

**UNIVERSIDAD CENTRAL  
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SITIO DE REPETICIÓN  
PARA SER INCORPORADO AL SISTEMA DE  
RADIOCOMUNICACIONES DIGITALES DE VOZ  
TRONCALIZADO MULTISITIO ACTUAL DE LA COMPAÑÍA  
NACIONAL DE FUERZA Y LUZ, BASADO EN EL ESTANDAR  
DMR, UBICADO EN EL PROYECTO EÓLICO SANTA ANA A  
REALIZARSE EN EL TERCER CUATRIMESTRE DEL AÑO  
2024.**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA EN  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA.**

Postulante:

Randal Montero Espinoza

Tutor:

Omar Saborío Alpizar

Sede Central, Aranjuez

Noviembre, 2024

## **Dedicatoria**

Primero agradecer a Dios por el don de la vida, por la salud y darme la oportunidad de crecer profesionalmente, de guiar mis pasos, de darme aliento en momentos difíciles.

Quiero dedicar este logro a mi núcleo familiar, mi esposa y mis dos hijos, quienes de alguna manera vieron sus tiempos en familia sacrificados, con tal de aportar ese espacio para poder formular este trabajo de investigación y su respectivo plan de estudios, son las personas más cercanas y el motor e inspiración para alcanzar las metas propuestas.

## **Agradecimiento**

Agradezco a todas las personas que de una u otra manera fueron parte de esta investigación, a los funcionarios de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz por el apoyo brindado al ser parte de las fuentes principales de información, desde el punto de vista técnico, comercial y legal, donde fue posible establecer canales de comunicación importantes para obtener información valiosa, y de gran aprendizaje.

También agradezco a la empresa Radifax, encabezada por su Gerente General Jorge Luis Montero y su equipo técnico y de ventas, al representante Motorola para Latinoamérica, Jose Tenorio, quienes brindaron información de alto valor desde el punto de vista tecnológico y técnico.

## Índice general

Dedicatoria.....	II
Agradecimiento .....	III
Carta de aprobación del tutor .....	IV
Carta de filólogo .....	V
Índice de ilustraciones .....	IX
Índice de ecuaciones .....	X
Índice de tablas .....	X
Resumen .....	1
<b>CAPÍTULO I. PROBLEMA DEL PROYECTO.....</b>	<b>2</b>
1.1.    Introducción.....	2
1.2.    Planteamiento del problema .....	3
1.3.    Antecedentes.....	5
1.4.    Justificación .....	7
1.5.    Pregunta de la investigación.....	9
1.6.    Hipótesis.....	9
1.7.    Objetivos de la investigación .....	9
1.7.1.    Objetivo general.....	9
1.7.2.    Objetivos específicos.....	10
1.8.    Alcances y limitaciones .....	10
1.8.1.    Alcances .....	10
1.8.2.    Limitaciones.....	11
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
Contexto histórico .....	13
2.1. Sistemas de radiocomunicaciones .....	15
2.2    El espectro radioeléctrico .....	15
2.3    El mensaje en las comunicaciones.....	16
2.4    Clasificación según el medio físico empleado .....	17
2.4.1    Medios guiados .....	17
2.4.2    Medios no guiados.....	19
2.5    Concepto de radiocomunicación .....	20
2.6    Magnitudes fundamentales .....	22

2.6.1	Amplitud .....	22
2.6.2	Frecuencia y periodo.....	23
2.6.3	Longitud de onda .....	23
2.6.4	Ancho de banda.....	24
2.6.5	Atenuación.....	24
2.6.6	Velocidad máxima de transmisión .....	25
2.6.7	Ruido .....	25
2.6.8	Modulación .....	26
2.6.9	Cobertura.....	27
2.7	Radiofrecuencia .....	28
2.7.1	Bandas de radiofrecuencia.....	28
2.8	Tipos de señales en radiocomunicación .....	30
2.8.1	Señales analógicas.....	30
2.8.2	Señales digitales .....	31
2.9	Técnicas de acceso al medio.....	32
2.9.1	Funcionamiento TDMA.....	33
2.9.2	Funcionamiento FDMA .....	34
2.10	Modos de funcionamiento en sistemas de radiocomunicaciones .....	35
2.10.1	Modo convencional.....	36
2.10.2	Modo troncalizado .....	38
2.11	Elementos activos .....	44
2.11.1	Radios portátiles.....	44
2.11.2	Radios móviles .....	44
2.11.3	Radios bases .....	45
2.11.4	Repetidores.....	45
2.11.5	Fuente de alimentación .....	46
2.11.6	Switch Ethernet .....	47
2.12	Elementos pasivos del sistema .....	47
2.12.1	Antenas.....	47
2.13	Líneas de transmisión.....	54
2.13.1	Cable Heliac .....	56
2.14	Filtros.....	56

2.14.1	Filtro basa bajo .....	57
2.14.2	Filtro paso banda .....	57
2.14.3	Filtro rechazo de banda .....	57
2.14.4	Duplexores .....	58
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....		61
3.1.	Tipo de investigación.....	61
3.2	Método de investigación .....	61
3.2.1	Enfoque de la investigación.....	61
3.3	Fuentes de información .....	62
3.3.1	Fuentes primarias.....	62
3.3.2	Fuentes secundarias .....	63
3.3.3	Unidades de análisis u objeto de estudio (sujetos) .....	63
3.4	Técnicas y herramientas de recolección de datos .....	64
3.4.1	Observación.....	64
3.4.2	Entrevista .....	65
3.5	Variables de la investigación .....	65
3.6	Instrumentos.....	66
3.7.	Proceso para la recolección de datos y análisis de datos .....	67
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....		69
4.1.	Descripción de la situación actual.....	70
4.2	Estándar DMR .....	76
4.3	Percepción del usuario final del sistema de radio .....	77
4.3	Estudio de potenciales sitios de repetición .....	83
4.3.1	Estudio de propagación de señal de los potenciales sitios de repetición.....	83
4.3.2	Matriz comparativa de los sitios de repetición.....	92
4.4	Diseño y distribución de equipos.....	95
4.5	Implementación del sitio de repetición.....	99
4.6	Estadísticas de operación del sitio de repetición.....	101
4.7	Costo beneficio del proyecto .....	104
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones.....		106
Referencias bibliográficas .....		97
Anexos .....		100

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Espectro radioeléctrico.....	16
Ilustración 2. Tipos de medios físicos guiados.....	18
Ilustración 3. Tipos de equipos en medios no guiados .....	20
Ilustración 4. Esquema del trayecto de la señal a través de los medios de comunicación .....	21
Ilustración 5. Representación gráfica de la amplitud de la señal .....	22
Ilustración 6. Representación gráfica de la frecuencia y periodo de la señal .....	23
Ilustración 7. Gráfico de ancho de banda entre frecuencias .....	24
Ilustración 8. Representación de señal analógica .....	31
Ilustración 9. Representación de una señal digital.....	32
Ilustración 10. Gráfica vectorial del TDMA.....	34
Ilustración 11. Gráfico vectorial de FDMA.....	35
Ilustración 12. Dispositivo para comunicación modo simplex .....	36
Ilustración 13. Sistema de radiocomunicaciones modo half dúplex .....	37
Ilustración 14. Sistema de radiocomunicaciones modo dúplex.....	38
Ilustración 15. Sistema de radiocomunicaciones troncalizado mono sitio .....	39
Ilustración 16. Ejemplo de sistema troncalizado mono sitio.....	40
Ilustración 17. Estructura de sistema troncalizado multisitio .....	44
Ilustración 18. Repetidor Motorola Modelo SLR5100 .....	46
Ilustración 19. Ejemplo de diseño de Antena Yagui .....	49
Ilustración 20. Plano de la ganancia de una antena yagui.....	50
Ilustración 21. Patrón de radiación de antena Yagui .....	50
Ilustración 22. Antena Dipolo cortada a mitad de longitud de onda .....	51
Ilustración 23. Patrón de radiación vertical y horizontal de antena dipolo .....	52
Ilustración 24. Antena Omnidireccional .....	52
Ilustración 25. Antena VHF Db 224 modo omnidireccional.....	53
Ilustración 26. Patrón de radiación omnidireccional antena Db 224 .....	54
Ilustración 27. Línea de transmisión balanceada.....	55
Ilustración 28. Línea de transmisión no balanceada .....	55
Ilustración 29 Construcción Física del duplexor .....	58
Ilustración 30 Respuesta en frecuencia de un duplexor .....	60
Ilustración 31 Diagrama de Sitios Linked Capacity Plus .....	71
Ilustración 32. Simulación radiación Volcán Poás .....	85
Ilustración 33. Radio link Volcán Poás .....	86
Ilustración 34. Simulación de radiación Cerro Alajuela .....	87
Ilustración 35. Radio Link Cerro Alajuela .....	88
Ilustración 36. Simulación radiación Proyecto Eólico.....	89
Ilustración 37. Radio Link Proyecto Eólico Santa Ana .....	90
Ilustración 38. Simulación efecto perdida de potencia.....	91
Ilustración 39. Conexión de equipos para sitio S4.....	96

Ilustración 40. Instalación de antenas.....	98
Ilustración 41. Antenas instaladas .....	99
Ilustración 42. Vista frontal de Instalación de equipos en el rack.....	100
Ilustración 43. Vista trasera, conectividad de cables .....	101
Ilustración 44. Porcentaje de utilización del sitio 4.....	103

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación matemática de la frecuencia.....	23
Ecuación 2. Relación matemática de longitud de onda y la frecuencia .....	24
Ecuación 3. Cálculo matemático de la intensidad del campo eléctrico .....	47
Ecuación 4. Cálculo del valor de la intensidad del campo en el espacio .....	48

## Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de modulación más utilizados en radiocomunicaciones .....	27
Tabla 2. Distribución de bandas por longitudes de Onda.....	29
Tabla 3. Distribución de bandas por longitud de onda .....	30
Tabla 4. Unidades de análisis u objetos de estudio .....	64
Tabla 5. Definición de variables .....	66
Tabla 6. Utilización de sitio #1 Sacramento .....	74
Tabla 7. Utilización de los sitios Bebedero y Socola .....	75
Tabla 8. Utilidad del sistema II semestre 2023 .....	81
Tabla 9. Estudio de radiación .....	82
Tabla 10. Matriz comparativa de sitios de repetición .....	92
Tabla 11. Estadísticas de operación .....	102
Tabla 12. Costos de equipos para sitio 4.....	104

## Resumen

Este trabajo de investigación consiste en dar una solución al sistema de radiocomunicaciones de la CNFL, donde se han detectado problemas de cobertura en la zona oeste servida por la CNFL. Para solucionarlo, en la tesis se plantea que una solución definitiva debe integrar un sitio de repetición nuevo al sistema, pasando de tres a cuatro sitios de repetición, donde gracias a la ubicación geográfica del Proyecto eólico Santa Ana, es posible establecer este cuarto sitio.

Dentro de la tesis se hace un estudio de radiación, el cual certifica técnicamente que el Proyecto eólico Santa Ana cumple y permite dar solución a la problemática.

Como parte del diseño de este sitio de repetición se muestran los componentes básicos del sitio de repetición y como deben ser instalados para una correcta utilización.

La investigación tendrá un orden secuencial, donde inicialmente se detallará la condición actual del sistema y cómo está compuesto, luego se expondrán detalles del protocolo DMR, en él se basa esta propuesta tecnológica. Más adelante, se hará una comparativa de potenciales sitios de repetición, donde se llegará a la conclusión con base en simulaciones y patrones de radiación cuál es el más adecuado para solventar el problema que plantea el proyecto; y como una última etapa del proyecto, se dará a conocer el costo beneficio para la empresa después de aplicar el mismo.

## **CAPÍTULO I. PROBLEMA DEL PROYECTO**

## **1.1. Introducción**

El proyecto consiste en la implementación de un nuevo de sitio de repetición, el cual se incorporará al sistema de radiocomunicaciones que posee hoy en día la Compañía Nacional de Fuerza y Luz, por sus siglas en español CNFL, y que de ahora en adelante se reconocerá por las mismas, con el objetivo de ampliar la zona de cobertura del sistema radial, el cual es utilizado por el personal de la CNFL para establecer comunicaciones de voz entre las oficinas centrales, planteles y sucursales de la empresa, con el personal técnico que brinda servicios de reparación, mantenimiento y cortas de corriente en la red de distribución que abarca prácticamente gran parte del Gran Área Metropolitana.

El proyecto se define en varias etapas, las cuales siguen un orden secuencial específico. Una de las etapas será recopilar información necesaria sobre zonas con poco o nula cobertura radial, que sea de insumo para estudios de campo y así determinar el punto ideal para la repetición de la señal.

Se deberán realizar labores de coordinación con dependencias de la empresa, como lo son el Área de Infocomunicaciones, Proceso Administración de la red y la Dirección Comercial, para obtener servicios de red Ethernet, direccionamiento IP, y suministro de servicio eléctrico para el sitio de repetición.

Luego se continuará con la instalación de los equipos de radiocomunicaciones, tanto activos como pasivos, en el sitio de repetición sugerido. Como parte de estas actividades se tendrán que programar y calibrar los equipos a las frecuencias dadas por la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUTEL) a la CNFL.

Por último, se realizarán pruebas de campo con los técnicos del proceso de administración de la red, los cuales tienen a cargo la administración final del sistema de radiocomunicaciones y, por tanto, darán fe del éxito de la implementación.

## **1.2. Planteamiento del problema**

Para brindar una definición del problema existen factores que influyen en el planteamiento de este, es por eso por lo que se tiene de referencia la siguiente definición:

Hernández (2017) dice: “ El paso de la idea al planteamiento del problema en ocasiones puede ser inmediato o muy tardado; depende de cuán familiarizado estés con el tema, la complejidad misma de la idea, la existencia de estudios precedentes, el empeño del investigador y sus habilidades” ( p. 40).

La CNFL es propietaria de un sistema de radiocomunicaciones, el cual está implementado bajo una plataforma troncalizada multisitio de la marca Motorola, su diseño consta de un sitio principal Sacramento (máster), con dos sitios más, Socola y Bebedero, llamados en el sistema “sitios peer” (esclavos), los tres sitios están conectados por medio de la red ethernet de la CNFL, con la cual se sincronizan entre sí todos los repetidores de voz ubicados en cada sitio mencionado.

Cada sitio del sistema, por su ubicación geográfica, tiene una zona de radiación definida, esto por la ubicación de las antenas y sus patrones de radiación, no obstante, al ser el Área Metropolitana una zona un poco extensa, en algunos lugares es posible experimentar pequeños traslapes de señal, lo cual no es problema para los radios portátiles y móviles, ya que estos tienen la capacidad de afiliarse al sitio con mejor nivel de señal.

No obstante, existe un área ubicada específicamente al oeste del área servida (Santa Ana, Ciudad Colón y Puriscal), donde el sistema actual llega con una señal radial muy deficiente y en algunos casos prácticamente nula.

Las zonas mencionadas anteriormente han tenido en los últimos años un alto auge de crecimiento en población y comercio, por ende, las solicitudes de servicio eléctrico han aumentado considerablemente, por lo tanto, la CNFL, al ser un proveedor de servicios públicos, tiene el deber y compromiso de brindar un servicio de calidad.

Para poder brindar un servicio de calidad, la empresa debe realizar mantenimientos preventivos en la red de distribución, mantener en buen estado el alumbrado público y atender en el menor tiempo posible las solicitudes de averías, lo cual posee un indicador meta de seis horas máximo, además de servicios como cortas y conexiones de servicios residenciales y comerciales.

Las labores mencionadas en el párrafo anterior las realizan diferentes equipos de trabajo de la CNFL, ya sea en grúas, camiones, vehículos pickups, motocicletas e incluso a pie, estos colaboradores deben mantener constante comunicación con sus bases, las cuales se les pasan comunicando los diferentes trabajos que deben realizar. Al día de hoy, el medio oficial de comunicación con las diferentes cuadrillas es el radio de comunicaciones, y mediante de este, además de recibir y cerrar órdenes de trabajo, se generan conversaciones para cuando se realizan maniobras en la red, como apertura y cierres de circuitos, desconexión y conexión remota de servicios; es por esto que el equipo de radiocomunicaciones se vuelve una herramienta indispensable en las labores diarias y, por ende, la disponibilidad del sistema debe estar idealmente por encima de un 95%, los siete días de la semana y las veinticuatro horas del día.

Para poder realizar estas labores el sistema debe garantizar comunicaciones fluidas y sin interrupciones, libres de ruido, ya que una maniobra mal realizada en la red de distribución influiría directamente sobre el negocio de la CNFL, y podría poner en peligro la salud de los colaboradores que trabajan en ella.

Es por lo anterior que la CNFL se ve en la necesidad de ampliar su red de radiocomunicaciones, con la finalidad de poder brindar a los colaboradores, comunicaciones de calidad que ayuden a realizar los trabajos de forma segura y donde se le brinde en el menor tiempo posible al cliente externo un servicio eléctrico de calidad.

### **1.3. Antecedentes**

Desde 1941, la función primordial de la CNFL ha sido la generación y distribución eléctrica en la gran Área Metropolitana; sin embargo, ante la creciente demanda del servicio eléctrico, tanto para clientes residenciales como comerciales, la CNFL ha tenido que establecer estrategias para mejorar, fortalecer y ampliar sus servicios, con el fin de ser más competitivos y estar preparados para afrontar los posibles cambios que se avecinan, en caso de que se dé una apertura de los servicios eléctricos.

Para lograr fortalecer sus servicios se ha tenido que invertir en tecnología de punta en varios ámbitos de la empresa, por ejemplo, en las comunicaciones, tanto a lo interno como en la planta externa; de ahí que el área de Infocomunicaciones se le encomienden iniciativas de inversión para fortalecer los procesos internos del negocio. Una de ellas es el sistema de radiocomunicaciones que se utiliza para comunicarse con las cuadrillas que atienden averías y dan mantenimiento a la red eléctrica.

La misión de La Compañía Nacional de Fuerza y Luz dice lo siguiente: “Somos una empresa costarricense del sector energía que trabaja brindando soluciones integrales, para mejorar el desarrollo, bienestar y calidad de vida de nuestros clientes, mediante la prestación confiable de sus servicios, bajo un enfoque sostenible” (Compañía Nacional de Fuerza y Luz) [CNFL] (2018). A raíz de esta misión, la CNFL tiene la necesidad de brindar un servicio eléctrico de calidad a sus clientes; por ende, la coordinación interna entre los colaboradores de la institución debe ser expedita y ágil; para lograr esta comunicación es que se desea implementar un sistema de radiocomunicaciones que cubra por completo las necesidades de los colaboradores y que se vea reflejado en la atención oportuna de las averías eléctricas, dando con esto calidad y continuidad del suministro eléctrico.

Dado lo anterior, la CNFL opta por invertir en un sistema de radiocomunicaciones digital troncalizado acorde con las exigencias, tanto empresariales como de la misma legislación nacional, bajo estándares internacionales, esta iniciativa llega a la empresa en el año 2019, dado que llega a sustituir las repetidoras análogas obsoletas que carecían de repuestos, su mantenimiento se volvía cada vez más oneroso, se carecía de uso eficiente de las frecuencias asignadas por la SUTEL. En Costa Rica las radiocomunicaciones están reguladas por la Superintendencia de Telecomunicaciones (SUTEL), y acorde con la Ley general de Telecomunicaciones n° 8642. A este respecto, se plantea lo siguiente: “La Superintendencia de Telecomunicaciones (SUTEL) continuará realizando la homologación de equipos de banda angosta del servicio general compartido (frecuencias de uso libre que no requieren permiso) hasta el 31 de diciembre de 2020. A partir de dicha fecha, la SUTEL, solamente homologará equipos en sistemas digitales” (Periódico El Financiero, 2016).

En el proceso de instalación del nuevo sistema se optó por establecer una infraestructura basada en tres sitios de repetición (Sacramento, Socola y Bebedero), los cuales en su momento brindaron un cambio sustancial al sistema de radiocomunicaciones, brindando una mejor optimización de las frecuencias, un mejor balanceo de cargas de transmisión y mayor disponibilidad de canales de voz para los usuarios internos.

No obstante, con el pasar de los años, la CNFL experimentó un mayor crecimiento de clientes en la zona oeste del área servida (Santa Ana, Ciudad Colón, Puriscal), con esto se vio en la necesidad de desplazar equipos de trabajo a estos lugares para atender averías, mantenimientos e instalación de servicios nuevos, y es ahí donde se detecta que el sistema actual de radiocomunicaciones no tiene la penetración ideal en estas zonas ocasionando problemas de comunicaciones entre los equipos de trabajo y las oficinas centrales ubicadas en San José principalmente y, por ende, se ve en la necesidad de expandir el sistema de radiocomunicaciones.

#### **1.4. Justificación**

Los sistemas de radiocomunicación se han convertido en una gran necesidad en los entornos empresariales, tanto privados como públicos que requieren de comunicación de una persona a otra, o bien, entre ambas.

Esto produce la necesidad de crear redes de radiocomunicación que amplíen un servicio local a una red de mayor envergadura capaz de comunicar pueblos, ciudades y hasta países, sin generar costos elevados o complicaciones para los usuarios de dicho servicio.

Cabe destacar que las radiocomunicaciones en la CNFL han marcado un rol fundamental para la atención de averías en hechos históricos como emergencias catastróficas, tal es el caso, por ejemplo, del Terremoto de Chinchona en el año 2009, el Huracán Otto 2016, inundaciones, frentes

fríos, etc.; que han afectado la infraestructura eléctrica de la empresa. Si bien es cierto existe la tecnología celular, no es un medio confiable cuando suceden grandes eventos como los mencionados, aun no tiene un 100% de cobertura y los dispositivos entran en obsolescencia rápidamente, carecen de certificaciones militares para uso en el campo, entre otras, lo cual es un problema para una empresa estatal que depende de la asignación de recursos públicos. Así las cosas, “la tecnología celular ha demostrado un crecimiento exponencial a nivel Mundial y es utilizado para la comunicación personal, sin embargo, es la menos confiable cuando se trata de emergencias debido a la saturación del sistema en un alto número de tráfico por celda” (Guevara, 2013, p.2).

En el caso del sector eléctrico, la energía eléctrica es la que mueve a un país, por ende, debe existir un sistema de calidad. La realización de este proyecto pretende ampliar el rango de cobertura del sistema de radiocomunicaciones para disminuir los tiempos de respuesta en la atención de averías, mejorando la eficiencia y la calidad del servicio al cliente que brinda la CNFL. A lo interno de la institución, se disminuirán los tiempos de atención al cliente y las maniobras en la red eléctrica serían más confiables y, de este modo, se reducirían los accidentes laborales por motivos de caídas o electrocución.

Las radiocomunicaciones digitales tienen la capacidad de emitir mensajes de voz de una manera rápida, ágil y robusta, brinda servicios de valor agregado como localización GPS de los dispositivos, envío y recepción de alarmas de emergencia, personalización del equipo, y funciones para personal con discapacidad visual y auditiva.

Aprovechando la bondad de la escalabilidad del sistema es posible aumentar la cobertura agregando hasta quince sitios de repetición según el fabricante, lo cual es un dato importante, ya que la inversión es moderada y no se deberá incurrir en costos en la infraestructura del sistema.

## **1.5. Pregunta de la investigación**

La ubicación geográfica de los lugares afectados, al estar en medio de montañas, es la principal causa de que el sistema actual con los tres sitios implementados no tenga la capacidad de brindar comunicaciones ágiles y fluidas, ya que por distancia entre los sitios no debería haber afectación en primera instancia, esto nos lleva a la pregunta siguiente:

**¿Como podría potenciar las comunicaciones por medio del sistema de radiocomunicaciones en la zona oeste del área servida por la CNFL, para lograr expandir el rango de su actual cobertura?**

## **1.6. Hipótesis**

El crecimiento en la escalabilidad de sitios de repetición en un sistema de radiocomunicaciones troncalizado incrementará significativamente la zona de cobertura en lugares rurales, superando los efectos atenuantes como los obstáculos arquitectónicos, topográficos y la interferencia electromagnética.

## **1.7. Objetivos de la investigación**

### **1.7.1. Objetivo general**

Diseñar un sitio de repetición para radios de comunicación que llegue a sumarse a los sitios actuales que posee el sistema y así permita expandir con agilidad y sin interrupciones las llamadas de voz hasta la zona oeste de la zona servida por la CNFL.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el rendimiento actual del sistema de radiocomunicaciones, mediante datos estadísticos y el alcance de la señal de radiofrecuencia dentro del área servida de la CNFL.
- Presentar los principios básicos del estándar DMR en sistemas de radiocomunicaciones troncalizados.
- Evaluar la adecuación del sitio de repetición, mediante un análisis comparativo que destaque las ventajas y desventajas entre potenciales sitios.
- Cuantificar los costos de capital, operativos e indirectos, asociados para la puesta en marcha del proyecto.

## **1.8. Alcances y limitaciones**

### **1.8.1. Alcances**

Al terminar de revisar los antecedentes y de elaborar el marco teórico, conviene visualizar el alcance del estudio. El alcance es una especie de “pivote” entre lo que encontraste en la revisión de la literatura y la formulación de la hipótesis. Es por esto por lo que Hernández, 2017 nos dice: “Del alcance dependerá tu estrategia de investigación, incluido el diseño, los procedimientos y otros elementos. Los alcances son cuatro: exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo, pero en la práctica, cualquier investigación puede incluir elementos de uno o varios (P.74).

Es por esto por lo que se determinan los siguientes alcances en la investigación para este proyecto, los cuales son exploratorios y descriptivos como los siguientes:

1. Diagnóstico de la situación actual del sistema de radiocomunicaciones.
2. La evaluación de todas las características del sitio de repetición y los requerimientos para la instalación de los equipos.
3. El análisis de propagación, estudio de campo para la factibilidad de funcionamiento del alcance del repetidor y de costo-beneficio de la implementación del sitio a implementar.

### **1.8.2. Limitaciones**

Se debe tomar en cuenta que los equipos de radiocomunicaciones operan en frecuencias otorgadas por la SUTEL a la CNFL y que son de uso discrecional en la banda de frecuencias VHF, por ende, no pueden ser mostradas en esta investigación por ser datos sensibles de la empresa.

Este proyecto está basado en una tecnología muy específica, que posee un mercado escaso a nivel nacional, por lo que el material teórico e información detallada de los equipos son limitados por parte de fábrica y son suministrados únicamente a integradores certificados.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

## Contexto histórico

La Compañía Nacional de Fuerza y Luz es una empresa pública que distribuye y comercializa la energía eléctrica en el Gran Área Metropolitana de Costa Rica, fundada mediante el contrato Ley N°2 denominado “Contrato Eléctrico” del 8 de abril de 1941.

De igual manera, se rige por lo establecido en la ley de Fortalecimiento y Modernización de la Empresas Públicas del Sector de Telecomunicaciones N° 8660 del 13 de agosto de 2008.

El área de cobertura corresponde a 932.49 Km<sup>2</sup>, en donde se registra un 100% de electrificación, para un total de 605.407 servicios facturados a inicios del 2023.

Posee diez plantas de generación, basadas en energías limpias, las cuales inyectan energía al Sistema Eléctrico Nacional.

### Misión:

Según fuente de CNFL, se trata de “Brindar soluciones integrales de energía para el desarrollo sostenible, de forma eficiente, eficaz y sustentable, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas” (2024).

### Visión:

De acuerdo con CNFL, busca “Ser una empresa líder en el sector energía y moderna, con solvencia técnica y financiera, que garantice la excelencia, en la calidad de servicio, la interacción y la gestión del servicio al cliente, manteniendo el sentido social” (2024).

### Valores empresariales:

- Integridad.
- Compromiso.

- Excelencia.
- Lealtad.
- Enfoque al cliente.
- Eficiencia.

Para poder atender las exigencias de los clientes, la CNFL invierte en equipos y tecnología, las cuales se convierten en herramientas fundamentales para poder cumplir con los valores empresariales expuestos, los cuales son diversos, tanto en equipos de cómputo, software, data center y sistemas de comunicaciones, entre otros.

Para la aplicación de un sistema de radiocomunicaciones es importante tener claros algunos conceptos referentes al tema, los cuales se desenvuelven como eslabones; es decir, son dependientes entre sí para dar como resultado la comunicación.

Como parte de estos sistemas, la CNFL adquiere en el año 2019 un sistema de radiocomunicaciones digital troncalizado en la banda de VHF, el cual llegaba a poner a la empresa en la vanguardia a nivel nacional en este tipo de equipos y atendiendo la normativa nacional en el uso eficiente del espectro electromagnético.

En sistemas de comunicaciones existen varios medios de propagación, como aire, fibra óptica, cables coaxiales, entre otros; no obstante, para las radiocomunicaciones el medio principal es el aire o sea se envía información codificada por medio de ondas electromagnéticas a una determinada frecuencia llamada portadora. Hernando, (2013) afirma: “La técnica de la radiocomunicación consisten en la superposición de la información que se desea transmitir en una onda electromagnética soporte, llamada portadora” (p.5).

## **2.1. Sistemas de radiocomunicaciones**

Los sistemas de radiocomunicación son muy importantes hoy en día, ya que por este medio se brinda la comunicación rápida y eficiente de muchos grupos operativos y empresas para realizar sus labores cotidianas. Herrera, (2016) expone: “Con la aparición de la radio y en particular el concepto de radiocomunicación apareció ante la humanidad un abanico de extensas posibilidades. En un principio los equipos con estos fines eran grandes, de bajas prestaciones y mucho ruido” (p.14). Efectivamente, con el pasar del tiempo, la electrónica ha tenido un papel muy importante en el mundo y en este medio de comunicación, ya que estos dispositivos han llegado a ser más pequeños y portátiles, además del desarrollo de la tecnología digital.

## **2.2 El espectro radioeléctrico**

Existe un fenómeno denominado radiación electromagnética, el cual consiste en una combinación oscilante de los campos eléctricos y magnéticos a través del espacio propagándose y transportando la energía de un lugar a otro, dicha radiación puede manifestarse de diversas maneras como luz visible, el calor radiado por una fuente, rayos X o rayos gama, entre otros, los cuales, a diferencia del sonido, cuya propagación es por un medio material, pueden propagarse en el vacío.

Entre estos fenómenos están por ejemplo la luz visible, el calor radiado, las ondas de radio y televisión, todos estos fenómenos consisten en la emisión de radiación electromagnética a diferentes rangos de frecuencia o longitudes de ondas equivalente. Es por eso por lo que a la ordenación de los diversos tipos de radiación electromagnética por frecuencia recibe el nombre de espectro electromagnético (Ramírez, 2015). En la ilustración número dos se observa la escala de frecuencias en las que se encuentra el espectro de radiación electromagnética, así como la estructura de las distintas longitudes de onda dentro del espectro.

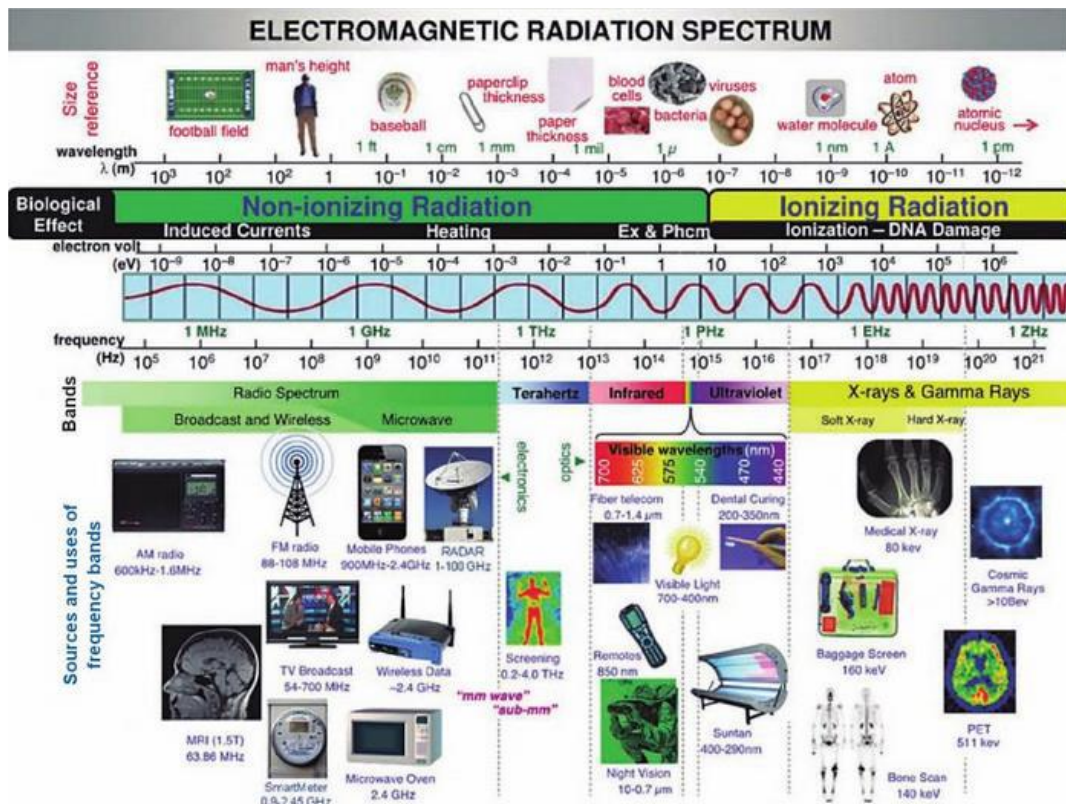


Ilustración 1. Espectro radioeléctrico

Fuente: Instalaciones de radiocomunicaciones, segunda edic (2018), p.10.

## 2.3 El mensaje en las comunicaciones

En términos de comunicación, para que se realice el intercambio de la información, existen cinco elementos diferenciados que la conforman:

- Emisor: es el elemento que origina la información.
- Receptor: es el encargado de recibir la información.
- Canal: constituye el medio físico utilizado para la transmisión ya sea el aire, vacío, cable, fibra óptica, entre otros.

- Código: se reconoce como el conjunto de signos y reglas utilizados en la comunicación, las mismas son arbitrarias y deben ser conocidas tanto por el emisor como por el receptor.
- Mensaje: es la información que se desea transmitir.

## **2.4 Clasificación según el medio físico empleado**

Anteriormente, se describió cada uno de los elementos que conforman el mensaje de la comunicación en general, una de las partes descritas es el canal o medio por el cual se transmiten o reciben los datos o la voz, es por esto que en los sistemas de radiocomunicación se tienen a disposición diferentes medios físicos para conducir las señales y llevar a cabo la comunicación, estos pueden ser principalmente de dos tipos: medios guiados y no guiados.

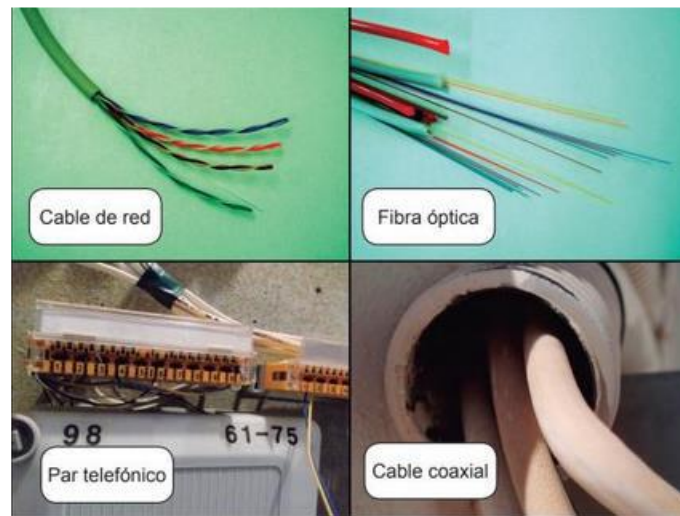
### **2.4.1 Medios guiados**

Se trata de comunicaciones alámbricas o conducidas en las que las señales se propagan por un cable, bien de tipo eléctrico u óptico. Estos se pueden dividir en tres grupos a su vez:

Eléctricos: el medio físico está formado por un cable metálico, normalmente de cobre, por el que circula la electricidad, ejemplos de este tipo de medio se tiene líneas abiertas, par trenzado, cable coaxial, entre otros.

Ópticos: se emplea la fibra óptica como medio conductor, que tiene la propiedad de poder transmitir un haz de luz introducido por uno de sus extremos y que rebota o refleja en sus paredes, quedando confinado en el interior de esta, es decir, la señal que se propaga es luz, no electricidad, esto le confiere total inmunidad en cuanto a los siempre presentes ruidos eléctricos, estas se pueden clasificar en fibras monomodo, multimodo.

Corrientes portadoras: los sistemas de corrientes portadoras o PLC (por sus siglas en inglés Power Line Communications) emplean las propias líneas de distribución eléctricas o telefónicas para transportar la información sin perjuicio de uso original. En la ilustración número tres se observan los medios físicos guiados utilizados para los diferentes equipos empleados en las telecomunicaciones y de mayor uso.



*Ilustración 2. Tipos de medios físicos guiados*

*Fuente: Elementos de sistemas de telecomunicaciones (2015), p.9.*

Además, también existe el cable UTP abreviatura de par trenzado sin blindaje (por sus siglas en inglés). Los cables UTP son rentables y son lo suficientemente flexibles para usarse con la mayoría de las aplicaciones. Hay muchos grados o niveles de cables UTP y la mayoría de ellos son técnicamente avanzados en comparación con sus predecesores. Los más utilizados para las conexiones de redes son el cable categoría 5, categoría 5e y categoría 6, los cuales se detallan a continuación.

- Categoría 5e

El cable categoría 5e o CAT 5e es una versión mejorada sobre el de nivel 5 (el cable Cat 5 ya entró en desuso por la demanda actual de velocidades de los equipos). Sus características son similares al CAT 5 y es compatible con transmisión de hasta 10MHz. Es más adecuado para operaciones con Gigabit Ethernet y es una excelente opción para red 1000BASE T.

- Categoría 6

El cable Categoría 6, o CAT 6 es una propuesta de par trenzado sin blindar que puede soportar hasta 250 MHz de transmisión. Se trata de la sexta generación del cable Ethernet. Este cable con alambres de cobre puede soportar velocidades de 1 Giga bite, GB. CAT 6 es compatible con el CAT 5e, CAT 6 y CAT 3. Es adecuado para redes 1000BASE T, 100BASE T y 10BASE T y posee estrictas reglas acerca del ruido del sistema y la diafonía.

#### **2.4.2 Medios no guiados**

Emplean comunicaciones inalámbricas, es decir, no conducidas por ningún cable, pueden ser de tres tipos en función del tipo de onda que emplean:

Radiofrecuencia: están basados en ondas electromagnéticas para la propagación de las señales, aportan una solución idónea para en los sistemas que precisan de movilidad, siendo soluciones mejor adaptables, flexibles y facilitan el despliegue de cierto tipo de instalaciones.

Infrarrojos: este medio lo podemos encontrar en los mandos a distancias de los controles de televisión, aires acondicionados y demás equipos electrónicos que reciban una señal o comando de un control remoto. Este tipo de medio se basa en emitir un haz de luz infrarroja, la cual no es perceptible por el ojo humano, teniendo la precisión de una visibilidad directa entre el emisor y el receptor para una directa comunicación.

Ultrasonidos: este medio se basa en el empleo de ondas de presión al igual que el sonido, pero a frecuencias no audibles por el oído humano, es muy poco utilizado en los sistemas de comunicación, pero sí en una gran cantidad de sensores, por ejemplo, sensores de proximidad en los vehículos.

En la ilustración número tres se observan los diferentes tipos de dispositivos por medio de los cuales se da la transmisión de los datos o mensajes a través de los medios no guiados en los sistemas de comunicación.



*Ilustración 3. Tipos de equipos en medios no guiados*

*Fuente: Elementos de sistemas de telecomunicaciones (2015), p.9.*

## **2.5 Concepto de radiocomunicación**

El tener un medio guiado como canal en un sistema de telecomunicaciones, no siempre es factible en términos de comunicación. Por eso, una alternativa es utilizar la interfaz del aire como medio o canal de transporte de información para las ondas electromagnéticas, utilizando enlaces de radiofrecuencia o radioenlaces.

La radiocomunicación se define como el tipo de comunicación a través de ondas radioeléctricas, también conocidas como ondas hertzianas. Las ondas radioeléctricas son ondas

electromagnéticas que se propagan a través del espacio. Al contrario de lo que sucede con las ondas mecánicas, como el sonido, pueden propagarse a través del vacío. Esto hace posible la comunicación vía satélite y espaciales (García y Morales, 2018, p.3).

En la ilustración número cuatro se muestra la trayectoria de una señal, pasando por los diferentes medios y equipos que conforman un sistema de comunicación para que se pueda transmitir el mensaje de un lado a otro.

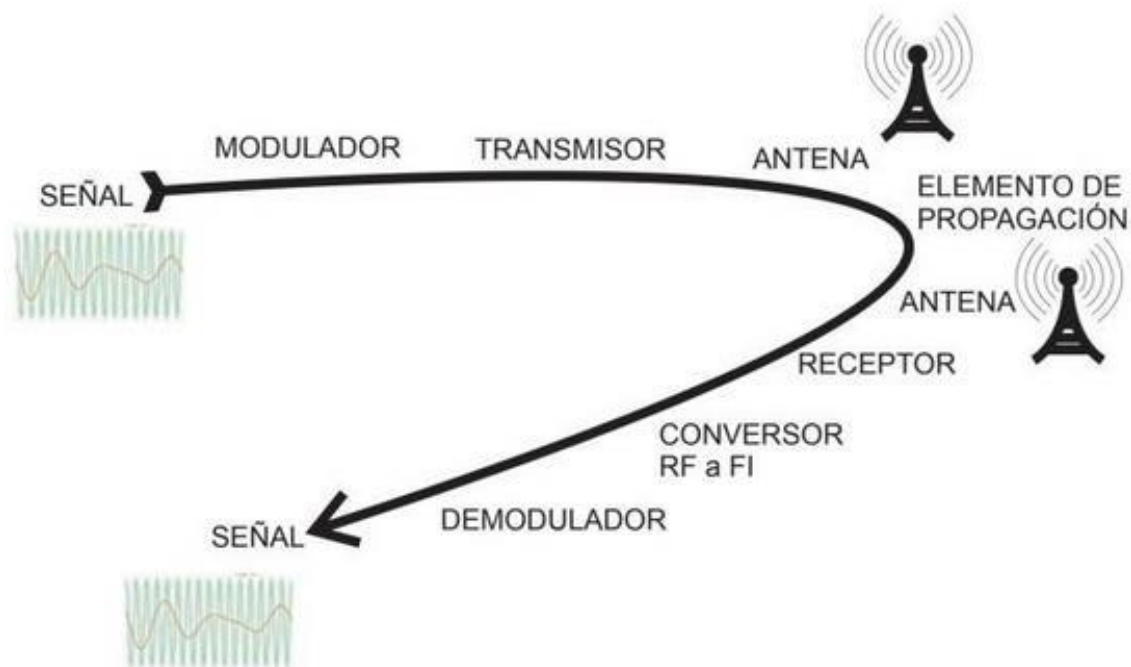


Ilustración 4. Esquema del trayecto de la señal a través de los medios de comunicación

Fuente: *Instalaciones de radiocomunicaciones, segunda edición (2018), p 3.*

Siguiendo con el tema del concepto de radiocomunicación, a modo de síntesis, Ramírez (2015) afirma:

la radiocomunicación es una forma de telecomunicación que se realiza a través de ondas de radio u ondas hertzianas, que a su vez está caracterizada por el movimiento de los campos eléctricos y

magnéticos. La comunicación vía radio se realiza a través del espectro radioeléctrico cuyas propiedades son diversas dependiendo de sus bandas de frecuencia (p.2).

## 2.6 Magnitudes fundamentales

Según la Real Academia Española, por sus siglas RAE, describe el concepto de magnitud como la propiedad física que puede ser medida, por ejemplo, la temperatura, el peso, etcétera.

### 2.6.1 Amplitud

Se conoce como amplitud al valor máximo de una señal, este puede representarse en los niveles positivos y negativos, por eso, la RAE determina el concepto de amplitud como la diferencia entre los valores máximo y mínimo de un fenómeno oscilatorio, o la diferencia entre valores máximo o mínimo que puede tomar una variable o función. En la ilustración número cinco se representa gráficamente la variación de una señal en función del tiempo, utilizando dos ejes, donde el eje horizontal representa los instantes de tiempo y en el eje vertical se muestra el valor que toma la señal en cada instante de esos instantes del tiempo.

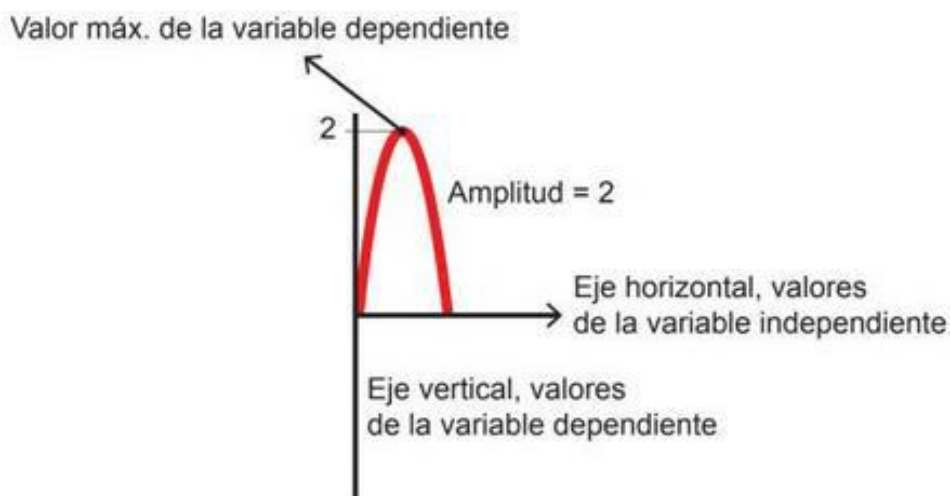


Ilustración 5. Representación gráfica de la amplitud de la señal.

Fuente: Instalaciones de radiocomunicaciones, segunda edic (2018), p.4.

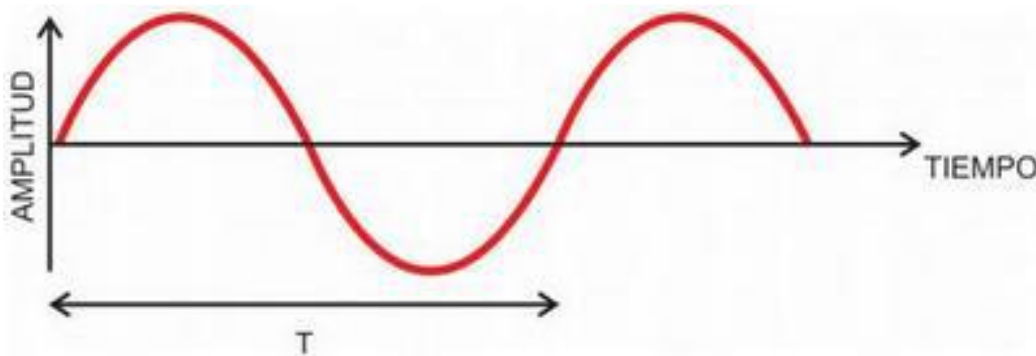
## 2.6.2 Frecuencia y periodo

En términos de onda o señal, la misma es periódica si se repite en el tiempo y se representan ciclos de forma repetida, por lo tanto, el periodo se define como al tiempo que tarda la señal en completar cada uno de estos ciclos, se mide en segundos y se representa con la letra T. Por otra parte, la frecuencia se describe como el número de ciclos o repeticiones por segundo que representa una señal periódica, se mide en hercios (Hz) o Hertz. 1 Hz equivale a 1 ciclo por segundo, esto quiere decir que la frecuencia corresponde al inverso del periodo, se representa por medio de la siguiente ecuación número uno y la ilustración seis en su representación gráfica.

$$\lambda = \frac{1}{T} (\text{Hz})$$

*Ecuación 1. Ecuación matemática de la frecuencia*

*Fuente: instalaciones de radiocomunicaciones, segunda edic (2018), p.5.*



*Ilustración 6. Representación gráfica de la frecuencia y periodo de la señal*

*Fuente: Instalaciones de radiocomunicaciones segunda edic (2018), p.5.*

## 2.6.3 Longitud de onda

La longitud de onda se define como la distancia espacial que recorre una onda a lo largo de un periodo de señal, se mide en metros (m) y se identifica por medio de la letra griega lamda ( $\lambda$ ). Con respecto a la frecuencia la longitud de onda es inversamente proporcional, es decir, que, a

mayor frecuencia, menor será el valor de la longitud de onda. Ambas se relacionan entre sí a través de la velocidad de propagación de la señal en el medio. La ecuación número dos que respalda dicha teoría se muestra a continuación:

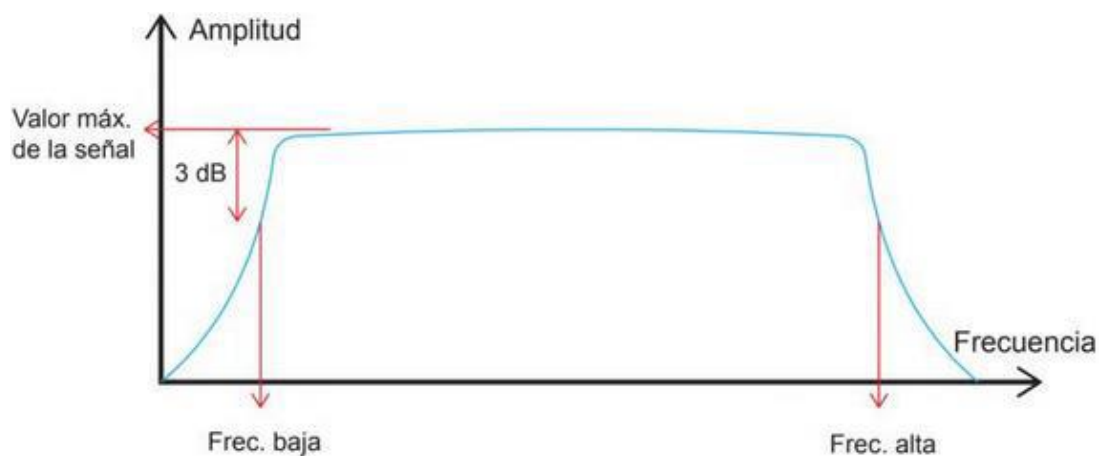
$$f = \frac{v}{\lambda} ; \lambda = \frac{v}{f}$$

*Ecuación 2. Relación Matemática de longitud de onda y la frecuencia*

*Fuente: Instalaciones de radiocomunicaciones segunda edición (2018), p.5.*

#### 2.6.4 Ancho de banda

El ancho de banda se define como el rango de frecuencias para el que se ha diseñado un sistema y para el que opera correctamente. También se le conoce como la diferencia entre dos frecuencias, una superior y otra inferior y se mide en hercios. La frecuencia humana se encuentra entre las bandas de 80 y 1100 Hz. En la siguiente ilustración se determina un ejemplo de grafico del ancho de banda de frecuencias.



*Ilustración 7. Gráfico de ancho de banda entre frecuencias*

*Fuente: Instalaciones de radiocomunicaciones segunda edición (2018), p.6.*

#### 2.6.5 Atenuación

La atenuación se puede describir, en términos de comunicaciones, como una disminución de la señal o pérdida de fuerza de esta a lo largo del recorrido por el medio que la conduce. La atenuación en un canal de comunicación se conoce como la pérdida en potencia o amplitud de la señal transmitida, se propaga a lo largo del medio de transmisión y pueden ser:

homogéneas en todas las frecuencias que se transmiten Gallardo (2019). Las pérdidas o atenuación producida en una señal cuando se propaga a lo largo de un canal suelen expresarse en una unidad logarítmica llamada decibelio (dB) de tal modo que una característica técnica que podemos encontrar, por ejemplo, en los cables, es su atenuación por unidad de distancia.

#### **2.6.6 Velocidad máxima de transmisión**

El concepto de velocidad máxima de transmisión en un sistema se encuentra términos de números binarios (unos y ceros), utilizados en comunicaciones digitales y las señales transmitidas por el medio suelen ser codificadas en forma de transiciones discretas.

A este respecto, Gallardo (2019) afirma:

El número de transiciones por unidad de tiempo de estas señales es lo que se denomina baudios y es una de las magnitudes que se emplean para caracterizar la velocidad máxima de transmisión de señales digitales por un canal de comunicación (p.11).

#### **2.6.7 Ruido**

Existen tres factores que afectan a las comunicaciones en el medio, estas son la atenuación, el retardo y el ruido, este último es el más influyente para limitar la operatividad de un sistema de

comunicación. Al propagar una señal por un medio, al otro extremo se recibirá con alteraciones debido a la distorsión causada por la mezcla de los tres factores mencionados, el origen del ruido proviene de diferentes causas y se puede clasificar en función de cada una de las mismas, como por ejemplo, ruido térmico, diafonía, intermodulación y ruido impulsivo.

El ruido se puede definir como cualquier tipo de interferencia no deseada presente en la banda de paso de la señal de información, que se suma a la señal de información y que puede ocasionar ciertos problemas en la comunicación, como que la señal recibida pierda calidad o incluso deje de ser recibida correctamente (Gallardo, 2019, p.11).

### **2.6.8 Modulación**

En la transmisión por medio de radio se debe emplear una frecuencia muy alta con respecto a la voz del ser humano y la modulación. Consiste en el proceso de elevar la frecuencia de la señal que se desea enviar a una frecuencia superior de manera que se transmita de forma correcta por el medio.

Se debe tomar en cuenta que las transmisiones por radiofrecuencia solo permiten la propagación con portadora analógicas, ya que las demás portadoras sinusoidales carecen de armónicas, lo cual produce menos respuesta de modulación. García & Morales (2018) afirman. “Una definición simplificada y grafica de la modulación consiste en entenderla como la superposición de información sobre una onda electromagnética que servirá de portadora. La unión de la información y la onda portadora se define como onda modulada” (p.11). En la tabla número uno se muestra en resumen los tipos de modulación más utilizados y clasificados según la portadora o modulante analógica o digital.

Tabla 1. Tipos de modulación más utilizados en radiocomunicaciones

Información portadora	Análogica	Análogica	AM	DBL	BLS	DBL	Doble banda lateral
						BLS	Banda lateral superior
						BLU	Banda lateral única
						AM	Amplitud modulada
						BLI	Banda lateral inferior
						BLV	Banda lateral vestigial
						QAM	Modulación en cuadratura
						FM	Frecuencia modulada
						PM	Fase modulada
						Información portadora	Digital
m - QAM	Mod. dig. multinivel en cuadra.						
BPSK	Mod. binaria cambio fase						
PSK	Mod. dig. cambio de fase						
m - PSK	M. cam. fase saltos discretos						
FSK	M. d. cambio de frecuencia						
Información portadora	Análogica	Digital	FSK	PAM	PAM	PAM	Mod. por amplitud de pulso
						PWM	Mod. por ancho de pulso
						PPM	Mod. por posición de pulsos
Información portadora	Digital	Digital	PCM	DPCM	PCM	PCM	Mod. de pulsos codificados
						DPCM	Mod. de pul. cod. diferenciales
						ADPCM	Mod. de p. cod. dife. adaptativa

Fuente: Instalaciones de radiocomunicaciones segunda edición (2018), p.30.

## 2.6.9 Cobertura

En años atrás las comunicaciones han experimentado una serie de cambios que han mejorado la calidad de la voz y la transferencia de las señales, el pasar de sistemas analógicos a digitales y la creación de nuevas tecnologías. A pesar de estos cambios siempre existe la necesidad de alcanzar mayores distancias sin utilizar medios guiados. Por esto, se crea la tecnología de la radiodifusión, para definir mejor el concepto de cobertura. García & Morales (2018) indican:

Se puede definir la cobertura o alcance como la distancia a la que podemos recibir la señal emitida con una calidad suficiente. Este parámetro depende de muchos aspectos, entre ellos de los equipos de emisión (calidad y potencia máxima de radiación), ya que las ondas se atenúan en gran valor con la distancia (p.10).

## **2.7 Radiofrecuencia**

La radiofrecuencia se conoce como el fenómeno generado por la variación de la corriente eléctrica produciendo la variación de un campo magnético, proceso recíproco, lo que permite recuperar la señal inicial en el receptor.

El proceso se basa en hacer pasar una corriente eléctrica por un conductor, de forma que genere campos magnéticos radiales concéntricos al conductor. Estas ondas serán variables en amplitud (valor máximo) si también lo es la corriente que las produce. La señal eléctrica obtenida a la salida del receptor será una reproducción de la señal eléctrica suministrada al transmisor. (García & Morales, 2018, p.9).

### **2.7.1 Bandas de radiofrecuencia**

Existen en el espectro radioeléctrico una cantidad de frecuencias asignadas para este tipo de comunicación, las cuales comprenden desde frecuencias inferiores a 1 KHz hasta los 300 GHz.

Una banda de radiofrecuencia es una pequeña sección de frecuencias del espectro radioeléctrico utilizada en comunicaciones de radio, en la cual los canales de comunicación se utilizan para un mismo propósito. Para evitar interferencias y permitir un uso eficiente del espectro radioeléctrico, se colocan servicios similares en la misma banda. Por ejemplo, radiodifusión, telefonía móvil, o radionavegación se colocan en rangos de frecuencia no solapados (Ramírez, 2015, p.10).

Cada una de estas bandas se encuentran dentro de un plan de frecuencias determinado para que no se generen interferencias entre las mismas y así permitir un uso eficiente del espectro radioeléctrico.

En las siguientes tablas número dos y número tres se muestra la distribución de las principales bandas distribuidas por longitudes de onda, según la designación emitida por la Unión Internacional de las Comunicaciones (UIT).

Tabla 2. Distribución de bandas por longitudes de Onda

Banda ITU	Nombre Nombre inglés	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias Longitud de onda	Ejemplos de uso
	Frecuencia tremendamente baja Tremendously low frequency	TLF	< 3 Hz > 100 000 km	Ruido natural o provocado por el hombre
	Frecuencia extremadamente baja Extremely low frequency	ELF	3-30 Hz 100 000-10 000 km	Comunicación con submarinos
	Súper baja frecuencia Super low frequency	SLF	30-300 Hz 10 000-1000 km	Radar. Enlace de radio
	Ultra baja frecuencia Ultra low frequency	ULF	0,3 a 3 kHz 1000 a 100 km	Enlaces de radio. Ayuda a navegación aérea. Comunicaciones en minas a través de la tierra
4	Muy baja frecuencia Very-low frequency	VLF	3 a 30 kHz 100 a 10 km	Radioayuda, señales de tiempo, comunicación submarina, pulsómetros inalámbricos, geofísica
5	Media frecuencia Low frequency	LF	30 a 300 kHz 10 a 1 km	Radiodifusión en AM (onda larga) (Europa y partes de Asia), RFID, radioafición
6	Media frecuencia Medium frequency	MF	300 a 3000 kHz 1000 a 100 m	Radiodifusión en AM (onda media), radioafición, balizamiento de aludes
7	Alta frecuencia High frequency	HF	3 a 30 MHz 100 a 10 m	RFID, radar, comunicaciones ALE, comunicación cuasi-vertical (NVIS), telefonía móvil y marina
8	Muy alta frecuencia Very-high frequency	VHF	30 a 300 MHz 10 a 1 m	FM, televisión, comunicaciones con aviones a la vista entre tierra-avión y avión-avión, telefonía móvil marítima y terrestre

Fuente: Sistemas de radiocomunicaciones primera edición (2015), p.11.

Tabla 3. Distribución de bandas por longitud de onda

Banda ITU	Nombre Nombre inglés	Símbolos (en inglés)	Gama de frecuencias Longitud de onda	Ejemplos de uso
9	Ultra alta frecuencia Ultra-high frequency	UHF	300 a 3000 MHz 1 m a 10 cm	Comunicaciones por microondas, radioastronomía, redes inalámbricas, <i>bluetooth</i> , GPS
10	Súper alta frecuencia Super-high frequency	SHF	3 a 30 GHz 10 a 1 cm	Comunicaciones por satélite, televisión por satélite, DBS
11	Frecuencia extremadamente alta Extra-high frequency	EHF	30 a 300 GHz 10 a 1 mm	Radioastronomía, transmisión por microondas de alta frecuencia, teledetección
12	Terahercios o frecuencia tremendamente alta Terahertz or tremendously high frequency	THz o THF	> 300 GHz < 1 mm	Radiografía de terahercios, espectroscopia mediante terahercios, comunicaciones/computación mediante terahercios

Fuente: *Sistemas de radiocomunicaciones primera edición (2015), p.12.*

## 2.8 Tipos de señales en radiocomunicación

La información transmitida por un sistema de comunicación puede clasificarse atendiendo a la naturaleza de esta en señales analógicas y señales digitales.

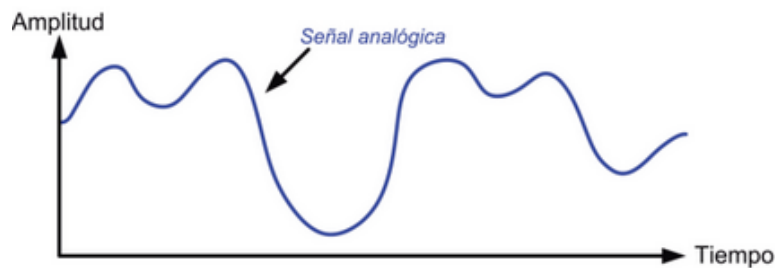
### 2.8.1 Señales analógicas

Para entender el concepto de las señales analógicas y su importancia, no solamente para efectos del proyecto, sino también como cultura general, se explicará con referencias de información, las cuales harán de la lectura una buena comprensión de los fenómenos que suceden, provocados por la naturaleza.

Decimos que una señal es analógica cuando esta presenta una variación continua con el tiempo, pudiendo adquirir un número infinito de posibles valores. Todas las señales procedentes de la naturaleza son de carácter analógico. Así pues, la voz es un ejemplo de señal analógica; la

temperatura ambiental, que varía gradualmente, es una señal analógica; la luz solar, la humedad, etcétera, también son señales analógicas cuyo varia de forma continua a lo largo de un espacio de tiempo (Gallardo, 2019, p.2 y p.3).

Ejemplo de este tipo de señal es la encontrada en la siguiente ilustración acerca de la evolución de la temperatura ambiental, por medio de la representación de una señal analógica.



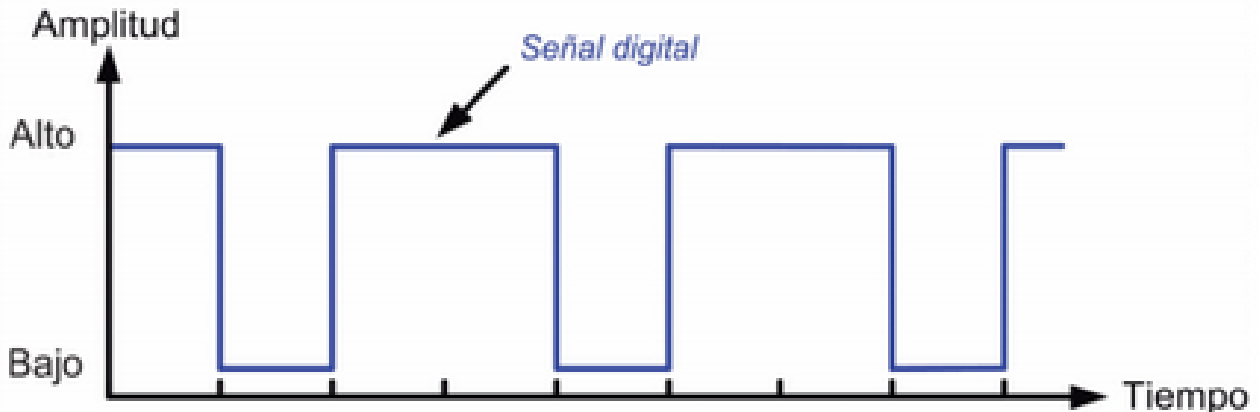
*Ilustración 8. Representación de señal analógica*

*Fuente: Elementos de sistemas de telecomunicaciones segunda edición (2019), p.2.*

Otra forma de expresar el concepto de las señales analógicas es que son ondas continuas que conducen la información, alterando las características de las ondas, estas cuentan con dos parámetros amplitud y frecuencia. Las señales de voz y los sonidos viajan a través del oído humano por medio de ondas, cuanto más altas sean estas, más intenso será el sonido y entre más cercanas estén unas de otras mayores será la frecuencia o tono.

## **2.8.2 Señales digitales**

Este tipo de señales constituye pulsos discretos que indican activado- desactivado, que conducen la información en términos de 1 y 0 de igual modo que la CPU de una computadora. Este tipo de señal tiene varias ventajas sobre las analógicas, ya que tienden a verse menos afectadas por la interferencia o ruido. En la ilustración número 9 se puede observar un tipo de señal digital, representando un tipo de señal cuadrada utilizada, por ejemplo, en los números binarios.



*Ilustración 9. Representación de una señal digital*

*Fuente: Elementos de sistemas de telecomunicaciones segunda edición (2019), p.2.*

Además de la anterior explicación de lo que son señales digitales y para extender el conocimiento de este tipo de señales, se añade otro concepto que profundiza y ayuda a dejar en claro cómo se manifiestan este tipo de digitalización de las ondas.

Las señales digitales presentan una variación que no es continua con el tiempo, es discontinua, y únicamente puede adquirir un número limitado y discreto de valores. Un ejemplo muy conocido de señal digital es la información binaria, que adquiere únicamente dos valores; es el tipo de información más utilizado en los sistemas electrónicos digitales de la actualidad (Gallardo, 2019, p.3).

## **2.9 Técnicas de acceso al medio**

Entre las principales técnicas de acceso al medio se encuentran la técnica de división múltiple de tiempo y la técnica de división de frecuencia de acceso múltiple, las cuales serán descritas a continuación:

### **2.9.1 Funcionamiento TDMA**

El acceso por división múltiple de tiempo (TDMA), ocupa un canal, pero permite que dos usuarios ocupen el mismo canal en lo que les parece ser al mismo tiempo. Una analogía podría ser la velocidad de fotogramas fijos en el cine, donde a alrededor de 30 fotogramas por segundo da la ilusión de un movimiento continuo, pero en realidad es un ejercicio de transferencia de tiempo.

Con un sistema TDMA de 2 intervalos, dos usuarios pueden compartir la misma frecuencia de la siguiente manera: el usuario 1 puede usar la frecuencia durante un período de tiempo fijo muy corto, quizás 50 milisegundos. Luego el canal vuelve al usuario 2 que obtiene 50 milisegundos. Luego vuelve a pasar al usuario uno que obtiene otros 50 milisegundos, y así sucesivamente.

TDMA permite que una repetidora de voz bajo este método configurada correctamente controle dos llamadas de manera simultánea, las llamadas se asignan a uno de los dos intervalos de tiempo de TDMA.

En la ilustración número 10 se puede observar la imagen de un vector tridimensional el cual muestra una comparación entre tiempo, frecuencia y potencia para un mismo valor de ancho de banda de 12,5 KHz.

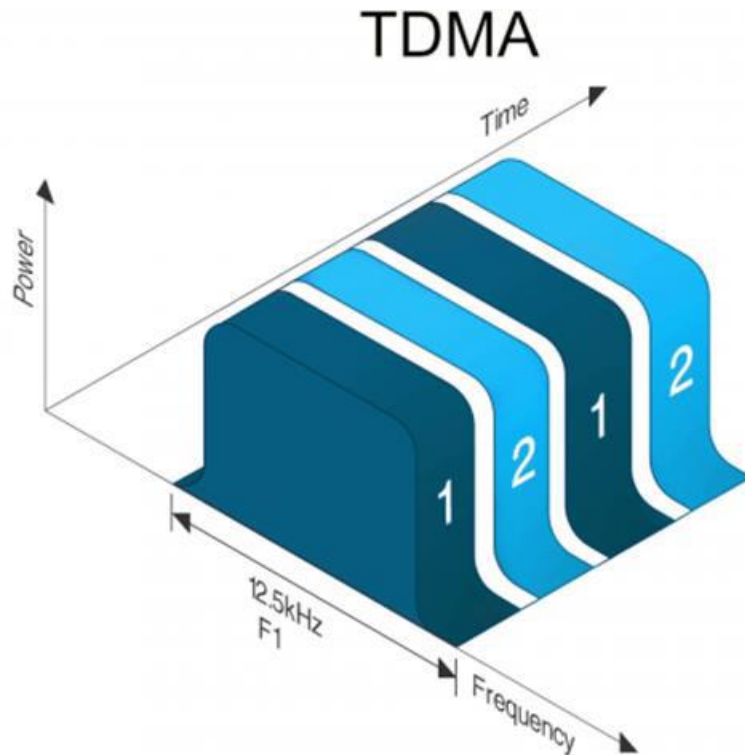


Ilustración 10. Gráfica vectorial del TDMA

Fuente: <https://www.tairadioacademy.com/topic/the-difference-between-fdma-and-tdma-1/>.

Este proceso es tan rápido que cada usuario piensa que tiene un uso exclusivo del canal de frecuencia. Con TDMA de 2 tiempos, para poder tener más de dos conversaciones al mismo tiempo, se necesita otro canal de radio. Si se trata de otro canal TDMA de 2 tiempos, entonces dos frecuencias pueden admitir simultáneamente cuatro conversaciones; o aparentemente simultáneamente, debido a este ejercicio de traslado.

## 2.9.2 Funcionamiento FDMA

División de frecuencia de acceso múltiple (FDMA), este método separa los canales por frecuencia, por lo que, si los usuarios desean tener dos canales, tendrán dos frecuencias separadas. Si una conversación atraviesa un canal, ocupa todo el canal exclusivamente, solamente hay una

conversación y un usuario a la vez por canal de radio, por ende, más canales de radio requieren más frecuencias.

En la ilustración número 11 se muestra el gráfico vectorial de tiempo, frecuencia y potencia en donde se define cada canal con un ancho de banda de 12,5 KHz.

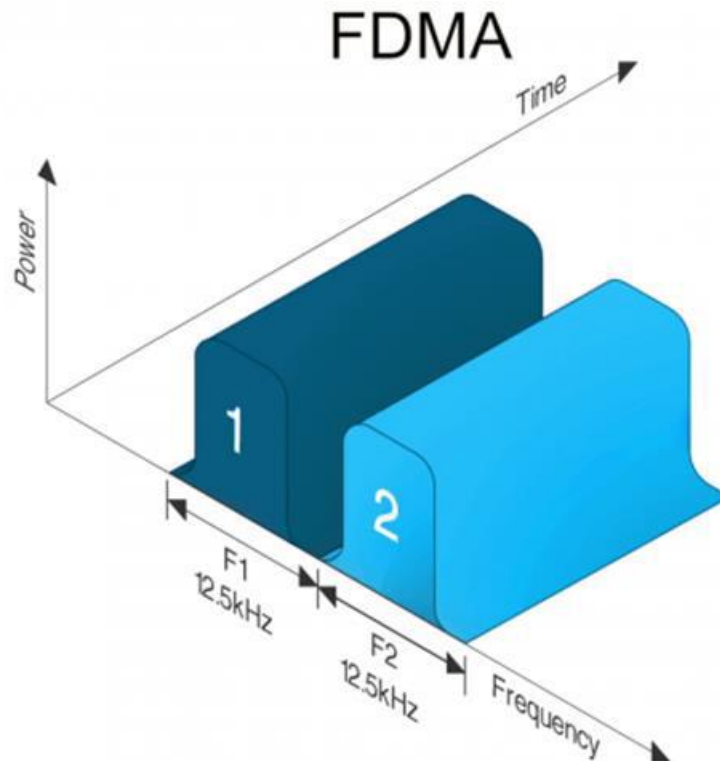


Ilustración 11. Gráfico vectorial de FDMA

Fuente: <https://www.tairradioacademy.com/topic/the-difference-between-fdma-and-tdma-1/>.

## 2.10 Modos de funcionamiento en sistemas de radiocomunicaciones

Los sistemas de radiocomunicación han ido evolucionando de la mano con la tecnología y con base en la necesidad del ser humano en comunicarse con los demás, tanto así que cada vez se exige más confiabilidad, cobertura y eficiencia en las comunicaciones, por ende, los modos de funcionamiento han ido cambiando con el pasar del tiempo.

Se han identificado en general dos tipos de funcionamiento de los sistemas de radiocomunicación; el sistema convencional y el troncalizado, los cuales se detallan a continuación.

### 2.10.1 Modo convencional

El modo convencional ha pasado por varios procesos en su funcionamiento, con el fin de brindar soluciones a la falta de comunicaciones y, por ende, ha utilizado varios métodos como los siguientes:

#### 2.10.1.1 Simplex

Comunicación que ocurre en una sola dirección; una ubicación puede ser un transmisor o un receptor, pero no ambos. Un ejemplo de la transmisión simplex es la radiodifusión comercial. Para las radiocomunicaciones se considera un canal de cobertura limitada. En la ilustración número 12 se muestra este tipo de comunicación por medio de una emisora en un radio musical.



Ilustración 12. Dispositivo para comunicación modo simplex

Fuente: Rivera, M. (2015), p.73.

### 2.10.1.2 Half dúplex

Las transmisiones pueden ocurrir en ambas direcciones, pero no al mismo tiempo, este el caso de las radiocomunicaciones utilizadas en sistemas como los taxis, donde todos escuchan al despachador, pero no entre los vehículos, igualmente al método simplex es de cobertura limitada. Ejemplo de este tipo de transmisión es la que se visualiza en la ilustración número 13.

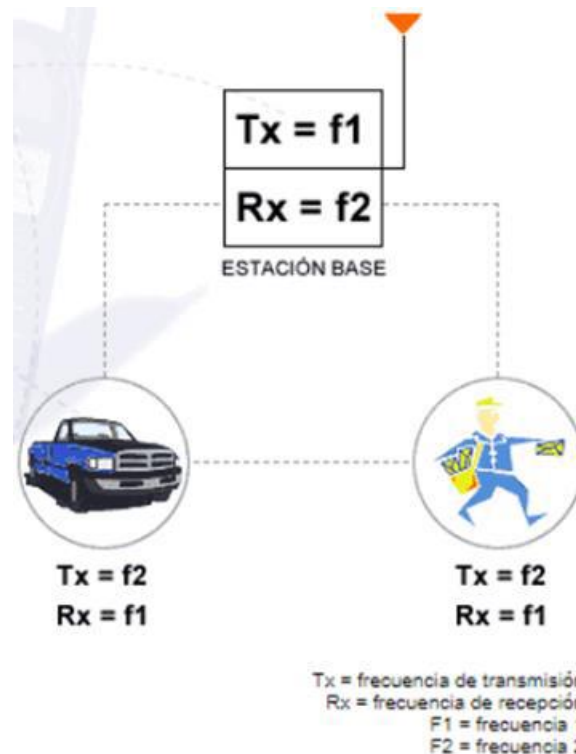


Ilustración 13. Sistema de radiocomunicaciones modo half dúplex

Fuente: [http://www.Repicomca.com/inforadios/cont\\_inforadios\\_06.htm](http://www.Repicomca.com/inforadios/cont_inforadios_06.htm).

### 2.10.1.3 Dúplex

Método que utiliza como eje central el repetidor, el cual está ubicado en puntos altos de la geografía, con el fin de ampliar la cobertura de los usuarios. Actualmente, es el modelo más utilizado en sistemas de radiocomunicación a nivel mundial.

En la ilustración número 14 se muestra la topología de este método; donde se observa cómo tanto radios portátiles, móviles y bases convergen en la repetidora que usualmente aparte de estar en lugares geográficos altos, también sus antenas están instaladas en torres de comunicación superiores a 30 metros.



Ilustración 14. Sistema de radiocomunicaciones modo dúplex

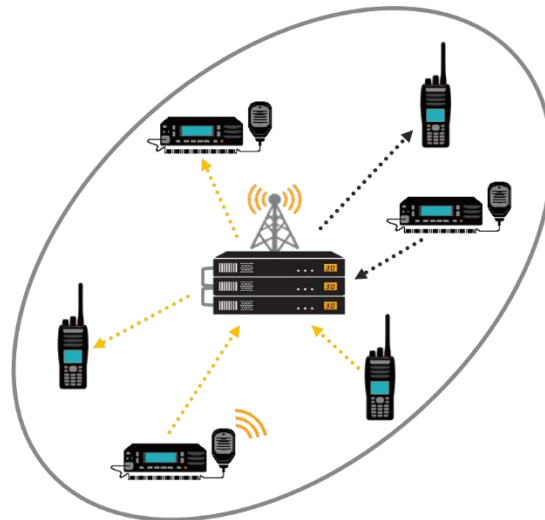
Fuente: [http://www.Repicomca.com/inforadios/cont\\_inforadios\\_06.htm](http://www.Repicomca.com/inforadios/cont_inforadios_06.htm).

Adicionalmente, se puede observar que a diferencia de la ilustración número 13, en este método el repetidor les da un giro a las frecuencias, esto con el fin de que los usuarios se puedan comunicar entre sí, ya que, como se observa en el ejemplo, ambos tienen las mismas frecuencias en las posiciones Tx y RX; por lo tanto, se puede determinar la importancia del repetidor, ya que si este se daña o se apaga los equipos quedarían incomunicados entre sí.

### 2.10.2 Modo troncalizado

Es un sistema en el cual los usuarios comparten todos los canales disponibles (frecuencias asignadas), evitando así que dependan de un canal determinado y no puedan transmitir su mensaje si este se encuentra ocupado, como sucedía en ocasiones en el sistema convencional.

En el sistema troncalizado se crean grupos de usuarios independientes, de los canales o frecuencias con que se cuenta. De tal manera, cuando un usuario desea realizar un llamado, bien sea de voz o datos, el sistema automáticamente le asigna un canal libre. Si en ese momento no se encuentra ningún canal libre, queda en una cola de espera por un determinado tiempo. Hinojosa (2007) se refiere al sistema como un sistema troncal, los usuarios comparten un conjunto de canales para sus demandas de comunicación.



*Ilustración 15. Sistema de radiocomunicaciones troncalizado mono sitio*

*Fuente: <http://www.syscomblog.com/2017/01/sistema-troncalizado-de-kenwood-nexedge.html>.*

En la Ilustración 15 se observa un sitio de repetición con tres canales (uno por repetidor), y se puede deducir que cualquiera de los equipos que conectan con este sitio tienen la posibilidad de usar cualquiera de estos tres canales, dependiendo de cuál esté libre en ese momento; caso contrario a un sistema convencional donde se depende de un único canal y por ende, el sistema

tiende a saturarse con facilidad cuando existe gran cantidad de tráfico a través del mismo, lo cual obstaculiza la agilidad de las comunicaciones.

### 2.10.2.1 Troncalizado mono sitio

Un sistema de radio troncalizado mono sitio está constituido principalmente por los siguientes componentes: subscriptores, controlador de sitio, repetidores, canal de control, canales de voz, combinador, multi acoplador; todos estos elementos mostrados en la ilustración 15.

Este tipo de sistema se compone de un solo sitio de repetición, no admitiéndose la interoperabilidad con otros sitios de repetición.

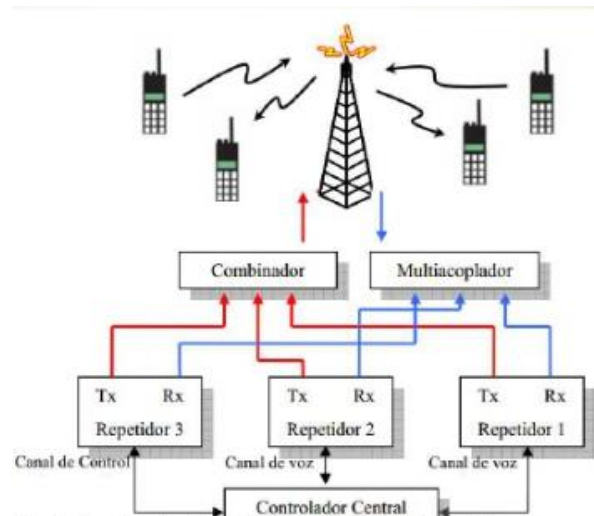


Ilustración 16. Ejemplo de sistema troncalizado mono sitio

Fuente: [http://www.academia.edu/15233454/Sistemas\\_de\\_Comunicaciones\\_Troncalizados\\_P25](http://www.academia.edu/15233454/Sistemas_de_Comunicaciones_Troncalizados_P25).

Dentro de los componentes del sistema troncalizado mono sitio, se tienen los siguientes:

- Subscriptores

Los suscriptores son los radios móviles, radios bases, los portátiles y las unidades de escritorio. Proveen a los usuarios la capacidad de comunicarse dentro del sistema. A cada una de estas unidades se les asigna un número de identificación único (ID) y además están fabricados con subsistemas lógicos necesarios para realizar las siguientes funciones dentro del sistema:

Por un lado, permite generar y transmitir los requerimientos de servicios bajo la forma de palabras de datos que son luego usados para modular la frecuencia portadora. En segunda instancia, interpretar los mensajes de datos enviados por la unidad de control central. Además, generar la frecuencia del canal de voz asignado y generar tonos para aconsejar a los usuarios el estado de las peticiones de llamadas. Por último, cada suscriptor tiene asignado un único ID de seis dígitos que sirve para que la unidad de control central identifique las radios autorizadas dentro del sistema.

- Controlador de sitio

El controlador de sitio procesa el tráfico de datos que entra y sale del sistema, asigna las repetidoras para el acceso a los canales de voz, y generalmente supervisa y mantiene el orden del sistema. El controlador de sitio mantiene una base de datos que contiene los ID de cada una de las unidades de radio del sistema, además de los grupos de conversación o talkgroups activos dentro del sistema.

El controlador de sitio en un sistema mono sitio realiza las siguientes funciones al momento de procesar una llamada de radio: servicios de peticiones de llamadas, recupera y decodifica las peticiones de señales entrantes mantiene una base de datos de las radios activas y sus permisos dentro del sistema. Además, recibe las afiliaciones de los grupos de conversación. Por su parte, también chequea los privilegios de acceso a llamadas; supervisa y controla todas las secuencias de llamadas; mantiene una lista de suscriptores que están esperando, para que les asignen un

repetidor en caso de canales ocupados; selecciona y asigna los canales de voz requeridos; y selecciona el canal de control.

- Repetidores

Un repetidor es una estación RF que sirve como un enlace RF entre el sistema y las radios. Los repetidores en un sistema trunking se conectan en una configuración de sitio con un mínimo de dos suscriptores y un máximo que depende del tipo de estándar o protocolo utilizado.

- Canal de control

En los sistemas trunking el canal de control posee la inteligencia para controlar y supervisar el funcionamiento del sistema y además es el encargado de realizar la asignación de canales. El canal de control, entonces, debe ser capaz de comunicarse con todas las radios del sistema, de recibir las peticiones de canales de radio para efectuar una llamada y de enviar las asignaciones del canal a las radios dentro del área de cobertura del sistema. Cada sistema trunking tiene uno de sus canales asignado para funcionar como canal de control y el resto de los canales se utilizan para la comunicación de voz.

- Canal de voz

El canal de voz es el nombre asignado a los repetidores que transmiten y reciben la información de voz. Cuando uno de los miembros de un grupo de conversación pide el servicio de un canal de voz, al grupo completo se le asigna su propio canal de voz por el período que dure de llamada.

- Combinador

Un combinador es un dispositivo que combina la señal RF de salida (TX) de dos o más transmisores en una sola salida.

- Multiacoplador

Es un dispositivo que permite conectar varios receptores (RX), utilizando una única antena, de modo tal que la impedancia de este equipo esté correctamente adaptada a la impedancia de la antena.

### **2.10.2.2 Troncalizado multisitio**

Los sistemas trunking multi sitio aumentan el tamaño del área de cobertura y proporcionan comunicación de radio en lugares que están fuera del alcance de los sistemas trunking mono sitio. Un sistema multi sitio puede analizarse como una agrupación de sistemas mono sitio con un punto centralmente localizado de control (MASTERSITE) y distribución de audio. El controlador central del sistema (sitio maestro) supervisa los equipos y subscriptores de todos los sitios, mientras que el controlador de sitio coordina y vigila el funcionamiento de los sitios individualmente. Esta coordinación requiere el uso de un dispositivo que permita comunicarse con todos los controladores individuales de cada sitio. Un sistema multi sitio permite a las radios viajar por grandes áreas geográficas, sin perder la comunicación con su grupo de conversación. Además, distintos miembros de un grupo pueden dispersarse a lo largo de varios sitios en el sistema y aun así es posible que se comuniquen entre ellos.

#### **Sitio maestro (máster site)**

Un sitio maestro o máster site es el punto central de control para la operación de un sistema multisitio. Es el sitio dentro del sistema que realiza el control, el procesamiento de las llamadas,

la asignación de los recursos dentro del sistema y la distribución del audio a todos los otros sitios del sistema. Estas funciones las realiza el controlador de zona, el subsistema de distribución de audio, y el subsistema de administración respectivamente.

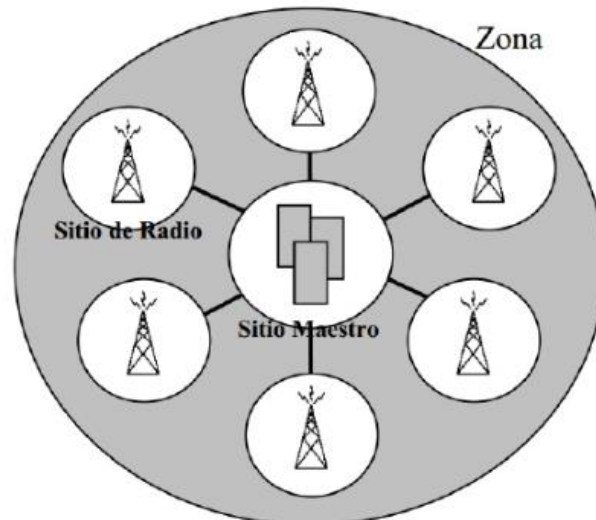


Ilustración 17. Estructura de sistema troncalizado multisitio

Fuente: [http://www.academia.edu/15233454/Sistemas\\_de\\_Comunicaciones\\_Troncalizados\\_P25](http://www.academia.edu/15233454/Sistemas_de_Comunicaciones_Troncalizados_P25).

## 2.11 Elementos activos

Se trata de componentes capaces de generar, modificar o amplificar la señal eléctrica, dentro de los sistemas de radiocomunicaciones se citan:

### 2.11.1 Radios portátiles

Son radios personales, conocidos o llamados comercialmente como "walkie-talkie", muy compactos y con potencias de transmisión de hasta 5W. Se alimentan con una batería recargable incorporada y son utilizados por personal que labora caminando en el campo o que deba desplazarse de un lugar a otro constantemente.

### 2.11.2 Radios móviles

Son radios de comunicaciones instalados dentro de los vehículos, tienen potencias de transmisión de hasta 50W en VHF y 35W en UHF. Se alimentan de la propia batería del vehículo.

### **2.11.3 Radios bases**

Operan desde un emplazamiento fijo, normalmente la oficina desde la que se controla la red, con potencias de transmisión típicas de 50W. La alimentación se toma de la red de suministro eléctrico y suelen disponer de suministro alternativo por medio de baterías.

### **2.11.4. Repetidores**

Enlazan al resto de elementos de la red y se ubican en zonas con cobertura radioeléctrica privilegiada, como lo son lugares altos como montañas y edificios. Al estar en lugares a gran altura se garantiza una línea vista mayor y, por ende, una menor atenuación de las ondas en el espacio.

Arquimbau (1987) se refiere al repetidor como un conjunto transmisor-receptor capaz de recibir y transmitir simultáneamente una señal de radio.

Tienen una potencia de transmisión típica de 50W y suelen contar con sistemas de alimentación alternativa como baterías, inversores o paneles solares, con el fin de mantener el sistema operando, se les consideran como cerebros del sistema, ya que al desconectarse alguno de estos deja aislado al resto de equipos del sistema; una repetidora típica es la que se muestra en la Ilustración 18.



*Ilustración 18. Repetidor Motorola Modelo SLR5100*

*Fuente: [www.motorolasolutions.com](http://www.motorolasolutions.com).*

### **2.11.5. Fuente de alimentación**

La fuente de alimentación, se define dentro del ámbito de la electrónica, como el instrumento que transforma la corriente alterna, en una o varias corrientes continuas o directas, las cuales son utilizadas para alimentar los diferentes aparatos electrónicos. Bonin (1988) aclara que las fuentes de alimentación que utilizan la red como fuente primaria deben estar siempre provistas de un dispositivo rectificador y un sistema de filtrado para transformar la corriente alterna en corriente continua.

Esta fuente para dispositivos electrónicos se encuentra clasificada en lineales y conmutadas. Las lineales se encuentran diseñadas de una manera sencilla, sin embargo, puede llegar a ser compleja, a medida que la corriente que suministra se incrementa, aunque su regulación de tensión no sea muy eficaz. Una fuente conmutada se caracterizará por tener la misma fuerza que una lineal, y contar con una estructura mucho más pequeña. Generalmente, será más eficiente, sin embargo, resulta compleja, por lo que será susceptible a daños. Las fuentes conmutadas son las que se utilizan con frecuencia.

### 2.11.6. Switch Ethernet

Su función es de proveer a los equipos repetidores instalados en cada sitio de repetición, acceso a la red LAN del sitio de manera que brinde un tráfico de información hacia el repetidor máster y al software de administración del sistema de radiocomunicaciones.

## 2.12 Elementos pasivos del sistema

### 2.12.1 Antenas

Todo equipo de radio de radiocomunicaciones posee una antena, ya que la misma es la encargada de transferir la energía generada por el equipo hacia el espacio. Las antenas son para conectar las líneas de transmisión con el espacio libre, el espacio libre a las líneas de transmisión o ambas. Entre las antenas más utilizadas en los sistemas de radiocomunicación se encuentran las antenas yagui, el dipolo y la omnidireccional.

La propagación de ondas electromagnéticas se da cuando fluye una corriente eléctrica a través de la antena, produciéndose un campo magnético (H) alrededor de la misma y un campo eléctrico (E) que se mueve constantemente, ya que varía constantemente el voltaje entrante y se mueven cargas positivas y negativas de un extremo al otro de la antena (Mosquera, 2012).

Cuando se habla de propagación al aire libre, o bien en la atmósfera, es importante considerar el valor la intensidad del campo eléctrico, la cual es dada por la siguiente ecuación:

*Ecuación 3. Cálculo matemático de la intensidad del campo eléctrico*

$$E_0 = \sqrt{\frac{Z_0}{4\pi}} x^{\sqrt{P_x}} \frac{1}{d} \left[ \frac{v}{m} \right]$$

*Fuente: Instalaciones de radiocomunicaciones segunda edición (2018), p.13.*

Donde:

P= potencia irradiada en watts.

Zo = impedancia de espacio libre dada en ohm.

d = distancia entre en el punto de medición y el punto irradiante en metros.

Cuando el sistema irradiante ideal se reemplaza por un sistema de real con ganancia G, el valor de la intensidad del campo en el espacio para Zo libre es:

*Ecuación 4. Cálculo del valor de la intensidad del campo en el espacio*

$$E_o = \frac{\sqrt{30xPxG}}{d} \left[ V/m \right]$$

*Fuente: Instalaciones de radiocomunicaciones segunda edición (2018), p.14.*

Dependiendo de la aplicación y la zona por irradiar, se debe contemplar dentro del diseño, el tipo de antena ideal para la implementación, donde se puede escoger entre los siguientes tipos de antena que son los más usados y fabricados por varias marcas comerciales certificadas:

### **2.12.1.1 Antena Yagui**

Es una antena direccional inventada por el Dr. Hidetsugu Yagi, de la Universidad Imperial de Tohoku y su ayudante, el Dr. Shintaro Uda. Esta invención de avanzada a las antenas convencionales produjo que, mediante una estructura simple de dipolo, combinado con elementos parásitos, conocidos como reflector y director (es), se obtuviera una antena sencilla y de muy alto rendimiento.

El desarrollo de las antenas directoras se realiza en general, basándose en los datos experimentales. El diagrama direccional requerido puede obtenerse con un número diferente de dipolos, diferentes distancias entre ellos y diferentes ajustes de estos.

Las longitudes de los elementos y su separación no son muy críticas, permitiéndose variaciones de longitud y de 1 a 5% de separación. La longitud del reflector es aproximadamente 5% mayor que el dipolo y este 5% mayor que el director. En ocasiones se tiende a aumentar el tamaño del reflector y se reduce el tamaño de los directores, lo que aumenta así el ancho de banda de la antena. Si el reflector es menor que el dipolo y este menor que los directores, el efecto será totalmente dañino y anula el comportamiento de esta.

El dipolo no se cuenta como elemento, este es factor imprescindible y se da por entendida su existencia en el diagrama, una antena de un elemento se conforma de dipolo y reflector, la antena de dos elementos de reflector, dipolo y director.

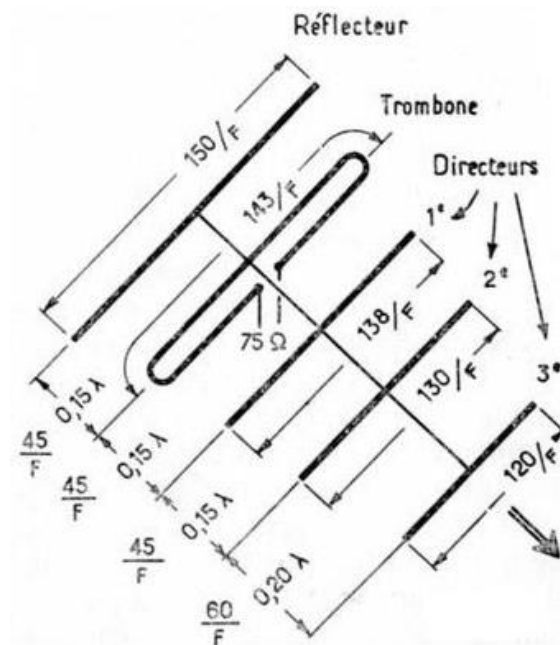


Ilustración 19. Ejemplo de diseño de Antena Yagui

Fuente: [www.ecured.cu](http://www.ecured.cu).

La característica principal de este tipo de antena es que sea direccional, es decir, que la energía radiada por esta se enviará a un destino específico, trabajando en modo recepción se

recibirá en un punto específico, o sea, la ganancia total de la antena viaja completa a un punto específico, lo cual se puede observar en la imagen 20.

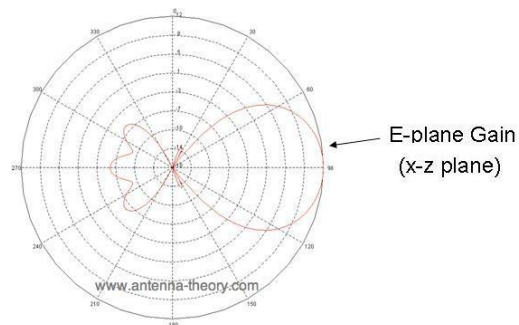


Ilustración 20. Plano de la ganancia de una antena yagui

Fuente: <http://www.antenna-theory.com/spanish/antennas/travelling/yagi3>.

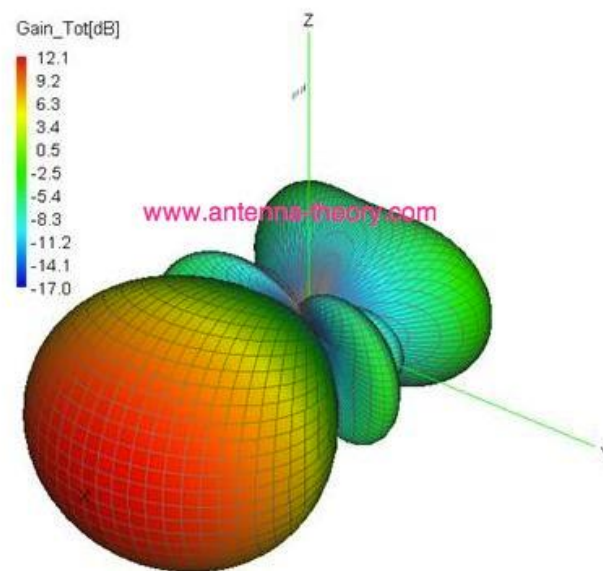
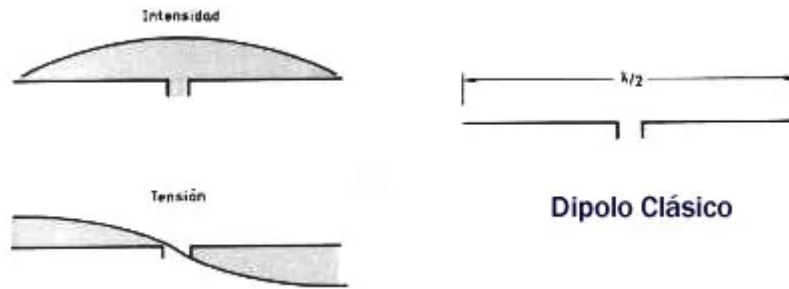


Ilustración 21. Patrón de radiación de antena Yagui

Fuente: <http://www.antenna-theory.com/spanish/antennas/travelling/yagi>.

### 2.12.1.2 Antena Dipolo

Las antenas dipolo son las más sencillas de todas. Una antena de este tipo consiste en un hilo conductor de media longitud de onda a la frecuencia de trabajo, cortado por la mitad, en cuyo centro se coloca un generador o una línea de transmisión como se muestra en la Ilustración 22.



*Ilustración 22. Antena Dipolo cortada a mitad de longitud de onda*

*Fuente: [www.radiocomunicaciones.net/radio/antenasdipolo](http://www.radiocomunicaciones.net/radio/antenasdipolo).*

La impedancia nominal de un dipolo es de 73 ohmios, sin embargo, en un dipolo real situado a una cierta distancia del suelo, la impedancia varía considerablemente.

La radiación de un dipolo en el espacio libre es tal como se indica en la Ilustración 23; en un plano perpendicular a la dirección del hilo del dipolo. Radia exactamente igual en todas direcciones; entre tanto que en el plano del dipolo radia con un máximo en la dirección perpendicular al hilo y un mínimo en la dirección del hilo. O sea, que el dipolo es ligeramente directivo y, como se mencionó anteriormente, tiene una ganancia respecto a una antena isotrópica de 2,3 dB en direcciones perpendiculares al hilo del dipolo. Para efectos prácticos, puede decirse que el dipolo es omnidireccional, excepto para direcciones hacia las puntas o muy próximas a ellas.

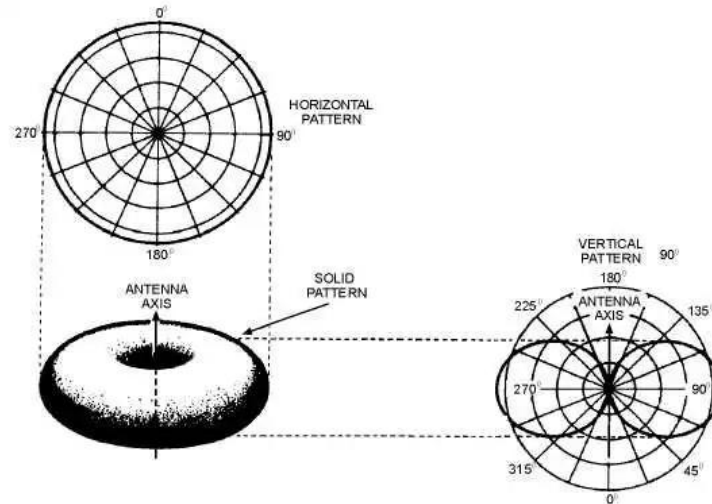


Ilustración 23. Patrón de radiación vertical y horizontal de antena dipolo

Fuente: [www.radiocomunicaciones.net/radio/antena-dipolo](http://www.radiocomunicaciones.net/radio/antena-dipolo).

### 2.12.1.3 Antena omnidireccional

Este tipo de antena tiene la particularidad de que su irradiación de señal es de 360°, por lo que la potencia y, por ende, la ganancia, es compartida y recibida hacia todas direcciones.



Ilustración 24. Antena Omnidireccional

### 2.12.1.4 Antena DB-224

La antena DB-224 es un tipo de antena que posee cuatro dipolos cerrados, los cuales pueden ser manipulados, con la finalidad de hacer de esta antena omnidireccional o bien direccional, o sea, los dipolos se pueden mover y situar cada uno de ellos de forma lineal (direccional) o bien cada uno de sus dipolos orientados para cada uno de los puntos cardinales (modelo omnidireccional). Esta antena no tiene historia definida no obstante no posee una patente que limite su fabricación por varias marcas comerciales, y ha resultado en una antena de gran utilidad para integradores e instaladores de equipos de radiocomunicaciones, utilizadas comúnmente en

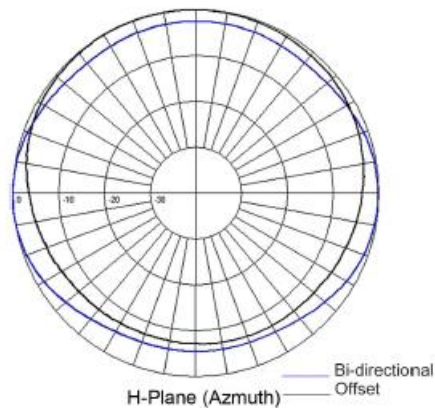
repetidores o radio bases críticas, ya que ha demostrado gran eficiencia y robustez en su fabricación.



*Ilustración 25. Antena VHF Db 224 modo omnidireccional*

*Fuente: [www.electronisys.cl](http://www.electronisys.cl).*

Como puede apreciarse en la Ilustración 26, tomada de la hoja de datos técnicos de la antena DB-224, cuando sus dipolos se encuentran de forma omnidireccional, la energía radiada por esta será alrededor de los  $360^\circ$ , como se dibuja con la línea azul, tomando en cuenta que existen factores ambientales y de los materiales con la cual está construida, se puede apreciar que aunque la radiación es de  $360^\circ$ , no es totalmente simétrica, lo cual es un criterio a considerar, dependiendo a dónde se quiera irradiar, lo cual podría o no afectar algunas zonas que se encuentren dentro de esta imperfección.



*Ilustración 26. Patrón de radiación Omnidireccional antena Db 224*

*Fuente: [www.syscom.mx](http://www.syscom.mx).*

## **2.13 Líneas de transmisión**

Las líneas de transmisión son cables bifilares, o de dos conductores que tienen la función de conectar una antena con un transmisor o una antena con un receptor. El objetivo de una línea de transmisión es transportar la energía RF a una distancia deseada.

Aunque lo ideal sería conectar la antena directamente al transmisor o receptor, esto no siempre es algo práctico en el uso diario. Esto debido a que, para una mejor propagación de la señal, es necesario que la antena esté ubicada a una altura considerable sobre el suelo. Los equipos sin conexión a estas líneas normalmente suelen alojarse en un edificio o vehículo, por lo que la línea de transmisión es un elemento indispensable en un sistema de comunicaciones.

Para los sistemas de comunicación existen dos tipos principales de línea. La línea balanceada que consta de dos conductores separados entre sí, de manera paralela, suelen estar a

una distancia de entre un cuarto de pulgada a varias. Una línea balanceada se muestra en la Ilustración 27.

El término “línea balanceada” significa que por cada alambre fluye una corriente de igual magnitud, pero desfasada  $180^\circ$  respecto a la corriente en el otro. Ninguno de los alambres se conecta a tierra.



Ilustración 27. Línea de transmisión balanceada.

El otro tipo de línea se conoce como línea desbalanceada, es un cable de tipo coaxial que se muestra en la Ilustración 28, construido por una guía conductora central, sólido y rodeado de algún aislante como el plástico, sobre este plástico se utiliza normalmente una maya de hilos conductores trenzados entre sí, y algunas veces se utiliza una especie de lámina que envuelve el primer aislante, sobre este segundo conductor se aplica otra capa de material aislante para protegerlo del medio ambiente.

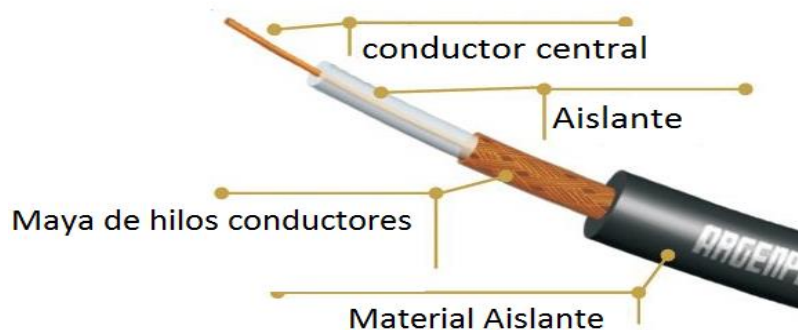


Ilustración 28. Línea de transmisión no balanceada

Fuente: Artavia, D. (2018), P.24.

El cable coaxial es una línea desbalanceada, ya que la corriente del conductor central está en referencia con el blindaje, el cual está a su vez conectado a tierra.

Los cables bifilares de dos conductores son muy comunes en electricidad y electrónica, sin embargo, no son de gran utilidad en los sistemas de radiocomunicación, debido a sus características eléctricas y de ruido.

Sin embargo, suceden cosas especiales con los cables coaxiales a la hora de transportar energía RF. En este caso, los conductores dejan de ser elementos resistivos y actúan como sistemas interconectados de resistencias, capacitores e inductivos. Estos son especiales debido a que son prácticamente inmunes a ruidos electromagnéticos, que a la larga empobrecen la calidad de señal entregada a las antenas receptoras y transmisoras, empobreciendo la calidad de la comunicación.

### **2.13.1 Cable Heliac**

El cable Heliac es un tipo de cable coaxial RF que incorpora tecnología de aislamiento de polietileno de alta espuma para minimizar la pérdida de señal y tiene excelentes características eléctricas como baja amortiguación y bajo coeficiente de reflexión. Se utiliza en muchas aplicaciones donde es necesario transferir energía de radiofrecuencia de un punto a otro, como línea principal para estaciones base de comunicación móvil, el sistema de distribución en construcción y líneas de antena para varios sistemas de comunicación inalámbrica.

### **2.14 Filtros**

El filtrado de una señal puede transmitirse en algunos de los sistemas de comunicación de manera simultánea, como lo son las señales de voz emitidas en los sistemas de emisoras de radio comercial.

Es por esto por lo que Gallardo (2019) afirma:

Esto es posible gracias al hecho de que las señales se desplazan en el espectro, o lo que es lo mismo, no se transmiten en banda base. En los sistemas de banda ancha, entonces, será fundamental que el receptor de la información tenga la capacidad de discriminar y seleccionar la información deseada, al mismo tiempo que eliminar o no dejar pasar las señales que no son deseadas (p.5).

Además, es recomendable proteger el sistema y los equipos de las interferencias y ruidos que pueden llegar a obstruir el buen funcionamiento del sistema de radiocomunicación. Es por esto que existen distintos tipos de filtros que dejan pasar las frecuencias según sea su rango permitido, entre estos se encuentran:

#### **2.14.1 Filtro basa bajo**

Son filtros que seleccionan o dejan pasar frecuencias que abarcan desde los 0 hasta una frecuencia determinada.

#### **2.14.2 Filtro paso banda**

El filtro permite seleccionar un rango de frecuencias contenidos entre dos valores y eliminando el resto.

#### **2.14.3 Filtro rechazo de banda**

El filtro rechazo de banda es el opuesto al filtro paso banda, es decir su función es eliminar un determinado rango de frecuencias, dejando pasar al resto de frecuencias. Un ejemplo de este tipo de filtro es el que se emplea para eliminar la frecuencia de 60 hercios de la corriente eléctrica

que puede ocasionar ruido o interferencias en los dispositivos electrónicos y sistemas de comunicación.

#### 2.14.4 Duplexores

Un duplexor es un dispositivo utilizado dentro de los componentes de un sitio de repetición, que permite a un equipo repetidor transmitir mensajes y también recibirlos con una sola antena. Esto se hace dividiendo las funciones de transmisión y recepción para que no se interfieran durante sus funciones. El duplexor posee dos cavidades, una para transmitir y otra para recibir, solo funcionará bien si las dos cavidades están sintonizadas a las frecuencias de trabajo asignadas en el repetidor; en otras palabras, es un filtro de frecuencias donde se discriminan las frecuencias que no son de interés para el sistema. Un duplexor es un dispositivo común en sistemas de comunicaciones y constituye un componente clave de los alimentadores de antenas. Dicho elemento separa una señal compuesta en sus componentes para permitir que cada parte sea transmitida por separado (Cepero, 2012).

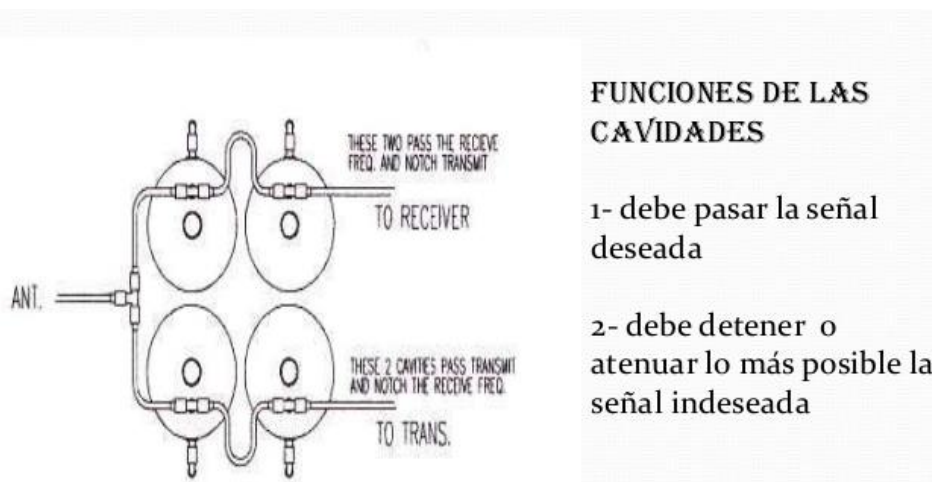


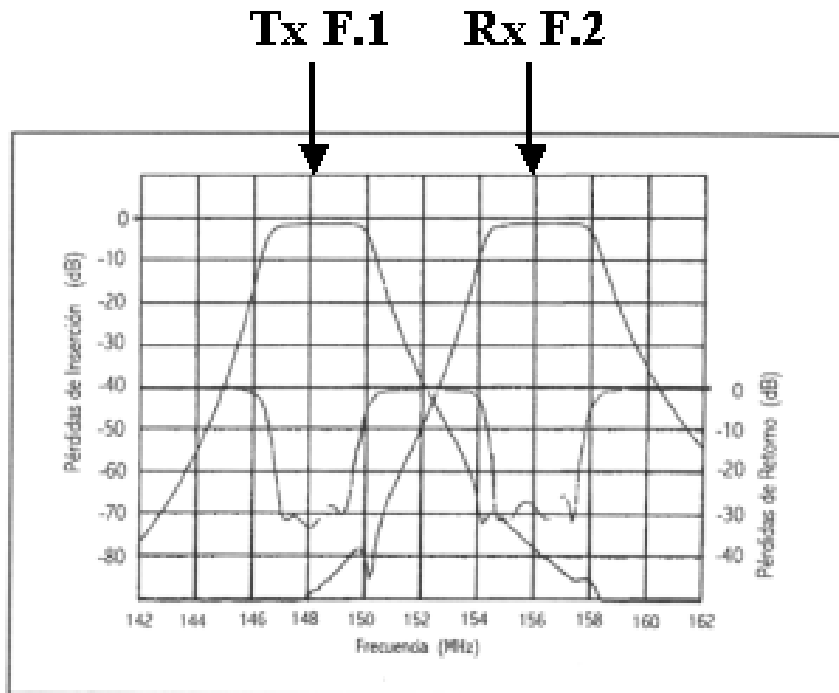
Ilustración 29. Construcción Física del duplexor

Fuente: [www.bandasaltas.com.ar/ajustede duplexores](http://www.bandasaltas.com.ar/ajustede duplexores).

Como se muestra en la Ilustración 29, el duplexor posee una única entrada (ANT), la cual es la antena por donde entra y salen las señales, también se observan cuatro cavidades, las cuales internamente poseen filtros que se deben sintonizar manualmente y mediante equipo de prueba especializado a la frecuencia deseada, con el fin de obtener dos frecuencias separadas una para recepción y la otra para transmisión.

Cabe resaltar que la interconexión de las cavidades se da por medio de líneas de transmisión, por lo general de cables coaxiales de calibre RG8.

Todo filtro debe responder a una determinada frecuencia, es decir se diseña para que deje pasar una señal o un conjunto de estas. En la Ilustración 30, se observa el comportamiento del duplexor cuando es atravesado al mismo tiempo por dos frecuencias TX F.1 en 148 MHz y RX F.2 en 156 MHz; como se denota, las frecuencias citadas tienen un valor de 0 dB; o sea, son las frecuencias de paso, no obstante, las dos se rechazan entre sí, ya que en el momento donde F1 tiene un valor de 0dB, la F2 está en -70dB; igualmente cuando F2 está en 0dB la F1 está alrededor de -70dB, esa diferencia en decibeles hace que las frecuencias no colisionen entre sí en el mismo instante de tiempo.



*Ilustración 30. Respuesta en frecuencia de un duplexor*

*Fuente: [www.bandasaltas.com.ar/ajustededuplexores](http://www.bandasaltas.com.ar/ajustededuplexores).*

## **CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Tipo de investigación**

Para obtener un mejor criterio de la definición de un proyecto de investigación se comenzará con la definición fundamental del concepto de investigación, el cual se define a continuación:

Según lo indica Hernández Sampiere (2018), un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno o problema con el resultado (o el objetivo) de ampliar su conocimiento, esta concepción se aplica por igual a los enfoques cuantitativo, cualitativo y mixto (p.4).

También, Pimienta (2018) nos señala: “la investigación puede ser cuantitativa, cualitativa o mixta, dependiendo de los criterios aplicados para estudiar e interpretar la realidad, también puede ser básica o aplicada; exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa” (p 57).

### **3.2 Método de investigación**

El método de esta investigación es descriptivo, ya que consiste en caracterizar un fenómeno o situación concreta, indicando sus rasgos más relevantes.

Para efectos del proyecto, se pretende recopilar toda la información necesaria y realizar las mediciones correspondientes en cada etapa de estudio, en el transcurso de cada uno de los avances y definir las variables que lo componen.

#### **3.2.1 Enfoque de la investigación**

El enfoque de esta investigación es cuantitativo, para el proyecto a realizar se pretende inicialmente realizar un estudio de la cobertura en la zona de Santa Ana, Ciudad Colon, Puriscal y sus

alrededores con el fin de tomar los datos de referencia en los puntos principales de ubicación de los usuarios.

Este tipo de enfoque se caracteriza por hacer una recolección de información y de datos, luego estos datos se transforman en valores numéricos y finalmente son analizados estadísticamente. De esta forma se permite tener un panorama global del proyecto en estudio, con estos datos más adelante se podrá realizar la interpretación de estos y realizar las predicciones, identificando las relaciones que existen entre dos o más variables.

### **3.3 Fuentes de información**

Para brindar un mayor conocimiento acerca de las fuentes de información dentro de un proyecto de investigación Torres, Paz y Salazar (2019) indican: “Son todos aquellos medios de los cuales procede la información” (p.3).

Las fuentes de información se clasifican en:

#### **3.3.1 Fuentes primarias**

Según Torres (2019), las fuentes primarias son aquellas en las que los datos provienen directamente de la población o muestra de la población, mientras que las fuentes secundarias son aquellas que parten de datos pre-elaborados, como pueden ser datos obtenidos de anuarios estadísticos, de Internet, de medios de comunicación ( p.3).

Como fuentes de información primarias para esta investigación estarán las constituidas por empleados de la CNFL en sus diferentes cargos y funciones, a los cuales se entrevistarán con el fin de obtener información, además de consultas en la página intranet de la institución, donde se

podrán obtener datos generales de la empresa y así también la obtención de datos del software de administración y monitoreo del sistema de radiocomunicaciones.

### **3.3.2 Fuentes secundarias**

Para el concepto de fuentes secundarias, Esteban y Fernández (2017) afirman: “la información secundaria es la que está disponible antes de que surja la necesidad de contar con ella para llevar a cabo la investigación que la necesita. Esta información puede haber sido generada por la propia empresa, o por terceros, y entonces recibe los nombres de información secundaria interna o externa (p.43).

En el caso de esta investigación se extraen las fuentes de los libros, revistas técnicas, además de consultas a proveedores de la tecnología a implementar.

### **3.3.3 Unidades de análisis u objeto de estudio (sujetos)**

En este apartado se brindará un detalle del conjunto de individuos, de los cuales se miden o se estudian las variables de interés, así como la validez de la experiencia adquirida de cada uno de los sujetos en el ámbito de cada una de sus funciones, dicha unidad de análisis se ve reflejada en la tabla número cuatro, mostrada a continuación.

Tabla 4. Unidades de Análisis u objetos de estudio

Puesto laboral	Profesión u oficio	Experiencia	Relación con el tema
Jefatura del Área de Infocomunicaciones	Ingeniero	30 años	Coordinación de trabajos con los procesos adscritos, administración de presupuesto
Coordinador Proceso Administracion de Red	Ingeniero	20 años	Coordinación de cuadrillas, asignación de trabajos
Encargado técnico radiocomunicaciones	Ingeniero	15 años	Analista de nuevas integraciones y tecnologías, supervisor, control de sistema de incidentes y monitoreo del sistema
Técnico especializado radiocomunicaciones	Técnico	30 años	Instalación de equipos, ejecución de mantenimientos correctivos y preventivo

Fuente: propia, información recopilada en el mes de mayo 2024

### 3.4 Técnicas y herramientas de recolección de datos

Se debe de tomar en cuenta que la selección de los instrumentos de investigación es fundamental a la hora de recolección de los datos, porque por este medio se facilitará la información y se tratará de resolver un problema, o bien, llegar a comprobar la hipótesis del proyecto.

#### 3.4.1 Observación

Dentro de las técnicas para realizar una investigación en un proyecto, se toma en cuenta con respecto a la observación que Sampieri, Collado y Lucio (2014) nos dicen: “en la investigación cualitativa necesitamos estar entrenados para observar qué es diferente de ver (lo cual hacemos cotidianamente)” (p.399).

La observación requerida para el proyecto en cuestión es realizada en instalaciones de la CNFL, como lo son planteles, subestaciones, y edificios administrativos, así como también en sitios lejanos como puntos o sitios de repetición ubicados en sitios montañosos, también se

considera la observación del tipo de clientes a quienes va dirigido al cliente y también la tecnología implementada para brindar el servicio de radiocomunicaciones.

### **3.4.2 Entrevista**

La herramienta de la entrevista es fundamental para esta investigación, Sampiere (2014) nos indica: "Se define como una reunión para conversar e intercambiar información entre una persona (el entrevistador) y otra (el entrevistado) u otras (entrevistados)" (p.403).

Por lo descrito anteriormente, se procederá a entrevistar a los tres ingenieros descritos en la Tabla 4, los cuales desde su nivel jerárquico en la empresa deben atender y dar solución a los problemas presentados por los usuarios finales internos, por ende, son fuentes confiables y tienen una perspectiva muy clara de la problemática. En el caso de la entrevista con el técnico, es de suma importancia, ya que posee amplia experiencia en laborales de campo y, por ende, conoce a la perfección situaciones cotidianas que se presentan en los sitios de repetición.

### **3.5 Variables de la investigación**

Para ayudar a definir lo que son las variables de la investigación, Hernandez Sampiere 2014, nos indica: "Una propiedad que puede fluctuar y cuya variación es susceptible de medirse u observarse" (p. 105).

También es importante resaltar lo que indica Hernandez Sampiere (2014): "el concepto de variable se aplica a personas u otros seres vivos, objetos, hechos y fenómenos, los cuales adquieren diversos valores respecto de la variable referida" (p.105).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto sobre las variables de una investigación, se pueden observar las mismas del desarrollo del presente proyecto mediante la tabla número 5, donde se identifica cada una de estas variables, según sea el objetivo planteado.

*Tabla 5. Definición de variables*

Objetivos específicos	Variables asociadas	Descripción
Evaluar el rendimiento actual del sistema de radiocomunicaciones mediante software de simulación y el alcance de la señal de radiofrecuencia dentro del área servida de la CNFL.	Sistema de radiocomunicaciones	Forma de telecomunicación que se realiza a través de ondas de radio u ondas hertzianas, la que a su vez está caracterizada por el movimiento de los campos eléctricos y campos magnéticos.
Presentar los principios básicos del estándar de comunicaciones DMR en sistemas de radiocomunicaciones troncalizados.	Estándar de comunicaciones	Conjunto de normas y procedimientos establecidos para asegurar la interacción de los dispositivos en un sistema.
Evaluar la adecuación del sitio de repetición, mediante un análisis comparativo que destaque las ventajas y desventajas entre potenciales sitios.	Sitio de repetición	Lugar o emplazamiento físico, seleccionado estratégicamente, con capacidad de retransmitir señales de pobre intensidad.
Cuantificar los costos de capital, operativos e indirectos, asociados para la puesta en marcha del proyecto.	Costo beneficio	Evaluación de la viabilidad y eficiencia de un proyecto.

### 3.6 Instrumentos

Uno de los instrumentos a utilizar en esta investigación es la entrevista, la misma se realizará tanto a funcionarios del Área de Infocomunicaciones de la CNFL, como también a funcionarios del Área de Comercialización.

Otro instrumento será la utilización del software de simulación Radio Mobile, el cual es un programa informático de uso libre creado por el Roger Coude, basado en el modelo matemático de Longley-Rice, que predice las condiciones de propagación desde los 20 MHz hasta los 20 GHz. Este software proporciona una gran variedad de datos para radioenlaces y sistemas de radio en

general, tiene la capacidad de crear mapas virtuales de cobertura, basándose en datos atmosféricos y geográficos, lo cual permite observar el comportamiento de la propagación para las frecuencias con las que se propone trabajar.

Además, se tiene el apoyo de la herramienta de software denominado System Design Tools, el cual es una herramienta diseñada por la marca MOTOTRBO™, de la empresa Motorola Solutions, que cumple como función principal dar un cálculo preciso respecto a la cantidad de repetidores necesarios en función a los diferentes sistemas que tiene en venta la empresa.

### **3.7. Proceso para la recolección de datos y análisis de datos**

La investigación está conformada por diferentes etapas en su desarrollo, las cuales se detallan a continuación

Etapa 1: se desarrollará una entrevista con las jefaturas del Área de Infocomunicaciones, ya que dicha área es la dependencia que administra el espectro radioeléctrico asignado a la CNFL, con el objetivo de tener claro el panorama desde el punto de vista legal y de regulación de los sistemas de radiocomunicaciones en el país, principalmente directrices dadas por la SUTEL.

En esta etapa también se pretende conocer cómo está estructurado el sistema de radiocomunicaciones actual, y será de gran importancia los datos que puedan suministrar los ingenieros y técnicos que atienden esta plataforma en relación con mediciones de campo.

Etapa 2: se visitarán diferentes proveedores de radiocomunicaciones del país, con el fin de obtener información sobre el estándar DMR.

Etapa 3: se desarrolla el proceso de entrevista con el usuario final interesado en la utilización del sistema de radio; en este caso consistiría en aplicar entrevistas a los funcionarios de cuadrillas y a los oficiales de radio, con el objetivo de identificar las falencias que presenta el sistema actual y, por ende, brindar una solución definitiva.

Etapa 4: se desarrollan las simulaciones en el software del área en conflicto para determinar la ubicación del sitio adecuado para solventar la necesidad.

Etapa 5: se pretende solicitar cotizaciones de los equipos que conformarán el sistema activo y pasivo, ambas deberán contener las especificaciones técnicas, las cuales serán analizadas con el fin de poseer insumos para el costo beneficio del proyecto.

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1. Descripción de la situación actual**

Como parte de la investigación dada por las jefaturas del Área de Infocomunicaciones, se indica que la CNFL se ve en la obligación de atender la legislación emitida por la SUTEL, esto debido a que la CNFL, utiliza frecuencias denominadas “licenciadas”, o bien que están por fuera del espectro que se les brinda a los radios aficionados, son frecuencias de uso privado, pero que conllevan a amoldarse a la legislación nacional.

Como se cita en nota CR 033 del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, conocido como el PNAF, las redes públicas y privadas que operen en los rangos de frecuencias de 138-144, 148-174 MHz, 225-287 MHz, 422-425 MHz, 427-430, 440-450, 451-455, 456-470 MHz, operarán a una separación de canales de 12.5 KHz y un ancho de banda de 8.5 KHz. A partir del primero de enero de 2012, todos los sistemas de radiocomunicaciones que funcionen en dichas bandas deberán ajustarse a una separación de canales de 6.25 KHz, para lograr esta separación se deben utilizar técnicas de modulación digital, ya que los equipos análogos no logran llegar a lo establecido.

Debido a lo emitido por la legislación, la CNFL opta por la plataforma de radiocomunicaciones, bajo el nombre comercial de la empresa Motorola, llamado Linked Capacity Plus en adelante LCP, el mismo es un sistema donde sus repetidores trabajan de modo troncalizado multisitio y donde el orden de prioridades de cada repetidor de cada sitio, son asignadas automáticamente desde el repetidor Máster.

Como parte de las funcionalidades del LCP, se puede indicar que los repetidores que operan bajo este LCP tienen doble capacidad de canal de voz al mismo tiempo bajo un mismo hardware. En otras palabras, cada equipo posee dos ranuras o canales virtuales, por lo tanto, un equipo puede

brindar dos comunicaciones de voz instantáneas, pero de forma independiente y sin provocar interferencias entre sí.

Como se puede apreciar en la Ilustración 31, el sistema está compuesto por tres sitios de repetición, llamados Sacramento, Bebedero y Socola; estos sitios están interconectados mediante una red de fibra óptica propia de la CNFL, y por la cual es capaz de transmitir datos de sincronización y por ende establecer enlaces confiables con el repetidor máster que se encuentra ubicado en el sitio Sacramento.

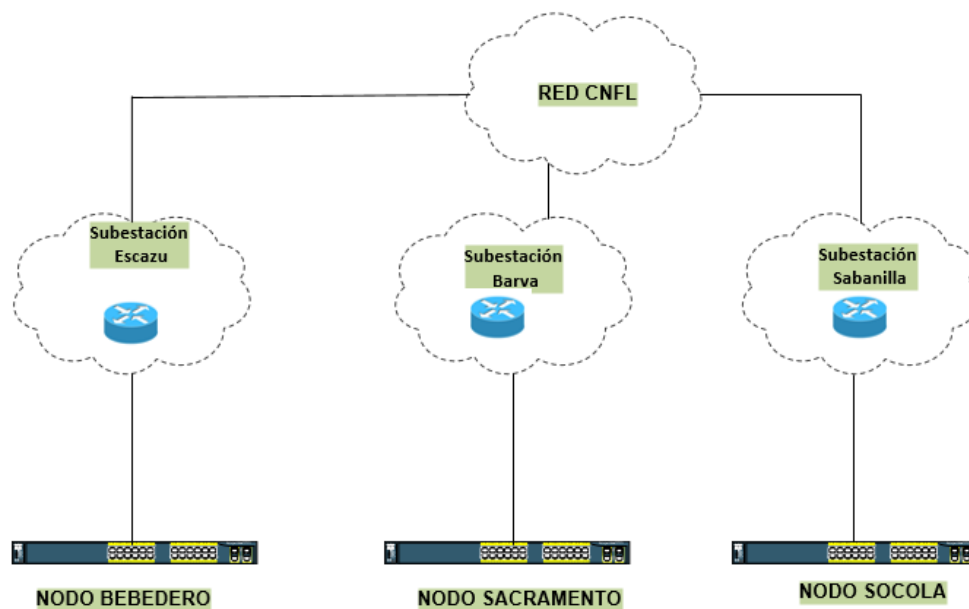


Ilustración 31. Diagrama de Sitios Linked Capacity Plus

Los datos de los sitios mencionados y sus nomenclaturas se detallan a continuación:

1. Sacramento (SR#1): ubicado en la provincia de Heredia, específicamente en el cantón de Barva, en las faldas del Volcán Barva, sus coordenadas geográficas son: latitud  $10^{\circ} 6'27.85''N$ , longitud  $84^{\circ} 6'49.41''O$ , con una altura de 2265 m.s.n.m.

El sitio SR#1 es el sitio con mayor relevancia del sistema, ya que en este se tiene instalado el repetidor maestro llamado S1R1, este equipo aparte de encargarse de las funciones administrativas del sistema y brindar sincronía entre los sitios de repetición, también tiene la cualidad de transmitir voz, lo cual lo convierte en un equipo muy versátil para la empresa.

El sitio SR#1 está compuesto por siete repetidores (incluido el S1R1), conectados en cascada, para provocar el efecto del sistema troncalizado, los cuales se alternan la prioridad de transmisión y con esto se optimiza el uso de los equipos sin llegar a sobre esfuerzos de los equipos. Este sitio de repetición, al tener siete repetidores, tiene la capacidad de emitir hasta catorce señales de voz, independientes entre sí, lo que para la CNFL en comunicaciones de radio equivale a catorce grupos o dependencias, transmitiendo simultáneamente.

Históricamente, este sitio, según indican los ingenieros de la CNFL, ha sido de gran aporte a los sistemas radiales análogos de la empresa, ya que posee una ubicación estratégica importante y también una altura considerable, que ayuda a extender la línea vista desde diferentes puntos del área servida por la CNFL, dado lo anterior, se consideró mantener para el sistema troncalizado.

2. Bebedero (SR#2): localizado en Bebedero de Escazú, sus coordenadas geográficas son: latitud 9°54'29.48"N, longitud 84° 9'45.03" O; con una altura de 1600 m.s.n.m.

El SR#2 es uno de los sitios llamados también dentro del LCP como sitio “peer”, esto debido a que según indican las jefaturas del Área de Infocomunicaciones, por políticas contra el racismo, y de diversidad, en la empresa Motorola el término “esclavo” se suprimió en todos los sistemas de esta empresa.

El sitio SR#2 está compuesto por dos repetidores (S2R1 y S2R2), este sitio de repetición, lo ha utilizado la CNFL por largo tiempo, básicamente para emitir señales hacia San José centro

esto por su cercanía y altitud considerable; por la cantidad de repetidores, su capacidad de canales se limita a cuatro, por ende, solo pueden acceder a este sitio un máximo de cuatro grupos funcionales.

3. Socola (SR#3): ubicado entre Llano Grande Cartago y Rancho Redondo de Goicoechea, sus coordenadas geográficas son: latitud  $9^{\circ}57'41.50''N$ , longitud  $83^{\circ}54'44.75''O$ , con una altura de 2595 m.s.n.m.

El sitio SR#3 fue el último sitio incorporado por la CNFL, dentro de los sitios de repetición para equipos análogos, por los buenos resultados experimentados con este sitio, se determinó por parte del Área de Infocomunicaciones, incorporarlo dentro del LCP, debido a que, por su ubicación geográfica, llegó en su momento a solventar problemas de cobertura radial en la zona este (Tres Ríos, Guadalupe y la zona del Cerro Zurquí sobre la Ruta 32).

El sitio SR#3, está conformado por dos equipos repetidores, por ende, su capacidad de canales se limita a cuatro, los cuales solo pueden acceder a este sitio un máximo de cuatro grupos funcionales.

Como parte de una evaluación general del sistema, se solicitaron datos de la utilización de cada uno de los equipos mencionados anteriormente y evaluar la carga de cada sitio de repetición, por ende, se dan a conocer una muestra de los datos dados por el software de administración y monitoreo Trbowatch:

Tabla 6. utilización de Sitio #1 Sacramento

Timeframe: 45 Minutes	State	S1 SACRAM_1 / 500 (LCP_CNFL)		S1 SACRAM_3 / 502 (LCP_CNFL)		S1 SACRAM_2 / 501 (LCP_CNFL)		S1 SACRAM_4 / 503 (LCP_CNFL)		S1 SACRAM_6 / 505 (LCP_CNFL)		S1 SACRAM_5 / 504 (LCP_CNFL)		S1 SACRAM_7 / 506 (LCP_CNFL)	
		Duration, h:m:s.ms	Duration, %	Duration, h:m:s.ms	Duration, %	Duration, h:m:s.ms	Duration, %	Duration, h:m:s.ms	Duration, %	Duration, h:m:s.ms	Duration, %	Duration, h:m:s.ms	Duration, %	Duration, h:m:s.ms	Duration, %
03:05:2024 07:00:00	Activity	00:01:17,710	2,88	00:00:00,000	0,00	00:01:34,150	3,49	00:02:17,101	5,08	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00
	Connection	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2023 07:45:00	Activity	00:00:19,930	0,74	00:00:00,000	0,00	00:00:12,014	0,44	00:02:07,322	4,72	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00
	Connection	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2022 08:30:00	Activity	00:04:41,280	10,42	00:00:00,000	0,00	00:07:01,616	15,62	00:02:14,808	4,99	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00
	Connection	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2021 09:15:00	Activity	00:06:05,059	0,00	00:00:00,000	0,00	00:05:16,716	11,73	00:02:41,738	5,99	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00
	Connection	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2020 10:00:00	Activity	00:01:38,921	3,66	00:00:00,000	0,00	00:01:03,319	2,35	00:02:28,449	5,50	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00
	Connection	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2019 10:45:00	Activity	00:01:37,261	3,60	00:00:00,000	0,00	00:01:23,915	3,11	00:03:24,693	7,58	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00
	Connection	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2018 11:30:00	Activity	00:00:33,770	1,25	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:02:48,849	6,25	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00
	Connection	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2017 12:15:00	Activity	00:07:49,590	17,39	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:03:42,106	8,23	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00
	Connection	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2016 13:00:00	Activity	00:03:39,347	8,12	00:00:00,000	0,00	00:02:54,585	6,47	00:03:52,397	8,61	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00
	Connection	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2015 13:45:00	Activity	00:14:39,247	32,56	00:00:00,000	0,00	00:16:06,353	35,79	00:05:04,724	11,29	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00
	Connection	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2014 14:30:00	Activity	00:05:45,707	12,80	00:00:00,000	0,00	00:06:26,352	14,31	00:05:44,389	12,76	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00
	Connection	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2013 15:15:00	Activity	00:05:20,051	11,85	00:00:00,000	0,00	00:07:38,366	16,98	00:04:20,873	9,66	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00	00:00:00,000	0,00
	Connection	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00

Fuente: datos tomados del software de administración Trbowatch (2024).

Los resultados obtenidos del sitio de repetición Sacramento son llamativos, tomando en cuenta que son las horas con mayor tránsito de llamadas de voz, ya que, como se puede observar, el sistema emite estadísticas cada 45 minutos, y el intervalo de horas seleccionado fue en horas laborales.

Analizando los datos, se observa que el sistema es bastante estable, ya que en las celdas llamadas “Connection” siempre mantienen un 100% de conexión, lo cual garantiza la disponibilidad de los equipos.

Ahora bien, analizado cada repetidor, se observa que en los repetidores #5,6 y 7, aunque tienen un 100% de conectividad, su actividad es 0 %, por lo que se determina que este sitio de repetición está sobredimensionado y donde estos equipos podrían ser de utilidad para el nuevo sitio de repetición por implementar, lo que conlleva un ahorro significativo para la CNFL ya que no se tendría que invertir en nuevos equipos.

En relación con los sitios Bebedero y Socola se obtuvieron las siguientes estadísticas:

*Tabla 7 Utilización de los sitios Bebedero y Socola*

Timeframe: 45 Minutes	S2 BEBEDERO_2 / 505 (LCP_CNFL)		S2 BEBEDERO_1 / 504 (LCP_CNFL)		S3 SOCOLA_1 / 506 (LCP_CNFL)		S3 SOCOLA_2 / 507 (LCP_CNFL)	
	Duration, h:m:s.ms	Duration, %	Duration, h:m:s.ms	Duration, %	Duration, h:m:s.ms	Duration, %	Duration, h:m:s.ms	Duration, %
03:05:2024 07:00:00	06:00:00,000	14,65	00:06:11,095	13,74	00:03:50,958	8,55	00:08:23,852	18,66
	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2023 07:45:00	00:01:02,396	2,31	00:01:24,227	3,12	00:01:47,308	3,97	00:00:09,059	0,34
	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2022 08:30:00	00:00:00,000	0,00	00:00:23,713	0,88	00:00:00,233	0,01	00:00:01,080	0,04
	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2021 09:15:00	00:00:00,000	0,00	00:00:39,966	1,48	00:00:00,237	0,01	00:00:12,601	0,47
	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2020 10:00:00	00:00:29,665	1,10	00:01:18,358	2,90	00:00:00,244	0,01	00:01:24,253	3,12
	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2019 10:45:00	00:00:09,695	0,36	00:01:36,725	3,58	00:00:35,932	1,33	00:00:36,656	1,36
	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2018 11:30:00	00:01:21,554	3,02	00:00:54,635	2,02	00:00:53,607	1,99	00:00:49,250	1,82
	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2017 12:15:00	00:00:29,346	1,09	00:00:00,000	0,00	00:00:00,233	0,01	00:00:00,233	0,01
	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2016 13:00:00	00:01:28,024	3,26	00:00:34,779	1,29	00:01:45,553	3,91	00:00:00,960	0,04
	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2015 13:45:00	00:01:44,201	3,86	00:04:20,748	9,66	00:03:08,971	7,00	00:02:24,552	5,35
	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2014 14:30:00	00:07:50,721	17,43	00:12:35,967	28,00	00:08:50,530	19,65	00:09:25,032	20,93
	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00
03:05:2013 15:15:00	00:10:50,072	24,08	00:08:46,266	19,49	00:06:08,715	13,66	00:10:49,641	24,06
	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00	00:45:00,000	100,00

*Fuente: datos tomados del software de administración Trbowatch (2024).*

Analizando las estadísticas de la Tabla 7, se observa que se mantiene la alta disponibilidad del sistema, con un 100%, y no se notan cargas extras en ningún repetidor, sino que las cargas están balanceadas con valores de utilización similares entre repetidores.

Según lo indicado por el proveedor de los equipos, para que un sitio se encuentre colapsado, los equipos deben estar máximo en 70% de utilización, por lo tanto, de momento ambos sitios trabajan normal, sin problemas de conflictos de tráfico.

#### **4.2 Estándar DMR**

Según la entrevista realizada al Ingeniero Jorge Montero, de la empresa Radifax, proveedor de equipos Motorola en el país, el estándar Radio Móvil Digital (en inglés, digital Mobile radio, DMR) es un estándar del European Telecommunications Standards Institute (ETSI), ETSI TS 102 361, que fue publicado en el año 2005, como un protocolo de radio digital de banda estrecha, con la finalidad de conseguir una mejora en la eficiencia espectral sobre la radio analógica tradicional; lo cual facilita las comunicaciones bidireccionales a través de la radio digital. Este protocolo basado en TDMA utiliza dos intervalos del tiempo para crear dos canales virtuales en un canal de 12.5 KHz, gracias a la digitalización de la voz o datos por transmitir.

Algunas razones que prometen el standard DMR como sustituto de la tecnología analógica de radio son las siguientes:

- Eficiencia espectral.
- Prolongación de la vida útil de la batería, al utilizar en cada llamada un intervalo TDMA, lo cual reduce a la mitad el consumo.
- Utiliza técnicas de corrección de errores que regeneran la voz.

- No transmite el ruido ambiental de fondo, lo cual evita las molestias.
- Mejor cobertura al mejorar la calidad de audio.
- Mayor confidencialidad.
- Mejoras en la señalización.
- Mensajes de texto.
- Servicios de localización.
- Telemetría.

Para CNFL, fue importante adquirir un sistema basado en este estándar, porque permite la interacción de equipos de diferentes fabricantes, dado que podría en algún momento incorporar equipos de otros fabricantes mientras cumplan con este estándar, por lo tanto, no queda comprometida a un único fabricante. Además, posee valores agregados de alta importancia, como los servicios de localización (GPS) que han ayudado a determinar la ubicación de cada radio matriculado en la plataforma, disminuyendo recorridos de los vehículos de cuadrillas, ya que es posible establecer por medio de esta tecnología cuál es la cuadrilla más cercana a la avería por atender o mantenimiento por brindar, lo que da también como beneficio el ahorro de combustible y disminuye el desgaste de los vehículos.

#### **4.3 Percepción del usuario final del sistema de radio**

Dentro de los usuarios finales que utilizan el sistema se consideran las siguientes dependencias de la CNFL:

- a) Dirección comercialización: esta dirección contempla cinco sucursales dentro del organigrama de la CNFL, específicamente para la zona determinada dentro de la problemática del proyecto, la sucursal afectada es la Sucursal Escazú. Dentro de las labores diarias de esta sucursal está la atención de clientes externos, donde estos solicitan servicios de conexión, desconexión y traslados de servicios eléctricos, tanto residenciales como comerciales.

Para realizar las labores descritas, la Sucursal posee quince cuadrillas de trabajo, cada una con vehículo y dos técnicos cada uno, estos vehículos se encuentran equipados con radios móviles y, además, los técnicos poseen radios portátiles.

Según los datos obtenidos en la entrevista con este personal, los mismos indican que la zona oeste siempre ha sido problemática para la utilización de los radios de comunicaciones, ya que tratan de comunicarse con su radio base ubicada en la sucursal y en la mayoría de los casos, el mensaje no llega claro y preciso, lo cual los obliga a hacer múltiples transmisiones hasta encontrar zona de cobertura, o bien, utilizar teléfonos celulares personales, lo cual no es el medio oficial de la CNFL.

Dentro de lo expresado por el usuario, está también que los trabajadores de las cuadrillas deben reportar via radio, datos como números de localización de los medidores eléctricos, número de transformadores, entre otros, y por lo general son mensajes de voz que pueden extenderse hasta dos minutos de duración, y en varias ocasiones se dan cuenta de que el mensaje no llegó correctamente, y deben empezar a emitir el mensaje de nuevo, lo cual puede llegar a suceder en repetidas ocasiones. Cabe resaltar que por día cada cuadrilla atiende de quince a veinte asignaciones y donde los tiempos de atención entran dentro de indicadores de metas que se ven afectados por la deficiente comunicación via radio.

- b) Área mantenimiento de redes eléctricas: esta dependencia es la encargada de dar mantenimiento preventivo y correctivo a la red de distribución eléctrica de toda la zona servida de la CNFL.

Dentro de la maquinaria que utiliza esta área se destacan grúas, camiones y vehículos tipo pick up para los supervisores. Todos los anteriores poseen radios de comunicaciones instalados y los técnicos que ascienden a los postes deben tener radios portátiles, dentro de las funciones de esta área, está la instalación de postiería, instalación de tendido eléctrico de diversos calibres de cable tanto para tendidos secundarios de media tensión (240Vac) como de alta tensión (34KVA).

Son labores complejas, donde en la mayoría de las ocasiones se brindan los mantenimientos bajo el estado “caliente”, o sea, sin desconectar la energía eléctrica, esto para que el impacto hacia el cliente externo sea mínimo, dado esto, los trabajadores se exponen a altos niveles de corriente y a alturas superiores a los quince metros.

Las labores descritas tienen protocolos internos con pasos que deben hacer los trabajadores para disminuir el riesgo de accidentes, como parte de los protocolos, está la coordinación via radio de los trabajadores de las cuadrillas con sus supervisores y estos con el Centro de Control de Energia de la CNFL, donde llevan en bitácoras, todas las maniobras realizadas en la red, así como también los tiempos en los cuales se suspende el fluido y eléctrico y también desde este centro es posible desconectar o conectar circuitos de alta tensión.

Dado lo delicado de las labores mencionadas, es que la comunicación via radio se vuelve un aliado más dentro de las herramientas de los técnicos y por la cual emiten mensajes de suspensión de circuitos o activación de estos, por ende, los ingenieros de esta área destacan que el sistema de radio debe ser confiable y disponible las 24 horas al día, ya que esta área debe atender

averías relacionadas con postes quebrados incluso en horas fuera de horario laboral con una disponibilidad los 365 días del año, las 24 horas del día.

Cabe recalcar que la percepción de los usuarios de esta área del sistema de radio es convincente entre ellos, consideran el sistema con serias falencias en la zona oeste servida por la CNFL, con serios problemas de cobertura que los ha llevado en ocasiones a suspender mantenimientos preventivos por falta de comunicación y buscar vías alternas como el uso de celulares personales para poder salir adelante con sus trabajos. Según lo indicado en la entrevista con los ingenieros a cargo de estas cuadrillas, los mismos indican que se siente la diferencia cuando se desplazan a otras zonas a realizar las mismas labores donde no tienen queja alguna del sistema.

- c) Área alumbrado público: esta área está constituida por veinticinco grúas, las cuales son las encargadas de darle mantenimiento preventivo y correctivo al sistema de luminarias instaladas en la postería de la CNFL.

El sistema de las luminarias es de gran importancia para la población en general del país, ya que, gracias a ella, es posible tener buena visión en aceras, caminos, calles y autopistas; colabora con el manejo de los conductores de vehículos en horas de la noche y ayuda a disminuir la criminalidad en zonas oscuras, donde al eliminar la oscuridad, baja el riesgo de asaltos y trasiego de drogas.

Según lo indicado por los trabajadores de esta área, consideran el sistema de radiocomunicaciones como un aliado en sus labores diarias, ya que, por medio de este, pueden comunicarse entre cuadrillas para coordinar labores y enviar mensajes a la oficina, reportando averías finalizadas y recibiendo nuevas asignaciones, no obstante, al consultarles sobre las zonas donde consideran que necesitan algún refuerzo en el sistema de radio, concluyen que el área oeste

es la única zona del área del servida por la CNFL donde presentan serios problemas de comunicación, donde incluso, han tenido que abandonar la zona para poder establecer comunicación, ocasionando pérdidas en tiempo y donde se ven afectados índices de atención al cliente.

Según los datos emitidos por el software de monitoreo de la plataforma LCP, es posible visualizar el impacto de la utilización del sistema por parte de las dependencias afectadas como se aprecia a continuación.

*Tabla 8. Utilidad del sistema II semestre 2023*

GRUPO ID	%UTILIDAD 2023				
	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Mantenimiento	77,50	67,85	77,00	77,50	67,85
Sucursales	14,47	11,44	12,00	14,47	11,44
Alumbrado Público	2,79	8,53	6,00	2,79	8,53
Supervisores	1,97	4,73	1,00	1,97	4,73
Perdidas	1,29	3,36	1,00	1,29	3,36
Subterráneo	0,96	2,90	1,00	0,96	2,90
Calidad	0,82	1,10	1,00	0,82	1,10
PSARI	0,20	0,07	0,50	0,20	0,07
Averías 2	0,01	0,03	0,50	0,01	0,03

*Fuente: Sistema de monitoreo TrboWatch (2024).*

Como se demuestra en la Tabla 7, las dependencias de la CNFL con mayor afectación por la baja cobertura corresponden a los usuarios que históricamente utilizan con mayor frecuencia este tipo de equipo de comunicaciones, por lo que los vuelve como usuarios críticos para la institución.

Por su parte, el Área de infocomunicaciones es el encargado de suministrar el servicio de radiocomunicaciones a toda la CNFL, y, por ende, es el que recibe todas las inquietudes de las áreas antes mencionadas y donde deben brindar una solución.

A raíz de las constantes inconformidades con el sistema el Área de infocomunicaciones, se procedió a realizar un estudio de radiación por diferentes emplazamientos contemplados dentro del área servida por la CNFL, dicho estudio consistió en mediciones con el analizador de espectro para determinar por medio de niveles de potencia de señales recibidas, los lugares con mayor criticidad.

En la Tabla 7, se muestran los resultados obtenidos en el campo:

*Tabla 9. Estudio de radiación*

<b>Emplazamiento</b>	<b>Sitio de repetición</b>	<b>Nivel de señal (dBm)</b>
Parque Central San Jose	Bebedero	-72
Sabana Este	Bebedero	-65
Peaje San Rafael Escazú	Bebedero	-60
Parque San Rafael Escazú	Bebedero	-55
Parque Santa Ana Centro	Sacramento	-85
Forum Santa Ana	Bebedero	-85
Proyecto Gol Lindora	Sacramento	-75
Parque Belén	Sacramento	-70
Aeropuerto Juan Santa Maria	Sacramento	-68
La Guácima centro	Bebedero	-82
Planta Hidroeléctrica La Garita	Sacramento	-90
Planta Hidroeléctrica Brasil	Sacramento	-90
Estadio Santa Ana	Bebedero	-90
Gasolinera Ciudad Colón	Sacramento	-95
Parque Ciudad Colón	Sacramento	-98
Alto de Quitirrisi	Sacramento	-102
Universidad para la Paz	Sacramento	-100
Alto La Palma	Sacramento	-108
Iglesia Puriscal	Sacramento	-106

*Fuente: mediciones en campo realizadas por los técnicos de radio (2024).*

Según lo indicado por los técnicos de radio, y basados en manuales técnicos emitidos por los fabricantes de equipos de radiocomunicaciones, para que un enlace de radiocomunicaciones sea confiable y estable, no debe sobrepasar los niveles de -90 dBm, como se puede observar,

mediante las mediciones realizadas en el campo con el analizador de espectros, se corrobora científicamente que existen lugares con problemas de cobertura (marcados en color rojo), y donde los mismos efectivamente corresponden a la zona oeste servida por la CNFL.

### **4.3 Estudio de potenciales sitios de repetición**

Como parte de la investigación con el personal de Infocomunicaciones y proveedores de servicios de radiocomunicaciones, se plantean tres sitios potenciales de repetición, los cuales geográficamente podrían dar la solución al problema planteado en esta investigación y se citan a continuación:

1. Cerro volcán Poás: ubicado en las faldas del Parque Nacional Volcán Poas, en Alajuela, con una altura de 2525 m.s.n.m
2. Cerro Alajuela: ubicado en Sabanilla de Alajuela, con una altura de 1295 m.s.n.m
3. Parque Eólico Santa Ana: ubicado en Salitral de San Ana, con una altura de 1800 m.s.n.m.

#### **4.3.1 Estudio de propagación de señal de los potenciales sitios de repetición**

Para poder determinar la propagación de la señal desde el punto de vista técnico y científico, se utilizarán los datos que brinda el software de simulación radio Mobile, donde en este se programarán las especificaciones de transmisión y recepción de los equipos, tanto de los repetidores como de los equipos de campo (móviles y portátiles), se podrá observar por medio de la simulación de radioenlace y de cobertura radial llamada en el software como cobertura radial cartesiana combinada.

En la medición por medio de radio enlace, será posible obtener datos estadísticos del enlace de radiocomunicación, como son prioritariamente para esta investigación los que corresponden al nivel de señal recibida (Rx Level) y la distancia del enlace dada en kilómetros.

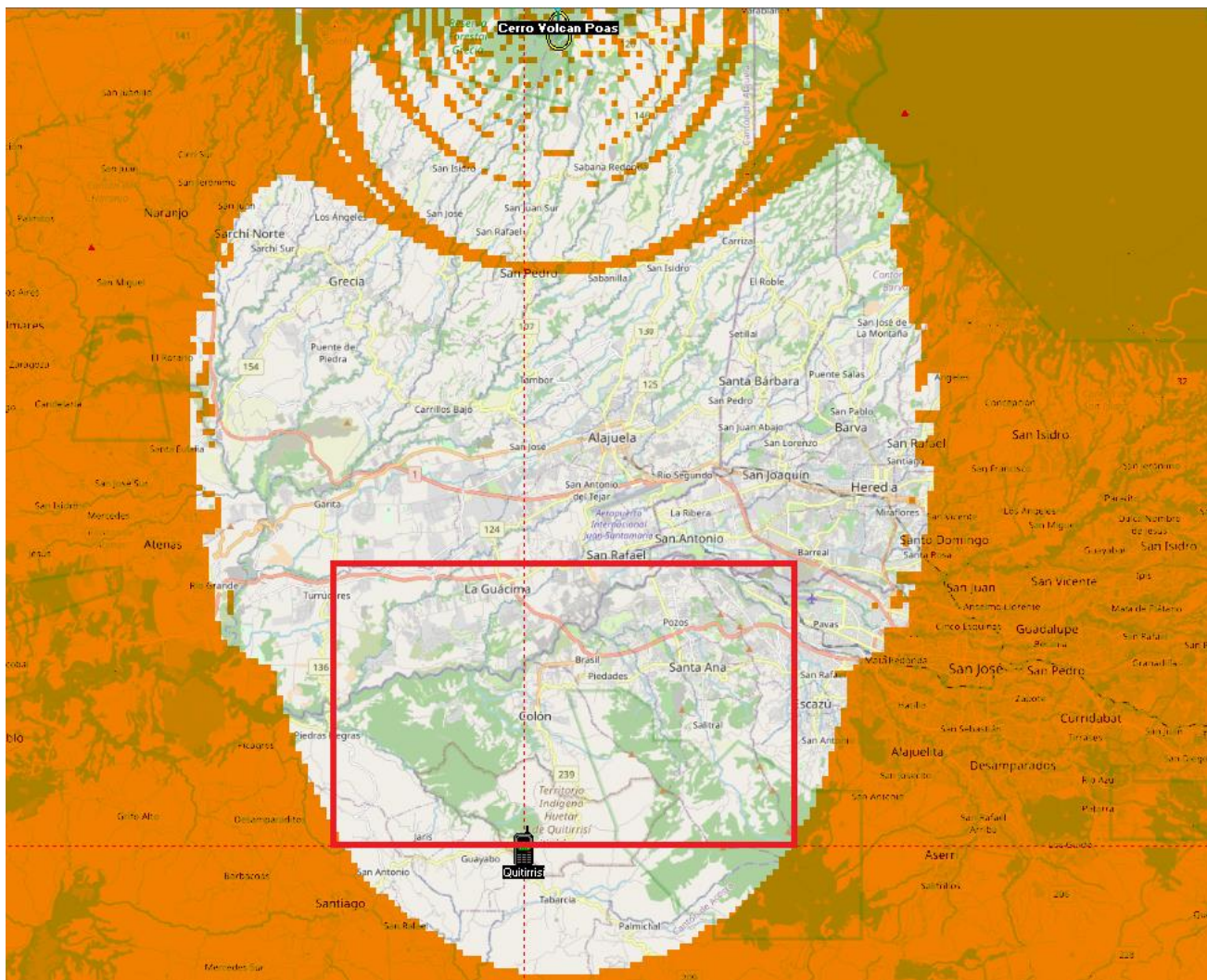
Por su parte, la cobertura radial cartesiana combinada es un concepto utilizado en telecomunicaciones donde se combinan dos sistemas de coordenadas diferentes para representar o analizar por medio de un gráfico una área o espacio definido, en este caso corresponde al área con problemas de radiación del sistema de radiocomunicaciones.

Para el caso del simulador radio Mobile, esta muestra una zona de calor de color naranja, la cual es la zona de exclusión o bien también llamada zona de no cobertura, por ende, todos los lugares que estén bajo este gráfico dentro las simulaciones que se mostrarán serán consideradas como de nula o pobre cobertura.

Los resultados que se mostrarán corresponderán a la cobertura de cada uno de los cerros contra el lugar llamado Quitirrisi. De manera práctica, se selecciona este lugar ya que es el sitio donde finalizan las líneas de distribución de la CNFL es en la zona oeste, por ende, se considera como el sitio más lejano donde los trabajadores podrían llegar a atender averías, o bien, algún mantenimiento preventivo.

### 4.3.1.1. Simulación de radiación desde el Cerro Volcán Poás

#### Medición #1. Cobertura radial cartesiana combinada.



*Ilustración 32. Simulación radiación Volcán Poás*

*Fuente: Software de simulación Radio Mobile (2024).*

Como se puede observar en la Ilustración 32, se denota en color rojo la zona establecida dentro de la problemática de la investigación, además, la pintura color naranja del gráfico determina las zonas con pobre o nula radiación de señal proveniente del cerro Volcán Poás.

Según lo indicado en la simulación, este sitio podría catalogarse técnicamente potencial para ser considerado como sitio de repetición para esta zona, ya que la misma se observa dentro del área de radiación.

### Medición #2. Radio link

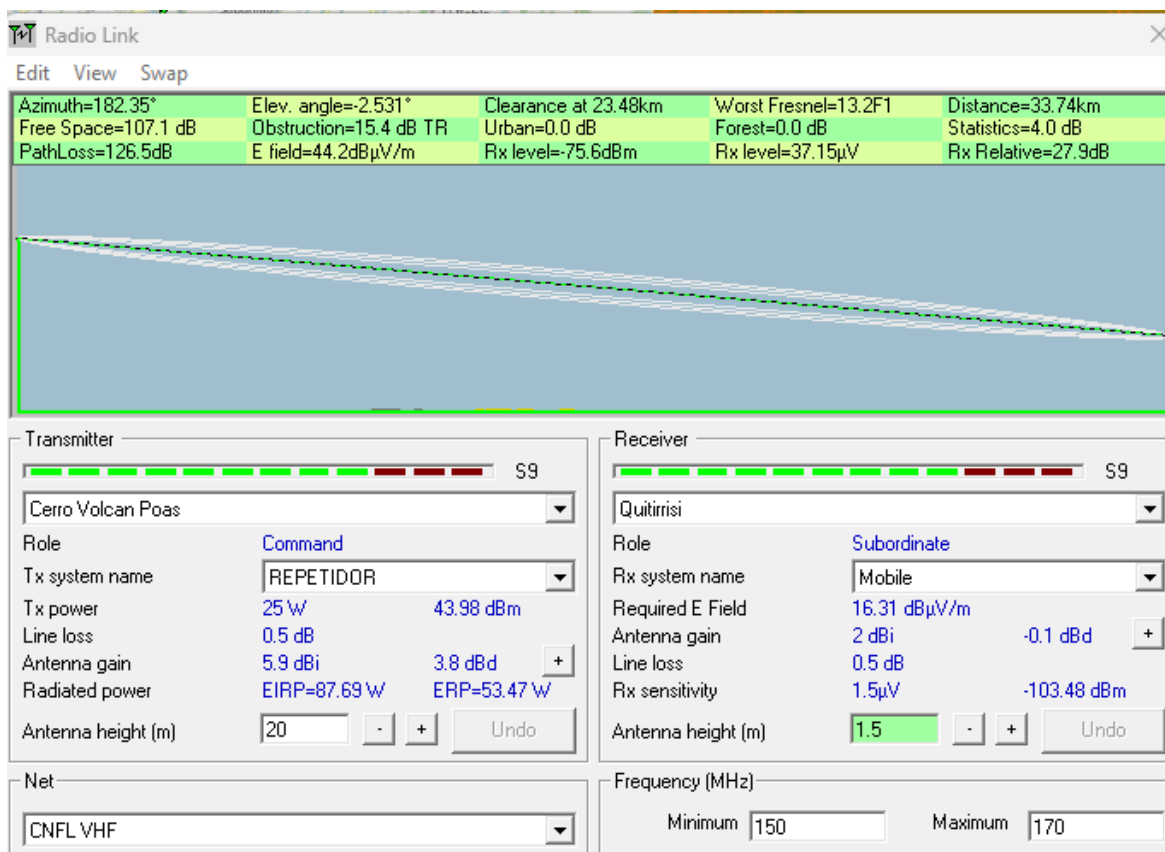


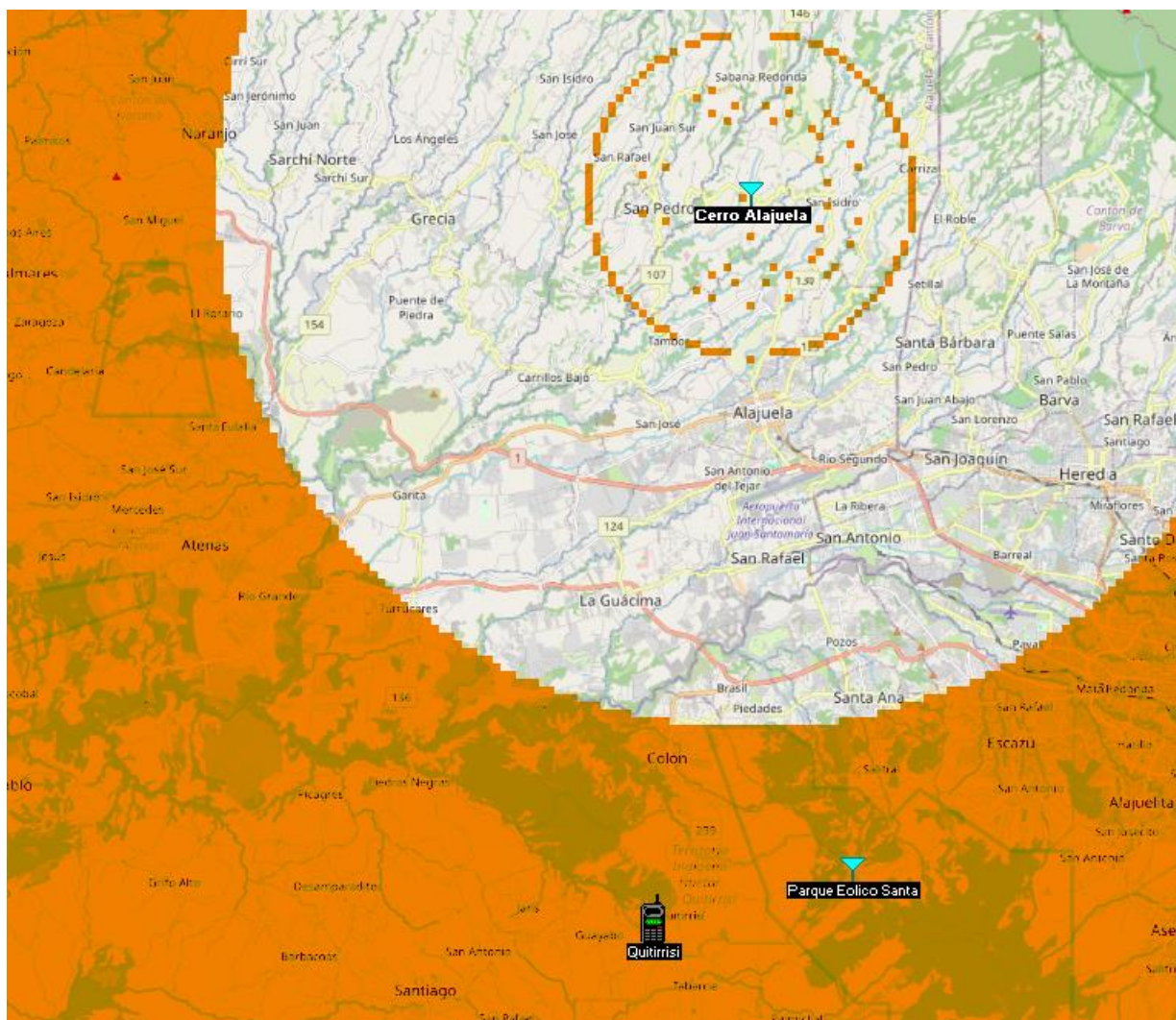
Ilustración 33. Radio link Volcán Poás

Fuente: Software de simulación Radio Mobile (2024).

Como se observa en la medición por medio del Radio Link, este enlace puede dar hasta -75.6 dBm en la recepción, lo cual está dentro de los parámetros admitidos como señal válida para un sistema de radiocomunicaciones y a una distancia de 33,74 Km. Esta última podría ser un inconveniente, ya que en caso de que el transmisor sufra una disminución en su potencia de salida, influiría directamente sobre la señal de recepción.

### 4.3.1.2 Simulación de radiación desde el Cerro Alajuela

#### Medición #1. Cobertura radial cartesiana combinada



*Ilustración 34. Simulación de radiación Cerro Alajuela*

*Fuente: Software de simulación Radio Mobile (2024).*

Según los datos obtenidos por medio del software de simulación, se observa que la zona de Quitirrisi se encuentra por fuera de la zona de radiación del Cerro Alajuela, por lo que se da por descartado como potencial sitio de repetición.

## Medición #2. Radio link

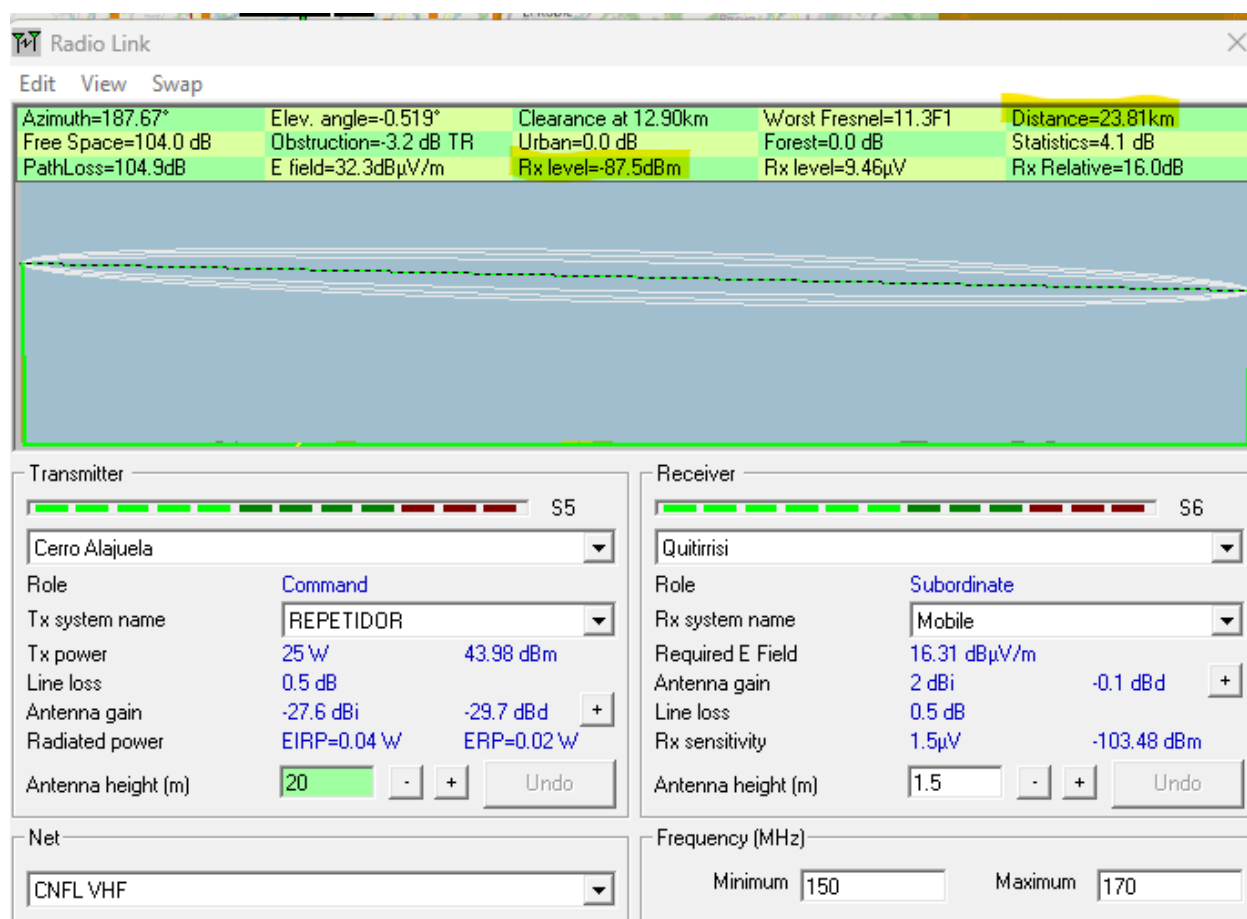


Ilustración 35. Radio Link Cerro Alajuela

Fuente: Software de simulación Radio Mobile (2024).

En la medición de radio link se corrobora por medio de estadísticas, que el sitio de repetición Cerro Alajuela no logra emitir señal hasta la zona en problemática, ya que se observa que la señal recibida en el Quitirisi es de -87, 5 dBm (valor teórico), donde si se le agregan factores climáticos y montañosos que pueden llegar a ser según los fabricantes de 3 a 5 dBm adicionales, este valor superaría los -90 dBm permitidos para establecer una señal confiable y estable.

### 4.3.1.3 Simulación de radiación desde el Proyecto eólico Santa Ana

#### Medición #1. Cobertura radial cartesiana combinada

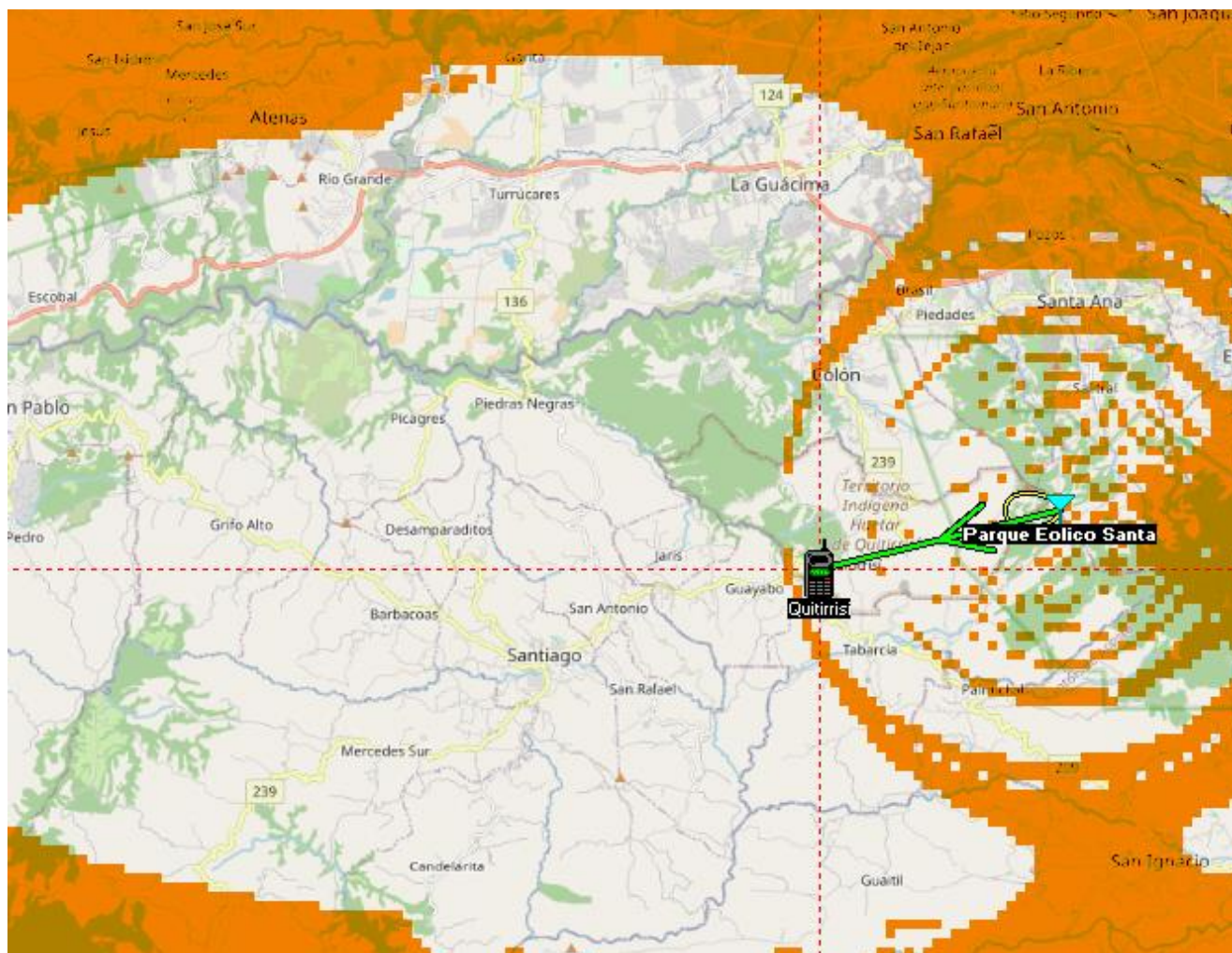


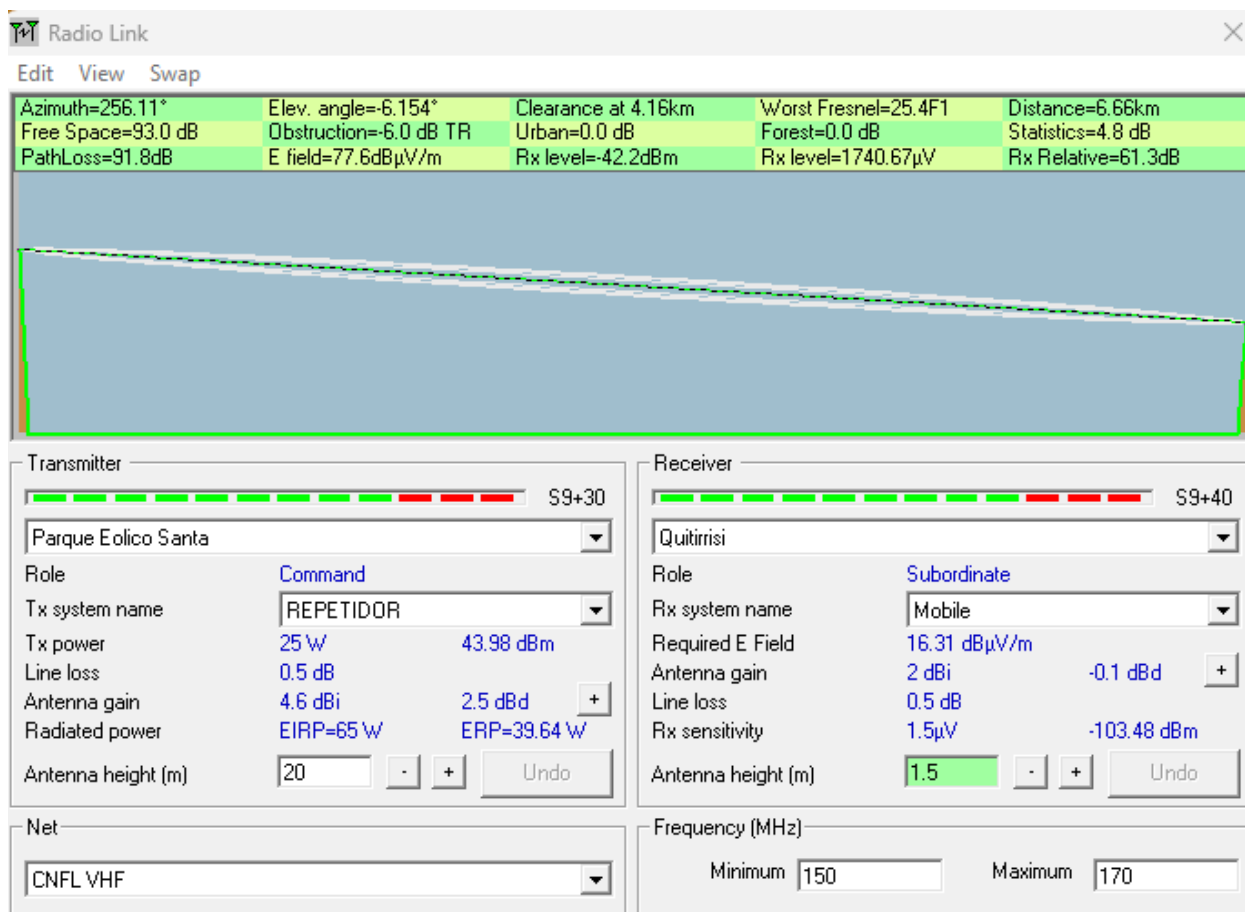
Ilustración 36. Simulación radiación Proyecto eólico Santa Ana.

Fuente: Software de simulación Radio Mobile

De acuerdo con la simulación mostrada en la Ilustración 36, el Proyecto eólico Santa Ana, brinda una cobertura teórica superior al 90% sobre la zona problemática, lo cual se considera como aceptable dentro de los parámetros brindados por los fabricantes y proveedores locales en sistemas

de radiocomunicaciones, por lo que se considera que este lugar es el sitio apto para solventar los problemas de radiación del sistema de radiocomunicaciones.

### Medición #2. Radio link



*Ilustración 37. Radio Link Proyecto eólico Santa Ana*

*Fuente: Software de simulación Radio Mobile(2024).*

Adicional a lo observado en el gráfico de cobertura radial cartesiana, en la Ilustración 37 se termina de consolidar que el Proyecto eólico Santa Ana cumple con lo requerido para establecerse como sitio de repetición, ya que, según los datos estadísticos, se presenta un nivel de señal de recepción de -42.2 dBm superior al mínimo esperado en sistemas de radiocomunicaciones que son -65 dBm según los proveedores, por ende, se considera como una señal excepcional.

En este caso, la cercanía del Proyecto Eólico con la zona problemática es de gran ayuda, ya que la distancia en línea recta como se observa en el radio link es solo de 6,66Km y el efecto de este rubro se ve evidenciado en la Ilustración 38, donde a modo de simulación se hace el supuesto de una posible avería del equipo donde este repetidor presenta una baja en la potencia de salida de solo 0.5 W en lugar de los habituales 25W.

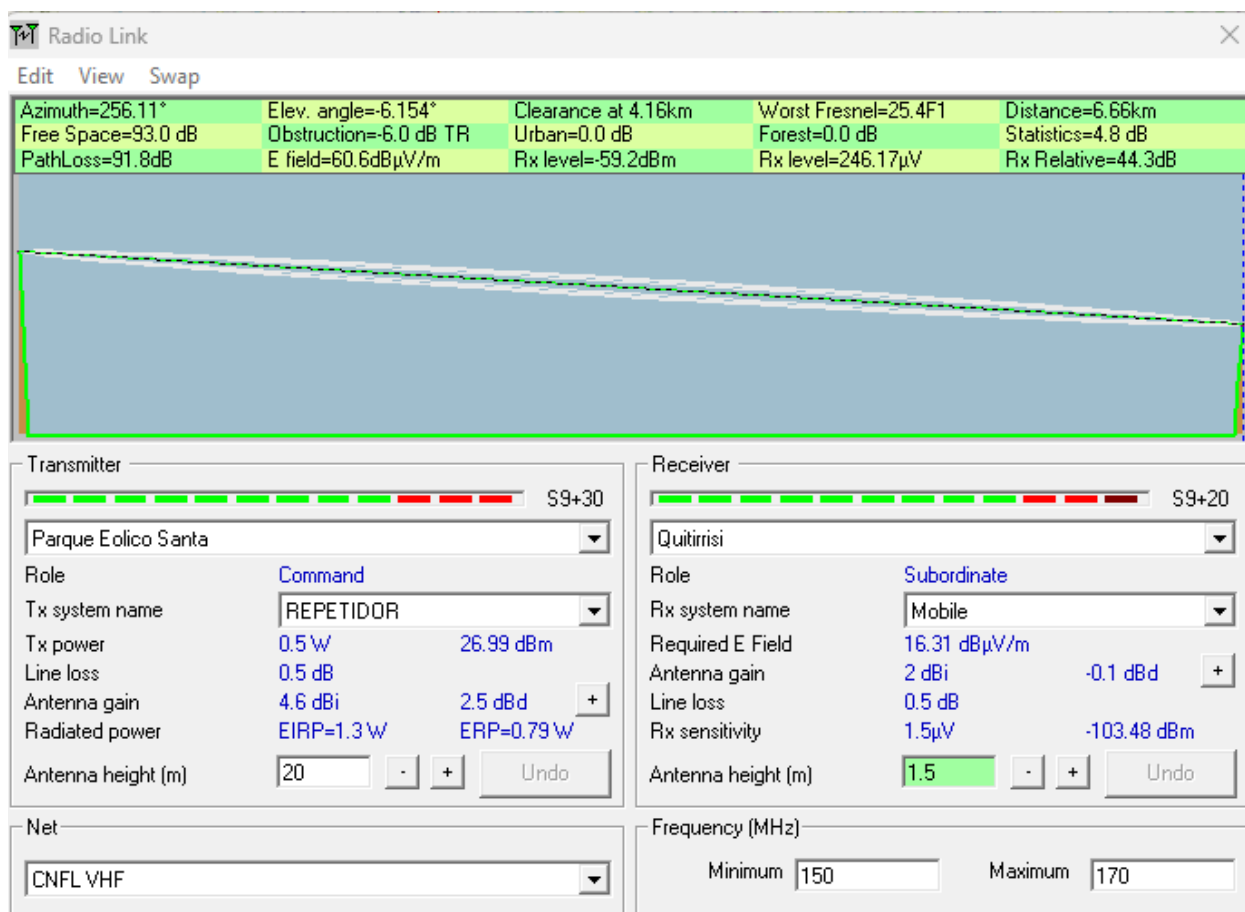


Ilustración 38. Simulación efecto pérdida de potencia

Fuente: Software de simulación Radio Mobile. (2024)

Como se observa en la simulación, incluso teniendo una pérdida de potencia en el equipo repetidor, se mantiene un nivel de la señal aceptable teórica de -59.2 dBm. Este dato es de gran ayuda, ya que significa que los equipos podrían ser calibrados incluso con menos potencia de lo habitual y así alargar la vida útil tanto de los repetidores como de las fuentes de alimentación y,

por ende, los sistemas de respaldo eléctrico del sitio podrían ser dimensionados de menor capacidad, lo cual influye directamente en costos de este tipo de equipos y brindando la misma estabilidad a los equipos respaldados por este.

### 4.3.2 Matriz comparativa de los sitios de repetición

Tabla 10. Matriz comparativa de sitios de repetición

Sitios de repetición			
Características	Volcán Poás	Cerro Alajuela	Proyecto eólico Santa Ana
Propietario	Empresa Radifax	Empresa MAF	CNFL
Condiciones Climáticas adversas	Lluvia ácida Volcánica	Lluvia, viento	Viento
Acceso	Carretera Asfaltada	Carretera Asfaltada	Carretera Asfaltada
Duración hasta el sitio desde San Jose	1,5 horas	1 horas	40 minutos
Seguridad	candados en caseta	candados en caseta	Oficial de empresa privada, alarma y CCTV
Costo Mensual	\$1.000,00	\$1.000,00	\$0,00
Cumplimientos técnicos (segun simulaciones)	Cumple parcialmente	No cumple	Cumple
Sistemas de respaldo	Baterías	Baterías	Inversor de corriente

Fuente: datos recolectados mediante entrevista a proveedores (2024).

De acuerdo con la Tabla 10, se pueden notar datos interesantes que son de consideración a la hora de elegir un sitio de repetición, como se detalla a continuación:

Propietario: es importante saber quién es el dueño de la propiedad, que sea una empresa seria, formal y con experiencia en el arrendamiento de este tipo de emplazamientos, donde se responsabilice por daños a los equipos, robos, hurtos y demás; en este caso como se observa, se tiene la ventaja de que la CNFL posee un centro de datos en el Proyecto eólico Santa Ana, por ende, no se ve en la obligación de arrendar a terceros espacios ni torres de comunicaciones.

Condiciones climáticas adversas: como es de esperarse, al estar ubicados los sitios de repetición en lugares altos y montañosos, existen condiciones climáticas que deben ser consideradas para tomar las precauciones del caso, y así garantizar la continuidad de los equipos; como se puede observar en el caso del Volcán Poas, a pesar de tener una altura considerable, tiene una desventaja, que es la constante lluvia ácida emitida constantemente por la actividad volcánica, lo que conlleva a un deterioro más acelerado de los equipos instalados, en tanto que acelera la corrosión de estos y, por ende, ocasiona un reemplazo de equipos con un tiempos más acelerado de lo normal; en el caso de los otros dos sitios, el agua y el viento sí podría ser un riesgo más controlado, tomando las precauciones de caso por medio de reforzamiento de anclajes de las torres, principalmente, y con un debido mantenimiento preventivo.

Acceso: es importante tener un camino con buenas condiciones que garantice a los técnicos su traslado con seguridad, ya que según indican los funcionarios del Área de infocomunicaciones, deben trasladar equipos de calibración y medición constantemente para realizar labores de mantenimiento preventivo y correctivo.

Duración hasta el sitio desde San Jose: los tiempos de traslado desde San Jose hasta el sitio de repetición repercute directamente en los tiempos de atención en averías y, por ende, la disponibilidad del sistema al usuario final.

Seguridad: la seguridad es un aspecto muy importante, ya que el sitio de repetición debe poseer mecanismos de control de riesgos que minimicen los hurtos y robos en la infraestructura y equipos instalados, además, garantizar que los equipos no se vean alterados por la manipulación de terceros, ocasionado averías. Como se observa en la matriz, la CNFL posee varios mecanismos de control que sobrepasan a los brindados por las empresas Radifax y MAF, esto porque la CNFL, posee internamente lineamientos y reglamentos para mantener en buenas condiciones y proteger los activos de la empresa que son adquiridos mediante fondos públicos y, por ende, se tiene ese compromiso con los clientes de la empresa.

Costo mensual: los sitios de repetición son considerados negocios de alquiler para empresas que brindan servicios de radiocomunicaciones en el país y, por ende, devengan un costo mensual que debe ser contemplado dentro del presupuesto. En este caso, al tener la CNFL su propio espacio no necesita tener una partida presupuestaria para este fin.

Cumplimientos técnicos: es la fase previa, corresponde al estudio de ingeniería donde se determina en gran medida si el sitio es apto y que tenga capacidad de irradiar sobre la zona requerida.

Sistemas de respaldo: al estar los equipos de radiocomunicaciones instalados en lugares donde existe el riesgo de cortes de fluido eléctrico, esto por las condiciones del clima, se hace necesario tener fuentes de energía alternas que mantengan los equipos en funcionamiento si llegara a darse un evento como el indicado, es por esto que la CNFL en sus nodos de comunicaciones posee sistemas basados en inversores de corriente con doble entrada de alimentación, esto quiere decir que tienen una entrada con gas LPG y una secundaria con banco de baterías. Según indican los funcionarios del Área de infocomunicaciones, estos sistemas tienen la capacidad de dar autonomía a los nodos de comunicaciones hasta por veinte horas interrumpidas, lo cual garantiza

la continuidad del servicio de radiocomunicaciones en caso de pérdida de fluido eléctrico en el sitio.

#### **4.4 Diseño y distribución de equipos**

Partiendo del hecho de que las dependencias involucradas en la problemática son Sucursal Escazú, Averías, Mantenimiento de redes aéreas y alumbrado público, serían máximo cuatro canales de voz transmitiendo al tiempo; y teniendo claro que los equipos repetidores Motorola tienen capacidad de transmitir dos canales virtuales al mismo tiempo, se determina necesario un mínimo de dos repetidores para este sitio de repetición.

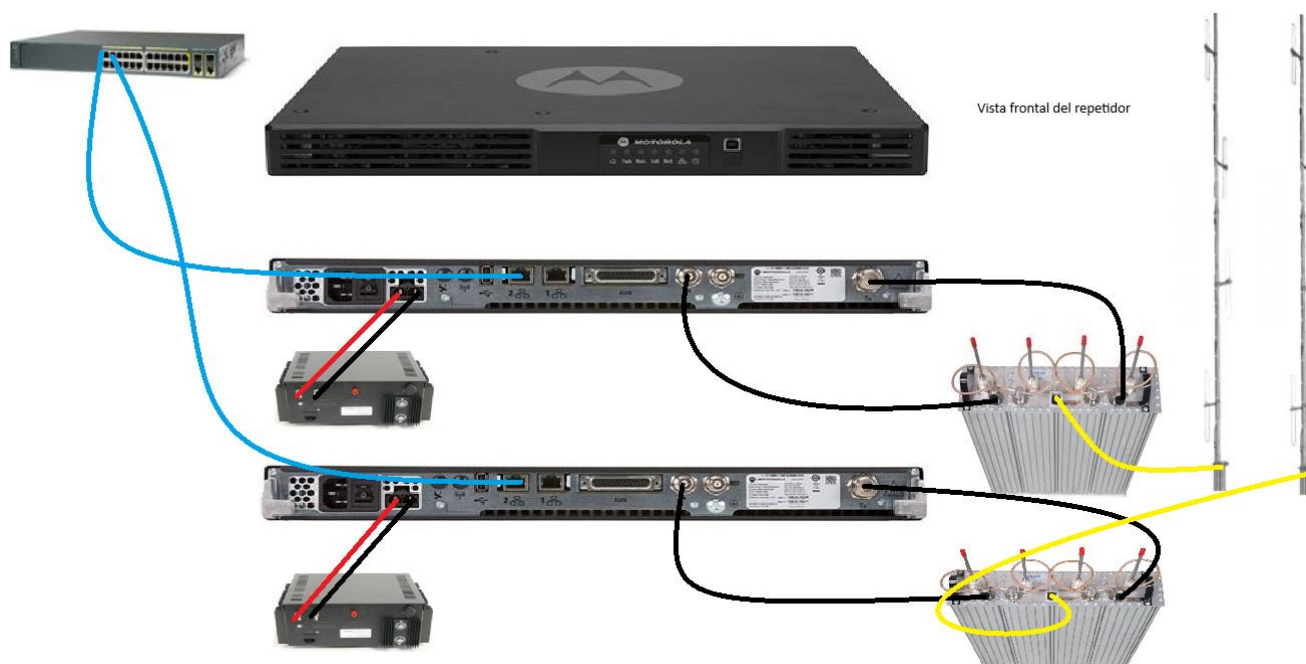
La nomenclatura para estos dos repetidores dentro del sistema sería:

- S4 R1
- S4 R2

Nótese en la nomenclatura, que ya se incorpora el término “S4”, ya que se seguiría el consecutivo de los tres sitios implementados, y por cuestión de orden, cada uno de ellos deberá ser R1 y R2, esto para identificarlos en los sistemas de monitoreo y desplegar estadísticas correctamente.

Los dos equipos que se instalarán se tomarán del sitio 1 Sacramento, ya que, según lo observado en los reportes del sistema de monitoreo, tienen un porcentaje de utilización bastante bajo.

Gráficamente los equipos deberán estar conectados de la siguiente manera:



*Ilustración 39. Conexión de equipos para sitio S4.*

Según se observa en la Ilustración 39, se puede determinar que para que el sistema opere correctamente, tiene cuatro tipos de cableado a considerar:

1. Cable UTP: mostrado en color azul, es el encargado de brindar la conectividad de la red local ethernet con cada uno de los repetidores y con eso se logra incorporarlos al sistema LCP, este cable debe ser un patchcord mínimo categoría 5e.
2. Cableado de alimentación DC: es el encargado de suministrar la energía eléctrica de las fuentes de alimentación Astron RM-35M (refiérase al Anexo 6), para este caso el repetidor necesita 13,8 VDC.
3. Cableado coaxial RG-141 (Anexo 5): este cable mostrado en color negro es el encargado de transportar las señales tanto de recepción como de transmisión que viajan del repetidor al duplexor y viceversa, estos cables deben ser medidos y cortados a la

medida según las frecuencias utilizadas para recibir y transmitir, por ende, al tener diversidad de frecuencias en el espectro no se pueden adquirir de fábrica.

Para realizar este cable es necesario aplicar la siguiente fórmula matemática:

$$\lambda = \frac{\left(\frac{c}{f}\right) * VP}{2}$$

Donde:

$\lambda$  = corresponde la longitud del cable (m)

c= velocidad de la luz al vacío  $3 \times 10^8$  m/s

f = frecuencia de operación (RX o TX)

VP = velocidad de propagación del cable elegido.

4. Cable coaxial tipo Heliax ( Anexo 4): señalado en color amarillo, este tipo de cable es utilizado para conectar el duplexor con la antena instalada en torre de comunicaciones, se sugiere utilizar este tipo de cable, ya que posee mejor fuerza mecánica, mejor blindaje y una velocidad de propagación aceptable. Este tipo de cable tiene dentro de sus bondades ser el ideal para ambientes con alta humedad, vientos acelerados y lluvias constantes.

Instalación de las antenas db-224C.

Las antenas deberán ser instaladas según los datos mostrados en el simulador Radio Mobile, ya que el este software fue calibrado con base en las especificaciones técnicas de esta antena, y el resultado del cálculo se muestra a continuación:

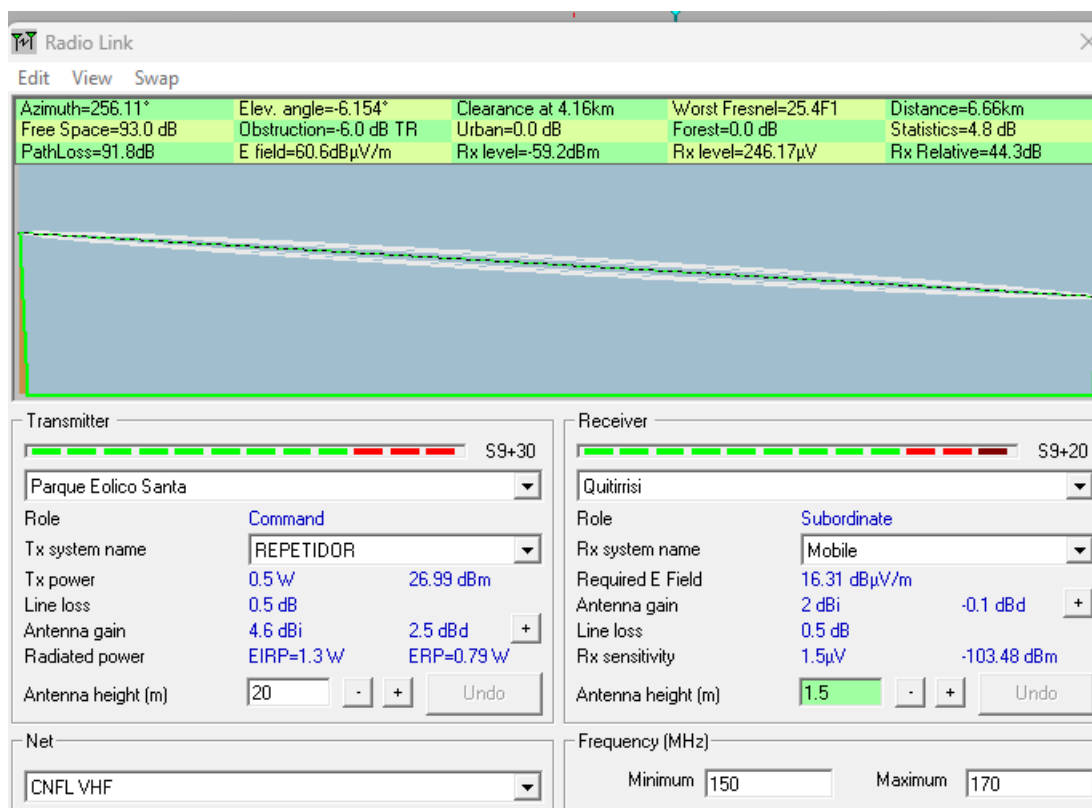


Ilustración 40. Instalación de antenas

Fuente: Software de simulación Radio Mobile (2024).

De los datos mostrados, es importante que los técnicos instaladores apliquen los siguientes datos:

- a) Azimut= 256,11°.
- b) Angulo de elevación= -6.154°.
- c) Altura mínima de la antena respecto al suelo = 20 m.

El realizar una instalación correcta y tomando como base lo indicado, radica en que el enlace de comunicaciones sea estable y sin interrupciones.

#### 4.5 Implementación del sitio de repetición

A continuación, se muestran imágenes de los equipos implementados en el sitio de repetición Proyecto eólico Santa Ana:

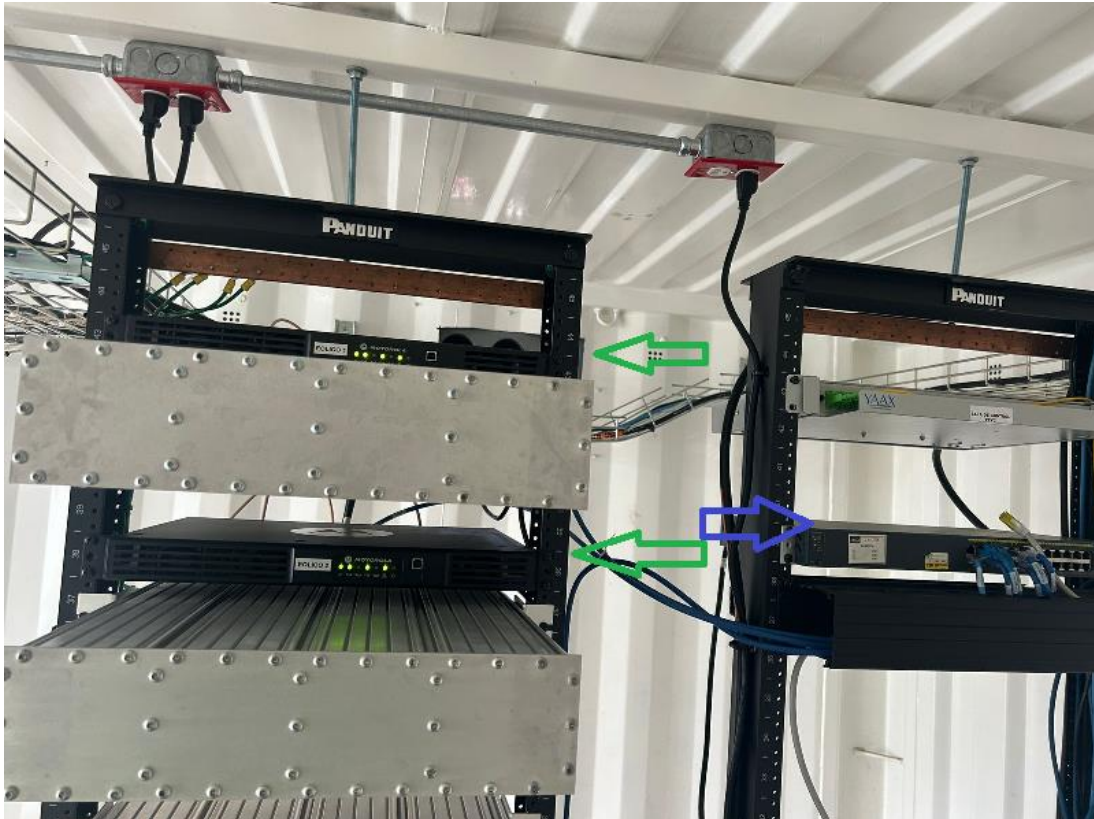


*Ilustración 41. Antenas instaladas*

En la Ilustración 41 se observan dos torres de comunicaciones, en la marca color verde se indican las ubicaciones de las antenas para los equipos repetidores. Esta torre de comunicaciones tiene una altura máxima de 24 m, por ende, se cumple con la altura mínima recomendada según la simulación de la Ilustración 40.

Por su parte, en la ilustración 42, se pueden observar los dos repetidores instalados en el rack, estos repetidores fueron desinstalados del sitio 1 Sacramento para ser reutilizados en el Sitio

4, se marcan los repetidores con flejas de color verde, y adicional en color azul se muestra la red local Ethernet.



*Ilustración 42. Vista frontal de instalación de equipos en el rack*

A continuación, en la Ilustración 43, correspondiente a una imagen trasera de los equipos instalados en el rack, se pueden apreciar los cableados sugeridos en esta investigación, los cuales están marcados de color verde (cable RG-141), color azul (cable de red Categoría 5e) y color rojo (cable tipo Helix).



Ilustración 43. Vista trasera, conectividad de cables

#### 4.6 Estadísticas de operación del sitio de repetición

Una vez implementados los repetidores indicados en el sitio S4 Proyecto eólico Santa Ana, es posible extraer del sistema de monitoreo las siguientes estadísticas, evidenciando el uso de los equipos:

Como es posible observar en la Tabla 11, tomando una muestra de los datos estadísticos que brinda el software de monitoreo TrboWatch, es posible evidenciar que los repetidores implementados permanecen en constante conexión, con un 100% de efectividad y donde el porcentaje de actividad correspondiente al tráfico de llamadas de voz y señalización no sobrepasa valores de 40%, por ende, no llega a considerarse como un sitio crítico, lo cual le garantiza a la CNFL disponibilidad de incorporar incluso más grupos laborales de ser necesario al sistema.

Tabla 11 Estadísticas de operación

Timeframe: Hour	State	S4 EOLICO 1 / 540 (LCP_CNFL)		S4 EOLICO 2 / 541 (LCP_CNFL)	
		Duration, h:m:s.ms	Duration, %	Duration, h:m:s.ms	Duration, %
04:09:2024 11:38:35	Activity	00:08:48,570	14,68	00:08:55,570	14,88
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
04:09:2024 12:38:35	Activity	00:20:11,770	33,66	00:20:17,900	33,83
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
04:09:2024 13:38:35	Activity	00:17:38,280	29,40	00:14:03,350	23,43
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
04:09:2024 14:38:35	Activity	00:16:27,000	27,42	00:15:30,700	25,85
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
04:09:2024 15:38:35	Activity	00:19:49,090	33,03	00:17:40,410	29,46
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
04:09:2024 16:38:35	Activity	00:15:21,670	25,60	00:18:57,060	31,59
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
04:09:2024 17:38:35	Activity	00:15:30,660	25,85	00:11:30,080	19,17
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
04:09:2024 18:38:35	Activity	00:05:48,000	9,67	00:07:40,850	12,80
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
04:09:2024 19:38:35	Activity	00:06:35,000	10,97	00:06:41,600	11,16
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
04:09:2024 20:38:35	Activity	00:12:00,730	20,02	00:06:55,380	11,54
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
04:09:2024 21:38:35	Activity	00:01:51,190	3,09	00:01:56,960	3,25
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
04:09:2024 22:38:35	Activity	00:05:36,680	9,35	00:05:31,300	9,20
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
04:09:2024 23:38:35	Activity	00:05:21,480	8,93	00:08:39,120	14,42
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
05:09:2024 00:38:35	Activity	00:09:21,320	15,59	00:09:20,050	15,56
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
05:09:2024 01:38:35	Activity	00:04:16,990	7,14	00:08:06,340	13,51
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
05:09:2024 02:38:35	Activity	00:00:47,680	1,32	00:00:50,900	1,41
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
05:09:2024 03:38:35	Activity	00:01:05,620	1,82	00:00:54,900	1,53
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
05:09:2024 04:38:35	Activity	00:00:12,630	0,35	00:01:46,930	2,97
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
05:09:2024 05:38:35	Activity	00:02:01,300	3,37	00:00:15,920	0,44
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
05:09:2024 06:38:35	Activity	00:04:55,500	8,21	00:04:50,490	8,07
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00
05:09:2024 07:38:35	Activity	00:21:35,310	35,98	00:21:22,570	35,63
	Connection	01:00:00,000	100,00	01:00:00,000	100,00

Fuente: Datos extraídos del software TrboWatch (2024).

También es posible visualizar los números mostrados anteriormente, por medio gráfico, donde su interpretación brinda con mayor claridad el porcentaje de utilización o carga del sistema con los repetidores sugeridos en esta investigación.

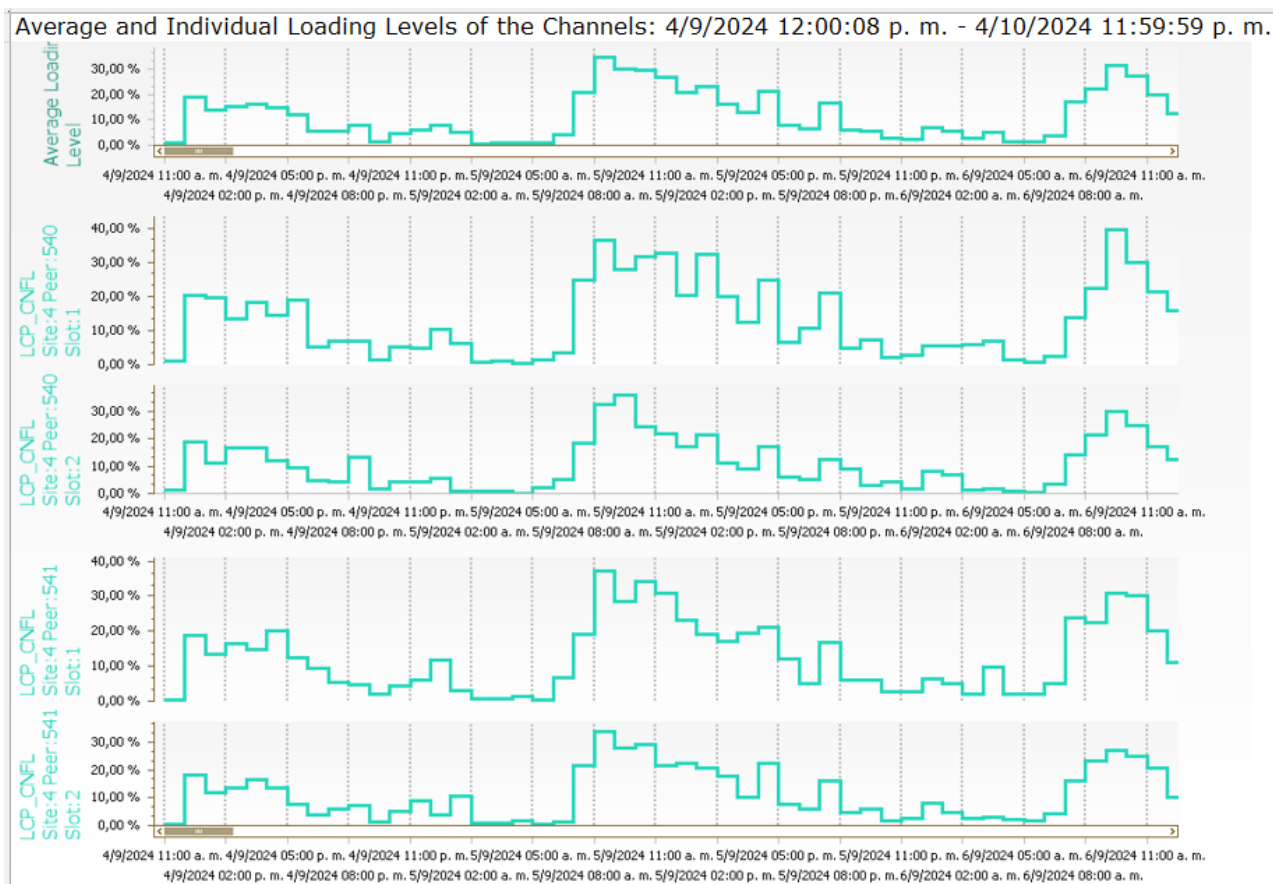


Ilustración 44. Porcentaje de utilización del sitio 4

Fuente: Datos extraídos del software TrboWatch (2024).

Como se había mencionado anteriormente en esta investigación y como recomendación de fabricantes y vendedores de estas tecnologías, el porcentaje que refleja una saturación del sistema es de 70%. Se puede notar en la Ilustración 44 que ninguno de los slots del sitio 4 llega incluso a superar el 40%, lo cual muestra un sistema balanceado y holgado, lo que garantiza que los equipos eviten ser estresados y lleguen a sufrir problemas de calentamiento.

#### 4.7 Costo beneficio del proyecto

Partiendo de la premisa donde la CNFL tenga que adquirir equipos para la implementación de este sitio de repetición se procede a cotizar los equipos más relevantes y costosos que son necesarios para emitir señales de radiocomunicación de un puesto de repetición, dentro de los cuales se tienen las antenas, cables, conectores, Duplexores, repetidores y fuentes de alimentación; el detalle de los costos se muestra a continuación:

Tabla 12. Costos de equipos para sitio 4

Nombre	Cantidad	Precio Unitario	Precio final con IVA
Repetidora Motorola VHF	2	¢1.476.349,92	¢ 3.336.550,82
Duplexor VHF	2	¢1.014.990,57	¢ 2.293.878,7
Antena 4 dipolos	2	¢ 679.062,00	¢ 1.534.680,12
Cable coaxial Heliax	100m	¢ 5.072,35	¢ 573.175,55
Fuente de poder	2	¢ 254.214,00	¢ 574.523,64
Conector Heliax N Hembra	2	¢18.454,37	¢ 20.853,44
Conector Heliax N Hembra	2	¢18.454,37	¢ 20.853,44
Torre de comunicaciones	45 metros	¢197.080	¢2.956.200
		TOTAL	¢11.310.715,71

Fuente: Cotizaciones Empresa Radifax y Syscom (2024).

Los costos totales para la implementación superan los 11 millones de colones. Como se observa en la tabla 12, en esta no se contempla el valor de la mano de obra, ya que la CNFL posee técnicos capacitados para realizar esta instalación y al ser parte de la planilla ordinaria de la institución no conlleva un costo adicional para ejecutar el proyecto.

Ahora bien, apegados a los lineamientos del Grupo ICE en relación con la implementación de proyectos dentro de sus instituciones, se establece que los proyectos en su mayoría se deben ver como continuidad de negocio, que correspondan a fines operativos, de mantenimiento y soporte

de negocio, donde permitan cumplir con otros objetivos como la retención y fidelización de clientes, calidad del servicio, mitigación de pérdidas, aspectos regulatorios y legales, salud ocupacional, entre otros. Por su naturaleza, estos tipos de proyectos no deberían ser generadores de valor a nivel financiero y se justifican fundamentalmente por beneficios de tipo intangible que responden a objetivos técnicos y comerciales del negocio.

Es por lo anterior que se hace énfasis en el hecho de que la CNFL puede reutilizar para este proyecto equipos que se han evidenciado ociosos en el sitio de repetición 1, y reutilizar incluso torres de comunicaciones climatológicas que fueron utilizadas en el proceso de estudio de factibilidad del Proyecto eólico, torres que hoy en día existen y se encuentran en buenas condiciones.

Si se toma en consideración la posible reutilización de los equipos del Sacramento y las torres meteorológicas existentes, este proyecto se vuelve 100 % rentable para la institución, ya que no debe invertir en equipos nuevos y así el proyecto entraría en alineamiento con la política del grupo ICE en relación a los proyectos para la continuidad del negocio, lo cual solucionaría un problema operativo y generaría beneficios directos para los clientes externos con una rápida y oportuna atención, a su vez, a lo interno del equipo de trabajo institucional, se podría generar un ambiente laboral más seguro para los trabajadores, que dispondrían de un servicio de radiocomunicaciones estable y sin interrupciones, lo cual, a su vez, disminuiría el riesgo de accidentes en la red de distribución eléctrica.

## **Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones**

1. El estado actual del sistema de radiocomunicaciones digital troncalizado se encuentra en condiciones favorables en cuanto a la saturación de sus canales, ya que ninguno de estos supera el 70% de utilidad, valor máximo determinado por fabricantes y vendedores, con esto es posible reasignar equipos repetidores que se encuentran con poca actividad al sitio de repetición Proyecto eólico Santa Ana.
2. El estándar DMR representa una evolución significativa en las comunicaciones de voz de dos vías, lo que ofrece mejoras en la calidad de la voz, uso eficiente del espectro, escalabilidad y seguridad, su adopción en la CNFL fue determinante para garantizar una viabilidad a largo plazo, al tener este un enfoque abierto y flexible.
3. La escogencia del Proyecto eólico Santa Ana como sitio de repetición, aparte de demostrarse que técnicamente solventa la problemática de la investigación, le trae a la CNFL importantes beneficios y ahorros económicos, ya que los equipos estarán bajo custodia dentro de las instalaciones de la CNFL y se aprovechan las condiciones existentes del sitio, tales como el acceso, seguridad, conectividad con Fibra óptica y se evitan alquileres mensuales de la torre de comunicaciones.
4. Según la interpretación de las estadísticas del uso del sistema de radiocomunicaciones, se demostró que CNFL podía solucionar el problema de escasa cobertura, reutilizando equipos instalados, a los cuales no se les estaba sacando provecho, con esto la empresa ahorra costos de equipos, largos tiempos en licitaciones e importaciones de equipo.

### Recomendaciones:

1. Aplicar un plan de mantenimiento preventivo periódico sobre los equipos instalados, máxime en las antenas, ya que al tener en este emplazamiento épocas del año con vientos sostenidos con velocidades considerables, podría generar desplazamiento de las antenas y se podría perder el ajuste inicial.
2. Realizar monitoreos periódicos del espectro radioeléctrico, especialmente en las bandas de frecuencias asignadas a la CNFL en el sitio de repetición, con la finalidad de detectar a tiempo posibles interferencias que sean causadas por equipos ajenos a los instalados por la CNFL y que puedan traer consecuencias en el óptimo funcionamiento.
3. Instalar un sistema redundante de comunicaciones para la red LAN, ya que de momento solo se posee comunicación con la red institucional por medio de fibra óptica; y esta podría sufrir averías al estar instaladas en un lugar con posibles caídas de árboles en época lluviosa, por lo que se podría valorar la implementación de un enlace de microondas como segundo medio de comunicación.
4. Debido a que la torre de comunicaciones aún posee capacidad de crecimiento para instalación de más equipos, sería conveniente realizar un estudio previo de ingeniería con base en las frecuencias y potencias de los nuevos equipos con la finalidad de no generar interferencias sobre los equipos instalados.

5. Aprovechando que el sistema es escalable se podrían incorporar paulatinamente más repetidores al sitio y así dar acceso a más equipos de trabajo que presenten la necesidad de cobertura en la zona oeste del área servida por la CNFL.

## Referencias bibliográficas

- Artavia Granados. D (2016). Propuesta sistema de Radiocomunicaciones Digitales Basado en tecnología DMR (Tesis inédita de Licenciatura). Universidad Latina, San José, Costa Rica.
- Compañía Nacional de Fuerza y luz. (2024). Sobre CNFL, Misión y visión de CNFL. <https://www.cnfl.go.cr/sobre-cnfl>
- Cordero C.(2016). En cinco años todas las compañías con radiocomunicación deben estar en digital. Periódico El Financiero, pág. 1
- Cordero C. (2016). En cinco años todas las compañías con radiocomunicación deben estar en digital. Periódico El Financiero, pág. 1
- Ecured (2015). Antena Yagi Uda. La Habana, Santiago de Cuba.
- Gallardo, S. (2019) Elementos de sistemas de Telecomunicaciones 2da edición.
- Hernando Rábanos, J (2013). Trasmisión por radio. Madrid, España: Editorial Centro de Estudio Ramón Areces, S.A.
- García, R. y Morales. G. (2018) Instalaciones de radiocomunicaciones 2da edición. Recuperado de <https://books.google.es/books?hl=es&lr&id=7jb-DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=concepto+de+RADIOCOMUNICACION&ots=yLCoctI-Cd&sig=kIZLXCx06x0ztubuw-rBWxP6BfA#v=onepage&q=concepto%20de%20RADIOCOMUNICACION&f=false>

Motorola Solutions (2021) Equipos de sitio Astro 25. Recuperado de [https://www.motorolasolutions.com/es\\_xl/productos/project-25-systems/astro-25-site-equipment.html](https://www.motorolasolutions.com/es_xl/productos/project-25-systems/astro-25-site-equipment.html)

Murillo Andrade C.D. (2017). Diseño de un sistema de radio troncalizado digital para un proveedor de servicio en la ciudad de Quito (Tesis grado académico de bachillerato). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

Poma Gordillo. W (2015). Estudio técnico y de factibilidad para la implementación de un sistema de radiocomunicaciones digitales basado en el estándar tetra para mejorar el servicio de comunicaciones privadas al Simert del GAD municipal de Loja.(Tesis inédita de Bachillerato) Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador.

Sampieri. R (2014). Metodología de la Investigación. 6ª ed. México DF, México:

Editorial Mc Graw Hill.

Sampieri. R, Romo, A. Valencia. S, Torres. C (2017). Fundamentos de Investigación. México DF, México: Editor McGraw-Hill/Interamericana.

Sampieri. R (2014). Metodología de la Investigación. 6ª ed. México DF, México:

Editorial Mc Graw Hill.

Solís, E. (2008). El Espectro Radioeléctrico en Costa Rica. (Tesis inédita de Bachillerato). Universidad de Costa Rica, San Jose, Costa Rica.

Tomassi, W. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electronicas.4ª ed. Phoenix, Arizona, Estado Unidos: Editorial Pearson Education.

Wayne, T. (2003). *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. (4a. ed.). México: Pearson Educación de México, S. A.

## Anexos

### Anexo 1. Repetidor Motorola SLR 5100 VHF.

HOJA DE DATOS DE PRODUCTO  
REPETIDORA MOTOTRBO SLR5100



# REPETIDORA MOTOTRBO™ SLR5100

Para que su empresa sea exitosa, debe contar con comunicaciones de voz y datos confiables que lleguen a cada rincón de sus instalaciones. La repetidora MOTOTRBO SLR5100 ofrece servicio de radio de dos vías de alto desempeño y alta confiabilidad, con todas las funciones que necesita para conectar su lugar de trabajo.

Con su diseño elegante y bajo consumo de energía, está pensado para un bajo costo de propiedad. Y con un gran salto adelante en materia de tecnología, representa la próxima generación en repetidoras.

Versátil y potente, MOTOTRBO combina lo mejor de la funcionalidad de radio de dos vías con los últimos avances en tecnología digital. Integra voz y datos sin inconvenientes, ofrece funcionalidades avanzadas y fáciles de usar, e incrementa la capacidad de satisfacer sus necesidades de comunicación del campo a la planta de producción.

Independientemente de si lo que busca es la simplicidad de un sistema convencional de un solo sitio, o las potentes capacidades de troncalización de Capacity Plus, Linked Capacity Plus o Connect Plus, el SLR5100 pone a disposición de su fuerza de trabajo el poder del radio de dos vías digital. También puede operar como repetidora analógica, o como repetidora de modo analógico/digital combinado mientras va migrando su sistema analógico legado.

**HOJA DE DATOS DE PRODUCTO**  
 REPETIDORA MOTOTRBO SLR5100

**ESPECIFICACIONES GENERALES**

	VHF	UHF BANDA 1	UHF BANDA 2	300 MHz
Rango de frecuencia	136-174 MHz	400-470 MHz	450-512 MHz	300-360 MHz / 350-400 MHz
Capacidad de canal	64			
Potencia de salida RF	1-50 W			
Dimensiones (Al x An x P)	44 mm x 483 mm x 370 mm (1,75" x 19" x 14,6")			
Peso	8,6 kg (19 lb)			
Voltaje de entrada (CA)	11,0 - 14,4 Vcc			
Corriente (standby), 110/240 V	0,18/0,25 A			
Corriente (transmisión), 110/240 V	1,5/0,9 A			
Voltaje de entrada (CC)	11,0 - 14,4 Vcc			
Corriente (standby)	0,7 A			
Corriente (transmisión)	9,5 A			
Rango de temperatura de funcionamiento	-30°C a 60°C (-22°F a 140°F)			
Humedad	HR de 95%, sin condensación a 50°C (122°F)			
Ciclo de operación máx.	100%			
Código FCC	ABZ99FT3094	ABZ99FT4096	ABZ99FT4097	-
Capacidad de cargador de batería	12 V, 3 A			
Potencia aux. CC externa	12 V, 1 A			
Conectividad	Tx (N hembra), Rx (BNC hembra), receptáculo USB A, 2x Ethernet			
Tipos de sistemas admitidos	Convencional Analógico y Digital, IP Site Connect, Capacity Plus, Linked Capacity Plus, Connect Plus			

**RECEPTOR**

	136-174 MHz	400-470 MHz	450-512 MHz	300-360 MHz / 350-400 MHz
Rango de frecuencia	136-174 MHz	400-470 MHz	450-512 MHz	300-360 MHz / 350-400 MHz
Espaciamiento de canal	12,5 kHz / 20 kHz / 25 kHz			
Estabilidad de frecuencia	0,5 ppm			
Sensibilidad (típica)	0,22 $\mu$ V			
Intermodulación (típica)	82 dB			
Selectividad (TIA603D), 25 / 12,5 kHz 83	83/55 dB	83/55 dB	80/55 dB	55 / 80 / 80 dB
Selectividad (TIA603), 25 / 12,5 kHz 83	83/68 dB	80/63 dB	80/68 dB	68 / 80 / 80 dB
Selectividad (ETSI) 25/12,5 KHz	70/63 dB			
Rechazo intermodulación (TIA603D/ETSI)	82/73 dB			
Rechazo espúreo (TIA603D/ETSI)	95/90 dB			
Distorsión del audio	<1%			
Zumbido y ruido (12,5 kHz/25 kHz)	-45 / 50 dB			

**TRANSMISOR**

	136-174 MHz	400-470 MHz	450-512 MHz	300-360 MHz / 350-400 MHz
Rango de frecuencia	136-174 MHz	400-470 MHz	450-512 MHz	300-360 MHz / 350-400 MHz
Potencia de salida RF	1-50 W			
Ciclo de operación máx.	100%			
Espaciamiento de canal	12,5 kHz / 25 kHz**			
Estabilidad de frecuencia	0,5 ppm			
Atenuación intermodulación	40 dB			
Potencia de canal adyacente (TIA603D) 25/12,5 KHz	78/62 dB			
Potencia de canal adyacente (ETSI) 25/12,5 KHz	78/62 dB			
Emisiones de espúreas conducidas	-36 dBm < 1 GHz, -30 dBm > 1 GHz			
Fidelidad de modulación (4FSK)	Error FSK 5% Magnitud FSK 1%			
Respuesta de audio	TIA603C			
Distorsión del audio	< 1%			
Zumbido y ruido (12,5 kHz/25 kHz)	-45/-50 dB			
Limitación de modulación	$\pm$ 2,5 / $\pm$ 5,0 kHz			
Protocolo digital	ETSI-TS102 361-1/2/3			
Tipo de vocodificador digital	AMBE+2™			

## Anexo 2. Duplexor Sinclair

**SINCLAIR™**  
 Superior then, Superior now.

A Norsat Company  Norsat International Inc.

Duplexers  
 Low Band, Aviation, and VHF Duplexers  
 Q2220 Series

**Q2220E Duplexer, Q-Circuit, Res-Lok, 4 cavity, rack mount, 138-174 MHz**

- Four cavity duplexer with 70 dB of isolation
- Only 1.5 dB insertion loss at 500 KHz separation
- Isolation of 80 dB at 3 MHz spacing typical

Sinclair developed the Q2220E design coupled with our Res-Lok™ modular construction resulting in an extremely versatile duplexer offering exceptional performance. The Q2220E design provides a quasi-bandpass response, resulting in suppression of spurious and sideband transmitter noise between and adjacent to the duplex frequencies. Coupled with carefully temperature compensated components this series of duplexers ensures performance stability at very low frequency separations and insertion loss values.



#### Application Notes

- Res-Lok™ modular construction offers a variety of mounting options. The multi position brackets supplied with each duplexer allow easy rack, wall or floor mounting to suit system and equipment room limitations. A variety of system-specific configurations is available in the 138-174 MHz frequency range.

www.sinctech.com

Region	United States	Europe, Middle East and Africa	Caribbean and Latin America	Canada and rest of the world
Telephone	USA: 1 800 263 3275	International: +44 (0) 1487 84 28 19	International: +1 905 726 7676	Canada: 1 800 263 3275 International: +1 905 727 0165
E-mail	salesusa@sinctech.com	salesuk@sinctech.com	salesla@sinctech.com	salescan@sinctech.com
Product Specification Sheet		Q2220E	Issue: 106	Dated: 06-10-13

Customer Tech Manual 006658

Sinclair's commitment to product leadership may result in improvement or change to this product  
 Copyright © Sinclair Technologies

Page 1/2

# SINCLAIR

Superior then, Superior now.

A Norsat Company  Norsat International Inc.

## Duplexers Low Band, Aviation, and VHF Duplexers Q2220 Series

### Electrical Specifications

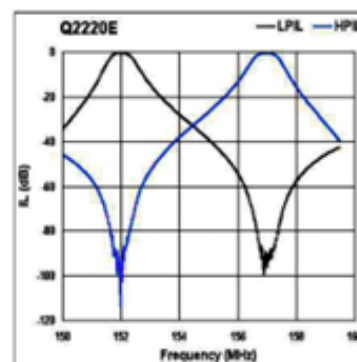
Frequency Range	MHz	138 to 174
Number of cavities Tx Side		2
Number of Cavities Rx Side		2
Input VSWR (max)		1.5:1
Impedance	$\Omega$	50
Average Power Input (max)	W	350
Input Connectors		N-Female
Output Connectors		N-Female
Frequency separation (min)	MHz	0.5
Insertion loss (max) Tx to Ant	dB	1.5
Isolation (min)	dB	70

### Mechanical Specifications

Depth	in (mm)	30.3 (770)
Length/ Height	in (mm)	4.17 (106)
Width	in (mm)	19 (483)
Weight	lbs (kg)	28 (12.71)
Finish		chromate conversion
Actual Shipping weight	lbs (kg)	33 (14.98)
Shipping dimensions	in (mm)	19.25x7x30.5 (489x178x775)
Mounting configurations		19 inch rack

### Environmental Specifications

Temperature range	*F (*C)	-40 to +140 (-40 to +60)
-------------------	---------	--------------------------



www.sinctech.com

Region	United States	Europe, Middle East and Africa	Caribbean and Latin America	Canada and rest of the world
Telephone	USA: 1 800 263 3275	International: +44 (0) 1487 84 28 19	International: +1 905 726 7676	Canada: 1 800 263 3275 International: +1 905 727 0165
E-mail	salesusa@sinctech.com	salesuk@sinctech.com	salesla@sinctech.com	salescan@sinctech.com
Product Specification Sheet		Q2220E	Issue: 105	Dated: 08-10-13

Customer Tech Manual 006658

Sinclair's commitment to product leadership may result in improvement or change to this product  
Copyright © Sinclair Technologies

Page 2/2

## Anexo 3. Antena dB-224

# Product Specifications




## DB224-C

Andrew® Omni Exposed Dipole Antenna, 164–174 MHz, 360° horizontal beamwidth, fixed electrical tilt

- Broad response
- Two-piece mast for ease of shipping

### Electrical Specifications

Frequency Band, MHz	164–174
Gain, dBi	8.1
Beamwidth, Horizontal, degrees	360
Beamwidth, Vertical, degrees	16.0
Beam Tilt, degrees	0
VSWR   Return Loss, dB	1.5   14.0
Input Power per Port, maximum, watts	500
Polarization	Vertical
Impedance	50 ohm

### General Specifications

Antenna Brand	Andrew®
Antenna Type	Omni, exposed dipole
Band	Single band
Operating Frequency Band	164 – 174 MHz
Performance Note	Outdoor usage

### Mechanical Specifications

Color	Silver
Lightning Protection	dc Ground
Radiator Material	Aluminum
RF Connector Interface	N Male
RF Connector Location	Bottom
RF Connector Quantity, total	1
Wind Loading, maximum	560.5 N @ 100 mph 126.0 lbf @ 100 mph
Wind Speed, maximum	129 km/h   80 mph

### Dimensions

Length	6477.0 mm   255.0 in
Net Weight	15.9 kg   35.0 lb

### Regulatory Compliance/Certifications

Agency	Classification
RoHS 2011/65/EU	Compliant by Exemption
China RoHS SJ/T 11364-2006	Above Maximum Concentration Value (MCV)

## Anexo 4. Cable coaxial tipo Heliax.

## LDF4-50A



LDF4-50A, HELIAX® Low Density Foam Coaxial Cable, corrugated copper, 1/2 in, black PE jacket Halogen free jacketing non-fire-retardant (General propose cable for outdoor use only)

## Product Classification

<b>Product Type</b>	Coaxial wireless cable
<b>Product Brand</b>	HELIAX®
<b>Product Series</b>	LDF4-50A
<b>Ordering Note</b>	CommScope® standard product (Global)

## General Specifications

<b>Product Number</b>	520094002/00   SZ520094902/00
<b>Flexibility</b>	Standard
<b>Jacket Color</b>	Black
<b>Performance Note</b>	Attenuation values typical, guaranteed within 5%

## Dimensions

<b>Diameter Over Dielectric</b>	12.954 mm   0.51 in
<b>Diameter Over Jacket</b>	15.875 mm   0.625 in
<b>Inner Conductor OD</b>	4.826 mm   0.19 in
<b>Outer Conductor OD</b>	13.97 mm   0.55 in
<b>Nominal Size</b>	1/2 in

## Electrical Specifications

<b>Cable Impedance</b>	50 ohm ±1 ohm
<b>Capacitance</b>	75.8 pF/m   23.104 pF/ft
<b>dc Resistance, Inner Conductor</b>	1.48 ohms/km   0.451 ohms/kft
<b>dc Resistance, Outer Conductor</b>	2.69 ohms/km   0.82 ohms/kft
<b>dc Test Voltage</b>	4000 V

# LDF4-50A

---

<b>Inductance</b>	0.19 $\mu\text{H}/\text{m}$   0.058 $\mu\text{H}/\text{ft}$
<b>Insulation Resistance</b>	100000 MOhms-km
<b>Jacket Spark Test Voltage (rms)</b>	8000 V
<b>Operating Frequency Band</b>	1 – 8800 MHz
<b>Peak Power</b>	40 kW
<b>Velocity</b>	88 %

## VSWR/Return Loss

Frequency Band	VSWR	Return Loss (dB)
680–800 MHz	1.13	24.3
800–960 MHz	1.13	24.3
1700–2200 MHz	1.13	24.3
2300–2700 MHz	1.13	24.3

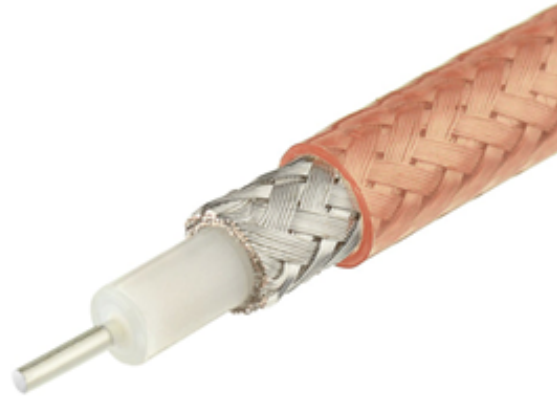
## Attenuation

Frequency (MHz)	Attenuation (dB/100 m)	Attenuation (dB/100 ft)	Average Power (kW)
1.0	0.211	0.064	36.11
1.5	0.259	0.079	29.46
2.0	0.299	0.091	25.5
10.0	0.672	0.205	11.35
20.0	0.954	0.291	7.99
30.0	1.172	0.357	6.51
50.0	1.521	0.463	5.02
85.0	1.995	0.608	3.82
88.0	2.031	0.619	3.76
100.0	2.169	0.661	3.52
108.0	2.256	0.688	3.38
150.0	2.673	0.815	2.85
174.0	2.887	0.88	2.64
200.0	3.103	0.946	2.46
204.0	3.135	0.956	2.43
300.0	3.835	1.169	1.99
400.0	4.462	1.36	1.71
450.0	4.749	1.447	1.61
460.0	4.804	1.464	1.59

## Anexo 5. Cable coaxial RG-141

**RG141 PTFE Insulated Coaxial Cable**

McGill Part No: RG141



Construction Specifications		
Description	Material	Size
Inner Conductor	Silver Plated Copper	0.94mm
Dielectric	PTFE	3.00mm
Braid	Silver Plated Copper Braid	112*0.12mm
Jacket	FEP	4.30mm

Electrical Specifications		
Description	Unit	Value
Impedance	ohms	50
Capacitance	pF/m	95
Velocity of Propagation	%	70
Max Voltage	VMS	1400
Max Frequency	MHz	3,000

Temperature Range
-40/+200C

## Anexo 6. Fuente de alimentación



9 Autry  
Irvine, Ca 92618  
Tel 949-458-7277 Fax 949-458-0826

## Hoja de Especificaciones

**Modelo: RM-35M-BB**

Especificación	Valor
Voltage de Entrada:	115 Vca / 60 Hz
Voltage de Salida:	13.8 Vcc
Corriente de Salida:	25 Amp Continuos 35 Amp Máximos
Eficiencia:	77%
Fusible:	8 Amp
Temperatura:	-10°C a 55°C
Salida de Respaldo:	Si
Dimensiones:	48.2 x 13.3 x 31.8 cm
Peso:	17.3 Kg

## Anexo 7. Cotización de equipos

**Radifax. s.a.****Proforma** **MOTOROLA SOLUTIONS****Atención** RANDALL MONTERO ESPINOZA  
12**No.** 3501  
**Fecha documento** 23/09/2024**Contacto** .**Tel.:** .**Fax** .**Dirección** La Uruca, San José**Email** .**Moneda** Colones

Línea	Artículo	Nombre	Cantidad	Precio Unitario	Precio total sin IVA
1	SLR-5100E/V	Repetidora, Motorola, VHF, 50w, accesorios de fábrica	1,00	1.478.349,92	1.478.349,92
2	Q2220E	Duplexor, VHF, 4 cavidades, marca Sinclair	1,00	1.014.990,57	1.014.990,57
3	DB224-C	Antena 4 dipolos, marca Andrew, VHF (164-174 MHz)	1,00	679.062,00	679.062,00
4	CABLE	Cable heliax, Andrew, 1/2"	50,00	5.072,35	253.617,50
5	VARIOS	Fuente de poder, Astron, modelo RM35A-BB, montaje para rack	1,00	254.214,00	254.214,00
6	L4TNFPSA	Conector, marca Andrew, N Hembra, heliax 1/2"	1,00	18.454,37	18.454,37
7	L4TNMPSA	Conector, marca Andrew, N Macho, heliax 1/2"	1,00	18.454,37	18.454,37

**Condición de pago:** Contado  
**Validez de la oferta:** 30 días  
**Tiempo de entrega:** 30 días hábiles  
**Observación:**

**SUBTOTAL:** ₡ 3.715.142,73**DESCUENTO:** ₡ 0,00**IVA:** ₡ 482.968,56**TOTAL GENERAL:** ₡ 4.198.111,29**Vendedor:** SECRETARIA**HECHO POR:** ADRIANA MORA

Teléfono: 2232-7832 / Fax: 2296-4373 / Cédula jurídica: 3101125022  
 Email: info@radifaxcr.com / Sabana Sur, de la Contraloría 3 cuadras al Oeste y 175 Sur

Página: 1/1

## Torres Arriostradas

## Tramos de Torre

## Producto Elaborado Bajo Normas ISO 9001:2015

El tramo de torre es el componente más importante dentro de la selección de una torre; éste determinará la altura máxima, capacidad de carga y accesorios compatibles necesarios para instalación. Todos los tramos son construidos en formadores de alta precisión con maquinaria automatizada, por lo cual la torre quedará perfectamente recta y vertical sin requerir ajustes.



Modelo	Precio	Altura Máxima (m)	Carga Máx. (kg)	Altura (m)	Tubo Industrial	Semi-Flecha	Galvanizado	Niple (cm)	Ancho (cm)	Peso (kg)
<b>STZ-30</b>	<b>US\$ 54.00</b>	30	200	3	7/8" (Cal. 18)	5/16"	●	10	30	12.5
<b>STZ-30G</b>	<b>US\$ 71.00</b>	30	200	3	7/8" (Cal. 18)	5/16"	▲	10	30	13.5
<b>STZ-35</b>	<b>US\$ 93.00</b>	45	350	3	1-1/4" (Cal. 14)	5/16"	●	12	35	20.75
<b>STZ-35G</b>	<b>US\$ 113.00</b>	45	350	3	1-1/4" (Cal. 14)	5/16"	▲	12	35	21.6
<b>STZ-45</b>	<b>US\$ 109.00</b>	60	500	3	1-1/4" (Cal. 14)	3/8"	●	12	45	26.0
<b>STZ-45G</b>	<b>US\$ 139.00</b>	60	500	3	1-1/4" (Cal. 14)	3/8"	▲	12	45	27.5
<b>STZ-60RG*</b>	<b>US\$ 339.00</b>	99	800	3	1-1/4" (Ced. 40)	1/2"	●	16*	60	57.6
<b>STZ-90RG*</b>	<b>US\$ 379.00</b>	120	1000	3	2" (Ced. 40)	9/16"	▲	18*	92	108

Cada tramo incluye juego de tornillos para instalación

\*Cople

\*Las torres armadas con tramo STZ-60RG y STZ-90RG necesitan iniciar con un tramo de desplante (STZ-60RG-DES y STZ-90RG-DES respectivamente).

Galvanizado por electrólisis, para zonas secas libres de corrosión (**ASTMB-633**).

Galvanizado por inmersión en caliente (**Versiones con "G"**), recomendable para zonas húmedas o ambientes corrosivos, el cual cumple con las Normas:

**ASTM A-123** (Norma Americana), **NMX-H-004** (Norma Mexicana) y **ISO-1461** (Norma Europea).

Nuestros equipos de torres tipo Z tienen una resistencia al viento de 200 km/h.