecuencias se ingresa al software instalado denominado WATTS 2002, siguiente se despliega una interfaz, la misma que se elige el icono Radiation Pattern luego seleccionar los iconos de la frecuencia deseada 914 MHz y 2.45 GHz (ver Figura 153).

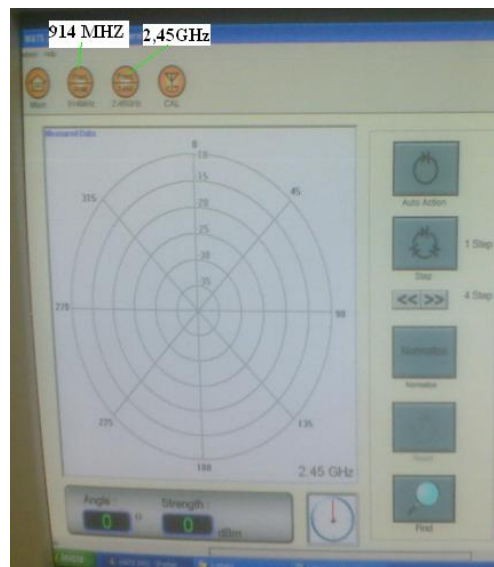


Figura 153. Elección por software de la frecuencia de trabajo.

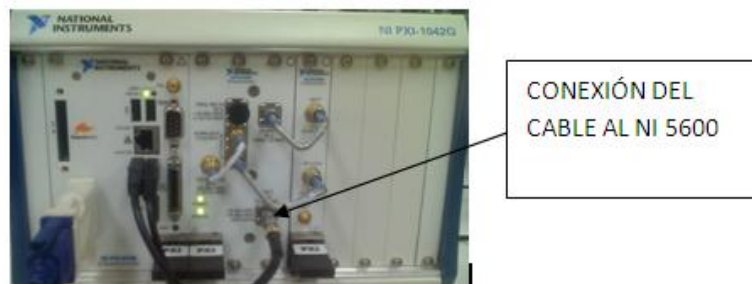
### 3. Sistema de Recepción (NI 5660)

- Conectar la Antena PCB en la estructura de la receptora de forma horizontal.



**Figura 154. Colocación de la antena en forma correcta.**

- Verificar la conexión del cable coaxial de 50  $\Omega$  en la parte posterior de la estructura.
- Realizar la conexión del cable para comunicación RF de 50  $\Omega$  en el acoplador de BNC a SMA macho, posteriormente conectarlo al terminal SMA hembra del modulo NI-5600 ver (Figura 155)



**Figura 155. Conexión del cable coaxial al modulo NI 5600.**

## 4. Interfaz de usuario

- a. Ingresar al software Labview, abrir el archivo adjunto GRÁFICA DE PATRÓN DE RADICIÓN.
- b. Acceder a la interfaz en entorno gráfico, donde encontrara un menú como: inicio de parámetros, motor base, motor polarización, motor parabólica, base de datos, patrón de radiación, espectro de potencia, TCP/IP.



Figura 156. Menú de operación.

## 4.1 Graficación de diagramas de radiación en forma automática con polarización Horizontal

### b. Ingresar al menú inicio de parámetros



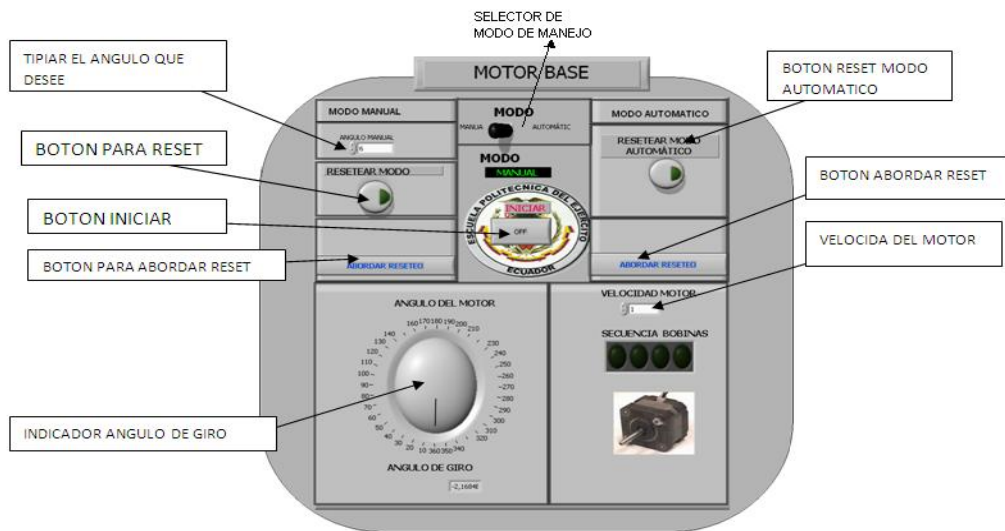
Figura 157. Inicio de parámetros

c. Configurar el tipo de antena transmisora, potencia de Transmisor, distancia entre TX y RX, frecuencia central de operación y tipo de polarización.

- La antena Parabólica posee un submenú de operación como TX o RX.

**NOTA:** El usuario debe observar que dicha antena configurada esté montada en la estructura del Transmisor e indicar el tipo de polarización que posee la antena, ya que puede polarizar mediante el software o manipularlo

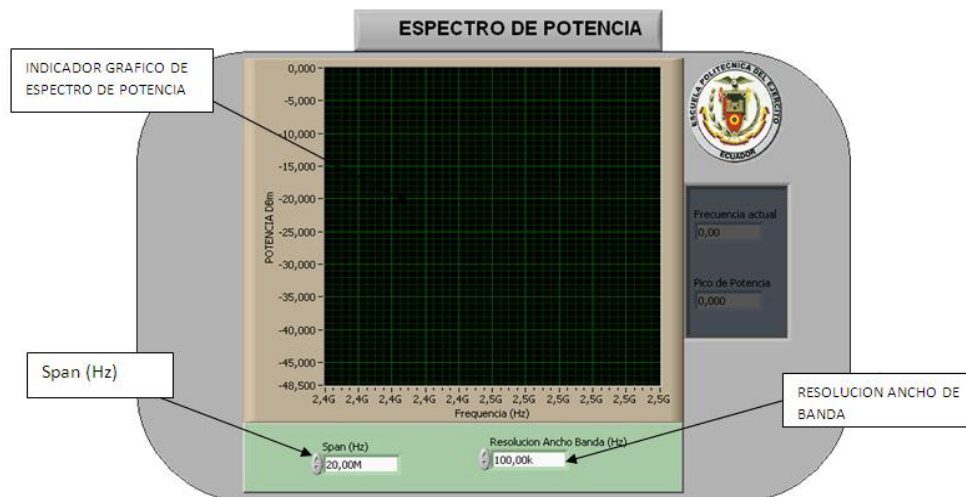
**d. Ingresar al menú motor base**



**Figura 158. Componentes del motor base.**

- Seleccionar en modo automático.
- Presionar el botón iniciar (la estructura Rx comenzará a realizar un barrido en 360°).

**e. Ingresar al menú espectro de potencia.**



**Figura 159. Parámetros espectro de potencia.**

- Para mejorar la visualización del espectro se puede modificar los parámetros Span y resolución de ancho banda.

f. Ingresar al menú patrón de radiación; se visualizará la Graficación de la potencia recibida (dBm) en función del ángulo ( $^{\circ}$ ).

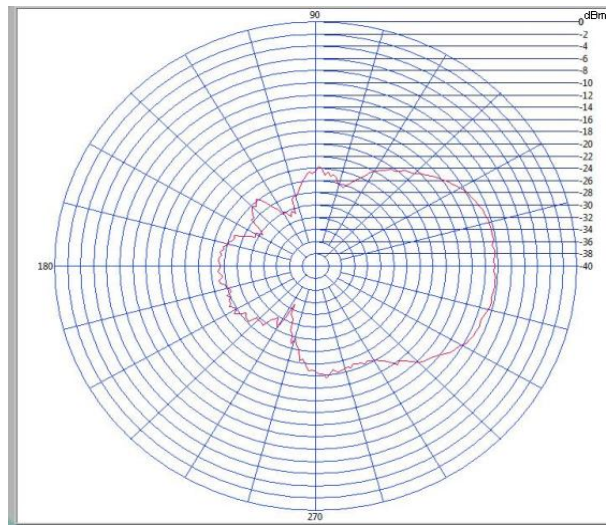


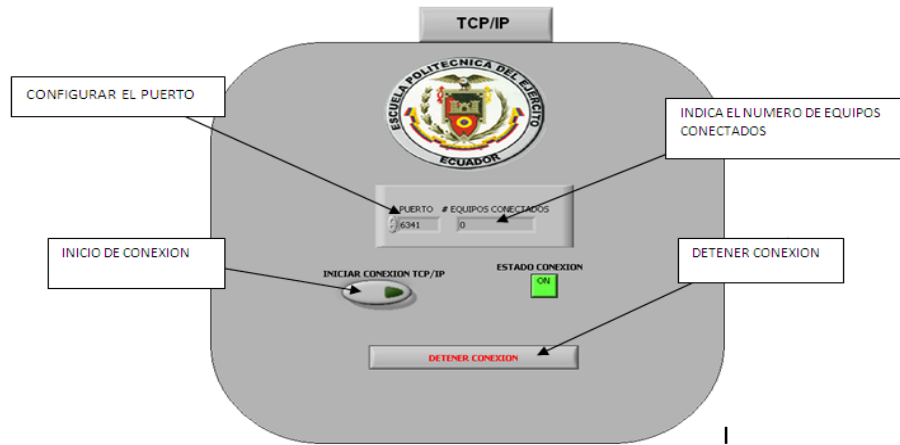
Figura 160. Patrón de radiación en dBm.

g. Ingresar al menú base de datos una vez terminada la adquisición del patrón de radiación.

Potencia MAX	Angulo Fmax	Potencia MIN	Angulo Fmin	Campo Eléctrico(V/m)	Rendimiento(%)	Ganancia(dB)	Tipo de Antena	Polarización
-27,266	352,800	-36,322	295,200	0,229	36,676	1,372	33,000	2,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Figura 161. Base de datos

- h. Presionar el botón para generar la base de datos y a la vez enviarlo a un archivo de Excel.
- i. Ingresar al menú TCP/IP (servidor).

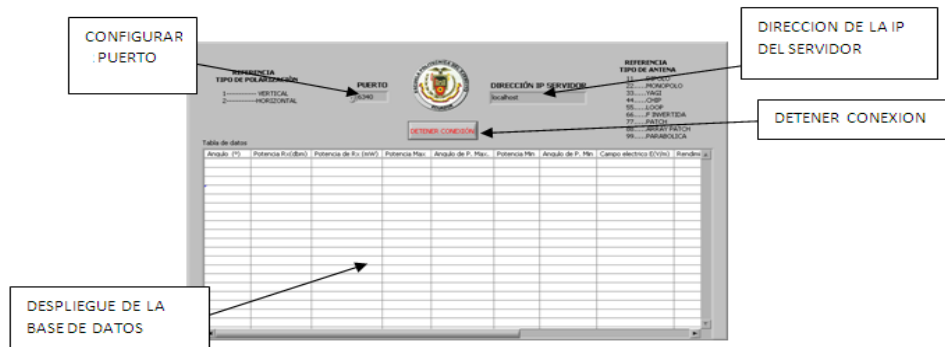


**Figura 162.TCP/IP SERVIDOR**

- Crear un grupo de trabajo en el PXI.
- Configurar el número de Puerto virtual en 6340 en panel frontal.
- Presionar inicio de conexión TCP/IP.

**j. TCP/IP (cliente)**

- Abrir el programa TCP/IP CLIENTE (Máquina de estudiante).



**Figura 163. Panel frontal cliente.**

- El cliente debe configurar el número de puerto 6341 en el panel frontal y la dirección IP del servidor para poder recibir la base de datos.
- La base de datos (cliente) se genera en el panel frontal.

#### 4.2. Graficación de diagramas de radiación en forma automática con polarización vertical.

- Iniciar parámetros ver ( Figura 157).
- Ingresar al menú motor polarización.

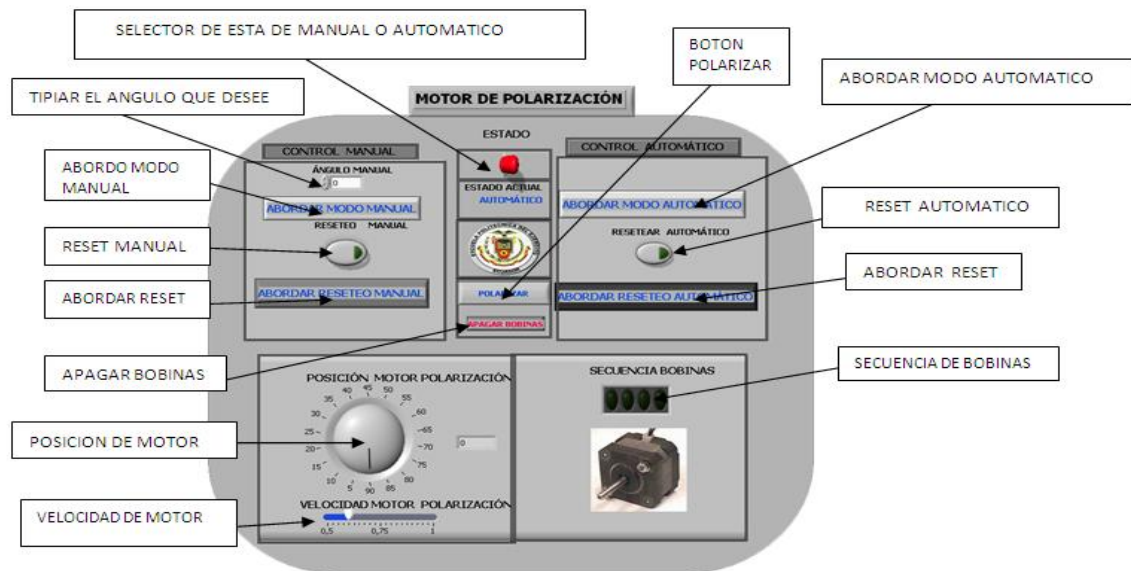


Figura 164. Componentes de motor polarización.

- Seleccionar en modo automático.
- Presionar el botón polarizar.

**NOTA:** Se puede también polarizar en forma manual.

- Ingresar al menú motor base ver (Figura 158)
- Seleccionar en modo automático.



- e. Presionar el botón iniciar.
- f. Ingresar al menú espectro de potencia. Ver (Figura 159).
- Para mejorar la visualización del espectro se puede modificar los parámetros Span y resolución de ancho banda.
- g. Ingresar al menú patrón de radiación; se visualizará el gráfico de la potencia recibida en función del ángulo. Ver (Figura 160)
- h. Ingresar al menú base de datos una vez terminada la adquisición del patrón de radiación. Ver (Figura 161).
- Presionar el botón crear para generar la base de datos y a la vez en archivo de Excel.
- i. Ingresar al menú TCP/IP.
- Crear un grupo de trabajo en el PXI.
- Configura el número de Puerto virtual 6341 en panel frontal.
- Presionar inicio de conexión TCP/IP.
- k. TCP/IP (cliente)
- Abrir el programa TCP/IP CLIENTE (Máquina de estudiante), ver (Figura 163).
- El cliente debe configurar el número de puerto 6341 en el panel frontal y la dirección IP del servidor para poder recibir la base de datos.

**IMPORTANTE:** Cuando se haya terminado la medición tiene que resetear el motor base y el motor polarización para continuar con otra medición.

Los botones abordar reseteo se utilizan en caso de emergencia u otro imprevisto.

#### **4.3. Graficación de diagramas de radiación en forma manual con polarización horizontal.**

- a. Ingresar al menú inicio de parámetros. Ver (Figura 157).
- b. Ingresar al menú motor base. Ver(Figura 158)
  - Seleccionar en modo manual
  - Ingresar el ángulo de giro del motor base.
  - Presionar el botón iniciar.
- c. Ingresar al menú espectro de potencia. Ver (Figura 159)
  - Para mejorar la visualización del espectro se puede modificar los parámetros Span y resolución de ancho banda.
- d. Ingresar al menú patrón de radiación; se visualizará el grafico de la potencia recibida en función del ángulo. Ver (Figura 160).
- e. Ingresar al menú base de datos una vez terminada la adquisición del patrón de radiación. Ver (Figura 161).
- f. Presionar el botón para generar la base de datos y para transportarlo directamente a un archivo de Excel.
- g. Ingresar al menú TCP/IP.
  - Crear un grupo de trabajo en el PXI.
  - Configura el número de Puerto virtual 6341 en panel frontal.
- h. Presionar inicio de conexión TCP/IP.
- i. Abrir el programa TCP/IP CLIENTE en el software Labview. Ver (Figura 163).

- El cliente debe configurar el número de puerto 6341 en el panel frontal y la dirección IP del servidor para poder recibir la base de datos.

#### **4.4. Graficación de diagramas de radiación en forma manual con polarización vertical.**

**a.** Iniciar parámetros. Ver ( Figura 157)

**b.** Ingresar al menú motor polarización. Ver (Figura 164)

- Seleccionar en modo manual.
- Ingresar el ángulo de polarización.
- Presionar el botón polarizar.

**c.** Ingresar al menú motor base. Ver (Figura 158)

- Seleccionar en modo manual.
- Presionar el botón iniciar.

**d.** Ingresar al menú espectro de potencia. Ver (Figura 159).

- Para mejorar la visualización del espectro se puede modificar los parámetros Span y resolución de ancho banda.

**e.** Ingresar al menú patrón de radiación. Ver (Figura 160).

- Se visualizará el grafico de la potencia recibida en función del ángulo.

**f.** Ingresar al menú base de datos una vez terminada la adquisición del patrón de radiación. Ver (Figura 161).

- Presionar el botón para generar la base de datos y para transportarlo directamente a un archivo de Excel.

**g.** Ingresar al menú TCP/IP. Ver (Figura 162)

- Crear un grupo de trabajo en el PXI.
- Configura el número de Puerto virtual 6341 en panel frontal.
- Presionar inicio de conexión TCP/IP.

**h.** Abrir el programa TCP/IP CLIENTE en el software Labview. Ver (Figura 163).

- El cliente debe configurar el número de puerto 6341 en el panel frontal y la dirección IP del servidor para poder recibir la base de datos.

#### 4.5. Graficación de diagramas de radiación de la antena parabólica en forma automática con polarización vertical.

- a. Iniciar parámetros. Ver ( Figura 157)
- b. Ingresar al menú motor parabólica.

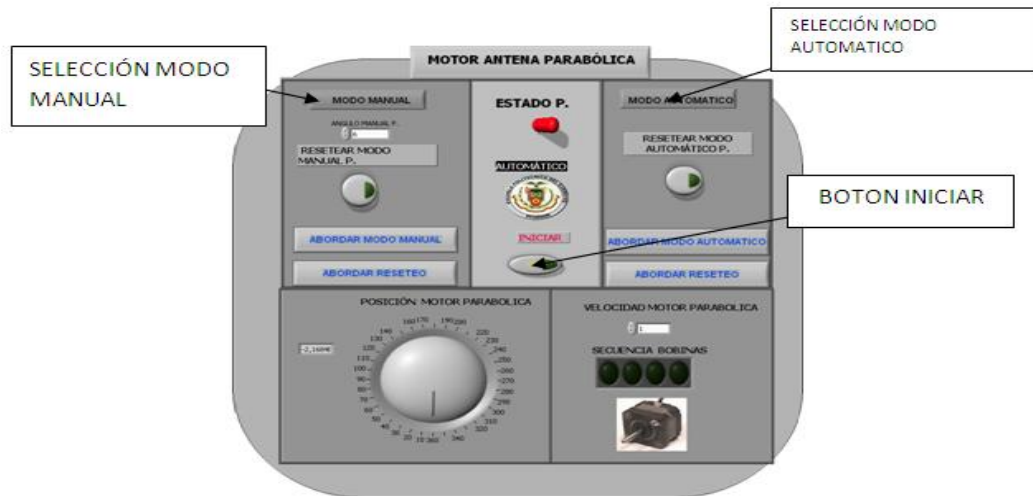


Figura 165. Componentes del motor Parabólica.

- Seleccionar en modo automático.
- Presionar el botón iniciar.
- c. Ingresar al menú espectro de potencia. Ver (Figura 159).
- Para mejorar la visualización del espectro se puede modificar los parámetros Span y resolución de ancho banda.
- d. Ingresar al menú patrón de radiación. Ver (Figura 160).
- Se visualizará el gráfico de la potencia recibida en función del ángulo.
- e. Ingresar al menú base de datos una vez terminada la adquisición del patrón de radiación. Ver (Figura 161).

- Presionar el botón para generar la base de datos y para transportarlo directamente a un archivo de Excel.

**f.** Ingresar al menú TCP/IP. Ver (Figura 162)

- Crear un grupo de trabajo en el PXI.
- Configura el número de Puerto virtual 6341 en panel frontal.
- Presionar inicio de conexión TCP/IP.

**g.** Abrir el programa TCP/IP CLIENTE en el software Labview. Ver (Figura 163).

- El cliente debe configurar el número de puerto 6341 en el panel frontal y la dirección IP del servidor para poder recibir la base de datos.

**NOTA:** El cambio de polarización de la antena parabólica se debe realizarlo manualmente, destornillando el receptor y colocándolo en el tipo de polarización requerido.

**IMPORTANTE:** Se puede realizar la adquisición del patrón de radiación mediante la opción manual, utilizando las opciones de Modo Manual del motor de la Parabólica, y siguiendo los pasos anteriormente descritos.

# **ANEXO B**

## **PRUEBAS EXPERIMENTALES**

## 2. PRUEBAS EXPERIMENTALES

### 2.1. PRUEBA EXPERIMENTAL CON ANTENA PARABÓLICA COMO TRANSMISOR Y ANTENA YAGI COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.45GHz Y DISTANCIA DE 5M ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR.

#### ➤ POLARIZACIÓN HORIZONTAL

##### a) ESPECTRO DE POTENCIA.

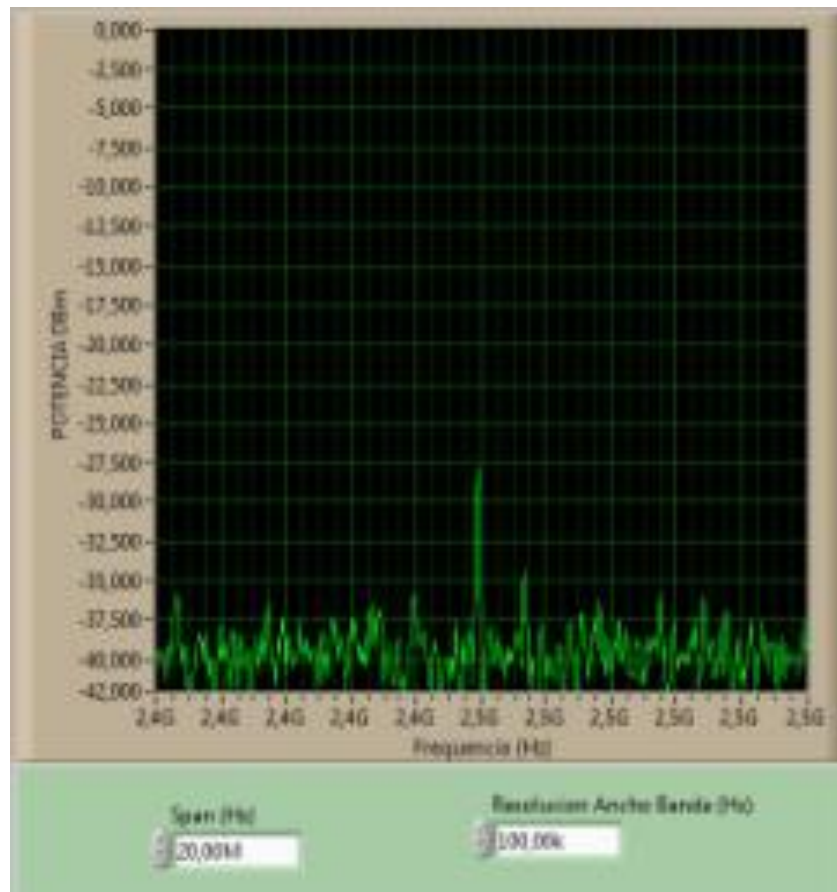
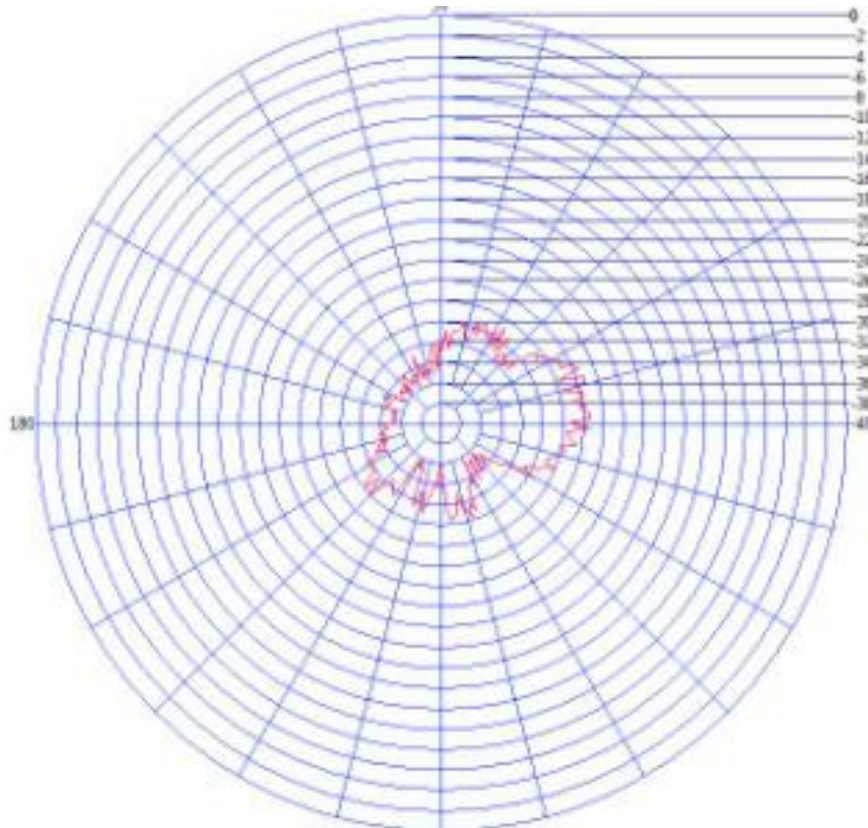


Figura 166. Espectro de potencia de la antena parabólica con yagui como RX.



**b) PATRÓN DE RADIACIÓN.**



**Figura 167.**Patrón de radiación de la antena parabólica con yagi como RX.

**c) BASE DE DATOS**

**Tabla 5.** Base de Datos de la antena parabólica con yagui de Rx.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-25,177	18,000	-35,934	315,000	0,532	39,718	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

➤ POLARIZACIÓN VERTICAL

a) ESPECTRO DE POTENCIA

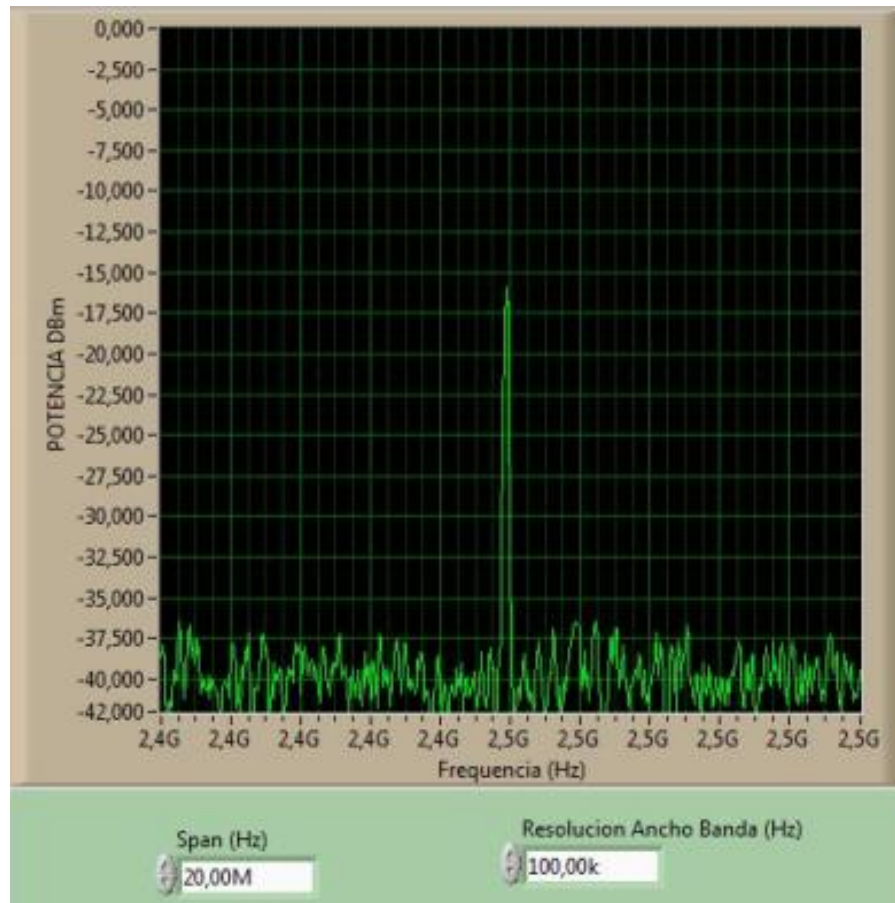


Figura 168. Espectro Antena Parabólica con yagui de RX.



2.2. PRUEBA EXPERIMENTAL CON ANTENA PARABÓLICA COMO TRANSMISOR Y ANTENA CHIP COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.45GHz Y DISTANCIA DE 5 METROS ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR.

## POLARIZACIÓN HORIZONTAL

a) ESPECTRO DE POTENCIA

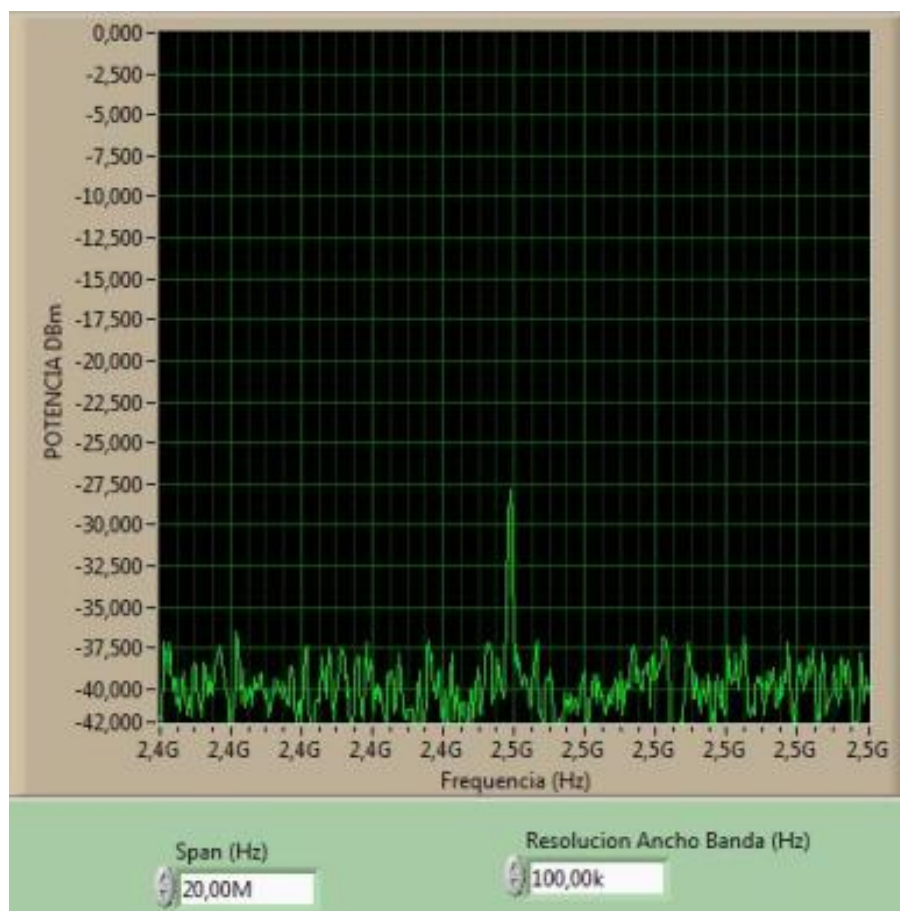


Figura 170. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena chip como RX.

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

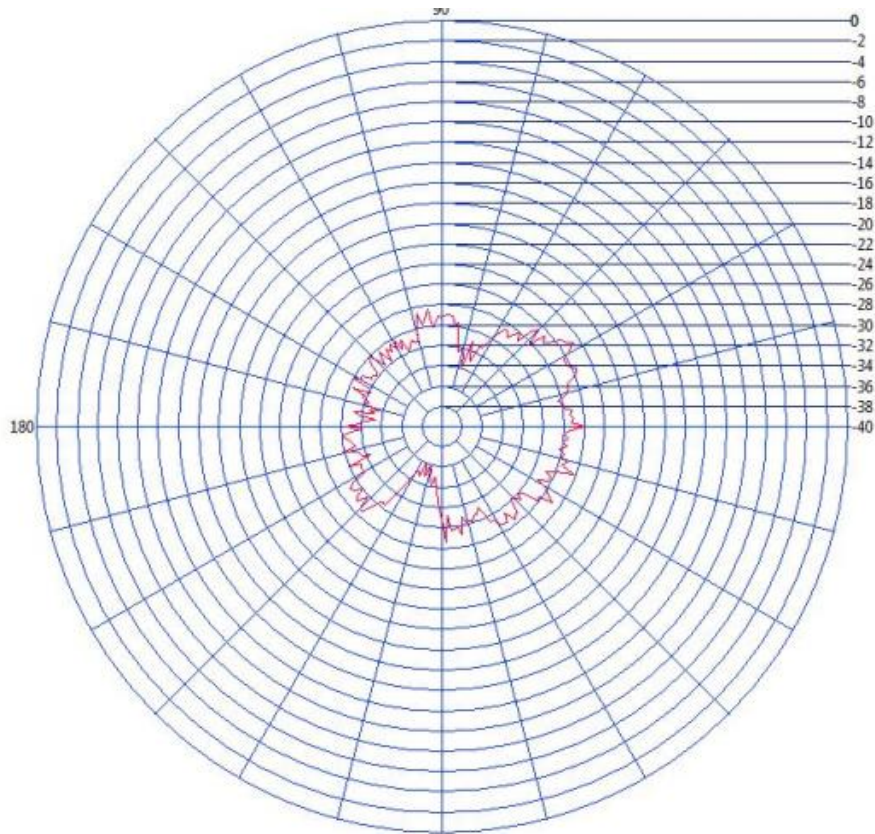


Figura 171. Patrón de radiación de la antena Parabólica con antena Chip como RX.

## c) BASE DE DATOS

Tabla 7. Base de datos de la antena parabólica con antena Patch como RX.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-24,694	32,400	-35,965	246,600	0,532	40,495	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

➤ POLARIZACIÓN VERTICAL

a) ESPECTRO DE POTENCIA

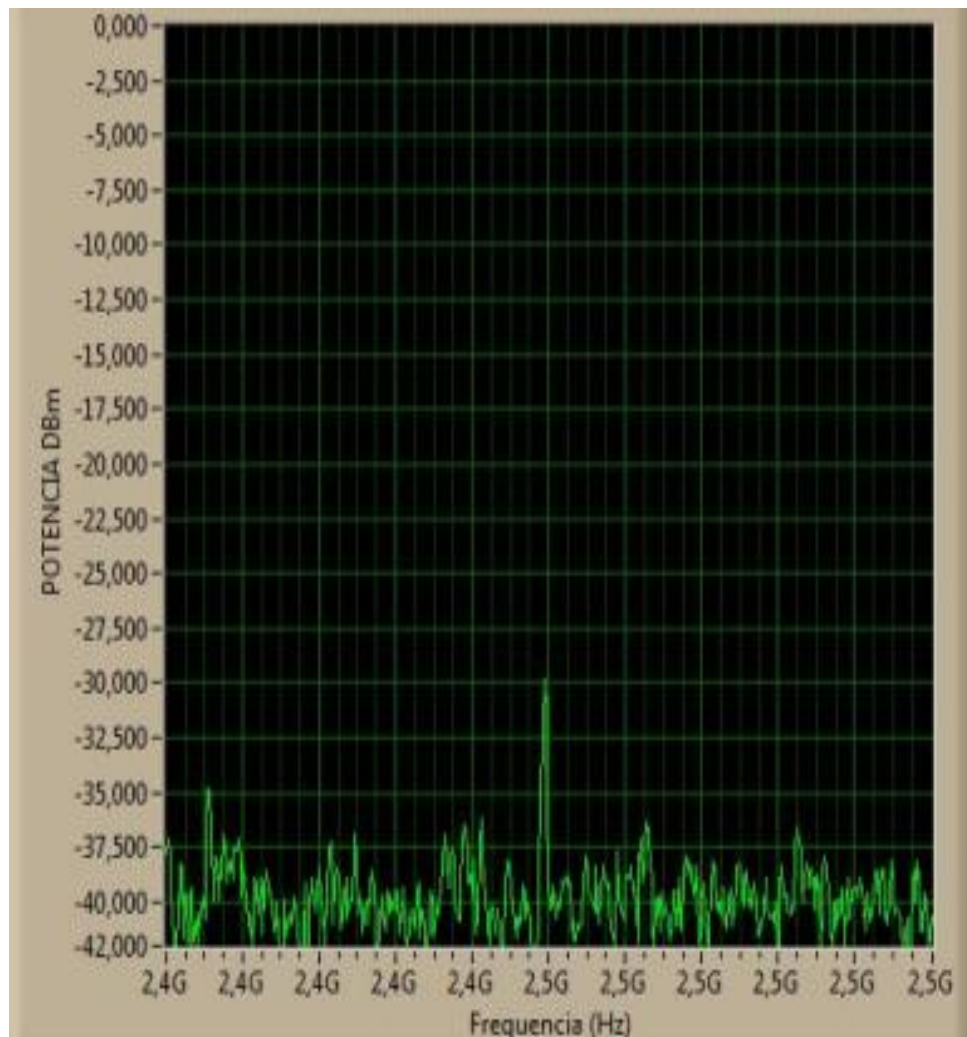


Figura 172. Espectro de potencia de la parabólica con antena chip como RX.

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

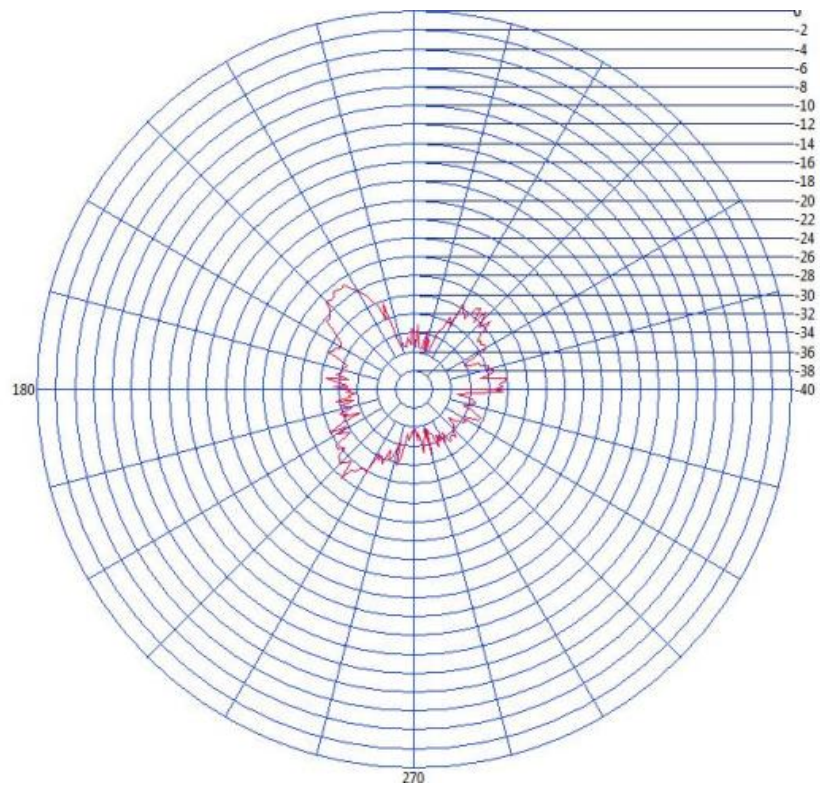


Figura 173. Patrón de radiación de la parabólica con antena patch como RX.

## c) BASE DE DATOS

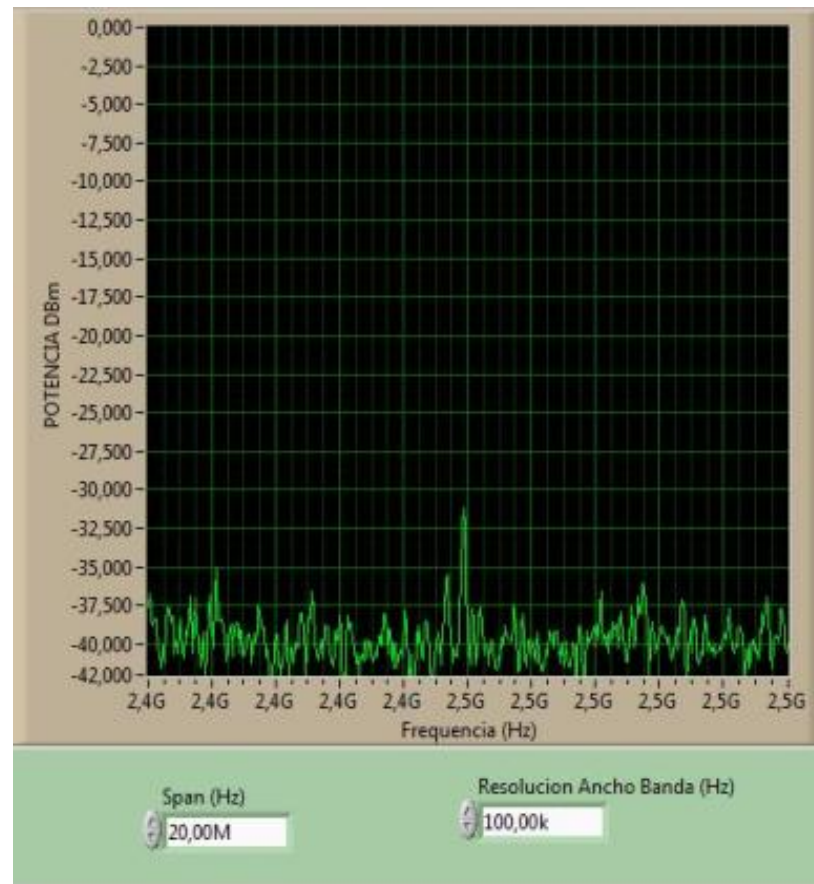
Tabla 8. Base de datos de la antena parabólica con antena patch como RX.

Potencia MAX	Anulo P.max	Potencia MIN	Anulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-26,549	129,600	-35,847	271,800	0,532	37,666	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**2.3. PRUEBA EXPERIMENTAL CON ANTENA PARABÓLICA COMO TRANSMISOR Y ANTENA YAGI UDA COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.45GHz Y DISTANCIA DE 5M ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR.**

➤ **POLARIZACIÓN HORIZONTAL.**

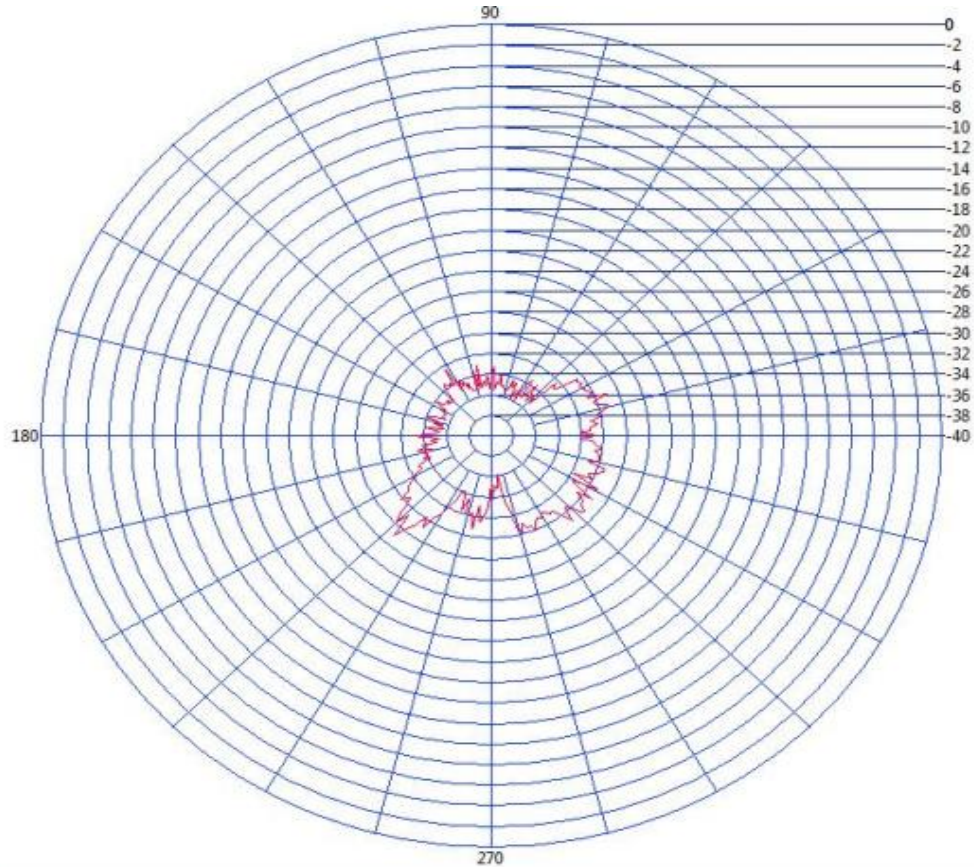
**a) ESPECTRO DE POTENCIA.**



**Figura 174. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena yagui UDA como RX.**



**b) PATRÒN DE RADIACIÒN.**



**Figura 175.** Patròn de radiaciòn de la antena parabòlica con antena yagui UDA como RX.

**c) BASE DE DATOS.**

**Tabla 9.** Base de datos de la antena parabòlica con antena yagi UDA como RX.

Potencia MAX	Anqulo P.max	Potencia MIN	Anqulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-26,996	228,600	-36,220	277,200	0,532	37,043	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

➤ POLARIZACIÓN VERTICAL

a) ESPECTRO DE POTENCIA.

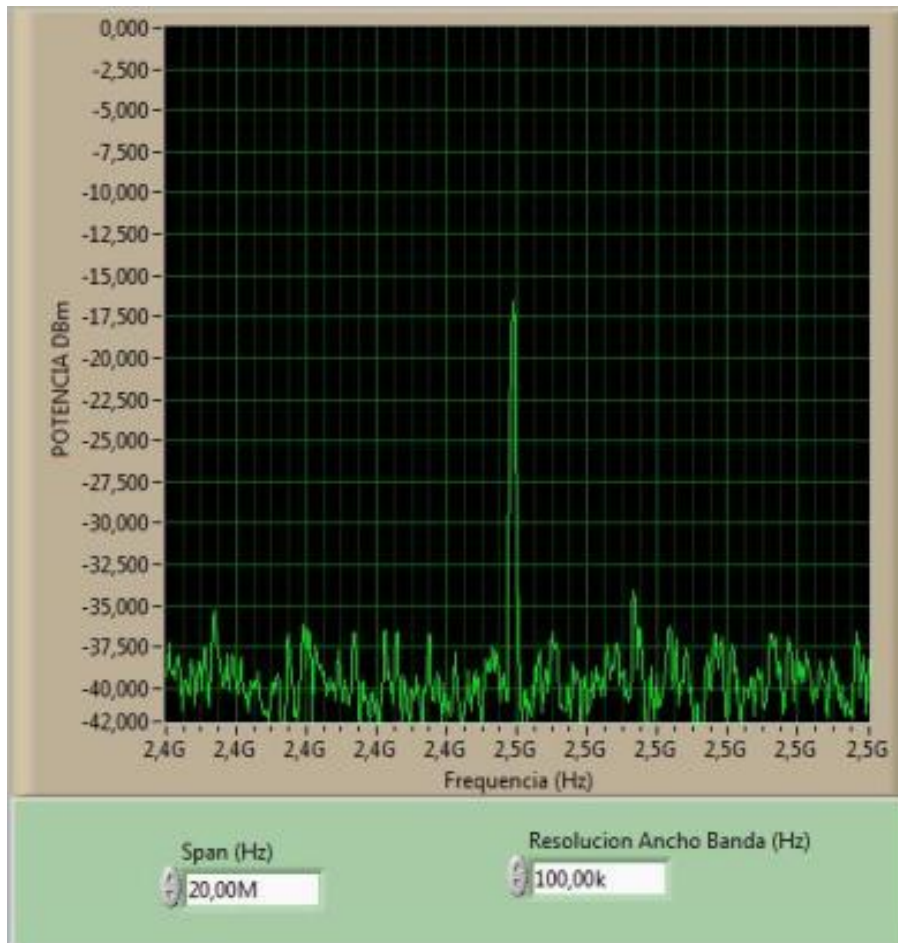


Figura 176. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena yagui UDA como RX.

**b) PATRÓN DE RADIACIÓN.**

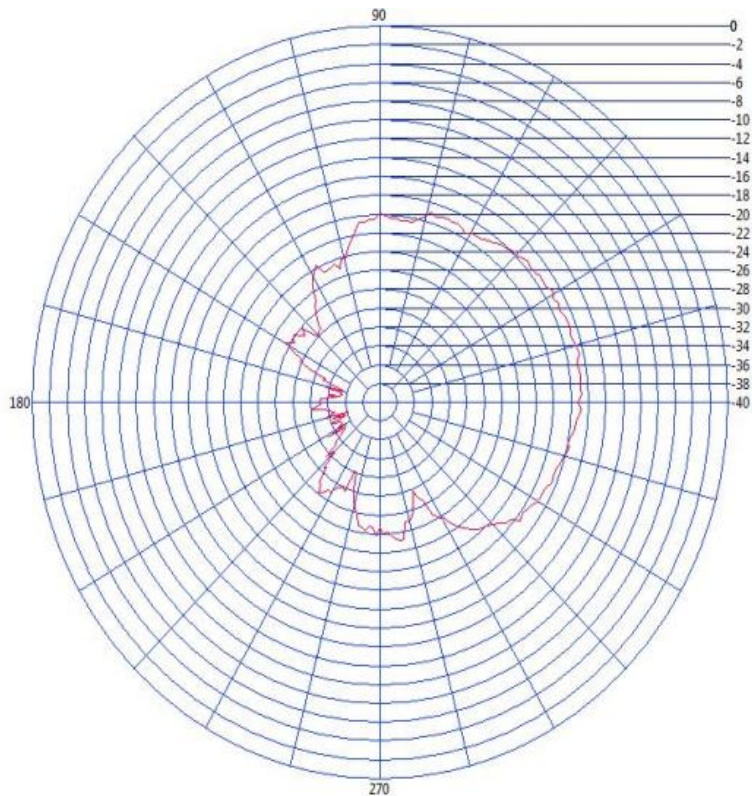


Figura 177. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena yagi UDA como RX.

**c) BASE DE DATOS.**

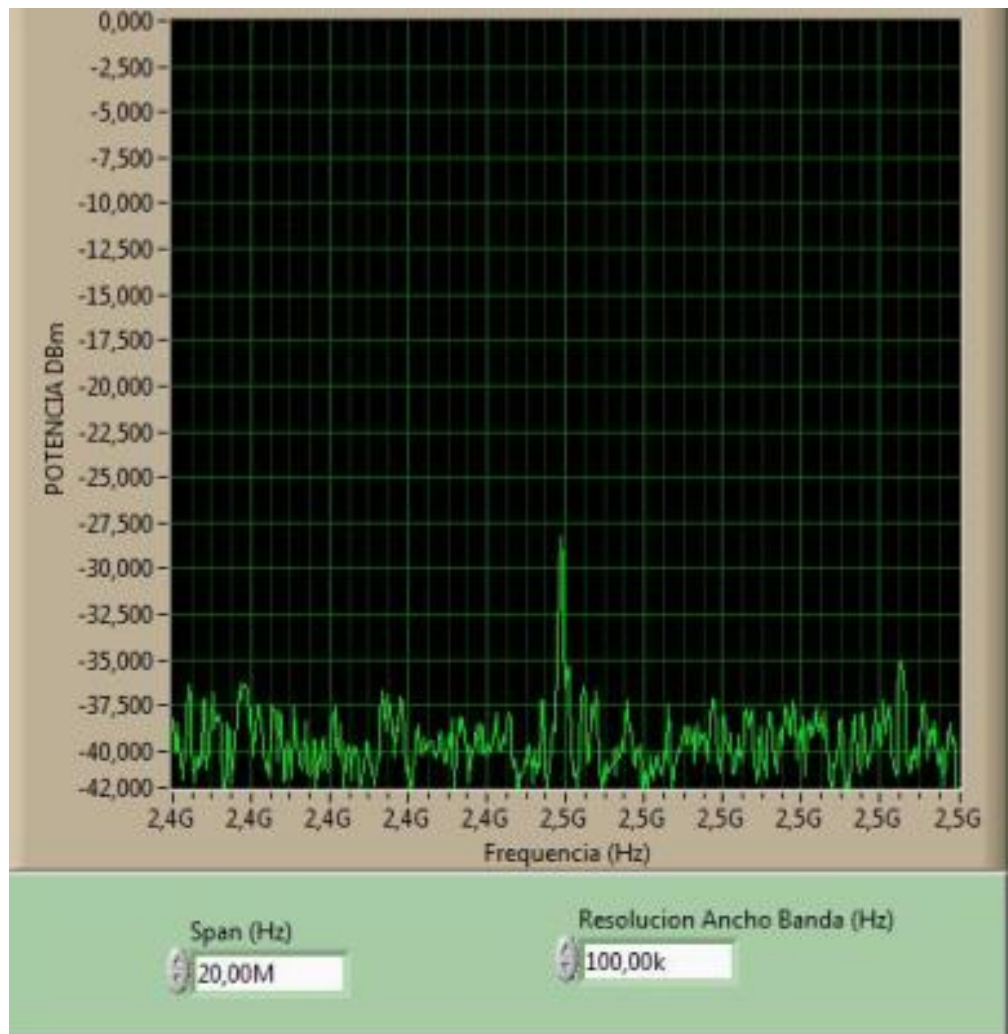
Tabla 10. Base de datos de la antena parabólica con antena yagui UDA como RX.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-16,489	12,600	-36,159	196,200	0,532	60,646	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

**2.4. PRUEBA EXPERIMENTAL CON ANTENA PARABÓLICA COMO TRANSMISOR Y ANTENA ARRAY PATCH COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.45GHz Y DISTANCIA DE 5 METROS ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR.**

**POLARIZACIÓN HORIZONTAL**

**a) ESPECTRO DE POTENCIA**



**Figura 178. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena array patch como RX.**

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

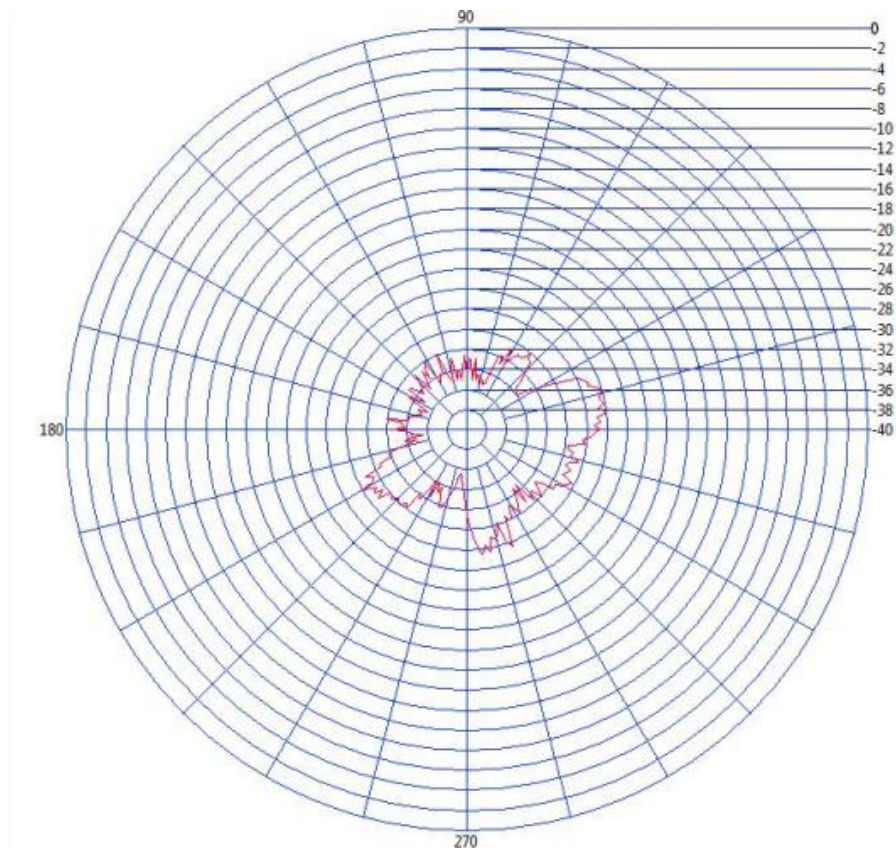


Figura 179. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena array patch como RX.

## c) BASE DE DATOS

Tabla 11. Base de datos de la antena parabólica con antena array patch como RX.

Potencia MAX	Anqulo P.max	Potencia MIN	Anqulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-25,930	16,200	-35,760	156,600	0,532	38,565	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

# POLARIZACIÓN VERTICAL

## a) ESPECTRO DE POTENCIA

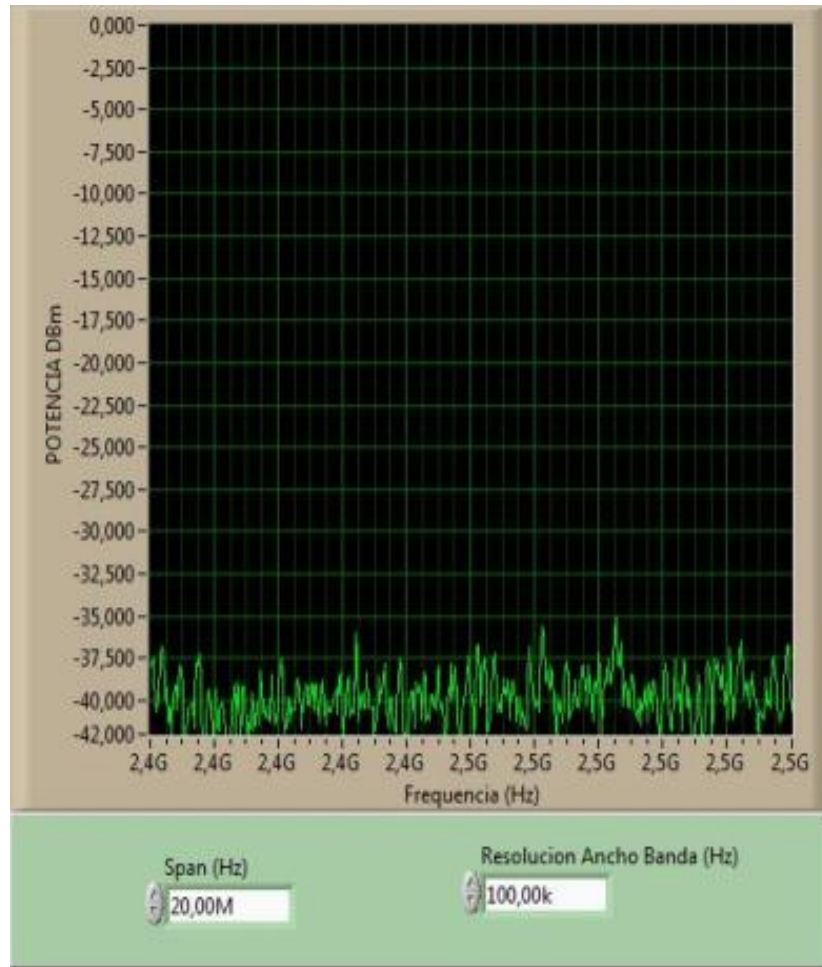


Figura 180. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena array patch como RX.

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

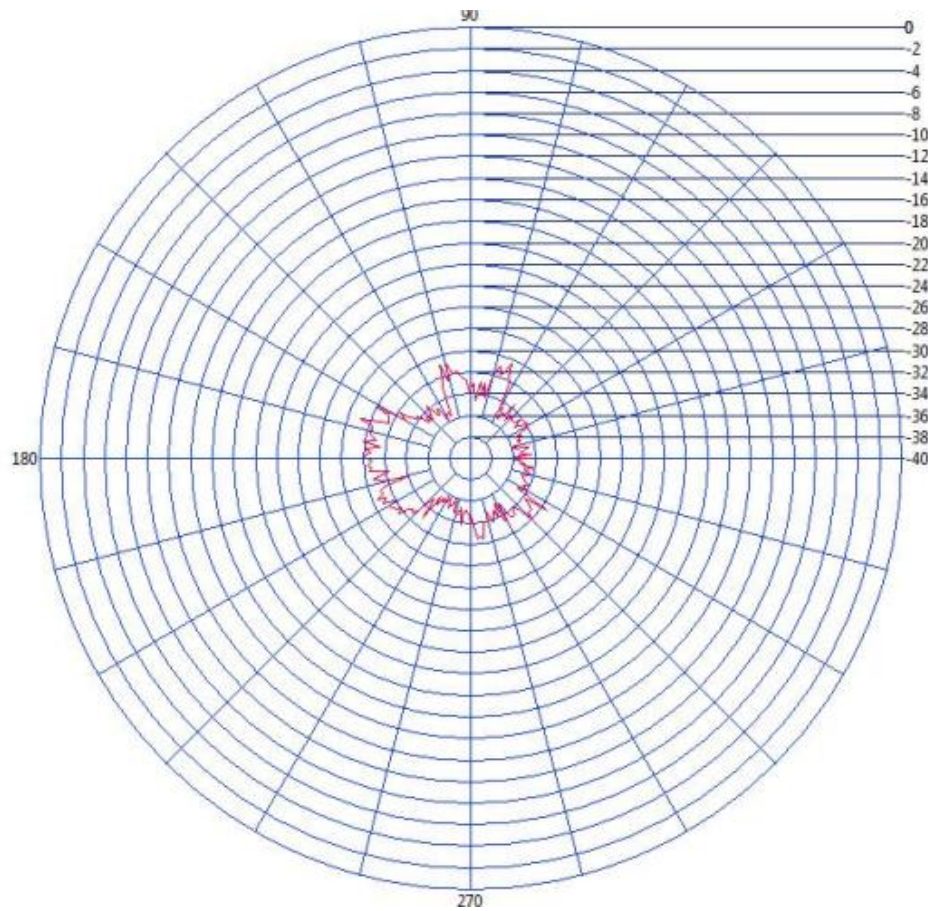


Figura 181. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena array patch como RX

## c) BASE DE DATOS

Tabla 12. Base de datos de la antena parabólica con antena array patch como RX.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-29,185	160,200	-36,045	12,600	0,532	34,264	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

- 2.5. PRUEBA EXPERIMENTAL CON ANTENA PARABÓLICA COMO TRANSMISOR Y ANTENA PATCH COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.45GHz Y DISTANCIA DE 5 METROS ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR.

## POLARIZACIÓN HORIZONTAL

### a) ESPECTRO DE POTENCIA

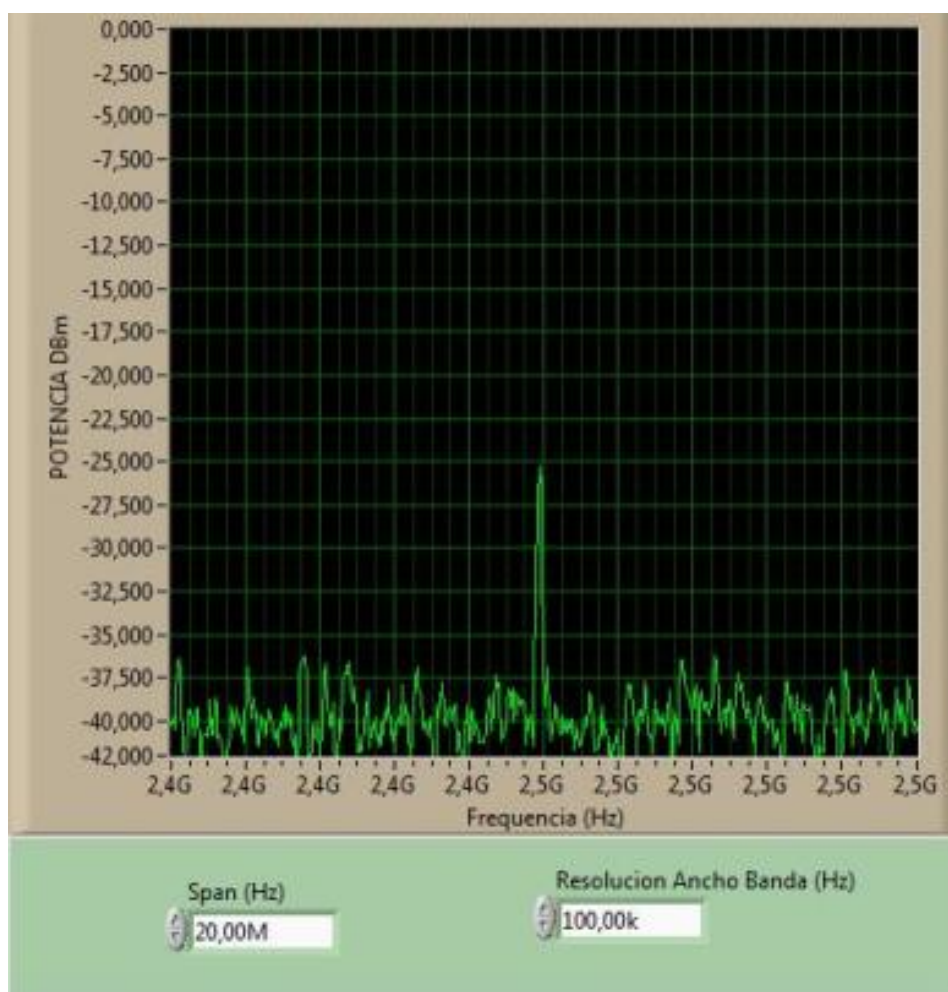


Figura 182. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena patch como RX.



## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

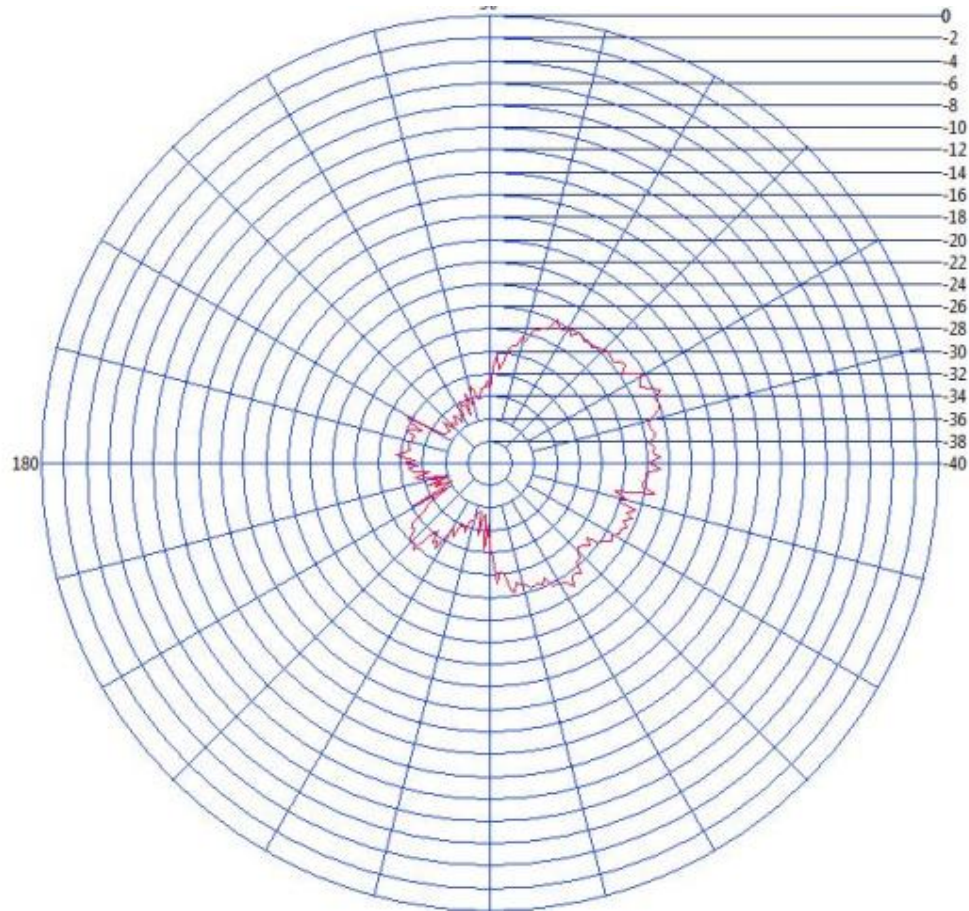


Figura 183. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena patch como RX.

## c) BASE DE DATOS

Tabla 13. Base de datos de la antena parabólica con antena patch como RX.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-23,472	23,400	-36,225	205,200	0,532	42,603	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

# POLARIZACIÓN VERTICAL

## a) ESPECTRO DE POTENCIA

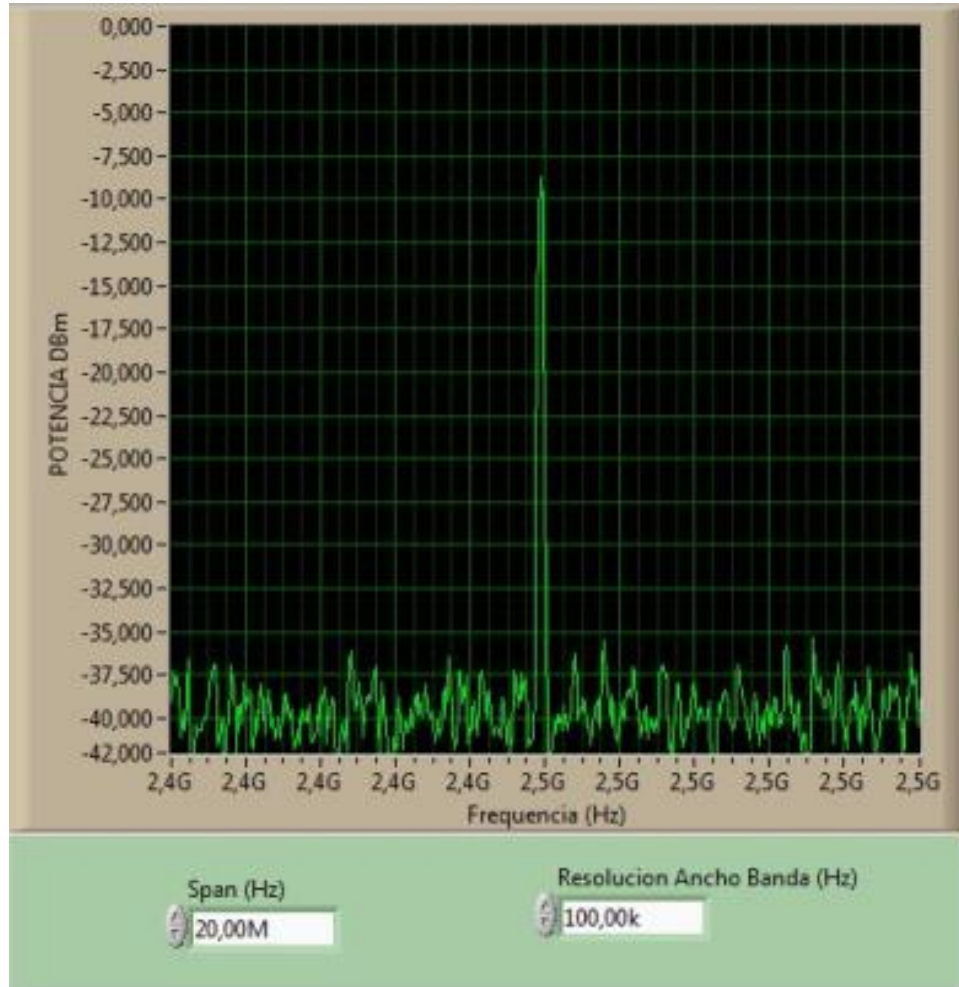


Figura 184. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena patch como RX.

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

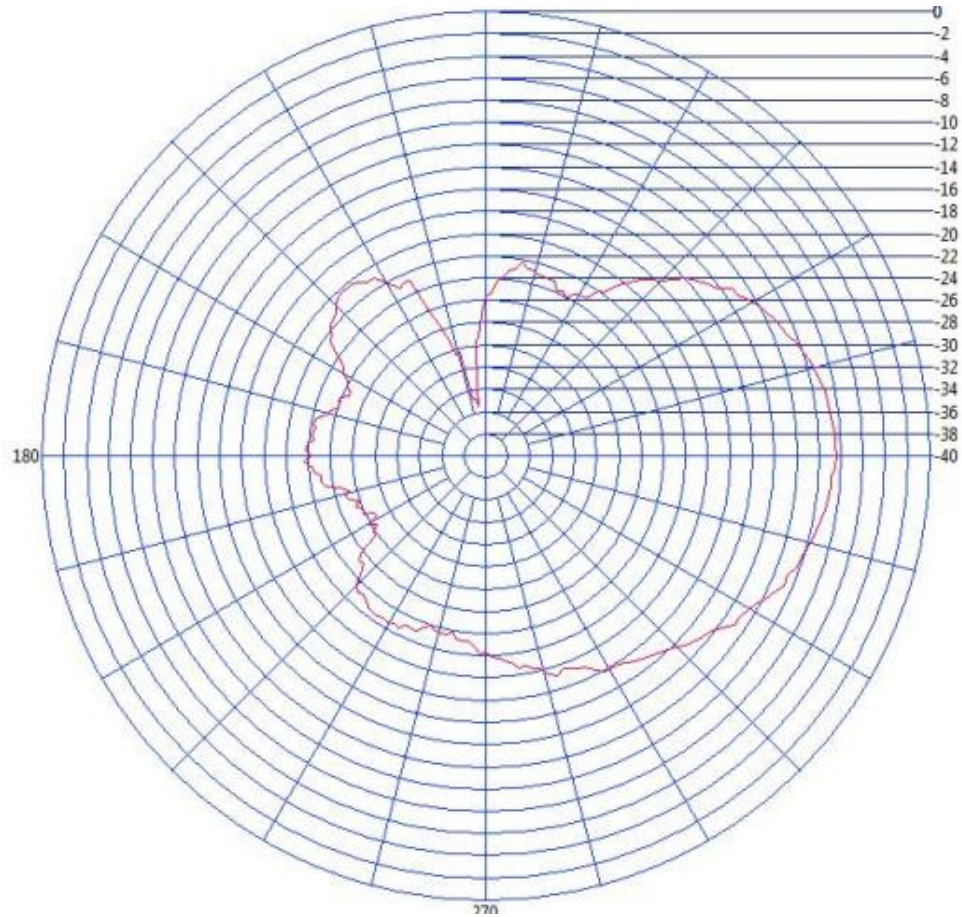


Figura 185. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena patch como RX.

## c) BASE DE DATOS

Tabla 14. Base de datos de la antena parabólica con antena patch como RX.

Potencia MAX	Anqulo P.max	Potencia MIN	Anqulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)	Tipo de Antena
-8,426	3,600	-35,506	99,000	0,532	118,684	23,585	99,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

2.6. PRUEBA EXPERIMENTAL CON ANTENA PARABÓLICA COMO TRANSMISOR Y ANTENA F INVERTIDA COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.45GHZ Y DISTANCIA DE 5 METROS ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR.

## POLARIZACION HORIZONTAL

a) ESPECTRO DE POTENCIA.

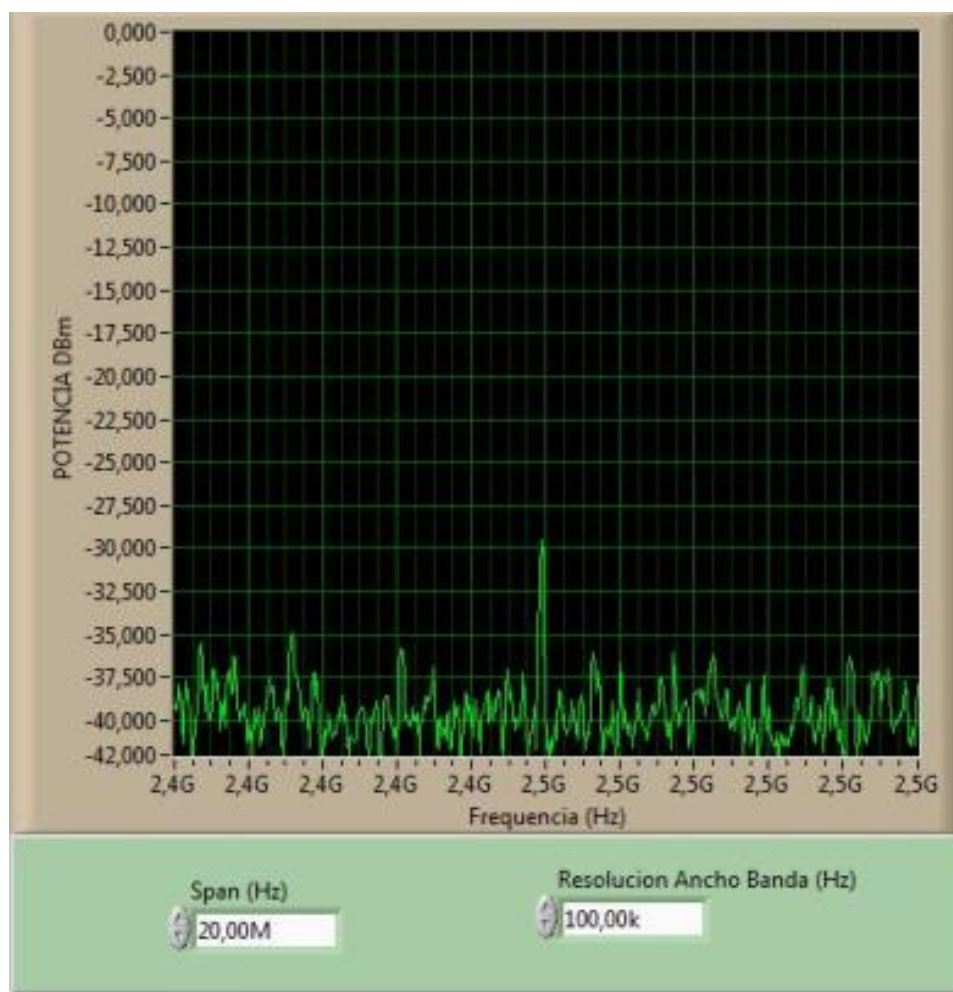


Figura 186. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena patch como RX.

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

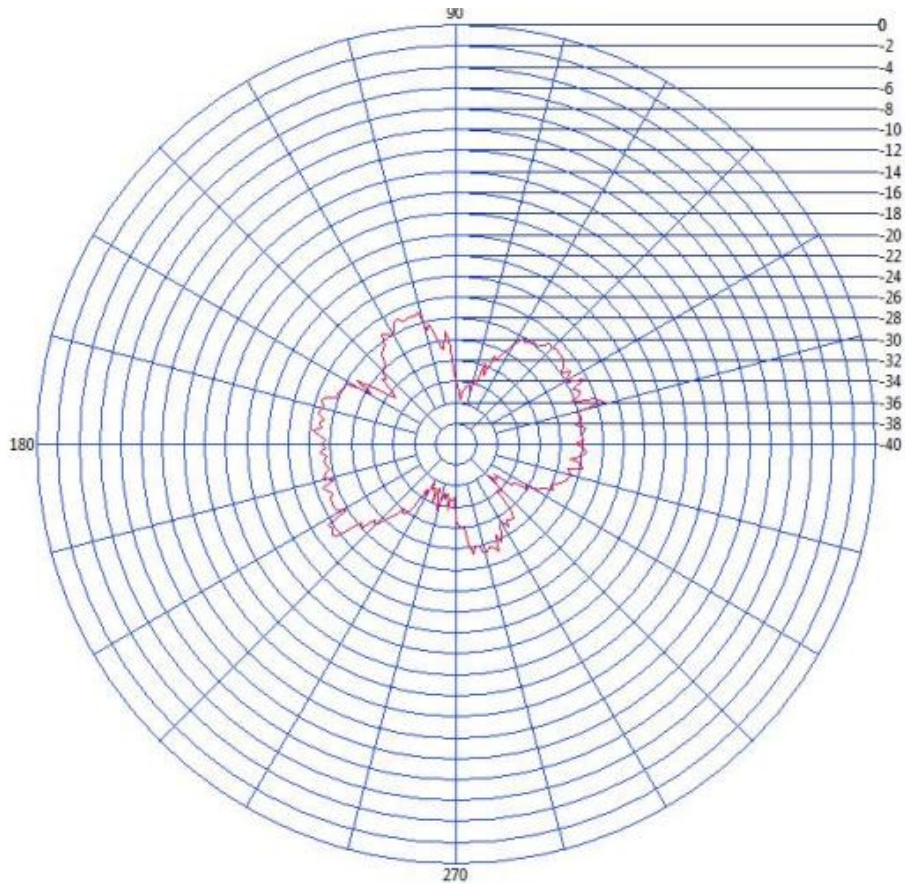


Figura 187. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena patch como RX.

## c) BASE DE DATOS.

Tabla 15. Base de datos de la antena parabólica con antena patch como RX.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-25,365	216,000	-35,807	84,600	0,532	39,424	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

## POLARIZACIÓN VERTICAL

### a) ESPECTRO DE POTENCIA.

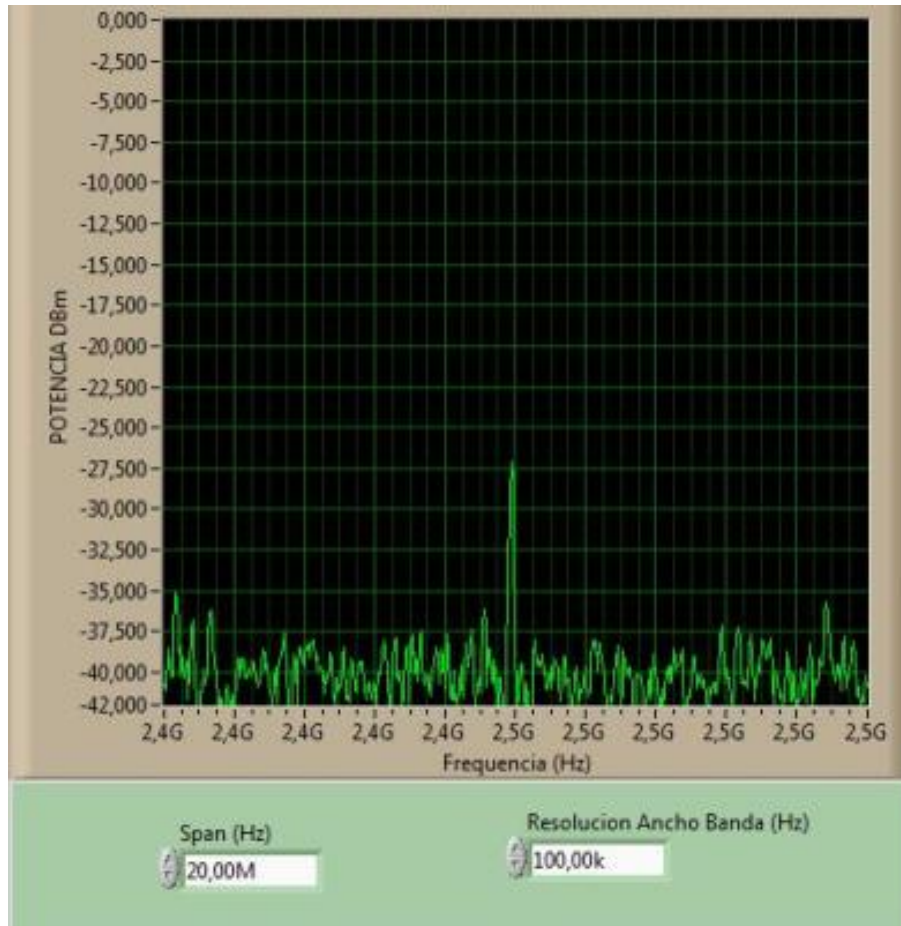


Figura 188. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena patch como RX.

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

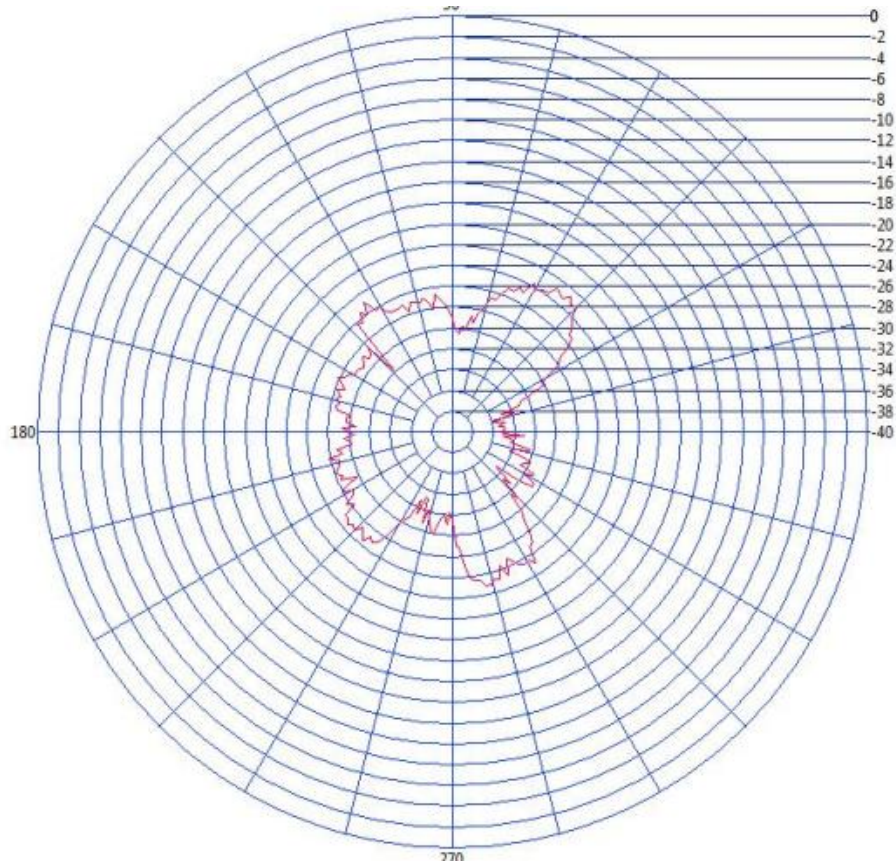


Figura 189. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena patch como RX.

## c) BASE DE DATOS

Tabla 16. Base de datos de la antena parabólica con antena patch como RX.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-22,691	48,600	-35,941	12,600	0,532	44,071	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

2.7. PRUEBA EXPERIMENTAL CON ANTENA PARABÓLICA COMO TRANSMISOR Y ANTENA LOOP COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.45GHz Y DISTANCIA DE 5 METROS ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR.

## POLARIZACIÓN HORIZONTAL

a) ESPECTRO DE POTENCIA

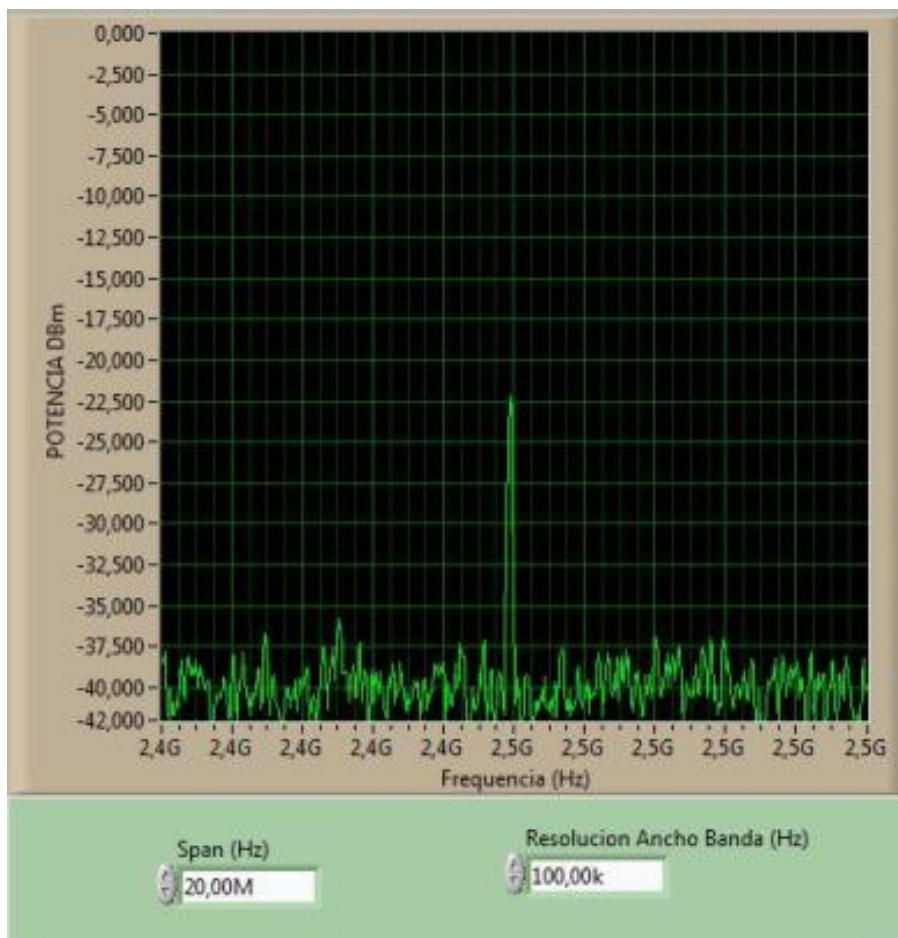


Figura 190. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena loop como RX.



## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

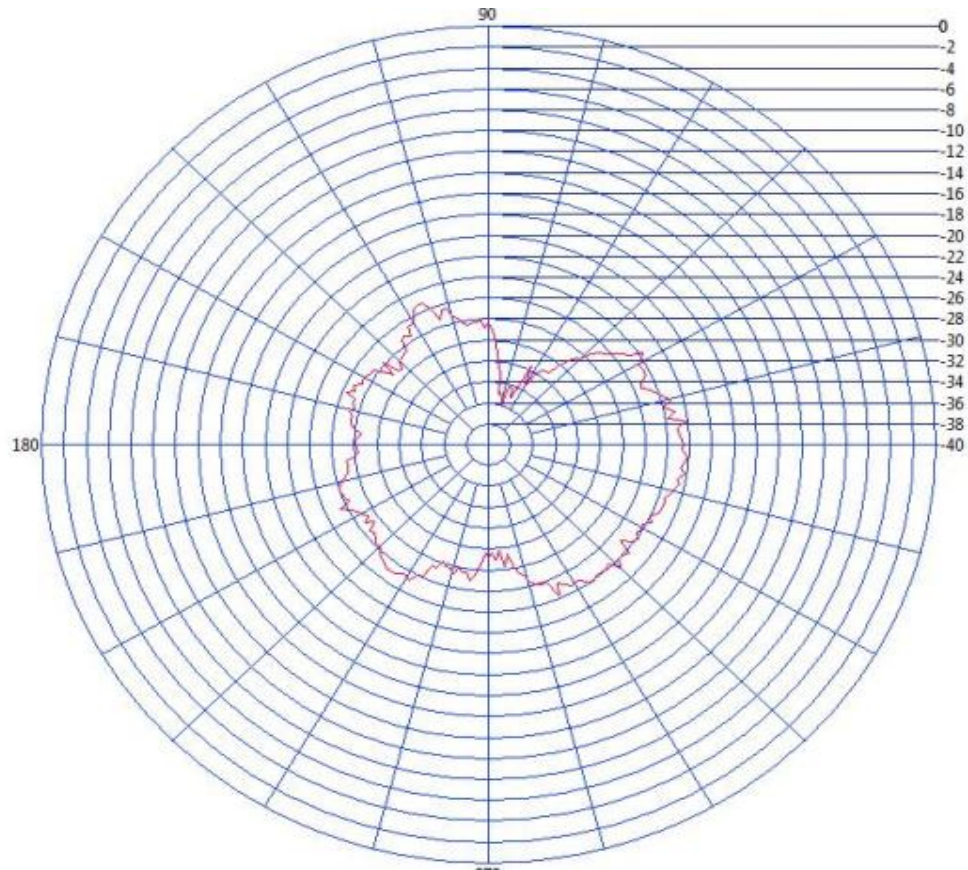


Figura 191. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena patch como RX

## c) BASE DE DATOS

Tabla 17. Base de datos de la antena parabólica con antena patch como RX.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-22,077	0,000	-35,992	73,800	0,532	45,297	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

# POLARIZACIÓN VERTICAL

## a) ESPECTRO DE POTENCIA

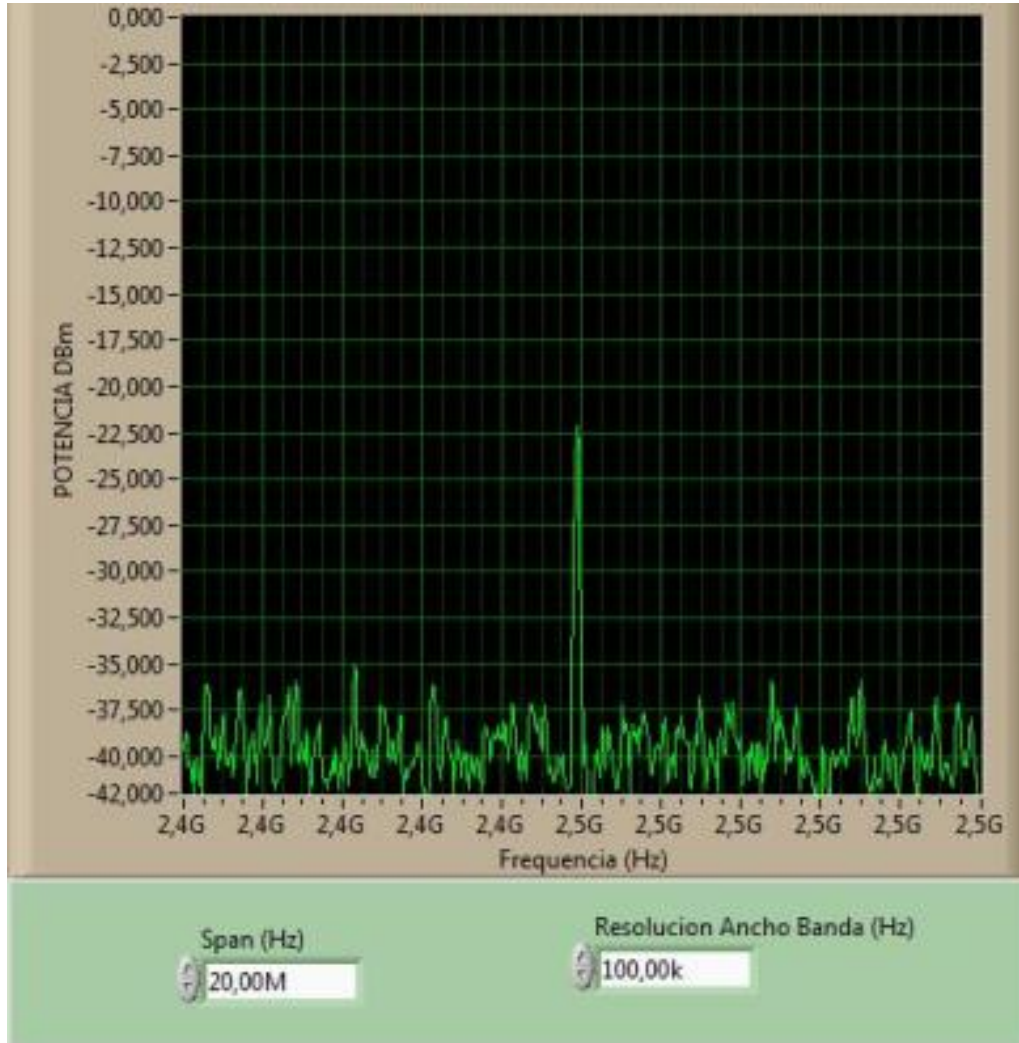


Figura 192. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena patch como RX.

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

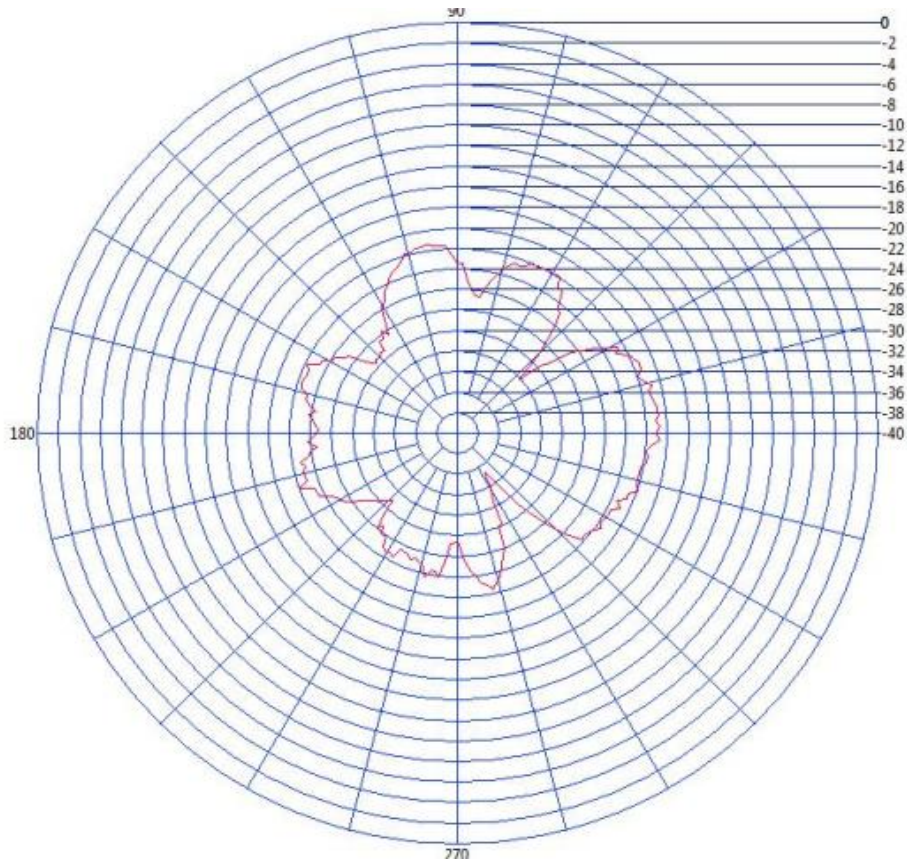


Figura 193. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena patch como RX

## c) BASE DE DATOS

Tabla 18. Base de datos de la antena parabólica con antena patch como RX.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-20,702	1,800	-35,417	304,200	0,532	48,304	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

2.8. PRUEBA EXPERIMENTAL CON ANTENA PARABÓLICA COMO TRANSMISOR Y ANTENA MONOPOLO COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.45GHz Y DISTANCIA DE 5 METROS ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR.

## POLARIZACIÓN HORIZONTAL

a) ESPECTRO DE POTENCIA

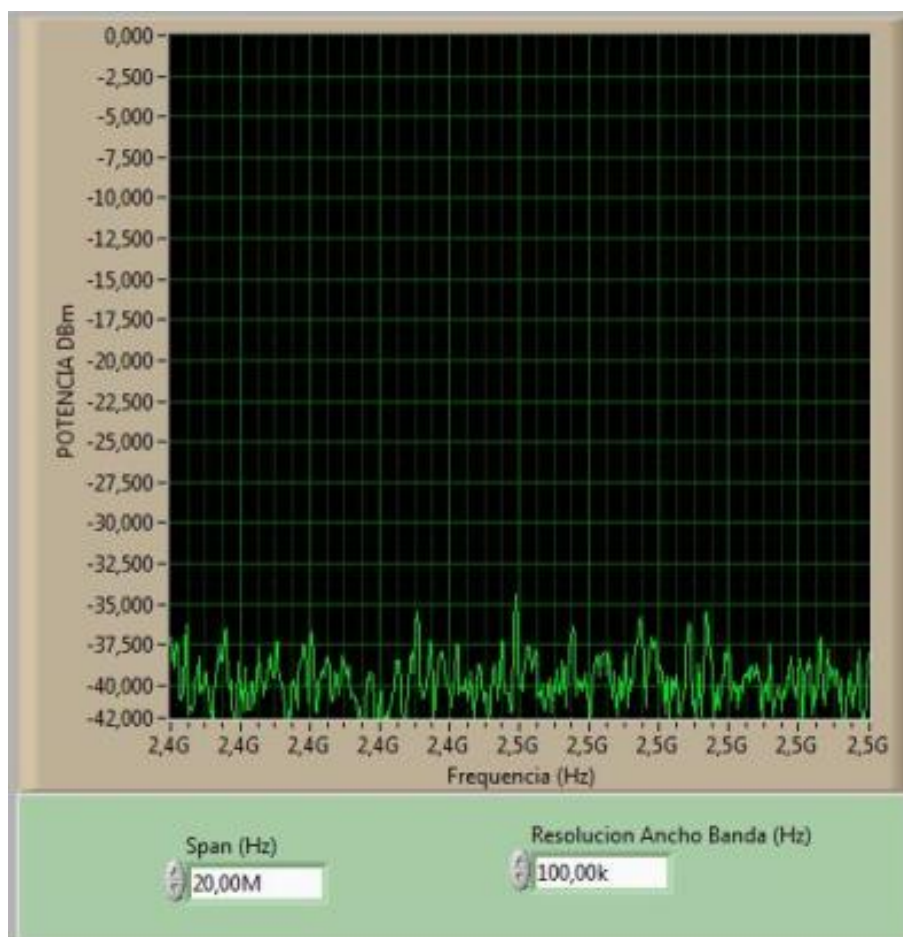


Figura 194. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena monopolo como RX.

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

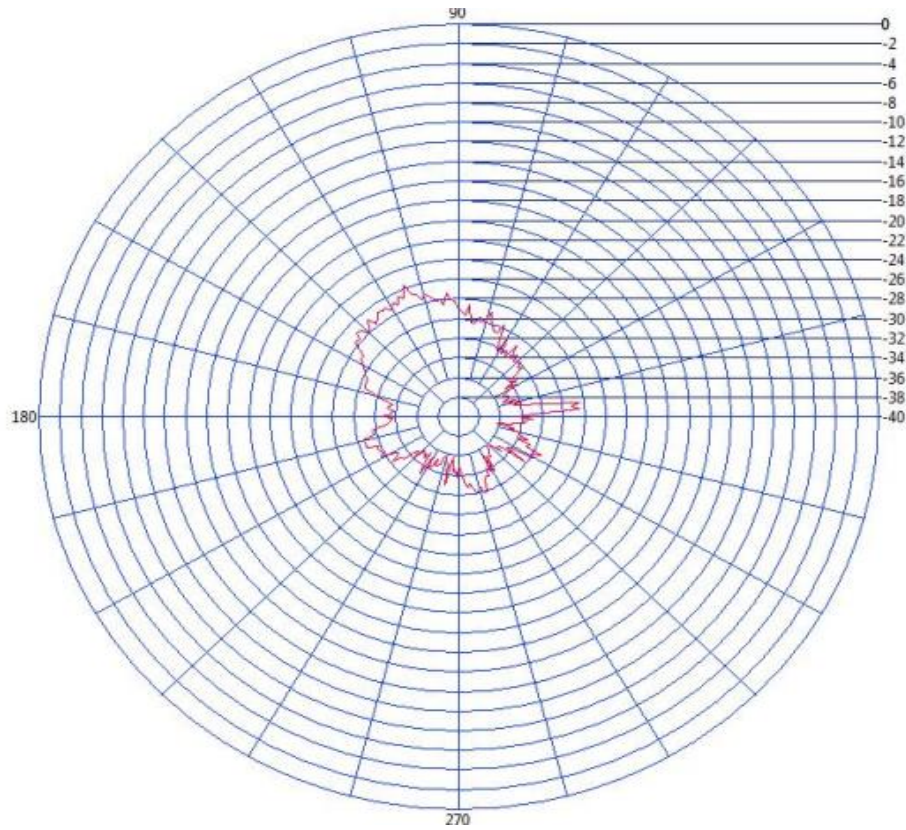


Figura 195. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena Monopolo como RX

## c) BASE DE DATOS

Tabla 19. Base de datos de la antena parabólica con antena Monopolo como RX.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-25,646	111,600	-36,307	349,200	0,532	38,993	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

# POLARIZACIÓN VERTICAL

## a) ESPECTRO DE POTENCIA

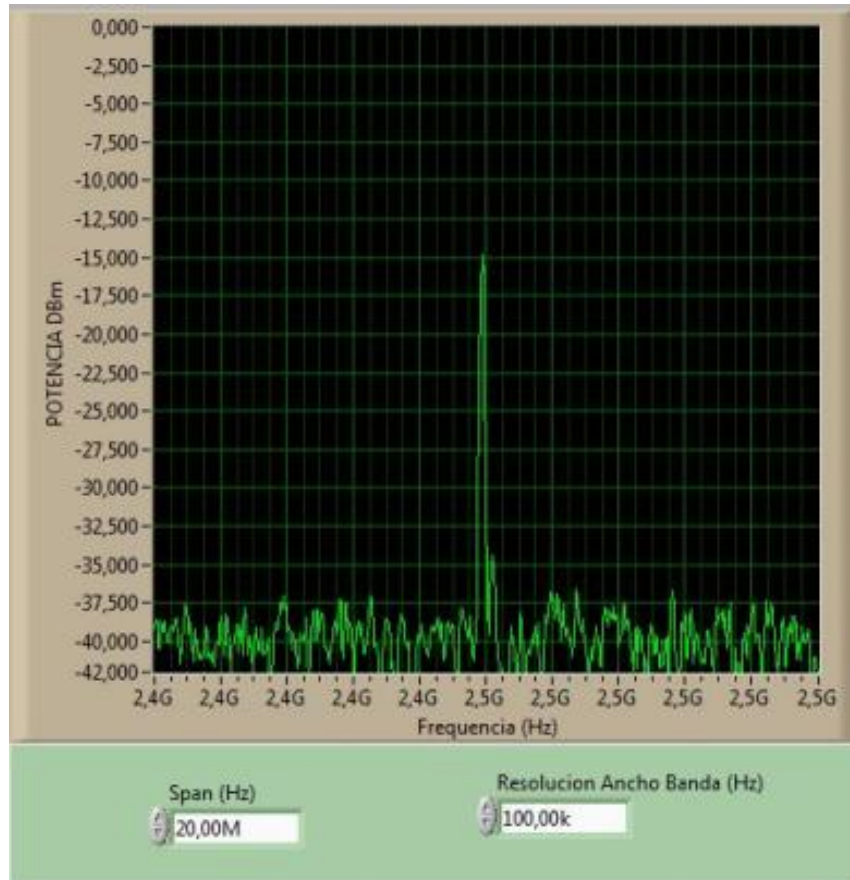


Figura 196. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena monopolo como RX.

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

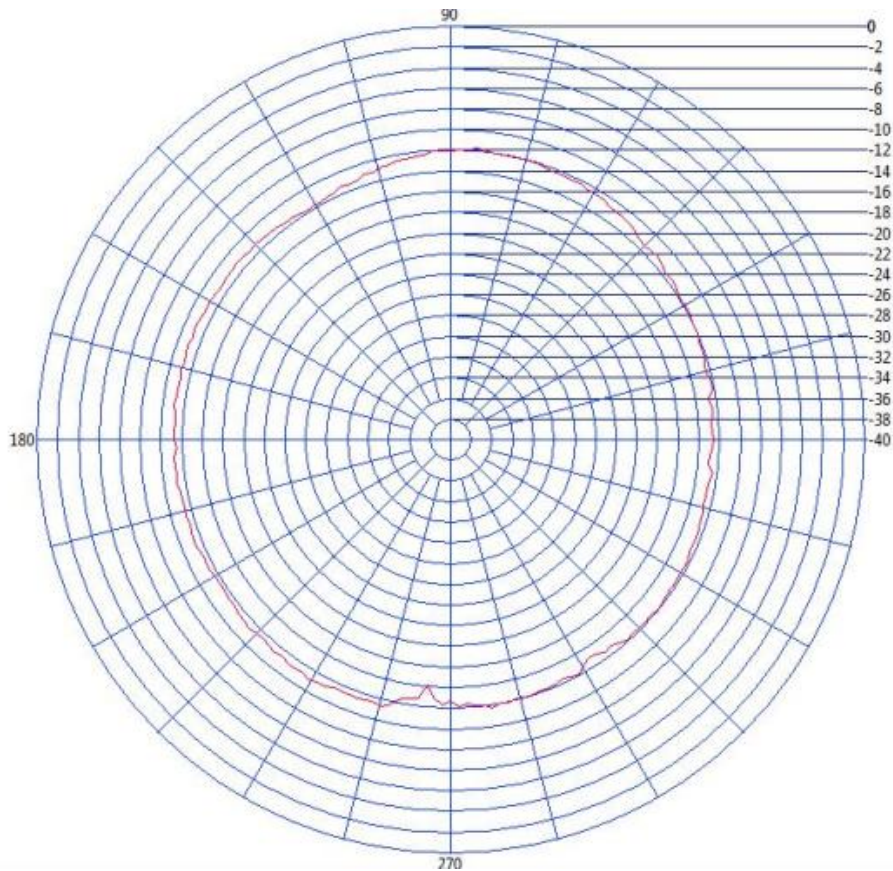


Figura 197. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena monopolo como RX

## c) BASE DE DATOS

Tabla 20. Base de datos de la antena parabólica con antena monopolo como RX.

Potencia MAX	Anqulo P.max	Potencia MIN	Anqulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-11,714	84,600	-16,217	264,600	0,532	85,367	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

2.9. PRUEBA EXPERIMENTAL CON ANTENA PARABÓLICA COMO TRANSMISOR Y ANTENA DIPOLO BASE CELULAR CORTO COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.45GHz Y DISTANCIA DE 5 METROS ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR.

### POLARIZACIÓN HORIZONTAL.

a) ESPECTRO DE POTENCIA

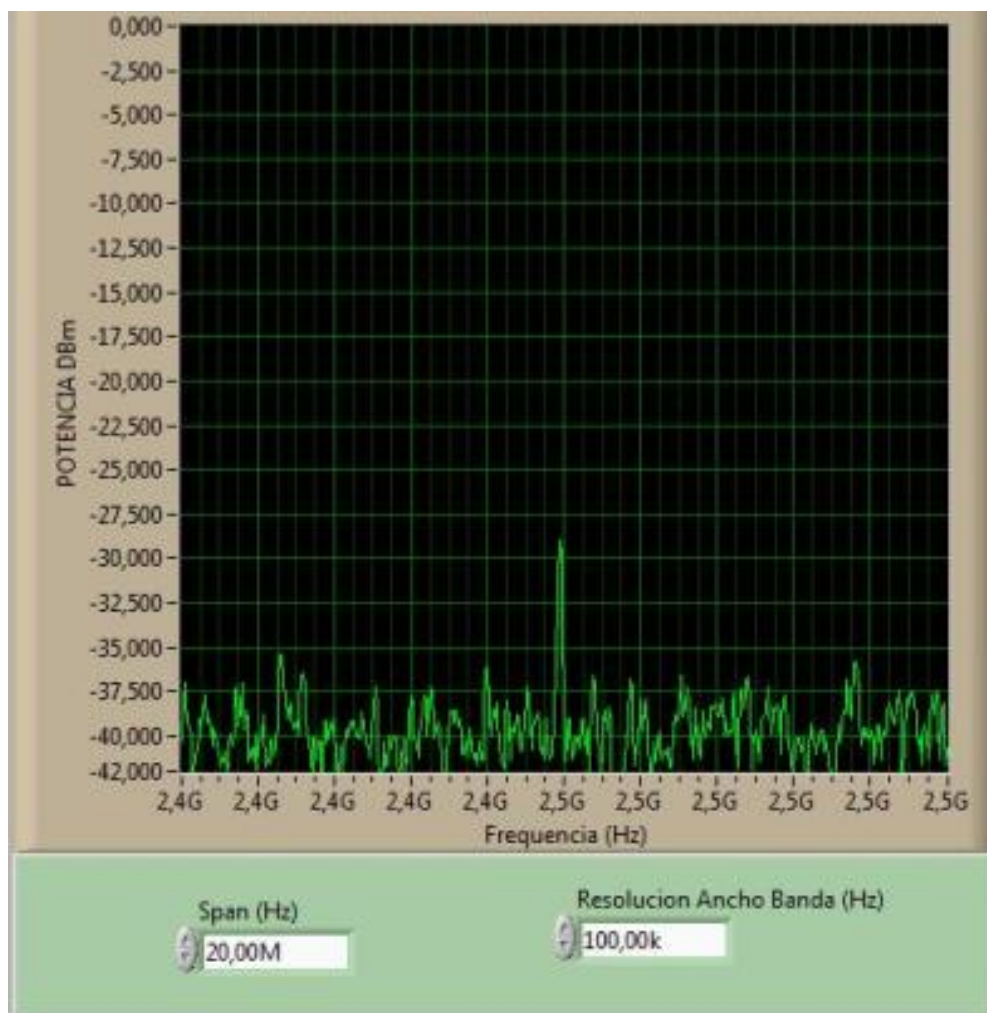


Figura 198. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena dipolo base celular corto como RX.



## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

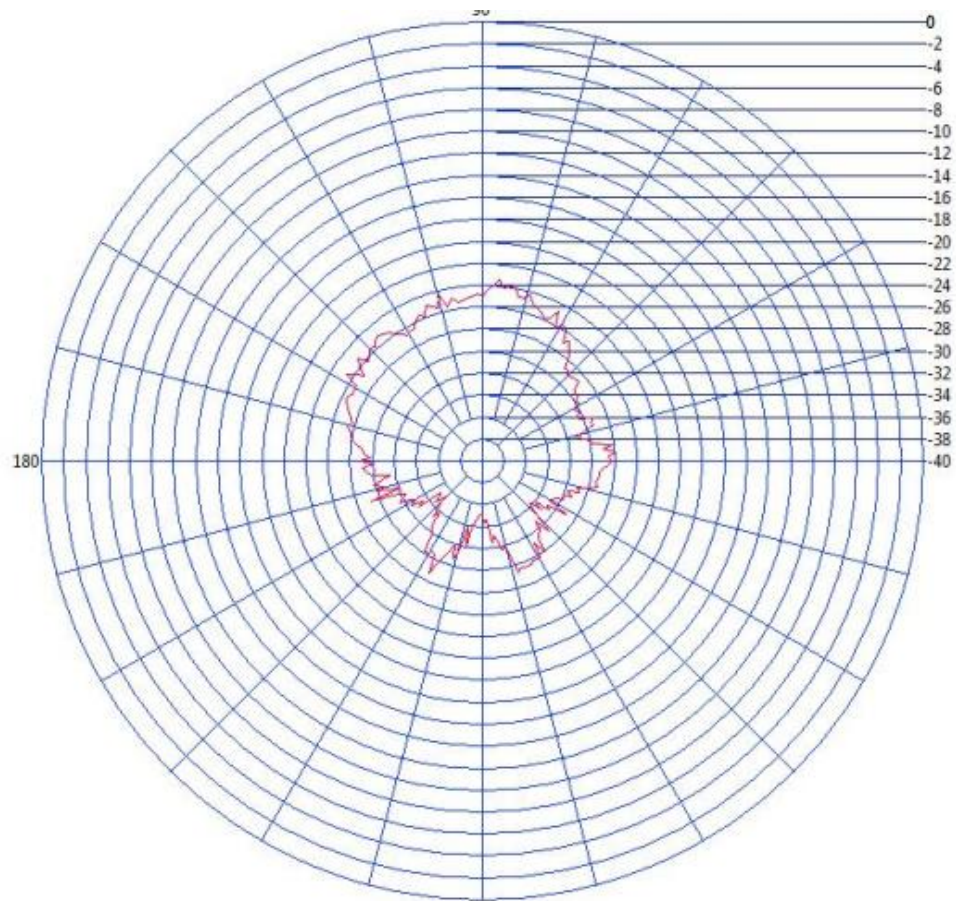


Figura 199. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena dipolo base celular corto como RX.

## c) BASE DE DATOS

Tabla 21. Base de datos de la antena parabólica con antena dipolo base celular corto como RX.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-23,390	84,600	-35,235	223,200	0,532	42,754	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

## POLARIZACIÓN VERTICAL

### a) ESPECTRO DE POTENCIA

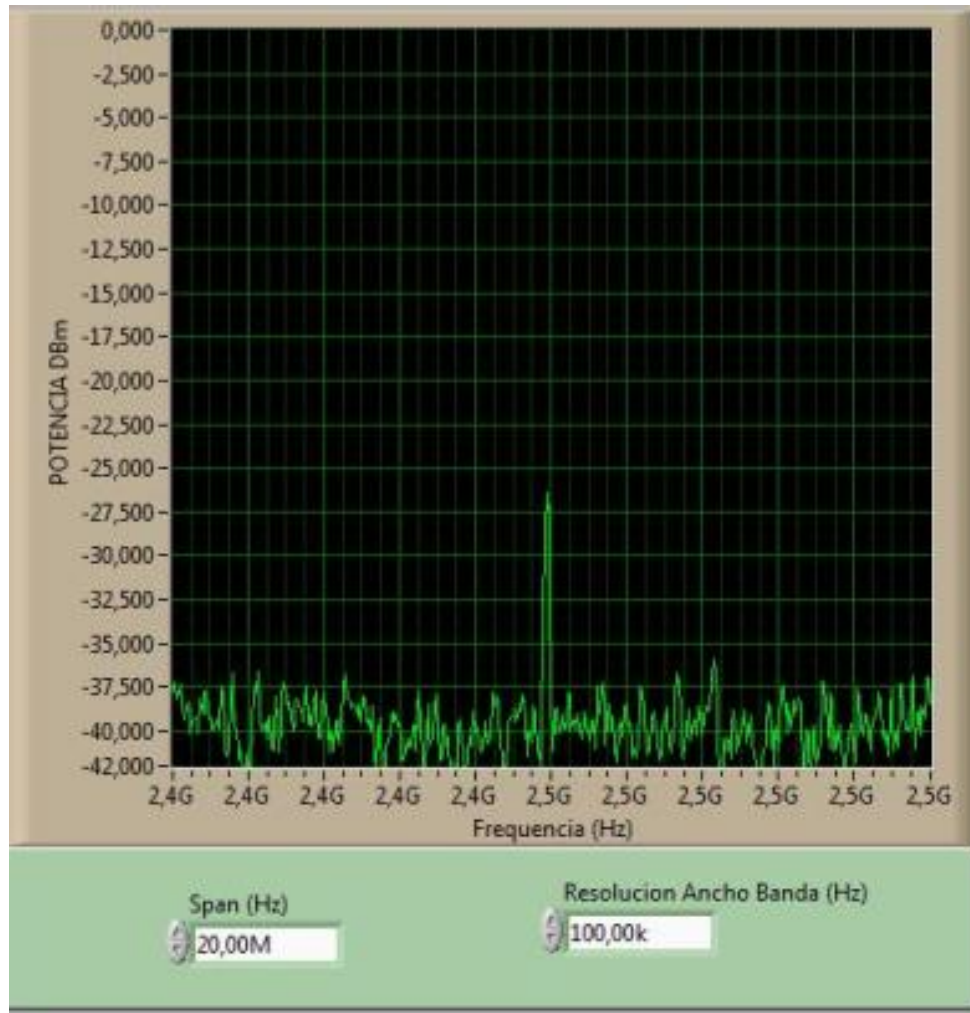


Figura 200. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena dipolo base celular corto como RX.

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

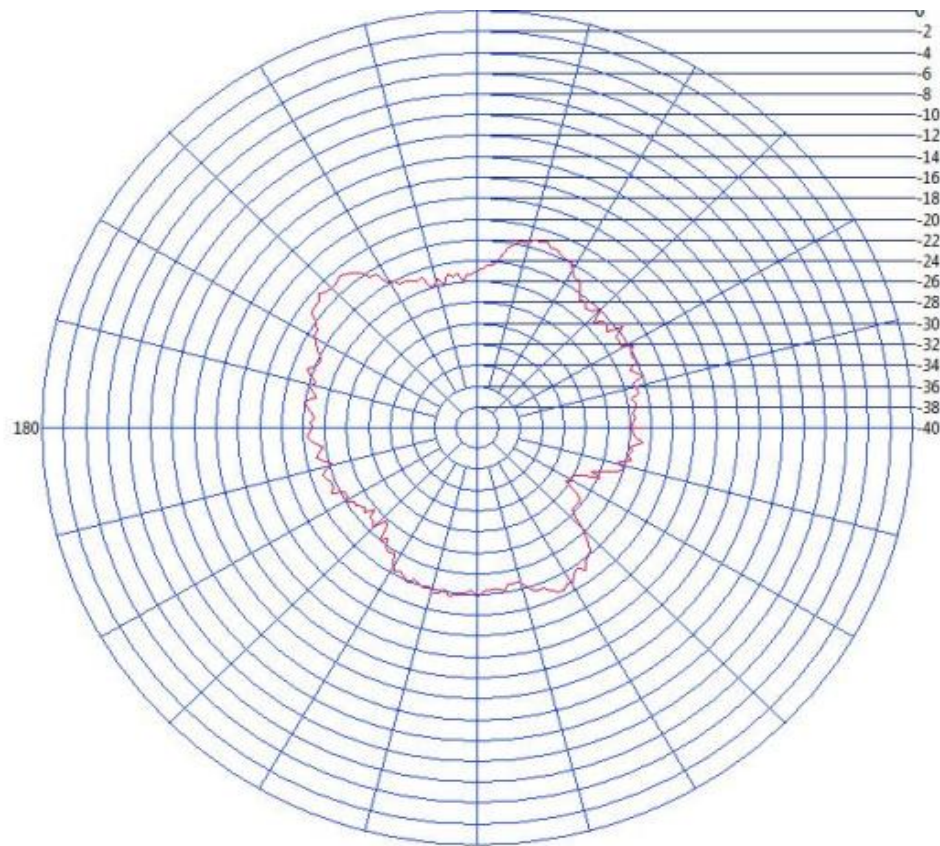


Figura 201. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena dipolo base celular corto como RX

## c) BASE DE DATOS

Tabla 22. Base de datos de la antena parabólica con antena dipolo base celular corto como RX.

Potencia MAX	Anqulo P.max	Potencia MIN	Anqulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-20,650	138,600	-30,390	327,600	0,532	48,426	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

2.10. PRUEBA EXPERIMENTAL CON ANTENA PARABÓLICA COMO TRANSMISOR Y ANTENA DIPOLO BASE CELULAR LARGO COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.45GHz CON DISTANCIA DE 5 METROS ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR.

### POLARIZACIÓN HORIZONTAL

a) ESPECTRO DE POTENCIA.

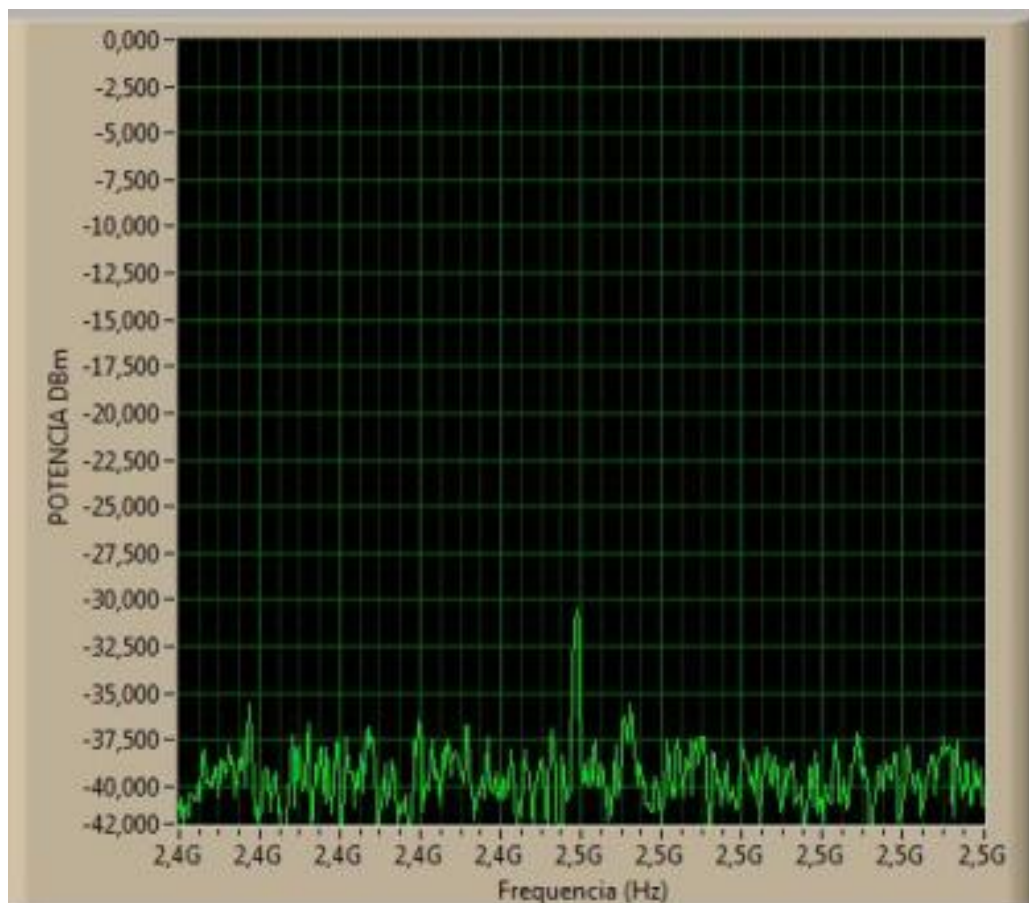


Figura 202. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena dipolo base celular largo como RX.

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

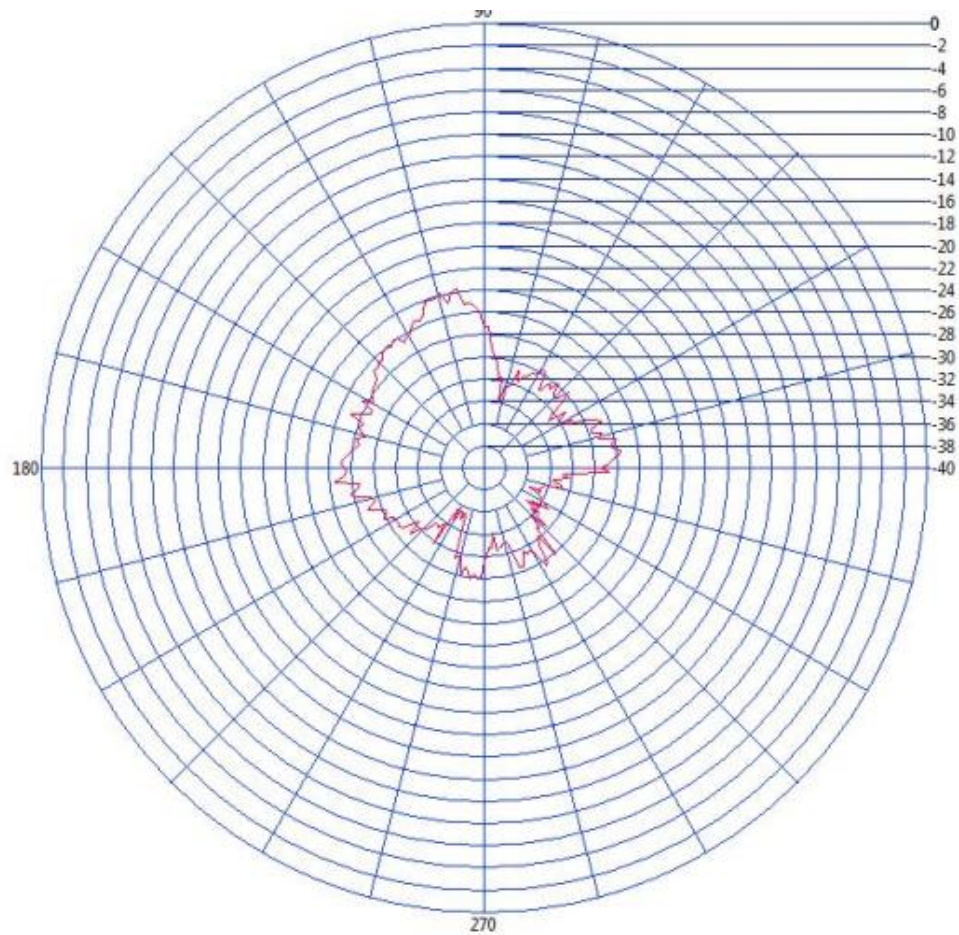


Figura 203. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena dipolo base celular largo como RX

## c) BASE DE DATOS

Tabla 23. Base de datos de la antena parabólica con antena dipolo base celular largo como RX.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-23,709	99,000	-35,651	243,000	0,532	42,178	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

# POLARIZACIÓN VERTICAL

## a) ESPECTRO DE POTENCIA

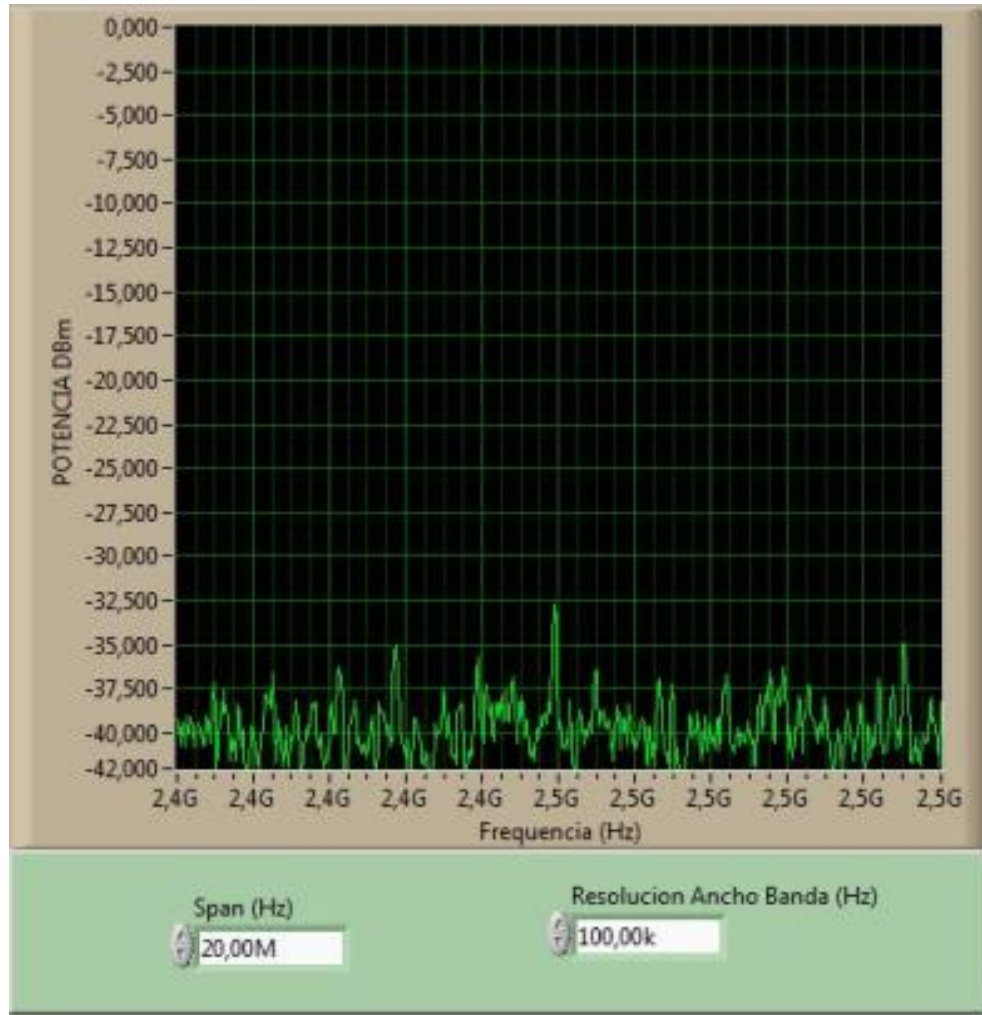


Figura 204. Espectro de potencia de la antena parabólica con antena dipolo base celular largo como RX.

## b) PATRÓN DE RADIACIÓN

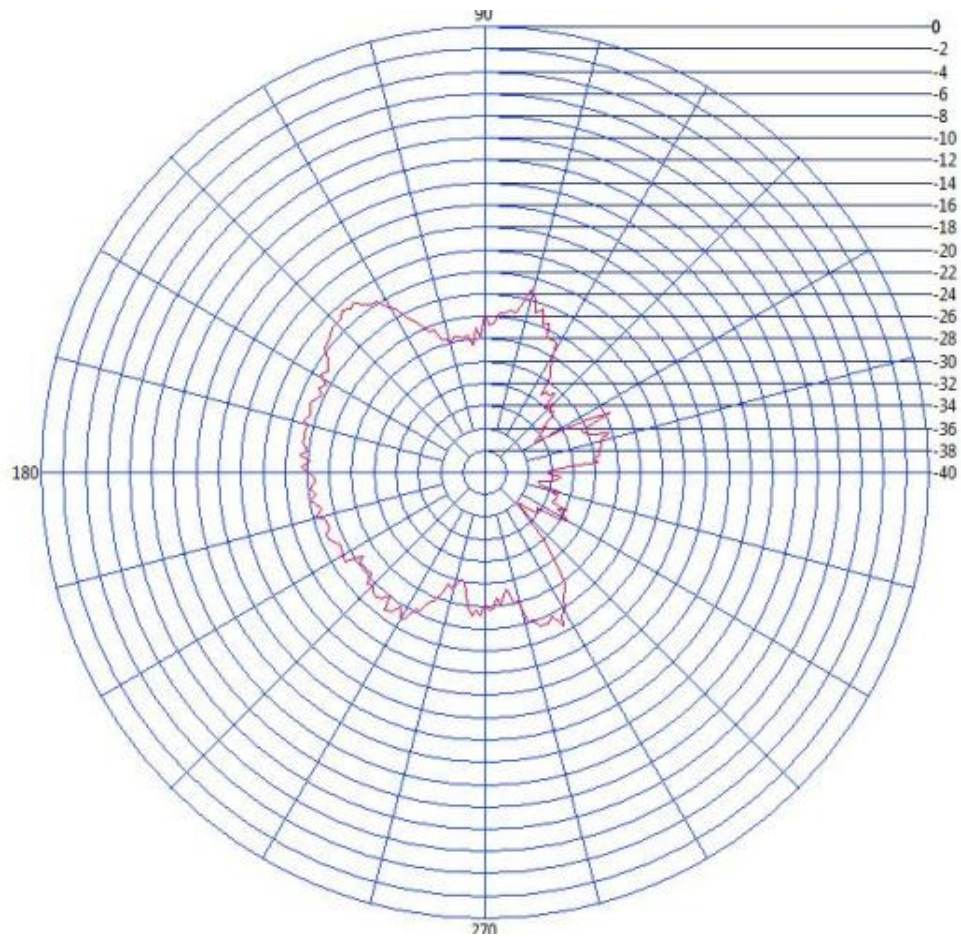


Figura 205. Patrón de radiación de la antena parabólica con antena dipolo base celular largo como RX

## c) BASE DE DATOS

Tabla 24. Tabla de datos de la antena parabólica con antena dipolo base celular largo como RX.

Potencia MAX	Angulo P.max	Potencia MIN	Angulo P.min	Campo Electrico(V/m)	Rendimiento%	Ganancia(DBi)
-20,620	131,400	-35,932	318,600	0,532	48,496	23,585
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

# **ANEXO C**

## **PRÁCTICAS DE LABORATORIO**



## 1. PRÁCTICA DE LABORATORIO

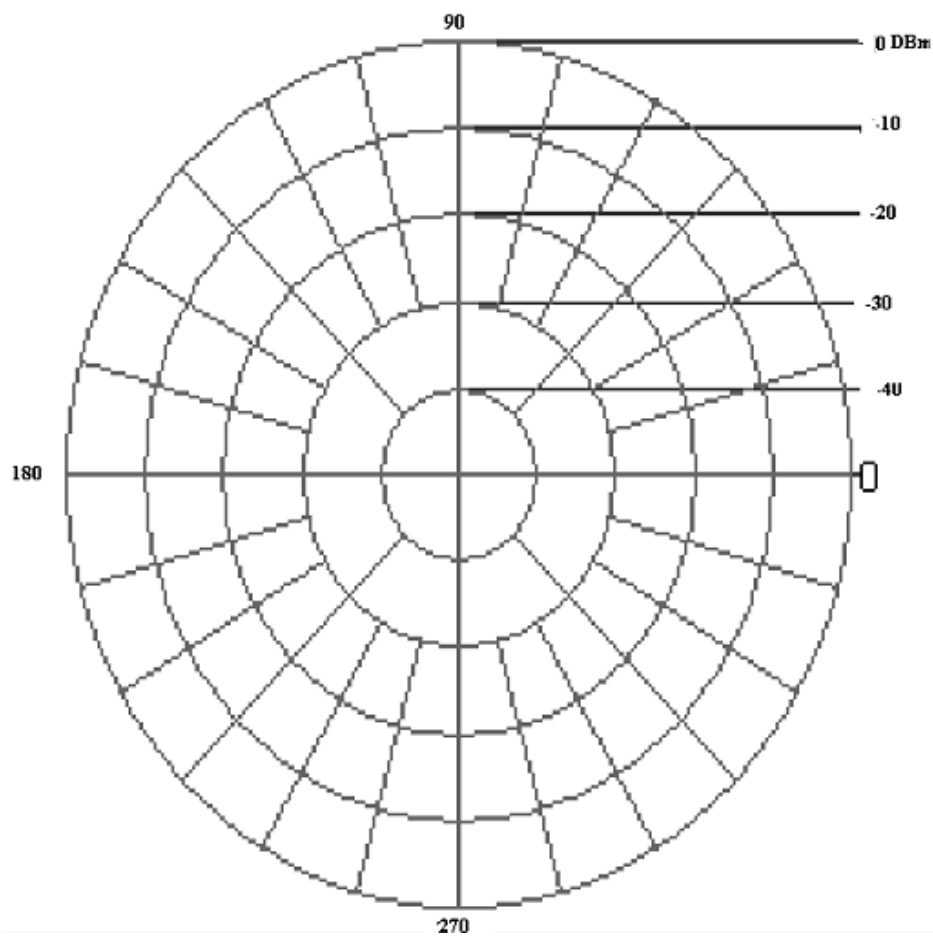
### **ANTENA YAGUI COMO TRANSMISOR Y YAGUI COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2 GHZ Y DISTANCIA DE 3 METROS CON POLARIZACIÓN VERTICAL.**

1. Encender el generador de frecuencia de Transmisión WATTS-2002 o NI 5671 (abrir el programa **Simple tone pulse.vi**) y el PXI 5660 que corresponde al receptor de señal RF.
2. Colocar la antena Yagui en polarización vertical en la estructura del TX.
3. Colocar la otra antena yagui en polarización vertical en la estructura de RX puede hacerlo por software o manualmente.
4. Generar la frecuencia de TX a 2 GHZ en el módulo NI 5671 y una potencia de 10dBm.
5. Ingresar a la interfaz **GRAFICADOR DE PATRON DE RADIACIÓN** en el software Labview.
6. Ingresar en el **menú de configuración de parámetros** e ingresar estos valores:
  - Frecuencia: 2 GHz
  - Distancia: 3 m (distancia física entre TX y RX)
  - Tipo de antena transmisora: Yagui.
  - Polarización Vertical.
7. Colocar por defecto a la antena Yagui receptora en Polarización horizontal. Y **polarizar en vertical** la antena por medio del software, ingresando al menú motor polarización. Escoger el modo automático y presionar el botón polarizar.

8. Una vez escogida el tipo de polarización, ingresar al menú motor base. Escoger modo automático y presionar botón inicio.
9. Ingresar en el **menú espectro de potencia** y configurar:
  - **Span** a 20 MHz; este valor puede variar y observar que sucede con el espectro de potencia.
  - **Resolución ancho de banda** en 100KHz, este valor puede variar y observar que sucede con el espectro de potencia.
10. Ingresar en el **menú Diagrama de Radiación** y observar el comportamiento del gráfico.
11. Una vez terminado la adquisición del Diagrama de Radiación (0-360°) ingresar en el **menú base de datos**. Presionar el botón crear base y la base de datos se genera en el panel frontal y en un documento Excel donde observará los datos de la adquisición del patrón de radiación.
12. Ingresar en el menú TCP/IP e iniciar conexión.
13. La PC cliente debe conectarse al grupo de trabajo del PXI, abrir el programa TCP/IP cliente, ingresar la IP del servidor (PXI) y el mismo puerto virtual del PXI.

## Resultados

1. Ingresar al menú patrón de radiación, observar la gráfica y plasmar en el siguiente gráfico polar (sin tomar los valores de la base de datos, solo gráficamente).



Patrón de radiación.

2. Anotar los siguientes parámetros que observa:
  - a) Potencia máxima de recepción en dBm. ....
  - b) Posición del ángulo de potencia máxima de recepción.....
  - c) Potencia de recepción mínima en dBm .....

d) Posición del ángulo de potencia mínimo de recepción.....

Con los datos obtenidos del gráfico anterior encontrar el valor de los siguientes parámetros:

- Ganancia directiva( Gdbi) =  $10\log(P_{Rx}/P_{Tx}) + 2,14$  dbi
- Rendimiento( n)=  $(P_{Tx}/P_{Rx}) * 100\%$
- Campo eléctrico E ( V/m)=  $\sqrt{((P_{Tx} * G_{dbi} * 30)/d)}$ .
- d= distancia en metros.
- PdBm=  $10\log (P_{Rx}/1\text{mw})$

j. Ganancia directiva.....

k. Rendimiento (n).....

l. Campo eléctrico.....

m. Potencia de recepción máxima en mW.....

### 3. Comparar los datos calculados con los medidos.

- Ganancia directiva de la antena.....
- Rendimiento.....
- Campo Eléctrico.....
- Potencia de recepción máxima en mW.....

**Nota:** Al terminar la medición debe realizar el reset del motor base y el motor polarización si lo utilizó.

### 4. Conclusiones.

## 2. PRÁCTICA DE LABORATORIO

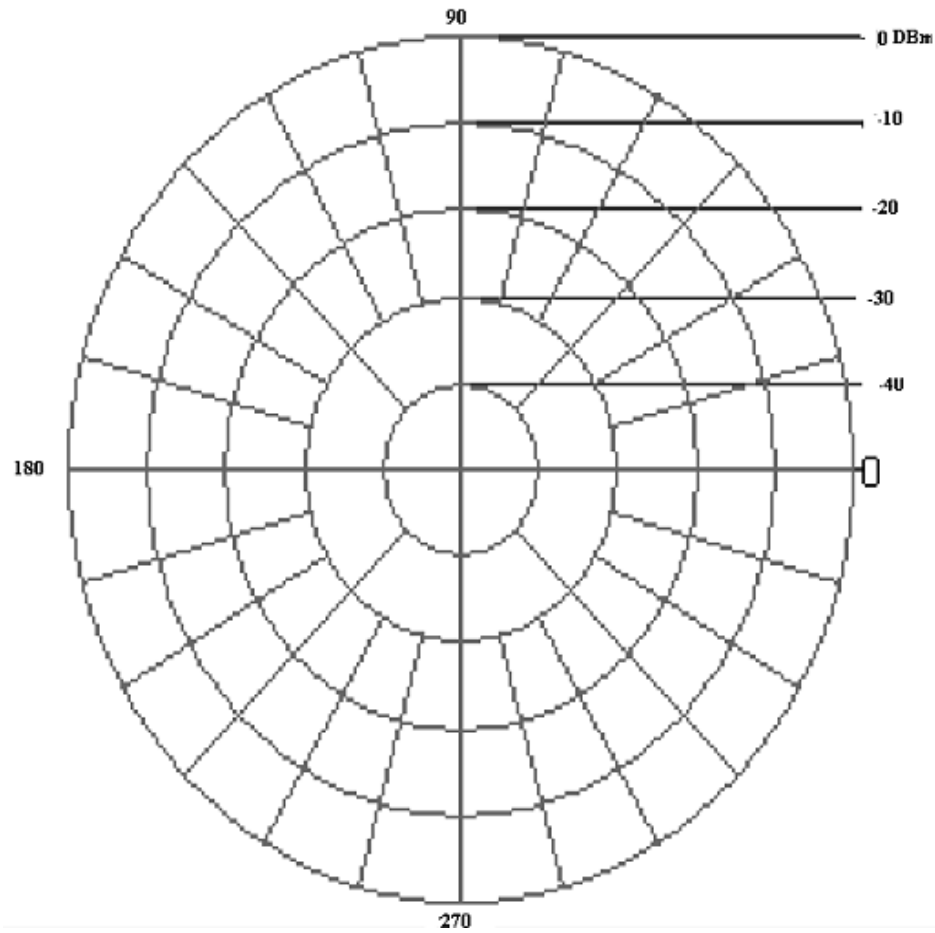
### **ANTENA YAGUI COMO TRANSMISOR Y YAGUI COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.7 GHZ Y DISTANCIA DE 2 METROS CON POLARIZACIÓN HORIZONTAL.**

1. Encender el generador de frecuencia de Transmisión WATTS-2002 o NI 5671(abrir el programa **Simple tone pulse.vi**) en conjunto con el analizador PXI 5660 que corresponde al receptor de señal RF.
2. Colocar la antena Yagui en polarización vertical en la estructura del TX.
3. Colocar la otra antena yagui en polarización vertical en la estructura de RX puede hacerlo por software o manualmente.
4. Generar la frecuencia de TX a 2 GHZ en el módulo NI 5671 y una potencia de 10dBm.
5. Ingresar a la interfaz **GRAFICADOR DE PATRON DE RADIACIÓN** en el software Labview.
6. Ingresar en el **menú de configuración de parámetros** e ingresar estos valores:
  - Frecuencia: 2,7 GHz
  - Distancia: 2 m (distancia física entre TX y RX)
  - Tipo de antena transmisora: Yagui.
  - Polarización Horizontal
7. Colocar por defecto a la antena Yagui receptora en Polarización horizontal.

8. Una vez escogida el tipo de polarización, ingresar al menú motor base. Escoger modo automático y presionar botón inicio.
9. Ingresar en el **menú espectro de potencia** y configurar:
  - **Span** a 20 MHz; este valor puede variar y observar que sucede con el espectro de potencia.
  - **Resolución ancho de banda** en 100KHz, este valor puede variar y observar que sucede con el espectro de potencia.
10. Ingresar en el **menú Diagrama de Radiación** y observar el comportamiento del gráfico.
11. Una vez terminado la adquisición del Diagrama de Radiación (0-360°) ingresar en el **menú base de datos**. Presionar el botón crear base y la base de datos se genera en el panel frontal y en un documento Excel donde observará los datos de la adquisición del patrón de radiación.
12. Ingresar en el menú TCP/IP e iniciar conexión.
13. La PC cliente conectar al grupo de trabajo del PXI, abrir el programa TCP/IP cliente, ingresar la IP del servidor (PXI) y el mismo puerto virtual del PXI.

## Resultados

14. Ingresar al menú patrón de radiación, observar la gráfica y plasmar en el siguiente gráfico polar (sin tomar los valores de la base de datos, solo gráficamente).



Patrón de radiación.

- Anotar los siguientes parámetros que observa:
- Potencia máxima de recepción en dBm. ....
- Posición del ángulo de potencia máxima de recepción.....
- Potencia de recepción mínima en dBm .....

- Posición del ángulo de potencia mínimo de recepción.....

**15.** Con los datos obtenidos del gráfico anterior encontrar el valor de los siguientes parámetros:

- Ganancia directiva( Gdbi) =  $10\log(P_{Rx}/P_{Tx}) + 2,14$  dbi
- Rendimiento(  $\eta$ )=  $(P_{Tx}/P_{Rx}) * 100\%$
- Campo eléctrico E ( V/m)=  $\sqrt{((P_{Tx} * G_{dbi} * 30)/d)}$ .
- d= distancia en metros.
- PdBm=  $10\log (P_{Rx}/1\text{mw})$

**n.** Ganancia directiva.....

**o.** Rendimiento ( $\eta$ ).....

**p.** Campo eléctrico.....

**q.** Potencia de recepción máxima en mW.....

**16. Comparar los datos calculados con los medidos.**

- Ganancia directiva de la antena.....
- Rendimiento.....
- Campo Eléctrico.....
- Potencia de recepción máxima en mW.....

**Nota:** Al terminar la medición debe realizar el reset del motor base y el motor polarización si lo utilizó.

**17. Conclusiones**



### 3. PRÁCTICA DE LABORATORIO

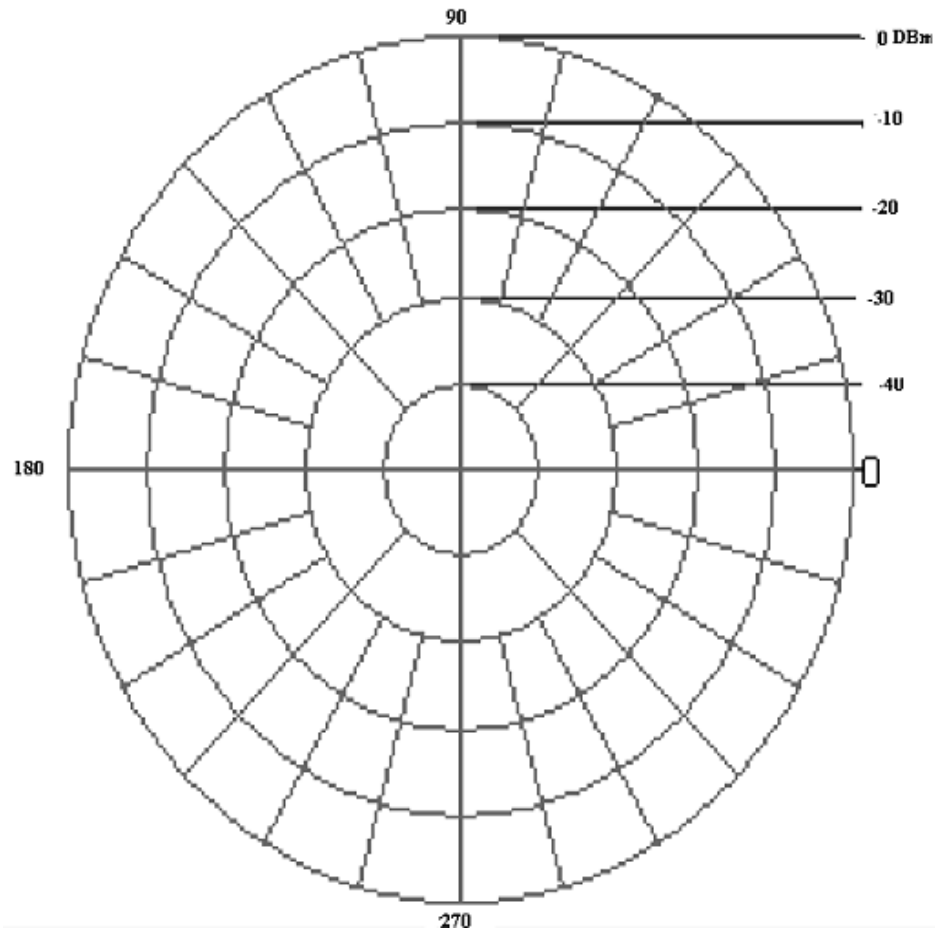
#### **ANTENA DIPOLO COMO TRANSMISOR Y DIPOLO COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 1 GHZ Y DISTANCIA DE 3 METROS CON POLARIZACIÓN VERTICAL.**

1. Encender el generador de frecuencia de Transmisión WATTS-2002 o NI 5671 (abrir el programa **Simple tone pulse.vi**) y el analizador PXI 5660 que corresponde al receptor de señal RF.
2. Colocar la antena dipolo en polarización vertical en la estructura del TX.
3. Colocar la otra antena dipolo en polarización vertical en la estructura de RX.
4. Generar la frecuencia de TX a 1 GHZ en el módulo NI 5671y una potencia de 10 dBm.
5. Ingresar al programa **GRAFICADOR DE PATRON DE RADIACIÓN** en el software Labview.
6. Ingresar en el menú de configuración de parámetros e inicializar:
  - Frecuencia: 1 GHz
  - Distancia: 3 m (distancia física entre TX y RX)
  - Tipo de antena transmisora: dipolo.
  - Polarización vertical.
7. Ingresar al menú motor base.
  - Escoger modo automático
  - Presionar botón inicio.

- 8.** Ingresar al menú espectro de potencia y configurar:
  - Span a 20 MHz; en este literal puede variar este valor y observar lo que sucede con el espectro de potencia.
  - Resolución ancho de banda en 100KHz, este valor puede variar y observar lo que sucede con el espectro de potencia.
- 9.** Una vez terminado la medición ingresar al menú base de datos.
  - Presionar el botón crear.
  - La base de datos se genera en el panel frontal y en un documento Excel donde observará los datos de la adquisición del patrón de radiación.
- 10.** Ingresar en el menú TCP/IP e iniciar conexión.
- 11.** La PC cliente debe conectarse al grupo de trabajo del PXI, abrir el programa TCP/IP cliente, ingresar la IP del servidor (PXI) y el mismo puerto virtual del PXI.

## Resultados

12. Ingresar al menú patrón de radiación, observar la gráfica y plasmar en el siguiente gráfico polar (sin tomar los valores de la base de datos, solo gráficamente).



Patrón de radiación.

13. Anotar los siguientes parámetros que observa:

- Potencia máxima de recepción en dBm.....
- Posición del ángulo de potencia máxima de recepción.....
- Potencia de recepción mínima en dBm .....

- Posición del ángulo de potencia mínimo de recepción.....

Con los datos obtenidos del gráfico anterior encontrar el valor de los siguientes parámetros:

- Ganancia directiva( Gdbi) =  $10\log(P_{Rx}/P_{Tx}) + 2,14$  dbi
- Rendimiento(  $\eta$ )=  $(P_{Tx}/P_{Rx}) * 100\%$
- Campo eléctrico E ( V/m)=  $\sqrt{((P_{Tx} * G_{dbi} * 30)/d)}$ .
- d= distancia en metros.
- PdBm=  $10\log (P_{Rx}/1mw)$
- Ganancia directiva.....
- Rendimiento (  $\eta$ ).....
- Campo eléctrico.....
- Potencia de recepción máxima en mW.....

**14. Comparar los datos calculados con la medida (Base de Datos).**

- Ganancia directiva de la antena.....
- Rendimiento.....
- Campo Eléctrico.....
- Potencia de recepción máxima en mW.....

**Nota:** Al terminar la medición debe realizar el reset del motor base y el motor polarización si lo utilizó.

#### **4. PRÁCTICA DE LABORATORIO**

##### **ANTENA YAGUI COMO TRANSMISOR Y YAGUI UDA COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2,45 GHZ Y DISTANCIA DE 1.5 METROS CON POLARIZACION HORIZONTAL.**

1. Encender el generador de frecuencia de Transmisión WATTS-2002 o NI 5671 (abrir el programa **Simple tone pulse.vi**) y el analizador PXI 5660 que corresponde al receptor de señal RF.
2. Colocar la antena yagui en polarización horizontal en la estructura del TX.
3. Colocar la otra antena yagui en polarización horizontal en la estructura de RX puede hacerlo por software o manualmente.
4. Generar la frecuencia de TX a 2,45 GHZ en el módulo NI 5671 (abrir el programa **Simple tone pulse.vi**) o Wats-2002, con una potencia de 10dBm.
5. Ingresar a la interfaz GRAFICADOR DE PATRON DE RADIACIÓN en el software Labview.
6. Ingresar en el menú de configuración de parámetros e inicializar:
  - b. Frecuencia: 2,45 GHz
  - c. Distancia: 1.5 m (distancia física entre TX y RX)
  - d. Tipo de antena transmisora: yagui.
7. Polarización horizontal por defecto.
8. ingresar al menú motor base.
  - a. Escoger modo automático.

b. Presionar botón inicio.

**9.** Ingresar al menú espectro de potencia y configurar:

a. Ingresar span a 20 MHz; en este literal puede variar este valor y observar lo que sucede con el espectro de potencia.

b. La resolución ancho de banda en 100KHz, este valor puede variar y observar lo que sucede con el espectro de potencia.

**10.**Una vez terminado la medición ingresar al menú base de datos.

a. Presionar el botón crear.

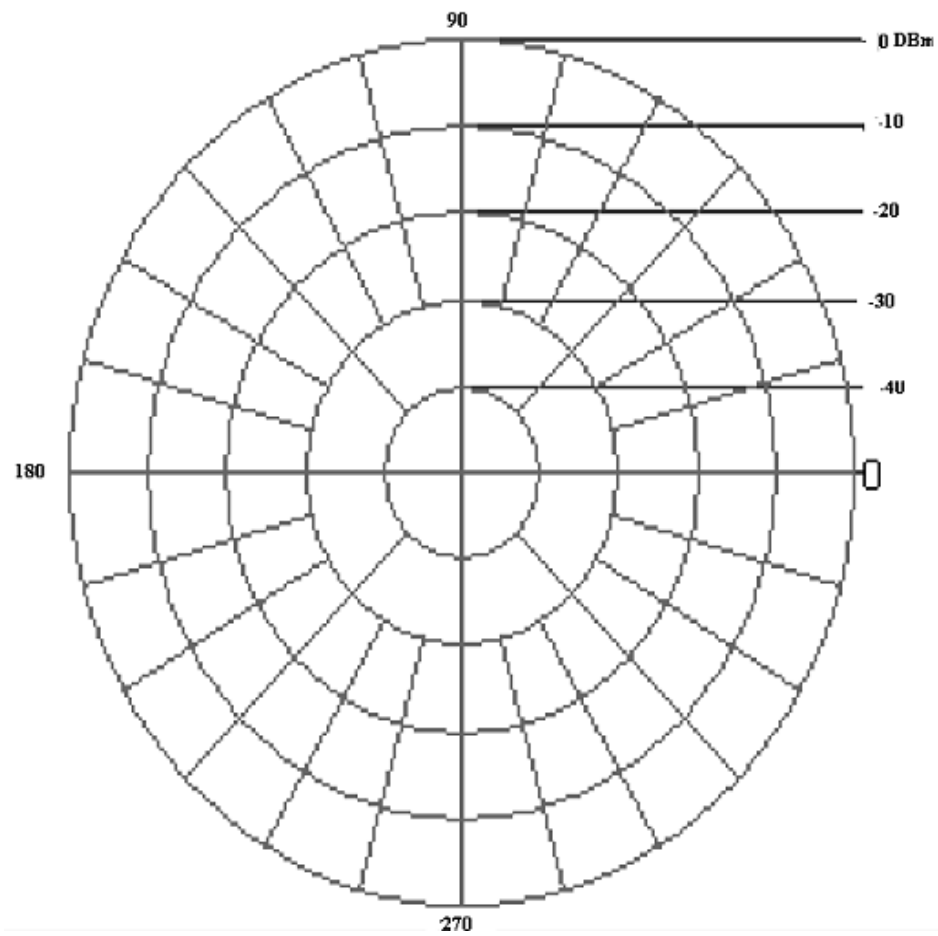
b. La base de datos se genera en el panel frontal y en un documento Excel donde observará los datos de la adquisición del patrón de radiación.

**11.**Ingresar en el menú TCP/IP e iniciar conexión.

**12.**La PC cliente debe conectarse al grupo de trabajo del PXI, abrir el programa TCP/IP cliente, ingresar la IP del servidor (PXI) y el mismo puerto virtual del PXI.

## Resultados

13. Ingresar al menú patrón de radiación, observar la gráfica y plasmar en el siguiente gráfico polar (sin tomar los valores de la base de datos, solo gráficamente).



Patrón de radiación.

**14.** Anotar los siguientes parámetros que observa:

- a. Potencia máxima de recepción en dBm.  
.....
- b. Posición del ángulo de potencia máxima de recepción.....
- c. Potencia de recepción mínima en dBm  
.....
- d. Posición del ángulo de potencia mínimo de recepción.....

**15.** Con los datos obtenidos del gráfico anterior encontrar el valor de los siguientes parámetros:

- Ganancia directiva( Gdbi) =  $10\log(P_{Rx}/P_{Tx}) + 2,14$  dbi
- Rendimiento(  $\eta$ )=  $(P_{Tx}/P_{Rx}) * 100\%$
- Campo eléctrico E ( V/m)=  $\sqrt{((P_{Tx} * G_{dbi} * 30)/d)}$ .
- d= distancia en metros.
- PdBm=  $10\log (P_{Rx}/1\text{mw})$
- Ganancia directiva.....
- Rendimiento (  $\eta$ ).....
- Campo eléctrico.....
- Potencia de recepción máxima en mW.....

**16. Comparar los datos calculados con los medidos.**

- Ganancia directiva de la antena.....
- Rendimiento.....
- Campo Eléctrico.....
- Potencia de recepción máxima en mW.....

**Nota:** Al terminar la medición debe realizar el reset del motor base y el motor polarización si lo utilizó.



## 5. PRÁCTICA DE LABORATORIO

### **ANTENA PARABÓLICA COMO TRANSMISOR Y YAGI COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.4 GHZ Y DISTANCIA DE 5 METROS CON POLARIZACION VERTICAL.**

1. Encender el generador de frecuencia de Transmisión WATTS-2002 o NI-5671 (abrir el programa **Simple tone pulse.vi**) y el PXI 5660 que corresponde al receptor de señal RF.
2. Colocar la antena parabólica como transmisor su cable deberá ser conectado en la salida del generador de frecuencia de 2.4 GHZ del NI 5671 y verificar si tiene la polarización vertical.
3. Colocar la antena yagui en polarización vertical en la estructura de RX lo puede hacer por software o manualmente.
4. Generar la frecuencia 2.4 GHZ de TX en el modulo NI 5671 con 10 dBm de potencia.
5. Ingresar a la interfaz **GRAFICADOR DE PATRON DE RADIACIÓN** en el software Labview.
6. Ingresar en el menú de configuración de parámetros e inicializar:
  - a) Frecuencia: 2.4GHZ
  - b) Distancia: 5 m
  - c) Tipo de antena Transmisora: parabólica.
7. Si quiere por software polarizar en vertical la antena yagui ingresar al menú motor polarización.
  - a) Escoger modo automático.
  - b) Presionar el botón polarizar.
8. Ingresar al menú motor base.
  - a) Colocar en modo automático
  - b) Presionar inicio.

9. Ingresar al menú espectro de potencia y configurar:
- a) La frecuencia de recepción a 2.4GHZ.
  - b) El sapan: 20 MHZ en este literal puede variar y observar lo que sucede con el espectro de potencia.  
Apuntar que cambio observa cuando varía este parámetro.  
.....
  - c) La resolución ancho de banda: 100Khz puede variar y observar lo que sucede con el espectro de potencia.
  - d) Apuntar que cambio observa cuando varía este parámetro.  
.....
10. Ingresar al menú patrón de radiación observar la grafica y plasmar en el siguiente gráfico polar.

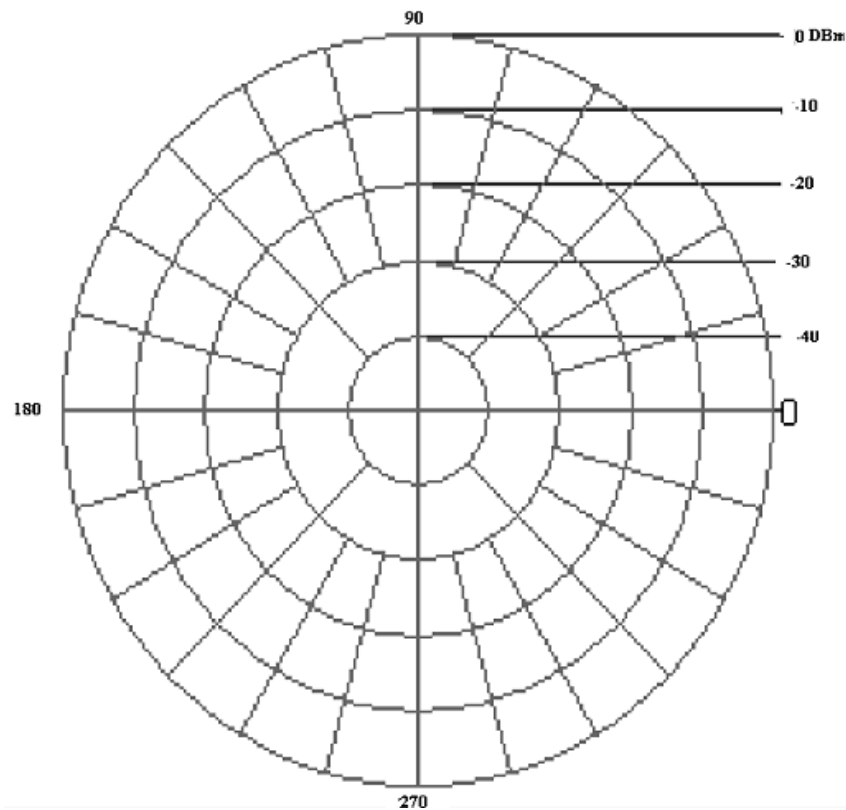


Figura 206. Trabajo patrón de radiación.

Anotar los siguientes parámetros:

- a) Potencia máxima de recepción en dBm:  
.....
- b) Posición del ángulo potencia máxima de recepción:  
.....
- c) Potencia de recepción mínima en dBm:  
.....
- d) Posición del ángulo de potencia mínimo de recepción:  
.....

Con los datos obtenidos del grafico anterior encontrar el valor de los siguientes parámetros:

- Eficiencia(  $\eta$ )=  $(P_{Tx}/P_{Rx}) \cdot 100\%$
- Campo eléctrico E ( V/m)=  $\sqrt{((P_{Tx} \cdot G_{dbi} \cdot 30)/d)}$ .
- . d= distancia en metros.
- PdBm=  $10 \log (P_{Rx}/1\text{mw})$  despejar para calcular la potencia de recepción en mW.
- e) Ganancia directiva.....24dBi.....
- f) Campo eléctrico.....
- g) Rendimiento.....
- h) Potencia de recepción máxima en mW.....

11. Una vez terminada la medición debe:

- a) Generar la base de datos.
- b) La base de datos se genera en un documento Excel donde observara los datos de la antena.

**c) Comparar los datos calculados con los medidos.**

- Ganancia directiva de la antena.....
- Rendimiento.....
- Campo Eléctrico.....
- Potencia de recepción máxima en mW.....

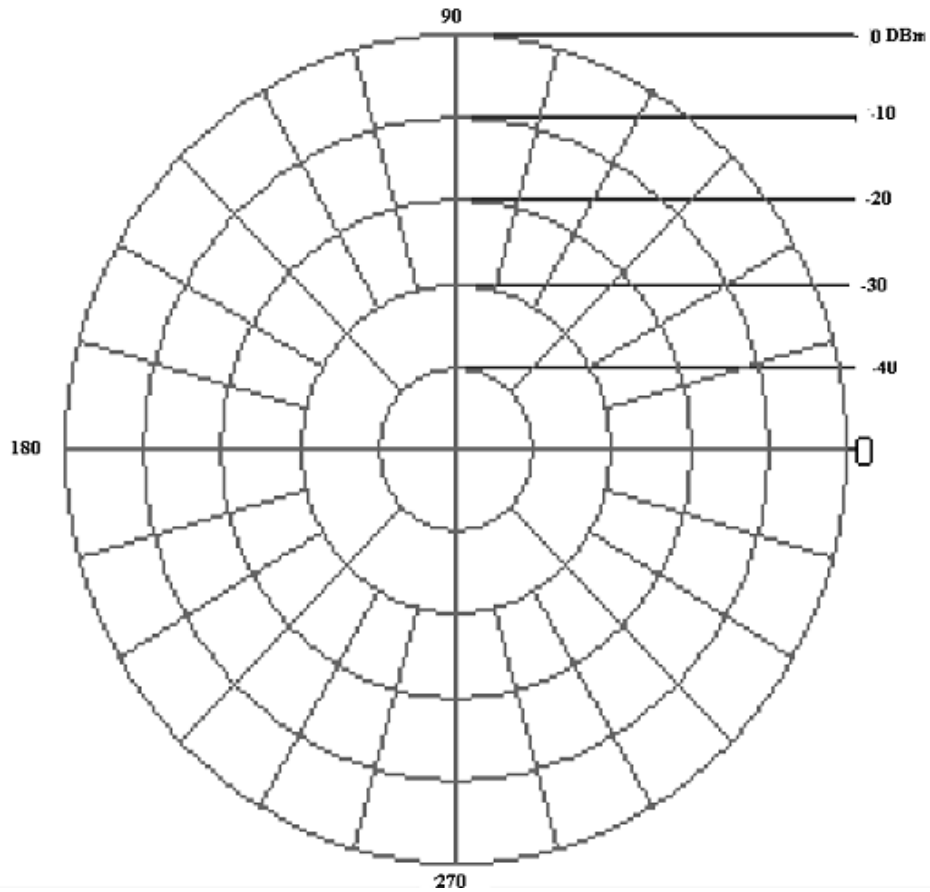
**Nota:** Al terminar la medición debe realizar el reseteo del motor base y el motor polarización.

## 6. PRÁCTICA DE LABORATORIO

### **ANTENA YAGUI COMO TRANSMISOR Y PARABÓLICA COMO RECEPTOR A FRECUENCIA DE 2.45GHZ Y DISTANCIA DE 5M CON POLARIZACION VERTICAL.**

1. Encender el generador de frecuencia de Transmisión WATTS-2002 o NI-5671 (abrir el programa **Simple tone pulse.vi**) y el PXI 5660 que corresponde al receptor de señal RF.
2. Colocar la antena parabólica como recepción, su cable deberá ser conectado en la entrada del PXI 5600 y verificar si tiene la polarización vertical.
3. Colocar la antena yagui en polarización vertical en la estructura de Tx.
4. Generar la frecuencia 2.45GHZ.de TX en el modulo WATTS 2002 o NI5671.
5. Ingresar en el programa GRAFICADOR DE PATRON DE RADIACIÓN en el software Labview.
6. Ingresar en el menú de configuración de parámetros e inicializar:
  - a) Frecuencia: 2.45GHZ
  - b) Distancia: 5 m
  - c) Tipo de antena Transmisora: Yagui
7. Ingresar al menú motor parabólica.
  - a. Seleccionar en modo automático
  - b. Presionar inicio.
8. Ingresar al menú espectro de potencia y configurar:
  - a) El sapan: 20 MHZ en este literal puede variar y observar lo que sucede con el espectro de potencia.
  - b) La resolución ancho de banda: 100Khz igual manera varié y observe el espectro.

c) Ingresar al menú patrón de radiación y observar la grafica y plasmar en el siguiente grafico polar.



Patrón de radiación.

9. Anotar los siguientes parámetros:

- Potencia máxima de recepción en dBm:

.....

- Posición del ángulo máximo de recepción:

.....

- Potencia de recepción mínima en dBm:  
.....
- Posición del ángulo potencia mínimo de recepción:  
.....

10. Con los datos obtenidos del gráfico encontrar el valor de los siguientes parámetros:

- Eficiencia(  $\eta$ )=  $(P_{Tx}/P_{Rx}) \cdot 100\%$
- Campo eléctrico E (V/m)=  $\sqrt{((P_{Tx} \cdot G_{dbi} \cdot 30)/d)}$ .
- . d= distancia en metros.
- PdBm=  $10 \log (P_{Rx}/1 \text{mw})$
- Ganancia directiva.....
- Campo eléctrico.....
- Rendimiento.....
- Potencia de recepción máxima en mW.....

11. Una vez que el motor base realizó el barrido de los 360° ingresar al menú base de datos.

- Generar la base de datos.
- La base de datos se genera en un documento Excel donde observara los datos de la antena.

**12. Anotar los siguientes parámetros y relacionar con los datos calculados.**

- Ganancia directiva de la antena.....
- Rendimiento.....
- Campo Eléctrico.....
- Potencia de recepción máxima en mW.....

13. Realizar el reset del motor parabólica

# **ANEXO D**

## **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS**



## NI- PXI 8106 (CONTROLADOR).



CPU	Intel Core 2 Duo processor T7400 (2.16 GHz dual core)	
Front-side bus	667 MHz	
L2 cache	4 MB	
	<b>NI PXI-8106</b>	<b>NI PXIe-8106</b>
System bandwidth	Up to 132 MB/s	Up to 1 GB/s
Slot bandwidth	Up to 132 MB/s	Up to 1 GB/s
PXI Express 4-link configuration	–	3 x4 links and 1 x1 link
PXI Express 2-link configuration	–	2 x4 links
Dual-channel 667 MHz DDR2 RAM, standard	512 MB (1 x 512 MB)	
Dual-channel 667 MHz DDR2 RAM, maximum	4 GB (2 x 2 GB)	
Hard drive, minimum	60 GB SATA <sup>1</sup>	
10/100/1000BaseTX (Gigabit) Ethernet	✓	
GPIO (IEEE 488) controller	✓	
Serial port (RS232)	✓	
Parallel port	✓	
Hi-Speed USB ports	4	
ExpressCard/34 slot	✓	
Watchdog/trigger SMB	✓	
Installed OS	Windows XP Professional <sup>2</sup>	

<sup>1</sup>40 GB PATA hard drive for extended temperature, 24/7 operation option

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

# (2.7 GHz) RF DOWNCONVERTER (NI-5600)

## Specifications

Valid over specified Operating Environment (0 to 50 °C) unless otherwise stated.

### Channels

RF input .....	1
IF output .....	1

### Frequency

Frequency range .....	9 kHz to 2.7 GHz
Real-time bandwidth .....	20 MHz
Internal reference frequency .....	10 MHz
Temperature stability .....	±20 ppb maximum <sup>1</sup>
Initial achievable accuracy .....	±50 ppb maximum
Aging .....	±100 ppb per year
Locking range .....	±1 0.5 ppm
Lock time to ext. frequency reference .....	<10 s
Warm-up time (typical) .....	15 minutes
Selectivity (60 dB : 3 dB) .....	< 2.5 (flat top)
	< 4.1 (7 Term BH)

### Tuning Resolution

RF downconverter (PXI-5600) .....	1 MHz minimum
Tuning speed	
(1% of step size) .....	10 ms maximum
(0.01% of step size) .....	20 ms maximum
(1 ppm of step size) .....	30 ms maximum
Spectral purity (noise sidebands) at 100 MHz	
1 kHz offset .....	<-80 dBc/Hz <sup>2</sup>
10 kHz offset .....	<-90 dBc/Hz
30 kHz offset .....	<-95 dBc/Hz
100 kHz offset .....	<-110 dBc/Hz
1 MHz offset .....	<-120 dBc/Hz
Sideband spurs	
> 10 kHz offset .....	<-70 dBc
< 10 kHz offset .....	<-55 dBc
Residual FM .....	<10 Hz <sub>pp</sub> in 10 ms

### Amplitude

Input signal range .....	<-130 to 30 dBm
Max safe input power (continuous) .....	+30 dBm (Atten: 10dB)
	+20 dBm (Atten: 0 dB)
RF input attenuator .....	0 to 50 dB (10 dB steps)
Maximum DC input voltage .....	0 VDC <sup>3</sup>
Relative accuracy (to 100 MHz, 15 to 35 °C)	
<2 GHz, calibrated .....	±0.75 dB, ±0.5 dB typical
>2 GHz, calibrated .....	±1.25 dB, ±0.9 dB typical
Absolute accuracy (15 to 35 °C)	
<2 GHz, calibrated .....	±1 dB, ±0.6 dB typical
>2 GHz, calibrated .....	±1.5 dB, ±1 dB typical
Group delay variation .....	±15 ns max above 100 kHz
Mixer stage levels	
(1 dB gain compression)	
10 MHz to 1 GHz .....	>0 dBm
1 to 2.7 GHz .....	>2 dBm

<sup>1</sup>0 to 50 °C, referenced to 25 °C

<sup>2</sup>For spans > 20 kHz, for spans > 20 kHz the value is <-78 dBc/Hz

<sup>3</sup>DC levels up to ± 25 V DC at input will not damage the instrument; however, high transient currents from low impedance DC step voltages at input can cause damage.

### Spurious Responses

2nd-order harmonic distortion (single - 30 dBm tone)	
100 kHz to 2.7 GHz .....	<-80 dBc (IP2> +50 dBm)

3rd-order intermodulation distortion (Two -30 dBm tones, >200 kHz separation)

10 MHz to 1 GHz .....	<-80 dBc (IP3> +10 dBm)
1 to 2.7 GHz .....	<-85 dBc (IP3> +12 dBm)

Input-related spurs

Signal Level = -30 dBm, 0 dB attenuation	
>5 MHz .....	<-70 dBc
<5 MHz .....	<-60 dBc

Residual response-related spurs

Input terminated, 0 dB input attenuation	
>5 MHz .....	<-100 dBm
<5 MHz .....	<-80 dBm

Noise density

9 kHz to 1 GHz .....	<-135 dBm/Hz (-140 dBm/Hz typical)
1 to 2 GHz .....	<-134 dBm/Hz
2 to 2.5 GHz .....	<-130 dBm/Hz (-133 dBm/Hz typical)
2.5 to 2.7 GHz .....	<-128 dBm/Hz (-130 dBm/Hz typical)

### Inputs/Outputs

RF input .....	50 , AC-coupled SMA female
VSWR (input atten = 10 dB)	
9 kHz to 1 GHz .....	<1.3:1
1 to 2.7 GHz .....	<1.5:1
LO emission from RF input .....	<-87 dBm maximum
IF output .....	50 SMA female
Frequency .....	5 MHz to 25 MHz
Amplitude .....	0 dBm full-scale
External frequency reference input .....	50 , SMA female
Input amplitude .....	-5 dBm to +15 dBm
Maximum safe input level .....	+20 dBm
Maximum DC input voltage .....	+10 V
Input frequency range .....	10 MHz (±0.5 ppm)
10 MHz output (2 ports) .....	50 , SMA female
Signal .....	Square wave
Amplitude .....	±0.5 V (+7 dBm) into 50 (±1 V into open circuit)
Accuracy .....	See frequency reference
PXI 10 MHz input/output (50 , SMA female)	
Input amplitude .....	-5 to +15 dBm
Output amplitude .....	0.5V (+7 dBm) into 50

### Power Requirements

Typical				
+3.3 VDC (± 5 %)	+5 VDC (± 5 %)	+12 VDC (± 5 %)	-12 VDC (± 5 %)	
920 mA	2.3 A	700 mA	115 mA	

### Physical

Dimensions .....	10 by 16 cm (3.9 by 6.3 in.) 3 slots
------------------	--------------------------------------

### Environment

Warm-up time .....	20 minutes
Operating temperature .....	0 to 50 °C
Storage temperature .....	-20 to +70 °C
Relative humidity .....	10 to 90%, noncondensing

### Calibration

Interval .....	1 year
----------------	--------

### Certifications and Compliances

CE Mark Compliance **CE**

# NI-5620 (DIGITALIZADOR)

## 64 MS/s, 14-Bit Frequency-Domain Digitizer

### Specifications

Valid over specified operating environment (0 to 50 °C) unless otherwise stated.

#### General

Input channels	1
Resolution	14 bits
Sampling rate range	1 kS/s to 64 MS/s
Onboard memory	16 or 32 MS
Using DDC (complex data)	8 or 16 MS

#### Input

Signal level	
Nominal	0 dBm ( $\pm 0.316 V_p$ )
Full scale	+10 dBm ( $\pm 1 V_p$ )
Maximum with dither enabled	+8 dBm
Maximum nonoperating input level	+20 dBm ( $\pm 3.16 V_p$ )
Maximum DC input voltage	$\pm 2 V$
Impedance	50 $\Omega$ nominal
VSWR	
0.1 to 25 MHz	<1.5:1
25 to 32 MHz	<3:1
Coupling	AC
Analog bandwidth (-3dB)	10 kHz to 36 MHz
Frequency response (4-25 MHz)	
Relative (to response at 15 MHz)	
Absolute	<± 0.25 dB
Absolute (using calibration table)	<± 0.5 dB
Dither frequency range	150 Hz to 4 MHz
Average noise density (4 to 32 MHz)	<133 dBm/Hz
Signal-to-noise ratio (9 dBm signal, full bandwidth)	
Excluding dither below 4 MHz	>67 dB
Harmonic distortion (single-tone, 0 dBm signal, includes aliased harmonic distortion)	
4 to 25 MHz, dither disabled	<-80 dBm
0.1 to 32 MHz, dither disabled	<-75 dBm
Intermodulation distortion (2-tone, -3 dBm signals)	
4 to 25 MHz, dither enabled	<-85 dBm
0.1 to 32 MHz, dither disabled	<-80 dBm
Residual responses (input terminated)	<-85 dBm (<-85 dBfs)

#### Frequency

Internal sample clock	
Frequency	64/n MHz, $1 \leq n \leq 2^8$
Accuracy	$\pm 25$ ppm
Phase noise	
Offset	Density
100 Hz	<-100 dBc/Hz
1 kHz	<-120 dBc/Hz
10 kHz	<-130 dBc/Hz
100 kHz	<-130 dBc/Hz
Residual FM	<2 Hz <sub>rms</sub> in 10 ms

#### Digital Downconversion

Decimation rate	32 to 4,096
Tuning resolution	0.014501 Hz

#### Triggering

Modes	Immediate, software, digital
Sources	PXI-7.0b, PXI STAR
Export	PFI 1, PFI-7.0b
Slope	Rising, falling
Pretrigger depth	Up to 16 ms
Posttrigger depth	Up to 16 ms
Minimum pulse width	100 ns

#### External Trigger (PFI 1)

Connector	SMB male
Level	TTL
Maximum input voltage	5.5 V

#### External Frequency Reference Input

Connector	SMA female
Impedance	50 $\Omega$ nominal
Input amplitude	-5 dBm to +15 dBm
Maximum nonoperating input level	+15 dBm
Maximum DC input voltage	$\pm 3.5$ VDC

Frequency range	10 MHz $\pm 40$ ppm
-----------------	---------------------

#### Power Requirements

+3.3 VDC ( $\pm 5\%$ )	<600 mA
+5 VDC ( $\pm 5\%$ )	<1.5 A
+12 VDC ( $\pm 5\%$ )	<60 mA
-12 VDC ( $\pm 5\%$ )	<6 mA

#### Physical

Dimensions	10 by 16 cm (3.9 by 6.3 in.)
	1 slot

#### Environment

Operating temperature	0 to 50 °C
Storage temperature	-20 to 70 °C
Relative humidity	10 to 90%, noncondensing

#### Calibration

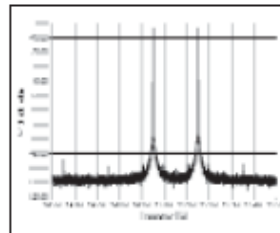
Interval	1 year
Warm-up time	10 minutes

#### Certifications and Compliances

CE Mark Compliance 

#### Typical Performance Charts

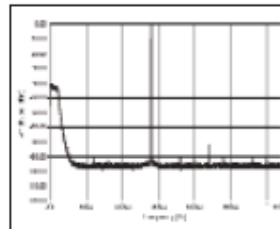
At operating environment of 22 °C



#### Intermodulation Distortion

Input: 14.95 MHz and 15.15 MHz at 3 dBm

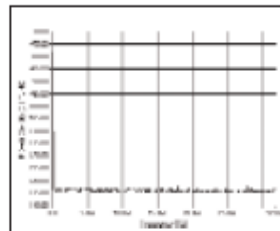
Intermodulation distortion refers to distortion that the PXI-5620 produces in response to two different input signals. This shows up in the frequency domain as spurious peaks at frequencies not harmonically related to the two input signals.



#### Harmonic Distortion

Input: 14 MHz at 0 dBm

Harmonic distortion refers to distortion produced by the PXI-5620 as a result of a single input frequency. It shows up at harmonics of the input signal frequency. In a sample system, some of these harmonics alias back to other frequencies within the Nyquist band.



#### Noise Density

Dither Disabled, Input Terminated

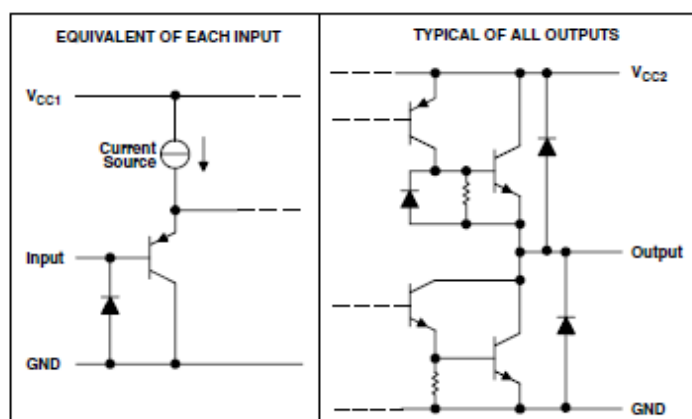
Noise density shows how much random noise the PXI-5620 produces with no input signal. It is termed "noise density" because it measures power per given frequency range (dBm/Hz). Over most of the band the noise density is -135 dBm/Hz, which means any 1 kHz band has a total noise power of -104 dBm.

# L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

## L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS

SLRS008C – SEPTEMBER 1986 – REVISED NOVEMBER 2004

### schematics of inputs and outputs (L293D)



### absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)<sup>†</sup>

Supply voltage, $V_{CC1}$ (see Note 1)	36 V
Output supply voltage, $V_{CC2}$	36 V
Input voltage, $V_I$	7 V
Output voltage range, $V_O$	-3 V to $V_{CC2} + 3$ V
Peak output current, $I_O$ (nonrepetitive, $t \leq 5$ ms): L293	$\pm 2$ A
Peak output current, $I_O$ (nonrepetitive, $t \leq 100 \mu\text{s}$ ): L293D	$\pm 1.2$ A
Continuous output current, $I_O$ : L293	$\pm 1$ A
Continuous output current, $I_O$ : L293D	$\pm 600$ mA
Package thermal impedance, $\theta_{JA}$ (see Notes 2 and 3): DWP package	TBD $^\circ\text{C}/\text{W}$
N package	67 $^\circ\text{C}/\text{W}$
NE package	TBD $^\circ\text{C}/\text{W}$
Maximum junction temperature, $T_J$	150 $^\circ\text{C}$
Storage temperature range, $T_{stg}$	-65 $^\circ\text{C}$ to 150 $^\circ\text{C}$

<sup>†</sup> Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. All voltage values are with respect to the network ground terminal.

2. Maximum power dissipation is a function of  $T_J(\text{max})$ ,  $\theta_{JA}$ , and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is  $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A)/\theta_{JA}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of 150 $^\circ\text{C}$  can affect reliability.

3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

# **ANTENA SEMI PARABÓLICA GRILLADA DE 2.4-2.5 GHz**



## **Electrical Specifications**

Frequency	2400-2500 MHz
Gain	24 dBi
-3 dBi Beam Width	8 degrees
Cross Polarization Rejection	26 dBi
Front to Back Ratio	24 dB
Sidelobe	-20dB Max
Impedance	50 Ohm
Max. Input Power	50 Watts
VSWR	< 1.5:1 avg.
Lightning Protection	DC Short

## **Mechanical Specifications**

Weight	8 lbs. (3.62 kg)
Grid Dimensions	39.5 in (100 cm) x 23.5 in (60 cm)
Mounting	1.25 in. thru 2 in. (31.8 - 50.8 mm) diameter mast max.
Elevation Angle	0 to +10 degrees
RoHS Compliant	Yes
Operating Temperature	-40° C to 85° C (-40° F to 185° F)

## **Wind Loading Data**

Wind Speed (MPH)	Loading (2.1 sq. ft.)
100	80.5 lb.
140	125.5 lb.

## DAQ 6009

General	
Producto	USB-6009
Familia de Productos	DAQ Multifunción
Formato Físico	USB
Sistema Operativo/Objetivo	Windows , Linux , Mac OS , Pocket PC
Familia de Productos DAQ	6009
Tipos de Medida	Voltaje
Compatibilidad con RoHS	Sí
Entrada Analógica	
Canales	8 , 4
Canales de una sola terminal	8
Canales Diferenciales	4
Resolución	14 bits
Velocidad de Muestreo	48 kS/s
Rendimiento	48 kS/s
Máx. Voltaje de Entrada Analógica	10 V
Rango de Voltaje Máximo	-10 V , 10 V
Precisión Máxima del Rango de Voltaje	138 mV
Rango de Voltaje Mínimo	-1 V , 1 V

<b>General</b>	
<b>Mínima Precisión del Rango de Voltaje</b>	37.5 mV
<b>Número de Rangos</b>	8
<b>Muestreo Simultáneo</b>	No
<b>Memoria Interna</b>	512 B
<b>Salida Analógica</b>	
<b>Canales</b>	2
<b>Resolución</b>	12 bits
<b>Máx. Voltaje de Salida Analógica</b>	5 V
<b>Rango de Voltaje Máximo</b>	0 V , 5 V
<b>Precisión Máxima del Rango de Voltaje</b>	7 mV
<b>Rango de Voltaje Mínimo</b>	0 V , 5 V
<b>Mínima Precisión del Rango de Voltaje</b>	7 mV
<b>Razón de Actualización</b>	150 S/s
<b>Capacidad de Corriente Simple</b>	5 mA
<b>Capacidad de Corriente Total</b>	10 mA
<b>E/S Digital</b>	
<b>Canales Bidireccionales</b>	12
<b>Canales de Entrada Únicamente</b>	0
<b>Canales de Salida Únicamente</b>	0
<b>Número de Canales</b>	12 , 0 , 0
<b>Temporización</b>	Software
<b>Niveles Lógicos</b>	TTL
<b>Entrada de Flujo de Corriente</b>	Sinking , Sourcing
<b>Salida de Flujo de Corriente</b>	Sinking , Sourcing
<b>Filtros de Entrada Programables</b>	No

<b>General</b>	
¿Soporta Estados de Encendido Programables?	No
Capacidad de Corriente Simple	8.5 mA
Capacidad de Corriente Total	102 mA
Temporizador Watchdog	No
¿Soporta Protocolo de Sincronización para E/S?	No
¿Soporta E/S de Patrones?	No
Máximo Rango de Entrada	0 V , 5 V
Máximo Rango de Salida	0 V , 5 V
<b>Contadores/Temporizadores</b>	
Número de Contadores/Temporizadores	1
Operaciones a Búfer	No
Eliminación de Rebotes	No
Sincronización GPS	No
Rango Máximo	0 V , 5 V
Frecuencia Máxima de la Fuente	5 MHz
Entrada Mínima de Ancho de Pulso	100 ns
Generación de Pulso	No
Resolución	32 bits
Estabilidad de Tiempo	50 ppm
Niveles Lógicos	TTL
<b>Especificaciones Físicas</b>	
Longitud	8.51 cm
Ancho	8.18 cm
Altura	2.31 cm



## WATTS 2002

<b>RF</b>	
Frecuency	914 (MHz), 2.45 (GHz)
	10 dBm Max
Local oscillation	PLL
Impedance	50 $\Omega$
AGC Dynamic Range	40 Db
IF	21.7 MHz
Antena	Yagi, Chip, Dipole, Monopole, Loop, Patch.
<b>Control</b>	
Control Method	Micro-controller
Antenna Angle Control	360,400 step (0.9/step)
Angle Control Range	0-360 degree
<b>Voltage</b>	
Main part	AC 110-220V
Antenna	9V,300Ma
Maximum power usage	Max 1.5 A

# MOTOR PASO A PASO



## Specifications

### NEMA 17 Motor

#### Electrical

Step angle.....	1.8 deg
Steps per revolution.....	200
Angular accuracy.....	±3%
Phases.....	2

#### Physical

Operating temperature.....	-20 to 40 °C
Shaft load (20,000 hours at 1,500 rpm)	
Radial.....	15 lb (6.8 kg) at shaft center
Axial push.....	6 lb (2.7 kg)
Axial pull.....	15 lb (6.8 kg)

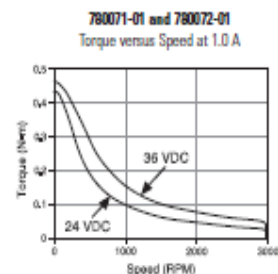
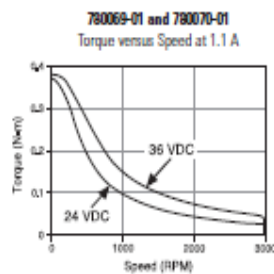
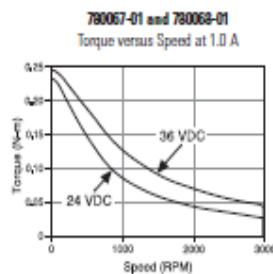
#### Industry Standards

Industrial standards.....	CE, UR
Sealing standard.....	IP40
RoHS compliance.....	Yes

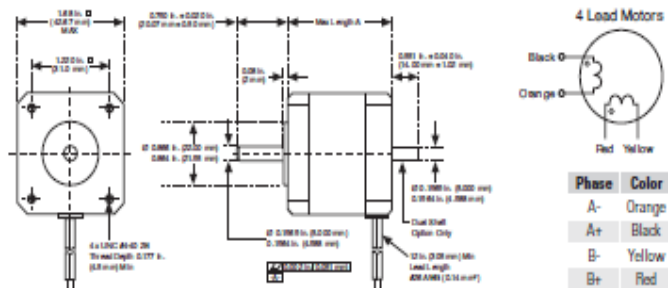
NI Part Number	Manufacturer Part Number	Dual Shaft	Drive	Amps/Phase	Holding Torque oz-in. (N·m)	Rotor Inertia oz-in.-p <sup>2</sup> (kg-m <sup>2</sup> x 10 <sup>-7</sup> )	Phase Inductance mH	Phase Resistance Ω ±10%	Detent Torque oz-in. (N·m)	Thermal Resistance °C/watt	Max Speed rpm
780067-01	CTP10ELF10MAA00	-		1.0	43 (0.30)	0.0005 (0.0040)	7.7	5.25	1.99 (0.014)	6.21	3000
780068-01	CTP10ELF10MMA00	✓									
780069-01	CTP11ELF11MAA00	-		1.1	63 (0.44)	0.0008 (0.0060)	11	5.19	2.55 (0.018)	5.44	3000
780070-01	CTP11ELF11MMA00	✓	P70530								
780071-01	CTP12ELF12MAA00	-		1.0	80 (0.56)	0.0011 (0.0070)	12	6.51	2.97 (0.021)	4.71	3000
780072-01	CTP12ELF12MMA00	✓									

Rated current is per phase, with the motor mounted, and winding temperature rise  $\Delta T = 90^\circ\text{C}$ .  
Resistance is with winding at 20 °C.

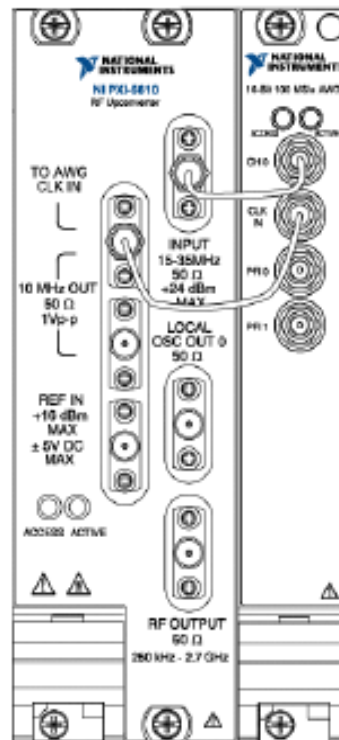
## Torque versus Speed



## Dimensions and Wiring



## NI-5671(Generador de señales RF)



**Interconnected NI 5671 Front Panels**

The NI 5671 has the following characteristics and features:

- 250 kHz to 2.7 GHz frequency range
- +11.5 dBm to -145 dBm amplitude range
- 20 MHz real-time bandwidth, 6.6 MHz with DUC enabled
- 10 MHz oven-controlled crystal oscillator (OCXO) timebase
  - ±20 ppb frequency stability
  - ±50 ppb frequency accuracy
- 132 dB compression-to-noise
- -120 dBc/Hz typical noise density
- ≥ 256 MB of AWG module onboard waveform memory (refer to *Memory Options*)
- NI-RFSG instrument driver software transparently operates both modules as a single unit.
- Three slots wide PXI/3U Compact PCI form factor

# **ANEXO E**

## **MANUAL PARA EL FORMATEO DEL PXI 5660 Y 5671.**

## **FORMATEAR E INSTALAR DRIVERS PXI 5660**

1. Encender el equipo
2. Tipiar en el BIOS la tecla F8, F12, F9, para arrancar desde el CD.
3. Colocar el CD NI Embedded Controller (OEM Re-Installation DVD\*Microsoft, Windows Vista\* Business 32 bit).
4. Esperar que se cargue los controladores desde el CD.
5. Una vez cargados los controladores el asistente le pedirá espaciar el tamaño del disco duro.
6. Especificar qué tipo de formateo necesita realizar NTFS a bajo nivel o NTFS rápido y tipiar next.
7. El asistente automáticamente comenzará a formatear e instalar los controladores de la plataforma WINDOWS VISTA BUSSINES y del NI Controlador 8106.
8. Una vez formateado e instalado los controladores automáticamente se reseteará el equipo.

### **Instalación de drivers PXI NI-5660.**

9. El asistente de WINDOWS VISTA le pedirá configurar una cuenta de usuario, una clave, nombre del equipo de red similar a una configuración de una computadora personal.
10. Ingresando en la cuenta creada colocar los siguientes CDs en el DVD –RW externo con las siguientes etiquetas.

### **11. Instalación LabView 2009 o de última versión.**

Instalar en este orden:

1. Plataforma DVD 1
2. Plataforma DVD 2
3. NI Device Drivers

**12.Instalar los drivers del 5660 en este orden:**

1. Drivers (Device Driver Reference CD) Disk 1of 3.
2. Drivers (Device Driver Reference CD) Disk 2of 3.
3. Drivers (Device Driver Reference CD) Disk 3of 3.

**13.Instalar toolkits y drivers adicionales en el siguiente orden:**

1. NI-RFSA Drive for NI RF Signal Analyzers (Disk 1 of 2).
2. NI-RFSA Drive for NI RF Signal Analyzers (Disk 2 of 2).
3. CD NI Spectral Measurements Toolkit.

**14.MAX**

1. Verificar en el MAX (MEASUREMENT & AUTOMATION EXPLORER) las tarjetas que estén instaladas NI 5600, NI 5620.
2. Se verifica que esté instalada la tarjeta NI 5600 en la opción DEVICE INTERFACES, luego NI-DAQmx Devices, debe aparecer el icono de la tarjeta en color verde, si el icono posee una (x) significa que no está presente o que está mal instalada los drivers.
3. Se verifica que esté instalada la tarjeta NI 5620 en la opción DEVICE INTERFACES/ NI-DAQmx Devices /TRADITIONAL NI-DAQ, debe aparecer el icono de la tarjeta en color verde, si el icono posee una (x) significa que no está presente o que está mal instalada los drivers.

## INSTALACIÓN DE DRIVERS PXI NI- 5671.

**Instalar los drivers del 5671 en este orden:**

1. NI-RFSG 1.6.3 DVD (Driver for NI Signal Generators)
2. NI-Modulation toolkit 4.2.1 for Labview.
3. **MAX:** Verificar en el MAX (MEASUREMENT & AUTOMATION EXPLORER) las tarjetas que estén instaladas NI 5610, NI 5641.
  - Se verifica que esté instalada la tarjeta NI 5610 en la opción DEVICE INTERFACES, luego NI-DAQmx Devices, debe aparecer el icono de la tarjeta en color verde, si el icono posee una (x) significa que no está presente o que está mal instalada los drivers.
  - Se verifica que esté instalada la tarjeta NI 5641 en la opción DEVICE INTERFACES/ NI-DAQmx Devices, debe aparecer el icono de la tarjeta en color verde, si el icono posee una (x) significa que no está presente o que está mal instalada los drivers.