



# **Diseño e implementación de una red de microondas y radiocomunicación en VHF como fortalecimiento de la red de apoyo comunitaria de la zona Metropolitana de Tunja**

**Cristian David Borda Cruz  
Ricardo Andrés López Rodríguez**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Tunja, Colombia  
2021



# **Diseño e implementación de una red de microondas y radiocomunicación en VHF como fortalecimiento de la red de apoyo comunitaria de la zona Metropolitana de Tunja**

**Cristian David Borda Cruz  
Ricardo Andrés López Rodríguez**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electrónico**

Director (a):  
Msc. Ing. Angela Viviana Peña Puerto

Línea de Investigación:  
Telecomunicaciones

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Tunja, Colombia

2021



*(Dedicatoria o lema)*

*Este logro de una u otra forma no ha sido nada fácil, hoy quiero dedicarle este gran paso de mi vida profesional a mis padres y familia en general porque siempre creyeron en mis capacidades y, por último, pero no menos importante agradecerme a mí por no desfallecer en este arduo camino, gracias Dios por siempre guiarme, por llevarme por el camino del bien.*

*Cristian David Borda Cruz*

*Este gran paso en mi vida, se lo dedico a mis padres, que siempre estuvieron ahí, dándome su más sincero amor y apoyo, el cual me lleno de fuerza para seguir adelante sin desfallecer.*

*Ricardo Andrés López Rodríguez.*



## **Agradecimientos**

Agradecemos infinitamente a todas aquellas personas que hicieron parte de nuestra formación profesional, especialmente a todos los docentes que nos compartieron sus conocimientos y experiencias en esta formación, a la Universidad Antonio Nariño, a la Policía Metropolitana de Tunja, especialmente al jefe de Telemática, Teniente Wilson Fernando Morales Torres ya que nos tuvo en cuenta para el diseño y la implementación de un proyecto tan importante para la Policía Metropolitana de Tunja y la ciudadanía en general.

De la misma manera, pero no menos importante, a la Ingeniera Angela Viviana Peña Puerto por su colaboración, empeño, esfuerzo y dedicación, para que este proyecto fuera una realidad, a los ingenieros Jorge Orlando Bareño y Mario Giovanni García por su orientación en la etapa de anteproyecto de este trabajo de grado ya que sin ellos no hubiera sido posible la realización del mismo.





## Resumen

La Policía Metropolitana de Tunja – METUN es la entidad pública encargada de fortalecer la seguridad y la convivencia ciudadana, para esto cuenta con una red de apoyo comunitaria que presta sus servicios en la zona metropolitana de Tunja, a través de sistemas de radiocomunicaciones. Estos sistemas usan una tecnología analógica, la cual se considera obsoleta y por tanto se requiere migrar a una tecnología digital que permita mejorar la comunicación entre los municipios que conforman dicha zona. Para realizar la conversión tecnológica de analógica a digital, se diseña e implementa un sistema de comunicaciones VHF y por microondas usando equipos de comunicaciones disponibles, previamente adquiridos por la Gobernación de Boyacá y la Policía Metropolitana de Tunja.

Se inicia con la verificación del estado de estos equipos, la ubicación de las estaciones de comunicaciones distribuidas de manera que se tenga la mayor cobertura de la zona metropolitana de Tunja y se procede a diseñar el sistema usando herramientas informáticas y de software como Google Earth y Radio Mobile en su versión en línea que permiten la verificación del perfil topográfico del terreno, la línea de vista entre estaciones y la cobertura en la zona requerida. Así mismo para la implementación se utilizan las herramientas de configuración por software propias de los equipos, en los cuales se establecen frecuencias de operación y potencias de transmisión definidas por la Agencia Nacional de Espectro - ANE y el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones - MinTIC en la Resolución 015 del año 2020. Como resultado se tiene la interconexión de las estaciones definidas, cobertura en todos los municipios que conforman la zona Metropolitana de Tunja y en general una red de comunicaciones de apoyo ciudadana fortalecida.

**Palabras clave: VHF, Duplexer, ANE, Fresnel, Repetidor, Vatímetro, Potencia**

## **Abstract**

The Tunja's Metropolitan Police - METUN is the public entity in charge of strengthening the security and citizen coexistence. To do this, they have a community support network that provides its services in the metropolitan area of Tunja, through radio communication systems. These systems use analog technology, which is considered to be obsolete, and therefore, it is necessary to migrate to a digital technology that allows to improve communication between the municipalities that make up such an area. To perform the technological conversion from analog to digital, it is designed and implemented a VHF system and by microwave using the available communications equipment, previously acquired by the Boyacá Government and the Tunja's Metropolitan Police.

It begins with the verification of the condition of these equipment and the location of the communication stations, distributed in such a way to have the biggest coverage of the Tunja's metropolitan area. After that, it is proceeded to design the system, by using computer tools and software such as Google Earth and Radio Mobile in its online version that allows the verification of the topographic profile of the terrain, the line of sight between stations and the coverage in the required area. Likewise, for the implementation, the software configuration tools specific from the equipment are used. In these tools, it is established the operating frequencies and transmission powers, defined by the National Spectrum Agency - ANE and the Ministry of Information Technologies and Communications - MinTIC in the Resolution 015 of the year 2020. As a result, it is obtained the interconnection of defined stations, coverage in all municipalities that make up the Metropolitan area of Tunja, and in general, a communications network of citizen support is strengthened.

**Keywords: VHF, Duplexer, ANE, Fresnel, Repeater, Wattmeter, Power.**

# Contenido

|   | Pág.                                 |
|---|--------------------------------------|
| <b>Resumen</b> .....  | <b>IX</b>                            |
| <b>Lista de figuras</b> .....                                       | <b>1</b>                             |
| <b>Lista de tablas</b> .....  | <b>1</b>                             |
| <b>Introducción</b> .....   | <b>1</b>                             |
| <b>1. Marco teórico</b> .....                                       | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| 1.1 Estado del arte .....   | 5                                    |
| 1.2 Radioenlaces .....  | 6                                    |
| 1.2.1 Sistemas de comunicaciones VHF .....                          | 8                                    |
| 1.2.2 Arquitectura de redes en VHF .....                            | 9                                    |
| 1.2.3 Equipos para VHF .....  | 9                                    |
| 1.2.4 Servicios en VHF .....  | 16                                   |
| 1.3 Propagación de ondas .....                                      | 16                                   |
| 1.3.1 Mecanismos de propagación de la interferencia.....            | 17                                   |
| 1.4 Comunicaciones por microondas terrestres .....                  | 18                                   |
| 1.4.1 Zona de Fresnel .....   | 18                                   |
| 1.4.2 Pérdidas relacionadas al espacio libre y la atmosfera .....   | 20                                   |
| 1.4.3 Antenas para radioenlaces tipo microondas .....               | 20                                   |
| 1.5 Radio Mobile .....  | 21                                   |
| 1.5.1 Modelo de Longley – Rice .....                                | 22                                   |
| <b>2. Desarrollo metodológico</b> .....                             | <b>23</b>                            |
| 2.1 Condiciones actuales del sistema .....                          | 23                                   |
| 2.1.1 Especificaciones de equipos de la red actual .....            | 24                                   |
| 2.1.2 Características de la red .....                               | 32                                   |
| 2.1.3 Condiciones actuales de la red eléctrica .....                | 34                                   |
| 2.2 Requerimientos del sistema .....                                | 36                                   |
| 2.2.1 Cobertura .....   | 36                                   |
| 2.2.2 Seguridad.....  | 36                                   |
| 2.3 Diseño de la red.....   | 37                                   |
| 2.3.1 Verificación línea de vista.....                              | 37                                   |
| 2.3.2 Configuración radioenlaces .....                              | 41                                   |
| 2.3.3 Presupuesto de los enlaces .....                              | 45                                   |
| <b>3. Resultados y análisis</b> .....                               | <b>49</b>                            |
| 3.1 Red de microondas y radiocomunicación en VHF implementada ..... | 49                                   |
| 3.2 Verificación de disponibilidad de los enlaces .....             | 50                                   |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 3.2.1     | Prueba de velocidad o latencia .....   | 50        |
| 3.2.2     | Prueba en interfaz de radio enlace Ubiquiti.....                                   | 56        |
| 3.3       | Pruebas de cobertura .....   | 58        |
| 3.4       | Pruebas de niveles de potencia.....  | 60        |
| 3.5       | Programación Sistema de Comunicación en VHF .....                                  | 62        |
| 3.4.1     | Programación repetidor maestro nodo o cerro Pírgua .....                           | 63        |
| <b>4.</b> | <b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>  | <b>69</b> |
| 4.1       | Conclusiones.....  | 69        |
| 4.2       | Recomendaciones.....   | 71        |
| <b>A.</b> | <b>Anexo: Diagrama de la topología de la red. ....</b>                             | <b>73</b> |
| <b>B.</b> | <b>Anexo: Manual de configuración .....</b>  | <b>75</b> |
| <b>C.</b> | <b>Anexo: Resolución No. 00015 de 23/03/2020 - Agencia Nacional del Espectro..</b> | <b>91</b> |
| <b>D.</b> | <b>Anexo: Certificación Policía Metropolitana de Tunja - METUN.....</b>            | <b>95</b> |
|           | <b>Bibliografía .....</b>  | <b>96</b> |

# Lista de figuras

|   | Pág. |
|---|------|
| <b>Figura 1-1:</b> Espectro electromagnético. (Noticias de Paraguay y el mundo en ABC Color, s. f.).....  | 7    |
| <b>Figura 1-2:</b> Arquitectura Básica de una red en VHF. Fuente: Autores. ....   | 9    |
| <b>Figura 1-3:</b> Repetidor maestro. Fuente: Autores.....  | 11   |
| <b>Figura 1-4:</b> Conectores. (Amphenol, s. f.).....   | 12   |
| <b>Figura 1-5:</b> Conectores N macho y hembra. (Publicaciones etiquetadas «N Type», s. f.)<br>.....  | 12   |
| <b>Figura 1-6:</b> Duplexer (grande).(66-13-74 Pseudo Band Pass Duplexer, s. f.) .....  | 13   |
| <b>Figura 1-7:</b> Mini-duplexor. Fuente: Autores.....  | 14   |
| <b>Figura 1-8:</b> Antena omnidireccional. (DB224-A, s. f.).....  | 15   |
| <b>Figura 1-9:</b> Mecanismos de propagación de la interferencia. (Unión Internacional de<br>Telecomunicaciones & Oficina de Radiocomunicaciones, 2008b).....                   | 18   |
| <b>Figura 1-10:</b> Zona de Fresnel.(Menendez, s. f.).....  | 19   |
| <b>Figura 1-11:</b> Modelo de Longley – Rice.(capitulo5.pdf, s. f.) .....   | 22   |
| <b>Figura 2-1:</b> Radioenlaces. Fuente: Autores. ....  | 24   |
| <b>Figura 2-2:</b> Repetidor Hytera RD626 con sus conectores y cables de alimentación.<br>Fuente: Autores.....  | 25   |
| <b>Figura 2-3:</b> Repetidor Hytera RD986. Fuente: Autores .....  | 26   |
| <b>Figura 2-4:</b> Switch de la marca TP LINK.(«Conmutador Fast Ethernet de 5 puertos TP-<br>Link Silencioso sin ventilador   No gestionado (TL-SF1005D), blanco», s. f.) ..... | 27   |
| <b>Figura 2-5:</b> Mini-duplexor de la marca MicroMagic con sus conectores. Fuente: Autores<br>.....  | 28   |
| <b>Figura 2-6:</b> Baterías secas libre de mantenimiento MTEK. Fuente: Autores .....  | 29   |
| <b>Figura 2-7:</b> Inversor CarSpa de 600W con sus cables. Fuente: Autores.....   | 30   |
| <b>Figura 2-8:</b> Fuente de alimentación. Fuente: Autores. ....  | 31   |
| <b>Figura 2-9:</b> Topología general de la red. Fuente: Autores.....  | 32   |
| <b>Figura 2-10:</b> Ubicación Geográfica de los cerros. Fuente: Autores.....  | 33   |
| <b>Figura 2-11:</b> Pruebas de voltaje de corriente alterna. Fuente: Autores .....  | 34   |
| <b>Figura 2-12:</b> Sistemas de protección. Fuente: Autores. ....   | 35   |
| <b>Figura 2-13:</b> Sistema de puesta a tierras. Fuente: Autores .....  | 35   |
| <b>Figura 2-14:</b> Área de la zona Metropolitana de Tunja.(Cámara De Representantes, s. f.)<br>.....   | 36   |
| <b>Figura 2-15:</b> Simulación enlace cerros Pirgua-Ventaquemada. Fuente: Autores. ....   | 40   |
| <b>Figura 2-16:</b> Interfaz de ingreso para configuración de radioenlaces. Fuente: Autores..   | 41   |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 2-17:</b> Página principal de la interfaz de configuración. Fuente: Autores .....                    | 42 |
| <b>Figura 2-18:</b> Página de configuración inalámbrica. Fuente: Autores.....                                  | 43 |
| <b>Figura 2-19:</b> Página de configuración de la red. Fuente: Autores.....                                    | 44 |
| <b>Figura 2-20:</b> Página de configuración avanzada de la red. Fuente: Autores.....                           | 45 |
| <b>Figura 3-1:</b> Topología de la red. Fuente: Autores .....  | 49 |
| <b>Figura 3-2:</b> Configuración de red Ethernet. Fuente: Autores. ....  | 51 |
| <b>Figura 3-3:</b> Configuración de Ethernet. Fuente: Autores. ....  | 51 |
| <b>Figura 3-4:</b> Configuración del puerto Ethernet. Fuente: Autores.....                                     | 52 |
| <b>Figura 3-5:</b> Configuración para cambiar la dirección IP V4 Fuente: Autores.....                          | 52 |
| <b>Figura 3-6:</b> Configuración segmento de red. Fuente: Autores. ....  | 53 |
| <b>Figura 3-7:</b> CMD. Fuente: Autores. ....  | 54 |
| <b>Figura 3-8:</b> Comprobación de enlace con comando ping. Fuente: Autores. ....                              | 54 |
| <b>Figura 3-9:</b> Comprobación de enlace usando “ping”. Fuente: Autores.....                                  | 55 |
| <b>Figura 3-10:</b> Interfaz de configuración del radio enlace. Fuente: Autores.....                           | 56 |
| <b>Figura 3-11:</b> Calidad y niveles de potencia del enlace Lluvioso – Ventaquemada. Fuente:<br>Autores. .... | 57 |
| <b>Figura 3-12:</b> Calidad y niveles de potencia del enlace Ventaquemada – Lluvioso. Fuente:<br>Autores ..... | 58 |
| <b>Figura 3-13:</b> Simulación de cobertura del cerro Pirgua. Fuente: Autores.....                             | 59 |
| <b>Figura 3-14:</b> Configuración de simulación de cobertura Pirgua. Fuente: Autores. ....                     | 60 |
| <b>Figura 3-15:</b> Medición de potencia del repetidor maestro Fuente: Autores.....                            | 61 |
| <b>Figura 3-16:</b> Vatímetro Bird Modelo 43. Fuente: Autores. ....  | 61 |
| <b>Figura 3-17:</b> Cables de programación. Fuente: Autores .....  | 62 |
| <b>Figura 3-18:</b> Software de programación. Fuente: Autores .....  | 62 |
| <b>Figura 3-19:</b> Interfaz de programación. Fuente: Autores .....  | 63 |
| <b>Figura 3-20:</b> Identificación de puertos disponibles. Fuente: Autores.....                                | 63 |
| <b>Figura 3-21:</b> Aceptación de lectura del dispositivo. Fuente: Autores. ....                               | 64 |
| <b>Figura 3-22:</b> Extracción de lectura al Software. Fuente: Autores.....                                    | 64 |
| <b>Figura 3-23:</b> Información del repetidor Fuente: Autores. ....  | 64 |
| <b>Figura 3-24:</b> Configuración básica potencia y nombre del dispositivo. Fuente: Autores. ....              | 65 |
| <b>Figura 3-25:</b> Visualización del panel principal. Fuente: Autores. ....                                   | 66 |
| <b>Figura 3-26:</b> Configuración IP, mascara de red y puerta de enlace. Fuente: Autores. ....                 | 67 |
| <b>Figura 3-27:</b> Configuración digital. Fuente: Autores.....  | 68 |

# Lista de tablas

|  | Pág. |
|--|------|
| <b>Tabla 2-1:</b> Especificaciones de radio enlaces. (Guía de inicio rápido de PBE-M5-620, s. f.).....                             | 25   |
| <b>Tabla 2-2:</b> Especificaciones Técnicas RPT RD262 Hytera.<br>(sp_DMR_RD626_20160517AC.pdf, s. f.).....                         | 26   |
| <b>Tabla 2-3:</b> Especificaciones Técnicas RPT Hytera RD986.<br>(sp_DMR_RD986_20160517.pdf, s. f.).....                           | 27   |
| <b>Tabla 2-4:</b> Características Técnicas.(TL-SF1005D_V12_QIG.pdf, s. f.) .....   | 28   |
| <b>Tabla 2-5:</b> Especificaciones Técnicas Duplexer MicroMagic-1501-C6.( <i>Micro dúplex compacto VHF - 1501-C6</i> , s. f.)..... | 29   |
| <b>Tabla 2-6:</b> Características técnicas batería.(MT121000AFT - Baterías : mtek, s. f.).....                                     | 30   |
| <b>Tabla 2-7:</b> Características Técnicas Inversor.(Pure sine car power inverter,600W pure inverter, s. f.) .....                 | 31   |
| <b>Tabla 2-8:</b> Características técnicas fuente de alimentación. (Fuente conmutada 12V 30A - AC110-220V 50/60Hz, s. f.).....     | 32   |
| <b>Tabla 2-9:</b> Zona de Fresnel y datos requeridos para los enlaces. Fuente: Autores. ....                                       | 40   |
| <b>Tabla 2-10:</b> Presupuesto del enlace Pírgua -Ventaquemada. Fuente: Autores .....  | 47   |
| <b>Tabla 2-11:</b> Presupuesto del enlace Lluvioso – Ventaquemada. Fuente: Autores .....   | 47   |
| <b>Tabla 2-12:</b> Presupuesto del enlace Pírgua – CAD. Fuente: Autores .....  | 48   |
| <b>Tabla 2-13:</b> Presupuesto del enlace Pírgua – Toca. Fuente: Autores.....  | 48   |





# Introducción

La Policía Metropolitana de Tunja - METUN en el marco de la Estrategia de Convivencia y Seguridad Ciudadana, lidera a través del Área de Prevención y Educación Ciudadana, una serie de actividades organizadas, orientadas, y coordinadas con la finalidad de captar información sobre hechos, delitos o conductas que afecten o puedan afectar la tranquilidad y seguridad, con el objetivo de la obtención y canalización de información ágil, veraz y oportuna a las Patrullas del Modelo Nacional de Vigilancia Comunitaria por Cuadrantes, permitiendo evitar y disminuir la realización de hechos punibles, en especial los relacionados con la extorsión y el hurto en sus diferentes modalidades. aprovechando los recursos técnicos y humanos que poseen las personas naturales o jurídicas que prestan servicios de vigilancia y seguridad, así como también de empresas y entidades públicas, que respaldan la labor policial.

Dentro de los recursos técnicos que posee la METUN se encuentra un sistema de comunicaciones analógica VHF, el cual consta de equipos que por su antigüedad se consideran obsoletos, además que no están proporcionando la cobertura que se requiere para intercomunicar los municipios de la zona Metropolitana de Tunja, los cuales se encuentran bajo su supervisión y a los cuales debe prestar los servicios de seguridad ciudadana en general. La Gobernación de Boyacá junto con la Policía Metropolitana de Tunja - METUN realizó la compra de equipos de comunicaciones de última tecnología, dentro de los cuales se incluyen 4 repetidores VHF, 4 radio enlaces (transmisor, receptor) para microondas, conectores, cables, entre otros, con la finalidad de actualizar la red existente, de acuerdo con esto se planteó el siguiente cuestionamiento ¿Cómo proveer una red de comunicaciones acorde con las necesidades de cobertura de la red de apoyo comunitaria y el uso de equipos con los cuales dispone la METUN?

Como respuesta al cuestionamiento se propone el diseño e implementación de una red de microondas y radiocomunicación en VHF como fortalecimiento de la red de apoyo comunitaria de la zona Metropolitana de Tunja, lo cual inicia con la verificación del estado actual de los equipos disponibles, se evidencia que en general los equipos están en buenas condiciones y que se requieren actualizaciones de software en cuanto a versiones, puesto que la diferencia entre versiones dificulta su configuración e interconexión. Luego de esto, se definió la ubicación de las estaciones de comunicaciones, de manera que exista la mayor cobertura de la zona metropolitana de Tunja, las estaciones se ubicaron en los cerros recomendados por la METUN y a través del software Radio Mobile en su versión online se verificó que tuvieran línea de vista entre cada una de ellas, después se procede a realizar el diseño de la red y configuración de frecuencias de operación y potencia de transmisión de los equipos de cada estación, teniendo en cuenta la normatividad de la Agencia Nacional de Espectro - ANE y el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones - MinTIC en la Resolución 015 del año 2020.

Finalmente se procede a la implementación y puesta en marcha de los equipos en las diferentes estaciones y a la verificación de interconexión entre las mismas. La verificación del funcionamiento de la red diseñada e implementada, incluye pruebas de latencia y velocidad, evidencia de conectividad en la interfaz de los equipos de radioenlaces y medición y comparación de potencia de transmisión,

El objetivo general formulado para este proyecto consiste en

- Diseñar e implementar una red de comunicaciones digital de cuatro radioenlaces y cuatro repetidores de VHF (Very High Frequency), para el fortalecimiento de la red de apoyo de la METUN.

Para lograr el objetivo general se desarrollaron los siguientes objetivos específicos:

- 
- Verificar la red actual y equipos con los que cuenta la METUN.
  
  - Diseñar la red de comunicaciones para los cuatro nodos con sus respectivos radioenlaces y repetidores, existentes en la METUN.
  
  - Implementar la red diseñada teniendo en cuenta los parámetros técnicos vigentes en la última resolución de la ANE (Agencia Nacional del Espectro)
  
  - Aplicar pruebas de funcionamiento y puesta a punto de la red implementada.
  
  - Crear documentación del desarrollo del proyecto como soporte técnico para el área de telemática de la METUN.



# 1. Marco teórico

En esta sección se describe el marco conceptual requerido para el desarrollo de este proyecto, iniciando con breve estado del arte de sistema de comunicaciones similares desarrollados en Universidades y organismos de Telecomunicaciones, luego se presenta lo relacionado con la teoría de radio enlaces, sistemas de comunicación VHF, equipos que conforman estas redes, parámetros requeridos para diseño de redes y se menciona el software utilizado para simular dichos procedimientos.

## 1.1 Estado del arte

A continuación, se nombrará algunos de los documentos consultados de proyectos similares desarrollados en Colombia, por la Universidad Pontificia Bolivariana, Ecuador, por la Universidad Politécnica Nacional, y un manual internacional desarrollado por la unión internacional de telecomunicaciones (ITU), donde se podrá evidenciar temas de valiosa importancia, los cuales ayudaron a la solución de este proyecto.

- En la Universidad Politécnica Nacional, de la Facultad Eléctrica y Electrónica, reposan en bases de datos el proyecto titulado “Estudio para la migración del sistema de radiocomunicaciones VHF analógico de la Empresa Eléctrica de Quito a un sistema digital”, desarrollado por Mauro José Fabara y Roberto David Villalba, el cual se describe como se produce la propagación de una señal en la banda de frecuencias VHF, los sistemas que conforman una red VHF analógica en el cual se describe el funcionamiento de las antenas y sus diferentes configuraciones que pueden tomar. Luego de esto, se realiza el diseño del sistema de comunicaciones VHF Digital apoyándose en el software de simulación Radio Mobile (Fabara Von Lippke & Villalba Márquez, 2012).
- En la universidad Pontificia Bolivariana, reposa en sus bases de datos el proyecto titulado “Manual de entrenamiento para la configuración de los quipos de VHF del

laboratorio de telecomunicaciones” el cual se enfoca en formar un manual de entrenamiento para los equipos VHF con los que cuenta la universidad, para esto se desarrolló un plan metodológico, en cual consiste en identificar los equipos que conforman una red VHF y dar a conocer las diferentes interfaces de configuración que hace parte de cada dispositivo, concluyendo con los diferentes tipos de pruebas para la verificación de la red (Porrás Delgado & Sánchez Trisancho, 2018).

- La Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) ha creado una serie de manuales informativos, uno de ellos hace referencia a la propagación de ondas radioeléctricas para el diseño de enlaces terrenales punto a punto, en el cual abarca temas muy relevantes sobre los diferentes tipos de enlaces con línea de vista directa que se pueden implementar según los requerimientos del usuario, en el documento se aprecian tres tipos de enlaces, los cuales son los más comunes tales como enlaces con visibilidad directa, enlaces transhorizonte y enlaces ópticos en el espacio libre, en cada uno de los diferentes tipos de enlaces se establece la metodología a utilizar y los cálculos pertinente que se tienen en cuenta para cada uno, también presenta ejemplos de aplicaciones reales para la mejor comprensión del lector (Unión Internacional de Telecomunicaciones & Oficina de Radiocomunicaciones, 2008).

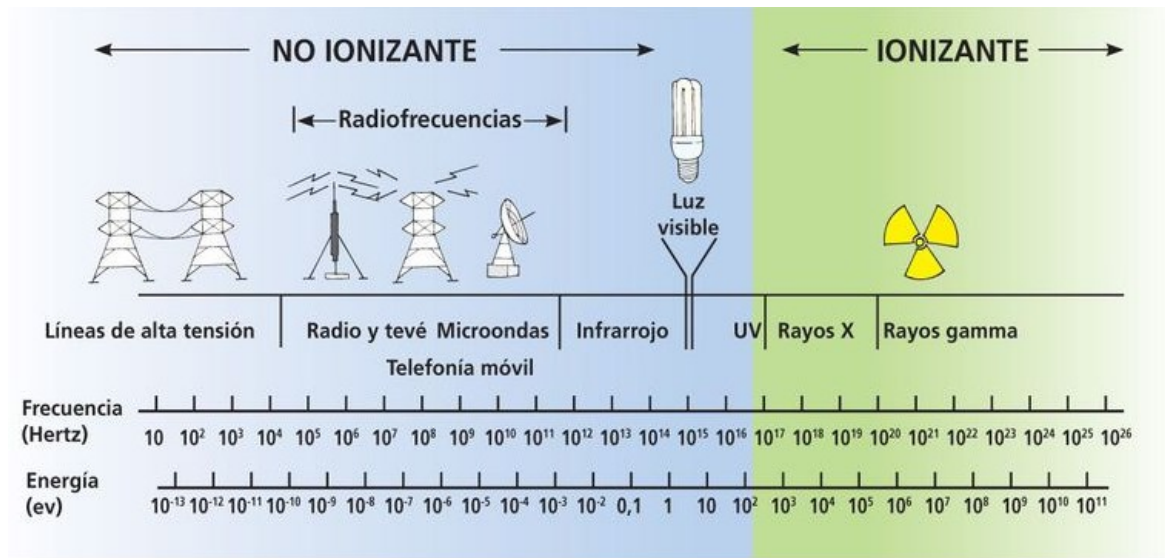
## 1.2 Radioenlaces

Para entender los radioenlaces es necesario conocer sobre los tipos de canal radioeléctrico que se utilizan en las comunicaciones por radio, sabiendo esto, existen abundantes clasificaciones posibles para los canales de comunicación. Una de ellas hace referencia al contorno del medio físico de transmisión, existiendo dos medios por los cuales se puede transmitir una señal radioeléctrica como lo son los medios guiados (fibra óptica, cable coaxial, guías de ondas, etc.) y medios no guiados (el aire, atmósfera, el espacio exterior). En general, los medios no guiados son más convenientes para frecuencias altas y los medios guiados para frecuencias bajas (Huidobro & Ordóñez, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior un radioenlace es un sistema de comunicación electrónico, el cual, hace uso del aire como medio de propagación de las ondas de radio que permiten la transferencia de información de un punto a otro (Martínez, 2019).

Las frecuencias en la que trabajan estas ondas, se ubican en la categoría de microondas, es decir, en el espectro de las altas frecuencias (300 MHz – 300 GHz) con longitud de onda que va desde 1 metro a 1 milímetro, aunque por lo general se usan frecuencias muy altas (SFH, Super High Frequency) donde se superan los 3 GHz. Sabiendo esto, se fijan las dos frecuencias que se utilizaran para la comunicación, siendo una para la frecuencia portadora modulada de transmisión y la otra como portadora de recepción. Este tipo de comunicación, se determine como comunicación de tipo dúplex, donde las frecuencias de transmisión y recepción constituyen el radio canal se puede ver la clasificación del espectro electromagnético en la Figura 1-1.

**Figura 1-1:** Espectro electromagnético. (Noticias de Paraguay y el mundo en ABC Color, s. f.)



### **1.2.1 Sistemas de comunicaciones VHF**

Según el manual básico de sistemas de comunicaciones marítimas, y atendiendo a la clasificación de las ondas radioeléctricas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, se dividen en ocho bandas de frecuencia las cuales son, VLF (frecuencias muy bajas), LF (frecuencias bajas), MF (frecuencias medias), HF (frecuencias altas), VHF (frecuencias muy altas), UHF (frecuencias ultra altas), SHF (frecuencias super altas) y EHF (frecuencia extra altas). Teniendo en cuenta lo anterior, para el desarrollo del proyecto se hará uso de la banda de frecuencias VHF, lo cual es necesario saber y tener claro las frecuencias que se utilizan en esta banda.

Para empezar, esta banda está comprendida entre los 30 y 300 MHz y su longitud de onda, la cual se caracteriza de hacer uso del medio de propagación de la baja atmosfera. Esta banda de frecuencias es apropiada para sistemas de comunicaciones que no requieran alcances demasiado largos ya que su alcance está entre los 48 kilómetros aproximadamente, lo cual se considera una distancia pequeña con respecto a otras bandas de frecuencia como las frecuencias medias (MF) que se pueden extender a lo largo de la corteza terrestre, esto hace que no se vea afectada por los llamados parásitos atmosféricos a medida que aumenta la frecuencia. Otra de sus características más importantes es cuando la señal atraviesa las capas de la atmosfera dirigiéndose al espacio exterior ya que la señal no se refleja entre las capas de la atmosfera(Mascareñas Pérez-Inigo, 2017).

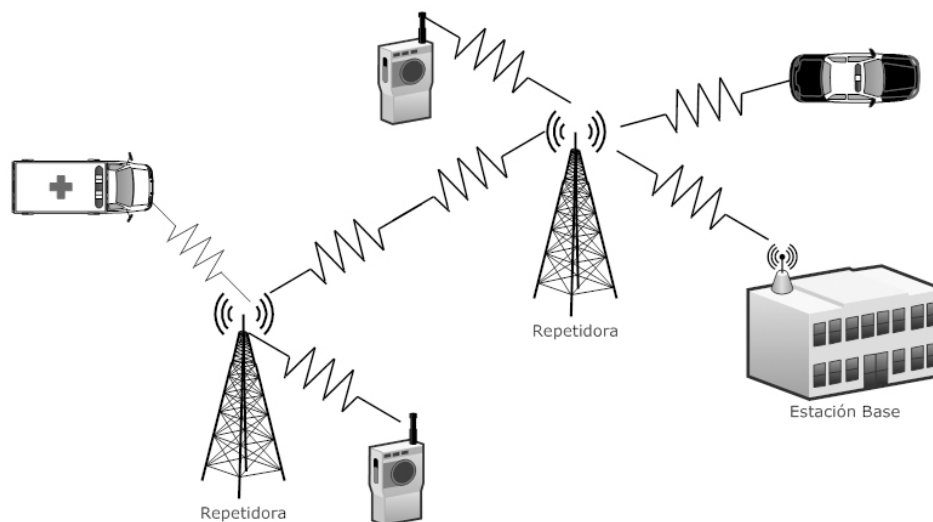
Como se mencionó anteriormente, las redes de comunicaciones en VHF solo se pueden utilizar para un alcance local y si se requiere que su cobertura sea más amplia es necesario utilizar repetidores, radioenlaces o satélites artificiales que reflejen la señal en línea recta y sea retomada en la superficie ampliando su cobertura (Patrocinante & Rojas, s. f.). La banda de frecuencias en VHF es comúnmente utilizada para las comunicaciones militares, servicios de televisión, servicios de radiodifusión en VHF, telefonía, comunicaciones para aficionados y servicios de radiolocalización (Mascareñas Pérez-Inigo, 2017).



## 1.2.2 Arquitectura de redes en VHF

Las redes VHF suelen estar formadas por agrupaciones de redes. Cada una de estas redes está formada por una estación base (radio base), estaciones móviles (radios en vehículos móviles), estaciones portátiles (radios portátiles) y su debido nodo o repetidor, las cuales pueden estar interconectadas. Buenas a otras por medio de radioenlaces comunicando así un repetidor con el otro. Y de esta manera puedes tener una arquitectura o una topología de red en VHF mayor. Para ello tenemos un ejemplo de la arquitectura de las redes en VHF, ver Figura 1-2 (Huidobro & Ordóñez, 2014).

**Figura 1-2:** Arquitectura Básica de una red en VHF. Fuente: Autores.



## 1.2.3 Equipos para VHF

- Radios convencionales

Existen dos tipos de radios, analógicos y digitales, si bien es cierto que la tecnología avanza muy rápido, esto no quiere decir que los analógicos vayan a desaparecer o sean mejores a los digitales pues ambos tienen pros y contras. Los radios analógicos utilizan la voz y la transforman en una señal analógica dando así una transmisión que se pueden propagar por un medio, en este caso por la ionosfera. Dando como finalidad poder

transmitir de un radio al otro un mensaje con voz. Los radios analógicos son más económicos con respecto a los radios digitales, los cuales existen desde los años 90's.

▪ Radios Digitales

Los radios Digitales tomaron un protocolo de comunicación Radio Móvil Digital (DMR Digital Mobile Radio por sus siglas en inglés) es un estándar de radio digital abierto. Con reconocimiento mundial, es una tecnología que combina voz, datos, características y aplicaciones entre sí. Gracias al estándar DMR, las radios de distintas marcas pueden ser compatibles utilizando este mismo protocolo de comunicación.

DMR es un estándar de radio bidireccional digital desarrollado por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI). Este estándar está diseñado principalmente para reemplazar los estándares analógicos dando una utilidad del doble de la capacidad del canal, proporcionando comunicaciones más seguras y confiables para el usuario. DMR también se desarrolló para facilitar una ruta de actualización sencilla de la radio analógica a la digital.

Una de las razones por las que DMR proporciona una ruta de migración tan sencilla para los usuarios de radio analógica existentes es que opera dentro del espaciado de canales de 12.5 kHz. La mayoría de los fabricantes permiten que los nuevos radios de esta generación tengan las dos tecnologías en sí (analógicas y digitales) para así permitir una transición gradual. El gran beneficio de DMR es que proporciona dos canales de voz para cada canal analógico a través del uso de la tecnología TDMA (acceso múltiple por división de tiempo) de dos ranuras, que divide un canal de 12.5 kHz en dos intervalos de tiempo independientes, permitiendo así dos comunicaciones simultáneas el mismo tiempo utilizando las mismas frecuencias, dando como resultado no tener que utilizar otras frecuencias, ayudando a así a de una u otra manera ahorrar las frecuencias del espectro. Estas son unas de las características más sobresalientes de los radios digitales:

- Filtrado de voz
- Llamadas directas e incluso de grupo
- Mensajes de texto

- Transmisiones de señales con un radio más amplio
  - Llamadas privadas
- Repetidor

El repetidor de voz es una estación que permite recibir señales de radio por una frecuencia y retransmitirlas al mismo tiempo en otra. Estas estaciones o repetidores se utilizan cuando dos o más usuarios de la red en general están muy alejados entre sí y, por lo tanto, no se garantiza una comunicación punto a punto. Por lo cual se utiliza un repetidor para ampliar la cobertura y extender el área de comunicación para los integrantes de la red.

En cuanto a los repetidores también contamos con la tecnología digitales y analógicos. Teniendo la tecnología digital contamos con varias ventajas, cómo tener dos comunicaciones al mismo tiempo. Utilizando un solo par de frecuencia dando como resultado dos comunicaciones simultáneas. Este es un ejemplo de un repetidor Digital de la marca HYTERA modelo RD986, ver Figura 1-3.

**Figura 1-3:** Repetidor maestro. Fuente: Autores



- Cables y conectores

Las radios se conectan a la antena mediante un cable coaxial que se encarga de transmitir la señal entre ambos elementos. Estos cables están hechos de cobre con una protección especial para soportar interferencias y las condiciones de intemperie a las que se enfrentan. Habitualmente se utilizan dos marcas de cables: Belden, Andrews. Normalmente los conectores que utilizan con conectores tipo N (machos o hembras) como se aprecian en la siguiente imagen, ver Figura 1-4.

**Figura 1-4:** Conectores. (Amphenol, s. f.)



Es importante tener presente que tipo de cable en el cual encontramos es ELIAX, RG8, RG58 ya que con el cable cambia el conector con respecto a la manera de colocar el conector en el cable, porque puede ser ponchado, o a presión. Como se puede apreciar en la Figura 1-5.

**Figura 1-5:** Conectores N macho y hembra. (Publicaciones etiquetadas «N Type», s. f.)



- Duplexer.

Es un dispositivo electrónico, su función principal es permitir la comunicación bidireccional a través de una sola antena, ya que aísla las frecuencias de transmisión y recepción a esto se le conoce como paso y rechazo. Esta característica solo lo tienen aquellos dispositivos grandes (Duplexer), como se puede evidenciar en la figura 1-6. de esta forma, mediante un Duplexer sólo se usa un único cable coaxial y una sola antena ayudando a disminuir los costos en la instalación y adquisición de elementos.

El repetidor podría funcionar sin el Duplexer, pero esto conlleva a utilizar dos antenas, dos cables coaxiales y elevar la altura de la torre, ya que no se pueden colocar las dos

antenas a la misma altura pues esto produciría ensordecimiento al repetidor además de que tendría interferencia. el Duplexer evita todo esto y brinda mayor comodidad en la instalación y el funcionamiento de la red.

**Figura 1-6:** Duplexer (grande).(66-13-74 Pseudo Band Pass Duplexer, s. f.)



Con este dispositivo, en un repetidor de voz que usa dos frecuencias, una para transmisión y otra para recepción, separadas por lo mejor de 5 MHz debido a que el Duplexer requiere esa separación mínima para su correcto funcionamiento, la separación de 5 MHz en frecuencia garantiza que las señales de transmisión y recepción no se interferirán mutuamente y además elimina la posibilidad que la señal de radiofrecuencia del transmisor se introduzca en el receptor, lo cual podría dañar irreparablemente a este último.

- Mini duplexer.

El mini-duplexer tiene las mismas características del duplexer (grande), también utiliza una sola antena y hace la separación de las dos frecuencias la gran desventaja que tiene el mini duplexer con respecto al duplexer es que este no es de paso y rechazo, pues solo tiene la función de rechazar, esto conlleva a una desventaja de ruido y de interferencias, la ventaja de un mini.duplexer es el costo de este es menor al del duplexer. Para la

implementación y puesta en funcionamiento del proyecto se cuenta con el mini-duplexer el cual ver en la Figura 1-7.

**Figura 1-7:** Mini-duplexer. Fuente: Autores



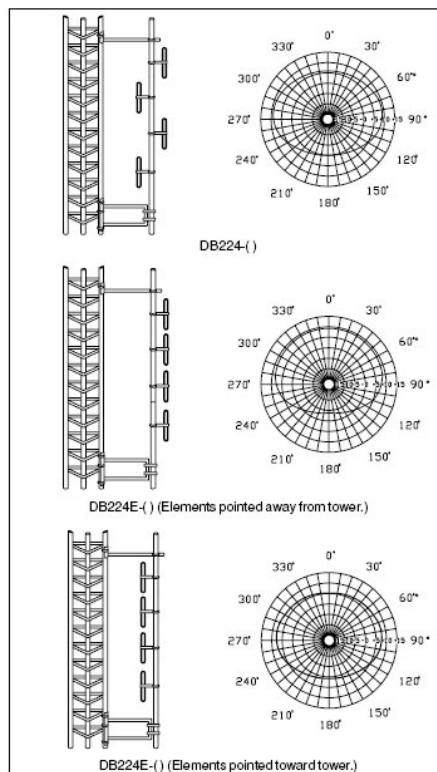
▪ Antenas:

Uno de los componentes más importantes en un sistema de comunicaciones son las antenas, las cuales consisten en un conjunto de componentes electrónicos diseñados con el interés de emitir y/o recibir ondas radioeléctricas hacia o desde el espacio libre. Para ello es necesario generar ondas de radiofrecuencia y transmitirla por medio de una antena hacia otra, la cual será la antena receptora de la señal. Para determinar el tamaño apropiado de una antena para un sistema de comunicaciones, es necesario conocer la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida, ya que, por lo general, el tamaño de la antena es un múltiplo o submúltiplo exacto de la longitud de onda, es por esta razón que a medida que aumenta la frecuencia, disminuye el tamaño de la antena.

Para el proyecto que está siendo ejecutado, se utilizaran antenas en VHF, de cuatro dipolos entre un rango de frecuencias de 150-160 MHz de la marca Andrew. Como ya se mencionó, dadas las características de transmisión y recepción de un nodo repetidor de

voz, es necesaria la utilización de una antena omnidireccional ya que los clientes con los que se comunica pueden estar en cualquier punto. El modelo que se puede utilizar es la antena Decibel DB224-E de ganancia de 9 dB en toda la banda de 138 a 150 MHz, es decir mantiene la ganancia en un ancho de banda de 12 MHz. Para que ésta trabaje como una antena omnidireccional debe colocarse manteniendo una separación de 1 m aproximadamente entre la estructura de la torre y un tubo sobre el cual se instalan los dipolos que conforman la antena. Estos dipolos deben apuntar a los cuatro puntos cardinales y deben tener la misma polarización que las antenas con los cuáles vayan a comunicarse, ver configuración de antena omnidireccional en la Figura 1-8.

**Figura 1-8:** Antena omnidireccional. (DB224-A, s. f.)



### **1.2.4 Servicios en VHF**

Además, los servicios prestados por esta banda son los servicios de radio difusión en frecuencia modulada FM, televisión, comunicaciones marítimas, tráfico aéreo, Radioaficionados, todo esto teniendo en cuenta como se organicen las frecuencias con la Agencia Nacional del Espectro ANE junto con el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones MINTIC, en este caso de Colombia (Palomo, 2016).

## **1.3 Propagación de ondas**

La propagación de una onda radioeléctrica se hace principalmente por medio del aire, el cual es su medio principal de propagación por lo cual se le considera un medio de propagación no guiado debido a que la onda no se propaga por medio de cables, (Patrocinante & Rojas, s. f.).

Uno de los fenómenos más comunes entre las ondas radioeléctricas tiene que ver cuando la señal transmitida pasa por los bordes de montañas, edificios o la misma curvatura del planeta tierra, la cual sea mayor a 50 veces la longitud de onda, la señal tiende a curvarse ligeramente hacia abajo ya que la parte inferior de la onda va un poco más despacio que la parte superior, que continua a la velocidad de la luz (300000 Km/s), a este fenómeno se conoce como “knife-edge diffraction” (difracción de filo de cuchillo).

Para una buena transmisión de la señal sean datos o voz hay que tener en cuenta que lo más importante es tener línea de vista entre las antenas receptoras y las transmisoras, con ello también se debe elegir las frecuencias de utilización del radioenlace. Ya que hay que tener en cuenta que las ondas emitidas pueden ser difractadas, refractadas, reflectadas o en su caso absorbidas por la misma atmosfera y los diferentes obstáculos que se encuentren en el recorrido que lleva la señal transmitida a la antena receptora por ello es necesario tener la línea de vista entre estos dos enlaces (Daviu, 2017).



### 1.3.1 Mecanismos de propagación de la interferencia

Según la UIT-R (Unión Internacional de Telecomunicaciones) P.452-16 la propagación de la interferencia permite mostrarse por medio de diversos mecanismos y la influencia de cualquiera de ellos, que depende de variables como lo pueden ser el clima, la cantidad de tiempo, la distancia y la orografía del recorrido. En cualquier momento puede ocurrir un evento o más de uno que veremos a continuación.

Línea de vista: el método más directo de propagación, el cual es aquel en el que hay un camino directo de visibilidad en condiciones atmosféricas de equilibrio. Aunque, pueden aparecer problemas adicionales, por ejemplo, cuando hay difracción de la señal se produce un ligero aumento del nivel de la señal. Así mismo, en la mayoría de los trayectos, salvo en los más cortos (trayectos que no superan los 5 km) los valores de la señal electromagnética pueden cambiar considerablemente durante cortos periodos de tiempo causados por los efectos de propagación multitrayecto y de enfoque resultantes de la estratificación atmosférica (UIT-R, 2019).

- Difracción

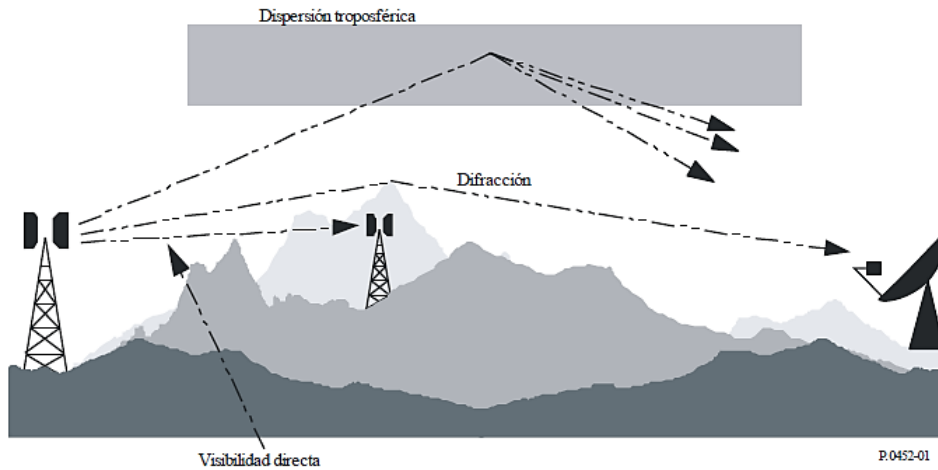
Teniendo en cuenta la visibilidad directa y en condiciones normales, las consecuencias de la difracción acostumbra a ser dominantes cuando surgen cotas significativas de la señal. Para los servicios en que los problemas de anomalías de corta duración no son tenidos en cuenta, la precisión del modelo de difracción define a menudo la densidad de los sistemas que se pueden incorporar. La capacidad de pronóstico de la difracción tendrá que ser tal que acepte incluir eventos de terreno liso, de obstáculos discretos y de terreno irregular.

- Dispersión troposférica

este mecanismo evalúa el nivel de interferencia de fondo para recorridos más extensos (entre 100-150 km) en los que el espacio de difracción se hace muy débil. Sin embargo, exceptuando algunos pocos casos singulares en los que participan estaciones terrenales sensibles o fuentes de interferencia de una gran potencia (por ejemplo, sistemas de

radar), la interferencia mediante el mecanismo de dispersión troposférica poseerá un nivel demasiado reducido como para ser significativo, ver Figura 1-9.

**Figura 1-9:** Mecanismos de propagación de la interferencia. (Unión Internacional de Telecomunicaciones & Oficina de Radiocomunicaciones, 2008b)



## 1.4 Comunicaciones por microondas terrestres

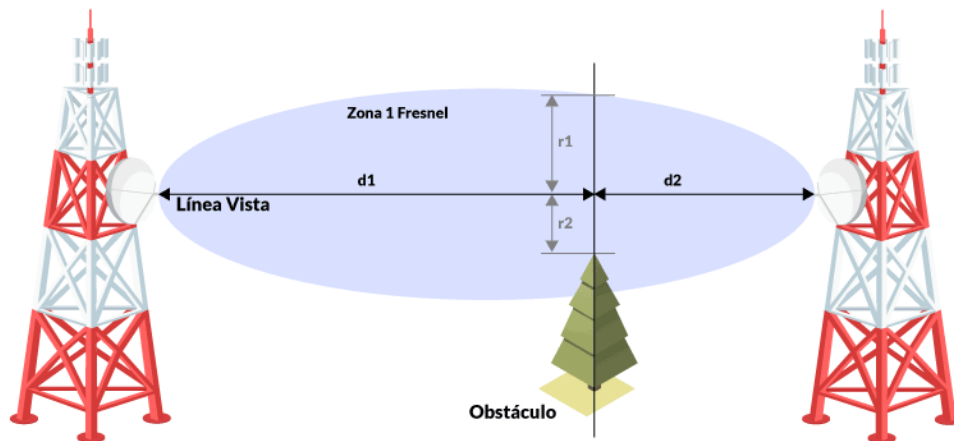
Es la capacidad de poder transportar información de un sitio A a un sitio B de forma inalámbrica, sin un medio físico. La comunicación inalámbrica tiene siempre que darse en una frecuencia determinada, con la cual contamos con frecuencias desde 900MHz hasta 24GHz (24,000MHz). Las frecuencias más bajas, tienen mejores propagaciones en el aire, inclusive con obstáculos, pero las transmisiones se llenan de ruido por lo que no desarrollan capacidad, y las frecuencias muy altas desarrollan alta capacidad, pero no mucha distancia, ya que se atenúa muy rápido la señal (Ramos Pascual, 2007).

### 1.4.1 Zona de Fresnel

Para un radioenlace punto a punto se debe tener en cuenta algunos principios, tales como la línea de vista y la zona de Fresnel, la cual se define como el espacio libre de obstáculos tales como árboles, edificios, montañas, etc. Para que haya una correcta

comunicación entre la antena transmisora y la antena receptora, ver ilustración de la zona de Fresnel en la Figura 1-9 (Huidobro & Ordonez, 2014).

**Figura 1-10:** Zona de Fresnel.(Menendez, s. f.)



Si en la propagación de una onda, esta se encontrara con un obstáculo, si nos basamos en el modelo sencillo de la óptica geométrica no habría propagación, ya que el obstáculo frenaría a la onda impidiendo la comunicación, pero si utilizamos un modelo más preciso, se puede comprobar que, si es posible, ya que el frente de la onda si puede rebasar el obstáculo, siempre y cuando este no supere el 40% de su línea de vista, pero se recomienda que la obstrucción máxima no supere el 20%. Es decir, para conseguir comunicarnos a una distancia  $d$  con una señal portadora  $f$ , debemos conseguir que la primera zona de Fresnel este por lo menos libre de obstáculos en un 80%, si no se consigue esto, la señal que llegue al destino distante ve vera atenuada, por esta razón, se debe confirmar que la zona este libre de obstáculos (Huidobro & Ordonez, 2014).

Para realizar el cálculo de la zona de Fresnel se usó la siguiente formula donde las distancias se expresan en kilómetros y la frecuencia en Giga Hertz.

$$r_1 = 548 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f d}} \quad (1.1)$$

## 1.4.2 Pérdidas relacionadas al espacio libre y la atmosfera

Las atenuaciones de potencia entre dos antenas isotrópicas al penetrar la atmosfera homogénea se le denomina perdida de espacio libre.

Este modelo de atenuaciones por trayectoria en el espacio libre se usa pronosticar la potencia de los niveles de recepción cuando el transmisor y el receptor logran tener línea de vista en su trayectoria, sin obstáculos entre ellos.

Según las recomendaciones de la ITU P.525, se prefiere calcular la perdida en el espacio libre teniendo en cuenta dos antenas isotrópicas, cuando se habla de un enlace punto a punto, también se le denomina perdidas básicas de transmisión en el espacio libre y para esto se usa la siguiente ecuación (UIT-R, 2019).

$$LFS = 20 \log(\text{distancia (km)}) + 20 \log(\text{frecuencia (GHz)}) + 92.4 \quad (1.2)$$

## 1.4.3 Antenas para radioenlaces tipo microondas

Como ya lo habíamos mencionado antes, las antenas son indispensables para un sistema de comunicaciones, y su funcionamiento es igual, tanto para VHF como para microondas, la cual su funcionamiento es recoger una señal eléctrica, transformarla y transmitirla en forma de onda radioeléctrica que son propagadas en el espacio libre, por lo tanto, se deben tener en cuenta los puntos significativos de la red para poder escoger la antena más apropiada para el radio enlace (Martinez, 2019).

Dicho lo anterior tenemos tres tipos de antenas para microondas, las cuales son direccionales, omnidireccionales y bidireccionales.

- Antenas Direccionales.

Estas antenas son capaces de almacenar gran parte de la energía radiada en una dirección, por consecuencia aumenta la potencia transmitida hacia el objeto lo que evita las interferencias producidas por la fuente. Una de sus características propias de la antena es que produce un haz de señal muy estrecho, pero su alcance es notablemente

grande lo que las convierte en el tipo de antena más apropiadas para un enlace punto a punto

- Antenas omnidireccionales.

La característica principal de este tipo de antenas, es que son capaces de transmitir la misma energía en todas las direcciones, por lo tanto, transmite la señal a 360°, y esto hace que no se requiera orientar la antena hacia ningún punto en específico, estas antenas, con respecto a las antenas direccionales logran un menor alcance, aunque la única antena que consigue esta condición es la isotrópica. Este tipo de antena es la más recomendada para un enlace punto a multipunto

- Antenas bidireccionales.

Como su nombre lo indica, estas antenas solo son capaces de emitir la señal en dos direcciones.

## 1.5 Radio Mobile

La aplicación Radio Mobile es un software de libre distribución utilizado para el cálculo de enlaces a larga distancia en terrenos irregulares. Haciendo uso de perfiles geográficos acoplados con la información de los equipos tales como (potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, etc.) que quieren llevarse a un entorno de simulación.

Algo muy importante que implementa este software y con muy buenas prestaciones es el modelo de Longley – Rice, el cual es un modelo de predicción troposférica para la transmisión de radio en terreno irregular en enlaces de medio y largo alcance. Así mismo tiene múltiples aplicaciones de apoyo al diseño y simulación de enlaces y redes de comunicaciones. La aplicación nos permite introducir de forma fiel los parámetros necesarios de los equipos reales que se piensan utilizar en la instalación de la red de comunicaciones. El modelo de propagación en que se basa, consigue trabajar con frecuencias entre los 20 MHz y 40 GHz y trayecto de longitudes entre 1 y 2000 km (Radio Mobile, s. f.).

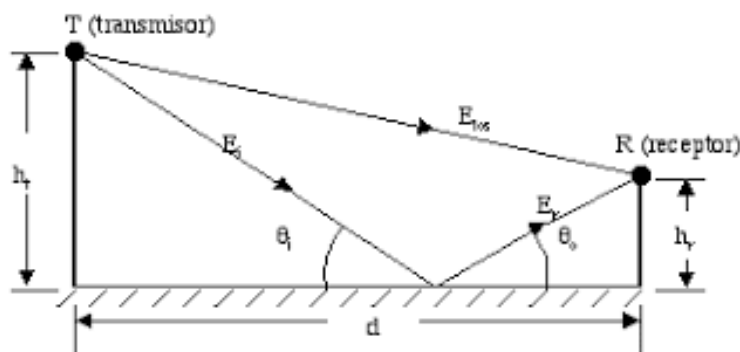
### 1.5.1 Modelo de Longley – Rice

Es un modelo matemático desarrollado por A. G. Longley y P. L. Rice en 1968, el cual fue registrado y publicado por el gobierno de Estados Unidos, el cual permite hacer cálculos de propagación de enlaces punto a punto y también punto a zona en el rango de frecuencias desde VHF hasta EHF que hacen parte del sistema de operación de dicha aplicación, gracias a sus cualidades, se usa como motor de cálculo en algunos programas de telecomunicaciones como Radio Mobile y SPLAT. Cuenta con los siguientes parámetros con los cuales realiza los cálculos necesarios (frecuencia, ERP, antena, altura de la antena, polarización, reflectividad, permitividad, conductividad, variabilidad, etc.) lo que lo hace similar a otros modelos de propagación.

Este modelo de propagación se desarrolló de forma empírica que ayuda a predecir las pérdidas de transmisión en terrenos irregulares, este método se aplica para frecuencias que van desde los 20MHz hasta los 20GHz.

Este modelo toma en cuenta muchos parámetros para el cálculo de pérdidas, tales como altura media del terreno, refracción de la troposfera, perfiles del terreno y clima de la zona, se puede apreciar en la Figura 1-10. el modelo Longley-Rice es un modelo de predicción de la propagación de las ondas radioeléctricas muy reconocido y de dominio público (*R-HDB-44-2002-OAS-PDF-S.pdf*, s. f.).

**Figura 1-11:** Modelo de Longley – Rice.(capitulo5.pdf, s. f.)



## **2. Desarrollo metodológico**

En este capítulo se encontrará el procedimiento mediante el cual se desarrolló el diseño del proyecto, configuración de los equipos, características de la red con su respectiva topología y todos los cálculos necesarios para verificar que el proyecto cumple con todas las condiciones requeridas.

### **2.1 Condiciones actuales del sistema**

El sistema de comunicaciones que tiene la Policía Metropolitana de Tunja (METUN), en funcionamiento es un sistema de radio comunicación con repetidor de forma analógica, por el tipo de tecnología se considera un sistema de comunicaciones obsoleto, además lleva funcionando aproximadamente entre 30 y 50 años. Junto con esto, los municipios que conforman el área metropolitana de Tunja decidieron hacer la adquisición de varios equipos de telecomunicaciones (repetidores, radio enlaces, antenas, etc.) y migrar de tecnología análoga a digital y que trabajasen en la banda de VHF. Debido al cambio de administraciones durante el periodo electoral, la tecnología adquirida quedó en espera para su instalación, con lo que la nueva administración junto con el grupo de Telemática de la Policía metropolitana de Tunja (METUN) disponen poner en marcha dicho proyecto debido a la importancia que tiene para la región un sistema de comunicaciones actualizado y con mayor cobertura.

Los cerros en los cuales se instalarán los nuevos equipos de comunicaciones son sugeridos por la METUN, puesto que el grupo de Telemática de la institución contaba con

los estudios previos de ubicación estratégica para los enlaces, estas ubicaciones se describirán en la sección de características de la red.

### 2.1.1 Especificaciones de equipos de la red actual

La Policía Metropolitana de Tunja dispone para la migración del sistema de comunicaciones de tecnología análoga a digital de los siguientes equipos, los cuales serán ubicados en los puntos ya establecidos.

- Radio Enlaces: (Ubiquiti Power Bean M5-620)

Estos dispositivos se utilizarán para la interconexión de los repetidores, una de las características que más destacan en este dispositivo, es la capacidad de filtrar el ruido, por lo que se mejora la inmunidad al ruido, esta característica se evidencia en zonas que están llenas de gente con otras señales RF de similar frecuencia, en la Figura 2-1 se muestra el aspecto de este dispositivo.

**Figura 2-1:** Radioenlaces. Fuente: Autores.



Este dispositivo está hecho en acero galvanizado, recubierto con polvo para hacerse más resistente a la corrosión lo que garantiza una mayor durabilidad, en la Tabla 2-1 se puede ver las características técnicas de este dispositivo.



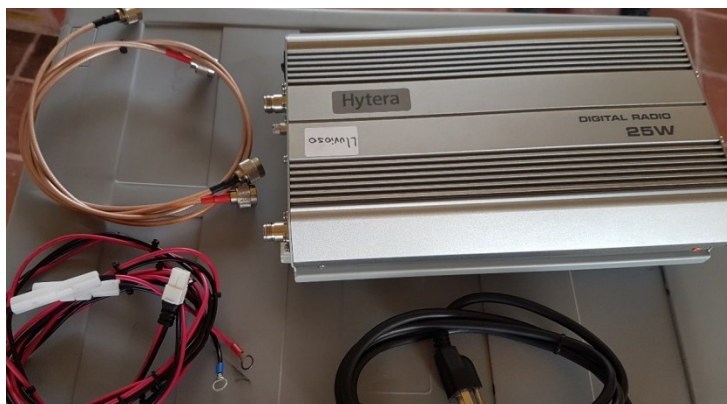
**Tabla 2-1:** Especificaciones de radio enlaces. (Guía de inicio rápido de PBE-M5-620, s. f.)

| PBE-M5-620                |   |
|---------------------------|---|
| Dimensiones               | 650x650x386 mm                          |
| Peso                      | 6.4 kg                                  |
| Ganancia                  | 29 dBi                                  |
| Interfaz de red           | (1) Puerto Ethernet 10/100/1000         |
| Consumo máximo de energía | 8.5 W                                   |
| Potencia máxima de salida | 24 dBm                                  |
| Fuente de alimentación    | Alimentación Gigabit POE DE 24 v, 0.5 A |
| Montaje                   | Montaje en poste                        |

- Repetidores:

Para los sistemas de repetición se cuentan con tres repetidores de la marca Hytera modelos: RD626, en la banda de VHF, ver Figura 2-2 y un repetidor de marca Hytera RD986 en la banda de VHF, ver Figura 2-3.

**Figura 2-2:** Repetidor Hytera RD626 con sus conectores y cables de alimentación. Fuente: Autores.



El RD 626 es un repetidor de 25 W que trabaja en dos modos de operación (análogo y digital), integrado por un mini-duplexor. Cumple con todas las características DMD a nivel de datos y voz, este equipo también proporciona una fácil migración de análogo a digital

sin inconvenientes, las especificaciones técnicas del repetidor se pueden apreciar en la Tabla 2-2.

**Tabla 2-2:** Especificaciones Técnicas RPT RD262 Hytera. (sp\_DMR\_RD626\_20160517AC.pdf, s. f.)

| Repetidor Hytera RD626    |                                   |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Rango de frecuencias      | 136-174MHz, 400-470MHz            |
| Canales                   | 16                                |
| Espaciamiento de canales  | 25KHz/20KHz/12.5KHz               |
| Voltaje de operación      | 13.6 ± 15% V DC    90V-264V AC    |
| Consumo de corriente      | Recepción ≤0.5A Transmisión ≤5.5A |
| Estabilidad de frecuencia | ± 0.5ppm                          |
| Impedancia de antena      | 50 Ω                              |
| Dimensiones               | 210x348x108 mm                    |
| Peso                      | 5kg                               |

En la Figura 2-3 se puede observar el repetidor Hytera RD986, este dispositivo es compatible con las tecnologías análogo y digital el cual es capaz de seleccionar el modo en forma automática teniendo en cuenta el tipo de señal recibida. Este repetidor trabaja con la tecnología TDMA (Time División Multiple Access o en español Acceso Múltiple por División de Tiempo) que en gran medida mejora la eficiencia espectral, que a su vez multiplica la capacidad de usuarios en comparación con la tradicional tecnología analógica.

**Figura 2-3:** Repetidor Hytera RD986. Fuente: Autores



Para ver las especificaciones técnicas del repetidor se puede encontrar en Tabla 2-3.

**Tabla 2-3:** Especificaciones Técnicas RPT Hytera RD986.  
(sp\_DMR\_RD986\_20160517.pdf, s. f.)

| Repetidor Hytera RD986    |  |
|---------------------------|--|
| Rango de frecuencias      | UHF1: 400-470MHz, UHF2: 450-520MHz<br>UHF3:350-400MHz, VHF: 136-174MHz |
| Canales                   | 16   |
| Espaciamiento de canales  | 25KHZ/20KHz/12.5KHz  |
| Voltaje de operación      | 13.6 ± 15% V DC  |
| Consumo de corriente      | Recepción ≤0.8 A Transmisión ≤11 A                                     |
| Estabilidad de frecuencia | ± 0.5ppm   |
| Impedancia de antena      | 50 Ω   |
| Dimensiones               | 210x348x108 mm   |
| Peso                      | 8.55kg   |
| Display LCD               | 220x176 pixeles, 4 líneas  |

- Swith o Hub:

Este dispositivo electrónico permite la interconexión de equipos por vía o puertos Ethernet, la característica más importante de este conmutador es que no requiere configuración, cuenta con cinco puertos RJ45 de negociación automática a 10/100Mbps, en la Figura 2-4, se puede ver el Swith utilizado en la red,

**Figura 2-4:** Swith de la marca TP LINK.(«Conmutador Fast Ethernet de 5 puertos TP-Link Silencioso sin ventilador | No gestionado (TL-SF1005D), blanco», s. f.)



Las especificaciones técnicas del Swith TP LINK usado en la nueva red se pueden ver la Tabla 2-4.

**Tabla 2-4:** Características Técnicas.(TL-SF1005D\_V12\_QIG.pdf, s. f.)

| Swiith TP LINK         |  |
|------------------------|--|
| Interfaz               | 50 10/100 Mbps puertos RJ45                                      |
| Network Media          | 10BASE-T: UTP categoría 3,4,5<br>100BASE-TX: UTP categoría 3,4,5 |
| Indicadores LED        | Power. Link/Act LEDs   |
| Transferencia de datos | Ethernet: 10Mbps, 20 Mbps<br>100 Mbps, 200 Mbps                  |

- Mini-duplexor:

Es un dispositivo que permite utilizar solo una antena para el repetidor en la banda de VHF, ver Figura 2.5.

**Figura 2-5:** Mini-duplexor de la marca MicroMagic con sus conectores. Fuente: Autores



Este dispositivo está diseñado para suministrar aislamiento de frecuencias entre canales de recepción como de transmisión. Mezclando pequeña geometría con baja atenuación y espaciado de frecuencia de corte con características selectivas de paso.

Para visualizar las especificaciones técnicas del dispositivo ver Tabla 2-5.

**Tabla 2-5:** Especificaciones Técnicas Duplexer MicroMagic-1501-C6.(*Micro dúplex compacto VHF - 1501-C6*, s. f.)

| Duplexer MicroMagic-1501-C6      |   |
|----------------------------------|---|
| Espaciado de frecuencias (MHz)   | 4-6,6-8,810 y 22-30 (rango de frecuencia 145-175) |
| Rango de frecuencias (MHz)       | 145-163, 155-175                                  |
| Máxima potencia de entrada (W)   | 50  |
| Perdida de inserción RX-ANT (dB) | <1.5  |
| Perdida de inserción ANT-RX (dB) | <1.5  |
| Impedancia ( $\Omega$ )          | 50  |

- Banco de baterías:

El sistema de respaldo de baterías está compuesto por baterías de ciclo profundo secas libres de mantenimiento de 12 Voltios a 100 Amperios hora, ver Figura 2-6:

**Figura 2-6:** Baterías secas libre de mantenimiento MTEK. Fuente: Autores



Las baterías de respaldo, son un componente muy importante en el conjunto de equipos que conforman una red, ya que en caso de fallar la fuente de energía principal, las baterías toman su lugar como suministro de energía secundaria para que en ningún momento se vea interrumpidas las comunicaciones, estas por lo general, gracias a sus características técnicas, pueden suministrar de energía a los equipos alrededor de 10 a 12 horas, por lo que da tiempo de enmendar cualquier inconveniente con la red eléctrica.

Las especificaciones técnicas de las baterías se pueden observar en la Tabla 2-6.

**Tabla 2-6:** Características técnicas batería.(MT121000AFT - Baterías : mtek, s. f.)

| Batería MTEK              |   |
|---------------------------|---|
| Voltaje nominal           | 12 v                                    |
| Capacidad                 | 100 amperios hora, 10 horas calificadas |
| Dimensiones               | 395x110x286 mm                          |
| Peso aproximado           | 32 kg                                   |
| Resistencia interna       | 5 mΩ                                    |
| Voltaje de carga flotante | 13.5 a 13.8 voltios                     |
| Ciclo de carga de voltaje | 14.5 a 14.9 voltios                     |
| Corriente máxima de carga | 30 amperios                             |
| Tipo de terminal          | Copper                                  |

- Inversor

Es el elemento electrónico que permite convertir la corriente directa en alterna, de la marca CarSpa de 600W tiene una potencia continua de 600W y una potencia pico de 1200W con salida de 100V AC a 60 Hz de frecuencia, en la Figura 2-7 se puede apreciar este equipo.

**Figura 2-7:** Inversor CarSpa de 600W con sus cables. Fuente: Autores.



Para ver las especificaciones técnicas del equipo, dirigirse a la Tabla 2-7.

**Tabla 2-7:** Características Técnicas Inversor.(Pure sine car power inverter,600W pure inverter, s. f.)

| Inversor de corriente P600U |                  |
|-----------------------------|------------------|
| Forma de onda de salida     | Sinusoidal       |
| Potencia nominal            | 600W             |
| Potencia de sobretensión    | 1200W            |
| Tensión de salida           | 110V/230V        |
| Frecuencia de salida        | 50/60Hz          |
| Tensión de entrada          | 12V / 24V / 48 V |
| Dimensiones                 | 26x15x77.7 cm    |
| Peso                        | 2030 gr          |

- Fuente de alimentación:

Este es el dispositivo encargado de suministrar energía tanto al repetidor como al banco de baterías, el cual a su vez es la fuente secundaria de alimentación de todos los equipos que conforman la red, en la Figura 2-8, se puede apreciar la fuente de alimentación usada.

**Figura 2-8:** Fuente de alimentación. Fuente: Autores.



Para apreciar las especificaciones técnicas de la fuente de energía, ver Tabla 2-8

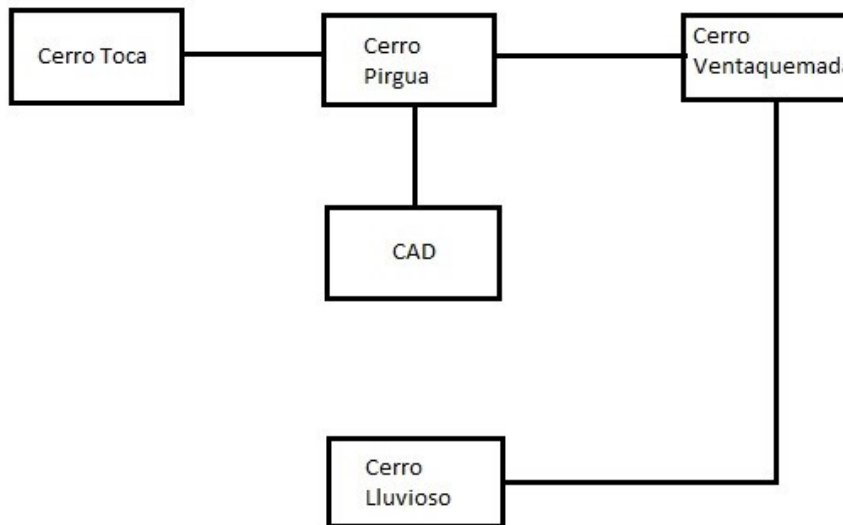
**Tabla 2-8:** Características técnicas fuente de alimentación. (Fuente conmutada 12V 30A - AC110-220V 50/60Hz, s. f.)

| Fuente conmutada 12VCD a 30A |                       |
|------------------------------|-----------------------|
| Voltaje de entrada           | AC 110-220 V 50/60 Hz |
| Potencia máxima de salida    | 360 W                 |
| Dimensiones                  | 21x11.3 cm            |
| Peso                         | 1300 gr               |

### 2.1.2 Características de la red

La red está conformada por un nodo central y cuatro estaciones ubicadas estratégicamente en el casco urbano y cerros aledaños de la ciudad de Tunja, en la Figura 2-9 se muestra una distribución de las estaciones que conforman la red tanto en VHF como en microondas, a partir de la cual se realiza el diseño de la red.

**Figura 2-9:** Topología general de la red. Fuente: Autores.



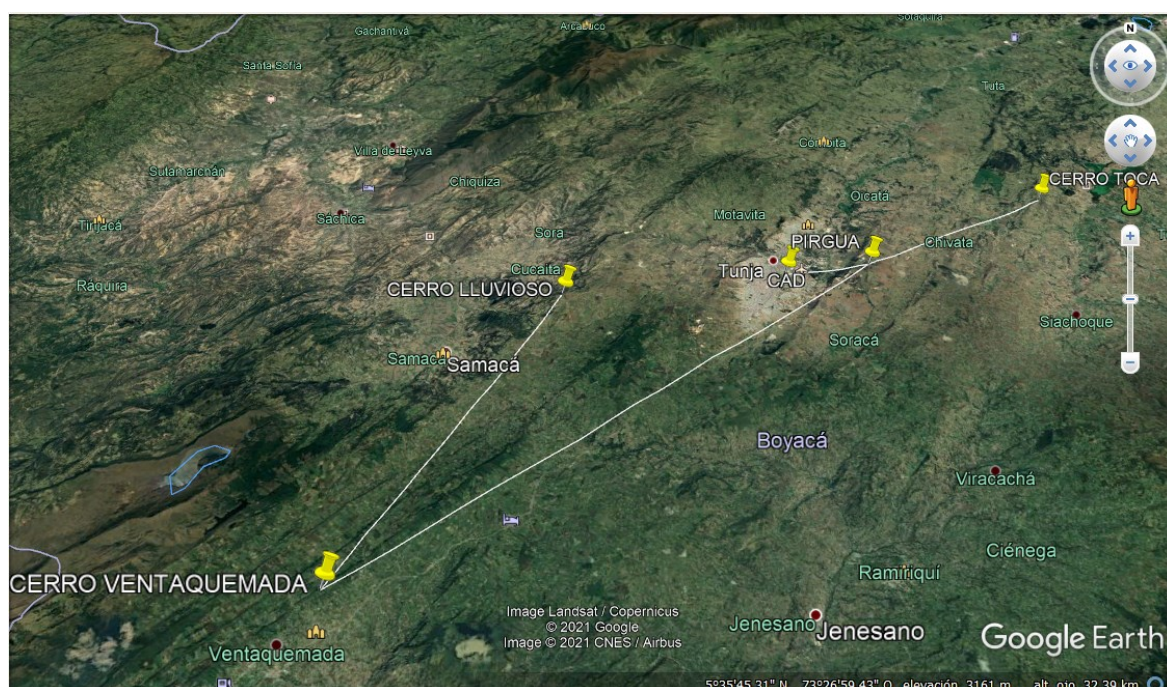
- Cerro Pirgua: se encuentra ubicado a las afueras de la ciudad de Tunja y siendo el más importante, ya que en la estación de este cerro se ubicó el repetidor maestro de la red en el cual convergen tres enlaces importantes (Pirgua-Ventaquemada, Pirgua-Toca y Pirgua-CAD).



- Cerro Toca: está ubicado en el municipio de Toca y tiene enlace directo con el cerro Pírgua.
- Cerro Lluvioso: se encuentra ubicado en el municipio de Cucaita y es el único cerro que no tiene línea de vista directa hacia el cerro Pírgua, por lo que se tuvo que direccionar hacia el cerro Ventaquemada para que de esta manera tenga comunicación con el resto de la red.
- Cerro Ventaquemada: está ubicado en el municipio de Ventaquemada, en el cual convergen dos enlaces directos, los cuales son con el cerro de Pírgua y con el Cerro Lluvioso.

Los cerros ya mencionados fueron sugeridos por la METUN, ya que contaba con los estudios previos de ubicación estratégica para los enlaces, los cuales mediante el software de Google Earth y su herramienta de perfil de elevación se puede verificar que no hay ningún obstáculo significativo que pueda interferir en cuanto a línea de vista. En la Figura 2-10 se puede observar la ubicación y disposición de cada uno de los enlaces.

**Figura 2-10:** Ubicación Geográfica de los cerros. Fuente: Autores.



### 2.1.3 Condiciones actuales de la red eléctrica

Con respecto a las condiciones actuales de sistema de red eléctrica son adecuadas, ya que en estos puntos (cerros o nodos) donde se instalaron los equipos de la red de apoyo, se encuentran instalados los sistemas de repetición de comunicaciones internas de la METUN, sin embargo, se verifica el estado de la red eléctrica, donde se realizaron mediciones de tensión de corriente alterna, verificación del sistema de protección contra descargas atmosféricas (sistemas de tierras), se evidencia un buen estado de las tomas eléctricas, contador, supresor de picos o de tensión, sistemas de baterías de respaldo, sistema de protección contra cortos circuitos (breakers). Como se puede apreciar en las imágenes de la Figura 2-11.

Lo primero que se verifica es el nivel de tensión de corriente alterna en el cual se mide en cada una de las tomas de la caseta, lugar del cual se alimenta el sistema de repetición de la red de apoyo.

**Figura 2-11:** Pruebas de voltaje de corriente alterna. Fuente: Autores



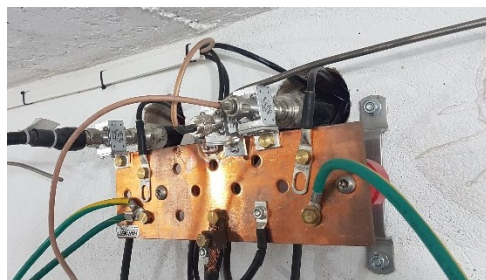
De igual manera se verifica el sistema de protección de tensión o supresor de picos y el sistema de protección contra cortos circuitos (breakers), el cual está en buen estado como se observa en la Figura 2-12.

**Figura 2-12:** Sistemas de protección. Fuente: Autores.



Después se verifica el sistema de puesta a tierras o sistema de protección contra descargas atmosféricas, el cual está bien conectado con el sistema de barrajes de protección como se ve a continuación en la Figura 2-13.

**Figura 2-13:** Sistema de puesta a tierras. Fuente: Autores



## 2.2 Requerimientos del sistema

El principal requerimiento del sistema es proveer cobertura del sistema de la METUN en zonas rurales aledañas del casco urbano, mejorando la comunicación, el cuerpo y la población y de esta manera proporcionar mayor seguridad ciudadana.

### 2.2.1 Cobertura

Una de las prioridades de la METUN con el desarrollo de este proyecto es lograr tener cobertura para los quince municipios que conforman el área metropolitana de Tunja (Tunja, Samacá, Sora, Soracá, Siachoque, Toca, Tuta, Sotaquirá, Combita, Motavita, Oicatá, Chivata, Cucaita, Chíquiza y Ventaquemada como se aprecia en la Figura 2-14.

**Figura 2-14:** Área de la zona Metropolitana de Tunja.(Cámara De Representantes, s. f.)



### 2.2.2 Seguridad

La finalidad de esta red de apoyo en cuanto a la seguridad es que se pueda obtener una comunicación directa, precisa y en tiempo real entre la ciudadanía que integre la Red de Apoyo con la Policía correspondiente a cada municipio, dando así una respuesta optima

y oportuna a los casos que se presenten. Para la atención de emergencias o casos que tengan que ver con la seguridad y convivencia ciudadana del municipio que estén conformando dicha red. De esta manera se puede realizar un aporte significativo en cuanto a la reacción y la atención de los casos que se presenten y contribuir con la seguridad ciudadana, y en mejorar el tiempo de reacción que tiene la Policía Nacional con la ayuda con la ciudadanía.

Con la interconexión de esta red de apoyo, la seguridad debe aumentar ya que se tendrá toda la jurisdicción de los 15 municipios que conforman la Metropolitana de Tunja enlazados y conectados entre sí. En cuanto al sistemas de comunicaciones, se tendrá señal en sitios donde la Policía no tienen comunicación por radio teléfono. La ventaja más significativa de esta red es tener la oportunidad más directa y concreta con el servicio de Policía, una comunicación inmediata y expedita, poder generar información más confiable, veraz y oportuna a través de ese intercambio de información en tiempo real, que permita contrarrestar y prevenir muchos de los fenómenos de criminalidad que afecta la seguridad y convivencia ciudadana.

## **2.3 Diseño de la red**

En esta sección se puede encontrar todo lo relacionado con el estudio y diseño de la red, como lo es la verificación de la línea de vista, datos geográficos de cada uno de los cerros donde se encuentran ubicadas las estaciones, configuración de equipos, etc.

### **2.3.1 Verificación línea de vista**

A continuación, se muestra el desarrollo detallado del cálculo para la verificación de la línea de vista entre los cerros a intercomunicar, esto como parámetro inicial del diseño de un sistema de comunicaciones por microondas terrestres. Para esta verificación se requiere determinar la primera zona de Fresnel e identificar si existe despeje.

El procedimiento se realizará para el enlace entre los cerros Pirgua y Ventaquemada, y se tiene presente que se aplica de la misma manera para los demás enlaces entre los diferentes cerros.

- Enlace Pirgua – Ventaquemada.

Los datos de elevación de los cerros (h) se obtuvieron a partir de la ubicación geográfica proporcionada por un GPS, y los datos de distancia del enlace entre los cerros y posibles obstáculos (d), a partir de la aplicación de Google conocida como Google Earth. Estos datos fueron comparados mediante diferentes aplicaciones como, por ejemplo, las coordenadas obtenidas mediante GPS, se compararon con las coordenadas dadas según su ubicación en Google Earth, y las distancias entre enlaces y obstáculos se compararon entre las aplicaciones de Google Earth y Radio Mobile dando como resultado los siguientes datos:

$h_1 = 3048 \text{ m}$

$h_2 = 3155 \text{ m}$

$h_3 = 2989 \text{ m}$

$d = 27,6 \text{ km}$

$d_1 = 10 \text{ km}$

$d_2 = 17,6 \text{ km}$

Donde:

$h_1$ : representa la elevación de la estación Pirgua en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)

$h_2$ : representa la elevación de la estación Ventaquemada en (m.s.n.m.)

$h_3$ : representa la elevación del obstáculo entre las estaciones Pirgua y Ventaquemada en (m.s.n.m.)

$d$ : representa la distancia en kilómetros entre la estación Pirgua y la estación:

Ventaquemada.

$d_1$ : representa la distancia en kilómetros entre la estación Pirgua y el obstáculo.

$d_2$ : representa la distancia en kilómetros entre el obstáculo y la estación Ventaquemada.

Así mismo se requieren los datos de ubicación geográficos de las estaciones:

Estación Pirgua.

Latitud 5° 32' 39,1"

Longitud 73° 19' 09,6"

Ventaquemada

Latitud 5° 23' 27,0"

Longitud 73° 30' 47,3"

- Zona de Fresnel: con este cálculo de la zona de Fresnel se determina el espacio entre emisor y receptor que debe estar libre de obstáculos, en este caso para el enlace Pirgua – Ventaquemada, el cálculo de la zona de Fresnel nos indica que el radio del lobulillo de Fresnel debe de ser mínimo de 18.23 metros (ver Ecuación (2.1)).

$$r_1 = 548 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fd}} = 548 \sqrt{\frac{10km * 17,6km}{5790MHz * 27,6km}} = 18,28 m \quad (2.1)$$

- Cálculo del despeje: Por medio de este cálculo, se determina si hay despeje entre las estaciones que se desean enlazar, para esto, se compara el valor obtenido en el cálculo de la primera zona de Fresnel con el valor del despeje, si este último es mayor indica que no se requiere ajuste en las alturas de las estaciones.

$$c_{(m)} = h_2 + \frac{d_2}{d}(h_1 - h_2) - \frac{d_1 d_2}{2KR_0} * 10^3 - h_3 \quad (2.2)$$

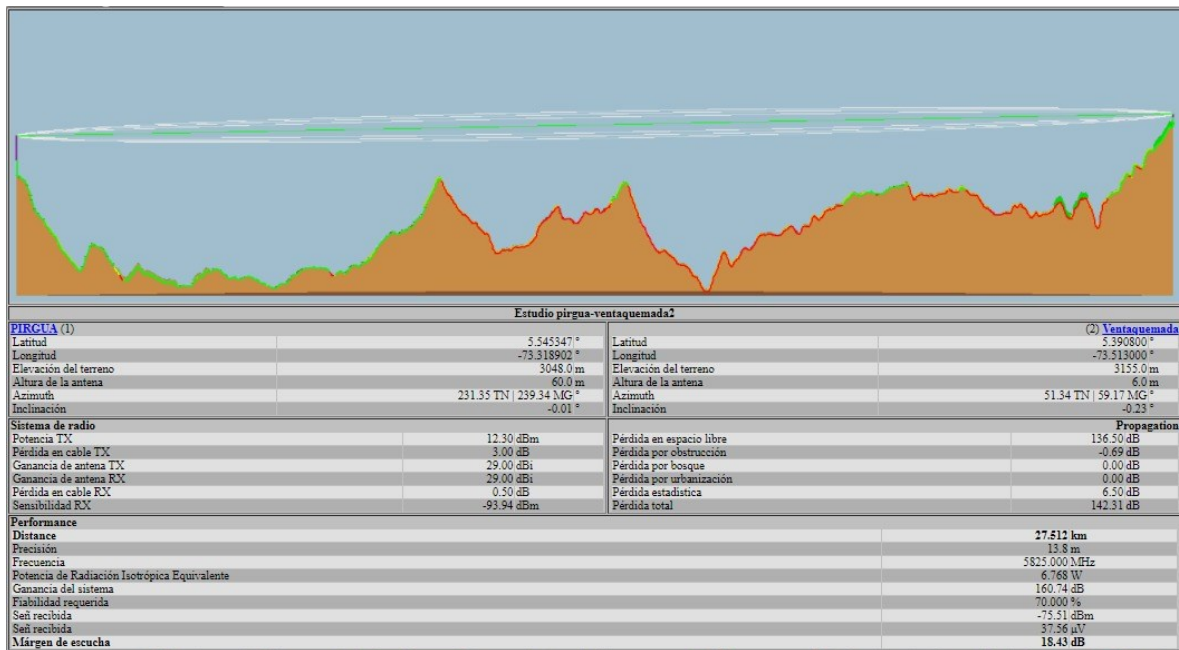
$$c_{(m)} = 3155m + \frac{17,6km}{27,6km}(3048m - 3155m) - \frac{10km * 17,6km}{2\left(\frac{4}{3}\right)6371} * 10^3 - 2989m \quad (2.3)$$

$$c_{(m)} = 87,41 m \quad (2.4)$$

Con este valor resultante se verifica que hay despeje del 100% porque el despeje es mayor que la primera zona de Fresnel, por tanto, no se requiere determinar alturas de

torres en las estaciones. A continuación, en la Figura 2-15 se muestra la simulación de la línea de vista junto con la zona de Fresnel del enlace Pírgua – Ventaquemada usando la versión online del software Radio Mobile.

**Figura 2-15:** Simulación enlace cerros Pírgua-Ventaquemada. Fuente: Autores.



De la misma manera como se desarrolló y se obtuvo el cálculo de la zona de Fresnel y el despeje, se realizó el mismo procedimiento para el resto de los enlaces que conforman la red, con lo cual se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 2.9:

**Tabla 2-9:** Zona de Fresnel y datos requeridos para los enlaces. Fuente: Autores.

| DATOS                       | E. Pírgua -<br>Ventaquemada | E. Lluvioso -<br>Ventaquemada | E. Pírgua - CAD | E. Pírgua -<br>Toca |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------------|
| <b>h1</b>                   | 3048 m                      | 3155 m                        | 3048 m          | 3048 m              |
| <b>h2</b>                   | 3155 m                      | 3155 m                        | 2690 m          | 3043 m              |
| <b>h3</b>                   | 2989 m                      | 3105 m                        | 2734 m          | 2925 m              |
| <b>d</b>                    | 27.6 km                     | 16.61 km                      | 3.81 km         | 10.6 km             |
| <b>d1</b>                   | 10 km                       | 14.12 km                      | 2.85 km         | 5 km                |
| <b>d2</b>                   | 17.6 km                     | 2.49 km                       | 0.96 km         | 5.6 km              |
| <b>Latitud Pírgua</b>       | N 5°32'39.1'                | -----                         | N 5°32'39.1'    | N 5°32'39.1'        |
| <b>Latitud Ventaquemada</b> | N 5°23'27'                  | N 5°23'27'                    | -----           | -----               |

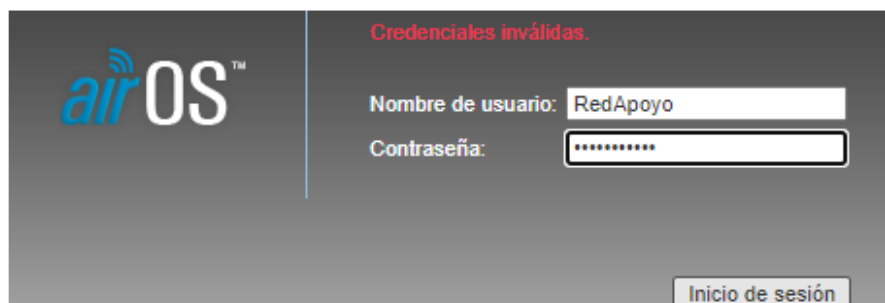


|                              |               |               |              |              |
|------------------------------|---------------|---------------|--------------|--------------|
| <b>Latitud Lluvioso</b>      | -----         | N 5°31"25.6'  | -----        | -----        |
| <b>Latitud CAD</b>           | -----         | -----         | N 5°32"25.6' | -----        |
| <b>Latitud Toca</b>          | -----         | -----         | -----        | N 5°35"19.3' |
| <b>Longitud Pirgua</b>       | W 73°19"9.6'  | -----         | W 73°19"9.6' | W 73°19"9.6' |
| <b>Longitud Ventaquemada</b> | W 73°30"47.3' | W 73°30"47.3' | -----        | -----        |
| <b>Longitud Lluvioso</b>     | -----         | W 73°26"37'   | -----        | -----        |
| <b>Longitud CAD</b>          | -----         | -----         | W 73°21"14.2 | -----        |
| <b>Longitud Toca</b>         | -----         | -----         | -----        | W 73°14"8.3' |
| <b>Z. Fresnel</b>            | 18.28 m       | 14.66 m       | 7.02 m       | 11.717 m     |
| <b>Despeje</b>               | 87.41 m       | 7.94 m        | 46.05m       | 118.9 m      |

### 2.3.2 Configuración radioenlaces

Lo primero que se hace para poder configurar el radioenlace es ingresar a las direcciones IP definidas en cada radio. Se ingresa al sistema de configuración de los radioenlaces ingresando un usuario y contraseña como se aprecia en la Figura 2-16:

**Figura 2-16:** Interfaz de ingreso para configuración de radioenlaces. Fuente: Autores



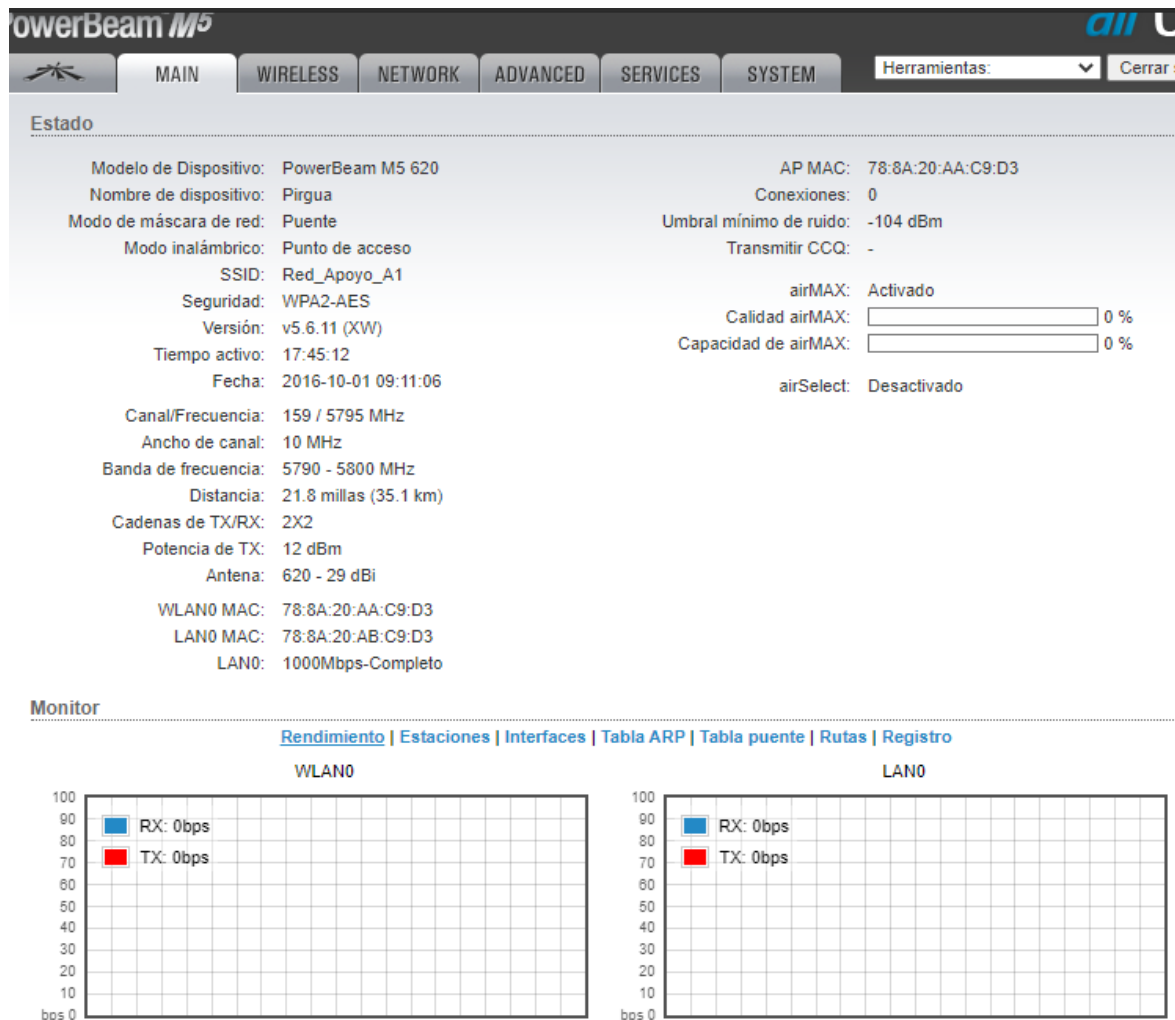
Una vez ingresada la contraseña y el usuario, se ingresa al menú de configuraciones del radioenlace, en el cual se tiene la visualización previa de los parámetros a configurar, como se puede observar en la Figura 2-17.

**Figura 2-17:** Página principal de la interfaz de configuración. Fuente: Autores

The screenshot displays the configuration page for a PowerBeam M5 device, specifically the 'Wireless' tab. The interface is titled 'PowerBeam M5' and 'airOS'. The 'Wireless' tab is selected, and the page is titled 'Configuración inalámbrica básica'. The settings are organized into two sections: 'Configuración inalámbrica básica' and 'Seguridad inalámbrica'. In the 'Configuración inalámbrica básica' section, the 'Modo inalámbrico' is set to 'Punto de acceso'. The 'WDS (Modo puente transparente)' is disabled. The 'SSID' is 'Red\_Apoyo\_A1', and 'Ocultar SSID' is disabled. The 'Código del país' is 'United States', and the 'Modo IEEE 802.11' is 'A/N mezclado'. The 'Ancho de canal' is '10 MHz', 'Lista de frecuencias, MHz' is '5795', and 'Canal de extensión' is 'Ninguno'. 'Lista de frecuencias, MHz' is disabled, and 'Calcular límite EIRP' is enabled. The 'Antena' is '620 (2x2) - 29 dBi', and the 'Potencia de salida' is '12 dBm'. The 'Módulo de velocidad de datos' is 'Predeterminado', and the 'Índice TX máx., Mbps' is 'MCS 15 - 65/72.2' with 'Auto' checked. In the 'Seguridad inalámbrica' section, 'Seguridad' is 'WPA2-AES', 'Autenticación WPA' is 'PSK', and 'Clave WPA compartida previamente' is masked with asterisks. 'MAC ACL' is disabled. A 'Cambiar' button is located at the bottom right of the configuration area.

Seleccionando la pestaña “Wireless” se puede colocar el nombre del enlace, la potencia a la cual va a transmitir la estación, el ancho de banda, la frecuencia de operación y la ganancia máxima que emite la antena del radio, como se ve en la Figura 2-18.

**Figura 2-18:** Página de configuración inalámbrica. Fuente: Autores.



En la pestaña de “Networks” se tiene la opción de elegir o definir las direcciones IP a configurar, también la máscara de subred y la IP de puerta de enlace, ver Figura 2-19.

**Figura 2-19:** Página de configuración de la red. Fuente: Autores.

**PowerBeam™5** **airOS**

MAIN WIRELESS NETWORK ADVANCED SERVICES SYSTEM Herramientas: Cerrar sesión

**Función de red**

Modo de máscara de red:   
Desactivar red:

**Modo de configuración**

Modo de configuración:

**Gestión de ajustes de red**

Gestión Dirección IP:  DHCP  Estática  
Dirección IP:   
Máscara de red:   
IP de la puerta de enlace:   
IP de la DNS primaria:   
IP de la DNS secundaria:   
MTU:   
Gestión VLAN:  Activar  
Solapamiento automático de IP:  Activar  
STP:  Activar

IPv6:  Activar

En la opción "Advanced" se tienen las configuraciones de las distancias del enlace, la propagación, la sensibilidad y la visualización por medio de los leds. De esta manera, mediante los LEDs se puede visualizar sí se tiene un enlace de buena calidad o no, lo cual es importante a la hora de la instalación, ver Figura 2-20.

**Figura 2-20:** Página de configuración avanzada de la red. Fuente: Autores

The screenshot shows the configuration interface for a PowerBeam M5 device. The top navigation bar includes tabs for MAIN, WIRELESS, NETWORK, ADVANCED (selected), SERVICES, and SYSTEM. The 'airOS' logo is visible in the top right corner. The main content area is titled 'Configuración inalámbrica avanzada' and contains several settings:

- Umbral RTS: [?] 2346  Desactivado
- Distancia: [?]  millas (52.3 km)  Ajuste automático
- Agregación: [?] 32 Marcos  Bytes  Activar
- Datos de multidifusión: [?]  Permitir
- Mejora de multidifusión: [?]  Activar
- Controlador EIRP del instalador: [?]  Activar
- Notificación extra: [?]  Activar
- Aislamiento de cliente: [?]  Activar
- Umbral de sensibilidad, dBm: [?] -96  Desactivado

Below this section is the 'Configuración Ethernet avanzada' section with a dropdown menu for 'Velocidad LAN0: [?] 10/100/1000 Auto'. The 'Umbral de sensibilidad' section is followed by 'Umbral de LED de la señal' with four input fields for LED1, LED2, LED3, and LED4, containing values -94, -80, -73, and -65 respectively. A 'Cambiar' button is located at the bottom right of the configuration area.

De la siguiente manera se programa del radioenlace del cerro de Pirgua, se procedes a hacer la misma programación en todos los cerros.

### 2.3.3 Presupuesto de los enlaces

A continuación, se realizan los cálculos detallados de todas las ganancias y pérdidas desde el transmisor hasta el receptor, este procedimiento es esencial para el funcionamiento del enlace, ya que garantiza un diseño adecuado de la red y confirma la selección y configuración de los equipos disponibles en su implementación.

- Cálculo de las pérdidas en el espacio libre enlace Pirgua – Ventaquemada: la pérdida en el espacio libre, significa la mayor parte de la atenuación total, por efectos de propagación de la onda electromagnética.

$$LFS(dB) = 20 \log d(km) + 20 \log f(GHz) + 92,4 \quad (2.4)$$

$$LFS(dB) = 20 \log d(27,6km) + 20 \log f(5,790GHz) + 92,4 \quad (2.5)$$

$$LFS(dB) = 136,47 \text{ dB}$$

- Perdidas asociadas al cable: es importante tener en cuenta las perdidas asociadas a las guías, ya que pueden significar un gran valor dependiendo de la distancia total desde el radio enlace hasta el repetidor en cada estación.

$$P_{guías} = \frac{22dB}{100m} * 60 \text{ m} = 14,2 \text{ dB} \quad (2.6)$$

Las pérdidas del cable se toman de las especificaciones del fabricante y la longitud de 60 m corresponde a la longitud del cable hasta donde se encuentra ubicada la antena, aunque existe línea de vista, es necesario ubicar la antena a esta altura debido a la interferencia que se puede generar con torres de operadores de comunicaciones que se encuentran muy cercanas y que no se identifican como obstáculos en el perfil de elevación.

- Cálculo de la trayectoria del enlace:

$$P_R(dBm) = P_T(dBm) + G_T(dBi) + G_R(dBi) - P_{guías}(dB) - P_{filtros}(dB) - LFS(dB) \quad (2.7)$$

$$P_R(dBm) = 37(dBm) + 17(dBi) + 17(dBi) - 3,09(dB) - 129(dB) \quad (2.8)$$

$$P_R(dBm) = -80.77 \text{ dBm}$$

- Margen de desvanecimiento: tenemos la siguiente ecuación para el cálculo del margen de desvanecimiento en enlaces microondas.

$$\text{Margen} = P_{in}(dBm) - U(dB) \quad (2.9)$$

$$\text{Margen} = -80.77 \text{ dBm} - (-94 \text{ dBm}) \quad (2.10)$$

$$\text{Margen} = 13.23 \text{ dB}$$

Donde:

Margen: Margen de desvanecimiento.

Pin: Potencia de entrada al receptor.

U: Sensibilidad del receptor.

En la Tabla 2-10 se muestra el presupuesto del enlace Pírgua – Ventaquemada en el cual la mayoría de sus datos son proporcionados por las características técnicas de la antena a utilizar, también se incluyeron datos necesarios como las pérdidas en el espacio libre y pérdidas en conectores y cables que fueron calculados anteriormente.

**Tabla 2-10:** Presupuesto del enlace Pírgua -Ventaquemada. Fuente: Autores

| <b>Enlace Pírgua – Ventaquemada</b>         |                           |                |
|---|---------------------------|----------------|
| <b>Datos</b>                                | <b>Elementos</b>          | <b>Valores</b> |
| Distancia: 27.6 km<br>Frecuencia: 5.790 GHz | Salida de transmisor      | +12 dBm        |
|   | Cables y conectores       | -14 dB         |
|   | Antena TX                 | +29 dBi        |
|   | FSL                       | -136 dB        |
|   | Antena RX                 | +29 dBi        |
|   | Sensibilidad del receptor | -94 dBm        |
|   | Total: (margen)           | +13.23 dB      |

A continuación, se realizó el mismo procedimiento para los enlaces restantes, con lo que se obtuvieron los siguientes resultados.

Presupuesto del enlace Lluvioso - Ventaquemada, ver Tabla 2-11.

**Tabla 2-11:** Presupuesto del enlace Lluvioso – Ventaquemada. Fuente: Autores

| <b>Enlace Lluvioso - Ventaquemada</b>        |                           |                |
|--|---------------------------|----------------|
| <b>Datos</b>                                 | <b>Elementos</b>          | <b>Valores</b> |
| Distancia: 16.61 km<br>Frecuencia: 5.790 GHz | Salida de transmisor      | +12 dBm        |
|  | Cables y conectores       | -10 dB         |
|  | Antena TX                 | +29 dBi        |
|  | FSL                       | -132 dB        |
|  | Antena RX                 | +29 dBi        |
|  | Sensibilidad del receptor | -94 dBm        |
|  | Total: (margen)           | +22 dB         |

Presupuesto del enlace Pírgua – CAD, ver Tabla 2-12.

**Tabla 2-12:** Presupuesto del enlace Pírgua – CAD. Fuente: Autores

| <b>Enlace Pírgua - CAD</b>                  |                           |                |
|---|---------------------------|----------------|
| <b>Datos</b>                                | <b>Elementos</b>          | <b>Valores</b> |
| Distancia: 3.81 km<br>Frecuencia: 5.790 GHz | Salida de transmisor      | +12 dBm        |
|   | Cables y conectores       | -14 dB         |
|   | Antena TX                 | +29 dBi        |
|   | FSL                       | -119 dB        |
|   | Antena RX                 | +29 dBi        |
|   | Sensibilidad del receptor | -94 dBm        |
|   | Total: (margen)           | + 31 dB        |

Presupuesto del enlace Pírgua – Toca., ver Tabla 2-13.

**Tabla 2-13:** Presupuesto del enlace Pírgua – Toca. Fuente: Autores

| <b>Enlace Pírgua - Toca</b>                 |                           |                |
|---|---------------------------|----------------|
| <b>Datos</b>                                | <b>Elementos</b>          | <b>Valores</b> |
| Distancia: 10.6 km<br>Frecuencia: 5.790 GHz | Salida de transmisor      | +12 dBm        |
|   | Cables y conectores       | -14 dB         |
|   | Antena TX                 | +29 dBi        |
|   | FSL                       | -128 dB        |
|   | Antena RX                 | +29 dBi        |
|   | Sensibilidad del receptor | -94 dBm        |
|   | Total: (margen)           | +22 dB         |



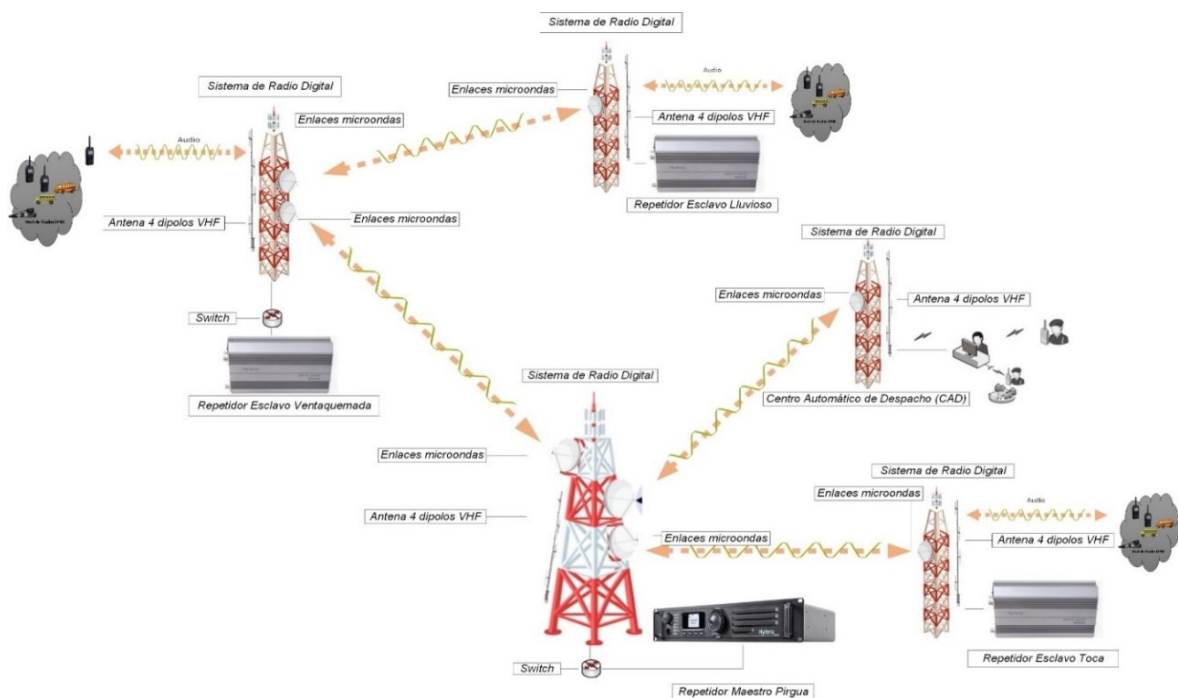
### 3. Resultados y análisis

En esta sección se encuentra todo lo relacionado con la ejecución y puesta en marcha de la red, la verificación de los enlaces, el estado de la red eléctrica en las estaciones, la simulación de cobertura que corresponde al repetidor maestro y pruebas de comunicación en la interfaz de los radioenlaces.

#### 3.1 Red de microondas y radiocomunicación en VHF implementada

A continuación, en la figura 3-1 se muestra la red de comunicaciones final implementada, la interconexión de todos los repetidores y equipos ubicados en cada estación, que brindan cobertura de radiocomunicaciones a todos los municipios que conforman la zona Metropolitana de Tunja.

Figura 3-1: Topología de la red. Fuente: Autores



En el ANEXO A se podrá apreciar el diagrama de la red ampliada para una mejor visualización.

## **3.2 Verificación de disponibilidad de los enlaces**

Para la verificación de los enlaces de microondas punto a punto entre las diferentes estaciones, para este caso particular, se hace uso de dos métodos de verificación del enlace:

### **3.2.1 Prueba de velocidad o latencia**

Es comúnmente llamado “Ping”, y es usado para describir la velocidad de respuesta que existe entre una computadora y una red, con lo que se puede verificar la interconexión de los enlaces punto a punto ubicados a varios kilómetros de distancia, comprobando así su conexión. A continuación, se mostrará un paso a paso del proceso con el cual se obtuvieron resultados positivos mediante dicho procedimiento.

El primer paso y el más importante, es ubicar el computador en el segmento de red al cual se requiere acceder, lo cual se logra otorgándole una dirección IP válida, para esto se inicia en “abrir configuración de red e internet” en Windows, esto genera la siguiente ventana, ver Figura 3-2:

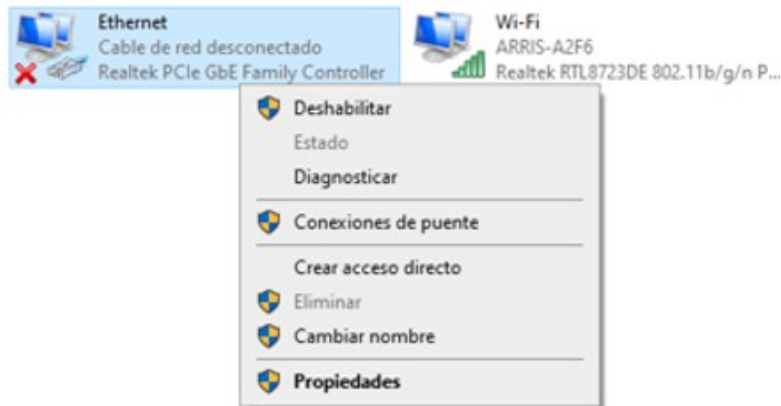
**Figura 3-2:** Configuración de red Ethernet. Fuente: Autores.

Luego de estar en esta ventana, se accede a la opción “cambiar opciones de adaptador”, la cual despliega la siguiente pestaña, ver Figura 3-3:

**Figura 3-3:** Configuración de Ethernet. Fuente: Autores.

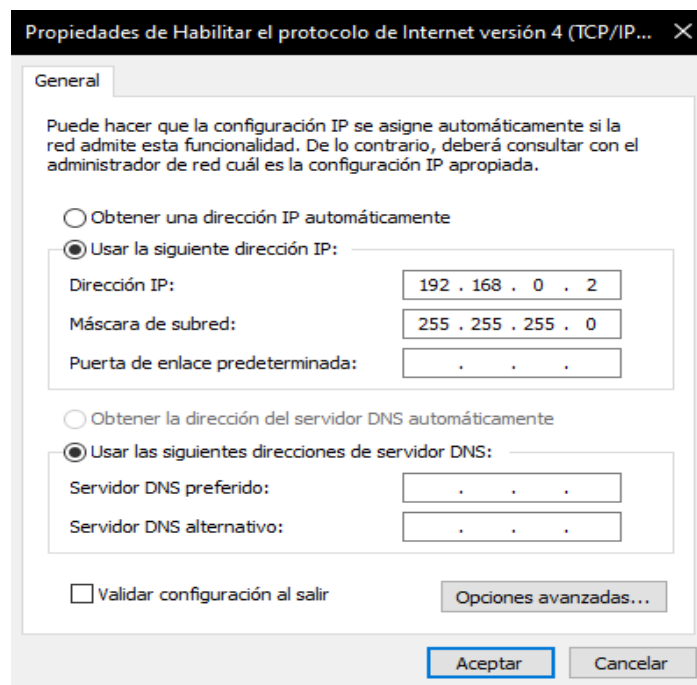
Para evitar problemas, se debe tener en cuenta que el computador no se encuentre conectado a ninguna red de internet, bien sea por medio del puerto Ethernet o vía Wifi, luego de esto se hace clic derecho en la opción que aparece en pantalla como “Ethernet”, con ello se desplegara la siguiente ventana, ver Figura 3-4:

**Figura 3-4:** Configuración del puerto Ethernet. Fuente: Autores.



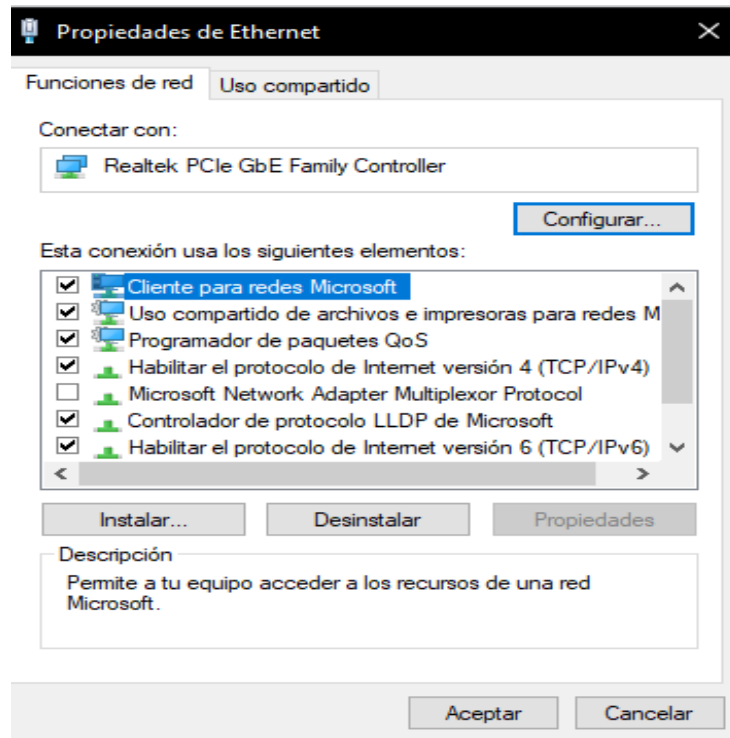
Después de tener desplegado el menú, se seleccionará la opción “Propiedades”, con lo que se desplegará la siguiente ventana, ver Figura 3-5:

**Figura 3-5:** Configuración para cambiar la dirección IP V4 Fuente: Autores



Estando en la ventana de la imagen anterior, se ingresa a la opción “Habilitar el protocolo de internet versión 4 (TCP/IPv4)”, con lo que se abre la siguiente ventana, ver Figura 3-6:

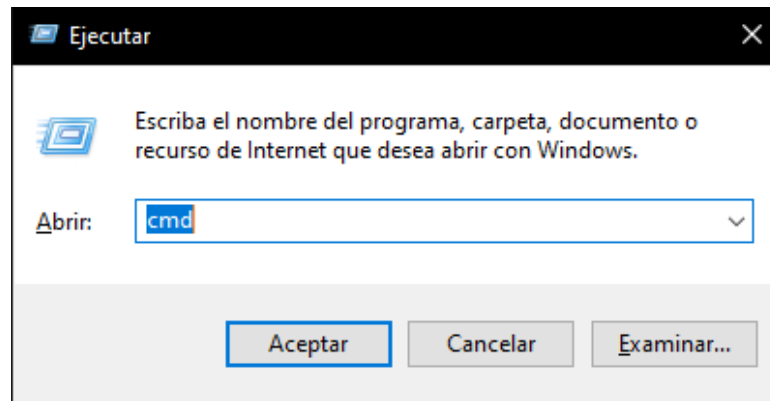
**Figura 3-6:** Configuración segmento de red. Fuente: Autores.



En esta ventana es muy importante seleccionar la opción “usar la siguiente dirección IP” para poder ingresar la dirección IP que este dentro del segmento de red, para este caso se usa la dirección IP 192.168.0.2. Luego de estar en el segmento de red se procede a hacer “Ping”.

En Windows, se pulsan las teclas Windows + R, con lo que se despliega una pequeña ventana en la cual se introduce el comando CMD, como se muestra en la siguiente imagen, ver Figura 3-7:

**Figura 3-7:** CMD. Fuente: Autores.



Luego de introducir el comando CMD y hacer clic en aceptar, se despliega la siguiente ventana, en la cual se introduce el comando “cd...” dos veces consecutivas oprimiendo la tecla “Enter” en cada una de ellas, así se hace ping a cualquier enlace que conforme la red, ver Figura 3-8.

**Figura 3-8:** Comprobación de enlace con comando ping. Fuente: Autores.

```
C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [Versión 10.0.19041.928]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\Users\HP>cd..

C:\Users>cd..

C:\>ping 192.168.0.20

Haciendo ping a 192.168.0.20 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.20: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.20: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.20: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.20: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.0.20:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
              (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 1ms, Media = 1ms

C:\>
```

A continuación, en la Figura 3-9, se puede apreciar la conexión con algunos enlaces como lo son Ventaquemada – Pírgua, Lluvioso – Ventaquemada y Ventaquemada – Lluvioso.

**Figura 3-9:** Comprobación de enlace usando “ping”. Fuente: Autores

```
C:\>ping 192.168.0.21

Haciendo ping a 192.168.0.21 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.21: bytes=32 tiempo=6ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.21: bytes=32 tiempo=6ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.21: bytes=32 tiempo=5ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.21: bytes=32 tiempo=4ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.0.21:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 4ms, Máximo = 6ms, Media = 5ms

C:\>ping 192.168.0.22

Haciendo ping a 192.168.0.22 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.22: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.22: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.22: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.22: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64

Estadísticas de ping para 192.168.0.22:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms

C:\>ping 192.168.0.23

Haciendo ping a 192.168.0.23 con 32 bytes de datos:
Respuesta desde 192.168.0.23: bytes=32 tiempo=2ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.23: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.23: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64
Respuesta desde 192.168.0.23: bytes=32 tiempo=1ms TTL=64

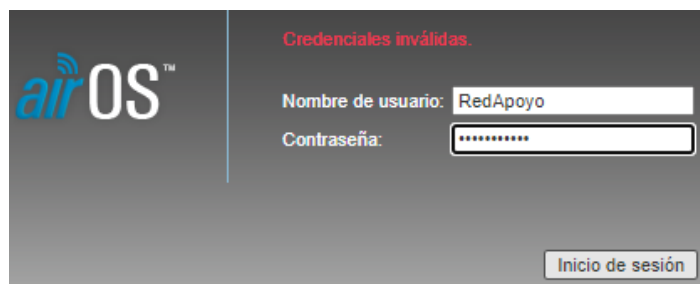
Estadísticas de ping para 192.168.0.23:
    Paquetes: enviados = 4, recibidos = 4, perdidos = 0
    (0% perdidos),
    Tiempos aproximados de ida y vuelta en milisegundos:
        Mínimo = 1ms, Máximo = 2ms, Media = 1ms
```

### 3.2.2 Prueba en interfaz de radio enlace Ubiquiti

Otra de las formas por las cuales se comprueba que hay enlace punto a punto, consiste en ingresar directamente a la dirección IP del dispositivo (radio enlace) desde cualquier navegador del computador, en este caso se hace uso de la aplicación de Google Chrome, para este proceso también es necesario que el computador se encuentre en el mismo segmento de red, con lo cual se realiza el mismo procedimiento que se hizo para la verificación por velocidad de respuesta o velocidad de latencia. A continuación, se muestra el paso a paso para ingresar a la dirección IP del radio enlace y comprobar el estado y calidad del enlace.

Luego de ingresar la configuración pertinente para establecerse en el segmento de red, y de desactivar la conexión a cualquier red inalámbrica de internet, se ingresa a la aplicación de Google Chrome con la dirección IP a la cual se quiera acceder, como se verá en la siguiente imagen, ver Figura 3-10:

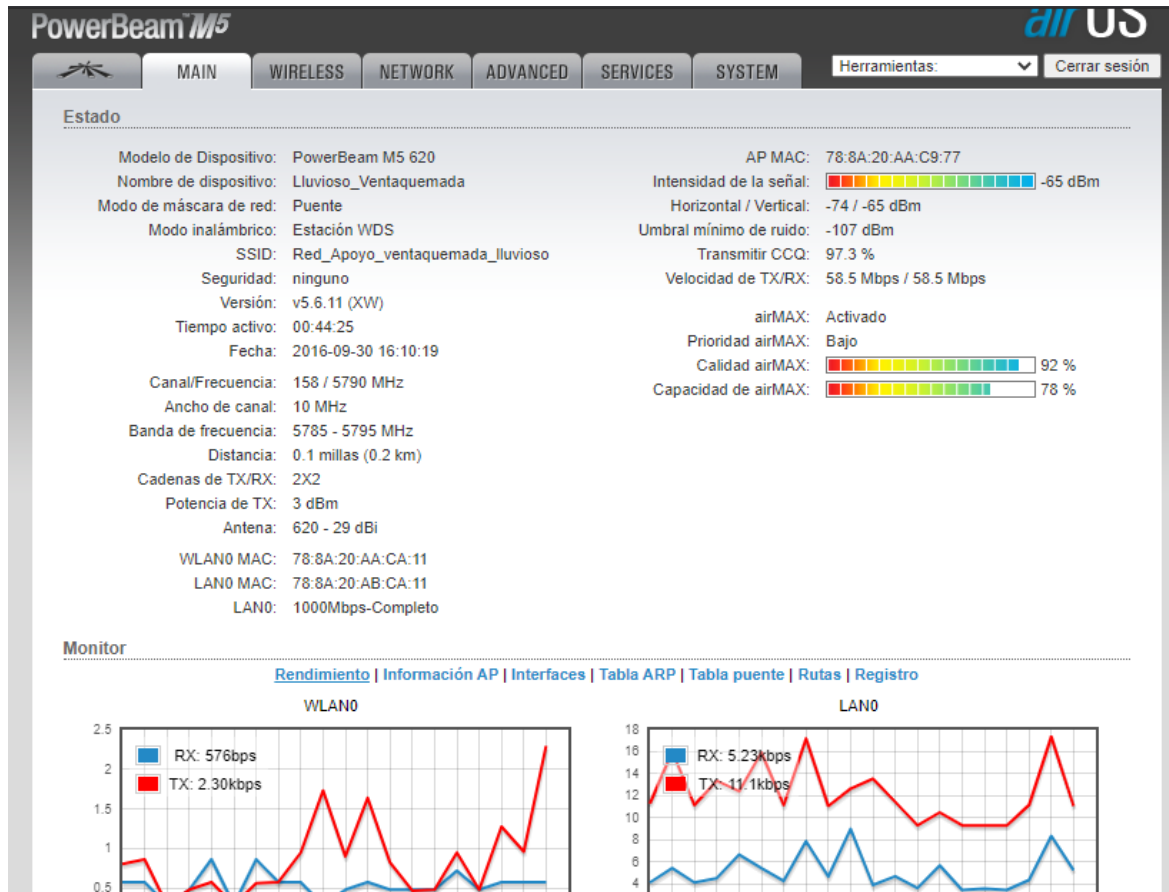
**Figura 3-10:** Interfaz de configuración del radio enlace. Fuente: Autores.



Luego de ingresar la dirección IP del radio enlace, la cual corresponde a 192.168.0.22, que a su vez pertenece al enlace en dirección del cerro Lluvioso hacia el cerro Ventaquemada, se debe ingresar con un usuario y contraseña establecido anteriormente, luego de ingresar ya se podrá observar el estado y configuración de cada enlace, como se puede observar en la siguiente imagen, ver Figura 3-11:

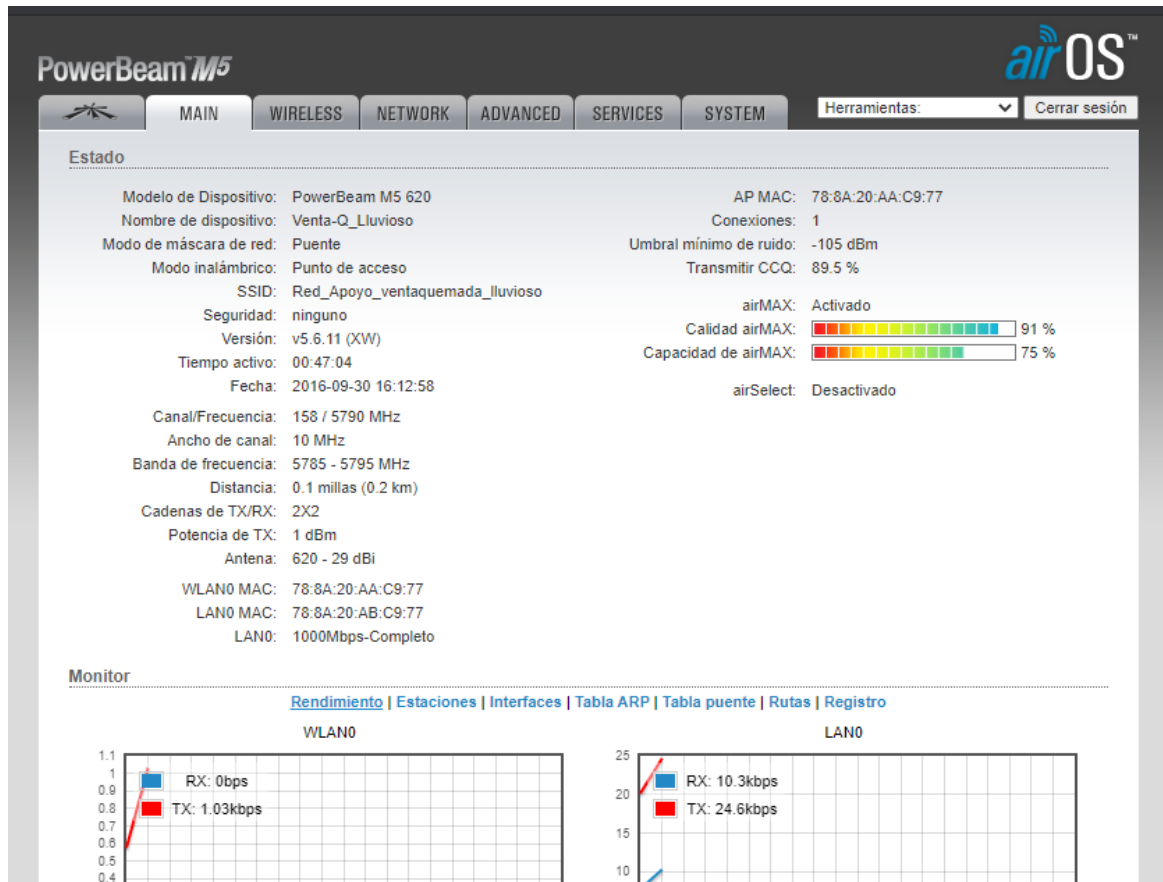


**Figura 3-11:** Calidad y niveles de potencia del enlace Lluvioso – Ventaquemada. Fuente: Autores.



Como se puede observar en la imagen anterior, la interfaz del enlace muestra parte de su configuración y la calidad del enlace que en ese momento se tiene. De la misma manera se puede ingresar al enlace en dirección contraria, que correspondería al enlace desde el cerro Ventaquemada hacia el cerro Lluvioso con la dirección IP 192.168.0.23, como se muestra en la Figura 3-12, donde también se puede observar con facilidad parte de su configuración y la calidad de enlace que se tiene en ese momento, dado que puede cambiar a factores climáticos del territorio.

**Figura 3-12:** Calidad y niveles de potencia del enlace Ventaquemada – Lluvioso. Fuente: Autores

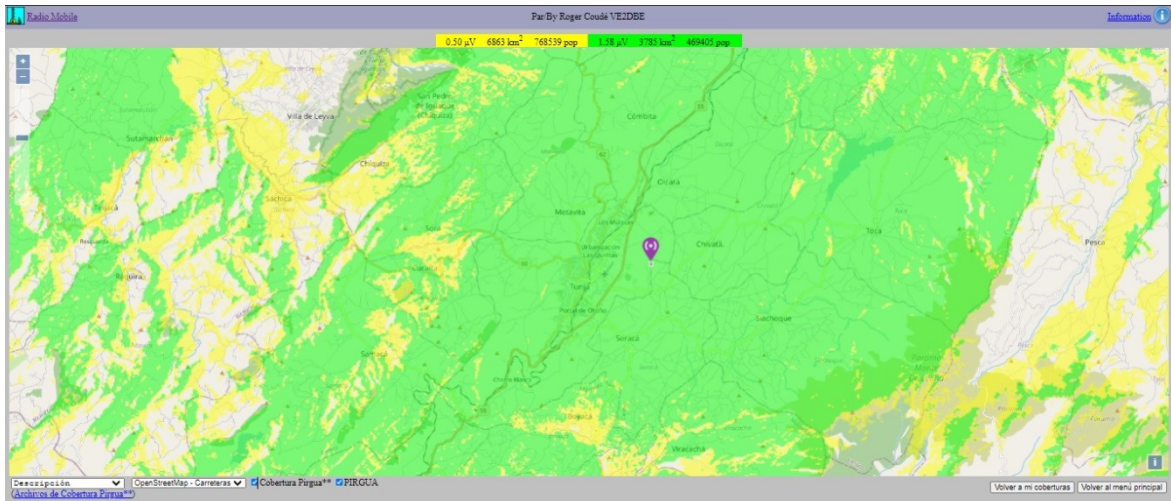


### 3.3 Pruebas de cobertura

Otro componente muy importante a tener en cuenta, es la cobertura con la que se va a contar, ya que uno de los requerimientos que se formularon, consiste en que se tenga cobertura en los quince municipios que conforman la metropolitana de Tunja, para esto se hace uso de una de las herramientas que proporciona el software Radio Mobile en su versión online, que permite realizar una simulación aproximada de la cobertura real que se obtiene con las especificaciones técnicas de los equipos existentes. A continuación,

se presenta la simulación del alcance de cobertura para el repetidor del cerro de Pírgua, ver Figura 3-13:

**Figura 3-13:** Simulación de cobertura del cerro Pírgua. Fuente: Autores.



En la imagen anterior se muestra la cobertura total que otorga el repetidor que está ubicado en el Cerro Pírgua, en la cual se observa de color verde las zonas que tendrán recepción de la señal del repetidor del cerro Pírgua, las manchas amarillas corresponde a las zonas donde la señal es débil y que no llega con la suficiente potencia, lo que conlleva a que la calidad de la llamada no sea buena, sin embargo, con esas condiciones seguirá habiendo comunicación.

En la Figura 3-14. se muestra la configuración y los datos técnicos de la antena del repetidor del Cerro Pírgua con los cuales se realizó dicha simulación de propagación de la señal.

**Figura 3-14:** Configuración de simulación de cobertura Pírgua. Fuente: Autores.

| Descripción                            | Cobertura Pírgua**    |
|--|-----------------------|
| Frecuencia                             | 146 MHz               |
| Nombre de la estación base             | PÍRGUA                |
| Latitud                                | 5.54534700 °          |
| Longitud                               | -73.31890200 °        |
| Elevación                              | 3048 m                |
| Altura de la antena base               | 30 m                  |
| Ganancia de la antena base             | 6.0 dBi               |
| Tipo de antena base                    | omni                  |
| Azimuth de la antena base              | 0 °                   |
| Inclinación de la antena base          | 0 °                   |
| Altura de la antena móvil              | 1.5 m                 |
| Ganancia de la antena móvil            | 0.0 dBi               |
| Potencia Tx de transmisión             | 20.00000 W            |
| Pérdidas en el cable de transmisión    | 5.0 dB                |
| Pérdidas en el cable de recepción      | 0.5 dB                |
| Sensibilidad del receptor              | 0.500 µV (-113.0 dEm) |
| Fiabilidad requerida                   | 70%                   |
| Margen requerido para una señal fuerte | 10.0 dB               |

Descripción    OpenStreetMap - Carreteras     Cobertura Pírgua\*  
[Archivos de Cobertura Pírgua\\*\\*](#)

### 3.4 Pruebas de niveles de potencia

Para hacer las pruebas de niveles de potencia de cada uno de los repetidores a instalar se tuvo en cuenta la última resolución vigente de la Agencia Nacional del Espectro (ANE) la cual es la resolución “015” del 27 de marzo del año 2020 la cual indica el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias (CNABF) y que puede ser consultada en el anexo C, es de precisar que en el capítulo 3 de esta resolución se encuentra el cuadro del sistema nacional de radiocomunicación de emergencia ciudadana, en el artículo 1.3.1. establecen las frecuencias autorizadas por la ANE y el MINTIC, y en el párrafo 3 se destinan las frecuencias 142,950 MHz, 143,800 MHz, 148,8125 MHz para la operación exclusiva de la Policía Nacional y su red de apoyo, y en el párrafo 5 la potencia de transmisión de los radios o equipos de radiocomunicación fijos, móviles o portátiles no deberán exceder de los 25 vatios.

Por lo anterior se procede a verificar el nivel de potencia de cada uno de los repetidores para así no exceder el límite de potencia autorizados por la ANE y el MINTIC, para este procedimiento se utilizó un vatímetro de la marca BIRD modelo 43 con el cual se verifico el nivel de potencia como se puede apreciar a continuación, como se puede apreciar en la Figura 3-15.

**Figura 3-15:** Medición de potencia del repetidor maestro Fuente: Autores



Este procedimiento se realizó mediante un vatímetro de la marca Bird Modelo 43 con una certificación de calibración por la empresa TopTech Tecnología de Punta, como se puede apreciar a continuación, ver Figura 3-16.

**Figura 3-16:** Vatímetro Bird Modelo 43. Fuente: Autores.



### 3.5 Programación Sistema de Comunicación en VHF

Para la programación de los equipos con los que cuenta la METUN, es importante resaltar que se tuvo que adquirir los cables de programación originales HYTERA, al igual que los distintos Softwares a utilizar. Los cuales se podrán observar en la figura 3-17.

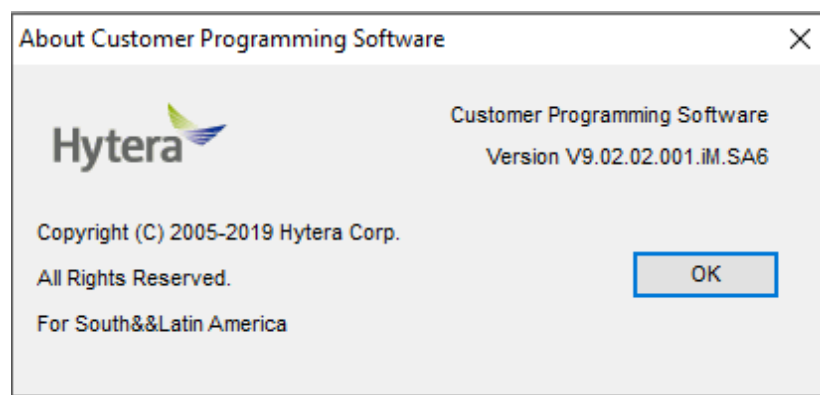
Cada uno de estos cables sirven para programar los repetidores Hytera maestros y esclavos (RPT RD986, RD626 y los radios portátiles PD786.)

**Figura 3-17:** Cables de programación. Fuente: Autores



Para la programación de los equipos se tuvo que adquirir el software de programación (Customer Programming Software) de Hytera específicamente de la versión V9.02.02.001.iM.SA6 ver figura 3-18.

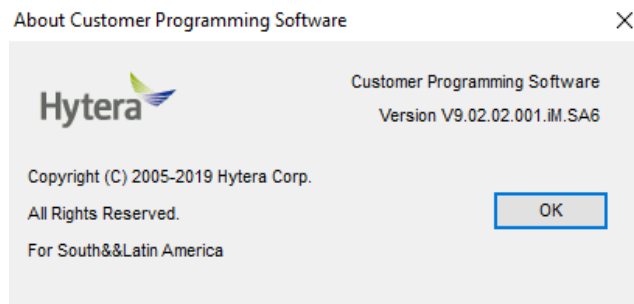
**Figura 3-18:** Software de programación. Fuente: Autores



### 3.4.1 Programación repetidor maestro nodo o cerro Pirgua

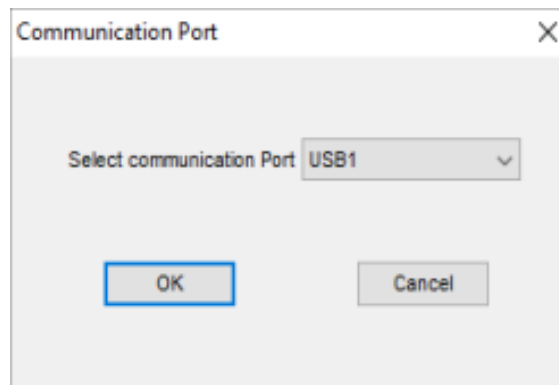
Lo primero que se tiene que hacer es conectar el repetidor maestro Hytera RD986 con su cable de programación al computador mediante el puerto USB. Después se accede al software de programación, para visualizar la interfaz del software ver figura 3.19.

**Figura 3-19:** Interfaz de programación. Fuente: Autores



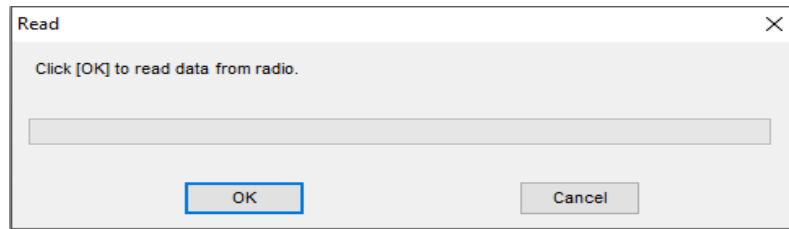
Cuanto el software y el repetidor están bien conectados (con el cable apropiado), se selecciona la opción (READ- leer) inmediato en la interfaz del software aparece la selección de los puertos disponibles ver figura 3-20. Y ahora se da "Enter" en OK.

**Figura 3-20:** Identificación de puertos disponibles. Fuente: Autores



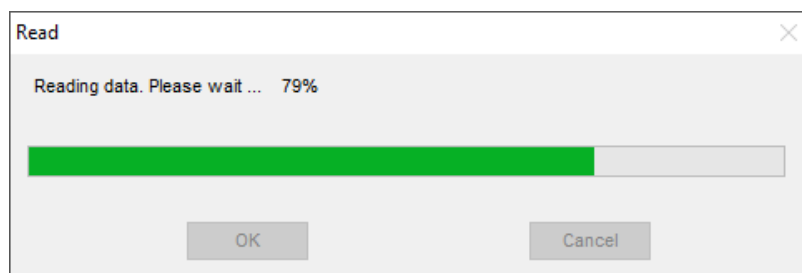
Luego aparecerá la ventana de lectura del dispositivo en este caso del repetidor maestro donde se tendrá que darle en OK para proceder a la lectura del mismo como se puede ver en la figura 3-21.

**Figura 3-21:** Aceptación de lectura del dispositivo. Fuente: Autores.



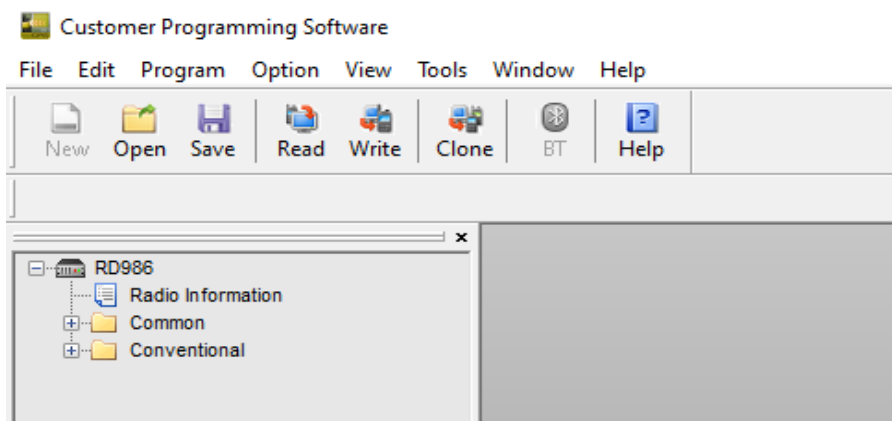
Una vez después de mostrar y llenar la barra de lectura del repetidor ver figura 3-22.

**Figura 3-22:** Extracción de lectura al Software. Fuente: Autores



Cuanto termina la extracción de los datos del repetidor en la interfaz del software aparece la información del repetidor como se aprecia en la figura 3-23.

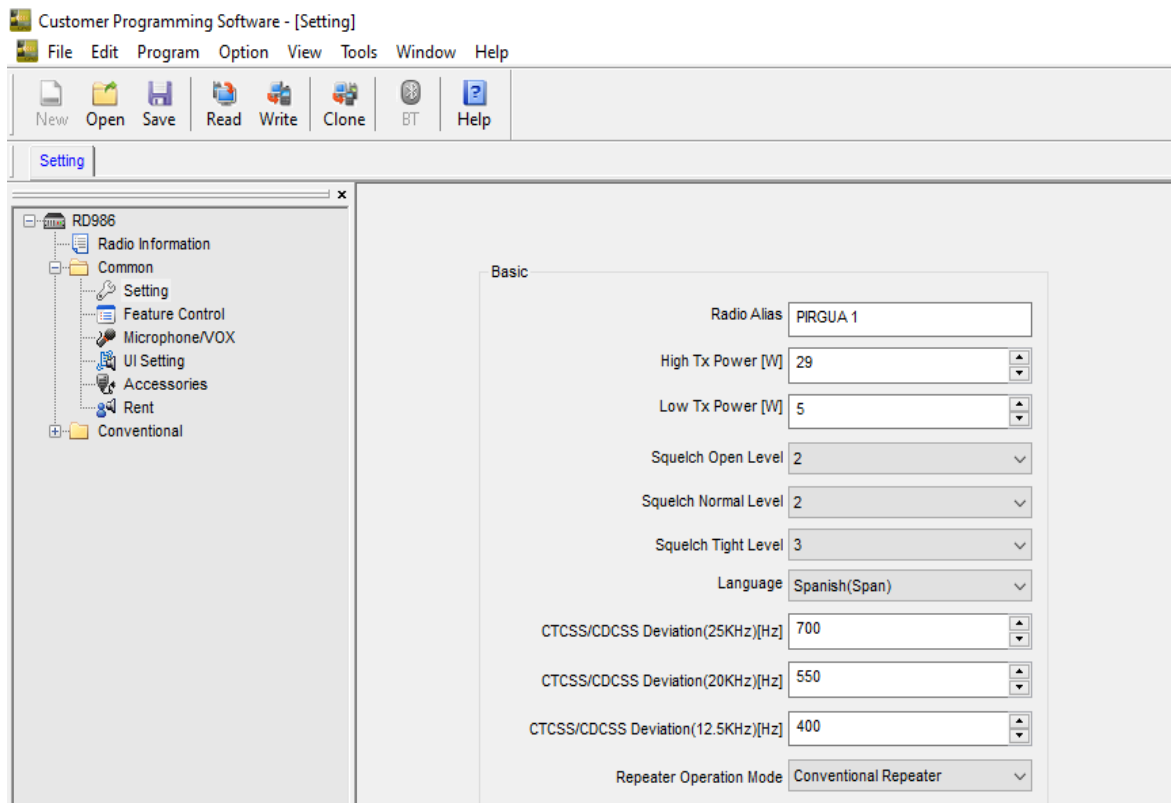
**Figura 3-23:** Información del repetidor Fuente: Autores.





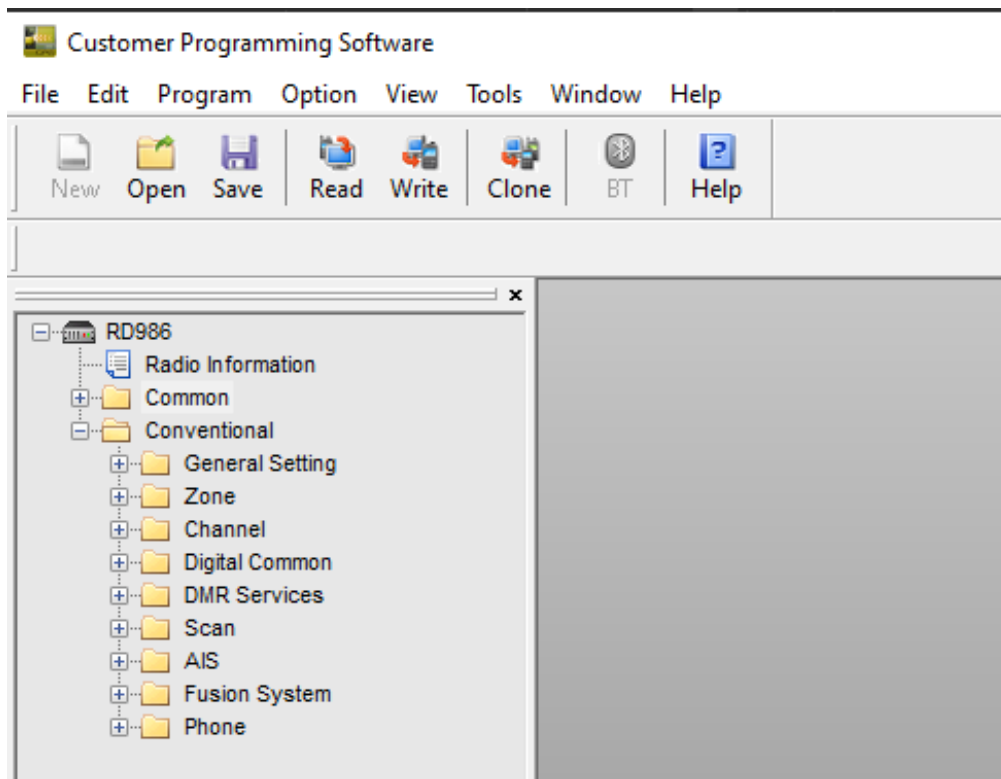
Ya teniendo los datos del repetidor se procede a ampliar la opción que dice “COMMON” para poder ingresar a la configuración donde se podrá apreciar los campos para poder definir la potencia alta y baja al igual que el nombre del dispositivo y se configura con los parámetros técnicos de la ANE en cuanto a potencia y nombramos el repetidor ver figura 3.24.

**Figura 3-24:** Configuración básica potencia y nombre del dispositivo. Fuente: Autores.

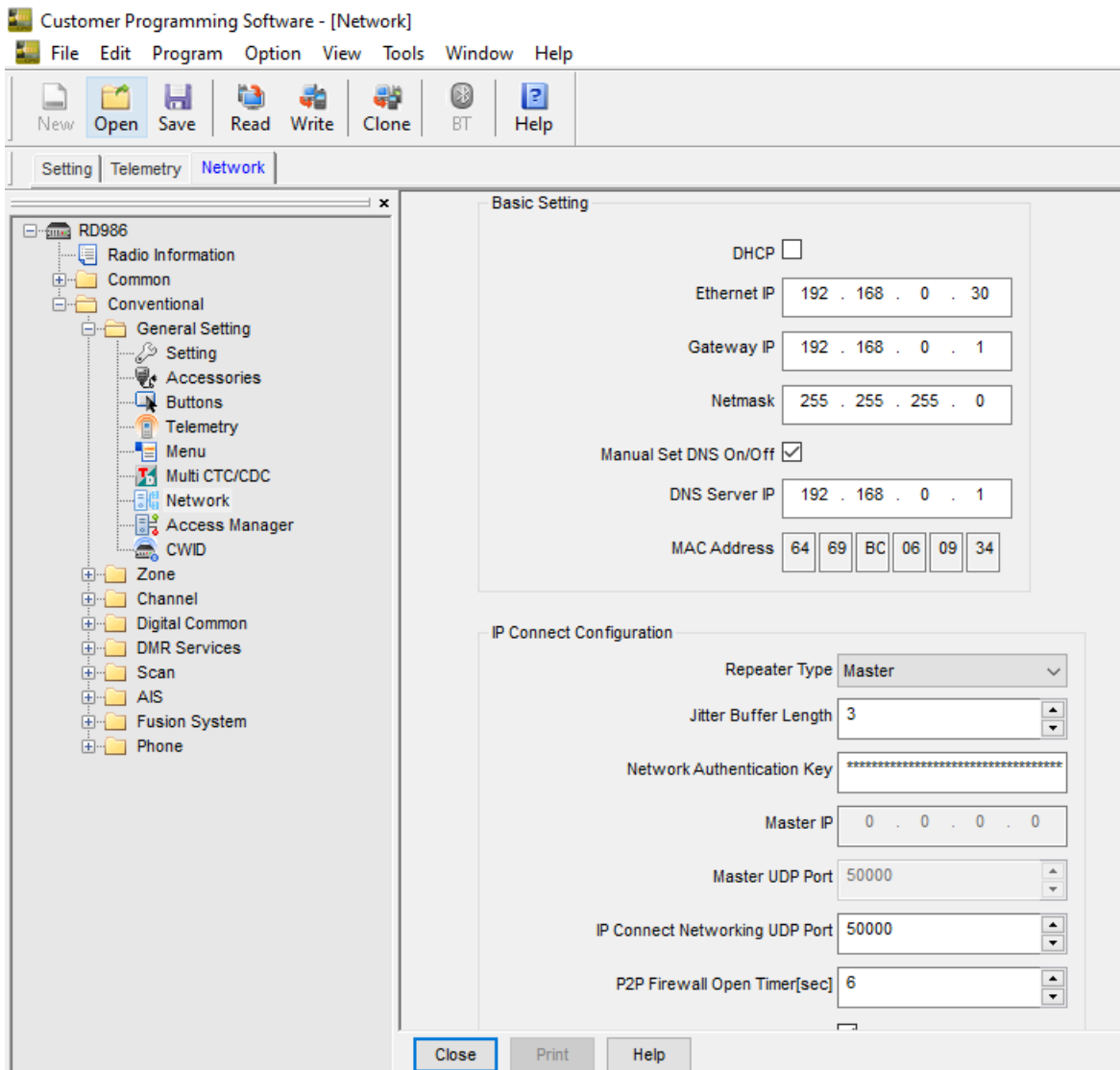


Una vez configurados los parámetros anteriormente mencionados se procede a ampliar el menú que dice “convencional” para poder ingresar a las configuraciones generales, zona, canal, y de más funciones ver figura 3-25.

**Figura 3-25:** Visualización del panel principal. Fuente: Autores.



Lo primero que se hace es asignar una dirección IP al repetidor para poder interconectarlo con los demás repetidores, para ello, se selecciona la opción "General Setting" – Configuraciones generales y luego se elige "Network", es importante solo asignar la dirección IP con su puerta de enlace y máscara de red y seleccionar el tipo de repetidor en este caso MAESTRO (es indispensable dejar los demás parámetros de fábrica para no tener inconvenientes en la transmisión y recepción de los datos o el audio) ver figura 3-26.

**Figura 3-26:** Configuración IP, máscara de red y puerta de enlace. Fuente: Autores.

Ahora se ingresa a la parte de “CHANNEL” y se elige el sub menú digital Channel para poder configurar el repetidor en modo digital, en el cual se ingresara las frecuencias de operación según lo dice el cuadro de características técnicas de la ANE para la asignación de frecuencias de las redes de apoyo de la Policía Nacional, de igual manera se asigna el código de color el cual sirve para la seguridad de la llamada y el SLOT de operación, es importante precisar que estos repetidores tienen el privilegio de tener dos comunicaciones el mismo tiempo utilizando las mismas frecuencias, para ello es la utilización del SLOT, también se selecciona el nivel de potencia, en este caso POWER LEVEL HIGH ver Figura 3-27. De esta manera se finaliza la configuración del repetidor

maestro, de esta misma forma se configuraron los demás repetidores con la diferencia que los demás son repetidores esclavos, para mayor información ver en el anexo B, manual de programación como apoyo para la METUN, allí se encuentran las configuraciones de un repetidor esclavo y un radio usuario.

**Figura 3-27:** Configuración digital. Fuente: Autores.

Channel Alias: PIRGUA 1 (The actual display may change, See the Help for details)

Color Code: 13

Slot Operation: Slot 1

Digital IP Multi-site Connect: Slot 1

**Rx**

Receive Frequency [MHz]: 148.812500

Offset [MHz]: 0.000000

Copy

**Tx**

Transmit Frequency [MHz]: 143.800000

Tx Contact Name: None

Power Level: High

Encrypt

Slot1 Encrypt

## **4. Conclusiones y recomendaciones**

### **4.1 Conclusiones**

Dentro de la verificación de la red actual se identificaron los siguientes equipos con los que contaba la METUN, 3 repetidores de la marca Hytera (RD626), 1 repetidor Hytera (RD986), 4 miniduplexer de la marca Micromagic en la banda de operación de 136-174MHz, 4 baterías Secas en gel libre de mantenimiento de ciclo profundo, 8 radioenlaces (microondas) de la marca Ubiquiti, 120 metros de cable RG8, 24 conectores N machos y N hembras, 4 inversores de onda pura, 4 antenas de 4 dipolos en la banda de VHF, 4 fuentes de alimentación de 110V AC a 13 V DC, todos en perfecto estado. Para los repetidores fue necesaria una actualización de software que facilitara la programación e interconexión entre ellos, ya que se evidenció que unos repetidores tenían unas versiones de software que se encontraban desactualizadas.

La red de comunicaciones diseñada, cuenta con un nodo central ubicado en el cerro Pirgua, tres estaciones repetidoras ubicadas en los cerros Toca, Ventaquemada, Lluvioso y un Centro Automático de Despacho (CAD), ubicado en la zona urbana de Tunja, los cuales dan cobertura a los municipios que conforman la Zona Metropolitana de Tunja, cuya área es de aproximadamente 1770 km<sup>2</sup>. Para cada uno de los enlaces se verificó la línea de vista y se determinó la sensibilidad de las estaciones receptoras, apoyados por herramientas informáticas y de software como Google Earth y Radio Mobile. Cada estación permite la comunicación por voz a través radioteléfonos portátiles y bases.

Para la implementación de la red diseñada, se establecieron frecuencias de operación teniendo en cuenta el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencia (CNABF) establecidos en la última resolución vigente de la Agencia Nacional del Espectro (ANE) No. 00015 del 27 de marzo del 2020, entregando así un sistema confiable y con los

parámetros establecidos por el Ministerio de las Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones (MinTIC). Esto se realizó usando las herramientas de configuración propias de cada equipo, en los cuales se configuraron las frecuencias de operación, nivel máximo de potencia transmitida y ancho de banda del canal.

La puesta en marcha y la verificación del correcto funcionamiento de la red, se realizó, usando las herramientas que incluye el software de configuración de los equipos, tales como el umbral mínimo de ruido y la calidad del enlace, el umbral de ruido obtenido para cada enlace el cual fue alrededor de -107 dBm, por otro lado, para la validación de cobertura y comunicación por Radio Frecuencia se utiliza el software Radio Mobile en su versión online, el cual dio como resultado un área de cobertura de aproximadamente de 3785 km<sup>2</sup> alrededor del cerro Pirgua (maestro), siendo este mayor al área requerida de la METUN, con lo cual se concluye la cobertura total de todos los municipios, en los cuales se obtiene un nivel de recepción de 1,58  $\mu$ v equivalente a -103 dBm.

Para la verificación de la comunicación por voz entre las estaciones de VHF, se utilizaron los radioteléfonos disponibles de los municipios: Tunja, Oicata, Chivata, Toca y Ventaquemada, que son asignados a líderes comunales, población vulnerable y entes de socorro como Bomberos, Defensa Civil y Cruz Roja, mostrando que la cobertura se tiene en el área rural y urbano de estos municipios. En cuanto a los municipios restantes de la zona Metropolitana de Tunja también se hicieron pruebas con los radios portátiles de la METUN, ya que estos municipios no han adquirido sus propios radioteléfonos.

Como soporte técnico para el área Telemática de la METUN, se recopiló un manual técnico de configuración y disposición de cada uno de los equipos tales como repetidores, radio enlaces, radios portátiles y radios bases que conforman la red de apoyo de microondas y radiocomunicación en VHF, de manera que, si se presenta alguna reconfiguración de la red, se cuente con un procedimiento y los datos necesarios para solucionar posibles inconvenientes.

La red de comunicaciones digital diseñada e implementada permite una comunicación integral entre los 15 municipios que conforman la zona metropolitana de Tunja, mejorando la interacción entre la ciudadanía y la Policía, fortaleciendo así los canales de

información en cuanto a la obtención de información oportuna de hechos delictivos o delitos que afecten la seguridad ciudadana.

## **4.2 Recomendaciones**

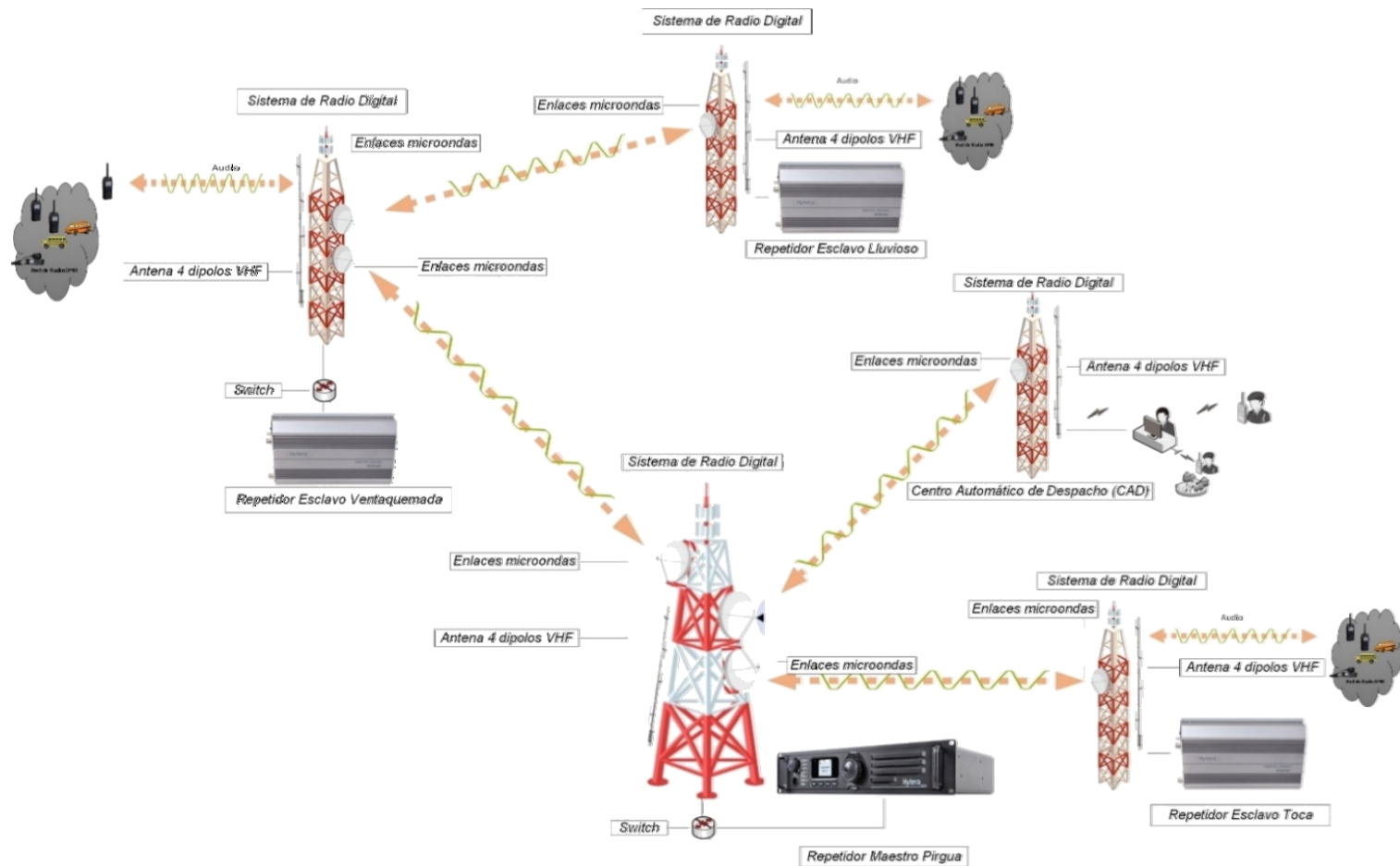
Se recomienda realizar las gestiones pertinentes por parte de la Policía Metropolitana de Tunja METUN, para hacer contacto con los distintos municipios faltantes para ingresar a la Red de Apoyo y así cada municipio pueda adquirir los equipos (radio teléfonos) para tener una mayor área de cobertura con respecto a los usuarios.

Se recomienda para futuros casos de estudio o proyectos de investigación, que se continúe trabajando de la interconexión de más cerros para ampliar la cobertura a nivel departamental, específicamente con la ayuda del internet, ya que si se suministra internet a estos equipos se pueden interconectar sin la necesidad de que se instalen radio enlaces por ende no es necesario que haya línea de vista entre cada cerro, ya que solo teniendo el servicio de internet en cada cerro o estación se pueden intercomunicarlos mediante IP.





# A. Anexo: Diagrama de la topología de la red.





## **B. Anexo: Manual de configuración**



**MANUAL DE PROGRAMACIÓN QUE SIRVE COMO APOYO  
AL SOPORTE TÉCNICO DE LA RED DE APOYO  
COMUNITARIA DE LA ZONA METROPOLITANA DE TUNJA  
PARA EL ÁREA DE TELEMÁTICA DE LA METUN**

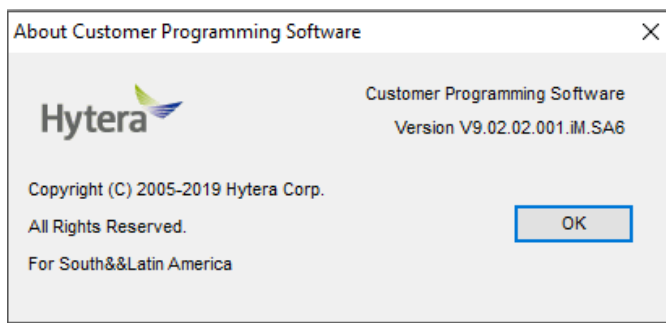
**Cristian David Borda Cruz  
Ricardo Andrés López Rodríguez**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Tunja, Colombia  
2021

## MANUAL DE PROGRAMACIÓN QUE SIRVE COMO APOYO AL SOPORTE TÉCNICO DE LA RED DE APOYO PARA EL ÁREA DE TELEMÁTICA DE LA METUN

### PROGRAMACION DE REPETIDOR MAESTRO (HYTERA RD986)

Para realizar la programación de los repetidores, maestro y esclavos lo primero que debemos hacer es instalar el software (Customer Programming Software) de Hytera específicamente de la versión V9.02.02.001.iM.SA6. Y tener los cables de programación para cada uno de ellos los cuales se pueden apreciar a continuación.

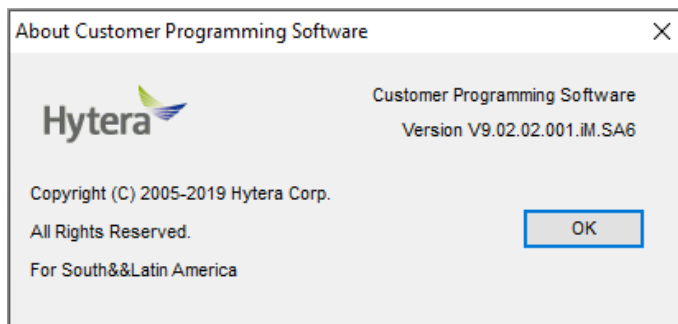


Cada uno de estos cables de programación sirven para programar los repetidores Hytera maestros y esclavos (RPT RD986, RD626 y los radios portátiles PD786.)

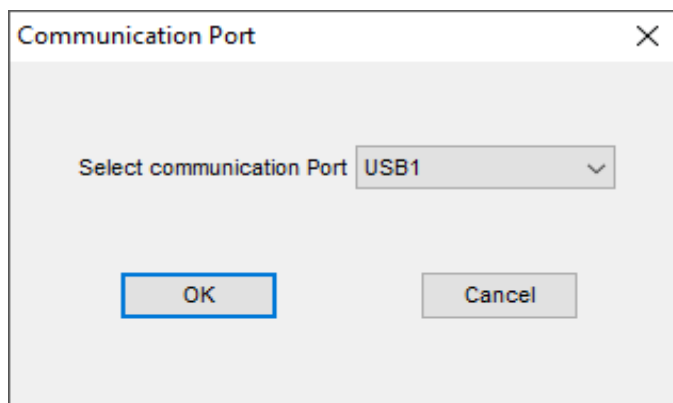


Para poder hacer la programación del repetidor maestro, es necesario seguir los siguientes pasos, como se muestra a continuación.

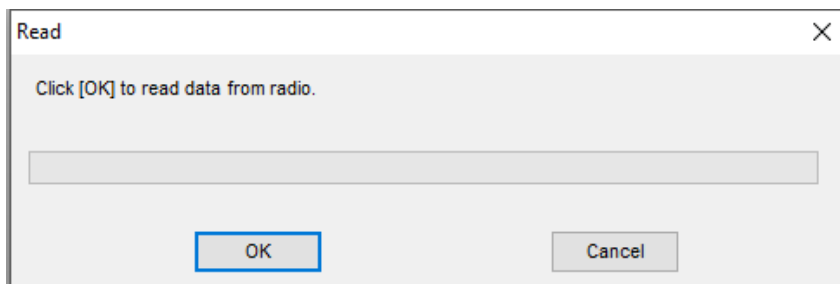
**PASO 1:** Lo primero que se tiene que hacer es conectar el repetidor maestro Hytera RD986 con su cable de programación al computador mediante el puerto USB. Después se accede al software de programación para visualizar la interfaz del software como se aprecia a continuación.



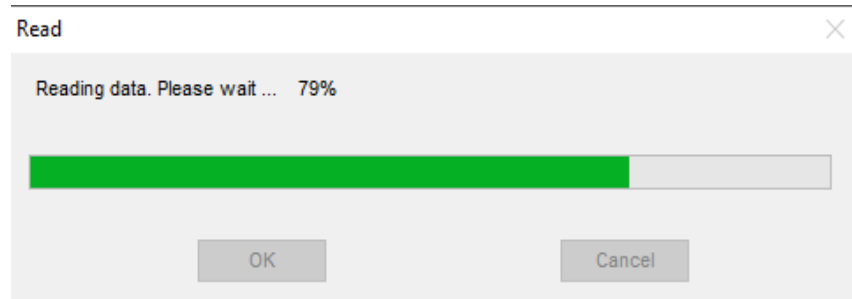
**PASO 2:** Cuando el software y el repetidor están bien conectados (con el cable apropiado se selecciona la opción (READ- leer) de inmediato en el software aparece la selección de los puertos disponibles. Presione "Enter" en OK, como se aprecia a continuación.



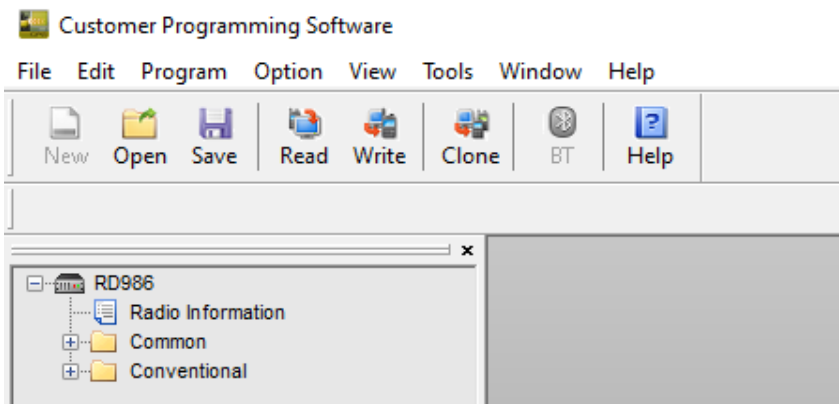
**PASO 3:** Luego aparecerá la ventada de lectura del dispositivo, en este caso del repetidor (maestro) donde se tendrá que presionar "ENTER" en OK para proceder a la lectura del mismo como se puede apreciar a continuación.



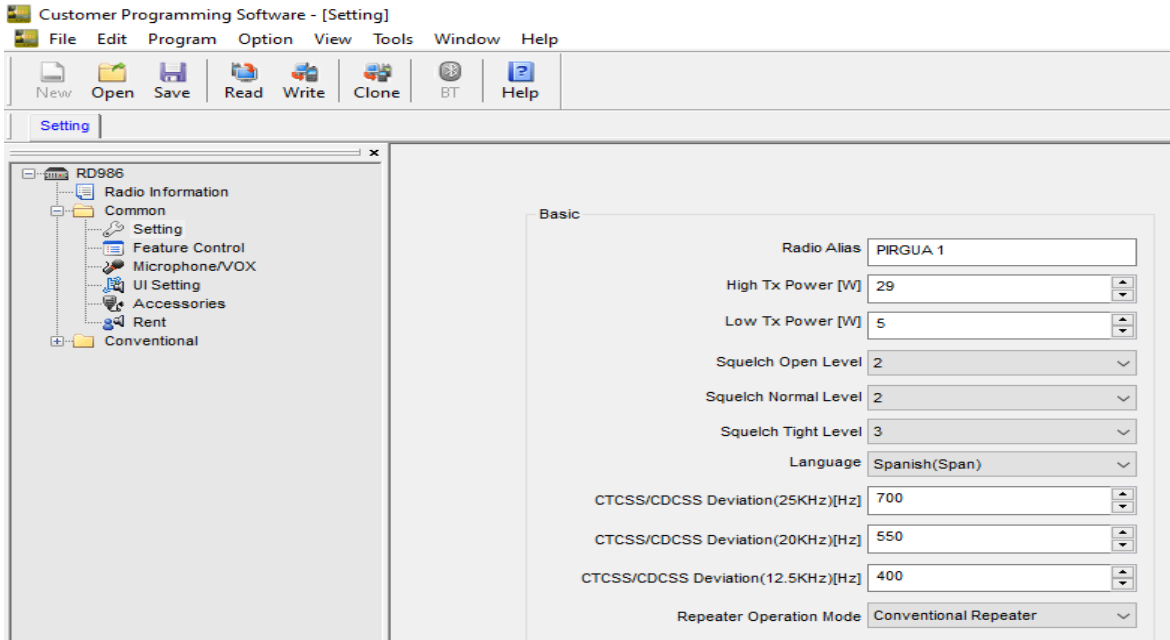
Extracción de datos del repetidor.



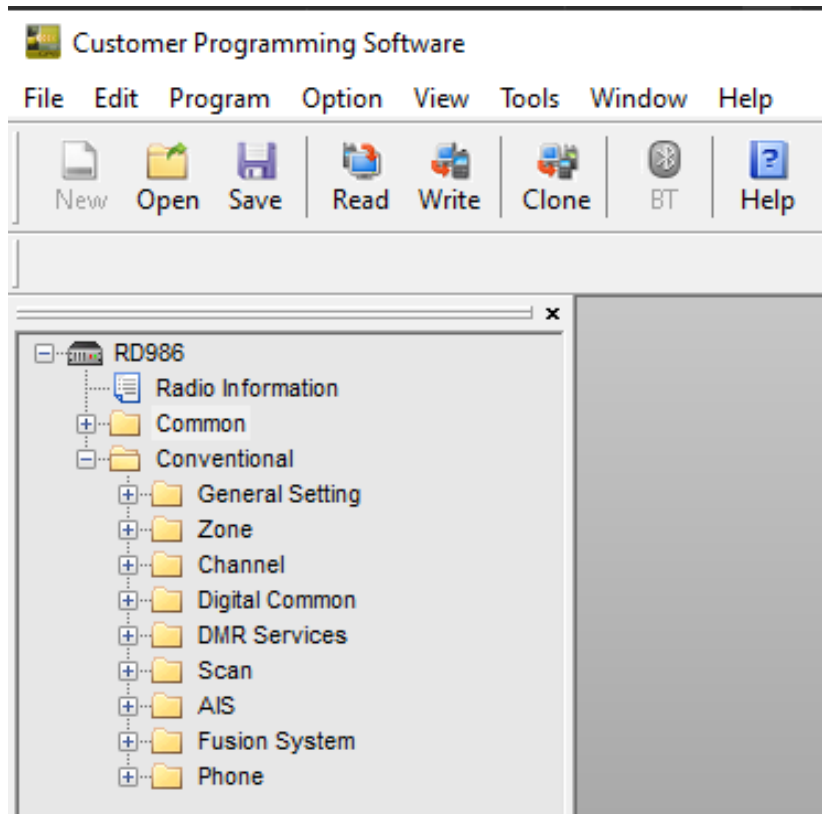
**PASO 4:** Cuando termina la extracción de los datos del repetidor en la interfaz del software aparece la información del repetidor como se aprecia a continuación.



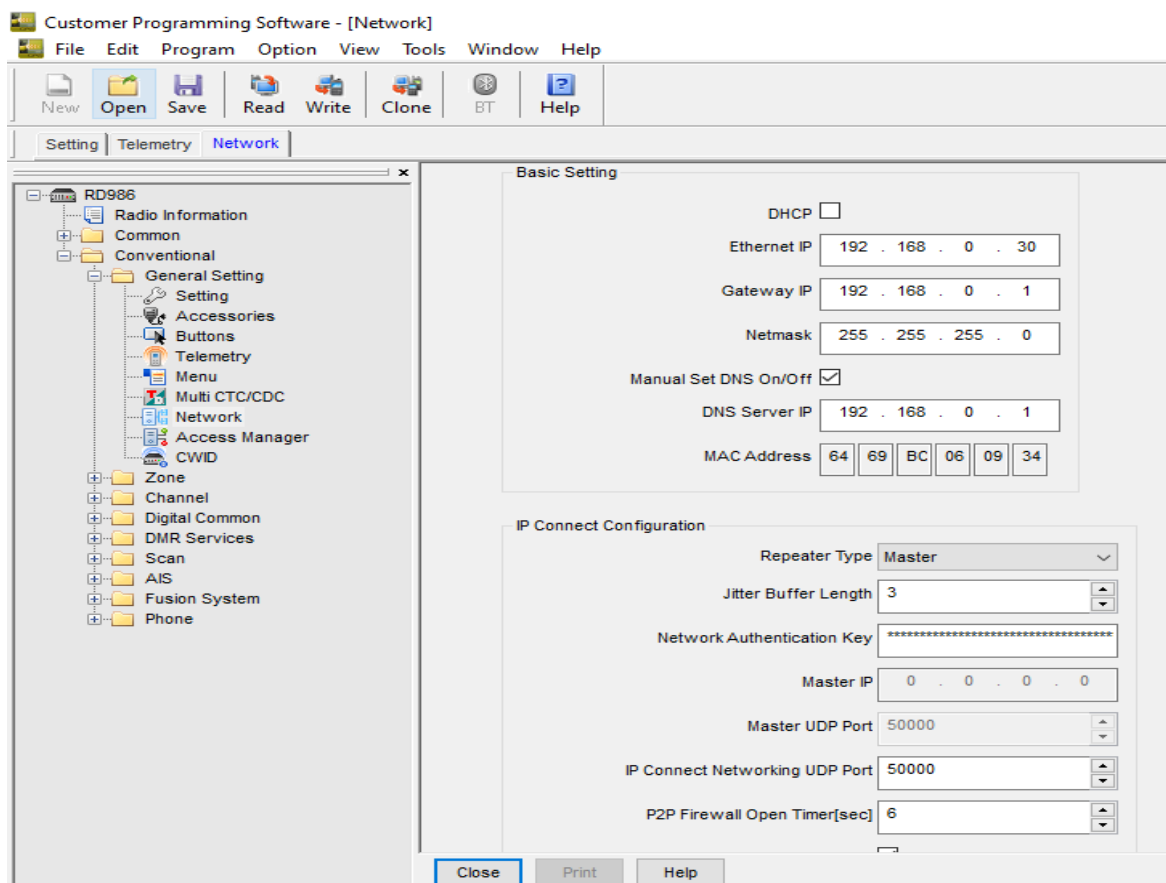
**PASO 5:** Una vez obtenidos los datos del repetidor se procede a ampliar la opción que dice (common) para poder ingresar a la configuración, donde se podrá apreciar los campos para definir la potencia alta y baja, al igual que el nombre del repetidor, los cuales se configuran con los parámetros técnicos de la ANE en cuando a potencia autorizada, como se puede apreciar a continuación.



**PASO 6:** Una vez configurados los parámetros anteriormente mencionados se procede la opción (conventional) para poder ingresar a las configuraciones generales como lo son: zona, canal, y de más funciones que allí aparecen, para mejor apreciación ver la siguiente imagen.



**PASO 7:** Ya teniendo todo el menú desplegado se dirige a la opción (General Setting- Configuraciones Generales), en esta opción se selecciona Network para poder asignar una sola dirección IP con su puerta de enlace y mascara de red y seleccionar el tipo de repetidor (maestro o esclavo) en este caso MAESTRO al repetidor, esto se hace para poder hacer la interconectividad con los demás repetidores, (es indispensable dejar los demás parámetros de fábrica para no tener inconvenientes en la transmisión y recepción de los datos o el audio), como se aprecia a continuación.



**PASO 8:** Después del asignar las direcciones IP se ingresa a la parte de CHANNEL y se elige la opción de Digital Channel para poder configurar para el repetidor en modo digital en el cual se ingresarán las frecuencias de transmisión y recepción autorizadas por la ANE específicamente las autorizadas para las redes de apoyo de la Policía Nacional, de igual manera se asignara el código de color el cual nos sirve para la seguridad de la llamada y el SLOT de operación, es



importante precisar que estos repetidores tienen el privilegio de tener dos comunicaciones el mismo tiempo utilizando las mismas frecuencias, para ello es la utilización del SLOT, también se seleccionara el nivel de potencia, en este caso POWER LEVEL HIGH. De esta manera se finaliza la configuración del repetidor maestro. Todo este procedimiento o asignación anteriormente mencionado se puede apreciar a continuación.

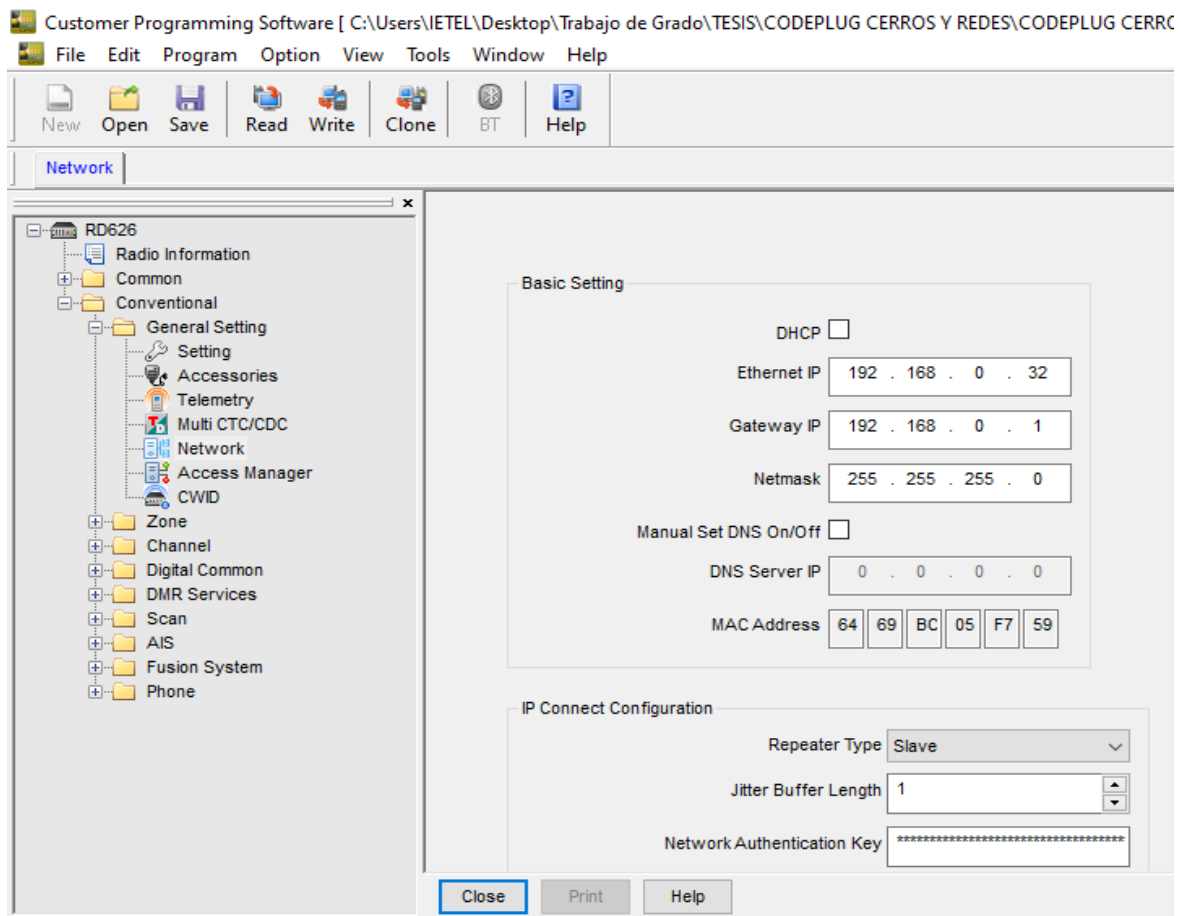
Asignación de frecuencias en Tx y Rx.

The screenshot displays a configuration interface for a radio system. At the top, the 'Channel Alias' is set to 'PIRGUA 1' with a note '(The actual display may change, See the Help for details)'. Below this, the 'Color Code' is set to '13'. The 'Slot Operation' and 'Digital IP Multi-site Connect' are both set to 'Slot 1'. The interface is divided into three main sections: 'Rx', 'Offset [MHz]', and 'Tx'. The 'Rx' section shows a 'Receive Frequency [MHz]' of 148.812500. The 'Offset [MHz]' is set to 0.000000. The 'Tx' section shows a 'Transmit Frequency [MHz]' of 143.800000. Below the 'Tx' section, the 'Tx Contact Name' is set to 'None' and the 'Power Level' is set to 'High'. There is also an 'Encrypt' section with a 'Slot1 Encrypt' checkbox that is currently unchecked. A 'Copy' button is located between the 'Offset' and 'Tx' sections.

| Section | Field                         | Value                    |
|---------|-------------------------------|--------------------------|
| Channel | Channel Alias                 | PIRGUA 1                 |
| Channel | Color Code                    | 13                       |
| Slot    | Slot Operation                | Slot 1                   |
| Slot    | Digital IP Multi-site Connect | Slot 1                   |
| Rx      | Receive Frequency [MHz]       | 148.812500               |
| Offset  | Offset [MHz]                  | 0.000000                 |
| Tx      | Transmit Frequency [MHz]      | 143.800000               |
| Tx      | Tx Contact Name               | None                     |
| Tx      | Power Level                   | High                     |
| Encrypt | Slot1 Encrypt                 | <input type="checkbox"/> |

## PROGRAMACION DE REPETIDOR ESCLAVO (HYTERA RD626)

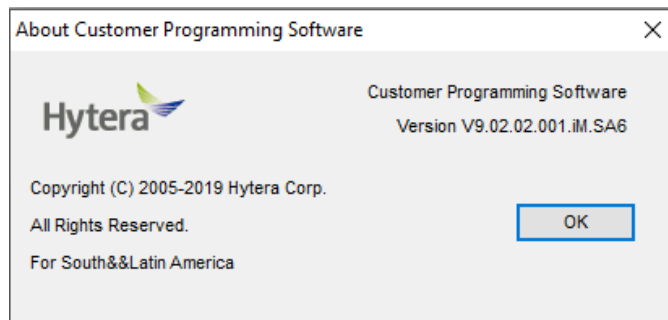
Como anteriormente se mencionó el procedimiento para la programación de los repetidores esclavos es completamente el mismo, solo que hay que asignar un direccionamiento IP distinto para la interconexión de los repetidores y el tipo de repetidor se colocara como esclavo, como se puede ver a continuación.



## PROGRAMACION DE RADIOS PORTATILES Y BASES (HYTERA PD786G, PD506, BD506, MD786)

Para poder hacer la programación de los radios portátiles, móviles y radios bases, es necesario seguir los siguientes pasos, como se muestra a continuación.

**PASO 1:** lo primero que debemos hacer es instalar el software (Customer Programming Software) de Hytera específicamente de la versión V9.02.02.001.iM.SA6, que es el mismo de los repetidores. Y tener los cables de programación para cada uno de ellos los cuales se pueden apreciar a continuación.



Cada uno de estos cables de programación sirven para programar los radios portátiles PD786, BD506, BD506, MD786)



Lo primero que se tiene que hacer es conectar el radio Hytera con su cable de programación al computador mediante el puerto USB.

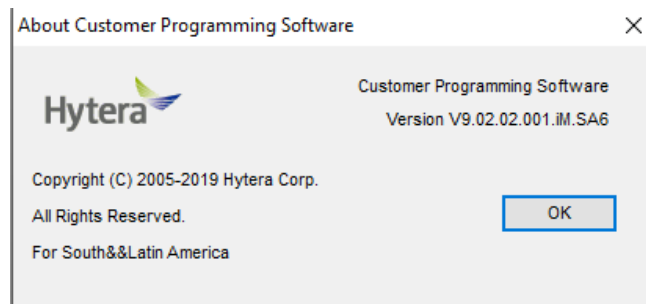
Radio Base Hytera MD786 (radio base que se encuentra en el CAD)



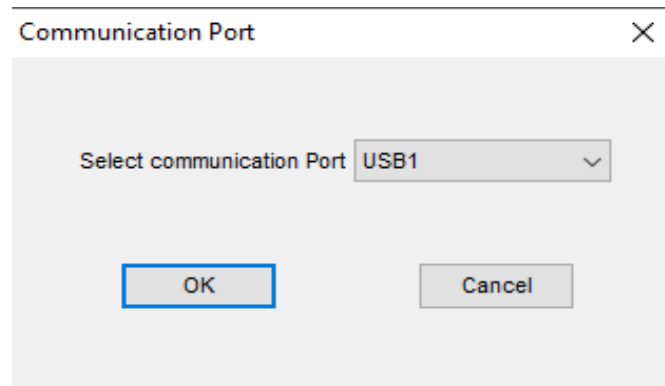
Radio Portátil Hytera PD786 (radio portátil que tiene la Policía)



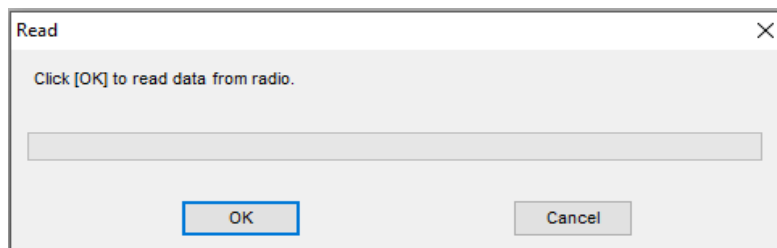
**PASO 2:** Después se accede al software de programación para visualizar la interfaz del software como se aprecia a continuación.



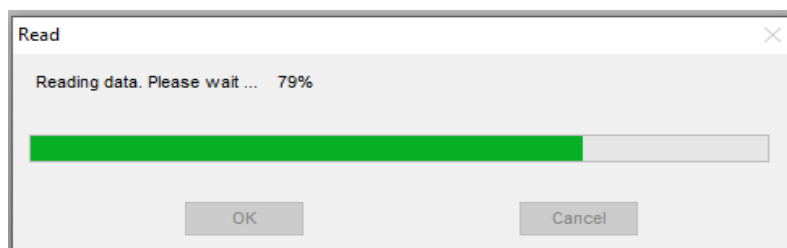
**PASO 3:** Cuando el software y el radio están bien conectados (con el cable de programación apropiado) se selecciona la opción (READ- leer) de inmediato en el software aparece la selección de los puertos disponibles. Y se presiona “Enter” en OK, como se aprecia a continuación.



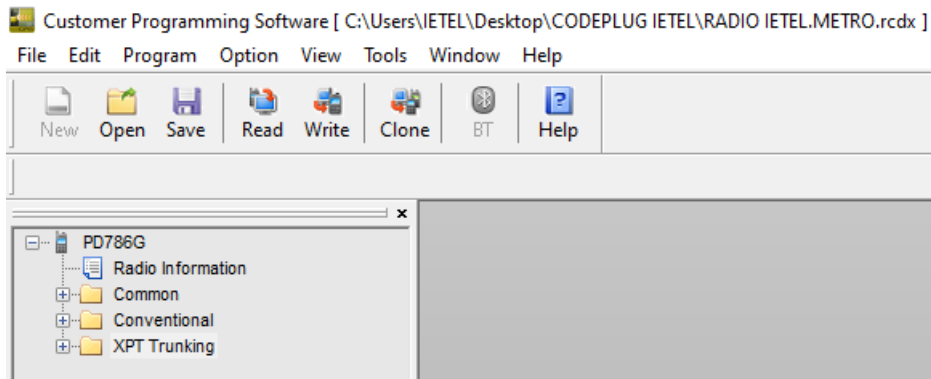
**PASO 4:** Luego aparecerá la ventana de lectura del dispositivo del radio donde se tendrá que presionar “ENTER” en OK para proceder a la lectura del mismo como se puede apreciar a continuación.



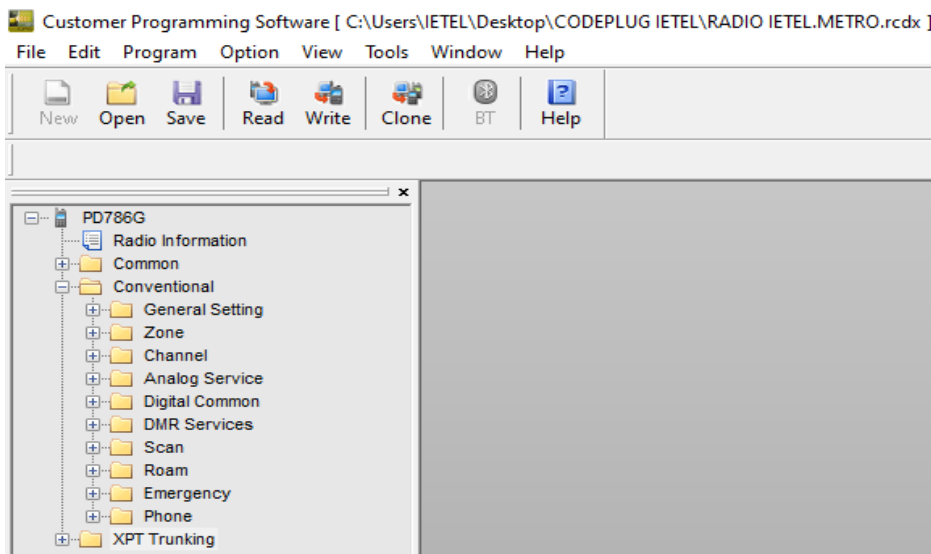
Extracción de datos del repetidor.



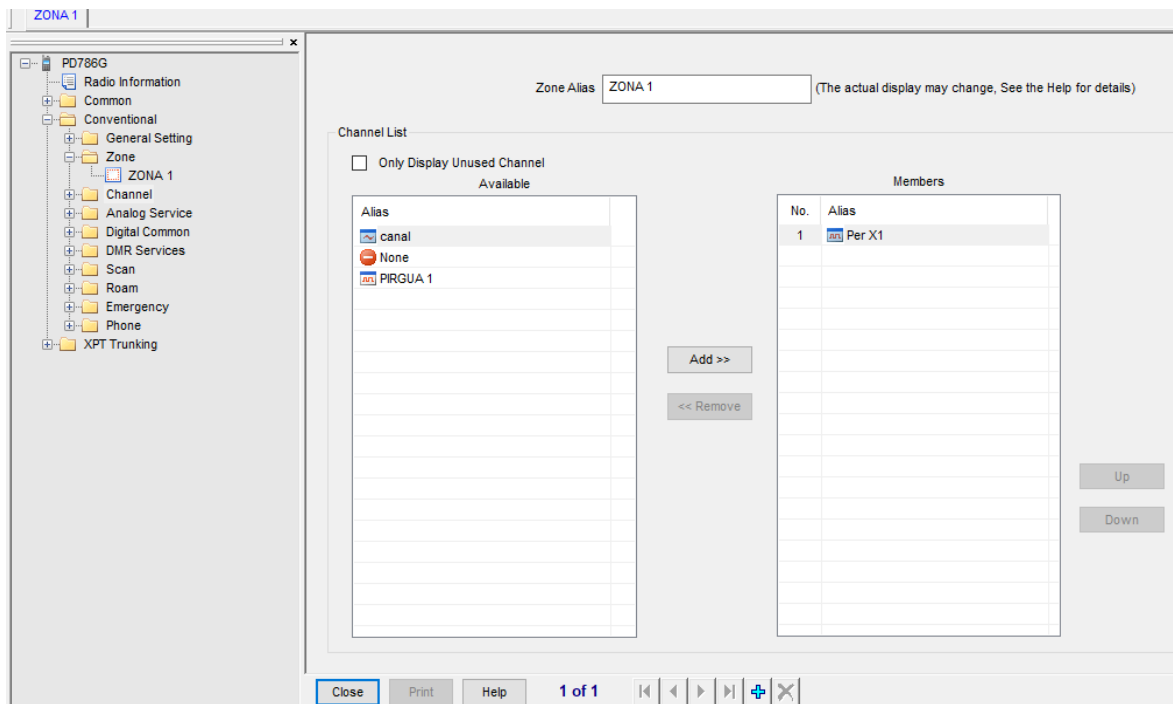
**PASO 5:** Cuando termina la extracción de los datos del radio en la interfaz del software aparece la información del radio como se aprecia a continuación.



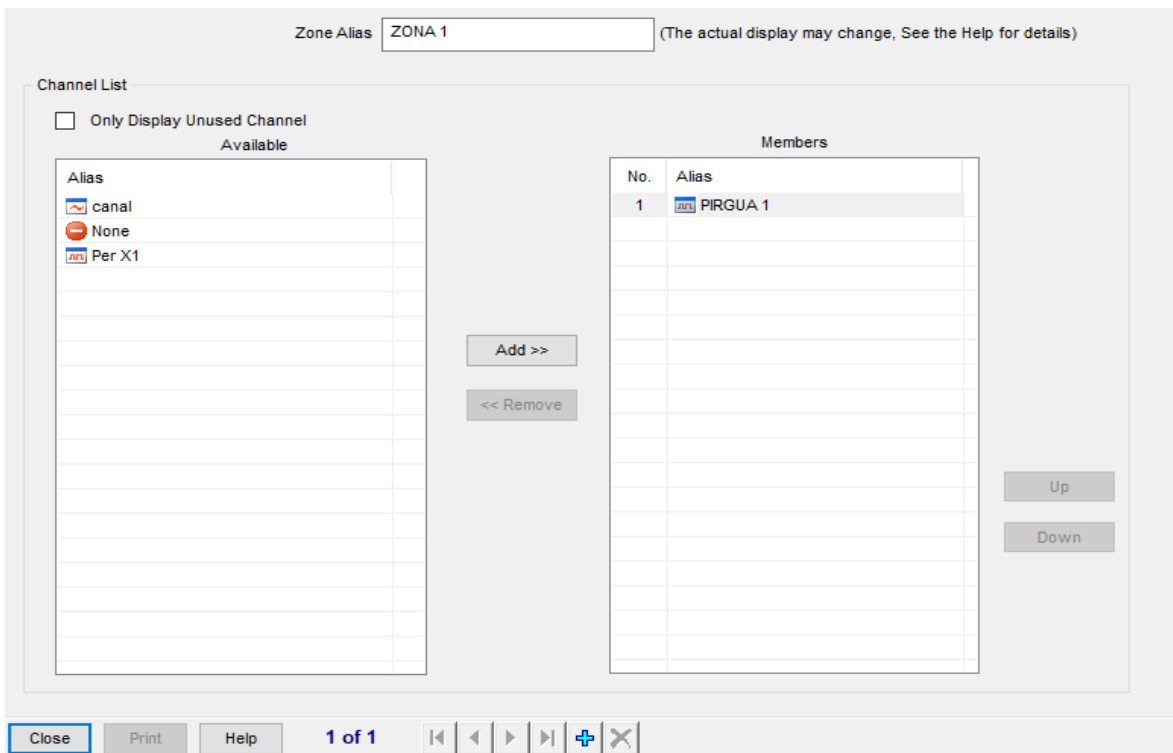
**PASO 6:** Ahora se procede la opción (conventional) para poder ingresar a las configuraciones generales como lo son: zona, canal, DMR service, y de más funciones que allí aparecen, para mejor apreciación ver la siguiente imagen.



**PASO 7:** Ahora se selecciona la opción de zone para, ingresar una nueva zona donde se cargan los canales programados en modo digital y analógico como se puede ver a continuación.



**PASO 8:** Como se observó en la imagen anterior la zona creada trae por defecto un canal en digital, es allí donde tenemos que seleccionar en la columna (Available) el canal de PIRGUA 1 y darle en la opción Add para adicionarlo en la zona de los miembros de la misma y borrar el canal que trae por defecto el radio, como se puede apreciar a continuación.



**PASO 9:** Ahora se selecciona la opción de CHANNEL e ingresamos a la opción de Digital Channel para allí configurar el canal digital y asignar las frecuencias de operación, código de color, slot de operación, nombre de contacto, nivel de potencia, como se puede apreciar a continuación. Es importante precisar que se asigna el código de color 7 para tener una mayor seguridad en la llamada, las frecuencias a configurar en el radio tienen que ser las inversas que se configuraron en el repetidor, para una mayor apreciación de esto es que las frecuencias de Tx y Rx del repetidor se colocarían a lo contrario en la radio, las frecuencias de Tx del repetidor serían las de Recepción del radio y las de Rx del repetidor serían las de transmisión del radio.

En la siguiente imagen se aprecia este proceso.

Channel Alias: PIRGUA 1 (The actual display may change, See the Help for details)

Color Code: 7

Slot Operation: Slot 1

Pseudo Trunk Designated TX: None

Scan List/Roam List: None

Auto Start Scan:

Quick GPS:

Talk Around:

Rx Only:

IP Multi-site Connect:

Auto Start Roam:

VOX:

Option Board:

Priority Interrupt Encode:

Priority Interrupt Decode:

Reliable Priority Interrupt Transmit:

Enhanced Channel Access:

Over the Air Encrypt Type: None

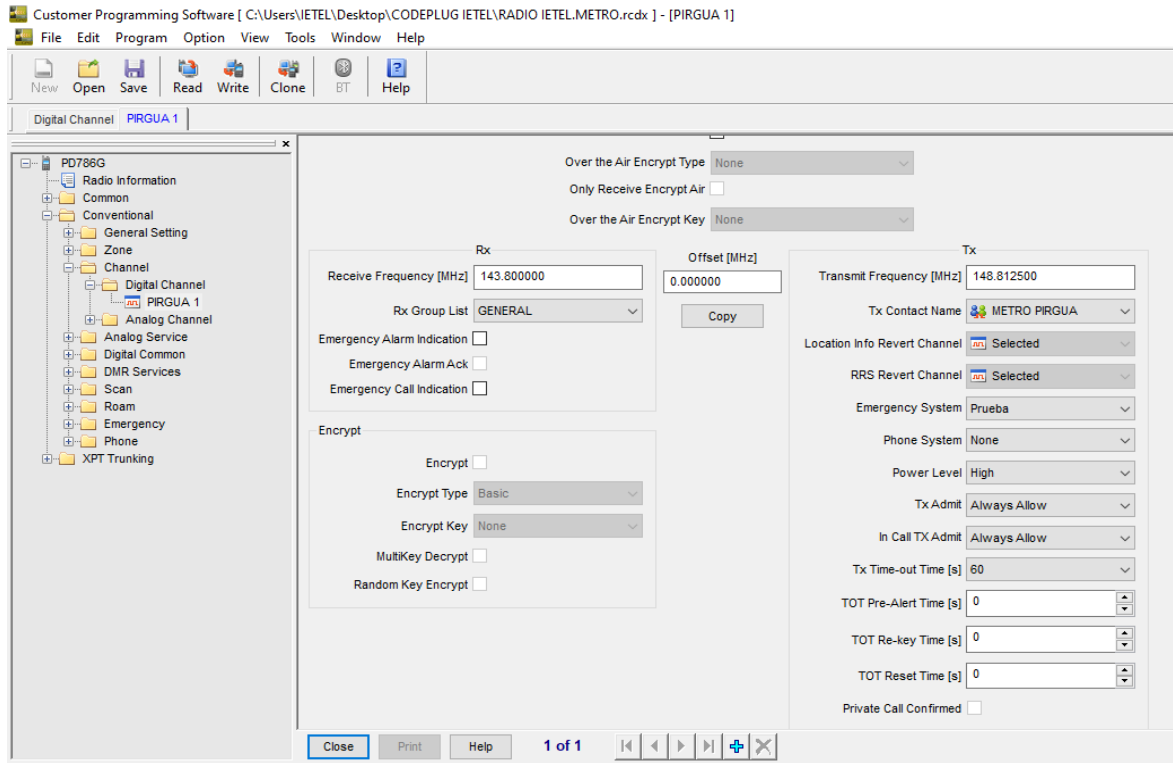
Only Receive Encrypt Air:

Over the Air Encrypt Key: None

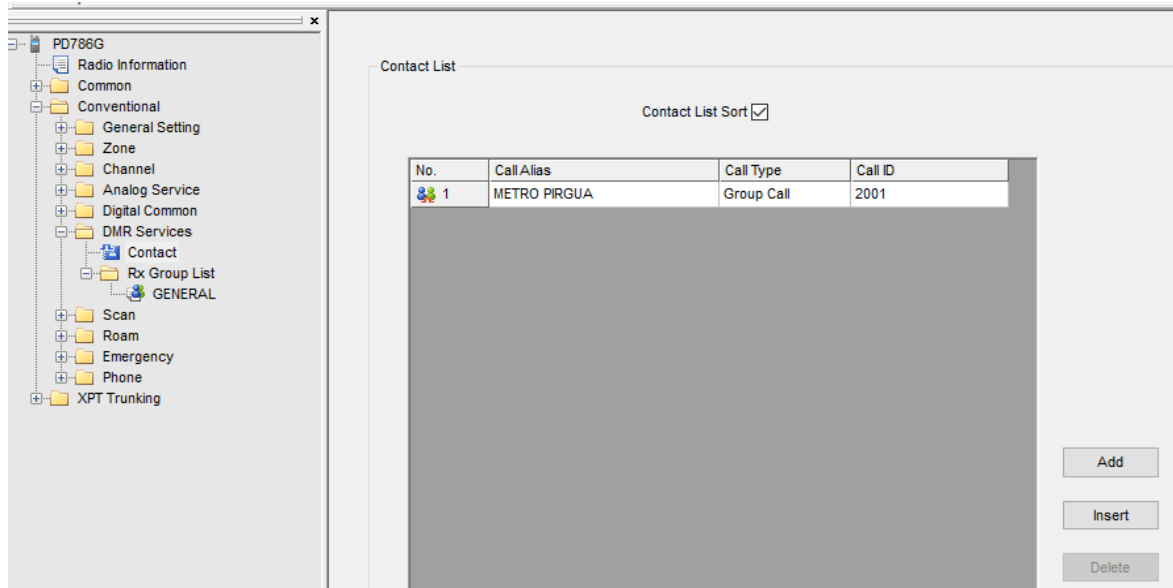
Close Print Help 1 of 1

Asignación de frecuencias, lista de recepción, nombre de contacto y potencia.

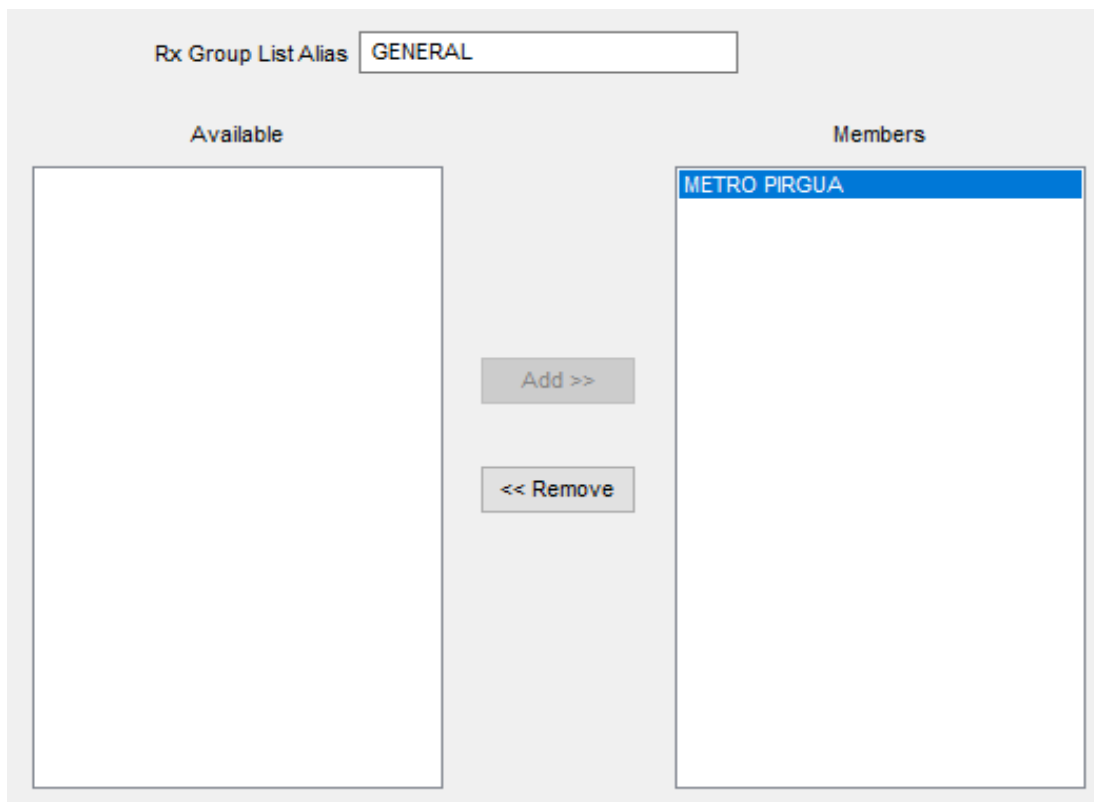




**PASO 10:** Luego de asignar las frecuencias de transmisión y recepción y el nivel de potencia del radio procedemos a ingresar en la opción de DMR Services, para allí crear el grupo de lista de recepción y de contacto, a continuación, se podrá apreciar que se creó un tipo de llamada grupal con un ID de llamada (identificación de llamada 2001) y se nombra como METRO PIRGUA.



**PASO 11:** Ahora se selecciona la opción de Rx Group List. Para poder visualizar el listado de recepción, allí encontraremos dos columnas al igual que en la selección de zonas donde tendremos que pasar METRO PIRGUA que se encuentra en la columna de Available para la columna de Members, este procedimiento se realiza seleccionando METRO PIRGUA y le damos en Add con lo cual pasara a la columna de la derecha (Members). Como se puede apreciar en la siguiente imagen.



**PASO 12:** De esta manera termina la configuración del radio portátil, es de precisar que igualmente se deben de programar los distintos radios que conforman la red.

**C. Anexo: Resolución No. 00015 de  
23/03/2020 - Agencia Nacional del  
Espectro**

“Por medio de la cual se actualiza el Cuadro Nacional de  
Atribuciones de Bandas de Frecuencia”



REPUBLICA DE COLOMBIA



**RESOLUCIÓN N° 000105 DE 27/03/2020**

*"Por medio de la cual se actualiza el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias"*

**EL DIRECTOR GENERAL DE LA AGENCIA NACIONAL DEL ESPECTRO**

En ejercicio de las facultades establecidas en el artículo 36 de la Ley 1978 de 2019, artículo 26 de la Ley 1341 de 2009 y en el artículo 3 del Decreto Ley 4169 de 2011.

**CONSIDERANDO**

Que el artículo 75 de la Constitución Política establece que el espectro electromagnético es un bien público inenajenable (sic) e imprescriptible sujeto a la gestión y control del Estado, y garantiza la igualdad de oportunidades en el acceso a su uso en los términos que fije la ley. Igualmente, dispone que, para garantizar el pluralismo informativo y la competencia, el Estado intervendrá por mandato de la ley para evitar las prácticas monopolísticas en el uso del espectro electromagnético.

Que los artículos 101 y 102 de la Constitución Política establecen que el espectro electromagnético es un bien público que forma parte de Colombia y pertenece a la Nación.

Que la Ley 252 de 1995 adoptó la Constitución y el Convenio de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, en adelante UIT, suscrito en Ginebra en 1992.

Que, de conformidad con el numeral 3 del artículo 2 de la Ley 1341 de 2009, es deber del Estado fomentar el despliegue y el uso eficiente de la infraestructura para la provisión de redes de telecomunicaciones y los servicios que sobre ellas se puedan prestar y promover el óptimo aprovechamiento de los recursos escasos, con el ánimo de generar competencia, calidad y eficiencia en beneficio de los usuarios.

Que el numeral 6 del artículo 2 de la Ley 1341 de 2009 señala que el Estado garantizará la libre adopción de tecnologías, teniendo en cuenta recomendaciones, conceptos y normativas de los organismos internacionales competentes e idóneos en la materia, que permitan fomentar la eficiente prestación de servicios, contenidos y aplicaciones que usen Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y garantizar la libre y leal competencia, y que su adopción sea armónica con el desarrollo ambiental sostenible.

Que el numeral 7 del artículo 4 de la Ley 1341 de 2009, modificado por el artículo 4 de la Ley 1978 de 2019, establece que uno de los fines de la intervención del Estado en el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones es garantizar el uso adecuado y eficiente del espectro

RESOLUCIÓN N° 000105

DEL 27/03/2020

HOJA N° 7

*Por medio de la cual se actualiza el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias*

**Parágrafo.** Los equipos portátiles de recinto cerrado operarán con un límite de potencia radiada aparente (PRA) de 2 W.

**Artículo 1.2.7.** Los Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones autorizados para usar los canales radioeléctricos de los planes de banda establecidos en el presente capítulo deben operar única y exclusivamente conforme a las características técnicas y áreas de servicio autorizadas por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

**Artículo 1.2.8.** El uso de los canales radioeléctricos de los planes de banda establecidos en el presente capítulo requiere permiso previo y expreso, otorgado por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

**Artículo 1.2.9.** Los Proveedores de Redes y Servicios de Telecomunicaciones autorizados para operar en los canales radioeléctricos de los planes de banda establecidos en el presente capítulo se obligan al pago de contraprestación definida por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en su normatividad vigente.

**Resolución 2472 de 1991- Resolución 407 de 1995- Resolución 5273 de 1997- Resolución 1966 de 2002 MINTIC Resolución 441 de 2016 ANE (Derogadas)**

### CAPÍTULO 3

#### SISTEMA NACIONAL DE RADIOCOMUNICACIÓN DE EMERGENCIA CIUDADANA<sup>5</sup>.

**Artículo 1.3.1.** Se establecen las siguientes frecuencias radioeléctricas para ser utilizadas de manera compartida y coordinada por el Sistema Nacional de Radiocomunicación de Emergencia Ciudadana, con fines de seguridad de la vida humana, la seguridad del Estado o razones de interés humanitario, sin fines políticos, religiosos, privados, comerciales o de lucro, conforme lo determina el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones:

| FRECUENCIAS PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA NACIONAL DE RADIOCOMUNICACIÓN DE EMERGENCIA CIUDADANA |                  |                       |                |
|---|------------------|-----------------------|----------------|
| CANAL   | FRECUENCIA (MHz) | MODO DE OPERACIÓN     | ANCHO DE BANDA |
| 1   | 138,9125         | Tx Radio/Rx Repetidor | 12,5 kHz       |
| 2   | 143,9125         | Rx Radio/Tx Repetidor | 12,5 kHz       |
| 3   | 140,0125         | Simplex Radio a Radio | 12,5 kHz       |
| 1   | 143,8            | Tx Radio/Rx Repetidor | 12,5 kHz       |
| 2   | 148,8125         | Rx Radio/Tx Repetidor | 12,5 kHz       |
| 3   | 142,95           | Simplex Radio a Radio | 12,5 kHz       |
| 1   | 154,1125         | Tx Radio/Rx Repetidor | 12,5 kHz       |

<sup>5</sup> De acuerdo con la definición establecida por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones para el Sistema Nacional de Radiocomunicación de Emergencia Ciudadana y afines.

RESOLUCIÓN N° 000105

DEL 27/03/2020

HOJA N° 8

*Por medio de la cual se actualiza el Cuadro Nacional de Atribución de Bandas de Frecuencias*

| <b>FRECUENCIAS PARA LA OPERACIÓN DEL SISTEMA NACIONAL DE RADIOCOMUNICACIÓN DE EMERGENCIA CIUDADANA</b> |                         |                          |                       |
|--|-------------------------|--------------------------|-----------------------|
| <b>CANAL</b>   | <b>FRECUENCIA (MHz)</b> | <b>MODO DE OPERACIÓN</b> | <b>ANCHO DE BANDA</b> |
| 2  | 164,0125                | Rx Radio/Tx Repetidor    | 12,5 kHz              |
| 3  | 160,2625                | Simplex Radio a Radio    | 12,5 kHz              |
| 1  | 441,55                  | Tx Radio/Rx Repetidor    | 12,5 kHz              |
| 2  | 446,25                  | Rx Radio/Tx Repetidor    | 12,5 kHz              |
| 3  | 441,8                   | Simplex Radio a Radio    | 12,5 kHz              |
| 1  | 453,0375                | Tx Radio/Rx Repetidor    | 12,5 kHz              |
| 2  | 457,0375                | Rx Radio/Tx Repetidor    | 12,5 kHz              |
| 3  | 455,7125                | Simplex Radio a Radio    | 12,5 kHz              |
| 1  | 460,775                 | Tx Radio/Rx Repetidor    | 12,5 kHz              |
| 2  | 465,775                 | Rx Radio/Tx Repetidor    | 12,5 kHz              |
| 3  | 467,925                 | Simplex Radio a Radio    | 12,5 kHz              |

**Parágrafo 1.** La modalidad de explotación de los canales de frecuencia 1 y 2 de la Tabla de frecuencias establecida en el presente capítulo deberá ser realizada en modo semidúplex, utilizando ambas frecuencias para la transmisión y recepción de la señal.

**Parágrafo 2.** La modalidad de explotación de los canales de frecuencia 3 de la Tabla de frecuencias establecida en el presente capítulo deberá ser realizada en modo simplex, utilizando la misma frecuencia para la transmisión y recepción de la señal. Dicho modo permite la operación radio a radio entre los pertenecientes al Sistema Nacional de Radiocomunicación de Emergencia Ciudadana.

**Parágrafo 3.** Se destinan las frecuencias 142,95 MHz, 143,8 MHz, 148,8125 MHz, 460,775 MHz, 465,775 MHz y 467,925 MHz para la operación exclusiva de la Policía Nacional y su red de apoyo en coordinación con los usuarios del Sistema Nacional de Radiocomunicación de Emergencia Ciudadana.

**Parágrafo 4.** Las estaciones radioeléctricas, radios o equipos de radiocomunicación podrán ser fijos, móviles, transportables o portátiles, y deberán operar dentro de los parámetros radioeléctricos autorizados por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

**Parágrafo 5.** La potencia de transmisión de los radios o equipos de radiocomunicación fijos, móviles o portátiles no deberá exceder de los 25 vatios nominales. Los equipos y las antenas deben ajustarse en potencia y ganancia respectivamente, para que se permita el cubrimiento del municipio correspondiente y la coordinación de frecuencias con los municipios adyacentes.

**Parágrafo 6.** Se destinan las frecuencias radioeléctricas 157,8375 MHz y 164,2375 MHz con ancho de banda de 12,5 kHz para ser utilizadas por los operadores del Sistema Nacional de Radiocomunicación de Emergencia Ciudadana como frecuencias de enlace punto a punto, para

## D. Anexo: Certificación Policía Metropolitana de Tunja - METUN



MINISTERIO DE DEFENSA NACIONAL  
POLICIA NACIONAL  
POLICIA METROPOLITANA DE TUNJA

No. S-2021- 028 123 - OFITE-GRUME 29.25

Tunja, 14 de mayo de 2021

Señores:  
**COMITÉ TRABAJOS DE GRADO.**  
Facultad Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica – FIMEB  
Universidad Antonio Nariño Sede Tunja.

Asunto: **CERTIFICACIÓN.**

Por medio de la presente, se permite **CERTIFICAR** ante el Comité de trabajos Grado de la Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica – FIMEB, de la Universidad Antonio Nariño, que Cristian David Borda Cruz con código estudiantil 20441616509 y cédula de ciudadanía 1.049.642.385 de Tunja, Boyacá y Ricardo Andrés López Rodríguez con código estudiantil 20441720058 y cédula de ciudadanía 1.051.475.844 de Aquitania, Boyacá, cumplieron satisfactoriamente con los objetivos propuestos en el proyecto "Diseño e implementación de una red de microondas y radiocomunicación en VHF como fortalecimiento de la red de apoyo comunitaria de la zona Metropolitana de Tunja", el cual estuvo bajo nuestra supervisión y vigilancia.

Atentamente,

Teniente **WILSON FERNANDO MORALES TORRES**  
Jefe Grupo de Telemática

Dibujado por: P1, Tunja (Punto Puntos Puntos)  
Fecha de elaboración: 14-05-2021  
Ubicación: DESCOM

Carrera 11 19-85 Tunja  
Teléfono: 7405510 – Ext. 8227  
metun telem@policia.gov.co  
[www.policia.gov.co](http://www.policia.gov.co)



INFORMACIÓN PÚBLICA



SECRETARÍA DE DEFENSA NACIONAL  
POLICIA NACIONAL  
POLICIA METROPOLITANA DE TUNJA

## Bibliografía

- 66-13-74 *Pseudo Band Pass Duplexer*. (s. f.). Comprod Inc. Recuperado 8 de junio de 2021, de <https://comprodc.com/shop/filters-rf-components/duplexers/pseudo-band-pass-duplexer-66-13-74/>
- Amphenol*. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2021, de <https://amphenol.com.tr/en/n-type-product-series-p-13190>
- Cámara De Representantes*. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2021, de <https://www.camara.gov.co>
- Capitulo5.pdf*. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2021, de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/trevino\\_c\\_jt/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/trevino_c_jt/capitulo5.pdf)
- Conmutador Fast Ethernet de 5 puertos TP-Link Silencioso sin ventilador | No gestionado (TL-SF1005D), blanco. (s. f.). *Repetidores Wifi PRO*. Recuperado 8 de junio de 2021, de <http://repetidoreswifipro.com/producto/conmutador-fast-ethernet-de-5-puertos-tp-link-silencioso-sin-ventilador-no-gestionado-tl-sf1005d-blanco/>
- Daviu, A. (2017). *Problemas de propagacion de ondas*. <https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/57423>
- DB224-A. (s. f.). CommScope. Recuperado 8 de junio de 2021, de <https://es.commscope.com/product-type/antennas/base-station-antennas-equipment/base-station-antennas/itemdb224-a/>
- Fabara Von Lippke, M. J., & Villalba Márquez, R. D. (2012). *Estudio para la migración del sistema de radiocomunicaciones VHF analógico de la Empresa Eléctrica Quito a un sistema digital*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5148>



- Fuente conmutada 12V 30A - AC110-220V 50/60Hz.* (s. f.). UNIT Electronics.  
Recuperado 8 de junio de 2021, de <https://uelectronics.com/producto/fuente-conmutada-12v-30a/>
- Guía de inicio rápido de PBE-M5-620.* (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2021, de [https://dl.ubnt.com/qsg/PBE-M5-620/PBE-M5-620\\_ES.html](https://dl.ubnt.com/qsg/PBE-M5-620/PBE-M5-620_ES.html)
- Huidobro, J. M., & Ordonez, J. L. (2014). *Comunicaciones por radio: Tecnologías, redes y servicios de radiocomunicaciones: El espectro electromagnetico*. RA-MA Editorial.  
<https://elibro.net/es/lc/bibliouan/titulos/106431>
- Martinez, J. L. (2019, octubre 11). *¿Qué es un radioenlace?* Medium.  
<https://medium.com/@jlmartinez.es/qu%C3%A9-es-un-radioenlace-159ab9a66775>
- Mascarenas Perez-Inigo, C. (2017). *Manual basico de sistemas de comunicaciones maritimas*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cadiz.  
<https://elibro.net/es/lc/bibliouan/titulos/33910>
- Menendez, G. G. (s. f.). *Diseño de un sistema de radioenlace para comunicaciones en el ámbito industrial*. 56.
- Micro dúplex compacto VHF - 1501-C6.* (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2021, de <https://www.micromagic2way.com/50w-vhf-duplexer>
- MT121000AFT - Baterías: Mtek.* (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2021, de <http://mtek-sa.com/mtek/Catalogo/tabid/64/ProdID/36/CatID/2/Default.aspx>
- Noticias de Paraguay y el mundo en ABC Color.* (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2021, de <https://www.abc.com.py>
- Palomo, Z. (2016). *Sistema mundial de socorroy seguridad marítima*.  
<https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/116280>

Patrocinante, P., & Rojas, S. F. C. (s. f.). *IMPLEMENTACION DE EXPERIENCIAS PARA LA MEDICION DE PARAMETROS DE CALIDAD EN EQUIPOS DE RADIOCOMUNICACIONES EN LAS BANDAS DE HF Y VHF*. 204.

Porras Delgado, J. A., & Sánchez Trisancho, O. E. (2018). *Manual de entrenamiento para la configuración de los equipos de VHF del Laboratorio de Telecomunicaciones*. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/5124>

*Publicaciones etiquetadas «N Type»*. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2021, de <https://www.amphenorlf.com/news/tag/n-type>

*Pure sine car power inverter, 600W pure inverter*. (s. f.). Zhejiang Carspa New Energy Co.ltd. Recuperado 8 de junio de 2021, de <https://www.carspa.cc/pure-sine-wave-p-series-basic-150w-4000w/p600-600-watts-pure-sine-wave-car-power-inverter-with-usb-port>

Radio Mobile. (s. f.). *Sitio WEB de Radio Mobile*. Recuperado 14 de mayo de 2021, de <http://www.ve2dbe.com/english1.html>

Ramos Pascual, F. (2007). *Radiocomunicaciones*. <https://ezproxy.uan.edu.co:2830/es/ereader/bibliouan/45921>

*R-HDB-44-2002-OAS-PDF-S.pdf*. (s. f.). Recuperado 14 de mayo de 2021, de [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-44-2002-OAS-PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-44-2002-OAS-PDF-S.pdf)

*Sp\_DMR\_RD626\_20160517AC.pdf*. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2021, de [https://www.hytera.la/media/sp\\_DMR\\_RD626\\_20160517AC.pdf](https://www.hytera.la/media/sp_DMR_RD626_20160517AC.pdf)

*Sp\_DMR\_RD986\_20160517.pdf*. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2021, de [https://www.hytera.la/media/sp\\_DMR\\_RD986\\_20160517.pdf](https://www.hytera.la/media/sp_DMR_RD986_20160517.pdf)

*TL-SF1005D\_V12\_QIG.pdf*. (s. f.). Recuperado 8 de junio de 2021, de [https://static.tp-link.com/res/down/doc/TL-SF1005D\\_V12\\_QIG.pdf](https://static.tp-link.com/res/down/doc/TL-SF1005D_V12_QIG.pdf)

UIT-R, U.-R. (2019). *Recomendación UIT-R P.525-4 (08/2019) – Cálculo de la atenuación en el espacio libre.*

Union Internacional de Telecomunicaciones & Oficina de Radiocomunicaciones. (2008a). *Información sobre propagación de las ondas radioeléctricas para el diseño de enlaces terrenales punto a punto.* ITU.

Union Internacional de Telecomunicaciones & Oficina de Radiocomunicaciones. (2008b). *Información sobre propagación de las ondas radioeléctricas para el diseño de enlaces terrenales punto a punto.* ITU.