



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TEMA:**

Diseño y simulación de un sistema de radiofrecuencia digital DMR MOTOTRBO  
para una empresa de seguridad ubicada en la ciudad de Piñas perteneciente a la  
provincia de El Oro

**AUTOR:**

Guzmán Jaramillo, Vinicio Eduardo

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**

**TUTOR:**

Ing. Medina Moreira, Washington Adolfo, PhD. D.

**Guayaquil, Ecuador**

20 de febrero del 2025



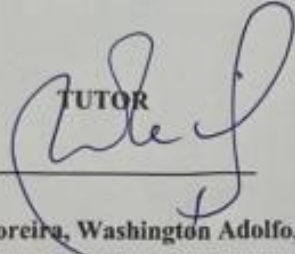
UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

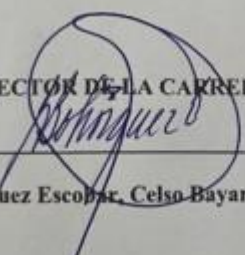
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

### CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Guzmán Jaramillo Vinicio Eduardo**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**.

TUTOR  
f.   
Ing. Medina Moreira, Washington Adolfo, Ph. D.

DIRECTOR DE LA CARRERA  
f.   
Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, Ph. D.

Guayaquil, a los 20 del mes de febrero del año 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

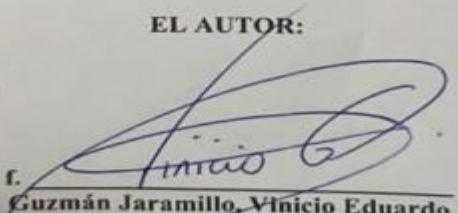
**Yo, Guzmán Jaramillo, Vinicio Eduardo**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Diseño y simulación de un sistema de radiofrecuencia digital DMR MOTOTRBO para una empresa de seguridad ubicada en la ciudad de Piñas perteneciente a la provincia de El Oro**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 20 del mes de febrero del año 2025**

EL AUTOR:  
  
f. **Guzmán Jaramillo, Vinicio Eduardo**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

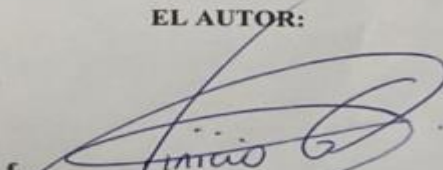
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

## AUTORIZACIÓN

Yo, **Guzmán Jaramillo, Vinicio Eduardo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño y simulación de un sistema de radiofrecuencia digital DMR MOTOTRBO para una empresa de seguridad ubicada en la ciudad de Piñas perteneciente a la provincia de El Oro**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 20 del mes de febrero del año 2025

EL AUTOR:  
  
r. **Guzmán Jaramillo, Vinicio Eduardo**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

### REPORTE DE COMPILATIO

001tesis 2024GUZMAN

4%  
Textos sospechosos

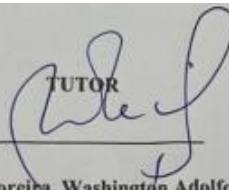
31% Similitudes (ignorado)  
2% similitudes entre comillas  
9% entre las fuentes mencionadas  
2% Idiomas no reconocidos  
2% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: 001tesis 2024GUZMAN.doc  
ID del documento: be21a96122d46bf959035d7d0b4cd8ead37680fa  
Tamaño del documento original: 10,02 MB  
Autores: []

Depositante: Washington Adolfo Medina Moreira  
Fecha de depósito: 13/2/2025  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 13/2/2025

Número de palabras: 10.952  
Número de caracteres: 72.641

Se revisó el Trabajo de Titulación, Diseño y simulación de un sistema de radiofrecuencia digital DMR MOTOTRBO para una empresa de seguridad ubicada en la ciudad de Piñas perteneciente a la provincia de El Oro, presentado por el estudiante Guzmán Jaramillo, Vinicio Eduardo de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones, donde obtuvo del programa COMPILATIO, el valor de 5% de coincidencias, considerando ser aprobada por esta dirección. Certifica,

TUTOR  
f.   
Ing. Medina Moreira, Washington Adolfo, Ph. D.

**Revisor- COMPILATIO**

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios y a mi familia por haberme brindado esa ayuda necesaria, guiarme y aconsejarme en esta nueva etapa de mi vida casi culminada. Agradezco a todo el apoyo de mis padres por su paciencia y predisposición de guiarme como un pilar en mi vida. También agradezco a todos los profesionales docentes que tuve como profesores en la facultad, su conocimiento y predisposición de enseñarme para poder culminar esta etapa de mucho aprendizaje y dedicación.

## **DEDICATORIA**


Este trabajo va dedicado a mis padres, Vinicio y Gloria quienes me han brindado su apoyo, inculcado valores y han hecho lo posible para completar mi formación como profesional. Agradezco a mis dos hermanos menores, Juan e Hipatia miembros fundamentales de mi hogar. También agradezco todo el apoyo que mi familia y amigos me han brindado para poder culminar esta etapa de mi vida,. Todo el esfuerzo realizado va dedicado a todos ellos, lo que hicieron posible que llegara a donde estoy ahora, muchas gracias.




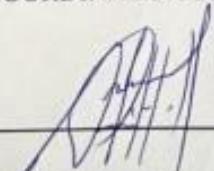
**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f.   
Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, Ph. D.  
DECANO O DIRECTOR DE CARRERA

f.   
Ing. Ricardo Xavier Ubilla González, Msc.  
COORDINADOR DEL ÁREA

f.   
Ing. Nino Tello Vega Ureta MSc.  
OPONENTE



# ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN.....</b>	<b>XVI</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>XVII</b>
<b>CAPITULO 1 .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Descripción general del trabajo de titulación.....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Justificación.....	7
1.3. Planteamiento del problema .....	8
1.4. Objetivos.....	9
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	9
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	9
1.5. Hipótesis .....	9
1.6. Metodología de la Investigación.....	9
<b>CAPITULO 2 .....</b>	<b>10</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
2.1. Radiofrecuencia.....	10
2.2. Ondas electromagnéticas .....	10
2.3. Características de una onda electromagnética .....	11
2.3.1. <i>Amplitud (A)</i> .....	11
2.3.2. <i>Longitud de onda (<math>\lambda</math>)</i> .....	11
2.3.3. <i>Velocidad (v)</i> .....	11
2.3.4. <i>Polarización</i> .....	11

2.3.5.	<i>Energía</i> .....	12
2.4.	Fenómenos de propagación de una Onda electromagnética.....	12
2.4.1.	<i>Reflexión</i> .....	12
2.4.2.	<i>Refracción</i> .....	12
2.4.3.	<i>Difracción</i> .....	12
2.4.4.	<i>Interferencia</i> .....	12
2.5.	Ecuaciones de Maxwell.....	13
2.6.	Principios físicos de la radiofrecuencia.....	13
2.7.	Radiocomunicaciones.....	14
2.8.	Espectro Electromagnético .....	14
2.9.	Espectro Radioeléctrico.....	15
2.10.	Modulación Digital.....	16
2.11.	Antenas .....	17
2.11.1.	<i>Funcionamiento de una antena</i> .....	17
2.12.	Tipos de antenas .....	17
2.12.1.	<i>Dipolo de media onda</i> .....	17
2.12.2.	<i>Antena conectada a Tierra</i> .....	18
2.12.3.	<i>Dipolo doblado</i> .....	19
2.12.4.	<i>Yagi-uda</i> .....	19
2.12.5.	<i>Antena de torniquete</i> .....	20
2.12.6.	<i>Antena log-periódica</i> .....	21
2.12.7.	<i>Antena de cuadro</i> .....	21
2.12.8.	<i>Antena de Reflector Parabólico</i> .....	22

2.13.	Entidades Involucradas en un sistema de comunicación.....	22
2.13.1.	<i>Usuario final y operador</i> .....	22
2.14.	Normas de regulación y administración del espectro radioeléctrico .....	23
2.14.1.	<i>Reglamento de Radiocomunicación</i> .....	23
2.14.2.	<i>Bandas ICM (ISM)</i> .....	23
2.14.3.	<i>Licencias de radiocomunicación</i> .....	24
2.15.	Organismos de estandarización .....	24
2.16.	Sistemas de radiocomunicación.....	25
2.17.	Transmisor.....	25
2.17.1.	<i>Características de un trasmisor en un sistema</i> .....	25
2.18.	Receptor.....	26
2.18.1.	<i>Características de un receptor en un sistema</i> .....	26
<b>CAPITULO 3</b>	.....	<b>27</b>
<b>3.</b>	<b>Diseño, propuesta y resultados</b> .....	<b>27</b>
3.1.	Zona geográfica e infraestructura del lugar .....	27
3.2.	Proceso de Asignación de frecuencias.....	28
3.3.	Diseño del sistema .....	29
3.3.1.	<i>Diagrama de bloques</i> .....	31
3.4.	Equipos de la fuente del sistema.....	31
3.4.1.	<i>Fuente</i> .....	31
3.4.2.	<i>Sistema de energía de respaldo solar</i> .....	31
3.4.3.	<i>Paneles Solares</i> .....	32
3.4.4.	<i>Controlador de carga</i> .....	33

3.4.5.	<i>Equipo de baterías</i> .....	35
3.4.6.	<i>Cargador automático</i> .....	36
3.5.	Transmisor- Receptor .....	37
3.6.	Duplexor .....	39
3.7.	Torre .....	41
3.7.1.	<i>Cerro la chuva</i> .....	42
3.8.	Antenas .....	43
3.8.1.	<i>Instalación</i> .....	44
3.8.2.	<i>Cables conectores de la antena</i> .....	44
3.9.	Equipos de los usuarios .....	45
3.10.	Programa de configurar la radio .....	47
<b>Capítulo 4</b>	.....	<b>48</b>
<b>4.</b>	<b>Análisis de Resultados</b> .....	<b>48</b>
4.1.	Simulación en el programa Radio Mobile .....	48
4.1.1.	<i>Cálculo de cobertura</i> .....	54
<b>CONCLUSIONES</b>	.....	<b>56</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	.....	<b>57</b>
<b>REFERENCIAS</b>	.....	<b>58</b>
<b>ANEXOS</b>	.....	<b>61</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 .....	11
Figura 2 .....	13
Figura 3 .....	15
Figura 4 .....	16
Figura 5 .....	18
Figura 6 .....	18
Figura 7 .....	19
Figura 8 .....	20
Figura 9 .....	20
Figura 10 .....	21
Figura 11 .....	22
Figura 12 .....	28
Figura 13 .....	30
Figura 14 .....	32
Figura 15 .....	33
Figura 16 .....	36
Figura 17 .....	38
Figura 18 .....	40
Figura 19 .....	42
Figura 20 .....	42
Figura 21 .....	44
Figura 22 .....	47

Figura 23 .....	48
Figura 24 .....	49
Figura 25 .....	50
Figura 26 .....	50
Figura 27 .....	51
Figura 28 .....	52
Figura 29 .....	52
Figura 30 .....	53
Figura 31 .....	53
Figura 32 .....	54
Figura 33 .....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 .....	33
Tabla 2 .....	34
Tabla 3 .....	35
Tabla 4 .....	37
Tabla 5 .....	38
Tabla 6 .....	39
Tabla 7 .....	39
Tabla 8 .....	41
Tabla 9 .....	43
Tabla 10 .....	45
Tabla 11 .....	46
Tabla 12 .....	46
Tabla 13 .....	46

## RESUMEN

Este trabajo de integración curricular propone la realización de un diseño de un sistema de radiocomunicación y su simulación de factibilidad para una empresa de seguridad privada en la ciudad de piñas, donde se evidencia y se pretende combatir el tema de inseguridad. Este proyecto se desarrolla mediante el uso de la tecnología DMR, ideales para los sistemas de comunicaciones modernos digitales y el poder brindar mayores eficiencias de rendimiento que un analógico. Se enfocó el trabajo en la banda UHF ideales para los sistemas MOTOTRBO en la configuración y rendimientos con los equipos de la empresa MOTOROLA. Los sistemas de radio DMR pueden tener el alcance que se quiera, siempre que se instale la infraestructura correcta. Los repetidores DMR pueden esparcir la señal por áreas extensas, pero se pueden generar ciertos "puentes de conectividad" distribuyendo datos entre repetidores por otros medios, como enlaces de microondas o Internet. En este trabajo nos centraremos en una repetidora ubicada en el cerro "La Chuva", que utiliza como fuente la red pública del lugar y un sistema de energía solar de respaldo para solventar la problemática actual del país en el tema de los apagones.

**Palabras claves:** DMR, Mototrbo, Diseño, Simulación, Radiomobile, TX/RX,

Servidores, Ip, Digital, conectividad, alcance.



## **ABSTRACT**

This curricular integration work proposes the realization of a radio communication system design and its feasibility simulation for a private security company in the city of Piñas, where the issue of insecurity is evident and intended to be combated. This project is developed through the use of DMR technology, ideal for modern digital communication systems and the ability to provide greater performance efficiencies than an analog one. The work focused on the UHF band ideal for MOTOTRBO systems in the configuration and performance with MOTOROLA equipment. DMR radio systems can have the desired range, as long as the correct infrastructure is installed. DMR repeaters can spread the signal over large areas, but certain "connectivity bridges" can be generated by distributing data between repeaters by other means, such as microwave links or the Internet. In this work we will focus on a repeater located on the "La Chuva" hill, which uses the local public network as a source and a solar backup energy system to solve the current problem of the country in the issue of blackouts.

**Keywords:** DMR, Mototrbo, Design, Simulation, Radiomobile, TX/RX, Servers, IP, Digital, connectivity, range.

## CAPITULO 1

### 1. Descripción general del trabajo de titulación

La radiocomunicación se remonta de las ramas entre la física y la ingeniería. Desde el punto de vista físico la idea de fenómeno electromagnético nace de la capacidad de relacionar las teorías eléctrica y magnética. En 1819 Hans Crinstian Oersted observó cómo un hilo por el que circulaba corriente hacía que se desviase una aguja imantada, demostrando que la electricidad producía magnetismo. Un año después André Marie Ampère amplió estas observaciones. Como consecuencia de los trabajos de Oersted y Ampère se descubrió que una corriente eléctrica tiene efectos magnéticos idénticos a los que produce un imán. Además, de la misma forma que hay fuerzas entre imanes, también existen fuerzas entre alambres que conducen corrientes eléctricas.

El desarrollo de las comunicaciones ha venido ligado inexorablemente al de la electrónica, de forma que antes de que se explotase el fenómeno electromagnético en las radiotelecomunicaciones haría falta un avance decisivo en este campo. Este avance vino de la mano del “cohesor”. Este dispositivo es un tubo de cristal relleno de partículas metálicas que presenta una resistencia baja en presencia de una descarga eléctrica cercana. Si ésta es ocasionada por la presencia de una onda electromagnética y el cohesor está convenientemente alimentado y conectado a una lámpara o timbre, se puede detectar la presencia o no de una transmisión. Este es uno de los primeros diseños de receptores, propuesto por el francés Edouard Branly en 1891, y que propició en 1894 que Tesla en EEUU, Popov en Rusia y Marconi en Italia-Reino Unido<sup>2</sup> pasaran de la física a la ingeniería realizando las primeras transmisiones de mensajes morse, nace la telegrafía sin hilos y con ella la radiocomunicación. (fuentes, 2012)

En la actualidad, la radiofrecuencia es crucial en el debido a su papel central en las comunicaciones inalámbricas, la conectividad de dispositivos móviles, las redes móviles de alta

velocidad y la transmisión de datos a nivel global. Permite la interconexión de dispositivos y sistemas de manera eficiente, impulsando la comunicación y la tecnología en nuestra sociedad altamente conectada.

Cualquier lugar relaciona las comunicaciones con el desarrollo de una sociedad, por lo que es poco usual que en ciertos lugares las personas están incomunicadas, o con sistemas de comunicación muy obsoletos. Eso acontece en los sectores retirados de la ciudad de Piñas, donde cuentan con un gran número de habitantes y cuya principal fuente de trabajo es la actividad minera, atrayendo personas externas del lugar y a su vez, la inseguridad. Por eso se ha definido realizar el diseño de un sistema de radiofrecuencia con tecnología DMR para este sector y mejorar la comunicación

Los sistemas de radiofrecuencia presentan algunas ventajas características que los hacen adecuados para diversas situaciones. Pueden penetrar paredes y “doblar esquinas” y no requieren ningún tipo de cableado para que la información de la red se transmita. El medio utilizado es el espectro radioeléctrico.

La tecnología DMR significa "Digital Mobile Radio" y es un tipo de transmisión de radio comercial según la norma ETSI. La normalización de la interfaz aérea hace posible que distintos fabricantes se comuniquen en una misma infraestructura o entre sí. En la operación de radio analógica, el conocimiento de las frecuencias correctas y, si es necesario, un subtono adecuado (CTCSS) juegan un papel decisivo para llevar a cabo un QSO analógico directamente en la frecuencia local. En el modo VFO -si está disponible en la unidad- las frecuencias y otros parámetros pueden ajustarse como de costumbre y se puede realizar una llamada inmediatamente.

Los productos con tecnología DMR tienen muchas ventajas respecto a otras tecnologías de transceptores móviles terrestres o digitales públicos (PMR/LMR) dirigidos a los sectores comerciales y empresariales. Además de la posibilidad de admitir o mejorar las funciones existentes en los transceptores analógicos, la utilización del protocolo de Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) de doble ranura dota a DMR de una escalabilidad efectiva, eficiencia energética, rentabilidad y un nuevo conjunto sofisticado de funciones. (DMR, 2009)

Este trabajo se enfoca en la simulación de un sistema de radio frecuencia de dos vías con tecnología digital MotoTRBO, destacados en el mercado por un bajo costo y complejidad, garantizando alto índices de seguridad a los usuarios y que permita la interoperabilidad de equipos y estos sean controlados remotamente por el usuario.

### **1.1. Antecedentes**

Las comunicaciones inalámbricas consisten en la transmisión de una onda electromagnética que es recibida por un receptor apropiado. Por aquel entonces se creía que las ondas electromagnéticas solo se propagaban linealmente y que serían incapaces de superar o seguir la curvatura superficie terrestre. Marconi obtuvo su mayor triunfo en 1901, al establecer la primera transmisión inalámbrica más allá del Atlántico (3500 km.), entre USA y Gran Bretaña. Tan solo seis años después se desarrollaron las primeras conexiones transatlánticas comerciales. Ambos extremos de la conexión empleaban enormes estaciones base compuestas por hasta 30 antenas de más de 100 metros de altura. Las comunicaciones inalámbricas no se realizaron únicamente con estaciones terrestres ya que uno de los sectores de mayor crecimiento fue el de las aplicaciones marítimas. La radiodifusión tuvo un gran auge en los años siguientes, muchas personas compraron receptores para sus hogares e incluso para sus coches. En 1923 existían ya

en USA 500 estaciones con dos millones de oyentes, alcanzándose el año siguiente las 1100 estaciones. El primer modelo de radio de coche data de 1927 ("Philco Transitone"). En Europa existían 200 estaciones en 1929, algunas de ellas eran compañías públicas como la BBC. El espectro estaba totalmente desregulado por lo que se llegó a cierto caos en el uso de las frecuencias. Por ello, en 1927 durante una conferencia internacional en Washington se propuso asignar la banda de 550 kHz hasta los 1.5 MHz para radiodifusión. (Pascual, Molina, & Juan, 2014).

La comunicación de voz de dos vías fue una de las primeras aplicaciones comerciales de la tecnología de radio. En 1933, el primer sistema móvil de radios de dos vías fue instalado en carros patrulleros del departamento de policía de Bayonne, Nueva Jersey. Desde entonces radios de dos vías se han desplazado más allá del ámbito de la seguridad pública para convertirse en una herramienta de gran valor para los profesionales móviles en una amplia gama de empresas. Durante la mayor parte de su historia, el radio de dos vías ha sido un medio análogo, y en la actualidad la amplia mayoría de los sistemas aún son análogos. Pero eso está a punto de cambiar, debido a la transición a los sistemas digitales. De la misma manera como la tecnología digital está revolucionando ahora la manera en la cual los profesionales móviles se comunican en el campo. Como la digitalización de la música, la TV y otros medios tradicionalmente análogos, la tecnología digital de radio de dos vías ofrece muchísimas ventajas en relación con los sistemas análogos del pasado. Por ejemplo, en comparación con un radio análogo de dos vías, el sistema digital de radio de dos vías puede ofrecer una mayor eficiencia de espectro para una mayor capacidad de llamadas, una mejor calidad de voz, especialmente en los márgenes más lejanos del rango RF, y una cobertura más confiable haciendo más fácil escuchar y entender conversaciones, incluso en ambientes difíciles y de rango largo.

Para la mayoría de los usuarios, el beneficio más importante del radio digital es hacer un uso más eficiente de los canales licenciados de 25 kHz y de 12.5 kHz. Las ondas aéreas están llegando a estar más y más congestionadas, y las estructuras antiguas de canales licenciados originalmente diseñadas con el objetivo principal de atender un puñado de transmisores ya no son adecuadas para llevar la creciente transmisión y el tráfico de radio privado que se proyecta para el futuro.

Motorola inventó el primer radio portátil de dos vías, y tiene más de 65 años de experiencia entregando sistemas inalámbricos de comunicación para el gobierno y la industria. Motorola ha surgido como el líder reconocido en la tecnología digital de dos vías, con soluciones comprobadas en el mercado de dispositivos fundamentales para las misiones, el mercado profesional y no licenciado. Ahora, Motorola está habilitando soluciones innovadoras para el ambiente profesional licenciado. MOTOTRBO™ Professional DigitalTwo-way Radio System es una plataforma digital de comunicaciones que combina lo mejor del radio de dos vías con la tecnología digital TDMA para entregar una capacidad y una eficiencia de espectro más amplias, aplicaciones integradas de información, y comunicaciones de voz reforzadas. MOTOTRBO está diseñado específicamente para cumplir los requisitos de las organizaciones profesionales que necesitan una solución personalizable apropiada para el comercio, usando el espectro licenciado. (MOTOROLA, 2006).

En Ecuador, particularmente para la prestación de los servicios de radiodifusión, se identifica, que hay una demanda creciente, tanto para el acceso a las frecuencias principales como para las frecuencias auxiliares de dicho servicio, las que al momento han agotado en un gran porcentaje su disponibilidad, no obstante, también se aprecia, que ciertos operadores han empezado a utilizar de manera más eficiente algunos segmentos del sistema de transmisión

inalámbrico, como es el caso de los enlaces que transportan las señales de radiodifusión de televisión, desde las estaciones matrices hacia las estaciones repetidoras o relevadores, agregando el audio de operadores de radiodifusión sonora, a la subportadora de sus enlaces. También, se observa que existen zonas en el territorio nacional, dentro de áreas geográficas definidas en las normas técnicas correspondientes, que no tienen el servicio de radiodifusión. (Yáñez, 2013)

El DMR opera en las bandas de frecuencia VHF y UHF, utilizando técnicas de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA). Esto permite que dos comunicaciones simultáneas compartan el mismo canal de radio, optimizando el uso del espectro. Además, el DMR soporta cifrado de voz y datos, lo que garantiza la seguridad de las comunicaciones.

Una de las aplicaciones radica en el transporte ya que, en ciudades como Nueva York y Londres, los sistemas de radio DMR han sido fundamentales para coordinar las operaciones de autobuses y trenes. La capacidad de comunicación en tiempo real ha permitido una gestión más eficiente del tráfico y una respuesta rápida a emergencias. Empresas de transporte de mercancías como DHL y FedEx han adoptado sistemas DMR para mejorar la gestión de sus flotas. El seguimiento GPS y la telemetría han optimizado las rutas de entrega y reducido los costos operativos. (360, 2024)

## **1.2. Justificación**

La minería informal y la exportación ilegal de oro han existido durante décadas en Ecuador. Tradicionalmente, de estas operaciones participaban pequeños mineros que utilizaban métodos artesanales sin permiso, redes de minería ilegal que utilizaban mercurio y maquinaria pesada, o empresas que extraían más oro del legalmente permitido. Pero la incursión violenta de

pandillas en esta lucrativa industria ilícita ha trastocado la naturaleza de este negocio, convirtiendo la minería ilegal en el último campo de batalla de la prolongada guerra contra el crimen organizado en Ecuador, donde la ciudad de Piñas no es la excepción. (Austin, 2024)

Ante el notorio incremento de la inseguridad en los últimos años, la seguridad privada se posiciona como una de las opciones a considerar en el manejo de la seguridad de una comunidad. La seguridad privada es proporcionada por empresas especializadas y se destacan por su enfoque personalizado y rapidez en brindar una respuesta efectiva a una emergencia bajo el uso de tecnologías de comunicación de radiofrecuencia.

Por eso, el objetivo de este proyecto es el diseño de una red de radiofrecuencia digital DMR se presenta como una alternativa para complementar y mejorar la comunicación de manera eficiente y segura a una empresa de seguridad que preste servicios a la comunidad

### **1.3. Planteamiento del problema**

La seguridad ciudadana es un factor preponderante en el desenvolvimiento diario de las diferentes actividades; sin embargo, una percepción de inseguridad por la recurrencia de diversos actos delictivos difundidos por los medios de comunicación existentes, generan un estado psíquico de temor en la ciudadanía.

Los problemas de inseguridad que afectan el bienestar de los ciudadanos se extienden hasta parroquias o comunidades rurales alejadas de la ciudad, donde el aprovechamiento de una comunicación eficiente es nulo. Ocasionando en el peor de los casos, estar sometidos a la inseguridad y temor en los sectores



## **1.4. Objetivos**

### ***1.4.1. Objetivo general***

Diseñar y simular un sistema de comunicación radiofrecuencia digital DMR para una empresa de seguridad en la provincia de El Oro.

### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Aplicar los fundamentos teóricos y técnicos de un sistema de comunicación de radiofrecuencia.
- Determinar los parámetros, componentes y materiales necesarios para el diseño del sistema de comunicación.
- Analizar y verificar los resultados finales obtenidos de la simulación del sistema desarrollado

## **1.5. Hipótesis**

La propuesta de un sistema DMR MOTOTRBO, garantizará a la ciudad de Piñas y sus alrededores una alternativa ideal de comunicación eficiente, confiable y consiste para las personas, donde la cobertura no es la adecuada y afecta negativamente a las personas que residen.

## **1.6. Metodología de la Investigación**

La metodología está relacionada con procesos analíticos y descriptivos en la búsqueda de información, que se vea reflejado en el estudio de la tecnología a través de la recopilación de fuentes y referencias bibliográficas

El presente trabajo de titulación es de tipo investigativa y documental. Se recurrirá a información relacionada a la simulación de una red de comunicaciones DMR ideal y con la alternativa de control remoto para los usuarios. La finalidad de la simulación con esta tecnología es por sus características que presentaremos en este trabajo.

## **CAPITULO 2**

### **2. MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Radiofrecuencia**

También conocido como espectro de radiofrecuencia, es definido como la porción menos energética del espectro electromagnético situado entre los 3 kHz y los 300 GHz. Es la radiofrecuencia un tipo de onda electromagnética cuya característica le permite ser utilizada para los sistemas de radiocomunicación. (Acevedo & Gomez, 2014)

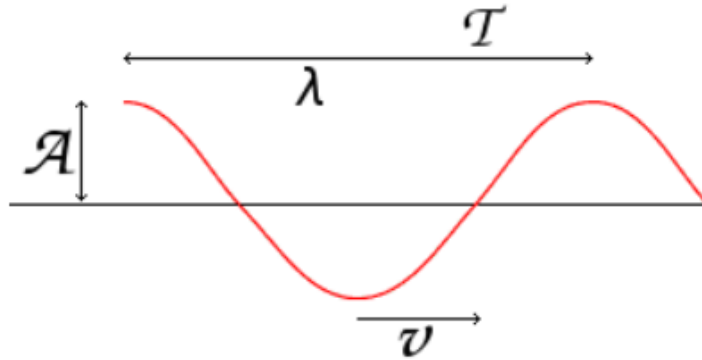
#### **2.2. Ondas electromagnéticas**

Las ondas electromagnéticas conforman un espectro de frecuencias en las que se propaga la energía. Este espectro comienza en las radiaciones de radio y después hacia las ondas de microondas, infrarrojos, luz visible, rayos ultravioleta y rayos X. Cada rango de frecuencia tiene aplicaciones particulares en la vida diaria. Por ejemplo, las redes wifi, telefonía móvil y Bluetooth operan en la banda de 2.4GHz para transmitir información de forma inalámbrica. Los hornos microondas también funcionan en este rango de frecuencias para calentar los alimentos e incluso el control remoto de nuestros televisores utiliza infrarrojos. (Michelle, 2024)

## 2.3. Características de una onda electromagnética

Figura 1

Representación de una onda



**Nota.** Características de una onda electromagnética. Tomado de (MONSALVO, 2009)

### 2.3.1. Amplitud ( $A$ )

Es la medida de la magnitud de la máxima perturbación del medio ocasionada por la onda. También se define como potencia de la onda

### 2.3.2. Longitud de onda ( $\lambda$ )

La longitud de onda es la distancia entre el punto inicial y final en un ciclo mientras la onda viaja en el medio.

### 2.3.3. Velocidad ( $v$ )

Las ondas se desplazan a una velocidad que depende de la naturaleza de la onda y del medio por el cual se mueven. Por ejemplo, la velocidad de la luz.

### 2.3.4. Polarización

Una onda electromagnética puede ser de polarización lineal, circular o elíptica. Un factor importante de la onda es la orientación del campo eléctrico en el espacio porque determina la absorción de la onda en los cuerpos biológicos.

### **2.3.5. Energía**

En la propagación de una onda es necesario tomar en cuenta la energía transportada por unidad de tiempo, y se lo obtiene considerando la densidad de potencia en ese punto específico, realizando el producto vectorial entre la intensidad del campo eléctrico y magnético. (MONSALVO, RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA, 2009)

## **2.4. Fenómenos de propagación de una Onda electromagnética**

### **2.4.1. Reflexión**

En este evento ocurre por el choque de una onda incidente con una frontera entre dos medios a. En otras palabras, las velocidades de onda incidente y reflejada son iguales.

### **2.4.2. Refracción**

Se evidencia el cambio de dirección de propagación de un rayo de luz cuando pasa oblicuamente la superficie de un medio a otro con diferente velocidad de propagación.

### **2.4.3. Difracción**

Es un fenómeno óptico, consiste en la modulación o redistribución de la energía de una onda. Es un fenómeno que brinda como ventajas que, las ondas luminosas o de radio se propaguen en torno a esquinas.

### **2.4.4. Interferencia**

Las ondas electromagnéticas luminosa se produce siempre que se combinan dos o más ondas electromagnéticas de tal manera que se degrada el funcionamiento del sistema. Obedece al principio de la superposición lineal de las ondas electromagnéticas. En resumen, este fenómeno sucede cuando dos o más ondas ocupan el lugar del espacio en forma simultánea. (Wayne, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

## 2.5. Ecuaciones de Maxwell

Nos permiten explicar cómo se pueden propagar los campos eléctrico y magnético bajo un comportamiento que lo describe un tipo de ecuación que se conoce como ecuación de onda.

Representa y conta como una de las ecuaciones más fundamentales de la física, puesto que la cumplen todos los fenómenos ondulatorios

### Figura 2

*Las leyes de Maxwell y su interacción en el vacío*

- Ley de Gauss para el campo eléctrico:  
$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{Q_{int}}{\epsilon_0} \quad (1)$$
- Ley de Gauss para el campo magnético:  
$$\oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0 \quad (2)$$
- Ley de Faraday-Lenz:  
$$\oint_C \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} d\vec{S} \quad (3)$$
- Ley de Ampère:  
$$\oint_C \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 I_{encerrada} \quad (4)$$

**Nota.** Representan las cuatro ecuaciones fundamentales del electromagnetismo. Tomado de (Navarro, 2011)

## 2.6. Principios físicos de la radiofrecuencia

En el campo de la radiofrecuencia, se utilizan los campos electromagnéticos y eléctricos que oscilan perpendicularmente entre sí, para que el usuario de nuestra sociedad pueda solucionar las necesidades de velocidades de transmisión de información. La información se propaga transmitiendo una señal a una frecuencia determinada, y haciendo que la información

varíe sus parámetros, amplitud y fase. En el receptor, se detectan estos parámetros y se recupera la información.

Es fundamental determinar las pérdidas que introduce la frecuencia de portadora, y qué distorsiones pueden aparecer tanto en la variación de nivel como en la variación de la amplitud del tono con el tiempo. (fuentes, 2012)

## **2.7. Radiocomunicaciones**

La comunicación es realizada a través del espectro radioeléctrico, cuyas características son numerosas relacionando con sus bandas de frecuencias.

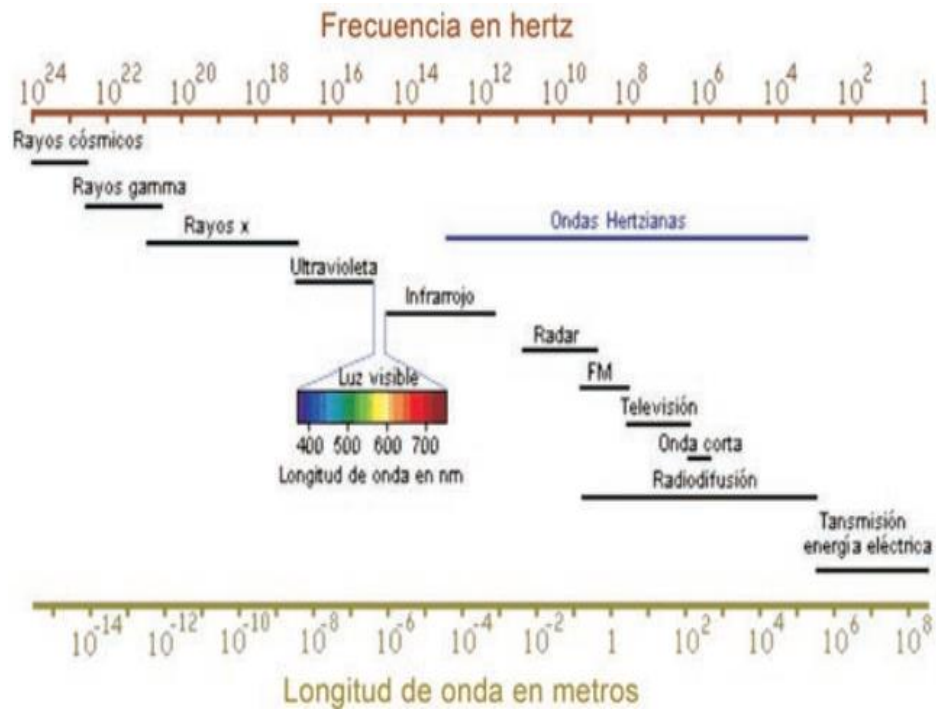
El funcionamiento de la transmisión y recepción se da cuando la onda de radio actúa sobre un conductor eléctrico (antena), lo que induce un movimiento de carga eléctrica, que puede ser transformado en señales portadoras de información. Las redes inalámbricas y telefonía móvil están incluidos en esta categoría de emisiones de radiofrecuencia. (Aguilera, Gonzaga, & Ruiz, 2013)

## **2.8. Espectro Electromagnético**

Se refiere a la agrupación de todas las frecuencias existentes a las que se genere radiación electromagnética. Así, se detalla que el límite inferior del espectro electromagnético es 0 y el superior es  $\infty$ . Algunas ondas electromagnéticas no tienen el mismo comportamiento en el medio de propagación, la misma procedencia o forma de experimentación con la materia. Debido a eso, el espectro electromagnético se reparte concretamente en segmentos o bandas de frecuencia.

**Figura 3**

*Espectro electromagnético*



**Nota.** División del espectro electromagnético de acuerdo a las frecuencias.

Tomada de (Ordoñez, 2017)

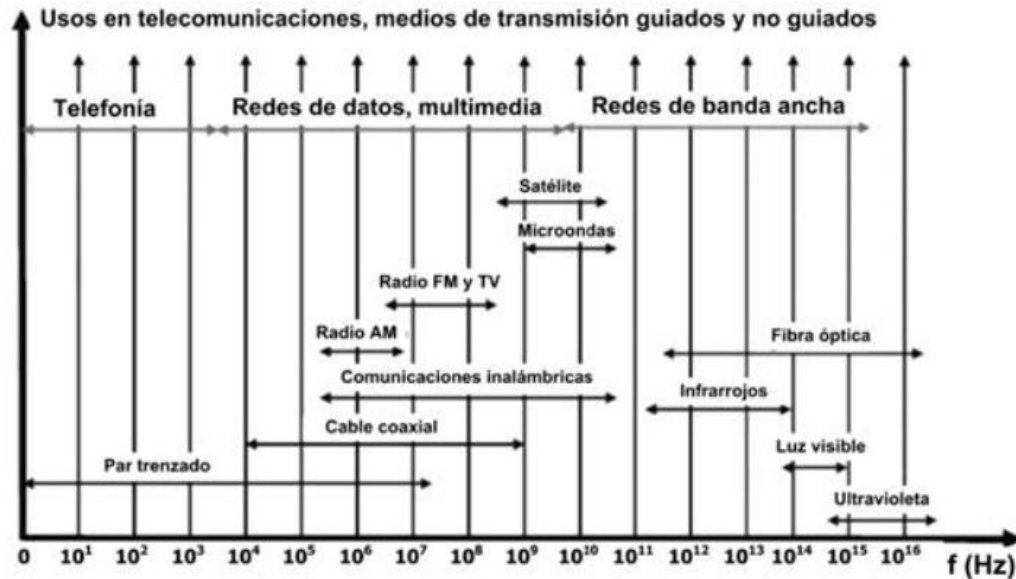
## 2.9. Espectro Radioeléctrico

Se denomina espectro radioeléctrico al tramo del espectro electromagnético designado para usos de radiocomunicaciones. Este combinado del espectro viene determinado por dos causantes: las características de propagación de las ondas electromagnéticas a las diferentes frecuencias, y los avances tecnológicos.

De acuerdo con el Reglamento de Radiocomunicaciones de la UIT-R, actualmente se considera que el espectro radioeléctrico es la agrupación de ondas cuya frecuencia se establece por debajo de 3.000 GHz y se propagan por el espacio sin guía artificial de onda.

**Figura 4**

*Espectro radioeléctrico en las telecomunicaciones*



**Nota.** División del espectro radioeléctrico para las telecomunicaciones en medios de transmisión guiados y no guiados. Tomado de (Ordoñez, 2017)

## 2.10. Modulación Digital

El desarrollo de la tecnología de circuitos integrados ocasionó el regreso a las técnicas digitales y éstas son impulsadas por las ventajas que ofrece la comunicación inalámbrica digital, parcialmente heredadas de la transmisión de señales digitales en las redes fijas. Entre otras ventajas están la integración de las funciones de transmisión y de conmutación, la incorporación de servicios de transmisión de datos, la mayor sensibilidad de los receptores digitales que son operables con relaciones señal a ruido más interferencia bajas.

La propiedad más importante de la transmisión digital es la regeneración de la señal. Gracias a esta propiedad, la secuencia de información puede reproducirse en el receptor



prácticamente sin errores a pesar de los inconvenientes que haya presentado el canal de comunicaciones. (Carlos, 2008)

## **2.11. Antenas**

Se comportan como un conductor metálico con la capacidad de propagar y capturar ondas electromagnéticas. Las antenas se definen como principal funcionalidad de, conectar las líneas de transmisión con el espacio libre o viceversa, y muchas veces ambas cosas. Las antenas de transmisión deben poder manejar potencias grandes y, en consecuencia, deben ser de materiales que soporten altos voltajes y grandes potencias, como, por ejemplo, de tubo metálico.

### ***2.11.1. Funcionamiento de una antena***

En un transmisor de un sistema de radiocomunicaciones donde el medio de propagación es el espacio libre, una antena transforma la energía eléctrica que se propaga por una línea de transmisión en ondas electromagnéticas que se emiten al espacio. En el receptor, una antena convierte las ondas electromagnéticas en el espacio en energía eléctrica en una línea de transmisión.

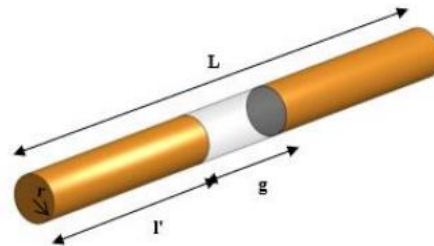
## **2.12. Tipos de antenas**

### ***2.12.1. Dipolo de media onda***

Es un tipo de antena muy utilizadas para frecuencias superiores a 2 MHz. Al dipolo de media onda se le llama en general antena de Hertz, en honor de Heinrich Hertz, quien fue el científico que lo descubrió.

**Figura 5**

*Antena dipolo de media longitud de onda*



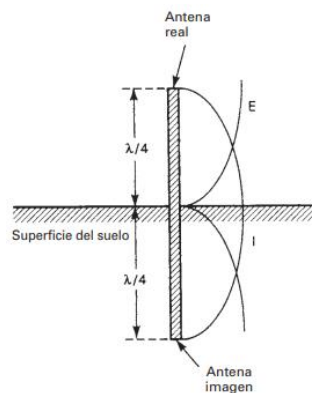
**Nota.** Diseño tradicional del dipolo de media longitud de onda. Tomado de (Ramiro, 2022)

### **2.12.2. Antena conectada a Tierra**

Una antena monopolo de un cuarto de longitud de onda de largo, montada en dirección vertical con el extremo inferior conectado en forma directa al suelo, o aterrizada a través de la red de acoplamiento de la antena, se llama antena de Marconi. Una antena de Marconi tiene la ventaja obvia, sobre una de Hertz, de sólo tener la mitad de la longitud. La desventaja de una antena de Marconi es que debe estar cerca del suelo.

**Figura 6**

*Antena monopolo aterrizada de cuarto de onda*



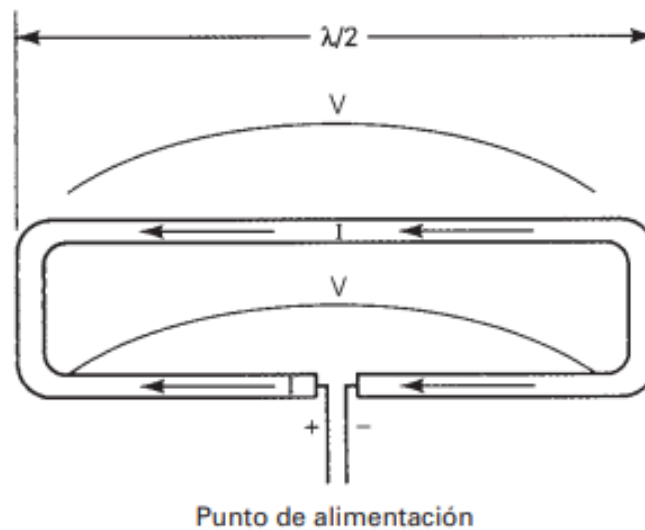
**Nota.** La antena de Marconi montada en forma directa sobre la superficie, se combinan la antena real y su imagen y producen las mismas distribuciones de ondas estacionarias que la de una antena no aterrizada.

### 2.12.3. Dipolo doblado

Se refiere a una antena compuesta por dos elementos. Un elemento se carga en forma directa, mientras que el otro tiene acoplamiento inductivo en los extremos. Cada elemento tiene a lo largo, media longitud de onda.

**Figura 7**

*Dipolo Doblado*



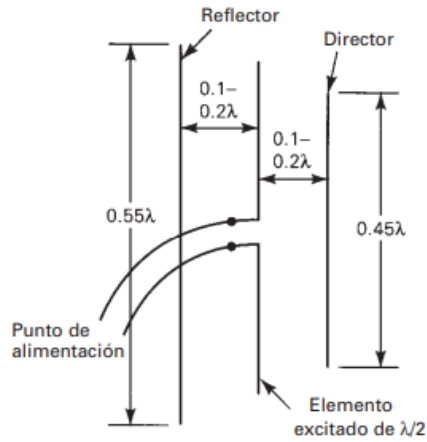
**Nota.** Dipolo de 2 elementos brinda un mayor ancho de banda, y se puede aumentar haciendo mayor el diámetro de los elementos del dipolo.

### 2.12.4. Yagi-uda

Consiste en un arreglo lineal formado por un dipolo excitado y dos o más elementos pasivos (directores y reflectores) en su diseño: un reflector y uno o más directores. Se usa para la transmisión y recepción de las señales, entre sus parámetros van variando, dependiendo en los elementos externos que se van agregando al diseño.

**Figura 8**

*Representación de una antena Yagi- Uda*



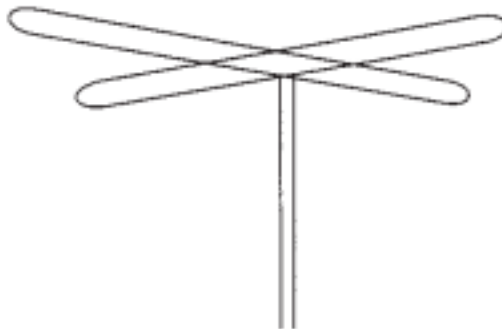
**Nota.** El gráfico muestra el diseño de una antena básica de 3 elementos con sus características detalladas.

### ***2.12.5. Antena de torniquete***

Consiste en dos dipolos dispuestos en ángulo recto. Es la suma de las radiaciones de los dos dipolos describen la distribución omnidireccional de la radiación.

**Figura 9**

*Representación de una Antena de Torniquete*



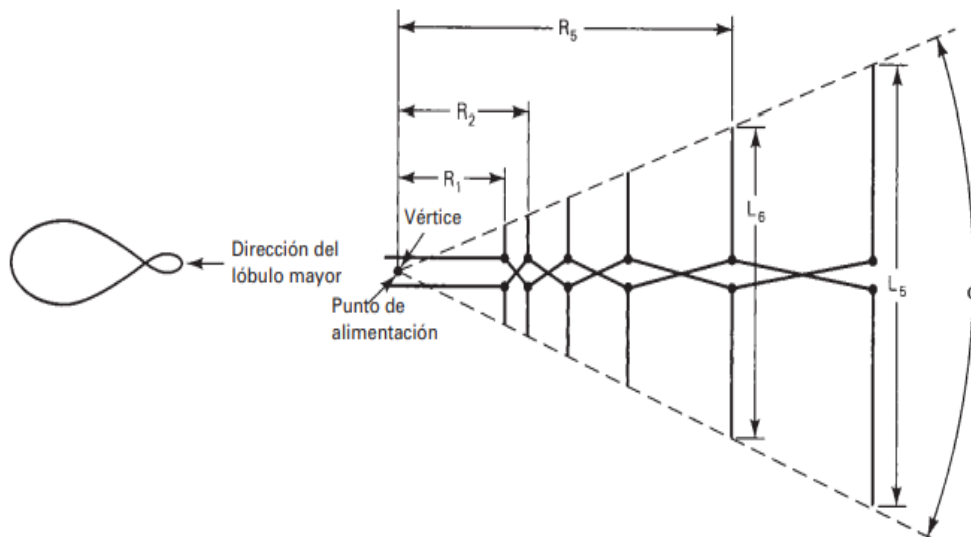
**Nota.** las ganancias de la antena de torniquete oscilan entre 10 o más dB.

### 2.12.6. Antena log-periódica

Se refiere a una antena que cuenta con la disposición geométrica o logarítmica de sus elementos y con una característica esencial, donde la agrupación de dipolos que la componen son alimentadas por una línea de transmisión. Las antenas log-periódicas pueden ser unidireccionales o bidireccionales, y tener una ganancia directiva de baja a moderada y constante.

**Figura 10**

*Gráfico de un conjunto de dipolos básicos que conforman una antena convencional logarítmica*



**Nota.** La distribución de la radiación para una antena log-periódica básica tiene la radiación máxima alejándose del extremo pequeño

### 2.12.7. Antena de cuadro

La antena de cuadro se compone de espiras de alambre en forma de vuelta, cuadrado, polígono, hexágono y sus dimensiones físicas son proporcionales al rendimiento que pueda brindar. Dentro de sus aplicaciones está, la recepción AM (bajas frecuencias).

### ***2.12.8. Antena de Reflector Parabólico***

Se compone de 2 elementos: un reflector de forma parabólica y un elemento activo. Normalmente es una red de dipolos que producen ganancias y directividades extremadamente altas, y son muy usadas en los enlaces de comunicaciones por radio y satélite. (Wayne, Sistemas de Comunicaciones Electrónicas, 2003)

**Figura 11**

*Antena de reflector parabólico*



**Nota.** Las antenas parabólicas llegan a tener una apertura de haz de apenas  $1^\circ$ , lo que se utilizan en enlaces de radio y comunicaciones vía satélite. Tomada de (Manuel, 2013)

## **2.13. Entidades Involucradas en un sistema de comunicación**

### ***2.13.1. Usuario final y operador***

El usuario final se puede definir ya sea una persona natural o jurídica, El usuario final puede diseñar o adquirir su sistema de radiocomunicación o utilizar un sistema de un operador. Un claro ejemplo, es el radioaficionado, se le denomina así a la empresa que monta un sistema de comunicaciones móviles privado. Un segundo ejemplo, es cuando los usuarios hacen el pago a un operador por un servicio de telecomunicaciones, generalmente son de comunicaciones móviles públicas.

## **2.14. Normas de regulación y administración del espectro radioeléctrico**

### ***2.14.1. Reglamento de Radiocomunicación***

La ITU establece, en su Reglamento de Radiocomunicación (RR) un plan internacional de frecuencias. Divide la tierra en tres regiones, donde la Región 1 corresponde a Europa y EEUU está en la Región 2, y atribuye a cada banda un servicio o un conjunto de servicios que pueden hacer uso de él. Este reparto del espectro a los distintos sistemas se realiza en las conferencias mundiales de radiocomunicaciones (CMR, ó WRC en inglés). en resumen, las administraciones nacionales, en base a una distribución acordada por la ITU, diseñan su propio plan nacional de frecuencias. Por ejemplo, en Ecuador es ARCOTEL. Además, el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) interviene en la partición del espectro radioeléctrico desde 9kHz a 275 GHz con indicación expresa de qué servicios pueden utilizarse en cada banda y que lleva anexa las que se conocen como hojas de utilización nacional (UN) aparte de las notas del RR de la ITU.

### ***2.14.2. Bandas ICM (ISM)***

Dentro del espectro se reservan, en determinadas frecuencias, bandas de frecuencia para uso ICM, esto es, industrial, científico y médico (ISM, industrial, scientific and medical). Estas bandas son de uso libre y tiene pocas restricciones de uso, siempre recogidas en las UN. Estas bandas suelen ser las mismas en todos los países, si bien es verdad que en algunos países algunas bandas no existen y otras no tienen el mismo ancho de banda. Ejemplos de bandas ICM son las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz. En la primera es donde radian los hornos microondas, en ambas operan los sistemas WiFi.

### ***2.14.3. Licencias de radiocomunicación***

Licencias de tipo B2: Dispone la habilitación en la prestación del servicio telefónico móvil disponible al público, mediante el establecimiento o explotación, por su titular, de una red pública telefónica móvil. La red puede estar disponible de modo terrenal o basada en satélites de órbita media.

Licencias de tipo C2: Cuando dentro del dominio público radioeléctrico, se exploten redes públicas. Se requerirá una licencia de tipo C para el establecimiento o explotación de redes públicas, sin que su titular pueda prestar el servicio telefónico disponible al público.

## **2.15. Organismos de estandarización**

La propia ITU tiene una sección que se dedica a estandarizar sistemas de telecomunicaciones, la ITU-T. Pero estos estándares no se particularizan para sistemas de radiocomunicación. Así, los estándares de la ITU-T son estándares para grandes sistemas de telecomunicación, generalmente cableados, enfocados a definir las interfaces y las calidades que se tienen que cumplir. Sin embargo, la ITU-R tiene una serie de recomendaciones sobre los sistemas de radiocomunicación que suelen seguir los servicios de radioenlace, ya que permiten definir lo diferentes servicios de radiocomunicación o calcular las pérdidas de propagación. Sin embargo, para algunos servicios, como el de radioenlaces del servicio fijo, estas recomendaciones definen de forma precisa las posibles modulaciones a utilizar, las canalizaciones empleadas o las calidades exigidas.



## **2.16. Sistemas de radiocomunicación**

En radiocomunicación, se reserva el término servicio para describir sistemas o subsistemas con una determinada funcionalidad. Se habla así del servicio fijo, del servicio de distribución o del servicio móvil. Después se añade información acerca de dónde se encuentra el terminal: terrestre, marítimo, aeronáutico. También se puede indicar si los equipos involucrados pueden estar todos sobre la superficie terrestre o parte de los mismos están en el espacio, a bordo de un satélite.

## **2.17. Transmisor**

### ***2.17.1. Características de un transmisor en un sistema***

- Desplazamiento de frecuencia: Es la diferencia entre la frecuencia de la onda portadora medida y su valor nominal. La medida se hace en ausencia de modulación con el transmisor conectado a la antena artificial.
- Potencia de portadora del transmisor: Es la potencia media entregada a la antena artificial durante 1 ciclo de radio en ausencia de modulación. Estará determinada por el fabricante de acuerdo al permiso de potencia radiada otorgado por la administración.
- Desviación de frecuencia: Es la máxima diferencia entre la frecuencia instantánea de la señal de radiofrecuencia y la frecuencia de la portadora sin modular. Se utiliza un medidor de desviación de frecuencia, conectando el transmisor a una antena ficticia.

- Distorsión armónica de la Transmisión: Relación, en %, entre la tensión eficaz de todas las componentes armónicas de la frecuencia moduladora y la tensión eficaz total de la señal, después de su demodulación

## **2.18. Receptor**

### ***2.18.1. Características de un receptor en un sistema***

- Sensibilidad Máxima Utilizable: Es el nivel mínimo de señal (f.e.m. fuerza electromotriz) a la frecuencia nominal.
- Protección sobre el canal útil: Brinda la característica de determinar la capacidad del Rx para recibir una señal en presencia de otra, sin ocasionar interferencia
- Protección contra la intermodulación: Describe la capacidad de disminuir el efecto de las señales ocasionadas por la presencia de dos o más portadoras en otros canales.
- Bloqueo o desensibilización: Es unos parámetros de variación de la potencia útil a la salida del receptor, o una reducción de la SINAD, debido a la existencia de una señal interferente. (Fuentes, 2012)

## **CAPITULO 3**

### **3. Diseño, propuesta y resultados**

En este capítulo se emplea y se visualiza el resultado de los objetivos específicos planteados en el capítulo 1 para el diseño de un sistema de radiofrecuencia, haciendo énfasis y detallando los datos generales y técnicos, equipos y dimensionamiento de red a emplear en la zona del cantón piñas, y estableciendo nuestra antena repetidora en el cerro La Chuva, perteneciente a la provincia de El Oro.

#### **3.1. Zona geográfica e infraestructura del lugar**

Para el desarrollo de la propuesta se debe conocer la ubicación geográfica del lugar, tomar en cuenta su infraestructura, condición actual en la que se encuentra y sus principales actividades. El sistema se implementará para tener una cobertura en el cantón Piñas y sus alrededores.

El cantón posee 615 km<sup>2</sup>. Limita al norte con los cantones Atahualpa y Santa Rosa, al este con los cantones Zaruma y Portovelo, al sur con la provincia de Loja y al oeste con los cantones Balsas, Marcabelí y Arenillas. Es conocida como "La Orquídea de los Andes", debido a la gran variedad orquídeas salvajes encontradas en esta región del Ecuador meridional.

**Figura 12**

*Ubicación geográfica de la ciudad*



**Nota.** Se visualiza la descripción geográfica con sus relieves alrededor, Google Earth.

Elaboración propia.

### **3.2. Proceso de Asignación de frecuencias**

ARCOTEL (AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES) es el organismo regulador que brinda los requisitos para la aprobación y obtención de licencia de funcionamiento. Entre los aspectos necesarios a tomar en cuenta en los formularios están: datos generales del usuario individual o empresario, ubicaciones, alturas y características técnicas del sistema de operación. Para el uso determinado en redes privadas, se debe seguir y acatar unos requisitos acordes a título 4 “Redes Privadas” del reglamento de títulos habilitantes de ARCOTEL.

Estos requisitos específicos que se presentan en los documentos anexos al reglamento, las personas naturales o jurídicas deberán presentar ante la Dirección Ejecutiva de la ARCOTEL. Se deben elaborar trámites de solicitud correspondientes de acuerdo el numeral 3 del artículo 141

que consiste en “Declaración de responsabilidad respecto a los puntos donde se va a instalar la red privada” y numeral 5 del artículo 141 que exige “Declaración de responsabilidad que cumple con los requisitos exigidos por la normativa”. Adicionalmente, se elabora el llenado de un formulario de solicitud “SOLICITUD PARA LA ADMINISTRACIÓN DE TÍTULOS HABILITANTES DE RED PRIVADA Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO”, y se lo puede observar en el ANEXO 1. Estos requisitos cumplen el cumplimiento de poder evitar irregularidades en un futuro.

### **3.3. Diseño del sistema**

En este capítulo, nos enfocaremos en el diseño y la implementación de los equipos para el sistema utilizando la tecnología DMR. Consiste en un estándar internacional especialmente definido para radios de dos vías, permitiendo la interoperabilidad con diferentes equipos de distintos fabricantes. Con baja complejidad y de bajo costo, permite tener un gran alcance en la comunicación. Utiliza el modo de acceso TDMA, que permite la división de dos “time slots” usando una canalización con ancho de banda de 12,5 KHz.

En otras palabras, los dispositivos incorporan la característica de duplicidad y equivalencia del canal a 12,5 KHz, donde muchas personas pueden comunicarse sobre los canales licenciados existentes de la empresa alquilados por el servidor, sin preocuparse por la interferencia. Estos slots virtuales de 6.25 KHz del canal pueden ser usados para transmitir dos conversaciones privadas, individuales, o de otro modo uno de los espacios puede ser usado para señalización de prioridad en información, en conjunto con una conversación transmitida en el otro espacio.

En este sistema, los repetidores, los controladores y las puertas de enlace conforman la estructura principal del sistema de radio MOTOTRBO. Garantizan que la red esté disponible en todo momento y que las comunicaciones sean claras, fiables y seguras en toda la empresa. Un repetidor aporta muchas ventajas a las comunicaciones en el lugar de trabajo. Con un transmisor de alta potencia y un receptor sensible, su área de cobertura aumenta significativamente.

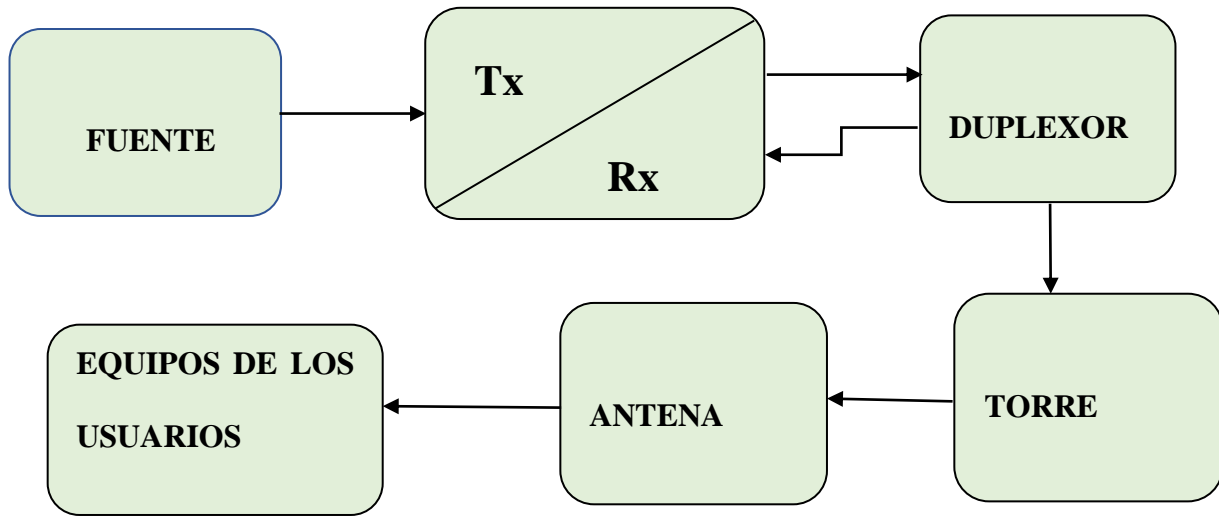
**Figura 13**

*Estación base ubicada en el cerro “La Chuva”*



**Nota.** Se observa la estación base ubicada en el cerro con lo equipos que veremos mas adelante. Elaboración Propia

### 3.3.1. Diagrama de bloques



## 3.4. Equipos de la fuente del sistema

### 3.4.1. Fuente

Se dispone para el sistema de comunicación con la energía eléctrica pública del lugar. Conformada por torres de distribución, líneas de transmisión, etc. En el Ecuador la distribución de energía eléctrica forma parte del Sistema Nacional de Transmisión que consiste en el conjunto de instalaciones eléctricas que comprende las líneas de transmisión, las subestaciones y bienes en general, el cual a su vez forma parte del Sistema Nacional Interconectado (SNI). (ASOCIACION DE BANCOS DEL ECUADOR, 2022)

### 3.4.2. Sistema de energía de respaldo solar

Básicamente consiste en captar la energía proveniente de la radiación solar y convertirla en energía eléctrica. A pesar de que la eficiencia de estos sistemas está entre un 20% y un 40%, su estudio e implementación ha sido investigado ampliamente a nivel mundial debido a su impacto ambiental. Dentro del sistema es fundamental considerar que la potencia de la radiación

varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m<sup>2</sup> en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

### 3.4.3. Paneles Solares

**Figura 14**

*Paneles solares HUASUN*



**Nota.** Se implementaron 2 paneles de 430W solares para el sistema ubicado en el cerro “La Chuva”

Está formado por una agrupación de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas y montadas sobre una estructura. Las estructuras soporte de los módulos fotovoltaicos o paneles solares se diseñan teniendo en cuenta las directrices del Código Técnico de Edificación, con criterios que tienen en cuenta tanto las cargas propias como las sobrecargas derivadas de fenómenos meteorológicos como la nieve y el viento. Como los paneles solares deben mirar al sol sin interferencia de obstáculos en los alrededores, los paneles generalmente están colocados en una posición alta, sobre un techo o un poste.



**Tabla 1**

*Características de los paneles solares en el sistema*

<b>Características (STC)</b>	<b>DS430</b>	<b>DS435</b>	<b>DS440</b>	<b>DS44</b>
				<b>5</b>
Potencia máxima	430W	435W	440W	445W
Eficiencia de módulo	22,02%	22,28	22,53%	22,79
		%		%
Dimensiones	1722 X 1134 X 30 mm			
Peso	26 kg/ 22kg			
Voltaje del sistema máximo	DC1500V			
Temperatura de operación	-40 to +85°C			

Fuente: Elaboración propia

### **3.4.4. Controlador de carga**

**Figura 15**

*Controlador de carga Tracer de 200V*



**Nota.** Uno de los beneficios es su tecnología MPPT y su eficiencia en el rendimiento. Elaboración propia

El controlador de la serie Tracer Dream 200V fué el que se implementó. Brinda un modo de carga de tres etapas autoadaptable basado en un circuito de control digital. Esta función puede prolongar efectivamente la vida útil de la batería y mejorar significativamente el rendimiento del sistema. La limitación de la potencia de carga y la reducción de las funciones de potencia de carga garantizan la estabilidad del sistema con más de módulos fotovoltaicos en entornos de alta temperatura. Con la tecnología MPPT avanzada de seguimiento de pico doble o pico múltiple, cuando el panel solar está a la sombra o parte del panel falla, lo que da como resultado múltiples picos en la curva I-V, el controlador aún puede rastrear con precisión el punto de máxima potencia. Con funciones integrales de autodetección de fallas electrónicas y potentes funciones de protección electrónica incorporadas dentro del controlador, se pueden evitar en la mayor medida posible los daños a los componentes causados por errores de instalación o fallas del sistema.

**Tabla 2**

*Item característico de 3 modelos de controladores*

<b>Item</b>	<b>TD44420 Pro</b>	<b>TD4 820 Pro</b>	<b>TD41020 Pro</b>
Voltaje Nominal del sistema		12/24/48V DC	
Corriente de carga	60A	80A	100 <sup>a</sup>
Potencia de entrada max	800W/12V	1000 W/12V	1300W/12V
Coefficiente de temperatura		-4mv/°C/2V	
Eficiencia de conversión		98%	

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.5. Equipo de baterías

Las baterías que se utilizan para los sistemas solares fotovoltaicos autónomos son las baterías de ciclo profundo y de plomo ácido, cuyo electrolito puede ser libre, gel o AGM. Estas baterías de ciclo profundo brindan la posibilidad de almacenar la energía generada por los paneles solares fotovoltaicos, y así, poder utilizarla en cualquier momento.

Se implementó 2 baterías AOKLY porque utiliza la tecnología de gel sellado y está diseñada para proporcionar energía altamente confiable y sin mantenimiento para aplicaciones de energía renovable. Dependiendo de la tecnología de gel de ventaja, el diseño óptimo de rejilla y placa, la batería de gel FirstPower ofrece la mayor potencia y confiabilidad para sus equipos.

**Tabla 3**

*Batería AOKLY 6GFM200G de ciclo profundo*

<b>Características técnicas</b>	
Método de carga (ciclo de uso)	14.1 – 14.4V (Corriente inicial de menos de 60A)
Carga flotante	13.5 – 13.8V a 25°C
Corriente máxima de descarga	2000A (5 segundos)
Peso	59.8kg
Altura total	244 mm
Medidas	522mm x 240mm x 220mm
Capacidad afectada por temperatura	40°C/112%

Fuente: Elaboración Propia

### 3.4.6. Cargador automático

Trabajamos con cargador de batería Samlex de 30A. Ofrece una operación automática para todas las baterías de plomo ácido: inundadas, AGM o gel. El usuario puede configurar el voltaje de entrada de CA a 120 ó 230 VCA, 50 / 60 Hz

**Figura 16**

*Cargador de batería automático conmutado*



**Nota.** Se observa 2 cargadors conectados al banco de baterías del sistema. Elaboración propia.

**Tabla 4***Características del modelo*

<b>MODELO # SEC-1230UL</b>		
<b>ENTRADA</b>	VOLTAJE NOMINAL DE ENTRADA Y F.	12 VCA, 50/60 Hz; 230VCA, 50/60 Hz
<b>SALIDA</b>	CORRIENTE DE CARGA	30A
	VOLTAJE DE CARGA	14.4 VCD (predeterminado)
<b>MONITORERO</b>	PANTALLA LED	Led rojo
<b>ENFRIAMIENTO</b>	TIPO DE ENFRIAMIENTO	Contiene ventilador controlado por temperatura
<b>CUMPLIMIENTO</b>	SEGURIDAD	Conforme al estándar 1564 UL y el certificado CSA STD.
<b>DIMENSIONES</b>	L X ANCHO X ALTO	280 x 214 x 83 mm

Fuente: Elaboración propia

### **3.5. Transmisor- Receptor**

En el sistema al utilizar la tecnología DMR, se requiere el uso de un equipo de repetidor con un canal de control delicado, administrado por un servidor. Lo que beneficia el tráfico de radio para múltiples grupos de usuarios. Un Repetidor consiste en un Receptor operando en frecuencia F1, y un Transmisor en frecuencia F2. En resumen, el receptor y el trasmisor se colocan en sitios altos donde tiene menos atenuación la señal que viene de los equipos portátiles a nivel de piso

Se implementó la repetidora MOTOTRBO SLR5100 y nos ofrece servicio de radio de dos vías de alto desempeño y alta confiabilidad, con todas las funciones que necesita para conectar su lugar de trabajo. Permite que a través del repetidor se cursen dos llamadas simultaneas: dos grupos hablando simultáneamente sin interferirse, es como tener dos sistemas.

**Figura 17**

*Repetidora ubicada en la torre base*



**Nota.** Nos da funcionalidad de operar como Tx/Rx con la conexión de un deplexor que veremos más adelante. Elaboración propia

**Tabla 5**

*Especificaciones técnicas de la repetidora SLR5100*

Especificaciones	VHF	UHF	UHF	300 MHz
		BANDA 1	BANDA 2	
Rngo de frecuencia	136-174	400-470	450-512	300-360
	MHz	MHz	MHz	MHz / 350-400 MHz
Potencia de salida RF			1-50w	
Rango de temperaturas		-30°C a 60°C (-22°F a 140°F)		
Tipos de sistemas	Convencional analógica y digital, IP Site connect, Capacity Plus, Linked Capacity Plus, Connect Plus			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6***Especificaciones técnicas en su integración como Transmisor*

<b>TRANSMISOR</b>	
Potencia de salida RF	1-50w
Espaciamiento de canal	12 kHz /25 kHz
Atenuación intermodulación	40 dB
Estabilidad de frecuencia	0,5 ppm

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7***Especificaciones técnicas en su integración como Receptor*

<b>RECEPTOR</b>	
Espaciamiento del canal	12 kHz / 20kHz / 25 kHz
Estabilidad de Frecuencia	0,5 ppm
Sensibilidad (típica)	0,22uV
Distorsión del audio	< 1 %
Zumbido y ruido (12kHz /25kHz)	-45 / 50 dB

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. Duplexor

Consiste en un dispositivo que separa una señal compuesta en sus componentes para permitir que cada parte sea transmitida por separado. Los duplexores en tecnología de guía de onda son ampliamente utilizados para los sistemas de comunicaciones por satélites dado que permiten el uso de la misma antena para varias bandas de frecuencia. Están constituidos por una

unión de tres puertos cerrada por dos filtros, que seleccionan la recepción en el puerto 1 y la transmisión en el puerto 2, mientras que el puerto 3 se conecta a una antena o a un transductor ortomodo. Para el mejor uso de la unión en la realización de los duplexores, el puerto 3 debe estar bien adaptado con los puertos 1 y 2, sobre la banda de recepción y la banda de transmisión respectivamente (K., Mediavilla, Tribak , & Marante, 2012)

Se empleará el duplexor pasa banda sinclair UHF Q3220E serie que funciona como filtros de  $\frac{1}{4}$  onda y elimina la radiación de espurias. Para el exterior, cuenta con conductores internos de cobre/bronce con baño de plata para eliminar la corrosión y mejorar el desempeño.

### Figura 18

*Duplexores instalados en la estación base*



**Nota.** Se identifica y revisa las conexiones de los puertos de los duplexores. Elaboración propia



**Tabla 8***Ficha técnica del duplexor pasa banda Q3220E*

<b>Especificaciones técnicas</b>		
Rango de frecuencias	MHz	406 a 512
VSMR de entrada		1.5:1
Impedancia	$\Omega$	50
Aislamiento (min)	dB	75
Potencia promedio de entrada	W	350
Pérdida de inserción del Tx a antena	dB	0.8
Peso	Kg	6.81
Temperatura	$^{\circ}\text{C}$	-40 a +60
Dimensiones de montaje	mm	483 x 203 x 559

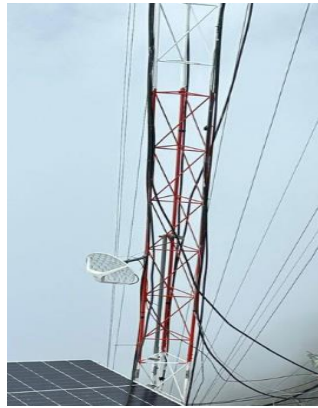
Fuente: Elaboración propia

### 3.7. Torre

La torre del sistema utilizada para la instalación de antenas estará ubicada en el cerro “La Chuva”, ubicada a pocos minutos del cantón Piñas. Lo importante a considerar es que este tipo de torres es de clase arriostrada y no autosoportada. Tendrá una altura de 30 metros para obtener una mejor eficiencia en el sistema. Adicionalmente, esta torre es usada para cargas de poco peso, y está conformada por tirantes en diferentes recorridos.

**Figura 19**

*Torre montada de 30 mt de altura*



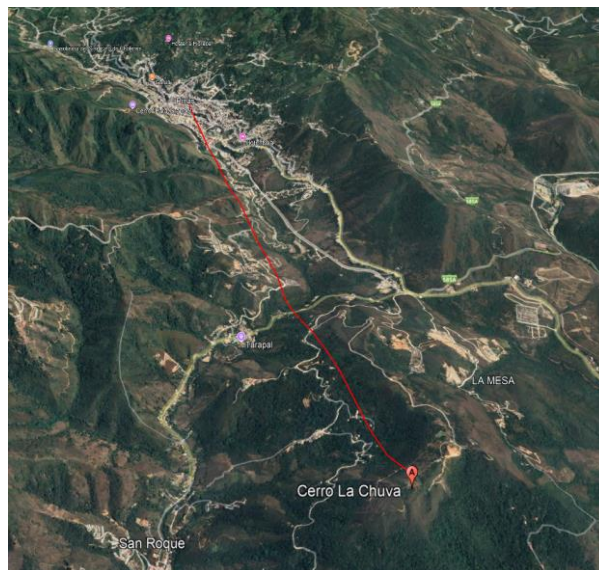
**Nota.** Se visualiza la torre montada junto a los paneles solares y la antena. Elaboración propia

### ***3.7.1. Cerro la chuva***

Es un pico en Piñas, El Oro y tiene una altitud de 1.305 metros. Cerro La Chuva se encuentra cerca de la aldea de Piedra Blanca, así como del pueblo de Ambrosio Maldonado.

**Figura 20**

*Ubicación geográfica del cerro "La chuva*



**Nota.** Se visualiza los relieves que rodean en el cerro La Chuva, Google Earth. Elaboración propia

### 3.8. Antenas

La antena seleccionada es una omnidireccional de 8 dipolos de marca ELECNA. Resistente a humedad y tiene un diseño robusto. Rango de Frecuencia: 450-470 MHz. Este tipo de antenas son dispositivos que tienen la funcionalidad de aumentar el alcance y mejorar la calidad de las señales en redes de telecomunicaciones. Su diseño compacto, fácil instalación las convierten en una solución ideal para diversas aplicaciones, desde redes Wi-Fi hasta sistemas de radiocomunicación. Irradia señales en todas las direcciones de forma uniforme, ideal para cubrir áreas amplias y amplifica la potencia de la señal tanto en la recepción y transmisión de datos.

Usaremos aproximadamente en la implementación con 20 metros de cables de corriente negro y rojo #10.

**Tabla 9**

*Especificaciones eléctricas y mecánicas de la antena de 8 dipolos*

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Potencia máxima	300 W
Ganancia	De 5,1 a 13,1 dBi
Ancho de banda	6%
R.O. E.	<1,5:1
Rango de frecuencias	400 a 512 Mhz para UHF
Resistencia máxima al viento	180 km/h
Irradiantes	Aluminio de aleación 6162 – T10 con sujeción de acero y aislante de teflón
Mástil soporte	Tubos de aluminio de aleación 6162- T10

Fuente: Elaboración Propia

### **3.8.1. Instalación**

Armar el mástil de acuerdo con la cantidad de tubos provistos.

Ubicar los dipolos sobre el mástil de acuerdo con el diagrama de irradiación y el tipo de montaje elegido. Asegurar el array mediante los precintos metálicos al mástil soporte

Colocar sobre la torre mediante soportes de sujeción el mástil soporte con los dipolos.

**Figura 21**

*Antena omnidireccional de 8 dipolos*



**Nota.** Se observa la antena instalada con su instalación adecuada en la torre. Elaboración propia

### **3.8.2. Cables conectores de la antena**

Se emplea 30 metros de cable HELIAX de ½ pulgada para la conexión. proporciona una conexión robusta y de alto rendimiento. Fabricado con cobre corrugado y blindaje de 50 Ohms para garantizar una transmisión estable de señales. Ideal para aplicaciones que requieren flexibilidad y resistencia.

**Tabla 10***Especificaciones técnicas del cable coaxial*

<b>Especificaciones</b>	
Diámetro exterior	1.6 cm
Peso	0.073 kg/m
Material de la chaqueta	Polietileno negro
Material del dieléctrico	Espuma de polietileno de baja densidad
Material del conductor externo	Cobre corrugado sólido
Radio mínimo de curvatura	12.7 cm
Atenuación (dB) por 100 pies	30 MHz: 0.357 dB 150 MHz: 0.815 dB 450 MHz: 1.45 dB

Fuente: Elaboración Propia

### **3.9. Equipos de los usuarios**

El equipo de radio que puede tanto enviar como recibir una señal, elemento indispensable en el sistema de comunicación. Algunas unidades de radio son completamente autónomas y disponen de baterías para proporcionar energía al dispositivo durante varias horas o un día entero, mientras que otras requieren fuentes de alimentación externas, como las instaladas en vehículos.

En este proyecto se utilizará los radios portátiles MOTOTRBO R2 eficientes en las comunicaciones de dos vías. Es un equipo de última generación que tiene gran durabilidad y facilidad para garantizar un manejo seguro y sencillo. El R2 es una adición confiable para un día

de trabajo ininterrumpido, con su audio configurable e integración. Está diseñado para brindar una experiencia al usuario y minimizar el tiempo de inactividad. La ergonomía es a prueba de todo y migración de bajo costo.

**Tabla 11**

*Especificaciones técnicas generales del radio R2*

<b>Especificaciones</b>	
Frecuencia	400 – 480 MHz
Alta Potencia	4W
Baja Potencia	1W
Capacidad del canal	64
Espacio entre canales	12.5 / 20.0 /25.0
Duración de la batería	19.5Hrs / 26.5 Hrs

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12**

*Ficha técnica de los radios MOTOTRBO R2 como transmisor*

<b>Especificaciones como transmisor</b>	
Modulación digital 4FSK	Datos: 12,5 kHz: 7K60F1D y 7K60FXD Voz: 12,5 kHz: 7K60F1D y 7K60FXD
Potencia del canal adyacente	>60 db a 12.5 kHz / >70 db a 20/25 kHz
Estabilidad de frecuencia	±0.5 ppm
Emisiones espurias conducidas/radiadas	< -36 dbm para <1 GH

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13**

*Ficha técnica de los radios MOTOTRBO R2 como receptores*

Especificaciones como receptor	
Sensibilidad digital (5% BER)	0.16 Mv (típica)
Emisiones Espurias Conducidas	< -57 dbm
Intermodulación	>70 db
Selectividad del canal adyacente -1T	>70 db a 20/25 kHz
Estabilidad de Frecuencia	±0.5 ppm

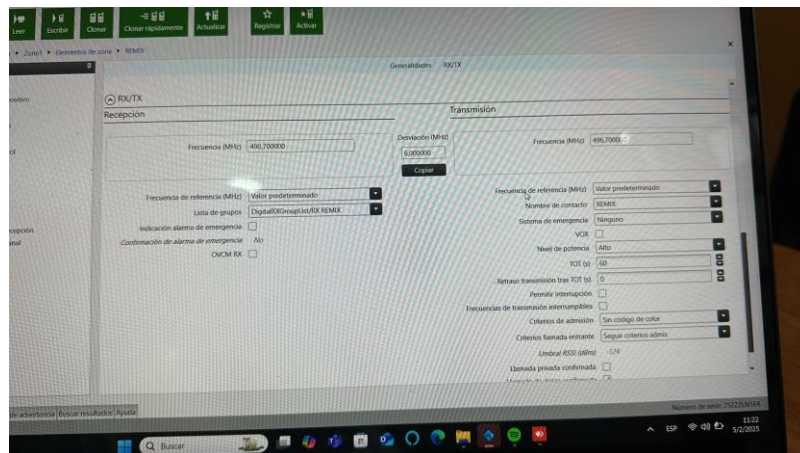
Fuente: Elaboración propia

### 3.10. Programa de configurar la radio

El programa Customer Programming Software (CPS) de MOTOTRBO le proporciona acceso total a la configuración de la radio. El software de programación Motorola también permite una experiencia más consistente con la gestión de radio en múltiples aplicaciones (esto incluye similitudes en la estructura de la vista de árbol y una navegación mejorada).

**Figura 22**

*Programa MOTOTRBO CPS 2.0*



**Nota.** Se visualiza las configuraciones de los Tx y Rx. Elaboración propia

## Capítulo 4

### 4. Análisis de Resultados

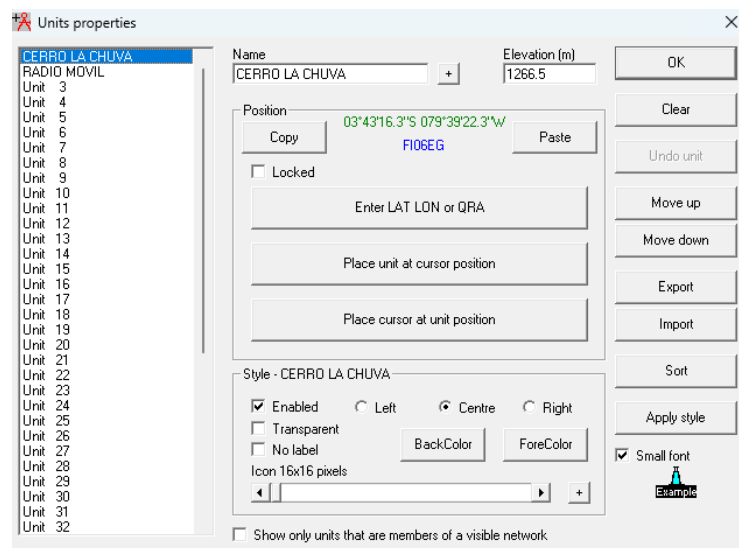
En este capítulo se realizó la simulación del sistema de radioenlace en Radio Mobile, debido a que es un software de interfaz sencilla, de libre distribución que brinda la posibilidad de realizar los cálculos de radioenlaces a larga distancias. Ejecuta descripción detallada de los perfiles geográficas del lugar escogido e información técnicas de los equipos, para eso se establecieron algunos parámetros de la estación base como de los equipos móviles del sistema de radiocomunicación

#### 4.1. Simulación en el programa Radio Mobile

La simulación empieza por definir los parámetros de ubicación de la “Estación base”, como su latitud y longitud. La estación base la denominaremos “Cerro la Chuva” como se puede ver en el ejemplo de la **Figura 23**.

**Figura 23**

*El proceso de llenado de latitud y longitud de la estación base*



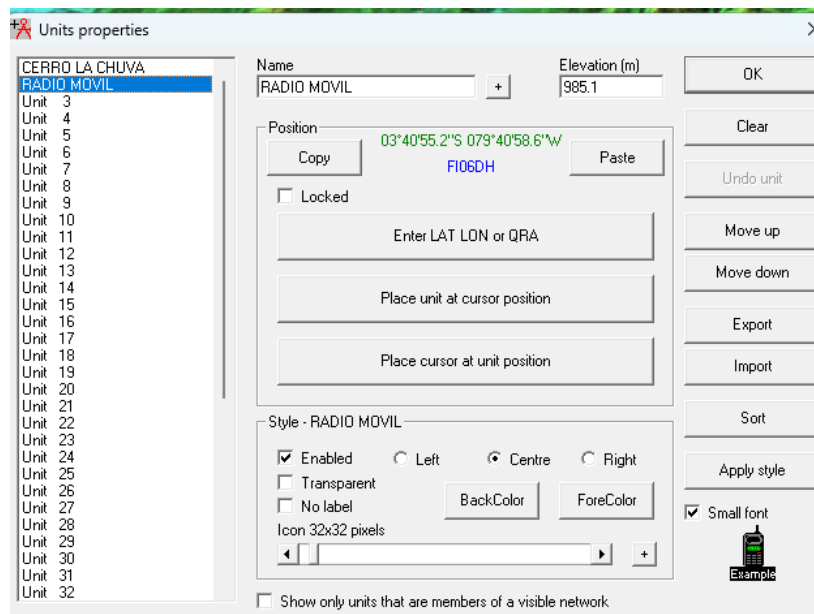
Fuente: Elaboración propia



Posterior a la configuración de la primera unidad, introducimos los parámetros de ubicación de la unidad con el nombre de “Radio Movil”, destinados a los usuarios. Lo podemos observar en la **Figura 24**.

**Figura 24**

*El proceso de llenado de latitud y longitud de los equipos móviles*

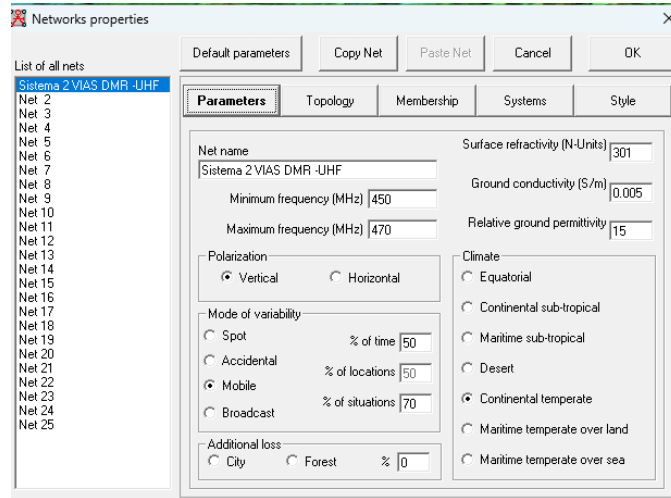


Fuente: Elaboración propia

Posterior a ello, nos centramos en las propiedades de las redes con el que denominamos “Sistema 2 vías DMR UHF”. En primer paso, se procede a introducir los parámetros de la red a utilizar como la frecuencia a trabajar en UHF (450-470 MHz), con una polarización vertical. Destinaremos que será un sistema con un modo estadístico móvil y el clima del lugar se configura “Continental Templado”. Tal y como se puede ver en la **Figura 25**.

**Figura 25**

*Se estableció los parámetros de operación del sistema a desarrollar*

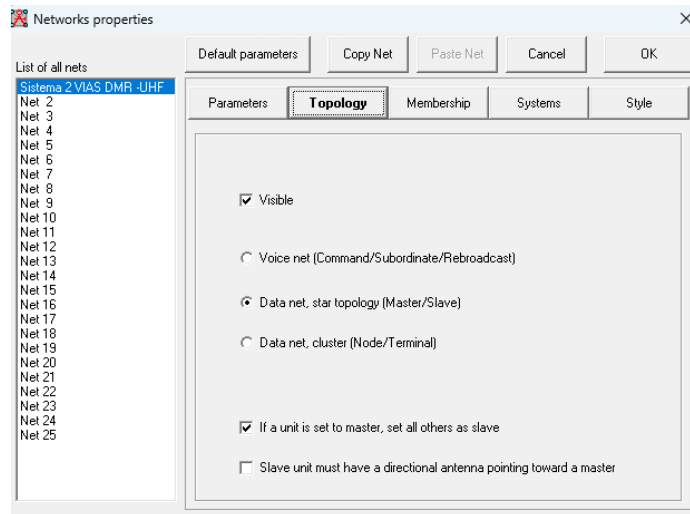


Fuente: Elaboración propia

Continuamos en el segundo ítem “Topología”, seleccionamos la opción de “Red de datos. Topología estrella (Master/esclavo), donde la estación base corresponde a MASTER y los equipos móviles serían los SLAVE. Este se debe a que el sistema que se implementó es Digital y se lo puede observar en la **Figura 26**.

**Figura 26**

*Se visualiza el tipo de topología seleccionada para el sistema*

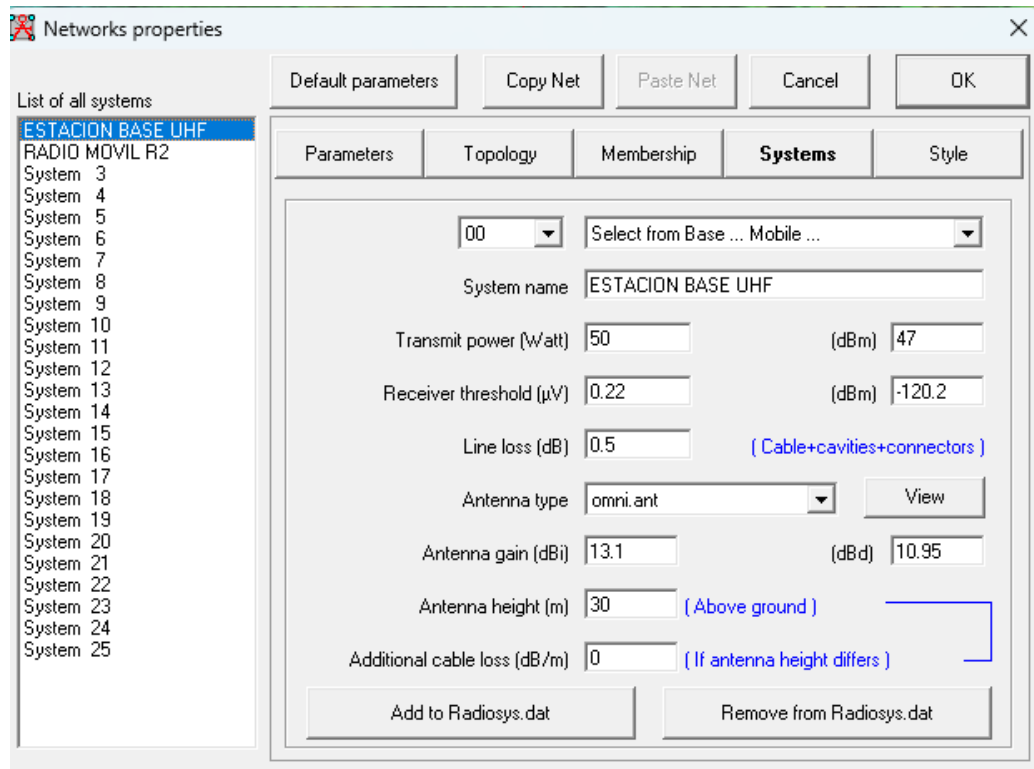


Fuente: Elaboración propia

Posterior a ello, configuramos el ítem “Sistemas”. Definimos el nombre del sistema de la estación base como “Estación base UHF”, se trató de obtener los datos reales del sistema para una correcta obtención de resultados del enlace. Detallamos ordenadamente el sistema de la estación con sus características como: potencia del transmisor, umbral del receptor, pérdidas en la línea, el tipo de antena, la ganancia y altura de la antena. Tal y como se indica en la **Figura 27**.

**Figura 27**

*Parámetros técnicos de operación de la estación base*

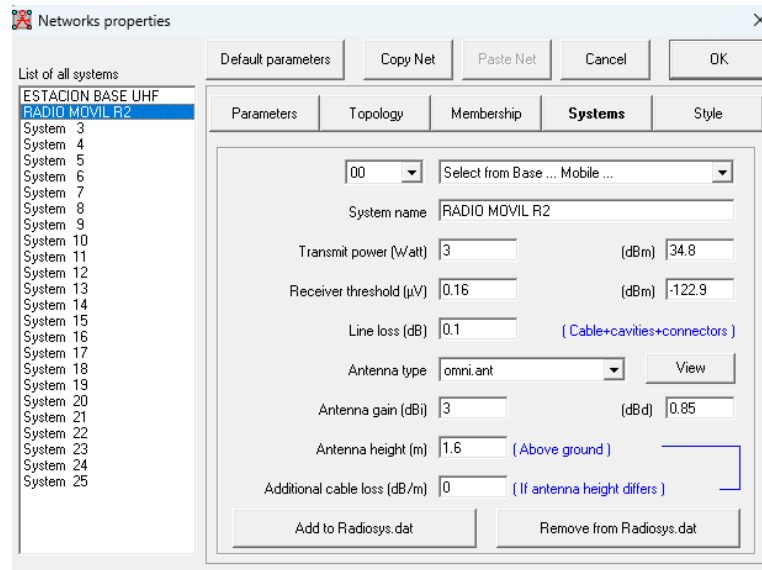


Fuente: Elaboración propia

Repetimos el mismo proceso en el ítem “Sistema”. Configuramos los parámetros técnicos en los equipos móviles, el cual denominaremos “Radio Movil R2” en la simulación. Se puede observar en la **Figura 28**.

**Figura 28**

*Parámetros técnicos de operación del radio móvil R2*

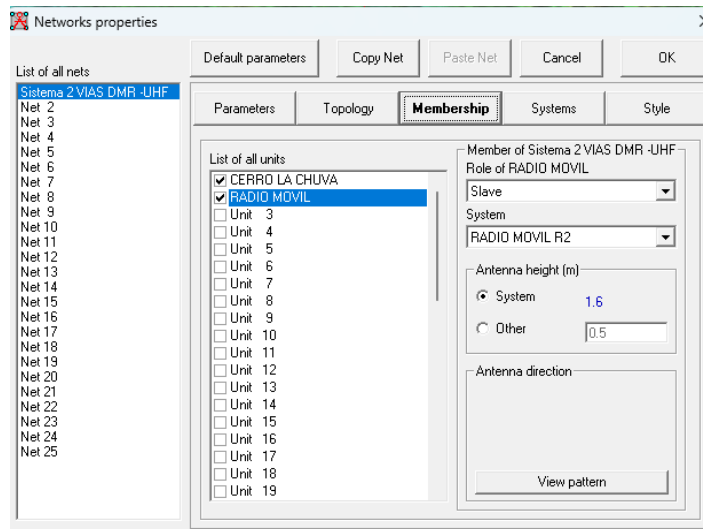


Fuente: Elaboración propia

En el siguiente paso, destinamos los equipos involucrados como miembros del enlace, especificamos a quien corresponda los MÁSTER y los SLAVES. Se puede apreciar en la **Figura 29**.

**Figura 29**

*Se definió los papeles de los equipos involucrados en el sistema*

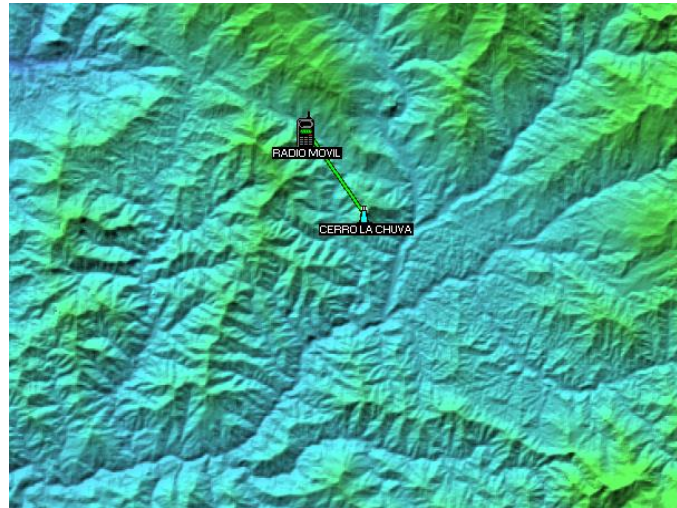


Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la **Figura 30** se puede apreciar la simulación del radioenlace de color naranja, obteniendo resultados positivos y factibles del sistema.

**Figura 30**

*Enlace simulado con los dos equipos ingresados en el programa*

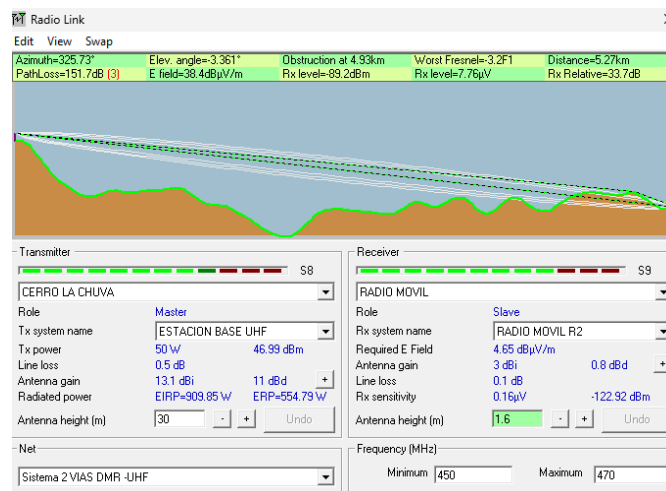


Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en la **Figura 31**, se logra visualizar la no presencia de obstáculos que ocasionen la interferencia en la recepción de la señal.

**Figura 31**

*Datos técnicos obtenidos en la simulación de programa radio mobile<sup>1</sup>*

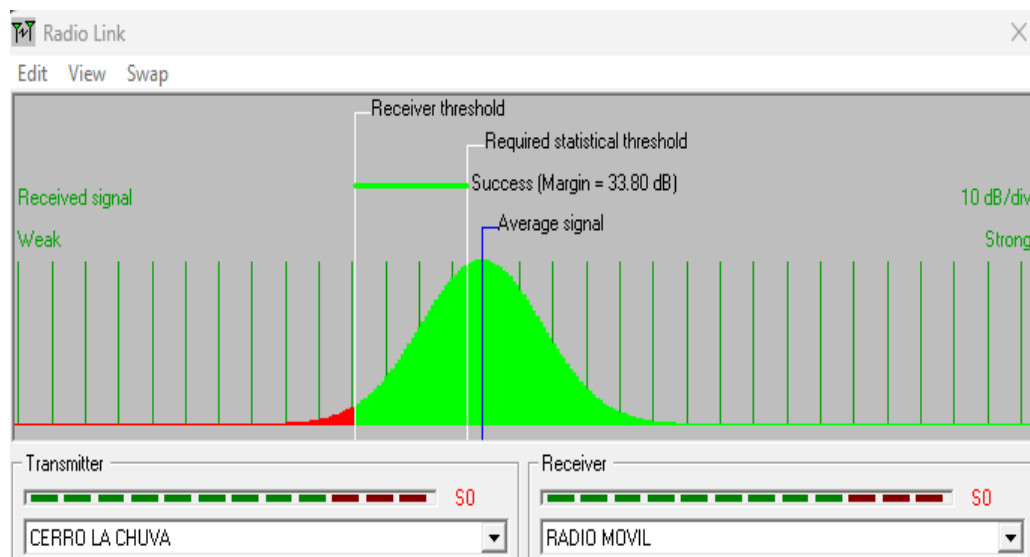


Fuente: Elaboración propia

A continuación, se escogió la opción “Distribución” de la pestaña View y con ello se obtuvo la **Figura 32**, en la cual se observa la distribución del enlace de bajada y el margen de ganancia de 33.80 (dB) con la característica “Success”, comprobando que la recepción de señal es buena.

**Figura 32**

*Gráfica de la distribución de la señal en el sistema*



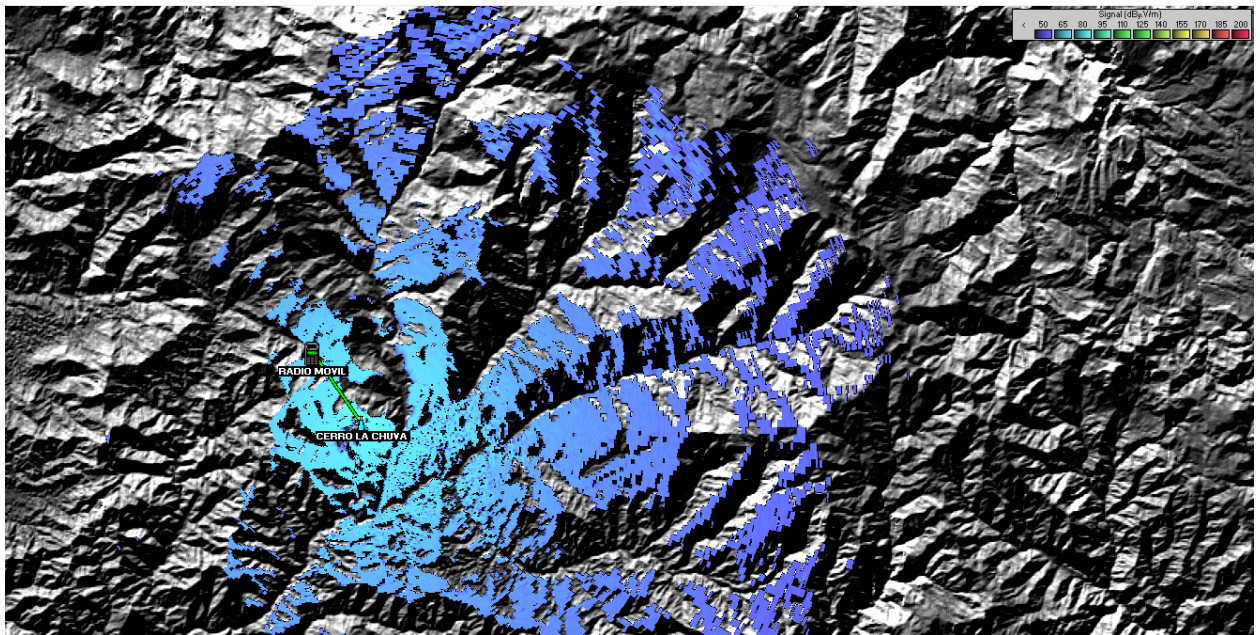
Fuente: Elaboración propia

#### **4.1.1. Cálculo de cobertura**

En la **Figura 33**, observamos la zona de cobertura colorida y remarcada del sistema, garantiza la transmisión y recepción de la señal sin interferencias.

**Figura 33**

*Gráfica del campo de cobertura del sistema simulado*



Fuente: Elaboración propia

## CONCLUSIONES

Dentro del diseño de la red, es indispensable la selección de los equipos y sus parámetros técnicos que mejor se adapten a la necesidad del proyecto. Por eso los equipos de la marca Motorola, debido a su costo y disponibilidad en la web, cumplen con los requisitos.

Los sistemas de radiofrecuencia son muy utilizados para conectar lugares que son de difícil acceso, ideal para cumplir y solucionar la necesidad planteada en este proyecto

Se puede concluir que uno de los parámetros indispensable a seleccionar en Radio Mobile es el tipo de zona climática. La ciudad de Piñas cuenta con un clima templado y frío, por lo que se debe escoger en el software la opción de templado continental

Se comprueba que el rango de seguridad que este radioenlace con el estándar DMR ofrece una alta calidad con respecto a una comunicación análoga, ya que posee diferentes tipos de encriptación.

Se pudo concluir durante la simulación, que en el caso del campo eléctrico de cobertura generado en el radioenlace, dependía en cierta parte de las alturas que se configuraba para la estación base y los equipos móviles del usuario

Se pudo comprobar la eficiencia de rendimiento al implementar un sistema de energía fotovoltaica en lugar del sistema eléctrica, con impactos positivos y no contaminantes al ambiente durante su funcionamiento



## **RECOMENDACIONES**

Es fundamental la constante capacitación, entrenamiento y revisión de los manuales de información en las instalaciones de los equipos, siendo específicos de la marca MOTOROLA y usando la tecnología DMR Elaborar el estudio del área de cobertura para que no haya atenuantes en la señal

Se recomienda gestionar de primera mano los permisos de funcionamiento en el alquiler de frecuencias y así, evitar inconvenientes con ARCOTEL

Se recomienda el uso de equipos de protección para cualquier tipo de instalación en el campo y poder evitar cualquier tipo de accidentes, y hacer uso de la red sin contratiempos.

Se recomienda cuando se haga la simulación en Radio Mobile, se utilice la opción de “Radio Link” con el ítem “Distribución” como se observa en la Figura 32. ya que permite de manera simple, verificar si el radio enlace es aceptable con la palabra “Success” o de mala recepción de señal por medio de la palabra “Failure”.

## REFERENCIAS

- 360, r. s. (01 de 01 de 2024). *Aplicaciones Innovadoras de Sistemas de Radio DMR en el Transporte: Mejora de la Comunicación y la Seguridad*. Obtenido de revistas seguridad 360: <https://revistaseguridad360.com/noticias/comunicaciones/aplicaciones-innovadoras-de-sistemas-de-radio-dmr-en-el-transporte-mejora-de-la-comunicacion-y-la-seguridad/>
- Acevedo, J. C., & Gomez, E. A. (oCTUBRE de 2014). Principios básicos del funcionamiento de. Bogota, Colombia.
- Aguilera, J. V., Gonzaga, K. A., & Ruiz, J. F. (2013). *Análisis técnico de las radiaciones electromagnéticas emitidas por las antenas de las radiobases celulares en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil: Universidad politécnica salesiana.
- Austin, A. (23 de Julio de 2024). *InSight Crime*. Obtenido de InSight Crime: <https://insightcrime.org/es/noticias/mientras-aumenta-presion-gobierno-las-pandillas-ecuatorianas-buscan-oro/>
- Carlos, C. C. (2008). *Radiocomunicación*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- Carlos, C. C. (2008). *Radiocomunicación*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN S.A.
- DMR. (2009). *Informe técnico sobre los beneficios de DMR* . Obtenido de DMR: [https://mercurybcn.es/wp-content/uploads/2015/06/Beneficios-DMR\\_DMR-Association.pdf](https://mercurybcn.es/wp-content/uploads/2015/06/Beneficios-DMR_DMR-Association.pdf)
- Fuentes, j. j. (2012). *fundamentos de radiacin y radiocomunicación*. sevilla: universidad de Sevilla.
- Fuentes, J. J. (2012). *Fundamentos de Radiación y Radiocomunicación*. Sevilla: Universidad de Sevilla.

- K., C., Mediavilla, A., Tribak , A., & Marante, F. (2012). *Diseño de un duplexor de gran ancho de banda en tecnología de guía de onda para aplicaciones de satélite*. Arica-Chile: Revista chilena de ingeniería.
- Lopez, A. C. (2015). *Línea de investigación: la enseñanza de la física y la relación*. bogota: universidad pedagógica de Colombia.
- Manuel, H. J. (2013). *Antenas de telecomunicaciones*. España: Centro español de derechos reprográficos.
- Michelle, R. (28 de Febrero de 2024). *¿Cómo funcionan las ondas electromagnéticas?* Obtenido de ITESO, Universidad Jesuita de Guadalajara: [https://saber.iteso.mx/en/web/general/detalle?group\\_id=4474655](https://saber.iteso.mx/en/web/general/detalle?group_id=4474655)
- MONSALVO, K. R. (2009). *RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA*. BUCARAMANGA: UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA BUCARAMANGA.
- MONSALVO, K. R. (2009). *RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA*. BUCARAMANGA: UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.
- MOTOROLA. (2006). *Tecnología digital: el futuro del radio profesional de dos vías*. Obtenido de MOTOROLA: [https://www.motorolasolutions.com/content/dam/msi/docs/business/product\\_lines/mototrbo/mobiles/\\_documents/spanish/staticfiles/mototrbo\\_el\\_futuro\\_del\\_radio\\_profesional.pdf](https://www.motorolasolutions.com/content/dam/msi/docs/business/product_lines/mototrbo/mobiles/_documents/spanish/staticfiles/mototrbo_el_futuro_del_radio_profesional.pdf)
- Navarro, A. P. (2011). *Ondas Electromagneticas: Ecuaciones de Maxwell y ondas electromagneticas*. Cataluña: Universidad Abierta de Cataluña.
- Ordoñez, J. L. (2017). *Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico*.
- Pascual, J., Molina, J. M., & Juan, L. (2014). *Sistema de Comunicaciones Móviles*. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

- Ramiro, S. Y. (2022). *COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UNA ANTENA DIPOLO DE MEDIA ONDA EN LA BANDA DE 26 GHz*. QUITO: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .
- Wayne, T. (2003). *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Naucalpan de Juarez: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- Wayne, T. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. MEXICO: Pearson Educación de México.
- WIMO. (1982). *WIMO*. Obtenido de WIMO: <https://www.wimo.com/es/dmr-digital-mobile-radio?srsltid=AfmBOoqom3rM1YS-7KSuVngkFuTNm7HgACojWx4tQM44Dg3Py1ykFK9u>
- Yáñez, A. L. (2013). *Los derechos de uso comercializables de frecuencias del espectro radioeléctrico*. QUITO: Corporación Editora Nacional.

**ANEXOS**

FORMULARIOS PARA EL REGISTRO DE ASIGNACIÓN DE FRECUENCIAS DE  
ARCOTEL

Código: FO-CTDE-11	SOLICITUD PARA LA ADMINISTRACIÓN DE TÍTULOS HABILITANTES DE RED PRIVADA Y FRECUENCIAS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO	AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LAS TELECOMUNICACIONES
Versión: 1.0		

**Fecha:** 11 de diciembre de 2024

**No. Oficio:**

Mgs. Jorge Hoyos Zavala  
DIRECTOR EJECUTIVO  
ARCOTEL  
Presente.-

De mi consideración:

Por medio del presente, conforme a los requisitos establecidos en el Reglamento para Otorgar Títulos Habilitantes para Servicios del Régimen General de Telecomunicaciones y Frecuencias del Espectro Radioeléctrico me permito solicitarle:

1. DATOS GENERALES:	
TIPO DE SOLICITANTE:	Persona Jurídica
NOMBRES Y APELLIDOS DEL REP. LEGAL:	JORGE ANDRES CÓRDOVA SERRANO
CÉDULA DE CUIDADANÍA	0703845743
N° RUC:	0790084829001
N°. DE TOMO DEL TÍTULO HABILITANTE:	178
N°. DE FOJA DEL TÍTULO HABILITANTE:	17877
FECHA DE INSCRIPCIÓN DEL TÍTULO HABILITANTE:	9/12/2024
RAZÓN SOCIAL O DENOMINACIÓN OBJETIVA:	BANTRO, BANANO TROPICAL S.A.
CARGO DEL REPRESENTANTE LEGAL:	GERENTE
FECHA DEL NOMBRAMIENTO DEL REP. LEGAL:	4/10/2023
SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIÓN	
	Radio de dos vías HF / VHF / UHF
	* Radio de dos vías HF / VHF / UHF
	- Incremento de frecuencias
3. INFORMACIÓN PARA NOTIFICACIONES:	
PROVINCIA:	EL ORO
CANTÓN:	MACHALA
PARROQUIA RURAL O CABECERA CANTONAL	MACHALA
BARRIO O RECINTO:	
CALLE PRINCIPAL:	25 DE JUNIO 520 ENTRE SANTA ROSA Y VELA
CALLE SECUNDARIA:	
OTRAS REFERENCIAS:	A DOSCIENTOS METROS DE PACIFICTEL
N° TELÉFONO FIJO:	072930919 - 2931137 - 072937084
N°. TELÉFONO MÓVIL:	0997850898
CORREO ELECTRÓNICO 1:	<a href="mailto:cont-ausursa@obsa.com.ec">cont-ausursa@obsa.com.ec</a>
CORREO ELECTRÓNICO 2:	<a href="mailto:astelcom_24@hotmail.com">astelcom_24@hotmail.com</a>
4. DATOS DEL PERSONAL TÉCNICO RESPONSABLE DEL PROYECTO:	
NOMBRES Y APELLIDOS:	MARIA LUZMILA RUILOVA AGUIRRE
CÉDULA DE CUIDADANÍA	0909776072
N° REGISTRO PROFESIONAL:	1021-02-318291

N°. TELÉFONO MÓVIL:	0993998351
CORREO ELECTRÓNICO 1:	<a href="mailto:luzmilarulova@hotmail.com">luzmilarulova@hotmail.com</a>

**5. ACEPTACIÓN:**

Acepto y ratifico que estoy de acuerdo en recibir cualquier comunicación que me notifique la ARCOTEL, a través del correo electrónico que dejo señalado en el presente documento, ó de ser el caso, en la dirección física que también consigno.

ligos para CTDE: / ARCOTEL-016-03-05

<p>_____</p> <p>FIRMA DEL PETICIONARIO(A) O REPRESENTANTE LEGAL</p>
---------------------------------------------------------------------

*\* En caso que la solicitud no sea firmada por el Representante Legal se debe adjuntar el poder que faculte al signatario para realizar este trámite.*

*\*\* Recuerde que para que su solicitud sea procesada debe estar al día en los pago con la ARCOTEL.*

Códigos para CTDE: / ARCOTEL-  
016-03-05

Códigos para CTDE: / ARCOTEL-016-03-05

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

En aplicación del numeral 3 del Artículo 141 del Reglamento para Otorgar Títulos Habilitantes para Servicio del Régimen General de Telecomunicaciones y Frecuencias del Espectro Radioeléctrico.

Yo, Jorge Andrés Córdova Serrano portador de la cédula de identidad No. 0703845743, a nombre y representación de la empresa BANTRO, BANANO TROPICAL S.A. con RUC. 0790084829001, **DECLARO**: Que el punto declarado en el formulario de "INFORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE RADIOCOMUNICACIONES" (FO-DRE-001) donde estarán ubicadas las estaciones Repetidoras de la red privada, se encuentra bajo mi responsabilidad.

El punto o sitio donde se instalarán las estaciones Repetidoras, es de **arriendo a favor de mi representada**, tal como se detalla a continuación en la tabla y conforme los justificativos adjuntos a la presente declaración:

CODIGO DE ESTRUCTURA	UBICACION				SITUACION
	PROVINCIA	CANTON	PARROQUIA	LOCALIDAD(DIRECCION)	
S1	EL ORO	EL GUABO	RIO BONITO	CERRO GUIRILLIO	SITIO ARRENDADO

Fecha: 11 de diciembre de 2024

Jorge Andrés Córdova Serrano  
**GERENTE**



## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

En aplicación del numeral 5 del Artículo 141 del Reglamento para Otorgar Títulos Habilitantes para Servicio del Régimen General de Telecomunicaciones y Frecuencias del Espectro Radioeléctrico.

Yo, Jorge Andrés Córdova Serrano portador de la cédula de identidad No. 0703845743, a nombre y representación de la empresa BANTRO, BANANO TROPICAL S.A. con RUC. 0790084829001, **DECLARO:** que se cumple con los requisitos exigidos por la normativa vigente, para la obtención del título habilitante y para la ejecución del mismo, así como también que la información y documentos que presenta, son verdaderos y que además conoce que de verificarse por la ARCOTEL lo contrario, el trámite y resultado final podrán ser negados.

Fecha: 11 de diciembre de 2024

Jorge Andrés Córdova Serrano  
**GERENTE**

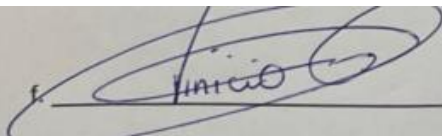
## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Guzmán Jaramillo Vinicio Eduardo**, con C.C: # 0706428265 autor del trabajo de titulación: **Diseño y simulación de un sistema de radiofrecuencia digital DMR MOTOTRBO para una empresa de seguridad ubicada en la ciudad de Piñas perteneciente a la provincia de El Oro** previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 20 de febrero del 2025



Nombre: **Guzmán Jaramillo, Vinicio Eduardo**  
C.C: **0706428265**

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA</b>	<b>Y</b>	Diseño y simulación de un sistema de radiofrecuencia digital DMR MOTOTRBO para una empresa de seguridad ubicada en la ciudad de Piñas perteneciente a la provincia de El Oro.		
<b>SUBTEMA:</b>		Guzmán Jaramillo, Vinicio Eduardo		
<b>AUTOR(ES)</b>		Ing. Medina Moreira Washington Adolfo, PhD. D		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>		Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>INSTITUCIÓN:</b>		Facultad de Educación Técnica para el desarrollo		
<b>FACULTAD:</b>		Ingeniería en Telecomunicaciones		
<b>CARRERA:</b>		Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>		Ingeniero en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	<b>DE</b>	20 de febrero de 2025	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	65 p.
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>		Radiocomunicación, tecnología, programación		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>		DMR, Mototrbo, Diseño, Simulación, Radiomobile, TX/RX, Servidores, Ip, Digital, conectividad, alcance.		
<b>RESUMEN:</b>				
<p>Este trabajo de integración curricular propone la realización de un diseño de un sistema de radiocomunicación y su simulación de factibilidad para una empresa de seguridad privada en la ciudad de piñas, donde se evidencia la y se pretende combatir el tema de inseguridad. Este proyecto se desarrolla mediante el uso de la tecnología DMR, ideales para los sistemas de comunicaciones modernos digitales. Se enfocó el trabajo en la banda UHF ideales para los sistemas MOTOTRBO en la configuración y rendimientos con los equipos de la empresa MOTOROLA. Los sistemas de radio DMR pueden tener el alcance que se quiera, siempre que se instale la infraestructura correcta. Los repetidores DMR pueden esparcir la señal por áreas extensas, pero se pueden generar ciertos "puentes de conectividad" distribuyendo datos entre repetidores por otros medios, como enlaces de microondas o Internet. En este trabajo nos centraremos en una repetidora ubicada en el cerro "La Chuva", que utiliza como fuente la red pública del lugar y un sistema de energía solar de respaldo para solventar la problemática actual del país en el tema de los apagones.</p>				
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	SI	<input type="checkbox"/>	NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>		<b>Teléfono:</b> +593-993044272	E-mail: <a href="mailto:vinicioguzman98@gmail.com">vinicioguzman98@gmail.com</a>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>		<b>Nombre:</b> Ubilla González, Ricardo Xavier		
		<b>Teléfono:</b> +593-999528515		
		<b>E-mail:</b> <a href="mailto:ricardo.ubilla@cu.ucsg.edu.ec">ricardo.ubilla@cu.ucsg.edu.ec</a>		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>				
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>				
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>				
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>				