



ESPE

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE
INTERFEROMETRÍA CORRELATIVA CON UN SOLO CANAL DE
RECEPCIÓN DEL SISTEMA “DDF255 – ADD196” PARA DETECTAR EL
ÁNGULO DE ARRIBO DE EMISORES ELECTROMAGNÉTICOS EN LA
BANDA V/UHF Y DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFACE
HDMI DE RDF.**

AUTORES:

BERRONES CEPEDA, EDUARDO JAVIER

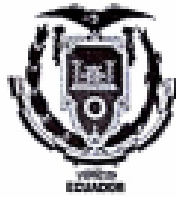
LUNA RAMÍREZ, ALEXANDER MIGUEL

DIRECTOR:

LÉON VÁSQUEZ, RUBÉN DARÍO

SANGOLQUÍ

2018



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación “DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE INTERFEROMETRIA CORRELATIVA CON UN SOLO CANAL DE RECEPCIÓN DEL SISTEMA DDF255 - ADD196 PARA DETECTAR EL ÁNGULO DE ARRIBO DE EMISORES ELECTROMAGNÉTICOS EN LA BANDA V/UHF Y DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTEFACE HDMI DE RDF”, realizado por el señor *LUNA RAMÍREZ ALEXANDER MIGUEL*, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al Señor *LUNA RAMÍREZ ALEXANDER MIGUEL* para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 02 de Marzo del 2018



Ing. Rubén Darío León Vásquez M.Sc.



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación "DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE INTERFEROMETRÍA CORRELATIVA CON UN SOLO CANAL DE RECEPCIÓN DEL SISTEMA DDF255 - ADD196 PARA DETECTAR EL ÁNGULO DE ARRIBO DE EMISORES ELECTROMAGNÉTICOS EN LA BANDA V/UHF Y DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTEFACE HDMI DE RDF", realizado por el señor *BERRONES CEPEDA EDUARDO JAVIER*, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al Señor *BERRONES CEPEDA EDUARDO JAVIER* para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 02 de Marzo del 2018

Ing. Rubén Darío León Vásquez M.Sc.



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **ALEXANDER MIGUEL LUNA RAMÍREZ**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE INTERFEROMETRIA CORRELATIVA CON UN SOLO CANAL DE RECEPCIÓN DEL SISTEMA DDF255 - ADD196 PARA DETECTAR EL ÁNGULO DE ARRIBO DE EMISORES ELECTROMAGNÉTICOS EN LA BANDA V/UHF Y DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTEFACE HDMI DE RDF”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 02 de Marzo del 2018



Alexander Miguel Luna Ramirez



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **EDUARDO JAVIER BERRONES CEPEDA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE INTERFEROMETRIA CORRELATIVA CON UN SOLO CANAL DE RECEPCIÓN DEL SISTEMA DDF255 - ADD196 PARA DETECTAR EL ÁNGULO DE ARRIBO DE EMISORES ELECTROMAGNÉTICOS EN LA BANDA V/UHF Y DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTEFACE HDMI DE RDF”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 02 de Marzo del 2018

Eduardo Javier Berrones Cepeda



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **ALEXANDER MIGUEL LUNA RAMÍREZ**, con cédula de identidad N° 1726846080, declaro que este trabajo de titulación **“DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE INTERFEROMETRIA CORRELATIVA CON UN SOLO CANAL DE RECEPCIÓN DEL SISTEMA DDF255 - ADD196 PARA DETECTAR EL ÁNGULO DE ARRIBO DE EMISORES ELECTROMAGNÉTICOS EN LA BANDA V/UHF Y DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTEFACE HDMI DE RDF”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándoles en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 02 de Marzo del 2018

Alexander Miguel Luna Ramírez



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **EDUARDO JAVIER BERRONES CEPEDA**, con cédula de identidad N° 1723512420, declaro que este trabajo de titulación **“DETERMINACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE INTERFEROMETRIA CORRELATIVA CON UN SOLO CANAL DE RECEPCIÓN DEL SISTEMA DDF255 - ADD196 PARA DETECTAR EL ÁNGULO DE ARRIBO DE EMISORES ELECTROMAGNÉTICOS EN LA BANDA V/UHF Y DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTEFACE HDMI DE RDF”**, ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándoles en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 02 de Marzo del 2018

Eduardo Javier Berrones Cepeda

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, porque Él está presente en todas las cosas buenas que suceden en nuestras vidas. También lo dedico a mi madre Bélgica y a mi padre César, por su trabajo y sacrificio diario, por darme siempre amor y apoyo de manera incondicional, por ser las personas que más quiero y mi fuente de inspiración para vencer los problemas y salir adelante.

Eduardo Javier

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a las personas más importantes en mi vida, mi madre Nelly y mi padre Arcesio, que siempre me han guiado y ayudado, dándome el ejemplo para salir adelante logrando metas con la responsabilidad, el respeto y la humildad que son los valores más importantes.

A ellos que siempre me ha apoyado incondicionalmente, con sus consejos, sus regaños, pero sobre todo con su amor. Quiero expresarle mi agradecimiento, mi admiración y mi gratitud ya que, gracias a ella he logrado superar muchas pruebas, levantarme ante las adversidades.

Alexander Miguel

AGRADECIMIENTO

A mis queridos padres Bélgica y César, que hicieron mil y un sacrificios, espero hacerles sentir orgullosos de mí no solo por lo que he conseguido, sino por la persona que soy, gracias a todos sus consejos.

A mis hermanos, que siempre me han ayudado para cualquier cosa que necesité y que jamás se negaron a hacerlo.

A todos los amigos que hice en mi vida universitaria, siempre me ayudaron en situaciones inesperadas, a mi compañero de tesis y amigo, Alexander, gracias por esta oportunidad, por tu confianza y apoyo, sé que llegarás a cumplir todo lo que te has propuesto.

A todos mis maestros, quienes con su guía han sabido instruirme, al Ing. Rubén León por darme la oportunidad de realizar este proyecto, al Ing. Alexis Tinoco por haber sido un gran maestro, y a todo el personal del C.I.C.T.E. por haber sido grandes compañeros y especialmente amigos.

Eduardo Javier

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi agradecimiento:

A mis padres que siempre me brindan cariño, afecto y ayuda incondicional.

A todos mis familiares porque cada uno puso un granito de arena para lograr esta meta.

A mis amigos con los que compartí tantos momentos inolvidables durante mis años de estudiante.

A todas las personas que conforman el CICTE, especialmente a mi director de tesis, Ing. Rubén León y co-director de tesis, Ing. Alexis Tinoco, por habernos ayudado y guiado con sus conocimientos durante todo el proceso.

Finalmente quiero agradecer a todos quienes fueron mis docentes durante mi carrera universitaria.

Alexander Miguel

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
AGRADECIMIENTO.....	x
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
GLOSARIO.....	xx
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. General	3
1.3.2. Específicos	4
CAPÍTULO 2	5
2. MARCO TEORICO	5
2.1. Espectro Radioeléctrico.....	5
2.1.1. Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico	6
2.2. Radiogoniometría	7
2.2.1. Generalidades	8
2.2.2. Sistema de Radiogoniometría.....	9
2.2.3. Sistema de Adquisición	9
2.2.4. Angulo de arribo y Línea de rumbo	17
2.2.5. Tipos de Radiogoniómetros.....	19
2.2.6. Métodos de Radiogoniometría	24
2.2.7. Tipos de antenas	29
CAPÍTULO 3	39
3. METODOS Y MATERIALES	39

3.1.	Entorno de programación	39
3.1.1.	Lenguaje C++	39
3.1.2.	Comandos SCPI	40
3.2.	Recursos y Equipos	43
3.2.1.	Recursos de Hardware	43
3.2.2.	Recursos de Software	43
3.2.3.	DDF-255 Digital Direction Finder	43
3.2.4.	Antena VHF/UHF ADD – 196	47
CAPÍTULO 4		50
4.	DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN	50
4.1.	Puesta en operación del equipo	50
4.1.1.	Estado actual del equipo	51
4.2.	Pruebas realizadas	52
4.2.1.	Calibración del compás	53
4.2.2.	Pruebas en interiores	54
4.2.3.	Pruebas en exteriores	58
4.3.	Modelo matemático	61
4.3.1.	Demostración de la interferometría correlativa de un solo canal	61
4.4.	Implementación de interface HDMI de RDF	64
4.4.1.	Protocolos de comunicación	64
4.4.2.	Sockets	66
4.4.3.	Diagrama de bloques de la interface	68
4.4.4.	Creación de Clases	68
4.4.5.	Interface HDMI	75
4.4.6.	Pruebas con Interface en exteriores	76
4.4.7.	Pruebas de retardos en la visualización de los datos	88
4.4.8.	Capacitación a personal del AGRUCOMGE	88
CAPÍTULO 5		90
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	90
5.1.	Análisis de resultados para la puesta en operación	90

5.1.1. Escenario en Interiores	90
5.1.2. Escenario en Exteriores	92
5.2. Análisis de Resultados con interface HDMI de RDF.....	94
5.3. Análisis de retardos en visualización de los datos.....	97
CAPÍTULO 6	99
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
6.1. CONCLUSIONES.....	99
6.2. RECOMENDACIONES	100
REFERENCIAS	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Banda de frecuencias del espectro radioeléctrico.</i>	7
Tabla 2: <i>Técnica de Radiogoniometría Adcock / Watson Watt</i>	14
Tabla 3: <i>Técnica de radiogoniometría, Interferómetro de Fase</i>	16
Tabla 4: <i>Ancho de banda para varias antenas</i>	30
Tabla 5: <i>Especificaciones de la antena ADD196.</i>	49
Tabla 6: <i>Características Equipo (R&S DDF255).</i>	51
Tabla 7: <i>Características equipo (R&S ADD196).</i>	52
Tabla 8: <i>Datos obtenidos para el escenario en interiores</i>	58
Tabla 9: <i>Datos encontrados para señal generada a frecuencia = 100MHz</i>	60
Tabla 10: <i>Datos encontrados para señal generada a frecuencia = 500MHz</i>	60
Tabla 11: <i>Datos encontrados para señal generada a frecuencia = 1000MHz</i>	60
Tabla 12: <i>Clases para sockets TCP</i>	67
Tabla 13: <i>Clases para sockets TCP</i>	67
Tabla 14: <i>Métodos de la clase ArturoView</i>	69
Tabla 15: <i>Objetos de la clase ArturoView</i>	69
Tabla 16: <i>VARIABLES de la clase ArturoView</i>	69
Tabla 17: <i>Componentes de la Interface de la Clase ArturoView</i>	69
Tabla 18: <i>Métodos de la clase EB200</i>	71
Tabla 19: <i>VARIABLES de la clase EB200</i>	71
Tabla 20: <i>Métodos de la clase Espectro</i>	72
Tabla 21: <i>VARIABLES de la clase Espectro</i>	72
Tabla 22: <i>Métodos de la clase Sonograma.</i>	73
Tabla 23: <i>VARIABLES de la clase Sonograma</i>	73
Tabla 24: <i>Métodos de la clase DF</i>	74
Tabla 25: <i>VARIABLES de la clase DF</i>	74
Tabla 26: <i>Datos encontrados del ángulo de arribo para frecuencia = 500MHz</i>	86
Tabla 27: <i>Datos encontrados de la calidad DF para frecuencia = 500MHz</i>	87
Tabla 28: <i>Datos encontrados del ángulo de arribo para frecuencia = 800MHz</i>	87
Tabla 29: <i>Datos encontrados de la calidad de DF para frecuencia = 800MHz</i>	87
Tabla 30: <i>Datos encontrados del ángulo de arribo para frecuencia = 1000MHz</i>	87
Tabla 31: <i>Datos encontrados de la calidad de DF para frecuencia = 1000MHz</i>	88
Tabla 32: <i>Retardos en la visualización de los datos en la interface y en el sistema “DDF255 – ADD196”</i>	88

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura. 1.</i> Espectro electromagnético.....	6
<i>Figura. 2.</i> Ejemplo de arreglo de antenas giratorias.....	12
<i>Figura. 3.</i> Arreglo de antenas de Wullenweber.....	13
<i>Figura. 4.</i> Efecto Doppler en una onda.....	15
<i>Figura. 5.</i> Diagrama de bloques que utiliza una antena para detectar el angulo de salida de un sistema...	15
<i>Figura. 6.</i> AOA con relacion a una antena RDF de posicion arbitraria.....	18
<i>Figura. 7.</i> Ilustracion del LOB, con la compensación de errores.....	18
<i>Figura. 8.</i> Diagrama de bloque básico para sistemas RDF multicanal.....	22
<i>Figura. 9.</i> Diagrama de bloques de RDF de un canal.....	23
<i>Figura. 10.</i> Proceso de Radiogoniometría mediante Interferometría.....	26
<i>Figura. 11.</i> Técnica de interferometría correlativa de canal simple.....	27
<i>Figura. 12.</i> Señal de ruido y su autocorrelación.....	28
<i>Figura. 13.</i> Señal periódica y autocorrelación.....	28
<i>Figura. 14.</i> Ancho de haz de media potencia (-3dB).....	31
<i>Figura. 15.</i> Diagrama de radiación de una antena isotrópica.....	32
<i>Figura. 16.</i> Diagrama de radiacion de una antena omnidireccional.....	33
<i>Figura. 17.</i> Ejemplo de un diagrama de radiación de una antena Yagi-Uda.....	34
<i>Figura. 18.</i> Ejemplo de antena de dipolo.....	34
<i>Figura. 19.</i> Diagrama de radiación de una antena de dipolo.....	35
<i>Figura. 20.</i> Antena de dipolo de media longitud de onda.....	35
<i>Figura. 21.</i> Antena monopolo.....	36
<i>Figura. 22.</i> Antena dipolo doblado.....	36
<i>Figura. 23.</i> Ejemplo de antena Yagi - Uda.....	37
<i>Figura. 24.</i> Antena parabólica.....	38
<i>Figura. 25.</i> Panel frontal DDF-255.....	44
<i>Figura. 26.</i> Panel posterior DDF - 255.....	45
<i>Figura. 27.</i> Estructura externa antena R&S ADD-196.....	47
<i>Figura. 28.</i> Estructura interna antena R&S ADD-196.....	48
<i>Figura. 29.</i> Nivelando tripode de la antena R&S ADD196.....	53
<i>Figura. 30.</i> Nivelando tripode de antena R&S ADD196.....	53
<i>Figura. 31.</i> Escenario de calibración del compas de la antena.....	54
<i>Figura. 32.</i> Equipo (Ant. Log-Periódica con plato parabólico y Generador de señales) para generación de señales.....	55
<i>Figura. 33.</i> Escenario de pruebas - Interiores.....	56
<i>Figura. 34.</i> Resultados obtenidos para 500 y 600 MHz en primera posición 30°.....	56
<i>Figura. 35.</i> Resultados obtenidos para 700 y 800 MHz en segunda posición 10°.....	57

Figura. 36. Resultados obtenidos para 900 y 1000 MHz en segunda posición 10°.....	57
Figura. 37. Escenario de pruebas - Exteriores.....	59
Figura. 38. Escenario en exteriores para las pruebas.	59
Figura. 39. Diagrama de bloques del sistema a utilizar para la demostración.	62
Figura. 40. Ejemplo de protocolo de comunicación entre dos equipos.....	64
Figura. 41. Diagrama de bloques cliente - servidor para crear un socket.....	66
Figura. 42. Diagrama de bloques de la interface de comunciación.....	68
Figura. 43. Interface para el usuario.....	75
Figura. 44. Escenario en exteriores para las pruebas con la interface implementada.	77
Figura. 45. Equipo transmisor polarizado horizontalmente.	77
Figura. 46. Equipo transmisor polarizado verticalmente.	78
Figura. 47. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Este con Polarización. Vertical.	78
Figura. 48. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Norte con P. Vertical.	79
Figura. 49. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Oeste con P. Vertical.	79
Figura. 50. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Sur con P. Vertical.	79
Figura. 51. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Este con P. Vertical.	80
Figura. 52. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Norte con P. Vertical.	80
Figura. 53. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Oeste con P. Vertical.	80
Figura. 54. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Sur con P. Vertical.	81
Figura. 55. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Este con P. Vertical.	81
Figura. 56. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Norte con P. Vertical.	81
Figura. 57. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Oeste con P. Vertical.	82
Figura. 58. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Sur con P. Vertical.	82
Figura. 59. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Norte con P. Horizontal.....	82
Figura. 60. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Este con P. Horizontal.....	83
Figura. 61. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Sur con P. Horizontal.	83
Figura. 62. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Oeste con P. Horizontal.....	83
Figura. 63. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Norte con P. Horizontal.....	84
Figura. 64. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Sur con P. Horizontal.	84
Figura. 65. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Oeste con P. Horizontal.....	84
Figura. 66. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Este con P. Horizontal.	85
Figura. 67. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Sur con P. Horizontal.	85
Figura. 68. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Oeste con P. Horizontal.....	85
Figura. 69. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Norte con P. Horizontal.....	86
Figura. 70. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Este con P. Horizontal.	86
Figura. 71. Capacitacion impartida hacia miembros de la AGRUCOMGE.....	89
Figura. 72. Comparación del Ángulo de Arribo obtenido en polarización vertical y horizontal.	91
Figura. 73. Comparación de la calidad DF [%] obtenido en polarización vertical y horizontal.	92
Figura. 74. Gráfico de la polarización vs el ángulo de arribo.	93
Figura. 75. Gráfico de la polarización vs Calidad DF [%].	94

Figura. 76. Gráfica de ángulo de Arribo [°] por tipo de polarización en 500MHz.....	94
Figura. 77. Gráfica de ángulo de Arribo [°] por tipo de polarización en 800MHz.....	95
Figura. 78. Gráfica de ángulo de Arribo [°] por tipo de polarización en 1000MHz.	95
Figura. 79. Gráfica de Calidad DF [%] por tipo de polarización en 500MHz.	96
Figura. 80. Gráfica de Calidad DF [%] por tipo de polarización en 800MHz.	96
Figura. 81. Gráfica de Calidad DF [%] por tipo de polarización en 1000MHz.	97
Figura. 82. Retardos de visualización entra la interface y el sistema "DDF255-ADD196"	98

RESUMEN

En la actualidad el Agrupamiento de Comunicaciones y Guerra Electrónica del Ejército (AGRUCOMGE), tiene la necesidad operativa de monitorear y conocer el ángulo de llegada de las señales de emisoras electromagnéticas en la banda V/UHF. Para lo cual existen equipos especializados para estas funciones, los cuales se encuentran en desuso. Al conocer esta necesidad se ha desarrollado un estudio previo para poner en funcionamiento los equipos (*DDF255 “Direction Finder” – ADD 196 “Antena V/UHF”*). Se los puso en operación realizando pruebas en el campus de la universidad, generando señales a diferentes frecuencias, variando la posición del emisor para obtener los diferentes ángulos de llegada. Posteriormente se ha desarrollado una interface gráfica basada en lenguaje de programación C++, esto facilita el manejo del sistema de una manera amigable y didáctica para los miembros de la AGRUCOMGE, obteniendo los datos de mayor importancia a ser analizados. Finalmente se realizó un estudio del desempeño del sistema implementado conjuntamente con su interface, en el cual se analiza las señales generadas por el emisor en polarización vertical y horizontal respectivamente, para conocer la eficiencia de la Antena *ADD196*.

Palabras Clave:

- **DIRECTION FINDER**
- **ÁNGULO DE LLEGADA**
- **INTERFACE GRÁFICA**
- **DESEMPEÑO DEL SISTEMA**

ABSTRACT

In the nowadays, El Agrupamiento de Comunicaciones y Guerra Electrónica del Ejército (AGRUCOMGE), has the operational need to monitor and know the angle of arrival of the signals of electromagnetic transmitters in the V / UHF band. For which there are specialized teams for these functions, which are in disuse. Knowing this need, a preliminary study has been developed to put the equipment into operation (*DDF255 "Direction Finder" - ADD 196 "Antenna V / UHF"*). They were put into operation performing tests on the campus of the university, generating signals at different frequencies, varying the position of the emitter to obtain the different arrival angles. Subsequently, a graphical interface based on the C ++ programming language was developed to facilitate the management of the system in a friendly and didactic way for the members of the AGRUCOMGE, obtaining the most important data to be analyzed. Finally, a study of the performance of the system implemented together with its interface was carried out, in which the signals generated by the emitter in vertical and horizontal polarization respectively are analyzed, in order to know the efficiency of the ADD196 Antenna.

Keywords:

- **DIRECTION FINDER**
- **ARRIVAL ANGLE**
- **GRAPHICAL INTERFACE**
- **SYSTEM PERFORMANCE**

GLOSARIO

AGRUCOMGE: Agrupamiento de Comunicaciones y Guerra Electrónica del Ejército.

R&S: Rohde and Schwarz.

DDF: Digital Direction Finding.

DF: Direction Finding.

RDF: Radio Direction Finding.

Tx y Rx: Transmisor y Receptor.

LOB: Line of Balance

AOA: Angle of Arrival.

SOI: Signal of Interest.

PDS: Procesamiento Digital de Señales.

CICTE: Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Ejército.

RS485: Norma de comunicación serial.

ESG: Vector Signal Generator.

RF: Radio Frecuencia.

HDMI: High-Definition Multimedia Interface.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se da a conocer la necesidad por parte del Agrupamiento de Comunicaciones y Guerra Electrónica del Ejército denominada AGRUCOMGE de tener en operación un sistema que permita monitorear y detectar el ángulo de arribo de emisores electromagnéticos, mismo que fue adquirido por parte del AGRUCOMGE a la empresa internacional *Rohde & Schwarz* hace años atrás y se encontraba en desuso, además del valor que sería necesario para adquirir un software de control para el sistema, también se conoce el método de DF que utiliza el equipo, por último, se muestran los objetivos que se pretende alcanzar en el transcurso del trabajo de titulación.

1.1. Antecedentes

En el Agrupamiento de Comunicaciones y Guerra Electrónica del Ejército (AGRUCOMGE), se tiene la necesidad operativa de conocer y monitorear la ubicación de diferentes emisores de RF, para lo cual existen equipos especializados en dichas funcionalidades. A nivel nacional existen escasos equipos con estas características por sus altos costos comerciales (alrededor de los 500.000 USD), además de encontrarse sin uso, por falta de recursos económicos para mantenerlos en operación (mantenimiento operativo de hardware/software y permanente capacitación del personal militar). Este es el caso del “*R&S® DDF255 Digital Direction Finder*”,

que se ilustra en las figuras 14 y 15, mismo que tiene la capacidad de monitorear y ubicar objetos en diferentes bandas de frecuencias tanto HF como V/ UHF.

El método DF de interferómetro correlativo se basa en la medición de las diferencias de fase entre el elemento de antena de referencia y los otros elementos de una antena DF. Para medir el ángulo de fase entre las señales de dos elementos de antena por medio de un único receptor, se utiliza un método patentado de Rohde & Schwarz. Con este método, la fase de una de las dos señales se desplaza en cuatro pasos.

La mayoría de los buscadores de dirección del interferómetro en el mercado utilizan al menos dos receptores. Los dos trayectos de recepción deben estar en fase y en consecuencia calibrados, ya que de lo contrario el tiempo de medición se extenderá significativamente. Además, las señales del oscilador local necesitan ser multiplicadas y distribuidas en fase. Esto significa que se necesita más hardware que con un localizador de dirección de interferómetro de un solo canal.

Además del control desde el panel frontal, el *R&S®DDF255* también se puede controlar a través del software del sistema *R&S®ARGUS*, apropiado para operar el *R&S®DDF255* desde un PC estándar. La interface de control para los usuarios es limitada, lo que permite el diseño de una interface para mejorar el funcionamiento del *R&S®DDF255* utilizando el software específico que se implementara.

1.2. Justificación

La necesidad de estimar el ángulo de arribo de una señal de radiofrecuencia es una actividad de gran utilidad, especialmente en las operaciones militares, donde se requiere tener un buen

desempeño de los equipos encargados de estas funcionalidades, para así garantizar la seguridad de la nación. Este desempeño se medirá a través del parámetro de calidad de DF de la señal recibida, para lo cual se realiza el estudio de RDF (*Radio Direction Finder*). El costo aproximado del sistema disponible en el AGRUCOMGE (que no se encuentra en operación), es muy elevado. La falta de recursos económicos ha hecho imposible que el AGRUCOMGE pueda continuar con los respectivos planes de mantenimiento y nueva puesta en operación del sistema.

Por esta razón es necesario realizar un estudio acerca del funcionamiento del equipo “DDF255 *Digital Direction Finder*” y la antena “ADD196 V/UHF DF Antenna”, y ponerlos en operación, direccionando las actividades del proyecto para que se realice un proceso análogo al de transferencia tecnológica, al personal del AGRUCOMGE.

Con el *R&S®DDF255*, los dos trayectos de recepción están unidos coherentemente en la antena DF mediante un método patentado de Rohde & Schwarz. Como resultado, el método DF de interferómetro de canal único proporciona la misma precisión DF e inmunidad a las reflexiones suministradas por buscadores de dirección con dos o más trayectorias de recepción, sin necesidad de hardware adicional.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Determinar el modelo matemático de interferometría correlativa con un solo canal de recepción del sistema “DDF255 – ADD196” para detectar el Ángulo de arribo de emisores electromagnéticos en la banda V/UHF y diseñar una interface de comunicación para que facilite la operación de todo el sistema que incluya los dispositivos del DF.

1.3.2. Específicos

- Realizar un estudio para conocer el funcionamiento del equipo “DF255 Digital Direction Finder” y la antena “ADD196 V/UHF DF Antenna”.
- Realizar un estudio sobre las diferentes técnicas de determinación del ángulo de arribo para las frecuencias de la banda V/UHF.
- Desarrollar una interface que permita la interactividad y operación del sistema para mostrar el ángulo de arribo del emisor.
- Proponer un programa de capacitación extenso para el AGRUCOMGE y ponerlo en ejecución para la operación efectiva del sistema.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEORICO

En este capítulo se muestra el marco conceptual de cada termino que engloba el estudio del sistema de *R&S DDF255 – ADD196*, cada una de la teoría que se proponen para analizar los efectos que posee la antena *R&S ADD196*, también se detallan los parámetros que se requieren para un sistema que tiene una adquisición de datos secuencialmente, se detallan las técnicas que utilizan los sistemas de radiogoniometría en general y, se explican brevemente rasgos de los tipos de radiogoniómetros que existen.

2.1. Espectro Radioeléctrico

La radiación electromagnética se denomina como el flujo de energía que sale de una fuente en forma de ondas electromagnéticas. La radiación presentada puede provenir de orígenes diferentes ya sean naturales o artificiales. Por lo cual el espectro electromagnético se define como el conjunto de varias frecuencias posibles a las que se produce radiación electromagnética (Ordoñez, 2015).

En la actualidad se utilizan ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias tanto para la transmisión y recepción de información para esto se utilizan varios medios de información entre estos tenemos los medios guiados (cable de par trenzado, fibra óptica, cable coaxial etc.) y medios no guiados (normalmente el aire o el vacío) respectivamente. Las frecuencias utilizadas

en estos casos tienen que ver directamente con el comportamiento de los materiales que se utilizan como un medio de transmisión.

Entonces, el espectro radioeléctrico tiene como definición una parte del espectro electromagnético que se diferencia por sus posibles términos para las comunicaciones de radio, es decir, para transmitir señales de información por cualquier medio que no sea guiado. Este grupo de señales se determinan gracias al siguiente factor, las características de propagación de las señales electromagnéticas a frecuencias diferentes, y por consiguiente el avance de tecnología provocado por el hombre (Ordoñez, 2015).

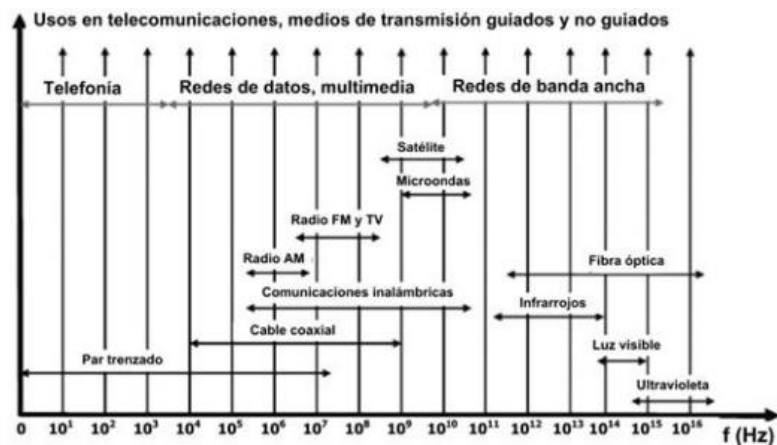


Figura. 1. Espectro electromagnético.

Fuente: (Ordoñez, 2015).

2.1.1. Bandas de Frecuencias del Espectro Radioeléctrico

Es un conjunto de frecuencias del espectro radioeléctrico que es utilizado para varias aplicaciones, entre estas tenemos las radiocomunicaciones; en la que los canales de comunicación se utilizan para diferentes servicios en diferentes ámbitos, con el único fin de evitar interferencias y así establecer un uso eficiente del espectro.

Tabla 1:
Banda de frecuencias del espectro radioeléctrico.

NÚMERO DE LA BANDA	SÍMBOLOS (EN INGLÉS)	GAMA DE FRECUENCIAS	SUBDIVISIÓN MÉTRICA CORRESPONDIENTE	ABREVIATURAS MÉTRICAS PARA LAS BANDAS
4	VLF	3 a 30 kHz	Ondas miriamétricas	B. Mam
5	LF	30 a 300kHz	Ondas kilométricas	B. km
6	MF	300 a 3000 kHz	Ondas hectométricas	B. hm
7	HF	3 a 30 MHz	Ondas decamétricas	B. dam
8	VHF	30 a 300 MHz	Ondas métricas	B. m
9	UHF	300 a 3000 MHz	Ondas decimétricas	B. dm
10	SHF	3 a 30 GHz	Ondas centimétricas	B. cm
11	EHF	30 a 300 GHz	Ondas milimétricas	B. mm
12		300 a 3000 GHz	Ondas decimilimétricas	

Fuente: (Conatel, 2012).

2.2. Radiogoniometría

Es la determinación de la dirección de emisores, cuya localización geográfica es conocida por medio de la recepción de ondas de radio, el equipo que facilita la medida se le conoce como radiogoniómetro. Para que la medida sea correcta se necesita determinar bien las direcciones del transmisor desde puntos geográficamente distantes; esto se conoce como triangulación.

La radiogoniometría conforma un grupo de técnicas que nos proporcionan ayudas para detectar cualquier señal de interés. Desde hace años atrás cuando se inventó la radio, y se llevaron a cabo varios descubrimientos, las características de la propagación de las ondas de radio eléctricas son útiles para con este fin.

Usando un radio receptor y una antena que sea directiva, podremos determinar de qué dirección proceden las emisiones que estamos sintonizando (Jaramillo, 2007), por lo tanto, un radiogoniómetro es un sistema electrónico que es capaz de definir cuál es la dirección en la que fue emitida una señal cualquiera.

2.2.1. Generalidades

Por otra parte, un radiogoniómetro es un receptor que permite obtener y determinar la dirección y sentido con que llega la emisión de un transmisor que se encuentra a varios metros o kilómetros, lo cual implica la medida del ángulo formado por el círculo máximo terrestre que forma el transmisor con el receptor para esto se necesita una dirección de referencia. En las estaciones radiogoniométricas de tierra la referencia suele ser el Norte, y el ángulo medido es por tanto, el azimut. En los radiogoniómetros de avión o barco, el origen de ángulos, llamados marcaciones, es el eje popa-proa.

Sin entrar en detalles sobre los diferentes fenómenos que intervienen en la propagación radioeléctrica, el problema se simplifica suponiendo que la propagación siempre tiene lugar a lo largo del arco de círculo máximo que une la fuente de radiación al punto de recepción. En estas circunstancias, si se dispone del equipo receptor adecuado que indique la dirección de llegada, es posible obtener una marcación de la fuente (transmisor o corriente interferente) y determinar la dirección de dicha fuente con relación al lugar de recepción (Álvarez Morales, 2007).

Todos los radiogoniómetros hacen uso del retardo diferencial de la señal a través de una abertura de antena para obtener una marcación de señal. Entre estos algunos sistemas, como los interferómetros de fase se basan en medir el retardo diferencial de los emisores directamente y también tenemos a otros sistemas tales como: antenas de cuadro giratorias o las redes de antenas dispuestas de forma circular como las antenas Wullenweber y las Adcock, las cuales se caracterizan por medir una función del retardo de la señal emitida para así obtener un diagrama de amplitud de antena directiva.

2.2.2. Sistema de Radiogoniometría

De acuerdo a las características de las antenas, el sistema de medición y de procesamiento para obtener los datos de información sobre el azimut de las señales emitidas las técnicas radiogoniométricas se agrupan en tres categorías:

- Radiogoniometría por amplitud.
- Radiogoniometría por fase.
- Radiogoniometría por correlación vectorial de fase y amplitud y con súper resolución.

2.2.3. Sistema de Adquisición

La adquisición de información se puede dar en forma paralela o secuencial.

2.2.3.1. Sistema de adquisición en paralelo

Aquí se encuentra con una medición casi instantánea y depende de cuantos canales de recepción como señales generadas por las antenas se utilicen.

2.2.3.2. Sistema de adquisición secuencial

En este sistema el resultado se encuentra disponible únicamente al final de una secuencia de conmutaciones de RF, ya sea en las antenas o después de realizar una ponderación en fase y amplitud de las señales de antena.

Para esto existe un cierto número de características que debe tener un radiogoniómetro, sea cual fuere el principio de radiogoniometría adoptado. Las características operativas y de diseño del equipo (robustez mecánica, modo de visualización, capacidad de control remoto, forma, peso, consumo de potencia, gama de temperaturas y concepto operativo etc.) deben satisfacer los

requisitos de la aplicación de que se trate. Las principales características técnicas de los radiogoniómetros son: precisión, sensibilidad, inmunidad frente a ondas distorsionadas, insensibilidad a la despolarización, efectos de la interferencia cocanal y respuesta rápida (Álvarez Morales, 2007).

2.2.3.2.1. Precisión

Los radiogoniómetros que existen tienen un rango de precisión de 1° a 3° , la cual tiene varios factores de errores, uno de ellos es el error de azimut el cual depende de la dirección de incidencia de la señal, y otro error es el de la frecuencia el cual es un error del radiogoniómetro empleado en función a la frecuencia seleccionada para lo cual normalmente la precisión del sistema se define para señales con una relación señal a ruido suficiente (> 20 dB). Por último, encontramos errores derivados del medio de propagación y debido a los múltiples trayectos, los cuales no se incluyen en la precisión del instrumento.

2.2.3.2.2. Sensibilidad

La sensibilidad es importante por dos razones, una es ampliar la cobertura de los radiogoniómetros en buenas condiciones de recepción, y para lograr una fiabilidad suficiente en el radiogoniómetro en condiciones menos favorables.

2.2.3.2.3. Efecto de la Despolarización

La despolarización consiste en un desplazamiento del plano de polarización entre la antena del radiogoniómetro y la onda incidente. Entre esto se tiene que la respuesta a la polarización de un radiogoniómetro depende en gran medida del sistema de antenas que se está utilizando y el método que utiliza el radiogoniómetro. En este caso se dice que en casi todos los transmisores instalados en vehículos de tripulación utilizan polarización vertical por razones de propagación, por lo cual las antenas de

radiogoniometría en las bandas de ondas métricas y decimétricas (se denominan así a las ondas con frecuencias muy altas en el rango de UHF) normalmente están compuestas por dipolos verticales.

2.2.3.2.4. Efecto Interferencia Cocanal

Además de las señales deseadas que requiere el instrumento se reciben simultáneamente otras señales que trabajan con el mismo ancho de banda, a esto es lo que llama transmisión cocanal no coherente. Las indicaciones de marcaciones erróneas provocadas por los transmisores que causan la interferencia cocanal, debe reconocerse e identificarse una a una por el instrumento empleado.

2.2.3.2.5. Tiempo de Respuesta

Esto depende del principio de funcionamiento que utiliza cada instrumento (radiogoniómetro), la señal debe estar disponible durante un cierto tiempo mínimo para poder asegurar la lectura de las marcaciones de cada radiogoniómetro. Los sistemas de radiogoniometría en diferentes tipos de ondas como (decamétricas, métricas y decimétricas) deben tener la capacidad de detectar señales con tiempos de permanencia de 10 ms o menos.

2.2.3.2.6. Consideraciones generales sobre Localización

En algunos casos la línea de marcación que tienen los radiogoniómetros no será lo suficientemente necesaria para detectar y determinar la posición del transmisor. En estos casos se utiliza un método que combina dos o más radiogoniómetros para llevar a cabo una triangulación ya sea manual o automatizada. En la banda de ondas decamétricas, con diferente propagación, es posible detectar y determinar la posición de un transmisor utilizando solamente una estación de radiogoniometría, para esto se necesita que el radiogoniómetro empleado proporcione información sobre el ángulo de elevación y del azimut.

2.2.3.2.7. Diversos Sistemas de Radiogoniometría

Las técnicas de radiogoniometría se dividen en dos aéreas como:

- Sistemas de detección de amplitud.
- Sistemas de detección de fase.

Varios radiogoniómetros actuales utilizan una combinación de las dos técnicas.

2.2.3.2.8. Técnicas

2.2.3.2.8.1. Con sistemas de antenas giratorias

Los sistemas con antenas giratorias utilizan las características del diagrama de antena para determinar el ángulo o dirección de llegada del transmisor, cabe recalcar que los radiogoniómetros basados en antenas directivas que utilizan rotación mecánica ya no se utilizan.



Figura. 2. Ejemplo de arreglo de antenas giratorias.

Fuente: (Rohde Schwarz, 2015).

2.2.3.2.8.2. Wullenweber

Los sistemas Wullenweber son sistemas con arreglos de antenas circulares conocidos como jaulas de elefante debido a los grandes que suelen ser; son utilizados por las fuerzas militares, también son sistemas de exploración electrónica que utilizan técnicas de combinación de antenas para mejorar el diagrama de antena característico del sistema. En estos sistemas circulares conmutan grupos de antenas en lugar de una antena cada vez.



Figura. 3. Arreglo de antenas de Wullenweber
Fuente: (Stalker Krug, 2014).

2.2.3.2.8.3. Adcock / Watson – Watt

Estos sistemas aprovechan las mejoras que se han ido experimentando tanto en las antenas y en el procesamiento de señales que se han dado en el tiempo, para así dar una lectura instantánea de los datos de recepción.

La red de antenas Adcock utilizada por estos sistemas está constituida por pares de antenas de algunos tipos estas son dipolos o monopolos combinados mediante un circuito híbrido de 180° para presentar el conocido diagrama de recepción, típico de las antenas de cuadro. Dos pares

Adcock, dispuestos ortogonalmente, presentan una respuesta a la dirección de llegada de la señal que varía con el seno de la dirección de llegada en una antena, y con el coseno de la dirección de llegada, en la segunda antena. La técnica de radiogoniometría Watson - Watt utiliza tres receptores adaptados en fase y presenta el ángulo de llegada, expresado por las funciones seno y coseno, y un tercer canal omnidireccional para resolver el problema de la ambigüedad. Los radiogoniómetros modernos Watson-Watt utilizan técnicas de procesamiento digital de la señal para calcular la marcación (Álvarez Morales, 2007)

Tabla 2:
Técnica de Radiogoniometría Adcock / Watson Watt

Precisión	1° a 2°.
Sensibilidad	Media y alta (depende del tipo de antena).
Efecto de Despolarización	Errores de marcación bajos en despolarizaciones < 45°, no utilizan algoritmos de compensación.
Inmunidad contra la interferencia Cocanal (Interferencia no coherente)	Es posible separarla utilizando técnicas analógicas de visualización en tubos de rayos catódicos, el tratamiento digital de señal no puede separar de forma algorítmica las señales cocanal, se debe emplear técnicas de histogramas.
Capacidad de ondas ionosférica en ondas decamétricas	No se puede determinar el ángulo de elevación de las señales de propagación ionosférica, se puede emplear antenas de cuadros cruzados para señales con ángulo de llegada elevados.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene alrededor de 50 años de ambigüedad. • Técnica de radiogoniometría antigua. • Vigente debido al tipo de respuesta rápido.

Fuente: (Álvarez, 2007).

2.2.3.2.8.4. Doppler / Pseudo Doppler

Estos sistemas fueron desarrollados estudiando el desplazamiento Doppler el cual es provocado por una antena móvil sobre una señal de recibida. El efecto Doppler se denomina como el cambio de frecuencia aparente de una onda producida por el movimiento de la fuente emisora con respecto a su estación observadora, la velocidad de rotación no es medible por

debajo de la banda de ondas decimétricas, por lo cual se desarrolló un nuevo método llamado Pseudo Doppler el cual mediante un método circular logra distinguir ondas que no eran posibles para los sistemas Doppler.



Figura. 4. Efecto Doppler en una onda.

Fuente: (T2KCC, 2015).

En la figura 6 se tiene un ejemplo del diagrama de bloques que utiliza una antena para detectar la fase de salida, utilizando el efecto Doppler, está constituido por una antena omnidireccional que se desplaza a lo largo de un círculo a una velocidad angular (Ω); en la salida, la señal de la antena esta modulada en FM por una señal sinusoidal con la misma frecuencia de giro de la antena y una fase igual al ángulo de incidencia del frente de onda, con esto se puede establecer la fase del sistema.

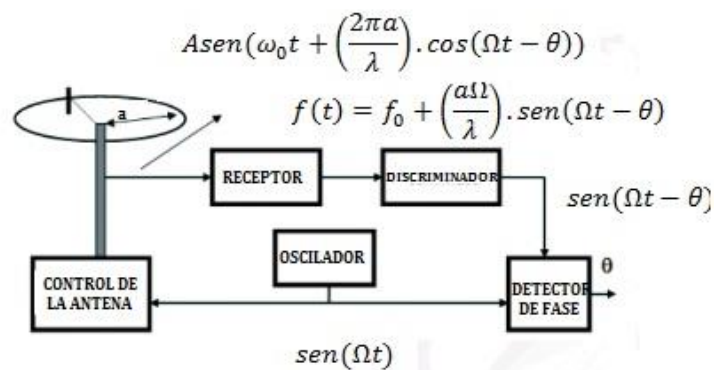


Figura. 5. Diagrama de bloques que utiliza una antena para detectar el ángulo de salida de un sistema.

2.2.3.2.8.5. Interferómetro de fase

Estos métodos se desarrollaron por los años 70, con la única finalidad de realizar mediciones exactas del LOB, el sistema utiliza mediciones de fase entre un mínimo de dos antenas independientes. El termino importante de este sistema es el detector de fase que emplean, el mismo que proporciona una estimación del retardo de fase entre las señales recibidas, con esto se puede determinar el ángulo de llegada de las señales para cubrir un campo de visión de 360°, y se puede utilizar combinaciones de 3, 4, 5, 6 o más antenas y de esta manera evitar girar la antena manualmente.

Tabla 3:
Técnica de radiogoniometría, Interferómetro de Fase

Precisión	< 1°, Sin influencia del emplazamiento.
Sensibilidad	Alta
Efecto de Despolarización	Los errores de despolarización típicos son bajos en direcciones oblicuas en 60° y es mayor para inclinaciones elevadas, no utilizan algoritmos de compensación.
Inmunidad contra la interferencia cocanal (Interferencia no coherente)	Es posible la separación utilizando técnicas de histogramas para señales no coincidentes en el tiempo. Sólo para señales mayores a 5 dB.
Capacidad de ondas ionosférica en ondas decamétricas	Se puede determinar el ángulo de elevación de las señales de propagación ionosférica, se mantiene una buena sensibilidad para señales con ángulos de llegada elevados cuando la red de antenas está constituida por antenas de cuadro cruzado.
Observaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Los Interferómetros de fase son compatibles con las unidades PDS. • Los sistemas no estan obligados a usar redes de antenas en forma circular.

Fuente: (Álvarez, 2007).

2.2.3.2.8.6. Correlación y Superresolución

Conocido como interferometría correlativa, el procedimiento radiogoniométrico de interferometría correlativa está basado en la medición de diferencias de fase entre varios elementos de una antena radiogoniométrica. La Superresolución es un término utilizado para describir radiogoniómetros actuales o modernos, estos tipos de sistemas surgieron gracias a la radioastronomía, también utilizan antenas sofisticadas y avanzadas técnicas para extraer la información que se encuentran en las señales recibidas por cada una de las antenas.

Estos sistemas determinan la LOB, para las diferentes señales recibidas se correlacionan los datos tanto de amplitud y fase, este método permite eliminar los errores introducidos por los instrumentos. Las técnicas de súper resolución no se utilizan ampliamente en las aplicaciones de comprobación técnica de las emisiones radioeléctricas debido a su limitada respuesta en el tiempo, y la demora del cálculo necesario. Los datos de los parámetros, como la sensibilidad se definen difícilmente porque no existen normas comúnmente aceptadas para las condiciones de prueba tales como el ancho de banda observado y la relación señal a ruido, aquí tenemos una precisión $< 1^\circ$ sin influencia del emplazamiento, una sensibilidad alta y un tiempo de respuesta para ondas decamétricas $< 100\text{ms}$ y para ondas métricas y decimétricas $< 10\text{ms}$.

2.2.4. Angulo de arribo y Línea de rumbo

Para esto primero se define que es ángulo de arribo (AOA, *Angle of Arrival*), también denominado DOA (*Direction of Arrival*), no tiene relación con direcciones geográficas ya que nos refleja un ángulo de una señal de interés (SOI, *Signal of Interest*) o una señal transmisora en relación de una antena que pertenece a un sistema de RDF (*Radio Direction Finder*) que se encuentre en cualquier parte del sistema como se puede observar en la figura 7, aquí se muestra

el ángulo de arribo de una señal con respecto a una antena RDF que se encuentra en una posición arbitraria.

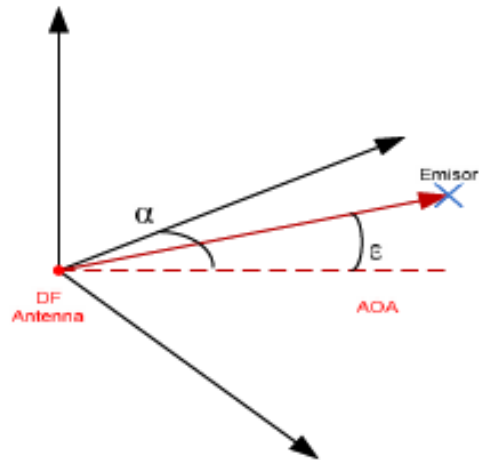


Figura. 6. AOA con relacion a una antena RDF de posicion arbitraria.

Mientras que la línea de rumbo (LOB) es una medida la cual contiene una compensación de errores entre el cálculo del AOA y la desviación que existe entre el norte magnético y el norte real, esto se muestra en la figura 8.

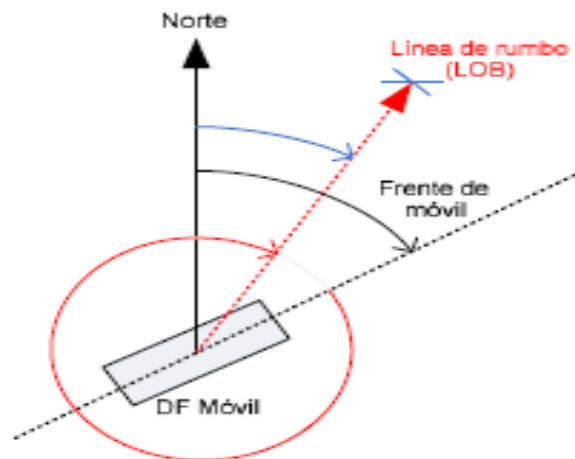


Figura. 7. Ilustracion del LOB, con la compensación de errores.

Cuando se tiene ondas de radio limpias es decir sin distorsión, la dirección del emisor es idéntica a la dirección de incidencia de las ondas de radio. Tradicionalmente existe un gran número de ondas secundarias o parciales arribando de diferentes direcciones haciendo así que la AOA tenga alguna alteración en su medida dependiendo del medio en que esta se disperse. Los equipos RDF toman varias muestras de características espaciales y temporales de frentes de onda y en el caso perfecto se muestra los valores de α y ε estimados para la dirección más probable del emisor (Cardenas, 2010).

2.2.5. Tipos de Radiogoniómetros

Además de ser clasificados por el número de receptores que utilizan, también pueden clasificarse de acuerdo al método que utilizan para detectar el AOA aquí se pueden dividir los sistemas de RDF como: Radiogoniómetros basados en la amplitud de la señal y en diferencia de fase entre antenas o en si una combinación de estos.

Dependiendo de la configuración y complejidad del sistema RDF, este puede contar con varias antenas ya sea omnidireccionales o direccionales, cualquier sistema GPS y un compás, de esta manera puede calcular eficientemente la línea de rumbo (LOB) a partir del ángulo de arribo (AOA) sea por medio alámbrico o inalámbrico.

2.2.5.1. Radiogoniómetros comerciales

Estos sistemas de RDF emplean varios algoritmos clásicos para el cálculo de AOA y LOB de la señal que se está tratando, si poseen señales que interfieren en la misma frecuencia que se encuentra la señal de interés (SOI), se presentaran varios errores, dado que los errores que se presentan dependerán del método empleado para el cálculo del LOB y también de la

configuración de la antena empleada en el sistema; sin embargo, existen dos métodos para disminuir estos problemas:

- Si la componente de la señal que interfiere posee menor potencia que la componente de la SOI, este error se puede disminuir dimensionando la antena de manera adecuada, es decir empleando una apertura de antena suficientemente grande, a pesar de que esto pueda incluir un sistema RDF más complejo y costoso.
- Si la componente de la señal que interfiere es más grande que la componente de la SOI, primero se debe definir cuál es la señal interferente para tratar de eliminarla por cualquier método. Aquí se emplean algoritmos de Beamforming esto significa que también debe evaluarse el máximo secundario alcanzando límites relevantes cuando la relación entre el máximo primario y secundario de las características dimensionales se vuelve muy pequeña, o cuando la diferencia entre el ángulo de la señal de interés y el ángulo de la señal interferente es menor que el ancho del lóbulo principal (Cardenas, 2010).

Uno de los objetivos de las técnicas que emplean los sistemas RDF de interferencia correlativa es disminuir los errores de medición que se obtienen en los equipos; sin embargo, ya llevando a la práctica se tiene que tomar en cuenta que aun sabiendo el número y dirección de las señales encontradas, no se contará con información precisa y definitiva para encontrar la dirección de arribo de la señal de interés (SOI).

Al tener las señales interferentes relacionadas con la señal de interés es decir en un ejemplo de multitrayectoria, la determinación del AOA debe tener un análisis más profundo de las

señales, debido a que en este caso se utilizan métodos de formación de haz o correlaciones, ya que la estimación del AOA de la señal de interés se encuentra implícitamente en la formación de la matriz característica del método Array manifold (Cardenas, 2010).

Una de las empresas más conocidas que producen sistemas de radiogoniometría, es la empresa R&S (*Rohde & Schwarz*), la misma que es conocida en el mercado por distribuir equipos de medición de muy buena calidad.

También se pueden encontrar los sistemas de RDF nuevos de alta precisión a los que se les llama RDF ESPAR (*Electronically Steerable Parasitic Array Radio Directional Finding*), estos equipos utilizan un solo receptor, pero incrementan la complejidad en los algoritmos empleados, al igual que disminuyen el intervalo de frecuencias en el que trabajan.

2.2.5.2. Radiogoniómetros multicanal

Los sistemas RDF tienen la estructura mostrada en la figura 5, en la que se ven las N señales que tienen en la salida de un arreglo de antenas distribuido con un arreglo geométrico ya sea circular o cualquier otro, este a su vez es recibido por medio de una red de H receptores de RF coherentes y digitalizadas para alimentar un procesador digital de señales (PDS), este se emplea para determinar algunos parámetros a saber:

- Numero de ondas incidentes.
- Polarización de las ondas.
- Potencia y tipo de modulación.
- Azimut, elevación y AOA de las ondas que se detectan.

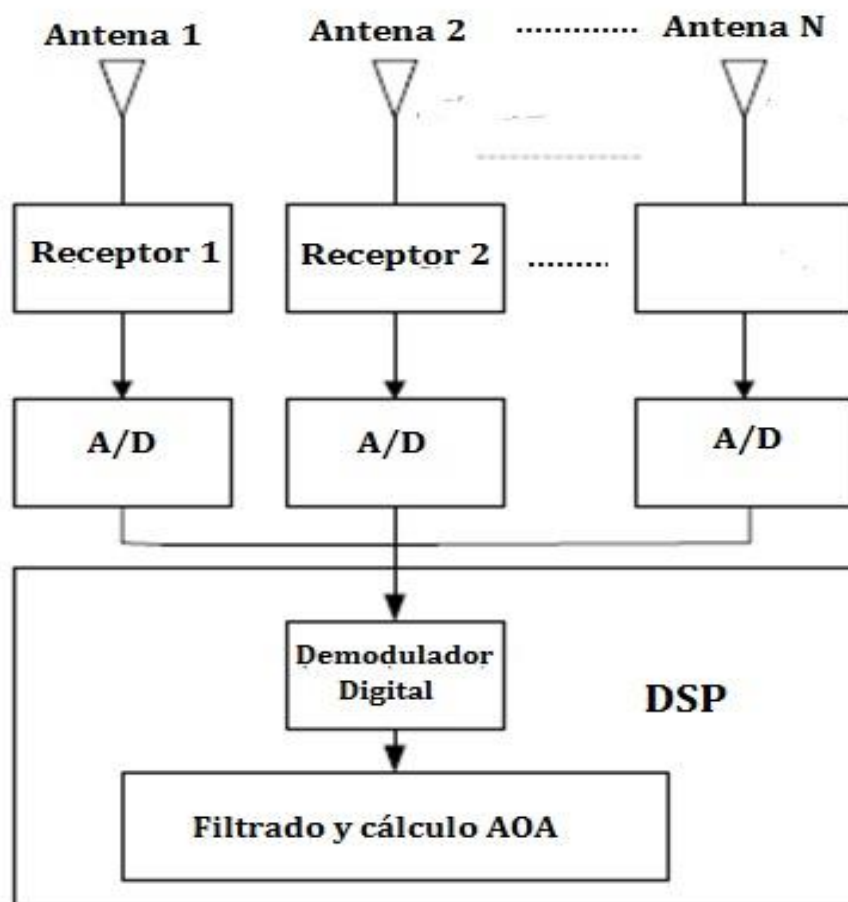


Figura. 8. Diagrama de bloque básico para sistemas RDF multicanal.

Fuente: (Cárdenas, 2010).

Los sistemas multicanal a menudo comparten el nombre de sistemas RDF de súper resolución o HR (*High Resolution*), ya que estos tienen la capacidad de detectar el AOA de varios transmisores al mismo tiempo aun cuando estos están transmitiendo a la misma frecuencia. En el mercado los sistemas comerciales alcanzan los valores de -0.3 dB rms en errores de amplitud y 0.5° rms en errores de fase para frecuencias superiores a los 3 GHz , cabe recalcar que para valores más altos de frecuencia se estiman errores con valores más altos.

2.2.5.3. Radiogoniómetros de un canal

Los sistemas RDF de un solo canal emplean una configuración especial, debido a que la información de diferencias de fase de la SOI, es calculada de manera indirecta debido a que no cuenta con varios receptores, los mismo que permiten calcular la fase instantánea en cada antena, debido a esto los sistemas RDF emplean configuraciones similares a las de la figura 10.

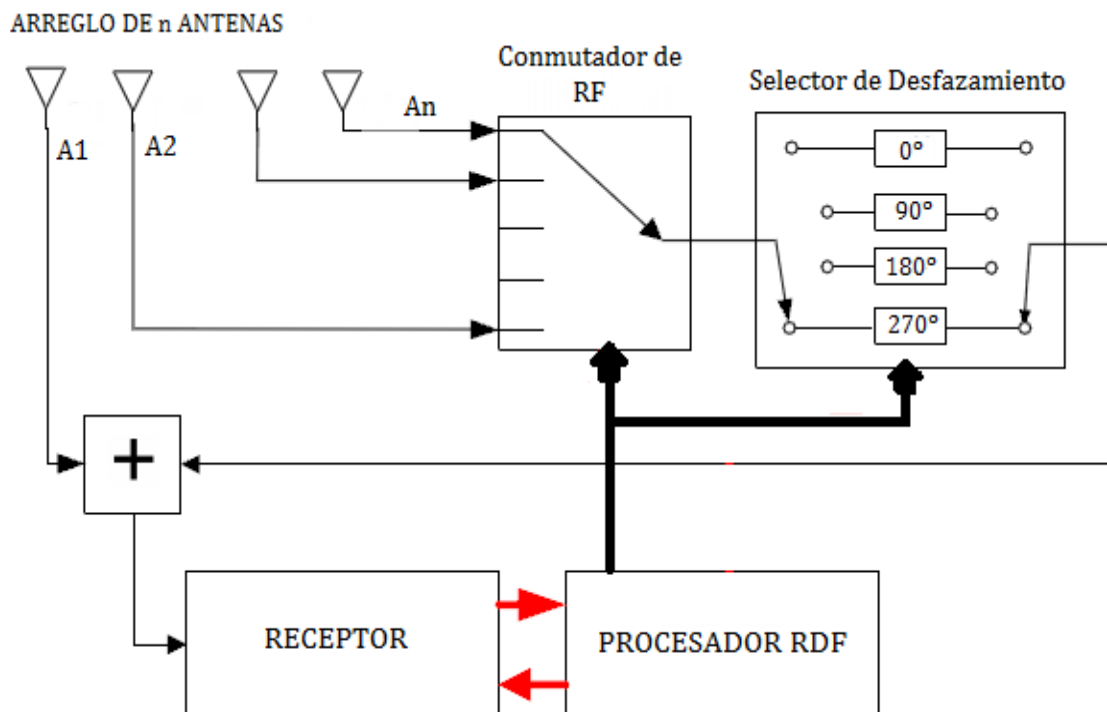


Figura. 9. Diagrama de bloques de RDF de un canal.

Fuente: (Cárdenas, 2010).

Con respecto a los sistemas RDF multicanal, los sistemas de un solo canal presentan varias ventajas, como que pueden utilizarse con diferentes tipos de modulación, sin requerir de ninguna modificación en su configuración, y también los costos de implementación son menores en los sistemas que utilizan un canal.

2.2.6. Métodos de Radiogoniometría

2.2.6.1. Efecto Doppler

2.2.6.1.1. Principio de Funcionamiento

Este efecto explica el fenómeno que ocurre cuando una fuente de ondas sonoras se está acercando o alejando de una estación que se encuentra observando, esto se argumenta con el fenómeno de que mientras que la medida de una onda se acerca al observador su frecuencia incrementa debido a la reducción de la longitud de onda (λ) por el movimiento de la fuente, mientras que cuando se está alejando la longitud de onda aumenta y su frecuencia disminuye.

Esto es similar cuando una antena se acerca o se aleja de un transmisor, la señal recibida de una antena moviéndose hacia el transmisor parece ser más alta en frecuencia que la de la señal real.

2.2.6.2. Interferencia Correlativa

2.2.6.2.1. Principio

Es una técnica de medición que se encuentra basada en la interferencia, esto se produce cuando dos ondas electromagnéticas que se encuentran trabajando en el mismo rango de frecuencia se superponen, lo contrario se produce cuando se habla de señales radioeléctricas dado que en estas señales la interferencia se produce por reflexiones debido a los rebotes con edificios u obstáculos presentes en el medio de transmisión. Otro aspecto importante de estas ondas es que deben ser sincrónicas, esto quiere decir que las diferencias de fase y la distancia entre los picos de las señales deben permanecer constantes con el tiempo y esto se logra solo si las ondas que se interfieren provienen de la misma fuente de radiación.

En (Rueda & Molina, 2007), se describen varios conceptos de lo que es la interferometría, entre estos tenemos que la interferometría es una herramienta muy importante en muchas actividades en las que se realizan mediciones. Se tiene que por medio de técnicas interferométricas se pueden realizar varias medidas sumamente precisas; por medio de la relación que se tiene entre los factores que emplea el patrón de interferencia se pueden establecer diferentes técnicas de medición de ciertos parámetros, descritos a continuación:

- Se puede atribuir con el valor de la longitud de onda incidente, así como de las características geométricas del arreglo físico de generación y medición de la interferencia; entonces es posible predecir el patrón de interferencia que se formará.
- También se puede atribuir las características precisas del conjunto de antenas, además de la guía de interferencia que se forma; con estos valores se puede argumentar el valor de la longitud de onda incidente.
- Finalmente, si se conoce el patrón de interferencia que se forma, así como la longitud de onda de la señal incidente, se pueden inferir las características geométricas del arreglo (Rueda & Molina, 2007).

La interferometría correlativa con canales múltiples puede ser de dos tipos secuencial o paralela, el único principio de este método es calcular el retardo de fase entre las señales de interés obtenidas con varios lapsos de muestreo, esto se realiza mediante la herramienta matemática de la correlación y varios algoritmos de procesamiento de señales para hallar el pico de la señal, después se realiza una comparación entre un cuadro de datos ya definido mediante la teoría de propagación y antenas, y el resultado obtenido de la dirección de la fuente transmisora.

Cuando la estación de transmisión se encuentra localizada a varios kilómetros (lejos) del sistema de recepción, es decir no es cubierta por la zona de Fresnell, aquí se asume un frente de onda plano mostrado en la figura 7, la misma nos muestra que la señal se propaga primero hacia la antena 2, para posteriormente ser recibida por la antena 1, lo cual lleva obviamente a un retardo de tiempo en la recepción de onda, lo que captan los sensores es un desfase eléctrico entre las señales recibidas, lo que nos lleva a hallar la posible dirección de la fuente transmisora gracias a la toma de la medida de el retardo de tiempo de las señales.

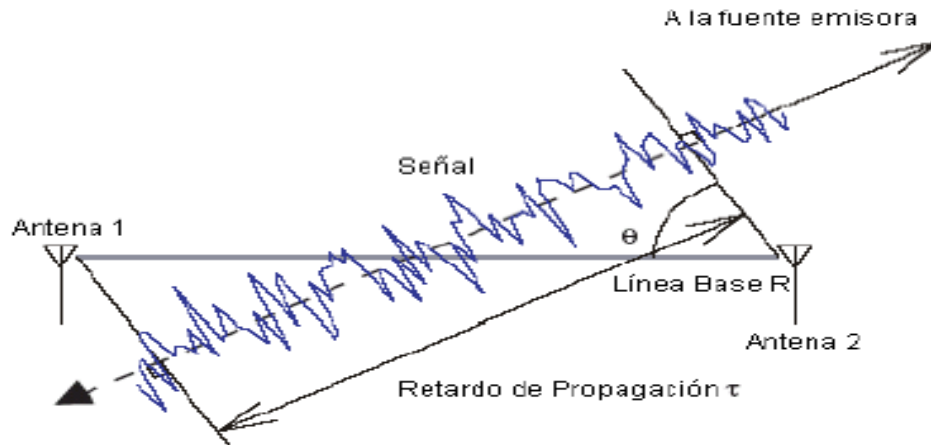


Figura. 10. Proceso de Radiogoniometría mediante Interferometría.

Fuente: (Rueda & Molina, 2007)

2.2.6.3. Interferometría Correlativa de Canal Simple.

El principio de canal simple para *Direction Finding*, patentado por (Rohde & Schwarz), es un método que nos permite encontrar la fase entre dos señales portadoras, estos tienen el principio básico de sumar los vectores de dos señales con pasos de 90° es decir en los puntos de 0, 90, 180 y 270 grados, mediante la suma de las amplitudes de estas cuatro señales $S_{q1}, S_{q2}, S_{q3}, S_{q4}$, se calcula la desviación de fase eléctrica mediante la siguiente fórmula:

$$\varphi = -\arctan\left(\frac{|A_2|^2 - |A_4|^2}{|A_1|^2 - |A_3|^2}\right) \quad (1)$$

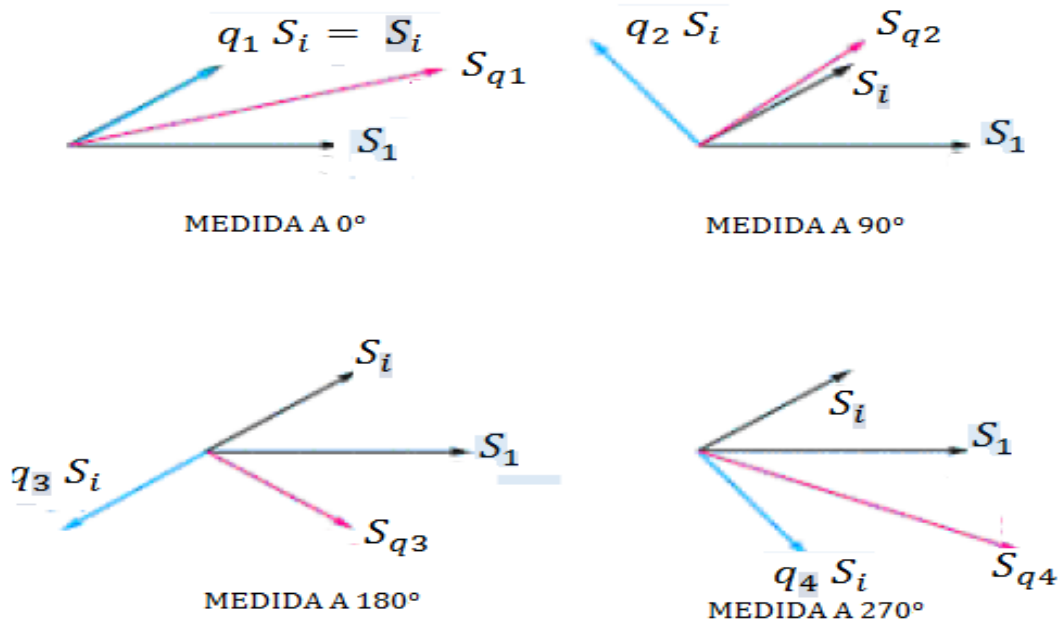


Figura. 11. Técnica de interferometría correlativa de canal simple.

Fuente: (Rueda & Molina, 2007).

En estos sistemas la dirección φ es calculada de forma semejante a la de los sistemas multicanal, cabe recalcar que las medidas de fase en sistemas de canal simple se demoran hasta cuatro veces más, comparados con los tiempos que tarda un sistema multicanal en obtener sus resultados, esto es debido al número de conmutaciones que se requieren para recopilar información.

2.2.6.4. Correlación Cruzada

Estos términos expresan la semejanza que existe entre dos señales para distintos desplazamientos de tiempo en este caso se lo denota con la letra k ; si estas son de tipo digital se define con la siguiente fórmula:

$$R_{ab}(k) = \sum_{n=0}^N a(n) * b(n + k) \quad (2)$$

En (Rueda & Molina, 2007), nos describe que $a(n)$ y $b(n)$ son dos señales discretas en el tiempo y con periodo N , por las cuales las dos señales deben almacenarse en el mismo instante de tiempo y por ende con el mismo número de muestras, el valor máximo de la señal de correlación indica cuando el corrimiento τ hace las señales más semejantes.

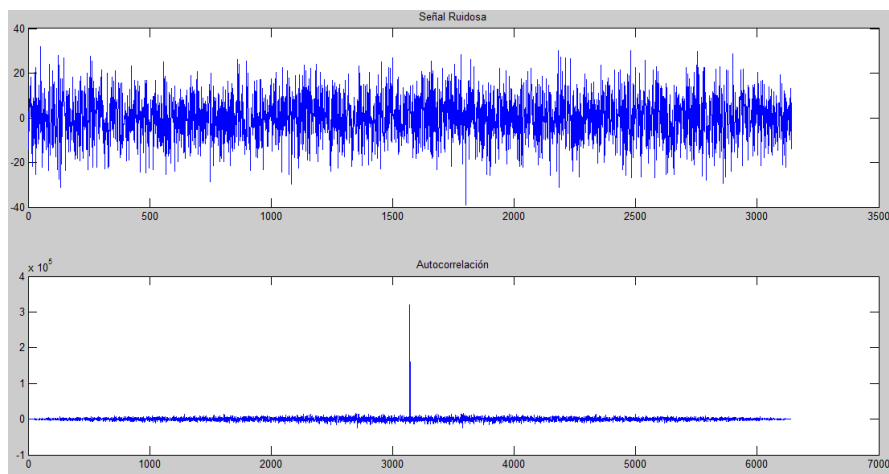


Figura. 12. Señal de ruido y su autocorrelación.

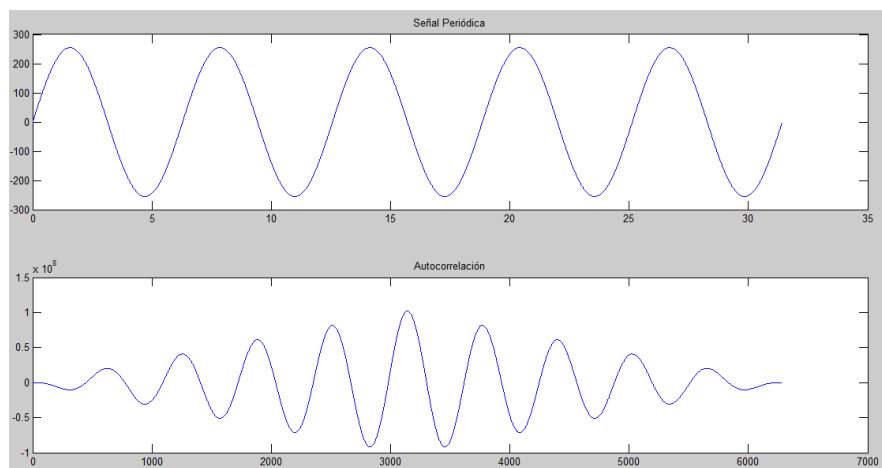


Figura. 13. Señal periódica y autocorrelación.

Aquí se muestran dos señales, la primera señal es un ruido el cual es similar a él mismo y está en fase solamente cuando no hay desplazamiento, para esto su auto correlación es un pico como se muestra en la figura 13, para el segundo ejemplo se toma una señal periódica aquí la función de auto correlación de esta señal es también una señal periódica, con el mismo periodo de la señal original.

2.2.7. Tipos de antenas

En la publicación patrocinada por *CEDRO* desarrollada por (Huidrobo, 2012), se describen varios tipos de antenas que se pueden utilizar para estos sistemas, en este se menciona que al instante de estudiar una antena se ve conveniente tratar los conceptos de campo cercano y campo lejano, el autor nos dice que el término campo cercano se denomina al patrón de campo que se encuentra cerca de la antena; y por otra parte, el término campo lejano también conocido como zona de *Fraunhofer* se refiere al patrón de campo que se encuentra a una distancia considerable es decir varios km. Durante la mitad del ciclo, la potencia se irradia desde una antena, en la cual parte de la potencia se almacena temporalmente en dicho campo. Durante la otra mitad del ciclo, la potencia que se encuentra en el campo cercano vuelve a la antena. Esto se asemeja a la forma en que un inductor guarda y expulsa la energía, por ende, al campo cercano se lo suele llamar campo de inducción, lo contrario pasa con el campo lejano, aquí la potencia que alcanza el campo nunca regresa hacia la antena, y este se lo suele llamar campo de radiación, la potencia de radiación se caracteriza por tener mucha importancia debido a que los patrones de radiación de las antenas por lo regular se dan para el campo lejano.

2.2.7.1. Parámetros de una antena

Las antenas suelen comportarse de forma semejante tanto para emisión como para recepción y constan de los siguientes parámetros:

- **Ancho de banda.** - Se denomina así al margen de frecuencias en que una antena emite o recibe energía de manera apropiada (Curotto, Espinosa, & Vergara, 2012).

Tabla 4:
Ancho de banda para varias antenas

Antenna	Center Frequency	Frequency Range	Fractional Bandwidth	Ratio	Percentage Bandwidth
Patch	1000 MHz	985 – 1015 MHz	0.03	1.0305:1	3%
Dipole	1000 MHz	960 – 1040 MHz	0.08	1.083:1	8%
Horn	1000 MHz	154 – 1848 MHz	1.694	12:1	169.40%
Spiral	1000 MHz	95 – 1900 MHz	1,805	20:1	180.50%

Fuente: (Curotto, Espinosa, & Vergara, 2012).

- **Directividad.** - Este factor mide que tan direccional es el patrón de radiación de una antena, según (Huidrobo, 2012), la directividad es la relación entre la potencia total radiada dividida por el área de la esfera formada por su radiación, a una cierta distancia, se puede obtener mediante la fórmula:

$$D = \frac{P_{max}}{\frac{W_t}{4\pi r^2}} \quad (3)$$

La fórmula se interpreta como la división entre la densidad de potencia emitida en una dirección, a una distancia, y la densidad de potencia que emitiría a la misma distancia una antena isotrópica, a igualdad de potencia total radiada.

- **Ganancia y Eficiencia.** - La eficiencia de una antena se denomina como la relación entre la potencia entregada a la antena y la potencia disipada por esta se la calcula así.

$$\epsilon_R = \frac{P_{\text{rad}}}{P_{\text{input}}} \quad (4)$$

$$P_{\text{rad}} = P_{\text{Tx}} - L_c + G_a \quad (5)$$

De donde según (5), P_{Tx} es la potencia de transmisión, L_c son las pérdidas obtenidas del cable de la antena y G_a es la ganancia que tiene la antena.

Por otro lado, la ganancia de una antena describe la relación entre la densidad de potencia emitida a cualquier distancia y la potencia total entregada a la antena dividida por el área de una esfera de radio R (Huidrobo, 2012).

- **Anchura de haz.**- Se conoce como un parámetro de radiación, que está de la mano con el diagrama de radiación, se puede definir como ejemplo típico el ancho de haz a -3 dB , que es cuando la densidad de potencia se reduce a la mitad de la máxima.

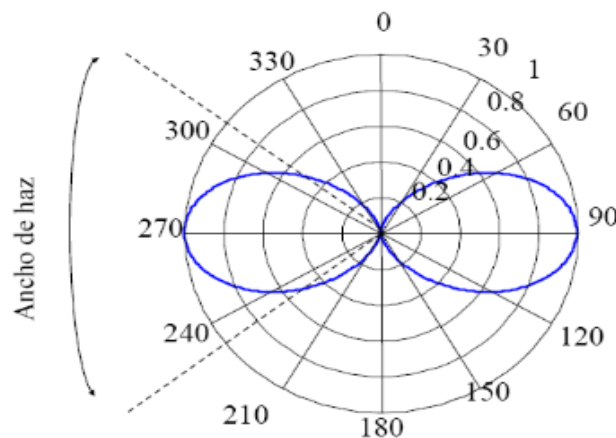


Figura. 14. Ancho de haz de media potencia (-3dB).

Fuente: (Huidrobo, 2012).

- **Polarización.-** se refiere a la polarización de los campos irradiados por una antena, se suelen clasificar en polarizaciones lineales y circulares, mismas que las que se encuentran en polarizaciones lineales se subclasifican en verticales y horizontales, cabe mencionar que una antena que se encuentra en polarización horizontal no tendrá chance alguno para comunicarse con una en polarización vertical, debido a la reciprocidad que poseen las antenas, deben transmitir y recibir emisiones de la misma manera, si dos antenas se encuentran levemente giradas en cualquier ángulo, este tendrá una pérdida de potencia dada por el factor de pérdida de polarización.

2.2.7.2. Tipos de antenas

2.2.7.2.1. Antenas isotrópicas

Se llaman así a las antenas que emiten radiación de potencia en todas las direcciones, aquí su diagrama de radiación se observa como una esfera perfecta, cabe recalcar que en la práctica este tipo de antenas no se pueden construir, debido a que para poder conseguir radiación en todas las direcciones por igual es necesario tener una corriente eléctrica concentrada en un punto adimensional, lo cual es físicamente imposible (Curotto, Espinosa, & Vergara, 2012).

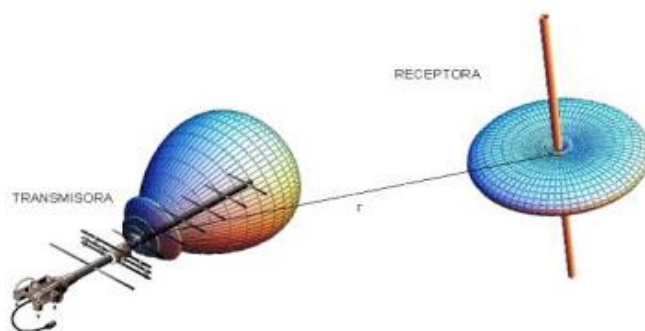


Figura. 15. Diagrama de radiación de una antena isotrópica.

Fuente: (Beltrán, 2014).

2.2.7.2.2. Antenas omnidireccionales

Estas antenas tienen como objetivo irradiar y recibir radiación en la mayor cantidad de direcciones, estas antenas suelen utilizarse cuando se requiere cubrir un área en la cual se encuentran varios receptores, por otra parte, esta cubre no solo una cobertura horizontal sino también vertical, por ende indica una cobertura de 360° , estas antenas se suelen usar para comunicaciones punto a multipunto.

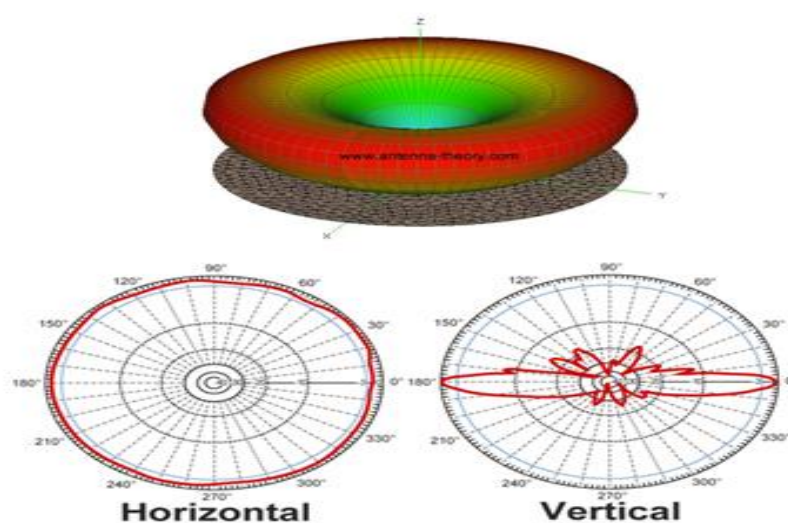


Figura. 16. Diagrama de radiación de una antena omnidireccional.

Fuente: (Beltrán, 2014).

2.2.7.2.3. Antenas direccionales

Este tipo de antenas irradian y reciben radiación en una dirección específica, descartando radiación alguna en las otras direcciones, estas antenas se las utiliza para transmitir una gran cantidad de información, dichas antenas emiten señal en una determinada dirección pero con mayor alcance, dado esto cuando una señal se encuentre fuera de la zona de cobertura no se podrá establecer comunicación alguna, existen varias antenas de este tipo entre las cuales se mencionan las antenas Yagi-Uda y las parabólicas.

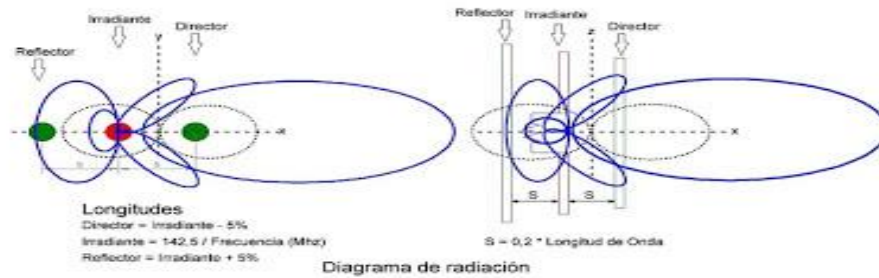


Figura. 17. Ejemplo de un diagrama de radiación de una antena Yagi-Uda.

Fuente: (Villar, 2013).

2.2.7.3. Modelos de antenas

2.2.7.3.1. Antena de Dipolo

Este tipo de antenas se construyen de manera sencilla, consiste en colocar dos cables a una distancia corta en un mismo eje, en el trabajo realizado en la Facultad de ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile por (Curotto, Espinosa, & Vergara, 2012), se menciona que los cables son alimentados por una fuente sinusoidal en un extremo y el otro queda libre, lo cual hace que las distribuciones de corriente en ambos puntos sean iguales, presenta un diagrama de radiación en forma de dona con una característica peculiar sin hueco central, las ventajas de utilizar este tipo de antenas es su fácil implementación y bajo costo que presenta, particularmente este tipo de antenas se los suele utilizar en antenas de radio, módems, routers y televisores, entre otros.

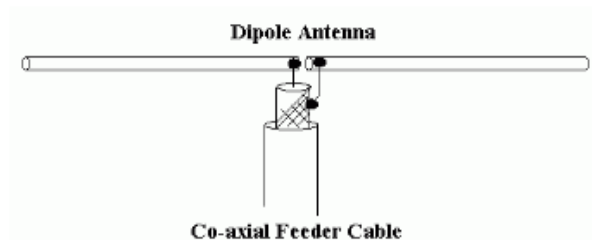


Figura. 18. Ejemplo de antena de dipolo.

Fuente: (Curotto, Espinosa, & Vergara, 2012).

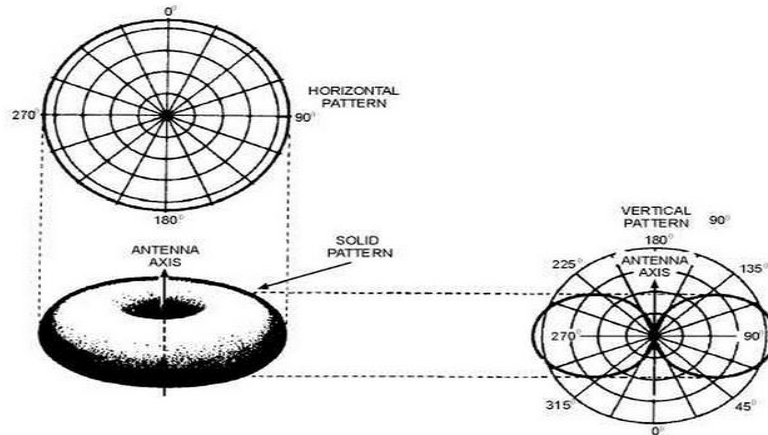


Figura. 19. Diagrama de radiación de una antena de dipolo.

Fuente: (Villalpando, 2000).

- **Antena de dipolo de media longitud de onda.** - Estos tipos de antenas poseen en cada cable un largo de un cuarto de longitud de onda de la señal que recibe por lo que el largo total de la antena es media longitud de onda (Curotto, Espinosa, & Vergara, 2012).

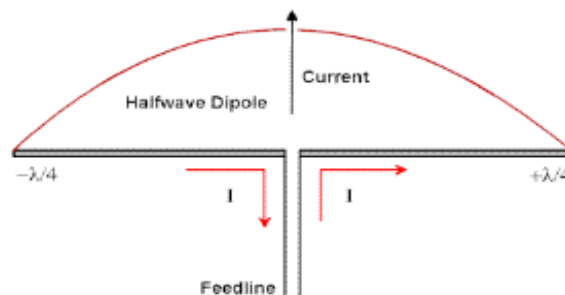


Figura. 20. Antena de dipolo de media longitud de onda.

Fuente: (Curotto, Espinosa, & Vergara, 2012).

- **Antena de monopolo.**- Estas antenas solo presentan un cable, el cual es el encargado de la radiación, y la otra parte es conectada a tierra, por el método de la imagen se puede comprobar que este tipo de antena tiene un comportamiento semejante al de

una antena de dipolo, pero con la mitad de potencia de irradiación, una de las ventajas que presentan estos tipos de antenas tiene que ver con la estabilidad que tiene en las superficies, se las suele utilizar en torres de transmisión de televisión y radio entre otras (Curotto, Espinosa, & Vergara, 2012).

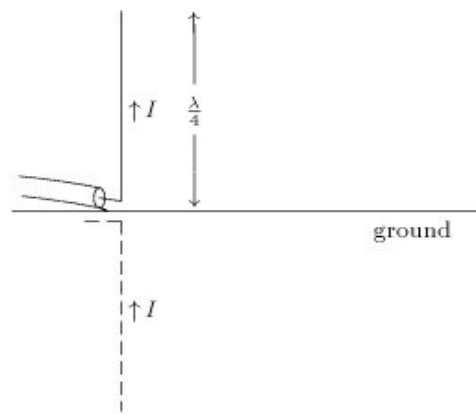


Figura. 21. Antena monopolo.

Fuente: (Curotto, Espinosa, & Vergara, 2012).

- **Antena de dipolo doblado.** - Este tipo de antenas tiene un comportamiento similar al de las antenas de dipolo, pero tiene la característica de aumentar el ancho de banda de la antena debido a que los extremos están conectados entre sí para formar un circuito cerrado.

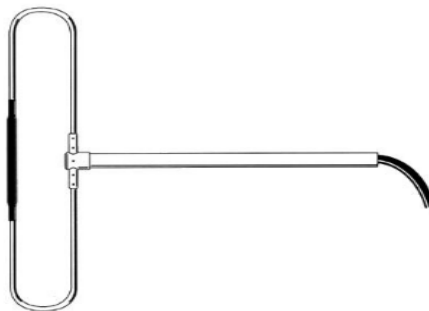


Figura. 22. Antena dipolo doblado.

Fuente: (Curotto, Espinosa, & Vergara, 2012).

2.2.7.3.2. Antena Yagi – Uda

La característica general de estas antenas es que posee un arreglo de antenas de dipolo colocadas en un mismo plano y paralelas entre sí, en estas antenas solo el dipolo más cercano es alimentado, dado a esto el dipolo más largo es conocido como reflector y a los otros se los denomina como directores, mismos que sirven para amplificar y darle dirección a la radiación, estas antenas se las utiliza particularmente en la recepción de señales de tv, los elementos directores son los que dirigen el campo eléctrico y los reflectores lo reflejan (Pérez Vega, 2007).

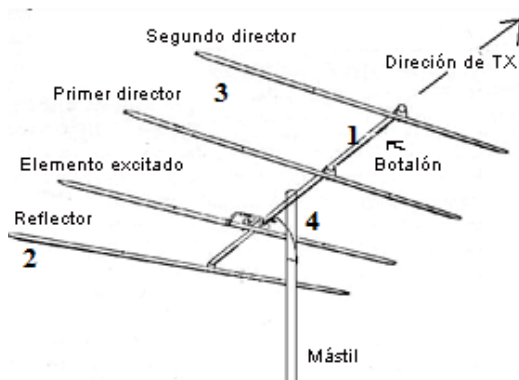


Figura. 23. Ejemplo de antena Yagi - Uda.

Fuente: (Curotto Franco, Espinosa Sebastián, Vergara Mario, 2012).

En esta figura se puede observar los elementos de una antena Yagi – Uda, el primero se refiere al elemento conductor (1), el segundo al elemento reflector (2), el tercero a los elementos directores (3) y el cuarto el cable de alimentación (4).

2.2.7.3.3. Antena Parabólica

La característica esencial de estas antenas es que poseen un plato parabólico, y una guía de onda apuntando al foco del plato parabólico, cuando la antena trabaja en modo de recepción la señal es recibida por el plato parabólico y después es transportada hacia la guía de onda, lo

contrario ocurre cuando trabaja como transmisor la guía de onda libera una señal y esta rebota en el plato parabólico y se transmite hacia el espacio, debido a las propiedades matemáticas que tiene la parábola la señal sale en línea recta, es decir paralela al plato, por esta razón la antena parabólica presenta una alta directividad, es utilizada en aplicaciones de telefonía, internet, comunicaciones por satélite y radio, entre otras.



Figura. 24. Antena parabólica.

Fuente: (Curotto, Espinosa, & Vergara, 2012).

CAPÍTULO 3

3. METODOS Y MATERIALES

En este capítulo se describe el entorno de programación que se utiliza para implementar la interface gráfica de comunicación con el usuario, se hace un análisis de los comandos que utilizan los equipos para la comunicación vía ethernet con la PC, se detallan los recursos tanto en software como hardware que se utiliza para la implementación de la interface, por último se detalla las características, uso, descripción y aplicaciones que tienen los equipos que se van a emplear (*R&S DDF255 – ADD196*).

3.1. Entorno de programación

3.1.1. Lenguaje C++

Existe una gran variedad de lenguajes de programación que se pueden utilizar para resolver varias necesidades en el ámbito de implementación de una interface gráfica, los mismos que son escogidos según sus recursos y capacidades, si bien es cierto hay muchos de ellos que se pueden utilizar en diferentes ámbitos para lo cual se ha previsto utilizar el entorno de programación de *Visual Studio*, debido a varias características con las que esta cuenta, tal como:

- Mejor capacidad de respuesta ante graficas en tiempo real.
- Utiliza menos memoria.

- Lenguaje de programación relativamente fácil.

Visual Studio es un conjunto de herramientas de desarrollo de software para crear aplicaciones tanto móviles, de escritorio y de servicios web, eficaces y de alto rendimiento, por lo tanto, se ha escogido el lenguaje de programación de C++ en *Visual Studio* para la implementación de dicha aplicación.

3.1.2. Comandos SCPI

Standard Commands for Programmable Instruments es un estándar que define un lenguaje para la comunicación con instrumentos basados en mensajes. La mayoría de buses de comunicación digital usan el SCPI pero además RS-232, ethernet, VXI, PXI. Dado esto, varios fabricantes de instrumentos de medición han adoptado este estándar para sus comunicaciones, lo mismo que permite al usuario/cliente cierta uniformidad de comunicación entre los diferentes dispositivos en nuestro caso vamos hacer una comunicación entre *PC* y equipo *DDF255* para lo cual se utilizarán dichos comandos propios del equipo.

3.1.2.1. Sintaxis de los comandos

Los comandos SCPI de un instrumento (*DDF255* de *Rohde Schwarz*) pueden realizar diferentes operaciones establecidas por ejemplo una operación de lectura de un voltaje del instrumento estas lecturas se envían al instrumento añadiendo al final de la línea de comandos un signo de interrogación, estos comandos se utilizan tanto para configurar como para consultar el estado del instrumento en diferentes áreas (Rohde & Schwarz, R&S@DDF255 Digital Direction Finder Accurate direction finding with measurement and analysis capabilities in a single unit.,

2017), la sintaxis de los comandos viene definida por los creadores de los instrumentos como por ejemplo:

```

:MEASure
    :VOLTage
        :DC?
        :AC?
    :CURRent
        :DC?
        :AC?
:SOURce:FREQuency:STARt 100;STOP 200

```

Todos estos comandos se los puede encontrar en el manual de cada producto en este caso vamos a utilizar el equipo de *Direction Finder* de *Rohde Schwarz* llamado *DDF-255* (Rohde & Schwarz, R&S®DDF255 Digital Direction Finder Accurate direction finding with measurement and analysis capabilities in a single unit., 2017).

3.1.2.2. Abreviación de Comandos

La sintaxis de los comandos muestra varias combinaciones entre mayúsculas y minúsculas, mismas que se pueden abreviar según las sintaxis del autor de cada instrumento, dicho esto el comando abreviado va a tener el mismo comportamiento que un comando sin abreviar, por ejemplo:

```
FREQuency:DEModulation 98.5 MHz
```

nos equivale a poner:

FREQ:DEM 98.5 MHz

3.1.2.3. Argumentos de los comandos

Algunos comandos requieren un argumento adicional. Los argumentos se los pone después del comando definido, y están separados por un espacio (Rohde & Schwarz, R&S®DDF255 Digital Direction Finder Accurate direction finding with measurement and analysis capabilities in a single unit., 2017). Por ejemplo, el comando para establecer el modo de activación de un instrumento en "normal" se puede dar como:

```
"TRIGger: MODE NORMal".
```

Aquí, la palabra "NORMal" se usa como argumento para el comando: "TRIGger: MODE".

3.1.2.4. Concatenación de comandos

Varios comandos pueden usualmente ser emitidos a un instrumento en una sola cadena, los mismos que pueden estar hechos de simples cadenas separados por un carácter punto y coma (;), por ejemplo, el comando que se utiliza para medir u voltaje DC y una corriente AC puede estar emitida por la siguiente línea de comandos:

```
MEASure:VOLTage:DC?;:MEASure:CURRent:AC?
```

Los comandos que comienzan con dos puntos (:), se interpretan con respecto a la raíz del árbol de comandos de lo contrario se refiere al último nodo del comando anterior tenemos el ejemplo de la siguiente línea de comandos:

```
:SOURce:FREQuency:START 100;STOP 200
```

misma que es una forma simplificada de escribir lo siguiente:

```
:SOURce:FREQuency:START 100;:SOURce:FREQuency:STOP 200
```

3.2. Recursos y Equipos

3.2.1. Recursos de Hardware

- Computadora HP: procesador intelCore i5 CPU 2.80 GHz/4GB /64bits OS: Windows 8.

3.2.2. Recursos de Software

- *Visual Studio Enterprise 2017*

3.2.3. DDF-255 Digital Direction Finder

3.2.3.1. Uso

Fue diseñado para tareas de identificación y monitoreo espectral de señales; de acuerdo con las recomendaciones de la UIT, este equipo es adecuado para uso móvil y estacionario. El *R & S DDF255* está listo para cumplir los requisitos de un receptor de señal y la tecnología de análisis. Con varias opciones disponibles de manejo, *el R & S DDF255* se puede adaptar de manera óptima a las tareas que se deseen realizar. Las ranuras libres y la capacidad de rendimiento suficiente en el procesamiento de la señal permiten expandir el dispositivo para tareas futuras. Al agregar la opción de búsqueda de dirección, el *R & S DDF255* se convierte en un buscador completamente desarrollado de dirección de un solo canal (Rohde & Schwarz, Digital UHF/VHF Monitoring Direction Finder, 2006).

3.2.3.2. Descripción

La versión básica del *R & S DDF255* cubre un rango de frecuencia desde 20 MHz a 3.6 GHz, posee varios módulos que se pueden adquirir para expandir el rango de frecuencia entre 9

KHz hasta 26.5 GHz, cuenta con un ancho de banda en tiempo real de 20 MHz, con pantalla a color, todas las funciones del equipo pueden ser controladas en forma remota vía la interface LAN, todos los resultados de medición incluido los datos del espectro se envían a través de la interface.

El equipo presenta las siguientes características:

- Descripción de las actividades en un rango de frecuencias establecido por el usuario.
- Monitoreo de frecuencias.
- Almacenamiento de hasta 10000 frecuencias.
- Búsqueda de interferentes en un rango de frecuencias definido (frecuencia inicial, final y ancho de banda predefinidos).
- Detección de transmisores ilegales.
- Monitoreo de servicios de radio y navegación que son relevantes para la seguridad.
- Monitoreo de emisiones seleccionadas.
- Mediciones de cobertura y monitoreo de redes.
- Análisis de señales digitales.
- Detección de ángulo de arribo de señales electromagnéticas.

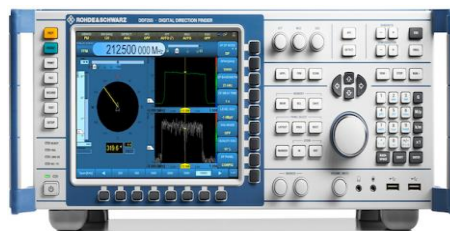


Figura. 25. Panel frontal DDF-255.

Fuente: (R & S DDF255, 2010).



Figura. 26. Panel posterior DDF - 255.

Fuente: (R & S DDF-255, 2010).

3.2.3.3. Aplicaciones

3.2.3.3.1. Búsqueda utilizando espaciado de canales

Esta función “*frequency Scan*” y “*Panorama Scan*” permite realizar búsquedas utilizando un espaciado de canal fijo, el receptor escanea el rango de frecuencia y analiza cada canal para su ocupación, estas señales recibidas pueden ser sometidas a una demodulación, en el caso que la señal sea audible se la puede escuchar por el altavoz o por audífonos, estas funciones están especialmente diseñadas para la monitorización de servicios de radio que emplean un espaciado de frecuencia fijo (Rohde & Schwarz, Monitoring Direction Finder DDF255, 2010).

3.2.3.3.2. Búsqueda de frecuencias específicas

La función “*Memory Scan*” es usada para escanear una serie de canales predefinidos y analizarlo para luego ocuparlos, las señales recibidas también pueden ser demoduladas, En este modo, los parámetros tales como la frecuencia, el modo de demodulación, el ancho de banda o los niveles de silenciamiento pueden configurarse individualmente para cada canal, dado esto lo

contenido por cada canal puede transferirse al receptor manualmente, tan solo usando la tecla RCL que se encuentra en el panel frontal del equipo (ver figura 25).

3.2.3.3.3. Demodulación y análisis

Las señales analógicas moduladas se demodulan, en el equipo, si la señal es audible se la puede escuchar mediante el altavoz incorporado o a través de auriculares. El equipo nos proporciona una gran cantidad de funciones, como detección del modo de modulación, análisis espectral de la señal, detección del pico más alto de la señal, entre otras funciones.

3.2.3.3.4. Análisis del sistema de datos de radio (RDS)

El contenido de la señal se demodula y decodifica, los resultados se envían a la pantalla o a una PC externa de ser el caso a través de una conexión LAN. Mensajes como el nombre de la estación, listas de frecuencia, información de tráfico, entre otros, se pueden mostrar mediante la operación de los datos recibidos.

3.2.3.3.5. *Direction Finding* de emisiones

Además de la detección, también se puede detectar la dirección desde la cual se origina una señal de interés, dado que es un criterio importante en la monitorización radiológica. Cuando se activa la opción de DF en el equipo *R & S DDF255* se puede usar como un buscador de dirección de un solo canal, además de detectar la dirección de arribo de la señal nos permite observar calidad con la que la señal es detectada, y también el nivel de potencia con el que se encuentra la señal. Si se conectan en red dos o más estaciones, también se puede determinar la ubicación del emisor. La opción de búsqueda de dirección consiste en un kit de instalación para el receptor. La

antena de búsqueda de dirección correspondiente debe seleccionarse por separado (*Rohde Schwarz, 2010*), Para verificar más funciones y características del equipo puede observar el manual de usuario del mismo (*Rohde Schwarz, 2010*).

3.2.4. Antena VHF/UHF ADD – 196

3.2.4.1. Características

Este equipo posee una alta precisión y sensibilidad DF (*Direction Finding*), así como alta inmunidad a las reflexiones debido a la gran cantidad de elementos de antena que posee, cuenta con un arreglo de 9 antenas colocadas circularmente, opera en el rango de frecuencias de 20 MHz hasta 1.3 GHz con polarización vertical.



Figura. 27. Estructura externa antena R&S ADD-196.

Posee elementos de antena con longitud eléctrica variable para la adaptación automática a la frecuencia de recepción actual, al igual que una protección eficaz contra rayos integrada con extensión opcional para aplicaciones con alta probabilidad de exposición rayos, también posee elementos de antena con conmutación activa / pasiva para adaptación al entorno de señal (R&S®ADDx, 2014).

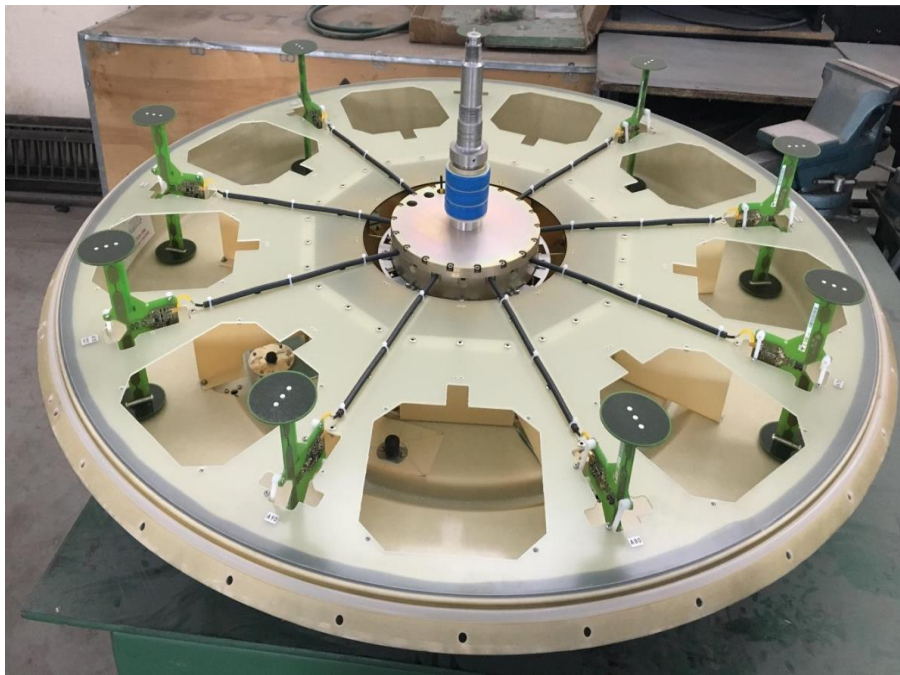


Figura. 28. Estructura interna antena R&S ADD-196.

La antena ADD196 se caracteriza por no pesar mucho y poseer un tamaño compacto. Esta antena es adecuada tanto para uso móvil como estacionario y puede operarse incluso en condiciones ambientales adversas. Posee un pararrayos montado en la parte superior, dado esto está protegido contra rayos directos hasta una altura del mástil de 20, para la recepción posee nueve elementos DF verticales con una longitud de los dipolos aproximados de 0.2m.

La antena ADD196 posee un conector tipo N para el canal DF, la antena es controlada por el procesador DF a través de una interface serie RS485 y una interface paralela RS422.

3.2.4.2. Especificaciones

Tabla 5:

Especificaciones de la antena ADD196.

Rango de frecuencias	20 a 1300MHz
Tipo de antena	Arreglo circular de 9 elementos para procesamiento de señales de un solo receptor
Polarización	Vertical
Impedancia nominal	50Ω.
Error DF de 20 a 80 MHz	≤ 2° RMS
Error DF de 80 a 1300 MHz	≤ 1° RMS
Sensibilidad DF de 20 a 80 MHz	13 μV/m a 2 μV/m
Sensibilidad DF de 80 a 1300 MHz	< 2 μV/m

CAPÍTULO 4

4. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se da a conocer el estado en el cual fue encontrado el sistema (*R&S DDF255 – ADD196*), cual fue el procedimiento que tuvo lugar para poner en operación el sistema, de igual manera se dan a conocer los pasos a seguir para verificar que el sistema está trabajando en condiciones óptimas, las pruebas realizadas tanto en interiores como en exteriores, también se detalla la demostración matemática que se dio lugar para la interferometría correlativa de un solo canal también se detalla la metodología que se siguió para implementar la interface gráfica de comunicación de RDF (*Radio Direction Finding*), tanto protocolo de comunicación, diagrama de bloques de la interface y creación de clases para el entorno, también se detalla los resultados obtenidos en el campo con la interface implementada, y por último se muestran las pruebas de los retardos que se obtienen en la visualización de los datos.

4.1. Puesta en operación del equipo

Se efectúa un estudio detallado del estado en el que se encuentran los equipos con los cuales se va a contar, al igual que un análisis de los estados físicos y funcionamiento de los equipos.

Los equipos fueron encontrados en total desuso en los patios del hangar CICTE, mismos que contaban con cables de comunicación, protector para la antena, un pararrayos y un trípode para uso específico de la antena *R&S ADD196*, se debe tomar en cuenta que no solo la operabilidad de los equipos es esencial, sino que también los años de fabricación, los repuestos que estos exijan en caso de algún daño o avería frente a un mal funcionamiento o utilización de los equipos.

4.1.1. Estado actual del equipo

El sistema consta de un equipo digital de monitoreo y detección de ángulo de arribo de señales electromagnéticas denominado *R&S DDF255*, desarrollado por la corporación *Rohde Schwarz* y una antena para *VHF/UHF* desarrollada por la misma corporación denominada *R&S ADD196*.

4.1.1.1. Características del sistema (*R&S DDF255 – ADD196*)

Tabla 6:
Características Equipo (R&S DDF255).

Cobertura de Frecuencia para monitoreo espectral.	20 MHz a 3.6GHz
Tamaño Pantalla.	8.4"
Formato de señal.	AM, FM, SSB, PULS, PM, IQ, ISB, USB, LSB, TV.
Ancho de Banda.	100Hz a 20MHz
Técnica de DF.	Interferometria correlativa de un canal.
Alimentación en AC.	100 V a 240 V y 3.5 A a 1 A
Temperatura de operación.	-10 °C a 55 °C

Fuente: (*R&S@DDF-255*, 2010).

Tabla 7:
Características equipo (R&S ADD196).

Cobertura de Frecuencia.	20 MHz a 1.3GHz
Polarización	Vertical
Arreglo de Antenas	Circular
N° Antenas	9

Fuente: (R&S®ADDx, 2014).

Dado esto se procede a realizar las pruebas necesarias a los equipos para verificar su correcto funcionamiento, el equipo (R&S DDF255), se encuentra fuera de funcionamiento y la antena (R&S ADD196) presenta señales de haber sido abierta y revisada su estructura interna, sin embargo, cabe recalcar que los equipos se encuentran en óptimas condiciones mas no en funcionamiento.

Para poner en operación al sistema R&S DDF255 – ADD196, se procedió a investigar sobre cada uno de los manuales de uso y funcionamiento que poseía cada equipo, con esto dando lugar al manejo óptimo del equipo, para verificar el funcionamiento correcto de los equipos se procedió a realizar varias pruebas de campo en dos escenarios tanto en interiores (Hangar CICTE), como en exteriores (Estadio ESPE), cabe recalcar que los resultados obtenidos fueron los favorables y esperados, dando lugar a la conclusión que el sistema conformado por los equipos (R&S DDF255 – ADD196), está trabajando en condiciones normales, con esto dando resultado a la puesta en operación del sistema.

4.2. Pruebas realizadas

Para realizar las pruebas el equipo R&S ADD196, antena VHF/UHF posee un compás en su parte inferior el cual debe ser calibrado de la siguiente manera.

4.2.1. Calibración del compás

Se procede a ubicar el trípode de la antena de manera correcta, utilizando un nivel en varias posiciones del mismo (ver figura 29, 30), de tal manera que la antena quede equilibrada, se traza una circunferencia concéntrica en el punto medio del mismo, para la calibración se necesita rotar la antena 360°, tomando medidas a pasos de 45°, con lo cual se procede a inscribir en la circunferencia un octágono (ver figura 31), los datos son registrados en el equipo cada vez que el norte de la antena cruce por un vértice de la figura inscrita en la circunferencia.

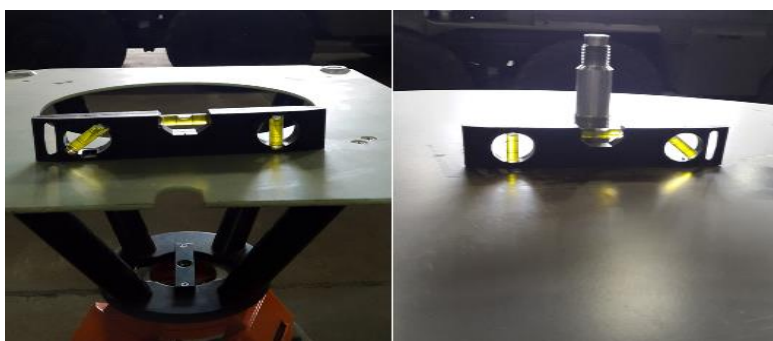


Figura. 29. Nivelando tripode de la antena R&S ADD196.



Figura. 30. Nivelando tripode de antena R&S ADD196.

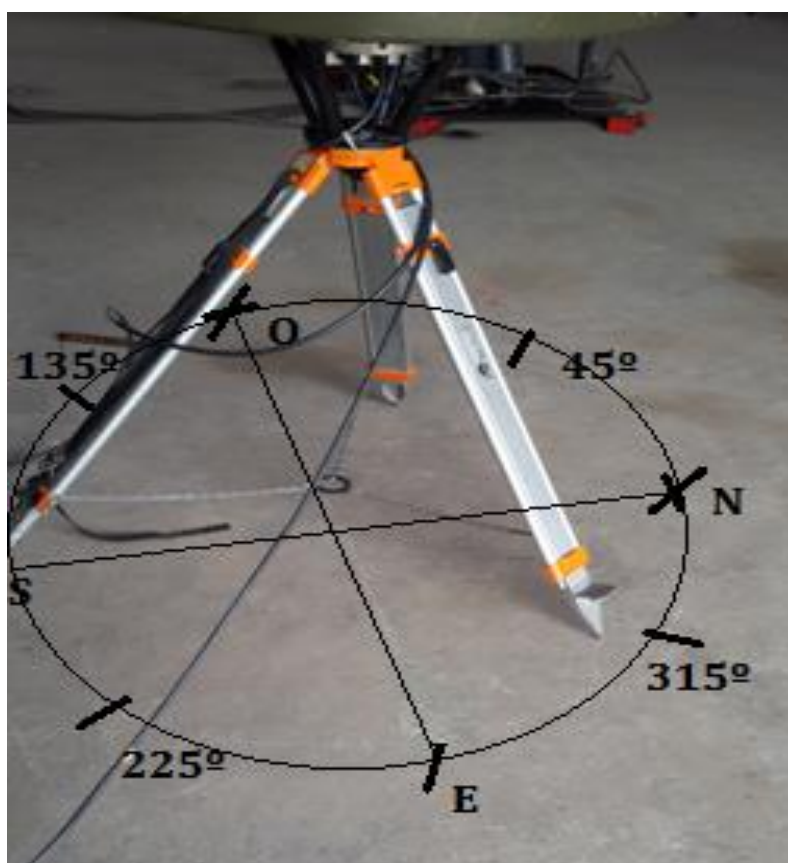


Figura. 31. Escenario de calibración del compás de la antena.

4.2.2. Pruebas en interiores

El procedimiento a seguir es el siguiente, para generar señales hacemos uso de una antena log-periódica ubicada primero en polarización vertical y luego en polarización horizontal, un generador de señales con alta potencia (ver figura 32) llamado “*E4438C ESG Vector Signal Generator*”, se procede a conectar la antena *R&S ADD196*, seguido de esto de igual manera se ubica en un lugar arbitrario la antena log-periódica acompañada de un plato parabólico y el equipo generador de señales (ver figura 33).

Para verificar el correcto funcionamiento del sistema se procede a generar señales en 600, 700, 800, 900 y 1000 MHz, dado esto en el equipo *R&S DDF255*, se procede a monitorear las señales y a emplear la aplicación de DF del mismo, con lo cual tendremos lecturas de detección del ángulo de arribo de las señales generadas, aquí se procede a verificar que en todo el rango de señales generadas tenemos las mismas lecturas del ángulo de arribo con lo cual se llega a la conclusión que el sistema (*R&S DDF255 – ADD196*), está funcionando de manera correcta.



Figura. 32. Equipo (Ant. Log-Periódica con plato parabólico y Generador de señales) para generación de señales.



Figura. 33. Escenario de pruebas - Interiores.

4.2.2.1. Resultados obtenidos



Figura. 34. Resultados obtenidos para 500 y 600 MHz en primera posición 30°.



Figura. 35. Resultados obtenidos para 700 y 800 MHz en segunda posición 10°.



Figura. 36. Resultados obtenidos para 900 y 1000 MHz en segunda posición 10°.

Tabla 8:
Datos obtenidos para el escenario en interiores

Polarización	Frecuencia [MHz]	Calidad DF [%]	Angulo de Arribo [°]
Vertical	600	91.2	7.4
	700	83.5	9.5
	800	87.4	10.0
	900	88.2	10.1
	1000	90.9	7.0
Horizontal	600	43.6	31
	700	51.6	41.1
	800	57.3	56.8
	900	43.2	67.4
	1000	58.1	280

En función del ángulo de arribo se verifica que la obtención de las mediciones tiene un desempeño confiable para las dos posiciones que se pusieron en prueba, por otro lado, cabe recalcar que en el escenario planteado existen reflexiones debido a la dimensión de la estructura.

4.2.3. Pruebas en exteriores

El procedimiento es similar al planteado en pruebas para interiores, de la misma forma se procede a generar señales de 500, 800 y 1000 MHz, en cuatro posiciones Norte, Sur, Este y Oeste, dado esto en el equipo *R&S DDF255*, se procede a monitorear las señales y a emplear la aplicación de DF del mismo, con lo cual se harán visibles las lecturas de detección del ángulo de arribo de las señales generadas (Berrones, y otros, 2017), aquí se procede a verificar que en todo el rango de señales generadas tenemos las mismas lecturas del ángulo de arribo con lo cual de la misma forma se llega a la conclusión que el sistema (*R&S DDF255 – ADD196*), está funcionando de manera adecuada.



Figura. 37. Escenario de pruebas - Exteriores.



Figura. 38. Escenario en exteriores para las pruebas.

4.2.3.1. Resultados obtenidos

Tabla 9:

Datos encontrados para señal generada a frecuencia = 100MHz

Posición Tx	Polarización			
	Vertical		Horizontal	
	Quality DF [%]	Angle Arrival[°]	Quality DF [%]	Angle Arrival[°]
0°	97.6	9.2	92.9	17.4
90°	97.3	97.6	90.4	105.3
180°	98.2	188.6	91.3	196.1
270°	97.1	275	91.9	283.4

Tabla 10:

Datos encontrados para señal generada a frecuencia = 500MHz

Posición Tx	Polarización			
	Vertical		Horizontal	
	Quality DF [%]	Angle Arrival[°]	Quality DF [%]	Angle Arrival[°]
0°	91.6	0.8	58.6	15.6
90°	82.7	91.3	78.1	100.3
180°	97.7	182.0	63.4	190.1
270°	92.4	275.8	54.7	285.2

Tabla 11:

Datos encontrados para señal generada a frecuencia = 1000MHz

Posición Tx	Polarización			
	Vertical		Horizontal	
	Quality DF [%]	Angle Arrival[°]	Quality DF [%]	Angle Arrival[°]
0°	92.8	3.3	60.2	1
90°	89.6	93.0	43.8	93
180°	95.9	181.0	60.2	190
270°	72.6	276.0	64.8	278

Con los resultados obtenidos en las pruebas realizadas planteando un escenario cuyo sistema receptor (*R&S DDF255 – ADD196*), se encuentra en el estadio de la ESPE y el sistema

transmisor (antena Log-Periódica y Equipo Generador de señales Anritsu) se encuentra distanciados 5m, se encuentran resultados favorables en cada una de las pruebas tomadas, cabe recalcar que las mediciones tomadas presentan un leve error debido a las interferencias que se presentan con el sistema transmisor, ya que este es rotado manualmente, sin embargo, se puede verificar el correcto funcionamiento del sistema (*R&S DDF255 – ADD196*).

4.3. Modelo matemático

4.3.1. Demostración de la interferometría correlativa de un solo canal

4.3.1.1. Interferometría correlativa de un solo canal

El método de interferometría correlativa mencionado por (Vaclav & Richterova, 2015), con un solo canal, se basa en la determinación de las diferencias de fase entre un elemento de referencia y los otros elementos de la antena del sistema de DF.

Para el efecto, la señal del elemento de referencia se suma a la señal de otro elemento que es procesado secuencialmente por 4 desfasadores (0° , 90° , 180° y 270°), conforme se ilustra en la figura 39, dando como resultados 4 diferentes amplitudes (A_1 , A_2 , A_3 y A_4). Esto se realiza para cada uno de los demás elementos de la antena.

Considerando que:

φ : Desfasaje entre las señales

A1: Elemento referencia + Elemento N con desfase 0°

A2: Elemento referencia + Elemento N con desfase 90°

A3: Elemento referencia+ Elemento N con desfase 180°

A4: Elemento referencia+ Elemento N con desfase 270°

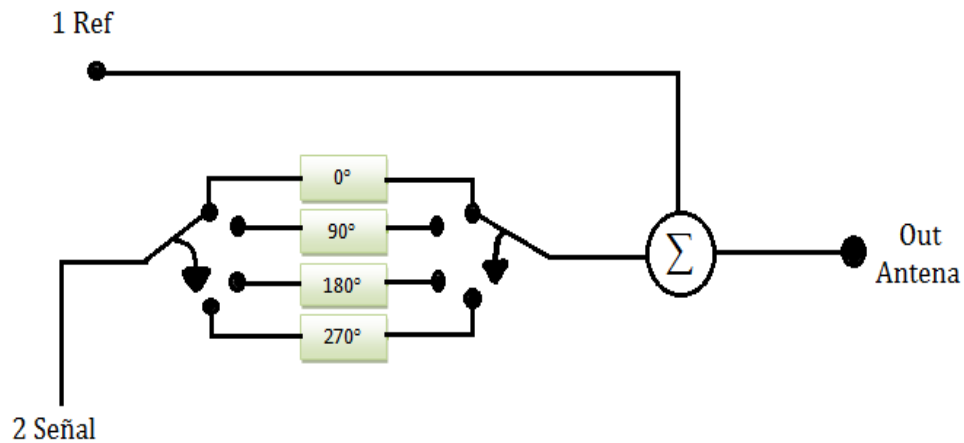


Figura. 39. Diagrama de bloques del sistema a utilizar para la demostración.

Según (Rohde Schwarz, 2010) es posible obtener φ con la siguiente expresión:

$$\varphi = -\tan^{-1}\left(\frac{|A2|^2 - |A4|^2}{|A1|^2 - |A3|^2}\right) \quad (1)$$

4.3.1.2. Demostración matemática de la expresión usada para determinar el desfasaje entre las señales

Para la demostración, partimos de la hipótesis que las amplitudes $A1$, $A2$, $A3$ y $A4$ pueden expresarse de la siguiente manera:

$$A1 = A \cos(2\pi ft) + A \cos(2\pi ft + \varphi + 0^\circ)$$

$$A2 = A \cos(2\pi ft) + A \cos(2\pi ft + \varphi + 90^\circ)$$

$$A3 = A \cos(2\pi ft) + A \cos(2\pi ft + \varphi + 180^\circ)$$

$$A4 = A \cos(2\pi ft) + A \cos(2\pi ft + \varphi + 270^\circ)$$

Donde A es la amplitud de la señal que llega al sistema de la antena y que supuestamente es la misma para todos sus elementos y f es la frecuencia de la portadora, con esto:

Procedemos a realizar las operaciones matemáticas para su demostración:

$$|A2|^2 = A^2 \cos^2(2\pi ft) - 2A^2 \cos(2\pi ft) \sin(2\pi ft + \varphi) + A^2 \sin^2(2\pi ft + \varphi)$$

$$|A4|^2 = A^2 \cos^2(2\pi ft) + 2A^2 \cos(2\pi ft) \sin(2\pi ft + \varphi) + A^2 \sin^2(2\pi ft + \varphi)$$

$$|A2|^2 - |A4|^2 = -4A^2 \cos(2\pi ft) \sin(2\pi ft + \varphi)$$

$$|A1|^2 = A^2 \cos^2(2\pi ft) + 2A^2 \cos(2\pi ft) \cos(2\pi ft + \varphi) + A^2 \cos^2(2\pi ft + \varphi)$$

$$|A3|^2 = A^2 \cos^2(2\pi ft) - 2A^2 \cos(2\pi ft) \cos(2\pi ft + \varphi) + A^2 \cos^2(2\pi ft + \varphi)$$

$$|A1|^2 - |A3|^2 = 4A^2 \cos(2\pi ft) \cos(2\pi ft + \varphi)$$

Reemplazamos los valores:

$$\frac{|A2|^2 - |A4|^2}{|A1|^2 - |A3|^2} = \frac{-4A^2 \cos(2\pi ft) \sin(2\pi ft + \varphi)}{4A^2 \cos(2\pi ft) \cos(2\pi ft + \varphi)}$$

Simplificando los cosenos y sabiendo que seno sobre coseno da tangente obtenemos la expresión (6) siguiente que es la utilizada para detectar el desfase entre las 2 señales.

$$\frac{|A2|^2 - |A4|^2}{|A1|^2 - |A3|^2} = -\tan(2\pi ft + \varphi) \quad (6)$$

La expresión obtenida, bajo los supuestos realizados, es la misma que la indicada en (*Rohde Schwarz*, 2010). Con esto queda demostrado que la hipótesis de los cuatros amplitudes A_1, A_2, A_3 y A_4 es correcta, lo que nos permite establecer que, si el sistema *R&S DDF-255* está sintonizado a una frecuencia ligeramente diferente de f , por ejemplo, $f \pm \Delta f$, el ángulo de arribo así obtenido tendrá un error, igual ocurrirá un error si el parámetro ancho de banda es mayor o menor a la de la señal de interés. La evaluación de campo utiliza estos conceptos para interpretar adecuadamente el parámetro llamado Calidad de DF (expresado en porcentaje).

4.4. Implementación de interface HDMI de RDF

4.4.1. Protocolos de comunicación

Los procesos que se ejecutan en un equipo requieren obtener o enviar información a un equipo diferente, para lograr esto se utilizan los protocolos de comunicación TCP y UDP.

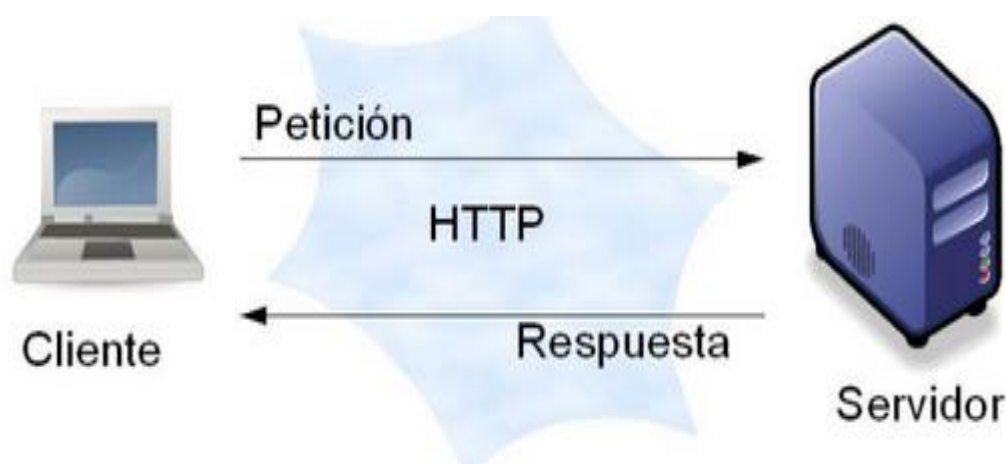


Figura. 40. Ejemplo de protocolo de comunicación entre dos equipos.

Fuente: (Bonilla, 2012).

4.4.1.1. TCP

El protocolo TCP llamado *Transmission Control Protocol* establece una vía de comunicación punto a punto entre dos equipos, es decir, cuando se requiere la transmisión de un flujo de datos entre dos equipos, el protocolo TCP establece una vía exclusiva entre dichos equipos por el cual los datos serán transmitidos y este perdurará hasta que la transmisión haya finalizado, dado esto se garantiza la certeza de que los datos lleguen de un punto al otro en el orden enviado, por lo cual se denomina un protocolo orientado a la conexión (Bonilla, 2012).

4.4.1.2. UDP

También existe el protocolo no orientado a la conexión denominado UDP, este se llama así debido a que la forma de transmisión de los datos no garantiza la llegada de los mismos a su destino, y en el caso que los datos lleguen al destino este protocolo no garantiza la integridad de los datos, esto quiere decir que no se llega a saber si los datos recibidos son correctos, ya que la comunicación de los equipos no es exclusiva como en TCP, además utiliza datagramas, los cuales contienen una porción de la información y que son enviados a la red en espera de ser capturados por el equipo destino. Cuando el destino captura los datagramas debe reconstruir la información, para esto debe ordenar la información que recibe ya que la información transmitida no viene con un orden específico, además se debe tener conciencia de que no toda la información va a llegar (Bonilla, 2012).

4.4.2. Sockets

Los sockets no son más que una forma de comunicación entre procesos que se encuentran en máquinas diferentes en una misma red, estos sockets nos proporcionan un punto de comunicación por el cual se pueden enviar o recibir información, se puede decir que los sockets tienen un ciclo de vida dependiendo si son sockets de un servidor o un cliente, los sockets de un servidor tienen que estar a la espera de un cliente para entablar comunicación o de manera inversa un socket de cliente tiene que estar a la espera de un socket servidor para establecer comunicación, a continuación se muestra el diagrama a seguir para la comunicación entre cliente y servidor para un proceso.

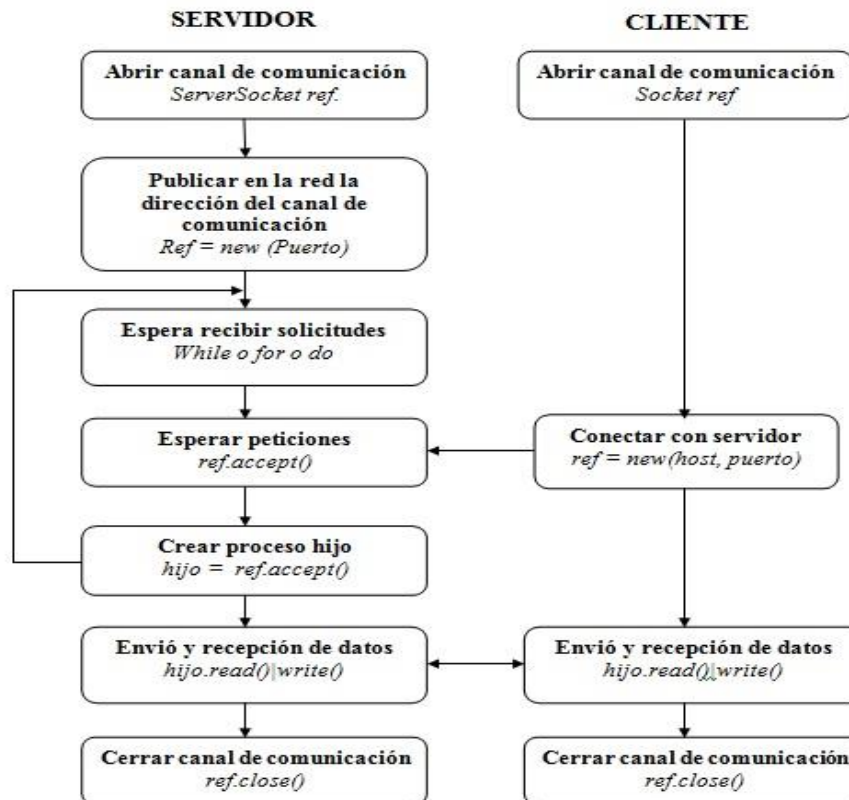


Figura. 41. Diagrama de bloques cliente - servidor para crear un socket.

Fuente: (Bonilla, 2012).

4.4.2.1. Clases para Sockets TCP

A continuación, se muestran algunas de las clases que se utilizan para crear un socket TCP.

Tabla 12:
Clases para sockets TCP

Clase	Descripción
Socket	Esta clase implementa sockets del cliente Un socket es uno de los extremos en la comunicación entre dos máquinas.
ServerSocket	Esta clase implementa sockets del servidor. Un socket del servidor espera a que una solicitud provenga de la red; lleva a cabo determinadas operaciones basadas en la solicitud recibida; y entonces, posiblemente, retorna un resultado al solicitante.

Fuente: (Bonilla, 2012).

4.4.2.2. Clases para Sockets UDP

A continuación, se muestran algunas de las clases que se utilizan para crear un socket UDP.

Tabla 13:
Clases para sockets TCP

Clase	Descripción
DatagramPacket	Esta clase representa un paquete datagrama, los paquetes datagramas son usados para implementar el servicio de entrega de paquetes sin conexión. Cada mensaje es enrutado desde una máquina a otra, únicamente. Cuando se envían múltiples paquetes de una máquina a otra, estos pueden seguir diferentes rutas, y pueden llegar en cualquier orden.
DatagramSocket	Esta clase representa un socket para enviar y recibir paquetes datagrama.

Fuente: (Bonilla, 2012).

4.4.3. Diagrama de bloques de la interface

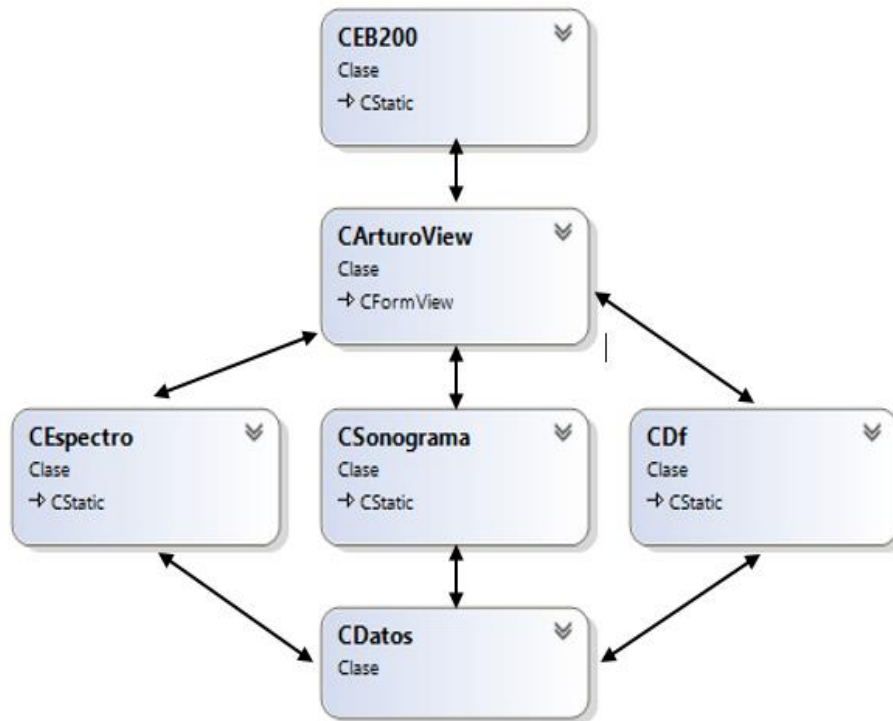


Figura. 42. Diagrama de bloques de la interface de comunicación.

4.4.4. Creación de Clases

Se ha creado un programa con varias clases mostradas en el diagrama anterior, mismas que se van a detallar a continuación el funcionamiento de cada una.

4.4.4.1. Clase ArturoView

Es la clase principal en la que se adjuntan todas las clases para realizar las configuraciones necesarias en el sistema *DDF255 – ADD196* ejecutadas por el usuario.

Tabla 14:
Métodos de la clase ArturoView

Métodos	Función
C ArturoView()	Constructor de la clase tiene como función inicializar los valores a ser configurados al iniciar la interface.
~C ArturoView()	Destructor de la clase tiene como función desconectar la comunicación entre el equipo R&S DDF255 y el ordenador mediante el socket.
void DoDataExchange(CDataExchange* pDX);	Genera la compatibilidad DDX(datos externos)/DDV(datos miembros de la clase).
void OnInitialUpdate();	Llama los datos del constructor de la clase por primera vez para ser inicializados.
bool Leer_ConfigFile(const char* nombre);	Devuelve los parámetros (IP,Puerto) del equipo después de abrir el archivo config.txt que los contiene.
void InitAll();	Establecer la comunicación entre sistema y el ordenador mediante un socket e inicializa los mapas de memoria para empezar a graficar.
void OnInicio();	Inicializa los parámetros principales del sistema (frecuencia, demodulación, SPAN, frecuencia central, ancho de banda, FFT)

Tabla 15:
Objetos de la clase ArturoView

Objetos	Función
CEspectro m_espectro;	Llama a los métodos creados en la clase espectro.
CEB200 m_equipo;	Llama a los métodos creados en la clase CEB200.
CGama m_gama;	Llama a los métodos creados en la clase gama.
CSonograma m_sonograma;	Llama a los métodos creados en la clase Sonograma.
CDf m_df;	Llama a los métodos creados en la clase DF.

Tabla 16:
Variables de la clase ArturoView

Variable	Función
bool m_conectado;	Verifica la conexión entre el equipo y el ordenador.
float Espectro[ESCALA_X];	Utilizado para almacenar los datos para graficar el espectro.

CONTINÚA 

<code>float DF[DF_X];</code>	Utilizado para almacenar la cadena de datos para graficar la parte de DF.
<code>CString m_IP;</code>	Utilizado para almacenar la IP obtenida del archivo config.txt
<code>CString m_puerto;</code>	Utilizado para almacenar el puerto obtenido del archivo config.txt
<code>int pantalla;</code>	Utilizado para cambiar la presentación de la interface ejemplo (pantalla = 1, Se visualiza el espectro y DF), (pantalla = 2, Se visualiza el espectro) y (pantalla = 3, Se visualiza el DF).
<code>float FreqCen;</code>	Utilizado para almacenar la frecuencia central configurada desde la interface gráfica.
<code>float m_freqIni;</code>	Utilizado para almacenar y mostrar en pantalla la frecuencia inicial en función del SPAN y la frecuencia central.
<code>float m_freqFin;</code>	Utilizado para almacenar y mostrar en pantalla la frecuencia final en función del SPAN y la frecuencia central.

Tabla 17:
Componentes de la Interface de la Clase ArturoView

Componentes de la interface	Función
<code>afx_msg void OnBnAtras();</code>	Botón para cambio de frecuencia de forma ascendente.
<code>afx_msg void OnBnAdlante();</code>	Botón para cambio de frecuencia de forma descendente.
<code>afx_msg void OnTimer(UINT_PTR nIDEvent);</code>	Timer utilizado para actualizar los datos de las gráficas.
<code>afx_msg void OnBnClickedBtfreqc();</code>	Botón para aplicar las configuraciones.
<code>afx_msg void OnBnClickedR50();</code>	Radio Buttons utilizados para seleccionar el ancho de banda.
<code>afx_msg void OnBnClickedR75();</code>	
<code>afx_msg void OnBnClickedR150();</code>	
<code>afx_msg void OnBnClickedR250();</code>	
<code>afx_msg void OnBnClickedCham();</code>	
<code>afx_msg void OnBnClickedChfm();</code>	Check- box para seleccionar la FFT.
<code>afx_msg void OnBnClickedChmin();</code>	
<code>afx_msg void OnBnClickedChmax();</code>	
<code>afx_msg void OnBnClickedChave();</code>	Botones para cambiar pantallas.
<code>afx_msg void OnBnClickedBtnespectro();</code>	
<code>afx_msg void OnBnClickedBtndf();</code>	
<code>afx_msg void OnBnClickedBtnesdf();</code>	
<code>afx_msg void OnCbnSelchangeBoxspan();</code>	

4.4.4.2. Clase EB200

Esta clase enviar los comandos *SCPI* para configurar y obtener la cadena de datos que contralan al sistema *R&S DDF255 – ADD196* tanto en monitoreo como en *Direction Finding*.

Tabla 18:
Métodos de la clase EB200

Métodos	Función
bool ConectarSocket(CString m_IP, CString m_puerto);	Verifica si se estableció la conexión mediante el socket.
bool DesconectarSocket();	Verifica si a terminado la conexión del socket.
void SendString(LPCSTR str);	Envía una petición al sistema mediante los comandos SCPI.
bool Init();	Envía los comandos SCPI para inicializar los parámetros deseados en las memorias (IFPAN, MTRACE) a ser utilizadas del sistema.
bool LeerSocket();	Recibe y almacena la cadena de datos que ha sido pedida al sistema en un buffer.
void SetFrequency(double freq);	Envía el comando SPCI para configurar la frecuencia del sistema.
void SetSpan(double span);	Envía el comando SPCI para configurar el SPAN del sistema.
void SetBW(double bw);	Envía el comando SPCI para configurar el ANCHO DE BANDA del sistema.
void SetStep(double step);	Envía el comando SPCI para configurar el STEP del sistema.
void SetPantalla(int pan);	Envía el comando SPCI para seleccionar la aplicación del sistema (MONITOREO, DF).
void GetVideoData();	Envía el comando SPCI para recibir la cadena de datos del MONITOREO del sistema.
void GetVideoDataDF();	Envía el comando SPCI para recibir la cadena de datos de DF del sistema.

Tabla 19:
Variables de la clase EB200

Variables	Función
WSADATA WsaData;	Inicializa el Windows sockets.
SOCKET sock;	Identifica el nombre del socket.
float Video[401];	Buffer para almacenar los datos de monitoreo.
float DF[4];	Buffer para almacenar los datos de DF..

4.4.4.3. Clase Espectro

Esta clase obtiene y grafica la cadena de datos de MONITOREO obtenida en tiempo real, para lo cual utiliza la memoria interna del ordenador para agilizar la actualización de los datos a ser mostrados en pantalla.

Tabla 20:
Métodos de la clase Espectro

Métodos	Función
void DrawGrilla();	Dibuja en el mapa de bits Tuner los segmentos de líneas horizontales y verticales en la memoria del ordenador.
void SetTuner(int x);	Dibuja en el mapa de bits Tuner una línea continua de color rojo en la posición que seleccione el usuario en el rango del espectro para saber qué valor de frecuencia le pertenece.
void ActualizarBox();	Redibuja los mapas de bits con la nueva cadena de datos para visualizar el espectro de la señal en tiempo real.
bool Init();	Inicializa los mapas de bits(Total, Grilla, Tuner, Label, Espectro).
void DrawEspectro(float dato[ESCALA_X]);	Dibuja poli líneas en el mapa de bits Espectro con los datos almacenados del monitoreo.
void SetLabel(float ini, float fin, int x);	Dibuja el mapa de bits Label para visualizar la frecuencia inicial, final y central del espectro.

Tabla 21:
Variables de la clase Espectro

Variable	Función
Int m_x, m_yg, m_ye, m_yl;	Almacena los tamaños de los Bitmap.
float m_fini;	Almacena la frecuencia inicial para mostrar en el Bitmap *m_bmp_LABEL.
float m_ffin;	Almacena la frecuencia final para mostrar en el Bitmap *m_bmp_LABEL.
CDC *m_mem_TOTAL, *m_mem_ESPECTRO, *m_mem_ZOOM, *m_mem_LABEL, *m_mem_GRILLA, *m_mem_TUNER;	Almacena espacio de memoria en el ordenador.
CBitmap *m_old_TOTAL, *m_bmp_TOTAL,*m_old_ESPECTRO, *m_old_ZOOM, *m_bmp_ZOOM, *m_bmp_ESPECTRO, *m_old_LABEL,	Almacena los bits dibujados en cada mapa.

4.4.4.4. Clase Sonograma

Esta clase crea una paleta de colores que va cambiando en orden la tonalidad de los siguientes colores rojo-amarillo-verde-azul para graficar los datos del espectro de la señal en función del tiempo según la potencia de la señal (rojo alta potencia [dB] – azul baja potencia [dB]).

Tabla 22:
Métodos de la clase Sonograma.

Métodos	Función
void Crear_Paleta(CPalette *pal);	Crea una paleta de colores que va cambiando en orden la tonalidad de los siguientes colores rojo-amarillo-verde-azul según rangos.
void DrawGrilla();	Dibuja las líneas entrecortadas horizontalmente con sus valores de tiempo.
void ActualizarBox();	Redibuja los mapas de bits con la nueva cadena de datos para visualizar el espectro de la señal en tiempo real.
void DrawSonograma(float dato[ESCALA_X]);	Pinta pixeles del color de tonalidades de la Palette según el valor de los datos de float dato[ESCALA_X];.
void Init();	Inicializa los Bitmap (Total, Grilla, Sonograma).

Tabla 23:
Variables de la clase Sonograma

Variables	Función
int m_x;	Almacena el tamaño del <i>Picture Control</i>
int m_y;	
CDC *m_mem_TOTAL, *m_mem_SONOGRAMA,	Almacena espacio de memoria en el ordenador.
CBitmap *m_old_TOTAL, *m_bmp_TOTAL, *m_old_SONOGRAMA,	Almacena los bits dibujados en cada mapa
int tiempo;	
int Delta;	Almacena el intervalo de tiempo en que se va actualizando el Sonograma.
CPen m_lapizDot, m_lapizSolid;	Almacena los parámetros de los lápices creados con diferentes tipos de líneas y colores.

4.4.4.5. Clase *DF*

Esta clase obtiene y grafica la cadena de datos de *direction finding* obtenida en tiempo real, para lo cual utiliza la memoria interna del ordenador para agilizar la actualización de los datos a ser mostrados en pantalla.

Tabla 24:
Métodos de la clase DF

Métodos	Función
void DrawCirculo();	Dibuja en CBitmap *m_bmp_CIRCULO una circunferencia.
void DrawCalidad(double calidad);	Dibuja una barra porcentual según el valor de calidad obtenido de los datos de DF.
void DrawRaya(double angulo);	Dibuja un radio inscrito en la circunferencia según el valor del ángulo obtenido de los datos de DF.
void Nivel(double nivel);	Dibuja un rectángulo y dentro del muestra el valor de nivel de potencia de la señal obtenido de los datos de DF.
void DrawDF(float dato[ESCALA_X]);	Envía los datos correspondientes a cada función (DrawRaya(dato[2]); DrawCalidad(dato[3]); Nivel(dato[1]);)
void ActualizarBox();	Redibuja los mapas de bits con la nueva cadena de datos para visualizar el espectro de la señal en tiempo real.
bool Init();	Inicializa los Bitmap (Total, Circulo, Calidad, Nivel, Angulo).

Tabla 25:
Variables de la clase DF

Variable	Función
int m_x, m_yg, m_je, m_yl;	Almacena el tamaño del <i>Picture Control</i> .
CDC *m_mem_TOTAL, *m_mem_CIRCULO, *m_mem_CALIDAD, *m_mem_NIVEL, *m_mem_ANGULO;	Almacena espacio de memoria en el ordenador.
CBitmap *m_old_TOTAL, *m_bmp_TOTAL, *m_old_CIRCULO, *m_old_CALIDAD, *m_bmp_CALIDAD, *m_bmp_CIRCULO, *m_old_ANGULO,	Almacena los bits dibujados en cada mapa.

4.4.5. Interface HDMI

Tiene por finalidad facilitar el uso del sistema (*R&S DDF255 – ADD196*), tanto en la configuración de los valores y la visualización de la misma en más de un computador vía una red LAN que dispone el AGRUCOMGE.

La interface gráfica visualizada por el usuario se encuentra dividida en 4 partes como se muestra en la figura 43.

Espectro. - En esta sección de la interface se obtiene los datos en tiempo real de la señal recibida por el sistema y se procede a graficarlos en la memoria del computador para obtener una gráfica sin retardos.

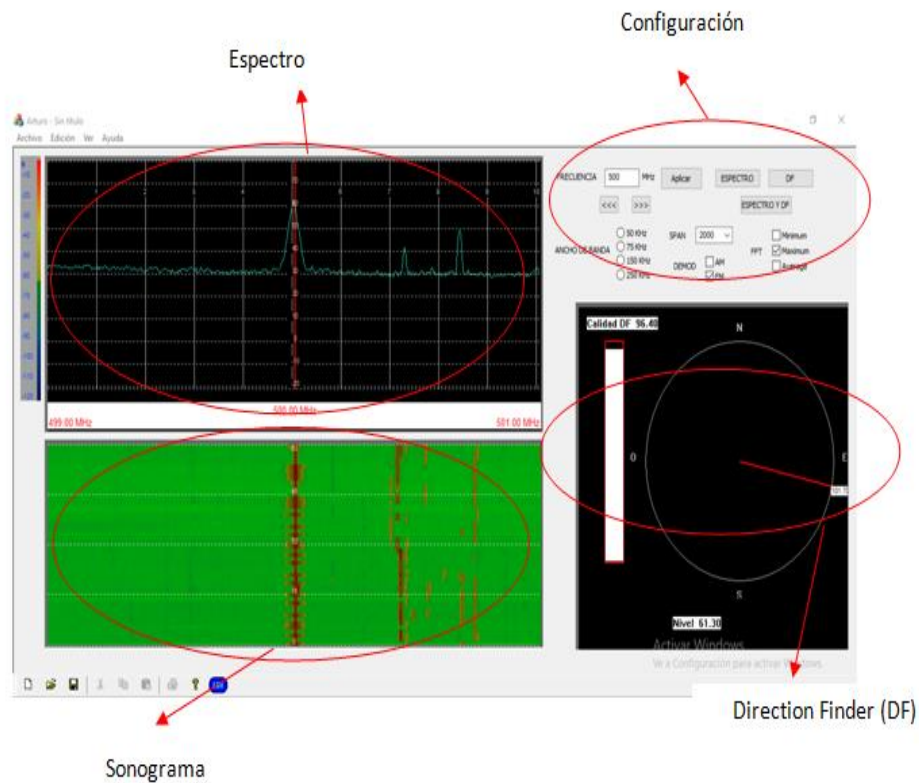


Figura. 43. Interface para el usuario.

Sonograma. – En esta sección de la interface se transforma los datos obtenidos de la señal recibida en bits para ser dibujados según la paleta de colores que los representa y así obtener la señal recibida en función del tiempo.

Configuración. – En esta sección de la interface se configura la frecuencia central en la que se desea trabajar o es de importancia con el ancho de banda, la demodulación, el span y la transformada de Fourier necesaria para obtener la información de manera precisa para el usuario.

Direction Finder. – En esta última sección de la interface se visualiza los datos obtenidos para graficar el ángulo con que llega la señal a la antena ADD196, así como su calidad de precisión con la que recibe el sistema y su potencia en [dB].

Nota: La interface gráfica fue diseñada en un lenguaje de programación libre por tal motivo se puede realizar futuras modificaciones según la necesidad del AGRUCOMGE.

4.4.6. Pruebas con Interface en exteriores

Finalmente se realizaron las pruebas semejantes a las realizadas anteriormente, rotando la antena transmisora cuatro posiciones (Norte, Sur, Este y Oeste) manualmente, en las frecuencias de 500, 800 y 1000 MHz.

Posteriormente una vez ubicado el sistema se procede a monitorear las señales y a emplear la aplicación de DF, con ayuda de la interface desarrollada se hacen visibles las lecturas tanto de monitoreo y de detección del ángulo de arribo de las señales generadas, las pruebas se realizan con la antena transmisora polarizada vertical y horizontalmente, el escenario se muestra a continuación.



Figura. 44. Escenario en exteriores para las pruebas con la interface implementada.

Cabe recalcar que la antena transmisora esta polarizada vertical y horizontalmente como se puede observar a continuación.



Figura. 45. Equipo transmisor polarizado horizontalmente.



Figura. 46. Equipo transmisor polarizado verticalmente.

4.4.6.1. Resultados Obtenidos

4.4.6.1.1. Pruebas realizadas en polarización vertical

Para estas pruebas se toman valores en los cuatro puntos cardinales (Norte, Sur, Este y Oeste), con ayuda de la interface de RDF implementada.

- **Pruebas realizadas en 500 MHz**

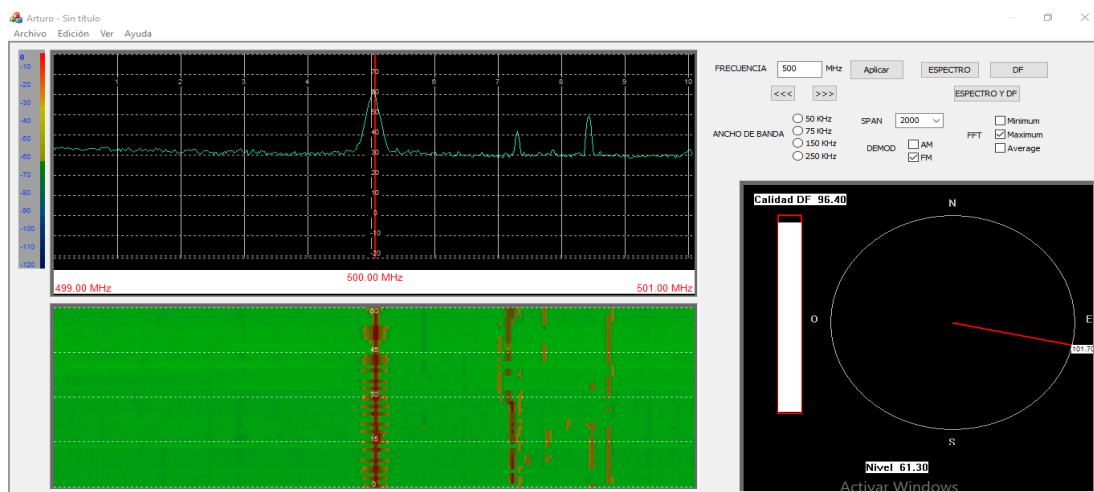


Figura. 47. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Este con Polarización. Vertical.

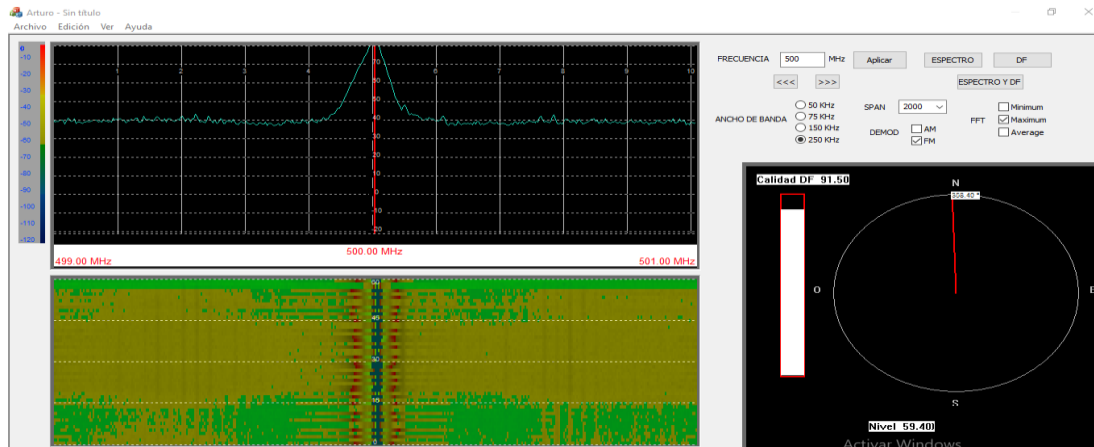


Figura. 48. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Norte con P. Vertical.

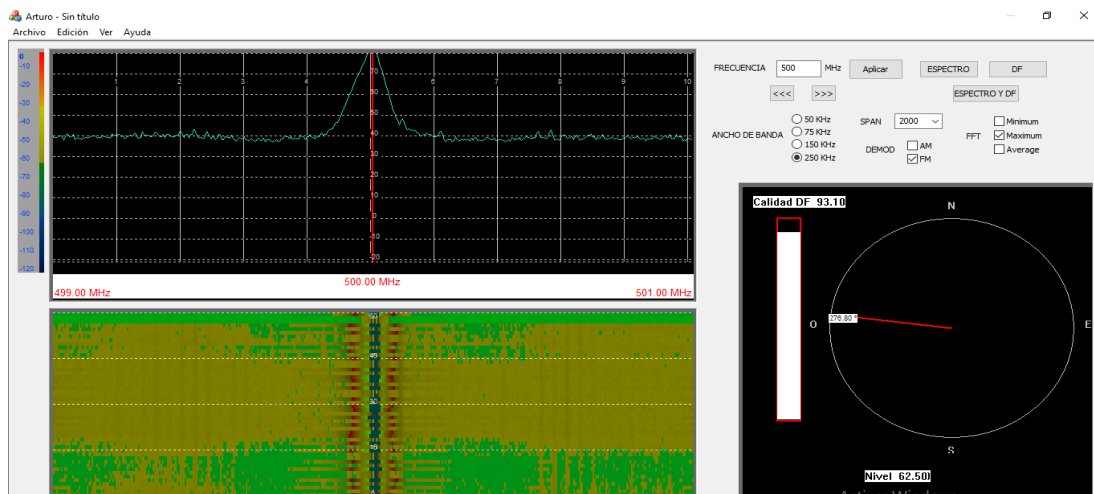


Figura. 49. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Oeste con P. Vertical.

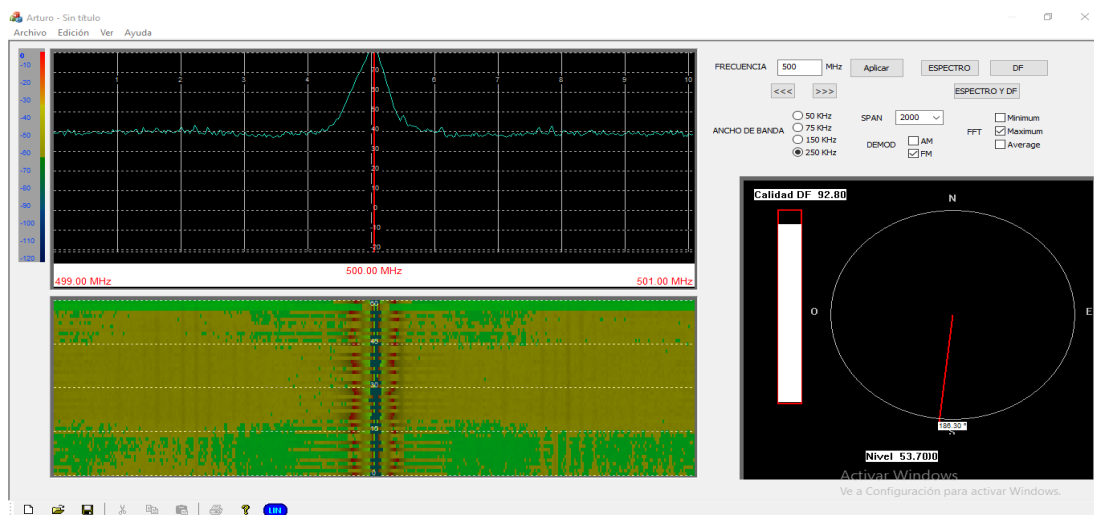


Figura. 50. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Sur con P. Vertical.

- Pruebas realizadas en 800 MHz

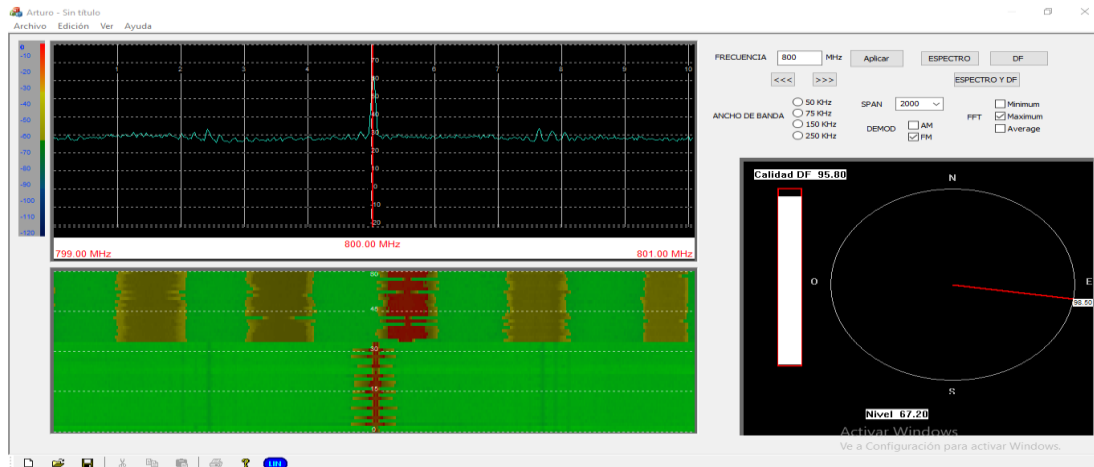


Figura. 51. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Este con P. Vertical.

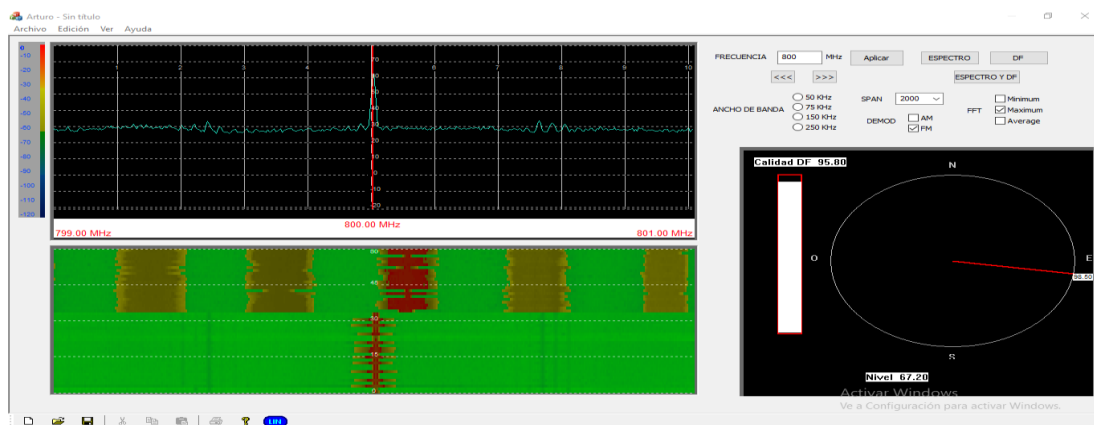


Figura. 52. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Norte con P. Vertical.

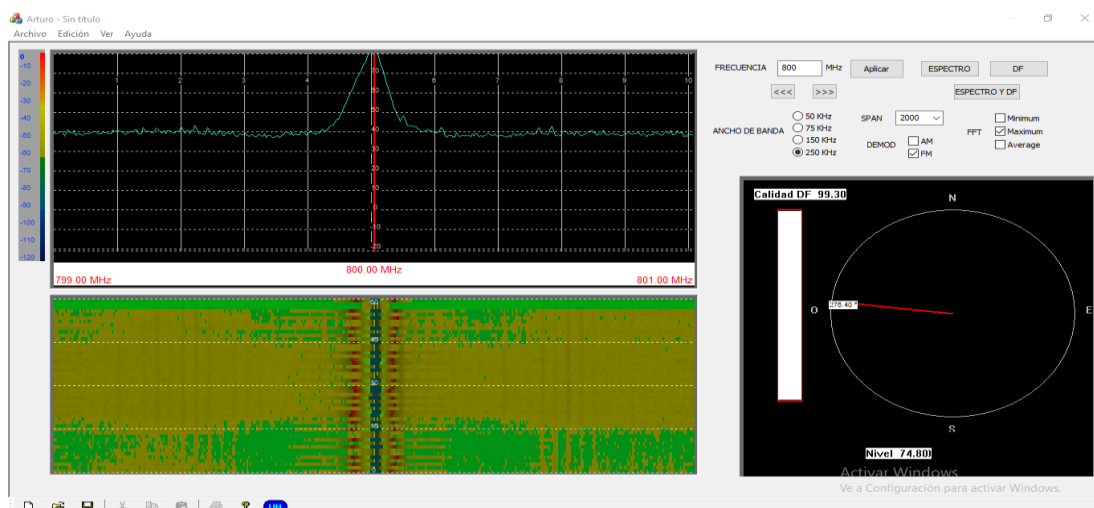


Figura. 53. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Oeste con P. Vertical.

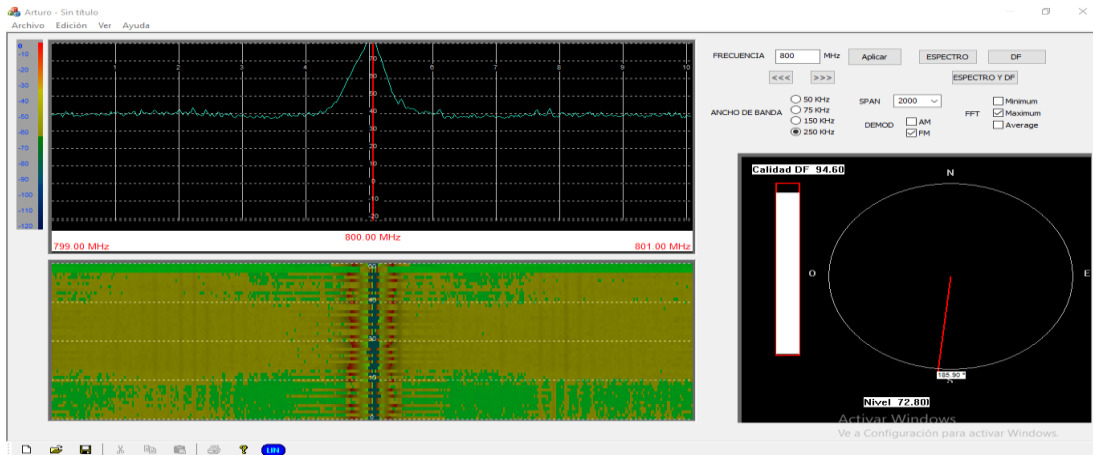


Figura. 54. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Sur con P. Vertical.

- Pruebas realizadas en 1000 MHz

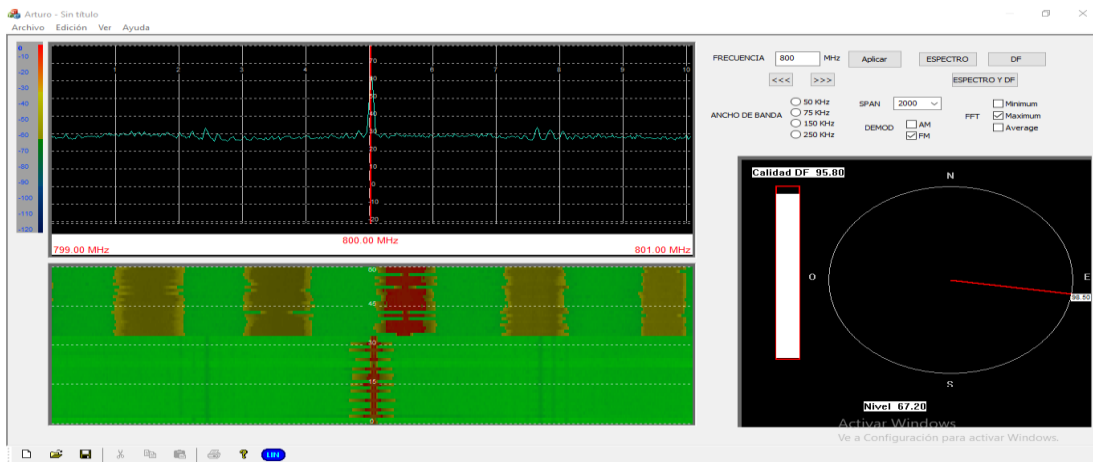


Figura. 55. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Este con P. Vertical.

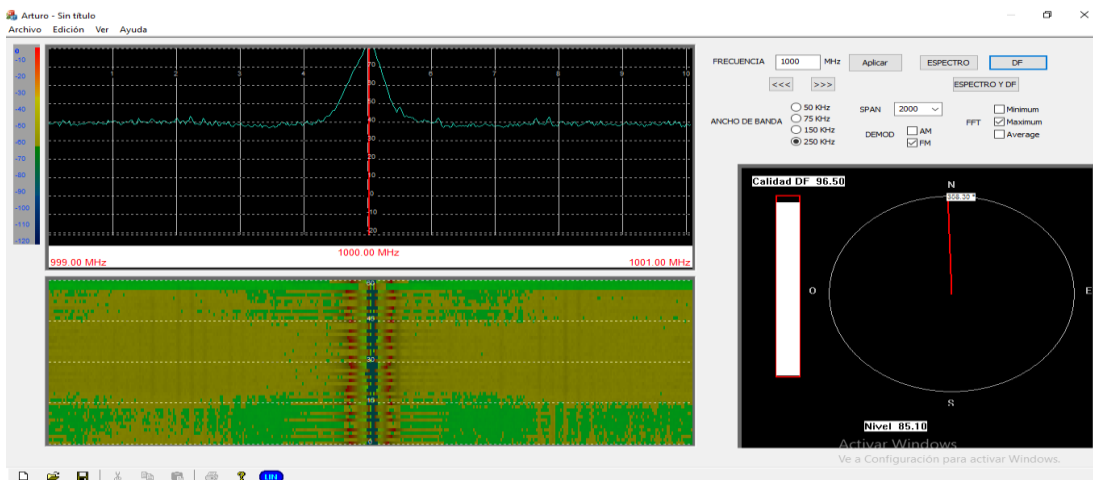


Figura. 56. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Norte con P. Vertical.

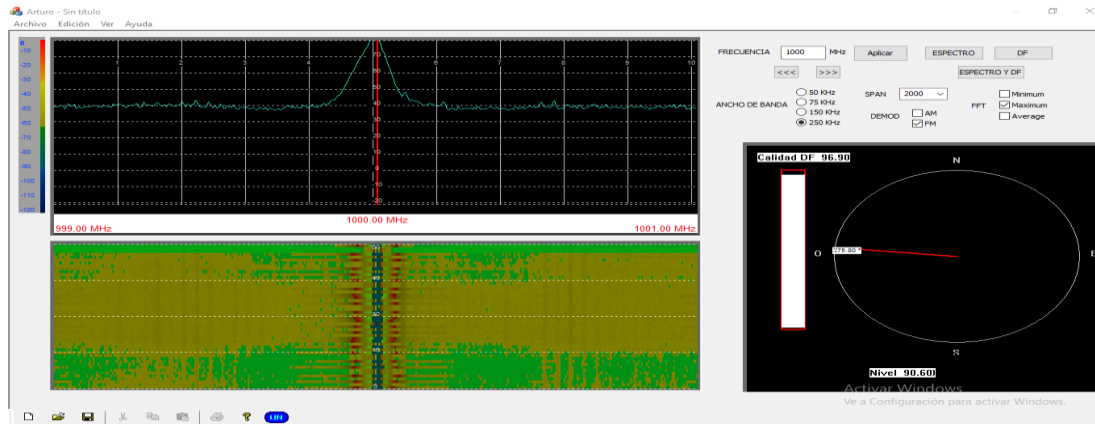


Figura. 57. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Oeste con P. Vertical.

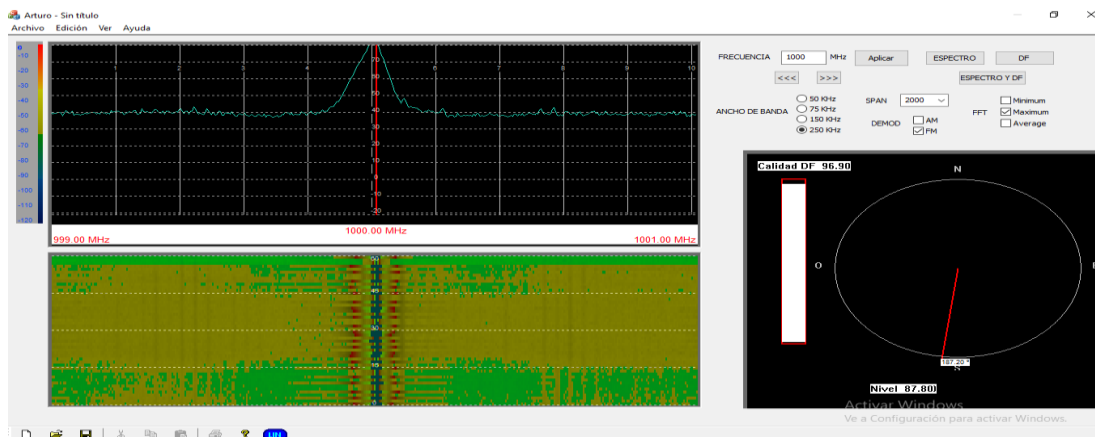


Figura. 58. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Sur con P. Vertical.

4.4.6.1.2. Pruebas Realizadas en Polarización Horizontal

- Pruebas Realizadas a 500 MHz

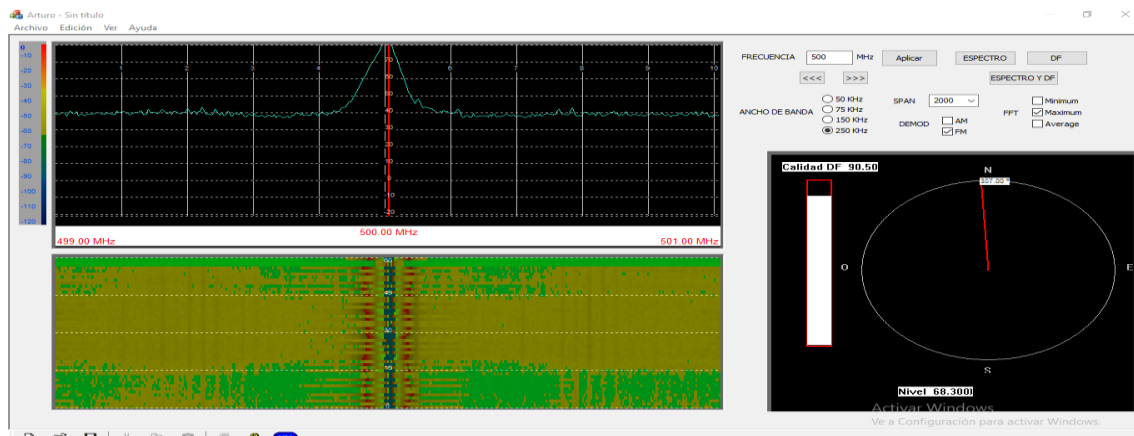


Figura. 59. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Norte con P. Horizontal.

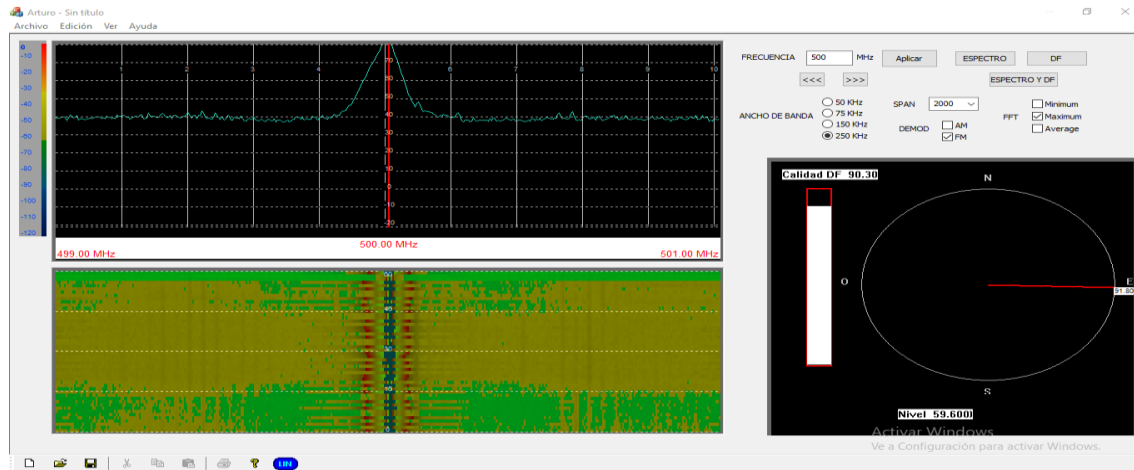


Figura. 60. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Este con P. Horizontal.

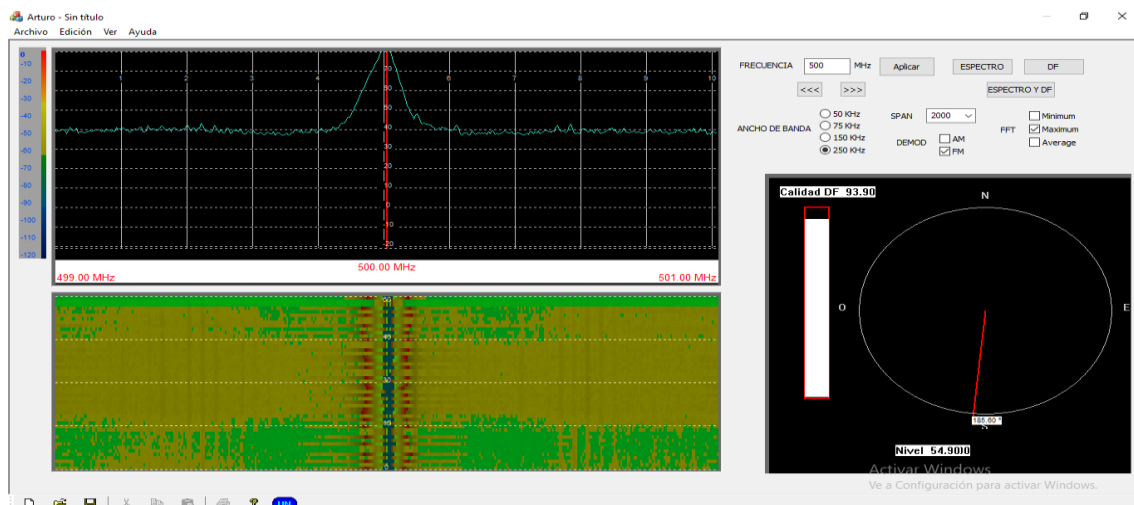


Figura. 61. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Sur con P. Horizontal.

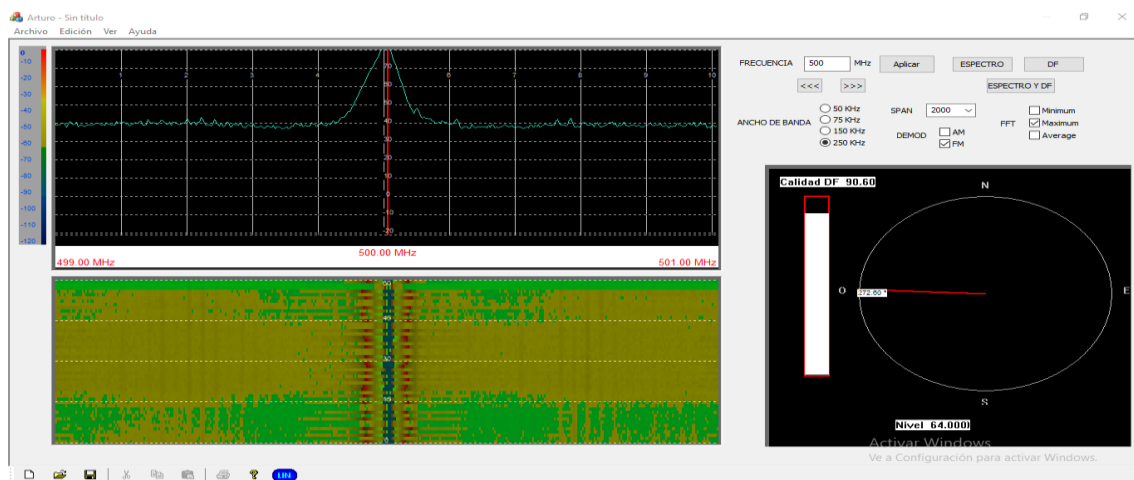


Figura. 62. Captura pruebas realizadas a 500MHz en el Oeste con P. Horizontal.

- Pruebas Realizadas a 800 MHz

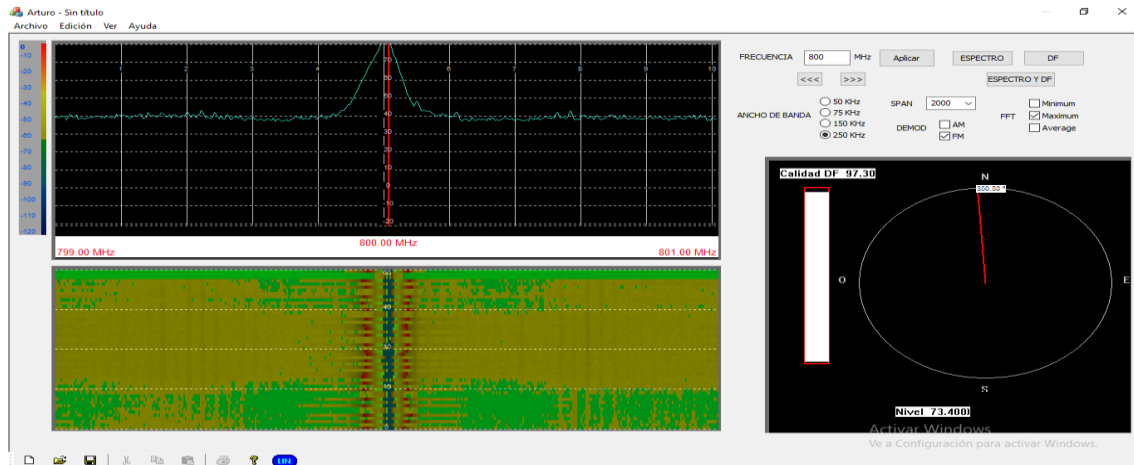


Figura. 63. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Norte con P. Horizontal

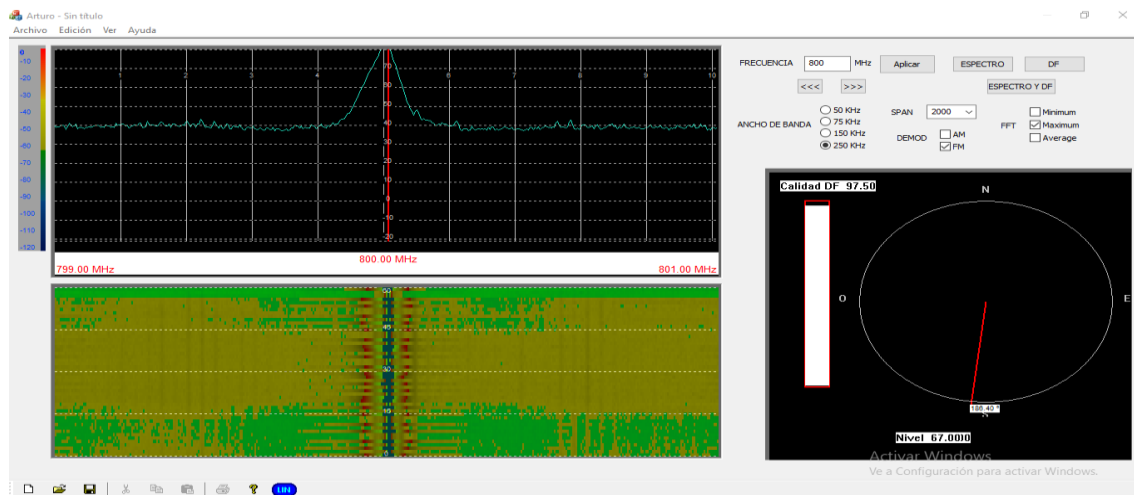


Figura. 64. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Sur con P. Horizontal

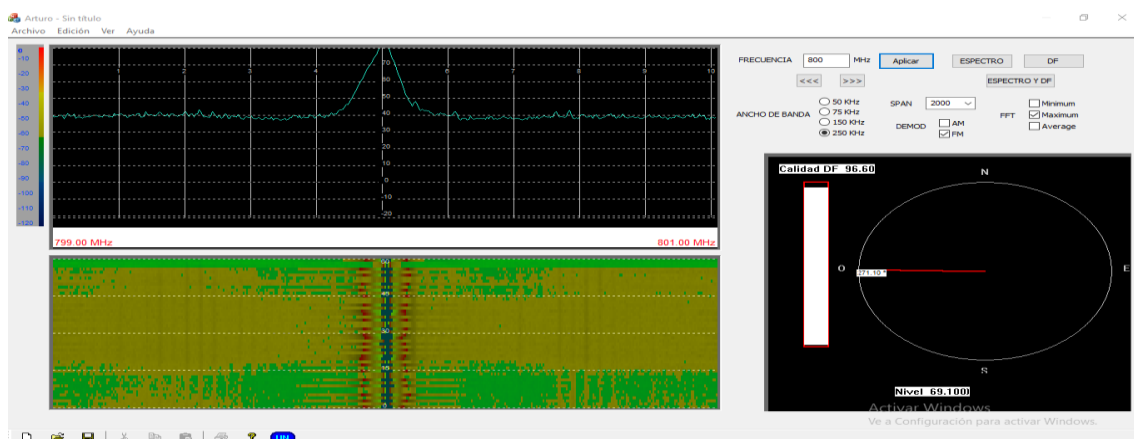


Figura. 65. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Oeste con P. Horizontal.

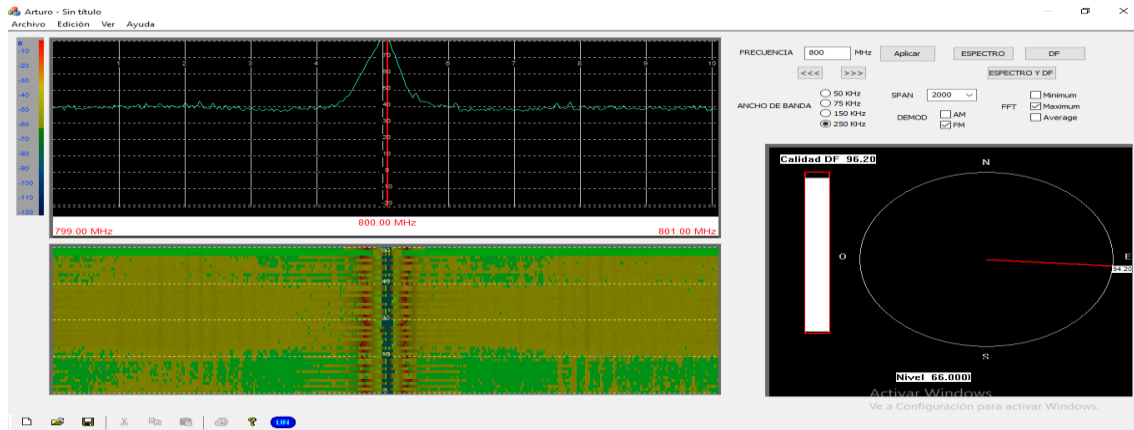


Figura. 66. Captura pruebas realizadas a 800MHz en el Este con P. Horizontal.

- **Pruebas Realizadas a 1000 MHz**

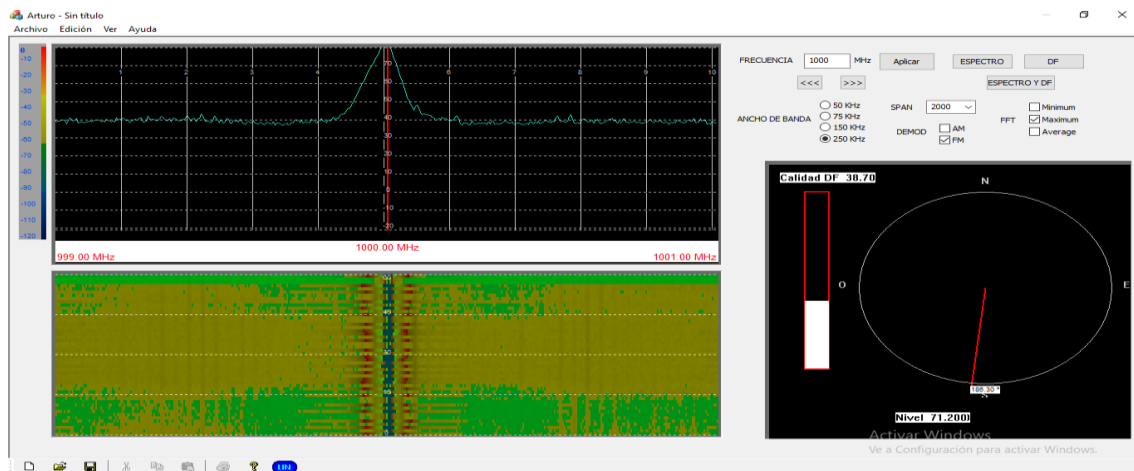


Figura. 67. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Sur con P. Horizontal.

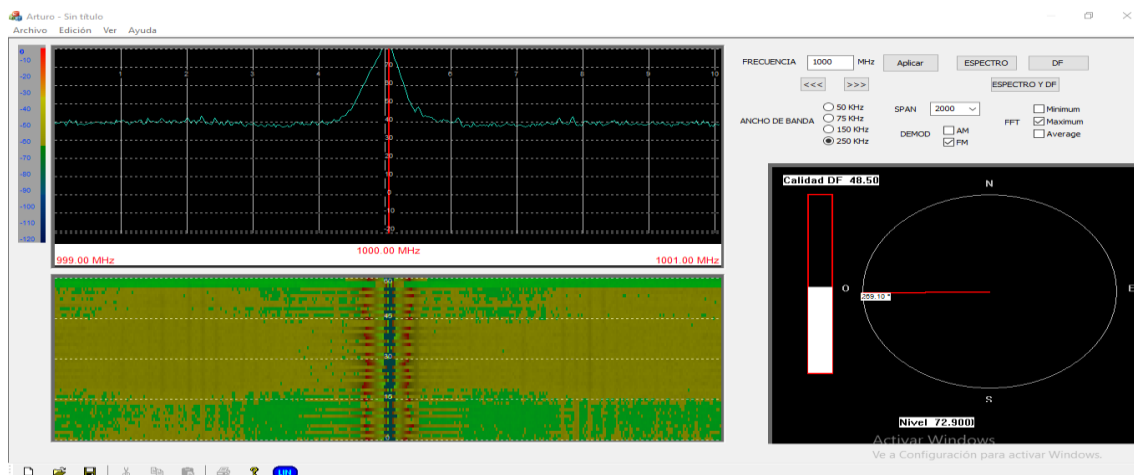


Figura. 68. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Oeste con P. Horizontal

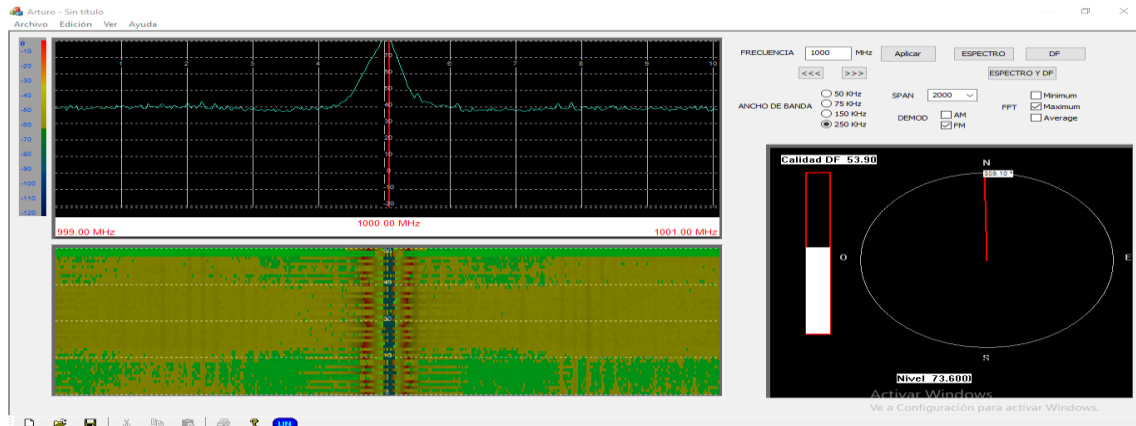


Figura. 69. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Norte con P. Horizontal.

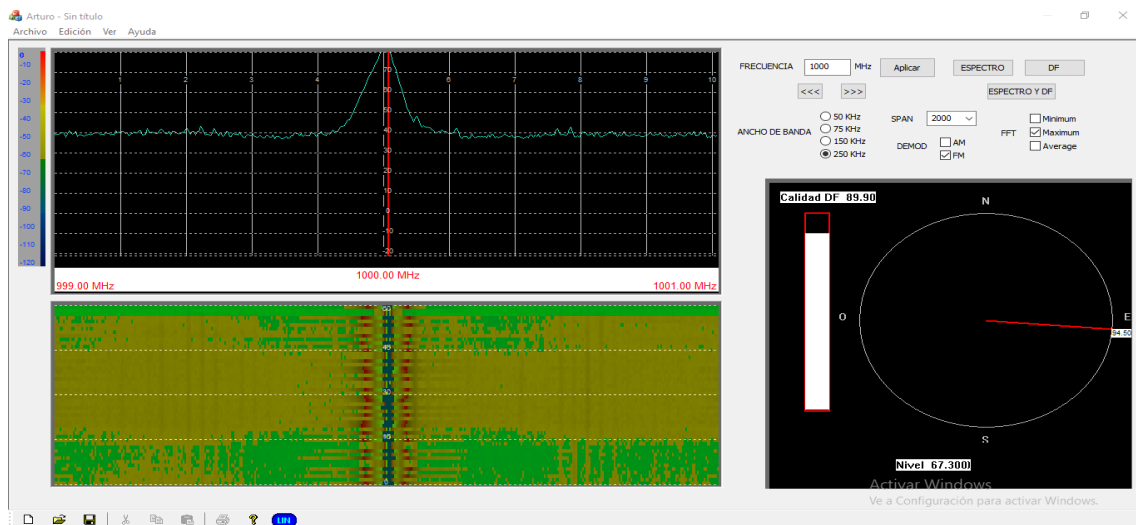


Figura. 70. Captura pruebas realizadas a 1000MHz en el Este con P. Horizontal.

Todas las lecturas tomadas en las imágenes se muestran en las siguientes tablas para analizar posteriormente los resultados:

Tabla 26:
Datos encontrados del ángulo de arribo para frecuencia = 500MHz

Posición Tx	Polarización Vertical	Polarización Horizontal
	A. de Arribo [°]	A. de Arribo [°]
358°	358.4	357.0
99°	101.7	91.8
186°	186.3	185.6
276°	276.8	272.6

Tabla 27:*Datos encontrados de la calidad DF para frecuencia = 500MHz*

Posición Tx	Polarización Vertical	Polarización Horizontal
	Calidad DF [%]	Calidad DF [%]
358°	91.5	90.5
99°	96.4	90.3
186°	92.8	93.9
276°	93.1	90.6

Tabla 28:*Datos encontrados del ángulo de arribo para frecuencia = 800MHz.*

Posición Tx	Polarización Vertical	Polarización Horizontal
	A. de Arribo [°]	A. de Arribo [°]
358°	357	350.5
99°	98.5	94.2
186°	185.9	186.4
276°	276.4	271.1

Tabla 29:*Datos encontrados de la calidad de DF para frecuencia = 800MHz.*

Posición Tx	Polarización Vertical	Polarización Horizontal
	Calidad DF [%]	Calidad DF [%]
358°	89.2	97.3
99°	95.8	96.2
186°	94.6	97.5
276°	99.3	96.6

Tabla 30:*Datos encontrados del ángulo de arribo para frecuencia = 1000MHz*

Posición Tx	Polarización Vertical	Polarización Horizontal
	A. de Arribo [°]	A. de Arribo [°]
358°	358.3	358.1
99°	98.8	94.5
186°	187.2	186.3
276°	275.8	269.1

Tabla 31:

Datos encontrados de la calidad de DF para frecuencia = 1000MHz.

Posición Tx	Polarización Vertical	Polarización Horizontal
	Calidad DF [%]	Calidad DF [%]
358°	96.5	53.9
99°	97.7	59.8
186°	96.9	38.7
276°	96.9	48.5

4.4.7. Pruebas de retardos en la visualización de los datos

En la siguiente tabla se detallan los tiempos que demora la interface y el sistema en tener la respuesta a diferentes peticiones estos datos fueron obtenidos en función al compilador del lenguaje C++ en el entorno de *Visual Studio*.

Tabla 32:

Retardos en la visualización de los datos en la interface y en el sistema “DDF255 – ADD196”.

Retardos en Visualización		
Petición	Interface Retardo [ms]	Sistema “DDF255 - ADD196” Retardo [ms]
Configurar Parámetro	50	15
Monitoreo	100	50
Direction Finder	200	65
Monitoreo / Direction Finder	500	150

4.4.8. Capacitación a personal del AGRUCOMGE

Para la culminación del proyecto se capacita a personal técnico perteneciente a el AGRUCOMGE sobre el uso y manejo de la interface de RDF, primero se procede a la explicación del funcionamiento en general de todo el sistema, rango de frecuencias en el que trabaja y que operaciones se pueden realizar mediante la interface entre estas tenemos, configuración de una frecuencia determinada, cambio de ancho de banda, utilización de

modulaciones, filtros, muestra del espectro radioeléctrico de una señal emitida, utilización de Span de una señal, muestra del ángulo de arribo de una señal de interés, cabe recalcar que esta función (Detección de ángulo de arribo) tiene incluido la muestra de la calidad y el nivel de potencia con la que llega la señal.



Figura. 71. Capacitación impartida hacia miembros de la AGRUCOMGE.

Después se procede a mostrar el funcionamiento de cada una de las funciones antes mencionadas.

CAPÍTULO 5

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se detalla los resultados obtenidos en dos escenarios tanto en interiores y exteriores, para esto se realizan pruebas con la antena transmisora en dos polarizaciones vertical y horizontal para comprobar si la antena *R&S ADD196*, puede recibir señales provenientes de transmisores polarizados vertical y horizontalmente para después realizar de la misma manera pruebas con el software implementado.

5.1. Análisis de resultados para la puesta en operación

Para esto se realizan pruebas semejantes a las planteadas en la publicación de (Berrones Eduardo, Luna Alexander, Moya Bryan, León Rubén, Tinoco Alexis & Paredes Manolo, 2017), con lo cual se llega a los siguientes resultados:

5.1.1. Escenario en Interiores

Se verifica que al tener una polarización vertical de la antena log - periódica (antena de transmisión) ubicada a 8° del norte de la antena receptora (ADD196) se muestra que los ángulos de arribo fluctúan entre 7.0° y 10.1° teniendo así un margen de error $\pm 2^\circ$.

Por otro lado, analizando la prueba realizada con la polarización horizontal de la antena log – periódica (antena de transmisión) en el mismo escenario, muestra que el ángulo de arribo fluctúa entre 31° y -80° , teniendo como resultado que la antena receptora (ADD196) en interiores tiene error al obtener el valor.

En la siguiente figura se grafican los datos obtenidos en el escenario de interiores, en la gráfica se determina que el desempeño del sistema para detectar el ángulo de arribo en polarización horizontal es eficiente mientras que, en polarización vertical deficiente, esto es debido a las posibles reflexiones que pudo haber realizado la señal de transmisión dentro del sitio.

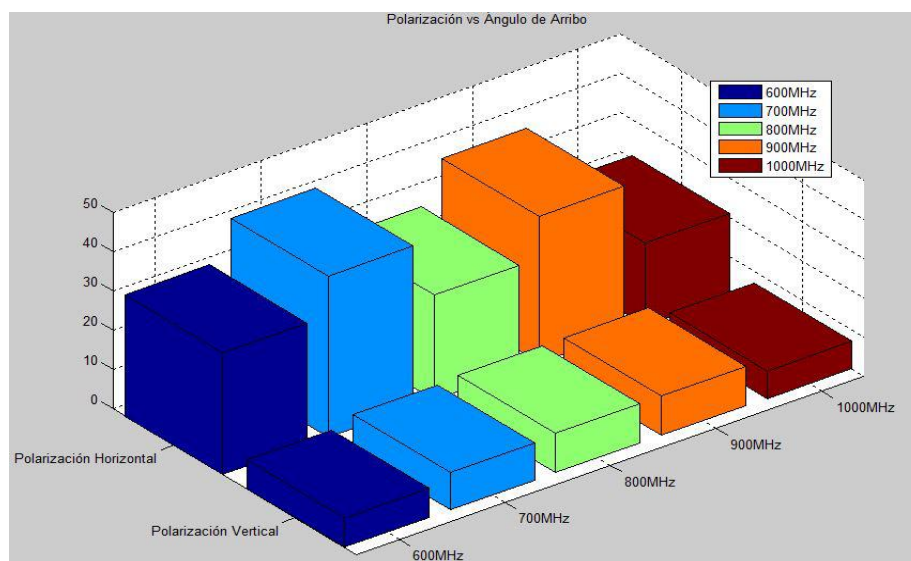


Figura. 72. Comparación del Ángulo de Arribo obtenido en polarización vertical y horizontal.

Al analizar el parámetro de “calidad DF” para la antena log – periódica en polarización vertical nos muestra un valor porcentual entre 83.5% y 91.2%, mientras que para la polarización

horizontal nos muestra un porcentaje de “calidad DF” entre 43.2% y 58.1% como se muestra en la siguiente figura.

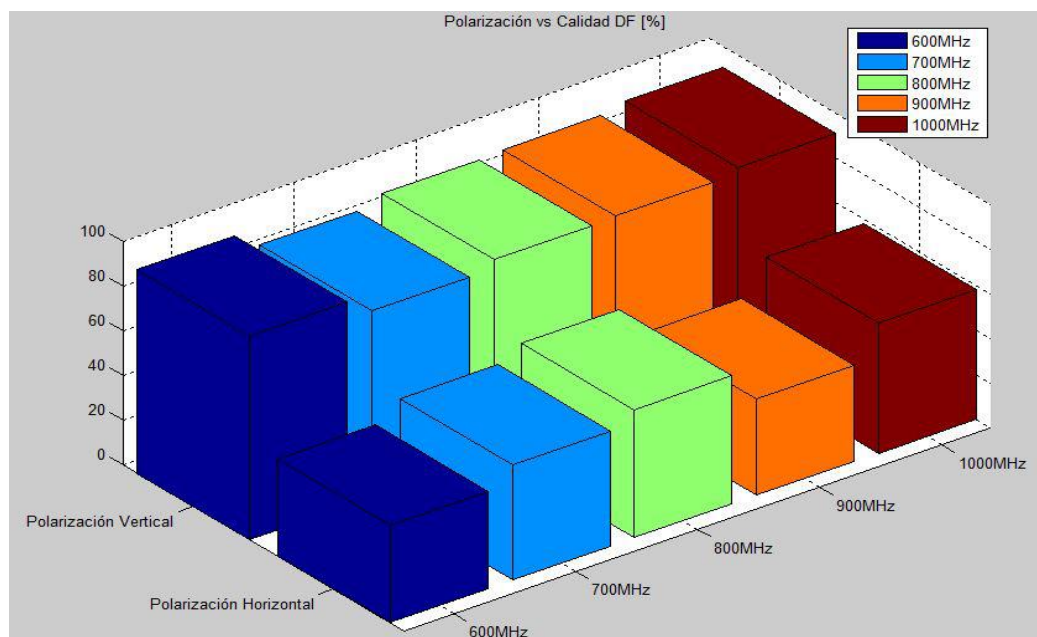


Figura. 73. Comparación de la calidad DF [%] obtenido en polarización vertical y horizontal.

Por tal razón se llega a la conclusión que el sistema “DDF255 – ADD196” en ambientes cerrados no detecta de manera confiable el ángulo de arribo de antenas transmisoras en polarización vertical, mientras que en polarización horizontal detecta correctamente el ángulo de arribo.

5.1.2. Escenario en Exteriores

Se muestran la figura 76 de los datos tomados en las pruebas en exteriores para una frecuencia de 1000MHz, en la primera grafica se observa el ángulo de arribo en las cuatro posiciones (norte, sur, este y oeste) en función de las polarizaciones, se nota según las medidas

tomadas del ángulo de llegada tanto en la polarización vertical como horizontal que los datos son similares por lo cual se concluye que el sistema tiene un rendimiento confiable, ya que los datos tienen un rango de incertidumbre de $\pm 2\%$ en tales polarizaciones.

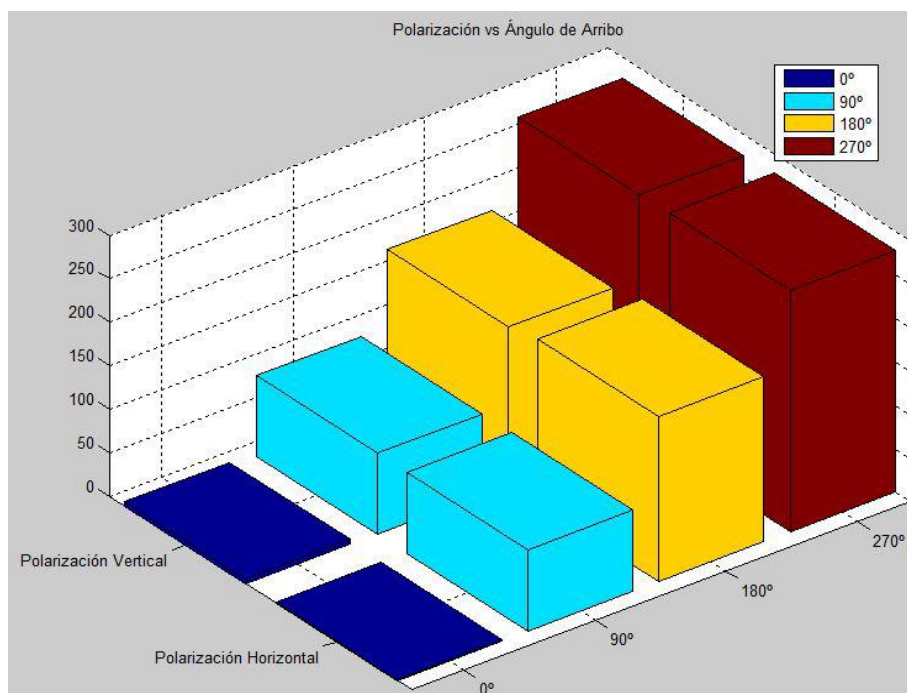


Figura. 74. Gráfico de la polarización vs el ángulo de arribo.

El la figura 77 nos muestra la gráfica de la calidad DF en función de las polarizaciones, este nos muestra que para la polarización vertical se obtiene valores cercanos al 95%, mientras que en polarización horizontal nos muestra valores con una media de 50%, lo que se puede interpretar como lecturas no confiables, pero sin embargo el ángulo de arribo es correcto por lo cual se interpreta que las lecturas para el ángulo de arribo son correctas pero si tiene una calidad de DF baja, se trata de un transmisor que se encuentra en polarización horizontal (Berrones Eduardo, Luna Alexander, Moya Bryan, León Rubén, Tinoco Alexis & Paredes Manolo, 2017).

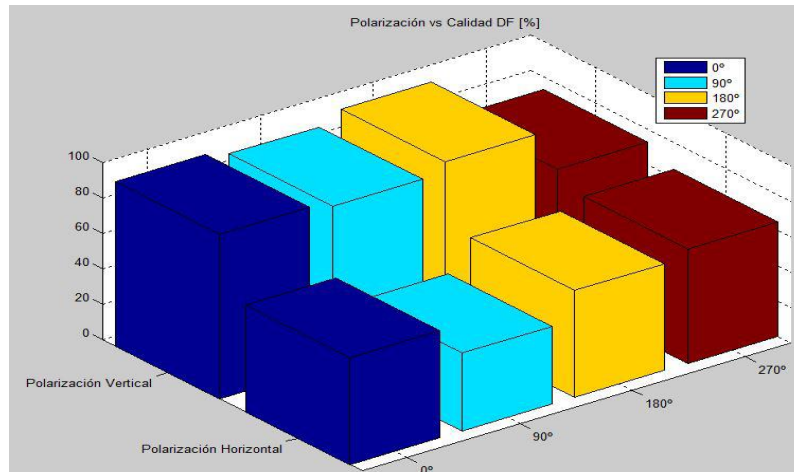


Figura. 75. Gráfico de la polarización vs Calidad DF [%].

5.2. Análisis de Resultados con interface HDMI de RDF

Analizando la obtención del ángulo de arribo se verifica que de las cuatro posiciones indicadas y a las 3 frecuencias (500MHz, 800MHz y 1000MHz), que se realizaron las pruebas, se obtiene un desempeño confiable para un sistema con la antena log – periódica tanto en polarización vertical como en horizontal, dado que los datos obtenidos tienen un rango de incertidumbre de $\pm 2\%$ como se muestra en los siguientes gráficos.

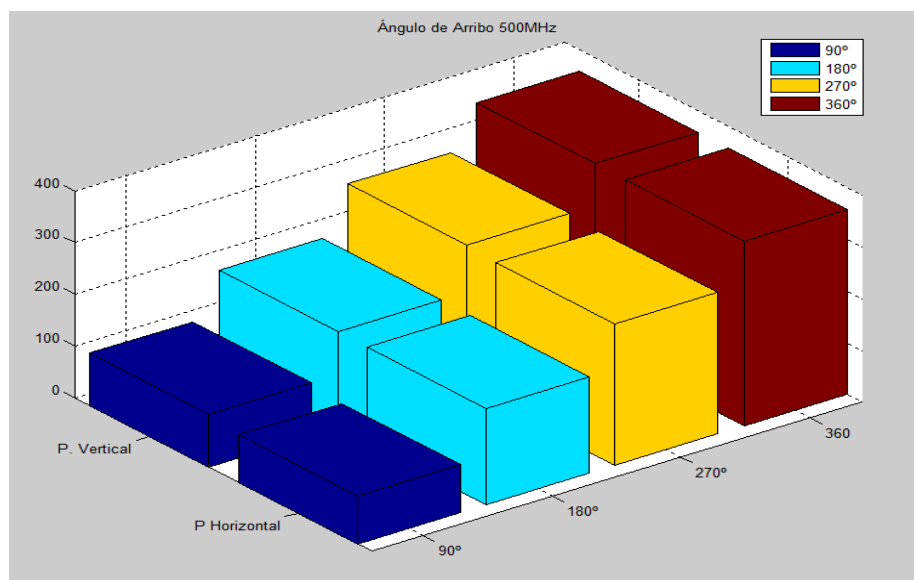


Figura. 76. Gráfica de ángulo de Arribo [°] por tipo de polarización en 500MHz.

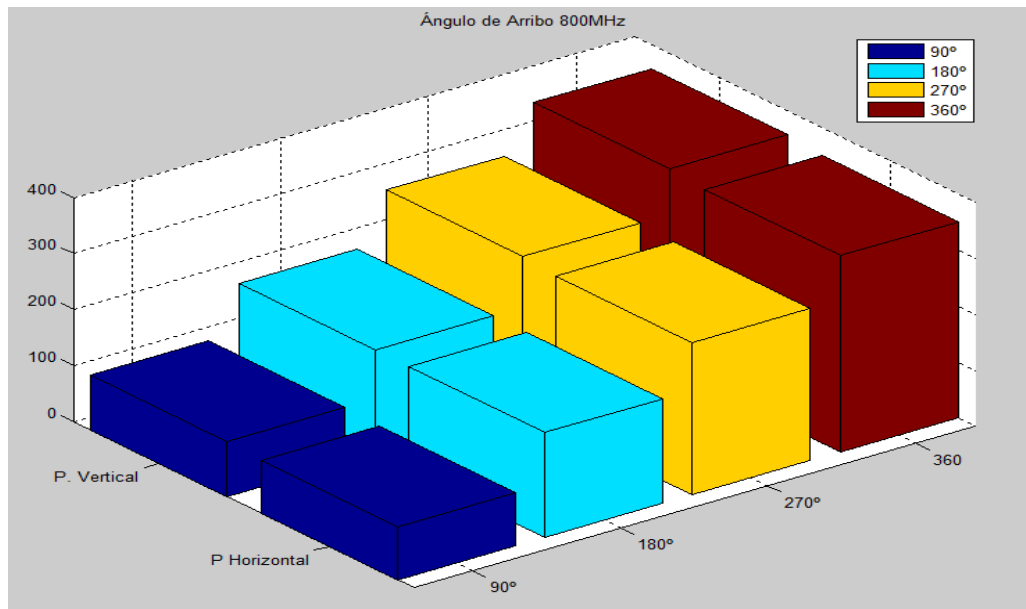


Figura. 77. Gráfica de ángulo de Arribo [°] por tipo de polarización en 800MHz.

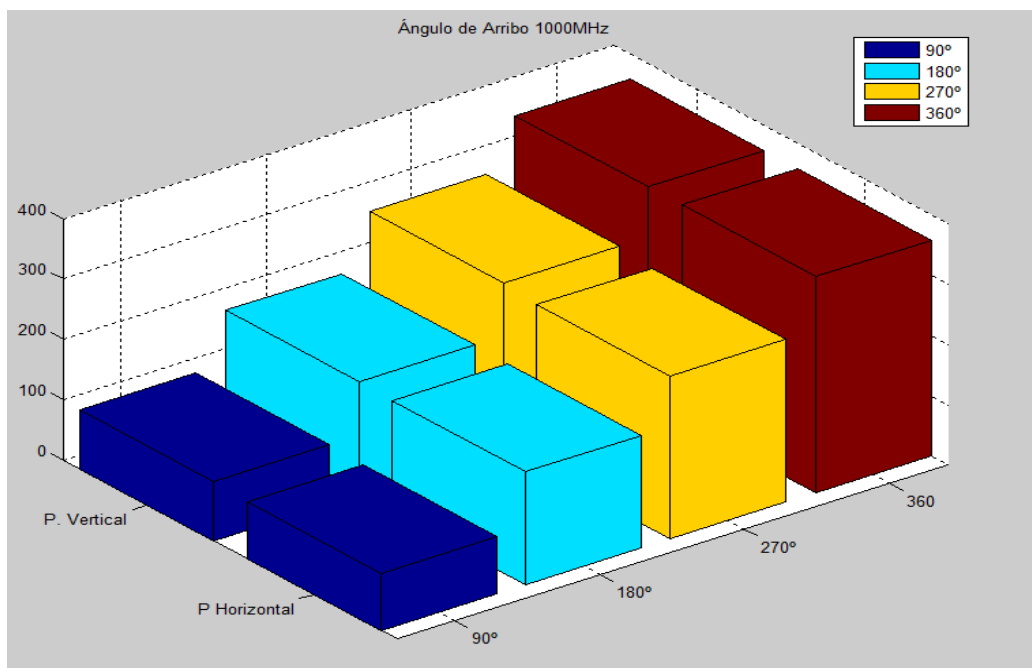


Figura. 78. Gráfica de ángulo de Arribo [°] por tipo de polarización en 1000MHz.

Por otra parte, analizando los datos obtenidos en la calidad DF, se obtiene que para las 4 cuatro posiciones de prueba, las 2 frecuencias (500MHz y 800MHz) y ambas polarizaciones tanto

vertical como horizontal se tienen una buena eficiencia de la “Calidad DF” tiene un valor porcentual aproximado al 92% como se muestra en las figuras 79, 80 y 81.

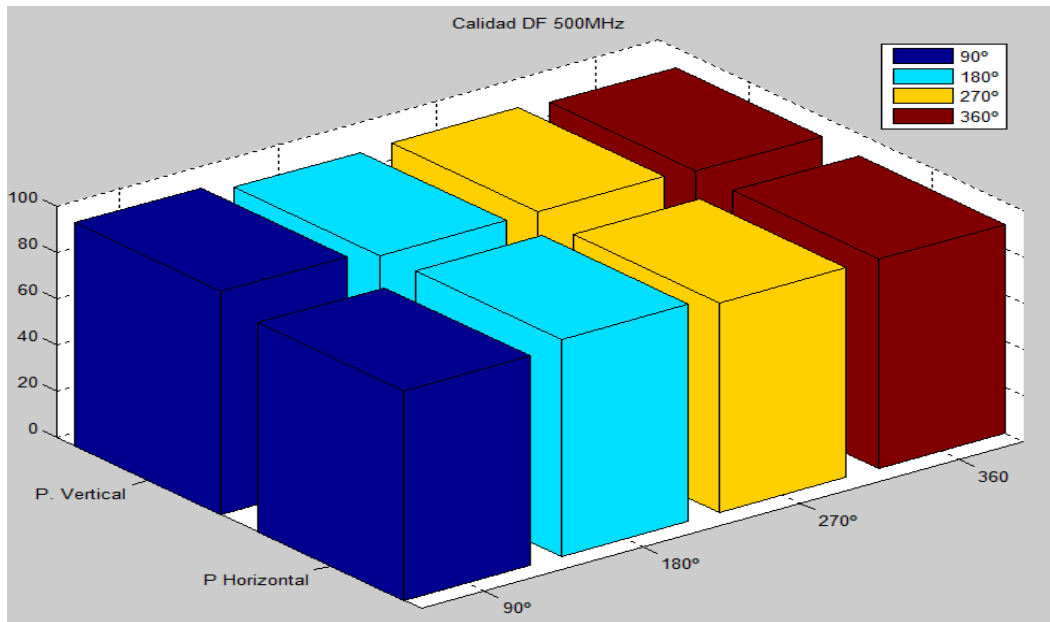


Figura. 79. Gráfica de Calidad DF [%] por tipo de polarización en 500MHz.

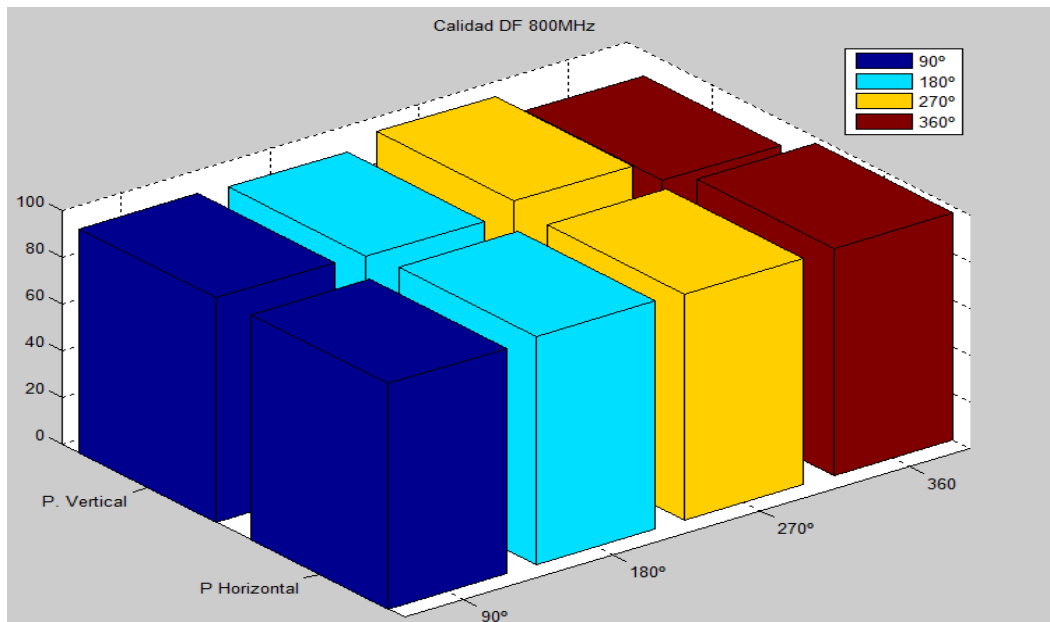


Figura. 80. Gráfica de Calidad DF [%] por tipo de polarización en 800MHz.

Analizando la “Calidad de DF” con la portadora a 1000 MHz se visualiza que este valor baja significativamente de un 92% en polarización vertical a un 45% en polarización horizontal aproximadamente como se muestra en la siguiente figura, por consiguiente, se puede concluir que, para frecuencias mayores, es decir a menos alcance la precisión de con que detecta el sistema el ángulo de arribo es deficiente en polarización horizontal.

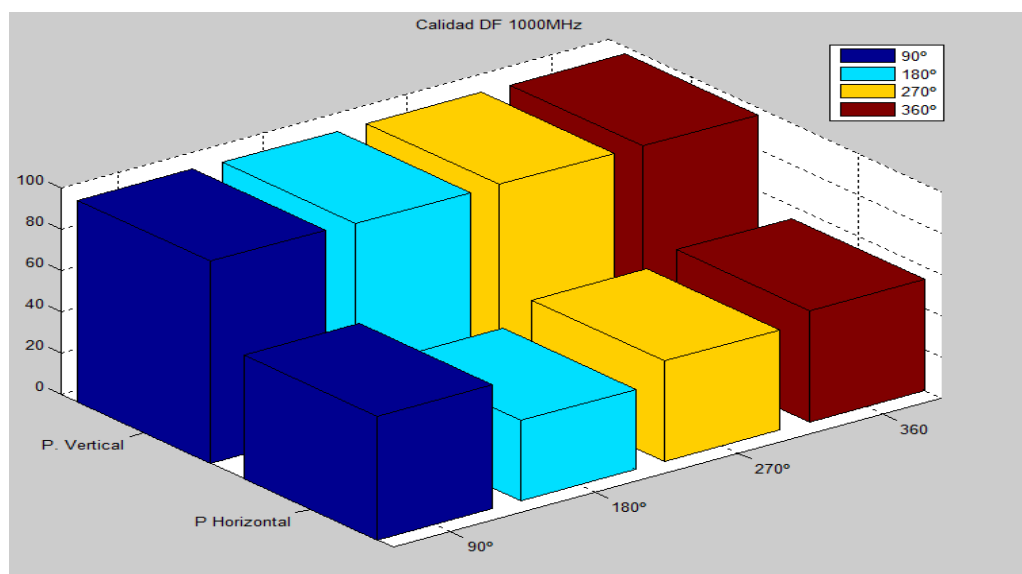


Figura. 81. Gráfica de Calidad DF [%] por tipo de polarización en 1000MHz.

5.3. Análisis de retardos en visualización de los datos

Analizando los retardos en la adquisición de datos entre el sistema y la interface, se puede evidenciar que el equipo tiene un mejor desempeño en función a la interface como se muestra en la siguiente figura, ya que en la interface se realiza peticiones sucesivas para poder recibir los datos, procesarlo y almacenarlos para finalmente ser dibujados y visualizados en mapas de bits en la memoria del computador.

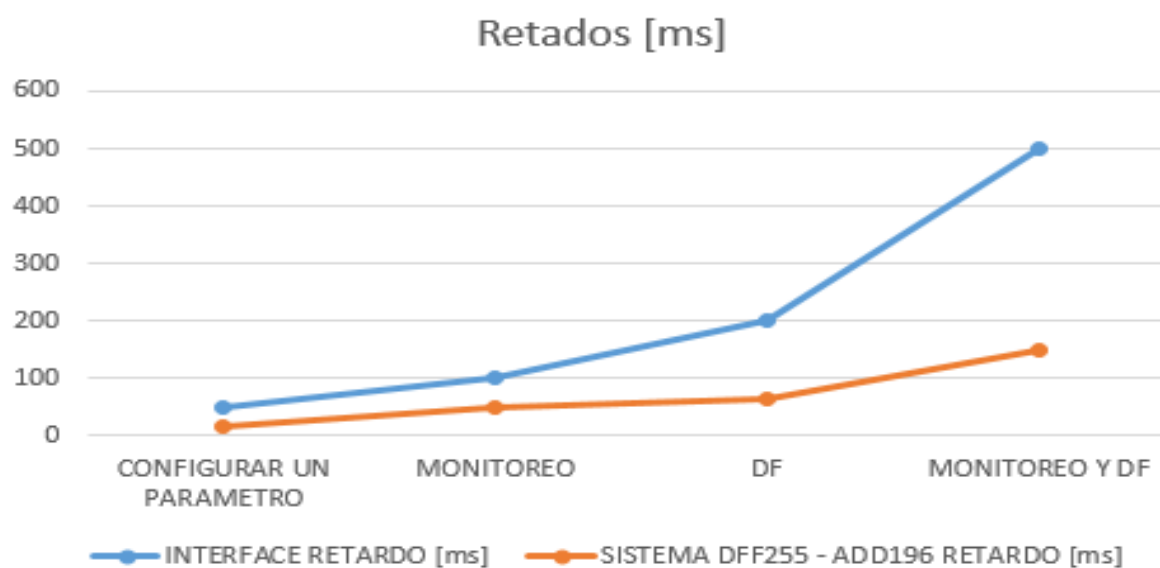


Figura. 82. Retardos de visualización entra la interface y el sistema "DDF255-ADD196".

Los miembros del AGRUCOMGE no presentaron ningún inconveniente respecto al retardo presentado por la interface con respecto al sistema, ya que el tiempo que ellos utilizan para el análisis de las señales es aún mayor que el presentado por la interface, obteniendo como conclusión que el retardo es adecuado para sus fines de uso.

CAPÍTULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Se concluye que el sistema “**DDF255 – ADD196**” (*Digital Direction Finder - Antena DF U / VHF*) tiene un rendimiento adecuado para determinar el ángulo de arribo en polarización vertical y horizontal, teniendo un alto porcentaje de calidad DF para polarización vertical, mientras que un bajo porcentaje de calidad DF para señales con polarización horizontal, teniendo en cuenta que este valor adquirido no debe interpretarse como una lectura no confiable, sino como una posible señal transmitida en diferente polarización, logrando determinar que el usuario no necesitaría invertir en otra antena específica para señales en polarización horizontal.

Se determinó que las hipótesis propuestas para las cuatro amplitudes (A1, A2, A3, A4) para determinar el ángulo de llegada son correctas para demostrar la expresión matemática con la que se calcula el ángulo de llegada, así como la utilización de la frecuencia de la portadora y el ancho de banda en el proceso de ajuste del receptor.

La interface implementada cumple con todos los requisitos previstos por el usuario, y todas las especificaciones propuestas, integra un desempeño de alto nivel, mostrando tiempos de

adquisición y procesamiento ligeramente rápidos con lo cual permite encontrar de manera segura y confiable el ángulo de arribo de señales electromagnéticas en la banda de V/UHF.

El resultado del proyecto muestra una alternativa de bajo costo para monitorear y determinar el ángulo arribo de señales electromagnéticas, dado que el software implementado por la empresa Rohde & Schwarz tiene un costo muy elevado. Esta es una solución que aporta a las FF AA, y espera seguir siendo desarrollada por estudios posteriores.

6.2. RECOMENDACIONES

Seguir las especificaciones de los equipos que conforma el sistema ya que la variación de alguno de los parámetros puede afectar de manera considerable las mediciones y provocar daños severos en el mismo.

Se recomienda configurar previamente el archivo de configuración (Config.dat) de la interface tanto PUERTO e IP en función del servidor DHCP de la red utilizada, para establecer correctamente la comunicación entre el hardware y software.

Se recomienda realizar la previa calibración del compás ubicado en la parte inferior de la antena *ADD196*, cada vez que se realice pruebas en campo abierto en diferentes regiones geográficas, para obtener mejor eficiencia en las lecturas a realizar.

REFERENCIAS

- Álvarez Morales, C. (2007). *Detección de la emisión radioeléctrica en FM y localización del sistema irradiante de una estación radiodifusora no autorizada por el MTC utilizando sistemas de radiogoniometría móvil*. Lima.
- Beltrán, M. (2014). *Descripción General de la Antena Yagi*. Obtenido de <http://10sd156.blogspot.com/2014/04/descripcion-general-de-la-antena-yagi.html>
- Bergzen, H. (2009). *The Institution of Engineering and Technology 11th International Conference on Ionospheric radio Systems and Techniques (IRST 2009), A novel concept for a tactical HF direction finder*.
- Berrones, E., Luna, A., Moya, B., Paredes, M., León, R., & Tinoco, A. (2017). Field Evaluation of the “R&S Ddf255 – Add196” Direction Finding System, In The Presence Of Radio-Electrical Signals With Vertical and Horizontal Polarization.
- Bonilla, I. (2012). *Protocolos de comunicación TCP & UDP*. Obtenido de <http://dsp.mx/blog/sistemas-de-informacion/49-sockets-tcp-udp>
- Cardenas. (2010). *Angulo de arribo y línea de rumbo de una antena*.
- Conatel. (2012). *Banda de frecuencias del espectro radioeléctrico*. Obtenido de <http://www.conatel.gob.ve/espectro-radioelectrico/>
- Curotto, F., Espinosa, S., & Vergara, M. (2012). *Antenas, Polarización y diagramas de Radiación*. Obtenido de https://www.u-cursos.cl/usuario/9553d43f5ccbf1cca06cc02562b4005e/mi_blog/r/Informe_Antenas.pdf.
- Hernández, M. (2013-2014). *Radiobalizas y Radiogoniometría: Identificación y localización*.
- Hidayat, S. (2012). Calibration of direction finder.
- Huidrobo, J. M. (2012). *Antenas de Telecomunicaciones*. Obtenido de http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/020001.pdf
- ICTP. (2010). *Antenas y Lineas de Transmision*. Obtenido de http://www.eslared.org.ve/walc2012/material/track1/03-Antenas_y_Lineas_de_Transmision-es-v3.0-notes.pdf

- International, M. (2018). *Sistemas de Radio/Goniometría*. Obtenido de http://www.morcom.com/span/direction_finding_systems.html
- ITU-RSM. (2007). Parameters of and measurement procedures on H/V/UHF monitoring receivers and stations.
- Jaramillo, J. (2007). *Generalidades de la Radiogoniometría*.
- Jung-Hoon, L., & Jong-Myung, W. (2015). Interferometer Direction-Finding System with Improved DF Accuracy Using Two Different Array Configurations. "IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters".
- May, J. (2014). *RDF (Radio Direction Finder)*.
- Monachesi, E. (2011). *Conceptos generales de antenas*. Obtenido de http://www.edutecne.utn.edu.ar/wlan_frt/antenas.pdf
- Olmo, V. P. (2014). *Antenas, Radiación y Salud*. Obtenido de <http://www.hablandodeciencia.com/articulos/2014/01/27/antenas-radiacion-y-salud/>
- Ordoñez, J. (2015). *Espectro Electromagnético y Espectro Radioeléctrico*. Obtenido de http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf
- Pérez Vega, C. (2007). *Sistema de telecomunicaciones*.
- Pimentel, F. (2015). *Tipos de antenas y funcionamiento*. Obtenido de http://www.wni.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=62:antenassoporte&catid=31:general&Itemid=79
- Pokrajac, I. P., & Okiljević, P. (2011). Development of direction-finder for VHF/UHF frequency band.
- Qin, L., Jia, K., & He, Z. (2010). Performance analysis of correlative interferometer direction finder using cosine function.
- Rohde, & Schwarz. (2006). *Digital UHF/VHF Monitoring Direction Finder*.
- Rohde, & Schwarz. (2010). *Monitoring Direction Finder DDF255*.
- Rohde, & Schwarz. (2017). *R&S®DDF255 Digital Direction Finder Accurate direction finding with measurement and analysis capabilities in a single unit*.
- Rueda, S., & Molina, F. (2007). *Diseño de un módulo Direction Finder basado en interferometria correlativa para bandas de HF y VHF*. Bogota.

- Sorochan, A. (2013). Correlation direction finder with two OMNI-directional antennas.
- Sorochan, A. G., & Petrov, D. O. (2014). Modulated signal processing in a Doppler direction finder.
- UIT. (2011). Comprobación Técnica del Espectro. Obtenido de https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-23-2011-PDF-S.pdf
- Vaclav, P., & Richterova, M. (2015). *Monitoring and analysis of modulated signals in the VHF band "International Conference on Military Technologies (ICMT)"*.
- Villalpando, J. (2000). *Antenas y espectro electromagnético*. Obtenido de <http://www.iesromerovargas.es/recursos/elec/sol/est-antenas.htm>
- Villar, S. (2013). *Antena Yagi-Uda*. Obtenido de <http://10sd156.blogspot.com/2014/04/descripcion-general-de-la-antena-yagi.html>
- Wei, H.-W., & Shi, Y.-G. (2015). *Performance Analysis and Comparison of Correlative Interferometers for Direction Finding "Southwest Electronics and Telecommunication Research Institute"*.