

Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA
COORDINACIÓN DE POSGRADO



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA

Trabajo de Titulación como requisito previo para la obtención del título de
Magíster en Tecnologías de Información mención Gestión y
Administración de TI

**MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN ANÁLOGO A
RADIOCOMUNICACIÓN DIGITAL VHF PARA EL CAMPO
BERMEJO
CASO DE ESTUDIO: EP PETROECUADOR**

Autor: Diego Paúl Guaita Pillalaza

Director: Damián Anibal Nicolalde Rodriguez

Quito, agosto 2023

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL
ECUADOR**

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **DIEGO PAÚL GUAITA PILLALAZA**, con C.I. 1712536513, autor del trabajo de graduación intitulado: **“MIGRACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN ANÁLOGO A RADIOCOMUNICACIÓN DIGITAL VHF PARA EL CAMPO BERMEJO CASO DE ESTUDIO: EP PETROECUADOR”**, previa a la obtención del grado académico de **MAGISTER en TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN con mención en GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE TI** en la Facultad de **INGENIERÍA**.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCE el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Quito, 14/09/2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Director (a) – Tutor (a) del Trabajo de Posgrado Titulado: “NICOLALDE RODRIGUEZ DAMIAN ANIBAL”, presentado por el maestrante GUAITA PILLALAZA DIEGO PAÚL, titular de la Cédula de Identidad N° 1712536513 para optar al Grado de Magíster en Tecnologías de la Información mención Gestión y Administración de Tecnología, considero que dicho Trabajo de Investigación reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación por parte de los Lectores – Evaluadores que se designen para tal fin por parte de las autoridades de la Facultad de Ingeniería.

En la ciudad de Quito, a los 14 días de Septiembre de 2023

DAMIAN ANIBAL NICOLALDE RODRIGUEZ

C.I. 1715641716

danicolalde@puce.edu.ec

NRO TELEFONO: 0996183622

NOTA: 30/30

Se comunica que en el servicio de análisis Turnitin, el referido trabajo de titulación alcanzó el siguiente resultado: 9 % índice de similitud con otras fuentes.

TURNITIN: INCLUIR HOJA DEL INFORME CON EL PORCENTAJE

tesis			
INFORME DE ORIGINALIDAD			
9%	9%	1%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
FUENTES PRIMARIAS			
1	Submitted to Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador Trabajo del estudiante		1%
2	Submitted to Universidad Sergio Arboleda Trabajo del estudiante		<1%
3	www.yumpu.com Fuente de Internet		<1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet		<1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet		<1%
6	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet		<1%
7	ebin.pub Fuente de Internet		<1%
8	www.slideshare.net Fuente de Internet		<1%
9	pdfcookie.com Fuente de Internet		

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, **DIEGO PAÚL GUAITA PILLALAZA**, con cédula de identidad # 17125361513, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Diego Paúl Guaita Pillalaza

C.C: 1712536513

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1. <i>Formulación del problema</i>	14
1.2. <i>Objetivos de la Investigación</i>	15
1.2.1. Objetivo General	15
1.2.2. Objetivos Específicos	15
1.3. <i>Justificación de la Investigación</i>	15
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	17
2.1. <i>Antecedentes de la Investigación</i>	17
2.2. <i>Bases Teóricas</i>	19
2.2.1. Radiocomunicación	19
2.2.2. Transmisión de Señales	20
2.2.3. Radiocomunicación Analógica.....	21
2.2.4. Modulación de frecuencia (FM)	23
2.2.5. Espectro radio eléctrico.....	24
2.2.6. Radiocomunicación Digital	25
2.2.7. Analogue Private Mobile Radio (PMR)	26
2.2.8. Digital Mobile Radio (DMR)	27
2.2.9. Time Division Multiple Access (TDMA).....	28
2.2.10. Voltage Standing Wave Radio (VSWR)	29
2.2.11. SMS.....	29
2.2.12. Roaming.....	29
2.2.13. Llamada Selectiva Digital.....	30
2.2.14. Received Signal Strength Indicator (RSSI).....	30
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	31
3.1. <i>Tipo de Investigación</i>	31
3.2. <i>Diseño de Investigación</i>	31
3.2.1. Análisis de Ventajas del Sistema TDMA	31
3.2.2. Diseño e Implementación de la Topología del Sistema Digital.....	32
3.2.3. Implementación de Repetidoras en Modo Digital	32
3.2.4. Instalación de Aplicación de Control y Diagnóstico.....	33
3.2.5. Configuración de Canales y Funcionalidades en Modo Digital	33
3.2.6. Determinación de la Cobertura del Sistema Digital	33
3.3. <i>Unidades de Estudio</i>	34
3.3.1. Población	34
3.3.2. Muestra	34
3.4. <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	35

3.4.1.	Encuesta para la recolección de datos	35
3.5.	<i>Técnica de Análisis de Datos</i>	35
3.5.1.	Análisis estadístico de los resultados de encuesta	36
3.6.	<i>Operacionalización de Variables</i>	37
3.7.	<i>Diseño de la Solución</i>	38
3.7.1.	Estado de la red de Radiocomunicación Análoga existente.....	38
CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS		42
4.1.	<i>Evaluación Mediante Simulación Radio Mobile</i>	42
4.1.1.	Cobertura Repetidor Torre Cristal	42
4.1.2.	Cobertura Repetidor Campamento Bermejo	45
4.2.	<i>Pruebas de cobertura en ambiente real con aplicación Motorola Site Survey</i>	47
4.3.	<i>Evaluación del nivel de RSSI</i>	50
4.4.	<i>Resultados de encuesta</i>	51
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA		75
5.1.	<i>Análisis y Beneficios de la Propuesta de Migración al Sistema de Radiocomunicación Digital</i>	75
5.2.	<i>Componentes del Sistema de Radiocomunicación Digital</i>	76
5.2.1.	Frecuencia de operación	76
5.2.2.	Licencia IP Site	76
5.2.3.	Antena DB224-B	77
5.2.4.	Duplexor Q2220E.....	78
5.2.5.	Cable Coaxial LDF4-50A	79
5.2.6.	Protector contra sobretensiones por Rayos.....	80
5.2.7.	Repetidora SLR 8000	80
5.2.8.	Radio Portátil DGP 8175	82
5.2.9.	Diagnóstico y Control de Repetidores (RDAC).....	82
5.3.	<i>Topología de Terreno</i>	84
5.4.	<i>Diseño e Implementación Sistema Radiocomunicación Digital</i>	85
5.4.1.	Ip Site Connect	85
5.4.2.	Configuración de red de área Local para red VHF digital	87
5.4.3.	Topología lógica de la red LAN para sistema de radio VHF digital	87
5.4.4.	Topología física de Red LAN para sistema de radio VHF digital	88
5.4.5.	Funcionalidades del Sistema de Radiocomunicación Digital en Campo Bermejo	89
5.4.6.	Topología Sistema de Área Amplia con PC de monitoreo para Sistema VHF Digital.....	90
5.4.7.	Infraestructura de torre de comunicaciones.....	92
CONCLUSIONES.....		94
RECOMENDACIONES.....		95
REFERENCIAS		96
ANEXOS		97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Operacionalización de Variables	37
Tabla 2 Propiedades del Sistema Torre Cristal.....	43
Tabla 3 Propiedades del Sistema Torre Campamento Bermejo	46
Tabla 4 Requisitos mínimos para el uso de Motorola Site Survey	48
Tabla 5 Tabla cruzada de Satisfacción vs Migración al sistema digital	67
Tabla 6 Tabla cruzada de Satisfacción vs Disposición de pago por nuevas funcionalidades..	67
Tabla 7 Prueba de chi- cuadrado sobre Satisfacción vs Disposición de pago por nuevas funcionalidades	68
Tabla 8 Tabla cruzada de Familiarización con conceptos Digitales vs Disposición de pago por nuevas funcionalidades	69
Tabla 9 Prueba de chi- cuadrado Familiarización con conceptos Digitales vs Disposición de pago por nuevas funcionalidades	70
Tabla 10 Tabla cruzada con capa adicional para relación de Utilización Sistema Analógico vs Utilización Sistema Digital vs Disposición de Pago.....	71
Tabla 11 Tabla cruzada de Recomendación del sistema digital vs Departamentos	73
Tabla 12 Tabla cruzada de Recomendación vs Familiarización.....	73
Tabla 13 Prueba de chi- cuadrado sobre Recomendación del sistema digital vs Familiarización con tecnología de radiocomunicaciones digitales.....	74
Tabla 14 Información de concesión de frecuencia	76
Tabla 15 Características Repetidor SLR 8000 Mototrbo - Motorola	81
Tabla 16 Características Destacadas del Sistema de Radiocomunicación Digital en Campo Bermejo.....	89
Tabla 17 Direcciones IP de Estaciones Repetidoras.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Interacción de campo eléctrico y magnético	20
Figura 2 Misión agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones	22
Figura 3 Sistema de modulación.....	24
Figura 4 Comunicación Analógica vs Comunicación Digital	27
Figura 5 Topología física red radiocomunicación VHF análogo Campo Bermejo	38
Figura 6 Detalle de la modulación FM	40
Figura 7 Diferencia de cobertura entre Sistema Análogo y Digital.....	41
Figura 8 Segmentación de la intensidad de la señal	42
Figura 9 Cobertura de Señal del Repetidor Torre Cristal en el Campo Bermejo	45
Figura 10 Cobertura de Señal del Repetidor Torre Cristal en el Campo Bermejo	47
Figura 11 Configuración de la Aplicación Motorola Site Survey	49
Figura 12 Mediciones de RSSI mostrados en Google Earth	50
Figura 13 RSSI del sistema análogo a través de la vía de acceso al campo Bermejo	50
Figura 14 Utilización del sistema de radiocomunicación analógico	52
Figura 15 Nivel de satisfacción de uso del sistema de radiocomunicación analógico	52
Figura 16 Aceptación de la migración hacia el sistema de radiocomunicaciones digital.....	53
Figura 17 Principales preocupaciones sobre el sistema de radiocomunicaciones digital.....	54
Figura 18 Líneas de deseo sobre el sistema de radiocomunicaciones digital	55
Figura 19 Expectativa de disposición de pago sobre funcionalidades del sistema de radiocomunicaciones digital	55
Figura 20 Principales ventajas del sistema de radiocomunicaciones digital	56
Figura 21 Nivel de familiarización con el sistema de radiocomunicaciones digital	57
Figura 22 Ventajas esperadas del sistema de radiocomunicaciones digital sobre el analógico	

.....	58
Figura 23 Importancia de la capacitación sobre el sistema digital	59
Figura 24 Utilización del sistema de radiocomunicaciones digital	60
Figura 25 Niveles de calidad de audio, señal y parámetros del sistema de radiocomunicaciones digital	61
Figura 26 Satisfacción con el soporte técnico	63
Figura 27 Fallas detectadas.....	63
Figura 28 Nivel de impacto del sistema digital sobre las operaciones y organizaciones	65
Figura 29 Disposición de recomendación del sistema digital a potenciales clientes.....	66
Figura 30 Relación de Utilización Sistema Analógico vs Utilización Sistema Digital vs Disposición de Pago.....	72
Figura 31 Licencia IP Site – Motorola HKVN4279	77
Figura 32 Antena DB224B – Polarización Omnidireccional	78
Figura 33 Duplexor Q2220E 4 cavidades.....	79
Figura 34 Cable coaxial Heliax LDF4-50A ½”	80
Figura 35 Supresor contra sobretensiones por rayos 60NFNF-CNS	80
Figura 36 Repetidor SLR 8000 Mototrbo - Motorola.....	81
Figura 37 Radio portátil DGP 8150 Mototrbo - Motorola.....	82
Figura 38 RDAC en la red LAN – Campo Bermejo.....	84
Figura 39 Topología terreno Bloque 49 – Campo Bermejo	85
Figura 40 Comparación de Licencias IP Site Connect en Radiocomunicadores.....	87
Figura 41 Topología lógica de la red LAN con direccionamiento de clase b	88
Figura 42 Topología física de Red LAN para sistema de radio VHF digital	89
Figura 43 Topología lógica Sistema Área Amplia con PC.....	90
Figura 44 Infraestructuras de torres de comunicaciones	93

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN GESTIÓN
Y ADMINISTRACIÓN DE TI

TITULO DEL TRABAJO

Autor: Diego Paúl Guaita Pillalaza

Director -Tutor: Nicolalde Rodriguez Damián Anibal

Fecha:

RESUMEN

El presente proyecto aborda la renovación tecnológica para Campo Bermejo, donde se establece la implementación de un sistema de radiocomunicación digital utilizando el estándar DMR Tier II con modulación TDMA para una mayor cobertura y funcionalidades que permiten mejorar las actividades operacionales de exploración, producción y condiciones tanto de seguridad física como seguridad industrial.

Inicialmente se realiza un análisis de las ventajas de cobertura, calidad de audio y funcionalidades del sistema TDMA digital para luego proceder a realizar un diseño de una topología del sistema de radiocomunicación digital, partiendo en la reutilización de los recursos instalados en el sistema analógico actual.

Luego se realizar un plan de configuración de canales y funcionalidades en modo digital a todas las estaciones finales que serán los usuarios del sistema, y finalmente se realiza una propuesta de un sistema de monitoreo efectivo para la infraestructura de radiofrecuencias, que permita una supervisión eficiente de todos los elementos que lo componen.

Palabras clave:

TDMA, Radiocomunicaciones analógicas, Radiocomunicaciones digitales, VHF.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN GESTIÓN
Y ADMINISTRACIÓN DE TI

TITULO DEL TRABAJO EN INGLÉS

Autor: Diego Paúl Guaita Pillalaza

Director -Tutor: Nicolalde Rodriguez Damián Anibal

Fecha:

ABSTRACT

The present paper addresses the technological renewal for Campo Bermejo, where the implementation of a digital radio communication system is established using the DMR Tier II standard with TDMA modulation for greater coverage and functionalities that allow improving the operational activities of exploration, production and conditions both . physical security as well as industrial security.

Initially, an analysis of the advantages of coverage, audio quality and functionalities of the digital TDMA system is carried out and then proceed to design a topology of the digital radio communication system, starting from the reuse of the resources installed in the current analog system.

Then a channel configuration plan and functionalities are carried out in digital mode for all the end stations that will be the users of the system, and finally a proposal is made for an effective monitoring system for the radio frequency infrastructure, which allows supervision efficient of all the elements that compose it.

Keywords:

TDMA, Analog Radio Communications, Digital Radio Communications, VHF.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de radiocomunicación análoga, utilizan señales análogas para la transmisión de información a través de ondas de radio y han sido ampliamente utilizadas en comunicaciones móviles, seguridad y emergencias. Sin embargo, estos sistemas en la actualidad presentan limitaciones en términos de calidad de señal, resistencia a interferencias y capacidad de transmisión de datos, por lo que han sido sustituidos por sistemas de radiocomunicación digital que utilizan técnicas de codificación y modulación digital para obtener una mejor calidad de voz, mayor capacidad de comunicación, seguridad, optimización del espectro radio eléctrico, envío de datos.

La modulación TDMA es una técnica de acceso múltiple que se utiliza en sistemas de comunicación inalámbrica para compartir el espectro de frecuencia entre varios usuarios, permitiendo una mayor eficiencia espectral y capacidad de gestión de la interferencia.

La principal ventaja es que se puede soportar una gran cantidad de usuarios en un mismo canal sin que se produzcan interferencias, lo que hace muy adecuado para redes de comunicación de alta densidad.

En el proyecto de renovación tecnológica para Campo Bermejo se establece la implementación de un sistema de radiocomunicación digital utilizando el estándar DMR Tier II con modulación TDMA para una mayor cobertura, claridad de audio, roaming y capacidad de utilizar diferentes funcionalidades a futuro para mejorar las actividades operacionales de exploración, producción y condiciones tanto de seguridad física como seguridad industrial.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema

En el Campo Bermejo de la EP Petroecuador, el sistema de radiocomunicación existente en el Bloque 49 es analógico. Si bien este sistema ha brindado una experiencia simple y fácil de usar, no cumple con las nuevas necesidades surgidas a medida que el Campo Bermejo ha evolucionado en su proceso operacional y transformación digital. Es necesario contar con un sistema de radiocomunicación digital que ofrezca comunicaciones de voz más claras, mayor funcionalidad y cobertura.

El sistema de comunicación análogo actual presenta los siguientes problemas:

- Las estaciones repetidoras, equipos portátiles, bases y móviles no pueden ser actualizados para migrar a un sistema digital.
- El software y cables de programación de la serie PRO de Motorola, utilizados en el sistema actual, ya no están disponibles en el mercado y resulta costoso adquirirlos.
- El sistema actual solo permite un canal de voz y tiene una cobertura limitada, lo que ocasiona ruido en la recepción y dificulta el establecimiento de grupos de comunicaciones separados de manera lógica.
- Tanto las repetidoras como los equipos portátiles, móviles y bases han superado su tiempo de vida útil (más de 8 años), lo que implica un riesgo de fallas en cualquier momento sin disponer de equipos de respaldo.
- Los equipos de radio portátil y móvil presentan un alto deterioro y sus accesorios ya no están disponibles en el mercado.

Además, debido al incremento en las áreas de producción del Campo Bermejo en los últimos años y su cercanía con la frontera sur de Colombia, se ha incrementado el riesgo de seguridad física en la zona. Por tanto, dentro de los procesos de mitigación de riesgos, es

necesario contar con un sistema de radiocomunicaciones que brinde alta disponibilidad y confiabilidad.

1.2. Objetivos de la Investigación

1.2.1. Objetivo General

Migrar el Sistema de Comunicación Análogo a Radiocomunicación Digital VHF para las comunicaciones de Campo Bermejo.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Analizar ventajas de cobertura, calidad de audio y funcionalidades del sistema TDMA para la digitalización del sistema de radiocomunicación VHF para el Campo Bermejo.
- Diseñar e implementar la topología del sistema de radiocomunicación digital basado en la infraestructura actual.
- Implementar dos repetidoras en modo digital utilizando la técnica de modulación TDMA.
- Configurar canales y funcionalidades en modo digital a todos los equipos radio portátil, bases y móviles existentes en campo Bermejo Campo Bermejo.
- Determinar la cobertura del sistema de radiocomunicación digital en todo el Campo Bermejo.
- Instalar aplicación de control, alertas y diagnóstico para los equipos repetidores.

1.3. Justificación de la Investigación

La necesidad de una renovación tecnológica en el sistema de radiocomunicación del Campo Bermejo ha llevado a optar por la implementación de la digitalización utilizando la técnica de modulación TDMA. La EP Petroecuador cuenta con equipos digitales de la serie Mototrbo de Motorola, que utilizan la tecnología TDMA. Por lo tanto, es posible migrar del sistema análogo al sistema digital.

La técnica de modulación inalámbrica de segunda generación 2G-TDMA permitirá

dividir la frecuencia de un canal en dos subcanales, lo que optimiza el uso de los equipos, el espectro radioeléctrico y aumenta la cobertura. Además, se elimina un enlace de radio y se obtienen dos canales de radio en un solo sistema preservando todo el ancho de canal 12,5 KHz, sin necesidad de implementar otra red de repetidoras de forma paralela.

La técnica de segunda generación TDMA admite velocidades de transmisión desde 64 Kbps a 120 Kbps y no experimentará interferencias por transmisiones simultáneas, lo que extenderá la vida útil de las baterías. Los equipos de radio podrán conectarse al repetidor más cercano mediante la función roaming, utilizando la identificación del repetidor principal y dispondrán funciones como mensaje de texto, llamadas selectivas e inhibición de radios.

La interconexión de los equipos repetidores se realizará mediante un enlace inalámbrico en frecuencia libre y a través de protocolo IP. La migración al sistema digital ofrece una red escalable y de mayor capacidad, eficiencia de espectro, comunicaciones integradas de voz y datos. En resumen, la migración a un sistema de radiocomunicación digital es crucial para optimizar el desempeño operacional y garantizar la seguridad del Campo Bermejo.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes de la Investigación

EP PETROECUADOR el 1 de agosto del 2019, absorbió las operaciones del Campo Bermejo (Bloque 49) luego que expiró el contrato de concesión con la petrolera privada TECPETROL. El bloque 49 se encuentra ubicado a 60 kilómetros de la ciudad de Lago Agrio en la provincia de Sucumbíos.

Actualmente su producción diaria es de 1000 barriles diarios con una calidad de 31 grados API (liviano), de fácil extracción e ideal para la refinación de combustibles.

El Campo Bermejo se encuentra a pocos kilómetros de la frontera con Colombia y existe muchas limitaciones en los servicios de telecomunicaciones como por ejemplo nulidad en la cobertura de señal celular. Es por este motivo que existe la necesidad de mejorar su sistema de radiocomunicación VHF ante la criticidad de las operaciones de extracción/exploración de petróleo, así como los problemas narcodelictivos que se ha presentado en los inicios de este año 2022.

El Campo Bermejo dentro de sus sistemas críticos de telecomunicaciones dispone de un sistema de radiocomunicación análogo conformado por dos repetidores CDR700, radios portátiles, radios bases y móviles. Este sistema consiste en un solo canal con un espaciamiento de 12,5 KHz y 2 pares de frecuencia en el rango de VHF los cuales se utiliza para las comunicaciones de voz entre los diferentes departamentos operacionales (Mantenimiento, Operaciones, Seguridad Física, Gestión de Proyectos, Amazonía Viva, Seguridad Salud y Ambiente, Administración). Adicionalmente se utiliza un radio de serie PRO Motorola que funciona como radioenlace para la interconexión de las repetidoras.

El sistema de repetidoras CDR 700, han cumplido con su tiempo de vida útil y su modo de trabajo análogo no permite utilizar funciones y facilidades que permiten los sistemas de

radiocomunicación digital.

A continuación, se describen 3 investigaciones que proporcionan una base sólida para respaldar que, si es factible realizar la migración de un sistema de radiocomunicación analógico a digital, destacando los beneficios clave de la tecnología TDMA en términos de calidad de la comunicación, capacidad de transmisión y resistencia a interferencias:

Astudillo Tixicuro (2019) presentó una tesis titulada “Implementación de la Tecnología VHF digital en Ilumbisí para mejorar la radiocomunicación de la empresa Teviasa” en la ciudad de Quito y los Valles. El estudio resalta las limitaciones de un sistema de radiocomunicación análogo y describe el proceso y consideraciones necesarios para implementar un sistema de radiocomunicación digital VHF. Se destacan los beneficios de la implementación, como el aumento de la capacidad de usuarios, mejora en la claridad de audio, la confiabilidad y disponibilidad, Así como la optimización del espectro radioeléctrico mediante el uso de las frecuencias asignadas por ARCOTEL

En la tesis titulada "Diseño y simulación de un sistema TETRA para la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros Quito", Flores Meneses (2020) aborda el diseño de un sistema de radio troncalizado TETRA con tecnología digital. El estudio se centra en las características y ventajas del sistema digital troncalizado, así como en el análisis de las características de funcionamiento del sistema de radiocomunicación análogo utilizado por la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros Quito.

Además, el autor describe el uso de tecnología TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) y muestra de resultados obtenido de cobertura, interferencia y ruido, se presenta las simulaciones de diseño propuesto, utilizando software ICS Designer en dónde se presenta resultados de análisis de cobertura, interferencia y ruido.

Ferry (2019) presentó un artículo titulado “Análisis de rendimiento de transmisión de TDMA Comunicación de radio y MAC del protocolo TDMA” en el que destaca que la radio

Digital con el sistema de Acceso Múltiple por División de Tiempo es una herramienta de comunicación de alta calidad que utiliza el aire como medio de transmisión. De igual forma, se menciona que el procesamiento digital de señales es esencial para mejorar la calidad de comunicación y que el sistema TDMA, la división de slots permite llenar varios slots con más de 2 comunicaciones simultáneas. Explica que los intervalos 1 y 2 no se interfieren debido a la organización en el dominio del tiempo, lo cual es gracias al protocolo TDMA MAC que regula la transmisión canalizada.

Se analiza la salida de TDMA Radio, donde el uso del sistema TDMA en la radio digital combina el procesamiento de señales y el control de acceso al medio para lograr una comunicación de alta calidad.

2.2. Bases Teóricas.

Los sistemas de radiocomunicación siempre han sido el medio de comunicación más importantes en todo tipo de industria que puede lograr optimizar y crear mejores formas de trabajo en cualquier área. Estos sistemas brindan un servicio para una comunicación ágil, segura, rápida, inmediata y eficiente y por otro lado cubren áreas donde no existe señal celular.

2.2.1. Radiocomunicación

Según Ramírez Luz (2015), la radiocomunicación es un método de telecomunicación que utiliza ondas hertzianas y se distingue por la interacción de campo eléctrico y magnéticos. En la Fig.1 se presenta un esquema del proceso de emisión. Estas ondas electromagnéticas son generadas por un transmisor y se propagan a través del espacio hasta alcanzar un receptor, donde son captadas y convertidas nuevamente en información comprensible para el usuario (Hernando Rábanos, Riera Salís, & Mendo Tomás, 2013).

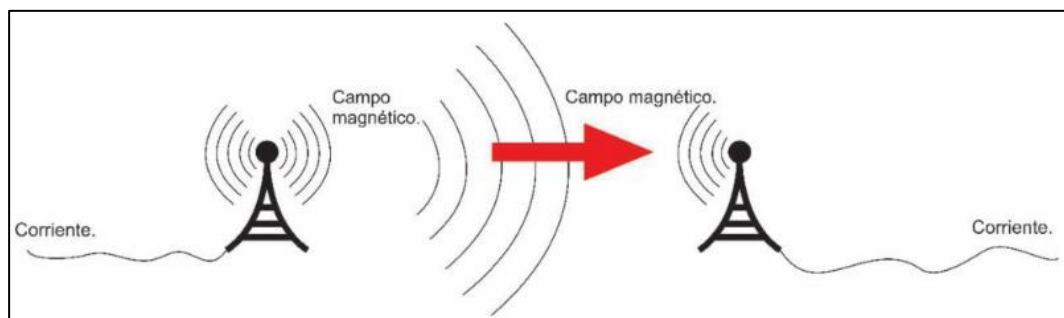
La radiocomunicación se lleva a cabo mediante el uso del espectro radioeléctrico, que está compuesto por diversas bandas de frecuencia, cada banda de frecuencia se utiliza para diferentes aplicaciones de radiocomunicación, como la radiodifusión, las comunicaciones

militares, las redes móviles y la telefonía celular.

En el ámbito de las comunicaciones, la radiocomunicación desempeña un papel destacado debido a su versatilidad y amplias aplicaciones. A lo largo del tiempo, se han producido importantes avances tecnológicos en esta área, pasando de sistemas analógicos a sistemas digitales más avanzados. Estos avances han permitido mejorar la eficiencia espectral, la capacidad de transmisión y la calidad de la comunicación en la radiocomunicación. Como resultado, se han desarrollado servicios más sofisticados, tales como la transmisión de datos, la mensajería y las aplicaciones móviles.

Figura 1

Interacción de campo eléctrico y magnético



Nota. El proceso se basa en el paso de corriente eléctrica por un conductor, lo que genera campos eléctricos radiales concéntricos. Estas ondas varían en amplitud si la corriente que las genera también varía. Tomada de (García & Morales, 2012)

2.2.2. Transmisión de Señales

La transmisión de señales es un proceso fundamental en las comunicaciones, que implica una serie de etapas y consideraciones para garantizar una transmisión eficiente y confiable de la información. En este proceso, se aplican técnicas de modulación de señal, se gestionan el ruido y las interferencias, y se elige el medio de transmisión adecuado. Ramírez Luz (2015) menciona que, para llevar a cabo la transmisión de señales a través de radio, es necesario utilizar una frecuencia considerablemente más alta que la frecuencia de la voz

humana. La modulación implica ajustar los parámetros de la señal deseada, como amplitud, frecuencia o fase, para adaptarla a una frecuencia portadora más alta adecuada para la transmisión a través del medio utilizado.

La modulación de la señal es esencial para adaptar la información a ser transmitida al medio de transmisión y para asegurar que la señal pueda viajar eficientemente a través del canal de comunicación.

La elección de la técnica de modulación adecuada depende de diversos factores, como el ancho de banda disponible, la calidad de la señal requerida y el entorno de transmisión. En la radiocomunicación, se utilizan tanto modulaciones analógicas como modulaciones digitales (Gil Vázquez, Pomares Baeza, & Candelas Herias, 2010).

La modulación analógica se utiliza para transmitir señales analógicas continuas, como las señales de audio en la radiodifusión. Esta técnica permite ajustar la amplitud o la frecuencia de la señal portadora para representar la información de la señal original. La modulación analógica ha sido ampliamente utilizada durante décadas y ofrece una reproducción fiel de las señales de audio (Ramírez Luz, 2015).

Por otro lado, la modulación digital se utiliza para transmitir información digital, como datos binarios. En lugar de ajustar la amplitud o la frecuencia de la señal portadora, la modulación digital utiliza técnicas más sofisticadas para representar los bits de datos. La modulación digital permite una mayor capacidad de transmisión de datos y ofrece una mejor resistencia al ruido y a las interferencias.

2.2.3. Radiocomunicación Analógica

Se refiere a la transmisión y recepción de señales de radio en forma de ondas analógicas. Esta forma de comunicación se basa en la modulación de una onda portadora de alta frecuencia con una señal de información. La modulación analógica permite transmitir información mediante cambios en las propiedades de la señal portadora, como la amplitud (AM) o la

frecuencia (FM) (Ramírez Luz, 2015).

La radiocomunicación analógica ha sido fundamental en diversas aplicaciones, como la radiodifusión y las comunicaciones de voz en sistemas de radio bidireccionales. Aunque las tecnologías digitales han ganado popularidad en muchas áreas, la radiocomunicación analógica sigue siendo relevante en determinados escenarios, ya que ofrece una forma confiable de comunicación.

La radiocomunicación analógica utiliza frecuencia de operación específicas para transmisión y recepción de señales. Estas frecuencias están asignada y reguladas por ARCOTEL aquí en Ecuador. Para los sistemas de radiocomunicación comúnmente se utiliza en rangos de VHF y UHF.

La Agencia de regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL), creada según lo establecido en el artículo 142 de la Ley Orgánica de Telecomunicaciones (LOT), es una entidad de control cuyo objetivo es gestionar, regular, administrar y controlar las telecomunicaciones y espectro radioeléctrico en el Ecuador.

Figura 2

Misión agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones



Nota. ARCOTEL regula el uso de espectro radioeléctrico y brinda variedad de servicios de telecomunicaciones para el desarrollo social y económico del país. Imagen tomada de (ARCOTEL, 2021).

2.2.4. Modulación de frecuencia (FM)

La modulación de frecuencia (FM, por sus siglas en inglés) es una técnica de modulación utilizada en las comunicaciones para transmitir información mediante variaciones en la frecuencia de una onda portadora. En la modulación de frecuencia, la amplitud de la onda portadora se mantiene constante, mientras que la frecuencia se modifica de acuerdo con la señal de información (Ramírez Luz, 2015).

En la modulación de frecuencia, la señal de información se conoce como señal moduladora y la onda portadora es la onda sinusoidal de alta frecuencia que se modifica. La variación de la frecuencia de la onda portadora está directamente relacionada con los cambios en la señal moduladora.

La principal ventaja de la modulación de frecuencia es su capacidad para brindar una mejor calidad de audio en comparación con la modulación de amplitud (AM). Debido a que la amplitud de la señal modulada FM permanece constante, es menos susceptible al ruido y a las interferencias, lo que resulta en una reproducción más clara del sonido. Esta propiedad hace que la modulación de frecuencia sea ampliamente utilizada en la radiodifusión FM y en aplicaciones de comunicación de voz, como los sistemas de radio bidireccionales y las transmisiones de voz por teléfono.

La modulación de frecuencia se basa en el principio de desviación de frecuencia. La señal moduladora afecta la frecuencia instantánea de la onda portadora, desviándola hacia arriba o hacia abajo en relación con la frecuencia original. La cantidad de desviación de frecuencia está determinada por la amplitud y la frecuencia de la señal moduladora. En general, cuanto mayor sea la amplitud o la frecuencia de la señal moduladora, mayor será la desviación de frecuencia.

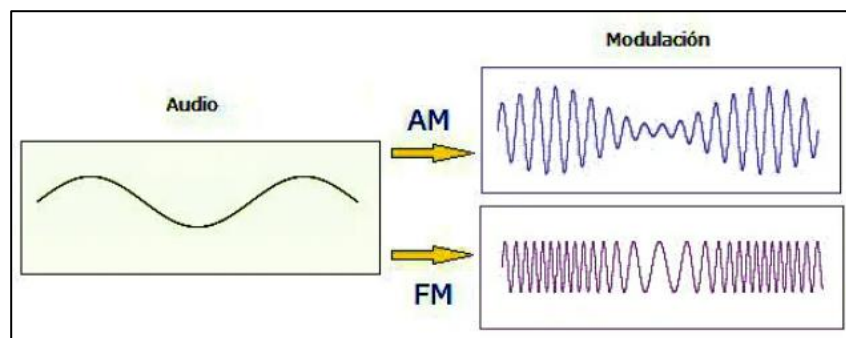
En la demodulación de la señal FM, se recupera la señal de información original a partir de la señal modulada. El proceso de demodulación implica la detección de las variaciones de

frecuencia y la reconstrucción de la señal moduladora. Existen diferentes métodos para la demodulación de señales FM, siendo el más común el detector de pendiente y el detector de frecuencia de desviación constante también conocido como PLL.

Es importante destacar que la modulación de frecuencia también se utiliza en aplicaciones más allá de la radiodifusión, como las comunicaciones de datos inalámbricas y las aplicaciones de radar. En estas aplicaciones, la modulación de frecuencia permite una transmisión más confiable y una mejor resistencia al ruido y a las interferencias.

Figura 3

Sistema de modulación



Nota. En AM, la amplitud de la onda portadora varía según la onda sonora. En FM, la frecuencia varía mientras que la amplitud es constante. Tomada de (Tarrío, 2014)

2.2.5. Espectro radio eléctrico

El espectro radioeléctrico es un recurso natural limitado y esencial para las comunicaciones inalámbricas. Refiere al rango de frecuencias en que las ondas electromagnéticas pueden ser utilizadas para transmitir información. El acceso y la asignación de las diferentes bandas de frecuencia dentro del espectro son regulados por organismos internacionales y nacionales para garantizar un uso eficiente y ordenado.

El espectro radioeléctrico se divide en diferentes bandas de frecuencia, cada una con características y usos específicos. Algunas de las bandas más comunes son la baja frecuencia (LF), la media frecuencia (MF), la alta frecuencia (HF), la muy alta frecuencia (VHF), la ultra

alta frecuencia (UHF), y las frecuencias de microondas. Cada banda de frecuencia tiene atributos particulares en términos de propagación de ondas, alcance, capacidad de transmisión y penetración de obstáculos.

Estas bandas de frecuencia son utilizadas para una variedad de tecnologías y aplicaciones. La radiocomunicación es una de las principales aplicaciones del espectro radioeléctrico, y se utiliza para la transmisión de señales de audio, voz y datos a través de ondas electromagnéticas. Además, el espectro se utiliza para la transmisión de datos inalámbricos, como las comunicaciones móviles y la conexión a internet inalámbrica. También se emplea en aplicaciones de radar, televisión, radioafición, satélites de comunicaciones, entre otros.

Es importante destacar que la asignación y gestión del espectro radioeléctrico es un tema complejo y está sujeto a regulaciones específicas en cada país. Los organismos reguladores y las normativas establecen los derechos y responsabilidades de los usuarios del espectro, con el objetivo de evitar interferencias y garantizar un uso eficiente de este recurso valioso.

2.2.6. Radiocomunicación Digital

La radiocomunicación digital es un método de transmisión y recepción de señales de radio que utiliza técnicas digitales para codificar y decodificar la información. A diferencia de la radiocomunicación analógica, en la que la señal se modula directamente sobre una onda portadora, en la radiocomunicación digital, la información se convierte en forma binaria (0s y 1s) antes de ser transmitida.

La radiocomunicación digital ha ganado popularidad debido a varias ventajas que ofrece en comparación con la radiocomunicación analógica. Algunas de estas ventajas incluyen una mayor eficiencia espectral, una mejor calidad de transmisión, una mayor capacidad de transmisión de datos y una mayor resistencia al ruido y las interferencias.

En la radiocomunicación digital, la información se codifica utilizando diferentes

técnicas de modulación digital, como la modulación de fase (PSK), la modulación de frecuencia (FSK) y la modulación de amplitud (ASK), entre otras. Estas técnicas permiten representar los bits de información mediante cambios en la fase, la frecuencia o la amplitud de la señal portadora.

Además de la modulación digital, en la radiocomunicación digital se utilizan otras técnicas y protocolos para garantizar una transmisión confiable y eficiente de la información. Algunos de estos aspectos incluyen el uso de codificación de canal para la detección y corrección de errores, el uso de técnicas de acceso múltiple para permitir la comunicación simultánea de múltiples usuarios y el uso de protocolos de enlace de datos para el control y la gestión de la comunicación

2.2.7. Analogue Private Mobile Radio (PMR)

Es un sistema de comunicación de radio privada que utiliza tecnología analógica para transmitir señales de voz y, en algunos casos, también datos. PMR es utilizado en entornos profesionales y comerciales donde se requiere comunicación confiable y segura, como servicios de seguridad, transporte, logística, construcción y eventos.

En un sistema de PMR analógico, la información de voz o datos se modula directamente sobre una onda portadora analógica utilizando técnicas de modulación analógica como la modulación de amplitud (AM) o la modulación de frecuencia (FM). La modulación analógica permite la variación de la amplitud o frecuencia de la onda portadora de acuerdo con la señal de información, lo que permite transmitir la voz o datos en forma de señales analógicas (Hernando Rábanos, Mendo Tomás, & Riera Salís, Comunicaciones Móviles, 2015).

Los sistemas PMR analógicos suelen operar en frecuencias específicas asignadas para uso privado, y la infraestructura y el espectro de frecuencia son administrados por la organización o empresa propietaria. Estos sistemas ofrecen cobertura limitada dentro de un área geográfica determinada, como un sitio industrial o un campus universitario

PMR corresponde a un sistema móvil operado por una organización y está disponible para un grupo que necesitan comunicarse a través de una repetidora hacia estaciones base o radios portátiles utilizando un solo canal analógico.

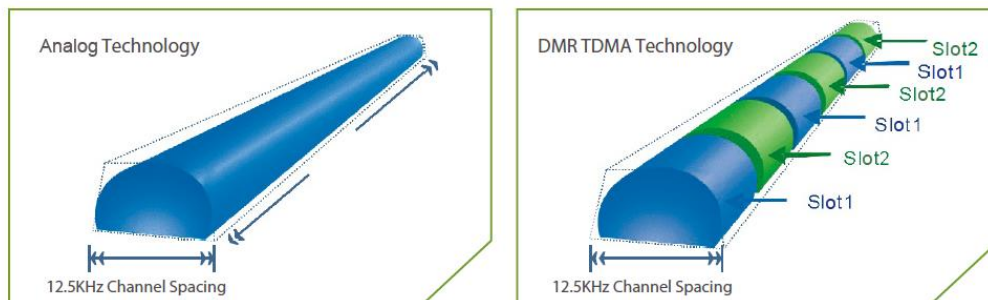
Sin embargo, los sistemas PMR analógicos presentan ciertas limitaciones, como un tiempo medio de ocupación de llamada corto, tráfico restringido a un grupo específico y cobertura local. Para extender la cobertura, se requiere implementar radio enlaces, lo que puede generar problemas como el traslape de señales o un aumento de la interferencia en el espectro radioeléctrico

Los sistemas PMR se han basado en estándares europeos y están sujetos a planes nacionales de gestión de frecuencias.

En respuesta a la demanda de servicios más avanzados, ha surgido una mejora tecnológica conocida como Radio Móvil Digital (DMR). Este sistema utiliza tecnología digital para transmitir señales de voz y datos

Figura 4

Comunicación Analógica vs Comunicación Digital



Nota. Figura 1: Beneficio de tecnología TDMA. Adaptada de Benefits of Digital Two-Way Radio | Alpha Prime Communications, 2016 (<https://alphaprimecomm.com/benefits-of-digital-two-way-radio/>)

2.2.8. Digital Mobile Radio (DMR)

DMR es un estándar europeo que define un reemplazo digital directo para PMR

analógico, con capacidad para atender el mercado de consumo, industria y aplicaciones profesionales/empresariales críticas, así como aplicaciones de seguridad pública/misión crítica.

Se desarrolla en tres niveles y ofrece ventajas sobre el radio analógico, como una mayor calidad de voz en un alcance más amplio, mayor privacidad, características avanzadas para el control de llamadas, integración con sistemas de información, uso más eficiente del espectro, una batería mejorada entre otros (Ramírez Mairales, 2020).

La tecnología DMR utiliza TDMA (Time Division Multiple Access) para dividir el espaciamento de un canal de 12.5 KHz en fracciones de tiempo y de esta manera dividir la comunicación en 2 time slots con el objetivo de permitir a los usuarios realizar 2 llamadas simultáneas en una misma frecuencia.

Como parte de la optimización de los recursos, la radiocomunicación digital experimenta enviar la máxima cantidad de información utilizando el menor espectro radioeléctrico posible, diseñando antenas, transmisores y receptores y esquemas de modulación como TDMA.

2.2.9. Time Division Multiple Access (TDMA)

El TDMA es una técnica de acceso múltiple que se utiliza en sistemas de comunicación inalámbrica, como las redes móviles y las comunicaciones por radio. Esta técnica permite a múltiples usuarios compartir el mismo canal de comunicación dividiendo el tiempo en intervalos discretos.

En el TDMA, el tiempo se divide en marcos o tramas, y cada trama se subdivide en ranuras de tiempo más pequeñas. Cada usuario asignado al canal de comunicación tiene asignada una o varias ranuras de tiempo dentro de cada trama. Durante su ranura de tiempo asignada, el usuario puede transmitir o recibir datos. La asignación precisa de las ranuras de tiempo garantiza que los usuarios no interfieran entre sí y que puedan comunicarse de manera eficiente y simultánea (Hernando Rábanos, Mendo Tomás, & Riera Salís, Comunicaciones

Móviles, 2015).

La principal ventaja del TDMA es que permite una utilización eficiente del espectro de frecuencia. Al dividir el tiempo en intervalos, múltiples usuarios pueden compartir la misma frecuencia de manera secuencial. Esto aumenta la capacidad del sistema, ya que se aprovecha al máximo el tiempo de transmisión disponible. Además, el TDMA ofrece una mayor resistencia al ruido y las interferencias, ya que cada usuario transmite en su ranura de tiempo asignada sin superponerse con otros usuarios.

2.2.10. Voltage Standing Wave Radio (VSWR)

Es una medida utilizada en ingeniería de radiofrecuencia (RF) para evaluar la calidad de una línea de transmisión o la coincidencia de impedancia entre una fuente de señal y una carga.

El VSWR se define como la relación entre el valor máximo del voltaje de onda estacionaria (también conocida como onda estacionaria) y el valor mínimo del voltaje de onda estacionaria en una línea de transmisión (Knott, Shaeffer, & Tulley, 2004). Esta relación indica la cantidad de energía que se refleja en comparación con la cantidad de energía transmitida.

2.2.11. SMS

Se traduce en Servicio de mensajes Cortos. El SMS posibilita enviar y recibir mensajes de texto de extensión reducida.

El uso del SMS ha sido muy popular debido a su simplicidad y conveniencia. Permite a los usuarios comunicarse de manera rápida y efectiva, incluso en situaciones en las que una llamada de voz no es posible o conveniente. Los mensajes de texto se entregan de forma asincrónica, lo que significa que el receptor puede leerlos y responder en el momento que le resulte más conveniente.

2.2.12. Roaming

Refiere a la posibilidad de que un dispositivo inalámbrico se conecte a redes distintas

utilizando la identificación de la red principal.

El roaming permite a los usuarios de radios móviles permanecer conectados y comunicarse de manera continua mientras se desplazan entre diferentes áreas de cobertura. Cuando un usuario se aleja de un repetidor al que está conectado inicialmente y se acerca a otro repetidor con una señal más fuerte, el dispositivo de radio realiza una transición suave al nuevo repetidor sin que el usuario lo perciba.

2.2.13. Llamada Selectiva Digital

Técnica de transmisión automática de llamadas por radio de frecuencias medias (VF), altas (HF) o muy altas (VHF) que utiliza mensajes codificados en formato digital (Hernando Rábanos, Riera Salís, & Mendo Tomás, 2013).

2.2.14. Received Signal Strength Indicator (RSSI)

El RSSI es una medida utilizada en redes inalámbricas para evaluar la intensidad de la señal recibida por un receptor. Es un parámetro importante en la comunicación inalámbrica, ya que puede utilizarse para estimar la calidad de la señal, determinar la potencia de transmisión requerida y realizar tareas de posicionamiento en sistemas de localización

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

La implementación actual se enmarca en una investigación tecnológica de carácter riguroso, basada en el manual Mototrbo System Planner 2.9.5, que guiará el diseño y desarrollo de un sistema de radiocomunicación digital. Esta investigación se enfoca en la evaluación cuantitativa de la cobertura, calidad de audio y funcionalidades del sistema TDMA, utilizando mediciones y análisis estadísticos como herramientas metodológicas. El objetivo es alcanzar una comprensión profunda de las nuevas funcionalidades y ventajas que ofrece el sistema de radiocomunicación digital, así como su impacto en el contexto específico de estudio.

3.2. Diseño de Investigación

Para lograr los objetivos planteados en este proyecto de migración al sistema de radiocomunicación digital en el Campo Bermejo, se seguirá un enfoque metodológico que abarcará diferentes etapas y técnicas. A continuación, se detalla el diseño de investigación para cada objetivo específico:

3.2.1. Análisis de Ventajas del Sistema TDMA

En esta etapa, se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Relevamiento de la infraestructura y configuración del sistema de radiocomunicación análogo existente en el Campo Bermejo.
- Mediciones de la potencia de señal (RSSI) en ubicaciones estratégicas del Campo Bermejo utilizando equipos de medición adecuados.
- Comparación de los resultados de las mediciones de RSSI con los datos de cobertura proporcionados por el sistema de radiocomunicación análogo actual.
- Encuestas y entrevistas con los usuarios actuales para obtener información sobre la satisfacción con la cobertura, calidad de audio y funcionalidades del sistema análogo.

- Análisis de las ventajas y desventajas del sistema TDMA en términos de cobertura, calidad de audio y funcionalidades en comparación con el sistema análogo.

3.2.2. Diseño e Implementación de la Topología del Sistema Digital

En esta fase, se llevarán a cabo las siguientes tareas:

- Estudio detallado de la infraestructura existente, incluyendo ubicación de torres, repetidoras y equipos de radio.
- Diseño de la topología del sistema de radiocomunicación digital considerando la ubicación óptima de los repetidores digitales, la cobertura requerida y la capacidad de la red.
- Evaluación de la compatibilidad y reutilización de la infraestructura existente para la implementación del sistema digital.
- Realización de simulaciones y pruebas de rendimiento para asegurar una distribución eficiente de la señal en todo el Campo Bermejo.

3.2.3. Implementación de Repetidoras en Modo Digital

En esta etapa, se llevarán a cabo las siguientes acciones:

- Adquisición y configuración de los equipos repetidores digitales adecuados que utilicen la técnica de modulación TDMA.
- Instalación de los repetidores en las ubicaciones previamente definidas en el diseño de la topología del sistema.
- Aseguramiento de la correcta interconexión de los repetidores digitales con la infraestructura existente.
- Realización de pruebas de funcionamiento y ajustes para garantizar una transición sin problemas del sistema análogo a la digital.

3.2.4. Instalación de Aplicación de Control y Diagnóstico

En esta fase, se llevarán a cabo las siguientes tareas:

- Adquisición de la aplicación de control, alertas y diagnóstico (por ejemplo, la aplicación RDAC de Motorola) compatible con los equipos repetidores utilizados.
- Instalación y configuración de la aplicación en los repetidores para permitir el monitoreo y control remoto de los mismos.
- Capacitación al personal responsable para utilizar la aplicación de manera efectiva y asegurar el adecuado mantenimiento y supervisión del sistema.

3.2.5. Configuración de Canales y Funcionalidades en Modo Digital

En esta fase, se llevarán a cabo las siguientes actividades:

- Configuración y programación de los equipos de radio portátil, bases y móviles para operar en modo digital TDMA.
- Establecimiento de los canales y funcionalidades adecuadas para cada tipo de equipo, asegurando la interoperabilidad y un funcionamiento óptimo del sistema digital.

3.2.6. Determinación de la Cobertura del Sistema Digital

Para esta etapa, se realizarán las siguientes acciones:

- Mediciones de RSSI en diferentes ubicaciones del Campo Bermejo, considerando una muestra aleatoria y representativa.
- Utilización de la aplicación Site Survey desarrollada por Motorola para evaluar minuciosamente la cobertura y calidad de la señal en cada punto de medición.
- Análisis de los resultados de las mediciones y generación de mapas de cobertura que reflejen la distribución de la señal en el Campo Bermejo.

3.3. Unidades de Estudio

3.3.1. Población

La población de estudio está compuesta por dos elementos principales:

- Potencia de señal del Campo Bermejo: Esta población incluye todos los puntos de medición de la potencia de señal (RSSI) en el área del Campo Bermejo. La potencia de señal se refiere a las mediciones de intensidad de la señal de radiocomunicación VHF en diferentes ubicaciones dentro del Campo Bermejo.
- Usuarios actuales del sistema de radiocomunicación analógico en el Campo Bermejo: Esta población abarca a las 22 personas que utilizan los equipos de radio portátiles, estaciones base y móviles en el Campo Bermejo.

3.3.2. Muestra

Para evaluar la cobertura del sistema de comunicación digital en el Campo Bermejo, se tomarán 68 mediciones de RSSI en toda el área. Esta muestra constará de un subconjunto aleatorio y representativo de puntos de medición en diversas ubicaciones del Campo Bermejo.

La encuesta a la población proporcionará información sobre las ventajas de cobertura, calidad de audio y funcionalidades del sistema TDMA en comparación con el sistema de radiocomunicación analógico actual. Además, se recopilarán datos para el diseño e implementación de la topología del sistema de radiocomunicación digital, así como la configuración de canales y funcionalidades en modo digital para todos los equipos en Campo Bermejo.

La muestra de 68 puntos de medición para las mediciones de RSSI permitirá obtener una estimación precisa y representativa del rendimiento de la señal en el área del Campo Bermejo, lo que facilitará la determinación de la cobertura del sistema de radiocomunicación digital en dicha área. La combinación de la encuesta a la población y las mediciones de RSSI como muestra proporcionará una visión completa para alcanzar los objetivos establecidos en

el proyecto de migración al sistema de radiocomunicación digital en Campo Bermejo, incluyendo la evaluación de la cobertura en un área específica de interés

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizó las siguientes técnicas:

- Medición de señal de potencia recibida RSSI y registro de coordenadas GPS a través de software Mototrbo Site Survey.
- Verificación de mejora de audio a través de pruebas de comunicación dos vías.
- Check list para evaluación de funcionalidades del sistema.

3.4.1. Encuesta para la recolección de datos

La encuesta será la técnica de recolección de datos que permitirá establecer contacto con las unidades de observación por medio de cuestionarios previamente establecidos. Se realiza de forma personal en las diferentes áreas de operación que componen la muestra identificada.

El instrumento utilizado para llevar a cabo la encuesta es un cuestionario compuesto por preguntas cerradas (dicotómicas o de respuestas múltiples preestablecidas) respecto a variables de interés cualitativas que fueron establecidas en función de los objetivos de la investigación, referentes a satisfacciones e insatisfacciones con los diferentes sistemas analógicos y digitales existentes, pretensiones económicas frente a los beneficios tecnológicos y aceptación de nueva tecnología digital de comunicaciones.

3.5. Técnica de Análisis de Datos

Para analizar el desempeño del sistema, se utilizaron las siguientes técnicas:

- **Simulación de cobertura mediante software Radio Mobile:** Se realizó simulaciones para obtener la cobertura esperada en todo el campo. Esto permitirá identificar las áreas de baja cobertura y mejorar el diseño del sistema
- **Análisis de las mediciones obtenidas por el software Motorola Site Survey:** Se analizó el porcentaje de cobertura en todo el campo a partir de las mediciones obtenidas.

Con ello se verificará si la cobertura obtenida se ajusta a la cobertura esperada y detectar posibles problemas.

- **Evaluación del nivel de RSSI mínimo para roaming:** Se determinó el nivel de RSSI mínimo que requieren los equipos de radio para que mediante la funcionalidad de roaming, se cambien automáticamente de canal. Esto permite asegurar una conectividad adecuada en todo el campo.
- **Pruebas de funcionalidad:** Se realizaron pruebas de envío de texto, llamadas selectivas, activación y desactivación remota, botón de emergencia, en equipos para evaluar la funcionalidad del sistema en condiciones reales.

3.5.1. Análisis estadístico de los resultados de encuesta

Se recopilaban opiniones de los usuarios a través de encuestas para conocer su percepción sobre el desempeño del sistema y detectar posibles problemas o áreas de mejora, que son posteriormente analizados en herramientas como Excel y SPSS Statistics.

Como el resultado de la encuesta, se describen variables cualitativas, y en SPSS se aplica el método de tablas cruzadas (tablas de contingencia) para identificar relaciones entre dos o más variables categóricas (nominales u ordinales). El tamaño de la tabla viene determinado por el número de valores distintos en cada variable, y representando cada casilla, una combinación exclusiva de valores.

De igual forma, se emplea el método estadístico **chi-cuadrado** para determinar si las variables tienen una relación estadísticamente significativa, comparando el valor p con el nivel de significancia. Por lo general, un nivel de significancia (denotado como α o alfa) de 0.05 funciona adecuadamente. Un nivel de significancia de 0.05 indica un riesgo de 5% de concluir que existe una asociación entre las variables cuando no hay una asociación real:

Valor $p \leq \alpha$: Las variables tienen una asociación estadísticamente significativa (Rechazar H_0)

Valor $p > \alpha$: No se puede concluir que las variables están asociadas (No se puede rechazar H_0)

3.6. Operacionalización de Variables

Tabla 1

Operacionalización de Variables

Variable	Definición	Indicadores	Fuente de datos
Cobertura	Área geográfica alcanzada por el sistema de radiocomunicación VHF	- Porcentaje de cobertura geográfica en kilómetros cuadrados - RSSI (Received Signal Strength Indicator)	Informes de pruebas de campo - Mapas de cobertura - Mediciones de RSSI
Calidad de audio	Nivel de claridad y fidelidad del sonido transmitido por el sistema de radiocomunicación VHF	- Evaluación subjetiva de los usuarios sobre la calidad de audio	Resultados de la encuesta
Funcionalidades del sistema TDMA	Características y capacidades del sistema de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) utilizado en la digitalización	- Número de canales disponibles - Capacidad de gestión de llamadas simultáneas - Tiempo de respuesta de la red	Documentación técnica del sistema TDMA - Informes de fabricantes/proveedores
Necesidades y preferencias de los usuarios	Requerimientos y preferencias de los usuarios en relación con la migración del sistema de radiocomunicación	- Proporción de usuarios que desean migrar a un sistema digital - Preocupaciones y expectativas de los usuarios en relación con la migración - Características deseadas en el sistema digital	Resultados de la encuesta
Experiencia del sistema análogo	Evaluación de los usuarios sobre el sistema de radiocomunicación análogo	- Nivel de satisfacción con el sistema análogo actual - Limitaciones y desafíos experimentados con el sistema análogo	Resultados de la encuesta
Conocimientos sobre radiocomunicación digital	Nivel de conocimiento y comprensión de los participantes sobre la radiocomunicación digital	- Proporción de participantes familiarizados con los conceptos básicos de la radiocomunicación digital	Resultados de la encuesta
Evaluación del sistema digital	Evaluación de los usuarios sobre el sistema	- Calidad de audio percibida - Cobertura de la señal percibida	Resultados de la encuesta

3.7. Diseño de la Solución

3.7.1. Estado de la red de Radiocomunicación Análoga existente

3.7.1.1. Topología de la red

En el marco de esta investigación, se cuenta con dos equipos repetidores CDR700 Motorola, cada uno compuesto por un radio transmisor y un radio receptor. Estos equipos se complementan con un módulo RICK (Repeater Interface Communications Kit), cuya función es recopilar y la información de llamadas (audio) que fluye desde receptor hacia transmisor. Además, el módulo RICK proporciona interfaces necesarias para integrar un radio enlace, permitiendo la interconexión con otro repetidor en el sistema VHF.

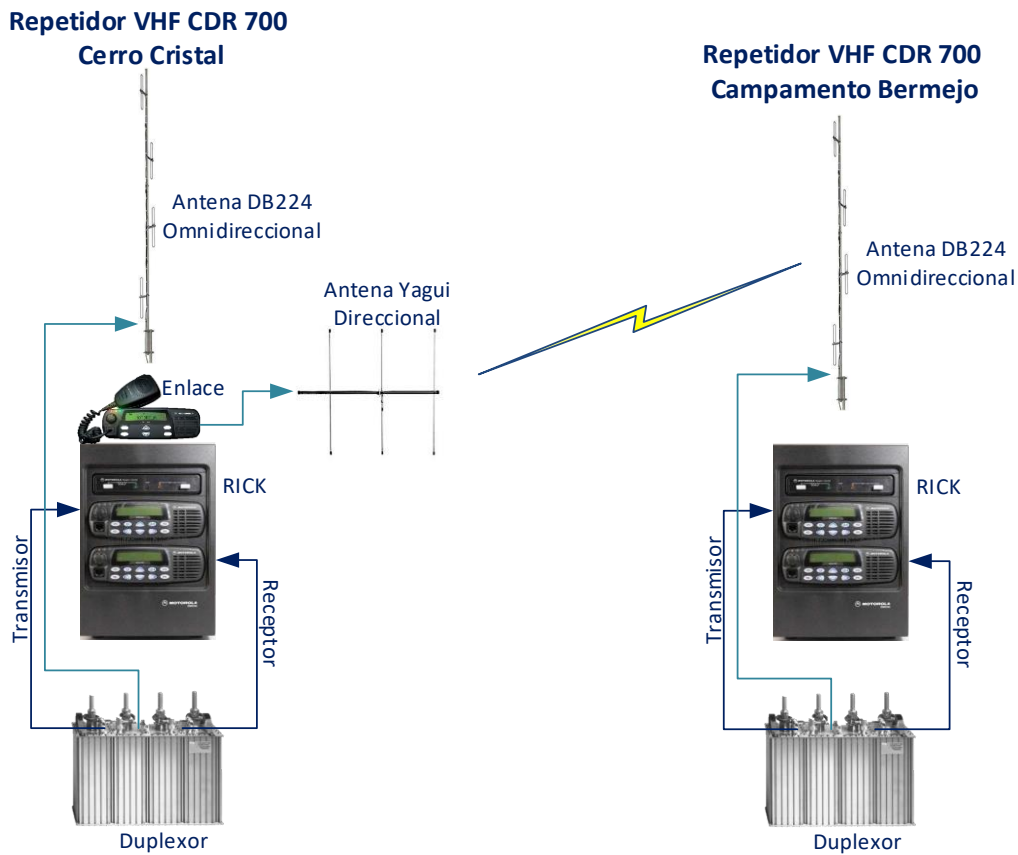
Con el uso de estos dos repetidores CDR700 y su módulo RICK, se logra establecer una comunicación bidireccional entre usuarios, donde el radio receptor capta las señales de los dispositivos remotos y las transmite al radio transmisor. El módulo RICK juega un papel crucial al transferir el audio entre transmisor, receptor y enlace.

Esta configuración permite establecer un canal de comunicación que abarca a todos los usuarios con un espaciamiento de 12,5KHz. A través de este canal, se transmite exclusivamente audio proveniente de los radios remotos que acceden a las repetidoras, lo que permite una comunicación semiduplex.

Es importante destacar que cada estación repetidora está equipada con un duplexor, el cual tiene como objetivo principal utilizar una única antena para las dos frecuencias que utiliza un repetidor. Esta integración del duplexor garantiza una gestión más eficiente de las frecuencias, permitiendo la transmisión y recepción de señales de forma alternada en la misma antena.

Figura 4

Topología física red radiocomunicación VHF análogo Campo Bermejo



El Campo Bermejo utiliza dos repetidoras (Campamento Bermejo y Cerro Cristal) enlazadas a través de un radio enlace con el objetivo de ampliar la cobertura. Esta configuración de red VHF análogo utiliza una modulación de frecuencia modulada, la amplitud de señal portadora se mantiene constante, mientras que la frecuencia varía en proporción a la señal de audio que se desea transmitir.

El audio se convierte en una señal de frecuencia modulante que varía la frecuencia instantánea de la señal portadora.

La variación en la frecuencia portadora (Figura 3) crea desplazamientos en la señal transmitida y permite la representación de la información de audio.

El espaciamiento de 12,5 KHz corresponde al ancho de banda del canal para transmitir la señal modulada. Este espaciamiento asegura que los canales no se superpongan y permitan la operación de otros sistemas de repetición en el mismo rango de frecuencia.

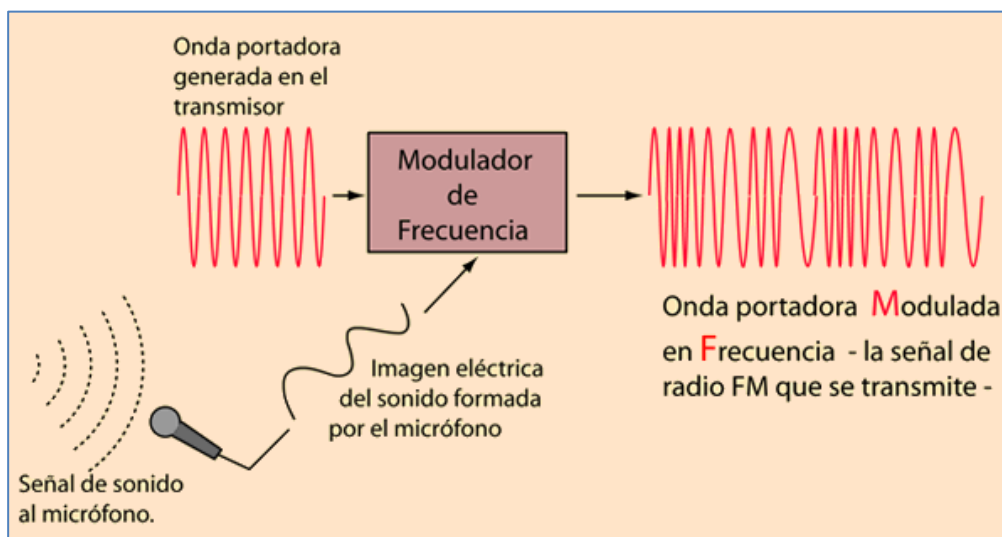
Los equipos de radio a nivel de usuario utilizan modelos PRO 5100 y PRO 7150, los cuales generan las señales de audio que se modulan en frecuencia antes de transmitirse.

Estas señales de audio modulada se transmiten a través del canal de comunicación utilizando la frecuencia portadora específica.

Las estaciones repetidoras amplifican las señales recibidas y vuelven a transmitir, extendiendo el alcance de la comunicación.

Figura 5

Detalle de la modulación FM



Fuente: (GSU.edu recuperado 2023)

3.7.1.2.Limitaciones

En la actualidad, el sistema de radiocomunicación presenta varios problemas. Uno de ellos es la baja cobertura y el ruido captado por micrófonos desde los equipos remotos se retransmite por las repetidoras, lo que dificulta la comunicación en entornos ruidosos. Además, hay una interferencia de frecuencia entre el radio enlace y la repetidora en la Torre de Cerro Cristal, lo que afecta la calidad de la comunicación analógica.

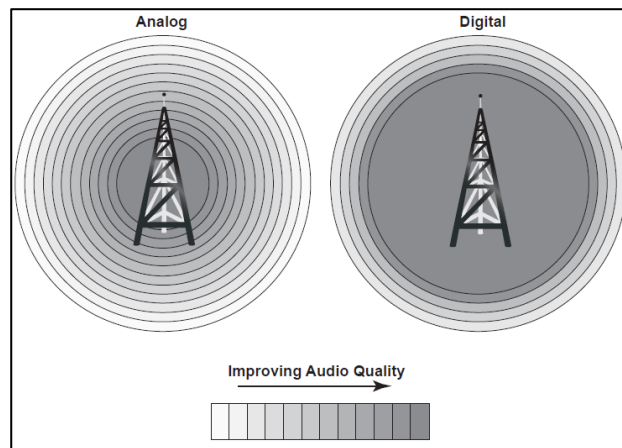
Debido a la existencia de varios departamentos operativos y administrativos, en la actualidad se necesita de 2 canales de comunicación para mantener la privacidad de las

conversaciones operativas y administrativas. Sin embargo, en este sistema analógico, solo es posible tener un canal y una conversación de dos vías a la vez para todo el personal, lo que limita la capacidad de mantener conversaciones privadas.

Los equipos utilizados, como las repetidoras CDR 700 y la serie de radios PRO 5100 y 7150, han estado en funcionamiento durante 15 años, pero ya no reciben soporte de fábrica debido a que dejaron de producirse hace aproximadamente 6 años. Esto dificulta la resolución de problemas y actualizaciones.

Figura 6

Diferencia de cobertura entre Sistema Análogo y Digital



Fuente: (Mototbro System Planner 2018)

En resumen, el sistema actual presenta problemas como degradación en la calidad de voz, cobertura limitada y falta de funcionalidades digitales como rastreo, señalización y roaming y demás que son ofrecidas por los sistemas digitales modernos.

Es necesario mencionar que los elementos pasivos como duplexor, antenas, guías de onda se ha considerado para reutilizarlos debido a que se encuentran en las frecuencias de operación asignadas por ARCOTEL.

CAPÍTULO IV: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

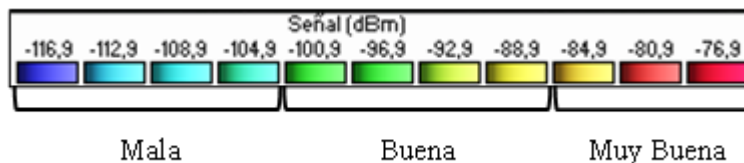
4.1. Evaluación Mediante Simulación Radio Mobile

Tras la instalación de los repetidores digitales y la revisión de sus componentes pasivos, se procede a realizar la evaluación de la cobertura en el área mediante simulación. El propósito fundamental de esta simulación radica en confirmar la efectividad de los sistemas de Repetidores de Torre Cristal y Torre Campamento Bermejo en términos de su alcance de cobertura. Para este propósito, se utiliza la herramienta de software Radio Mobile, la cual incorpora una función específica para evaluar la cobertura de radio en forma polar. En este contexto, los repetidores actúan como unidades centrales, mientras que las diversas estaciones y pozos se consideran unidades móviles.

A continuación, se proporciona una representación gráfica de la intensidad de la señal en dBm mediante una escala de barras. Esta representación tiene como propósito permitir una evaluación más precisa de la calidad de la señal. En línea con este objetivo, se ha considerado que a medida que los usuarios se acercan a la fuente de la señal (los repetidores), la intensidad de la señal tiende a aumentar. Con este fin, se ha categorizado la intensidad de señal en tres rangos distintos: Mala, Buena y Muy Buena. Esta representación se muestra en la figura 8.

Figura 7

Segmentación de la intensidad de la señal



4.1.1. Cobertura Repetidor Torre Cristal

A continuación, se detalla la configuración y propiedades del sistema de repetidor en la Torre Cristal, diseñado estratégicamente para mejorar la cobertura de comunicación en el rango

de frecuencias VHF, con un enfoque particular en el sector norte del Campo Bermejo. Este sistema ha sido meticulosamente configurado considerando las siguientes propiedades fundamentales, como se muestra en la Tabla 2:

Tabla 2

Propiedades del Sistema Torre Cristal

Propiedades del Sistema Torre Cristal	
Frecuencia máxima	159,5000 MHz
Frecuencia mínima	154,5000 MHz
Potencia de Transmisión	30 watt
Umbral de receptor	-116,9 dBm
Pérdida de línea (cable + conectores + cavidades)	6,5 dB
Tipo de Antena	DB224 (Omnidireccional)
Ganancia de Antena	6 dBi
Altura de antena	50 metros

- **Rango de Frecuencia:** El sistema opera en un amplio rango de frecuencia, desde 154,5000 MHz hasta 159,5000 MHz, permitiendo abarcar comunicaciones en VHF de largo alcance.
- **Potencia de Transmisión:** Con una potencia de 30 Watts, el sistema asegura una emisión de señal fuerte y clara, garantizando comunicación confiable incluso en distancias considerables.
- **Umbral de Receptor:** Basado en las especificaciones del repetidor SLR 8000, el umbral de receptor se fija en -116,9 dBm. Este parámetro define la intensidad mínima de señal necesaria para una recepción adecuada, asegurando una comunicación estable y clara.
- **Pérdida de Línea:** Se estima una pérdida total en línea de 6,5 dB, considerando las atenuaciones inherentes al proceso de transmisión, que incluye el cable, los conectores y las cavidades.
- **Antena Omnidireccional:** Equipado con una antena omnidireccional del tipo DB 224,

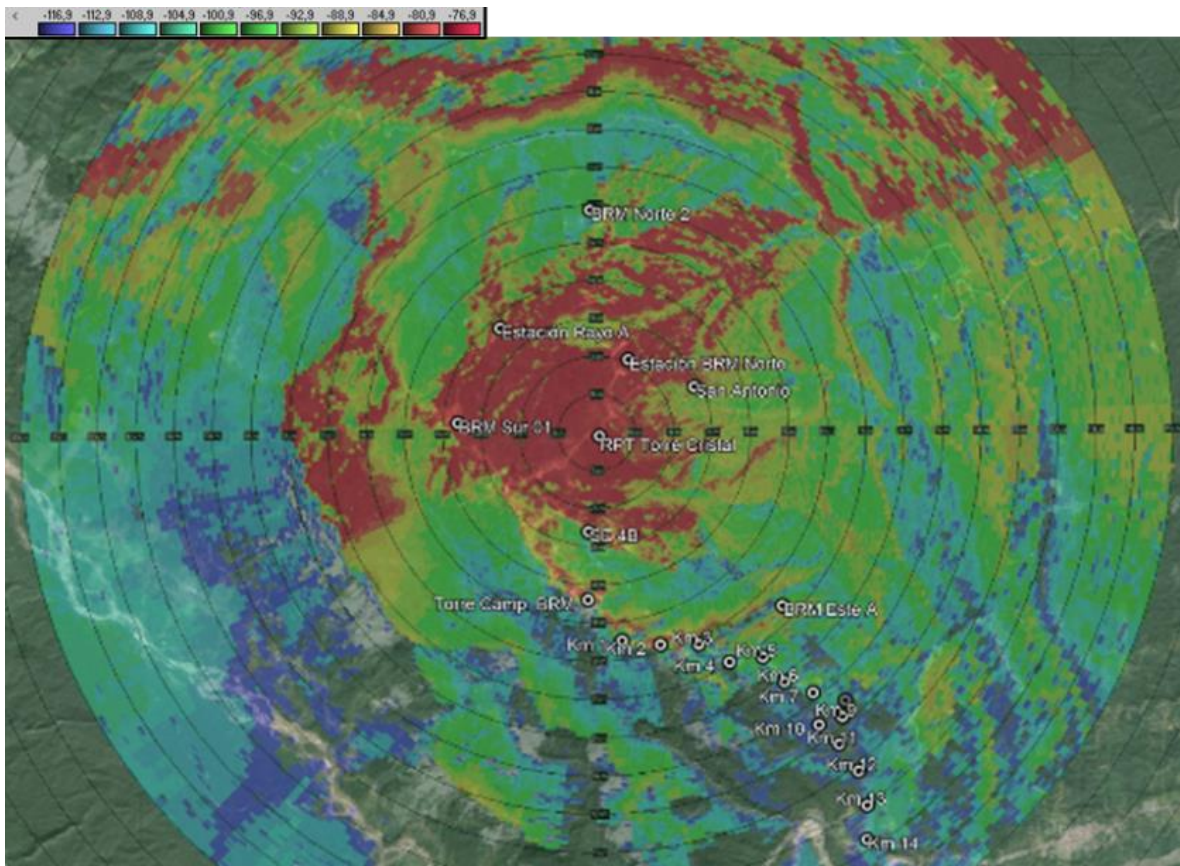
el sistema emite señales en todas las direcciones, logrando una cobertura de 360 grados.

- **Ganancia de Antena:** La antena tiene una ganancia de 6 dBi, lo que enfoca y refuerza la señal en una dirección específica, optimizando tanto la transmisión como la recepción.
- **Altura de Antena:** Instalada a 50 metros sobre el terreno, la antena amplía considerablemente el alcance de la señal y facilita la superación de obstáculos naturales y estructurales.

En conjunto, estas propiedades definen un sistema de repetición VHF en la Torre Cristal diseñado para proporcionar una cobertura sólida y confiable dentro del rango de frecuencias VHF especificado. La cobertura efectiva, evaluada en términos de "buena" y "muy buena", abarca aproximadamente 7 kilómetros alrededor de la torre para radios portátiles. Sin embargo, debido a la topología montañosa del terreno, la imagen de cobertura muestra áreas con señal más débil. Esta configuración técnica, respaldada por la antena omnidireccional, la potencia de transmisión adecuada y el umbral de receptor, asegura comunicación efectiva y de alta calidad en los pozos y estaciones ubicados en su área de alcance.

Figura 8

Cobertura de Señal del Repetidor Torre Cristal en el Campo Bermejo



Nota: Elaboración Propia

4.1.2. Cobertura Repetidor Campamento Bermejo

En el siguiente análisis se detallan las propiedades y configuración del sistema de repetidor en la Torre Campamento Bermejo, el cual despliega una función estratégica al mejorar la cobertura de comunicación en el rango de frecuencias VHF. Este sistema, diseñado para abordar desafíos geográficos y de cobertura en el Campo Bermejo, opera con los siguientes parámetros, como se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3

Propiedades del Sistema Torre Campamento Bermejo

Propiedades del Sistema Torre Campamento Bermejo	
Frecuencia máxima	159,85000 MHz
Frecuencia mínima	154,9500 MHz
Potencia de Transmisión	30 watt
Umbral de receptor	-116,9 dBm
Pérdida de línea (cable + conectores + cavidades)	6,5 dB
Tipo de Antena	DB224 (Omnidireccional)
Ganancia de Antena	6 dBi
Altura de antena	30 metros

El repetidor de Campamento Bermejo, ubicado a 4,23 km del Repetidor de Torre Cristal, se enfrenta a desafíos de cobertura debido a la topología montañosa del terreno. En áreas hacia las estaciones más distantes y en la carretera principal de acceso al Campo Bermejo, se presentan zonas con cobertura limitada. Para abordar estas limitaciones, se implementaron dos repetidores estratégicos: uno en la Torre Cristal, para cubrir la zona norte, y otro en la Torre Campamento Bermejo, para atender el área central y sur.

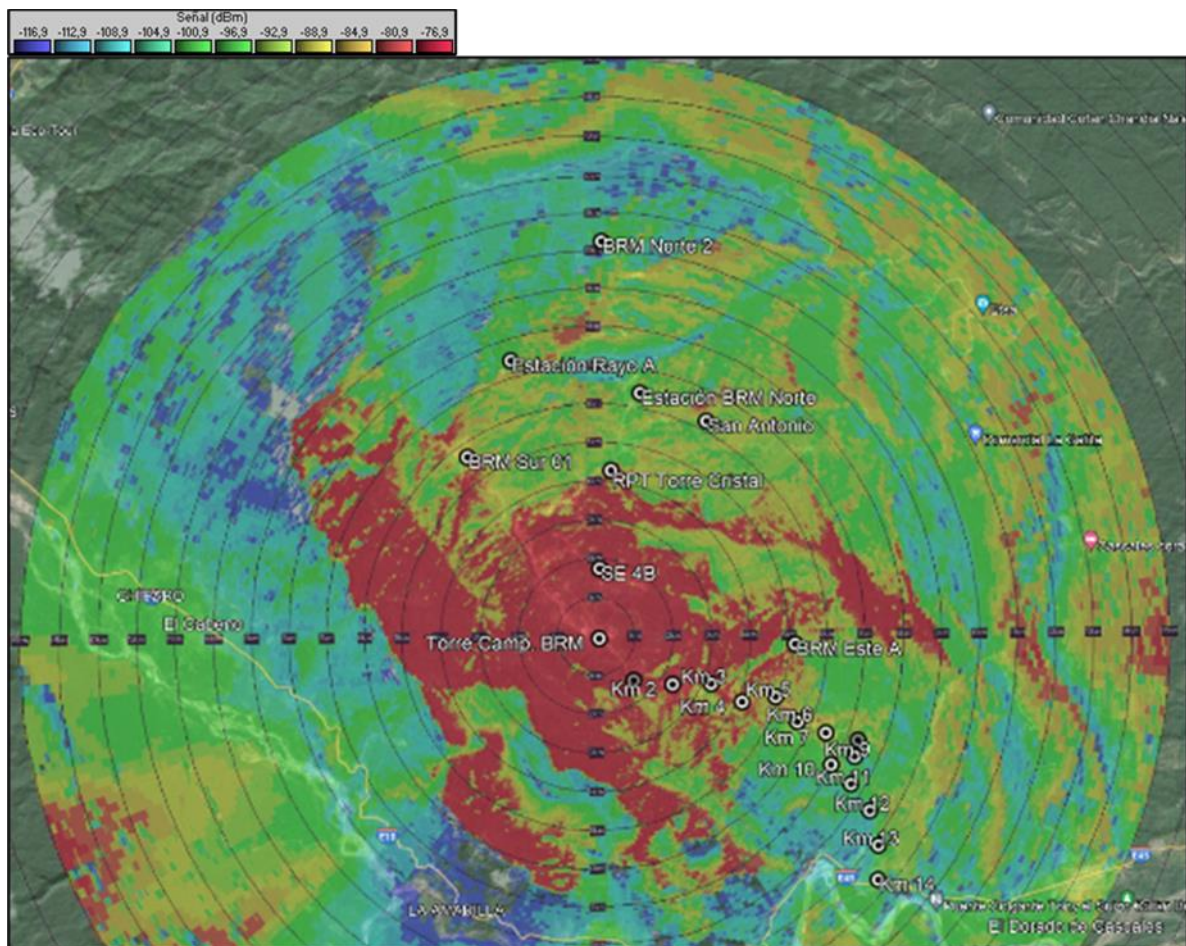
Es relevante señalar que las frecuencias de transmisión y recepción, asignadas por ARCOTEL, son muy similares, con una separación de 850 kHz. Ambos repetidores utilizan un duplexor y el mismo tipo de antena omnidireccional. En consecuencia, se emplearon los mismos parámetros para generar la simulación de área de cobertura en ambas torres.

La implementación de repetidores en ubicaciones estratégicas fue una respuesta necesaria para enfrentar los desafíos topográficos y garantizar una comunicación efectiva en todo el Campo Bermejo. El sistema en la Torre Campamento Bermejo está configurado con propiedades predefinidas, como la potencia de transmisión, la ganancia de antena y la altura de la antena, con el objetivo de asegurar una cobertura confiable y constante en el área. La implementación de estos repetidores significa una gran alternativa para superar las limitaciones

de cobertura en terrenos complejos y garantizar una conectividad adecuada en todas las áreas de Campo Bermejo.

Figura 9

Cobertura de Señal del Repetidor Torre Cristal en el Campo Bermejo



Nota: Elaboración Propia

4.2. Pruebas de cobertura en ambiente real con aplicación Motorola Site Survey

El Motorola Site Survey, también conocido como Site Survey Tool de Motorola Solutions, es una herramienta y proceso utilizado en el campo de las comunicaciones inalámbricas y las redes de radio para evaluar y analizar la cobertura y calidad de la señal en una determinada área geográfica. Este proceso se lleva a cabo en sistemas de comunicación, como radios bidireccionales, sistemas de repetición y otros equipos de radiofrecuencia.

El propósito primordial de esta aplicación es garantizar el funcionamiento eficiente y

confiable de la infraestructura de comunicación inalámbrica en la región designada. Para lograr esta meta, la herramienta realiza mediciones precisas de la intensidad y calidad de la señal en toda el área, permitiendo la identificación de áreas de sombra, regiones con recepción deficiente, interferencias y otros factores que puedan degradar la calidad de la comunicación.

A continuación, se presenta una tabla que detalla los requisitos mínimos necesarios para utilizar la aplicación Motorola Site Survey:

Tabla 4

Requisitos mínimos para el uso de Motorola Site Survey

Requisitos mínimos para el uso de Motorola Site Survey	
Hardware	Computadora portátil o de escritorio con un sistema operativo compatible (por ejemplo, Windows 7, 8, 10). Procesador de al menos 1 GHz o superior. Memoria RAM de al menos 1 GB (se recomienda más para un rendimiento óptimo)
Software	Software Motorola Site Survey instalado y licenciado.
Conectividad	Puerto USB disponible para conectar dispositivos de medición y programación.
Dispositivo	Equipos de radio DGP 8550
Cable de programación radio	PMKN4012B

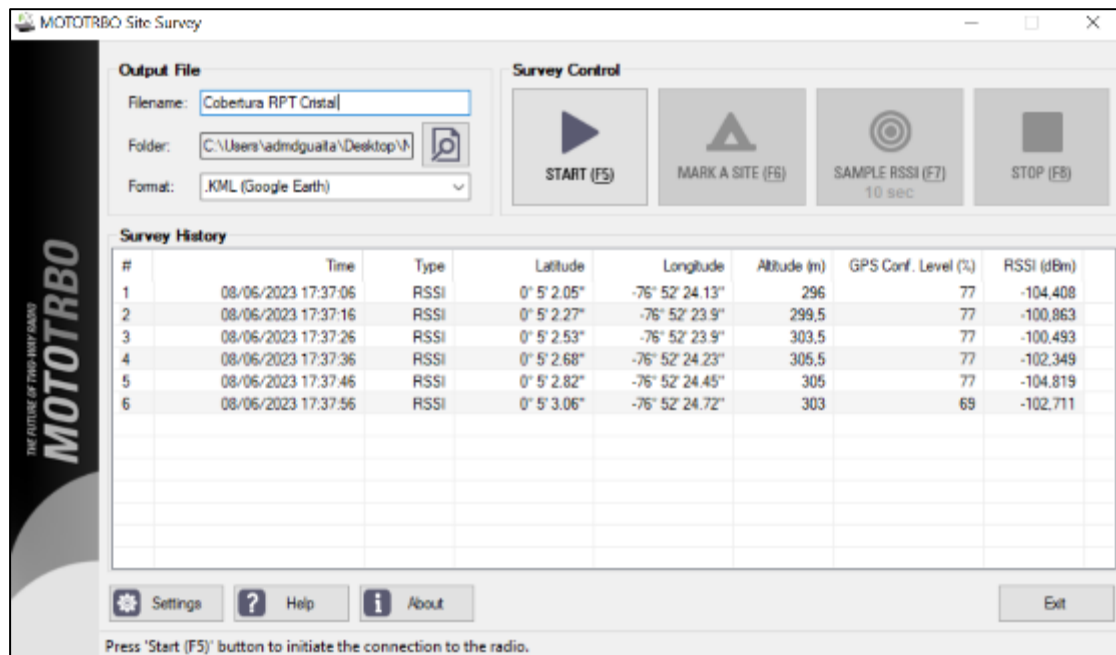
El proceso de Motorola Site Survey generalmente involucra los siguientes pasos:

- **Planificación:** Se establece el área geográfica a cubrir y se definen los puntos estratégicos para llevar a cabo las mediciones.
- **Mediciones en Campo:** Se realizan mediciones de la intensidad de la señal en diferentes ubicaciones utilizando equipos de medición precisos.
- **Análisis de Datos:** Los datos recopilados se analizan para identificar patrones de cobertura, áreas de señal débil y posibles fuentes de interferencia.
- **Recomendaciones:** Basándose en el análisis, se generan recomendaciones para optimizar la colocación de antenas, repetidores y otros equipos, así como para mitigar problemas de interferencia.

Para la configuración de la aplicación, se ha optado por adquirir los datos en formato .KML, como se ilustra en la Figura 11. Esta elección se fundamentó en la conveniencia de poder transferir fácilmente los datos recopilados a Google Earth una vez que la toma de datos estuvo completa. Esta sinergia permitió visualizar de manera efectiva y comprensible la zona de cobertura analizada. La Figura 11 muestra la interfaz de configuración de la aplicación Motorola Site Survey, donde se pueden observar las opciones relacionadas con la recopilación de datos en formato .KML.

Figura 10

Configuración de la Aplicación Motorola Site Survey

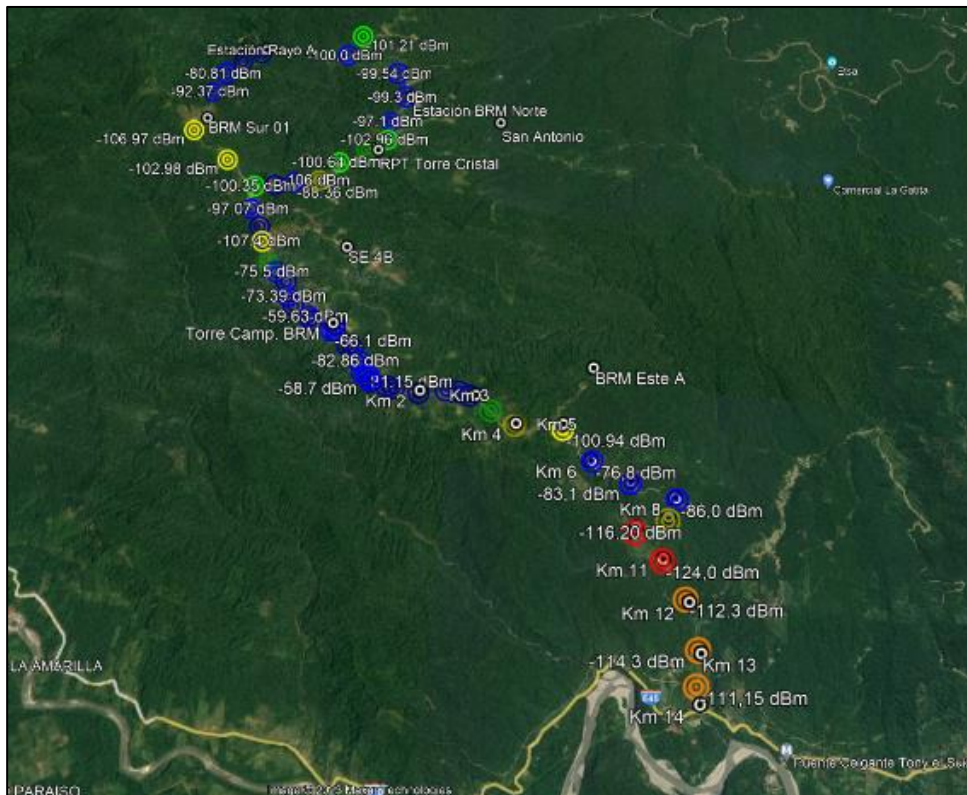


Esta elección de formato y su integración con Google Earth han resultado en una herramienta valiosa para analizar y representar la cobertura de señal de manera clara y detallada, lo que facilita la toma de decisiones informadas en el proceso de evaluación de la infraestructura de comunicación inalámbrica.

Similar al caso de Radio Mobile, la aplicación Site Survey también tiene un gráfico que indica colores para identificar el nivel de la señal. Es por este motivo que igual manera para efectos de estudio, se ha categorizado al nivel de la señal en mala, buena y muy buena.

Figura 11

Mediciones de RSSI mostrados en Google Earth



Nota: Elaboración Propia

4.3. Evaluación del nivel de RSSI

Figura 12

RSSI del sistema análogo a través de la vía de acceso al campo Bermejo



Nota: Elaboración Propia

4.4. Resultados de encuesta

Una vez realizada la consulta, que incluía 16 preguntas sobre los servicios de radiocomunicaciones, a continuación, se presentan los gráficos con los resultados obtenidos.

Además, se llevó a cabo la respectiva inducción del sistema implementado al personal durante esta primera jornada de trabajo. Sin embargo, aún queda pendiente realizar la inducción en la segunda jornada, que comenzará a partir del 7 de agosto.

Es importante destacar que los 22 usuarios que participaron en la consulta pertenecen a diferentes departamentos operativos, los cuales se detallan a continuación: [listar los departamentos:

- OPR -- Operaciones
 - MNT -- Mantenimiento
 - SSA -- Seguridad Salud y Ambiente
 - RSRC -- Responsabilidad Social y Relaciones Comunitarias
 - TI -- Tecnología de la Información
 - AV -- Amazonía Viva
 - GDP -- Gestión de Proyectos
- a. ¿Utilizas actualmente un sistema de radiocomunicación análogo?

La mayoría del personal ya no utiliza un sistema análogo, dado que hemos realizado la migración al sistema digital. Sin embargo, existe 5 personas que todavía utilizan un canal análogo en simplex para comunicaciones de corta distancia.

Figura 13

Utilización del sistema de radiocomunicación analógico



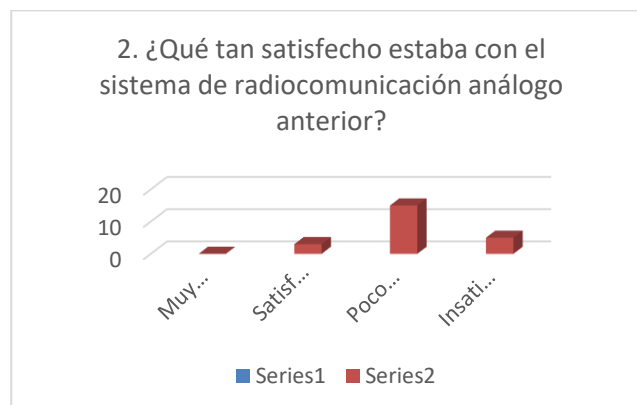
Nota: Elaboración Propia

b. ¿Qué tan satisfecho estaba con el sistema de radiocomunicación analógico anterior?

El personal en su mayoría ha expresado su insatisfacción (Poco satisfecho) con el sistema de repetición analógico debido a que estaba en uso desde hace muchos años, sin recibir actualizaciones en términos de funcionalidades. Además, se experimentaron problemas de interferencias y falta de cobertura.

Figura 14

Nivel de satisfacción de uso del sistema de radiocomunicación analógico



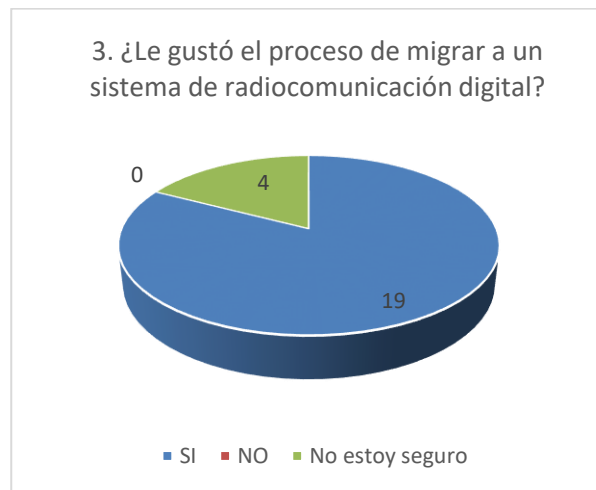
Nota: Elaboración Propia

c. ¿Le gustó el proceso de migrar a un sistema de radiocomunicación digital?

La mayoría de los usuarios han experimentado nuevas funcionalidades con el sistema de radiocomunicación digital, entre ellas la notable mejora en la calidad de voz. Además, la funcionalidad de roaming ha facilitado la comunicación al permitir un fácil desplazamiento dentro del área de cobertura del sistema. Estas nuevas experiencias han sido valoradas positivamente por los usuarios.

Figura 15

Aceptación de la migración hacia el sistema de radiocomunicaciones digital



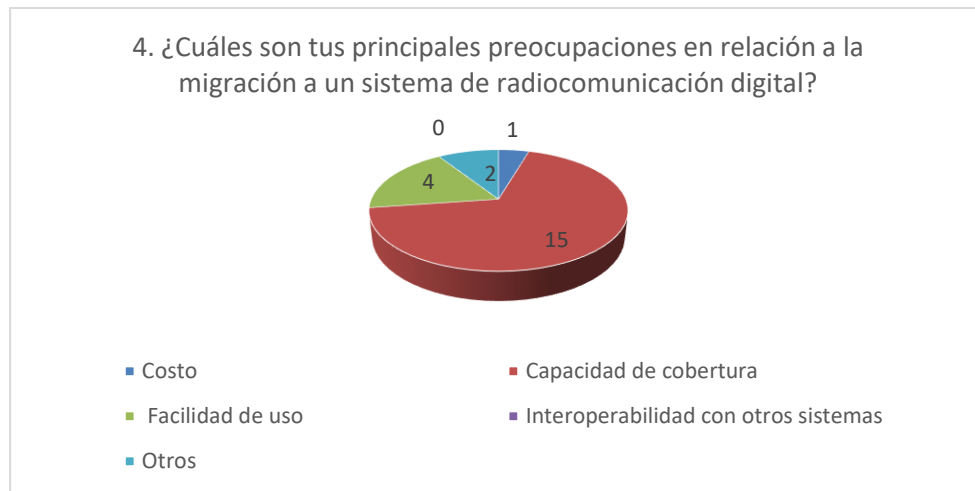
Nota: Elaboración Propia

d. ¿Cuáles son tus principales preocupaciones en relación a la migración a un sistema de radiocomunicación digital?

La mayoría de personas expresaron preocupación por la capacidad de cobertura, ya que los sistemas de radiocomunicación analógica presentaban desvanecimiento de señal y sufrían interrupciones debido a interferencias causadas por la interacción de frecuencias entre repetidores y radio enlace. Además, otra inquietud que manifestaron fue la facilidad de uso del sistema.

Figura 16

Principales preocupaciones sobre el sistema de radiocomunicaciones digital



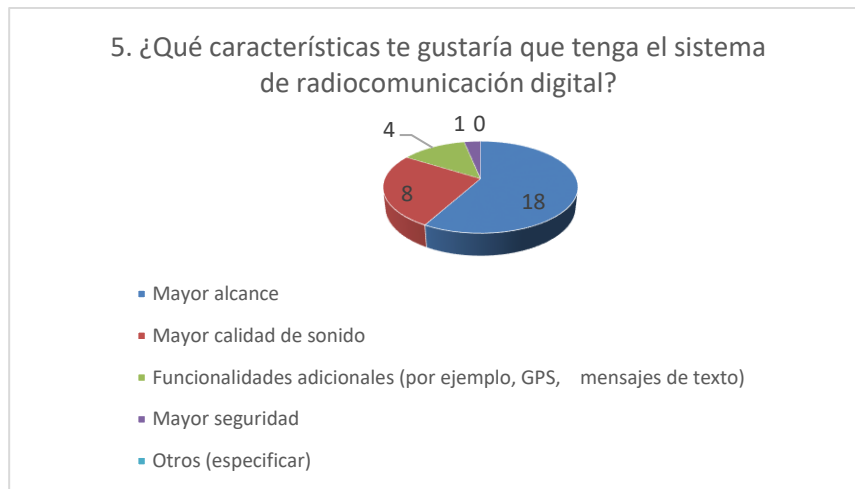
Nota: Elaboración Propia

e. ¿Qué características te gustaría que tenga el sistema de radiocomunicación digital?

En su mayoría, el personal ha expresado la necesidad de contar con un sistema que ofrezca un mayor alcance, una calidad de sonido mejorada y funcionalidades adicionales. El sistema implementado satisface todos estos requerimientos. No obstante, se sugiere una segunda fase, donde se lleve a cabo la validación de las necesidades operativas y se implementen aplicativos adicionales para habilitar al 100% funciones como rastreo por GPS, mensajes de texto desde un despachador y telemetría. Con estas mejoras, se busca optimizar aún más la eficiencia y versatilidad del sistema de radiocomunicación.

Figura 17

Líneas de deseo sobre el sistema de radiocomunicaciones digital



Nota: Elaboración Propia

f. ¿Qué tan dispuesto estarías a pagar por un sistema de radiocomunicación digital?

En base a las experiencias vividas con el sistema de radiocomunicación digital, la mayoría del personal ha expresado que, si estuviera en sus manos, estarían dispuestos a pagar por este sistema, ya sea en una cantidad moderada o significativa. Esta actitud refleja su alto nivel de satisfacción con el sistema y su reconocimiento del valor que aporta a sus actividades diarias.

Figura 18

Expectativa de disposición de pago sobre funcionalidades del sistema de radiocomunicaciones digital



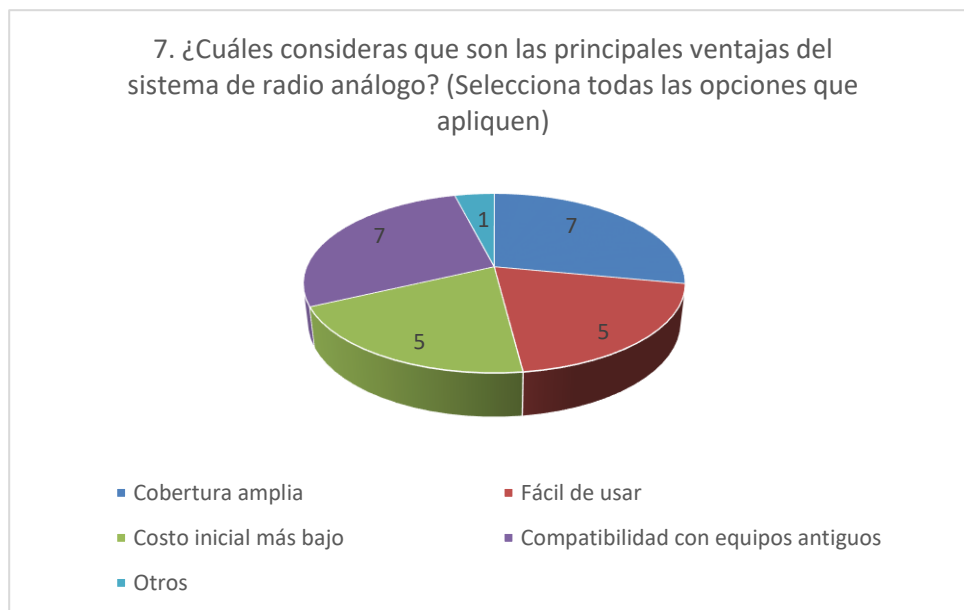
Nota: Elaboración Propia

- g. ¿Cuáles consideras que son las principales ventajas del sistema de radio análogo?
(Selecciona todas las opciones que apliquen)

Ante el sistema de radiocomunicación análogo que estaba en uso, se destacaban principalmente las ventajas de una amplia cobertura. Aunque la señal se desvanecía a medida que se alejaba, todavía era posible escuchar con una calidad aceptable, alrededor de 1/5. Además, los equipos de radio eran de fácil manejo y la tecnología análoga era compatible con radios antiguos, ya que solo se necesitaba configurar la frecuencia de operación y el subtono para que pudieran integrarse al sistema.

Figura 20

Principales ventajas del sistema de radiocomunicaciones digital



Nota: Elaboración Propia

- h. ¿Estás familiarizado/a con los conceptos básicos de la radiocomunicación digital?

Una vez que el personal ha recibido las respectivas inducciones, han adquirido familiaridad con los conceptos básicos de la radiocomunicación digital. Entre estos, se destaca el entendimiento de la tecnología TDMA, así como conceptos relacionados con canales físicos,

ancho de banda y topologías de red VHF. Estas capacitaciones han permitido a los empleados obtener una comprensión sólida de los fundamentos clave que respaldan el sistema de radiocomunicación digital implementado.

Figura 21

Nivel de familiarización con el sistema de radiocomunicaciones digital



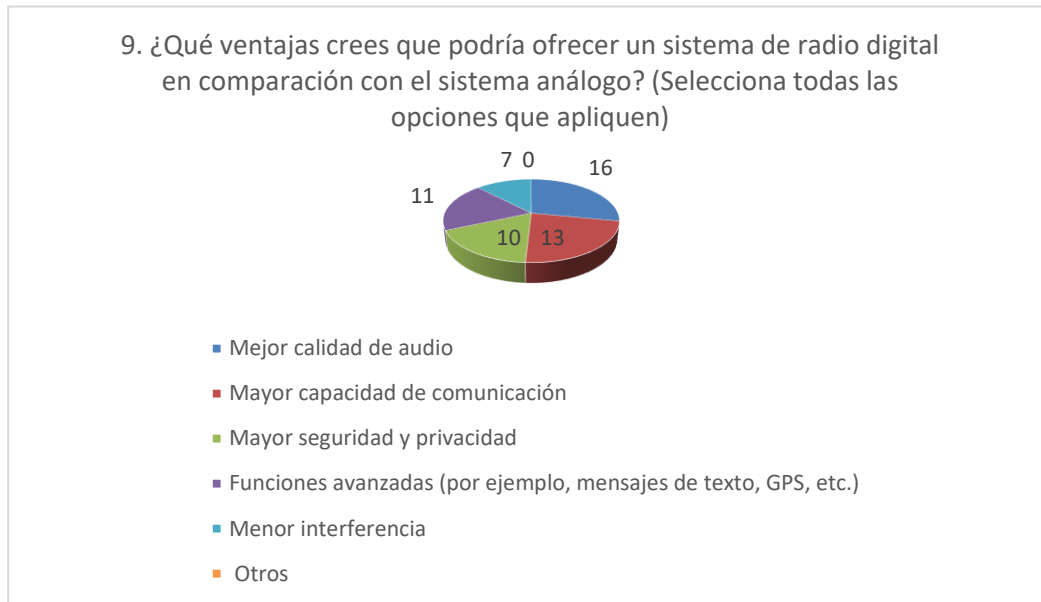
Nota: Elaboración Propia

- i. ¿Qué ventajas crees que podría ofrecer un sistema de radio digital en comparación con el sistema análogo? (Selecciona todas las opciones que apliquen)

Es evidente que los usuarios han notado numerosas ventajas del sistema de radiocomunicación digital implementado en comparación con el sistema análogo previo. Estas ventajas incluyen una notable mejora en la calidad de audio, funciones avanzadas como mensajes de texto, llamadas selectivas y la capacidad de desactivar radios, así como una disminución significativa de la interferencia, entre otras. Estos resultados reflejan un alto nivel de satisfacción por parte de los usuarios con el nuevo sistema, demostrando su apreciación por las mejoras y funcionalidades adicionales que ha proporcionado.

Figura 22

Ventajas esperadas del sistema de radiocomunicaciones digital sobre el analógico



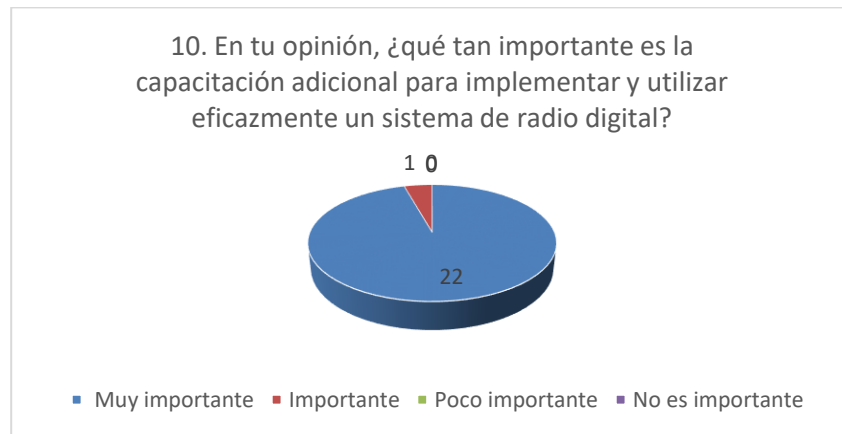
Nota: Elaboración Propia

- j. En tu opinión, ¿qué tan importante es la capacitación adicional para implementar y utilizar eficazmente un sistema de radio digital?

Los usuarios del sistema han destacado la importancia de recibir capacitación sobre el sistema de radiocomunicación digital. Consideran que esta capacitación es fundamental para poder hacer un uso adecuado del sistema y aprovechar al máximo todas las funcionalidades habilitadas. La capacitación les permite sacar el máximo provecho del sistema y asegurarse de que este aporte de manera efectiva a sus actividades diarias. Es evidente que una formación adecuada es clave para optimizar la utilización y el rendimiento del sistema en el día a día de los usuarios.

Figura 23

Importancia de la capacitación sobre el sistema digital



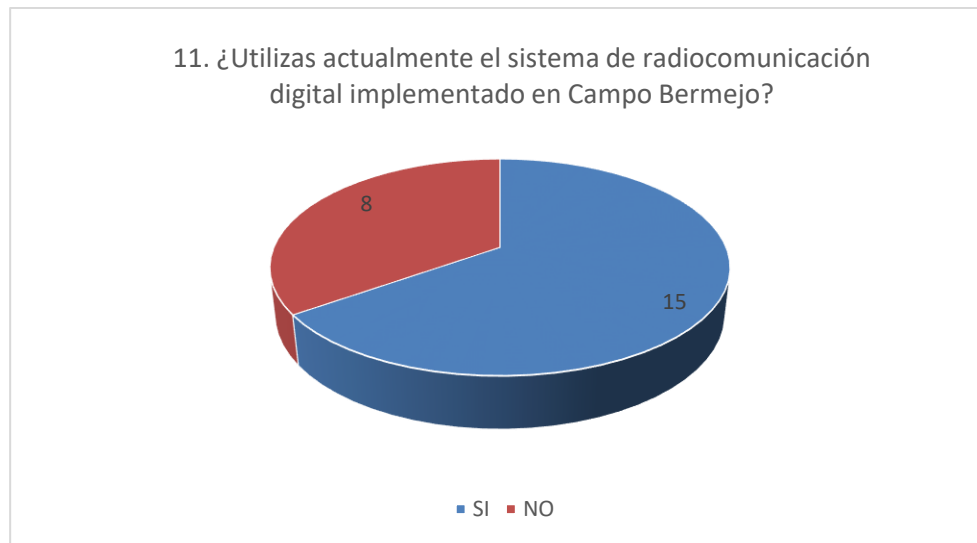
Nota: Elaboración Propia

- k. ¿Utilizas actualmente el sistema de radiocomunicación digital implementado en Campo Bermejo?

Una vez implementado el sistema, la mayoría del personal utiliza activamente el sistema de radio digital como el medio de comunicación principal para llevar a cabo sus actividades diarias, las cuales se extienden a lo largo de las 24 horas del día, los 7 días de la semana. La adopción generalizada del sistema refleja su relevancia y eficacia en el entorno operativo, destacando su papel fundamental en garantizar una comunicación efectiva y confiable en todo momento.

Figura 24

Utilización del sistema de radiocomunicaciones digital



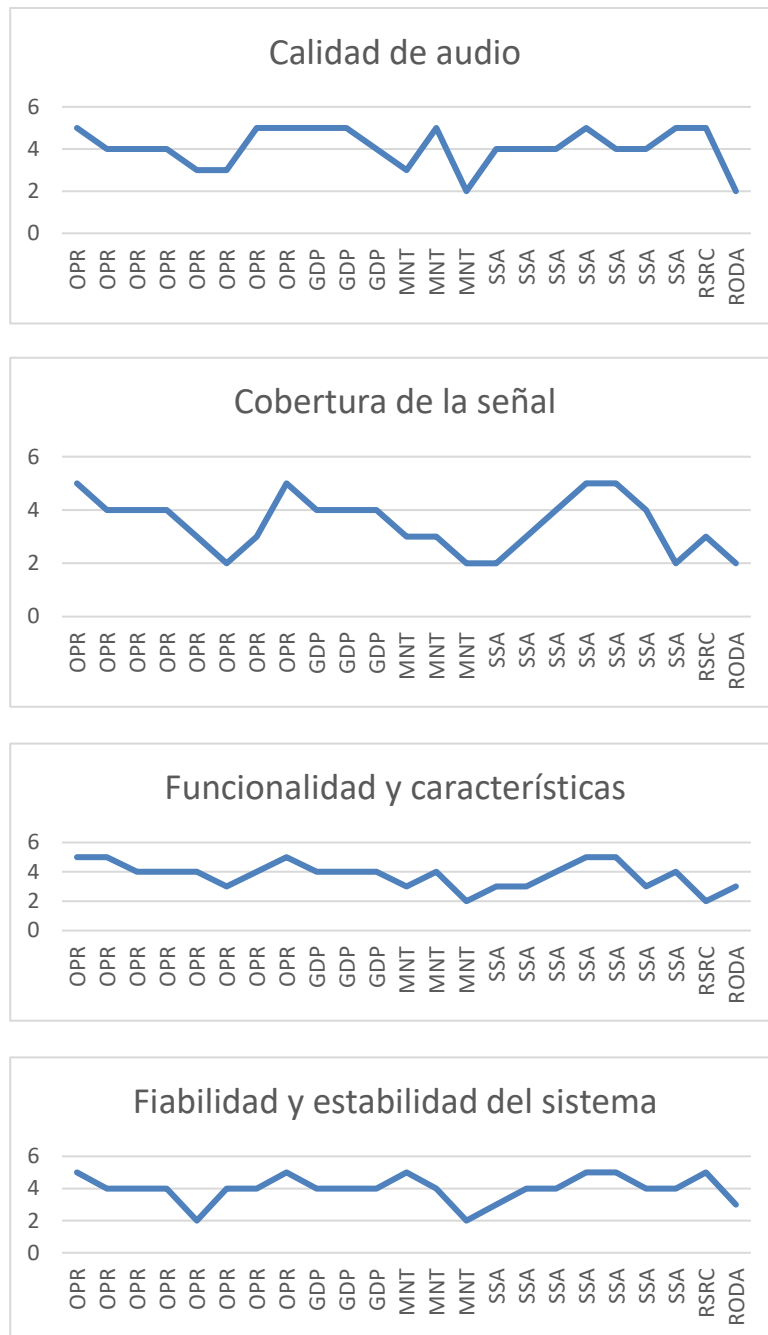
Nota: Elaboración Propia

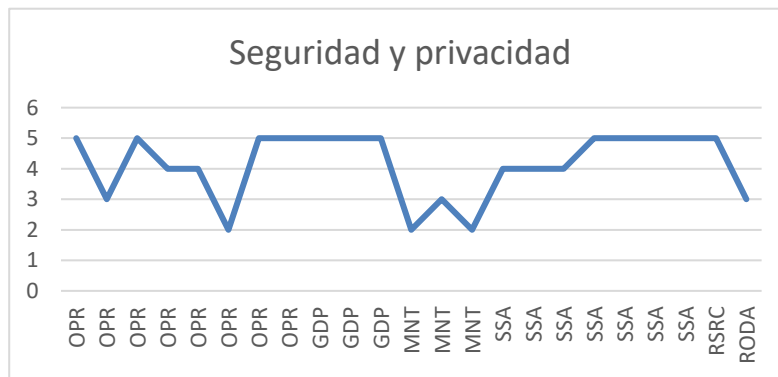
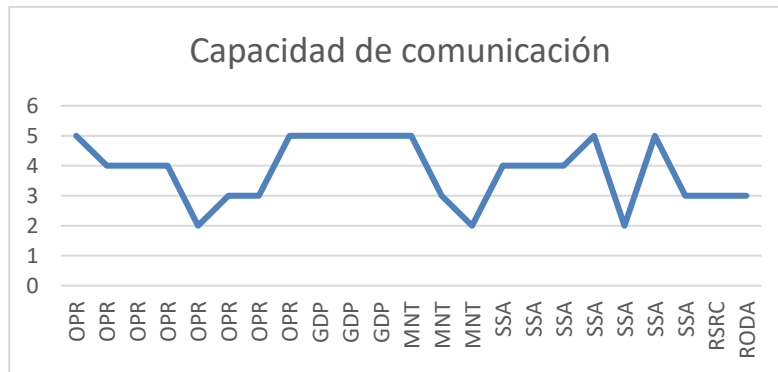
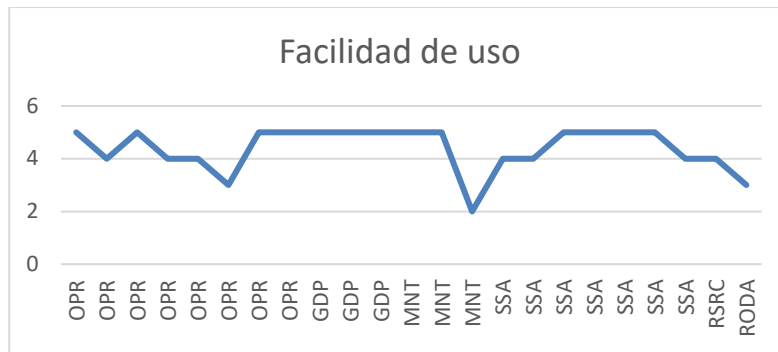
1. En una escala del 1 al 5, califica los siguientes aspectos del sistema de radiocomunicación digital implementado, donde 1 es "Muy insatisfecho/a" y 5 es "Muy satisfecho/a":

En resumen, el sistema de radiocomunicación digital implementado ha recibido en su mayoría una calificación superior a 3 en las consultas realizadas. Esto indica que la satisfacción general con el sistema es positiva. Sin embargo, también se identifica la oportunidad de mejorar aún más al proporcionar más inducciones y capacitaciones para que el personal se familiarice plenamente con todas las funcionalidades del sistema. Estas acciones adicionales pueden elevar las expectativas y asegurar un uso óptimo y efectivo del sistema por parte del personal.

Figura 25

Niveles de calidad de audio, señal y parámetros del sistema de radiocomunicaciones digital





Nota: Elaboración Propia

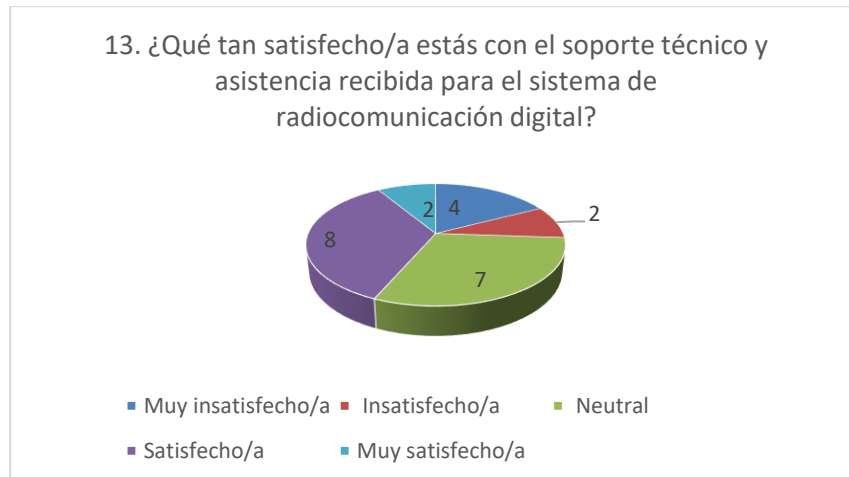
m. ¿Qué tan satisfecho/a estás con el soporte técnico y asistencia recibida para el sistema de radiocomunicación digital?

Tiempos sin comunicaciones fueron experimentados por los usuarios durante el proceso de cambio del sistema de radiocomunicación análogo a digital, mientras se llevaba a cabo la reconfiguración de los equipos, lo cual implicó un tiempo establecido para su implementación. Además, al operar con el sistema de radio análogo, los usuarios enfrentaban diversos problemas de comunicación debido a interferencias, los cuales no podían ser atendidos adecuadamente. Esta situación se agrava por la ubicación geográfica del campo, situado a 67 kilómetros de la

ciudad Lago Agrio, donde el personal de TI debe planificar los días de asistencia para cubrir el soporte en estos sitios remotos.

Figura 26

Satisfacción con el soporte técnico



Nota: Elaboración Propia

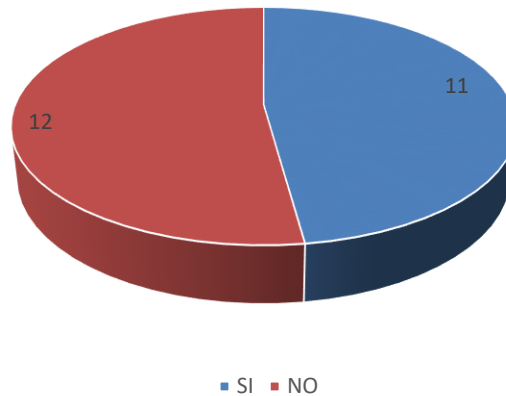
n. ¿Has experimentado algún problema técnico o fallo con el sistema de radiocomunicación digital implementado?

Al tratarse de un sistema de radiocomunicación completamente nuevo, los usuarios experimentaron problemas técnicos relacionados con la carga de batería de sus equipos y la configuración de canales en sus radios. No obstante, consideramos que estos inconvenientes pueden solucionarse a corto plazo con una mayor capacitación y a medida que los usuarios se familiaricen con el nuevo sistema.

Figura 27

Fallas detectadas

14. ¿Has experimentado algún problema técnico o fallo con el sistema de radiocomunicación digital implementado?



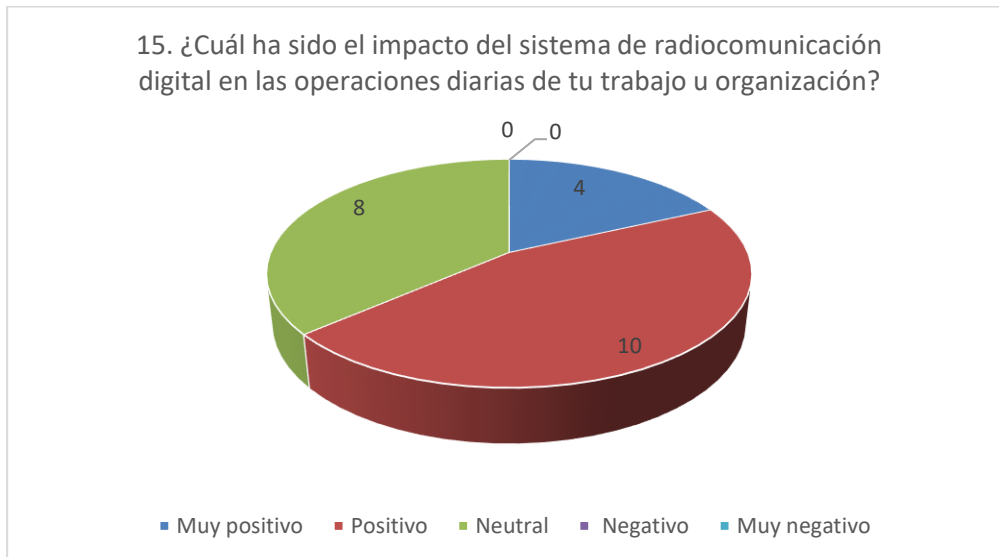
Nota: Elaboración Propia

- o. ¿Cuál ha sido el impacto del sistema de radiocomunicación digital en las operaciones diarias de tu trabajo u organización?

El impacto ha sido sumamente positivo, ya que los usuarios han experimentado nuevas funcionalidades que han mejorado significativamente la calidad de servicio. En particular, se ha logrado una notable mejora en la cobertura del sistema, lo que ha llevado a una mayor calidad de voz en las comunicaciones. Los mensajes de voz ahora son más nítidos y esto ha facilitado una mejor comprensión de las instrucciones y coordinaciones transmitidas a través del sistema de radio digital. Como resultado, las actividades se han vuelto más eficientes y efectivas para los usuarios.

Figura 28

Nivel de impacto del sistema digital sobre las operaciones y organizaciones



Nota: Elaboración Propia

- p. ¿Recomendarías el sistema de radiocomunicación digital implementado a otras personas u Campos de EP Petroecuador?

Los usuarios, ante los evidentes beneficios y la positiva experiencia que han experimentado con el sistema de radiocomunicación digital, están altamente satisfechos y recomendarían su implementación a otras personas y campos. Esta retroalimentación positiva respalda la propuesta a EP Petroecuador para que continúe con la implementación de este tipo de sistema en los campos petroleros que aún cuentan con sistemas de radiocomunicación análogos. La adopción generalizada del nuevo sistema mejoraría significativamente las comunicaciones y la eficiencia operativa en dichos campos.

Figura 29

Disposición de recomendación del sistema digital a potenciales clientes



Nota: Elaboración Propia

Análisis estadístico sobre la encuesta realizada

Para obtener una idea de la aceptación que ha tenido el sistema digital, sobre las insatisfacciones que tenían los clientes del sistema de transmisión analógico existente, se puede analizar que:

La mayoría de los clientes que estaban insatisfechos o medianamente aceptaban el sistema analógico, ven con buenos ojos la idea de la migración hacia el nuevo sistema.

Tabla 5*Tabla cruzada de Satisfacción vs Migración al sistema digital***Tabla cruzada ¿Qué tan satisfecho estaba con el sistema de radiocomunicación análogo anterior? *¿Le gustó el proceso de migrar a un sistema de radiocomunicación digital?**

Recuento

		¿Le gustó el proceso de migrar a un sistema de radiocomunicación digital?		Total
		Si	No estoy seguro	
¿Qué tan satisfecho estaba con el sistema de radiocomunicación análogo anterior?	Satisfecho	2	1	3
	Poco satisfecho	12	3	15
	Insatisfecho	5	0	5
Total		19	4	23

Se pudiera obtener alguna relación entre la cantidad de dinero que se estuviera dispuesto a invertir en el sistema de radiocomunicaciones digital instalado, y el nivel de satisfacción que tiene el personal encuestado sobre el sistema analógico existente.

Realizando un análisis cruzado entre las 2 series de datos, se tiene que:

Las personas Satisfechas y poco satisfechas del funcionamiento del sistema analógico actual, estaría dispuestas a pagar Mucho o Un Poco, en el sistema digital instalado.

Tabla 6*Tabla cruzada de Satisfacción vs Disposición de pago por nuevas funcionalidades***Tabla cruzada ¿Qué tan satisfecho estaba con el sistema de radiocomunicación análogo anterior? *¿Qué tan dispuesto estarías a pagar por un sistema de radiocomunicación digital?**

Recuento

		¿Qué tan dispuesto estarías a pagar por un sistema de radiocomunicación digital?			Total
		Mucho	Un poco	Nada	
¿Qué tan satisfecho estaba con el sistema de radiocomunicación análogo anterior?	Satisfecho	2	1	0	3
	Poco satisfecho	5	8	1	14
	Insatisfecho	1	1	3	5
Total		8	10	4	22

Ante la realización de una prueba de **chi-cuadrado**, para demostrar el grado de independencia entre las 2 variables, se tiene como resultado **0,07** y a pesar de que $0,07 > 0,05$ (5% de significancia) demostrando que estadísticamente las muestras son independientes, si se pudiera pensar en que existe una relación entre las personas que, a pesar de estar satisfechas con el sistema analógico actual, invertirían de igual forma en el sistema digital.

Tabla 7

Prueba de chi- cuadrado sobre Satisfacción vs Disposición de pago por nuevas funcionalidades

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	8,651 ^a	4	,070
Razón de verosimilitud	7,743	4	,101
Asociación lineal por lineal	4,537	1	,033
N de casos válidos	22		

a. 7 casillas (77,8%) han esperado un recuento menor que 5.
El recuento mínimo esperado es ,55.

Tabla 8

Tabla cruzada de Familiarización con conceptos Digitales vs Disposición de pago por nuevas funcionalidades

Tabla cruzada ¿Estás familiarizado/a con los conceptos básicos de la radiocomunicación digital? * ¿Qué tan dispuesto estarías a pagar por un sistema de radiocomunicación digital?

Recuento

		¿Qué tan dispuesto estarías a pagar por un sistema de radiocomunicación digital?			Total
		Mucho	Un poco	Nada	
¿Estás familiarizado/a con los conceptos básicos de la radiocomunicación digital?	SI	8	8	2	18
	NO	0	2	2	4
Total		8	10	4	22

Mediante la realización de una prueba de **chi-cuadrado**, para estudiar el grado de independencia de las dos variables, se tiene como resultado **0,104** y a pesar de que $0,104 > 0,05$ (5% de significancia) demostrando que estadísticamente las muestras son independientes, pero de igual forma se pudiera pensar en que existe una relación entre las personas que están familiarizadas con los conceptos de comunicaciones digitales y que estarían dispuestos a invertir en el sistema digital.

Tabla 9

Prueba de chi- cuadrado Familiarización con conceptos Digitales vs Disposición de pago por nuevas funcionalidades

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	4,522 ^a	2	,104
Razón de verosimilitud	5,309	2	,070
Asociación lineal por lineal	4,234	1	,040
N de casos válidos	22		

a. 4 casillas (66,7%) han esperado un recuento menor que 5.
El recuento mínimo esperado es ,73.

De igual forma, se pudiera realizar un estudio cruzado del “Uso actual del sistema de radiocomunicaciones analógico” con las personas que igualmente utilizan el sistema digital, y de igual forma, la cuantía de cuantos estarían dispuestos a pagar por el sistema digital. De tal forma, se realiza una tabla cruzada con una tercera variable en forma de capa, para lograr identificar dicha relación, como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Tabla cruzada con capa adicional para relación de Utilización Sistema Analógico vs Utilización Sistema Digital vs Disposición de Pago

Tabla cruzada ¿Utilizas actualmente un sistema de radiocomunicación análogo?* ¿Utilizas actualmente el sistema de radiocomunicación digital implementado en Campo Bermejo?* ¿Qué tan dispuesto estarías a pagar por un sistema de radiocomunicación digital?

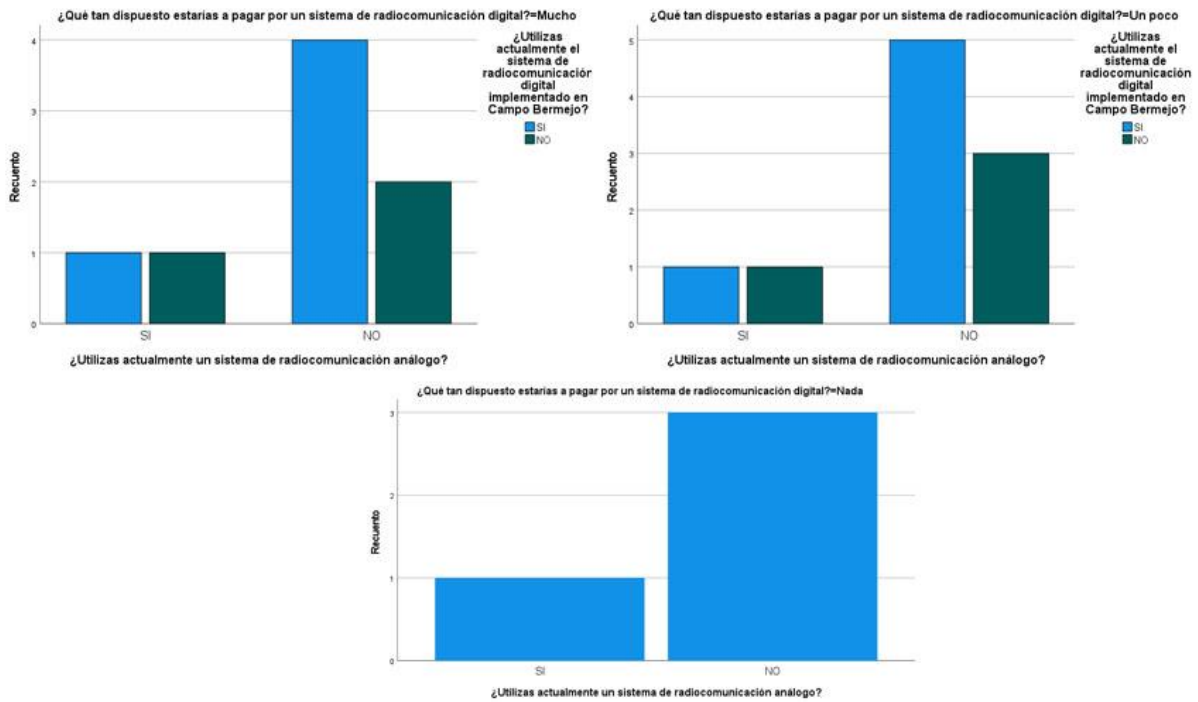
Recuento

¿Qué tan dispuesto estarías a pagar por un sistema de radiocomunicación digital?			¿Utilizas actualmente el sistema de radiocomunicación digital implementado en Campo Bermejo?		Total
			SI	NO	
Mucho	¿Utilizas actualmente un sistema de radiocomunicación análogo?	SI	1	1	2
		NO	4	2	6
	Total		5	3	8
Un poco	¿Utilizas actualmente un sistema de radiocomunicación análogo?	SI	1	1	2
		NO	5	3	8
	Total		6	4	10
Nada	¿Utilizas actualmente un sistema de radiocomunicación análogo?	SI	1		1
		NO	3		3
	Total		4		4
Total	¿Utilizas actualmente un sistema de radiocomunicación análogo?	SI	3	2	5
		NO	12	5	17
	Total		15	7	22

De tal análisis se puede diferir que la cantidad de personas que estarían dispuestas a pagar altos y medianos costos por el sistema digital es muy superior a las que no lo harían. De igual forma, de dichas personas, 11 usan actualmente el sistema analógico, por lo que verían con buenos ojos un cambio para lograr mejorías, y pagar lo requerido por ello. Dicho análisis se puede apreciar de forma gráfica en la Figura 30.

Figura 30

Relación de Utilización Sistema Analógico vs Utilización Sistema Digital vs Disposición de Pago



Nota: Elaboración Propia

Al realizar un análisis de la aceptación del sistema de radiocomunicación digital, y si sería recomendado por el personal encuestado, y a su vez si dicha recomendación estaría relacionada a su conocimiento del tema y área de experiencia, se puede diferir que:

El sistema presenta una gran aceptación en la mayoría de las personas encuestadas, ya que resulta evidente el alto número de personas que recomendaría dicho sistema, sobre las personas que no lo harían.

Tabla 11*Tabla cruzada de Recomendación del sistema digital vs Departamentos*

Tabla cruzada Departamento* ¿Recomendarías el sistema de radiocomunicación digital implementado a otras personas u Campos de EP Petroecuador?

Recuento

		¿Recomendarías el sistema de radiocomunicación digital implementado a otras personas u Campos de EP Petroecuador?		Total
		SI	NO	
Departamento	OPR	8	0	8
	GDP	3	0	3
	MNT	3	0	3
	SSA	6	1	7
	RSRC	1	0	1
	RODA	1	0	1
Total		22	1	23

Por otro lado, existe una gran tendencia a recomendar el sistema de radiocomunicaciones digital, ya sea por personal conocedor de la tecnología y los conceptos, así como por parte de las personas que desconocen el tema.

Tabla 12*Tabla cruzada de Recomendación vs Familiarización*

Tabla cruzada ¿Recomendarías el sistema de radiocomunicación digital implementado a otras personas u Campos de EP Petroecuador? *¿Estás familiarizado/a con los conceptos básicos de la radiocomunicación digital?

Recuento

		¿Estás familiarizado/a con los conceptos básicos de la radiocomunicación digital?		Total
		SI	NO	
¿Recomendarías el sistema de radiocomunicación digital implementado a otras personas u Campos de EP Petroecuador?	SI	17	5	22
	NO	1	0	1
Total		18	5	23

Para encontrar una relación entre las personas que recomendarían la contratación y al área de experiencia en que se desempeñe, se utiliza la prueba de **chi-cuadrado**, para demostrar el grado de independencia entre las 2 variables. Como resultado se obtiene **0,793**, por lo que resulta evidente el cumplimiento de la hipótesis nula, que denota que las series de datos son independientes. Se puede interpretar que el sistema de radiocomunicaciones digital sería recomendado a potenciales clientes, independientemente la experiencia sobre el tema, por lo que resulta muy favorable dicho despliegue.

Tabla 13

Prueba de chi- cuadrado sobre Recomendación del sistema digital vs Familiarización con tecnología de radiocomunicaciones digitales

Pruebas de chi-cuadrado

	Valor	gl	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	2,390 ^a	5	,793
Razón de verosimilitud	2,485	5	,779
Asociación lineal por lineal	,740	1	,390
N de casos válidos	23		

a. 10 casillas (83,3%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es ,04.

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN DE LA PROPUESTA

5.1. Análisis y Beneficios de la Propuesta de Migración al Sistema de Radiocomunicación Digital

La migración del sistema de radiocomunicación análoga a la radiocomunicación digital en Campo Bermejo representa una oportunidad única para mejorar significativamente las comunicaciones operativas en el área. Mediante la implementación del sistema de radiocomunicación digital basado en la tecnología DMR Tier II, se busca alcanzar una serie de beneficios y mejoras que optimizarán la eficiencia y la calidad de la comunicación en todo el Campo Bermejo.

En esta sección, se presentarán los análisis detallados de los beneficios esperados y las ventajas que aporta la propuesta de migración. Estos análisis se basan en la evaluación de las ventajas de cobertura, calidad de audio y funcionalidades del sistema TDMA, así como en el diseño e implementación de la topología del sistema de radiocomunicación digital. Además, se considerará el impacto positivo de las funcionalidades avanzadas, la gestión remota y la seguridad mejorada que ofrece el nuevo sistema.

Asimismo, se destacarán las funcionalidades avanzadas que permitirán una mayor coordinación operativa, como el roaming, el botón de emergencia y las llamadas selectivas. La incorporación de la herramienta RDAC (Diagnóstico y Control de Repetidores) permitirá una supervisión y gestión remota eficiente de los repetidores, lo que asegurará una operación confiable y minimizará el tiempo de inactividad.

En resumen, esta propuesta de migración representa una oportunidad única para modernizar y mejorar las comunicaciones en Campo Bermejo, permitiendo una comunicación fluida, segura y eficiente en todas las áreas operativas. A continuación, se presentarán los componentes del sistema de radiocomunicación digital y la topología de terreno que se utilizará

para lograr estos objetivos.

5.2. Componentes del Sistema de Radiocomunicación Digital

Para llevar a cabo la migración la red de radiocomunicación análoga a radiocomunicación digital es necesario contar una serie componentes que se analizan en lo siguiente. Es importante destacar que, en esta migración, se plantea reutilizar los componentes pasivos existentes como antenas, duplexores, cables coaxiales. Sin embargo, en lo que respecta a los componentes activos, se realizará una actualización del modelo de las repetidoras, pasando del modelo CDR 700 a modelo SLR 8000 de Motorola.

5.2.1. Frecuencia de operación

Con base en el trámite Nro. ARCOTEL-DEDA-2019-012150-E, informó el ente regulador ARCOTEL que concedió a EP PETROECUADOR dos circuitos de frecuencia en el rango de VHF para la operación de su red privada de radiocomunicación en el Bloque 49 – Campo Bermejo.

Tabla 14

Información de concesión de frecuencia

Nro. De Trámite	Nro. De Informe Técnico	Circuitos	Frecuencias (MHz)	Área de Operación
ARCOTEL-DEDA-2019-012150-E	IT-CTDE-2019-0320	C106	TX: 154.81250 RX: 159.81250	Sucumbíos-Cascales-Gonzalo Pizarro-Lago Agrio
		C107	TX: 154.50000 RX: 159.50000	Sucumbíos-Cascales-Gonzalo Pizarro-Lago Agrio

5.2.2. Licencia IP Site

La licencia IP Site Connect de MOTOTORBO de Motorola Solutions, es una función

clave que permite la interconexión y expansión de la cobertura entre múltiples sitios de radio. Esto facilita la comunicación fluida y efectiva entre ubicaciones dispersas, mejorando la coordinación operativa y la productividad de los equipos. La licencia debe ser cargada en cada uno de los equipos que integran esta red de radio.

Figura 31

Licencia IP Site – Motorola HKVN4279



Fuente: (Motobro System Planner 2018)

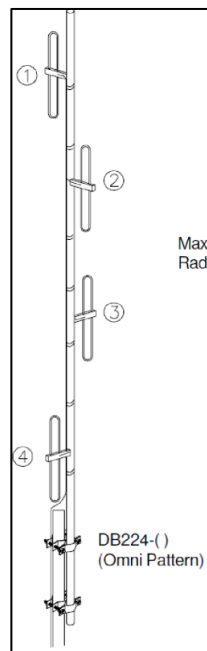
5.2.3. Antena DB224-B

Los sistemas de radiocomunicación de Torre Cerro Cristal y Torre Campamento Bermejo, utilizan antenas DB224-B que se encuentran en el rango de frecuencia 155 – 165 MHz.

Estas antenas están diseñadas con polarización omnidireccional, lo que significa que puede irradiar y recibir señales en todas las direcciones, abarcando los 360°. Esto permite garantizar una cobertura de radio amplia y uniforme en todo el Campo Bermejo.

Figura 32

Antena DB224B – Polarización Omnidireccional



Fuente: (Hoja especificaciones – COMMSCOPE, 2016)

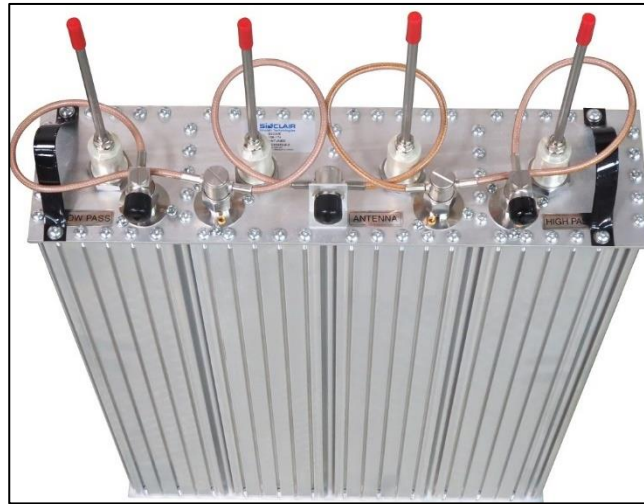
5.2.4. Duplexor Q2220E

Los duplexores Q2220E son filtros diseñados para separar señales de transmisión y recepción, permitiéndoles seguir caminos separados dentro del duplexor. Estos dispositivos proporcionan una respuesta de paso de banda, lo que resulta en una supresión eficiente de espurias y ruido del transmisor de banda lateral y frecuencias adyacentes. Además, garantizan un rendimiento estable incluso en frecuencias muy bajas, con una óptima separación y valores de pérdida de inserción.

Gracias su funcionamiento, los duplexores Q2220E permiten el uso de una única antena tanto para transmitir como para recibir señales, sin generar interferencias que afecten la calidad de la comunicación. Esto proporciona una solución eficiente y conveniente para sistemas de telecomunicaciones, al evitar la necesidad de utilizar antenas separadas para transmisión y recepción.

Figura 33

Duplexor Q2220E 4 cavidades



Fuente: (Hoja especificaciones – SINCALIR, 2023)

5.2.5. Cable Coaxial LDF4-50A

El cable coaxial es uno de los componentes principales en los sistemas de radiocomunicación. En el caso de las repetidoras de Campo Bermejo, se utilizan cables de baja atenuación con el fin de establecer una conexión confiable y de baja pérdida entre la antena y duplexor.

En particular, el cable coaxial Heliax LDF4-50A es un cable de 1/2" que se emplea para transportar señales con mínima pérdida. Esto ayuda a reducir la interferencia electromagnética externa y por consiguiente garantiza una transmisión de señal más limpia y confiable. Además, este cable es capaz de adaptarse a diferentes bandas de frecuencia y su baja atenuación le permite transmitir la señal a distancias más largas sin una degradación significativa. Esta característica es especialmente importante en sistemas de radiocomunicaciones donde la calidad de la señal resulta crucial.

Figura 34

Cable coaxial Heliax LDF4-50A 1/2"



Fuente: (Hoja especificaciones – COMMSCOPE, 2023)

5.2.6. Protector contra sobretensiones por Rayos

Entre el duplexor y la antena, se instalan sistemas de protección o supresores de sobretensiones causadas por rayos. En este caso el protector 60NFNF-CNS está diseñado para proteger las repetidoras de pulsos electromagnéticos y sobretensiones provocadas por rayos o cambios eléctricos intensos. Este supresor de picos de radiofrecuencia opera en un rango de frecuencia de 40 Mhz a 400 Mhz y puede manejar una potencia de hasta 100 vatios.

Figura 35

Supresor contra sobretensiones por rayos 60NFNF-CNS



Fuente: (Hoja especificaciones – PolyPhaser, 2023)

5.2.7. Repetidora SLR 8000

La repetidora SLR 800 corresponde a la serie Mototrbo integrado de voz y datos diseñado para sistemas de radiocomunicación profesional y comercial. Este repetidor ofrece mejoras significativas en confiabilidad, disponibilidad y capacidad de servicio dado que

también es un equipo para trabajo continuo 24/7.

Su funcionamiento en modo digital ofrece varios servicios ya que opera en modo TDMA que divide un canal en dos canales virtuales mediante el uso de intervalos de tiempo, lo que duplica la capacidad de usuarios.

Este repetidor introduce el concepto de unidad reemplazable en campo (FRU) para la reparación en sitio y de esta manera maximizar el tiempo de actividad del sistema.

Figura 36

Repetidor SLR 8000 Mototrbo - Motorola



Tabla 15

Características Repetidor SLR 8000 Mototrbo - Motorola

Característica	Detalle
Sistemas digitales disponibles	Motorola DMR Tier 2 Convencional – IP Site Connect
Módulos FRU reemplazables en campo	Amplificador de potencia, fuente de alimentación, panel frontal
Estándares	TIA603D, ETSI 086, ETSI 113
Vocoder digital	AMBA +2
Puerto ethernet	Sí
Estabilidad de frecuencia	1,5 PPM (temperatura y envejecimiento de 1 año)
Fuente de alimentación conmutada	100 a 240 VCA (47 a 63 Hz)
Interfaz de aplicación de red	Conexión de sitio IP, diagnóstico y control de repetidores (RDAC)

Fuente: (Planificador Sistemas Mototrbo - Motorola 2018)

5.2.8. Radio Portátil DGP 8175

EP PETROECUADOR proporciona a sus usuarios equipos de radio portátil en modelo DPG 8150 con la característica de protección contra explosiones, diseñados específicamente para operar en ambientes explosivos a los que están expuestos. Estos equipos ofrecen una configuración en modo digital, lo que permite la activación de diversas funciones avanzadas como seguridad mejorada, GPS integrado, durabilidad y una batería de larga duración.

Debido a sus destacadas características el radio DGP 8175 es una opción confiable y versátil para sistemas de radiocomunicación profesional que requieren comunicación efectiva y segura en entornos exigentes.

Figura 37

Radio portátil DGP 8150 Mototrbo - Motorola



Fuente: (Hoja de especificaciones Mototrbo - Motorola)

5.2.9. Diagnóstico y Control de Repetidores (RDAC)

RDAC es una herramienta que proporciona Motorola para diagnóstico y control remoto que permite supervisar y gestionar los repetidores Mototrbo desde cualquier ubicación dentro de la red. Entre los servicios que brinda es:

Diagnóstico de repetidor:

- Leer estado habilitado/deshabilitado

- Leer estado análogo/digital
- Leer estado de área amplia o local
- Leer el estado de potencia de transmisión (alta o baja)
- Leer los canales disponibles
- Leer RSSI entrante
- Leer dirección IPv4 y puerto UDP (requerido para la conectividad)

Informes de alarma de repetidor:

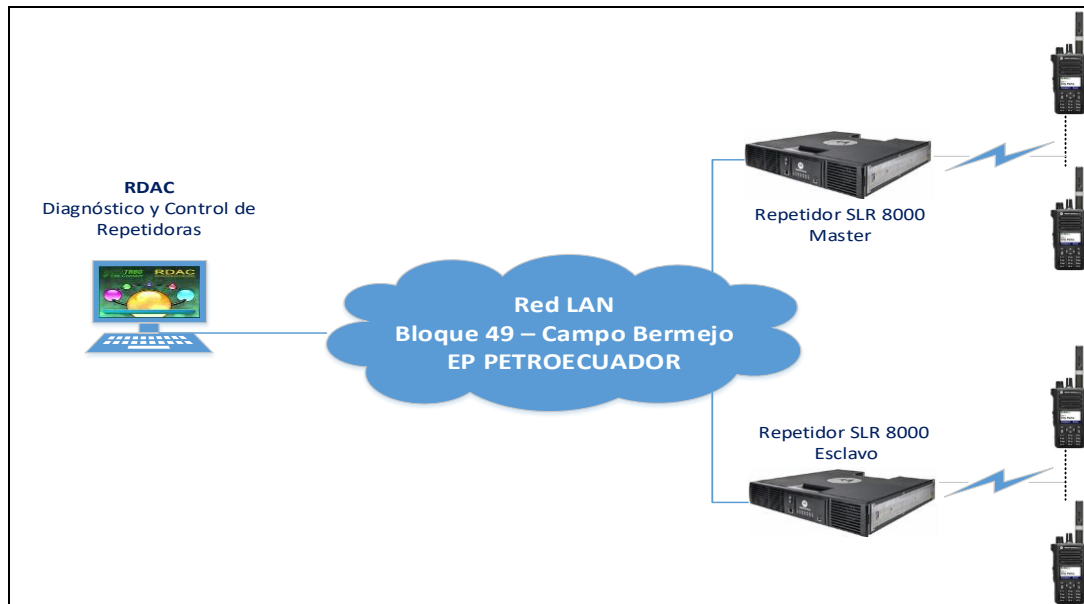
- Detectar e informar fallas en la detección de bloqueo del receptor
- Detectar e informar fallas en la detección de bloqueo del transmisor
- Detectar e informar fallas de alimentación de CA
- Detectar e informar RF PA/sobrecalentamiento del sistema
- Detectar e informar detección de VSWR alta
- Detección e informe de falla de ventilador RF PA

Control del repetidor:

- Cambiar estado habilitado/deshabilitado
- Cambiar canales
- Cambiar nivel de potencia de transmisión (alto o bajo)
- Restablecer repetidor

Figura 38

RDAC en la red LAN – Campo Bermejo



Nota: Elaboración Propia

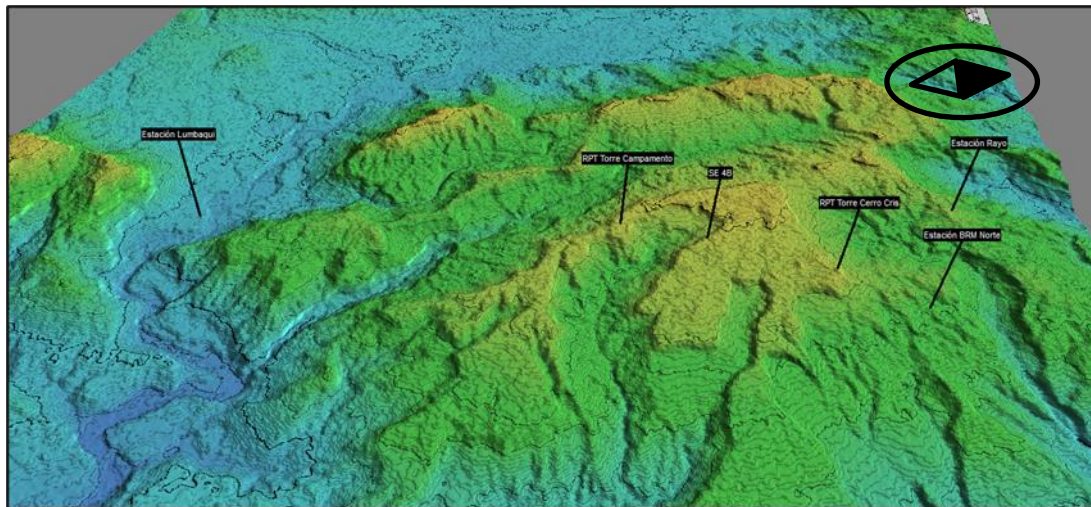
5.3. Topología de Terreno

El Bloque 49 Campo Bermejo se encuentra en una zona montañosa de espesa vegetación de la provincia de Gonzalo Pizarro en el Oriente Ecuatoriano, lo que presenta un desafío para el sistema de radiocomunicación debido a la topología del terreno. Se han identificado varias zonas oscuras que no pueden ser cubiertas por la cobertura del sistema de radio. Por lo tanto, en el diseño de los sistemas de radiocomunicación, se ha considerado la instalación de repetidores tanto en el Campamento Bermejo como en el Cerro Cristal. El objetivo principal de esta estrategia es proporcionar una mayor cobertura a todos los sitios de interés en este bloque, especialmente las carreteras, estaciones y subestaciones de extracción y bombeo de petróleo.

La figura 39, muestra los sitios de interés que son considerados extremos en términos de cobertura de radio.

Figura 39

Topología terreno Bloque 49 – Campo Bermejo



Realizado por: GUAITA Diego (2023)

5.4. Diseño e Implementación Sistema Radiocomunicación Digital

5.4.1. Ip Site Connect

IP Site Connect es una función esencial proporcionada por Motorola Solutions para la migración hacia la radiocomunicación digital a través de sus equipos. Esta función revoluciona la topología de las redes de radiocomunicación digital al permitir la interconexión de múltiples repetidores a través de la red de datos IP (Protocolo de Internet). Esta capacidad facilita la comunicación entre repetidores y extiende considerablemente el alcance de los sistemas de radio digital.

En el contexto del trabajo, tanto los repetidores como las radios base y portátiles cuentan con la licencia para habilitar la funcionalidad IP Site Connect. Esto ha posibilitado la creación de una red de radio expandida que abarca un área geográfica más amplia al conectar repetidores ubicados en diferentes lugares físicos.

La adquisición de esta licencia desbloquea una serie de capacidades altamente beneficiosas, tales como:

- Interconexión de hasta 15 repetidores: Esta característica posibilita una comunicación

fluida y extendida, fomentando la colaboración en un entorno más amplio y diverso.

- Compartir voz y datos entre ubicaciones geográficas dispersas: Esta función promueve la colaboración efectiva entre diferentes sitios al posibilitar el intercambio de información esencial.
- Roaming sin interrupciones: Los usuarios pueden desplazarse sin problemas entre diferentes áreas de cobertura, garantizando una experiencia continua y sin interrupciones en la comunicación.
- Monitoreo y gestión del sistema: A través de la aplicación "Diagnóstico y Control del Repetidor" (RDAC), se puede supervisar y administrar el sistema en tiempo real, permitiendo un control efectivo y reacción rápida a cualquier situación.

La incorporación de IP Site Connect en nuestra infraestructura de comunicación ha mejorado significativamente la conectividad y la eficiencia de nuestras operaciones, al brindar una cobertura expandida, una colaboración efectiva y un monitoreo en tiempo real.

En la Figura 40 se muestra el codeplug de un radio que cuenta con la licencia IP Site liberada, en comparación con otros tipos de licencias disponibles para su compra

Figura 40

Comparación de Licencias IP Site Connect en Radiocomunicadores

Funciones del dispositivo	
Función	Estado
Digital	Libre
- Conexión del sitio IP	Libre
- Capacity Plus - Single Site	Disponibile para compra
- Privacidad mejorada	Libre
- Interrupción de transmisión	Libre
- Enlace telefónico digital	Libre
- Capacity Plus - Multi-Site	Disponibile para compra
- Servicio de datos a través de Bluetooth	Libre
- Emergencia digital	Libre
- Inhibición de radio	Libre
- Bluetooth detectable permanente	Disponibile para compra
Conexión adicional	Disponibile para compra
Hombre caído de Connect Plus	Disponibile para compra
Tono 5	Libre
Monitor remoto	Libre
Tarjeta opcional avanzada	Libre

5.4.2. Configuración de red de área Local para red VHF digital

En el contexto de las configuraciones de red establecida para los sistemas de radiocomunicación digital, es crucial considerar que esta red representa una combinación de una red local y una red de área amplia.

Para el sistema de radiocomunicación digital de Campo Bermejo, se ha establecido una red local privada con alta capacidad de ancho de banda y direccionamiento IP. En esta configuración, tanto el repetidor maestro como el esclavo poseen direcciones IP estáticas.

5.4.3. Topología lógica de la red LAN para sistema de radio VHF digital

En la figura 41, se presenta una topología lógica de la red LAN con direccionamiento de Clase B, la cual se dispone para la comunicación entre el repetidor maestro y esclavo.

Figura 41

Topología lógica de la red LAN con direccionamiento de clase b



Descripción de red	VLAN	Red	Máscara
Monitoreo_Radios	995	172.25.33.129	255.255.255.224

5.4.4. Topología física de Red LAN para sistema de radio VHF digital

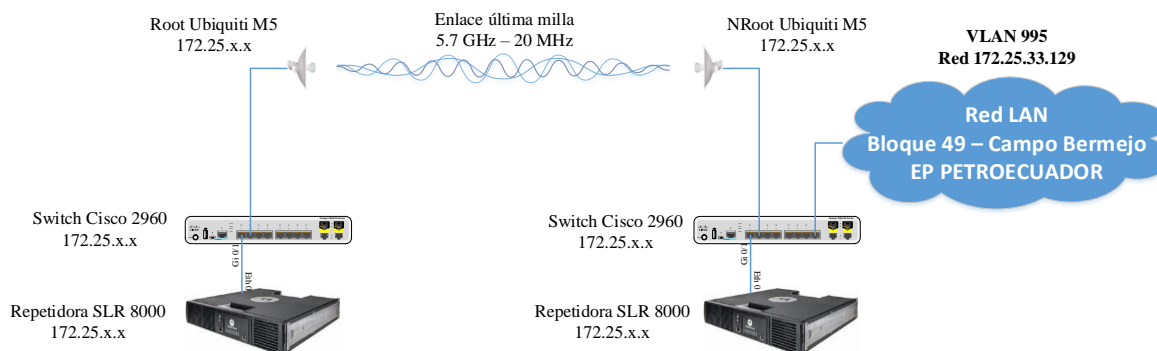
Dado que los repetidores se encuentran a una distancia de 4.5 Km entre sí, es de suma importancia resaltar la presencia de un enlace de última milla operando en una frecuencia de 5.7 GHz, la cual corresponde a un rango libre y no licenciado. Este enlace resulta crucial para lograr la interconexión efectiva de ambos sitios.

La figura ilustra detalladamente la topología física, donde se destaca el enlace de última milla como un componente esencial que establece una conexión sólida entre los equipos repetidores. La elección de la frecuencia de 5.7 GHz se justifica al aprovechar el espectro no licenciado, lo que agiliza el proceso de migración y elimina la necesidad de trámites administrativos complicados.

Esta solución de enlace de última milla garantiza una transmisión óptima de datos y señales, lo que asegura una comunicación estable y continua entre los sitios distantes. La inclusión estratégica de este enlace en la configuración de la red garantiza un rendimiento excepcional y una operatividad confiable del sistema en su conjunto.

Figura 42

Topología física de Red LAN para sistema de radio VHF digital



5.4.5. Funcionalidades del Sistema de Radiocomunicación Digital en Campo Bermejo

Dentro del entorno de los sistemas de radiocomunicación digital MOTOTRBO, se han identificado una serie de características sobresalientes en los equipos utilizados. La implementación de IP Site Connect ha permitido desbloquear y activar un conjunto de funciones clave para el sistema de radio VHF digital, las cuales se describen detalladamente en la tabla siguiente:

Tabla 16

Características Destacadas del Sistema de Radiocomunicación Digital en Campo Bermejo

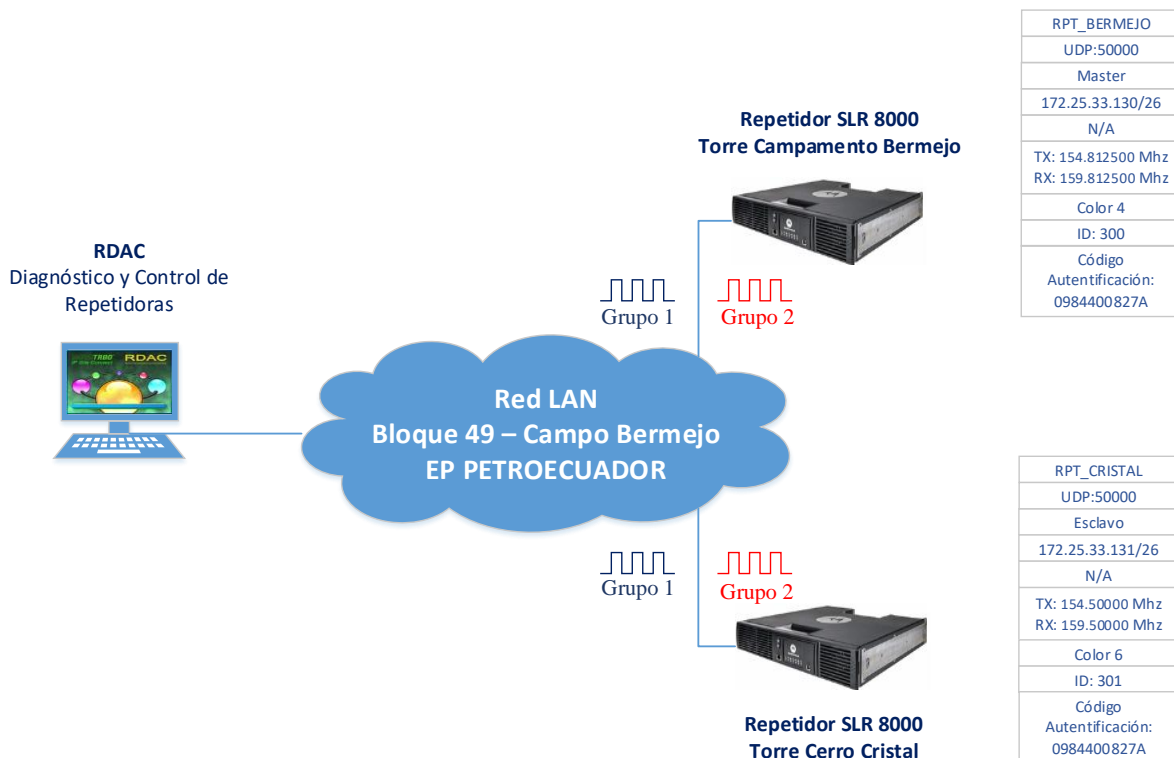
Funcionalidades de voz	Características de señalización	Emergencia	Llamadas /Datos	Otras funcionalidades	
Llamada de grupo	PPT ID y Alias	Alarma de Emergencia	Mensajería de texto	Dos canales virtuales (slot 1 y slot 2)	Diagnóstico y control remoto
Llamada privada	Inhibición de radio	Alarma de emergencia y llamada	Ubicación seguimiento	Area local y extendida	Roaming
Todas las llamadas	Monitor remoto	Alarma de emergencia y voz	Telemetría	-	Cobertura amplia
Tono dual multi frecuencia	Comprobación de radio	-	-	-	-
Interrupción de voz	Llamada de alerta	-	GPS por sitio	-	-

5.4.6. Topología Sistema de Área Amplia con PC de monitoreo para Sistema VHF Digital

Tras la definición de las topologías de IP Site Connect que garantizan la conectividad de los repetidores a través de una red LAN local, se ha establecido una configuración de Sistema de Área Amplia para la operación de la red VHF en Campo Bermejo. Esta disposición incorpora una PC especializada destinada a la supervisión de los repetidores mediante la Aplicación RDAC (Diagnóstico y Control de Repetidoras). La representación de esta configuración se presenta en la figura, que consta de un repetidor Maestro y un repetidor Esclavo, con la activación de dos ranuras que proporcionan 2 canales físicos convencionales en el sistema (Grupo 1 y Grupo 2).

Figura 43

Topología lógica Sistema Área Amplia con PC



Para la topología de la figura 26, se han establecido las siguientes consideraciones y

configuraciones:

- El repetidor maestro se ha configurado en la torre de Campo Bermejo debido a su ubicación en un sitio del campamento con una mayor estabilidad de energía eléctrica y una conectividad óptima para la red de datos mediante fibra óptica hacia el switch principal. El repetidor maestro es el equipo encargado del control de la red de VHF y, mediante el código de autenticación '0984400827A', permite la asociación del equipo repetidor esclavo ubicado en el cerro Cristal. Es importante mencionar que, según las especificaciones de Motorola, este repetidor maestro puede aceptar la asociación de hasta 15 repetidores. Cada uno de los repetidores cuenta con frecuencias de operación licenciadas y proporcionadas por ARCOTEL (consultar tabla 2).
- Los códigos de color están definidos por el estándar de DMR (Digital Mobile Radio) y se utilizan para separar los sistemas de radio digital en sistemas de múltiples repetidores. En nuestro sistema MOTOTRBO, que opera con frecuencias diferentes, se ha decidido asignar el código 4 (Grupo 1) al repetidor maestro y el código 6 (Grupo 2) al repetidor esclavo. Es importante tener en cuenta que estos códigos son de libre asignación y su propósito es identificar de manera única las ranuras o canales en la red de repetidores.
- Con respecto a la red con direccionamiento IP tipo B 172.25.33.129/26 asignado para el monitoreo de los equipos repetidores, se han establecido direcciones IP fijas para las estaciones repetidoras como se muestra en la tabla 7:

Tabla 17

Direcciones IP de Estaciones Repetidoras

Repetidor	Dirección IP	Máscara	Gateway
Torre Campamento Bermejo	172.25.33.130	255.255.255.224	172.25.33.130

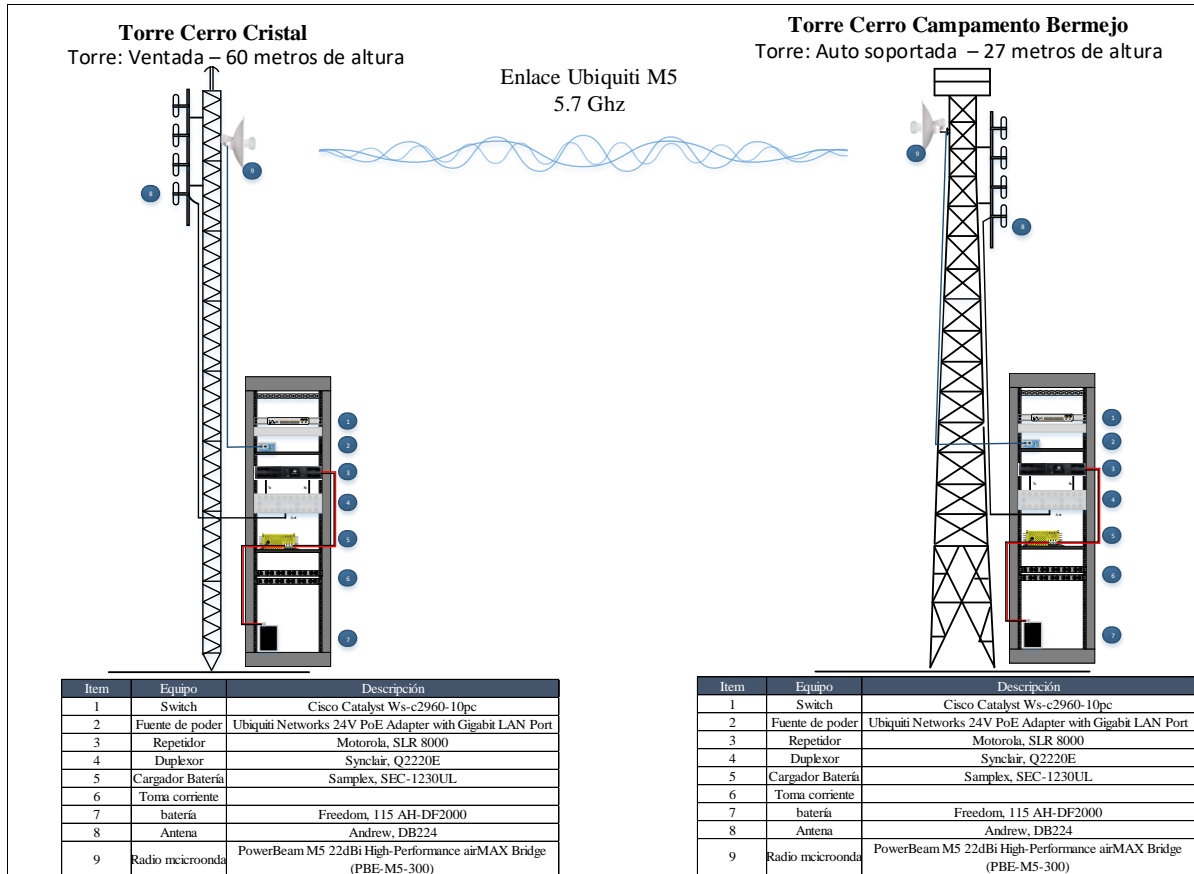
5.4.7. Infraestructura de torre de comunicaciones

Para llevar a cabo la migración del sistema de radiocomunicación de analógico a digital, es imprescindible destacar que se aprovecharon las infraestructuras de torre existentes, así como las antenas y cables coaxiales previamente instalados. Estos elementos representan valiosos activos que se utilizaron de manera eficiente en la implementación del nuevo sistema digital, lo que resultó en una reducción de costos y una mayor agilidad en el proceso de migración.

La Figura 44 muestra un diagrama detallado que indica la ubicación exacta de los equipos y las antenas en la infraestructura de la torre. Este esquema proporciona una representación gráfica clara y precisa de la disposición de los elementos en la torre, lo que facilita la comprensión y el análisis de la distribución de los equipos y las antenas en el sistema.

Figura 44

Infraestructuras de torres de comunicaciones



CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Se realizó un análisis detallado de las ventajas de cobertura, funcionalidades y calidad de audio para sustituir el sistema de comunicaciones analógico existente en Campo Bermejo, por un equivalente digital que mejore considerablemente las prestaciones existentes, afectadas por la baja cobertura y ruido considerable en la señal.

Se diseñó una topología del sistema de radiocomunicaciones digital donde se reutiliza toda la infraestructura actual posible, específicamente los elementos pasivos como duplexor, antenas y guías de onda.

Se realizó el diseño utilizando la implementación de 2 estaciones repetidoras con modulación TDMA, que consta de un repetidor Maestro y un repetidor Esclavo, con la activación de dos ranuras que proporcionan 2 canales físicos convencionales en el sistema, donde se utilizan frecuencias de operación licenciadas y proporcionadas por ARCOTEL.

Se implementó un enlace de última milla en la frecuencia de 5.7 GHz, la cual corresponde a un rango libre, para aprovechar el espectro no licenciado y garantizar una transmisión óptima de datos y señales, asegurando una comunicación estable y continua entre los sitios distantes. La inclusión estratégica de este enlace en la configuración de la red garantiza un rendimiento excepcional y una operatividad confiable del sistema en su conjunto.

Para lograr una mayor cobertura en el área de servicio se ha considerado la instalación

de repetidores tanto en el Campamento Bermejo como en el Cerro Cristal. El objetivo principal de esta estrategia es proporcionar una mayor cobertura a todos los sitios de interés en este bloque, especialmente las carreteras, estaciones y subestaciones de extracción y bombeo de petróleo.

Se diseñó una arquitectura de monitoreo que garantiza la conectividad de los repetidores a través de una red LAN local, mediante una configuración de Sistema de Área Amplia para la operación de la red VHF en Campo Bermejo

6.2. RECOMENDACIONES

Es necesario el correcto dimensionamiento de los equipos de respaldo de energía, reguladores de voltaje y UPS, para asegurar la disponibilidad de las comunicaciones ante situaciones de fallas de la red eléctrica.

Resulta necesario una buena introducción a la tecnología por parte del personal encargado del soporte hacia los usuarios finales, para una explotación de todas las potencialidades es que implica la comunicación digital.

REFERENCIAS

- ARCOTEL, E. (1 de Octubre de 2021). Obtenido de https://www.facebook.com/arcotel/photos/a.1415480172087689/2723124017989958/?type=3&locale=ms_MY
- Astudillo Tixicuro, H. D. (2019). *Implementación de la tecnología VHF digital en Ilumbisi para la radiocomunicación de la empresa Teviasa*. Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20461>
- Ferry, N. (2019). Transmission Performance Analysis of TDMA. *2nd Forum in Research, Science, and Technology* (pág. 8). Horizon Ultima Hotel, Palembang, Indonesia: Journal of Physics: Conference Series. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1167/1/012015>
- Flores Meneses, E. I. (2020). *Diseño y simulación de un sistema TETRA para la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros Quito*. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21043>
- García, J., & Morales, G. (2012). *Instalaciones de radiococmunicaciones* (1ra ed.). Madrid, españa: Paraninfo, SA. Obtenido de https://www.google.com.ec/books/edition/Instalaciones_de_radiocomunicaciones/Vjo3kbiD4fgC?hl=en&gbpv=1&dq=radiocomunicaciones+anal%C3%B3gicas&pg=PA26&printsec=frontcover
- Gil Vázquez, P., Pomares Baeza, J., & Candelas Herias, F. (2010). *Redes y transmisión de datos*. Universidad de Alicante.
- Hernando Rábanos, J., Mendo Tomás, L., & Riera Salís, J. M. (2015). *Comunicaciones Móviles*. Editorial Universitaria Ramón Areces.
- Hernando Rábanos, J., Riera Salís, J. M., & Mendo Tomás, L. (2013). *Trasmisión por radio*. Editorial Universitaria Ramón Areces.
- Isaí, F. M. (2020). *Diseño y simulación de un sistema TETRA para la Empresa Pública Metropolitana de Transporte de Pasajeros Quito*. Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21043>
- Knott, E. F., Shaeffer, J. F., & Tulley, M. T. (2004). *Radar Cross Section*. Scitech Publishing.
- Minango Negrete, P. D. (ene-2017). *Diseño de un sistema de comunicaciones digital para la empresa DATARADIO TELECOMUNICACIONES C.A. entre Ibarra y Tulcán {Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana Ecuador}*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14026>
- Ramírez Luz, R. (2015). *Sistemas de Radiocomunicaciones*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Ramírez Mairales, R. (2020). *DMR - Digital Mobile Radio: Su tratamiento, demodulación, decodificación, análisis y estudio*. Independently Published.
- Tarrío, J. (26 de Octubre de 2014). *Modulación en amplitud y modulación en frecuencia*. Obtenido de <https://jacobotarrio.org/2014/modulacion-en-amplitud-y-modulacion-en-frecuencia.html>

ANEXOS