



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

**DEPARTAMENTO DE ELECTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

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

**TEMA: LOCALIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE SEÑALES  
RADIOELÉCTRICAS CON EL ANÁLISIS DE LA RADIOGONIOMETRÍA  
DE WATSON-WATT DE LA ANTENA DE DIRECTION FINDER HF  
ADD119 DE GUERRA ELECTRÓNICA Y DESARROLLO DE UNA  
APLICACIÓN PARA EL MONITOREO DE LAS SEÑALES.**

**AUTOR: MOYA LOZADA, BRYAN FABRICIO**

**DIRECTOR: ING. TINOCO SALAZAR, ALEXIS FABRICIO.**

**SANGOLQUÍ**

**2018**



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

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación *“LOCALIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE SEÑALES RADIOELÉCTRICAS CON EL ANÁLISIS DE LA RADIOGONIOMETRÍA DE WATSON-WATT DE LA ANTENA DE DIRECTION FINDER HF ADD119 DE GUERRA ELECTRÓNICA Y DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA EL MONITOREO DE LAS SEÑALES”*, fue realizado por el señor *Moya Lozada, Bryan Fabricio*, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecido por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 04 de mayo del 2018

Dr. Alexis Fabricio Tinoco

C.C. 1706562178

---



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

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, *Moya Lozada, Bryan Fabricio*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *Localización y Evaluación de Señales Radioeléctricas con el Análisis de la Radiogoniometría de Watson-Watt de la Antena de Direction Finder HF ADD119 de Guerra Electrónica y Desarrollo de una Aplicación para el Monitoreo de las Señales*, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respondiendo los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 04 de mayo del 2018

Bryan Fabricio Moya Lozada

C.C. 1717522104



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

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**AUTORIZACIÓN**

*Yo, Moya Lozada, Bryan Fabricio, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, publicar el trabajo de titulación: **Localización y Evaluación de Señales Radioeléctricas con el Análisis de la Radiogoniometría de Watson-Watt de la Antena de Direction Finder HF ADD119 de Guerra Electrónica y Desarrollo de una Aplicación para el Monitoreo de las Señales, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.***

Sangolquí, 04 de mayo del 2018



.....  
**Bryan Fabricio Moya Lozada**

C.C. 1717522104

## DEDICATORIA

*A mis padres, Patricio y Cecilia.*

*Por el apoyo incondicional a lo largo de este trayecto, por los valores del trabajo y de constancia, que han sido los pilares en los momentos más enrevesados de la vida universitaria, por esos instantes de alegría y dificultades, que han servido de inspiración para mejorar como persona y como profesional, pero sobre todo por el amor que han germinado en mí.*

*Este proyecto ha sido posible gracias a ellos.*

*Bryan Fabricio Moya Lozada*

## AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis agradecimientos a las personas que han hecho posible esta meta,

A mis padres por sus consejos, preocupaciones, y soporte en todos los aspectos de mi vida, ellos han sido la base más importante para alcanzar este triunfo.

A mis hermanos Edison, Tatiana que, con su experiencia me han logrado dar muchas veces un consejo, un regaño, o una sonrisa, los cuales han alimentado mi personalidad. A mi hermano Diego que ha sido el amigo más importante, y ha podido estar en los momentos más necesarios de mi vida, a mi hermana menor Saraí que me ha llenado de alegría con su ternura, le agradezco por soportar el mal carácter que tenemos los universitarios, y siempre seguir siendo mi compañera.

A mis abuelitos, tíos, tías, primos y demás familiares que siempre han estado pendiente de este proceso, y dando una mano cuando los necesité, a mi primo Esteban que nunca dejó la preocupación y el apoyo que necesité en estos años.

A mis amigos del barrio y del colegio con los que he compartido muchos años gratos, y siempre han estado presentes. A mis amigos que hice en la universidad, con los cuales compartimos mucho conocimiento, pero más allá de eso, se logró una amistad que nos ha llenado de fuerza en los instantes más dificultosos de la carrera.

Un agradecimiento especial a las personas que formaron parte de este proyecto, mis tutores Alexis Tinoco y Rubén León, a mis compañeros Alexander Luna y Eduardo Berrones, con los cuales conformamos un equipo capaz de cumplir las exigencias de este trabajo, y generar una amistad.

## TABLA DE CONTENIDO

|  |     |
|--|-----|
| DEDICATORIA.....                                       | iv  |
| AGRADECIMIENTO.....                                    | v   |
| RESUMEN.....   | xi  |
| ABSTRACT.....  | xii |
| CAPÍTULO 1.....  | 1   |
| INTRODUCCIÓN.....                                      | 1   |
| 1.1. Antecedentes.....                                 | 1   |
| 1.2. Justificación e Importancia.....                  | 2   |
| 1.3. Alcance del Proyecto.....                         | 3   |
| 1.4. Objetivos.....                                    | 3   |
| 1.4.1. Objetivos Generales.....                        | 3   |
| 1.4.2. Objetivos específicos.....                      | 3   |
| CAPÍTULO 2.....  | 5   |
| FUNDAMENTO TEÓRICO.....                                | 5   |
| 2.1. Espectro radioeléctrico.....                      | 5   |
| 2.2. Guerra Electrónica.....                           | 6   |
| 2.2.1. Definiciones.....                               | 6   |
| 2.2.2. Clasificación.....                              | 7   |
| 2.2.3. Otras actividades de la Guerra Electrónica..... | 8   |
| 2.3. Radiogoniometría.....                             | 9   |
| 2.3.1. Definiciones.....                               | 9   |
| 2.3.2. Antecedentes Históricos.....                    | 9   |
| 2.3.3. Ángulo de arribo (AoA).....                     | 17  |
| 2.3.4. Sistemas de <i>Direction Finder</i> DF.....     | 20  |
| CAPÍTULO III.....                                      | 21  |
| RECUPERACIÓN DEL SISTEMA DF.....                       | 21  |
| 3.1. Antecedentes.....                                 | 21  |
| 3.2. Antena ADD 119 HF.....                            | 22  |
| 3.2.1. Características Generales.....                  | 22  |

|   |    |
|---|----|
| 3.2.2. Especificaciones Técnicas .....                        | 24 |
| 3.2.3. Principio de Operación .....                           | 24 |
| 3.3. Equipo R&S® DDF 255 .....                                | 27 |
| 3.3.1. Descripción del Equipo .....                           | 27 |
| 3.3.2. Panel Frontal .....                                    | 28 |
| 3.4. Panel Trasero .....                                      | 32 |
| 3.5. Puesta en Operación del Sistema .....                    | 34 |
| 3.5.1. Calibración del Compás .....                           | 36 |
| CAPÍTULO IV .....   | 42 |
| DESARROLLO DE SOFTWARE .....                                  | 42 |
| 4.1. Antecedentes .....                                       | 42 |
| 4.2. Entorno de Programación .....                            | 43 |
| 4.2.1. Lenguaje C++ .....                                     | 43 |
| 4.2.2. Microsoft Visual Studio .....                          | 44 |
| 4.2.3. Comandos SCPI .....                                    | 45 |
| 4.3 Comunicación PC-Equipo .....                              | 47 |
| 4.3.1 Sockets y Protocolos .....                              | 48 |
| 4.4 Diseño de Software .....                                  | 51 |
| 4.4.1 Clases Principales .....                                | 51 |
| 4.4.2 Interfaz Gráfica .....                                  | 53 |
| 4.3 Pruebas del Sistema DF Completo .....                     | 55 |
| CAPÍTULO 5 .....  | 62 |
| ANÁLISIS DE RESULTADOS .....                                  | 62 |
| 5.1 Puesta en Operación .....                                 | 62 |
| 5.2 Pruebas Sistema Completo .....                            | 63 |
| 5.3 Capacitación del Sistema a miembros de la AGRUCOMGE ..... | 64 |
| CAPÍTULO 6 .....  | 67 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....                          | 67 |
| 6.1 Conclusiones .....  | 67 |
| 6.2 Recomendaciones .....                                     | 68 |
| REFERENCIAS .....   | 69 |



**ÍNDICE DE TABLAS**

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1:</b> <i>Subdivisión y características básicas del espectro radioeléctrico</i> ..... | 6  |
| <b>Tabla 2:</b> <i>Especificaciones Técnicas antena ADD119</i> .....                           | 24 |
| <b>Tabla 3:</b> <i>Ventajas y desventajas antenas Adcock-Watson-Watt</i> .....                 | 26 |
| <b>Tabla 4:</b> <i>Parámetros a modificar del panel</i> .....                                  | 31 |
| <b>Tabla 5:</b> <i>Dispositivos para pruebas</i> .....   | 39 |
| <b>Tabla 6:</b> <i>Resultados obtenidos de las pruebas</i> .....                               | 40 |
| <b>Tabla 7:</b> <i>Descripción de las clases del programa</i> .....                            | 52 |
| <b>Tabla 8:</b> <i>Descripción Paneles Interfaz Gráfica</i> .....                              | 54 |
| <b>Tabla 9:</b> <i>Resultados Pruebas a 10 MHz</i> .....                                       | 58 |
| <b>Tabla 10:</b> <i>Resultados Pruebas a 20 MHz</i> .....                                      | 59 |
| <b>Tabla 11:</b> <i>Resultados Pruebas a 30 MHz</i> .....                                      | 61 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura. 1.</b> Esquema Transmisor y Receptor Hertz. ....   | 10 |
| <b>Figura. 2.</b> Guglielmo Marconi y su primer dispositivo Tx. ....                                    | 11 |
| <b>Figura. 3.</b> Antena tipo bucle de radiogoniómetro. ....  | 12 |
| <b>Figura. 4.</b> Estación Chain Home en Inglaterra. ....   | 14 |
| <b>Figura. 5.</b> Antena Freya a la izquierda y Antena Würzburg de dirección de tiro a la derecha. .... | 15 |
| <b>Figura. 6.</b> Sistema SCR de EEUU. ....   | 16 |
| <b>Figura. 7.</b> Dirección de un emisor. ....  | 17 |
| <b>Figura. 8.</b> Direcciones de referencia. ....   | 18 |
| <b>Figura. 9.</b> Diagrama de bloques de un sistema DF. ....  | 20 |
| <b>Figura. 10.</b> Aplicaciones antena ADD119. ....   | 22 |
| <b>Figura. 11.</b> Estructura interna antena ADD 119. ....  | 23 |
| <b>Figura. 12.</b> Sistema Adcock/Watson-Watt. ....   | 25 |
| <b>Figura. 13.</b> Llegada del frente de ondas al arreglo de antenas. ....                              | 25 |
| <b>Figura. 14.</b> Sistema DF con principio Watson-Watt. ....   | 27 |
| <b>Figura. 15.</b> Equipo DDF255. ....  | 27 |
| <b>Figura. 16.</b> Interfaz de configuración. ....  | 29 |
| <b>Figura. 17.</b> Interfaz de Visualización. ....  | 30 |
| <b>Figura. 18.</b> Interfaz de Monitoreo. ....  | 31 |
| <b>Figura. 19.</b> Panel Trasero equipo DDF255. ....  | 32 |
| <b>Figura. 20.</b> Alimentación del DDF255. ....  | 32 |
| <b>Figura. 21.</b> Puertos LAN. ....  | 33 |
| <b>Figura. 22.</b> Puertos Serial y RF. ....  | 33 |
| <b>Figura. 23.</b> Panel trasero del dispositivo. ....  | 34 |
| <b>Figura. 24.</b> Estado Antena ADD119. ....   | 35 |
| <b>Figura. 25.</b> Nivelación del trípode. ....   | 36 |
| <b>Figura. 26.</b> Escenario de Calibración del compás. ....  | 37 |
| <b>Figura. 27.</b> Panel de Calibración de Compás. ....   | 38 |
| <b>Figura. 28.</b> Proceso de Calibración de Compás. ....   | 38 |
| <b>Figura. 29.</b> Resultados de la prueba. ....  | 40 |
| <b>Figura. 30.</b> Entorno Visual Studio. ....  | 45 |
| <b>Figura. 31.</b> Ejemplo de jerarquía comandos SCPI. ....   | 46 |
| <b>Figura. 32.</b> Modelo de capa de los Sockets. ....  | 49 |
| <b>Figura. 33.</b> Proceso de Ejecución Socket. ....  | 50 |
| <b>Figura. 34.</b> Diagrama de Clases Programa. ....  | 52 |
| <b>Figura. 35.</b> Interfaz Gráfica. ....   | 53 |
| <b>Figura. 36.</b> Pruebas de Campo Sistema DF Completo. ....   | 55 |
| <b>Figura. 37.</b> Prueba a 10 MHz dirección Norte. ....  | 56 |
| <b>Figura. 38.</b> Prueba a 10 MHz dirección Este. ....   | 56 |
| <b>Figura. 39.</b> Prueba a 10 MHz dirección Sur. ....  | 57 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura. 40.</b> Prueba a 10 MHz dirección Oeste .....                                | 57 |
| <b>Figura. 41.</b> Prueba a 20 MHz dirección Norte .....                                | 58 |
| <b>Figura. 42.</b> Prueba a 20 MHz dirección Este .....                                 | 58 |
| <b>Figura. 43.</b> Prueba a 20 MHz dirección Sur .....                                  | 59 |
| <b>Figura. 44.</b> Prueba a 20 MHz dirección Oeste .....                                | 59 |
| <b>Figura. 45.</b> Prueba a 30 MHz dirección Norte .....                                | 60 |
| <b>Figura. 46.</b> Prueba a 30 MHz dirección Este .....                                 | 60 |
| <b>Figura. 47.</b> Prueba a 30 MHz dirección Sur .....                                  | 60 |
| <b>Figura. 48.</b> Prueba a 30 MHz dirección Oeste .....                                | 61 |
| <b>Figura. 49.</b> Familiarización de los miembros de la AGRUCOMGE con los equipos..... | 65 |
| <b>Figura. 50.</b> Capacitación a miembros de la AGRUCOMGE .....                        | 65 |
| <b>Figura. 51.</b> Presentación del proyecto al ARCOTEL y directivos de la ESPE .....   | 66 |

## RESUMEN

Los sistemas de radiocomunicación y sus aplicaciones han formado parte de nuestras vidas durante el último siglo, pasando del ámbito doméstico, laboral, educativo, cultural, y llegando al campo de la seguridad y defensa militar. Este último se basa en sistemas de comunicaciones en un entorno denominado Guerra Electrónica, cuyas aplicaciones son en el espectro electromagnético para la vigilia de amenazas y seguridad en acciones militares. Una aplicación de Guerra Electrónica es la *Radiogoniometría*, que se encarga de la determinación del ángulo de arribo (*Angle Of Arrive - AOA*) de señales radioeléctricas emitidas desde un punto emisor desconocido, por medio de sistemas denominados *Direction Finder (DF)*. El presente trabajo de titulación muestra el diseño de un sistema de monitoreo, y determinación de la dirección de señales radioeléctricas en la banda de frecuencias HF, en el cual trabajan en conjunto tres elementos: la antena para la banda de HF denominada *ADD119 HF*, el equipo procesador de *DF "R&S® DDF255 Digital Direction Finder"*, el cual procesa la información recibida por la antena, y una aplicación de software diseñado para permitir la comunicación usuario – sistema DF de forma más amigable, fácil y ágil, desde un computador personal o PC. El proyecto tiene como usuario final los miembros de la Agrupación de Comunicaciones y Guerra Electrónica del Ejército (AGRUCOMGE) y será utilizado para operación de monitoreo del espectro radioeléctrico en ámbito nacional.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **SEÑAL RADIOELÉCTRICA**
- **RADIOGONIOMETRÍA**
- **ÁNGULO DE ARRIBO**
- **DIRECTION FINDING**
- **FRECUENCIA**

## ABSTRACT

At the last century the radiocommunication systems and their applications have been part of our lives, in the domestic, work, education, culture and military activities like security and defense. Which are based on communications systems in an Electronic Warfare environment, this application is in the electromagnetic spectrum, for monitor threats and military actions security. *Radiogoniometry* is an application of Electronic Warfare, that is about of the determination of the angle of arrival (AoA) of radioelectric signals emitted from an unknown emitter point, by systems called *Direction Finder (DF)*. This titling project show the design of a monitoring system, and determination of direction of radioelectric signals in the frequency band HF, that work in group three elements: antenna for HF band called *ADD119 HF* , the DF processor equipment “*R&S® DDF255 Digital Direction Finder*”, which processes the information received by antenna, and a software application, which allow communication users-system DF more friendly, easy and agile, from any personal computer or PC. The project has as final users, members of AGRUCOMGE (Agrupación de Comunicaciones y Guerra Electrónica del Ejército), and it will be used for the operation of monitoring the radioelectric spectrum at the national level.

### KEYWORDS:

- **RADIOELECTRIC SPECTRUM**
- **RADIOGONIOMETRY**
- **ANGLE OF ARRIVAL**
- **DIRECTION FINDING**
- **FREQUENCY**

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

En el Ecuador el monitoreo del espectro radioeléctrico y la detección de emisiones electromagnéticas, especialmente para fines de seguridad interna y/o externa en la esfera civil o militar, se ha tornado una necesidad de Estado. En la actualidad esos objetivos pueden ser realizados con auxilio de equipos especializados importados, y que en la mayoría de las veces están sujetos a permisos de exportación especiales de gobiernos extranjeros. Adicionalmente, los elevados costos de inversión requeridos para la adquisición de los actuales equipos por agencias gubernamentales, tal como la Agrupación de Comunicaciones y Guerra Electrónica del Ejército (AGRUCOMGE), han limitado la acción del Estado en este ámbito. Considerando la actual crisis económica, que impacta al Estado Ecuatoriano, la alternativa de modernización nacional de los sistemas ya disponibles en las agencias gubernamentales es la mejor opción desde el punto de vista del uso racional de los recursos del Estado. Dentro de este marco la AGRUCOMGE cuenta con sistemas que permiten realizar el monitoreo, detección y determinación de la dirección de señales en la banda de frecuencias de HF, VHF y UHF. La AGRUCOMGE hace algunos años adquirió estos equipos de origen alemán, por un valor aproximado de \$500.000,00 dólares. Debido a restricciones presupuestarias y por problemas operacionales ese sistema, constituido por el

procesador “R&S® DDF255 Digital Direction Finder” y por un conjunto de antenas, modelos “ADD196 V/UHF” y “ADD119 HF” para la banda de HF/VHF/UHF, se encontraba fuera de operación y embodegado. Adicionalmente el personal que fue entrenado en su funcionamiento ya no estaba destacado al personal efectivo de la AGRUCOMGE.

## **1.2. Justificación e Importancia**

El estudio y análisis de sistemas DF (*Direction Finder* – Buscador de Direcciones), da cabida a una infinidad de aplicaciones, específicamente en el ámbito de seguridad y defensa militar. La Agrupación de Comunicaciones y Guerra Electrónica del Ejército (AGRUCOMGE) posee un sistema, el cual, permite obtener la dirección de señales radioeléctricas por medio de la detección del ángulo de llegada. De acuerdo a pruebas realizadas con esos equipos se verificó que el sistema se encontraba en condiciones para ser operado manualmente y que el software de control no estaba operacional. Por lo mencionado anteriormente y debido a las atribuciones operacionales inherentes a la AGRUCOMGE la recuperación de la operatividad del sistema de DF era una necesidad urgente.

Con esta motivación, investigadores y alumnos del Departamento de Eléctrica y Electrónica (DEEE) se propusieron recuperar el sistema DF de la AGRUCOMGE. Inicialmente fue realizó un estudio de los manuales de usuario y del software de control. Seguidamente, se concentró el estudio en el subsistema de la antena *ADD119 HF* que trabaja conjuntamente con el procesador de DF *R&S® DDF255*. El funcionamiento en conjunto de estos dos equipos permite determinar la dirección de emisores electromagnéticos en la banda de HF por el método Watson-Watt. Finalmente, el conocimiento adquirido fue consolidado a través del desarrollo de una aplicación que permitió optimizar la operación y amplió las funcionalidades del sistema de DF cuando

comparado con la operación manual del mismo. Adicionalmente, esto permite abrir todo un abanico de áreas de investigación que permitan reducir la dependencia tecnológica del país.

### **1.3. Alcance del Proyecto**

El proyecto tiene como objetivo brindar a las fuerzas armadas un sistema que permita determinar, por medio del cálculo del ángulo de arribo, la dirección de señales radioeléctricas emitidas por un transmisor cuya ubicación sea desconocido. Adicionalmente será desarrollado un software que permitirá a los operadores del sistema visualizar las emisiones radioeléctricas presentes en las bandas de interés, monitorear una señal de interés y mostrar en el monitor la dirección de origen de la emisora monitoreada.

Es importante resaltar que la nacionalización del código fuente del mencionado programa de control permitirá futuras actualizaciones de sus funcionalidades o incluso rediseño completa del mismo.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivos Generales**

Recuperación y repotenciación del sistema que permite analizar señales radioeléctricas, así como determinar la dirección de emisión de una señal, empleando la radiogoniometría de Watson-Watt y la antena *ADD119 HF* para guerra electrónica. Adicionalmente se desarrollará una aplicación de software para mejorar el monitoreo de las señales.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Demostrar la operabilidad de la antena *ADD119 HF*, en la banda de frecuencias de 300 kHz - 30 MHz, a través del monitoreo de señales con auxilio de los equipos buscadores de direcciones *R&S® DDF255* disponible en el centro de investigación.



- Investigar las diferentes técnicas de detección de señales radioeléctricas que se implementan en el conjunto *R&S® DDF255* y antena *ADD119 HF*, en busca de encontrar un modelo que facilite su análisis.
- Desarrollar una aplicación de software que facilite el manejo y operación del conjunto *R&S® DDF255* y antena *ADD119 HF* que monitorea las señales recibidas en la banda HF, permitiendo así, la optimización de su operación.
- Mantener vigente la operación del sistema de detección de señales electromagnéticas, para posteriores estudios de aplicaciones en seguridad y defensa de la AGRUCOMGE.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 2.1. Espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico, subconjunto del espectro electromagnético, contempla todas las posibles bandas para las telecomunicaciones. De acuerdo a la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT el espectro radioeléctrico está conformado por un conjunto de ondas radioeléctricas que son “Ondas electromagnéticas, cuya frecuencia se fija convencionalmente por debajo de 3000 GHz, que se propagan por el espacio sin guía artificial” (ITU, 2012). Es utilizado para brindar servicios de telecomunicaciones, radioaficionados, televisión, seguridad y defensa, medicina, industria, entre otras.

Está considerado por la Constitución de la República del Ecuador como “un sector estratégico, por tanto, el Estado se reserva el derecho de su administración, regulación, control y gestión” (Del Pozo, 2015). Dentro de este contexto, La Ley Orgánica de Telecomunicaciones lo define como un “recurso natural limitado, perteneciente al dominio público del Estado, inalienable e imprescriptible” (Del Pozo, 2015).

En la actualidad el espectro radioeléctrico es muy demandado para brindar servicios de comunicaciones inalámbricas como, las redes televisión digital terrestre, los sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha y en especial los sistemas inalámbricos móviles, esto se debe a la

necesidad que tiene la población de mantenerse en comunicación e información, y del desarrollo del país tanto social como económico.

El espectro está comprendido entre las frecuencias de 9 kHz a 30 GHz y es subdividido en bandas de frecuencia para cada aplicación. A continuación, mostramos las bandas de frecuencia y sus características:

**Tabla 1:**

*Subdivisión y características básicas del espectro radioeléctrico*

| SÍMBOLO                               | FRECUENCIA        | LONGITUD DE ONDA | USO   |
|---------------------------------------|-------------------|------------------|---|
| <b>VLF (Very Low Frequency)</b>       | 10 kHz a 30 kHz   | 30 km a 10 km    | Enlaces de Radio a Gran distancia                             |
| <b>LF (Low Frequency)</b>             | 30 kHz a 300 kHz  | 10 km a 1 km     | Además de la anterior, ayuda a la navegación aérea y marítima |
| <b>MF (Medium Low Frequency)</b>      | 300 kHz a 3 MHz   | 1 km a 100 m     | Radiodifusión   |
| <b>HF (High Frequency)</b>            | 3 MHz a 30 MHz    | 100 m a 10 m     | Comunicaciones a media y larga distancia                      |
| <b>VHF (Very High Frequency)</b>      | 30 MHz a 300 MHz  | 10 m a 1 m       | Enlaces de radio a corta distancia, TV, FM                    |
| <b>UHF (Ultra High Frequency)</b>     | 300 MHz a 3 GHz   | 1 m a 10 cm      | Enlaces de radio, ayuda a la navegación, Radar, TV            |
| <b>SHF (Super High Frequency)</b>     | 30 GHz a 30 GHz   | 10 cm a 1 cm     | Radar, enlaces de radio                                       |
| <b>EHF (Extremely High Frequency)</b> | 30 GHz a 3000 GHz | 1 cm a 0,1 mm    | Igual a la anterior   |

Fuente: (ARCOTEL, 2017)

## 2.2. Guerra Electrónica

### 2.2.1. Definiciones

Guerra electrónica EW (*Electronic Warfare*) es cualquier acción militar que involucre el uso del espectro electromagnético, para determinar, explotar, reducir o impedir el uso hostil del mismo por parte del adversario y a la vez conservar la utilización de dicho espectro en beneficio propio.

La Guerra Electrónica hoy en día no se limita únicamente a un grupo exclusivo de expertos, sino al contrario, es un tema de interés general. Esto se debe a que la guerra electrónica ha sido principal protagonista de hechos históricos como la Primera y Segunda Guerra Mundial, y es un activo importante en conflictos modernos como los desarrollados en Medio Oriente (Arcangelis, 1983)

### **2.2.2. Clasificación**

Guerra electrónica se basa en medidas y contramedidas electrónicas para permitir identificar cualquier tipo de amenaza, y evitar ataques sorpresas, estas medidas son tan importantes que pueden significar la victoria o derrota de un conflicto. Según estas medidas la Guerra Electrónica se puede subdividir en tres ramas principales (Arcangelis, 1983)

#### **2.2.2.1. Medidas Electrónicas de apoyo ESM**

Las ESM (*Electronic Support Measures*) son el conjunto de acciones destinadas a adquirir los elementos necesarios sobre emisiones de un adversario potencial. Estas son consideradas como medidas pasivas, porque no implican la emisión de energía electromagnética, y por tanto no puedan ser advertidas por el adversario. Las acciones que pueden ser usadas son: búsqueda, interceptación, goniometría e identificación de fuentes emisoras (Arcangelis, 1983).

#### **2.2.2.2. Contramedidas electrónicas ECM**

Las ECM (*Electronic Counter Measures*) son técnicas que se dedican especialmente a interferir en los equipos adversarios. Se pueden clasificar en activas y pasivas.

Las ECM activas tienen dos funciones: **Perturbación:** Es una acción que consiste en la radiación deliberada de energía electromagnética para neutralizar la eficacia de los equipos del adversario, esto se

produce modulando una onda portadora con una señal de ruido (Arcangelis, 1983). **Engaño:** También conocido como deceptor, es un sistema muy importante para la autoprotección. Según Arcangelis “Es un sistema capaz de falsear la información sobre distancia y demora que trata de adquirir un radar” (Arcangelis, 1983).

Las ECM pasivas pueden clasificarse como: **Dispositivos mecánicas:** Estas son cintas de estaño, las cuales reflejan las emisiones del radar, produciendo ecos falsos en sistemas de RADAR. **Químicas:** Son materiales como pinturas especiales diseñadas para absorber las ondas electromagnéticas con el objetivo de disminuir la sección recta de radar o RCS (*Radar Cross Section*). Son sistemas defensivos al igual que los engañadores.

### **2.2.2.3. Contra-contramedidas electrónicas ECCM**

Las ECCM (*Electronic Counter-CounterMeasures*), son sistemas que pretenden eludir a las ECM, tienen la capacidad de proteger los sistemas ante una acción ECM tomada por un enemigo en potencial.

## **2.2.3. Otras actividades de la Guerra Electrónica**

### **2.2.3.1. Inteligencia de Señales SIGINT**

La SIGINT (*SIGnals INTelligence*), está actividad no se la realiza específicamente en medio de un conflicto bélico, si no en cualquier momento para cualquier aplicación, consiste en “recoger, evaluar, analizar, interceptar y valorar informaciones relativas a países extranjeros considerados potencialmente hostiles o áreas de operaciones significativas para guerra electrónica” (Arcangelis, 1983).

Se puede subdividir en:

- **Inteligencia de Comunicaciones COMINT:** Capta las señales radioeléctricas del adversario para transformarlas en información técnica y operativa.
- **Inteligencia Electrónica ELINT:** Se relaciona con el estudio de las emisiones electromagnéticas, por ejemplo, las señales de radar.

## 2.3. Radiogoniometría

### 2.3.1. Definiciones

El término radiogoniometría tiene sus raíces del latín *Radius*, que significa rayo, y de las palabras griegas, *Gonia*, como ángulo y *Metron* como medida, viniendo a significar, "*medición del ángulo con el que se recibe una señal radioeléctrica*". La aparición de este término se remonta a finales del siglo XX cuando nació la radiocomunicación. Según la ITU, la radiogoniometría es la "Radio-determinación que utiliza la recepción de ondas radioeléctricas para determinar la dirección de una estación o de un objeto" (ITU, 2012). Viniendo a significar la radio-determinación como la "*Determinación de la posición, velocidad u otras características de un objeto, u obtención de información relativa a estos parámetros, mediante las propiedades de propagación de las ondas radioeléctricas*" (ITU, 2012).

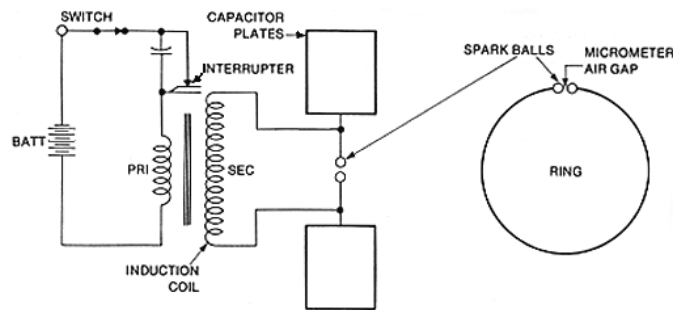
### 2.3.2. Antecedentes Históricos

La detección de la dirección de una señal que en sus inicios se denominó RDF (*Radio Direction Finding*), la cual ha sido una técnica que tuvo sus primeras ideas en el siglo XIX y que posteriormente darían nacimiento a todas las telecomunicaciones.

Uno de sus precursores fue el físico matemático escocés James Clerk Maxwell, que a partir de los experimentos realizados por Michael Faraday demostró que el magnetismo, la electricidad y la luz,

pertenece a un mismo campo que lo denominó campo electromagnético. Maxwell sintetizó su teoría en cuatro ecuaciones fundamentales que hoy en día se las conoce como “Las Ecuaciones de Maxwell”.

Esta teoría ayudó a que en 1886 el físico Heinrich Hertz, después de realizar experimentos en su laboratorio, descubra las denominadas “ondas radioeléctricas”. Hertz no se quedó ahí, demostró que, de acuerdo a las propiedades físicas de algunos materiales, estas ondas podían reflejarse. Diseñó máquinas que, a través de la descarga de un capacitor y la canalización por medio de un alambre, emitían estas ondas. Este elemento se denominó posteriormente “antena” y en 1888, cuando trabajaba en el rango de las ondas decimétricas, verificó la directividad – capacidad de concentrar energía en una determinada dirección, de las antenas.



**Figura. 1.** Esquema Transmisor y Receptor Hertz.

Fuente: (Sánchez, 2013)

Para 1895, tras un año de la muerte de Hertz, un joven italiano de apenas 21 continuó los estudios de Hertz y logró establecer la primera transmisión sin hilos, que se denominó radiotransmisión. Ese joven era Guillermo Marconi (en italiano, Guglielmo Marconi) que con la ayuda de las investigaciones que realizaba en esos momentos Nikola Tesla sentó las bases de la “telegrafía” y posteriormente dio origen al nacimiento de la radio.

A inicios del siglo XX se empezaron a realizar los primeros radiogoniómetros, en 1904 Christian Hülsmeier pudo detectar ondas de radio reflejadas por los barcos a 4 km, a este sistema lo denominó “Teleobiloscopio” (Pascual, 2002)



**Figura. 2.** Guglielmo Marconi y su primer dispositivo Tx.

Fuente: (González, 2004)

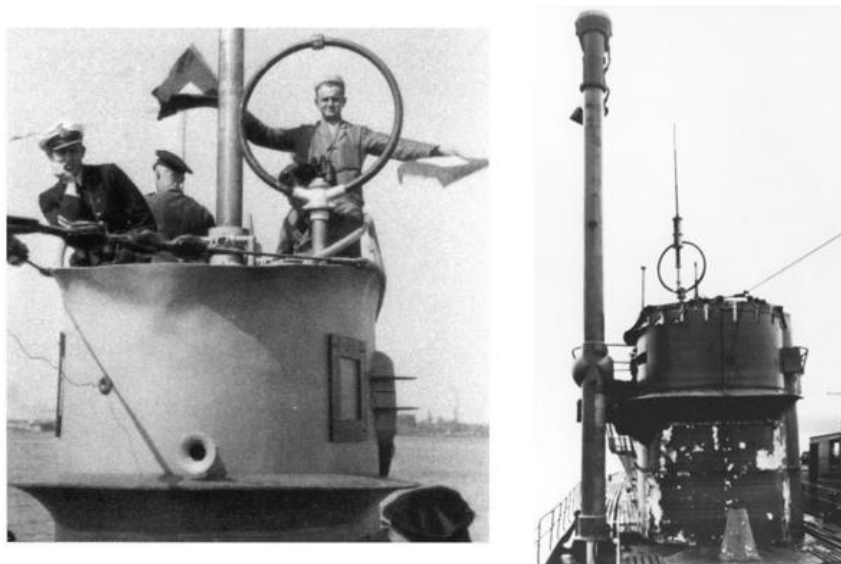
En 1906 Scheller obtuvo una patente por su método de homing DF, el cual determinaba la dirección de incidencia de las ondas electromagnéticas. En un inicio estos sistemas de RDF consistían en un dipolo que coincidía con la dirección del campo, ya sea eléctrico o magnético, y a partir de esa dirección se deducía la dirección de incidencia. Estos sistemas fueron muy comunes hasta los años 80s. En 1907 dos oficiales italianos Bellini y Tosi desarrollan un RDF, más pequeño que los modelos anteriores, que tenía dos antenas direccionales de bucle cruzadas con un radiogoniómetro para determinar la dirección (Rohde&Schwarz, Direction Finders Introduction into Theory of Direction Finding, 2011).

### **2.3.2.1. La radiogoniometría en la Primera Guerra Mundial**

Ya pasada la primera década del siglo XX en Europa se desarrollaron conflictos a causa del militarismo, imperialismo, y del poder, esto desembocó en La Primera Guerra Mundial, la cual llevó



consigo el desarrollo de mejores sistemas de comunicaciones por radio, así como de mejoras en los sistemas ya creados de RDF. A esto se unió en 1915 las investigaciones del ingeniero Sir Watson Watt que se dedicó a la radiodetección de tormentas y malos tiempos, con el fin de prevenir a los pilotos en el Servicio Meteorológico Británico. La necesidad de que los pilotos visualicen estas señales en un dispositivo dio una idea a Watt, él pensó en emplear el Tubo de Rayos Catódicos recién creado para crear ese dispositivo. Durante la guerra se instalaron estaciones radiogoniométricas tanto en el mar como en tierra, las del mar controlaban los movimientos de las flotas en cuanto las estaciones terrestres, del tipo Bellini-Tosi, para evitar el ataque de los Zeppelin.



**Figura. 3.** Antena tipo bucle de radiogoniómetro.

Fuente: (Mason, 2015)

Cabe recordar que una de las batallas más importantes de la Primera Guerra Mundial entre Alemania y Gran Bretaña fue la Batalla Naval de Jutland. Esta aconteció en una región que abarcaba el Mar del Norte, el mar Báltico y el Canal de la Mancha y es considerada uno de los primeros registros donde la guerra electrónica fue un factor decisivo para definir el lado vencedor.

En esta batalla la información de los radiogoniómetros fue crucial para la victoria británica, ya que permitió a los británicos determinar los movimientos de la flota alemana.

#### **2.3.2.2. El radar**

Culminada la guerra, el desarrollo de sistemas de telecomunicaciones no cesó, en 1917 el farmacéutico Adcock mejoró los sistemas DF con respecto a las ondas del cielo en el rango de onda corta, en esta época las ondas de radio estaban en la banda HF, la frecuencia llegaba hasta 30 MHz. En 1922 Marconi sugirió que se pueden detectar objetos a distancia mediante los ecos producidos por emisiones de radio (Peregrín Pascual, 2002) de forma independiente al estado del clima. Poco después los estadounidenses Hoyt Taylor y Lee Young demostraron las teorías de Marconi. En el año 1923 Watson Watt empezó a poner en marcha su idea de visualizar las señales por medio de una antena direccional y un osciloscopio, también dejó a un lado el radiogoniómetro movido mecánicamente, y desarrolló el sistema electrónico con antenas de bucle cruzado. A partir de esas experiencias Watson trabajó en el diseño de un dispositivo capaz de detectar un avión, así como bombarderos a larga distancia. A este dispositivo lo denominó “RADAR” (*Radio Detection and Ranging*).

#### **2.3.2.3. La radiogoniometría en la Segunda Guerra Mundial**

Para la llegada de la Segunda Guerra Mundial, las potencias como Alemania, Gran Bretaña y USA, desarrollaron el radar según su interés. Por un lado, los británicos instalaron una serie de estaciones de radio en la banda HF de 20 a 30 MHz, ubicadas en la costa de Inglaterra, se le denominó “*Chain Home*”, un radar biestático donde el transmisor y el receptor estaban separados. Fue uno de los primeros sistemas de radar de defensa aérea de la historia. Por otro lado, los alemanes realizaron la primera intercesión aérea en 1939, con la antena “Freya”, instalada en

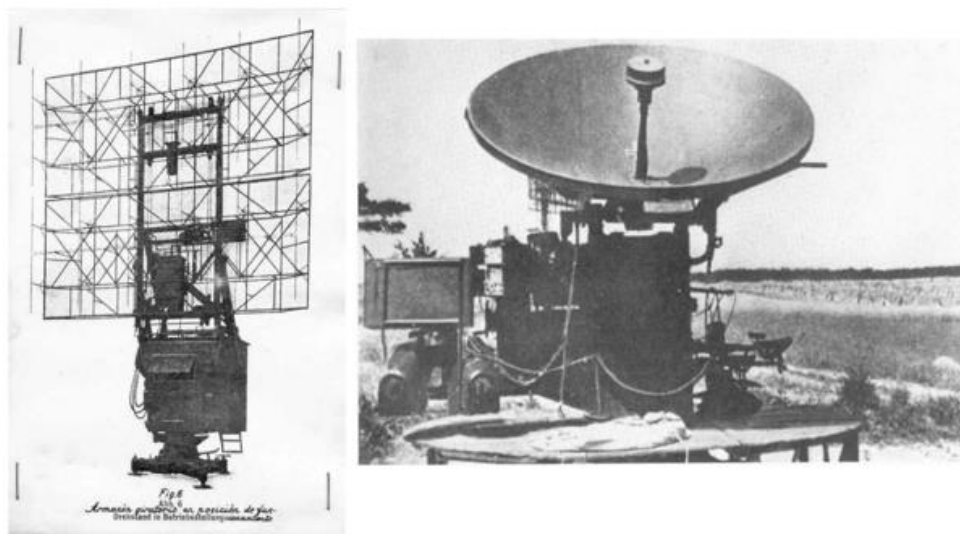
puestos fijos en la costa septentrional de Francia, Países Bajos y Alemania que trabajaba en la banda VHF, operaba entre 120 y 130 MHz.



**Figura. 4.** Estación *Chain Home* en Inglaterra.

Fuente: (Pascual, 2002)

Avanzada la guerra y gracias al gran sistema de defensa aérea *Chain Home*, para detectar los bombarderos alemanes, la Gran Bretaña pudo vencer la “Batalla de Inglaterra”. Esto impactó a la Alemania Nazista y les obligó a construir un nuevo radar perfeccionado, el cual se denominó “*Giant Würzburg*”, que operaba a 565 MHz y con un alcance de 45 millas. Ese radar indicaba la distancia, altura y dirección del avión enemigo.



**Figura. 5.** Antena Freya a la izquierda y Antena Würzburg de dirección de tiro a la derecha.

Fuente: (Pascual, 2002)

Los aliados también tuvieron participación en el desarrollo del radar, con radares terrestres de alerta temprana y detección de tiro de 200 MHz y alcance de 160 km, este sistema era el SCR, que tuvo muchos desarrollos por parte de EEUU que unió sus sistemas con las británicas para contrarrestar el poderío alemán.

En 1943 se instalaron tres sistemas DF Watson-Watt de tres canales en buques británicos para el rango de onda corta, a este se lo denominó “*huff-duff*”, para detectar submarinos alemanes. Los sistemas DF basados en el principio Doppler para detectar sistemas espías, fueron los primeros sistemas para esta función.

Una vez culminada la guerra con la derrota de Alemania, el radar y los sistemas DF tenían la capacidad de detectar aviones, bombarderos, dirección de tiro naval y de artillería, interceptación aérea, entre otras. Estos sistemas fueron el eje más importante en la guerra, y nunca antes un

dispositivo determinó el rumbo entre la victoria y derrota y determinar el hecho más importante del último siglo, es por eso el interés del estudio de los sistemas de detección de señales.



**Figura. 6.** Sistema SCR de EEUU.

Fuente: (Pascual, 2002)

#### **2.3.2.4. La radiogoniometría en las últimas décadas**

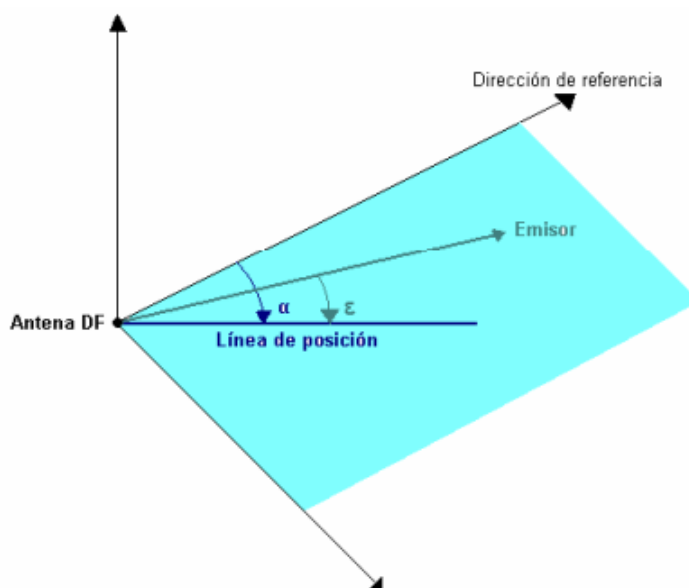
Los sistemas radiogoniómetros se empezaron a usar no solo para actividades militares y de defensa, es el caso de la década de 1950, donde estos sistemas fueron instalados en los principales aeropuertos del mundo, y trabajaban con sistemas de detección de dirección Doppler en las bandas VHF-UHF y permitían el control del tráfico aéreo.

Poco a poco los sistemas DF pasaban de analógicos a digitales y para los años setenta ya se tenía el control remoto digital en la búsqueda de direcciones. Para los años 80's el procesamiento digital de señales ayudó para que los sistemas evolucionen, un ejemplo es el *Direction Finder* de interferometría que es usado hasta la actualidad. Las características de las señales a ser detectadas

fueron cambiando también y con ello se han desarrollado sistemas de tipo de salto de frecuencia y del tipo *Spread Spectrum* (Graham, 2011).

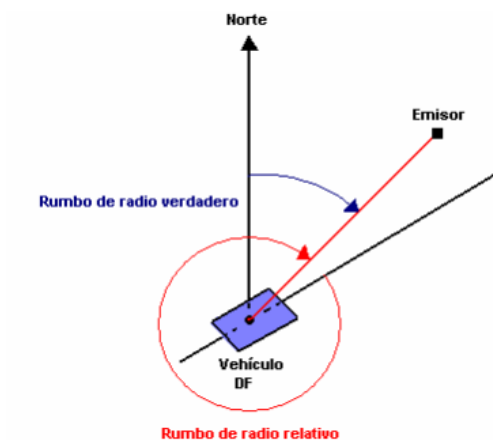
### 2.3.3. Ángulo de arribo (AoA)

Como hemos observado a lo largo de la historia, siempre ha existido la necesidad de estimar la dirección de llegada en el receptor de una señal de radiofrecuencia. Este parámetro se denomina Ángulo de Arribo o llegada AoA (*Angle of Arrival*), también conocido como Dirección de Arribo o llegada DOA (*Direction Of Arrival*), y se define como el ángulo que forma la dirección de propagación de una onda incidente y una determinada dirección de referencia. El azimut  $\alpha$ , es el parámetro que se necesita para determinar la dirección en sistemas DF que trabajan en tierra, mientras que en plataformas móviles es necesario el ángulo de elevación  $\varepsilon$  como se indica en las *Figuras*.



**Figura. 7.** Dirección de un emisor.  
Fuente: (González, 2004)

El rumbo verdadero en sistemas móviles se establece de acuerdo a la dirección del norte verdadero o rumbo de radio verdadero, norte magnético y el eje del vehículo o rumbo de radio relativo, como se indica en la siguiente *Figura*:



**Figura. 8.** Direcciones de referencia.  
Fuente: (González, 2004)

Para la estimación del AoA es necesario usar una red de antenas, esta utiliza el principio de determinar la diferencia entre los tiempos de llegada ToA (*Time of Arrival*) de la señal recibida por cada uno de los elementos de la red, para inferir el AoA conociendo la geometría del arreglo. En el cálculo del AoA diferentes técnicas de procesamiento de señales son utilizadas en función de la característica de las señales recibidas, i.e. si es de banda estrecha o de banda ancha (Reyes , 2009).

El procesamiento de las señales exige un alto volumen de cálculo y para reducir este costo computacional existen varios métodos o algoritmos de estimación del AoA optimizados. Lo que buscan es definir una función que ofrezca una indicación de los ángulos de arribo basados sobre los máximos de potencia de las señales, método denomina pseudoespectro  $P(\theta)$ , y que en la

mayoría de los algoritmos dependen de la matriz de correlación entre las señales incidentes y las recibidas (León, Badaoui, & Iturri, 2013).

Entre los principales algoritmos tenemos:

- Bartlett
- CAPON
- MUSIC
- Delay and Sum
- Predicción Lineal
- Máxima Entropía
- ESPRIT

Estos algoritmos se basan en la teoría de subespacios, del espectro espacial, o de verosimilitud.

Es el caso del método de Bartlett, CAPON y Delay and Sum la teoría del espectro espacial es utilizada. Estos métodos primero calculan el espectro espacial de las señales recibidas para después, a través de dos máximos, estimar las direcciones de la señal.

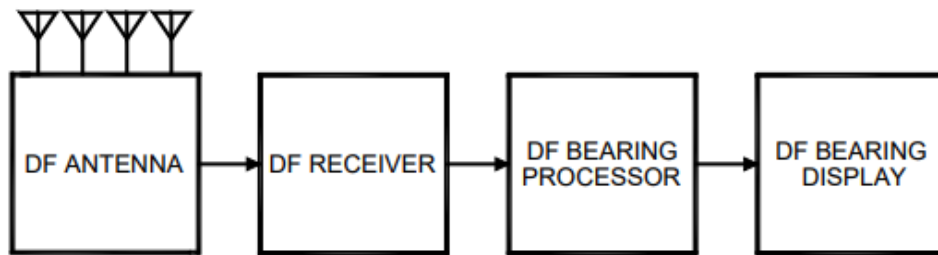
En los algoritmos basados en subespacios como es el caso del MUSIC, que además es el más conocido por su estructura propia de alta resolución, se analiza la matriz de correlación con el objetivo de se separa al espacio observado en dos subespacios denominados subespacio del ruido y subespacio de la señal.

Existen algoritmos que se basan en el cálculo de la relación de máxima verosimilitud. Esta relación está asociada a la función de densidad de probabilidad condicionada a la dirección de llegada (Cerna & Morejón, 2008).



#### 2.3.4. Sistemas de *Direction Finder* DF

El buscador de direcciones o DF (*Direction Finder*) es un sistema que permite obtener la dirección de llegada de una señal radioeléctrica transmitida. Generalmente está compuesto por: una antena DF, que es una red de antenas como se vio anteriormente (*DF antenna*), el receptor de DF (*DF receiver*), el procesador azimut (*DF bearing processor*) y una pantalla para visualizar los resultados (*DF bearing display*). El diagrama de bloques del sistema está ilustrado a continuación:



**Figura. 9.** Diagrama de bloques de un sistema DF.

## CAPÍTULO III

### RECUPERACIÓN DEL SISTEMA DF

Una vez visto cómo nacieron los sistemas DF, sus componentes principales, y su gama de aplicaciones se presentará el sistema que fue estudiado en este trabajo de graduación. Los antecedentes, sus características, su recuperación, y su operación son los temas abordados a continuación.

#### 3.1. Antecedentes

Para implementar un sistema DF, como lo visto anteriormente, es necesario de una antena que tiene la función de receptar las señales radioeléctricas, en un rango de frecuencia determinado, y de un equipo destinado al procesamiento de los datos recibidos por la antena receptora.

El año de 2011 La Agrupación de Comunicación y Guerra Electrónica (AGRUCOMGE) adquirió el sistema de DF, constituido por el procesador “*R&S® DDF255 Digital Direction Finder*” y por un conjunto de antenas, modelos “*ADD196 V/UHF*” y “*ADD119 HF*” para la banda de HF/VHF/UHF. Todo el sistema tuvo un valor aproximado de \$ 500.000.00 (quinientos mil dólares americanos).

Por motivos operacionales y/o económicos la AGRUCOMGE no consiguió mantener en operación el sistema de DF o de realizar actualizaciones del mismo. Adicionalmente, la falta de información y capacitación hacia los miembros de la agrupación encargados de manipular y gerenciar el sistema fue cogitado que el sistema estaba averiado e incluso se pensó en devolverlo a

su país de origen, Alemania. Pasó el tiempo y el sistema fue abandonado, para después enviarlo al Centro de Investigación Científica y Tecnológica del Ejército (CICTE).

En el mes de mayo de 2017, debido a la necesidad de recuperar y reactivar los equipos, nace la iniciativa por parte de los Ings. Rubén León (M.Sc.) y Alexis Tinoco (D.Sc.), que forman parte del centro de investigación, para conformar un grupo de trabajo con estudiantes de la carrera de telecomunicaciones del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE.

### **3.2. Antena ADD 119 HF**

#### **3.2.1. Características Generales**

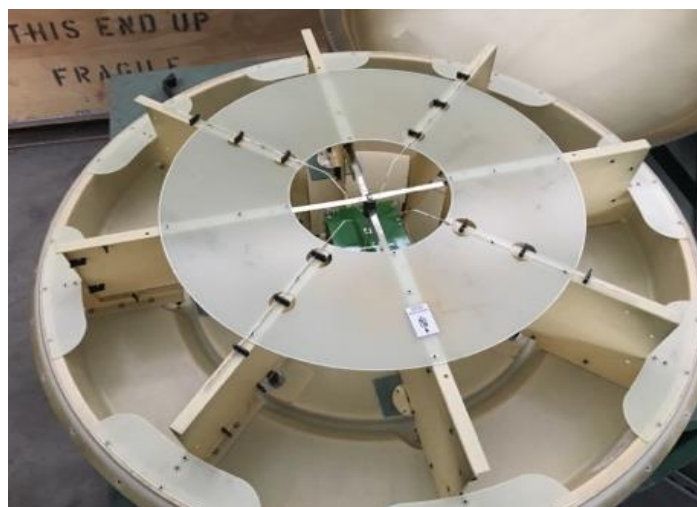
La antena ADD 119 HF es una antena Direction Finder que permite la recepción de ondas dentro de las frecuencias de 0.3 a 30 MHz. Es una antena la cual se puede utilizar como Direction Finder de tres canales y también de un solo canal. El equipo R&S® DDF 255 actual es de un solo canal.

Esta antena es compacta para trabajar en diferentes entornos y condiciones, sea en aplicaciones estacionarias o móviles como se muestran en la *Figura 10*.



**Figura. 10.** Aplicaciones antena ADD119.

La antena en su interior tiene dos lazos de antenas ortogonalmente cruzados en el centro de una antena dipolo que está situada verticalmente y tiene carga de tope. Estas son alimentadas por un sistema electrónico. Los circuitos electrónicos, y las antenas están protegidas por un randomo GRP de plástico reforzado con fibra de vidrio. También están protegidos contra sobretensiones inducidas por descargas atmosféricas.



**Figura. 11.** Estructura interna antena ADD 119.

La antena ADD 119 tiene seis conectores tipo N en su parte inferior, los cuatro primeros (X1, X2, X3, X4) se usan para interconexión con un procesador de DF con más de un canal, el sistema actual es de un solo canal, y se utilizan los conectores X10 y X20. Para este último caso, el conector X10 es utilizado por el DF y el X20 es usado por sistema de Monitoreo. Dos conectores tipo SJT-07GS usados para alimentación y control de la propia antena y del compás electrónico completa el conjunto de conectores de la antena ADD 119.

La ADD 119 tiene la capacidad de determinar la dirección con un error de  $2^\circ$  suponiendo entornos de suficiente interferencia y relación señal a ruido adecuada. Esto permite que la antena

pertenezca a la clase A de la ITU en el rango de HF. Además, permite la recepción de ondas de tierra plana, así como de ondas de cielo.

### 3.2.2. Especificaciones Técnicas

**Tabla 2:**

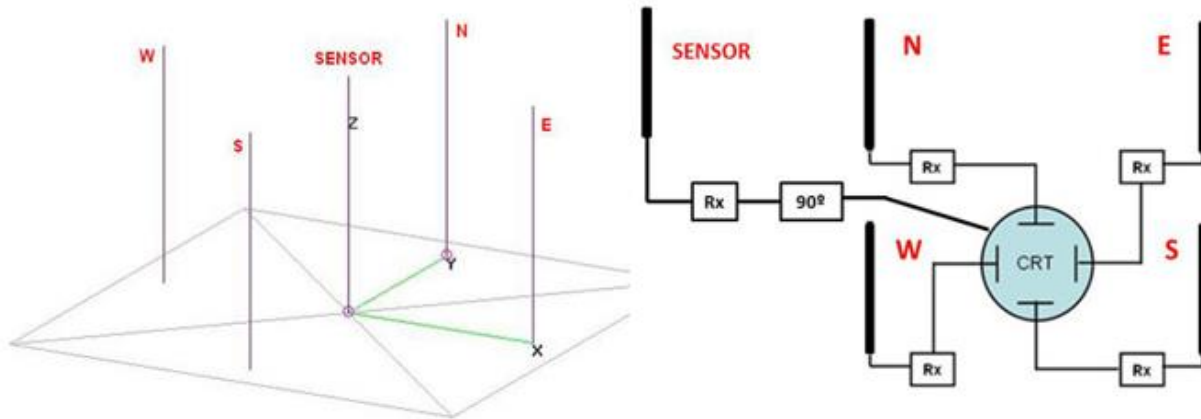
*Especificaciones Técnicas antena ADD119*

| Especificación                        | Detalle   |
|---------------------------------------|---|
| Aplicación                            | Escaneo rápido móvil para ondas de tierra y cielo con un ángulo de elevación bajo               |
| Rango de Frecuencia                   | De 0.3 MHz a 30 MHz, con sensibilidad y precisión limitadas para frecuencias inferiores a 1 MHz |
| Polarización                          | Vertical  |
| Altura permitida por encima del suelo | Aproximadamente $0.2 \lambda$   |
| Impedancia normal                     | $50 \Omega$   |
| Error de DF                           | $\leq 2^\circ$ rms  |
| Voltaje de alimentación               | de 15 a 18 V DC   |
| Corriente                             | $< 0.9$ A   |
| Dimensiones                           | Aproximadamente 1.1 m x 0.33cm  |
| Peso                                  | Aproximadamente 25 kg   |
| Método DF                             | Watson-Watt   |

### 3.2.3. Principio de Operación

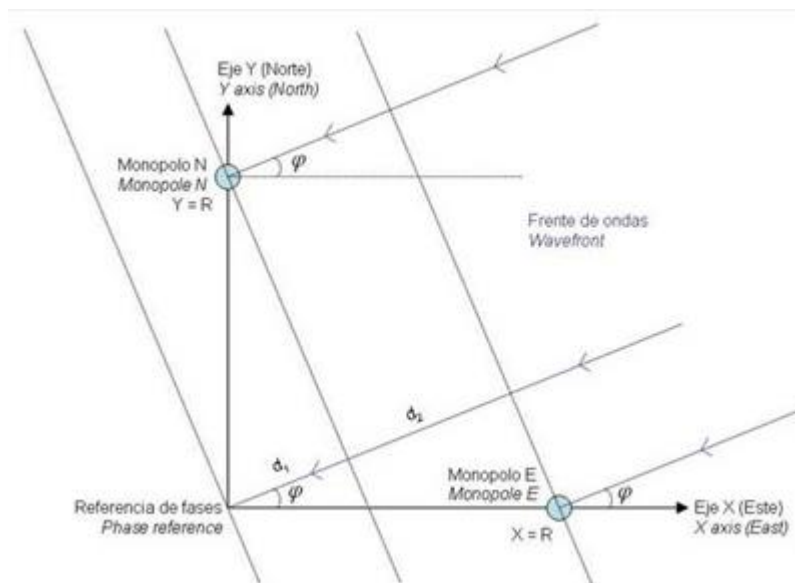
La antena ADD119, sigue el principio de Watson-Watt, el cual mejora al sistema Adcock. Cabe recordar que el sistema Adcock emplea un arreglo de 4 monopolos o dipolos dispuestos ortogonalmente que, rotándolas conforman un diagrama de radiación bidireccional, el cual permite encontrar el DoA de cualquier señal.

El inglés Watson Watt desarrolló su propio sistema DF aumentando al método de Adcock una quinta antena que sirvió para evitar ambigüedades, también añadió un dispositivo para visualizar la dirección de la señal por medio de un tubo de radios catódicos (CRT). El arreglo de antenas se visualiza en la siguiente *Figura 12*:



**Figura. 12.** Sistema Adcock/Watson-Watt.  
Fuente: (Pellejero, 2010)

Las señales a la antena llegan de la siguiente manera:



**Figura. 13.** Llegada del frente de ondas al arreglo de antenas.  
Fuente: (Pellejero, 2010)

Su principio consiste en que la señal receptada por la antena se aplican a las deflexiones “x” y “y” de un tubo de rayos catódicos. Obteniéndose una *Figura* de Lissajous cuya inclinación corresponde al ángulo de la señal con una ambigüedad de  $180^\circ$  (González, 2004).

La fórmula en un caso ideal para el ángulo de incidencia es:

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{U_x}{U_y}\right) \quad (1)$$

Donde  $U_x$  y  $U_y$  son voltajes en los ejes “x” y “y”. Cuando estamos en un medio con interferencias o reflexiones, que es el caso real, se muestra una elipse (*Figura de Lissajous*) con desplazamiento  $\delta$ . La ecuación de la elipse es la siguiente:

$$\varphi = \frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{2|U_x||U_y|\cos \delta}{|U_y|^2 - |U_x|^2}\right) \quad (2)$$

Este principio es esencial para localizar el AoA en tiempo real. La antena del sistema actual es de tipo Adcock, es decir arreglos de dipolos, lo cual permiten tener mayor calidad al recibir la señal. A continuación, se mostrará las ventajas y desventajas que tiene el uso de este tipo de red.

**Tabla 3:**

*Ventajas y desventajas antenas Adcock-Watson-Watt*

| Ventajas   | Desventajas   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubren rangos de frecuencia altos</li> <li>• El rango de error en estos sistemas es muy bajo, aproximadamente de 2° a 3°</li> <li>• Para recepciones multidireccionales permite la implementación de aberturas más anchas, y así evitar errores.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiene limitaciones en la separación de los elementos, máximo <math>1/3 \lambda</math> de la frecuencia más alta, y mínimo <math>1/10 \lambda</math> de la frecuencia más baja de trabajo.</li> </ul> |



**Figura. 14.** Sistema DF con principio Watson-Watt

La Fig. 14 ilustra un sistema general del procesamiento DF de la señal, el mismo que empleando la ecuación (2) calcula los valores numéricamente de los rumbos de la señal. La adición de filtros digitales mejora la selectividad del sistema. En el sistema actual la parte digital la realiza el equipo procesador R&S<sup>®</sup> DDF 255 de la marca alemana Rohde&Schwarz. La visualización en la PC la realiza un software diseñado exclusivamente para este proyecto y que se presentará en el capítulo siguiente.

### 3.3. Equipo R&S<sup>®</sup> DDF 255

#### 3.3.1. Descripción del Equipo



**Figura. 15.** Equipo DDF255.



El equipo R&S® DDF 255 permite procesar la información que la antena recibe, para visualizar en los diferentes paneles. Es un buscador digital de direcciones, el cual combina el receptor de monitoreo de banda ancha R&S ESMD, con el método de interferometría correlativo. Esto produce mayor precisión en DF, buena inmunidad a las reflexiones, así como más funciones para la medición y análisis. El equipo es apto para aplicaciones móviles.

El equipo de DF es confiable en entornos con reflexiones hasta 50 %, es creado especialmente para radiomonitorio y radiolocalización. En modo monitoreo el equipo trabaja hasta 3.6 GHz con alta rapidez de escaneo, en modo DF trabaja hasta con un ancho de banda en tiempo real de 20 MHz y su máxima frecuencia es 1.3 GHz, esto ayuda para receptar al mismo tiempo la dirección de las señales de radiodifusión, aeronáutica o marítimas.

El equipo tiene mejoras con respecto a sus antecesoros, una de ellas es el panorama IF, el cual permite un análisis más profundo en el espectro de la señal. Además, añade en el DF un espectro policromático, el cual sirve especialmente en escenarios con más transmisiones inalámbricas, para separar estas señales. Según el manual el R&S® DDF255 analiza la frecuencia de ocurrencia de cada señal individual y muestra los resultados en función de la frecuencia en un diagrama codificado por colores. Esto permite que las señales se diferencien e identifiquen más rápidamente” (Rohde&Schwarz, Accurate direction finding with measurement and analysis capabilities in a single unit, 2016).

### **3.3.2. Panel Frontal**

El panel frontal está dividido en tres secciones, configuración, monitoreo, y visualización.

### 3.3.3. Interfaz de Configuración

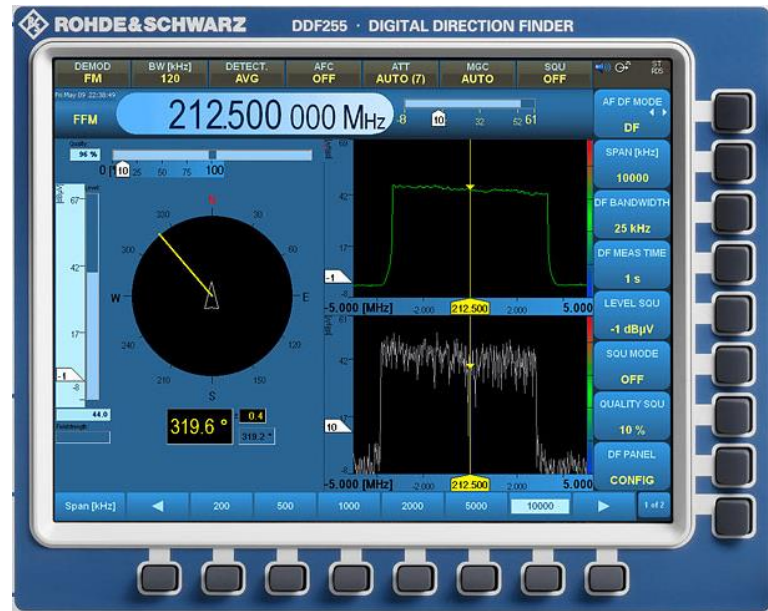


*Figura. 16.* Interfaz de configuración.

Las principales características son:

- Permite el encendido y apagado
- Permite acceder a toda la configuración del equipo en el botón SETUP
- Reinicio del equipo con PRESET
- Realizar una prueba con TEST
- Acceder al manual, tutorial, e información general de todo el equipo con el botón HELP
- Se puede visualizar si se está transmitiendo TX o receptando Rx a través de los leds encendidos.

### 3.3.4. Interfaz de visualización



**Figura. 17.** Interfaz de Visualización.

En esta sección se visualiza todo el entorno del sistema DF por medio de un display VGA de 8.4" (resolución de 1024x768 pixeles), la principal ventaja de este sistema es que nos permite visualizar varios paneles en el mismo instante, procesa los diferentes parámetros en milésimas de segundo y nos indica el panel de DF, y de monitoreo de la señal en tiempo real, como se observa en la *Figura 8*. Es un entorno muy amigable con el usuario y optimizado para una mejor interpretación de la información. En el lado derecho y superior se tiene selectores que permiten un acceso más rápido y directo con las herramientas más usadas del sistema.

### 3.3.5. Panel de Monitoreo



**Figura. 18.** Interfaz de Monitoreo.

Es la sección donde se tienen los botones para monitorear el sistema, aquí se seleccionan todos los parámetros que se desean modificar, entre los principales tenemos:

**Tabla 4:**

*Parámetros a modificar del panel*

| Parte Superior   | Parte Central  | Parte Inferior  |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Atenuación (ATT)</li> <li>• Control de Ganancia (MGC)</li> <li>• Control de Frecuencia (AFC)</li> <li>• Nivel de medida (Detected)</li> <li>• Ancho de Banda</li> <li>• Demodulación</li> <li>• Salir de opción (ESC)</li> <li>• Frecuencia Central (FREQ)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación (APPL)</li> <li>• Modo de Escaneo (SCAN)</li> <li>• Funciones de Memoria (MEM, RCL, SAVE)</li> <li>• Funciones de Panel de Control (LAYOUT, PREV, NEXT)</li> <li>• Marcador de Selección (MARKER)</li> <li>• Funciones Zoom (IN, OUT)</li> <li>• Cursores de Navegación</li> <li>• Funciones de Datos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de las funciones de los marcadores</li> <li>• Funciones de Audio (VOLUME, MUTE)</li> <li>• Puertos de Audio (Auriculares, Micrófono)</li> <li>• Puertos USB</li> </ul> |

### 3.4. Panel Trasero



*Figura. 19.* Panel Trasero equipo DDF255.

El equipo en su parte posterior brinda todas las entradas que hacen posible su funcionamiento, empezando con su alimentación. El equipo puede alimentarse con un cable de 12-32 VDC, 22-8 A, o por medio de un cable de poder de 100-240 VAC, 3.5-1.5 A como se muestra en la *Figura*:



*Figura. 20.* Alimentación del DDF255.

En otra sección del panel se tienen los puertos LAN, los cuales permiten la comunicación con una PC, más adelante se mostrará la aplicación de este puerto en el diseño de la aplicación para el usuario.



**Figura. 21.** Puertos LAN.

Las entradas más importantes del sistema se indican en la *Figura 22*, en la parte izquierda se tienen los conectores serial, estos se encargan del control de la antena ingresada. En la derecha se tienen los puertos de tipo N hembra, los cuales cumplen la función de RF de la antena.



**Figura. 22.** Puertos Serial y RF.

Como se observa en la *Figura 23* existen puertos adicionales, los cuales entre sus características principales están:

- Conexión Osciloscopio, monitor de video análogo (Video A, Video B)
- Integración de dispositivo GPS (GPS\_1s, X10A GPS)
- Frecuencias externas de referencia (REF IN, OUT)
- Integrar antena auxiliar, señales de audio.
- Puertos USB.



*Figura. 23.* Panel trasero del dispositivo.

### 3.5. Puesta en Operación del Sistema

Una vez conocidas las características y funciones, tanto de la antena como del equipo digital, se procedió a realizar pruebas que comprueben el funcionamiento del sistema. La antena ADD 119 se la encontró con los siguientes elementos:

- Cable RF coaxial tipo N de 15m de largo y 0.5cm de diámetro
- Cable serial de control de la antena con conector SJT-07GS para la antena y serial para el equipo.
- Tripode
- Compás de calibración
- Protector de tipo Radom

Tanto la antena como el equipo DDF255 son de marca Rohde & Schawrz. Como se mencionó al inicio del capítulo, el sistema fue prestado por la AGRUCOMGE al CICTE con el objetivo inicial de realizar un estudio del estado actual, es decir de su estado físico y de operatividad. En este se verificó que el sistema ya había sido utilizado, especialmente la antena tenía varias huellas de

manipulación (ya había sido abierta), sin embargo, se encontraban en buenas condiciones para iniciar con las pruebas de operatividad.



**Figura. 24.** Estado Antena ADD119.

Antes de empezar a realizar las comprobaciones del funcionamiento, se realizó un estudio detallado de los manuales de usuario digitales. Estos fueron adquiridos junto con el sistema, y se encontraban en idioma alemán e inglés. Una vez obtenida la información básica del funcionamiento del sistema, se procedió a conectar los cables en el equipo, el monitoreo y DF en el puerto tipo N hembra X44, y para el control en el puerto serial X3.

Conectada la antena al equipo, y el mismo conectado a la alimentación, se procedió a encenderlo, el sistema operativo es Windows XP que, al prenderlo se puede visualizar. Automáticamente el sistema operativo abre el software del DDF, y se visualiza la Interfaz del



Display como se vio en la anterior sección. Con esto se comprobó que, el display y sus comandos no estaban averiados y menos aún el equipo quemado.

Ahora, se procede a verificar en el DDF si la antena ha sido reconocida, esto se lo puede visualizar en la configuración del mismo. El primer paso que se debe realizar antes de monitorear las señales es el de calibrar la antena geográficamente, esto se lo realiza con un compás (brújula) externo que fue adquirido con la antena, como se indica a continuación:

### 3.5.1. Calibración del Compás

Es de suma importancia que la antena se encuentre bien ubicada, y en equilibrio, esto se realiza por medio del trípode. Para regularlo se utilizó un nivel en diferentes posiciones como se indica en la siguiente *Figura*:



*Figura. 25.* Nivelación del trípode.

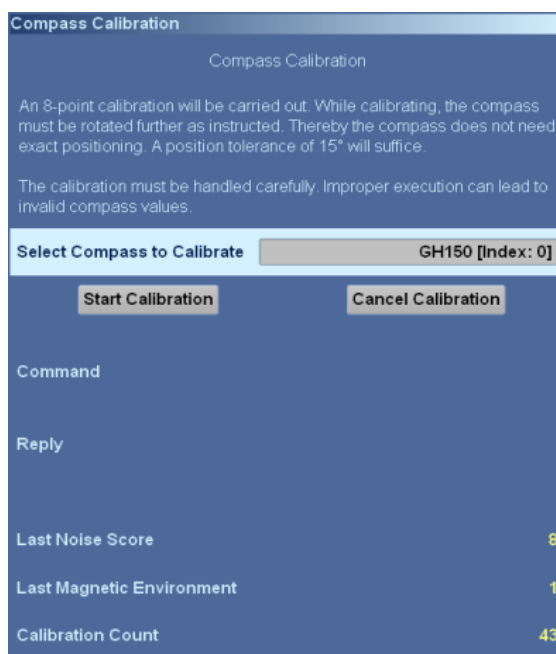
La calibración de esta brújula se la realiza con 8 puntos de referencia, y va rotando por cada uno de estos puntos hasta llegar al origen ( $360^\circ$ ), por lo tanto, no necesita una posición geográfica

exacta, con  $15^\circ$  es suficiente. Para que la rotación sea exacta se traza una circunferencia concéntrica como se muestra en la *Figura*:



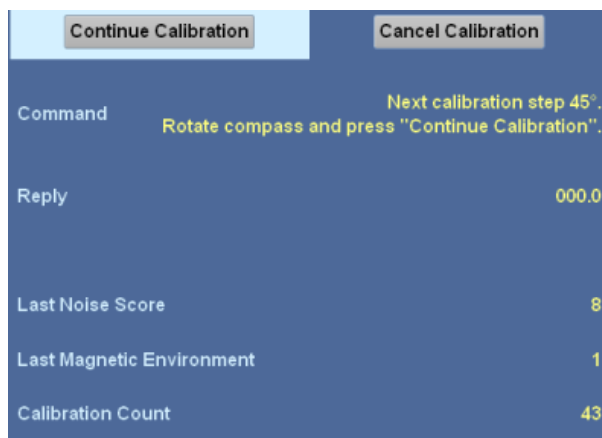
*Figura. 26.* Escenario de Calibración del compás.

Una vez ubicada correctamente la antena, se inicia la calibración, para eso el DDF255 tiene incluido en su configuración este proceso, se ingresa al panel de calibración de compás, que es el que se indica en la siguiente *Figura*:



**Figura. 27.** Panel de Calibración de Compás.

Aquí primero se muestra el nombre y el índice del compás, el que porta la antena ADD119 es GH150@ADD119, y el índice es 1. Una vez reconocido el compás se inicia la calibración mediante el botón “*Start Calibration*”, y en el campo “*Command*” se visualizan las instrucciones del proceso a seguir, como se muestra en el siguiente ejemplo:



**Figura. 28.** Proceso de Calibración de Compás.




El campo *Command* indica el siguiente paso a realizar, en este ejemplo señala que se debe rotar la antena 45° y presionar *Continue Calibration*, esto aparecerá hasta que se haya situado la antena en los 8 puntos de referencia (pasos de 45°). Terminado el proceso, en el campo se indicará “*Field Calibration Complete*”.

El proceso de calibración fue exitoso, por lo cual se procedió a realizar las pruebas del sistema DF (antena y equipo), que son mostradas en la siguiente sección:

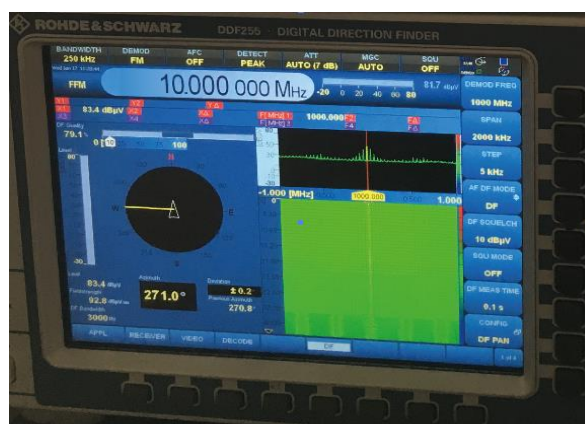
### 3.5.2. Pruebas del Sistema

Las pruebas se realizaron por medio de un generador de señales, y una antena que cumpla con la función de transmisora de señales en la banda HF a continuación se detallan los equipos.

**Tabla 5:**  
*Dispositivos para pruebas*

| Generador de Señales  | Antena Tx   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="201 1125 797 1184">• Anritsu MS2712E, Analizador de Espectros, cuyo rango de operación es de 100 kHz a 4 GHz</li> </ul>  <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="201 1472 797 1530">• Agilent E4438C, Generador Vectorial de Señales, cuyo rango de operación es de 250 kHz a 3.6 GHz</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="821 1125 1143 1150">• Antena ICOM AH-7000</li> </ul>  <p data-bbox="821 1682 1273 1707">Transmite señales en la banda HF, V/UHF</p> |

En la comprobación del funcionamiento, se ubicó al transmisor en el W (OESTE, 270°) de la antenna, y se generó una señal de 10 MHz. Ubicando en la aplicación DF del equipo, el resultado fue el siguiente:



**Figura. 29.** Resultados de la prueba.

Como se observa, tenemos 3 paneles, el uno indica todos los parámetros del DF, el otro el espectro de la señal emitida, y el último el sonograma con la intensidad de la señal, a continuación, detallamos todos los parámetros que se ingresaron y los que se obtuvieron:

**Tabla 6:**  
Resultados obtenidos de las pruebas

| <i>Estado</i>    | <i>Parámetro</i>    | <i>Valor</i> |
|------------------|---------------------|--------------|
|                  | Frecuencia          | 10 MHz       |
|                  | Ancho de Banda      | 250 kHz      |
| <i>Seteados</i>  | Demodulación        | FM           |
|                  | SPAN                | 2000 kHz     |
|                  | STEP                | 5 kHz        |
|                  | Tiempo de medida DF | 0.1 s        |
|                  | Azimuth             | 271°         |
|                  | Calidad             | 79.1°        |
| <i>Obtenidos</i> | Ancho de Banda DF   | 3000 Hz      |
|                  | Nivel               | 83.4 dBuV    |

Se realizaron pruebas similares a estas, con diferentes frecuencias y ángulos, las cuales fueron satisfactorias y sus parámetros estuvieron en el rango que sujeta a las especificaciones de los equipos. Estas pruebas fueron de gran utilidad para poder monitorear las señales, uno de los objetivos del proyecto fue manejar el sistema identificando con claridad los parámetros de la señal, y conocer las principales aplicaciones y opciones que nos da el equipo. (Luna, y otros, 2018)

Con esto la primera parte del proyecto se concluyó, teniendo un manejo total del equipo, y conociendo sus principios y su funcionamiento. El primer inconveniente que tuvieron cuando el sistema se adquirió fue que, el equipo tenía demasiadas aplicaciones, opciones y selectores, lo que para los operadores se les hacía muy difícil el manejo del mismo, por lo tanto, la segunda parte del proyecto es destinada al desarrollo de una aplicación para PC que optimice la manipulación del equipo, sin quitar la efectividad del mismo.

A continuación, se indica cómo se hizo efectiva la aplicación, los conceptos generales que se usaron para la programación, los sistemas operativos y software usados, y las pruebas realizadas de todo el sistema implementado en el campo.

## CAPÍTULO IV

### DESARROLLO DE SOFTWARE

En el capítulo anterior se observó cómo fue la recuperación del sistema DF que, en primera instancia del proyecto, no se sabía si éste era o no útil, así mismo por medio de sus manuales, protocolos, modelos de funcionamiento, se adquirió el conocimiento de su importancia, y así poder lograr la manipulación total y eficaz del sistema, por lo tanto se procede al desarrollo del software que optimice su manejo, y en esta sección se darán todos los detalles para la creación de esta aplicación para PC.

#### 4.1. Antecedentes

La empresa alemana Rohde & Scharwz, junto con sus equipos, tiene desarrollado software que permiten el manejo de estos desde la PC, es el caso del software R&S ARGUS el cual “ha sido la opción preferida por reguladores de más de 100 países durante 30 años, mide, analiza y evalúa. Los modos de medición, que reflejan flujos de trabajo típicos, respaldan a los operadores en su trabajo diario. Numerosas estadísticas analizan los datos en profundidad y crean informes informativos y concisos” (Rohde&Schawrz, 2017).

El alto costo de adquisición, y el de mantenerlo activo, han sido un impedimento para que el sistema se siga usando en el país.

En el año de 1996 se tuvo la idea en el CICTE, de realizar un software para el monitoreo del espectro de las señales y, que hasta el día de hoy sigue en operación. El Ing. Héctor Moya junto con otros colaboradores fueron quien realizaron esta aplicación, y facilitó sus conocimientos para el desarrollo del software del presente proyecto. (Luna & Berrones, 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 HF, 2018)

## **4.2. Entorno de Programación**

El desarrollo del software se lo realizó en lenguaje de programación C++ por medio de la plataforma Visual Studio 2017, la comunicación con el equipo DDF255 se lo realiza por medio de comandos, estos se denominan SCPI, a continuación, detallaremos cada uno de estos tres elementos virtuales.

### **4.2.1. Lenguaje C++**

El lenguaje C++ nació como un complemento del C, pero debido a que su programación es procedimental, orientada a objetos, y de eventos para programar interfaces gráficas, se convirtió en un estándar a nivel mundial. En la actualidad es uno de los más usados, para desarrollo de aplicaciones es el mejor, según programadores profesionales, todo este éxito se debe a la gran cantidad de ventajas, que entre las más importantes se tienen:

- **Versatilidad:** Es un lenguaje de propósito general, se puede usar para la resolución de cualquier tipo de problemas.
- **Eficiencia:** Uno de los lenguajes más rápidos de ejecución, debido a su procesamiento y compilación.



- **Portabilidad:** Es una de las ventajas más importantes, ya que el lenguaje está estandarizado y se puede ejecutar en diversas plataformas.

- **Difusión:** Existe mucha información acerca de este lenguaje, debido a la cantidad de usuarios que lo emplean a nivel mundial, siendo uno de los más comerciales.

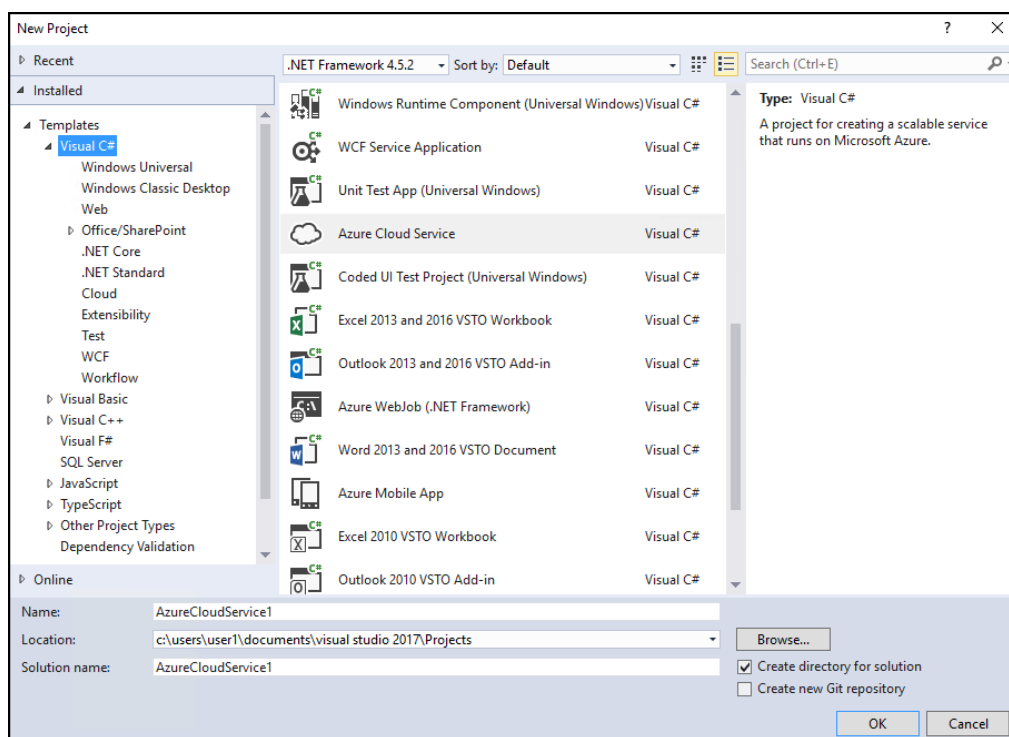
La programación que se emplea es orientada a objetos, se basa en encapsular “atributos” (datos), y “métodos” (funciones), en estructuras denominadas “clases”, para modelar objetos del mundo real (Luján Mora, 2010). A esto se añade la programación de eventos, que permiten el diseño de interfaces gráficas.

#### 4.2.2. Microsoft Visual Studio

Visual Studio es un Entorno de Desarrollo Integrado IDE (*Integrated Development Environment*), el cual soporta prácticamente cualquier tipo de código. Edita, depura, genera y publica aplicaciones para sistemas como Android, iOS, Windows, entre otras plataformas, un sinnúmero de aplicaciones que según su versión y extensiones van aumentando cada día. Visual Studio brinda plantillas para crear interfaces de aplicación, como ejemplo tenemos sitios web, aplicaciones móviles, aplicaciones para PC, Office y más, como se puede visualizar en la siguiente imagen donde se observan algunas plantillas para lenguajes de programación como Visual C#, Visual C++, Visual Basic, Visual F#, JavaScript, y más, para crear aplicaciones de cualquier necesidad.

Una de las características más importantes de Visual Studio es su instalación, ya que se puede descargarlo desde la misma página de Microsoft sin necesidad de buscar otras alternativas. Para el actual proyecto se trabajó con Visual Studio 2017, el cual tiene un instalador modular que permite elegir e instalar cargas de trabajo, que son grupos de características necesarias para el lenguaje de

programación o la plataforma que prefiera (Microsoft, 2018). Esto ayuda a Visual Studio a ser más ligero y tener mayor rapidez al momento de instalar o actualizar.



**Figura. 30.** Entorno Visual Studio.

Fuente: (Microsoft, 2018)

### 4.2.3. Comandos SCPI

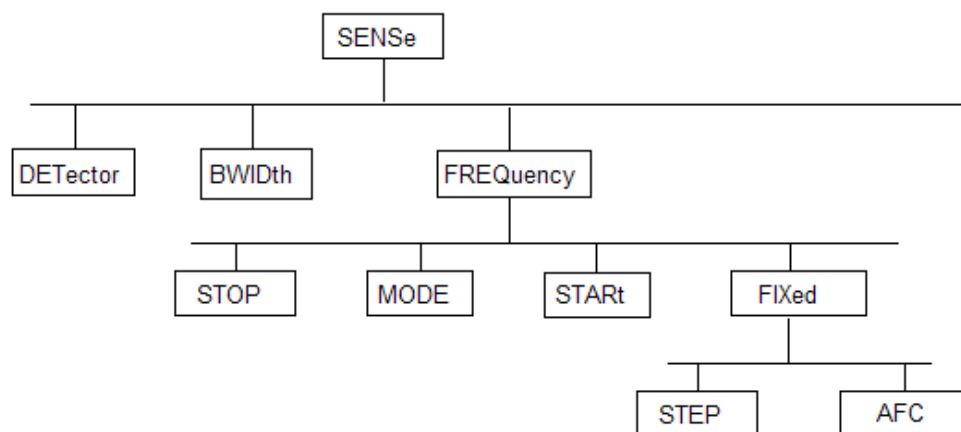
El procesador DDF255 es un instrumento programable, el cual permite controlar sus operaciones, conocer su estado, e intercambiar datos, esto se realiza por comandos, los cuales son el lenguaje por el que se comunica el equipo, debido al gran número de sistemas programables, se dio la necesidad de estandarizarlos. El estándar se lanzó en 1990 por la empresa SCPI Consortium, y se denomina hasta el día de hoy, IEEE 488.2 o Comandos Estándar para Instrumentos Programables SCPI (*Standard Commands for Programmable Instruments*).

Son comandos que se envían al equipo sobre la capa física, y son reconocidos para permitir que se ejecuten acciones específicas del usuario, y son usados por muchos instrumentos, con la finalidad de compatibilizarse y facilitar su programación.

El procesador DDF255 maneja comandos comunes que se toman del estándar y no varían en otros equipos, se conforman por tres letras y se anteceden por un asterisco (\*), ejemplo:

\*RST (Reinicia el equipo a un estado predefinido).

Además, el equipo tiene comandos específicos, los cuales solo son entendidos por este equipo. Estos comandos son de estructura jerárquica. Los diferentes niveles están representados por encabezados combinados. Los encabezados del nivel más alto (nivel raíz) tienen solo una palabra clave. Esta palabra clave denota un sistema de comando completo, como por ejemplo el comando SENSE tiene comandos con menor jerarquía como se puede ver en el siguiente esquema:



**Figura. 31.** Ejemplo de jerarquía comandos SCPI.

Para los comandos de niveles inferiores, se debe especificar la ruta completa, empezando por la izquierda con el nivel más alto, las palabras clave individuales están separadas por dos puntos (:) por ejemplo, la siguiente orden:

```
SENSe:FREQuency:StARt 118 MHz
```

El comando Start se encuentra en el tercer nivel jerárquico de Sense, este comando envía la orden de que la frecuencia inicie en 118 MHz.

El equipo DDF255 reconoce si es mayúscula o minúscula y lo generaliza, es decir se puede escribir en minúsculas los comandos y el equipo los entiende, como los siguientes ejemplos:

```
frequency 10 MHz  
demodulation FM  
bandwidth 250 KHz
```

Los ejemplos anteriores son de los más usados en el propósito del proyecto, aquí damos la orden al equipo de que fije la frecuencia central en 10 MHz, la modulación sea FM, y el ancho de banda de 250 kHz.

El equipo también brinda la posibilidad de responder, existen comandos que solicitan al equipo información de sus parámetros, esto se lo realiza escribiendo el argumento que se desea solicitar seguido del símbolo “?”, como se muestra a continuación:

```
frequency?
```

El equipo reconoce la petición y envía de respuesta su valor, en este caso envía la frecuencia central de ese momento. El envío lo hace sin unidades es decir si la frecuencia central es 10 MHz, el equipo responde 10000000.

### **4.3 Comunicación PC-Equipo**

Uno de los temas más importantes que se aborda en el proyecto, es el lograr que se comunique la PC con el equipo, en términos informáticos se denominan “Cliente” y “Servidor”, donde el cliente envía

peticiones al servidor, este las identifica y las responde, en este proyecto el cliente es la PC, y el servidor el equipo DDF255, y las peticiones son los comandos SCPI que enviará el cliente.

Para que exista esta conexión, y el cliente y el servidor puedan intercambiar información, se necesita:

- Una técnica de comunicación
- Un protocolo de comunicación a nivel de red
- Una dirección del protocolo de red
- Un puerto que identifique el equipo dentro de la PC.

La comunicación entre la PC y el equipo se realizó por un enlace LAN, por medio de sockets, y con el protocolo TCP/IP, los cuales detallaremos a continuación.

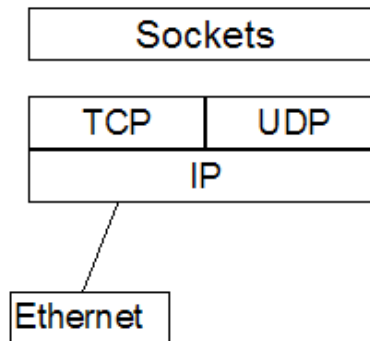
#### **4.3.1 Sockets y Protocolos**

El equipo DDF255 tiene la capacidad de ser controlado por varios clientes remotos, sin embargo, debido al principio de control competitivo, diferentes clientes pueden modificar los mismos parámetros. La memoria central secuencia los procedimientos de acceso (último cliente gana), y envía mensajes a los otros usuarios que un parámetro ha sido cambiado.

Estos clientes están conectados mediante sockets, que es un método por el que se pueden comunicar el cliente y el servidor en una red, se define como el extremo de esta comunicación, el punto final en una conexión. Estos son enlaces lógicos punto a punto que son independientes del medio de transmisión utilizado. También se define como “Un socket es un punto final de un enlace de comunicación de dos vías entre dos programas que se ejecutan a través de la red” (Fúquene, 2011).

Para que el socket realice su proceso, el cliente y el servidor deben tener un protocolo en común, este puede ser orientado a la conexión como TCP (*Transfer Control Protocol*), o no

orientado a la conexión como UDP (*User Datagram Protocol*). Estos protocolos se basan a su vez en el Protocolo de Internet (IP). El protocolo UDP no es usado en el equipo DDF255. A continuación, se puede observar el modelo de capa de los sockets:

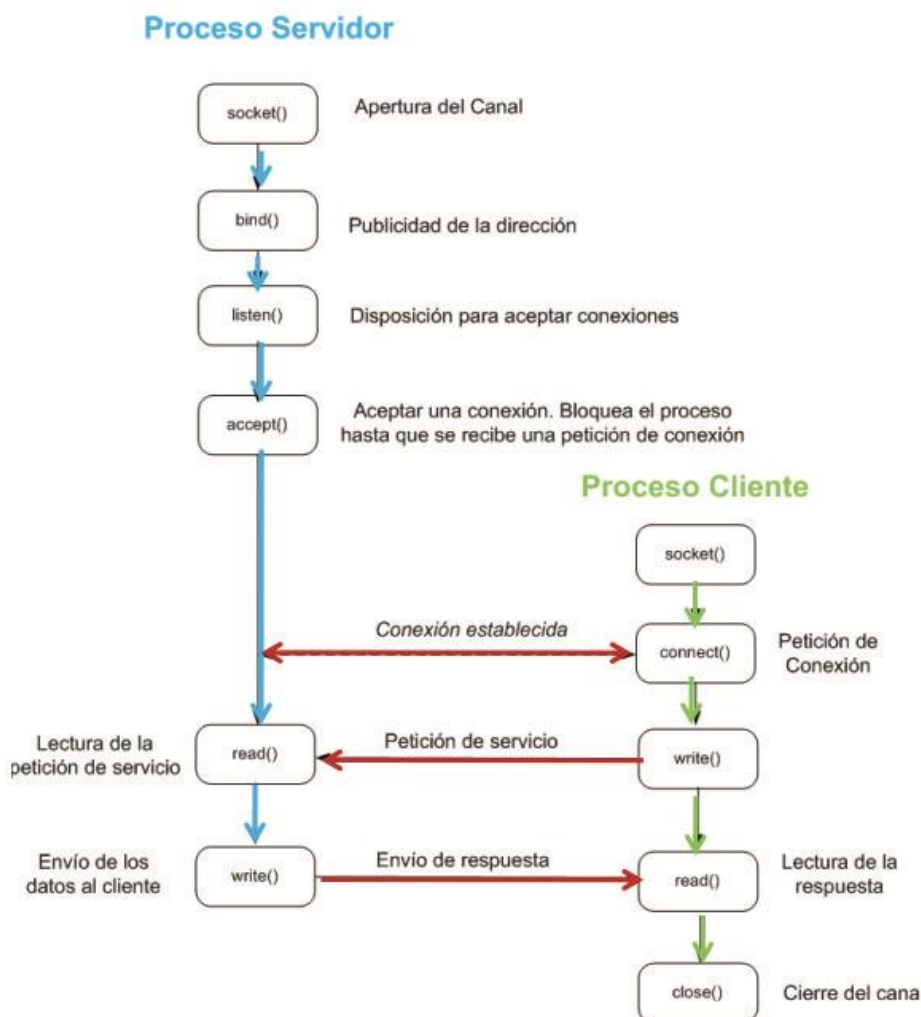


**Figura. 32.** Modelo de capa de los Sockets

En general para establecer la comunicación entre cliente y servidor por el protocolo orientado a conexión, se realiza el proceso ilustrado en la *Figura 33*:

El uso de sockets tiene varias ventajas:

- Los protocolos utilizados están estandarizados e implementados en todos los sistemas operativos habituales (Windows, UNIX, SunOS y muchos más).
- Los enlaces TCP están protegidos contra errores de transmisión.
- El software de host puede generarse independientemente del medio de transmisión utilizado (LAN o RS232).
- Varios enlaces lógicos pueden usar el mismo medio de transmisión.
- El enrutamiento IP también permite el acceso a unidades remotas a grandes distancias (por ejemplo, a través de Internet).



**Figura. 33.** Proceso de Ejecución Socket

Fuente: (Macedo, 2015)

Para que el socket se inicialice la dirección IP y el número de puerto deben estar correctos, esto depende de cada equipo, y se le puede visualizar en configuración de cliente remoto. Una vez establecida la conexión, el equipo realiza la comunicación por medio de cuatro unidades, detalladas a continuación:

- **Unidad de Entrada:** La transmisión de datos a través de sockets está orientada a paquetes. Cada paquete recibido se entrega al reconocimiento del comando.

- **Detección de comando:** Analiza los datos recibidos de la unidad de entrada, estos son seriales, se procesan según son recibidos. Los datos recibidos son comandos SCPI que se almacenan en una memoria intermedia y son enviados a la memoria de datos, donde se verifica su coherencia. Si los comandos son consistentes, se ejecutarán de inmediato, y los otros módulos serán informados. Finalmente, las cadenas de respuesta de SCPI se envían a la unidad de salida.
- **Unidad de Salida:** Recopila los datos en un búfer de salida, si la unidad de detección de comando identifica el final de un comando SCPI, la unidad de salida envía los datos del búfer a la computadora a través del socket.
- **Sistema de Informe de Estado:** Recopila información sobre el estado del dispositivo y lo pone a disposición de la unidad de salida a petición. Esta unidad se puede utilizar para enviar mensajes a eventos asincrónicos (por ejemplo, estados de error, disponibilidad de resultados, modificaciones de datos por otros usuarios, etc.) a la computadora host.

#### 4.4 Diseño de Software

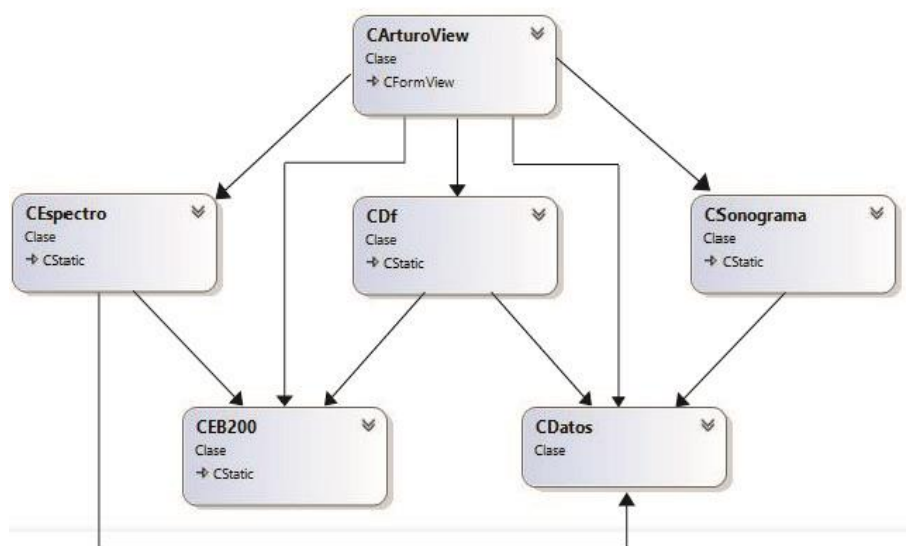
Como se mencionó anteriormente el software se diseñó en la plataforma Visual Studio 2017, bajo el lenguaje de programación C++. La comunicación con el procesador DDF255 se realizó por un enlace LAN, por medio de sockets con protocolo TCP y comandos SCPI.

El programa fue dividido en clases, cada una con una función específica, esto se realizó por organización y tomando referencias a las necesidades impuestas.

##### 4.4.1 Clases Principales

El programa tiene como clase principal “**ArturoView**”, aquí están todas las clases que se usaron para el proyecto, como se indica en el siguiente diagrama de clases:





**Figura. 34.** Diagrama de Clases Programa

A continuación, se detallarán las principales funciones de cada clase

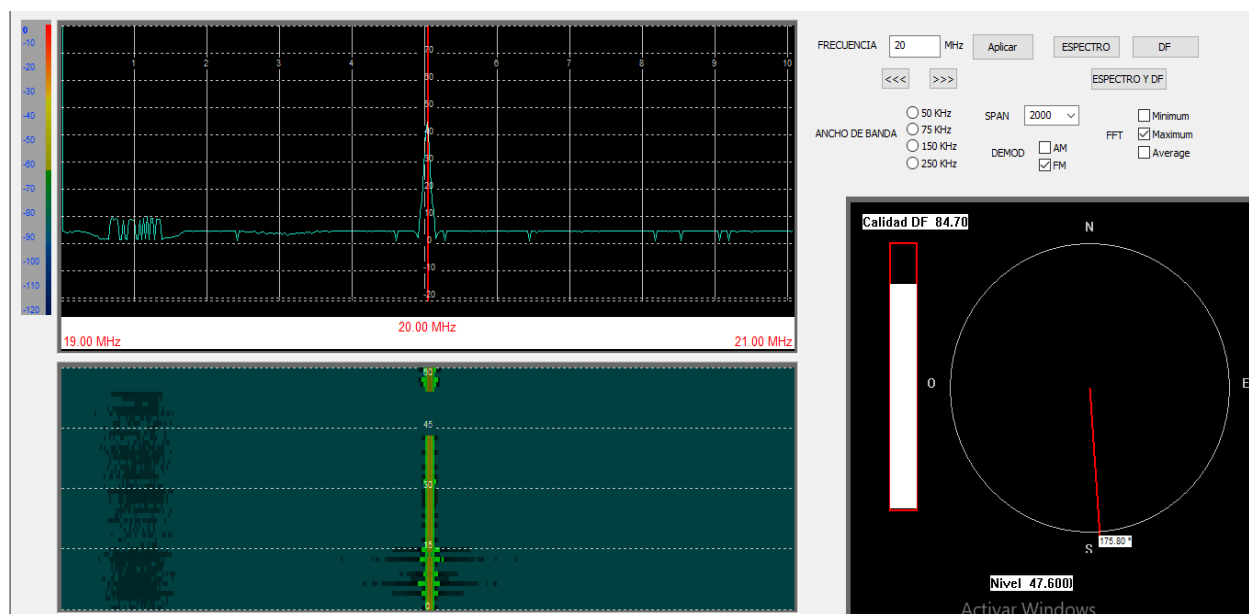
**Tabla 7:**

*Descripción de las clases del programa*

| Clase            | Descripción   |
|------------------|---|
| ArturoView       | <ul style="list-style-type: none"> <li>Es la clase principal del sistema, de aquí se ejecutan todas las clases.</li> <li>Lee los datos de dirección IP y Puerto que se encuentran en un archivo externo config.dat, y los envía a la clase EB200</li> <li>Inicializa el programa con parámetros iniciales.</li> <li>En esta clase se programan los botones, cuadros de texto, y demás herramientas utilizadas.</li> </ul> |
| EB200            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Esta clase es la que se comunica con el equipo DDF255.</li> <li>Genera, conecta y desconecta el socket.</li> <li>Envía los comandos SCPI al equipo por medio del socket creado.</li> <li>Obtiene los datos de la memoria del equipo.</li> </ul>  |
| Datos            | <ul style="list-style-type: none"> <li>En esta clase se tienen los datos con los cuales se inicializará el programa como la frecuencia inicial, el tiempo de adquisición de datos, etc.</li> </ul>  |
| Espectro         | <ul style="list-style-type: none"> <li>Esta clase se encarga únicamente en la programación del panel del espectro de la señal.</li> <li>Dibuja el panel con su respectivo espectro.</li> <li>Toda acción que se realice en las herramientas se visualiza en el panel por medio de esta clase.</li> </ul>  |
| <b>Sonograma</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Esta clase se encarga de graficar el panel sonograma. Se editan sus colores, la grilla, etc.</li> </ul>  |
| DF               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Aquí se crea todo el panel del Direction Finder, sus tres parámetros, ángulo, calidad y nivel.</li> </ul>  |

#### 4.4.2 Interfaz Gráfica

El diseño de la interfaz fue realizado en la plataforma MFC (*Microsoft Foundation Class*), es esencial para aplicaciones de escritorio, y muy útil cuando se necesitan desarrollar interfaces de usuario más complejas con varios controles.

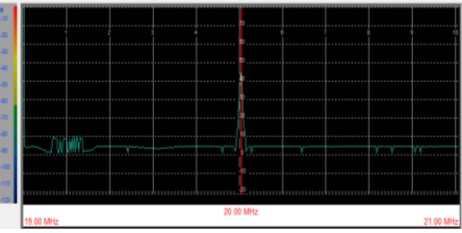
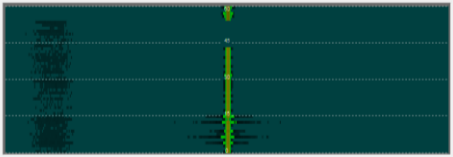
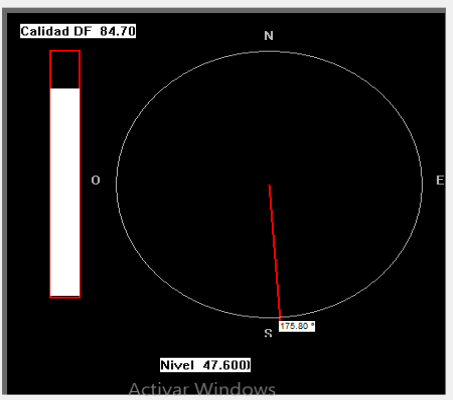
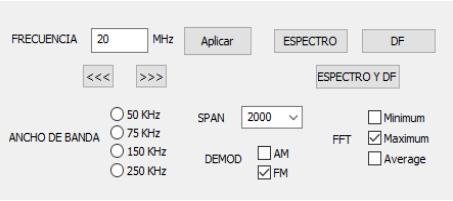


**Figura. 35.** Interfaz Gráfica

La interfaz tiene cuatro paneles como se pueden visualizar en la *Figura 35*, sus funcionalidades son detalladas en la tabla 8:

Los parámetros de la interfaz fueron impuestos de acuerdo a las necesidades de los miembros de la AGRUCOMGE, el procesador DDF255, como se observó en el capítulo 3, tiene muchas más aplicaciones y funciones, que pueden ser adjuntadas al software diseñado, con más paneles, ventanas y parámetros, todo dependiendo de la necesidad que se tenga. En el actual proyecto se utilizó las funciones principales que cumplen las necesidades de los operadores del sistema. Debido a que es un proyecto autónomo, se puede modificar cualquier campo.

**Tabla 8:**  
*Descripción Paneles Interfaz Gráfica*

| Panel  | Descripción  |
|--|--|
| <p style="text-align: center;"><b>ESPECTRO</b></p>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>En este panel se visualiza el espectro de la señal recibida en tiempo real y sin retardos, donde por medio del mouse se tiene un marcador (línea roja), para verificar la frecuencia que sea de interés.</li> <li>A la izquierda una barra colorida, que de acuerdo a la potencia de la señal es asignado un color y visualizado en el panel sonograma.</li> <li>En la parte inferior, se tiene un cuadro, el cual presenta la frecuencia inicial, final, y la seleccionada por el marcador.</li> </ul>   |
| <p style="text-align: center;"><b>SONOGRAMA</b></p>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>En este panel se visualiza el sonograma de la señal recibida, para ello, los datos de la señal se transforman a bits y son dibujados según la gama vista en el panel anterior.</li> </ul>   |
| <p style="text-align: center;"><b>DIRECTION FINDER DF</b></p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Este panel es para visualizar los datos de Direction Finder DF.</li> <li>La circunferencia muestra las coordenadas geográficas (N, S, E, O), y la línea roja la dirección de la señal, junto a esta un cuadro de texto que me indica el azimuth respectivo.</li> <li>A la izquierda se tiene un indicador de la calidad de DF, mientras más arriba se encuentre es mejor la calidad, donde el mínimo es 0 y el máximo 100.</li> <li>En la parte inferior tenemos un cuadro de texto que nos indica el nivel de la señal recibida de DF.</li> </ul>  |
| <p style="text-align: center;"><b>CONFIGURACIÓN</b></p>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>En este panel se <i>conFiguran</i> todos los parámetros que se han impuesto para el proyecto.</li> <li>Se ingresa la frecuencia en MHz y se presiona aplicar.</li> <li>Para que se ejecute únicamente el panel Espectro, se tiene el Botón ESPECTRO, para que se ejecute únicamente el panel DF, se tiene el botón DF, y si se quiere los dos, se tiene el botón ESPECTRO DF. Cabe recalcar que cuando trabajan los dos paneles juntos, se tiene un retardo de un segundo.</li> <li>En la parte inferior se tienen cuatro parámetros para <i>conFigurar</i>, ANCHO DE BANDA, SPAN, DEMODULACIÓN, FFT</li> </ul> |

### 4.3 Pruebas del Sistema DF Completo

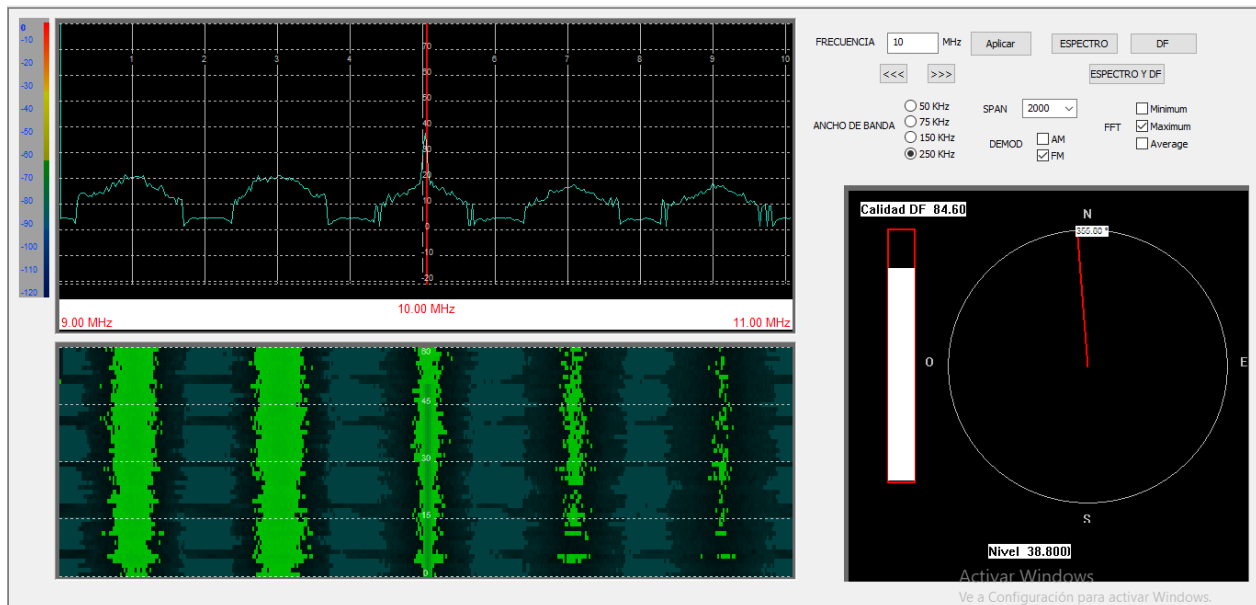
Como observamos en el capítulo 3, la antena ADD 119, y el procesador DDF255 están en buen estado y operan normalmente, ahora se observa la operabilidad de estos equipos junto con el software diseñado. Para eso se ejecuta el mismo proceso de las pruebas anteriores, el mismo generador de señales, y la misma antena transmisora. Las pruebas fueron realizadas en campo abierto como se visualiza en la siguiente *Figura*:



**Figura. 36.** Pruebas de Campo Sistema DF Completo

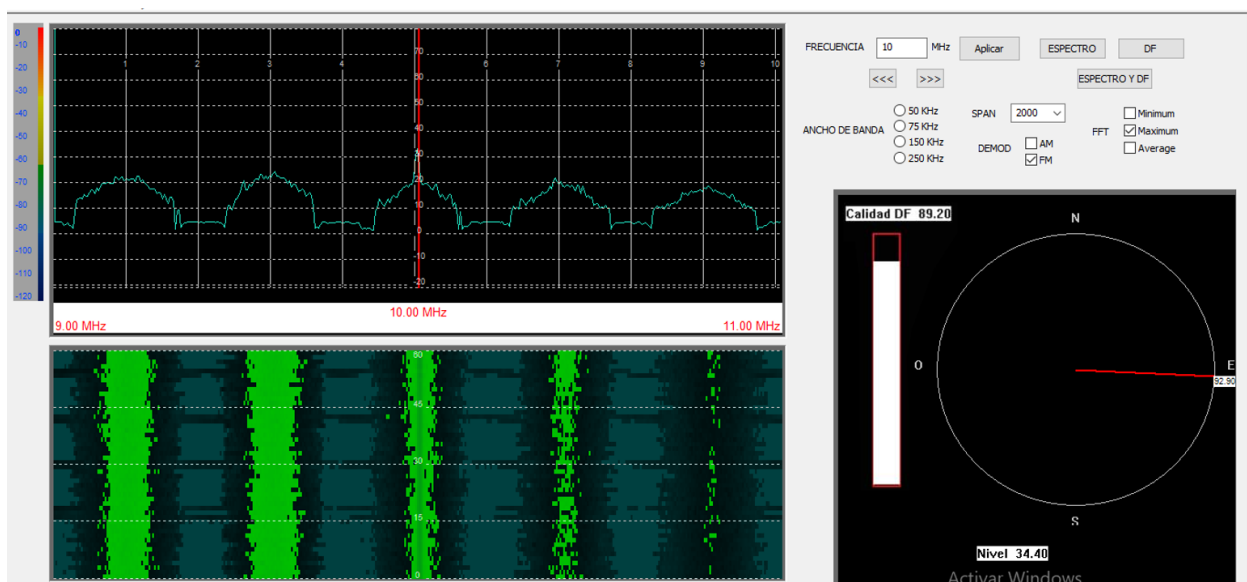
Las pruebas se realizaron generando frecuencias de 10, 20 y 30 MHz, y posicionando la antena Tx en las cuatro coordenadas geográficas (N, S, E, O). Se procede a realizar la conexión entre la aplicación y el equipo DF, ahora todo el sistema es controlado por la aplicación, es decir el equipo no es manipulado, todos los parámetros se ingresan por medio del software, y los resultados se visualizan en sus paneles.

- Frecuencia central 10 MHz dirección Norte



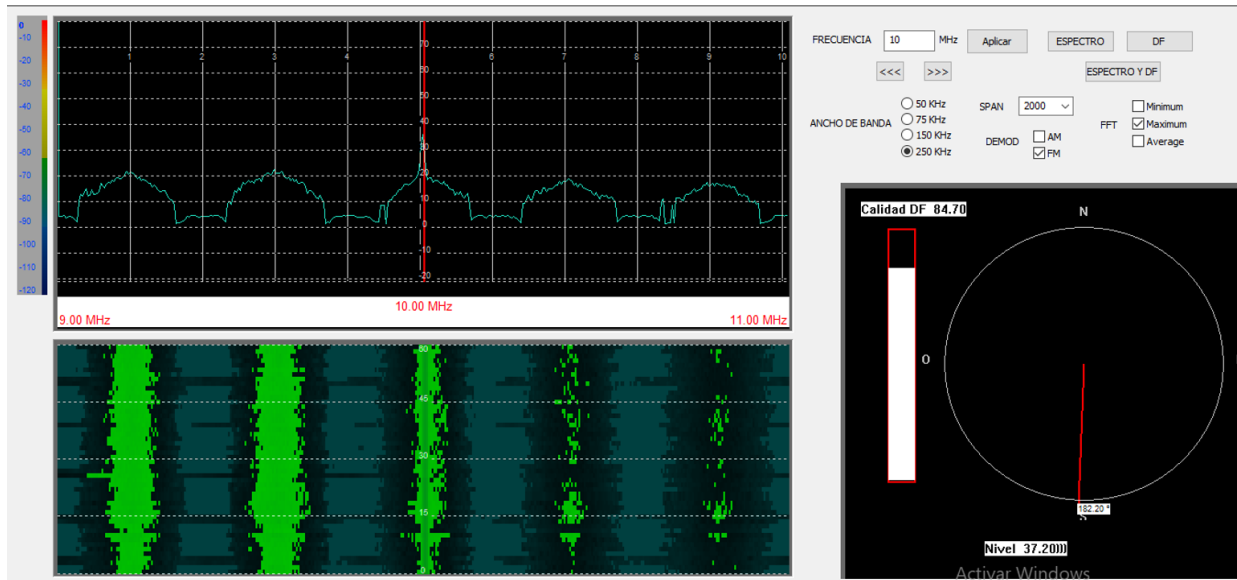
*Figura. 37.* Prueba a 10 MHz dirección Norte

- Frecuencia central 10 MHz dirección Este



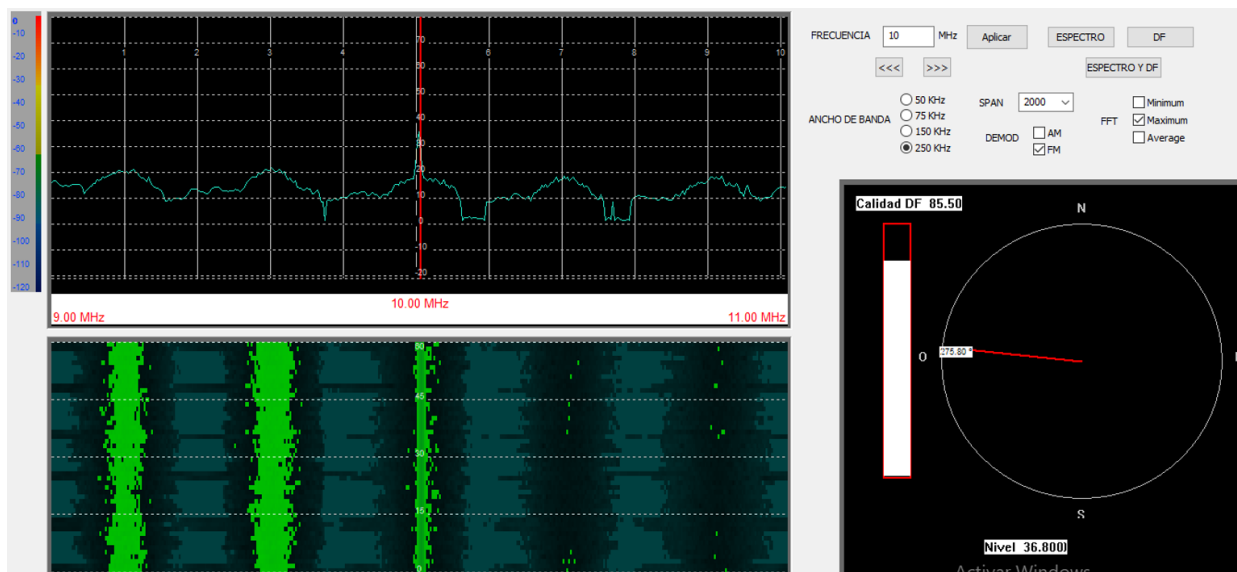
*Figura. 38.* Prueba a 10 MHz dirección Este

- Frecuencia central 10 MHz dirección Sur



*Figura. 39.* Prueba a 10 MHz dirección Sur

- Frecuencia central 10 MHz dirección Oeste



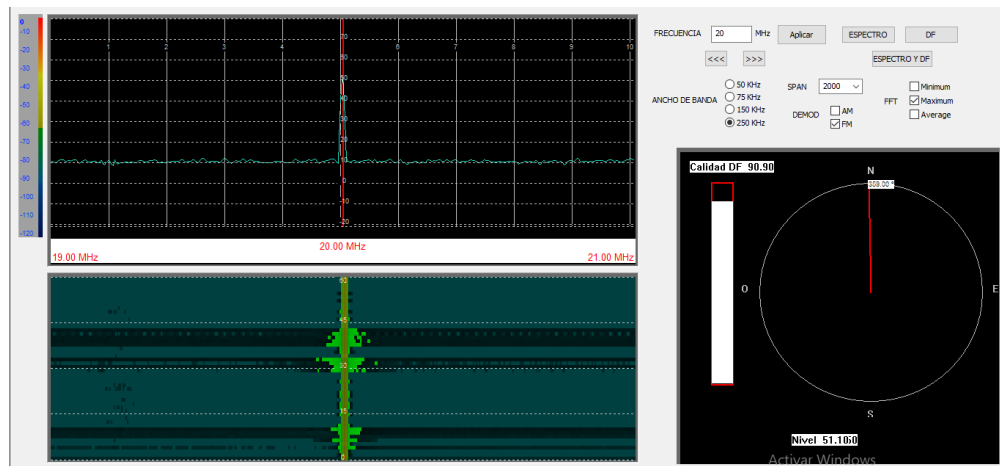
*Figura. 40.* Prueba a 10 MHz dirección Oeste

Un resumen de los datos obtenidos se muestra en la siguiente tabla:

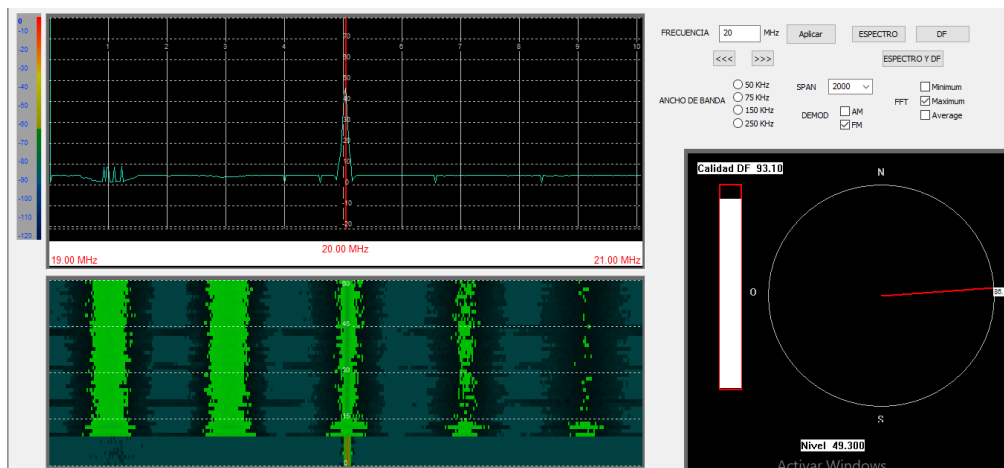
**Tabla 9:***Resultados Pruebas a 10 MHz*

| Posición Tx (°) | Azimuth DF (°) | Calidad DF % |
|-----------------|----------------|--------------|
| N (356°)        | 355.6°         | 84.6         |
| E (92°)         | 92.9°          | 89.2         |
| S (186°)        | 184.2°         | 84.7         |
| O (270°)        | 269.3°         | 85.5         |

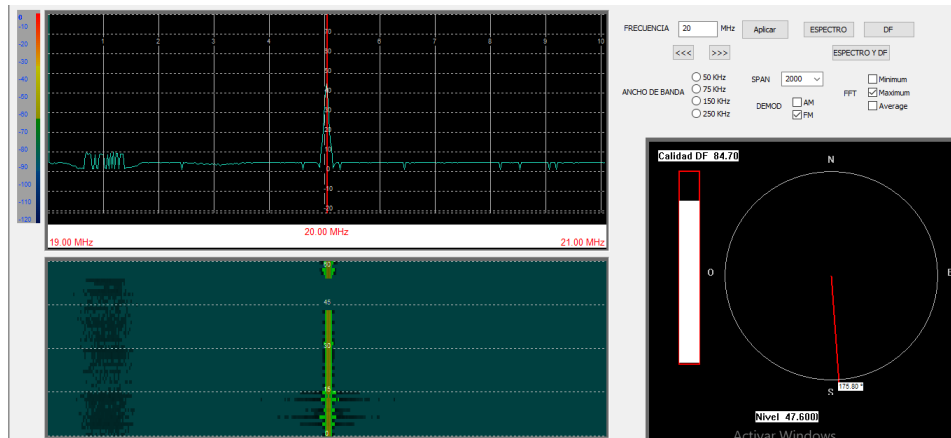
- **Frecuencia central 20 MHz dirección Norte**

*Figura. 41.* Prueba a 20 MHz dirección Norte

- **Frecuencia central 20 MHz dirección Este**

*Figura. 42.* Prueba a 20 MHz dirección Este

- **Frecuencia central 20 MHz dirección Sur**



**Figura. 43.** Prueba a 20 MHz dirección Sur

- **Frecuencia central 20 MHz dirección Oeste**



**Figura. 44.** Prueba a 20 MHz dirección Oeste

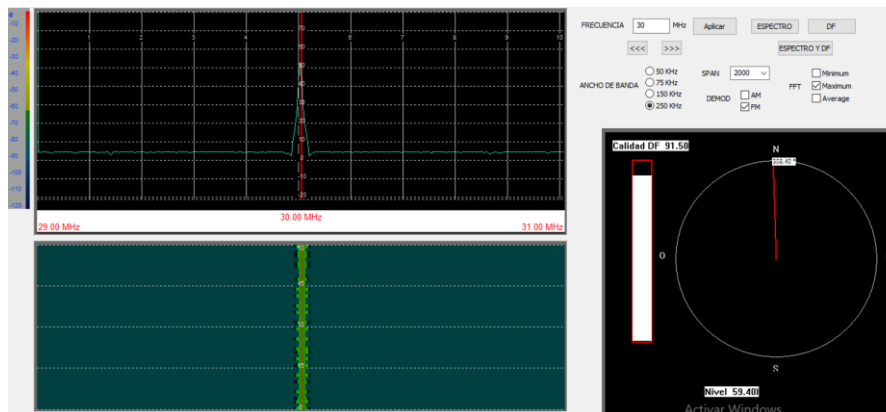
Un resumen de los datos obtenidos se muestra en la siguiente tabla

**Tabla 10:**  
*Resultados Pruebas a 20 MHz*

| Posición Tx (°) | Azimuth DF (°) | Calidad DF (%) |
|-----------------|----------------|----------------|
| N (356°)        | 358°           | 90.9           |
| E (92°)         | 90.1°          | 93.1           |
| S (186°)        | 185.8°         | 84.7           |
| O (270°)        | 271.2°         | 85.9           |

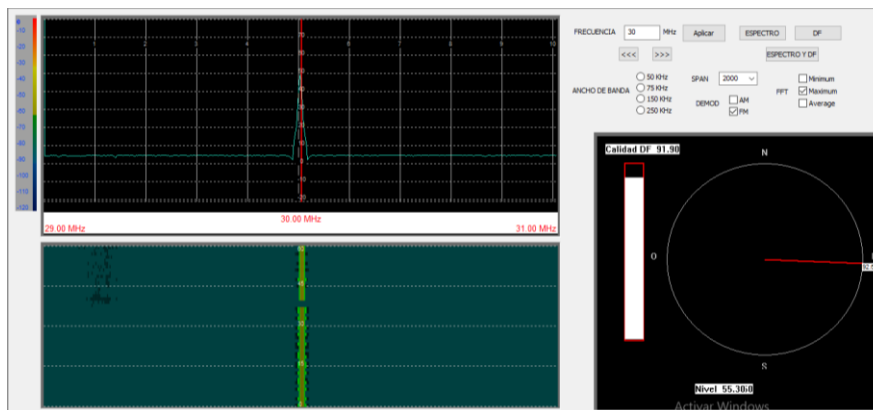


- **Frecuencia central 30 MHz dirección Norte**



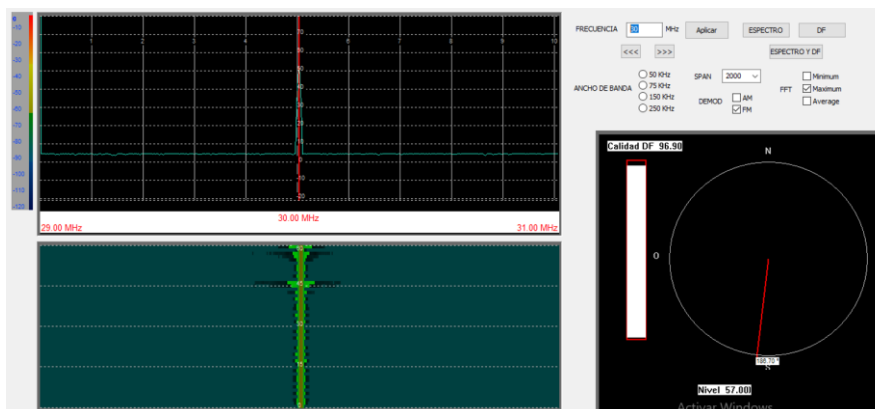
*Figura. 45.* Prueba a 30 MHz dirección Norte

- **Frecuencia central 30 MHz dirección Este**



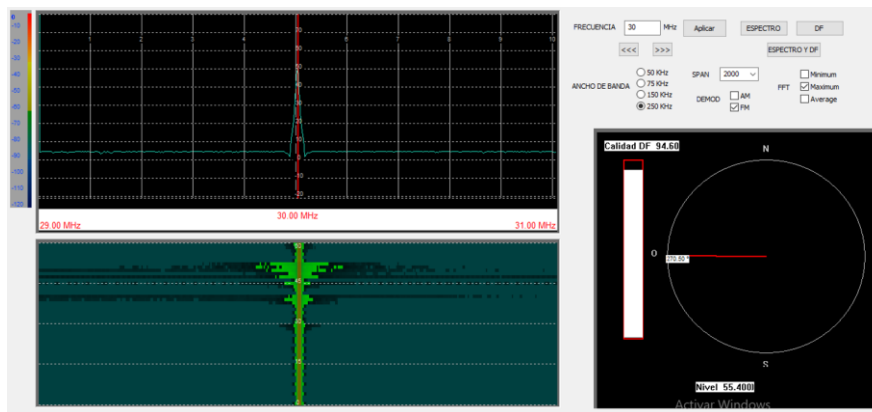
*Figura. 46.* Prueba a 30 MHz dirección Este

- **Frecuencia central 30 MHz dirección Sur**



*Figura. 47.* Prueba a 30 MHz dirección Sur

- Frecuencia central 30 MHz dirección Oeste



**Figura. 48.** Prueba a 30 MHz dirección Oeste

Un resumen de los datos obtenidos se muestra en la siguiente tabla

**Tabla 11:**  
*Resultados Pruebas a 30 MHz*

| Posición Tx (°) | Azimuth DF (°) | Calidad DF (%) |
|-----------------|----------------|----------------|
| N (356°)        | 356.4°         | 91.5           |
| E (92°)         | 92.6°          | 91.9           |
| S (186°)        | 186.7°         | 96.9           |
| O (270°)        | 270.5°         | 94.6           |

## CAPÍTULO 5

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo analiza todos los resultados obtenidos en las diferentes pruebas realizadas, desde las que se hicieron para verificar la operatividad de los equipos, hasta las pruebas implementada la aplicación. Por último, se realizó capacitaciones a miembros de la AGRUCOMGE, tanto de los equipos como de la aplicación para que el sistema se ponga en operación en diferentes lugares del país.

#### 5.1 Puesta en Operación

Para verificar la operatividad de la antena ADD119 y el equipo DDF255, se realizó una investigación. En el caso de la antena se estudió el principio que le permite determinar la dirección de la señal, este es el método de Watson-Watt, el cual trabaja con dipolos dispuestos ortogonalmente y uno en el centro, el cual sirve de referencia para evitar ambigüedades. Se obtuvo como resultado, que la antena opera en buenas condiciones bajo este principio. Para el caso del equipo, este fue expuesto a pruebas de monitoreo, cambiando su configuración, y se obtuvo buenos resultados.

La antena y el equipo fueron puestos a prueba, tomando un generador de señales y una antena para transmitir las, como se explica en la sección 3.4.2. Se seleccionó una frecuencia dentro del rango de banda HF (10 MHz), y se ubicó al Oeste ( $270^\circ$ ) de la antena. Los resultados fueron exitosos, el espectro de la señal se visualizó perfectamente (*Figura 29*), se pudo monitorear la señal, cambiando el ancho de banda, la FFT, el span, step, y más. El DF entregó los siguientes

resultados: Azimuth  $271^\circ$ , calidad 80%, con esto se demuestra que el margen de error está dentro de  $\leq 2^\circ$  como indican las especificaciones. La calidad depende del lugar donde se realicen las pruebas, mientras existan menos reflexiones en el entorno, se tendrá mayor calidad. Estas pruebas fueron realizadas en el Hangar del CICTE, un lugar con muchas reflexiones, sin embargo, se obtuvo un valor de calidad moderado para el entorno.

## 5.2 Pruebas Sistema Completo

Una vez puesto en operación el sistema DF (antena y equipo), se desarrolló la aplicación, las cuales fueron puestas a prueba junto con el sistema, obteniendo resultados confiables. El espectro junto con el sonograma se visualiza en tiempo real, sin retardos, esto se debe a que se ocupa una memoria diferente al del DF denominada *mtrace*. El DF tiene retardo de un segundo, esto se debe a que la respuesta del equipo al computador en modo DF, tiene un retardo, esto se puede cambiar en la configuración del DF (tiempo de medida), además de este retardo, el programa está diseñado para que seleccione máximos posibles en la adquisición del dato azimuth, esto sirve para obtener un valor más exacto del ángulo de arribo, y sin muchas itinerancias como las tiene el equipo DDF255.

Además, se realizaron pruebas en exteriores con el mismo entorno de las mencionadas en la sección anterior (generador de señales, antena Tx), esta vez se transmitió señales en las frecuencias 10, 20 y 30 MHz, en diferentes coordenadas geográficas (N, S, E, O), donde los resultados fueron exitosos.

Para la frecuencia de 10 MHz se obtuvo un promedio de error de Azimuth de  $0.95^\circ$ , lo que es satisfactorio ya que está en el margen de error de  $\leq 2^\circ$ , con una calidad promedio de 86%. Recordemos que mientras más baja sea la frecuencia la distancia entre Tx y Rx debe ser mayor,

para obtener una calidad superior. Las pruebas para las tres frecuencias se realizaron a la misma distancia, en el mismo entorno.

Con la frecuencia central de 20 MHz, se obtuvo un promedio de Azimuth de  $1.075^\circ$ , lo cual es exitoso ante el margen de error de las especificaciones de  $\leq 2^\circ$ . La calidad promedio fue de 88.65%, que es una medida satisfactoria con referencia al entorno de pruebas

Finalmente, con la frecuencia central de 30 MHz, se obtuvo un promedio de Azimuth de  $0.55^\circ$ , lo cual es correcto ante el margen de error de las especificaciones de  $\leq 2^\circ$ . La calidad promedio fue de 93.73%, que es una medida satisfactoria con referencia al entorno de pruebas

### **5.3 Capacitación del Sistema a miembros de la AGRUCOMGE**

El propósito final del proyecto es brindar un sistema DF de fácil manipulación a los miembros de la AGRUCOMGE, para que pueda ser usado en cualquier lugar que se necesite. Por lo tanto, se procedió a la presentación del sistema a los directivos de la AGRUCOMGE, dando como resultado, la satisfacción de los miembros y así proceder a las capacitaciones.

Las capacitaciones se las realizó en las instalaciones del CICTE, a varios miembros de la agrupación (alrededor de 15 personas). Se inició con una charla de los objetivos del proyecto, se incentivó a los señores militares a que se familiaricen con los equipos como se visualiza en la *Figura 49*:

Se avanzó con la presentación de los equipos, sus aplicaciones, modo de operación, conexiones y principalmente su funcionamiento. Posterior a eso, se indicó el software, su modo de instalación en cualquier computador, la configuración de la dirección IP y Puerto, y por último su operación.



**Figura. 49.** Familiarización de los miembros de la AGRUCOMGE con los equipos



**Figura. 50.** Capacitación a miembros de la AGRUCOMGE

Una vez terminada la capacitación el personal del ejército realizó varias preguntas, recomendaciones, propusieron mejoras, y quedaron satisfechos con la charla impartida.

Además, el sistema funcional se presentó en la casa abierta de proyectos, donde se tuvo la visita de directivos de la Agencia Nacional de Regulación y Control de las Telecomunicaciones, y también del Rector de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. En esta casa abierta se demostró el

funcionamiento del sistema junto con el software desarrollado, se explicó sus antecedentes, su puesta en operación y la eficiencia de tener un software autónomo de perfil público.

Los visitantes estuvieron entusiasmados con la presentación, e interesados en trabajar en un futuro con el software desarrollado, para diferentes aplicaciones más allá del campo de la seguridad y defensa.



**Figura. 51.** Presentación del proyecto al ARCOTEL y directivos de la ESPE

Finalmente, el software fue instalado en un computador de la agrupación, donde se entregó el instalador junto con su configuración. El sistema se está utilizando en diferentes lugares del país para así evitar señales clandestinas y privar el bienestar del país.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

El sistema DF - antena *ADD119 HF* y procesador *R&S® DDF255* - fue recuperado y puesto en operación de manera exitosa, dando resultados con un alto grado de exactitud en la determinación del ángulo de arribo de señales radioeléctricas en la banda de frecuencia HF y obteniendo el control total del equipo para evaluar y monitorear estas señales, con software propio.

Se desarrolló la aplicación, como un aporte a la AGRUCOMGE para que pueda volver a operar el sistema DF, optimizando las funciones del equipo para facilitar el monitoreo y el ángulo de arribo en tiempo real, logrando un sistema muy eficiente para las necesidades que impuso el personal militar.

Las capacitaciones a los miembros de la AGRUCOMGE contribuyeron en la operación del sistema (antena, procesador, software). Las pruebas para detectar señales en diferentes escenarios comprobaron su efectividad desde el punto de vista operacional de la AGRUCOMGE.

El sistema DF junto con la aplicación fue presentado a un público formado por diversas instituciones del Estado, lo que generó el interés de las mismas para trabajar más afondo en la nacionalización de varios software específicos con el objetivo de reducir la dependencia tecnológica del extranjero y contribuir a la soberanía tecnológica.



## 6.2 Recomendaciones

Es de suma importancia investigar las características técnicas de la antena, así como procurar la mejor ubicación (altura e inclinación), para obtener resultados con mayor fidelidad.

Se recomienda realizar el proceso de calibración de la antena cada tres meses, especialmente cuando se cambia de entorno, esto ayudará a que los valores determinados sean más precisos.

Antes de ejecutar la aplicación, es necesario verificar la configuración de la dirección IP y del puerto del equipo, esto se lo edita en el archivo “config.dat” que fue entregado junto con la aplicación, con esto aseguramos la comunicación entre el computador y el equipo.

Se recomienda desarrollar un procesador propio de DF con interferometría correlativa, de al menos dos canales, utilizando algoritmos de DF de super resolución.

## REFERENCIAS

- Arcangelis, M. (1983). *Historia de la Guerra Electrónica*.
- ARCOTEL. (2017). *Plan Nacional de Frecuencias*. Obtenido de [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/Anexo-1\\_Documento-Pnf..pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2017/10/Anexo-1_Documento-Pnf..pdf)
- Cerna, J., & Morejón, J. (2008). *Técnicas de Conformación del Lóbulo de Irradiación*. Sangolquí.
- Del Pozo, H. (2015). *Ley Orgánica de Telecomunicaciones*. Obtenido de <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/05/Ley-Org%C3%A1nica-de-Telecomunicaciones.pdf>
- Fúquene, H. (2011). Implementación Cliente Servidor Mediante Sockets. *Vínculos*.
- González, N. (2004). *Estudio y Evaluación de las Tecnologías Aplicadas a la Inteligencia de Comunicaciones COMINT*. Quito.
- Graham, A. (2011). *Communications, Radar and Electronic Warfare*. United Kingdom.
- ITU. (2012). Reglamento de Radiocomunicaciones.
- León, C., Badaoui, M., & Iturri, L. (2013). Análisis de los Métodos de Predicción de Arribo de Señales. *Journal de Ciencia e Ingeniería*.
- Luján Mora, S. (2010). *C++ paso a paso*.
- Luna, A., & Berrones, E. (2018). *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 HF*. Quito.
- Luna, A., Berrones, E., Moya, B., Leon, R., Tinoco, A., & Paredes, D. (2018). Field Evaluation of the “R&S Ddf255 – Add196” Direction Finding System, in the Presence of Radio-Electrical Signals with Vertical and Horizontal Polarization. *IEEE*.
- Macedo, Y. (2015). *Arquitecturas Cliente Servidor*. Obtenido de [http://profesores.fi-b.unam.mx/yasmine/tema1\\_1.pdf](http://profesores.fi-b.unam.mx/yasmine/tema1_1.pdf)
- Mason, J. (2015). *U boat Radio Room*. Obtenido de <http://uboatarchive.net>
- Microsoft. (2018). *Introducción al IDE de Visual Studio*. Obtenido de <https://docs.microsoft.com/es-es/visualstudio/ide/visual-studio-ide>
- Pascual, P. (2002). *El radar*. Obtenido de <http://acastro.es/articulos/radarperegrin.pdf>

- Pellejero, I. (2010). Radiogoniometría Adcock WatsonWatt. *EA4FSI*.
- Reyes , J. (2009). *Localización en Interiores Usando*. Sevilla.
- Rohde&Schwarz. (2017). *Spectrum Monitoring Software For monitoring solutions in line with ITU recommendations*.
- Rohde&Schwarz. (2011). *Direction Finders Introduction into Theory of Direction Finding*.  
Obtenido de intro\_theory\_of\_direction\_finding.pdf
- Rohde&Schwarz. (2016). *Accurate direction finding with measurement and analysis capabilities in a single unit*.
- Sánchez. (2013). *Tecnología Obsoleta*. Obtenido de <http://alpoma.net/tecob/?p=8161>