UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS ELECTRÓNICOS

TEMA:
DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES DIGITAL PARA LA EMPRESA DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. ENTRE IBARRA Y TULCÁN.

AUTORES:
PABLO DAVID MINANGO NEGRETE
FABIÁN ANTONIO VALENZUELA CHAMORRO

TUTOR:
CARLOS AUGUSTO CUICHÁN MORALES

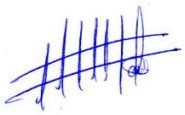
Quito, Enero del 2017

Cesión de derechos de autor

Nosotros Pablo David Minango Negrete y Fabián Antonio Valenzuela Chamorro, cedula de ciudadanía N° 1716042435 y N° 1717348484 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: Diseño de un sistema de comunicaciones digital para la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A entre Ibarra y Tulcán mismo que, ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Nombre: Pablo Minango.
Cédula: 1716042435
Fecha: 10/01/2017



Nombre: Fabián Valenzuela.
Cédula: 1717348484
Fecha: 10/01/2017

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, Diseño de un sistema de comunicaciones digital para la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A entre Ibarra y Tulcán realizado por Pablo David Minango Negrete y Fabián Antonio Valenzuela Chamorro, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Diciembre 2016.

Carlos Augusto Cuichán Morales.
Cédula: 171438972-1

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de tesis a mis queridos padres Marcelo y Silvia por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida universitaria por ser mi fortaleza para continuar adelante, a mi hermano Juan Carlos quien a pesar de la distancia siempre está conmigo dándome consejos y siendo mi ejemplo a seguir.

Pablo David Minango Negrete.

Dedico este trabajo de grado a mis padres, A Grace por haber sido mi mejor maestra en toda mi vida estudiantil por su amor de madre que siempre me ayuda a conseguir mis metas. A Oswaldo por guiarme por el camino de ingeniero electrónico y haber sido mi inspiración para seguir mi profesión. Gracias a los dos, por su amor incondicional que ha hecho que todo sea más fácil.

A mis hermanos quienes siempre han estado junto a mí, A Gabriela y Santiago por ser una guía y un ejemplo a seguir.

A mis amigos, especialmente a Jefferson, José, Pablo, Felipe, Doménica, Sofía y Camila, por escucharme y animarme a seguir adelante. Gracias por apóyame y estar en los malos y buenos momentos.

Fabián Antonio Valenzuela Chamorro.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios y al niño "Rey de Reyes", por las bendiciones recibidas y permitirme concluir una etapa más de vida.

A mis padres Marcelo y Silvia y a mi hermano Juan Carlos por ser las personas más importantes en mi vida y brindarme su apoyo incondicional.

A la familia Valenzuela Chamorro y mi amigo Fabián por brindarme su ayuda en este proceso.

Al Ing. Carlos Cuichan por la oportunidad de efectuar el proyecto bajo su ayuda y tutela.

A DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. por permitirme efectuar este proyecto y brindarnos todas las facilidades para la ejecución del mismo.

A todos mis amigos por la convivencia, amistad y ayuda mutua a lo largo de los años, y un agradecimiento especial a Santiago por ser un gran amigo y a Karina por su cariño y apoyo durante estos años.

Pablo David Minango Negrete.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana por haberme acogido en su plantel y dado una formación profesional, Así como también al Ing. Carlos Cuichán por ser quien colaboro con su conocimiento y experiencia para poder desarrollar esta tesis.
También a todas las personas que de una u otra forma cooperaron para concluir con este trabajo.

Fabián Antonio Valenzuela Chamorro.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1 DESCRIPCIÓN Y ESTADO ACTUAL. 1

1.1 SISTEMAS DE COMUNICACIONES RADIOELÉCTRICOS. 1

1.1.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN VHF. 1

1.1.1.1 Duplexor. 1

1.1.1.2 Repetidor. 2

1.1.1.3 Antena. 2

1.1.2 ESPECTRO RADIOELÉCTRICO. 2

1.1.2.1 Propagación en VHF (Very High Frequency). 3

1.1.2.2 Intensidad de campo radioeléctrico. 3

1.2 SISTEMA MOTOTRBO. 3

1.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA MOTOTRBO. 3

1.2.1.1 Conversión análoga a digital. 4

1.2.1.2 Corrección adelantada de errores y codificación de voz. 5

1.2.1.3 Empaquetado. 5

1.2.1.4 Transmisión por medio de técnicas de acceso al medio. 5

1.3 ESTADO ACTUAL DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN VHF DE LA EMPRESA DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. 6

1.3.1. RED DE RADIOCOMUNICACIONES DE DATARADIO. 6

1.3.2. RED PICHINCHA - CARCHI. 7

1.3.2.1 Circuito Pichincha. 9

1.3.2.2 Circuito Imbabura. 9

1.3.2.3 Circuito Carchi. 10

1.3.2 SISTEMA DE COMUNICACIÓN VHF IMBABURA "ESTACIÓN PALTA RUMI" 11

1.3.3 SISTEMA DE COMUNICACIÓN VHF CARCHI "ESTACIÓN TROYA". 13

1.4 REQUERIMIENTOS PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN VHF DIGITAL PARA DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. 15

1.5 DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN VHF DE LA EMPRESA DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. 16

1.6 OBJETIVOS. 17

1.6.1 OBJETIVO GENERAL: 17

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS: 17

CAPÍTULO 2 DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN 19

2.1 PLANIFICACIÓN DEL NUEVO SISTEMA. 19
2.1.1 SIMULACIÓN DEL ENLACE EN LINKPLANNER 4.4.0 ENTRE PALTA RUMI Y TROYA. 20
2.1.1.1 Creación de un nuevo proyecto en LINKPlanner 4.4.0. 20
2.1.1.2 Ingreso de una nueva estación PTP en LINKPlanner 4.4.0. 21
2.1.1.3 Ingreso de parámetros generales de las antenas PTP 500. 23
2.1.1.5 Verificacion del enlace entre el cerro Palta Rumi y Troya. 24
2.1.1.6 Perfil del enlace entre el cerro Palta Rumi y Troya en LINKPlanner 4.4.0. 25
2.1.1.7 Configuración para cada parte del sistema en LINKPlanner 4.4.0. ... 26
2.1.1.8 Disponibilidad del sistema PALTA RUMI to TROYA en LINKPlanner 4.4.0. 27
2.1.1.9 Detalles del sistema PALTA RUMI to TROYA en LINKPlanner 4.4.0. 27
2.1.2 SIMULACIÓN DE LA COBERTURA EN ICS TELECOM ENTRE PALTA RUMI Y TROYA. 29
2.1.2.1 Ingreso de parámetros de cada estación de comunicación. 29
2.1.2.2 Creación e ingreso de coordenadas de cada estación de comunicación. 30
2.1.2.3 Ingreso de parámetros generales de cada estación de comunicación. 31
2.1.2.4 Ingreso del patrón de radiación de la antena Andrew DB224E en la estación Palta Rumi. 32
2.1.2.5 Ingreso del patrón de radiación de la antena Yagi-Uda en la estación Troya. 34
2.1.2.6 Cálculo de cobertura. 35
2.1.2.6.1 Parámetros generales de cobertura. 35
2.1.2.6.2 Paleta de colores de acuerdo al umbral máximo. 35
2.1.2.6.3 Modelo de Propagación 36
2.1.2.6.4 Simulación de Cobertura Cerro Palta Rumi y Cerro Troya. 37
CAPÍTULO 3 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN. 38
3.1 IMPLEMENTACIÓN DE UN NUEVO SISTEMA CONTRA SOBRECARGAS PARA EL CERRO PALTA RUMI Y TROYA. 38

3.2 SISTEMA DE COMUNICACIÓN VHF IMBABURA "ESTACIÓN PALTA RUMI" 38
3.2.1 INSTALACIÓN DEL ENLACE PTP54500 SERIES DE CAMBIUM NETWORKS. 39
3.2.1.1 Configuración del direccionamiento IP. 39
3.2.1.2 Configuración del Sistema. 39
3.2.2 ARMADO DEL ENLACE PTP54500 Y COLOCACIÓN EN LA TORRE DE COMUNICACIÓN. 41
3.2.2.1 ODU: "Outdoor unit". 41
3.2.2.2 LPU: "Lightning Protection Unit". 42
3.2.2.3 PIDU Plus: "Powered Indoor Unit". 42
3.2.2.4 Verificación de funcionamiento del enlace PTP54500. 43
3.2.3 INSTALACIÓN DE LA REPETIDORA DIGITAL MOTOROLA MOTOTRBO DGR 6175. 43
3.2.4 INVENTARIO DE LOS NUEVOS EQUIPOS INSTALADOS EN CERRO PALTA RUMI. 45
3.3 SISTEMA DE COMUNICACIÓN VHF CARCHI "ESTACIÓN TROYA". 45
3.3.1 INSTALACIÓN DEL ENLACE PTP54500 SERIES DE CAMBIUM NETWORKS. 45
3.3.1.1 Configuración del direccionamiento IP. 46
3.3.1.2 Configuración del Sistema. 46
3.3.1.3 Armado del enlace PTP54500 y colocación en la torre de comunicación. 47
3.3.1.4 Calibración del enlace PTP54500. 48
3.3.1.5 Verificación de funcionamiento del enlace PTP54500. 48
3.3.2 INSTALACIÓN DEL REPETIDOR DIGITAL MOTOROLA MOTOTRBO DGR 6175. 50
3.3.3 INSTALACIÓN DEL DUPLEXOR SINCLAIR Q3330E. 51
3.3.4 FABRICACIÓN E INSTALACIÓN DE ANTENA YAGI-UDA. 51
3.3.5 INVENTARIO DE LOS NUEVOS EQUIPOS INSTALADOS EN CERRO TROYA. 52
CAPÍTULO 4 RESULTADOS DE LA IMPLEMETACION. 54
4.1 OBTENCIÓN DE DATOS DEL ENLACE MICROONDAS PTP 54500 EN PALTA RUMI Y TROYA. 54
4.1.1 ANÁLISIS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN EL ENLACE MICROONDAS PTP 54500 EN PALTA RUMI. 55
4.1.2 ANÁLISIS DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN EL ENLACE MICROONDAS PTP 54500 EN TROYA. 56

4.1.3 ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL ENLACE MICROONDAS PTP 54500 ENTRE PALTA RUMI Y TROYA. 57

4.2 INSPECCIÓN DE CAMPO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN VHF IMPLEMENTADO EN PALTA RUMI Y TROYA. 58

4.2.1 MOTOTRBO SITE SURVEY 58

4.2.1.1 Parámetros para la creación de un nuevo fichero en MOTOTRBO Site Survey. 58

4.2.1.2 Configuración del programa MOTOTRBO Site Survey. 59

4.2.4 NIVELES RSSI OBTENIDOS POR MOTOTRBO SITE SURVEY. 60

4.2.4.1 Niveles RSSI obtenidos en las provincias de Imbabura y Carchi. 60

4.2.4.2 Rendimiento de las estaciones Palta Rumi y Troya. 61

4.3 MONITOREO UNIFICADO DE INFRAESTRUCTURA DE LA EMPRESA DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. 62

4.3.1 IPSWITCH WHATSUP GOLD. 62

4.3.1.1 Creación de un nuevo grupo de monitorización en WhatsUp Gold... 62

4.4 DIAGNOSTICO Y CONTROL DE REPETIDORAS MOTOTRBO MEDIANTE RDAC. 65

CONCLUSIONES 66

RECOMENDACIONES 68

LISTA DE REFERENCIAS 70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Banda del espectro radioeléctrico para ondas de radio y televisión. 2
Figura 1.2. Tecnología de radio digital MOTOTRBO. 4
Figura 1.3. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) y Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA). 6
Figura 1.4. Diagrama de las estaciones repetidoras en el enlace entre las provincias de Pichincha y Carchi. 8
Figura 1.5. Circuito Pichincha. 9
Figura 1.6. Circuito Imbabura. 10
Figura 1.7. Circuito Carchi. 11
Figura 1.8. Diagrama de las estaciones repetidoras en el enlace entre las ciudades de Ibarra y Tulcán. 11
Figura 1.9. Esquema del nodo Palta Rumi. 13
Figura 1.10. Esquema del nodo Troya. 15
Figura 2.1.Nuevo proyecto en LINKPlanner 4.4.0. 20
Figura 2.2. Sitio de red PTP en LINKPlanner 4.4.0. 20
Figura 2.3. Nueva ubicación añadida en LINKPlanner 4.4.0. 21
Figura 2.4. (a) Coordenadas de Palta Rumi, (b) Coordenadas de Troya. 22
Figura 2.5. Sitios de red vinculados. 22
Figura 2.6. Sitios de red vinculados en LINKPlanner 4.4.0. 23
Figura 2.7. Parámetros de configuración ingresados. 24
Figura 2.8. Enlace en LINKPlanner 4.4.0. 25
Figura 2.9. Perfil del enlace. 25
Figura 2.10. Ingreso de la altura del enlace a 12 metros en LINKPlanner 4.4.0. 26
Figura 2.11. Simulación del rendimiento del sistema a 12 metros en LINKPlanner 4.4.0. 26
Figura 2.12 Rendimiento de la instalación a 9 metros en LINKPlanner 4.4.0. 27
Figura 2.13. Rendimiento de la instalación a 12 metros en LINKPlanner 4.4.0. 28
Figura 2.14. Ingreso de Coordenadas (a) Estación Palta Rumi, (b) Estación Troya. . 31
Figura 2.15. Ingreso de parámetros de cada una de las estaciones repetidoras. 32
Figura 2.16. (a) Patrón de radiación de la Antena Andrew DB224E, (b) Exportar patrones de radiación vertical y horizontal hacia ICS Telecom. 33
Figura 2.17. Patrón de radiación horizontal y vertical de la Antena Andrew DB224E. 34

Figura 2.18. Selección del patrón de radiación de la Antena Yagi-Uda ubicada en Troya. 34
Figura 2.19. Selección de los parámetros generales de cobertura para las dos estaciones. 35
Figura 2.20. Ingreso de valores de umbral para cada uno de los colores. 36
Figura 2.21. Selección del Modelo de Propagación. 37
Figura 3.1. Puesta a tierra mediante varilla Copperweld para el sistema de comunicación digital en la estación Palta Rumi y Troya. 38
Figura 3.2. Resumen de la instalación del sistema para el enlace PTP54500 ubicado en cerro Palta Rumi. 40
Figura 3.3. Instalación de ODU en la torre de comunicación. 41
Figura 3.4. Interfaces de la ODU. 41
Figura 3.5. Instalación de la unidad de protección contra rayos LPU. 42
Figura 3.6. PIDU Plus: “Powered Indoor Unit”. 42
Figura 3.7. Estado del sistema Master. 43
Figura 3.8. Resumen de la instalación del sistema para el enlace PTP54500 ubicado en cerro Troya. 47
Figura 3.9. Calibración del enlace PTP54500 ubicado en cerro Troya. 48
Figura 3.10. Estado del sistema Slave. 49
Figura 3.11. Esquema de calibración del Duplexor Sinclair Q3330E. 51
Figura 4.1. Espectro radioeléctrico obtenido del PTP54500 ubicado en cerro Palta Rumi. 56
Figura 4.2. Espectro radioeléctrico obtenido del PTP54500 ubicado en cerro Troya. 56
Figura 4.3. Modulación obtenida en el cerro Palta Rumi y Troya. 57
Figura 4.4. Campos para la creación de un nuevo fichero en MOTOTRBO Site Survey. 59
Figura 4.5. Selección de configuración en MOTOTRBO Site Survey. 59
Figura 4.6. Niveles RSSI. 59
Figura 4.7. Valores obtenidos en el trayecto Panamericana Norte. 61
Figura 4.8. Rangos de niveles de RSSI obtenidos entre Palta Rumi y Troya. 62
Figura 4.9. Nuevo grupo en WhatsUp Gold. 63
Figura 4.10. Nuevo dispositivo en WhatsUp Gold. 63
Figura 4.11. Propiedades del router en WhatsUp Gold. 64

Figura 4.12. Código de colores para verificar el estado del sistema en WhatsUp Gold. 65
Figura 4.13. Repetidores MOTOTRBO configuras en RDAC. 65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Ubicación de cada una de las estaciones en el enlace Pichincha-Carchi. ... 8
Tabla 1.2. Equipos ubicados en el Cerro Palta Rumi. ... 12
Tabla 1.3. Equipos ubicados en el Cerro Troya. ... 14
Tabla 2.1. Coordenadas decimales de las estaciones repetidoras. ... 21
Tabla 2.2. Características del equipamiento del sistema PALTA RUMI to TROYA. ... 23
Tabla 2.3. Rendimiento del sistema PALTA RUMI to TROYA en LINKPlanner 4.4.0. ... 27
Tabla 2.4. Resultados obtenidos en las pruebas efectuadas con el software LINKPlanner 4.4.0. ... 29
Tabla 2.5. Información técnica del Cerro Palta Rumi de uso de frecuencias del espectro radioeléctrico. ... 30
Tabla 2.6. Información técnica del Cerro Palta Rumi de uso de frecuencias del espectro radioeléctrico. ... 30
Tabla 3.1. Direccionamiento IP para el enlace PTP54500 ubicado en cerro Palta Rumi. ... 39
Tabla 3.2. Frecuencias asignadas por ARCOTEL al cerro Palta Rumi. ... 44
Tabla 3.3. Especificaciones técnicas del repetidor MOTOTRBO DGR 6175. ... 44
Tabla 3.4. Equipos ubicados en el Cerro Palta Rumi. ... 45
Tabla 3.5. Direccionamiento IP para el enlace PTP54500 ubicado en cerro Troya. . 46
Tabla 3.6. Parámetros del enlace subido entre Palta Rumi y Troya. ... 50
Tabla 3.7. Frecuencias asignadas por ARCOTEL al cerro Troya. ... 50
Tabla 3.8. Calibración antena Yagi-Uda para el cerro Troya a frecuencia de 160.0875 [MHz]. ... 52
Tabla 3.9. Equipos ubicados en el Cerro Troya. ... 53
Tabla 4.1. Umbral del ancho de banda 15MHz modo IP para el PTP54500. ... 55
Tabla 4.2. Estados de los canales representados en la gestión de espectro. ... 55
Tabla 4.3. Comparativa entre los diferentes datos obtenidos en el enlace Palta Rumi y Troya. ... 57
Tabla 4.4. Escala y el tipo de señal de los niveles de RSSI. ... 60

RESUMEN

El uso del espectro radioeléctrico en la banda de frecuencia VHF, permite disponibilidad con un tiempo mínimo de interrupciones imperceptibles, colocando los parámetros adecuados, además de una amplia área de cobertura del sistema de comunicación, viéndose limitadas por las características geográficas del terreno, la migración del sistema análogo a digital, permite el aumento en la capacidad de usuarios, confiabilidad, seguridad, disponibilidad, etc. La empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A, en la actualidad ofrece un sistema de radiocomunicación prestado a través de ondas de radio, que se efectúa mediante el espectro radioeléctrico, por medio de dispositivos de radio de comunicación de dos vías denominado sistema comunal de explotación de radiocomunicación móvil terrestre en las frecuencias VHF, este servicio conlleva la transmisión, la recepción o la emisión de ondas radioeléctricas con propósitos específicos en las telecomunicaciones, la empresa requiere una migración de su sistema de comunicación VHF análogo a digital en la parte norte del país, en las provincias de Imbabura y Carchi, lo cual permitirá brindar u ofrecer un mejor servicio de dicho sistema.

El presente proyecto propone realizar la migración del sistema análogo a digital de los sistemas comunales de explotación de radiocomunicación móvil terrestre en el rango de frecuencia VHF, tomando en cuenta las frecuencias previstas y otorgadas por la ARCOTEL, la implementación del sistema de comunicación se efectuará para el cerro Palta Rumi como para el cerro Troya, tomando en cuenta las configuraciones efectuadas en las antenas de enlace microonda instaladas, como las de cobertura, además la instalación de los nuevos repetidores de la marca Motorola DGR 6175.

ABSTRACT

The use of the radio spectrum in the VHF frequency band allows availability with a minimum time of imperceptible interruptions, placing the appropriate parameters, in addition to a wide area of coverage of the communication system, being limited by the geographical characteristics of the land, migration of the analogue to digital system, allows the increase in user capacity, reliability, security, availability, etc. The company DATARADIO TELECOMUNICACIONES CA currently offers a radio system provided by radio waves, which is carried out through the radio spectrum, through two-way radio communication devices known as terrestrial mobile radio communication system in VHF frequencies, this service involves the transmission, reception or emission of radio waves with specific purposes in telecommunications, the company requires a migration of its VHF analogue to digital communication system in the northern part of the country, in the provinces of Imbabura and Carchi, which will allow to offer a better service of this system.

The present project proposes to carry out the migration of the analogue-to-digital system of the communal terrestrial mobile radio communication systems in the VHF frequency range, taking into account the frequencies planned and granted by ARCOTEL, the implementation of the communication system will be carried out for the Palta Rumi hill and the Troya hill, taking into account the configurations made in the installed microwave antennas, such as the coverage, and the installation of the new Motorola DGR 6175 repeaters.

INTRODUCCIÓN

La empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A, en la actualidad requiere una migración del sistema comunal de explotación de radiocomunicación móvil terrestre en el rango de frecuencia VHF análogo a digital, lo que permite el aumento de usuarios, generando confiabilidad, seguridad y disponibilidad durante un tiempo prolongado del sistema, el mismo provee la comunicación a través de ondas de radio, además de una amplia área de cobertura del sistema de comunicación, viéndose limitadas por las características geográficas del terreno, la migración se efectúa en la parte norte del país, en las provincias de Imbabura y Carchi.

La modernización o actualización permite a los usuarios contar con un servicio de mayor calidad como son: la transmisión de voz y datos, lo que permitirá obtener los servicios de mensajería de texto "SMS", sistema de rastreo mediante "GPS", llamadas en grupo, llamadas privadas y un aumento en el número de canales.

La empresa requiere una inversión para los equipos nuevos los mismos que fomentan la migración del sistema análogo a digital, asimismo se debe efectuar procesos de capacitación con respecto a la nueva tecnología implementada.

La migración del sistema análogo a digital es una necesidad inherente que la empresa requiere para estar a la vanguardia en la era digital, permitiendo la utilización eficaz y eficiente del espectro electromagnético agregando valor mediante la inclusión de servicios.

El presente proyecto propone realizar la migración del sistema análogo a digital, a través de un esquema capitular donde, en el capítulo 1, se hace una breve descripción sobre las características de los sistemas comunales de explotación de radiocomunicación móvil terrestre en los rangos de frecuencia VHF análogos y digitales, también se detalla el estado actual del sistema de comunicación de DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

El segundo capítulo detalla el proceso para efectuar el diseño del sistema de comunicación VHF digital de la empresa, se especifican los requerimientos de migración del sistema otorgados por la empresa, a su vez se detalla la simulación de

los cerros Palta Rumi y Troya tomando en cuenta las frecuencias previstas y otorgadas por la ARCOTEL.

El tercer capítulo presenta la implementación del sistema de comunicación VHF digital detallando los nuevos equipos instalados en cada uno de los cerros donde se posee las casetas de comunicación tanto para el cerro Palta Rumi como para el cerro Troya, se toma en cuenta las configuraciones efectuadas en las antenas de enlace microonda instaladas, como las de cobertura, además la instalación de los nuevos repetidores de la marca Motorola DGR 6175.

El cuarto capítulo describe un análisis de los valores obtenidos en la implementación del sistema de comunicación VHF digital estos valores se comparan versus los valores obtenidos en la simulación, pruebas de intensidad de campo, también se detallan los programas de monitoreo que DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A requiere para cada estación, obteniéndose como principal resultado un sistema cuya cubertura abarca más del 97.256% de zonas con un nivel mayor del umbral requerido.

Finalmente se detallan las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo del desarrollo del trabajo de titulación.

CAPÍTULO 1
DESCRIPCIÓN Y ESTADO ACTUAL

DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A actualmente se encuentra operando en un sistema de comunicación VHF análogo entre las ciudades de Ibarra y Tulcán, la empresa se ha planteado migrar el sistema de comunicación análogo a digital por lo cual es preciso realizar estudios de ingeniería dentro del área de cobertura, tomando en cuenta la observación y geolocalización de nuevas repetidoras que cumplan con los niveles de intensidad de campo [dBμV/m][1] de señal que se requiere para trabajar en modo digital definidos por el organismo de regulación y control de las telecomunicaciones ARCOTEL[2].

1.1 Sistemas De Comunicaciones Radioeléctricos

Son transmisiones de señales a través del espacio que mediante ondas electromagnéticas u ondas hertzianas[3], se encuentran determinadas por movimientos en el campo eléctrico, así como en el magnético las cuales sin que exista conexión física entre transmisor y receptor se propagan en el aire o en el vacío del espectro radioeléctrico caracterizándose por sus diversas propiedades dependiendo de sus bandas de frecuencias. (Ramírez Luz, 2015).

1.1.1 Componentes de un sistema de comunicación VHF

Para que exista comunicación tanto de trasmisor como de receptor un sistema de comunicación VHF dependerá de varios componentes a los cuales nos referimos a continuación de forma breve:

1.1.1.1 Duplexor

El elemento pasivo permite que la misma antena funcione tanto de transmisor como de receptor en el envío o recepción de información, si el duplexor entra en modo de transmisor este permite el paso de la frecuencia de transmisión y bloquea la frecuencia

[1] Intensidad de campo eléctrico en unidades de dBμV/m (decibelios relacionado a 1 μV/m).
[2] ARCOTEL: Agencia de Regulación y Control de Telecomunicaciones.
[3] Son denominadas ondas hertzianas debido a que el hercio es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas y corresponde a un ciclo por segundo. (Galán García, 1987)

recepción, siendo un funcionamiento inverso para la frecuencia de recepción. (Fabara Von Lippke & Villalba Márquez, 2012).

1.1.1.2 Repetidor

El repetidor es un dispositivo electrónico autónomo e inteligente conformado por transmisor y receptor los cuales permiten recibir y transmitir al mismo tiempo una señal de radio o a su vez recibir una señal de bajo nivel y retransmitirla a un nivel más alto de potencia esto permite cubrir distancias más largas con una degradación tolerable de la señal. (Tomasi, 2003).

1.1.1.3 Antena

Es un dispositivo pasivo que posee características bidireccionales las cuales son capaces de radiar y capturar ondas electromagnéticas que se encuentran en el espacio radioeléctrico, la radiación generada por las antenas es un proceso mediante el cual la energía generada por un circuito eléctrico, que se transmite hacia la antena y a su vez es emitida en forma de ondas electromagnéticas hacia el espacio, la mayoría de las antenas son construidas con elementos metálicos conductores. (Martín Castillo, 2010).

1.1.2 Espectro Radioeléctrico

Es el medio por el cual se propagan las ondas electromagnéticas, el espectro radioeléctrico se encuentra segmentado en bandas y clasificadas por rango de frecuencias, de acuerdo a las recomendaciones establecidas en una lado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones "UIT" y en otra la gestión por parte de los Gobiernos, dentro de esta distribución se encuentran determinados los servicios de radiodifusión, telecomunicaciones, televisión entre otros. (Martín Castillo, 2010).

Espectro radioeléctrico para ondas de radiocomunicaciones, radiodifusión sonora y televisión.

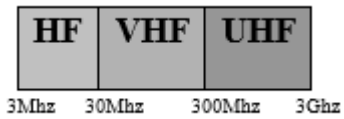


Figura 1.1. Banda del espectro radioeléctrico para ondas de radio y televisión.

Fuente: Infraestructura comunes de telecomunicaciones en vivienda y edificios.

Elaboración: Los Autores.

1.1.2.1 Propagación en VHF (Very High Frequency)

Se encuentra delimitada entre la banda de frecuencia 30 a 300 [MHz], estas frecuencias de radio son propagadas a lo largo de trayectorias, dichas ondas terrestres son absorbidas y poseen un impacto beneficioso e imperceptible.

Debido a la longitud de onda que posee VHF, se debe considerar el tamaño de las construcciones, obstáculos e irregularidades del terreno ya que provee un considerable efecto en la propagación de la señal de radio frecuencia. (Fabara Von Lippke & Villalba Márquez, 2012).

1.1.2.2 Intensidad de campo radioeléctrico

Es la unidad de medida de la intensidad de las señales que conforman el espectro radioeléctrico, dicha unidad permite conocer si el sistema se encuentra dentro de las regulaciones emitidas por la ARCOTEL, para el funcionamiento dentro de los permitido.

1.2 Sistema MOTOTRBO

Es un protocolo de radios digitales de Motorola, el mismo que ofrece mayor capacidad y mejora la eficacia del uso del espectro radioeléctrico, combinando comunicaciones de voz con sistemas integrado de datos, en una plataforma flexible y potente el que permite el uso de nuevas aplicaciones dentro del sistema de radio de dos vías.

MOTOTRBO usa acceso múltiple por división de tiempo TDMA[4], lo que permite obtener dos conversaciones simultáneas dentro de un mismo canal de ancho de banda de 12,5 [kHz].

1.2.1 Características del sistema MOTOTRBO

El sistema MOTOTRBO posee cuatro partes que resumen su tecnología como se muestra en la Figura 1.2.

[4] Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).

Sistema MOTOTRBO.

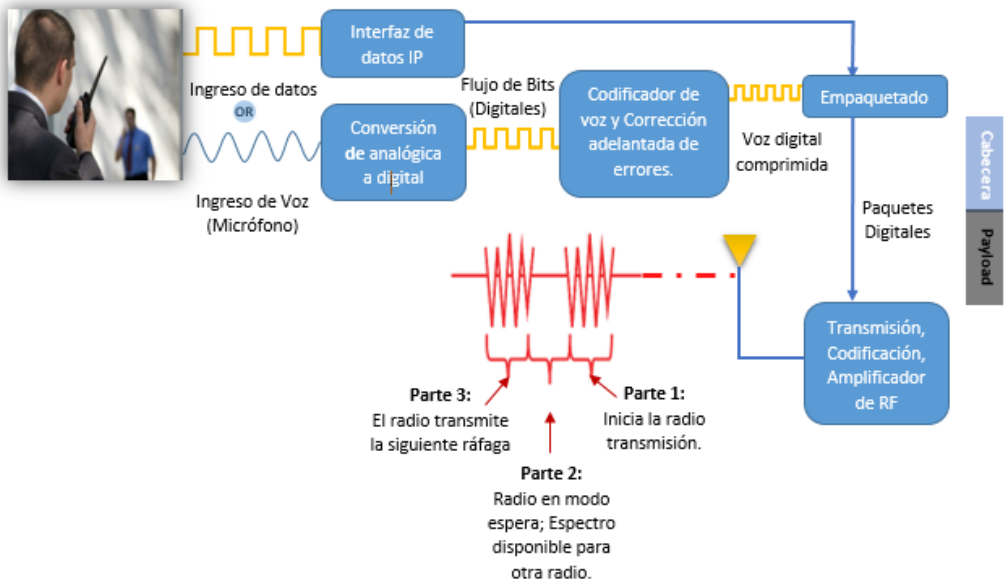


Figura 1.2. Tecnología de radio digital MOTOTRBO.

Fuente: Professional digital two-way radio MOTOTRBO.

Elaboración: Los Autores.

1.2.1.1 Conversión análoga a digital

Se efectúa cuando el usuario presiona el Push-To-Talk (PTT) del terminal llamado radio y empieza a hablar, la voz es recibida por el radio para ser convertida en onda acústica y ser transferida hacia un conversor análogo, que entrega una onda eléctrica, y; a su vez dicha onda es muestreada por un convertidor análogo-digital el mismo que toma de 16 bits cada 8 [KHz] produciendo un total de 128000 [bps[5]], lo que es demasiada información para ser enviada en 12.5 [KHz] perteneciente al canal de radio por lo que es necesario una forma de compresión. (MOTOROLA, 2015).

$$f = 4\ kHz$$

$$f_s > 2f_r \qquad (1.1)$$

$$f_s = 8\ kHz = 8000\ muestras/seg$$

Donde:

f: Frecuencia de la voz humana.

f_s: Frecuencia de muestreo.

[5] bps: Bits por segundo.

1.2.1.2 Corrección adelantada de errores y codificación de voz

En esta fase la codificación de voz comprime la señal recibida dividiéndola en sus partes más importantes como son el nivel, tono y respuesta de frecuencia dada por el codificador de voz AMBE+2™, el cual es el primero en mostrar las tasas de bits más bajas, lo que permite una producción de la señal de voz de calidad a larga distancia, además añade una corrección adelantada de errores que permite al receptor validar la integridad del mensaje recibido, dicho codificador rechaza de forma eficaz el ruido aumentando el rendimiento del audio en la zona de cobertura, para esta etapa la señal de voz se encuentra comprimida de 128000 [bps] a 3600 [bps]. (MOTOROLA, 2015).

1.2.1.3 Empaquetado

Para el empaquetado de la señal de voz el sistema MOTOTRBO toma en cuenta los parámetros siguientes: ID[6] de grupo, tipo de llamada, PTT[7] ID, etc., formando una cabecera que tiene el control de llamadas y la información de ID, de esta misma manera son transmitidos los paquetes de datos del protocolo de Internet IP, la cabecera es transmitida periódicamente permitiendo la fiabilidad de la información de señalización. (MOTOROLA, 2015).

1.2.1.4 Transmisión por medio de técnicas de acceso al medio

Debido al limitado recurso de frecuencias dentro del espectro electromagnético que se presentan dentro de los sistemas de comunicación VHF, para obtener un manejo eficiente del espectro se utiliza la técnica de acceso al medio TDMA.

- **Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)**

Este acceso permite a los usuarios compartir una misma frecuencia, la trasmisión de la señal se dará en diferentes intervalos de tiempo, mediante el formato denominado ráfaga posibilitando que los usuarios sean ortogonales en la dimensión temporal.

Los intervalos de tiempo ofrecidos por TDMA admite voz y datos, de acuerdo a la configuración que se efectué se puede determinar un tiempo para llamadas de voz y el otro para llamadas de datos, o se puede optar para usar ambos intervalos de tiempo con

[6] ID: Identificación.
[7] PTT: Push-To-Talk

el fin de duplicar el número de usuarios de voz que se admiten en el canal repetidor. (MOTOROLA, 2015).

Técnicas de Acceso al medio.

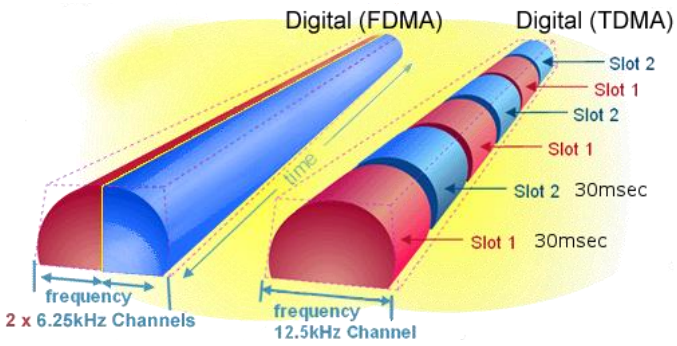


Figura 1.3. Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) y Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA).

Fuente: Professional digital two-way radio MOTOTRBO.

Elaboración: Motorola Solutions.

1.3 Estado actual del sistema de comunicación VHF de la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A es una empresa de telecomunicaciones en el Ecuador fundada el 18 de septiembre de 1996.

La empresa posee licencias de operación para los sistemas comunales de explotación móvil terrestre en el rango de frecuencia VHF, análogo como digital que son otorgadas y concedidas por la Agencia de Control y Regulación de las Telecomunicaciones, lo que permite seguridad jurídica en la utilización del espectro radioeléctrico. La empresa se encuentra respaldada con tecnología de punta en las plataformas de hardware y software, así como servicios técnicos calificados, lo que permite a sus clientes controlar, supervisar y mantener su negocio totalmente comunicado.

1.3.1. Red de Radiocomunicaciones de DATARADIO

Los sistemas de repetición que posee DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A, se encuentran ubicados en zonas estratégicas del país ofreciendo sistemas comunales de explotación de radiocomunicación móvil terrestre en el rango de frecuencia VHF, la empresa brinda este servicio mediante:

- Equipos de radio base Motorola analógicos: PRO5100, PRO3100, EM200.
- Equipos de radio portátil Motorola analógicos: PRO5150 ELITE, PRO7150, PRO5150, EP450.
- Equipos de radio base Motorola digitales: DGM4100/4100+, DGM6100/6100+.
- Equipos de radio portátil Motorola digitales: DGM8000, DGP 4150/4150+, DGP6150+, SL8050, SL8550.

El compromiso de la empresa es instalar, comercializar, operar y mantener el servicio de radiocomunicación móvil terrestre en las siguientes provincias del Ecuador: Carchi, Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas, Tungurahua, Cotopaxi, Bolívar, Manabí, Guayas, Santa Elena, Los Ríos. En estas provincias el sistema de comunicación que se ofrece es analógico móvil terrestre, actualmente DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A posee sistema de radiocomunicación digital operando entre las provincias de Pichincha e Imbabura, específicamente el servicio digital en la provincia de Imbabura se encuentra funcionando hasta la repetidora ubicada en Cotacachi, más adelante en el presente capítulo se detalla cada una de las frecuencias y ubicación de dichas repetidoras que forman parte del sistema de radiocomunicación en el enlace norte.

1.3.2. Red Pichincha - Carchi

El sistema con el que cuenta en la actualidad la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A, provee comunicación desde la provincia de Pichincha hacia la provincia de Carchi, y; se encuentra constituida por un sistema de cuatro repetidoras de las cuales dos se encuentran en Pichincha, una en Imbabura y otra en Carchi, además de cuatro enlaces ubicados dos en Pichincha, uno en Imbabura y otro en Carchi, funcionando en modo hibrido hasta el repetidor Cotacachi, donde el sistema pasa a ser analógico, el sistema se observa en la Figura 1.4.

Red Pichincha – Carchi.

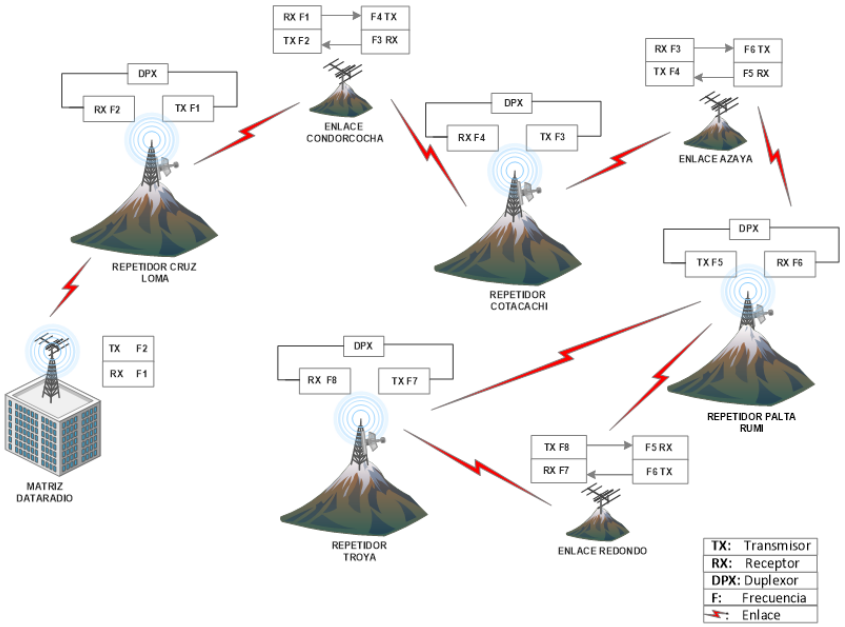


Figura 1.4. Diagrama de las estaciones repetidoras en el enlace entre las provincias de Pichincha y Carchi.

Fuente: DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

Elaboración: Los Autores.

En la Tabla 1.1 se especifican matrices y repetidoras que posee la empresa.

Tabla 1.1.

Ubicación de cada una de las estaciones en el enlace Pichincha-Carchi.

ESTACION	TIPO	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
MATRIZ	ENLACE	0°11’56.4” S	78°29’28” W	2830 msnm
CRUZ LOMA	REPETIDORA	0°11'18.90"S	78°32'2.82"W	3883 msnm
CONDORCOCHA	ENLACE	0°2’19.68” S	78°30’37” W	3573 msnm
AZAYA	ENLACE	0°22'19.44"N	78° 7'58.16W	2332 msnm
PALTA RUMI	REPETIDORA	0°18’6” N	78°3’15” W	3797 msnm
REDONDO	ENLACE	0°18'17.61"N	78° 2'46.1"W	3830 msnm
TROYA	REPETIDORA	0°44’23.5” N	77°41’47” W	3497 msnm

Elaboración: Los Autores.

1.3.2.1 Circuito Pichincha

Este circuito está conformado, por dos repetidoras y dos enlaces que se encuentran funcionando en modo digital. El primer enlace se encuentra ubicado en las oficinas de DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A, este enlace permite el control y monitoreo del sistema de radiocomunicación hasta el repetidor ubicado en el cerro Cotacachi, las frecuencias utilizadas en la Matriz son de transmisión F2: 163.07500 [MHz] y de recepción F1: 162.07500 [MHz] las que permiten realizar el enlace con el repetidor Cruz Loma que en cuyo caso trabaja con las frecuencias en modo de recepción F2: 163.07500 [MHz] y de transmisión F1: 162.07500 [MHz], Cruz Loma se encuentra enlazado hacia Condorcocha con frecuencia de recepción F1: 162.07500 [MHz] emparejada con la frecuencia de transmisión F4: 163.15000 [MHz] este permite comunicar con la repetidora en Cotacachi.

Circuito Pichincha.

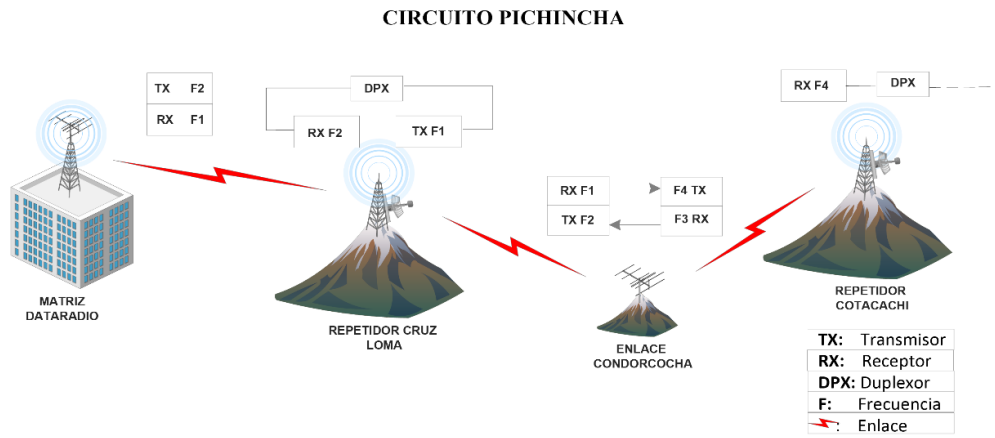


Figura 1.5. Circuito Pichincha.

Fuente: DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

Elaboración: Los Autores.

1.3.2.2 Circuito Imbabura

En este circuito existen dos repetidoras y dos enlaces los que actualmente se encuentran funcionando en modo digital hasta Cotacachi, el mismo que se enlaza con Condorcocha y se encuentra trabajando a frecuencia de recepción F4: 163.15000 [MHz] y frecuencia de transmisión F3: 162.15000 [MHz] esta frecuencia se enlaza con Azaya que trabaja en modo de recepción F3: 162.15000 [MHz], esta frecuencia se

empareja con F6 que en este caso trabaja en modo de transmisor siendo F6: 163.15000 [MHz].

Circuito Imbabura.

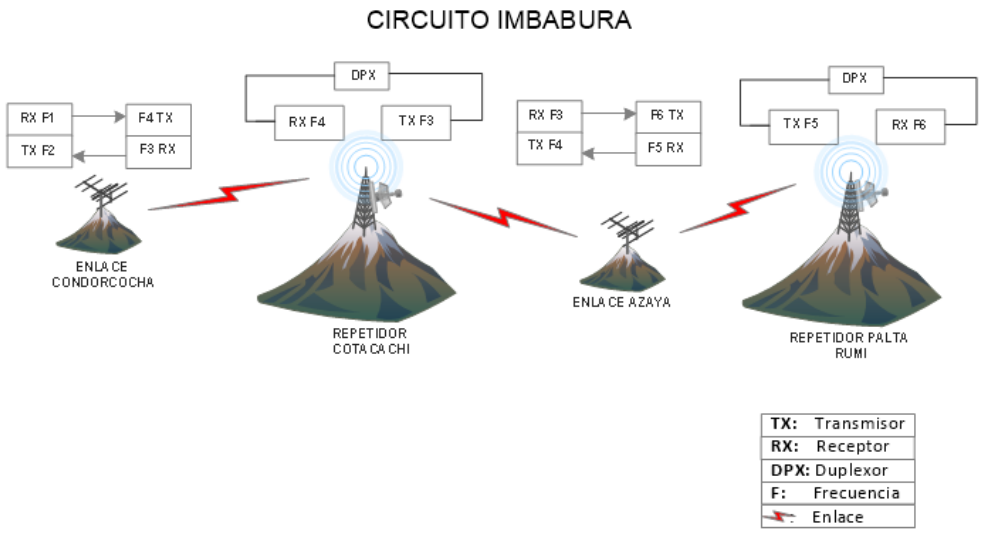


Figura 1.6. Circuito Imbabura.

Fuente: DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

Elaboración: Los Autores.

1.3.2.3 Circuito Carchi

Este circuito se encuentra conformado por una repetidora funcionando en modo analógico, las frecuencias utilizadas en el cerro Troya son de transmisión F7: 160.08750 [MHz] y de recepción F8: 161. 08750 [MHz], las cuales permiten realizar el enlace con Redondo que en cuyo caso trabaja con las frecuencias en modo de recepción F7: 160.08750 [MHz] y de transmisión F8: 161. 08750 [MHz], Redondo se encuentra enlazado hacia Palta Rumi con frecuencia de recepción F5: 163.15000 [MHz] emparejada con la frecuencia de transmisión F6: 162.15000 [MHz].

Circuito Carchi.

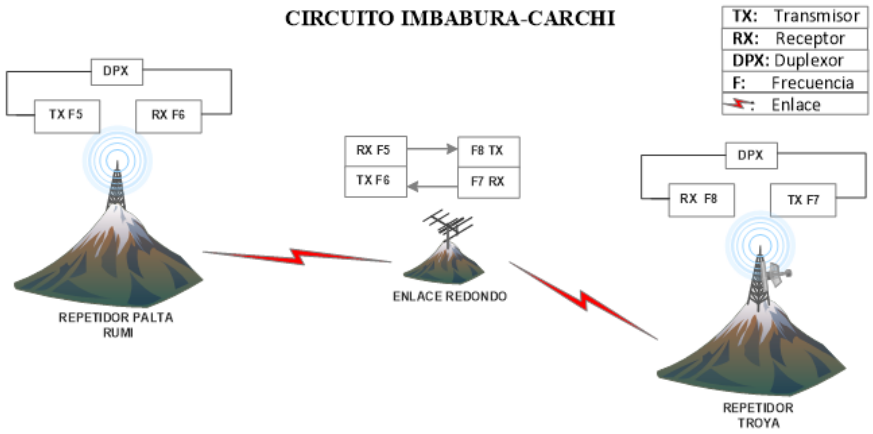


Figura 1.7. Circuito Carchi.

Fuente: DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

Elaboración: Los Autores.

El alcance del proyecto se puede observar en la Figura 1.8, cabe mencionar que DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A., cuenta con la concesión otorgada por la ARCOTEL, donde se efectuó la renovación de las frecuencias a las que se trabaja tanto el repetidor Palta Rumi, ubicado en la Provincia Imbabura, así como las frecuencias para el repetidor Troya ubicado en la Provincia Carchi.

Estaciones Ibarra y Tulcán.

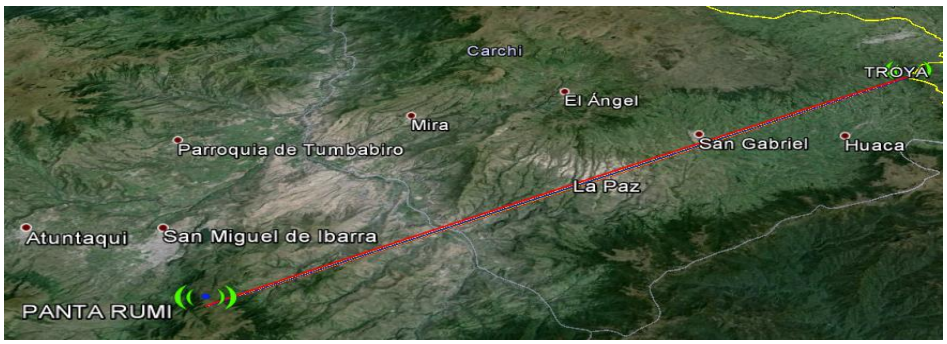


Figura 1.8. Diagrama de las estaciones repetidoras en el enlace entre las ciudades de Ibarra y Tulcán.

Fuente: DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

Elaboración: Los Autores.

1.3.2 Sistema de comunicación VHF Imbabura "Estación Palta Rumi"

La estación se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura, cerro ***"Palta Rumi"*** con altura de 3797 metros sobre el nivel del mar, específicamente ubicada en las

coordenadas geográficas **0°18'6.20" N 78°3'14.53" O**, en esta estación repetidora la caseta de comunicación cuenta con los equipos que se detallan a continuación:

Tabla 1.2.

Equipos ubicados en el Cerro Palta Rumi.

EQUIPO	MARCA	MODELO	CARACTERISTICAS
Estación radio TX	MOTOROLA	Radius M130 799TXU0633	Sensibilidad: 0.3 µV Frecuencia: 136-174 MHz
Estación radio RX	MOTOROLA	Radius M130 799TYC2612	Sensibilidad: 0.3 µV Frecuencia: 136-174 MHz
Repetidora VHF-FM	KENWOOD	TKR-750 31100101	Voltaje: 13.6 V_{DC} Corriente: 13 A
Duplexor	SINCLAIR	Q202GC*UHF	Frecuencia: 152.3 -156.1MHz.
Duplexor	SINCLAIR	Q2220. S/N	Frecuencia: 136-174 MHZ
Banco de Baterías	BATERÍAS ECUADOR	31H1102E. S/N	Corriente: 105 A. Voltaje: 12 V.
Inversor de Voltaje	SAMPLEXPO-WER	SAM-800-12. S/N	V_{DC}: 12 VInput. V_{AC}: 115 VOutput.
Regulador de Voltaje	NICOMAE	CopyLine2000 S/N	V_{AC}: 90-140 VInput. V_{AC}: 120 VOutput.
Cargador de Baterías	SAMPLEXPO-WER	SEC-1215UL. S/N	V_{AC}: 120 VInput V_{AC}: 12 VOutput. Corriente: 15 A.
Antena	UBIQUITI	Antena grid. S/N	Frecuencia: 5.8 GHz. Ganancia: 23 dBi.
Antena	ANDREW	DB224-B	Frecuencia: 155-165 MHz. Ganancia: 8.1 dBi.
DC Injector	TELECTRONICS	Bias-Tee. S/N.	Corriente: 5 A Voltaje: 15 V_{DC}
PoE	TELECTRONICS	PoE. Cat-5	V_{DC}: 12-48 Input. V_{DC}: 48 Output.

Elaboración: Los Autores.

La caseta de comunicación "Palta Rumi" trabaja como una estación TX/RX en la banda de frecuencia VHF en modo análogo, las frecuencias otorgadas y concedidas por la ARCOTEL son: para transmisión 162.15000 [MHz] y para recepción 163.1500 [MHz], las mismas usan un ancho de banda en 12.50 [KHz] en modo de operación

semidúplex, el área de operación de este circuito se encuentra entre Imbabura, Carchi y Cantón Cayambe.

En la actualidad se utiliza una torre no autosoportada sujetada por tensores, la altura de la estructura es de 24 metros, donde se encuentran ubicados dos arreglos de antenas de 4 dipolos cada una, 1 arreglo de 8 dipolos además de 2 antenas grilladas las mismas que permiten el envío de la señal a una frecuencia de 2400-2500[MHz], las antenas ubicadas en la torre de comunicación trabajan en polarización vertical permitiendo tener comunicación con el área de operación y el enlace comprendido con el cerro "Troya" con línea de vista, en la Figura 1.9 se presenta un esquema gráfico actual de la repetidora Palta Rumi.

Estación Palta Rumi.

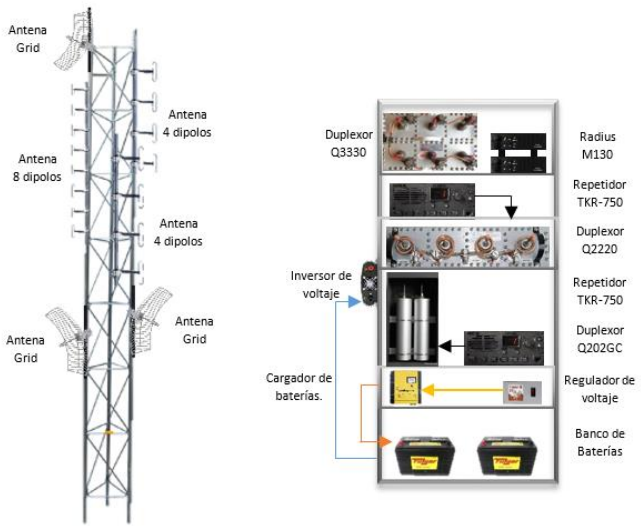


Figura 1.9. Esquema del nodo Palta Rumi.

Elaboración: Los Autores.

1.3.3 Sistema de comunicación VHF Carchi "Estación Troya"

La estación se encuentra ubicada en la provincia de Carchi, cerro ***"Troya"*** con una altura de 3497 metros sobre el nivel del mar, específicamente ubicada en las coordenadas geográficas **0°44'23.5" N 77°41'47.9" O**, aproximadamente a 60 Km de la estación Palta Rumi, en esta estación repetidora en la caseta de comunicación se encuentra los equipos que se detallan a continuación con sus respectivas características técnicas.

Tabla 1.3.

Equipos ubicados en el Cerro Troya.

EQUIPO	MARCA	MODELO	CARACTERISTICAS
Estación radio base RX UHF	JOHNSON	CHALLENGER PLUS 242	Sensibilidad: 0.5 µV Frecuencia: 400-512 MHz
Estación radio base TX UHF	JOHNSON	CHALLENGER PLUS 242 71840E208A	Sensibilidad: 0.5 µV Frecuencia: 400-512 MHz
Estación radio base RX VHF	JOHNSON	CHALLENGER PLUS 242 71641D238A	Sensibilidad: 0.5 µV Frecuencia: 400-512 MHz
Estación radio base TX VHF	JOHNSON	CHALLENGER PLUS 242 71641D487A	Sensibilidad: 0.5 µV Frecuencia: 400-512 MHz
Repetidora VHF-FM	KENWOOD	TKR-750 70400278	Voltaje: 13.6 V_{DC} Corriente: 13 A
Duplexor	SINCLAIR	Q202GC S/N	Frecuencia: 132-174 MHz
Banco de Baterías	BATERIAS ECUADOR	31H1102E S/N	Placas: 17 Corriente: 105 A Voltaje: 12 V_{DC}
Regulador de Voltaje	NICOMAE	CopyLine 2000 S/N	V_{AC}: 90-140 VInput V_{AC}: 120 VOutput Frecuencia: 60Hz
Cargador de Baterías	SAMPLEXPOWER	SEC-1215UL. S/N	V_{AC}: 120 VInput V_{AC}: 12 VOutput
Antena	DATARADIO	Antena Yagi 2 elementos S/N	Frecuencia: 5.8 GHZ Ganancia: 23 dBi

Elaboración: Los Autores.

La caseta de comunicación “Troya” trabaja como una estación TX/RX en la banda de frecuencia VHF en modo análogo, las frecuencias otorgadas y concedidas por la ARCOTEL son para transmisión 160.08750[MHz] y para la recepción 161.08750[MHz], en la actualidad se utiliza una torre no autosoportada sujetada por

tensores, la altura de la estructura es de 24 metros, donde se encuentran ubicadas 5 arreglos de antenas Yagi, las cuales permiten en el vio de la señal a una frecuencia de 5800[MHz], este sistema tiene 3 anclajes para la torre los que sustentan la puesta a tierra, las antenas ubicadas en la torre de comunicación trabajan en polarización vertical permitiendo tener enlace con la montaña "Palta Rumi" con línea de vista, la ganancia de potencia de dichas antenas son 24[dBi], en la Figura 1.10 se presenta un esquema grafico actual de la repetidora Troya.

Estación Troya.

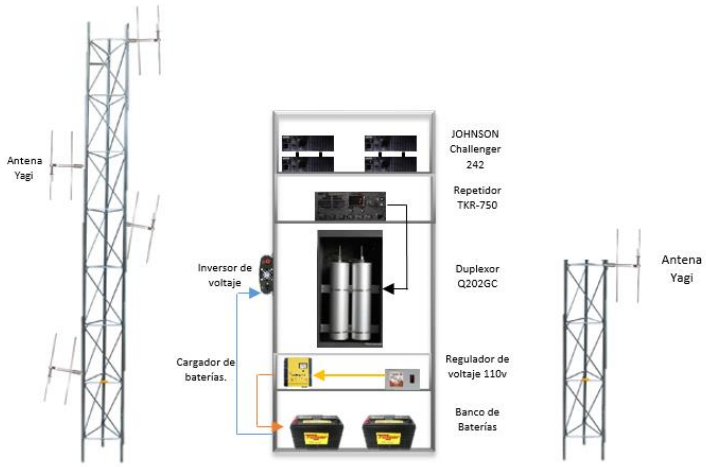


Figura 1.10. Esquema del nodo Troya.

Elaboración: Los Autores.

1.4 Requerimientos para el sistema de comunicación VHF digital para DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

Para efectuar el diseño del nuevo sistema de comunicación VHF Digital, se necesita conocer los requerimientos previos provistos por DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.:

- Efectuar la migración del sistema de radio comunicación análoga, hacia uno digital para aprovechar las factibilidades que provee este sistema.
- Ampliar el área de cobertura del sistema de comunicación VHF Digital, dentro de las áreas de concesión de la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A y regidas por el ARCOTEL.

- Facilitar comunicaciones entre diversos tipos como son llamadas privadas, llamadas de grupo y llamada general.
- Mejorar las comunicaciones de voz permitiendo que sean más nítidas y con un mayor alcance.
- Configurar en los equipos la función automática de servicio roaming para permitir una autonomía en la selección del canal de acuerdo a su ubicación geográfica.
- Conectar el repetidor MOTOTRBO a una red IP para crear un sistema de área extendida, permitiendo comunicación de voz y datos entre diversos lugares, así como con diferentes frecuencias es decir VHF, así como aumentar el área de cobertura de radio frecuencia.
- Aplicar seguridad de encriptación básica y encriptación mejorada para todas las trasmisiones que se efectúen y así evitar la intercepción de usuarios no pertenecientes a la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

1.5 Diagnostico del sistema de comunicación VHF de la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

El sistema analizado entre el cerro "Palta Rumi" y "Troya" de la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A, no dispone de un sistema de control y gestión distante de los equipos, el mismo que permitirá efectuar un análisis detallado en dicha zona. Los problemas que se pudieron evidenciar, son aquellos producidos por variaciones en los niveles de voltaje que existen en la Red Eléctrica Pública, así como las descargas eléctricas atmosféricas que se presentan en las montañas donde existen repetidoras, en dicha situación DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A cuenta con un banco de baterías de respaldo al sistema de Red Eléctrica Pública con un tiempo estimado de dos horas de duración en caso de cualquier falla de energía eléctrica, y si la falla persiste se desactivará el sistema dejando sin comunicación a todos los usuarios. para que la empresa conozca sobre dicha falla los usuarios deben efectuar una notificación de falla del sistema ya que, en el actual momento, no se cuenta con un sistema de monitoreo de las repetidoras análogas, la solución de dicho inconveniente será contrarrestado por el programa de monitoreo RDAC que será instalado en el servidor de DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

Otro inconveniente que se presenta es ocasionado por la no calibración de los duplexores permitiendo que existan niveles de interferencia, así como el paso de señales de voz que no son propias de la frecuencia de la repetidora, el sistema de comunicación digital mejora la transmisión de voz permitiendo que sea más nítida y con un mejor alcance de cobertura, no existen técnicas de seguridad confiables para el transporte de la información y se encuentra vulnerable para ser interceptada por usuarios no autorizados, los sistemas de seguridad que se incluyen en la comunicación digital son encriptación básica y encriptación mejorada dejando de ser vulnerable el sistema, cabe mencionar que en el cerro de Troya existe mayor inconveniente sobre interferencias debido a que dicho cerro se encuentra compartido con varias operadoras de comunicaciones como operadoras celulares, sistemas de radio frecuencia y diversos operadores de sistemas de microondas.

Finalmente, como inconveniente se tiene que los equipos análogos poseen un ruido generado por una mala calibración de los canales de comunicación específicamente en los radios móviles o portátiles ya que dependen de la ubicación geográfica donde se encuentren, si los usuarios desconocen dicha ubicación podrían permanecer en un canal erróneo perdiendo conexión con la repetidora, la configuración en los equipos de las técnicas de acceso al medio permiten tener autonomía para la selección del canal de acuerdo a la posición geográfica dónde se ubica el usuario, se debe tomar en cuenta que los parámetros de configuración en los equipos se pueden ver afectados por las condiciones climáticas propias de los cerros.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

- Desarrollar el estudio de migración de tecnología de la red de comunicaciones entre Ibarra y Tulcán para la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Obtener los requerimientos técnicos y legales, necesarios para el diseño del sistema de comunicación digital entre Ibarra – Tulcán mediante la documentación técnica provista por la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. y la ARCOTEL.

- Diseñar una red de comunicación Digital en el sector Ibarra – Tulcán para la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.
- Verificar el sistema de comunicación Digital mediante la implementación parcial en las zonas geográficas designadas por el software especializado para la obtención de parámetros que cumplan los requisitos del diseño efectuado entre los parámetros de cobertura simulados y las pruebas in situ del mismo.
- Analizar los resultados de la red diseñada en los aspectos de costos y requisitos legales.

CAPÍTULO 2
DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN

En este presente capítulo se efectúa el diseño del nuevo sistema de comunicación VHF para la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A, para lo cual se toma en cuenta los requerimientos para la migración del sistema otorgados por la empresa, así como las especificaciones técnicas de los nuevos equipos a emplearse.

Para el diseño del Sistema VHF Digital se toma en cuenta factores importantes como son: la ubicación de las casetas de comunicación, frecuencias otorgadas por la ARCOTEL y la velocidad a la que trabajé el sistema para los enlaces en las distintas zonas de cobertura.

La presente simulación se efectúa con el programa especializado Cambium LINKPlanner 4.4.0, este programa permite efectuar simulaciones del enlace, de igual manera se utilizará ICS Telecom provisto por la Universidad Politécnica Salesiana quien posee la licencia para dicho programa, el que permite efectuar la simulación del área de cobertura de cada una de las repetidoras conforme a la red digital.

2.1 Planificación del nuevo sistema

Para la simulación del sistema digital se tiene en cuenta la ubicación del cerro Palta Rumi que posee línea de vista con el cerro Troya, con la simulación se verifica dicha característica.

Los parámetros de: ubicación, frecuencia, ancho de banda, potencia, polarización, tipo de antenas, tipo de señal a usar y modulación de la señal, se ingresan en cada una de las estaciones en el programa de simulación LINKPlanner 4.4.0 se detallan a continuación.

2.1.1 Simulación del enlace en LINKPlanner 4.4.0 entre Palta Rumi y Troya

2.1.1.1 Creación de un nuevo proyecto en LINKPlanner 4.4.0

Paso 1: Para crear un nuevo enlace ubicamos en: "Create New Project", seguido a esto se desplegará un nuevo grupo al que se le llama PTP 500, como se observa en la Figura 2.1.

Creación de un nuevo proyecto en LINKPlanner 4.4.0.

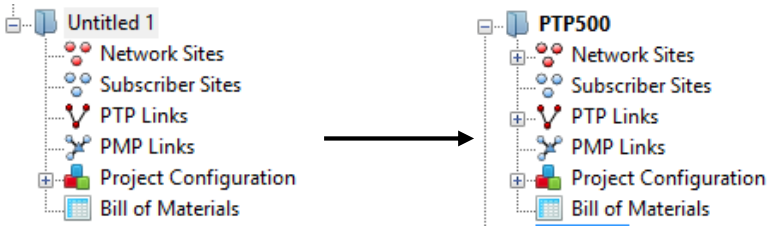


Figura 2.1. Nuevo proyecto en LINKPlanner 4.4.0.

Elaboración: Los Autores.

Paso 2: En la pestaña de "Project" se selecciona "New PTP Link" seguido a esto se despliega una nueva ventana en el cual se añade los puntos de interés a enlazar, se toma en cuenta la localización geográfica de cada sitio.

Nuevo sitio de red PTP añadido en LINKPlanner 4.4.0.

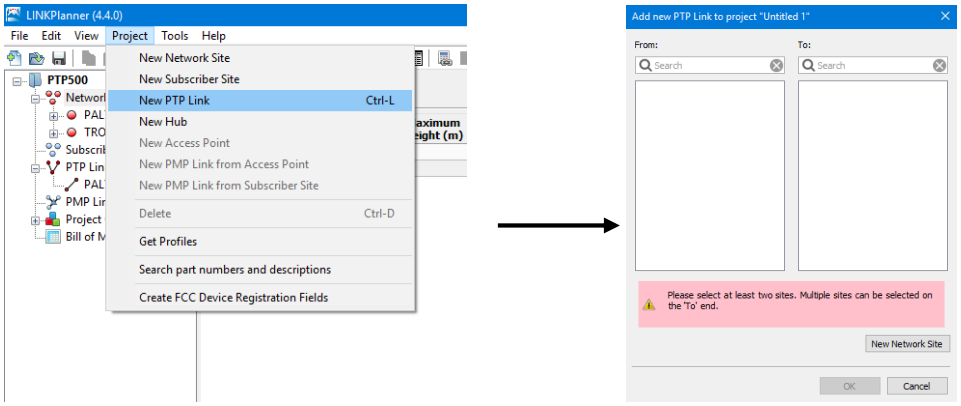


Figura 2.2. Sitio de red PTP en LINKPlanner 4.4.0.

Elaboración: Los autores.

2.1.1.2 Ingreso de una nueva estación PTP en LINKPlanner 4.4.0

Paso 3: Se hace clic en el botón "New Network Site" en esta ventana se procede a rellenar las casillas tomando en cuenta la localización geográfica de cada sitio, tanto la latitud como la longitud se deben transformar de coordenadas DMS a coordenadas decimales, como se observa en la Tabla 2.1 y Figura 2.3.

Tabla 2.1.

Coordenadas decimales de las estaciones repetidoras.

ESTACION	LATITUD	LONGITUD
Palta Rumi	00.30167N	078.05417W
Troya	00.73986N	077.69664W

Elaboración: Los Autores.

Nota: Coordenadas decimales de las estaciones a simular.

Ingreso de una nueva ubicación en LINKPlanner 4.4.0.

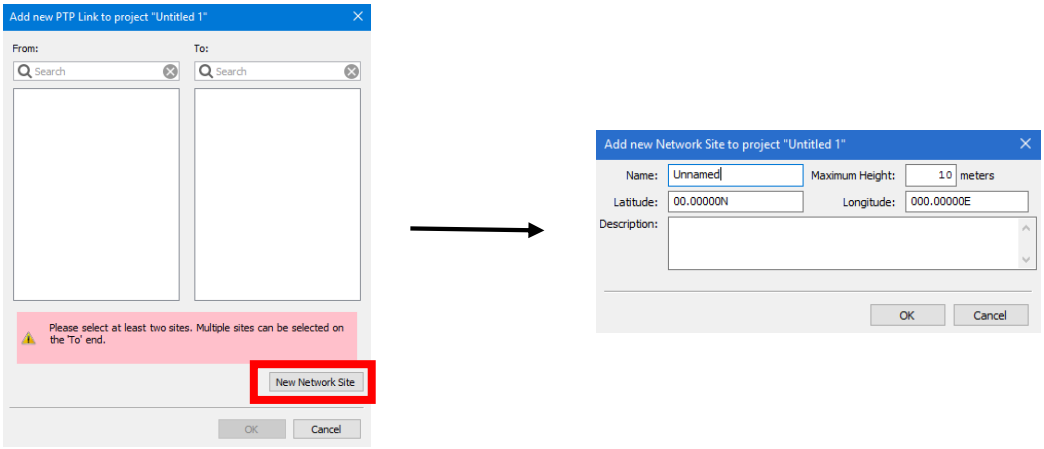
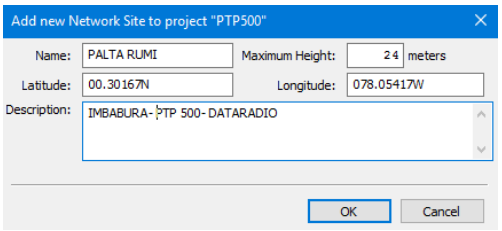


Figura 2.3. Nueva ubicación añadida en LINKPlanner 4.4.0.

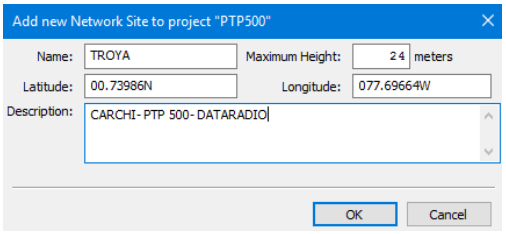
Elaboración: Los Autores.

Paso 4: Para añadir una nueva estación de debe ingresar las coordenadas decimales que se observan en la Tabla 2.1 de los emplazamientos de Palta Rumi y Troya, se debe tomar en cuenta la altura de las torres de telecomunicaciones como se muestra en las Figuras 2.4.

Ingreso de coordenadas en LINKPlanner 4.4.0.



(a)



(b)

Figura 2.4. (a) Coordenadas de Palta Rumi, (b) Coordenadas de Troya.

Elaboración: Los autores.

Paso 5: En la ventana donde se agregan los sitios para el enlace PTP se observa los nuevos emplazamientos ya creados, en esta ventana se seleciona desde que emplazamiento se desea realizar el enlace, se debe tener en cuenta cual va funcionar como Master y Slave, como se observa en la Figura 2.5,. El enlace se realiza desde Palta Rumi (master) hacia Troya (slave).

Vinculación de los sitios de red en LINKPlanner 4.4.0.

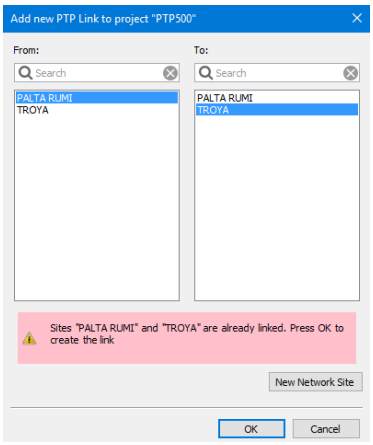


Figura 2.5. Sitios de red vinculados.

Elaboración: Los autores.

2.1.1.3 Ingreso de parámetros generales de las antenas PTP 500

LINKPlanner 4.4.0 requiere de parámetros generales del sistema que se va a simular, DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A proporciona los parámetros de configuración a implementarse.

Paso 6: En el grupo de PTP Links se observa el enlace creado anteriormente, el mismo aparece en el formato de PALTA RUMI to TROYA esta selección se observa en la Figura 2.6, esta sección despliega una ventana en la que se configura el equipamiento a utilizar en el enlace, se observa en la Tabla 2.2.

Sitios de red PTP en LINKPlanner 4.4.0.

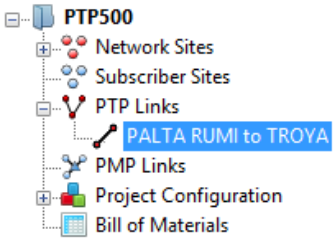


Figura 2.6. Sitios de red vinculados en LINKPlanner 4.4.0.

Elaboración: Los autores.

Tabla 2.2.

Características del equipamiento del sistema PALTA RUMI to TROYA.

Banda (GHz)	**Producto**	**Caudal de transmisión**	**Regulación**
5.4	PTP 54500	52 Mbps	Full Power + Radar
Ancho de Banda (MHz)	**E1/T1**	**Optimización**	**Sync**
15	None	IP	Disabled
Symmetry	Dual Payload	Master	Slave
Symmetric	Enabled	Palta Rumi	Troya

Elaboración: Los Autores.

Nota: Parámetros de configuración para el enlace.

Paso 7: Con los datos de la Tabla 2.2 se procede a configurar el sistema de PALTA RUMI to TROYA, donde la frecuencia a utilizar en el enlace es de 5.4 [GHz], como se puede observar en la Figura 2.7.

Las características de funcionamiento de la antena se detallan en el ANEXO 2 como Datasheet de Cambium Networks de las Antenas PTP 54500 series.

Ingreso de parámetros de configuración en LINKPlanner 4.4.0.

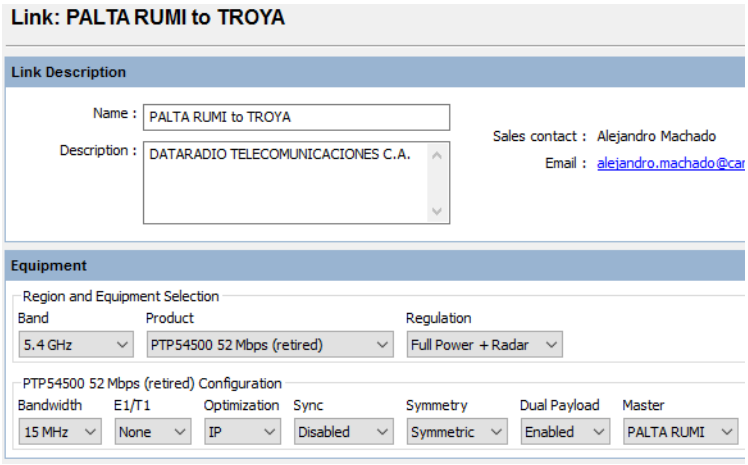


Figura 2.7. Parámetros de configuración ingresados.

Elaboración: Los autores.

2.1.1.5 Verificacion del enlace entre el cerro Palta Rumi y Troya

Paso 8: El programa LINKPlanner 4.4.0 verifica que el enlace sea óptimo caso contrario se marca al enlace en color rojo, pero como se observa en la Figura 2.8, las ubicaciones de cada una de las estaciones aparecen sobre el mapa del Ecuador a una elevación de 10 [km], donde **Master** es el repetidor ubicado en Palta Rumi y **Slave** es el repetidor ubicado en Troya, el enlace está representado por la línea de color verde lo que permite verificar por el programa que el enlace es factible.

Enlace entre el cerro Palta Rumi y Troya en LINKPlanner 4.4.0.

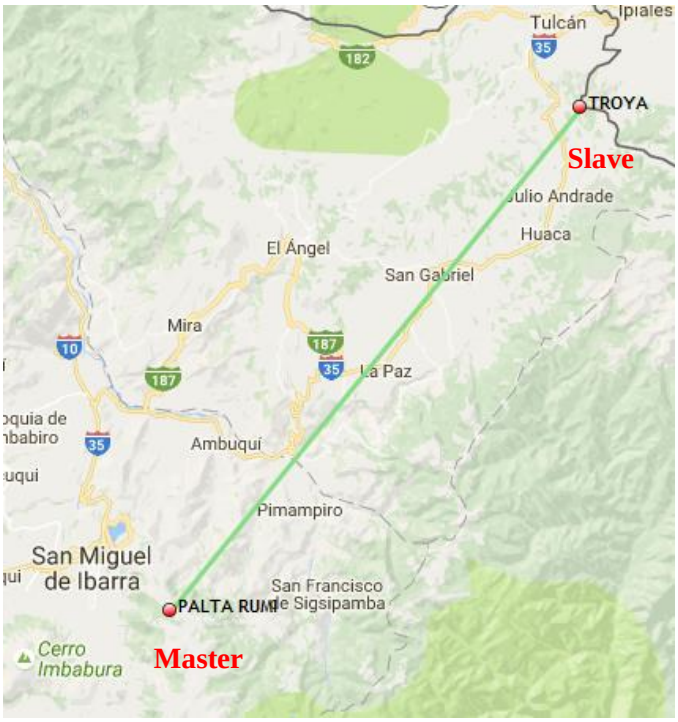


Figura 2.8. Enlace en LINKPlanner 4.4.0.

Elaboración: Los autores.

2.1.1.6 Perfil del enlace entre el cerro Palta Rumi y Troya en LINKPlanner 4.4.0

Paso 9: Para obtener un detalle más conciso sobre los obstáculos que existiesen, en el grupo "PTP links" se hace click sobre PALTA RUMI to TROYA, en esta sección se puede observar el perfil de terreno el cual es generado por LINKPlanner 4.4.0.

Perfil del enlace entre el cerro Palta Rumi y Troya.

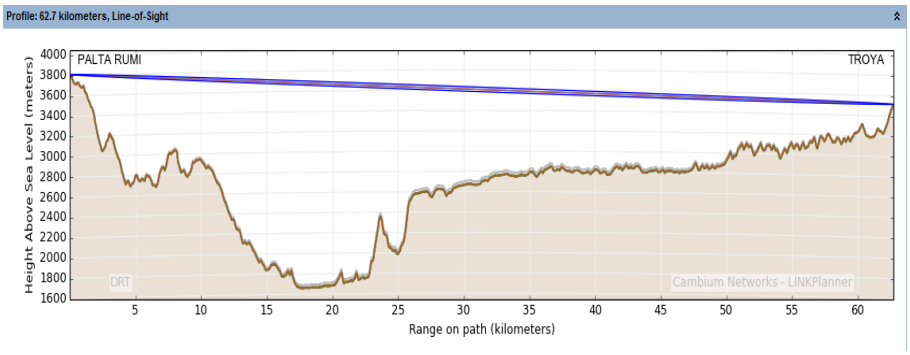


Figura 2.9. Perfil del enlace.

Elaboración: Los autores.

Como se puede observar en la Figura 2.9 existe línea de vista entre Palta Rumi y Troya sin ningún obstáculo natural o artificial, las zonas de Fresnel también se encuentran libres, la distancia del enlace proporcionado por LINKPlanner 4.4.0 es de 62.702 km.

2.1.1.7 Configuración para cada parte del sistema en LINKPlanner 4.4.0

Paso 10: El programa requiere la altura estimada para la instalación de la antena PTP54500 la cual opera con una antena dual integrada de 23 [dBi] de ganancia, las torres no autosoportadas tanto para Palta Rumi y Troya miden 24 metros, se procede a verificar la simulación a 12 metros, como se puede observar en la figura 2.10.

Ingreso de la altura en LINKPlanner 4.4.0.

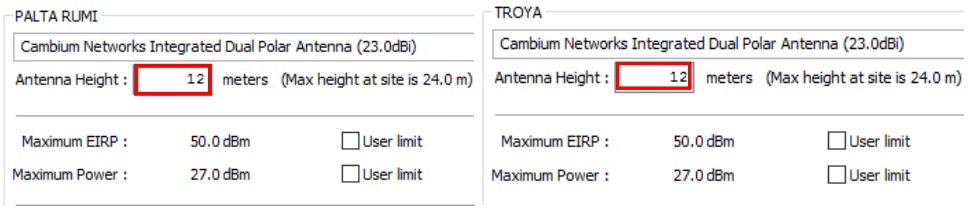


Figura 2.10. Ingreso de la altura del enlace a 12 metros en LINKPlanner 4.4.0.
Elaboración: Los autores.

Como se puede observar en la Figura 2.11 el programa predice que el sistema funcionará con una potencia de -71 dBm ± 5 dB a un caudal de transmisión estimado de 13.34 [Mbps] la disponibilidad del sistema es de 99.9995%, dejando inhabilitado al sistema por 2.4 min/año, lo que resulta ser óptimo para la instalación del nuevo enlace.

Simulación del rendimiento en LINKPlanner 4.4.0.

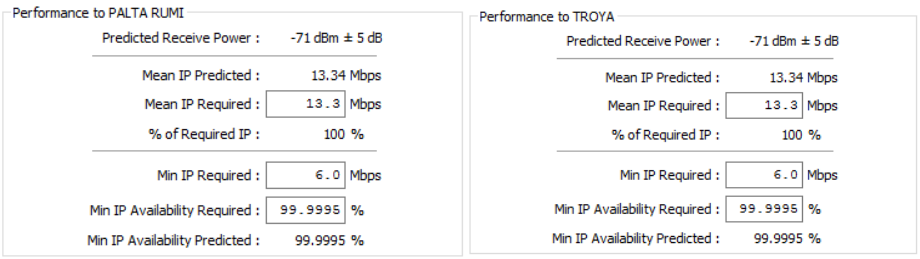


Figura 2.11. Simulación del rendimiento del sistema a 12 metros en LINKPlanner 4.4.0.
Elaboración: Los autores.

2.1.1.8 Disponibilidad del sistema PALTA RUMI to TROYA en LINKPlanner 4.4.0

La altura del enlace es eficiente desde los 12 metros hasta los 24 metros que mide la torre no autosoportada, la disponibilidad del sistema se puede observar en la Figura 2.12 y se detallan sus valores en la Tabla 2.3 teniendo en cuenta que la indisponibilidad del sistema se mide en días, horas y minutos en el que el enlace puede estar fuera del aire.

Tabla 2.3.

Rendimiento del sistema PALTA RUMI to TROYA en LINKPlanner 4.4.0.

Porcentaje de disponibilidad	Caudal de transmisión	Tiempo indisponible
99.99999 %	2 Mbps	13 seg/año
99.99991 %	3 Mbps	34 seg/año
99.9934 %	8 Mbps	34.6 min/año
96.0136 %	13 Mbps	14.6 dias/año

Elaboración: Los Autores.

Nota: Los valores fueron obtenidos en LINKPlanner 4.4.0.

Rendimiento del enlace en LINKPlanner 4.4.0.

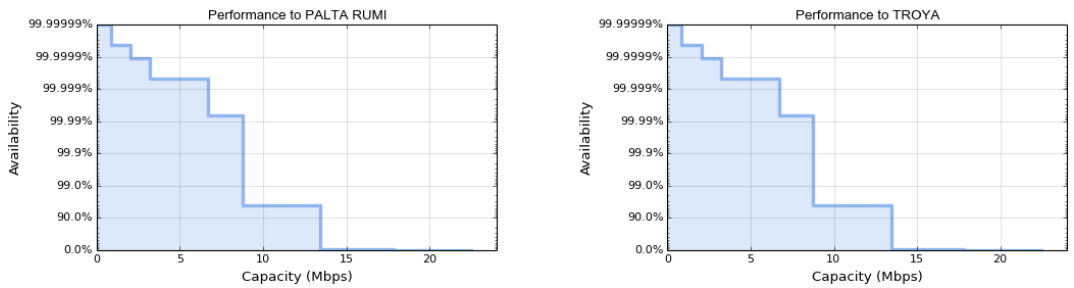


Figura 2.12 Rendimiento de la instalación a 9 metros en LINKPlanner 4.4.0.

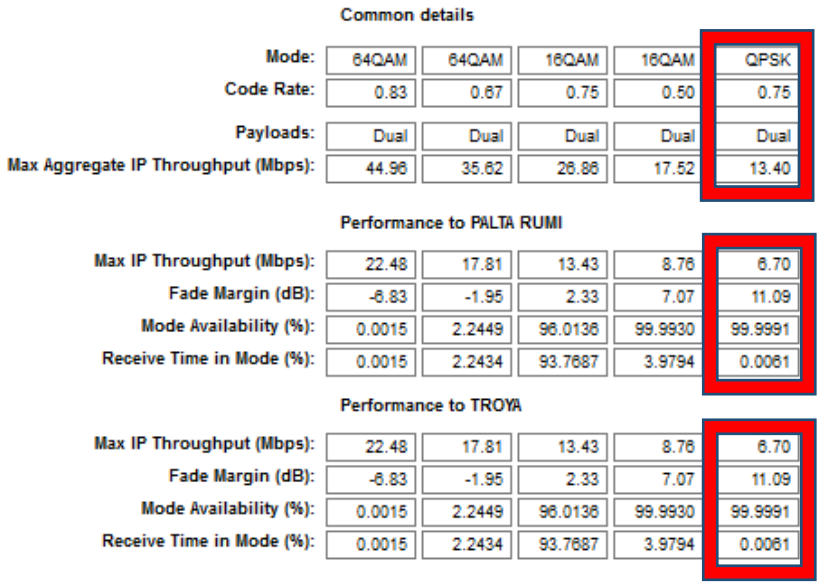
Elaboración: Los autores.

2.1.1.9 Detalles del sistema PALTA RUMI to TROYA en LINKPlanner 4.4.0

En la simulación PTP 54500 se configura en el modo FULL POWER+RADAR esta configuración hace que el dispositivo trabaje a una potencia maxima de 27 [dBm] en frecuencias dentro de un rango de 5470 hasta 5725 [MHz] con canales de ancho de banda de 5, 10, 15 [MHz] esto permite que se busque la modulacion digital mas óptima para el enlace, proporcionando una protección contra el desvanecimiento y

aumentando la probabilidad en que el receptor decodifique una señal utilizable, el PTP 54500 puede trababajar en las modulaciones: 64QAM, 16QAM y QPSK; la modulación (QPSK 0,75 a 64QAM 0,83) se dispone en el modo de carga útil dual, como se puede observar en la Figura 2.13 la simulación prevé que el enlace de microondas PTP 54500 funcionara en condiciones óptimas con una modulación QPSK, obteniendo así un caudal de transmisión de 6.70 [Mbps], se tiene en cuenta que el sistema tiene una confiabilidad de 99.9991% esto predice que el sistema puede estar indisponible por 34 segundos al año.

Rendimiento del enlace en LINKPlanner 4.4.0.



Common details

Mode:	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK
Code Rate:	0.83	0.67	0.75	0.50	0.75
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	44.96	35.62	26.86	17.52	13.40

Performance to PALTA RUMI

Max IP Throughput (Mbps):	22.48	17.81	13.43	8.76	6.70
Fade Margin (dB):	-6.83	-1.95	2.33	7.07	11.09
Mode Availability (%):	0.0015	2.2449	96.0136	99.9930	99.9991
Receive Time in Mode (%):	0.0015	2.2434	93.7687	3.9794	0.0061

Performance to TROYA

Max IP Throughput (Mbps):	22.48	17.81	13.43	8.76	6.70
Fade Margin (dB):	-6.83	-1.95	2.33	7.07	11.09
Mode Availability (%):	0.0015	2.2449	96.0136	99.9930	99.9991
Receive Time in Mode (%):	0.0015	2.2434	93.7687	3.9794	0.0061

Figura 2.13. Rendimiento de la instalación a 12 metros en LINKPlanner 4.4.0.

Elaboración: Los autores.

Tabla 2.4.
Resultados obtenidos en las pruebas efectuadas con el software LINKPlanner 4.4.0.

	PALTA RUMI		**TROYA**	
Altura	12	[m]	12	[m]
Potencia transmisión	27	[dBm]	27	[dBm]
Potencia recepción	-71 dBm ± 5 dB	-	-71 dBm ± 5 dB	-
Máximo caudal	13.40	[Mbps]	13.40	[Mbps]
Modulación	QPSK 0.75	-	QPSK 0.75	-
Disponibilidad	99,9991	[%]	99,9991	[%]
Pérdidas en el espacio libre	143.35	[dB]	143.35	[dB]

Elaboración: Los Autores.

Como se puede observar en la Tabla 2.4, la modulación en que trabaja el PTP 54500 es QPSK 0.75, en ambos puntos del enlace se trabaja en modo simétrico por lo cual los dos van a tener los mismos valores de rendimiento.

2.1.2 Simulación de la cobertura en ICS Telecom entre Palta Rumi y Troya

2.1.2.1 Ingreso de parámetros de cada estación de comunicación

DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A ha previsto el uso de nuevas frecuencias por lo cual se solicitó con la debida antelación a la ARCOTEL, la renovación título habilitante de registro del servicio comunal y la concesión de uso y explotación de frecuencias esenciales del espectro radioeléctrico.

Las nuevas frecuencias comunales de explotación en el sistema fijo y terrestre, así como las características principales con las que trabaja en los circuitos tanto para Cerro Palta Rumi y Cerro Troya, los parámetros detallados a continuación se ingresan en el software ICS Telecom para el cálculo de cobertura de cada uno de los sistemas.

Tabla 2.5.

Información técnica del Cerro Palta Rumi de uso de frecuencias del espectro radioeléctrico.

CIRCUITO 2							
CERRO PALTA RUMI							
Frec. TX (MHz)	**Frec. RX (MHz)**	**Ancho de Banda (KHz)**	**Potencia (W)**	**Tipo de Emisión**	**Modo de Operación**	**Horario de Trabajo**	**Áreas de Operación Autorizadas**
162.15000	163.15000	12,50	10.00	12K5F3EJN	SEMIDUPLEX	24 HORAS	IMBABURA-CARCHI-CAYAMBE

Elaboración: Los Autores.

Tabla 2.6.

Información técnica del Cerro Palta Rumi de uso de frecuencias del espectro radioeléctrico.

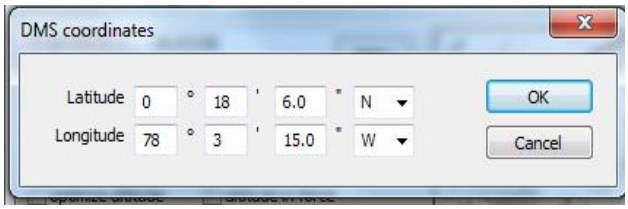
CIRCUITO 3							
CERRO TROYA							
Frec. TX (MHz)	**Frec. RX (MHz)**	**Ancho de Banda (KHz)**	**Potencia (W)**	**Tipo de Emisión**	**Modo de Operación**	**Horario de Trabajo**	**Áreas de Operación**
160.08750	161.08750	12,50	10.00	12K5F3EJN	SEMIDUPLEX	24 HORAS	TULCAN Y ALREDEDORES

Elaboración: Los Autores.

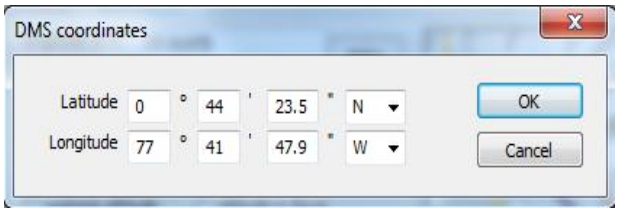
2.1.2.2 Creación e ingreso de coordenadas de cada estación de comunicación

PASO 1: Una vez cargado el mapa de Ecuador en el software ICS Telecom dar click derecho sobre dicho mapa para la creación de una nueva estación, escoger la opción "Add new station", seguido se despliega la ventana donde se efectúa el ingreso de los parámetros propios de cada una de las estaciones, primero se dirige a la pestaña "Site" para poner las coordenadas en formato grados, minutos y segundos, escoger la opción "Site coordinates", seguido dar click en "alpha numeric grid", donde se despliega la ventana para efectuar el ingreso en el formato establecido, como se muestra en la Figura 2.14.

Ingreso de Coordenadas.



(a)



(b)

Figura 2.14. Ingreso de Coordenadas (a) Estación Palta Rumi, (b) Estación Troya.
Elaboración: Los autores.

2.1.2.3 Ingreso de parámetros generales de cada estación de comunicación

PASO 2: Los datos detallados en la Tabla 2.5 y 2.6 se ingresan en la pestaña "General" de cada una de las estaciones, lo que se debe tomar en cuenta es el tipo de señal con la cual se trabaja, para el caso de cobertura se escoge la opción de "radiocom" que es el tipo de señal con el que trabaja las estaciones repetidoras Motorola DGR 6175, al seleccionar este parámetro de señal se observa que el ancho de banda cambia automáticamente a 12,5 [kHz], esto permite trabajar la simulación en forma digital, el ingreso de los parámetros se puede observar en la Figura 2.15.

Para el cálculo de las pérdidas en líneas de transmisión, conectores y duplexor se debe verificar las tablas de atenuación de cada uno de estos elementos, para la línea de transmisión se utilizó un cable Heliax de 1/2" RF, el valor de atenuación del mismo es de 2.89 [dB/100m] para la frecuencia máxima de VHF de 174[MHz], en la instalación se utilizó un aproximado de 10 metros de dicho cable obteniendo un valor de atenuación de 0,289 [dB/100m].

Las pérdidas de los conectores dependen exclusivamente de la calidad de los mismo, generalmente se considera de 0,25dB a 0,5dB por cada uno, para el Duplexor Sinclair Q220E las pérdidas de inserción máxima son de 1dB.

$$P_t = P_w + P_c + P_d \quad (2.1)$$

$$P_t = 0.289\ dB + 2(0{,}25\ dB) + 0{,}8\ dB$$

$$P_t = 1{,}58\ dB \approx 1{,}5\ [dB].$$

Parámetros Generales de Configuración.

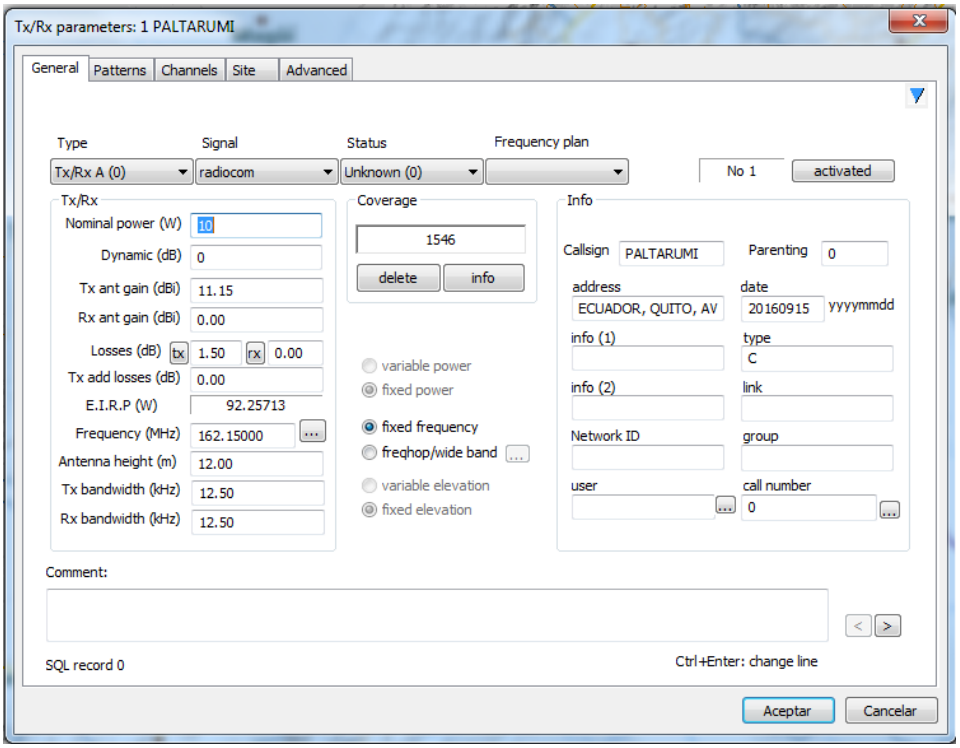


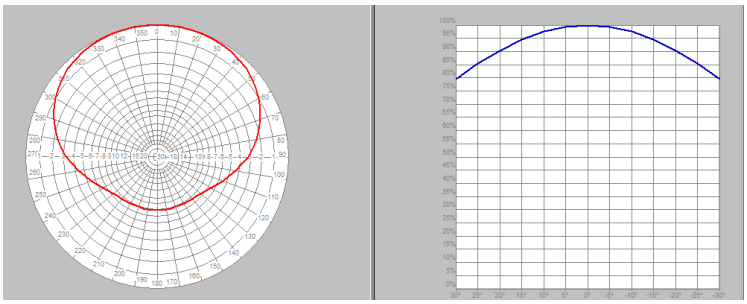
Figura 2.15. Ingreso de parámetros de cada una de las estaciones repetidoras.

Elaboración: Los autores.

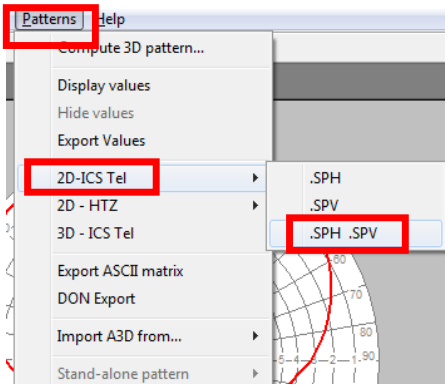
2.1.2.4 Ingreso del patrón de radiación de la antena Andrew DB224E en la estación Palta Rumi

PASO 3: En parámetros de configuración dar clic en la pestaña de "Patterns", elegir el patrón de radiación más semejante al de la antena Andrew DB224E, el cual se puede observar en el ANEXO 3, la antena de cobertura se encuentra funcionando en polarización vertical con la configuración OFFSET, tanto para transmisión como recepción, debido a que el patrón de radiación de la antena no se encuentra dentro del catálogo de antenas que ofrece ICS Telecom, se procede a usar el programa Antios que posee un catálogo con diversos patrones de radiación, escoger el más semejante, después se debe exportar el patrón de radiación tanto para polarización vertical y horizontal como se muestra en la Figura 2.16.

Selección del patrón de radiación de la Antena Andrew DB224E.



(a)



(b)

Figura 2.16. (a) Patrón de radiación de la Antena Andrew DB224E, (b) Exportar patrones de radiación vertical y horizontal hacia ICS Telecom.

Elaboración: Los autores.

PASO 4: Para cargar los patrones de radiación se da click en el botón "…", y escoger la opción "vertical pattern", seguido dar click en "load" y elegir el patrón generado por el programa Antios, el mismo procedimiento se efectúa para el patrón de radiación horizontal, en la estación Palta Rumi la antena se encuentra direccionada hacia San Lorenzo con un ángulo azimut de 340° y una inclinación de -5°.

Patrones de radiación cargados en ICS Telecom.

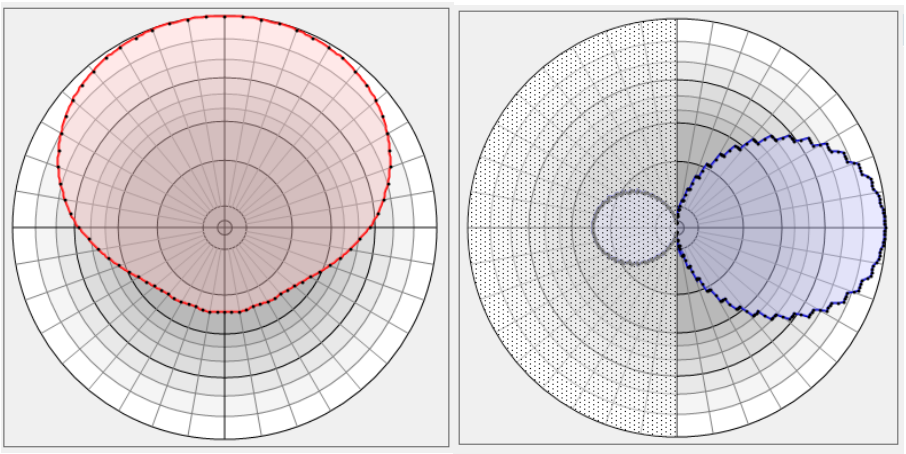


Figura 2.17. Patrón de radiación horizontal y vertical de la Antena Andrew DB224E.

Elaboración: Los autores.

2.1.2.5 Ingreso del patrón de radiación de la antena Yagi-Uda en la estación Troya

PASO 5: Para la estación Troya la transmisión y recepción se efectúa con una antena Yagi-Uda construida en los laboratorios de la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A., los catálogos del software ICS Telecom, si dispone de un patrón de radiación semejante al que se obtiene con dicha antena, la cual se encuentra direccionada hacia Tulcán con un ángulo azimut de 290° y una inclinación de -5°, como se observa en la Figura 2.18.

Selección del patrón de radiación.

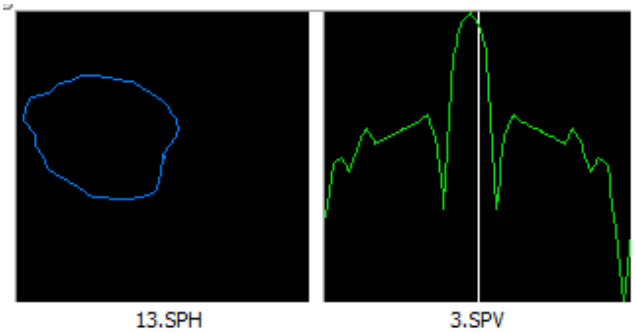


Figura 2.18. Selección del patrón de radiación de la Antena Yagi-Uda ubicada en Troya.

Elaboración: Los autores.

2.1.2.6 Cálculo de cobertura

2.1.2.7 Parámetros generales de cobertura

PASO 6: Para la simulación de cobertura desactivar una de las dos estaciones del sistema, seguido a esto en la barra de herramientas escoger la opción "Coverage", "Network calculation" y "Tx/Rx FS coverage…", donde se despliega la ventana de "Coverage parameters", para altura de las antenas de recepción se pone 10 metros por recomendación para captar señales de Radio Frecuencia, distancia de 60 kilómetros, para el nivel de umbral escoger -38 [dBuV/m] que es recomendación de la ITU-R P.1546-4 para frecuencia entre 30 a 300 [MHz].

Parámetros de cobertura.

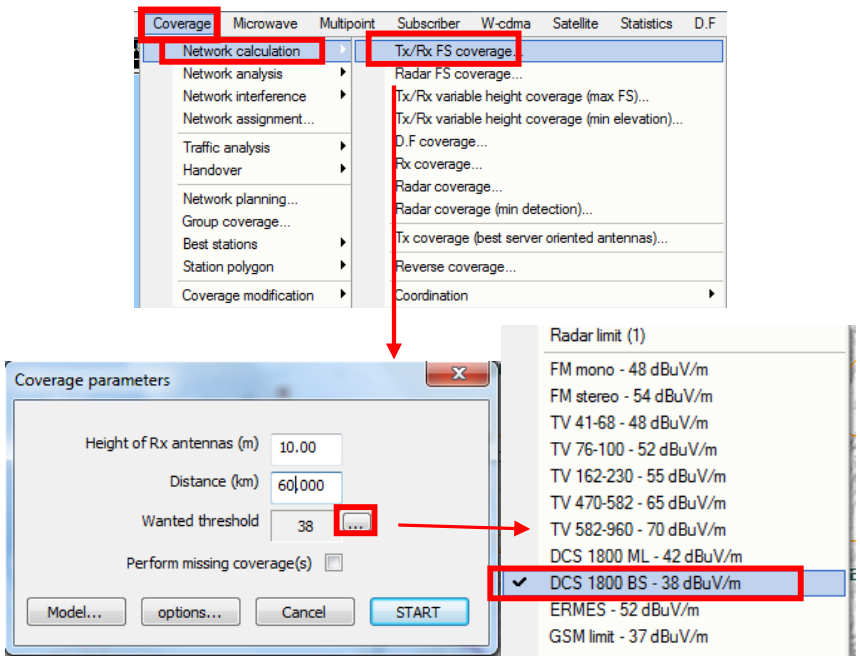


Figura 2.19. Selección de los parámetros generales de cobertura para las dos estaciones.

Elaboración: Los autores.

2.1.2.8 Paleta de colores de acuerdo al umbral máximo

PASO 7: Dar click en el botón "…" de la ventana "Coverage parameters", se despliega una nueva ventana "Threshold", escoger la opción "Palette", en la nueva ventana se procede a llenar los niveles de intensidad de acuerdo a los parámetros proporcionados por la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. como se muestra en

la Figura 2.20, dichos parámetros indican en el mapa en qué lugares existe mayor comunicación hasta llegar a su umbral máximo.

Parámetros de cobertura.

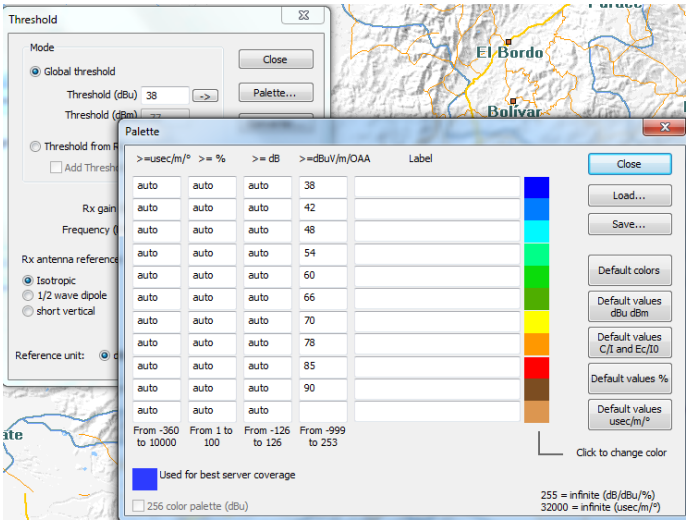


Figura 2.20. Ingreso de valores de umbral para cada uno de los colores.

Elaboración: Los autores.

2.1.2.9 Modelo de Propagación

PASO 8: En la ventana principal de "Coverage Parameters" dar click en el botón "Model…", seguido se despliega la ventana de "Propagation models", escoger la opción ITU-R P.1546-4, el cual es para sistemas que trabajen en los rangos de frecuencia de 30 a 300 MHz, una vez seleccionada se abre una nueva ventana con varios parámetros acerca del modelo escogido, tomar en cuenta el tipo de emisión con el cual se va a simular por lo que se debe escoger "Broadcast digital", los demás parámetros se dejan por defecto como se muestra en la Figura 2.21.

Parámetros de cobertura.

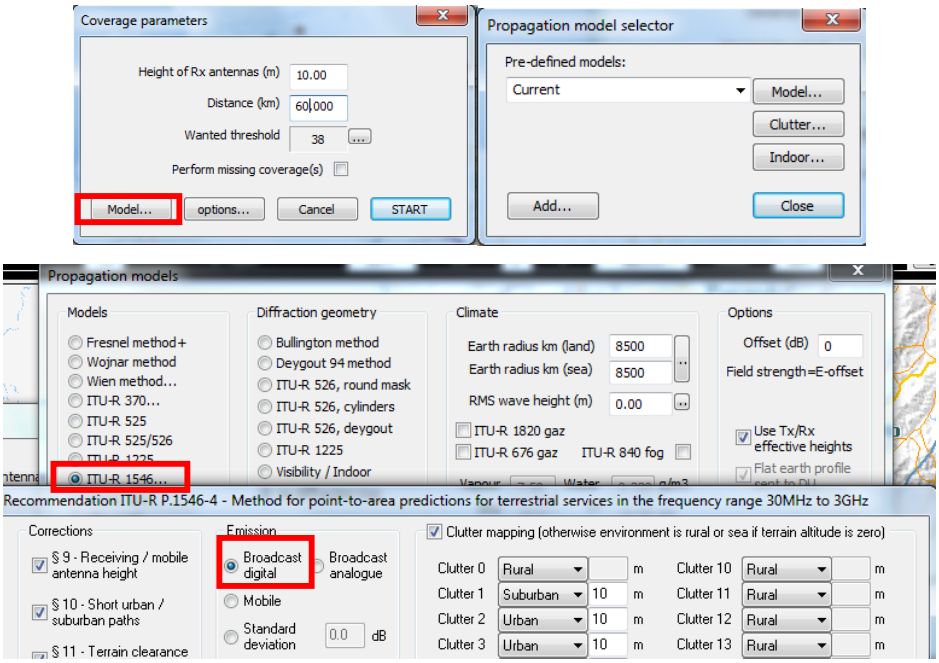


Figura 2.21. Selección del Modelo de Propagación.

Elaboración: Los autores.

2.1.2.10 Simulación de Cobertura Cerro Palta Rumi y Cerro Troya

PASO 9: Una vez cambiados los parámetros de cobertura y escogido el modelo de propagación se procede a dar click en el botón “START”, seguido a esto se efectuará el coloreado del mapa de acuerdo a los niveles de umbral establecidos, donde se puede apreciar que las mayores zonas de comunicación se encuentran en las cercanías del cerro y se va a extendiendo ampliamente hasta el valor máximo de umbral de 38 [dBuV/m], como se observa en el ANEXO 4 para el Cerro Palta Rumi y en el ANEXO 5 para el Cerro Troya.

CAPÍTULO 3
IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN

En este capítulo se efectúa la migración del sistema VHF analógico a VHF digital de la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A., se describen los nuevos equipos instalados, así como las configuraciones efectuadas en las antenas de enlace y de cobertura, además la instalación de las nuevas repetidoras digitales de la marca Motorola DGR 6175, en los cerros Palta Rumi y Troya.

3.1 Implementación de un nuevo sistema contra sobrecargas para el cerro Palta Rumi y Troya

Para la implementación de los nuevos equipos de comunicación se instaló un sistema de puesta a tierra, para dicho requerimiento se hizo trabajos de campo, con la limpieza de la maleza que se encuentra alrededor de la torre de comunicación, una vez efectuada la limpieza se procedió al soterramiento de una Varilla Copperweld[8], a dicha varilla se conecta la repetidora digital Motorola DGR 6175 y la antena PTP 54500 Series de Cambium Networks por medio del PTP-LPU.

Sistema de puesta a tierra.

Figura 3.1. Puesta a tierra mediante varilla Copperweld para el sistema de comunicación digital en la estación Palta Rumi y Troya.

Elaboración: Los autores.

3.2 Sistema de comunicación VHF Imbabura "Estación Palta Rumi"

La caseta de comunicación "Palta Rumi" usa las frecuencias concedidas y otorgadas por la ARCOTEL que son: para transmisión 162.15000 [MHz] y para la recepción 163.1500 [MHz], en modo de operación semidúplex, en el cerro Palta Rumi se procedió a efectuar los siguientes cambios:

[8] Varilla Copperweld: es un electrodo fabricado de cobre que provee la conexión física para disipar la corriente a tierra.

3.2.1 Instalación del enlace PTP54500 Series de Cambium Networks

Antes de proceder con la instalación de la antena de enlace PTP54500 Series, se efectúa las siguientes calibraciones y configuraciones de características mediante el software de propiedad de Motorola Point-to-Point Wireless Solutions, que poseen dichas antenas al ser conectadas mediante cable de red.

3.2.1.1 Configuración del direccionamiento IP

Una vez ingresada en la página web de configuración del enlace PTP54500, dar click en la pestaña "Configuration", seguidamente se despliega varias opciones dentro de la cuales se escoge "LAN Configuration", donde se abre la página para efectuar el ingreso de la dirección IP, máscara de red y dirección de Gateway de acuerdo al segmento de red que posee la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A., dados en la Tabla *3*.1, los demás parámetros se dejan configurados por defecto, para guardar los cambios efectuados se da click en el botón "Submit Updated System Configuration".

Tabla 3.1.

Direccionamiento IP para el enlace PTP54500 ubicado en cerro Palta Rumi.

Atributo	Valor
IP Address	172.19.2.11
Subnet Mask	255.255.0.0
Gateway IP Address	172.19.1.1

Elaboración: Los Autores.

Nota: Datos pertenecientes al direccionamiento provisto por DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

3.2.1.2 Configuración del Sistema

Se procede a designar al sistema como Master, ya que será el punto de enlace para tener control desde las oficinas ubicadas en Quito, sobre el sistema al que se efectúa la instalación, el nombre del sitio Palta Rumi se abrevia como PTR, en modo de modulación se escoge el de mayor eficiencia para la transmisión el cual es 64QAM, cabe mencionar que al efectuar la calibración del enlace la antena PTP54500 procede a verificar un análisis para escoger cual es el mejor modo de modulación de acuerdo a

la velocidad que se transmite, esto lo veremos en la calibración efectuada en el cerro Troya.

El mayor valor de potencia de transmisión posible a la que trabaja la antena es de 27 [dBm], se escoge dicho valor para poder cumplir con la distancia que separa a ambos cerros que es de 62.702 km, las demás características de la antena se dejan por defecto, para guardar los cambios efectuados se da click en el botón "Submit Updated System Configuration".

Una vez efectuados los cambios se procede a verificar si fueron guardados satisfactoriamente en el sistema de la antena PTP54500, por lo cual se reinicia la antena, una vez conectada la antena se da click en la pestaña "Configuration", seguido se escoge la opción "Installation", donde se puede apreciar los cambios que han sido efectuados como se puede observar en la Figura *3*.2.

Configuración del enlace PTP54500.

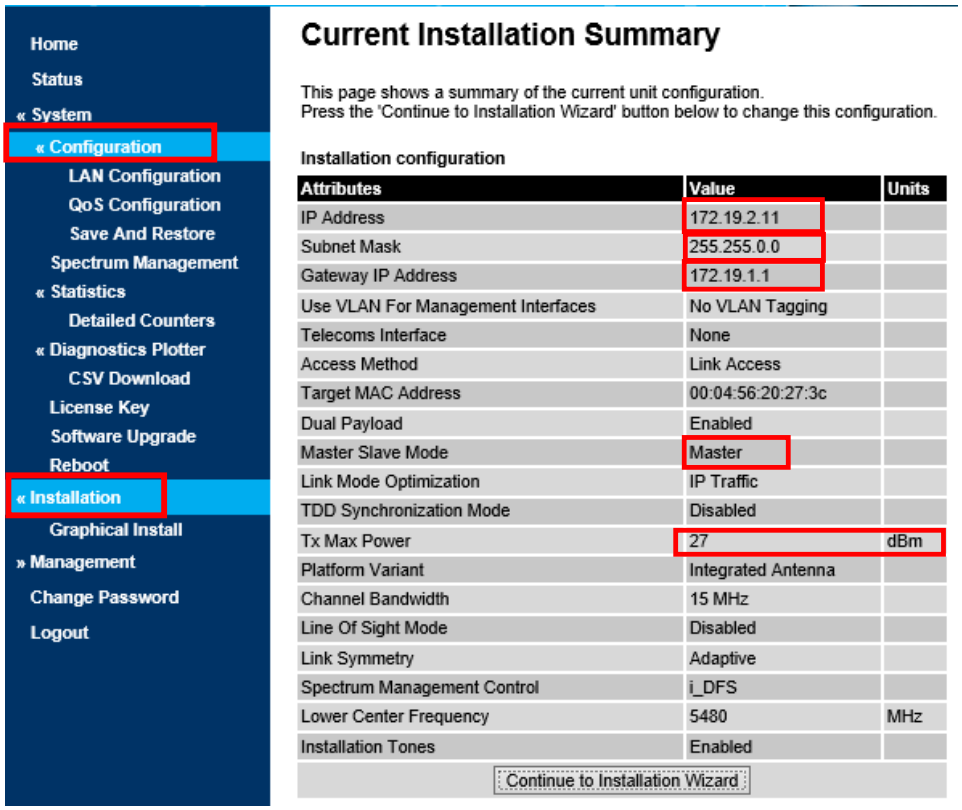


Figura 3.2. Resumen de la instalación del sistema para el enlace PTP54500 ubicado en cerro Palta Rumi.

Elaboración: Los Autores.

3.2.2 Armado del enlace PTP54500 y colocación en la torre de comunicación

El enlace PTP54500 consta de varios accesorios para su funcionamiento dentro de los cuales encontramos:

3.2.2.1 ODU: "Outdoor unit"

La Unidad Externa es la antena Wireless con conectividad punto a punto, que puede operar en el rango de frecuencia de 5.4 a 5.8[GHz], con velocidad máxima de 55[Mbps] y cubrir distancias de hasta 250[km], para la instalación de la antena de enlace PTP54500 Series ODU, se toma en cuenta las recomendaciones de altura simuladas con el software LINKPlanner 4.4.0., el cual nos sugiere que se proceda a instalar a una altura de 12 metros en la torre no autosoportada de comunicación.

ODU Outdoor unit.

Figura 3.3. Instalación de ODU en la torre de comunicación.

Elaboración: Los Autores.

Las interfaces de la unidad externa ODU son:

- Ground: El ODU posee un conector para tierra el cual debe ir conectado hacia la estructura de la torre de comunicación.
- PIDU: Es un puerto RJ45 para conectar a la fuente de alimentación.

Interfaces ODU.

Figura 3.4. Interfaces de la ODU.

Elaboración: Los Autores.

3.2.2.2 LPU: "Lightning Protection Unit"

Es la unidad de protección contra rayos permite brindar un mayor cuidado al equipo PTP54500, contra cualquier sobrecarga inducida por actividad electromagnética, la unidad posee dos puertos RJ45 uno de ellos se conecta hacia el ODU y el otro hacia el PIDU Plus, además posee un conector el cual debe estar acoplado hacia la varilla Copperweld, puesta con anterioridad como se muestra en la Figura 3.5.

LPU Lightning Protection Unit.

Figura 3.5. Instalación de la unidad de protección contra rayos LPU.

Elaboración: Los Autores.

3.2.2.3 PIDU Plus: "Powered Indoor Unit"

Permite generar el suministro de energía eléctrica para la unidad exterior "ODU", es el que conecta la antena PTP54500 hacia la red mediante el Switch, las interfaces del PIDU Plus son:

- ODU: Conector RJ45 conectado hacia el LPU para posteriormente conectarse con el ODU.
- LAN: Conector RJ45 conectado hacia la red mediante el Switch.
- Recovery: Permite la recuperación de la unidad ante cualquier error de configuración.

PIDU Plus.

Figura 3.6. PIDU Plus: "Powered Indoor Unit".

Elaboración: Los Autores.

3.2.2.4 Verificación de funcionamiento del enlace PTP54500

Una vez instalado el enlace, se posicionó al ODU a 48° Norte-Este con dirección hacia el cerro Troya, además posee una inclinación de -0,5°, para verificar que el enlace se encuentre funcionando y buscando el enlace Wireless nos dirigimos a la página web del equipo únicamente con la dirección IP con la cual está configurada, dar click en la pestaña "Status", en donde se despliega la información como se muestra en la Figura *3.*7, se observa que el estado del puerto se encuentra operativo, en la tabla Wireless observamos que el estado del enlace se encuentra en "Searching", es decir buscando y está transmitiendo a una potencia de 27 [dBm].

Configuración enlace PTP54500.

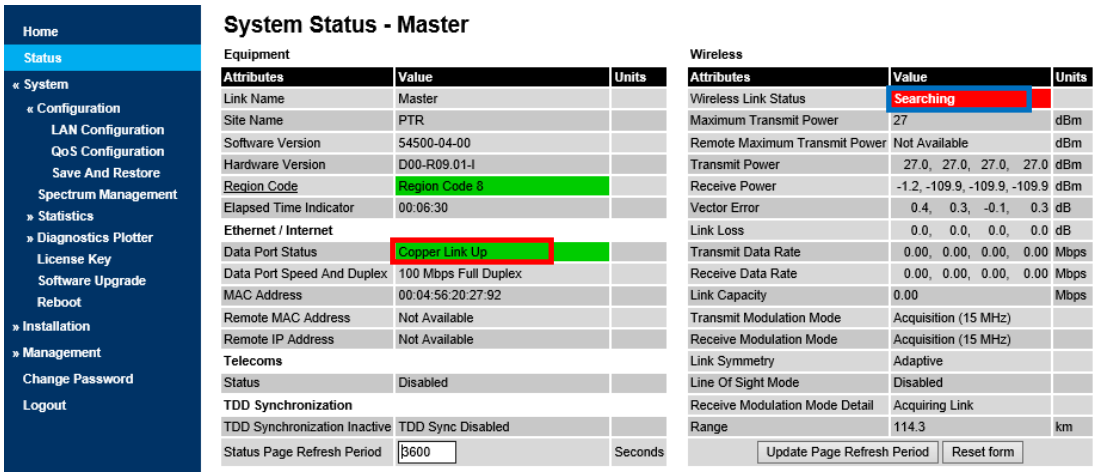


Figura 3.7. Estado del sistema Master.

Elaboración: Los Autores.

3.2.3 Instalación de la repetidora digital Motorola MOTOTRBO DGR 6175

Es una repetidora bidireccional la misma que permite el uso de dos vías simultáneas de voz y datos aumentando la eficiencia operativa, con un alto rendimiento en la calidad y confiabilidad en comunicaciones diarias. (MOTOTRBO, 2008).

La repetidora digital Motorola DGR 6175 está conectado hacia el Duplexor Sinclair Q3330E mediante cable Heliax y conectores Tipo N, el duplexor está calibrado para las frecuencias de trabajo del cerro Palta Rumi la cuales son:

Tabla 3.2.

Frecuencias asignadas por ARCOTEL al cerro Palta Rumi.

Frec. TX (MHz)	Frec. RX (MHz)
162.15000	163.15000

Elaboración: Los Autores.

NOTA: Por políticas de seguridad de la empresa la repetidora digital Motorola DGR 6175, fue configurada por el Ingeniero a cargo, por lo cual no se detallan parámetros de configuración de dicho equipo.

Tabla 3.3.

Especificaciones técnicas del repetidor MOTOTRBO DGR 6175.

CARACTERISTICAS			
GENERAL	**VHF**	**UHF**	
		BAND I	**BAND II**
Número de canales	1000		
Salida RF	1-25W 25-45W	1-25W 25-40W	1-40W 1-25W sobre 512MHz
Frecuencia	136-174MHz	403-470MHz	450-527MHz
RECEPTOR		**BAND I**	**BAND II**
Espaciamiento de canal	6.25kHz/12.5 kHz		
Sensibilidad Analógica	0.3µV 0.22 µV (típica)		
Sensibilidad Digital	5% BER: 0.3 µV		
Intermodulación	78dB	75dB	
Distorsión de audio	3%		
	VHF	**UHF**	
TRANSMISOR		**BAND I**	**BAND II**
Espaciamiento de canal	6.25kHz/12.5 kHz		
Potencia de Salida	1-25W 25-45W	1-25W 25-40W	1-40W 1-25W sobre 512MHz
Limitación de modulación	+/- 2.5kHz a 12.5kHz +/- 5.0kHz a 25kHz		

Elaboración: Datos pertenecientes de la Información Técnica provista por MOTOROLA.

3.2.4 Inventario de los nuevos equipos instalados en cerro Palta Rumi

A continuación, se muestran los equipos nuevos que fueron instalados en cerro Palta Rumi con sus características más relevantes.

Tabla 3.4.

Equipos ubicados en el Cerro Palta Rumi.

EQUIPO	MARCA	MODELO SERIE	CARACTERISTICAS
MOTOTRBO VHF Digital	MOTOROLA	LAM27JQR9JA7AN 484TJQ1951	Sensibilidad: 0.3 µV Frecuencia:136-174 MHz
PTP54500 ODU	MOTOROLA	WB2872	Frecuencia: 5.4 – 5.8 GHz Rango: 250 Km Potencia de Transmisión: -18dBm - 27dBm
PIDU Plus	MOTOROLA	WB2521 1045497567	Voltaje IN: 100-240 V_{AC} Corriente: 1.8 A
PTP-LPU	MOTOROLA	WB2900C S20101160248	Temperatura: -40°C - +60°C

Elaboración: Los Autores.

3.3 Sistema de comunicación VHF Carchi “Estación Troya”

La caseta de comunicación “Troya” usa las frecuencias concedidas y otorgadas por la ARCOTEL que son: para transmisión 160.08750[MHz] y para la recepción 161.08750[MHz], en modo de operación, en el cerro Palta Rumi, se procedió a efectuar los cambios que se describen a continuación:

3.3.1 Instalación del enlace PTP54500 Series de Cambium Networks

Para proceder con la instalación de la antena de enlace PTP54500 Series, se efectúa las siguientes calibraciones y configuraciones de características mediante el software de configuración propietario de Motorola Point-to-Point Wireless Solutions, que poseen dichas antenas al ser conectadas mediante cable de red.

3.3.1.1 Configuración del direccionamiento IP

Una vez ingresada en la página web de configuración del enlace PTP54500, se procede a dar click en la pestaña "Configuration", seguidamente se despliega varias opciones dentro de la cuales se escoge "LAN Configuration", donde se abre la página para efectuar el ingreso de la dirección IP, máscara de red y dirección de Gateway de acuerdo al segmento de red que posee la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A., dados en la Tabla 3.5, los demás parámetros se dejan configurados por defecto, para guardar los cambios efectuados se da click en el botón "Submit Updated System Configuration".

Tabla 3.5.

Direccionamiento IP para el enlace PTP54500 ubicado en cerro Troya.

Atributo	**Valor**
IP Address	172.19.2.12
Subnet Mask	255.255.0.0
Gateway IP Address	172.19.1.1

Elaboración: Los Autores.

Nota: Datos pertenecientes al direccionamiento provisto por DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

3.3.1.2 Configuración del Sistema

Se procede a designar al sistema como Slave ya que será el enlace controlado desde el cerro Palta Rumi, el nombre del sitio se abrevia Troya como TRY, en modo de modulación se escoge el de mayor eficiencia para la transmisión el cual es 64QAM, cabe mencionar que al efectuar la calibración del enlace la antena PTP54500 procede a verificar un análisis para escoger cual es el mejor modo de modulación de acuerdo a la velocidad que transmite.

La potencia de transmisión a la que trabaja la antena es de 27 [dBm], el cual es el mayor valor posible, se escoge dicho valor para poder cumplir con la distancia que separa a ambos cerros que es de 62.702 km, los demás atributos de la antena se dejan por default, para guardar los cambios efectuados se da click en el botón "Submit Updated System Configuration".

Una vez efectuados los cambios se procede a verificar si fueron guardados satisfactoriamente en el sistema de la antena PTP54500, por lo cual se reinicia la antena, una vez conectada la antena se da click en la pestaña “Configuration”, seguido se escoge la opción “Installation”, donde se puede apreciar los cambios que han sido efectuados como se muestra en la Figura *3*.8.

Configuración del enlace PTP54500.

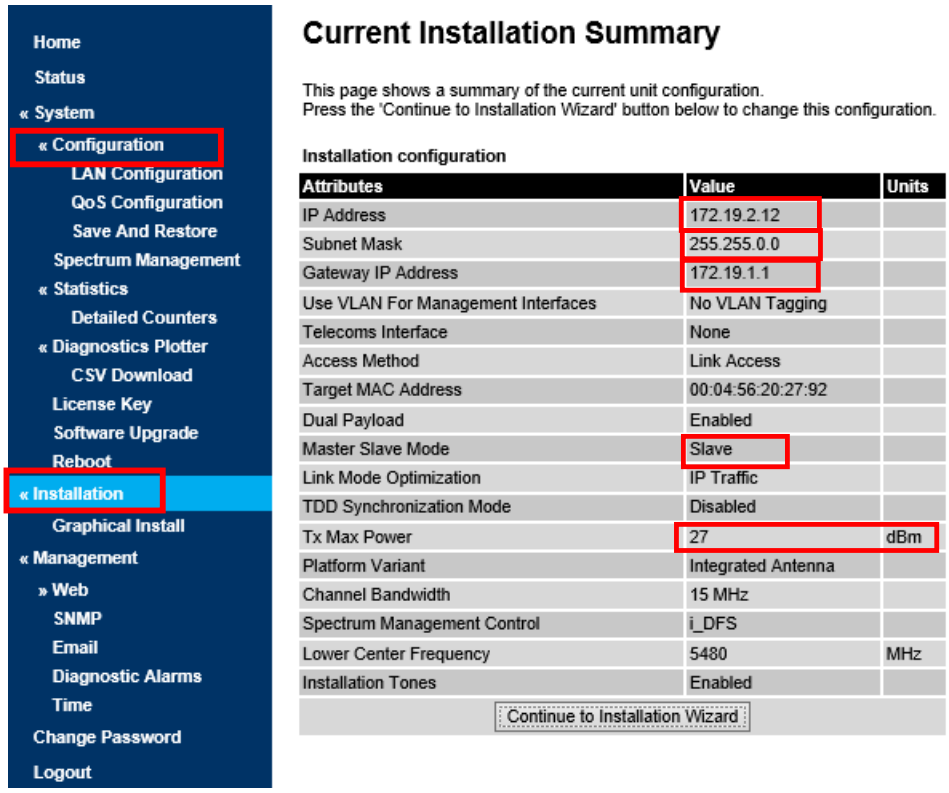


Figura 3.8. Resumen de la instalación del sistema para el enlace PTP54500 ubicado en cerro Troya.
Elaboración: Los Autores.

3.3.1.3 Armado del enlace PTP54500 y colocación en la torre de comunicación

El enlace PTP54500 consta de varios accesorios para su funcionamiento los cuales fueron detallados en el apartado 3.1.2.3, de igual manera para la instalación de la antena de enlace PTP54500 Series ODU, se toma en cuenta las recomendaciones de altura simuladas con el software LINKPlanner 4.4.0., el cual sugiere que se proceda a instalar a una altura de 12 metros en la torre no autosoportada de comunicación.

3.3.1.4 Calibración del enlace PTP54500

Una vez instalado el enlace, se posicionó al ODU a 225° Sur-Este con dirección hacia el cerro Palta Rumi, para poder posicionar de una manera correcta el enlace se procedió a usar la opción de página web del equipo únicamente con la dirección IP con la cual está configurada, damos click en la pestaña "Installation" y escoger "Graphical Install", al seleccionar esta opción en el equipo ODU se enciende un sonido que permite efectuar la calibración desde la torre de comunicación, con la ayuda de un estetoscopio[9] propio de los equipos se procede a escuchar los sonidos mientras se van haciendo las respectivas variaciones de movimiento del ODU para encontrar el enlace instalado en Palta Rumi, mientras más agudo es el sonido significa que está en línea de vista con el otro ODU, mientras tanto otra persona ubicada en la caseta de comunicación verifica el estado del enlace por medio de la página web como se muestra en la Figura *3*.9, efectuados todos los movimientos pertinentes del ODU se llegó al índice de calibración de 38.

Configuración del enlace PTP54500.

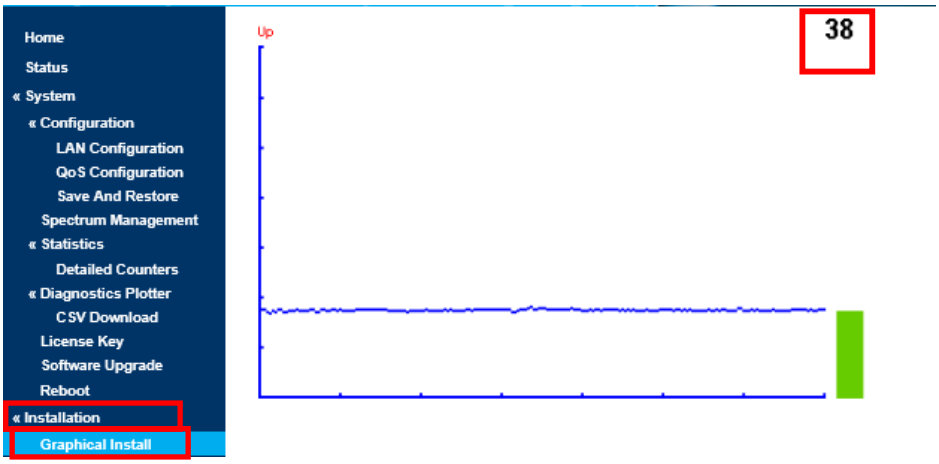


Figura 3.9. Calibración del enlace PTP54500 ubicado en cerro Troya.

Elaboración: Los Autores.

3.3.1.5 Verificación de funcionamiento del enlace PTP54500

Posicionado el ODU en dirección hacia cerro Palta Rumi se verifica que el enlace esté funcionando correctamente, para lo cual nos dirigimos a la página web del equipo únicamente con la dirección IP con la que se encuentra configurada, damos click en la

[9] Estetoscopio: Es un aparato acústico mayormente usado en medicina para escuchar los sonidos internos del cuerpo.

pestaña Status, en donde se despliega la información como se muestra en la Figura *3*.10, se observa que el estado del puerto se encuentra funcionando, en la tabla Wireless observamos que el estado del enlace se encuentra operativo además los parámetros que se muestran en la Tabla *3*.6.

Configuración del enlace PTP54500.

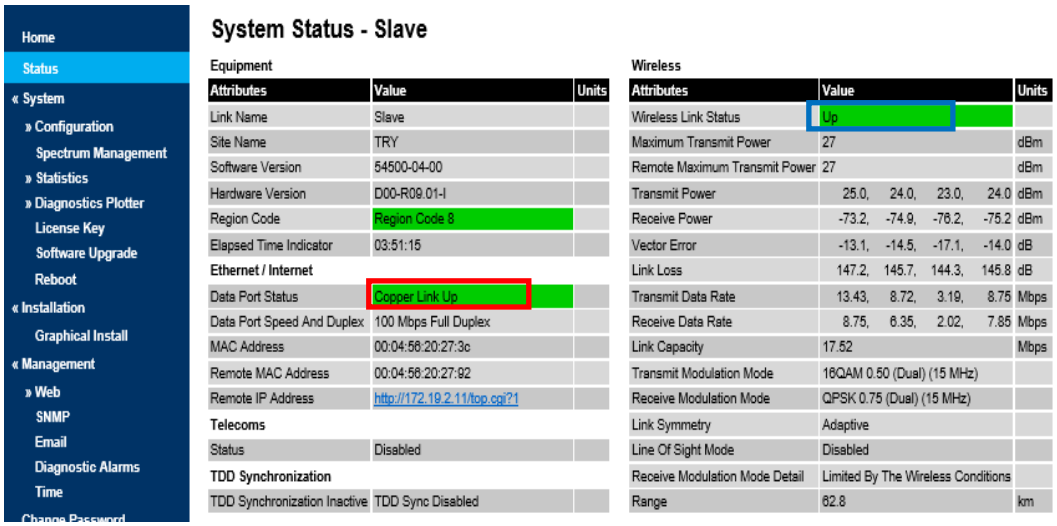


Figura 3.10. Estado del sistema Slave.

Elaboración: Los Autores.

Tabla 3.6.

Parámetros del enlace subido entre Palta Rumi y Troya.

Parámetros	Valor	Unidad
Máxima potencia de transmisión	27	dBm
Potencia de transmisión	24	dBm
Potencia de recepción	-74.875	dBm
Perdidas del enlace	145.7	dB
Velocidad de datos de transmisión	8.72	Mbps
Velocidad de datos de recepción	6.35	Mbps
Capacidad del enlace	17.52	Mbps
Modo de modulación de transmisión	16QAM 0.50 Dual	
Modo de modulación de recepción	QPSK 0.75 Dual	

Elaboración: Los Autores.

Se observa que la velocidad a la que trabaja el enlace es simétrica ya que el valor de transmisión es semejante al valor de recepción, cabe mencionar que los modos de modulación son escogidos automáticamente, por el enlace permitiéndole tener autonomía de acuerdo al tipo de datos o información que se esté transmitiendo.

3.3.2 Instalación del repetidor digital Motorola MOTOTRBO DGR 6175

El repetidor digital Motorola DGR 6175 está conectado hacia el Duplexor Sinclair Q3330E, el duplexor está calibrado para las frecuencias de trabajo del cerro Troya la cuales son:

Tabla 3.7.

Frecuencias asignadas por ARCOTEL al cerro Troya.

Frec. TX (MHz)	Frec. RX (MHz)
160.08750	161.08750

Elaboración: Los Autores.

3.3.3 Instalación del Duplexor Sinclair Q3330E

El duplexor consta de dos cavidades resonantes que hacen el trabajo de filtro pasa bajos y pasa altos, para trabajar a las frecuencias de operación mencionadas en la Tabla 3.7, la calibración se efectúa como se observa en la Figura 3.11, siguiendo el procedimiento que se muestra a continuación:

- Conectar el generador RF hacia la sección de antena (ANT) del duplexor.
- Programar el radio a la frecuencia alta la cual es la de transmisión de 161.08750 [MHz], hacia la sección pasa bajo (LOW PASS).
- Colocar una carga fantasma de 50 Ω.
- Ajustar los tornillos de la sección pasa bajo (LOW PASS), hasta que la señal de audio se nulifique en el parlante del radio.
- Para la calibración de la sección pasa altos (HIGH PASS), el radio es programado a la frecuencia baja de recepción de 160.08750 [MHz]. (Syscom, 2014).

Calibración del Duplexor Sinclair Q3330E.

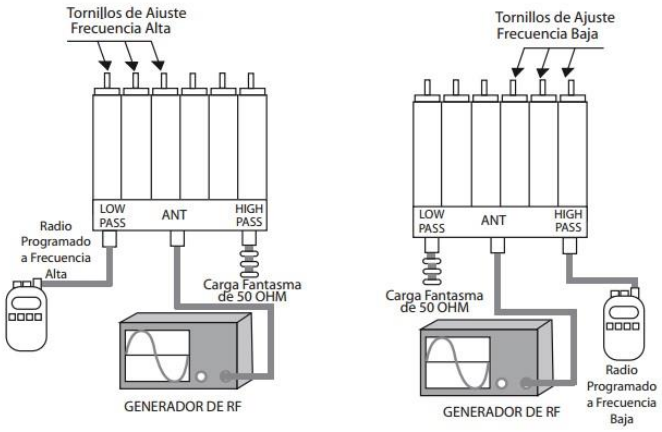


Figura 3.11. Esquema de calibración del Duplexor Sinclair Q3330E.

Elaboración: Departamento de Ingeniería Syscom

3.3.4 Fabricación e instalación de antena Yagi-Uda

La construcción de la antena Yagi-Uda se la realizo con aluminio, las características de longitud dependen de la frecuencia a la cual va a trabajar que es de 160.08750 [MHz] y consta: Director, reflector, boom y capacitor.

Una vez construida la antena se procede a efectuar la calibración, por lo cual se conecta a una radio fija programada a la frecuencia solicitada para la medición de la potencia directa y reflejada se lo realiza con un vatímetro, se debe ir recortando la longitud del capacitor hasta obtener la mayor potencia directa y la potencia reflejada más baja, como se muestra en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8.

Calibración antena Yagi-Uda para el cerro Troya a frecuencia de 160.0875 [MHz].

LONGITUD[cm]	CORTE[cm]	POTENCIA DIRECTA [w]	POTENCIA REFLEJADA [w]
40,5	-	21,9	9
22,7	0,1	42,5	0,05
22,1	0,6	44	0,01
	Potencia Directa = 44[w]		**Potencia Reflejada= 0,01[w]**

Elaboración: Los Autores.

3.3.5 Inventario de los nuevos equipos instalados en cerro Troya

A continuación, se detallan los equipos nuevos que fueron instalados en cerro Troya con sus características más relevantes.

Tabla 3.9.

Equipos ubicados en el Cerro Troya.

EQUIPO	MARCA	MODELO SERIE	CARACTERISTICAS
Repetidora MOTOTRBO VHF Digital	MOTOROLA	LAM27JQR9JA7AN 484TJQ1951	Sensibilidad: 0.3 µV Frecuencia: 136-174MHz
PTP54500 ODU	MOTOROLA	WB2872	Frecuencia: 5.4 – 5.8GHz Rango: 250 Km Potencia de Transmisión: -18dBm - 27dBm
PIDU Plus	MOTOROLA	WB2521 0819186398	Voltaje IN: 100-240 V_{AC} Corriente: 1.8 A
PTP-LPU	MOTOROLA	WB2900C S20101160248	Temperatura: -40°C - +60°C
Duplexor	SINCLAIR	Q202GC. S/N	Frecuencia: 132-174MHz
Antena	DATARADIO	Antena Yagi 2 elementos. S/N	Frecuencia:160.0875MHz Ganancia: 23 dBi

Elaboración: Los Autores.

CAPÍTULO 4
RESULTADOS DE LA IMPLEMETACION

En este capítulo se expone un análisis de los valores obtenidos en la implementación del sistema comunal de explotación de radiocomunicación móvil terrestre en el rango de frecuencia VHF digital, generalmente se toma en cuenta los valores obtenidos en la calibración del enlace, el área de cobertura de las antenas offset y las pruebas de intensidad de campo entre Palta Rumi y Troya.

Se detalla el programa de monitoreo que DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A, solicita para comprobar la operatividad de cada uno de los dispositivos instalados en la red que comprende Pichincha, Imbabura y Carchi.

4.1 Obtención de datos del enlace microondas PTP 54500 en Palta Rumi y Troya

Tomando en cuenta la configuración de los PTP 54500 para que trabaje en modo dual y modulación de 64QAM como se detalla en el capítulo anterior, se realiza un análisis de espectro radioeléctrico en la banda de 5480 [MHz] hasta 5715 [MHz], esto permite monitorear el espectro radioeléctrico disponible, en el cual el enlace puede operar mejor, tomando en cuenta la interferencia del canal adyacente, se tiene un solapamiento de 15[MHz], además se detalla los niveles de potencia de recepción del canal disponible que va desde -100 [dBm] hasta -40 [dBm], permitiendo así que el PTP54500 ajuste automáticamente su modulación de acuerdo a los parámetros del umbral mínimo requerido los mismos que se detalla en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1.

Umbral del ancho de banda 15MHz modo IP para el PTP54500.

Tipo de modulación (Dual)	Umbral del Sistema (dBm)	Vector de error (dB)	Potencia de salida (dBm)	Perdida máxima del enlace (dB)
64QAM 0.83	-70.2	-21.1	+21.0	137.2
64QAM 0.67	-74.0	-18.8	+22.0	142.0
16QAM 0.75	-76.7	-14.7	+23.0	145.6
16QAM 0.50	-81.2	-12.1	+24.0	151.2
QPSK 0.75	-82.6	-8.3	+25.0	153.6

Elaboración: Los Autores.

Nota: Datos obtenidos del manual del enlace microondas PTP 54500.

En la gestión de espectro radioeléctrico se pueden observar diferentes colores los que permiten conocer el estado de los canales de la siguiente forma.

Tabla 4.2.

Estados de los canales representados en la gestión de espectro.

Estado	Significado
Activo	El canal está en uso, alojando el enlace inalámbrico punto a punto.
Interferencia	El canal tiene interferencia por encima del umbral permitido.
Disponible	El canal tiene interferencia por debajo del umbral permitido.
Prohibido	El administrador del sistema ha prohibido es uso de este canal.

Elaboración: Los Autores.

4.1.1 Análisis del espectro radioeléctrico en el enlace microondas PTP 54500 en PALTA RUMI

Como se puede observar en la Figura 4.1, la estación de Palta Rumi, tiene un nivel de interferencia bajo, debido a la existencia de veintinueve canales disponibles para su asignación, el análisis de espectro efectuado en Palta Rumi asigna automáticamente el canal 6 como el canal disponible para el enlace, este canal utiliza la frecuencia de 5505 [MHz] con un valor pico de -88 [dBm] y un promedio entre -92 a -90 [dBm], como canales adyacentes están operando, el canal 5 con una frecuencia de 5500 [MHz] y un

valor pico de -87 [dBm] y, el canal 7 con una frecuencia de 5510 [MHz] y un valor pico de -84 [dBm].

Gestión del espectro en el modo de frecuencia fija.

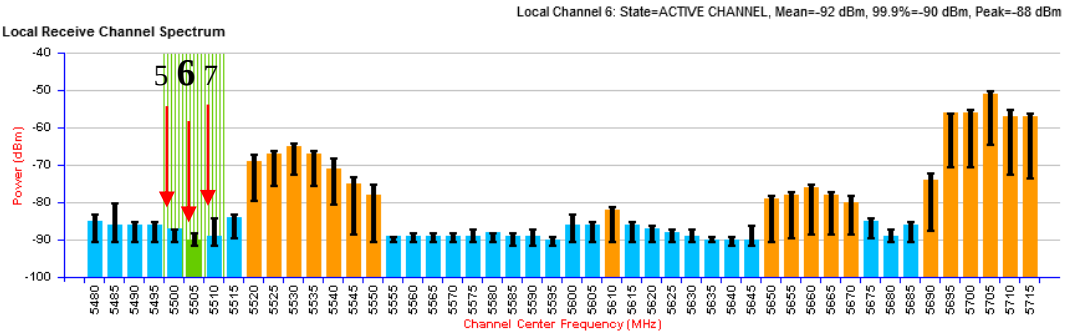


Figura 4.1. Espectro radioeléctrico obtenido del PTP54500 ubicado en cerro Palta Rumi.

Elaboración: Los Autores.

4.1.2 Análisis del espectro radioeléctrico en el enlace microondas PTP 54500 en TROYA

En la Figura 4.2, la estación de Troya, tiene un nivel de interferencia alto, ya que solo dispone de siete canales para la asignación, debido a que en el sector operan diferentes canales de televisión, empresas que emplean enlaces de microonda, el análisis de espectro efectuado en esta estación asigna automáticamente al canal 6 como el canal disponible para el enlace, utiliza la frecuencia de 5505 [MHz] con valor pico de -83 [dBm] y un promedio entre -89 a -84 [dBm], como canales adyacentes están operando el canal 5 con una frecuencia de 5500 [MHz] y un valor pico de -82 [dBm] y, el canal 7 con una frecuencia de 5510 [MHz] y un valor pico de -83 [dBm].

Gestión del espectro en el modo de frecuencia fija.

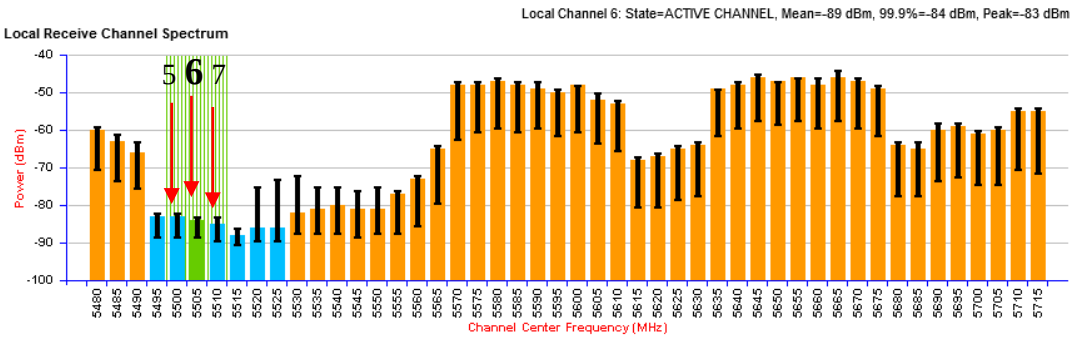


Figura 4.2. Espectro radioeléctrico obtenido del PTP54500 ubicado en cerro Troya.

Elaboración: Los Autores.

El valor pico de -88 [dBm] obtenido en el canal 6 de la estación Palta Rumi y el valor pico de -80 [dBm] obtenido en el canal 6 de la estación de Troya, asignados por la configuración de modulación adaptiva, depende de los parámetros del umbral que se detalla en la Tabla 4.1, estos parámetros configuran la modulación de transmisión a 16QAM 0.50 y la modulación de recepción a QPSK 0.75, como se puede observar en la Figura 4.3.

Modulacion de transmision y recepcion.

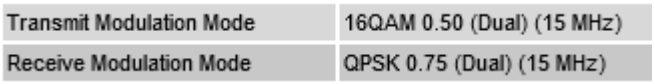


Figura 4.3. Modulación obtenida en el cerro Palta Rumi y Troya.

Elaboración: Los Autores.

4.1.3 Análisis de la simulación e implementación del enlace microondas PTP 54500 entre Palta Rumi y Troya

Los datos obtenidos en la simulación con LINKPlanner 4.4.0 como en la implementación varían en diferentes aspectos.

Tabla 4.3.

Comparativa entre los diferentes datos obtenidos en el enlace Palta Rumi y Troya.

	Simulación		**Implementación**	
Potencia del enlace	-71 [dBm] ± 5 [dB]		-74.875	[dBm]
Capacidad de datos	13.40	[Mbps]	17.52	[Mbps]
Caudal de transmisión	6.70	[Mbps]	8.72	[Mbps]
Modulación de transmisión	QPSK 0.75	Dual	16QAM 0.50	Dual
Modulación de recepción	QPSK 0.75	Dual	QPSK 0.75	Dual
Perdidas en el espacio libre	143.35	[dB]	145.7	[dB]
Disponibilidad	99.9991	[%]	99.9934%	[%]
Ancho de banda	15	[MHz]	15	[MHz]
Potencia de transmisión	27	[dBm]	24	[dBm]

Elaboración: Los Autores.

En la simulación el programa LINKPlanner 4.4.0 adaptó el enlace a nivel de potencia de -71 [dBm] ± 5 [dB] pronosticando que las pérdidas por espacio libre son de 143.35 [dB], estas características varían frente a la implementación debido a que el sistema proporciona un esquema de modulación adaptativa, donde el receptor monitoriza continuamente la calidad de la señal recibida y notifica al otro extremo del enlace la modulación óptima con la que debe transmitir, de esta manera, la capacidad óptima se consigue en todo momento, proporcionando la protección contra el desvanecimiento y aumentando la probabilidad de que el receptor decodifique a una señal utilizable, por lo cual el nivel de potencia de -74.875 [dBm] con pérdidas en el espacio libre de 145.7 [dB], esta configuración permite trabajar al enlace en modulación de transmisión de 16QAM 0.50 y en modulación de recepción QPSK 0.75, en la implementación la capacidad máxima de transmisión de datos aumenta a 17.52 [Mbps], mientras que en la simulación se obtuvo un valor de 13.43 [Mbps], esto se debe a que las modulaciones trabajan a velocidades fijas, todos estos parámetros asignan el canal más óptimo en el enlace entre Palta Rumi y Troya, el que es el canal 6.

4.2 Inspección de campo del sistema de comunicación VHF implementado en Palta Rumi y Troya

4.2.1 MOTOTRBO Site Survey

Motorola dispone de una aplicación para la creación de mapas de cobertura fiable, el programa recibe los valores RSSI de una repetidora junto con las coordenadas GPS, estos datos son almacenados en un fichero compatible con Google.

4.2.1.1 Parámetros para la creación de un nuevo fichero en MOTOTRBO Site Survey

Paso 1: Para crear un nuevo fichero dar click en “Output File”, en “Filename” se escribirá el nombre del fichero, en este se almacenará los valores de RSSI y coordenadas GPS recogidos por el radio DMG 4100+, en “Folder” se selecciona la ruta en la que se almacenará el fichero; y, en “Format” es el formato en el que el usuario requiere guardar el fichero, los formatos disponibles son: KML, CVS y GPX.

Fichero nuevo en MOTOTRBO Site Survey.

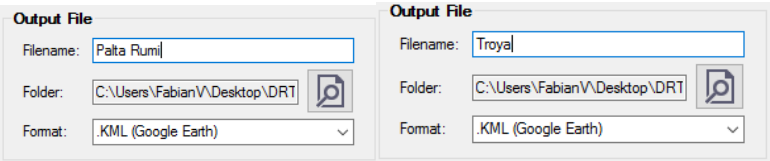


Figura 4.4. Campos para la creación de un nuevo fichero en MOTOTRBO Site Survey.

Elaboración: Los Autores.

4.2.1.2 Configuración del programa MOTOTRBO Site Survey

Paso 2: "MOTOTRBO Site Survey" requiere la dirección IP del radio vehicular DGM 4100+ que se va a conectar a la PC, la cual es 192.168.10.1, la conexión del PC al radio se la puede realizar con cable de programación o vía Bluetooth dependiendo del modelo de radio, en "Sample RSSI every" se elige el tiempo en el cual el radio deberá transmitir para obtener una señal RSSI, como se puede observar en la Figura 4.5.

Parámetros de configuración del programa MOTOTRBO Site Survey.

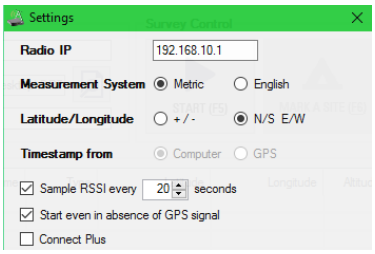


Figura 4.5. Selección de configuración en MOTOTRBO Site Survey.

Elaboración: Los Autores.

Paso 3: "RSSI Strength (dBm)" viene configurada por defecto **y** permite asignar colores distintos a los rangos de valor RSSI como se puede observar en la Figura 4.6.

Asignación de colores para niveles RSSI en MOTOTRBO Site Survey.

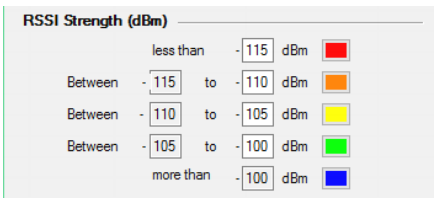


Figura 4.6. Niveles RSSI.

Elaboración: Los Autores.

4.2.4 Niveles RSSI obtenidos por MOTOTRBO Site Survey

Los datos obtenidos están representados en [dBm] siendo -77[dBm] el umbral deseado, la escala se define como se pude observar en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4.

Escala y el tipo de señal de los niveles de RSSI.

R S S I	
ESCALA	**TIPO DE SEÑAL**
-40 dBm	Señal ideal
-76 dBm	
-77 dBm	Señal permitida
-100 dBm	
-101 dBm	Señal mínima tolerable
-115 dBm	

Elaboración: Los Autores.

4.2.4.1 Niveles RSSI obtenidos en las provincias de Imbabura y Carchi

La prueba de campo se efectuó desde el redondel de Tabacundo hasta el puente internacional de Rumichaca frontera con Colombia, siguiendo la Panamericana Norte, los datos obtenidos en la prueba de campo están representados en un mapa de Google Earth, se detalla la cobertura obtenida de las estaciones Palta Rumi y Troya como se puede apreciar en la Figura 4.7.

Niveles de RSSI obtenidos de las estaciones Palta Rumi y Troya

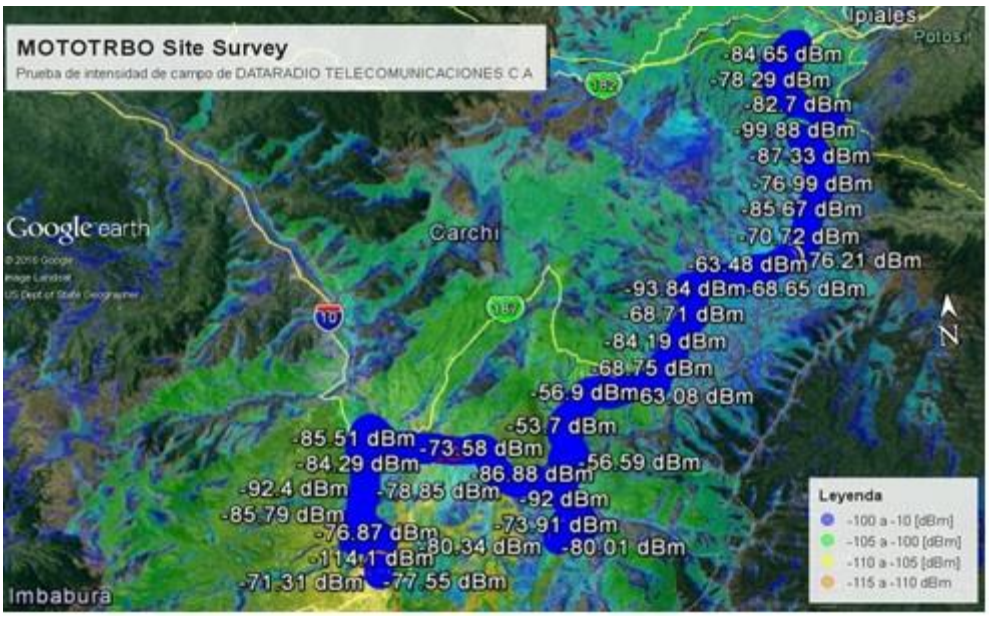


Figura 4.7. Valores obtenidos en el trayecto Panamericana Norte.

Elaboración: Los Autores.

4.2.4.2 Rendimiento de las estaciones Palta Rumi y Troya

En las pruebas de campo se adquirieron 729 datos de niveles de RSSI, el máximo valor de RSSI es de -117.53 [dBm] y el valor mínimo es de -45.53 [dBm], esto determina un valor promedio de -70.50 [dBm].

Se obtuvieron 437 datos de niveles de RSSI que se encuentran en el rango de una señal ideal dichos valores tienen un rango de -45.53 [dBm] hasta -75.53 [dBm] estos valores se encuentran dentro del umbral deseado.

Como señal permitida para la comunicación se obtuvo 272 datos de niveles de RSSI que se encurtan en el rango de -75.53 [dBm] hasta -99.53 [dBm] y como señal mínima tolerables no óptima para la comunicación de radios de dos vías se obtuvieron 20 datos de nivel de RSSI, estos datos van de -99.53 [dBm] hasta -117.53 [dBm] las variaciones de los niveles de intensidad de campo se debe a las zonas de sombra producida por la elevación del terreno a un costado de la carretera, estos valores se los puede apreciar en la Figura 4.8.

Rangos de intensidad de campo obtenidos en la implantación.

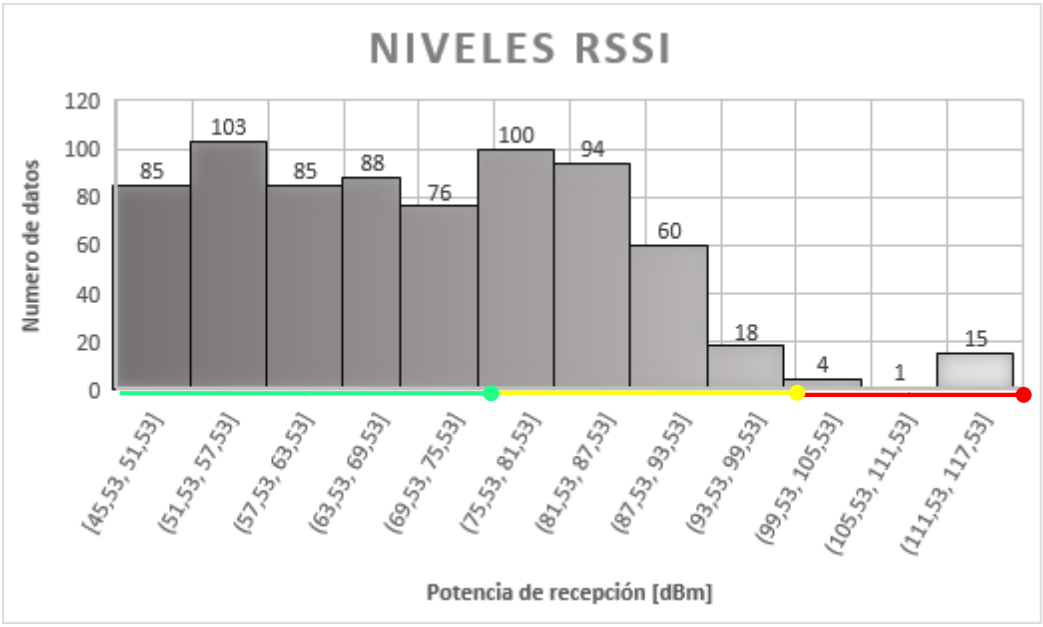


Figura 4.8. Rangos de niveles de RSSI obtenidos entre Palta Rumi y Troya.

Elaboración: Los Autores.

4.3 Monitoreo unificado de infraestructura de la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.

Los equipos que DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. implemento en los cerros Palta Rumi y Troya, están basados en una infraestructura de direccionamiento IPv4, esto permite la utilización de programas que permitan analizar protocolos de red, para ello se utiliza el programa de WhatsUp Gold que identifica todos los dispositivos de la red como enrutadores, conmutadores, servidores, etc., que se encuentran en el nivel de enlace y nivel de red.

4.3.1 Ipswitch WhatsUp Gold

El programa WhatsUp Gold permite crear un mapa de redes interactivo, donde se muestra el entorno de red de extremo a extremo; Visualizando el estado de cada dispositivo permitiendo así dar un vistazo a la salud de la red, WhatsUp Gold es un programa de fácil configuración, simplicidad y escalabilidad.

4.3.1.1 Creación de un nuevo grupo de monitorización en WhatsUp Gold

Paso 1: Para la creación de un nuevo mapa de red dar click en la pestaña "File/New/New Group" esto despliega una pantalla, donde se ubica el nombre de

nuevo grupo en este caso DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A, como se puede observar en la Figura 4.9.

Creación de un nuevo grupo en WhatsUp Gold.

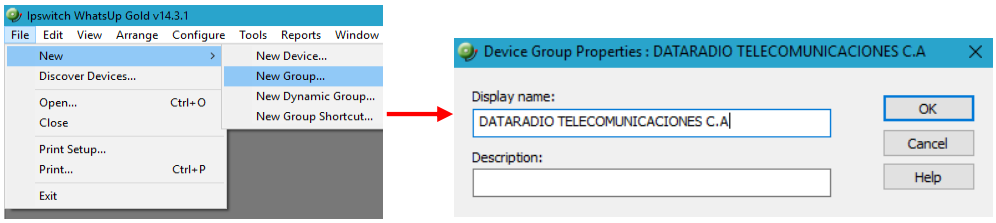


Figura 4.9. Nuevo grupo en WhatsUp Gold.

Elaboración: Los Autores.

Paso 2: Una vez creado un grupo, proceder a incluir los dispositivos que actualmente operan en la red de DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A, para este paso ubicamos "File/New/New Device" esto despliega una ventana, donde se escribe la dirección IPv4 de cada nuevo dispositivo que se agregue a la red, esto se observa en la Figura 4.10.

Creación de un nuevo dispositivo e ingreso de su dirección IPv4.

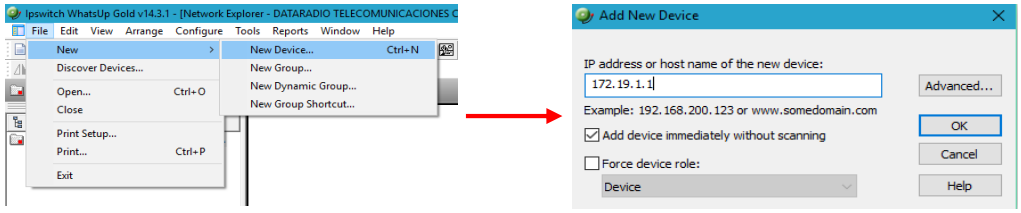


Figura 4.10. Nuevo dispositivo en WhatsUp Gold.

Elaboración: Los Autores.

Paso 3: Luego de que el programa comprueba la dirección IP en el entorno de red se procede a configurar diferentes parámetros del dispositivo, el tipo de protocolo de red que se configurara para el programa será ICMP (TCP/UDP), cada dispositivo se configurara con un "Host Name" y una dirección IP, también se selecciona un icono para mejor accesibilidad con el usuario esto se puede observar en la Figura 4.11.

Propiedades del dispositivo router.

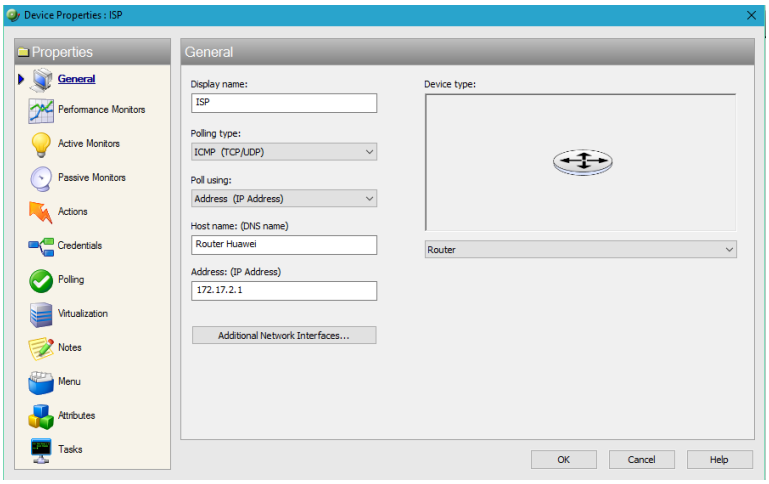


Figura 4.11. Propiedades del router en WhatsUp Gold.

Elaboración: Los Autores.

Paso 4: Se procede a crear los nuevos dispositivos en WhatsUp Gold, se tiene en cuenta la ubicación de los dispositivos para la creación del mapa de red, esto se puede observar en el ANEXO 6.

Paso 5 : El mapa de red creado trabaja de forma dinámica ya que WhatsUp Gold notifica la presencia de cada dispositivo físico, si el dispositivo se encuentra operativo más de 5 minutos, se encuentra en estado verde, si el protocolo ICMP no detecta el dispositivo físico por más de 2 minutos su estado es amarrillo, de lo contrario si el dispositivo físico no aparece en 5 minutos o más el estado del dispositivo es rojo.

Código de colores para los estados de cada dispositivo de red.

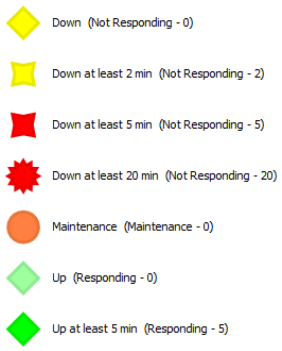


Figura 4.12. Código de colores para verificar el estado del sistema en WhatsUp Gold.

Elaboración: Los Autores.

4.4 Diagnostico y control de repetidoras MOTOTRBO mediante RDAC

RDAC es una aplicación de Motorola que permite al administrador de red MOTOTRBO, controlar y diagnosticar las repetidoras, permitiendo al administrador tener una reacción rápida frente a cualquier inconveniente que pueda surgir en la red, el administrador puede conectarse localmente o por medio de una red IP.

RDAC permite al administrador conocer el nivel de recepción en una repetidora en particular, de igual manera la aplicación permite que el administrador modifique los canales, cambie la potencia de funcionamiento y habilite o deshabilite el repetidor.

Programa RDAC control y diagnóstico de repetidoras MOTOTBRO.

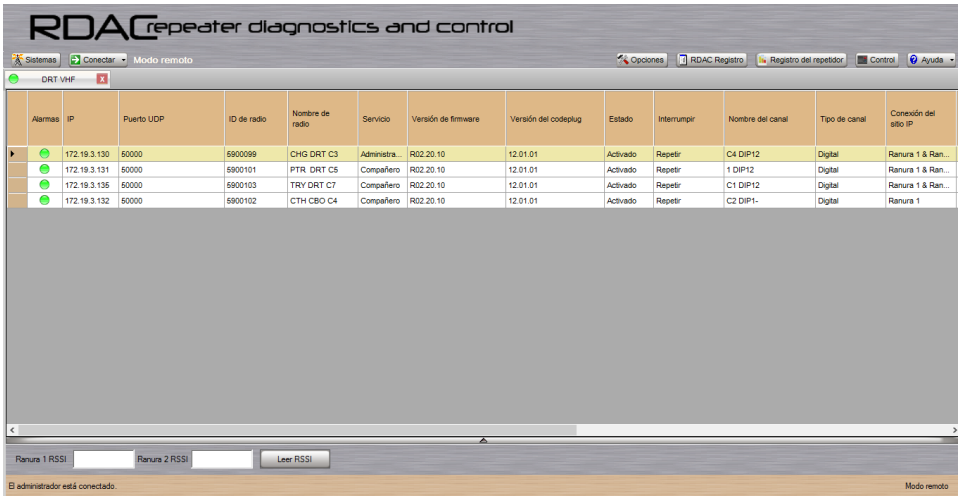


Figura 4.13. Repetidores MOTOTRBO configuras en RDAC.

Elaboración: Los Autores.

CONCLUSIONES

- Se determinó con la documentación aportada por la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. los sitios donde se efectuó el análisis del sistema, para proveer comunicación VHF entre las ciudades de Ibarra y Tulcán, los cuales poseen la acreditación de frecuencia tanto para transmisión y recepción otorgadas por la ARCOTEL.

- El diseño de la nueva red digital de comunicación VHF, se desarrolló con una simulación en el ámbito de enlace de microonda para obtener un control de todo el sistema, el programa LINKPlanner, permite determinar la eficacia de funcionamiento a 99.9991% dejando indisponible al sistema por 34 segundos al año, este porcentaje se compara contra el valor obtenido en la implementación cuyo valor es de 99.9934% se obtiene una probabilidad de que el sistema falle durante 34.6 minutos al año, lo cual es ocasionado por la distancia del enlace que es de 62.8 [Km], se prevé que el enlace este fuera de funcionamiento entre las provincias de Imbabura y Carchi durante este periodo, la transmisión de datos es simétrico de aproximadamente 8.72 [Mbps] entre los enlaces ubicados en cerro Palta Rumi y Troya.

- Una vez efectuadas las pruebas de campo mediante el software MOTOTRBO Site Survey, sobre el sistema comunal de explotación VHF digital implementado en las provincias de Imbabura y Carchi, se obtuvo un porcentaje de señal ideal de 59.945%, acorde al umbral máximo permitido por el ARCOTEL y recomendado por la ITU-R 1546-4, mientas que el nivel de señal permitida para la comunicación de radio de dos vías es de 37.311%, por lo tanto, se alcanzó un porcentaje de 97.256% de comunicación fiable.

- Se efectuó una comparativa entre la simulación de cobertura realizada en ICS TELECOM y las pruebas de campo obtenidas a lo largo de la Panamericana Norte, se cumplió con las expectativas propuestas por DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A., de ofrecer comunicación entre las ciudades de Ibarra y Tulcán además de contar con excelentes niveles de RSSI por el trayecto de la carretera con promedio de -70,50 [dBm].

- Dentro de las ventajas que se obtiene para los sistemas digitales son el aprovechamiento del ancho de banda, debido a que el repetidor digital utiliza dos ranuras simultaneas de 6.25 [KHz] dentro del ancho de banda asignado por el ARCOTEL que es de 12,5 [KHz], esta ventaja permite que el administrador del sistema ocupe un intervalo de tiempo para el uso aplicativo como son: trasmisión de datos "GPS", telemetría, mensajes de texto "SMS", etc; y, la otra ranura para él envió de voz donde podemos tener: llamadas selectivas, grupales o a todos, lo que en modo analógico nos ocuparía gran cantidad de subtonos y ancho de banda.

- En la simulación efectuada en el software ICS Telecom, se puede visualizar dos tipos de sombras que son generadas por las irregularidades geográficas, las mismas que son: sombras sin comunicación, en donde la comunicación es nula, la solución a este tipo de sombra es la implementación de una nueva repetidora con asignación de nuevas frecuencias, las mismas que tienen que ser solicitadas y autorizadas por la ARCOTEL; sombras de recepción, en este tipo de sombra las unidades de radio pueden receptar las señales pero no pueden transmitir, la solución es la implementación de repetidoras adicionales en el lugar que se presenta la sombra, dicha repetidora podrá usar las mismas frecuencias ya asignadas.

- La instalación de WhatsUp Gold sobre el servidor de DATARADIO TELECOMUNICACONES C.A., permite tener un sistema de gestión remoto en tiempo real de alertas con respecto a la falla de cualquier sistema en sus dispositivos físicos logrando así un sistema dinámico de mantenimiento correctivo, resolviendo los inconvenientes en el menor tiempo posible.

- Una vez que se proceda a efectuar las ventas para el uso del sistema digital implementado, se tiene previsto incrementar el mismo en un ciento por ciento es decir 200 usuarios, de acuerdo a la proyección se determinó que en el tercer año se llegue a tener un margen de utilidad de $15774,28, una vez deducido el costo inicial del proyecto como se puede observar en el ANEXO 7.

RECOMENDACIONES

- Recomendamos a la empresa DATARADIO TELECOMUNICACONES C.A., efectuar calibraciones periódicas a los enlaces microondas, debido a las condiciones climáticas de cada uno de los cerros, para permitir un funcionamiento eficaz de los mismos.

- Las condiciones climáticas de los cerros Palta Rumi y Troya, es pertinente realizar la impermeabilización de las casetas de telecomunicaciones en los mencionados cerros.

- Se recomienda efectuar la instalación de nuevos sistemas de puesto a tierra, en caso de que la empresa disponga la instalación de nuevos equipos dentro de las casetas de comunicación.

- En el eventual crecimiento del número de clientes, se recomienda la implementación de un sistema paralelo de repetidoras, al sistema ya existente consiguiendo así que las estaciones funcionen en modo CAPACITY PLUS, es decir aumentando la capacidad limitada de 200 usuarios a 1000 usuarios.

- Se recomienda observar los datos técnicos y versión de firmware de los dispositivos a implementar, debido a que algunas versiones son “Lite” y no cumplen con los requisitos para un funcionamiento óptimo del sistema.

- Se recomienda a la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A., que, para brindar un mejor servicio, debe realizar pruebas de campo de la intensidad de la señal con la ayuda del software MOTOTRBO Site Survey, las mismas que deberán efectuarse de forma semestral, esto permitirá tener un muestreo de comportamiento del sistema durante el periodo de un año.

- Se sugiere a la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A., que para posibles fallas del sistema se debe efectuar pruebas de caídas de enlaces microonda, funcionamiento de los equipos con respaldos de energía, pruebas para medir la capacidad de transmisión de datos, además se recomienda realizar calibraciones y

mediciones de potencia de los equipos para verificar que su funcionamiento sea el adecuado.

LISTA DE REFERENCIAS

Aler. (25 de Marzo de 2016). *Viva la radio*. Obtenido de http://www.vivalaradio.org/nuevas-tecnologias/PDFs/NTICS_reflexiones_10era-digital.pdf

Baterman, A. (2003). *Comunicaciones digitales: diseño para el mundo real.* Barcelona: Marcombo.

Fabara Von Lippke, M. J., & Villalba Márquez, R. D. (17 de Octubre de 2012). *Repositorio Escuela Politecnica Nacional.* Obtenido de Estudio para la migración del sistema de radiocomunicaciones VHF analógico de la EEQ a un sistema digital: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5148

Galán García, J. L. (1987). *Sistemas de unidades fisicas.* Barcelona: Reverte.

Herrick , H. (2008). *Comunicaciones de radio en la era digital.* Chicago: APEQS-COTELA C.A.

Marcombo S.A. (2008). *Telecomunicaciones Móviles.* Barcelona: Marcombo.

Martín Castillo, J. C. (2010). *Infraestructuras comunes de telecomunicación en viviendas y edificios.* Madrid: Editex.

MOTOROLA. (Octubre de 2015). MOTOTRBO System Planner. (P. D. Minango Negrete, & F. A. Valenzuela Chamorro, Trads.) Illinois, Estados Unidos: Motorola Solutions, Inc.

Motorola Solutions, Inc. (Octubre de 2015). *MOTOTRBO.* Obtenido de www.motorolasolutions.com/mototrbo

MOTOTRBO. (2008). *Motorola Solutions.* Obtenido de https://www.motorolasolutions.com/content/dam/msi/docs/business/product_lines/mototrbo/mobiles/_documents/spanish/staticfiles/dgr-_mototrbo_radios_repetidor_dgr_6175.pdf

Ramírez Luz, R. (2015). *Sistemas de radiocomunicaciones.* Madrid: Ediciones Paraninfo SA.

Sallent Roig, O., Valenzuela Gonzales, J. L., & Agusti Comez, R. (2003). *Principios de comunicaciones moviles.* Cataluna: Ediciones UPC.

Syscom. (12 de Abril de 2014). *SYSCOM.* Obtenido de http://www.bandasaltas.com.ar/files/Ajuste%20Duplexores%20Syscom.pdf

Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electronicas cuarta edicion.* (G. Mata Hernández, & V. Gonzáles Pozo, Trads.) Mexico: Pearson Educacion.

ANEXO 1. Carta del docente tutor informando la conclusión del trabajo de titulación.

Quito, 18 de Octubre del 2016

Ingeniera
Lorena Alejandra Fernández Yánez
DIRECTORA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Presente.

En calidad de tutor del trabajo de titulación de los estudiantes: MINANGO NEGRETE PABLO DAVID con CI.: 1716042435 y VALENZUELA CHAMORRO FABIAN ANTONIO con CI.: 1717348484, con el tema: "**DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES DIGITAL PARA LA EMPRESA DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. ENTRE IBARRA Y TULCÁN**", autorizo la entrega del borrador del trabajo de titulación que cumple con los requisitos establecidos por la Universidad.

Atentamente,

Carlos Augusto Cuichán Morales
CI: 1714389721

ANEXO 2. Datasheet del enlace microonda Cambium Network PTP 54500.

RADIO TECHNOLOGY	REMARKS
RF band	5.725 GHz–5.875 GHz; 5.470 GHz–5.725 GHz[1]
Channel size	Configurable to 5, 10 or 15 MHz
Channel selection	By *intelligent* Dynamic Frequency Selection (i-DFS) or manual intervention; automatic selection on start-up and continual adaptation to avoid interference
Transmit power	Varies with modulation mode and settings from -18 dBm to 27 dBm
System gain	Integrated: Varies with modulation mode; up to 167 dB using 23 dBi integrated antenna[2]
	Connectorized: Varies with modulation mode and antenna type[2]
Receiver sensitivity	Adaptive, varying between -94 dBm and -69 dBm
Modulation	Dynamic; adapting between BPSK and 64 QAM
Error correction	FEC
Duplex scheme	Time Division Duplex (TDD); each TDD-synchronized link requires a PTP-SYNC Synchronization Unit to provide an accurate timing reference signal
Antenna	Integrated: Integrated flat plate 23 dBi / 8°
	Connectorized: Can operate with a selection of separately-purchased single and dual polar antennas through 2 x N-type female connectors (check local regulations prior to purchase)
Range	Up to 155 miles (250 km)
Security and encryption	Proprietary scrambling mechanism; optional FIPS-197 compliant 128/256-bit AES Encryption

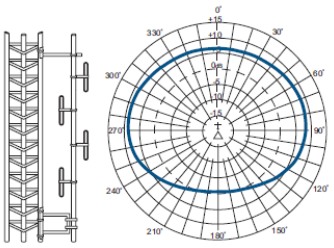
ETHERNET BRIDGING & T1/E1	
Protocol	IEEE 802.3
User data throughput	Full: Dynamically variable up to 105 Mbps at the Ethernet (aggregate): 5 MHz Channel – Up to 35 Mbps 10 MHz Channel – Up to 70 Mbps 15 MHz Channel – Up to 105 Mbps
	Lite: Dynamically variable up to 52 Mbps at the Ethernet (aggregate): 5 MHz Channel – Up to 17 Mbps 10 MHz Channel – Up to 35 Mbps 15 MHz Channel – Up to 52 Mbps
Latency	<3 ms average each direction
QoS	802.1p (2 levels)
Interface	10 / 100 Base T (RJ-45) – auto MDI/MDIX
T1/E1 interface	Single T1/E1 port (with splitter cable); G703/G704, G823/G824

MANAGEMENT & INSTALLATION	
LED indicators	Power status, Ethernet link status and activity
System management	Web or SNMP v1/v2c/v3 using MIBII and a proprietary PTP MIB; Motorola Wireless Manager, version 2.2 or higher
Installation	Built-in audio and graphical assistance and voltage output for link optimization
Connection	Distance between outdoor unit and primary network connection: up to 330 ft. (100 meters)
Lightning protection	Built into the Outdoor Unit (ODU); an external PTP Lightning Protection Unit (PTP-LPU) end device is required near the base of the tower or wall at the cable entrance point leading to the network

PHYSICAL	
Dimensions	Integrated ODU: Width 14.5" (370 mm), Height 14.5" (370 mm), Depth 3.75" (95 mm)
	Connectorized ODU: Width 12.2" (309 mm), Height 12.2" (309 mm), Depth 4.1" (105 mm)
	Powered Indoor Unit (PIDU Plus): Width 9.75" (250 mm), Height 1.5" (40 mm), Depth 3" (80 mm)
Weight	Integrated ODU: 11.8 lbs (5.35 kg) including bracket
	Connectorized ODU: 10.4 lbs (4.7 kg) including bracket
	PIDU Plus: 1.9 lbs (864 g)
Wind speed survival	202 mph (325 kph)
Power supply	Integrated with Indoor Unit
Power source	90–240 VAC, 50–60 Hz / 36-60V DC; redundant powering configurations supported
Power consumption	50 W max

ENVIRONMENTAL & REGULATORY	
Operating temperature	-40°F (-40°C) to +140°F (+60°C), including solar radiation
Protection and safety	UL60950-1; IEC60950-1; EN60950-1; CSA-C22.2 No. 60950-1
Radio	5.8 GHz: USA CFR 47 Part 15.247 Canada IC RSS-210 Issue 7 Europe EN 302 502, Eire Comreg 06/47R, UK IR2007
	5.4 GHz: USA CFR47 Part 15.407 Europe EN 301 893, Canada IC RSS-210 Issue 7
EMC	USA CFR 47 Part 15 Class B, Canada CSA Std C108.8 1993 Class B, Europe EN 55022 CISPR 22
Safety	Europe EN 301 489 - 1/4

ANEXO 3 Datasheet antena Andrew Off-set DB224E.



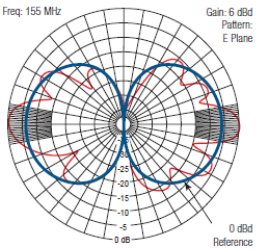
DB224 (omni) mounted on side of tower.

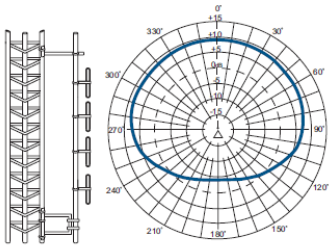
SIDE MOUNTING

The patterns indicate the typical pattern shape of the antenna side mounted on a tower with an 18" to 24" (457.2 to 609.6 mm) face, using the DB5001 Side Mount Kit.

The DB5001 Side Mount Kit positions the antenna approximately 18" from the tower and consists of an upper sway brace, lower bracket (both galvanized) and the necessary hardware for attaching the bracket to round tower members up to 3" OD, or angular members up to 2" on a side. Other size clamps can be supplied on special order.

DB224 Vertical Pattern

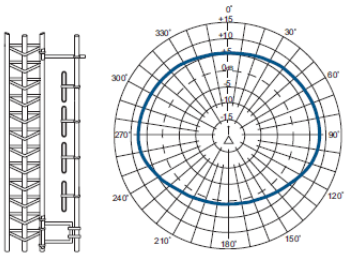




DB224E, elements pointed away from the tower.

ELECTRICAL DATA

Frequency Ranges* – MHz	See Model Table	
Bandwidth (150-174 MHz) – MHz	10	
VSWR	1.5 to 1 or less	
Nominal Impedance – Ohms	50	
Gain (over half-wave dipole) – dBd	**Omni Pattern** 6.0	**Offset Pattern** 9.0
Maximum Power Input – Watts	500	
Vertical Beamwidth (half-power points)	16°	
Decoupling Between Antennas (split models) – dB	35 minimum	
Lightning Protection	Direct ground	
Standard Termination	Captive Type N-Male attached to end of flexible lead.	



DB224E, elements pointed toward the tower.

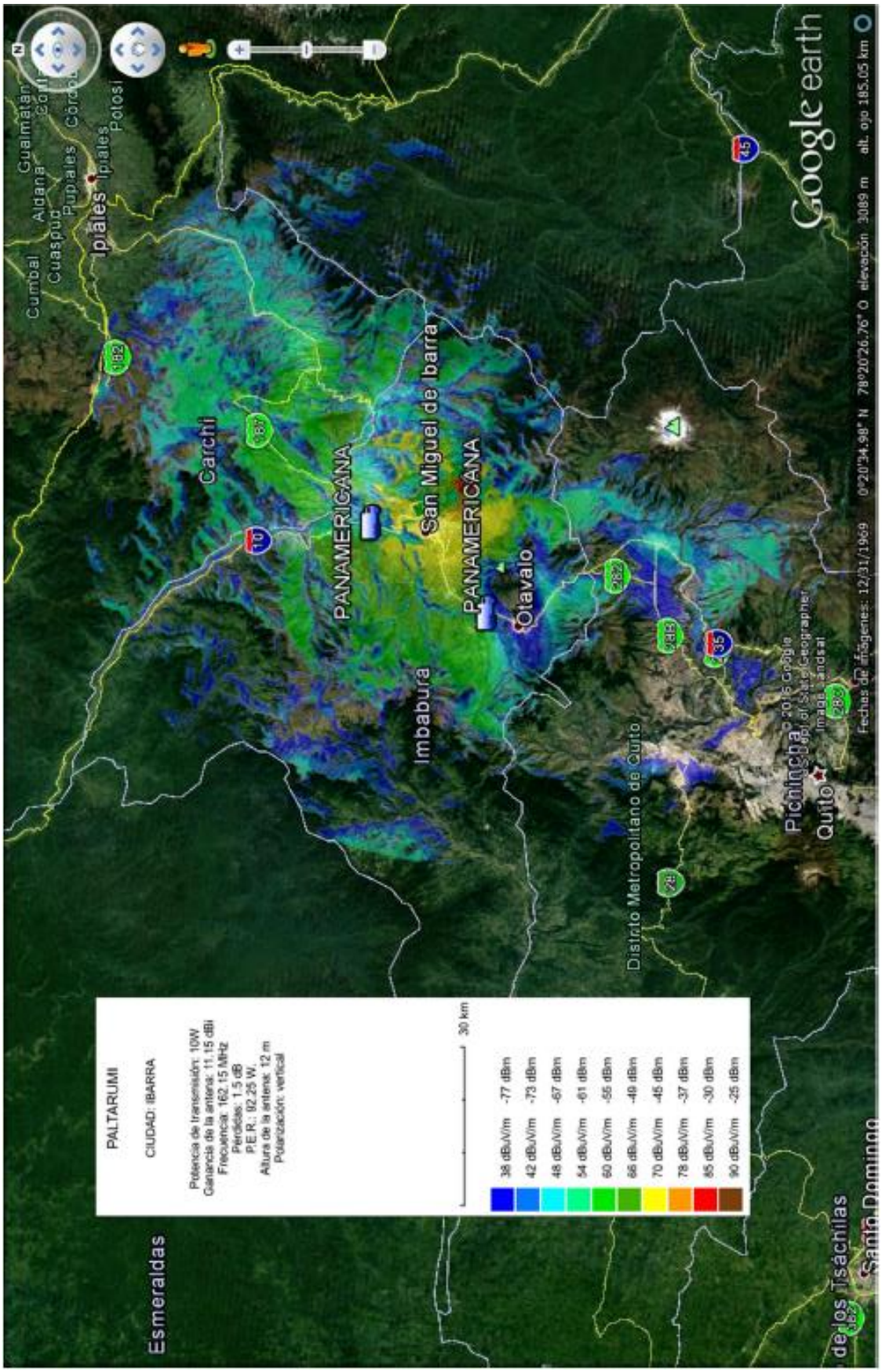
MECHANICAL DATA

Mast – Upper (aluminum) – in. (mm)	1.75 (44.45) OD with 0.062 to 0.125 (1.57 to 3.18) wall	
Mast – Lower (aluminum) – in. (mm)	2 (50.8) OD with 0.125 to 0.187 (3.18 to 4.75) wall	
Radiating Elements (aluminum) – in. (mm)	0.5 (12.7) OD with 0.058 (1.47) wall	
Maximum Exposed Area (flat plate equivalent) – ft² (m²)	3.15 (0.292)	
Lateral Thrust at 100 mph (161 km/hr) – lbf (N)	126 (560.5)	
Wind Rating:*	**Top Mounted**	**Side Mounted**
Survival w/o Ice – mph (km/hr)	80 (129)	100 (161)
Survival with 0.5" (12.7 mm) Radial Ice – mph (km/hr)	55 (89)	70 (113)
Mounting Clamps (Galv. steel)	DB365-OS	

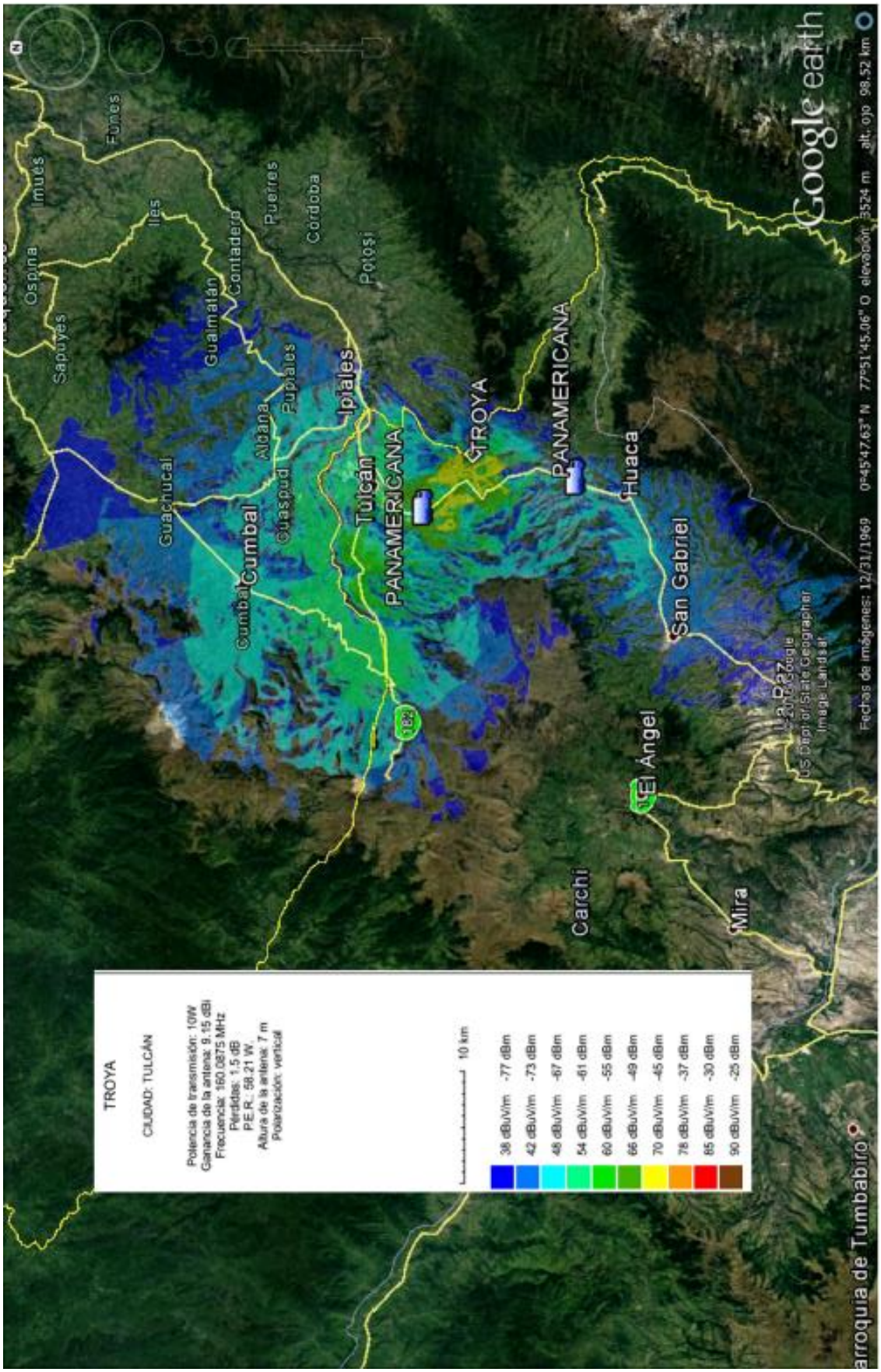
* Calculation of wind survivability does not include damage due to flying debris.

Circular	Offset	Dual	Dual Offset	Frequency	Overall Length - in. (mm)	Net Weight (w/clamps) - lbs. (kg)	Shipping Length - in. (mm)	Shipping Width - in. (mm)	Shipping Height - in. (mm)	Shipping Weight (w/clamps) - lbs. (kg)
DB224-FAA	DB224E-FAA			127-141	279 (7087)	38 (17.25)	149 (3784.6)	17 (431.8)	8 (203.2)	48 (21.8)
DB224-A	DB224E-A			150-160	255 (6477)	35 (15.89)	149 (3784.6)	17 (431.8)	8 (203.2)	45 (20.43)
DB224-B	DB224E-B			155-165	255 (6477)	35 (15.89)	149 (3784.6)	17 (431.8)	8 (203.2)	45 (20.43)
DB224-C	DB224E-C			164-174	255 (6477)	35 (15.89)	149 (3784.6)	17 (431.8)	8 (203.2)	45 (20.43)
DB224-E	DB224E-E			138-150	279 (7087)	38 (17.25)	149 (3784.6)	17 (431.8)	8 (203.2)	48 (21.8)
DB224-F				160-170	255 (6477)	35 (15.89)	149 (3784.6)	17 (431.8)	8 (203.2)	45 (20.43)
DB224-J				276-285	165 (4191)	27 (12.26)	100 (2540)	17 (431.8)	8 (203.2)	37 (16.8)
DB224-JJ	DB224E-JJ	DB224S-JJ	DB224ES-JJ	220-225	209.75 (5328)	35 (15.89)	121 (3073.4)	17 (431.8)	8 (203.2)	42 (19.07)
		DB224S-A	DB224ES-A	150-158	255 (6477)	36 (16.34)	149 (3784.6)	17 (431.8)	8 (203.2)	46 (20.89)

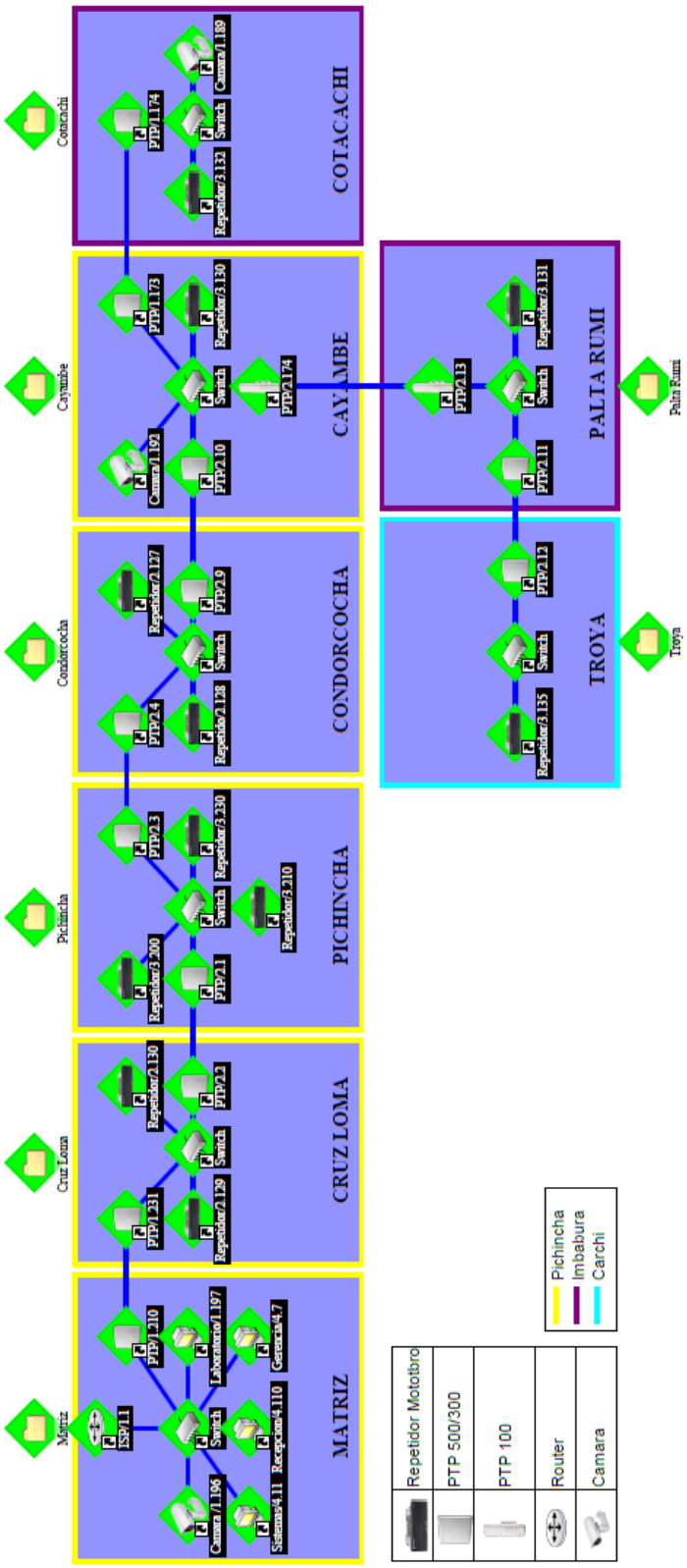
ANEXO 4 Cobertura Google Earth de Ibarra.



ANEXO 5 Cobertura Google Earth de Tulcán.



ANEXO 6. Mapa de red de Dataradio Telecomunicaciones C.A. en WhatsUp Gold.



ANEXO 7 Inversión Económica – Financiera.

La administración del proyecto DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓNES DIGITAL PARA LA EMPRESA DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. ENTRE IBARRA Y TULCÁN es responsabilidad de la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. y esta a su vez a través de su departamento contable presentara los estados financieros de conformidad a las leyes ecuatorianas.

La inversión del proyecto son con recursos propios de la empresa la misma que asciende a la cantidad de $ 13.972 dólares americanos, donde se determina sus costos de inversión, fijos y variables.

COSTOS DE INVERSION					
Ítem	**Descripción del producto**	**Cantidad**	**Precio Unitario**	**Subtotal**	
1	ANTENA BASE Offset 4 dipolos, 9dB, directiva	2	400	800	CI
2	REPETIDOR DIGITAL VHF, (136-174MHz) Motorola DGR 6175, 45W	2	2300	4600	CI
3	PTP500 MOTOROLA 5.4GHz, 52Mbps, antena integrada	1	3500	3500	CI
4	CABLE HELIAX DE 1/2" ANDREW	40	9	360	CI
5	SWITCH 8 puertos, 3COM, 3C16794	2	50	100	CI
6	INVERSOR DE VOLTAJE Samlex SAM-800	2	81,51	163,02	CI
7	CARGADOR BATERIAS SAMLEX SEC1215A, 12V/15A	1	183,15	183,15	CI
8	DUPLEXOR VHF Sinclair Q202GC-1	2	750	1500	CI
9	CONECTOR PL-259 Macho Amphenol RFX	4	5	20	CI
10	CONECTOR RJ-45 Blindado para cable SCTP cat 5E	4	1,47	5,88	CI
11	CABLE UTP cat 5E BELDEN 1583A	40	0,78	31,2	CI
12	TAIPE color negro 3M	4	0,75	3	CI
13	CINTA AUTOFUNDENTE 3M, N23	1	9	9	CI
14	LPU 600SSH PTP200/SLAB SUPRESOR TRANSIENTES	2	20	40	CI
15	VARILLA DE COPPERWELD 16mm/1.80m	2	5,7	11,4	CI
16	CABLE SUPERFLEX CABLEC 3X6 AWG	12	2,31	27,72	CI
17	GRAPA MORDAZA 3 PERNOS	4	4,5	18	CI
18	REGULADOR DE VOLTAJE AC, (Estabilizador) 1KVA	2	19,5	39	CI
			TOTAL	**11411,37**	

COSTOS FIJOS					
Ítem	Descripción del producto	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal	
1	Logística (Transporte, alimentación, hospedaje)	12	100	1200	CF
2	Ingeniero encargado de la obra	96	4,58	439,68	CF
3	Departamento de Contabilidad	24	3,33	79,92	CF
4	Departamento de Administración	24	3,33	79,92	CF
5	Ayudantes	24	1,66	39,84	CF
6	Arriendo de frecuencias mensual Ibarra	1	12,58	12,58	CF
7	Otorgamiento de frecuencia Ibarra	1	16,7	16,7	CF
8	Arriendo de frecuencias mensual Tulcán	1	17,02	17,02	CF
9	Otorgamiento de frecuencia Tulcán	1	22,59	22,59	CF
10	Mantenimiento preventivo	12	30	360	CF

TOTAL	2268,25

COSTOS VARIABLES					
Ítem	Descripción del producto	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal	
1	Laptop	2	33	66	CV
2	Herramientas múltiples	2	7,5	15	CV
3	Vatímetro	1	15,4	15,4	CV
4	Pago de luz	1	35	35	CV
5	Mantenimiento correctivo	6	25	150	CV

TOTAL	281,4

DESCRIPCIÓN DE INGRESOS	Cantidad Usuarios	Costo Mensual	Costo Anual	Costo Mensual Máximo	Costo Anual Máximo
USUARIOS ANALOGO	100	16	192	1600	19200
USUARIOS DIGITAL	200	25	300	5000	60000

FLUJO DE EFECTIVO EN SERVICIO DIGITAL						
INGRESOS	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
VENTAS		18000	23400	32760	45864	60000
GASTOS						
SUELDOS DEL PERSONAL	639,36	4392	4831,2	5314,32	5845,75	6430,33
GASTO ARRIENDO DE FRECUENCIAS		355,2	355,2	355,2	355,2	826,68
MANTENIMIENTO PREVENTIVO		360	360	360	504	604,80
MANTENIMIENTO CORRECTIVO		150	150	150	195	273
SERVICIOS BASICOS		420	462	508,2	609,84	670,82
DEPRECIACIÓN		2280	2280	2280	2280	2280
LOGISTICA	-1200					
COSTO INVERSION	-11411,37					
TOTAL, GASTOS	-11972,01	7957,2	8438,4	8967,72	9789,792	11085,63
UTILIDAD	-11972,01	10042,8	14961,6	23792,28	36074,208	48914,37
15% PARTICIPACIÓN TRABAJADORES		1506,42	2244,24	3568,84	5411,13	7337,16
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS		8536,38	12717,36	20223,44	30663,08	41577,21
22% IMPUESTO A LA RENTA		1878,00	2797,82	4449,16	6745,88	9146,99
UTILIDAD NETA		6658,38	9919,54	15774,28	23917,20	32430,23
MAS DEPRECIACIÓN		2280	2280	2280	2280	2280
FLUJO DE EFECTIVO	-11972,01	4378,38	7639,54	13494,28	21637,20	30150,23
SALDO DE RECUPERACIÓN		-7593,63	45,91	13540,19	35177,39	65327,62

FLUJO DE EFECTIVO EN SERVICIO ANALOGO				
INGRESOS	1	2	3	4
VENTAS	5760	9216	14745,6	19200
GASTOS				
SUELDOS DEL PERSONAL	3500	3675	3858	4051
GASTO ARRIENDO DE FRECUENCIAS	355,2	355,2	355,2	355,2
MANTENIMIENTO PREVENTIVO	360	468	655,2	1113,84
MANTENIMIENTO CORRECTIVO	150	150	150	240
SERVICIOS BASICOS	420	462	554,4	720,72
DEPRECIACIÓN	1500	1500	1500	1500
TOTAL, GASTOS	6285,2	6610,2	7072,8	7980,76
UTILIDAD	-525,2	2605,8	7672,8	11219,24
15% PARTICIPACIÓN TRABAJADORES	-78,78	390,87	1150,92	1682,89
UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	-446,42	2214,93	6521,88	9536,35
22% IMPUESTO A LA RENTA	-98,21	487,28	1434,81	2098,00
UTILIDAD NETA	-348,21	1727,65	5087,07	7438,36
MAS DEPRECIACIÓN		1000	1300	1690
FLUJO DE EFECTIVO	-348,21	727,65	3787,07	5748,36
SALDO DE RECUPERACIÓN		379,44	4166,50	9914,86

ANEXO 8 Carta de culminación del proyecto.

DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A.
INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES
RUC: 1791342976001
TELF: 2557686-2557687 FAX: 2557888
Av. Colón E4-105 y 9 de Octubre Edificio SOLAMAR Local Nº. 8

OF058-16

Quito, 18 de Octubre del 2016

Señores
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
Presente

Por medio del presente me permito informar que los Señores PABLO DAVID MINANGO NEGRETE con C.I:1716042435 y el Señor FABIAN ANTONIO VALENZUELA CHAMORRO con C.I:1717348484 de la carrera INGENIERIA ELECTRONICA han culminado con éxito la elaboración del proyecto de tesis denominado: **"DISEÑO DE UN SISTEMA DE COMUNICACIONES DIGITAL PARA LA EMPRESA DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. ENTRE IBARRA Y TULCAN ".**

Por lo que DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. está conforme con el diseño e implementación de la red realizada por dichos señores, es cuanto puedo decir en honor a la verdad para los fines consiguientes.

Atentamente.

DATARADIO

Grace del Carmen Chamorro Rosero
Presidenta
DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A
GC/gv