



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TEMA:

Diseño de una red inalámbrica metropolitana para monitoreo y control de líneas de distribución de energía eléctrica de la corporación nacional de electricidad Unidad de Negocio Guayaquil.

AUTOR:

Véliz Noboa, William Humberto

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de
Magister en Telecomunicaciones**

TUTOR:

Ing. Bohórquez Escolar, Celso Bayardo, PhD

Guayaquil, Ecuador

13 de marzo de 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **Véliz Noboa, William Humberto** como requerimiento parcial para la obtención del Título de Magíster en Telecomunicaciones.

TUTOR

Ing. Bohórquez Escolar, Celso Bayardo, PhD

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ing. Bohórquez Escolar, Celso Bayardo, PhD

Guayaquil, a los 13 días del mes marzo del año 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Véliz Noboa, William Humberto**

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación **Diseño de una red inalámbrica metropolitana para monitoreo y control de líneas de distribución de energía eléctrica de la corporación nacional de electricidad Unidad de Negocio Guayaquil**” previa a la obtención del Título de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, a los 13 días del mes marzo del año 2025

EL AUTOR

Véliz Noboa, William Humberto



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Véliz Noboa, William Humberto**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación**, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño de una red inalámbrica metropolitana para monitoreo y control de líneas de distribución de energía eléctrica de la corporación nacional de electricidad Unidad de Negocio Guayaquil**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 días del mes marzo del año 2025

EL AUTOR

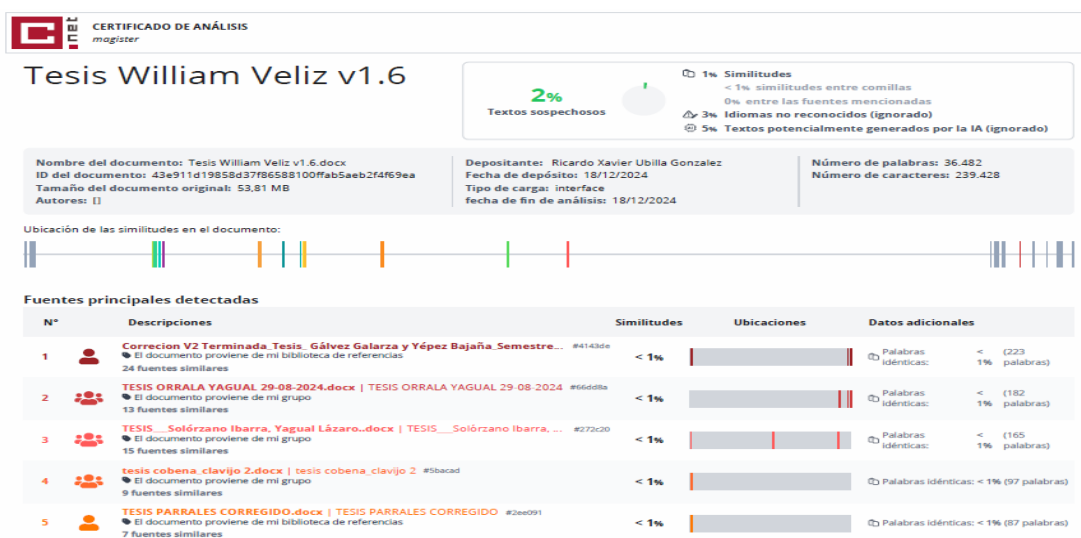
Véliz Noboa, William Humberto



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

REPORTE COMPILATIO



Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación **Diseño de una red inalámbrica metropolitana para monitoreo y control de líneas de distribución de energía eléctrica de la corporación nacional de electricidad Unidad de Negocio Guayaquil**, presentado por el estudiante **Véliz Noboa, William Humberto**, fue enviado al Sistema Anti plagio COMPILATIO, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al 2%, por lo que se aprueba el trabajo para que continúe con el proceso de titulación.

f. _____

Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D

Dedicatoria

A mi madre Norma Teresa Noboa Barreno que hubiese querido que este compartiendo conmigo este momento; que, aunque este en el cielo, siempre estará en mi corazón.

A mi esposa Desireé González Ramos que es mi compañera de vida que Dios puso en mi camino para luchar ante todas las adversidades de la vida.

A mi familia por su apoyo y respaldo en todos mis proyectos de vida.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida académica, a mi esposa Marjorie Desireé González Ramos quien me ha brindado el apoyo y la ayuda para poder culminar esta maestría incluso en tiempos difíciles, a mi mamá, papá y hermanos que me inculcaron el ejemplo para superarme y no rendirme; y en especialmente a mi mamá Norma Teresa Noboa Barreno que desde el cielo debe estar muy feliz por mi logro.

Gracias a todos por ser parte de este camino.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D

TUTOR

f. _____
MSc. Bohórquez Heras, Diana Carolina

REVISOR

MSc. Ubilla González, Ricardo Xavier

REVISOR

f. _____
Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo, Ph.D

DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL.

INDICE DE TABLAS.	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.	XIII
CAPITULO 1 . INTRODUCCION.	1
1.1 ANTECEDENTES.	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	3
1.3 DEFINICION DEL PROBLEMA.....	3
1.4 VARIABLES.	3
1.5 JUSTIFICACION.	3
1.6 OBJETIVOS.	4
1.6.1 Objetivo General.....	4
1.6.2 Objetivos Específicos.	4
1.7 HIPOTESIS.	4
1.8 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.	4
CAPITULO 2 . Marco Teórico.	6
2.1 Generalidades del sistema de distribución eléctrica.	6
2.1.1 Sistema de suministro eléctrico.	6
2.1.2 Red de distribución de energía eléctrica.....	7
2.1.3 Componentes de la Red de distribución.	8
2.2 Modernización de la distribución de energía.	11
2.3 Automatización de la red de distribución.	11
2.3.1 Estructura de la red de distribución.	14
2.3.2 Jerarquía de control.....	26
2.4 Sistemas de control y adquisición de datos.	28
2.4.1 Generalidades de sistema SCADA.....	28
2.4.2 Componentes del sistema SCADA.....	29
2.4.3 Funciones del sistema SCADA.....	29
2.4.4 Software del sistema SCADA.	30
2.4.5 Aplicaciones del sistema SCADA.	30
2.4.6 Reconectores en el sistema SCADA.	31
2.5 Generalidades redes inalámbricas.	33
2.5.1 Características de las redes inalámbricas.	34
2.5.2 Funcionamiento de las redes y tecnología inalámbricas.....	35

2.5.3	Bandas de frecuencias.	36
2.5.4	Generación y transmisión de señal inalámbrica.	37
2.5.5	Clasificación de las redes inalámbricas.	39
2.6	Generalidades tecnologías LPWAN.	44
2.6.1	Aplicaciones y servicios inteligentes.	45
2.6.2	Acceso inalámbrico.	47
2.6.3	Características de aplicación de red de area amplia de baja potencia. 48	
2.6.4	Tecnologías y standares de LPWAN.	53
CAPITULO 3 .	Selección de la tecnología inalámbrica.	63
3.1	Definición del tipo de tecnología inalámbrica.	63
3.2	Propósito de la red inalámbrica.	63
3.3	Casos de Implementaciones.	63
3.4	Estudios o artículos científicos relacionados.	66
3.5	Análisis de necesidad de velocidad y latencia.	67
3.5.1	Velocidad de datos de los reconectores.	67
3.5.2	Latencia en la comunicación de Reconectores.	70
3.6	Análisis de tecnologías LPWAN.	71
3.6.1	Características técnicas de LPWAN.	71
3.6.2	Características de funcionamiento.	73
3.6.3	Características de Implementación.	74
3.6.4	Características de Aplicaciones	76
3.6.5	Otras características.	77
3.7	Selección de tecnología LPWAN.	79
CAPITULO 4 .	Desarrollo del diseño.	80
4.1	Establecimiento de requisitos de la red.	80
4.1.1	Cantidad de dispositivos finales.	80
4.1.2	Velocidad de datos y latencia.	80
4.1.3	Cobertura geográfica deseada.	80
4.2	Diseño de la arquitectura de la red.	104
4.3	Hardware y Componentes.	106
4.4	Cálculos y Simulaciones.	108
4.4.1	Análisis de radio enlace.	108

4.4.2	Cálculo de longitud de onda de LoRa.....	112
4.4.3	Parámetros Técnicos.....	113
4.4.4	Efectividad de enlace inalámbrico.	118
4.5	Análisis del Presupuesto.....	165
4.5.1	Análisis costo beneficio.	166
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	168
	CONCLUSIONES.....	168
	RECOMENDACIONES.	170
	BIBLIOGRAFÍA.	172
	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	177
	ANEXOS.	182
	Data sheet SG 50.....	183
	Data sheet Controller UC50X Series.....	187
	Data sheet UG 65	194
	Data sheet UG 67	199
	Data sheet UPS01.....	204

INDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1: Mapeo de aplicaciones con sus requerimientos	47
Tabla 2.2: Mensajes LoRa	58
Tabla 3.1: Comparativo 1 características técnicas tecnologías LPWAN.....	73
Tabla 3.2: Comparativo 2 características técnicas tecnologías LPWAN.....	73
Tabla 3.3: Comparativo características funcionamiento tecnologías LPWAN.....	74
Tabla 3.4: Comparativo características Implementación tecnologías LPWAN.....	76
Tabla 3.5: Comparativo características Aplicaciones de tecnologías LPWAN	77
Tabla 3.6: Comparativo características de aplicaciones tecnologías LPWAN	78
Tabla 4.1: Ubicación geográfica puntos Gateways.....	81
Tabla 4.2: Ubicación geográfica Reconnectores.	82
Tabla 4.3: Cobertura Aparente.....	92
Tabla 4.4: Enlaces para análisis.	96
Tabla 4.5: Hardware y componentes del proyecto	107
Tabla 4.6: Uso Hardware.	107
Tabla 4.7: Costo Hardware	165
Tabla 4.8: Costo Mano de Obra	166
Tabla 4.9: Otros Costos	166
Tabla 4.10: Costo Implementación.....	166
Tabla 4.11: Costos servicio ISP	166

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 2.1: Diagrama esquematizado Sistema suministro eléctrico.....	6
Figura 2.2: Sistema de distribución típico y sus componentes.	9
Figura 2.3: Subestación CNEL EP UN Guayaquil	9
Figura 2.4: Alimentador primario y red secundaria.	10
Figura 2.5: Acometida eléctrica.....	11
Figura 2.6: Componentes de DMS.....	13
Figura 2.7: Categorías de Automatización de la Distribución.	14
Figura 2.8: Gabinetes de control para automatización.	16
Figura 2.9: Estructura de un bloque constructivo.	16
Figura 2.10: Ciclo de reconexión automática de un reconectador.	18
Figura 2.11: Reconectador.....	19
Figura 2.12: Cuchilla seccionadora.	20
Figura 2.13: Seccionalizadores trifásicos y monofásicos y porta fusible.....	21
Figura 2.14: Banco de capacitores conmutado.	22
Figura 2.15: Reguladores de tensión.	23
Figura 2.16: Indicadores de falla.	24
Figura 2.17: Sensor individual de tensión y corriente.	26
Figura 2.18: Jerarquía de control típica de una distribuidora.	27
Figura 2.19: Partes de un Reconectador.....	31
Figura 2.20: Onda.	35
Figura 2.21: Ondas Electromagnéticas frecuencia y longitud de onda.	36
Figura 2.22: Oscilador generador onda eléctrica.....	37
Figura 2.23: Tipos de modulaciones.	38
Figura 2.24: Clasificación de Redes Inalámbricas por cobertura.	41
Figura 2.25: Cobertura geográfica del acceso inalámbrico.....	48
Figura 2.26: Estructura de un paquete LoRa.....	54
Figura 2.27: Arquitectura LoRaWAN.	55
Figura 2.28: Lora y LoRaWAN.	55
Figura 2.29: Uplink PHY.....	56
Figura 2.30: Downlink PHY.	56
Figura 2.31: Estructura PHY payload.	57
Figura 2.32: Estructura MAC Payload.	57
Figura 2.33: Estructura del encabezado.....	57
Figura 2.34: Arquitectura Sigfox.	59
Figura 2.35: Estructura de un paquete en Sigfox	60

Figura 3.1: Monitoreo consumo trafico Reconector Samanes 1.	69
Figura 3.2: Monitoreo consumo trafico Reconector Plaza Dañin.	70
Figura 3.3: Latencia real reconector.....	71
Figura 4.1: Mapa ubicación geografía Gateways y Repetidor.	82
Figura 4.2: Mapa ubicación geográfica reconectores	87
Figura 4.3: Cobertura Cerro Azul 1.	88
Figura 4.4: Cobertura Cerro Azul 2.	88
Figura 4.5: Cobertura Planta Sur.....	89
Figura 4.6: Cobertura Garzota.	89
Figura 4.7: Cobertura S/E Guasmo.	90
Figura 4.8: Cobertura S/E Germania.....	90
Figura 4.9: Cobertura S/E Chongon.	91
Figura 4.10: Cobertura La Joya.....	91
Figura 4.11: Relieve trayectoria Cerro Azul 1 – Los Rosales.....	97
Figura 4.12: Reconector Los Rosales.	97
Figura 4.13: Relieve trayectoria Cerro Azul 2 – La Joya.....	97
Figura 4.14: Repetidor La Joya.	98
Figura 4.15: Relieve trayectoria La Joya – Magisterio.....	98
Figura 4.16: Reconector Magisterio.	98
Figura 4.17: Relieve trayectoria S/E Germania – California 1.....	99
Figura 4.18: Reconector California 1.....	99
Figura 4.19: Reconector Agustín Freire.....	100
Figura 4.20: Relieve trayectoria Garzota – Agustín Freire.....	100
Figura 4.21: Relieve trayectoria Planta Sur – Tulcán.....	100
Figura 4.22: Reconector Tulcán.	101
Figura 4.23: Relieve trayectoria S/E Guasmo – Unión de Bananeros.	101
Figura 4.24: Reconector Unión de Bananeros.....	102
Figura 4.25: Relieve trayectoria S/E Chongon – Los Ángeles 2.	102
Figura 4.26: Reconector Los Ángeles 2.	103
Figura 4.27: Situación actual Red Reconectores e Infraestructura CNEL.....	104
Figura 4.28: Diseño arquitectura del LoRaWAN-Reconectores.	105
Figura 4.29: Topología Full Mesh LoRaWAN.	106
Figura 4.30: Conexión reconector-nodo terminal.....	108
Figura 4.31: Zona de Fresnel.....	112
Figura 4.32: Parámetros Cerro Azul 1.....	114
Figura 4.33: Parámetros Cerro Azul 2.....	114

Figura 4.34: Parámetros Los Rosales.	114
Figura 4.35: Parámetros Magisterio.	115
Figura 4.36: Parámetros Garzota.	115
Figura 4.37: Parámetros Planta Sur.	115
Figura 4.38: Parámetros S/E Germania.	115
Figura 4.39: Parámetros S/E Guasmo.	116
Figura 4.40: Parámetros S/E Chongon.	116
Figura 4.41: Parámetros La Joya (Repetidor).	116
Figura 4.42: Parámetros Agustín Freire.	116
Figura 4.43: Parámetros California 1.	117
Figura 4.44: Parámetros Tulcán.	117
Figura 4.45: Parámetros Unión de Bananeros.	118
Figura 4.46: Parámetros Los Ángeles 2.	118
Figura 4.47: Tx Cerro Azul 1 Rx Los Rosales, Perfil.	119
Figura 4.48: Tx Cerro Azul 1 Rx Los Rosales, Detalles.	120
Figura 4.49: Tx Cerro Azul 1 Rx Los Rosales, Rango.	120
Figura 4.50: Tx Cerro Azul 1 Rx Los Rosales, Distribución.	121
Figura 4.51: Tx Los Rosales Rx Cerro Azul 1, Perfil.	122
Figura 4.52: Tx Los Rosales Rx Cerro Azul 1, Detalles.	123
Figura 4.53: Tx Los Rosales Rx Cerro Azul 1, Rango.	123
Figura 4.54: Tx Los Rosales Rx Cerro Azul 1, Distribución.	124
Figura 4.55: Tx Cerro Azul 2 Rx La Joya, Perfil.	125
Figura 4.56: Tx Cerro Azul 2 Rx La Joya, Detalles.	126
Figura 4.57: Tx Cerro Azul 2 Rx La Joya, Rango.	126
Figura 4.58: Tx Cerro Azul 2 Rx La Joya, Distribución.	127
Figura 4.59: Tx La Joya Rx Cerro Azul 2, Perfil.	128
Figura 4.60: Tx La Joya Rx Cerro Azul 2, Detalles.	128
Figura 4.61: Tx La Joya Rx Cerro Azul 2, Rango.	129
Figura 4.62: Tx La Joya Rx Cerro Azul 2, Distribución.	129
Figura 4.63: Tx La Joya Rx Magisterio, Perfil.	131
Figura 4.64: Tx La Joya Rx Magisterio, Detalles.	131
Figura 4.65: Tx La Joya Rx Magisterio, Rango.	132
Figura 4.66: Tx La Joya Rx Magisterio, Distribución.	132
Figura 4.67: Tx Magisterio Rx La Joya, Perfil.	133
Figura 4.68: Tx Magisterio Rx La Joya, Detalles.	134
Figura 4.69: Tx Magisterio Rx La Joya, Rango.	134

Figura 4.70: Tx Magisterio Rx La Joya, Distribución	135
Figura 4.71: Tx S/E Germania Rx California 1, Perfil.....	136
Figura 4.72: Tx S/E Germania Rx California 1, Detalles.....	137
Figura 4.73: Tx S/E Germania Rx California 1, Rango	138
Figura 4.74: Tx S/E Germania Rx California 1, Distribución	138
Figura 4.75: Tx California 1 Rx S/E Germania, Perfil.....	139
Figura 4.76: Tx California 1 Rx S/E Germania, Detalles.....	140
Figura 4.77: Tx California 1 Rx S/E Germania, Rango	141
Figura 4.78: Tx California 1 Rx S/E Germania, Distribución	141
Figura 4.79: Tx Garzota Rx Agustín Freire, Perfil.....	143
Figura 4.80: Tx Garzota Rx Agustín Freire, Detalles	143
Figura 4.81: Tx Garzota Rx Agustín Freire, Rango.....	144
Figura 4.82: Tx Garzota Rx Agustín Freire, Distribución	144
Figura 4.83: Tx Agustín Freire Rx Garzota, Perfil.....	145
Figura 4.84: Tx Agustín Freire Rx Garzota, Detalles	146
Figura 4.85: Tx Agustín Freire Rx Garzota, Rango	146
Figura 4.86: Tx Agustín Freire Rx Garzota, Distribución	147
Figura 4.87: Tx Planta Sur Rx Tulcán, Perfil	148
Figura 4.88: Tx Planta Sur Rx Tulcán, Detalles.....	149
Figura 4.89: Tx Planta Sur Rx Tulcán, Rango	149
Figura 4.90: Tx Planta Sur Rx Tulcán, Distribución	150
Figura 4.91: Tx Tulcán Rx Planta Sur, Perfil	151
Figura 4.92: Tx Tulcán Rx Planta Sur, Detalles.....	151
Figura 4.93: Tx Tulcán Rx Planta Sur, Rango.	152
Figura 4.94: Tx Tulcán Rx Planta Sur, Distribución	152
Figura 4.95: Tx S/E Guasmo Sur Rx Unión de Bananeros, Perfil.....	154
Figura 4.96: Tx S/E Guasmo Sur Rx Unión de Bananeros, Detalles	154
Figura 4.97: Tx S/E Guasmo Sur Rx Unión de Bananeros, Rango.....	155
Figura 4.98: Tx S/E Guasmo Sur Rx Unión de Bananeros, Distribución.....	155
Figura 4.99: Tx Unión de Bananeros Rx S/E Guasmo Sur, Perfil.....	156
Figura 4.100: Tx Unión de Bananeros Rx S/E Guasmo Sur, Detalles	157
Figura 4.101: Tx Unión de Bananeros Rx S/E Guasmo Sur, Rango.....	158
Figura 4.102: Tx Unión de Bananeros Rx S/E Guasmo Sur, Distribución.....	158
Figura 4.103: Tx S/E Chongon Rx Los Ángeles 2, Perfil	160
Figura 4.104: Tx S/E Chongon Rx Los Ángeles 2, Detalles.....	160
Figura 4.105: Tx S/E Chongon Rx Los Ángeles 2, Rango	161

Figura 4.106: Tx S/E Chongon Rx Los Ángeles 2, Distribución	161
Figura 4.107: Tx Los Ángeles 2 Rx S /E Chongon, Perfil	162
Figura 4.108: Tx Los Ángeles 2 Rx S /E Chongon, Detalles.....	163
Figura 4.109: Tx Los Ángeles 2 Rx S /E Chongon, Rango.....	164
Figura 4.110: Tx Los Ángeles 2 Rx S /E Chongon, Distribución.....	164

RESUMEN

El presente trabajo de tesis desarrolla el diseño de una red inalámbrica metropolitana basada en tecnologías de comunicación avanzada como LoRaWAN e Internet de las Cosas, para mejorar el monitoreo y control de los reconectores en las líneas de media tensión de la red de distribución eléctrica en Guayaquil. Este proyecto aborda problemas clave del sistema eléctrico actual, como altos costos operativos, conectividad limitada y escasa automatización en procesos críticos. La red propuesta busca garantizar la confiabilidad, eficiencia y capacidad de respuesta del sistema ante fallos, alineándose con la transición hacia redes eléctricas inteligentes.

A partir de un análisis exhaustivo de las tecnologías inalámbricas disponibles y la caracterización de los sistemas SCADA, se seleccionó una solución LPWAN con tecnología LoRaWAN que ofrecen beneficios como amplia cobertura, bajo consumo energético y escalabilidad. Se incluyeron simulaciones y cálculos detallados, como el análisis de la zona de Fresnel y el diseño de radioenlaces, para validar la viabilidad técnica de la propuesta.

El diseño integra hardware y software adaptados a las necesidades de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL), reduciendo costos al evitar la dependencia de proveedores externos y mejorando la estabilidad de la red. Además, se plantearon estrategias para una implementación por fases, priorizando áreas críticas y asegurando el despliegue eficiente. Este enfoque contribuye significativamente a la modernización del sistema eléctrico, proporcionando una infraestructura escalable y adaptable a futuros avances tecnológicos. La red no solo optimiza la operación actual, sino que también mejora la interacción con los usuarios finales y la capacidad de supervisión remota de los equipos, garantizando un servicio confiable y eficiente.

Palabras claves: red, inalámbrica, metropolitana, LPWAN, LoRaWAN, monitoreo, control, reconectores, media tensión, distribución, eléctrica, automatización, diseño, SCADA, amplia, cobertura, bajo, consumo energético y modernización

ABSTRACT

The present thesis develops the design of a metropolitan wireless network based on advanced communication technologies such as LoRaWAN and the Internet of Things (IoT) to improve the monitoring and control of reclosers in the medium-voltage lines of Guayaquil's electrical distribution network. This project addresses key issues in the current electrical system, such as high operating costs, limited connectivity, and insufficient automation in critical processes. The proposed network aims to ensure the system's reliability, efficiency, and responsiveness to failures, aligning with the transition to smart electrical grids.

Based on an exhaustive analysis of the available wireless technologies and the characterization of SCADA systems, an LPWAN solution using LoRaWAN technology was selected for its benefits, including wide coverage, low energy consumption, and scalability. Detailed simulations and calculations, such as Fresnel zone analysis and radio link design, were included to validate the technical feasibility of the proposal.

The design integrates hardware and software tailored to the needs of the National Electricity Corporation (CNEL), reducing costs by avoiding reliance on external providers and improving network stability. Additionally, phased implementation strategies were proposed, prioritizing critical areas and ensuring efficient deployment. This approach significantly contributes to modernizing the electrical system by providing scalable infrastructure adaptable to future technological advances. The network not only optimizes current operations but also enhances interaction with end-users and the remote supervision capacity of equipment, ensuring reliable and efficient service.

Keywords: network, wireless, metropolitan, LPWAN, LoRaWAN, monitoring, control, reclosers, medium voltage, distribution, electrical, automation, design, SCADA, long, range, low, power and modernization.

CAPITULO 1 . INTRODUCCION.

El sistema eléctrico en sus inicios no tenía control, se consumía todo lo que se generaba, el mercado energético originó la necesidad de gestión y de la cual nacen las redes inteligentes de distribución y consumo, cuyo objetivo es brindar electricidad más segura, flujo constante al usuario final, eficiencia en la red eléctrica, reducción de apagones y ahorro de energía. La pandemia causó que la mayoría de usuarios en sus hogares incrementen el consumo de energía eléctrica en el sector residencial, las empresas eléctricas no cuentan con personal suficiente para realizar la lectura manual de los medidores, por lo cual las facturas fueron promediadas con los valores registrados en los últimos 3 o 6 meses, esto implicó cuentas con valores menores de los reales. En el sector industrial es el caso contrario, al estar trabajando menos su consumo ha disminuido, pero se les ha facturado valores promedios mayores a los reales. El incremento de las tarifas eléctricas, sumados todos los valores no facturados de los meses anteriores con los nuevos precios y la falta de personal técnico para atender los incidentes de la red eléctrica oportunamente, ocasionó molestias y reclamos de los usuarios. Con base a estos problemas se consideró la oportunidad para desplegar una red eléctrica inteligente basada en el internet de las cosas.

El presente proyecto tiene como fin brindar una solución de interconexión inalámbrica metropolitana, para el monitoreo y control de las líneas de distribución eléctrica, basado en el internet de las cosas en las redes eléctricas inteligentes, enfocado para la ciudad de Guayaquil, las cuales están compuestas por tres grupos: equipos de control y medición, plataformas de comunicación y de gestión.

La plataforma de comunicación es determinante en las redes eléctricas inteligente (Smart Grid), usando enlaces de radiofrecuencia pueden llegar a estos dispositivos y crear redes inteligentes para distribución de energía.

1.1 ANTECEDENTES.

Ante el creciente número de usuarios y los problemas de fallos en el sistema de distribución y medición eléctrica en la ciudad de Guayaquil, la Corporación Nacional de

Electricidad Unidad de Negocio Guayaquil empresa pública (CNEL U.N. Guayaquil E.P.) con la finalidad de mejorar los índices de calidad del servicio, desde años atrás comenzó a ejecutar proyectos de Sistemas de Control de Supervisión y Adquisición de Datos/ Servidor Automático Maestro de Datos (SCADA/ADMS) e Infraestructura de Medición Avanzada (AMI), por lo cual ha venido implementando equipos para automatizar el control y medición de energía eléctrica, los cuales están siendo instalados a lo largo de las líneas de distribución dentro de la concesión eléctrica de esta distribuidora, complementados con la comunicación e integración de estos dispositivos a los sistemas, siendo este elemento indispensable para su funcionamiento, caracterizado en el monitoreo y control en caso de fallas en la red de distribución y la medición y control de acceso de energía a los usuarios.

El SCADA está conformado por la combinación de software, Hardware, interfaz de Usuarios y administradores, Controladores, Redes, Bases de datos y Comunicaciones, en una aplicación o conjunto de aplicaciones de software especialmente diseñadas para funcionar sobre ordenadores de control de producción, con acceso a la planta mediante la comunicación digital con instrumentos y actuadores, e interfaz gráfica de alto nivel para el operador. (Perez, 2015)

La infraestructura AMI permite la configuración de medidores inteligentes, manejo de tarifas dinámicas, monitoreo de calidad de la energía, control de carga y reducción de pérdidas. (Gómez, Castán, Montero , Meneses, & García, 2015) Para cumplir con estos objetivos se estableció la contratación de un servicio de interconexión de comunicación para enlazar los equipos de campo con las Unidades terminales remotas (RTU) y los servidores AMI, que cuenta con los requisitos técnicos para la transmisión de datos en sistemas críticos del equipamiento eléctrico, tales como alta confiabilidad, capacidad de transmisión de acuerdo a los parámetros y protocolos eléctricos, tiempos de respuesta y latencias dentro de las medidas establecidas para la automatización de las redes de distribución.

Este trabajo pretende dar una solución y aporte a la industria eléctrica para levantar una plataforma de comunicaciones inalámbrica, basada en el internet de las cosas de los equipos de tecnología de la operación distribuidos en la red eléctrica.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La Corporación Nacional de electricidad Unidad de Negocio Guayaquil cuenta con los sistemas de automatización de la red eléctrica SCADA/ADMS y AMI, los mismos que están en constante proceso de ampliación, estos sistemas consisten en dispositivos de control y monitoreo distribuidos por la red de tendido eléctrico, gestionados remotamente desde una central situada en las instalaciones de la Unidad de Negocio Guayaquil y para la interconexión de estos equipos se hace uso de un contrato de servicios de telecomunicaciones con la Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública (CNT E.P.), quien utiliza su plataforma de Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (GPON) como medio de comunicación. La basta cantidad de puntos de acceso para todos estos dispositivos conlleva altos costos de facturación, las demoras en la instalación de puntos nuevos y fallas recurrentes en la comunicación son los problemas principales de este servicio.

1.3 DEFINICION DEL PROBLEMA.

La CNEL E.P. Unidad de Negocio Guayaquil tiene la necesidad de contar con una red de comunicación inalámbrica metropolitana para monitoreo y control de líneas de distribución de energía eléctrica a fin de garantizar la operación del sistema.

1.4 VARIABLES.

El problema planteado cuenta con las siguientes variables:

Variable independiente = Plataforma de comunicación inalámbrica

Variable dependiente = Sistema de control y monitoreo

1.5 JUSTIFICACION.

La Corporación Nacional de electricidad Unidad de Negocio Guayaquil, siendo una empresa pública distribuidora de un servicios básico e indispensable como es la energía eléctrica, que cuenta con la mayor cantidad de usuarios a nivel nacional, ante la rápida

expansión de sus sistemas de automatización, debe contar con su propia plataforma de comunicación inalámbrica de cobertura metropolitana por la necesidad de garantizar la efectiva y ágil conexión de datos, con seguridad de la operación de todos los equipos que componen estos sistemas y al mismo tiempo tener un ahorro en la contratación de servicios de telecomunicaciones a terceros.

1.6 OBJETIVOS.

1.6.1 Objetivo General.

Diseñar una red inalámbrica metropolitana para de monitoreo y control de líneas de distribución de energía eléctrica de la Corporación Nacional de electricidad Unidad de Negocio Guayaquil, para integrar equipos a los sistemas de automatización de la operación eléctrica.

1.6.2 Objetivos Específicos.

1. Especificar la situación actual del sistema de Automatización de la red de distribución eléctrica de CNEL Unidad de Negocio Guayaquil y definir el problema a solventar.
2. Caracterizar el funcionamiento de la comunicación de los sistemas de control y medición de distribución eléctrica.
3. Analizar diferentes estudios e implementaciones respecto a redes inalámbricas para sistemas de medición y control de la red eléctrica, para fundamentar este proyecto.
4. Diseñar una red inalámbrica de acuerdo a las necesidades de la Unidad de Negocios de Guayaquil.

1.7 HIPOTESIS.

El Sistema Inalámbrico que se diseñará servirá para el despliegue de servicios de medición y control remoto de la red eléctrica y solucionará la carencia de puntos de acceso para esos dispositivos, brindando cobertura metropolitana y fácil ampliación.

1.8 METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION.

El presente trabajo para la obtención de título de magister en telecomunicaciones es “EXPLORATORIO” ya que explora las diferentes clases de tecnologías inalámbricas de largo

alcance que funcionen para enlazar equipos de control distribución eléctrica mediante su estudio y caracterización, con el fin de elegir la adecuada para este proyecto. Además, realizar investigación del sistema de monitoreo y control de la distribución de energía implementado en la ciudad de Guayaquil.

Es “**DESCRIPTIVO**” ya que permite describir el funcionamiento de los dispositivos de control distribución de energía, además de analizar, diseñar y evaluar la tecnología interconexión inalámbrica con el objetivo de permitir la operatividad conveniente del sistema, basado en soluciones científicas a problemas similares.

Además, esta investigación es del paradigma “**EMPÍRICO-ANALÍTICO**” con un enfoque “**CUANTITATIVO**” porque se utilizan estadísticas y cálculos matemáticos en el diseño electrónico para presentar los indicadores que permitan caracterizar la solución inalámbrica.

Finalmente, el diseño del presente trabajo investigativo es “**EXPERIMENTAL**”, debido a que se alteran las variables de estudio para obtener las mejores características del diseño.

CAPITULO 2 . Marco Teórico.

En este capítulo, se caracterizó los sistemas de control y medición de la red de distribución eléctrica y los diversos tipos de comunicaciones que se pueden usar, enfocado en la comunicación inalámbrica de amplia cobertura.

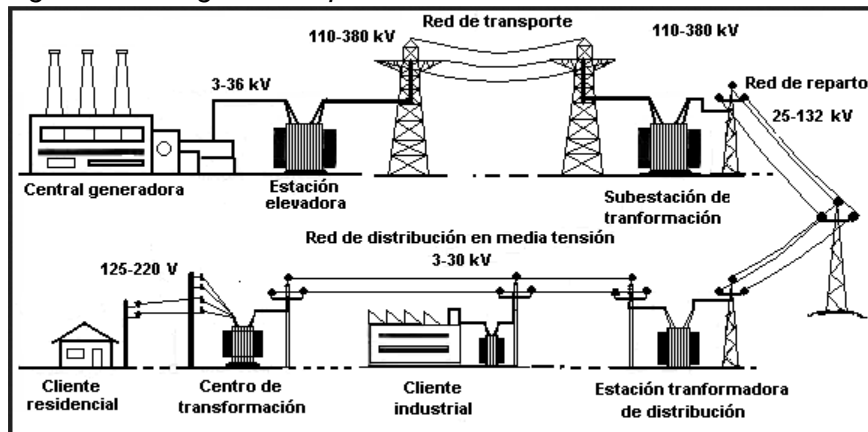
2.1 Generalidades del sistema de distribución eléctrica.

2.1.1 Sistema de suministro eléctrico.

Como se puede observar en la

Figura 2.1, dentro del sistema de suministro eléctrico se diferencian tres actividades principales: la generación de la energía necesaria para satisfacer el consumo; el transporte, que transfiere la energía hasta las subestaciones; y la distribución, que hace posible que la energía llegue a los clientes finales. (Fundacion Endesa, 2020)

Figura 2.1: Diagrama esquematizado Sistema suministro eléctrico.



Fuente: (wikipedia, 2006)

La generación de energía eléctrica engloba al conjunto de procesos distintos a través de los cuales puede producirse electricidad, o lo que es lo mismo, transformar otras formas de energía disponibles en la naturaleza (energía química, cinética, térmica, lumínica, nuclear, etc.) en energía eléctrica aprovechable. (Raffino Maria, 2020)

El transporte eléctrico permite transferir la energía producida en las centrales hasta los centros de consumo. Dicho de otra manera, es el camino que realiza la electricidad desde que se genera hasta que comienza a distribuirse. (Fundacion Endesa, 2020)

Las subestaciones eléctricas son instalaciones encargadas de realizar transformaciones de tensión, frecuencia, número de fases o conexiones de dos o más circuitos. Se ubican cerca de las centrales generadoras, en la periferia de las zonas de consumo o en el exterior e interior de los edificios. Por lo general, las subestaciones de las ciudades están dentro de los edificios para así ahorrar espacio y reducir la contaminación. En cambio, las instalaciones al aire libre se sitúan a las afueras de los núcleos urbanos.

El elemento principal de las subestaciones eléctricas es el transformador que se encarga de modificar la tensión de la energía eléctrica mediante el aumento de la intensidad y la potencia constante. (Fundacion Endesa, 2020)

La red o sistema de distribución está formado por el conjunto de cables subterráneos o aéreos y los centros de transformación que permiten hacer llegar la energía hasta el cliente final. Se trata de la parte del sistema de suministro eléctrico responsable de las compañías distribuidoras de electricidad hasta los consumidores finales.

Los centros de transformación (CT) están ubicados en los núcleos de consumo. Su finalidad es transformar la tensión de la energía que llega en media tensión a otros valores de media tensión o baja tensión, de manera que pueda ser suministrada a los consumidores: hogares, industrias, etc. (Fundacion Endesa, 2020)

Este proyecto está dirigido al sistema de distribución de energía establecido desde las subestaciones hasta el usuario final.

2.1.2 Red de distribución de energía eléctrica.

Es la parte del sistema eléctrico comprendido entre las barras de alto voltaje de las subestaciones de distribución y los puntos de suministro de energía a los consumidores. (Rafael, 1993)

La función de llevar la energía eléctrica a un gran número de consumidores se debe hacer tomando en cuenta los siguientes objetivos:

- Mantener el voltaje de suministro a los consumidores dentro de los límites del reglamento vigente. En nuestro caso las normas de las Empresas Eléctricas. (Rafael, 1993)
- Máxima seguridad en el suministro de la energía eléctrica estableciendo un equilibrio técnico y económico. (Rafael, 1993)
- Dimensionar la instalación para cubrir demandas futuras a un costo mínimo. (Rafael, 1993)

La Distribución de la energía es la eléctrica que es transportada, llega a subestaciones de distribución desde aquí será distribuido hacia el usuario final a través del conocido medidor de luz. Estas subestaciones de distribución es un conjunto de elementos entre los que constan, transformadores, interruptores, seccionadores, etc., que tienen la función de reducir los niveles de tensión de las líneas de transmisión, hasta niveles de media tensión aptos para llegar al usuario final. (Robles Adela, 2010).

2.1.3 Componentes de la Red de distribución.

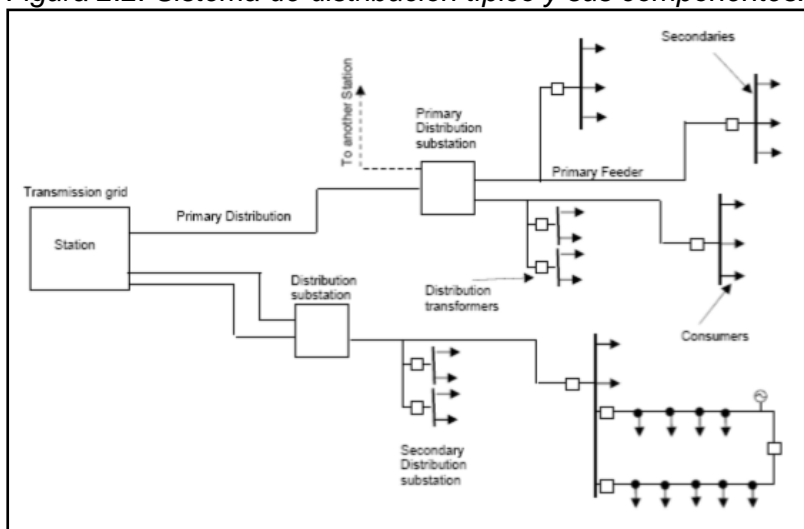
Tal como se aprecia en la

Figura 2.2 , los principales componentes de un sistema de distribución son:

- Subestaciones.
- Alimentadores primarios o de media tensión.
- Transformadores de distribución.
- Alimentadores secundarios o de baja tensión.

- Cargas o consumidores finales.

Figura 2.2: Sistema de distribución típico y sus componentes.



Fuente: (Mendez, 2007)

2.1.3.1 Subestación.

En el caso de la distribución de potencia eléctrica, las subestaciones utilizadas son reductoras, también llamadas subestaciones de distribución. Estas toman el voltaje de una línea de transmisión y lo reducen al voltaje requerido para el sistema de distribución. (Manuel, 2014), en la Figura 2.3 se puede apreciar una subestación.

Figura 2.3: Subestación CNEL EP UN Guayaquil



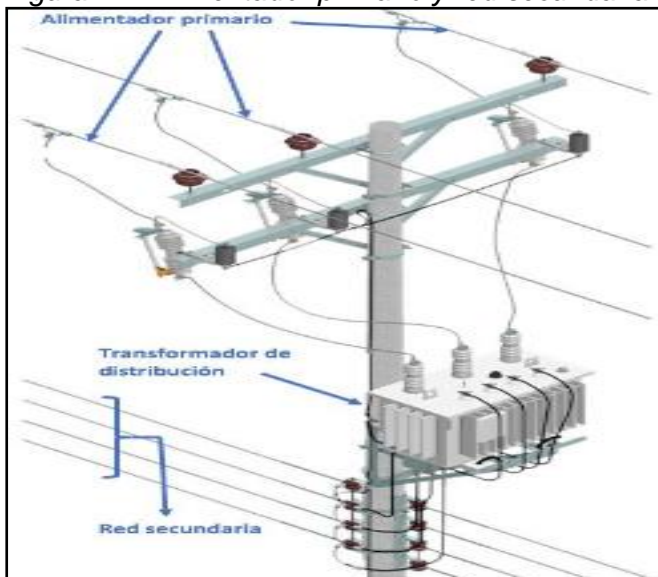
Fuente: (Twitter CNEL EP, 2018)

2.1.3.2 Alimentadores primarios de distribución o medio voltaje.

Son los encargados de llevar la energía eléctrica desde las subestaciones reductoras hasta los transformadores de distribución. Los conductores van soportados en poste cuando se trata de instalaciones aéreas como se aprecia en la

Figura 2.4 y en ductos cuando se trata de instalaciones subterráneas. (Manuel, 2014)

Figura 2.4: Alimentador primario y red secundaria.



Fuente: (Gómez Raúl, Juca Raúl, 2017)

2.1.3.3 Transformadores de distribución.

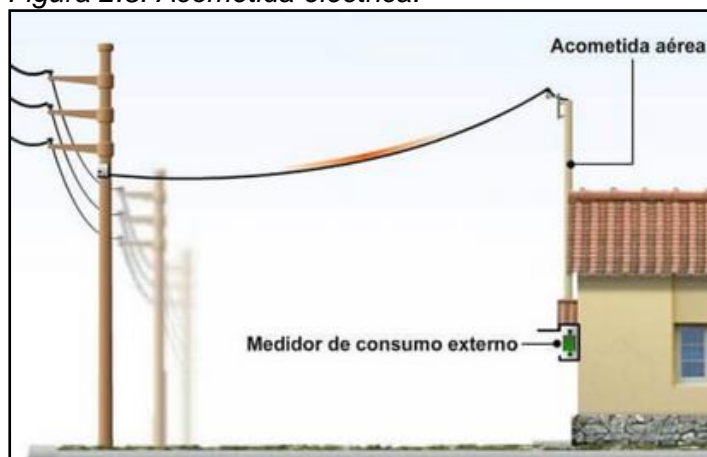
Los transformadores de distribución son los equipos encargados de cambiar la tensión primaria a un valor menor de tal manera que el usuario pueda utilizarla sin necesidad de equipos e instalaciones costosas y peligrosas (Manuel, 2014), como se observa en la Figura 2.4.

2.1.3.4 Alimentadores secundarios o de baja tensión.

Los alimentadores secundarios distribuyen la energía desde los transformadores de distribución multi-cliente hasta los usuarios finales. (Manuel, 2014) Por medio de las acometidas como se observa en la

Figura 2.5.

Figura 2.5: Acometida eléctrica.



Fuente: (Electricasas, 2020)

2.1.3.5 Carga o consumidores finales.

Para efectos de análisis de un sistema de distribución de potencia eléctrica, la carga se divide en tres tipos: residencial, comercial e industrial, la diferencia radica en que cada uno de estos sectores tiene distintos equipos eléctricos. (Manuel, 2014)

2.2 Modernización de la distribución de energía.

Es el proceso de industrialización y tecnificación de suministro de energía a los usuarios finales.

Las redes eléctricas son la columna vertebral del sistema de energía ecuatoriano como recurso esencial y como infraestructura crítica. La transición energética hacia un suministro de energía eficiente requiere de soluciones nuevas e inteligentes para gestionar la distribución de la energía a los clientes, un coste barato de la energía y que garantice la seguridad del suministro; (Pilar Catalina, 2020) para ellos es indispensable optar con sistemas de automatización industrial.

2.3 Automatización de la red de distribución.

La automatización es el conjunto de elementos o procesos informáticos, mecánicos y electromecánicos denominados sistemas que operan con mínima o nula intervención del ser humano; estos normalmente se utilizan para optimizar y mejorar el funcionamiento de una planta industrial, (Logicbus, 2018)

La Automatización de la red de Distribución o también conocida como Automatización de la Distribución apareció como concepto en la década de 1970 para promover la aplicación de las tecnologías de la computación y las comunicaciones para mejorar el desempeño operacional del sistema de distribución. Desde entonces, DA ha evolucionado hasta convertirse en un concepto plenamente establecido y hoy en día ha captado nuevamente la atención del sector eléctrico debido a la incursión de las Smart Grid y la necesidad de sistemas de distribución más confiables y eficientes. (Mohagheghi, S.; Mousavi, M.; Stoupis, J.; Wang, Z., 2009)

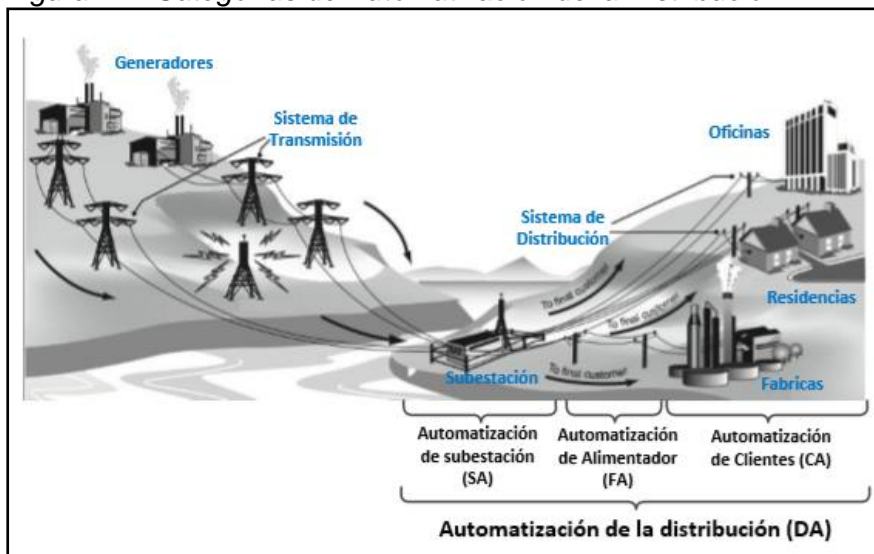
La automatización de distribución engloba una gama amplia de definiciones, desde el proceso de control completo de una distribuidora hasta la modernización de los dispositivos existentes mediante el despliegue de equipamiento para control remoto y comunicaciones (Rudd, S.E.; Kirkwood, J.D.; Davidson, E.M.; Strachan, S. M.; Gutterson, V. M.; McArthur, S. D. J, 2012).

DAS.- El sistema DA se articula por debajo del DMS e incluye todos los dispositivos controlados remotamente a nivel de subestación y alimentador (interruptores de circuito, reconectadores, seccionalizadores, etc.), la automatización local distribuida en estos dispositivos, y la infraestructura de telecomunicaciones. (Northcote-Green & Wilson, 2007) El sistema DA puede ser clasificado en tres grandes categorías (Uluski, Distribution Automation – Smart Feeders in a Smart Grid World) como se muestra en la

Figura 2.7.

- Automatización de Subestación (SA)
- Automatización de Alimentador (FA)
- Automatización de Cliente (CA)

Figura 2.7: Categorías de Automatización de la Distribución.



Fuente: (Uluski, Distribution Management Systems, 2011)

2.3.1 Estructura de la red de distribución.

Generalmente, las redes de distribución son operadas de forma radial, por lo que la reconfiguración del sistema es una de las pocas formas de mejorar la confiabilidad. Luego de la ocurrencia de una falla, la sección en falla debe ser aislada, y entonces los segmentos de red no afectados aguas abajo de la avería pueden ser re-energizados para restablecer el servicio. El aislamiento de la falla puede ejecutarse por medio de automatización local o por control remoto directo. Es importante considerar la topología y el tipo de red de distribución al decidir el nivel y la complejidad de la implementación de DA. (Landázuri Carlos , 2016)

2.3.1.1 Equipamiento primario de seccionamiento para sistemas de distribución.

Los dispositivos primarios de seccionamiento/maniobra manejan directamente la parte de potencia de la red, y están diseñados para abrir o cerrar circuitos en media tensión (MT). (Landázuri Carlos , 2016)

En la presente sección se define el equipamiento de seccionamiento, comúnmente referido por su término en idioma inglés switchgear; que es un término genérico, utilizado en la industria eléctrica para definir los equipos de interrupción y los ensambles de estos con otros elementos de interconexión y accesorios. (Landázuri Carlos , 2016) Generalmente, dentro de la distribución, los equipos de maniobra pueden clasificarse en:

Interrupor de circuito.- Es un dispositivo de seccionamiento capaz de transportar e interrumpir corrientes bajo condiciones normales del circuito; o transportar (por un determinado tiempo) e interrumpir corrientes bajo condiciones anormales (corto circuito). (Landázuri Carlos , 2016)

Seccionador.- Es un dispositivo de maniobra capaz de transportar e interrumpir corrientes que pueden incluir ciertas condiciones de sobrecarga del circuito; y también transportar por un determinado tiempo corrientes bajo condiciones anormales (corto circuito). Sin embargo no es común que pueda interrumpir corrientes de falla. (Landázuri Carlos , 2016)

Seccionador-fusible.- Es un seccionador que tiene un fusible en serie en uno o más polos, de forma que las corrientes normales son interrumpidas por el seccionador y las corrientes altas de falla son interrumpidas por la apertura del fusible. (Landázuri Carlos , 2016)

Reconectador.- Es un interruptor de circuito equipado con relés para ejecutar un patrón variable de disparos y cierres bajo ciertas condiciones de falla. (Landázuri Carlos , 2016)

Desconectador.- Es un dispositivo de seccionamiento mecánico que permite tener una distancia de aislamiento específica cuando está abierto. Es capaz de transportar por un determinado tiempo corrientes bajo condiciones anormales (corto circuito), sin embargo no es capaz de interrumpir corrientes de falla. (Landázuri Carlos , 2016)

Auto-seccionalizador.- Es un Desconectador equipado con inteligencia elemental para operar dentro del tiempo muerto de un reconectador. (Landázuri Carlos , 2016)

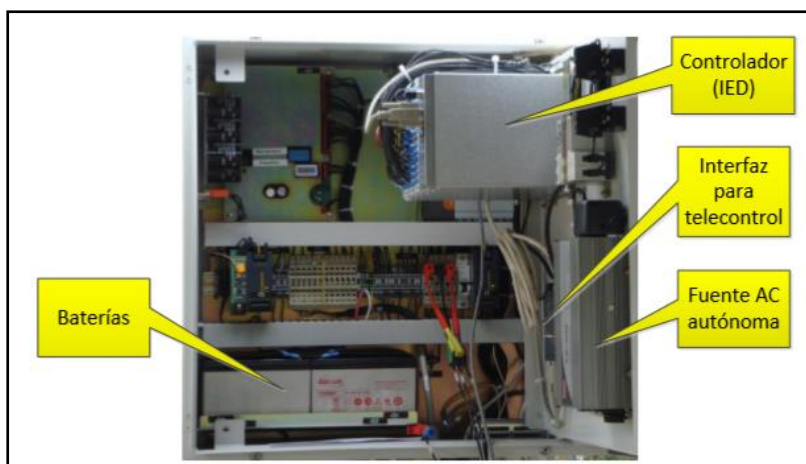
Seccionador Desconectador.- Usado para desenergizar el suministro eléctrico en un punto de trabajo y luego crear un ambiente seguro de trabajo en ese punto. (Landázuri Carlos , 2016)

2.3.1.2 Componentes de los equipos inteligentes de seccionamiento.

Un equipo de seccionamiento/maniobra inteligente debe tener las características especificadas para un dispositivo listo para la automatización. Este dispositivo es el resultado de combinar un equipo primario de interrupción y uno o más dispositivos secundarios como un dispositivo electrónico Inteligente (IED) o una RTU. En la

Figura 2.8, se muestran los elementos incluidos en un gabinete de control construido con visión de automatización. (Landázuri Carlos , 2016)

Figura 2.8: Gabinetes de control para automatización.

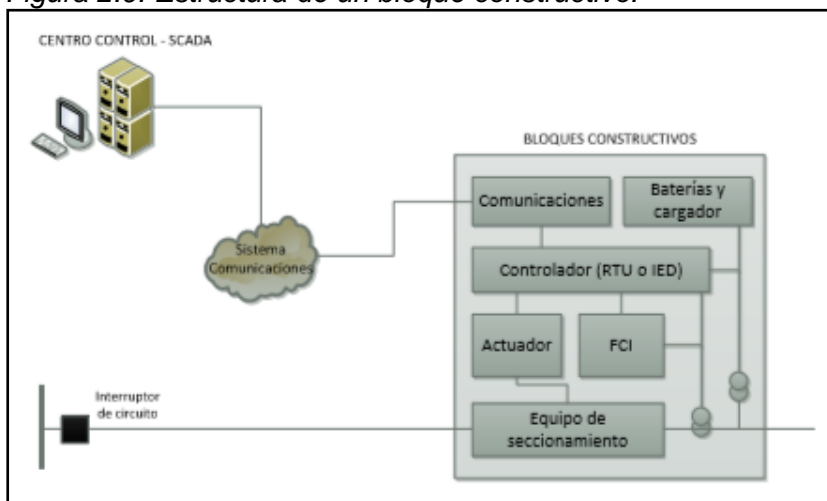


Fuente: (Landázuri Carlos , 2016)

Bloque constructivo es un grupo de componentes probados independientemente, que han sido agrupados en un único ensamblaje, el cual entonces es probado para verificar su correcto funcionamiento como una sola unidad (Northcote-Green & Wilson, 2007). En la

Figura 2.9, muestra un diagrama genérico de un bloque constructivo, cuyos componentes tienen varias opciones que se describen a continuación.

Figura 2.9: Estructura de un bloque constructivo.



Fuente: (Northcote-Green & Wilson, 2007)

Conmutador.- Es el dispositivo de maniobra principal que opera en media tensión (MT), y es el elemento más importante en un esquema de control extendido (FA). Puede ser un desconectador, un interruptor de circuito o un reconectador. (Landázuri Carlos , 2016)

Actuador.- Es el método de operar eléctricamente el conmutador, siendo los más comunes el motor-resorte, un solenoide o un actuador magnético. (Landázuri Carlos , 2016)

Controlador.- Es el centro del bloque constructivo y puede ser acondicionado con entradas y salidas digitales, y entradas analógicas. Puede ser un IED o una RTU. (Landázuri Carlos , 2016)

TC/TP.- Los transformadores de corrientes (TC) permiten el funcionamiento de los relés de protección, la medición de la corriente de carga, y la operación de la lógica del seccionizador. Los transformadores de potencial (TP) permiten operar el elemento direccional de los relés de protección, indicar la pérdida de tensión del sistema, y dependiendo del burden del TC, suministrar energía para la carga de las baterías internas. (Landázuri Carlos , 2016)

Comunicaciones.- Uno de los objetivos del método de bloques constructivos es lograr la máxima flexibilidad. Un ejemplo de esto es la capacidad de intercambiar los dispositivos de comunicación. De esta forma, se pueden utilizar diferentes comunicaciones en diferentes ubicaciones, incorporando cualquier equipamiento de comunicaciones a un gabinete de control preparado, obteniendo beneficios a escala. (Landázuri Carlos , 2016)

Indicador de falla.- El FCI indica la ubicación de la sección en falla. Pueden estar incluidos en las funciones del controlador. (Landázuri Carlos , 2016)

Baterías.- Las baterías y su cargador son elementos básicos de un bloque constructivo, ya que suministran potencia DC para la operación de todo el bloque constructivo durante una interrupción de la red de media tensión. (Landázuri Carlos , 2016)

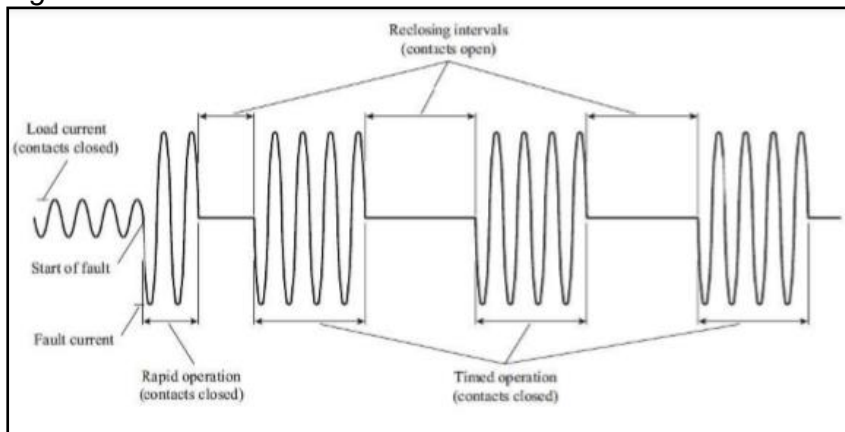
2.3.1.3 Características funcionales de dispositivos inteligentes para automatización de la distribución.

Estos y otros dispositivos inteligentes de distribución (reguladores de tensión, bancos de capacitores, etc.) son descritos en esta sección, a través de sus principales características funcionales orientadas a la automatización.

2.3.1.4 Reconectores.

Un reconector es un equipo de maniobra auto-controlado que tiene la capacidad de interrumpir automáticamente una corriente de falla dentro de sus límites de diseño y realizar operaciones de reconexión automática con una secuencia predeterminada de aperturas y reconexiones seguidas de una operación de bloqueo o restablecimiento del servicio. La Figura 2.10 muestra un ciclo de aperturas y reconexiones típico de un reconector de distribución. La interrupción de corriente ocurre cuando el valor instantáneo de la corriente de falla es igual a cero. (Landázuri Carlos , 2016)

Figura 2.10: Ciclo de reconexión automática de un reconector.

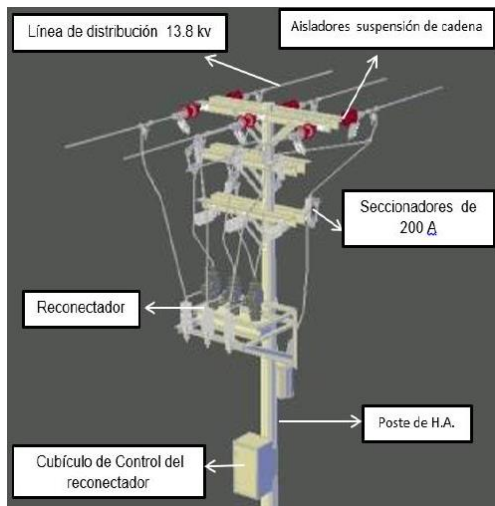


Fuente: (Uluski, *Distribution Management Systems*, 2011).

Los elementos principales de un reconector son:

- Reconector: Es el equipo primario de maniobra que provee el medio físico de interrupción de corriente de falla. (Landázuri Carlos , 2016)
- Controlador: Contiene los sistemas de control, automatización y comunicaciones necesarios para la operación efectiva del reconector. (Landázuri Carlos , 2016)

Figura 2.11: Reconector.



Fuente: (Magallan, 2019)

Los reanectadores pueden ser trifásicos o monofásicos, montados en poste o en portafusible como se aprecia en la

Figura 2.11. Los reanectadores trifásicos son utilizados tradicionalmente para proveer la protección de sobre-corriente necesaria en alimentadores y facilitar el aislamiento automático de fallas, restauración del servicio y mejoramiento de la confiabilidad. Normalmente, los reanectadores están acompañados por controladores electrónicos inteligentes basados en microprocesadores con capacidad de ser programados en sitio o remotamente, además los controladores incluyen sistemas autónomos de suministro de energía formados por sistemas de baterías y unidades de respaldo no-interrumpible. El controlador permite que todas las operaciones del reanectador puedan ser comandadas completamente de forma remota vía SCADA, ya sea mediante instrucciones emitidas por el operador del centro de control de distribución o por un controlador de un esquema avanzado de automatización de la distribución. (Landázuri Carlos , 2016)

Los reanectadores incluyen sistemas de medición de corriente y tensión. Los parámetros a medir pueden incluir los siguientes:

- Corriente de fase y neutro
- Tensión de fase a fase y fase a neutro
- Potencia activa y energía activa por fase y total

- Potencia reactiva y energía reactiva por fase y total
- Factor de potencia por fase y total
- Frecuencia. (Landázuri Carlos , 2016)

2.3.1.5 Cuchillas seccionadoras.

Su apariencia se ve en la

Figura 2.12 y son dispositivos con capacidad de interrupción de corriente de carga, utilizados para realizar operaciones de maniobra y seccionamiento de alimentadores de distribución. Las cuchillas seccionadoras no tienen capacidad de interrupción de corriente de falla e individualmente no tienen capacidad de detectar o aislar fallas de forma automática. Sin embargo cuando varias cuchillas seccionadoras (equipadas con sistemas de comunicación, medición e indicación de falla) son utilizadas en conjunto con esquemas avanzados de DA con control inteligente, son capaces de identificar y aislar secciones de alimentadores donde han ocurrido fallas.

La ventaja de utilizar cuchillas seccionadoras en estos esquemas de automatización es que su instalación requiere de análisis menos complejo que cuando se utilizan reconectores, ya que no es necesario asegurar la coordinación de protecciones entre cuchillas seccionadoras o entre estas y los reconectores del alimentador. (Landázuri Carlos , 2016)

Figura 2.12: Cuchilla seccionadora.



Fuente: (Quanta Technology, 2014)

2.3.1.6 Seccionalizadores.

Es un dispositivo que aísla automáticamente las secciones en falla de un alimentador una vez que un interruptor de circuito o reconectador ubicado aguas arriba ha interrumpido la corriente de falla respectiva. El seccionalizador no tiene capacidad de interrupción de corriente de falla, por lo tanto debe ser utilizado en conjunto con un dispositivo de respaldo que cuente con esta capacidad. Cuando una falla ocurre aguas abajo del seccionalizador, este registra la corriente de falla (la cual excede la corriente mínima de actuación del seccionalizador) y cuenta el número de pérdidas o ausencias de tensión debidas a las operaciones de reconexión del dispositivo ubicado aguas arriba (interruptor de circuito o reconectador), el cual se encarga de interrumpir la corriente de falla. Una vez que se alcanza un número de ausencias de tensión predefinido y mientras el dispositivo de respaldo está abierto, el seccionalizador realiza una operación de apertura para aislar la sección en falla. Posteriormente el dispositivo de respaldo realiza una operación de reconexión exitosa y restaura el servicio a los clientes ubicados entre ambos dispositivos. Si la falla es de naturaleza temporal el seccionalizador se reinicia una vez que la falla es extinguida por las operaciones de reconexión del dispositivo de respaldo. (Landázuri Carlos , 2016) El seccionalizador puede ser trifásico o monofásico y puede ser montado en poste o en porta-fusibles, estas diferentes opciones son mostradas en la Figura 2.13.

Figura 2.13: Seccionalizadores trifásicos y monofásicos y porta fusible.



Fuente: (Quanta Technology, 2014)

2.3.1.7 Bancos de capacitores conmutados.

Los bancos de capacitores conmutados son similares a los bancos de capacitores convencionales, como se muestra en la Figura 2.14. La principal diferencia es que los capacitores conmutados son equipados con dispositivos de medición, controladores y/o sistemas de comunicación mediante los cuales se controla su desconexión y reconexión automática en respuesta a variables de control locales o globales. Las variables de control típicamente utilizadas son tensiones y flujo de potencia reactiva local, tiempo y temperatura. Las variables de control global generalmente son determinadas por algoritmos de optimización de tensión y potencia reactiva que residen en el DMS e incluyen pérdidas mínimas, y potencia reactiva o perfil de tensiones plano del alimentador. (Landázuri Carlos , 2016)

Figura 2.14: Banco de capacitores conmutado.



Fuente: (Landázuri Carlos , 2016)

2.3.1.8 Reguladores de tensión de línea.

Los reguladores de tensión de línea son autotransformadores equipados con un sistema de cambiadores de derivaciones bajo carga que permiten controlar la tensión en puntos específicos de los alimentadores de distribución, como se muestra Figura 2.15. Su utilización permite mantener la tensión en estos puntos constante (o dentro de un rango de valores predefinido) y compensar automáticamente bajo carga las fluctuaciones de tensión que

ocurren durante la operación normal del sistema de distribución y que son debidas a las variaciones diarias, semanales, mensurales y estacionales de la demanda. Los reguladores de tensión de línea pueden ser monofásicos para montaje en poste o en plataforma y pueden tener la capacidad de ser operados individualmente (un regulador en un ramal monofásico) o en tándem (tres reguladores en un troncal o ramal trifásico o dos reguladores en un ramal bifásico) de tal forma que permitan regular la tensión de cada fase de las líneas de distribución de forma individual. (Landázuri Carlos , 2016)

Figura 2.15: Reguladores de tensión.



Fuente: (Landázuri Carlos , 2016)

Los reguladores de tensión pueden estar equipados con un controlador basado en microprocesadores que puede ser supervisado y controlado en tiempo real vía SCADA, de tal forma que todos sus ajustes de control de tensión puedan ser modificados remotamente, y todas sus operaciones pueden ser controladas completamente de forma remota vía SCADA. (Landázuri Carlos , 2016)

2.3.1.9 Indicadores de Circuito Fallado.

Los indicadores de circuito fallado o indicadores de falla son dispositivos que proveen indicación visual y/o auditiva de la presencia de una falla en un alimentador de distribución; son instalados en ubicaciones estratégicas a lo largo de los alimentadores de distribución (por ejemplo, después de ramales principales, a lo largo de alimentadores de gran longitud, y en conjunto con dispositivos de seccionamiento sin capacidad de detección de falla como cuchillas seccionadoras), como se muestra en la

Figura 2.16, con el propósito de facilitar la ubicación de fallas, reducir la duración de las interrupciones de servicio y de esta forma mejorar la confiabilidad del sistema de distribución. (Landázuri Carlos , 2016)

Figura 2.16: Indicadores de falla.



Fuente: (Quanta Technology, 2014)

Los indicadores de falla consisten de sensores especializados que se activan automáticamente al detectar la circulación de corriente de falla a través de la ubicación del alimentador donde están instalados seguida de la pérdida de tensión en el mismo debida a la operación de un dispositivo de protección, esta última característica está diseñada para prevenir activaciones erróneas. (Landázuri Carlos , 2016)

Los indicadores de falla deben tener la capacidad de ser supervisados en tiempo real vía SCADA y proveer indicación visual evidente para ser utilizada en el campo por las cuadrillas de reparación e indicación remota a ser utilizada por el operador del centro de control de distribución y sistemas de gestión de interrupciones (OMS) y DMS. (Landázuri Carlos , 2016)

2.3.1.10 Sensores de tensión y corriente.

Los sensores de tensión y corriente son necesarios para recolectar datos del sistema de distribución que pueden ser procesados y utilizados en funciones avanzadas de automatización de la distribución como optimización de tensión y potencia reactiva y localización y aislamiento de fallas y restauración del servicio, lucen como se muestra en las

Figura 2.17 y

Figura 2.16. La mayoría de los dispositivos modernos de protección y control y regulación de tensión, como los descritos en esta sección tienen incorporados sensores de tensión y corriente que permiten monitorear en tiempo real vía SCADA, no solo estas variables, sino también flujos de potencia activo y reactivo. Los sensores pueden tener la capacidad de ser supervisados en tiempo real vía SCADA que permita su utilización en esquemas avanzados de automatización de distribución. Los sensores deberán suministrar lecturas de valores de tensión y corriente con precisión similar a la de los medidores de energía activa (kWh) utilizados convencionalmente por la distribuidora y disponer de salidas de tensión de 120 V que puedan ser utilizadas como señales de control para equipos de

protección y seccionamiento, y equipos de control y regulación de tensión. (Landázuri Carlos , 2016)

Figura 2.17: Sensor individual de tensión y corriente.



Fuente: (Landázuri Carlos , 2016)

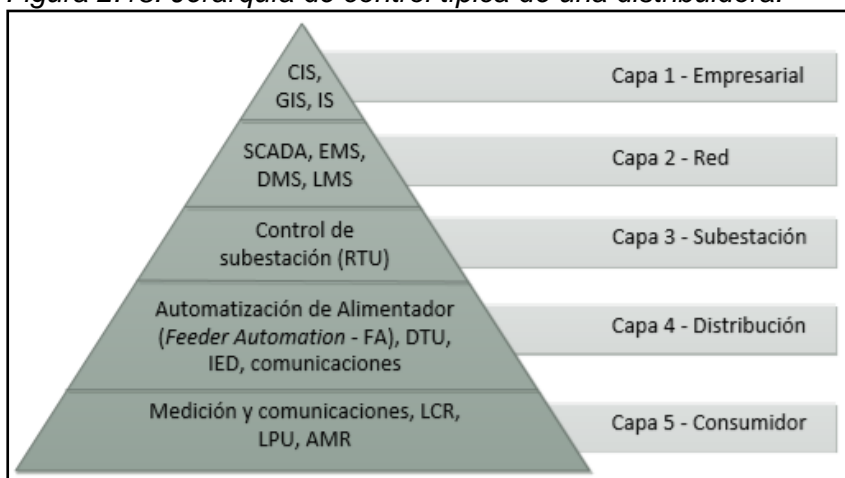
2.3.2 Jerarquía de control.

La automatización del sistema eléctrico se aplica dentro de una jerarquía de control estructurada que abarca las necesidades de los diferentes elementos de la cadena de suministro de energía eléctrica (generación, transmisión, distribución y clientes). Esto requiere la capacidad de controlar la red desde un punto central denominado centro de control, o desde varios centros de control distribuidos con delegación de control. (Landázuri Carlos , 2016)

Este proceso se denomina SCADA o telecontrol, y se fundamenta en las comunicaciones de datos entre el centro de control y los dispositivos primarios a ser operados (generadores, interruptores, cambiador de tomas, reconectores, etc.). (Landázuri Carlos , 2016)

Una jerarquía de control típica se muestra en la Figura 2.18, y está confirmada por cinco capas. (Northcote-Green & Wilson, 2007)

Figura 2.18: Jerarquía de control típica de una distribuidora.



Fuente: (Northcote-Green & Wilson, 2007)

2.3.2.1 Capa 1 – Empresarial.

Es el nivel superior de la jerarquía, comprende todos los sistemas empresariales de IT (Tecnología de la Información), administración de activos, y comerciales: CIS (Sistema de Información de Clientes) GIS (Sistema de Información Geográfica), etc. (Landázuri Carlos , 2016)

2.3.2.2 Capa 2 – Red.

Históricamente, esta capa ha controlado las redes de transmisión de energía de gran volumen, incluyendo el despacho económico de los generadores. En esta capa se manejan aplicaciones como SCADA, DMS, etc. (Landázuri Carlos , 2016)

2.3.2.3 Capa 3 – Subestación.

Comprende el control de todos los interruptores de circuito dentro de la subestación integrados con la comunicación de los estados de los relés de protección. (Landázuri Carlos , 2016)

2.3.2.4 Capa 4 – Distribución.

Cubre los sistemas de alimentadores de media tensión y refleja la expansión de las capacidades de control en tiempo real, a través de control remoto o automatización local, de los dispositivos de alimentador localizados aguas abajo de las subestaciones primarias. (Landázuri Carlos , 2016)

2.3.2.5 Capa 5 – Consumidor.

Es la capa más baja de control, comprende la interfaz directa con el cliente final. La gestión del lado de la demanda (DSM) y la lectura automática de medidores (AMR) son aplicaciones típicas de esta capa. (Landázuri Carlos , 2016)

Para el objeto del presente proyecto vamos a conceptualizar dos tipos de sistemas de automatización de las redes de distribución:

- Sistema de control y adquisición de datos
- Sistema de Medición Inteligente

2.4 Sistemas de control y adquisición de datos.

Recopilar y monitorear los datos en tiempo real es un pilar fundamental en las empresas de producción y fabricación más grandes del mundo, todo esto se puede lograr gracias a un sistema SCADA. (#TécnicoZ, 2020)

Los sistemas SCADA originalmente se diseñaron para cubrir las necesidades de un sistema de control centralizado, sobre procesos o complejos industriales distribuidos sobre áreas geográficas muy extensas. (Luis, 2007)

2.4.1 Generalidades de sistema SCADA.

El sistema Control de supervisión y adquisición de dato comprende todas aquellas soluciones de aplicación donde se refiere a la captura de información de un proceso o planta industrial para que con esta información, sea posible efectuar una serie de análisis y estudios con los que se pueden lograr valiosos indicadores que permitan una retroalimentación sobre un proceso o un operador. El SCADA no sólo es el software sino también Hardware, la interfaz, Usuarios y administradores, Controladores, Redes, Bases de datos y Comunicaciones, etc. Las funciones que realizan son la Adquisición de datos, Supervisión y Control.

(Schliserman, G. E, 2015)

EL sistema está establecido por un conjunto de componentes de software y hardware que permiten la supervisión y monitoreo de plantas industriales tanto de forma local como remota; examinando, recopilando y procesando datos en tiempo real. (#TécnicoZ, 2020)

Software de interacción hombre-máquina.- El HMI facilita interacción con dispositivos de campo como bombas, sensores, válvulas, etc.; dentro del software se puede registrar los datos y guárdalo con fines históricos. (#TécnicoZ, 2020)

2.4.2 Componentes del sistema SCADA.

El sistema está conformado de los siguientes componentes principales:

2.4.2.1 Unidad terminal maestra.

EL MTU es el Núcleo del sistema SCADA, está compuesto básicamente de una computadora, Programmable Logic Controller (PLC) y servidor de red que ayudan a la MTU a comunicarse con las unidades terminales remotas (RTU). MTU inicia la comunicación para recopilar y guardar datos, ayuda a interactuar a los operadores con el sistema y comunicar datos a otros sistemas. (#TécnicoZ, 2020)

2.4.2.2 Controlador Lógico programable.

El PLC es un equipo electrónico, que, tal como su mismo nombre lo indica, se ha diseñado para programar y controlar procesos secuenciales en tiempo real. (Logicbus, 2018)

2.4.2.3 Unidad terminal remota.

RTU es un dispositivo empleado en los sitios de campo y conectado con los sensores y actuadores, se utiliza para recopilar la información de estos sensores y luego enviar los datos a la MTU, actualmente también se utilizan los PLCs como RTU. (#TécnicoZ, 2020)

2.4.2.4 Red de comunicación.

Se define como un enlace o conexión entre la RTU en campo y la MTU en la ubicación central, y entre la RTU los equipos de campos sensores y actuadores; el canal de comunicación puede ser alámbrico o inalámbrico. (#TécnicoZ, 2020)

2.4.3 Funciones del sistema SCADA.

El sistema SCADA está establecido básicamente a cumplir las siguientes funciones:

- Monitorear y recopilar datos en tiempo real
- Interactuar con dispositivos de campo y estaciones de control a través de la interacción hombre-máquina (HMI)
- Registrar eventos de sistemas en un archivo de registro
- Controlar el proceso de forma remota
- Almacenar información e informes (#TécnicoZ, 2020)

2.4.4 Software del sistema SCADA.

Algunas de las empresas más populares que elaboran software SCADA son:

- Citect SCADA de Schneider Electric
- Intouch de wonderware (sistema nuevo modular)
- Experion SCADA de Honeywell
- Simatic Wincc de Siemens
- FactoryTalk de Rockwell Automation (#TécnicoZ, 2020)

2.4.5 Aplicaciones del sistema SCADA.

Las aplicaciones más conocidas del sistema son:

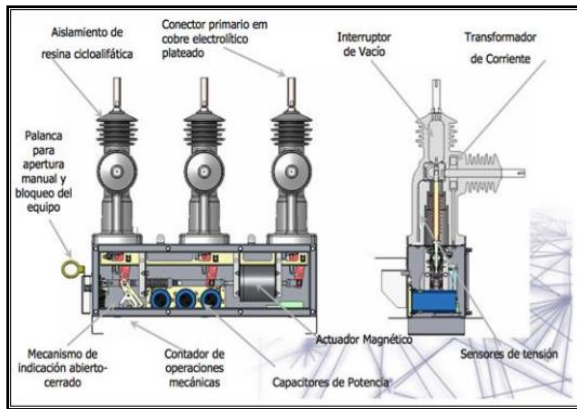
- Distribución de energía
- Industria alimentaria
- Fabricación
- Petróleo y gas
- Potencia
- Reciclaje
- Transporte
- Agua y aguas residuales (#TécnicoZ, 2020)

Los sistemas SCADA ayudan a la eficiencia y control de los sistemas industriales alargando vida útil de equipos y demás, aumenta calidad y proceso mediante análisis de datos permitiendo anticipar y prevenir errores. (#TécnicoZ, 2020)

2.4.6 Reconectores en el sistema SCADA.

El Reconector es un sensor y actuador de campo que posee un interruptor con reconexión automática, instalado preferentemente en líneas de distribución MT. Es un dispositivo de protección capaz de detectar una sobrecorriente, interrumpirla y reconectar automáticamente para reenergizar la línea. Está dotado de un control que le permite realizar varias reconexiones sucesivas; pudiendo, además variar el intervalo y la secuencia de estas reconexiones, además de tener telecontrol. (Sector Electricidad, 2017) En la Figura 2.19, se muestran las partes que lo componen.

Figura 2.19: Partes de un Reconector.



Fuente: (Sector Electricidad, 2017)

El Equipo utiliza interruptores cuya operación es tripolar y el vacío como medio de extinción de arco. Aislado con una espuma conocida como Joslyte, y un actuador magnético único para la apertura y para el cierre. (Sector Electricidad, 2017)

El actuador magnético es operado por capacitores en el gabinete de control los cuales son cargados y descargados por el controlador electrónico. (Sector Electricidad, 2017)

La función fundamental de los reancladores automáticos es brindar ciclos de reconexión automática para eliminar fallos transitorios y minimizar el tiempo de indisponibilidad de la red. Además de mejorar la confiabilidad y reducir el índice de duración promedio de interrupciones del sistema (SAIDI), el índice de frecuencia media de interrupción del sistema (SAIFI) y el índice de frecuencia promedio de interrupciones momentáneas (MAIFI), (Erasmus Electric, 2020)

2.4.6.1 Comunicación de los reancladores.

Los reancladores de media tensión así como otros IEDs dispuestos en las líneas de distribución eléctrica están asociados a una determinada RTU (por lo general está en una subestación eléctrica), quien es la encargada de monitoreo y control de estos por medio de una red de comunicación, y a su vez estas RTUs son monitoreadas y controladas por MTU en el centro de operación.

Para el establecimiento de la comunicación entre el reanclador y la RTU, el control electrónico del reanclador básicamente posee puerto serie RS232 y RS485, puerto Ethernet y puerto USB 2.0.

2.4.6.2 Protocolo de comunicación de los reconectores.

Las comunicaciones entre el reconector y la RTU son fundamentales para la transmisión de datos en tiempo real, la cual permite el control, supervisión y adquisición de datos de manera remota. (Herredia & Cholo, 2023)

En las subestaciones y redes de distribución eléctrica existen diferentes equipos con protocolos de comunicación propios de cada fabricante, que deben trabajar en conjunto para realizar satisfactoriamente sus funciones, esto trae problemas de interoperabilidad entre los dispositivos ya que al ser de distintos fabricantes no pueden cumplir las mismas funciones, esta dificultad se soluciona cuando se utiliza un estándar común tanto en las subestaciones como en los diferentes equipos de los fabricantes. (Herredia & Cholo, 2023)

- **MODBUS.-** Protocolo de comunicación de capa 7 del modelo OSI, con arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor; muy utilizado para la conexión de dispositivos electrónicos industriales. Las características por las cuales el protocolo Modbus sobresale a otros protocolos de comunicaciones son: Es público, Implementarlo es sencillo y de poco desarrollo, Maneja bloques de datos sin suponer restricciones. La tecnología Modbus sirve para conectar un ordenador de control con una unidad remota (RTU) en sistemas de control de adquisición de datos (SCADA). Existen versiones del protocolo Modbus para puerto serie y Ethernet (Modbus/TCP)
- **DNP3.-** Este protocolo abierto de SCADA creado por la empresa Westronic, permite la comunicación entre sistemas de adquisición de datos y sistemas de control, utiliza el modelo EPA (Mejora de Arquitectura de Rendimiento), que contiene la capa física, la capa de enlace de datos, la capa pseudo transporte, esta última sirve para sobrepasar la máxima longitud dada por el IEC 60870-5-1. DNP3 trabaja en interfaces serie RS232, RS485, también trabaja a través de redes IP y Ethernet, como medio de comunicación utiliza la fibra óptica, radio enlace o satélite. (Herredia & Cholo, 2023)
- **IEC 61850.-** se centra en la comunicación a nivel de subestaciones eléctricas para proporcionar interoperabilidad entre dispositivos de diferentes proveedores. Describe

los dispositivos presentes en el sistema de automatización de subestaciones, sus funciones interoperabilidad, comunicaciones de alta velocidad entre los dispositivos, interfaces de comunicación entre ellos, intercambio de información en la red, y soporte de configuración. Con la arquitectura abierta, se puede asignar funciones sin importar cuales son los fabricantes de los equipos, permite asumir la tecnología de comunicación futuro, lo que permite salvaguardar la inversión del cliente a largo plazo. Entre las principales características se tienen: Comunicación cercana a los equipos de potencia, Comunicación, adquisición de datos y control, Reducción de cableado convencional, Uso de LAN en reemplazo de múltiples cables de cobre, Es un sistema a prueba de futuro, es decir su estructura robusta permite mantenerse a pesar de los rápidos cambios tecnológicos, Está diseñado para seguir tanto el progreso en las tecnologías de comunicación. (Herredia & Cholo, 2023)

2.5 Generalidades redes inalámbricas.

Son redes sin cables que se suelen comunicar por medios no guiados a través de ondas electromagnéticas utilizando como medio de transmisión al aire a la velocidad de la luz. La transmisión y recepción la efectúa por medio de antenas. Normalmente el emisor posee una sola antena, pero pueden tener varias ya que existen sistemas incluso de hasta 4 antenas. Durante la interacción una antena se usa para la emisión y otra para la recepción y por lo general la misma antena permite actuar en ambos sentidos. También puede trabajar con antenas intermedias (de corta distancia metros) y repetidoras (de larga distancia kilómetros). Son de suma importancia para comunicar sitios remotos o de difícil acceso a las redes cableadas. (Joaquin, 2010)

Las redes inalámbricas no solo son usadas para realizar conexión de datos. Frecuentemente se usa para emitir señales de televisión, telefonía, seguridad, sensores, domótica, redes eléctricas inteligentes, etc. (Joaquin, 2010)

2.5.1 Características de las redes inalámbricas.

Las ventajas que ofrece este medio son:

- Rápida instalación de red.- No se requiere cablear, pedir permiso de obra, levantar calle o calzada, etc.
- Permiten movilidad.- El medio de transmisión no está sujeto a ningún cable lo que permite una movilidad dentro del radio de recepción de la señal.
- Menos costos de mantenimiento.- Al no tener cable los costos de mantenimiento se reducen.
- Accesibilidad.- Cable todos los móviles, portátiles y dispositivos electrónicos soportan o incluyen varias tecnologías inalámbricas.
- Productividad.- Proporcional colaboración, teletrabajo, etc.
- La única solución para zonas donde no llega el cableado, como es el caso de zonas rurales, campo, selva, etc. (Joaquin, 2010)

Del mismo modo posee desventajas como: Cambios atmosféricos: como lluvia, vientos (vientos fuertes, tornados, huracanes), etc.

- Interferencias externas.- De otros emisores de microondas y fenómenos espaciales.
- Falta de seguridad.- Al emitirse libremente por el aire para poder ser intersectado por cualquiera, lo que requiere aumentar la seguridad y encriptación.
- Mas errores.- por las interferencias.
- Mas costos iniciales.- Los dispositivos, antenas, etc. son más caros.
- La velocidad es más limitada. (Joaquin, 2010)

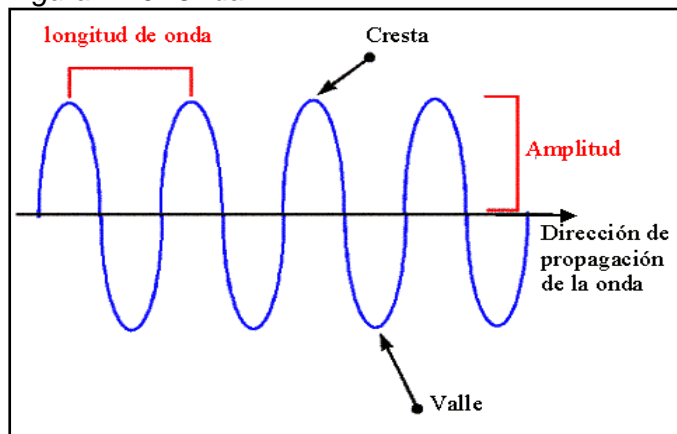
2.5.2 Funcionamiento de las redes y tecnología inalámbricas.

La tecnología inalámbrica funciona porque una onda electromagnética, que viaja por el aire a la velocidad de la luz, puede crear, o "inducir", una señal eléctrica en una antena. Si podemos controlar esta onda electromagnética, entonces podemos usarla para comunicarnos o para transmitir información de un lugar a otro son necesidad de cables. La información se envía desde un lugar, **el transmisor**, y se recoge en otro, **el receptor**, utilizando una onda electromagnética para transportarla.

Los transmisores y receptores se ubican en cada extremo del sistema inalámbrico, utilizando una antena en cada extremo. Pero para entender la tecnología inalámbrica es necesario primero conocer las ondas electromagnéticas. Las ondas electromagnéticas suelen tener forma senoidal. (areatecnologia, 2020)

La frecuencia de una onda electromagnética es la velocidad a la que vibra la señal. Concretamente, la frecuencia de una onda es la cantidad de veces que se repite la onda en un segundo, y viene expresada en Hertzios. Una onda de 1Hz se repite una vez cada segundo. Otro dato importante es la longitud de onda, que es la distancia entre 2 crestas de una onda (areatecnologia, 2020), como se muestra en la Figura 2.20.

Figura 2.20: Onda.



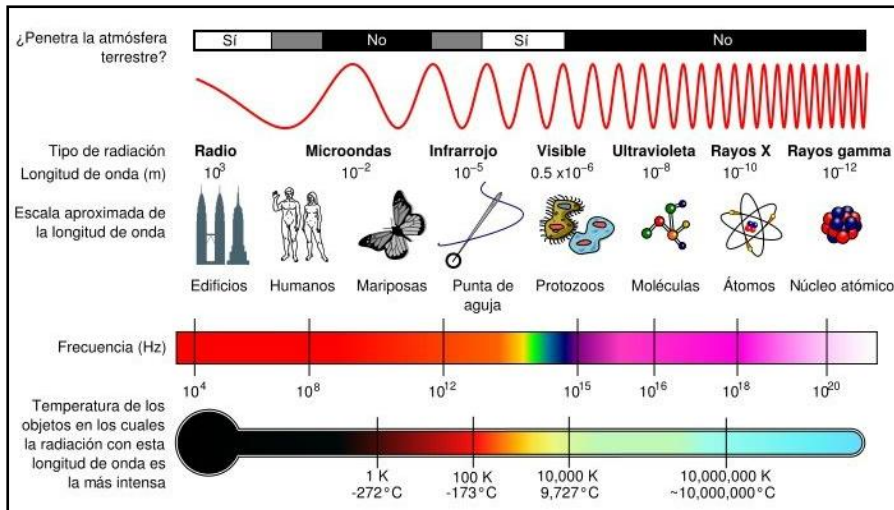
Fuente: (areatecnologia, 2020)

Lógicamente a mayor longitud de onda menor frecuencia de vibración. Si vibra muy rápido (mucha frecuencia) las ondas generadas estarán más cercanas unas de las otras y tendrán menor longitud de onda. (areatecnologia, 2020)

Las ondas electromagnéticas en función de su frecuencia o longitud de onda, se utilizan para diferentes tipo de transmisión, de esta forma podremos enviar diferentes tipos de información sin que interfieran unas ondas con otras (areatecnologia, 2020), como se ve en la

Figura 2.21.

Figura 2.21: Ondas Electromagnéticas frecuencia y longitud de onda.



Fuente: (areatecnologia, 2020)

Las diferentes frecuencias (bandas electromagnéticas) que puede tener una onda electromagnética nos permiten emitir dos señales diferentes simultáneamente sin que sus señales interfieran entre sí. Estos diferentes rangos de frecuencia se los conoce como espectro electromagnético. (areatecnologia, 2020)

2.5.3 Bandas de frecuencias.

Los Gobiernos de cada País son las responsables de asignar rangos de frecuencia para cada propósito específico. (areatecnologia, 2020)

- **Las bandas con licencia** son propiedad de ciertas compañías o instalaciones para fines específicos y no pueden ser utilizadas por nadie más. (areatecnologia, 2020)
- **Las bandas sin licencia** son gratuitas y cualquiera puede usarlas, sujeto a ciertas normas. (areatecnologia, 2020)

Las bandas con licencia generalmente están libres de interferencias y son más confiables, ya que existe un control sobre quién puede transmitirlos. (areatecnologia, 2020)

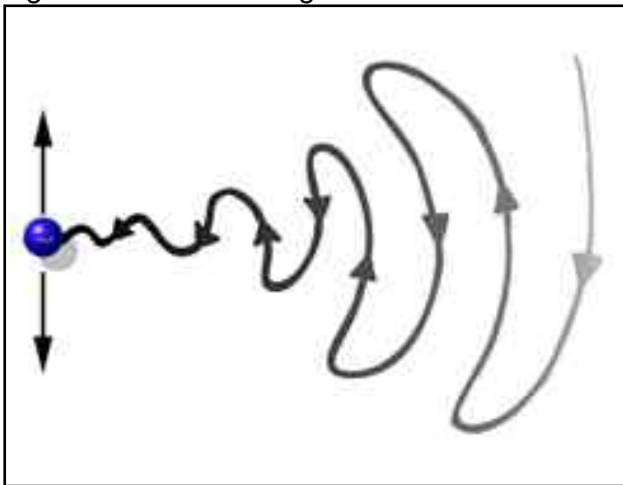
Dado que las señales de comunicación suelen ser de muy altas en frecuencia, abreviamos las mediciones de las frecuencias. Millones de vibraciones por segundo son Megahertz (MHz) y miles de millones de vibraciones por segundo son Gigahertz (GHz). Mil Megahertz es un Gigahertz. (areatecnologia, 2020)

2.5.4 Generación y transmisión de señal inalámbrica.

En el transmisor, donde un oscilador genera una onda eléctrica. Esta señal se propaga a través de los cables internos del dispositivo hasta la antena. Como la antena es un conductor, la corriente eléctrica va hacia el final de la antena. La antena luego irradia (envía) la corriente alterna como una onda electromagnética, como se ve

Figura 2.22 . Aquí es donde comienza la conexión inalámbrica, es decir, la antena convierte la corriente eléctrica en ondas. (areatecnología, 2020)

Figura 2.22: Oscilador generador onda eléctrica.



Fuente: (areatecnología, 2020)

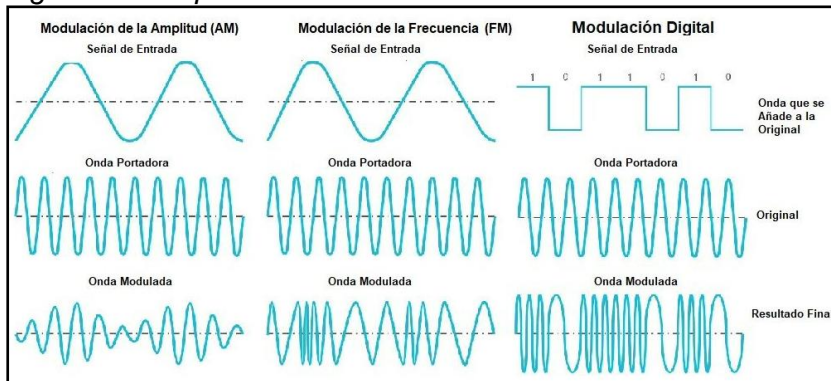
En el transmisor, las señales eléctricas salen de la antena para crear ondas electromagnéticas que se irradian hacia el exterior. (areatecnología, 2020) Los pulsos de la señal original son amplificados por un circuito amplificador, estas señales amplificadas son colocadas en el modulador del transmisor. (areatecnología, 2020)

La misión del modulador es modular la onda, que es simplemente variar su frecuencia para poder transmitir la información de la onda electromagnética en la frecuencia deseada como ya vimos. (areatecnología, 2020) También se puede modular variando su Amplitud, dependen el tipo de información que queramos enviar. (areatecnología, 2020)

Hay muchos tipos de modulación, como se ve en la

Figura 2.23; normalmente se modula la frecuencia y/o la amplitud de la onda, y diferentes tecnologías que pueden usar uno o más tipos para enviar y recibir información. (areatecnologia, 2020)

Figura 2.23: Tipos de modulaciones.



Fuente: (areatecnologia, 2020)

Una onda portadora es una onda pura de frecuencia constante, semejante a una onda sinusoidal. Por sí solo no contiene mucha información con la que podamos relacionarnos (como el habla o los datos) (areatecnologia, 2020)

Para incluir información de voz o información de datos, se debe superponer otra onda, llamada señal de entrada, en la parte superior de la onda portadora. Este proceso de imponer una señal de entrada a una onda portadora es lo que se llama modulación. (areatecnologia, 2020)

En resumen, la modulación cambia la forma de una onda portadora para codificar de alguna manera la información de voz o datos que estábamos interesados en llevar. (areatecnologia, 2020)

La modulación es como esconder un código dentro de la onda portadora. Una vez modulada la señal, por lo general no va directamente al receptor después de ser transmitida. La antena en el transmisor irradia la señal en muchas direcciones. Las ondas pueden reflejarse en los edificios, difractar en bordes afilados o dispersarse en objetos pequeños y aun así llegar al receptor. En su camino, las ondas sufren diferentes atenuaciones y retrasos. (areatecnologia, 2020)

En el receptor, las ondas electromagnéticas crean o "inducen" pequeñas señales eléctricas en la antena, que son captadas por un circuito eléctrico. La señal suele ser muy pequeña y necesita ser amplificada antes de poder procesarla. Ahora el proceso es el inverso al anterior. (areatecnologia, 2020)

2.5.5 Clasificación de las redes inalámbricas.

Las redes inalámbricas se clasifican según su cobertura, tecnología y longitud de onda y frecuencia en los siguientes:

2.5.5.1 Clasificación de redes inalámbricas por cobertura.

Las redes inalámbricas se clasifican en 4 grupos según su cobertura, como se muestra en la

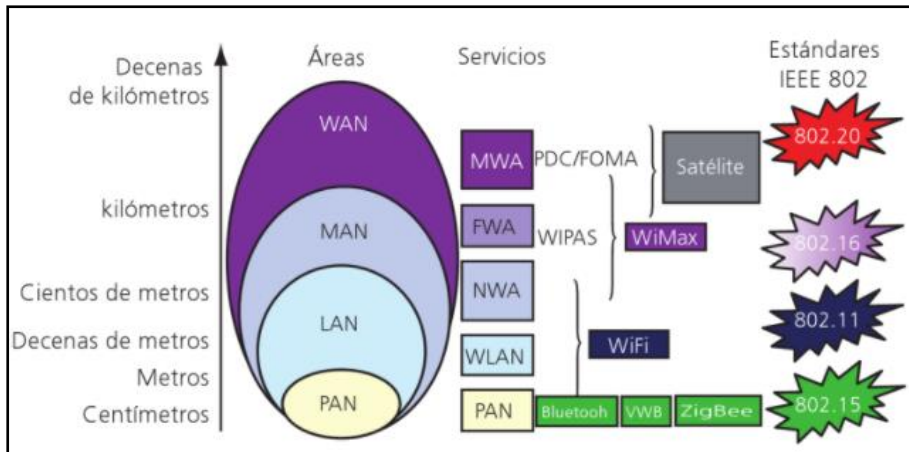
Figura 2.24 y cuentan con las siguientes características:

- **Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN)**, red inalámbrica de interconexión de periféricos que se pueden encontrar a unos pocos centímetros como a metros de distancia del emisor, con velocidades de transmisión de menos de 1 Megabits por segundo. El estándar más conocido es bluetooth que se utiliza para el intercambio de archivos persona a persona (P2P) o dispositivo a dispositivo (D2D). Existen otros estándares como Infrarrojo, RFID (Identificación por Radio Frecuencia), UWB (Banda Ultra Ancha), ZigBee, Infrared, etc. que cumplen el estándar IEEE 802.15. El DBT-120 es un transmisor con conector USB (Bus serial Universal) que permite conectar un terminal (Ordenador, portátil, móvil, etc.) a sus periféricos u otros terminales creando un PAN (Red de Area Personal) (Joaquin, 2010)
- **Redes Inalámbricas de Área Local (WLAN)**, son redes inalámbrica que suele ubicarse en el mismo edificio con una cobertura optima de 100 metros y alcanzando los 450 metros, también se la conoce como WIFI (Fidelidad Inalámbrica) utiliza el estándar IEEE 802.11 (Standard comunicación inalámbrica area local) en sus múltiples versiones (802.11a, 802.11b, 802.11g y

la 802.11n) aunque existen otras tecnologías como HiperLAN2. Actualmente existen tarjetas y dispositivos interfaz que permiten emitir hasta 450 metros en condiciones meteorológicas favorables sin interferencias y sin obstáculos intermedios pero que en la práctica funcionan de forma óptima en distancia de unos 100 a 200 metros. (Joaquin, 2010)

- **Red Inalámbrica de Área Metropolitana (WMAN)**, es una red inalámbrica que se sitúa en un barrio, urbanización o municipio pequeño (a pocos kilómetros). La tecnología de este grupo se conoce como inalámbricas de Banda Ancha. Ejemplos de ellas son WiMax (Interoperatividad Mundial por acceso Microondas) o el WiBro (Ancho de Banda Inalámbrico) que soportan hasta unos 54 Kilómetros de distancia en condiciones favorables de clima y cerca 22 Kilómetros en condiciones climatológicas adversas. Utiliza el estándar IEEE 802.16e (Joaquin, 2010)
- **Red Inalámbrica de Área Mundial (WWAN)**, es una red inalámbrica global basadas en tecnologías como vSAT (Terminales de Apertura muy pequeña) conexión satelital muy utilizada en barrio periféricos y el campo; y 2G, 3G, 4G y 5G que son soluciones de telefonía móvil que pueden llegar desde cientos de megabits por segundo hasta incluso a algunos gigabits por segundo, que son conocidos como MWWAN (Redes inalámbrica de área Mundial Movil) (Joaquin, 2010). Dentro de este grupo están las tecnologías LPWAN (Red de Área Amplia y Baja Potencia)

Figura 2.24: Clasificación de Redes Inalámbricas por cobertura.



Fuente: (Joaquin, 2010)

2.5.5.2 Clasificación de redes inalámbricas por tecnologías.

Las redes inalámbricas se clasifican en estos grupos según su tecnología con las siguientes características:

- **Infrarrojo.-** Esta tecnología en la actualidad se ha sustituido en gran medida por el Bluetooth. Las redes inalámbricas de infrarrojo no funcionan a través de objetos sólidos como las paredes. Su alcance normal es menor que el del Bluetooth o el ZigBee y para que la transmisión funcione el emisor y el receptor tienen que "verse" mutuamente. (areatecnologia, 2020)
- **Bluetooth.-** La función principal de la tecnología Bluetooth es que le permite conectar varios dispositivos electrónicos de forma inalámbrica en corta distancia. Los teléfonos celulares o teléfonos inteligentes están conectados a auriculares de manos libres, mouse, teclado inalámbrico, etc. mediante Bluetooth. La más moderna es la Bluetooth LE (baja energía) (areatecnologia, 2020)
- **WiFi.-** Es una comunicación inalámbrica de baja potencia, utilizada por varios dispositivos electrónicos como teléfonos inteligentes, computadoras portátiles, etc. En esta configuración, un enrutador funciona como un centro de comunicación de forma inalámbrica. Estas redes permiten a los usuarios conectarse solo cerca de un enrutador y deben estar protegidas con contraseñas para fines de seguridad, de lo contrario, tendrán acceso a ella otras personas. (areatecnologia, 2020)

- **WiMax.-** Es una tecnología de comunicación similar al WiFi pero por microondas con alcance superior a los 30km y velocidades de hasta 124Mbps. Hasta ahora las Redes WiFi más rápidas son de unos 54Mbps y con cobertura de unos 300 metros como máximo. Es la tecnología firme candidata a ofrecer conexiones a Internet súper rápidas y con amplísima cobertura. (areatecnologia, 2020)
- **LIFI.-** Investigadores chinos del instituto de Física Técnica de Shanghai han logrado transmitir a distancia información de la red de internet a través de la luz en lugar del tradicional uso de ondas de radio (WIFI). Utilizando una lámpara emisora de luz LED de un vatio, el equipo consiguió que cuatro ordenadores se conectaran a internet. Esta pequeña bombilla puede lograr flujos de datos hasta 100 veces más rápido que la velocidad del WIFI. A esta nueva tecnología se ya se la conoce como LIFI. (areatecnologia, 2020)
- **ZigBee.-** Es un estándar de comunicación inalámbrica diseñado para satisfacer las necesidades únicas de las redes de control y sensores inalámbricos de bajo consumo y bajo costo. Se puede utilizar casi en cualquier lugar, ya que es fácil de implementar y requiere poca potencia para funcionar. Zigbee se ha desarrollado considerando las necesidades de la comunicación de datos con una estructura simple como los datos de los sensores. (areatecnologia, 2020)
- **Comunicación móvil.-** El avance de las redes móviles se enumera por generaciones. Muchos usuarios se comunican a través de una banda de frecuencia única a través de teléfonos móviles. Los teléfonos celulares e inalámbricos son dos ejemplos de dispositivos que utilizan señales inalámbricas. Por lo general, los teléfonos celulares tienen una gama más amplia de redes para brindar cobertura, pero, los teléfonos inalámbricos tienen una gama limitada. Al igual que los dispositivos GPS (Sistema de Posicionamiento Global), algunos teléfonos utilizan las señales de los satélites para comunicarse. (areatecnologia, 2020)

- **Redes de Area Amplia y Bajo Poder** o sus siglas en Ingles LPWAN, son una serie de soluciones tecnológicas de comunicación inalámbrica para la conectividad de dispositivos propios del Internet de las Cosas (IoT) con especificaciones de bajo consumo energético, largo alcance y baja tasa de datos. Estas características las convierte en buenas soluciones para los requerimientos de varias aplicaciones en el rubro IoT. (CARRASCO GALDAME, 2020)

2.5.5.3 Clasificación de redes inalámbricas por longitud de onda y frecuencia.

Se utilizan diferentes tipos de señales en la comunicación entre los dispositivos para la transmisión inalámbrica de datos. Las siguientes son las diferentes señales electromagnéticas que se utilizan en función de su longitud de onda y frecuencia.

- **Transmisión de radiofrecuencia.-** Las señales de RF (Radio Frecuencia) se generan fácilmente y están en un rango de 3 kHz a 300 GHz. Estos se utilizan en la comunicación inalámbrica debido a su propiedad para penetrar a través de objetos y viajar largas distancias. La comunicación por radio depende de la longitud de onda, la potencia del transmisor, la calidad del receptor, el tipo, el tamaño y la altura de la antena.

Se utilizan para transmitir una señal con información y son captadas por las antenas. La televisión, radio, teléfonos móviles, planetas, estrellas y demás cuerpos celestes las emiten y pueden ser capturadas. (areatecnologia, 2020)

- **Transmisión de infrarrojos.-** Las radiaciones infrarrojas son radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda más largas que la luz visible, por lo que este tipo de luz no es visible para el ojo humano. Se generan normalmente mediante un diodo LED. Estas ondas se utilizan generalmente para las comunicaciones de corto alcance. Estas señales no pasan a través de objetos sólidos; ejemplos de uso son control remoto de la televisión, intercambio de datos móviles, etc. (areatecnologia, 2020)

- **Transmisión de microondas.-** La longitud de onda del microondas varía de un metro a un milímetro. La frecuencia varía de 300MHz a 300GHz. Tienen frecuencias altísimas y dada su posición en el espectro, son utilizadas para transmitir datos en frecuencias que no son interferidas por las ondas de radiofrecuencia. Estas son muy utilizados para las comunicaciones de larga distancia ya que son relativamente menos costosas. Usos típicos son el horno microondas, la comunicación de programas informativos de televisión muy alejados de la noticia y en radiodifusión. (areatecnologia, 2020)
- **Transmisión de ondas de luz.-** La luz es una radiación electromagnética con una longitud de onda que varía entre las radiaciones infrarrojas y las radiaciones ultravioletas, la longitud de onda varía de 430 a 750 THz. Estas son señales ópticas no guiadas como el láser y son unidireccionales. Otras formas mucho menos utilizadas son los Rayos X, los ultravioleta, los Gamma e incluso el Efecto Doppler. Más adelante veremos lo más nuevo, transmitir información por la luz. Se llama LIFI. Otros diferentes tipos de comunicación inalámbrica están en función del uso que le demos, como radio, televisión, satélite, telefonía móvil, GPS, Redes Informáticas, etc. (areatecnologia, 2020)

2.6 Generalidades tecnologías LPWAN.

LPWAN es una clase de estándares y soluciones de comunicación inalámbrica de IoT con características tales como grandes áreas de cobertura, bajas velocidades de transmisión de datos con paquetes de datos de tamaño pequeño y una operación de batería de larga duración (Internet Engineering Task Force, 2018). Las tecnologías LPWAN están mostrando un gran potencial para la amplia gama de aplicaciones en IoT y M2M, especialmente en entornos restringidos. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.1 Aplicaciones y servicios inteligentes.

Con el uso de IoT en dominios que dependen de la conectividad que abarcan grandes áreas y pueden manejar una gran cantidad de conexiones está impulsando la demanda de

tecnologías de IoT masivas. Con el avance en el campo de las tecnologías de electrónica, comunicación, computación, detección, actuación y baterías en miniatura, es posible diseñar tecnologías de redes de largo alcance y bajo consumo con muchos años de duración de la batería y decenas de kilómetros de cobertura. Los requisitos más críticos de los dispositivos inalámbricos IoT/M2M son bajo consumo de energía con rango de transmisión extendido, compatibilidad con una gran cantidad de dispositivos, capacidad para manejar interferencias de RF, bajo costo, fácil implementación, y seguridad robusta para las aplicaciones y el nivel de red. (Bharat S. Chaudhari)

Las tecnologías LPWAN son promisorias y se pueden implementar para una amplia gama de aplicaciones inteligentes, que incluyen monitoreo ambiental, ciudades inteligentes, servicios públicos inteligentes, agricultura, atención médica, automatización industrial, seguimiento de activos, logística y transporte. (Bharat S. Chaudhari)

Varias aplicaciones tienen diferentes requisitos. La cobertura, la capacidad, el costo y el funcionamiento con bajo consumo de energía son, por supuesto, los principales impulsores de todas las aplicaciones LPWAN. Sin embargo, cualquier solución LPWAN puede implicar importantes compensaciones entre diferentes requisitos, por ejemplo, cobertura versus costo. Además, algunas aplicaciones son comparativamente homogéneas, por ejemplo, los medidores, mientras que otras tienen una plétora de dispositivos heterogéneos con diferentes expectativas. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.1.1 Aplicaciones de LPWAN.

Las tecnologías LPWAN tienen muchas aplicaciones prácticas con diversas características.

Ciudades inteligentes.- Estacionamiento inteligente, salud estructural de los edificios, puentes y monumentos históricos, medición de la calidad del aire, medición del nivel de ruido sonoro, control de la congestión del tráfico y del semáforo, control de peajes, iluminación inteligente, optimización de la recolección de basura, gestión de desechos, contadores de servicios públicos, detección de incendios, monitoreo y control de ascensores, monitoreo de

tapas de registro, equipos de construcción y vigilancia de la salud laboral, medio ambiente y seguridad pública. (Bharat S. Chaudhari)

Entorno inteligente.- Calidad del agua, contaminación del aire, temperatura, bosque incendios, deslizamientos de tierra, rastreo de animales, monitoreo del nivel de nieve y detección temprana de terremotos. (Bharat S. Chaudhari)

Agua inteligente.- Calidad del agua, fugas de agua, monitoreo crecidas de ríos, manejo de piscinas y fugas de químicos. (Bharat S. Chaudhari)

Medición inteligente.- Contadores de electricidad inteligentes, contadores de gas, caudal de agua medidores, monitoreo de gasoductos y monitoreo de almacenes. (Bharat S. Chaudhari)

Red inteligente y energía.- Control de red, equilibrio de carga, remoto monitoreo y medición, monitoreo del estado del transformador y monitoreo de instalaciones de energía solar / molinos de viento. (Bharat S. Chaudhari)

Seguridad y Emergencias.- Control de acceso perimetral, presencia de líquido detección, niveles de radiación y gases explosivos y peligrosos. (Bharat S. Chaudhari)

Automotores y Logística.- Seguros, seguridad y seguimiento, arrendamiento, alquiler, compartir la gestión del coche, la calidad de las condiciones de envío, la ubicación del artículo, el almacenamiento detección de incompatibilidades, seguimiento de flotas, trenes inteligentes y movilidad como servicio. (Bharat S. Chaudhari)

Automatización industrial e inteligente fabricación.- Aplicaciones M2M, robótica, calidad del aire interior, monitoreo de temperatura, monitoreo de la línea de producción, presencia de ozono, ubicación en interiores, autodiagnóstico del vehículo, monitoreo del estado de la máquina, mantenimiento preventivo, administración de energía, máquina / equipo como servicio y fábrica como servicio. (Bharat S. Chaudhari)

Agricultura inteligente y agricultura.- Medición de temperatura, humedad, alcalinidad, mejora de la calidad del vino, invernaderos inteligentes, automatización agrícola y robótica, red de estaciones meteorológicas, compost, hidroponía, cuidado de la

descendencia, seguimiento y seguimiento del ganado y niveles de gases tóxicos. (Bharat S. Chaudhari)

Casas / edificios inteligentes y bienes raíces.- Uso de energía y agua, temperatura, humedad, detección de fuego / humo, control remoto de electrodomésticos, sistemas de detección de intrusos, arte, preservación de bienes y espacio como servicio. (Bharat S. Chaudhari)

Salud, ciencias de la vida, y usables.- La salud y los parámetros del paciente, conectados entornos médicos, dispositivos para el cuidado de la salud, vigilancia de pacientes, monitoreo de radiación ultravioleta, telemedicina, detección de caídas, vida asistida, refrigeradores médicos, cuidado de deportistas, seguimiento de enfermedades crónicas, seguimiento de mosquitos y otros tipos de población y crecimiento de insectos. (Bharat S. Chaudhari)

Tabla 2.1: Mapeo de aplicaciones con sus requerimientos

Aplicaciones	Cobertura	Capacidad	Costo	Baja potencia	Específico adicional
Ciudades inteligentes	H	H	H	METRO	H
Entorno inteligente	METRO	H	H	H	METRO
Agua inteligente	H	METRO	METRO	METRO	L
Medición inteligente	H	H	H	METRO	L
Redes inteligentes y seguridad	H	H	METRO	METRO	METRO
energética y emergencias	H	L	METRO	H	H
Al por menor	H	H	H	L	METRO
Automotores y logística	H	H	METRO	L	H
Automatización industrial y fabricación inteligente L Agricultura y agricultura inteligentes	H	H	METRO	H	L
Casas inteligentes / construcción y bienes raíces	H	METRO	L	L	L
eHealth, ciencias biológicas y wearables	H	H	METRO	H	H

Fuente: (Bharat S. Chaudhari)

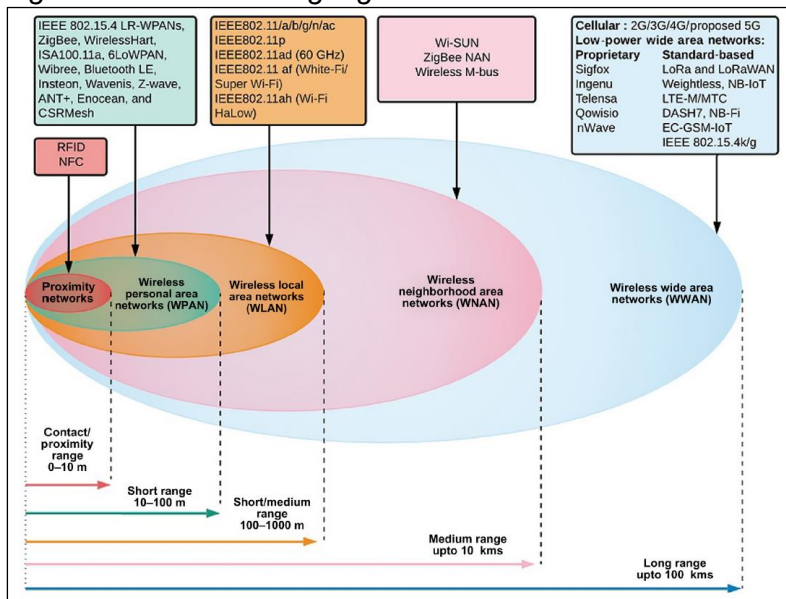
Elaborado por: (Bharat S. Chaudhari)

2.6.2 Acceso inalámbrico.

IoT y LPWAN proporcionan el sistema fundamental básico para muchas aplicaciones. Desempeña un papel fundamental en el cumplimiento de los requisitos ágiles y dinámicos de aplicaciones y servicios y proporciona el marco para ofrecer soluciones efectivas y eficientes. Para las comunicaciones y las interconexiones de dichas aplicaciones, se encuentra disponible una gama de soluciones patentadas y basadas en estándares. Las redes abarcan diferentes rangos geográficos, (Bharat S. Chaudhari) como muestra la

Figura 2.25.

Figura 2.25: Cobertura geográfica del acceso inalámbrico.



Fuente: (Bharat S. Chaudhari)

Las LPWAN son tecnologías de comunicación inalámbrica diseñadas para permitir comunicaciones de largo alcance con bajo consumo de energía, interfaz de bajo costo y una tasa de bits relativamente baja para aplicaciones IoT y M2M. La mayoría de las aplicaciones inteligentes requerirán algunas combinaciones de las soluciones de acceso inalámbrico anteriores. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.3 Características de aplicación de red de área amplia de baja potencia.

La amplia gama de aplicaciones LPWAN requiere interconexión y comunicaciones entre un conjunto diverso de dispositivos. Estos dispositivos abarcan una cobertura que va desde distancias muy cortas a remotas, desde posiciones estacionarias a móviles, desde la batería de baja potencia hasta conexiones comerciales basadas en la energía, y una variedad de entornos amigables a hostiles. Una parte importante de las soluciones de área amplia de bajo consumo generalmente envían mensajes de tamaño pequeño con poca frecuencia, son tolerantes a los retrasos, no necesitan altas velocidades de datos y requieren un bajo consumo de energía y un bajo costo. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.3.1 Cobertura.

2.6.3.1.1 Característica del tráfico.

El mecanismo de comunicación inherente de las redes LPWAN es el tráfico generado por sensores distribuidos. Además de la posible presencia de tráfico creado por teléfonos inteligentes u otros dispositivos, el tráfico LPWAN en sí mismo puede variar en una amplia gama de atributos, como la cantidad de mensajes, el tamaño del mensaje y los requisitos de confiabilidad. Las tecnologías LPWAN tienen diversas categorías de aplicaciones con diferentes requisitos. Algunas de las aplicaciones son Tolerantes al retardo (por ejemplo, medición inteligente); mientras que aplicaciones como la detección de incendios, la detección de radiación nuclear y la seguridad del hogar requieren una transmisión prioritaria e inmediata. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.3.1.2 Cobertura.

El rango de operaciones requiere comunicaciones de largo y corto alcance. Normalmente, LPWAN necesita proporcionar comunicación de largo alcance hasta 10 40 km en zonas rurales / desérticas y 15 km en zonas urbanas con 1 20 dB de ganancia sobre las redes celulares heredadas. Se necesitan lugares interiores de difícil acceso, como ubicaciones subterráneas y sótanos, y también la cobertura que da como resultado la propagación de la señal a través de edificios y paredes, especialmente para la aplicación involucrada en el monitoreo y la recopilación de datos. La cobertura debe ser coherente con las expectativas sobre tasas de datos adaptables y tasas de error de datos administrados. El uso de la banda sub-GHz ayuda a la mayoría de las LPWAN a lograr una comunicación robusta y confiable con un presupuesto de energía más bajo, ya que las frecuencias más bajas de la banda sub-GHz tienen mejores características de propagación en comparación con la banda de 2,4 GHz. Además, las técnicas de modulación lenta utilizadas para LPWAN aportan más energía a cada bit y, por tanto, aumentan la cobertura. La modulación lenta también ayuda a los receptores a demodular la señal correctamente. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.3.1.3 Identificación de la ubicación.

La identificación de la ubicación de los dispositivos es un requisito fundamental. La precisión de la ubicación juega un papel fundamental en aplicaciones como la logística y el seguimiento del ganado. Varía desde unos pocos centímetros hasta metros. Se debe respaldar el monitoreo y la seguridad para detectar eventos inusuales, como la ubicación cambiada del dispositivo y facilitar el nivel adecuado de autenticación. Las identificaciones de ubicación se pueden lograr mediante GPS, sistemas similares a GPS o mediante la ejecución de algoritmos inteligentes con la ayuda de la infraestructura de red. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.3.1.4 Seguridad y privacidad.

Los requisitos de seguridad para los dispositivos LPWAN son particularmente estrictos debido a la gran cantidad, las vulnerabilidades y la simplicidad de los dispositivos. Es necesario respaldar los atributos esenciales de autorización, autenticación, confianza, confidencialidad, seguridad de los datos y no repudio. El soporte de seguridad debe poder manejar ataques de código malicioso (como gusanos), manejar la piratería en dispositivos y sistemas LPWAN, y administrar escuchas ataques de rastreo y ataques de denegación de servicio. También es importante proteger la identidad del dispositivo y la privacidad de su ubicación del público. Además, también debe respaldar la seguridad para la transmisión hacia adelante y hacia atrás según se requiera en varias aplicaciones. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.3.2 Capacidad.

2.6.3.2.1 Capacidad y escalabilidad.

LPWAN puede admitir una gran cantidad de dispositivos conectados simultáneamente con baja velocidad de datos. Muchas aplicaciones requieren soporte para 100.000 dispositivos de forma escalable. La escalabilidad se refiere a la capacidad de crecer sin problemas desde una red de una pequeña cantidad de dispositivos heterogéneos a una gran cantidad de dispositivos, nuevos dispositivos, aplicaciones y funciones sin comprometer la calidad y la provisión de los servicios existentes. Dado que los dispositivos finales LPWAN tienen pocas capacidades computacionales y de potencia, los dispositivos de red como las

puertas de enlace y las estaciones de acceso también pueden desempeñar un papel fundamental en la mejora de la escalabilidad. El empleo de multicanal y multiantenas basadas en diferentes técnicas de diversidad también puede mejorar significativamente la escalabilidad de las redes LPWAN. Sin embargo, se debe garantizar que tales características no comprometan otras métricas de rendimiento. Una mejor solución podría ser una compensación para respaldar el rendimiento optimizado y los requisitos de la aplicación. En segundo lugar, el medio ambiente requiere la transmisión de datos a través de recursos de radio confinados y a menudo compartidos. Una cantidad tan grande de dispositivos también da como resultado una alta densificación. En tal caso, siempre existe la posibilidad de que se produzca un cuello de botella en el acceso a los medios, una gran interferencia y, por lo tanto, una degradación sustancial del rendimiento de la red. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.3.3 Costo.

2.6.3.3.1 Rentabilidad.

Las aplicaciones LPWAN son particularmente sensibles al dispositivo y al costo operativo. Además de los requisitos estándar de bajos costos operativos y de implementación para la red, la gran cantidad de dispositivos involucrados impone restricciones importantes en los costos, los gastos operativos y un imperativo de bajo consumo de energía. La capacidad de actualización del software sin cambiar el hardware es un atributo clave que debe ser compatible. Además, se vuelve imperativo admitir la escalabilidad, la instalación y el mantenimiento sencillo y la funcionalidad rentable. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.3.4 Operación de baja potencia.

2.6.3.4.1 Operaciones energéticamente eficientes y fuentes de baja potencia.

En varias aplicaciones de LPWAN, el entorno y las limitaciones no permiten la recarga de baterías. Se espera que la batería dure más de 10 años sin cargarse para baterías AA o de tipo botón. Si la batería pierde energía e incluso es posible reemplazarla, es posible que no sea posible en períodos cortos. El costo de las fuentes de batería debe ser bajo. La LPWAN debe funcionar con un límite de ciclo de trabajo estricto y muy bajo para que se pueda

mejorar la vida útil del nodo. Por lo tanto, el funcionamiento con energía ultrabaja es un requisito crucial para los dispositivos IoT / M2M que funcionan con baterías. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.3.4.2 Reducción de la complejidad del hardware.

Para manejar la gran cantidad, el bajo costo y la cobertura de largo alcance, el diseño de dispositivos de pequeño tamaño y baja complejidad se convierte en un requisito esencial. El hardware reducido La estructura de complejidad permite la reducción del consumo de energía en dispositivos que funcionan con baterías, sin sacrificar demasiado el rendimiento. En general, se espera que los dispositivos posean bajas capacidades de procesamiento. La arquitectura y los protocolos de red simples deben ser compatibles con el hardware. Desde un punto de vista tecnológico, para lograr la adaptabilidad requerida de los dispositivos LPWAN, los transceptores de radio deben ser dispositivos flexibles y reconfigurables por software. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.3.5 Requisitos específicos adicionales.

2.6.3.5.1 Gama de opciones de solución.

Para permitir flexibilidad y opciones para el cliente, se desea soporte operativo tanto en bandas con licencia como sin licencia. El espectro sin licencia puede derivarse de la banda industrial, científica y médica. En muchos casos, los clientes prefieren soluciones que se puedan actualizar desde los sistemas de acceso inalámbrico existentes. Existen demandas de soluciones personalizadas basadas en estándares y propietarias. Las aplicaciones requieren capacidad de configuración entre diferentes topologías, incluidas estrella, malla y árbol. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.3.5.2 Operaciones, interrelaciones e interfuncionamiento.

La red debe poder manejar dispositivos heterogéneos. Esta gran cantidad de dispositivos pueden compartir los mismos recursos de radio, lo que provoca interferencias tecnológicas y dentro de la red, lo que da como resultado la degradación del rendimiento de la red. Por lo tanto, los dispositivos LPWAN deben poseer la capacidad de conectarse y

operar en entornos de tecnología LPWAN variados con tolerancia a interferencias, manejo y capacidades de mitigación. La red debe permitir la conectividad de dispositivos independientemente de la infraestructura de hardware y la interfaz de programación de aplicaciones. Se requiere tener una interoperabilidad perfecta de extremo a extremo entre diferentes tecnologías de red. Requiere estandarización y pasarela con protocolos de adaptabilidad entre diversas tecnologías de comunicaciones. Se espera una integración completa de aplicaciones de un extremo a otro. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.4 Tecnologías y estándares de LPWAN.

Se caracterizó las cuatro tecnologías y estándares LPWAN más importancia en la actualidad:

2.6.4.1 Red de Área Amplia de Largo Alcance.

Red de Área Amplia de largo Alcance (LoRaWAN) es el estándar LPWAN más utilizado. La capa física trabaja bajo los fundamentos de LoRa (Largo Alcance), que es la tecnología utilizada para transmitir la información, fue desarrollada por la compañía francesa Cycleo y más tarde adquirida por la estadounidense Semtech. Se habla de LoRaWAN cuando se agrega a esta tecnología un protocolo MAC que permite la configuración de una red de dispositivos y que se estandarizó con LoRa-Alliance (CARRASCO, 2020).

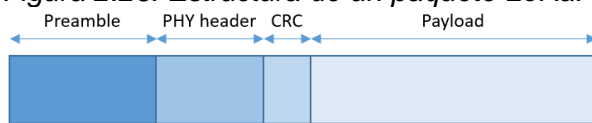
LoRa utiliza Espectro Ensanchando de Frecuencia Pulsada o su denominación en Inglés Chirp Spread Spectrum, es una modulación de espectro ensanchado, en el que se produce una señal de Pulso o chirp que cambia su frecuencia entre f_0 y f_1 (siendo $f_0 < f_1$) en un intervalo de tiempo T , todos los Pulsos de frecuencia producidos se dan en el mismo intervalo de tiempo. Se pueden tener dos tipos de Pulsos: el up-chirp donde la frecuencia va en aumento de un mínimo a un máximo (f_0 a f_1) y el down-chirp donde la frecuencia baja, desde un máximo a un mínimo (f_1 a f_0). Estos Pulsos se dividen a su vez en Pulsos para codificar la información. Esta modulación aumenta la robustez ante interferencias, efectos Dopplery fading. (CARRASCO, 2020)

El Factor de Dispersión (SF), que puede tomar valores discretos entre 7 y 12 en el caso de LoRa, va a determinar el número de pulsos utilizados para representar un símbolo (2SF) y el número de bits que se utilizarán (SF). Un alto SF puede incrementar el SNR (Relación Señal Ruido), la sensibilidad y el rango de transmisión, sin embargo, también va a incrementar el Tiempo sobre el Aire (ToA) de la transmisión. A su vez, el paquete de transmisión en LoRa incluye una tasa de código que va de 4/5 a 4/8 para lidiar con la tasa de error de paquetes, esto nos da la siguiente ecuación que permite calcular la tasa de datos:

$$R_b = SF \cdot \frac{BW}{2^{SF}} \cdot CR$$

En donde, SF es el Factor de Dispersión, BW el ancho de banda utilizado, y CR la tasa de código utilizado. En general, un alto SF va a disminuir la tasa de datos, lo que va a consumir mayor energía, pero es compensado con mayores alcances de transmisión. (CARRASCO, 2020)

Figura 2.26: Estructura de un paquete LoRa.

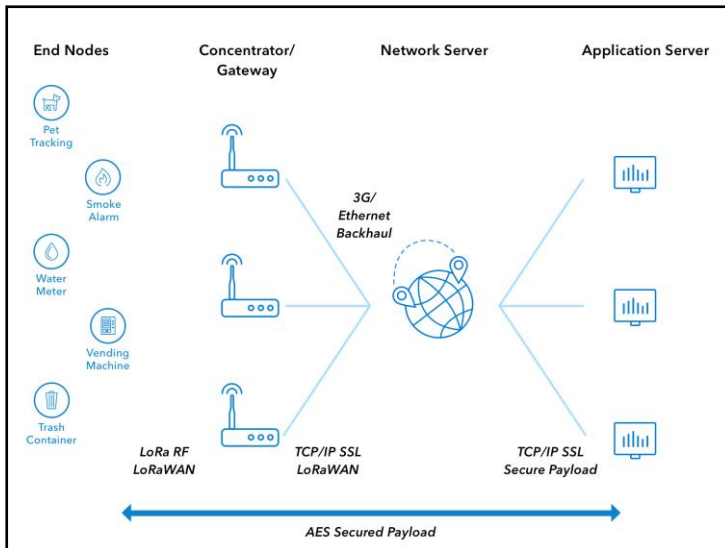


Fuente: (CARRASCO, 2020)

El paquete transmitido cuenta con una serie de bits de preámbulo que permiten sincronizar los terminales receptores con el transmisor, luego se transmite una cabecera junto a los códigos de corrección y la información como tal que se está transmitiendo (carga útil o payload), como se muestra en la

Figura 2.26. La frecuencia de operación de LoRa puede ser en 433, 868 o 915 MHz dependiendo de la norma que se utilice. (CARRASCO, 2020)

Figura 2.27: Arquitectura LoRaWAN.

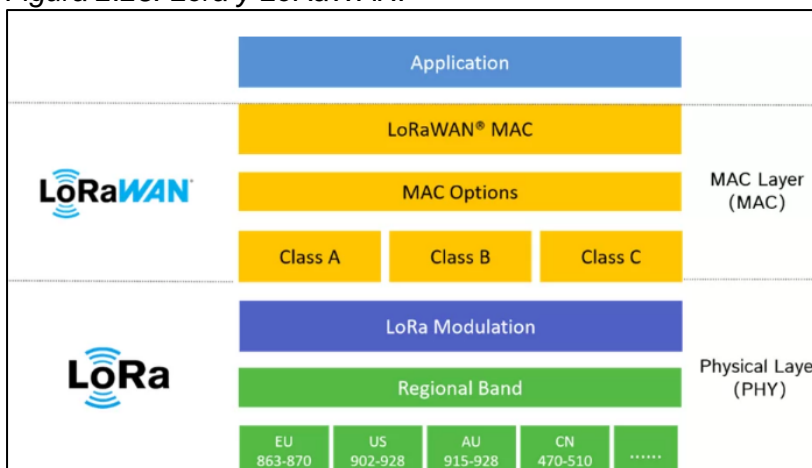


Fuente: (TheThingsNetwork, 2024)

Para la extensión de esta tecnología a una red masiva de dispositivos y transformarse así en una red de área ampliada, LoRaWAN utiliza una topología tipo estrella en el que cada terminal se comunica a un gateway que se conecta al Servidor de Red o Network Server como se observa en

Figura 2.27. (CARRASCO, 2020). Del mismo modo, como se muestra en la Figura 2.28, se definen clases para cada terminal conectado que permite gestionar la red ampliada:

Figura 2.28: Lora y LoRaWAN.



Fuente: (Molina, 2024)

- **Clase A.**- Son aquellos con comunicación dual. Es la clase default soportado por todos los dispositivos LoRaWAN. Tiene la capacidad de iniciar la comunicación y por consiguiente es el más eficiente energéticamente. (CARRASCO, 2020)
- **Clase B.**- Son aquellos que reciben mensajes en tiempos designados para ello y que deben ser sincronizados. (CARRASCO, 2020)
- **Clase C.**- Pueden iniciar la comunicación en cualquier momento de manera que involucran el mayor gasto energético. (CARRASCO, 2020)

2.6.4.1.1 Estructura de los mensajes.

LoRa establece una comunicación con dos tipos de mensajes de enlace descendente (downlink) y enlace ascendente (uplink). Los mensajes de uplink los envían los nodos al servidor de red atravesando uno o varios gateways, Los mensajes uplink constan con una cabecera de 8 bytes de longitud, acompañado del paquete de radio LoRa en el encabezado físico (PHDR y PHDR_CRC) y el payload, que está protegida por un código de detección de errores CRC, (Vera & Zavala, 2018) tal como se muestra en la

Figura 2.29.

Figura 2.29: Uplink PHY.

Preamble	PHDR	PHDR_CRC	PHYPayload	CRC
----------	------	----------	------------	-----

Fuente: (Vera & Zavala, 2018)

Los mensajes downlink se envían por el servidor de red a solo un nodo y es retransmitido por una única vía al gateway. El paquete es similar a la estructura uplink como se muestra en la Figura 2.30 , con la diferencia de que la parte de datos reales transmitidos encontrados en el payload no consta del código CRC. (Vera & Zavala, 2018)

Figura 2.30: Downlink PHY.

Preamble	PHDR	PHDR_CRC	PHYPayload
----------	------	----------	------------

Fuente: (Vera & Zavala, 2018)

Todos los mensajes uplink y downlink llevan en la capa física del Payload (PHYPayload), un encabezado MAC que se compone de (MHDR), MACPayload y un código de integridad del mensaje (MIC), esta estructura esta descrita en la Figura 2.31. EL código MIC está representado por cuatro bytes que se calcula a partir de la Clave de Session de Red (NwkSKey). (Vera & Zavala, 2018)

Figura 2.31: Estructura PHY payload.

MHDR	MACPayload	MIC
Or		
MHDR	Join-Request or Rejoin Request	MIC
Or		
MHDR	Join-Accept ²	

Fuente: (Vera & Zavala, 2018).

La MACPayload lleva encabezamiento (FHDR), esta es la dirección de identificación del dispositivo, un puerto (FPort) que sirve para determinar si el payload (FRMPayload) contiene comandos MAC o de aplicación descritos en la Figura 2.32. (Vera & Zavala, 2018)

Figura 2.32: Estructura MAC Payload.

FHDR	FPort	FRMPayload
------	-------	------------

Fuente: (Vera & Zavala, 2018).

El encabezamiento de la trama (FHDR) se muestra en la Figura 2.33, este contiene la dirección del dispositivo (DevAddr), bits de control FCtrl, este habilita el ADR, otro bit de cuenta FCnt que es un contador de tramas y campo de opciones (FOpts), para cuando se desee transmitir comandos MAC. (Vera & Zavala, 2018)

Figura 2.33: Estructura del encabezado.

DevAddr	FCtrl	FCnt	Fopts
---------	-------	------	-------

Fuente: (Vera & Zavala, 2018)

La cabecera MAC está definida por ocho tipos de mensajes de la capa LoRaWAN que han sido codificados mediante tres bits de dígitos binarios, como se muestra en la

Tabla 2.2. (Vera & Zavala, 2018)

Tabla 2.2: Mensajes LoRa

Type	Description
000	Join-request
001	Join-accept
010	Unconfirmed Data Up
011	Unconfirmed Data Down
100	Confirmed Data Up
101	Confirmed Data Down
110	Rejoin-request
111	Proprietary

Fuente: (Vera & Zavala, 2018)

Los dos primeros mensajes son de activación Join Request y Join Accept, se usan para habilitación de nodos por aire. Luego se encuentran los mensajes de confirmación (Confirmed Data Up/Down) o no (Unconfirmed Data Up/Down), usados en el transporte de comandos MAC. Finalmente están los mensajes propietarios, aquellos que son usados para especificaciones fuera de lo común. Adicional a estos, LoRaWAN ha establecido un tipo de mensajes para futuros usos (Rejoin- request). (Vera & Zavala, 2018).

2.6.4.1.2 Seguridad protocolo LoRaWAN.

La seguridad es esencial en todas las comunicaciones, con el fin de proteger los datos e información. LoRaWAN incluye dos niveles de seguridad, uno para la red y otro para la aplicación. Con esta forma se logra que la comunicación se realice de dispositivos autorizados y que éste no sea intervenido por elementos externos. (Vera & Zavala, 2018)

La autenticación mutua garantiza la seguridad del nodo en la red, el cual puede activarse mediante; activación por aire (OTAA) y activación por personalización (ABP), tanto el nodo como el servidor de red deben conocer la AppKey cuya clave es de 128 bits (AES 128) y el DevEUI que es un identificador EUI-64. (Vera & Zavala, 2018)

La capa de seguridad de la aplicación protege los datos de la aplicación del usuario final, lo que evita que el operador de red no tenga acceso a la información, esto se logra con las soluciones habituales de seguridad como el protocolo HTTPS o conexiones VPN (redes virtuales privadas). (Vera & Zavala, 2018)

AES128 es un estándar avanzado de encriptación por bloques, el cual está basado en protocolo LoRaWAN, establece dos tipos de claves detalladas a continuación:

Clave de Session de Red: clave que es enviada al servidor de red, protegiendo el contenido de los mensajes MAC que están al interior del paquete. (Vera & Zavala, 2018)

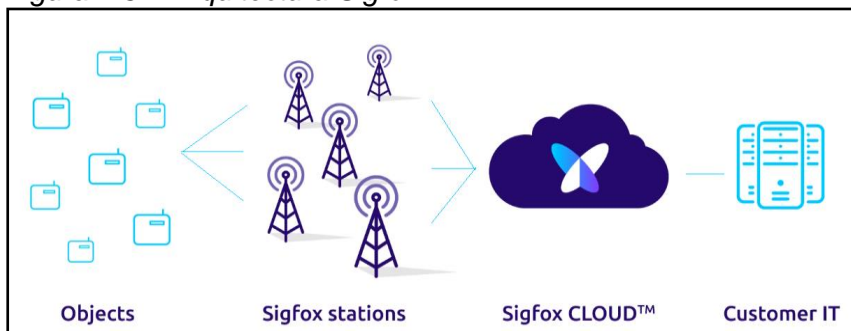
Clave de Session de Aplicación: esta clave asegura extremo a extremo, es decir una vez que llega al servidor, se escuda en los aplicativos. (Vera & Zavala, 2018)

2.6.4.2 Intercambio Operativo de Frecuencia de Señal.

Intercambio Operativo de Frecuencia de Señal (Sigfox) es otra LPWAN que ha ganado popularidad dada la cobertura con la que cuenta, busca crear una red de telecomunicaciones mundial para Internet de las Cosas de manera que cualquier dispositivo se pueda conectar a Internet a través de su red desplegada en las principales ciudades del mundo. Actualmente, tiene presencia en 65 países y busca ser la red de pequeños mensajes (auto denominada red 0G) con la mayor cobertura en el mundo. (CARRASCO, 2020)

En la capa física, Sigfox utiliza una tecnología con un ancho de banda ultra delgado (Ultra NarrowBand, en adelante UNB) que, según la región, va a ser de 100 Hz o de 600 Hz, dependiendo de esto, puede alcanzar tasas de transmisión de 100 a 600 bps respectivamente. Utiliza para el uplink la modulación D-BPSK, que le da características robustas ante el ruido y sensibilidad en largos alcances. La modulación trabajando en UNB le da mayor capacidad a la red aprovechando de mejor manera el espectro que utiliza. (CARRASCO, 2020)

Figura 2.34: Arquitectura Sigfox.



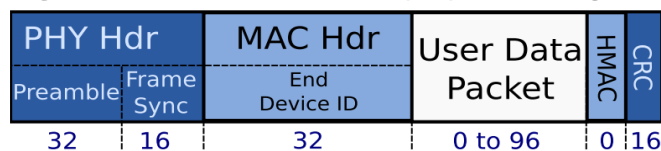
Fuente: (sigfox, 2024)

El modelo de negocio de Sigfox otorga licencias de uso para aquellos que desean utilizar su tecnología, dando así acceso a la red Sigfox a través de su backend disponible en la web. Esta licencia va a variar conforme a los contratos que se vayan realizando, permitiendo cierto número de dispositivos conectados a la red y con acceso al backend de Sigfox, sin embargo, todos los dispositivos tienen un límite de 140 mensajes diarios de uplink y 4 mensajes diarios en downlink, con un tamaño máximo de 12 bytes en subida y 8 bytes en bajada. La red de Sigfox utiliza una topología de estrella, en donde los distintos terminales se conectan a las estaciones base, como se observa en la figura 2.3, sin embargo, es la operadora que se encarga de generar la red para la conexión de los dispositivos, a diferencia de LoRaWAN que tiene sus gateways a disposición para que individuos puedan generar su red, permitiendo que sea pública o privada. (CARRASCO, 2020)

Finalmente, los mensajes de uplink de Sigfox contienen una cabecera con datos de la capa física y capa MAC del dispositivo, así se puede ver en la

Figura 2.35, se observa el payload de hasta 12 bytes. (CARRASCO, 2020)

Figura 2.35: Estructura de un paquete en Sigfox



Fuente: (sigfox, 2024)

2.6.4.3 Banda Angosta Internet de las Cosas.

Banda Angosta Internet de las Cosas (NB-IoT) es un nuevo estándar conocido como LPWAN masivo para admitir una velocidad de datos baja y de largo alcance para aplicaciones de IoT. Tiene varias características como consumo de energía ultrabajo, amplia cobertura y conexión masiva. Además, NB-IoT tiene varias características novedosas para la implementación de LPWAN con el fin de superar deficiencias como seguridad deficiente, confiabilidad deficiente y altos costos operativos y de mantenimiento. NB-IoT puede ser cargado por los principales fabricantes de equipos y módulos móviles y, de hecho, existirá para ser adaptable a redes celulares 2G, 3G, 4G y 5G. Permite operar negocios tradicionales

de IoT y abre nuevas oportunidades para aplicaciones industriales y otros aspectos. Además, promete una fuerte tendencia del mercado que apunta a la creciente demanda de diferentes aplicaciones inteligentes. (Bharat S. Chaudhari)

2.6.4.4 Evolución a Largo Plazo para Maquinas.

Como tecnología LPWAN, Evolución a Largo Plazo para Maquinas (LTE-M) admite una amplia gama de aplicaciones de IoT. Está dirigido principalmente a aplicaciones de IoT que requieren velocidades de datos comparativamente altas, bajo consumo, baja latencia, movilidad y amplia cobertura. También se admite la capacidad de voz sobre LTE (VoLTE). LTE-M se beneficia de todas las características de seguridad y privacidad de las soluciones 3GPP, como la compatibilidad con la identidad del equipo de usuario (UE), la confidencialidad, la autenticación de entidades y la integridad de los datos. Los candidatos de aplicaciones clave que requieren tales atributos son el transporte inteligente, los servicios de salud críticos y sensibles al tiempo, los dispositivos portátiles que monitorean las mediciones vitales y las aplicaciones industriales, entre otros. LTE-M también cubre aplicaciones de IoT que requieren una cobertura profunda donde los requisitos de latencia, capacidad de voz, movilidad y velocidad de datos son menos estrictos. Estas aplicaciones incluyen dispositivos de seguimiento, redes inteligentes, ciudades inteligentes y domótica. Debido a su rango de rendimiento y cobertura, así como al uso del estándar LTE como base. (Bharat S. Chaudhari)

LTE-M está diseñado para cumplir con los siguientes objetivos principales:

- **Velocidades de datos variables**, para admitir una variedad de aplicaciones y casos de uso. (Bharat S. Chaudhari)
- **Soporte para una gran cantidad de dispositivos**, se pueden admitir 100.000 o más dispositivos por estación de acceso. Esto es particularmente relevante en situaciones en las que los dispositivos tienen requisitos de rendimiento de datos muy bajos. (Bharat S. Chaudhari)

- En comparación con LTE, **cobertura interior extendida** y más profunda para superar la pérdida de trayectoria y la atenuación a través de paredes y pisos. (Bharat S. Chaudhari)
- **Soporte para funcionamiento con muy bajo consumo de energía** con una vida útil de la batería de 10 años. Esto es específicamente necesario para dispositivos en ubicaciones remotas de difícil acceso o donde no se dispone de suministro eléctrico comercial. La batería AA de 5 vatios hora es un candidato principal para dicho uso. (Bharat S. Chaudhari)
- **Soporte selectivo para aplicaciones en tiempo real** y orientadas a misiones que necesitan una latencia de pocos milisegundos, así como aplicaciones de tráfico diferido con latencia en un rango de pocos segundos. (Bharat S. Chaudhari)
- **Bajo costo del dispositivo** comparable al funcionamiento en el entorno LTE. (Bharat S. Chaudhari)
- **La voz se admitirá como parte de la funcionalidad LTE estándar**, pero no necesariamente en escenarios de cobertura extendida. (Bharat S. Chaudhari)
- **Compatibilidad con redes LTE** y conexión para tráfico MTC sin necesidad de pasarela. (Bharat S. Chaudhari)
- Implementación de LTE-M en banda dentro de un operador LTE por razones de compatibilidad, y Software actualizable desde LTE como un camino sin problemas hacia la solución 5G MTC. (Bharat S. Chaudhari)

CAPITULO 3 . Selección de la tecnología inalámbrica.

En el presente capítulo, se optó por una selección de la tecnología inalámbrica para la solución a la problemática planteada, basado en análisis de implementaciones exitosas, estudios y necesidad.

3.1 Definición del tipo de tecnología inalámbrica.

En vista de que los equipos se encuentran dispersos en puntos estratégicos de la red de distribución eléctrica de la ciudad de Guayaquil y a distancias considerables en rangos en kilómetros de posibles ubicaciones para antenas, tomando en cuenta las clasificaciones de redes por su cobertura se escogió la tecnología de largo alcance o LPWAN.

3.2 Propósito de la red inalámbrica.

Para este proyecto, se requirió interconectar los reconectores de media tensión dispersos en las líneas de distribución con su determinada RTU ubicada en las subestaciones eléctricas o centro de operaciones, esta comunicación se debe establecer por medio del protocolo TCP/IP (Protocolo Capa de Transporte/ Protocolo de Internet) DNP3.

3.3 Casos de Implementaciones.

Se investigó casos de éxito de algunas de las implementaciones notables de smart grid, DA y SCADA con LPWAN con pocos resultados, más bien solo se encontró menciones.

En Europa, Francia uno de los países más avanzados en la adopción de LoRaWAN, una tecnología de LPWAN. Empresas de distribución de energía, como EDF (Électricité de France), han implementado soluciones de smart grid para monitorear y gestionar el consumo de electricidad, mejorar la eficiencia energética y permitir la integración de fuentes de energía renovable. (Meta, Meta AI, 2024) Del mismo modo Proyecto Linky centrado en los contadores inteligentes, se ha integrado con redes LPWAN para mejorar la transmisión de datos y reducir el consumo de energía en los dispositivos de medición. (mdpi, 2022) .

Enel Italia, una de las principales compañías de energía en Europa, ha comenzado a integrar LoRaWAN en su infraestructura de redes inteligentes, que incluye reconectores automáticos. (Meta, Meta AI, 2024) LoRaWAN les permite monitorear el estado de los

reconectores de media tensión y realizar acciones de reconexión o desconexión de manera remota. El sistema facilita la automatización de la red y la detección de fallas sin necesidad de personal en el sitio, lo que optimiza los tiempos de respuesta ante interrupciones.

Iberdrola España ha estado trabajando en la modernización de sus redes eléctricas utilizando tecnología LPWAN para implementar soluciones de automatización y gestión remota de la distribución eléctrica, en algunos casos integrado LoRaWAN para la comunicación con equipos de control, incluidos reconectores de media tensión, que permiten gestionar las redes de manera más eficiente. (Meta, Meta AI, 2024)

En varias ciudades de EE.UU., como San Diego y Austin, se están implementando redes LPWAN como parte de sus smart grid para el monitoreo de las redes eléctricas, optimización del consumo de energía y la integración de recursos renovables. (Meta, Meta AI, 2024)

Pacific Gas & Electric (PG&E) ha hecho uso de LPWAN para aplicaciones en contadores inteligentes y monitoreo de la infraestructura de red. (Meta, Meta AI, 2024)

ZENNER ha aplicado esta tecnología probada en despliegues de gran escala de agua, gas y electricidad de municipios. En Estados Unidos, ZENNER ya ha instalado sistemas en siete comunidades solo este año. (lora-alliance, 2024)

Australia ha liderado el uso de NB-IoT para smart grid, especialmente en la Ciudad de Brisbane y otras regiones. Utilizan LPWAN para el monitoreo de contadores inteligentes, gestión de consumo y para reducir el costo de la infraestructura de comunicación. (Meta, Meta AI, 2024) Varias empresas de servicios públicos están probando el uso de LoRaWAN en sus redes de media tensión. En proyectos piloto, los reconectores de media tensión se conectan a Gateways LoRaWAN para ofrecer datos en tiempo real al centro de control. Esto permite un monitoreo continuo de la red, la identificación rápida de fallas y la posibilidad de actuar rápidamente para restablecer el servicio sin intervención manual.

Japón ha adoptado tecnologías de LPWAN en su enfoque hacia las smart cities y smart grids. La combinación de IoT y redes LPWAN está siendo utilizada para mejorar la eficiencia energética y la comunicación en tiempo real entre dispositivos y estaciones de monitoreo. Empresas como Tokyo Electric Power Company (TEPCO) están desarrollando proyectos que exploran el uso de estas redes de bajo consumo para monitorear y gestionar el suministro eléctrico de manera más eficiente.

En China, la tecnología LPWAN se ha utilizado en algunas ciudades para optimizar el sistema eléctrico, especialmente en las zonas rurales. La implementación de NB-IoT ha sido clave para expandir la infraestructura de smart grids, que incluye contadores inteligentes y sensores para el monitoreo de redes. También ha experimentado con proyectos de smart cities que integran LPWAN como parte de sus esfuerzos para mejorar la gestión de la energía en áreas urbanas y rurales.

En Brasil, los smart grids basados en LPWAN han sido adoptados en proyectos piloto para el monitoreo y control de redes eléctricas en áreas rurales y suburbanas. Empresas como Eletrobras están explorando el uso de tecnologías como LoRaWAN y NB-IoT para mejorar la fiabilidad del sistema eléctrico y reducir las pérdidas de energía.

La Comisión Federal de Electricidad (CFE) de México ha implementado sistemas de medición inteligente y automatización utilizando LPWAN, particularmente LoRaWAN. En este tipo de proyectos, los reconectores de media tensión se comunican con el centro de control para permitir la gestión remota de fallas y optimización de la distribución de energía. Estos sistemas también permiten reducir el número de interrupciones de servicio y optimizar el uso de recursos en áreas de difícil acceso.

ENEL, a través de su filial en Chile, ha explorado el uso de LPWAN como parte de su iniciativa para construir una red de distribución eléctrica más robusta. Aunque no está centrado exclusivamente en reconectores, el proyecto incluye comunicaciones con dispositivos como interruptores automáticos, medidores inteligentes y otros equipos de la red.

Estos proyectos e implementaciones son especialmente en Monitoreo de contadores inteligentes, Gestión de la infraestructura de la red eléctrica y Detección de fallos y mantenimiento predictivo.

3.4 Estudios o artículos científicos relacionados.

No se encontró una solución LPWAN para reconectores tal como es el alcance de este proyecto; pero se encontró casos parecidos, los cuales sirvieron como adaptación para esta tesina, como ejemplo citamos algunos.

La tesis “Diseño de una Red Híbrida para Comunicación de los equipos de Seccionamiento y Maniobra de la Red de Distribución de la Empresa Eléctrica de Azogues” realiza la comparativa de algunas tecnologías inalámbricas entre estas LoRaWAN, y uno de sus objetivos es la interconexión de los reconectores con el centro de control. (Herredia & Cholo, 2023) Este documento sirve de ejemplo por el enfoque parecido a este trabajo con la diferencia que la red inalámbrica utilizada fue WiMax.

El trabajo de título “DISEÑO DE UNA RED LPWAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES EN EL CANTÓN SAN CRISTÓBAL, PROVINCIA DE GALÁPAGOS” edifica su diseño bajo la tecnología inalámbrica LoRaWAN y uno de sus objetivos es analizar artículos científicos relacionados al tema para que se determine la línea base, (Vallejo & Dominguez, 2022) pero no está enfocada en reconectores sino medidores inteligentes. De igual forma es una ayuda investigativa a cerca de LoRaWAN en un diseño para smart grid.

Trabajo de Titulación “Diseño e implementación de una red de área amplia de baja potencia (LPWAN), para el monitoreo y optimización del tiempo de registro de consumo, corte y reconexión del suministro eléctrico monofásico residencial”, (Molina, 2024) realizar un análisis comparativo de las tecnologías LPWAN, diseña una solución para interconectar medidores inteligentes e implementa un tipo de comunicación LoRaWAN, siendo importante como referencia para el diseño de la red de este proyecto.

El artículo científico “Emerging Communications and Sensor Technologies That Advance Distribution Automation”, realiza un análisis comparativo de las diferentes tecnologías inalámbricas para el uso de sensores en automatización de la distribución eléctrica.

3.5 Análisis de necesidad de velocidad y latencia.

Para esta parte, se analizó los factores técnicos como velocidad de datos y latencia que se necesita para comunicación de los reconectores de media tensión CNEL.

3.5.1 Velocidad de datos de los reconectores.

La velocidad de datos requerida para los reconectores de media tensión no es tan alta en comparación con otros sistemas de comunicaciones más complejos, ya que la principal función de estos dispositivos es monitorizar y controlar eventos específicos relacionados con las fallas transitorias o restablecimientos del servicio eléctrico. A continuación, se describió un desglose de las necesidades típicas de velocidad de datos para reconectores de media tensión:

3.5.1.1 Características de los Reconectores de Media Tensión.

Los reconectores automáticos son dispositivos que detectan y, en muchos casos, restauran el suministro eléctrico automáticamente en redes de media tensión cuando se produce una falla transitoria (por ejemplo, un corto circuito temporal). Además de la reconexión automática, estos dispositivos generalmente realizan funciones como:

- Monitoreo de estado (abierto/cerrado, en funcionamiento, con o sin fallos).
- Detección de fallos (sin necesidad de intervención manual).
- Envío de alarmas o señales al centro de control cuando ocurre una falla.
- Configuración y ajuste remoto del dispositivo.

3.5.1.2 Velocidad de Datos en Operación.

Los reconectores generalmente necesitan transmitir datos de estado a una plataforma de monitoreo o sistema de gestión en tiempo real. La velocidad de datos necesaria

dependerá del tipo de información que se deba comunicar y la frecuencia de transmisión. A continuación, se describió las necesidades de velocidad de datos según los casos típicos:

3.5.1.2.1 Comunicaciones Básicas de Estado y Control.

Para las tareas de monitoreo básico y control remoto, las velocidades de datos no necesitan ser muy altas. Algunos ejemplos de los tipos de datos que los reconvertadores pueden transmitir son:

- Estado del reconvertador (cerrado/abierto).
- Alarmas de fallas o eventos de corte.
- Posición de interruptores o indicadores de contacto.
- Comandos remotos de activación/desactivación.

Para estas aplicaciones, los reconvertadores no requieren grandes anchos de banda. Los datos generalmente son pequeños y se pueden transmitir a una frecuencia moderada (en intervalos de minutos u horas). En términos de velocidad de datos, un reconvertador típicamente necesita transmitir entre 10 bps (bits por segundo) y 100 bps para estos fines.

3.5.1.2.2 Transmisión de Datos de Monitoreo en Tiempo Real.

Si el reconvertador está transmitiendo información de monitoreo en tiempo real o datos sobre condiciones operativas más detalladas (por ejemplo, curvas de corriente o tensiones), la velocidad de datos puede aumentar ligeramente, pero sigue siendo baja en comparación con aplicaciones de transmisión de video o grandes volúmenes de datos. En estos casos, la velocidad podría estar en el rango de 100 bps a 1 kbps.

3.5.1.2.3 Comunicaciones de Alarmas y Eventos.

Cuando se produce una falla transitoria o un evento crítico que requiere la intervención remota, el reconvertador generalmente envía una alarma o un mensaje de evento con información sobre el tipo de fallo y la ubicación. En este caso, los datos generalmente incluyen información sobre:

- Tipo de fallo detectado.
- Hora y fecha del evento.

- Ubicación del reconectador.

Este tipo de comunicación tampoco requiere un ancho de banda alto. Un mensaje de alarma típico podría tener entre 50 y 200 bytes. La velocidad de transmisión necesaria para estas alarmas es generalmente baja y podría estar en el rango de 10 bps a 100 bps.

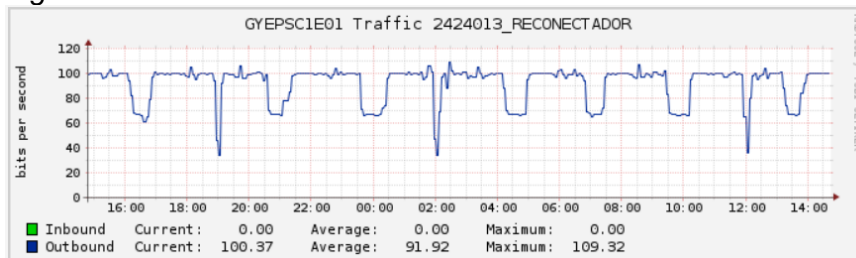
3.5.1.2.4 Frecuencia de Transmisión.

En la mayoría de los casos, la frecuencia de transmisión de los reconectores no necesita ser continua. Los datos de estado pueden transmitirse cada minuto o incluso cada 10-15 minutos en algunos casos, lo que mantiene el consumo de energía bajo sin comprometer la eficacia del sistema de monitoreo. Sin embargo, en caso de falla o evento en la red, el reconectador enviará un mensaje de alerta de forma inmediata.

3.5.1.3 Monitoreo de transmisión de datos de Reconectores.

A fin de establecer el consumo de velocidad de datos real, se muestreo unos reconectores de CNEL con los siguientes resultados:

Figura 3.1: Monitoreo consumo trafico Reconector Samanes 1.

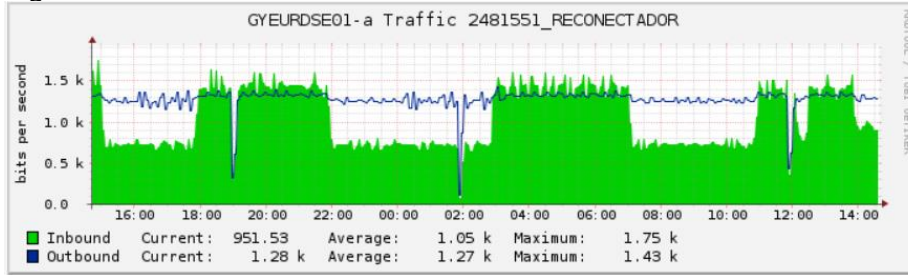


Fuente: Monitoreo CNT.

En la

Figura 3.1, muestra un reconector enviando información en frecuencia programada (cada 10 minutos) y al mismo tiempo enviando alertas o eventos, consumiendo un máximo de 100 bps.

Figura 3.2: Monitoreo consumo trafico Reconectador Plaza Dañin.



Fuente: Monitoreo CNT.

En la

Figura 3.2, se muestra un reconectador enviando información en frecuencia programada junto con alertas o eventos, consumiendo un máximo aproximado de 1,4 kbps; y también recibiendo comandos de control, consumiendo un máximo aproximado de 1,6 kbps.

3.5.2 Latencia en la comunicación de Reconectores.

Es el tiempo de retraso entre la emisión del paquete de datos y la respuesta o recepción de la misma y en este caso tiene mucha importancia para la comunicación DNP3 y sincronización del sistema. Esta ayuda a garantizar la seguridad y confiabilidad del sistema, minimizar el tiempo de interrupción del suministro, reducir el impacto de la carga conectada y mejorar la eficiencia y eficacia del sistema.

Para aplicaciones de protección y control en media tensión, se recomienda:

- Protección crítica: menos de 50 ms
- Control y monitorización: menos de 100 ms
- Monitorización y registro: menos de 200 ms

3.5.2.1 Monitoreo de latencia.

Se realizó pruebas con el comando ping vía consola, cuyo origen fue la red privada de la RTU y destino descrito con la IP del reconectador; con lo que se determinó que el promedio

de latencia es de 7.845 ms, mínimo de 2.67 ms y máximo de 87.895 ms; como se aprecia en la

Figura 3.3.

Figura 3.3: Latencia real reconector.

```
56 bytes from [redacted]: icmp_seq=97 ttl=249 time=3.491 ms
56 bytes from [redacted]: icmp_seq=98 ttl=249 time=2.960 ms
56 bytes from [redacted]: icmp_seq=99 ttl=249 time=3.017 ms

--- Ping statistics for [redacted] ---
100 packet(s) transmitted, 100 packet(s) received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/std-dev = 2.679/7.845/87.895/16.414 ms
```

Fuente: Network CNEL

3.6 Análisis de tecnologías LPWAN

Para analizar la mejor opción en este proyecto, se procedió a discernir entre las tecnologías LPWAN basado en las siguientes características:

3.6.1 Características técnicas de LPWAN.

La elección de las características técnicas depende de las necesidades del sistema a enlazar y se fundamentó en el siguiente listado:

LoRaWAN

- Frecuencia: 868 MHz (Europa) / 915 MHz (EE. UU.)
- Ancho de banda: 125, 250 y 500 kHz
- Canales: 64 -128
- Velocidad de datos: 0,3 kbps - 27 kbps (enlace de subido y bajada)
- Latencia: 10 ms – 100 ms

- Modulación: CSS (Pulso de frecuencia de Espectro Ensanchado)
- Codificación: FEC (Corrección de Errores hacia Adelante)
- Seguridad: AES-128
- Protocolo: LoraWAN (Bharat S. Chaudhari)

Sigfox

- Frecuencia: 868 MHz (Europa) / 902 MHz (EE. UU.)
- Canales: 1 - 4
- Ancho de banda: 100 kHz
- Velocidad de datos: 0,1 kbps - 1 kbps
- Latencia: 30 ms – 100 ms
- Modulación: Ultra Narrowband
- Codificación: FEC
- Seguridad: AES-128
- Protocolo: Sigfox (Bharat S. Chaudhari)

BN-IoT

- Frecuencia: Banda frecuencia de LTE (1800 MHz, 2100 MHz, etc.)
- Canales: 1 - 20
- Ancho de banda: 180 kHz
- Velocidad de datos: 60 - 100 kbps (bajada), 50 - 50 kbps (subida),
- Latencia: 50 ms – 200 ms
- Modulación: QPSK (Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura)
- Codificación: FEC
- Seguridad: AES-128
- Protocolo: LTE (Bharat S. Chaudhari)

LTE-M

- Frecuencia: Banda frecuencia de LTE (1800 MHz, 2100 MHz, etc.)
- Canales: 1 - 100

- Ancho de banda: 1,4 - 20 MHz
- Velocidad de datos: 0.1 - 1 Mbps (bajada), 50 - 500 kbps (subida)
- Latencia: 20 ms - 50 ms
- Modulación: QPSK
- Codificación: FEC
- Seguridad: AES-128
- Protocolo: LTE (Bharat S. Chaudhari)

A continuación se muestra el resumen en las Tabla 3.1 y Tabla 3.2.

Tabla 3.1: Comparativo 1 características técnicas tecnologías LPWAN.

Tecnología	Frecuencia	Canales	Ancho de banda	Velocidad downlink	Velocidad uplink	Latencia
LoRa	868/915 MHz	64-128	125, 250 y 500 kHz	0,3-27 kbps	0,3-27 kbps	10 ms - 100 ms
Sigfox	868/902 MHz	1-4	100 kHz	0,1-1 kbps	0,1-1 kbps	30 ms -100 ms
NB-IoT	Banda LTE	1-20	180 kHz	60-100 kbps	20-50 kbps	50 ms - 200 ms
LTE-M	Banda LTE	1-100	1,4 - 20 MHz	0,1-1 Mbps	50-500 kbps	20 ms - 50 ms

Fuente: (Bharat S. Chaudhari)

Elaborado por: El Autor

Tabla 3.2: Comparativo 2 características técnicas tecnologías LPWAN

TECNOLOGÍA	MODULACIÓN	CODIFICACIÓN	SEGURIDAD
LoRa	CSS	FEC	AES-128
Sigfox	UNB	FEC	AES-128
NB-IoT	QPSK	FEC	AES-128
LTE-M	QPSK, 16QAM, 64QAM	FEC	AES-128

Fuente: (Bharat S. Chaudhari)

Elaborado por: El Autor

3.6.2 Características de funcionamiento.

Las características de funcionamiento, se escogió fundamentado en las necesidades del proyecto y comparado con lo siguiente:

LoRaWAN

- Topología: Estrella (dispositivos conectados a un gateway central)
- Acceso: TDMA (Acceso Multiple por division de tiempo)
- Consumo energético: Bajo (hasta 10 años de batería)

- Distancia: 2 – 15 Km (urbano), 5 – 30 Km (rural)
- Capacidad: Hasta 100.000 dispositivos por gateway (Bharat S. Chaudhari)

Sigfox

- Topología: Estrella (dispositivos conectados a un gateway central)
- Acceso: Ultra Narrowband
- Consumo energético: Muy bajo (hasta 20 años de batería)
- Distancia: 1 – 10 Km (urbano), 3 – 20 Km (rural)
- Capacidad: Hasta 1 millón de dispositivos por gateway (Bharat S. Chaudhari)

BN-IoT

- Topología: Celular (dispositivos conectados a una red de células)
- Acceso: OFDMA (Acceso Multiple por división de Frecuencia Ortogonal)
- Consumo energético: Bajo (hasta 10 años de batería)
- Distancia: 1 – 5 Km (urbano), 2 – 10 Km (rural)
- Capacidad: Hasta 50.000 dispositivos por célula (Bharat S. Chaudhari)

LTE-M

- Topología: Celular (dispositivos conectados a una red de células)
- Acceso: OFDMA
- Consumo energético: Moderado (hasta 5 años de batería)
- Distancia: 1 – 5 Km (urbano), 2 – 10 Km (rural)
- Capacidad: Hasta 100.000 dispositivos por célula (Bharat S. Chaudhari)

A continuación se muestra un resumen de las comparativas en la

Tabla 3.3

Tabla 3.3: Comparativo características funcionamiento tecnologías LPWAN

Tecnología	Topología	Acceso	Consumo Energético	Distancia Urbana	Distancia Rural	Capacidad
LoRa	Estrella	TDMA	Bajo	2 - 15 km	5 - 30 km	100.000
Sigfox	Estrella	Ultra Narrowband	Muy bajo	1 - 10 Km	3 - 20 Km	1.000.000
NB-IoT	Celular	OFDMA	Bajo	1 - 5 Km	2 - 10 Km	50.000

LTE-M	Celular	OFDMA	Moderado	1 - 5 Km	2 - 10 Km	100.000
-------	---------	-------	----------	----------	-----------	---------

Fuente: (Bharat S. Chaudhari)

Elaborado por: El Autor.

3.6.3 Características de Implementación.

La selección de las características técnicas depende de las necesidades tecnológicas del proyecto y se apoyó en lo siguiente:

LoRaWAN

- Infraestructura: Privada o pública
- Costo: Moderado (en comparación con otras tecnologías LPWAN)
- Cobertura: Local o regional
- Escalabilidad: Alta (fácil expansión de la red)
- Espectro: No licenciado (Bharat S. Chaudhari)

Sigfox

- Infraestructura: Pública
- Costo: Bajo (en comparación con otras tecnologías LPWAN)
- Cobertura: Nacional/Global
- Escalabilidad: Media (depende de la infraestructura existente)
- Espectro: No licenciado (Bharat S. Chaudhari)

NB-IoT

- Infraestructura: Pública (utiliza la infraestructura de red existente)
- Costo: Moderado (en comparación con otras tecnologías LPWAN)
- Cobertura: Nacional/Global
- Escalabilidad: Alta (depende de la infraestructura existente)
- Espectro: Licenciado (Bharat S. Chaudhari)

LTE-M

- Infraestructura: Pública (utiliza la infraestructura de red existente)

- Costo: Alto (en comparación con otras tecnologías LPWAN)
- Cobertura: Nacional/Global
- Escalabilidad: Alta (depende de la infraestructura existente)
- Espectro: Licenciado (Bharat S. Chaudhari)

En la **Tabla 3.4**, se muestra un resumen de las comparativas

Tabla 3.4: Comparativo características Implementación tecnologías LPWAN

Tecnología	Infraestructura	Costo	Cobertura	Escalabilidad	Espectro
LoRa	Privada/Pública	Moderado	Local/Regional	Alta	no licenciado
Sigfox	Pública	Bajo	Nacional/Global	Media	no licenciado
NB-IoT	Pública	Alto	Nacional/Global	Alta	licenciado
LTE-M	Pública	Alto	Nacional/Global	Alta	licenciado

Fuente: (Bharat S. Chaudhari)

Elaborado por: El Autor

3.6.4 Características de Aplicaciones .

Las características de uso, se seleccionó basado en las necesidades del proyecto y sustentado en lo siguiente:

LoRaWAN

- IoT (Internet de las Cosas)
- M2M (Máquina a Máquina)
- Smart Cities (ciudades inteligentes)
- Industria 4.0
- Agricultura de precisión
- Monitoreo ambiental
- Seguridad y vigilancia (Bharat S. Chaudhari)

Sigfox

- IoT (Internet de las Cosas)
- M2M (Máquina a Máquina)
- Monitoreo remoto

- Seguimiento de activos
- Medición de consumo de energía
- Agricultura de precisión (Bharat S. Chaudhari)

NB-IoT

- IoT (Internet de las Cosas)
- M2M (Máquina a Máquina)
- Smart Cities (ciudades inteligentes)
- Industria 4.0
- Monitoreo remoto
- Seguimiento de activos
- Medición de consumo de energía (Bharat S. Chaudhari)

LTE-M

- IoT (Internet de las Cosas)
- M2M (Máquina a Máquina)
- Smart Cities (ciudades inteligentes)
- Industria 4.0
- Monitoreo remoto
- Seguimiento de activos
- Medición de consumo de energía
- Videovigilancia
- Aplicaciones de realidad aumentada (Bharat S. Chaudhari)

El siguiente cuadro Tabla 3.5, se muestra un resumen para un mejor análisis.

Tabla 3.5: Comparativo características Aplicaciones de tecnologías LPWAN

TECNOLOGÍA	IOT	M2M	SMART CITIES	INDUSTRIA 4.0
LoRa	Ideal	Ideal	Ideal	Compatible
Sigfox	Ideal	Compatible	Compatible	No ideal
NB-IoT	Compatible	Ideal	Ideal	Ideal
LTE-M	Compatible	Ideal	Ideal	Ideal

Fuente: (Bharat S. Chaudhari)

Elaborado por: El Autor

3.6.5 Otras características.

Se menciona otras características técnicas importantes, se determinó conforme a las exigencias del proyecto y sustentado en lo siguiente:

LoRaWAN

- Sensibilidad de recepcion: -137 dBm
- Sensibilidad de transmision: 14 dBm
- Capacidad de penetracion interiores: Alta
- Obstaculizacion influencia: Menor
- Tolerancia a Interferenica: Alta (Bharat S. Chaudhari)

Sigfox

- Sensibilidad de recepcion: -142 dBm
- Sensibilidad de transmision: 10 dBm
- Capacidad de penetracion interiores: Media
- Obstaculizacion influencia: Mayor
- Tolerancia a Interferenica: Baja (Bharat S. Chaudhari)

NB IoT

- Sensibilidad de recepcion: -134 dBm
- Sensibilidad de transmision: 23 dBm
- Capacidad de penetracion interiores: Alta
- Obstaculizacion influencia: Menor
- Tolerancia a Interferenica: Alta (Bharat S. Chaudhari)

LTE-M

- Sensibilidad de recepcion: -128 dBm
- Sensibilidad de transmision: 20 dBm
- Capacidad de penetracion interiores: Alta
- Obstaculizacion influencia: Menor

- Tolerancia a Interferencia: Alta (Bharat S. Chaudhari)

A continuación en Tabla 3.6, se muestra un cuadro comparativo:

Tabla 3.6: Comparativo características de aplicaciones tecnologías LPWAN

Tecnología	Sensibilidad Rx	Sensibilidad Tx	penetración interiores	Obstáculos influencia	Interferencia tolerancia
LoRa	-137 dBm	14 dBm	Alta	Menor	Alta
Sigfox	-142 dBm	10 dBm	Media	Mayor	Baja
NB-IoT	-134 dBm	23 dBm	Alta	Menor	Alta
LTE-M	-128 dBm	20 dBm	Alta	Menor	Alta

Fuente: (Bharat S. Chaudhari)

Elaborado por: El Autor

3.7 Selección de tecnología LPWAN.

Una vez analizadas y comparadas las características de las tecnologías LPWAN, caso de estudios e implementaciones, junto con factores de necesidad técnica; se optó por la selección de LoRaWAN, por factores como cobertura, velocidad de datos, latencia y tolerancia a la interferencia, además de la facilidad de implementación, costo, soporte, y adaptabilidad para la necesidad de comunicación de los reconvertidores de media tensión bajo el sistema de automatización SCADA.

CAPITULO 4 . Desarrollo del diseño.

En este capítulo, se desarrolló el diseño de la red inalámbrica basado en la tecnología escogida; se realizó los cálculos, simulaciones y el análisis costo beneficio.

4.1 Establecimiento de requisitos de la red.

Con el fin de realizar el diseño de la red, se definió bajo los siguientes requisitos:

4.1.1 Cantidad de dispositivos finales.

Según lo investigado, se encontró información de 81 dispositivos finales o reconectores de línea de media tensión distribuidos principalmente en la zona urbana de la ciudad de Guayaquil, los cuales fueron la base para el presente proyecto.

4.1.2 Velocidad de datos y latencia.

Este proyecto se definió para ser empleado en el control y monitoreo remoto en tiempo real de la red eléctrica usando tecnología de comunicación inalámbrica; por lo cual su prioridad crítica, ya que tiene a cargo el sistema de protección de fallos de la red de distribución eléctrica.

En este caso, los reconectores de la red de media tensión de CNEL en la actualidad utilizan el protocolo DNP3 y son usados en el monitoreo y control en tiempo real; por lo cual los valores requeridos fueron los siguientes:

- Velocidad: 100 bps – 1.6 kbps
- Latencia: < 50 ms

4.1.3 Cobertura geográfica deseada.

Para este proyecto, se utilizó siete ubicaciones con torres y 81 dispositivos finales, en este caso reconectores de media tensión dispersos por la zona urbana y rural de la ciudad de Guayaquil.

4.1.3.1 Ubicación.

Conforme al requerimiento de necesidad actual, se consideró la cantidad de 81 dispositivos en esta caso reconectores sobre la red de media tensión; y estos sirvieron para

posicionar geográficamente los componentes para los respectivos análisis, cálculos y simulaciones.

4.1.3.1.1 Ubicación para Puntos de antenas o Gateway.

Inicialmente para este proyecto, se usó siete puntos estratégicos para las ubicaciones de las antenas Gateway, ya que estos cuentan con infraestructura de torre lo suficientemente alta para tener una mayor cobertura, pero en vista que no hay línea de vista en la zona norte se agrega un punto para repetidor en La Joya. En la Tabla 4.1, se describió la ubicación y altura de los puntos de superficie y torre, así mismo se puede ver las ubicaciones geográficas como se muestra en la

Figura 4.1:

Tabla 4.1: Ubicación geográfica puntos Gateways.

Ítem	nodo	modo	Dirección	zona ciudad	Coordenadas GPS	Altura superficie msnm.	Altura torre msnm.
1	Cerro Azul 1	Gateway	Vía perimetral y vía a la costa junto a panteón Metropolitano	Oeste	2°10'22.79"S 79°57'0.80"O	311	326
2	Cerro Azul 2	Gateway	Vía perimetral y vía a la costa junto a panteón Metropolitano	Oeste	2° 9'55.19"S 79°57'29.08"O	397	417
3	Planta Sur	Gateway	Calle Eloy Alfaro y General Gómez	Sur-Este	2°12'33.85"S 79°53'7.10"O	3	83
4	Garzota	Gateway	Ciudadela Garzota Sector 3 manzana 47 detrás de CNT	Nord-Este	2° 8'45.54"S 79°53'34.97"O	4	54
5	S/E Guasmo Sur	Gateway	Guasmo Sur, calle Roberto Serrano y callejón 51F	Sur-Este	2°15'14.66"S 79°52'41.71"O	3	43
6	S/E Germania	Gateway	Km. 16.5 Vía a Daule (LADO OESTE)	Nord-Oeste	2° 5'48.17"S 79°56'30.52"O	42	57
7	S/E Chongon	Gateway	Vía a Chongon y calle 5	Oeste	2°13'20.59"S 80° 4'56.98"O	50	80
8	La Joya	Repetidor	La Joya Etapa Coral en la loma	Norte	2° 2'17.58"S 79°54'51.12"O	62	68

Fuente: Network CNEL.

Elaborado por: El Autor.

Figura 4.1: Mapa ubicación geografía Gateways y Repetidor.



Fuente: Google Earth.

4.1.3.1.2 Ubicación Reconectores.

De acuerdo a la necesidad actual, se tomó un grupo de 81 equipos dispersados con los siguientes datos descritos en Tabla 4.2, de igual forma se muestra la ubicación geográfica en la

Figura 4.2. El promedio de la altura de los postes donde están los reconectores es de 10 metros sobre el nivel del suelo y el dispositivo final o el control de reconector está a seis metros sobre el nivel de suelo dentro de la caja de control.

Tabla 4.2: Ubicación geográfica Reconectores.

Ítem	Reconector	Dirección	zona	coordenadas GPS	Altura superficie msnm.	Altura reconector msnm.
1	4 De Noviembre	Calle Leónidas Plaza y Luis Pauta Rodríguez	Sur-Oeste	2°12'57.5"S 79°54'30.5"O	3	9
2	Alborada	Alborada 5ta etapa	Nord-Este	2° 8'14.03"S 79°53'56.46"O	5	11
3	Abdón Calderón	Mz# 2313, Coop. Martha Bucaram, Guasmo Sur	Sur-Este	2°16'34.3"S 79°53'16.2"O	3	9
4	Acacias	Av. Arturo Serrano Y 25 De Julio junto Bloque De Las Acacias	Sur-Oeste	2°13'33.0"S 79°53'55.7"O	3	9
5	Agustín Freire	Av. Agustín Freire y Av. Francisco de Orellana	Nord-Este	2°08'48.1"S 79°53'58.6"O	4	10
6	Bastión 1A	Coop. Bastión Popular bloque 4 (Bastión Popular Bloque 1A)	Nord-Oeste	2°06'04.7"S 79°55'29.8"O	20	26
7	California 1	Lotización Inmaconsa 0 Avenida Casuarina y Quinquellas	Nord-Oeste	2°07'05.4"S 79°56'37.9"O	40	46
8	California 2	Km 11 Vía Daule Frente Al Parque California	Nord-Oeste	2°05'49.1"S 79°56'09.9"O	9	15
9	Camino a los Vergeles	Km 10 Vía A Daule Entrando Por Vigor 0	Nord-Oeste	2°06'19.3"S 79°55'27.7"O	16	22
10	Capeira	Vía a Daule km 22, interior de Cdla. Capeira	Norte	2°00'22.1"S 79°57'53.6"O	8	14
11	Cartonera	Av. Abdón Calderón y callejón Rumiñahui	Sur-Este	2°16'38.3"S 79°52'47.3"O	3	9
12	Colinas al Sol	Av. Eduardo Solá por el dispensario de la Pancho Jácome	Nord-Oeste	2°07'43.1"S 79°56'34.5"O	43	49
13	Covien	Cdla Huancavilca Mz c1 solar 8	Sur-Oeste	2°14'05.8"S 79°54'19.5"O	3	9
14	Del Maestro	Ernesto Albán y 5 to Pasaje. 3SO	Sur-Oeste	2°13'50.0"S 79°54'18.8"O	3	9
15	El Cisne	Callejón Parra entre calle 21 y 22	Sur-Oeste	2°12'55.0"S 79°55'27.5"O	3	9
16	El Fortín	Fortín de la Flor Mz. 0 Bloque 11, Avenida Honorato Vásquez Casuarina	Nord-Oeste	2°06'43.6"S 79°57'11.4"O	24	30
17	Fertisa	Av. Don Bosco. Coop. Santiaguito de Roldos Mz. 1356.	Nord-Oeste	2°09'39.8"S 79°55'00.3"O	3	9
18	Flor de Bastión 4	Av. Casuarina Al Pie De Puerto Limpio	Nord-Oeste	2°07'07.0"S 79°57'56.8"O	88	94

		(Coop. Valerio Estacio Bloque 1)				
19	Flor de Bastión 5	Av. Perimetral a 500 mts del Hospital Universitario (parterre central)	Nord-Oeste	2°06'00.6"S 79°56'52.0"O	34	40
20	Flor de Bastión Norte	Las Iguanas Frente a coop. María Auxiliadora UPC	Nord-Oeste	2°05'04.7"S 79°58'09.9"O	38	44
21	Flor de Bastión Oeste	Flor de Bastión BLQ#3-MZ#650 SOL#02	Nord-Oeste	2°06'04.6"S 79°57'40.0"O	57	63
22	Flor de Bastión Oeste 2	Calle 24 A NO y 4to Pasaje 62 NO	Nord-Oeste	2°05'40.7"S 79°57'48.3"O	63	69
23	Floresta	Floresta 2 Mz 160 (junto al Parque La Floresta - Frente a la U Educativa Leónidas Ortega)	Sur-Este	2°15'01.4"S 79°53'04.1"O	3	9
24	Fortín Oeste 1A	Coop María Pydar Monte Sinaí Mz 1	Nord-Este	2°08'20.8"S 79°53'41.6"O	6	12
25	Fortín Oeste 1B	Avenida Casuarina, Pasando el Hospital del Monte Sinaí	Nord-Oeste	2°06'41.4"S 79°59'18.9"O	38	44
26	Francisco Segura	Francisco Segura entre arguelles y Thomas Write	Sur-Este	2°13'20.6"S 79°53'25.6"O	3	9
27	Guayacanes #1	Av. Rizzo, Samanes 1 Mz. 144	Nord-Este	2°06'50.1"S 79°53'57.8"O	4	10
28	Guasmo Centro	Av. Domingo Comín y Clemente Huerta, Av. Clemente Huerta y Domingo Comín, Coop. Fundación de GYE MZ# 1772.	Sur-Este	2°15'30.4"S 79°53'22.4"O	3	9
29	Guasmo Sur	Coop. Molina de Frank y Avenida Abdón Calderón	Sur-Este	2°15'52.4"S 79°52'39.9"O	3	9
30	Guayacanes #4	saucos 8 mz 454-F-44	Nord-Este	2° 7'52.8"S 79°54'10.70"O	6	12
31	Guayacanes #6	Urb. Acuarela del Río Mz 1128	Nord-Este	2°08'05.9"S 79°53'10.0"O	5	11
32	Gómez Lince	Bastión Popular Bloque 8, Mz 1103	Nord-Oeste	2°05'19.5"S 79°55'48.5"O	6	12
33	José Castillo	Calle Nahin Isaías Marquet Y José Castillo	Nord-Oeste	2°09'37.3"S 79°54'01.5"O	4	10
34	Lomas	Calle Ilanes y los Cerros diagonal al Portal de las Lomas	Nord-Oeste	2°09'45.3"S 79°54'33.0"O	21	27
35	Los Rosales	Cdla a Los Vergeles MZ 349 Villa 7	Nord-Este	2°05'41.3"S 79°54'11.1"O	5	11
36	Magisterio	Av. Narcisa de Jesús a la altura de la entrada a Metrópolis	Nord-Este	2°04'00.8"S 79°54'40.9"O	12	18
37	Mi Lote 1 y 2	MI LOTE-Villa Bonita vía a Daule Km 16 5ta etapa.	Nord-Oeste	2°03'41.5"S 79°58'28.3"O	16	22

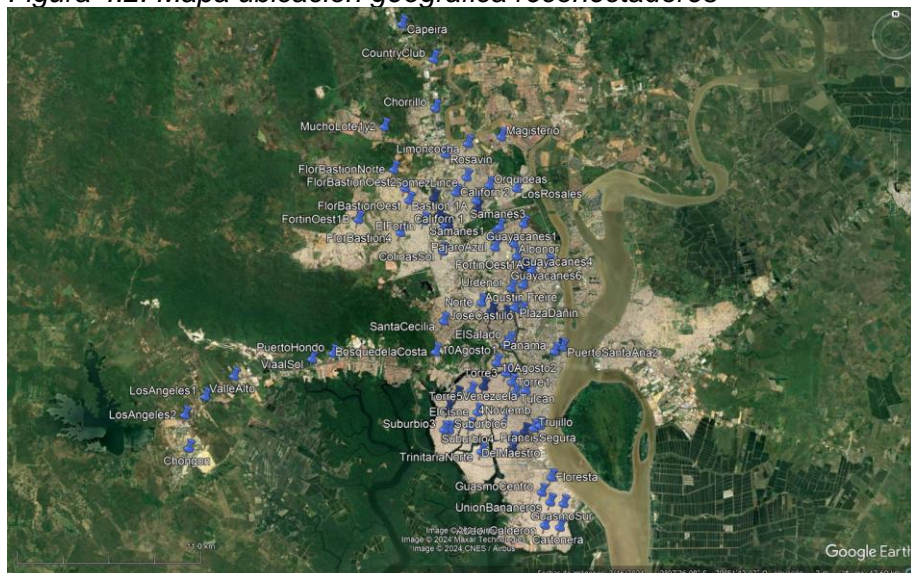
38	Miraflores	Costanera Y Los Laureles	Nord-Oeste	2°09'48.3"S 79°55'00.4"O	4	10
39	Orquídeas	Coop. Mucho Lote Etapa IV	Nord-Oeste	2°05'34.9"S 79°55'04.5"O	6	12
40	Panamá	Cerro del Carmen, subiendo por el hospital neumológico Alfredo Valenzuela a la altura de la coordinación de salud #5.	Centro-Norte	2°10'56.9"S 79°52'57.6"O	37	43
41	Panamá - Puerto Santa 2	Cerro del Carmen, subiendo por el hospital neumológico Alfredo Valenzuela a la altura de la Torre iluminada de CNT	Centro-Norte	2°10'48.3"S 79°52'46.7"O	90	96
42	Puerto Santa Ana 2	Cerro del Carmen, subiendo por el hospital neumológico Alfredo Valenzuela a la altura del parque Moran de Buitrón subiendo hacia el mural artístico primera línea	Centro-Norte	2°10'48.7"S 79°52'42.3"O	63	69
43	Plaza Dañin	Urdesa Norte calle 5ta entre Rodrigo Chávez y av. 2da	Nord-Oeste	2°09'32.4"S 79°54'15.3"O	3	9
44	Suburbio 3	Calle 29 Y La O.	Sur-Oeste	2°13'29.2"S 79°56'32.3"O	2	8
45	Suburbio 4	Calle 25 entre calles J y K (x25)	Sur-Oeste	2°13'22.7"S 79°55'42.4"O	3	9
46	Suburbio 6	Calle N (Macará) entre calle 26 (Santa Rosa) y calle 23 (x29)	Sur-Oeste	2°13'29.1"S 79°56'21.9"O	2	8
47	Torre 1	Gómez Rendón y Guerrero Martínez	Sur-Oeste	2°11'57.2"S 79°54'20.7"O	3	9
48	Torre 2	Argentina entre calle 24 y 25	Sur-Oeste	2°12'05.1"S 79°55'15.5"O	3	9
49	Torre 3	Huancavilca entre 11 y 12 ava	Sur-Oeste	2°11'39.5"S 79°54'31.8"O	3	9
50	Torre 5	Calle 30 y Vacas Galindo	Sur-Oeste	2°12'13.8"S 79°55'39.6"O	3	9
51	Torre 6	Chambers entre la 38 y la 39ava	Sur-Oeste	2°12'21.2"S 79°56'07.2"O	3	9
52	Trinitaria Norte	Coop. Desarrollo Comunal Mz. 203, Isla Trinitaria	Sur-Oeste	2°14'11.6"S 79°55'19.8"O	3	9
53	Trujillo	Avenida J. Trujillo y Bogotá	Sur-Este	2°13'26.1"S 79°53'38.5"O	3	9
54	Tulcán	Portete y José Abel Castillo	Sur-Oeste	2°12'18.3"S 79°54'14.2"O	3	9
55	Unión de Bananeros	Avenida 11BSE y Gral. Elizalde en Coop. Unión de Bananeros	Sur-Este	2°15'49.4"S 79°53'05.9"O	3	9
56	Urdenor	Av. Rodrigo Chávez Diagonal A Farmacias Medicity	Nord-Oeste	2°08'55.2"S 79°54'21.5"O	5	11

57	Venezuela	Esmeraldas entre Letamendi y Fco. De Marcos	Sur-Oeste	2°12'13.2"S 79°53'53.6"O	2	8
58	Vía Al Sol	Av. Vía A La Costa Km 15 Cercano A Empresa Epagran	Oeste	2°11'11.8"S 80°00'49.0"O	18	24
59	Limoncocha	Pascuales - 6ta calle entre 2da y 4ta avenida	Nord-Oeste	2° 4'14.1"S 79°55'45.80"O	6	12
60	Country Club	km. 20 vía a Daule, por la urbanización Ciudad Santiago	Norte	2° 1'30.2"S 79°56'52.30"O	7	13
61	Los Ángeles 2	Vía a la Costa Km 24 antes del peaje	Oeste	2°13'00.3"S 80°04'55.6"O	53	59
62	Puerto Hondo	Km 12.5 Vía a la Costa - Junto Urbanización Porto Alegre	Oeste	2°11'01.1"S 80°00'08.0"O	18	24
63	Los Ángeles 1	Vía a la Costa Km 22 Entrada a la Estación Terrena Comuna Casas Viejas	Oeste	2°12'24.7"S 80°04'16.2"O	26	32
64	10 de Agosto 1	Av. Velasco Ibarra y Av. Carlos Julio Arosemena por Ideal Alambrec.	Nord-Oeste	2°10'44.1"S 79°54'32.6"O	13	19
65	Valle Alto	Vía a la Costa km 20 Frente a la entrada del Aeródromo	Oeste	2°11'45.1"S 80°03'20.3"O	20	26
66	Bosque de la Costa	Av. Del Bombero, a la altura de la Universidad del Pacifico.	Oeste	2°10'58.3"S 79°56'48.8"O	13	19
67	Sauces 4	Lotización Inmaconsa, Mangos entre calle A y Pechiche	Nord-Oeste	2°06'31.5"S 79°56'42.3"O	17	23
68	Rosavín	Vía a Daule km 14.5, ingresando por Brahma	Nord-Oeste	2°04'34.8"S 79°56'29.4"O	10	16
69	Santa Cecilia	Cdla. Ceibos al pie del Colegio , Alemán Humbolt	Oeste	2°09'58.3"S 79°56'33.2"O	21	27
70	El Salado	Circunvalación Sur y Víctor Emilio Estrada	Nord-Oeste	2°10'36.0"S 79°54'24.4"O	3	9
71	Chongon	Vía a la Costa km 24 San Pedro de Chongón Mz 34	Oeste	2°14'05.0"S 80°04'48.3"O	46	52
72	El Chorrillo	Vía a Daule km 17, entrada San Francisco	Nord-Oeste	2°03'05.3"S 79°56'49.4"O	11	17
73	10 de Agosto 2	Cdla. Bellavista Mz. 73 Solar 37 Av. Barcelona a 150 mts. De Av. Velasco Ibarra.	Sur-Oeste	2°11'18.9"S 79°54'50.4"O	5	11
74	Norte	Mapasingue Este, calle Alianza y calle 1ra	Nord-Oeste	2° 9'22.3"S 79°55'19.80"O	5	11
75	Samanes 3	Coop. Magno Andrade Mz 2320	Nord-Oeste	2°06'56.0"S 79°54'44.2"O	28	34
76	California 1A	Lotización Inmaconsa Tecas y Eucaliptos	Nord-Oeste	2°06'46.7"S 79°56'33.6"O	21	27
77	Sauces 3	Lotización Inmaconsa, Cedros entre Eucaliptos y Acacias	Nord-Oeste	2°06'51.0"S 79°56'23.5"O	13	19

78	Albonor	Av. Francisco de Orellana, Alborada XIII Mz 19	Nord-Oeste	2°07'28.3"S 79°54'16.7"O	5	11
79	Samanes 1	Coop. Estrella de Belén Mz. 1832 Solar 19	Nord-Oeste	2°07'15.6"S 79°54'56.3"O	25	31
80	Pájaro Azul	Coop. Colinas de la Alborada Mz. 2351 Solar 9 subida del Rita Lecumberry.	Nord-Oeste	2°07'35.3"S 79°54'53.3"O	16	22
81	Suburbio #5	calle 41 entre la E y la F, X29	Sur-Oeste	2°12'49.9"S 79°56'24.10"O	3	9

Fuente: Network CNEL.
Elaborado por: El Autor.

Figura 4.2: Mapa ubicación geográfica reconectadores



Fuente: Google Earth

4.1.3.2 Cobertura.

Es el área de alcance de una señal y depende de la línea de vista, la distancia entre el punto de la antena y el dispositivo final en esta caso reconector; y las características de técnicas de la señal.

4.1.3.2.1 Línea de vista.

Depende de factores físicos como topología, edificaciones y vegetación a lo largo de la trayectoria de la comunicación inalámbrica entre dos puntos y es el requisito principal para establecer la cobertura de comunicación inalámbrica.

4.1.3.2.2 Distancia.

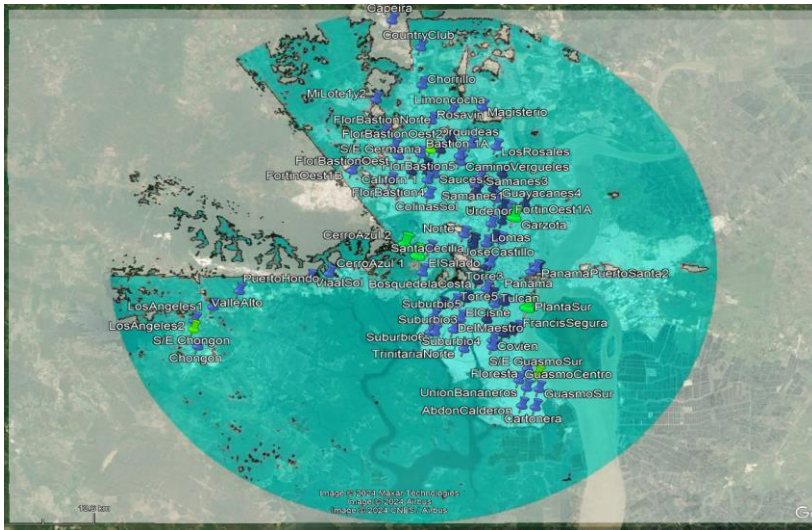
Después del parámetro de línea de vista y habiendo establecido este con éxito, es el segundo en tomarse en cuenta y en importancia; consistiendo en la medición de longitud en línea recta entre los dos puntos a establecer el enlace de comunicación.

4.1.3.2.3 Análisis de cobertura aparente.

Para establecer la cobertura aparente, se analizó la línea de vista, la distancia y las características de propagación de la señal; la cual depende de la ubicación geográfica del punto designado para la antena y el dispositivo final. Usando las herramientas de simulación Radio Mobile y Google Earth se realizó el análisis de cobertura; la cual llamaremos **cobertura aparente** (sombreado) medido desde los puntos considerados para Gateways o antenas, con los siguientes resultados:

- **Cerro Azul 1.-** Se estableció un radio de 20 km para el análisis de simulación, la cobertura aparente desde el punto Cerro Azul 1 se muestra en la
- Figura 4.3.

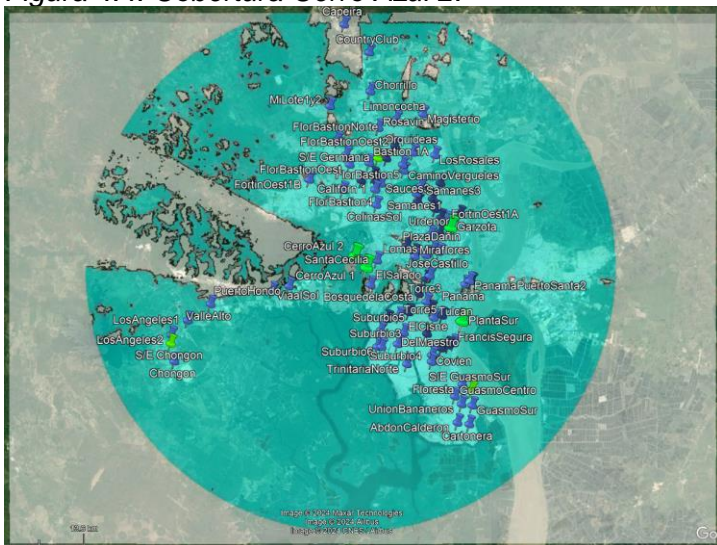
Figura 4.3: Cobertura Cerro Azul 1.



Fuente: Google Earth y Radio Mobile

- **Cerro Azul 2.-** Se tomó un radio de 20 km para el análisis de simulación, la cobertura aparente desde el punto Cerro Azul 2 se muestra en la Figura 4.4.

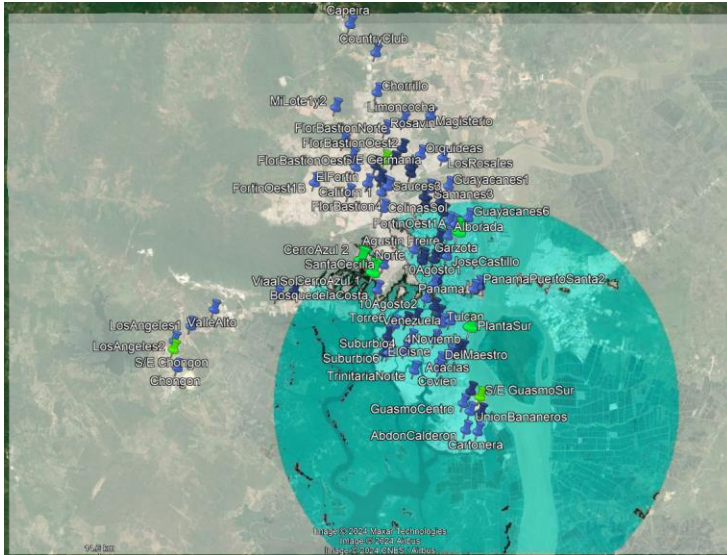
Figura 4.4: Cobertura Cerro Azul 2.



Fuente: Google Earth y Radio Mobile

- **Planta Sur.-** Se estableció un radio de 15 km para el análisis de simulación, la cobertura aparente desde el punto Planta Sur se muestra en la
- Figura 4.5.

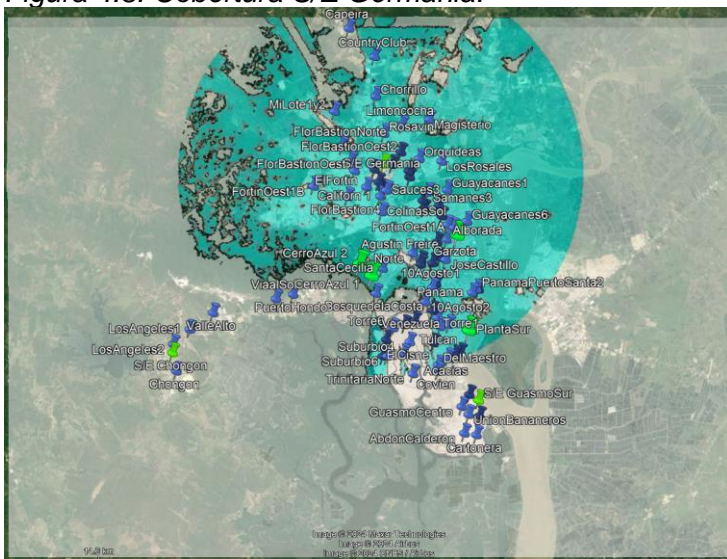
Figura 4.5: Cobertura Planta Sur.



Fuente: Google Earth y Radio Mobile

- **S/E Germania.-** Se tomó un radio de 15 km para el análisis de simulación, la cobertura aparente desde el punto S/E Germania se muestra en la Figura 4.8.

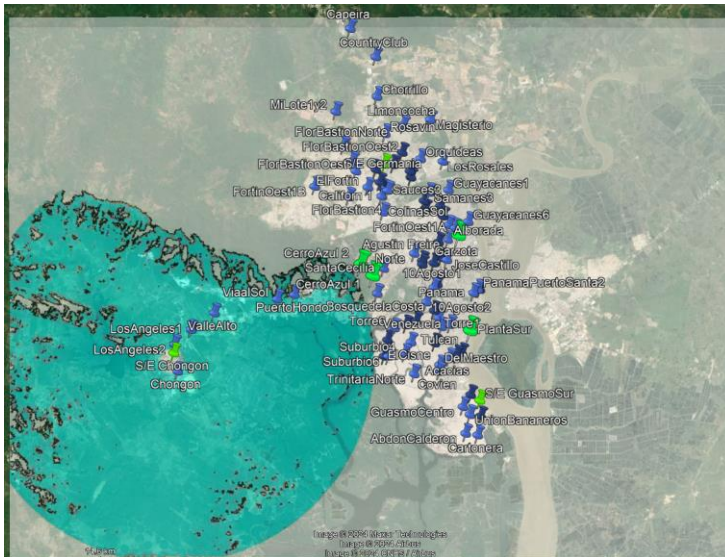
Figura 4.8: Cobertura S/E Germania.



Fuente: Google Earth y Radio Mobile

- **S/E Chongon.-** Se estableció un radio de 15 km para el análisis de simulación, la cobertura aparente desde el punto S/E Chongon se muestra en la Figura 4.9.

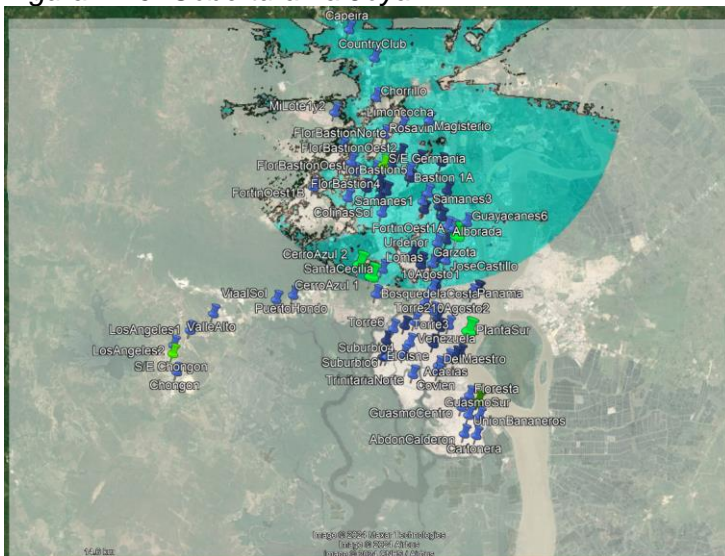
Figura 4.9: Cobertura S/E Chongon.



Fuente: Google Earth y Radio Mobile

- **La Joya.-** Se consideró un radio de 15 km para el análisis de simulación, la cobertura aparente desde el punto La Joya se muestra en la Figura 4.10.

Figura 4.10: Cobertura La Joya.



Fuente: Google Earth y Radio Mobile.

En la

Tabla 4.3, se muestra el cuadro resumen del análisis de la cobertura aparente desde los puntos dispuestos para las antenas Gateways y repetidoras.

Tabla 4.3: Cobertura Aparente.

Ítem	Reconectador	Zona	Cerro Azul 1	Cerro Azul 2	Planta Sur	Garzota	S/E Guasmo Sur	S/E Germania	S/E Chongon	La Joya	Cobertura Gw Repetidor
1	4 De Noviembre	Sur-Oeste	1	1	1	1	1				5
2	Alborada	Nord-Este	1	1	1	1	1	1		1	7
3	Abdón Calderón	Sur-Este	1	1	1	1	1				5
4	Acacias	Sur-Oeste	1	1	1	1	1				5
5	Agustín Freire	Nord-Este	1	1	1	1	1	1		1	7
6	Bastión 1A	Nord-Oeste	1	1	1	1		1		1	6
7	California 1	Nord-Oeste	1	1	1	1		1		1	6
8	California 2	Nord-Oeste	1	1	1	1				1	5
9	Camino a los Vergeles	Nord-Oeste	1	1	1	1		1		1	6
10	Capeira	Norte								1	1
11	Cartonera	Sur-Este	1	1	1	1	1				5
12	Colinas al Sol	Nord-Oeste	1	1	1	1		1		1	6
13	Covien	Sur-Oeste	1	1	1	1	1				5
14	Del Maestro	Sur-Oeste	1	1	1	1	1				5
15	El Cisne	Sur-Oeste	1	1	1	1	1				5
16	El Fortín	Nord-Oeste	1	1	1	1		1		1	6
17	Fertisa	Nord-Oeste	1	1	1	1	1	1			6
18	Flor de Bastión 4	Nord-Oeste	1	1		1		1			4
19	Flor de Bastión 5	Nord-Oeste	1	1	1	1				1	5
20	Flor de Bastión Norte	Nord-Oeste	1	1		1		1			4
21	Flor de Bastión Oeste	Nord-Oeste	1	1		1		1		1	5
22	Flor de Bastión Oeste 2	Nord-Oeste	1	1		1		1			4
23	Floresta	Sur-Este	1	1	1	1	1				5
24	Fortín Oeste 1A	Nord-Este	1	1	1	1	1	1		1	7
25	Fortín Oeste 1B	Nord-Oeste	1	1		1		1			4
26	Francisco Segura	Sur-Este	1	1	1	1	1				5
27	Guayacanes #1	Nord-Este	1	1	1	1		1		1	6
28	Guasmo Centro	Sur-Este	1	1	1	1	1				5
29	Guasmo Sur	Sur-Este	1	1	1	1	1				5

30	Guayacanes #4	Nord-Este	1	1	1	1	1	1		1	7
31	Guayacanes #6	Nord-Este	1	1	1	1	1	1		1	7
32	Gómez Lince	Nord-Oeste	1	1	1	1		1		1	6
33	José Castillo	Nord-Oeste	1	1	1	1	1	1		1	7
34	Lomas	Nord-Oeste	1	1	1	1	1	1		1	7
35	Los Rosales	Nord-Este	1	1	1	1		1		1	6
36	Magisterio	Nord-Este		1				1		1	3
37	Mi Lote 1 y 2	Nord-Oeste		1							1
38	Miraflores	Nord-Oeste	1	1	1	1	1	1			6
39	Orquídeas	Nord-Oeste	1	1	1	1		1		1	6
40	Panamá	Centro-Norte			1		1				2
41	Panamá - Puerto Santa 2	Centro-Norte			1	1	1	1			4
42	Puerto Santa Ana 2	Centro-Norte			1	1	1	1			4
43	Plaza Dañin	Nord-Oeste	1	1	1	1	1	1		1	7
44	Suburbio 3	Sur-Oeste	1	1	1	1	1	1			6
45	Suburbio 4	Sur-Oeste	1	1	1	1	1				5
46	Suburbio 6	Sur-Oeste	1	1	1	1	1	1			6
47	Torre 1	Sur-Oeste	1	1	1	1	1	1			6
48	Torre 2	Sur-Oeste	1	1	1	1	1				5
49	Torre 3	Sur-Oeste	1	1	1	1	1	1			6
50	Torre 5	Sur-Oeste	1	1	1	1	1				5
51	Torre 6	Sur-Oeste	1	1	1	1	1				5
52	Trinitaria Norte	Sur-Oeste	1	1	1	1	1				5
53	Trujillo	Sur-Este	1	1	1	1	1				5
54	Tulcán	Sur-Oeste	1	1	1	1	1	1			6
55	Unión de Bananeros	Sur-Este	1	1	1	1	1				5
56	Urdenor	Nord-Oeste	1	1	1	1	1	1		1	7
57	Venezuela	Sur-Oeste	1	1	1	1	1	1			6
58	Vía Al Sol	Oeste	1	1	1		1		1		5
59	Limoncocha	Nord-Oeste	1	1		1		1		1	5
60	Country Club	Norte	1	1		1		1		1	5
61	Los Ángeles 2	Oeste	1	1			1		1		4
62	Puerto Hondo	Oeste	1	1	1		1		1		5
63	Los Ángeles 1	Oeste	1	1			1		1		4

64	10 de Agosto 1	Nord-Oeste	1	1	1	1	1	1			6
65	Valle Alto	Oeste	1	1			1		1		4
66	Bosque de la Costa	Oeste	1	1			1				3
67	Sauces 4	Nord-Oeste	1	1	1	1		1		1	6
68	Rosavín	Nord-Oeste	1	1		1		1			4
69	Santa Cecilia	Oeste	1	1		1	1			1	5
70	El Salado	Nord-Oeste	1	1	1	1	1	1			6
71	Chongon	Oeste	1	1			1		1		4
72	El Chorrillo	Nord-Oeste	1	1		1		1			4
73	10 de Agosto 2	Sur-Oeste	1	1	1	1	1				5
74	Norte	Nord-Oeste	1	1	1	1	1				5
75	Samanes 3	Nord-Oeste	1	1	1	1		1		1	6
76	California 1A	Nord-Oeste	1	1	1	1		1		1	6
77	Sauces 3	Nord-Oeste	1	1	1	1		1		1	6
78	Albonor	Nord-Oeste	1	1	1	1	1	1		1	7
79	Samanes 1	Nord-Oeste	1	1	1	1		1		1	6
80	Pájaro Azul	Nord-Oeste	1	1	1	1	1	1			6
81	Suburbio #5	Sur-Oeste	1	1	1	1	1	1			6
X	Cobertura reconectadores		75	77	63	70	53	48	6	32	X

Fuente: CNEL.

Elaborado por: El Autor.

4.1.3.2.4 Densidad Cobertura.

Con base al análisis de la cantidad de reconectadores que tienen aparentemente cobertura desde los puntos Gateways mostrados en la

Tabla 4.3, la densidad está distribuida de la siguiente forma:

- Cerro Azul 1: 75
- Cerro Azul 2: 77
- Planta Sur: 63
- Garzota: 70

- S/E Guasmo: 53
- S/E Germania: 48
- S/E Chongon: 6
- La Joya: 32

4.1.3.2.5 Dispositivos sin cobertura.

Según la cobertura aparente de nuestra simulación de diseño, no hay reconfiguradores sin alcance; ya que se ubicó estratégicamente los Gateways. Para cubrir todos los reconfiguradores de forma exitosa, se incluyó un equipo en modo Repetidor en la zona Norte, específicamente en la parte alta de Joya etapa Coral.

4.1.3.2.6 Dispositivos sin múltiple cobertura.

Como se muestra en la

Tabla 4.3, la mayoría de los reconfiguradores tienen dos o más puntos de cobertura aparente; lo cual ayudó a cubrir el tema conocido como alta disponibilidad en enlaces; pero hay dos reconfiguradores que solo cuenta con un punto de cobertura aparente, siendo estos los siguientes:

- Capeira
- Mi Lote 1 y 2

4.1.3.2.7 Análisis de cobertura real.

Con base en el análisis de cobertura aparente, se realizó la inspección de campo para determinar la línea de vista real y/o alcance real de la señal, haciendo pruebas de transmisión y recepción; con lo cual se determinó la cobertura real. En vista que este proyecto solo se basó en diseño, no se contó con los equipos para realizar este análisis, así que en este punto nos enfocamos en los resultados del simulador Radio Mobile.

Para el análisis real, cálculos y simulaciones de este proyecto, se optó analizar los enlaces que se muestran en la

Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Enlaces para análisis.

ITEM	Punto A	Punto B	Distancia (Km)	Altura A respecto superficie (m)	Altura B respecto superficie (m)
1	Cerro 1	Los Rosales	10,1	15	6
2	Cerro 2	La Joya	14,9	20	6
3	La Joya	Magisterio	3,2	6	6
4	S/E Germania	California	2,38	15	6
5	Garzota	Agustín Freire	0,72	50	6
6	Planta Sur	Tulcán	2,13	80	6
7	S/E Guasmo	Unión de Bananeros	1,3	40	6
8	S/E Chongon	Los Ángeles 2	0,63	30	6

Fuente: CNEL

Elaborado por: El Autor.

4.1.3.3 Análisis del terreno.

Para esta tesis, se hizo un análisis con base a los siguientes factores:

4.1.3.3.1 Factores Físicos.

La dependencia de estos factores afecta directamente en la línea de vista en las comunicaciones inalámbrica y son los siguientes:

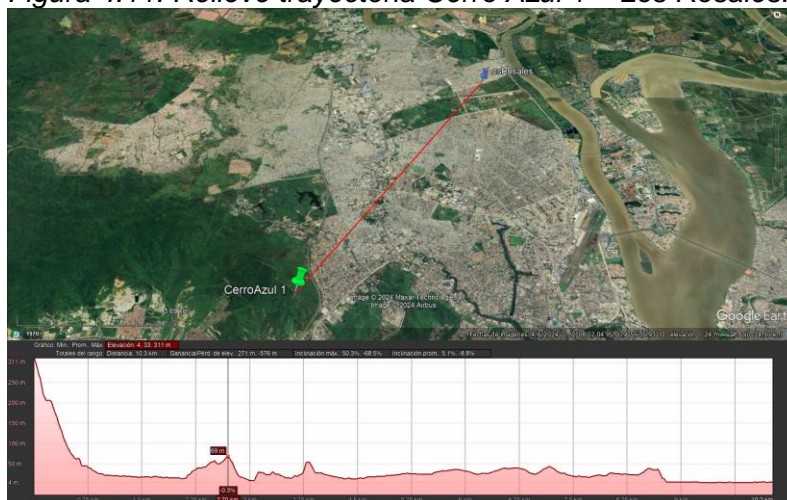
- **Topología.-** Se refiere al relieve terrestre o la superficie natural con su característica como montañas, valles, ríos, lagos, costas, etc.; que están en el trayecto de la comunicación.
- **Edificaciones y estructuras.-** Son las estructuras o edificaciones construidas por la mano humana como casas, edificios, carreteras, torres, etc.; especialmente en zona urbanas que están en la línea de vista entre dos puntos a comunicar.
- **Vegetación.-** Cubierta vegetal dispersa por un área determina como árboles, arbustos, plantas, etc.; que se encuentran en el camino superficial entre los puntos a enlazar.

4.1.3.3.1.1 Enlace Cerro Azul 1 – Los Rosales.

Trayectoria y Relieve.- Como se muestra en las

Figura 4.11 y Figura 4.12, no se aprecia ningún obstáculo considerable para afectar la comunicación.

Figura 4.11: Relieve trayectoria Cerro Azul 1 – Los Rosales.



Fuente: Google Earth

Figura 4.12: Reconector Los Rosales.



Fuente: Google Earth

4.1.3.3.1.2 Enlace Cerro Azul 2 – La Joya (Repetidor).

Trayectoria y Relieve.- Como se muestra en las Figura 4.13 y Figura 4.14, no se presenta ningún obstáculo considerable para afectar la comunicación.

Figura 4.13: Relieve trayectoria Cerro Azul 2 – La Joya.



Fuente: Google Earth.

Figura 4.14: Repetidor La Joya.

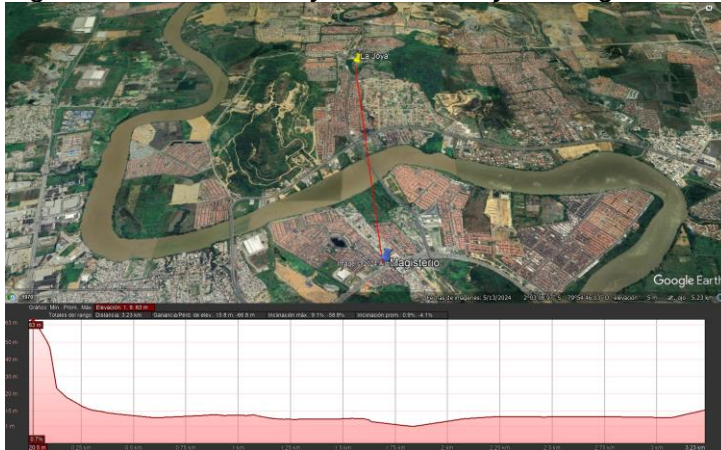


Fuente: Google Earth.

4.1.3.3.1.3 Enlace La Joya – Magisterio.

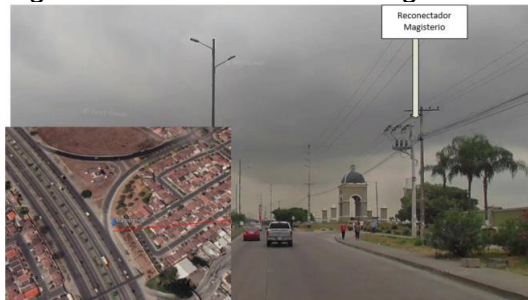
Trayectoria y Relieve.- Como se muestra en las Figura 4.15 y Figura 4.16, no presenta ningún obstáculo considerable para afectar la comunicación.

Figura 4.15: Relieve trayectoria La Joya – Magisterio.



Fuente: Google Earth.

Figura 4.16: Reconector Magisterio.



Fuente: Google Earth.

4.1.3.3.1.4 Enlace S/E Germania – California 1.

Trayectoria y Relieve.- Como se muestra en las

Figura 4.17 y Figura 4.18, no presenta ningún obstáculo considerable para afectar la comunicación.

Figura 4.17: Relieve trayectoria S/E Germania – California 1.



Fuente: Google Earth

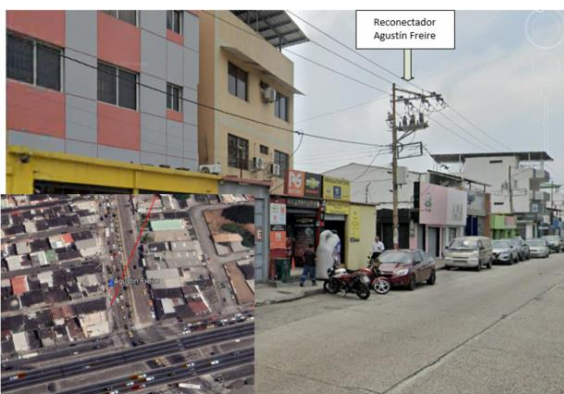
Figura 4.18: Reconector California 1.



Fuente: Google Earth

4.1.3.3.1.5 Enlace Garzota – Agustín Freire.

Trayectoria y Relieve.- Como se muestra en las Figura 4.19: Reconector Agustín Freire.



Fuente: Google Earth

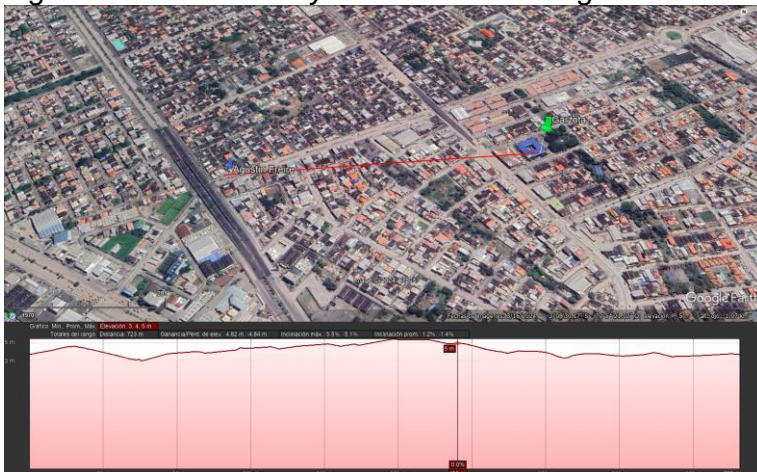
Figura 4.20 y Figura 4.19, no presenta ningún obstáculo considerable para afectar la comunicación.

Figura 4.19: Reconector Agustín Freire.



Fuente: Google Earth

Figura 4.20: Relieve trayectoria Garzota – Agustín Freire.



Fuente: Google Earth

4.1.3.3.1.6 Enlace Planta Sur – Tulcán.

Trayectoria y Relieve.- Como se muestra en las

Figura 4.21 y

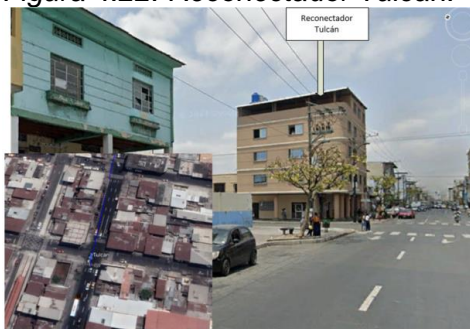
Figura 4.22, no presenta ningún obstáculo considerable para afectar la comunicación.

Figura 4.21: Relieve trayectoria Planta Sur – Tulcán.



Fuente: Google Earth

Figura 4.22: Reconector Tulcán.



Fuente: Google Earth

4.1.3.3.1.7 Enlace S/E Guasmo – Unión de Bananeros.

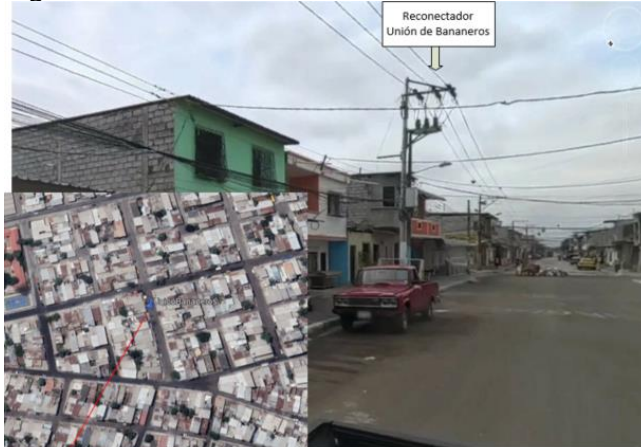
Trayectoria y Relieve.- Como se muestra en las **Figura 4.23** y Figura 4.24, no presenta ningún obstáculo considerable para afectar la comunicación.

Figura 4.23: Relieve trayectoria S/E Guasmo – Unión de Bananeros.



Fuente: Google Earth

Figura 4.24: Reconectador Unión de Bananeros.



Fuente: Google Earth

4.1.3.3.1.8 Enlace S/E Chongon – Los Ángeles 2.

Trayectoria y Relieve.- Como se muestra en las Figura 4.25 y Figura 4.26, no presenta ningún obstáculo considerable para afectar la comunicación.

Figura 4.25: Relieve trayectoria S/E Chongon – Los Ángeles 2.



Fuente: Google Earth

Figura 4.26: Reconectador Los Ángeles 2.



Fuente: Google Earth

4.1.3.3.2 Factores ambientales.

Afectan en el rendimiento de la comunicaron y son los siguientes:

- **Clima.-** Son la condiciones atmosféricas de una región como temperatura, humedad, precipitaciones, presión atmosférica, viento, radiación solar que influyen clasificación como tropical, templado, polar, etc. (Meta, Meta AI, 2024)
- **Interferencia.-** Es la perturbación o alteración de la señal de comunicación, debido a la presencia de otra señal o fuente de energía. (Meta, Meta AI, 2024)
- **Ruido.-** Es la interferencia que afecta a la calidad de la comunicación. (Meta, Meta AI, 2024)

4.1.3.3.3 Factores técnicos.

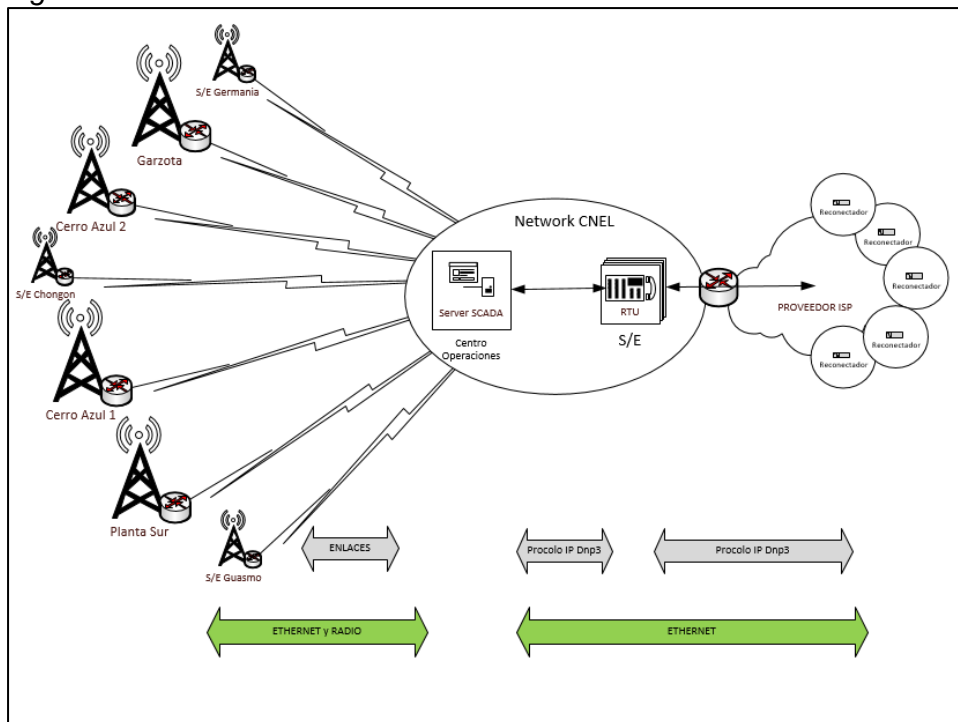
- **Frecuencia.-** Es la cantidad oscilación por segundo que una señal electromagnética utilizada para transmitir información y está definida según el tipo de tecnología inalámbrica en los que se conoce como espectro electromagnético en nuestro caso va a ser entre 902 y 928 MHz (LoRaWAN) y una frecuencia central de 915 MHz
- **Potencia de transmisión.-** Nivel de potencia de la antena Transmisora, y esta dependerá de la antena: Gateways y Repetidores 27 dBm, Nodos terminales 20 dBm.
- **Sensibilidad del receptor.-** Capacidad receptor o antena receptora de detectar señales débiles y al igual que la anterior depende del equipo o antena: Gateways y Repetidoras -140 dBm, Nodos terminales -130 dBm.

4.2 Diseño de la arquitectura de la red.

En la situación actual, se cuenta con infraestructura de torres en los puntos Cerro Azul 1 y 2, Planta Sur, Garzota, S/E Guasmo Sur, S/E Germania y S/E Chongon con comunicación establecida por medio de fibra óptica o radio enlace a la Network CNEL donde está el centro de operaciones y las Subestaciones Eléctricas; y la comunicación con los re conectadores de media tensión es por medio de un proveedor ISP, como se aprecia en la

Figura 4.27. El protocolo de comunicación que se usa para el monitorio y control de este sistema SCADA es DNP3, funciona entre servidor SCADA y RTUs y entre RTUs y Reconectores.

Figura 4.27: Situación actual Red Reconectores e Infraestructura CNEL

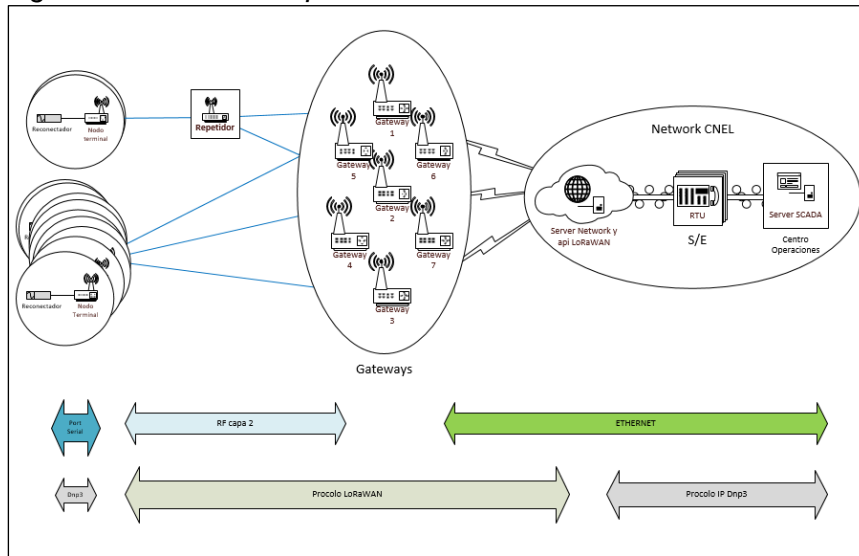


Fuente: El Autor.

Tomando en cuenta, que la tecnología que se eligió es LoRaWAN la topología de red es modo estrella con siete antenas tipo gateways dispuesta estratégicamente en los puntos con torres mencionados anteriormente, con el fin de contar con la mejor cobertura posible y redundancia de enlace; para los 81 dispositivos finales o re conectadores de media tensión dispersos por la zona urbana de la ciudad de Guayaquil.

Los Reconectores tendrán comunicación vía Radio Frecuencia a los Gateways (en algunos casos con ayuda de repetidores), estos puntos disponen de enlace a la red informática de CNEL donde estará ubicado el servidor de red y aplicaciones LoRaWAN, las RTUs en la subestaciones eléctricas y Centro de Operadores donde está el servidor SCADA, como se muestra en la Figura 4.28.

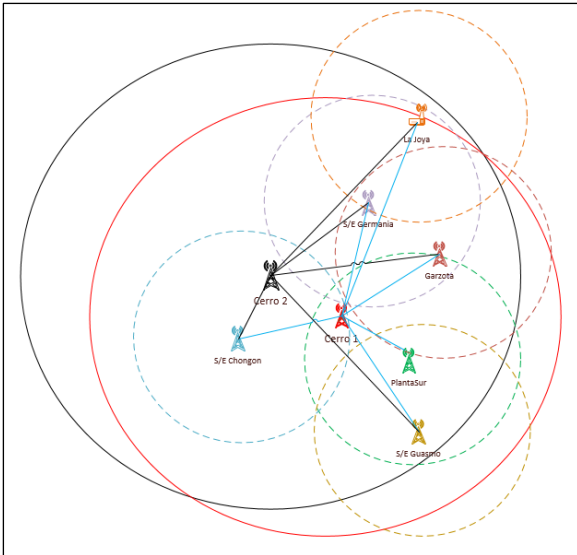
Figura 4.28: Diseño arquitectura del LoRaWAN-Reconectores.



Fuente: El Autor.

Los Gateways están ubicados en posiciones claves y a una altura considerable para ayudarse entre sí a cubrir la mayor parte de la zona urbana y al mismo tiempo tener cobertura entre ellas con el objetivo de tener full Mesh LoRaWAN como se muestra en la Figura 4.29.

Figura 4.29: Topología Full Mesh LoRaWAN.



Fuente: El Autor.

De ser el caso, que en pruebas de campo, no se disponga de la cobertura requerida dentro de la zona urbana y se necesite ampliarla, se sugiere implementar más torres de telecomunicaciones en otras subestaciones o localidades de CNEL; o también ubicar torres de CNT para hacer uso de las mismas, aprovechando que existe un convenio de Institucionalidad entre CNEL EP y CNT EP para el uso de infraestructura de torres.

4.3 Hardware y Componentes.

Considerando que los reconectores de CNEL disponen de puertos ethernet y serial, en este proyecto de tesis utilizaremos los siguientes equipos:

- **Nodo terminal.-** Terminal Radio Frecuencia (RF) LoRa.
- **Gateway LoRa.-** Puerta de enlace o concentrador de RF LoRa.
- **Repetidor LoRa.-** Dispositivo de ayuda de cobertura RF del Gateway,
- **Servidor de red LoRa.-** Encargado de transformar los paquetes de protocolo LoRa a SCADA.

Las características del hardware y componentes que se utilizó, los podemos apreciar en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5: Hardware y componentes del proyecto

Ítem	Tipo	Equipo	Marca	Modelo	Potencia Tx	Sensibilidad	Banda Frecuencia
1	Gateway	Outdoor Gateway LoRaWAN	Milesight	UG67	27 dBm	-140 dBm	US915 (902-928 MHz)
2	Gateway	Indoor/outdoor or LoRaWAN Gateway	Milesight	UG65	27 dBm	-140 dBm	US915 (902-928 MHz)
3	Repetidor	Ultra-Low Power Solar LoRaWAN Gateway	Milesight	SG50	27 dBm	-140 dBm	US915 (902-928 MHz)
4	Nodo Terminal	LoRaWAN Solenoid Valve Controller	Milesight	UC501	20 dBm	-137 dBm	US915 (902-928 MHz)
5	Respaldo Energía Gateway	Uninterruptible Power Supply	Milesight	UPS01	NA	NA	NA
6	Servidor de Red	Virtual LNS	NA	NA	NA	NA	NA

Fuente: (milesight, 2024)

Elaborado por: El Autor

Los Datasheet y User-guide de los equipos están adjuntos en el ANEXO, los mismos que fueron extraídos del sitio web de Milesight. El componente servidor de red y aplicación Lora (LNS) para este proyecto deberán ser virtualizadas en la infraestructura del Data Center de CNEL. Lo demás será usado como se muestra en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6: Uso Hardware.

ITEM	Sitio a usar	Gateway Outdoor	Gateway Outdoor/Indoor	Repetidor	Nodo terminal	Respaldo energía
		UG67	UG65	SG50	UC501	UPS01
1	Cerro Azul 1	1				1
2	Cerro Azul 2	1				1
3	Planta Sur	1				1
4	Garzota	1				1
5	S/E Guasmo Sur		1			1
6	S/E Germania		1			1
7	S/E Chongon		1			1
8	La Joya			1		
9	Reconectores				81	
TOTAL		4	3	1	81	7

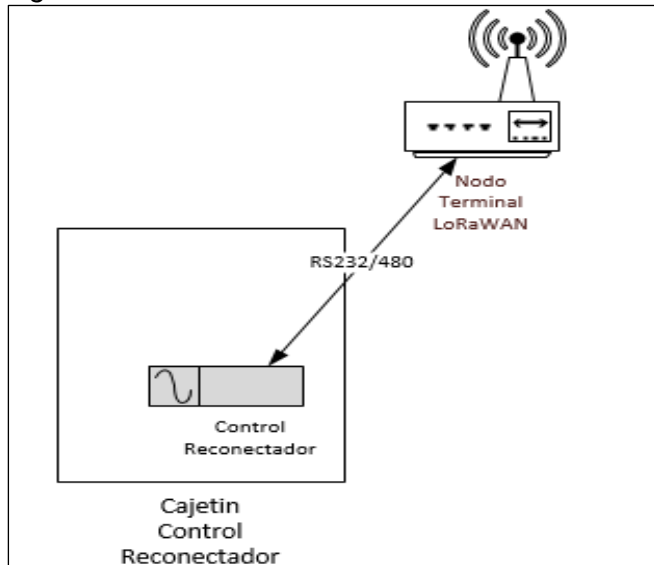
Fuente: El Autor

Elaborado por: El Autor.

Las configuraciones de los dispositivos del sistema LoRaWAN, se encuentran adjuntas en la sección de los anexos. Es importante mencionar que la conexión entre el dispositivo nodo terminal LoRaWAN y el control del reconectador se lo realizó mediante puerto RS232, como se muestra en la

Figura 4.30.

Figura 4.30: Conexión reconectador-nodo terminal.



Fuente: (milesight, 2024)
Elaborado por: El Autor.

4.4 Cálculos y Simulaciones.

Se realizó los cálculos del análisis del radio enlace; entre nodos terminales y nodos Gateways, para establecer el correcto desempeño de la comunicación inalámbrica y se hizo uso del simulador Radio Mobile.

4.4.1 Análisis de radio enlace.

El análisis de un radioenlace es esencial para establecer una comunicación inalámbrica eficaz entre dos puntos a través de ondas electromagnéticas. Para calcular un radioenlace, se deben tener en cuenta varios factores como la distancia, las características del terreno, las condiciones atmosféricas, la potencia de transmisión, la ganancia de las antenas, la frecuencia utilizada, entre otros. A continuación, se explica los pasos básicos para calcular un radioenlace:

4.4.1.1 Pérdida en el espacio libre.

La pérdida de espacio libre (Free Space Loss, FSL) es la pérdida de señal debido a la propagación en el espacio libre, sin obstáculos (Vera & Zavala, 2018). Se calcula usando la fórmula:

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log f_{GHz} + 20 \log d_{Km}$$

Donde:

- FSL_{dB} = Pérdida en espacio libre (dB)
- f_{GHz} = Frecuencia central operación (GHz).
- d_{Km} = Distancia entre los puntos de comunicación (Km). (Vera & Zavala, 2018)

Esta fórmula muestra la pérdida de señal en decibelios (dB) debido a la propagación en el espacio libre. (Vera & Zavala, 2018)

4.4.1.2 Potencia recibida.

Es la potencia recibida en el receptor, se puede usar la siguiente fórmula basada en la potencia transmitida y las pérdidas de espacio libre:

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

Donde:

- PRx_{dBm} = Potencia recibida en el receptor (dBm).
- PTx_{dBm} = Potencia transmitida desde el transmisor (dBm).
- LTx_{dB} = Pérdidas en transmisión (dB)
- GTx_{dBi} = Ganancia de la antena transmisora (dB).
- GRx_{dBi} = Ganancia de la antena receptora (dB).
- FSL_{dB} = Pérdida de espacio libre (dB).
- LRx_{dB} = Pérdidas en recepción (dB)

La potencia recibida es fundamental para determinar si la señal es suficientemente fuerte para ser procesada por el receptor.

4.4.1.3 Relación señal a ruido.

La relación señal a ruido (SNR) es un factor crucial para asegurar que la señal recibida sea legible (Vera & Zavala, 2018). Se calcula como la diferencia entre la potencia de la señal recibida y el ruido presente en el receptor:

$$SNR_{dB} = PRx_{dBm} - Nx_{dBm}$$

Donde:

- SNR_{dB} = relación señal ruido (dB)
- PRx_{dBm} = Potencia recibida (dBm)
- Nx_{dBm} = Potencia del ruido en el receptor (dBm)

Si el SNR es suficientemente alto, el enlace será de buena calidad, ya que la señal sobresale claramente sobre el ruido.

4.4.1.4 Margen de desvanecimiento.

Es un parámetro importante en el diseño de radioenlaces, ya que indica cuánto margen adicional de potencia o señal se tiene para compensar las variaciones y pérdidas imprevistas en el enlace debido a factores como el terreno, el clima y otros efectos ambientales. Este margen es crucial para asegurar que el enlace se mantenga operativo incluso en condiciones de propagación adversas. El **margen de desvanecimiento** se calcula generalmente como la diferencia entre la potencia recibida calculada en condiciones ideales (sin desvanecimiento) y la potencia mínima que se necesita para que la señal sea recibida correctamente en el receptor, o la potencia que está disponible en condiciones reales de propagación (con desvanecimiento). (Vera & Zavala, 2018)

Fórmula general para el margen de desvanecimiento es:

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

Donde:

- M_{dBm} = Margen de Desvanecimiento
- PRx_{dBm} = Potencia Recibida (en dBm)

- SRx_{dBm} = Sensibilidad o Potencia Mínima Requerida del receptor (dBm) (Vera & Zavala, 2018)

Interpretación del margen de desvanecimiento

- Un **margen de desvanecimiento positivo** indica que la potencia recibida es suficiente para mantener una buena calidad de enlace bajo condiciones normales y algunas condiciones de desvanecimiento. (Vera & Zavala, 2018)
- Un **margen negativo** sugiere que el enlace está en riesgo de sufrir pérdida de señal bajo condiciones de desvanecimiento, lo que podría hacer que la comunicación falle. (Vera & Zavala, 2018)

4.4.1.5 Pérdida de potencia.

Parámetro esencial para diseñar enlaces de comunicación eficientes y comprender las limitaciones de alcance y calidad en un enlace. Es la diferencia entre la potencia transmitida y la potencia recibida en el receptor. (Vera & Zavala, 2018)

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

Donde:

- Lp_{dBm} = Pérdida de potencia del enlace (dBm)
- PRx_{dBm} = Potencia recibida real (dBm)
- PTx_{dBm} = Potencia Transmitida (dBm) (Vera & Zavala, 2018)

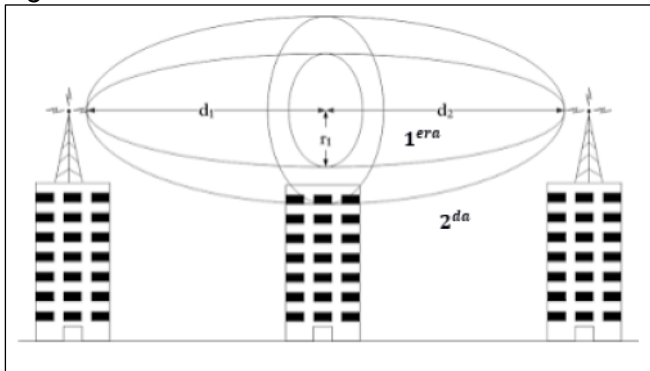
4.4.1.6 Zona de Fresnel.

Cuando se diseña un radioenlace a una distancia muy amplia es necesario realizar un análisis del perfil del terreno, determinar si existen montañas, colinas o cerros, que pudieran ocasionar que la comunicación no se establezca. Si entre el transmisor y receptor no existen dichos obstáculos se dice que hay línea de vista entre ellos, pero si por el contrario la zona posee obstáculos, las zonas de Fresnel permiten determinar si estos son influyentes en el sistema de comunicación. (Vera & Zavala, 2018)

Las zonas de Fresnel son elipsoides concéntricos que se forman alrededor de un rayo directo entre el transmisor y receptor, como se ve en la

Figura 4.31. Estas se forman de acuerdo con la posición de las antenas, si la onda incide sobre algún medio u obstáculo esto provocará un desfaseamiento por consecuencia recibirá un retardo en la transmisión o en casos extremos la pérdida total de la información. (Vera & Zavala, 2018)

Figura 4.31: Zona de Fresnel



Fuente: (Vera & Zavala, 2018)

En el diseño, el parámetro principal para determinar la efectividad de transmisión es el radio de las zonas de Fresnel. Se considera que, si el 60% del radio de la primera zona de Fresnel está libre de obstáculos, la onda será transmitida sin problema. (Vera & Zavala, 2018)

$$r_n = \sqrt{\frac{\lambda * n * d_1 * d_2}{d_1 + d_2}}$$

Dónde:

- r = Radio del Fresnel
- λ = Longitud de onda
- d_1 = Distancia a la antena transmisora
- d_2 = Distancia a la antena receptora
- n = Ene-sima zona de Fresnel ($n=1, 2, 3, \dots$) (Vera & Zavala, 2018)

4.4.2 Cálculo de longitud de onda de LoRa.

Ecuación de longitud de onda es:

$$\lambda_m = \frac{C_{m/s^2}}{f_{Hz}}$$

Trabaja con la $f_c = 915 \text{ [MHz]}$ en América incluyendo a Ecuador

Cuando $f_{Hz} = f_c = 915 \times 10^6 \text{ [Hz]}$ y $C_{m/s^2} = 3 \times 10^8 \text{ [m/s}^2\text{]}$

$$\lambda_m = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}^2}{915 \times 10^6 \text{ Hz}} \quad \lambda_m = 0,327869 \text{ [m]} \rightarrow \lambda_m = 32,7869 \text{ [cm]}$$

$$f_c = 915 \text{ [MHz]} \rightarrow f_c = 0.915 \text{ [GHz]}$$

4.4.3 Parámetros Técnicos.

4.4.3.1 Para cálculos.

Son los siguientes y se establecen de modo:

$$PTx_{dBm} = 27 \text{ [dBm]} \text{ Gateway y Repetidor}$$

$$PTx_{dBm} = 20 \text{ [dBm]} \text{ Nodo terminal}$$

$$LTx_{dB} = 1 \text{ [dB]}$$

$$GTx_{dBi} = 2 \text{ [dBi]}$$

$$GRx_{dBi} = 2 \text{ [dBi]}$$

$$LRx_{dB} = 1 \text{ [dB]}$$

$$SRx_{dBm} = -140 \text{ [dBm]} \text{ Gateway y Repetidor.}$$

$$SRx_{dBm} = -137 \text{ [dBm]} \text{ Nodo terminal.}$$

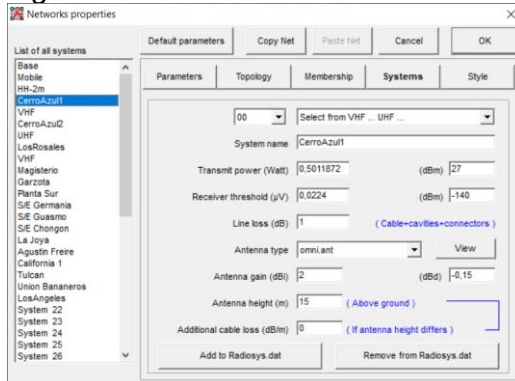
4.4.3.2 Para simulación.

En las Figura 4.32, Figura 4.33, *Figura 4.34*,

Figura 4.35, Figura 4.36, Figura 4.37, Figura 4.38, Figura 4.39, Figura 4.40,
Figura 4.41, Figura 4.42, Figura 4.43, Figura 4.44,

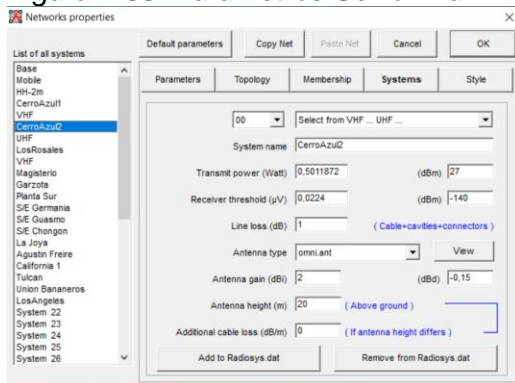
Figura 4.45 y Figura 4.46; se aprecia la configuración de los parámetros de los terminales y nodos establecida en el simulador Radio Mobile.

Figura 4.32: Parámetros Cerro Azul 1.



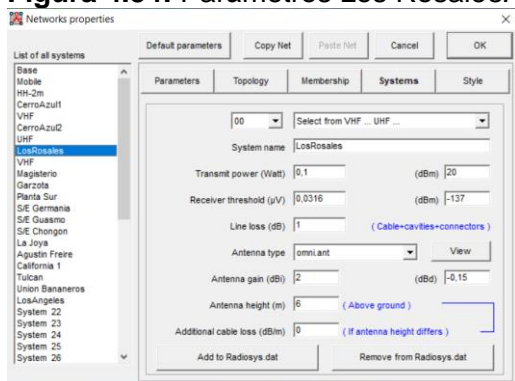
Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.33: Parámetros Cerro Azul 2.



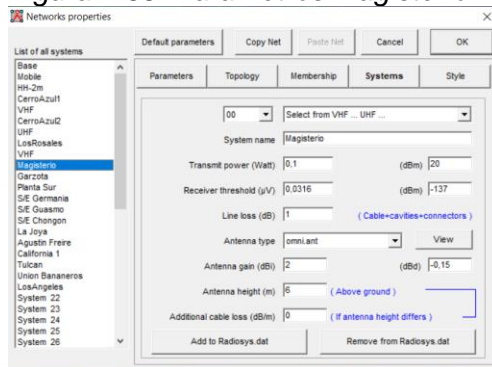
Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.34: Parámetros Los Rosales.



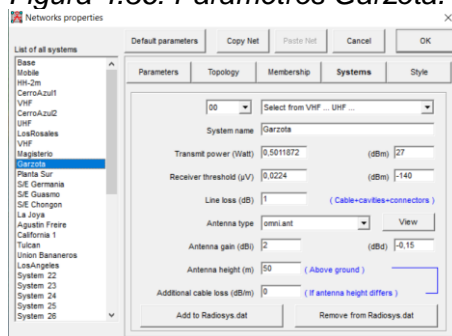
Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.35: Parámetros Magisterio.



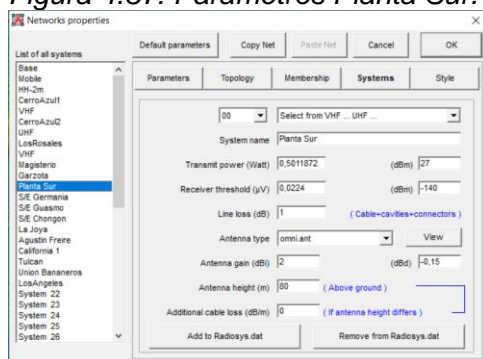
Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.36: Parámetros Garzota.



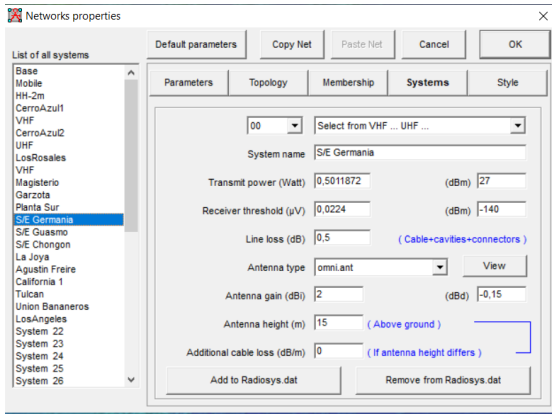
Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.37: Parámetros Planta Sur.

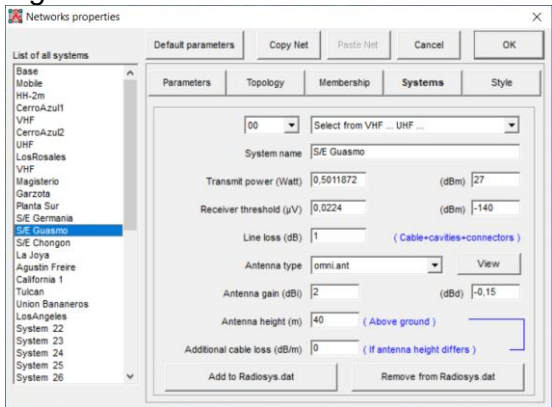


Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.38: Parámetros S/E Germania.

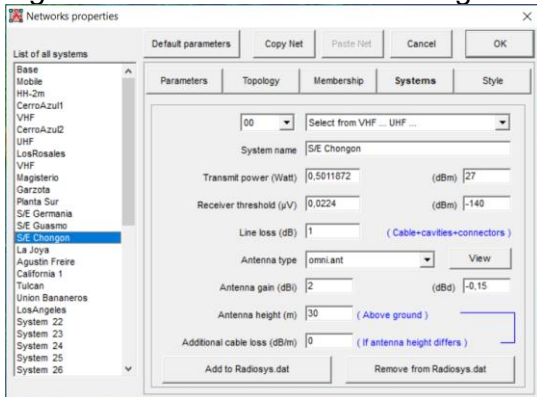


Fuente: Software Radio Mobile
Figura 4.39: Parámetros S/E Guasmo.



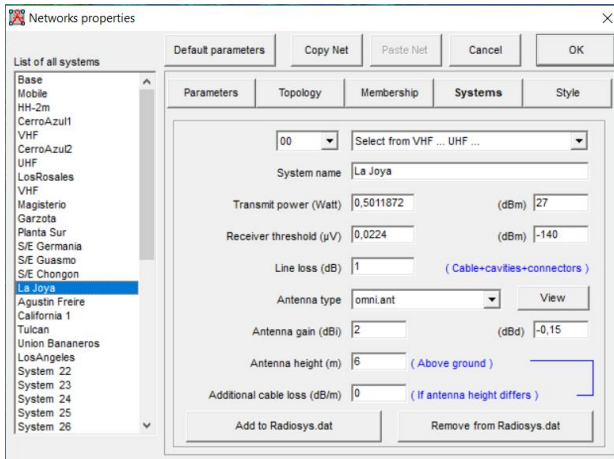
Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.40: Parámetros S/E Chongon.



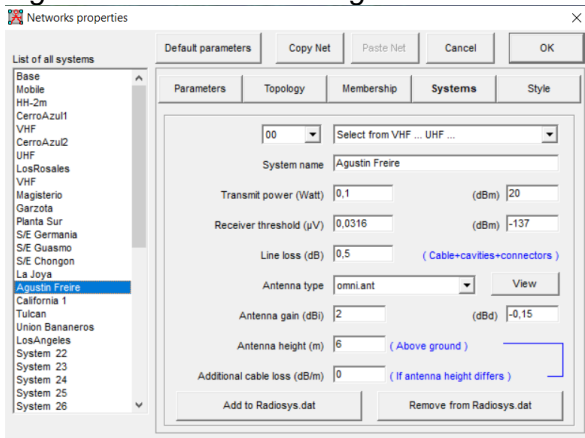
Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.41: Parámetros La Joya (Repetidor).



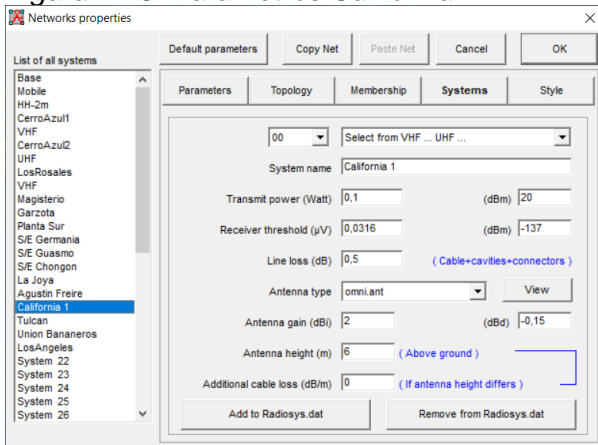
Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.42: Parámetros Agustín Freire.



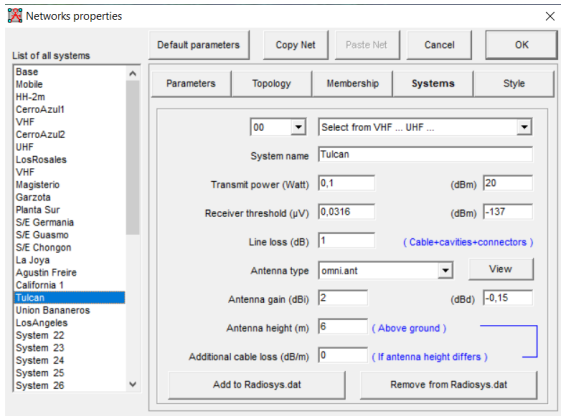
Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.43: Parámetros California 1.



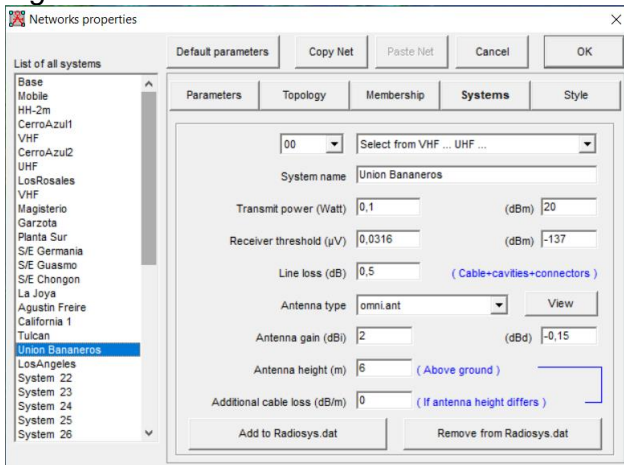
Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.44: Parámetros Tulcán.



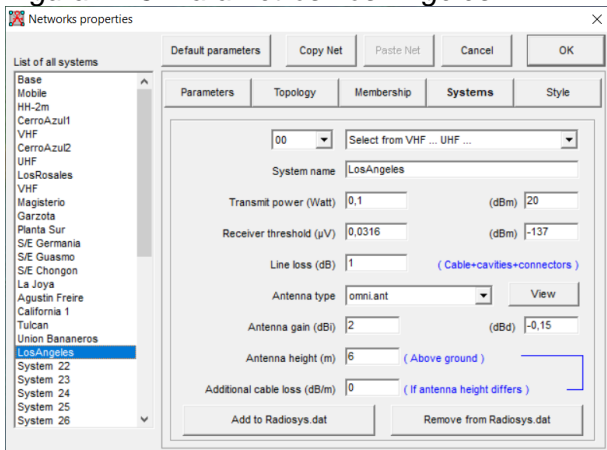
Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.45: Parámetros Unión de Bananeros.



Fuente: Software Radio Mobile

Figura 4.46: Parámetros Los Ángeles 2.



Fuente: Software Radio Mobile

4.4.4 Efectividad de enlace inalámbrico.

Se tomó los ochos enlaces establecidos y se hizo los cálculos y simulaciones para determinar la efectividad de los mismos.

4.4.4.1 Enlace Cerro azul 1 – Los Rosales.

$$d = 10,1 [Km]$$

Cálculo de Perdidas en el espacio libre.

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log f_{GHz} + 20 \log d_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log(0.915)_{GHz} + 20 \log(10,1)_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 111,77 [dB]$$

4.4.4.1.1 Tx Cerro azul 1, Rx Los Rosales.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 27 [dBm] - 1 [dB] + 2 [dBi] - 111,77 [dB] + 2 [dBi] - 1 [dB]$$

$$PRx_{dBm} = -82,77 [dBm]$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -82,77 [dBm] - (-137 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 54,23 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

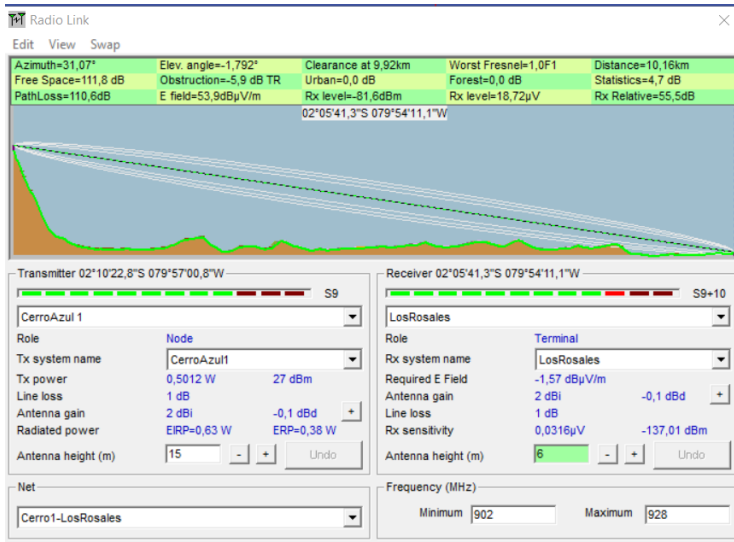
$$Lp_{dBm} = -82,77 [dBm] - 27 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -109,77 [dBm]$$

4.4.4.1.2 Simulación Tx Cerro azul 1, Rx Los Rosales.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

Figura 4.47: Tx Cerro Azul 1 Rx Los Rosales, Perfil.

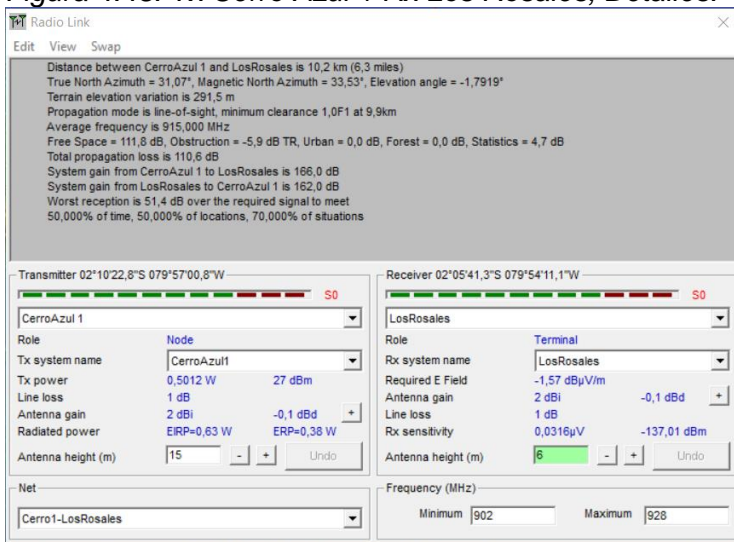


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.47, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de -1.792°; peor fresnel de 1,0F1, que indica primera zona fresnel despojada y 0% de la segunda zona fresnel despejada; Espacio libre de 111.8 dB, similar al resultado del cálculo; Obstrucción de -5.9 dB TR, Urbano de 0.0 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 110.6 dB, aproximado al resultado del calculo.

Figura 4.48: Tx Cerro Azul 1 Rx Los Rosales, Detalles.

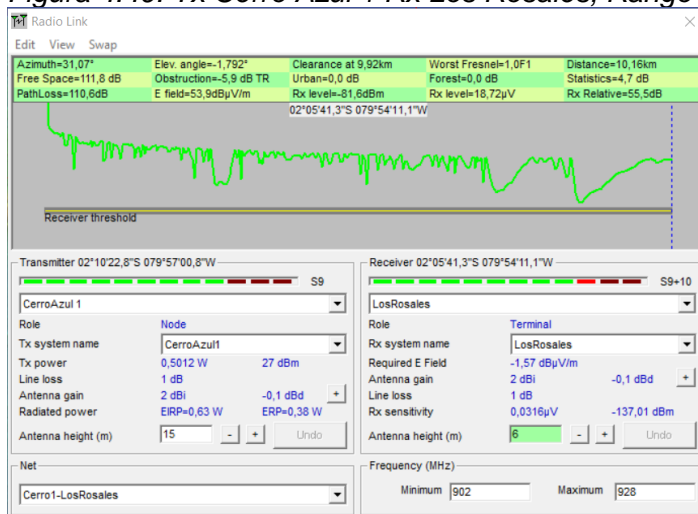


Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.48, se muestra todos los detalles de la grafica anterior con descripciones especificas de los resultados con adicionales como variación de elevacion a tierra de 291.5

metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 1.0F1 que es 9.9 Km y la peor recepción es 54.1 dB.

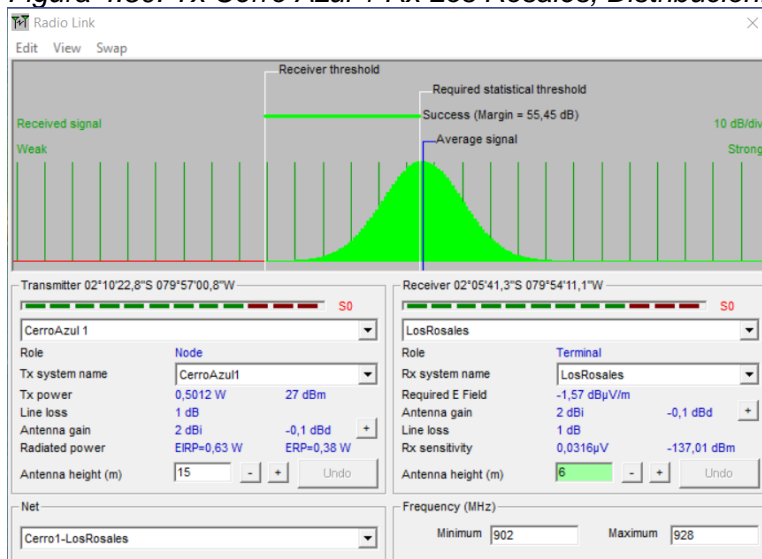
Figura 4.49: Tx Cerro Azul 1 Rx Los Rosales, Rango



Fuente: Software Radio Mobile.

En la Figura 4.49, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver la distancia de mayor pérdida que es donde está el peor Fresnel, pero todo dentro de los parámetros normales.

Figura 4.50: Tx Cerro Azul 1 Rx Los Rosales, Distribución.



Fuente: Software Radio Mobile.

En la Figura 4.50, se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 55.45 dB que es aproximado al cálculo de

efectividad del enlace. En conclusión la efectividad de este enlace es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.1.3 Tx Los Rosales, Rx Cerro azul 1.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 20 [dBm] - 1 [dB] + 2 [dBi] - 111,77 [dB] + 2 [dBi] - 1 [dB]$$

$$PRx_{dBm} = -89,77 [dBm]$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -89,77 [dBm] - (-140 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 50,23 [dBm]$$

Cálculo de Pérdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

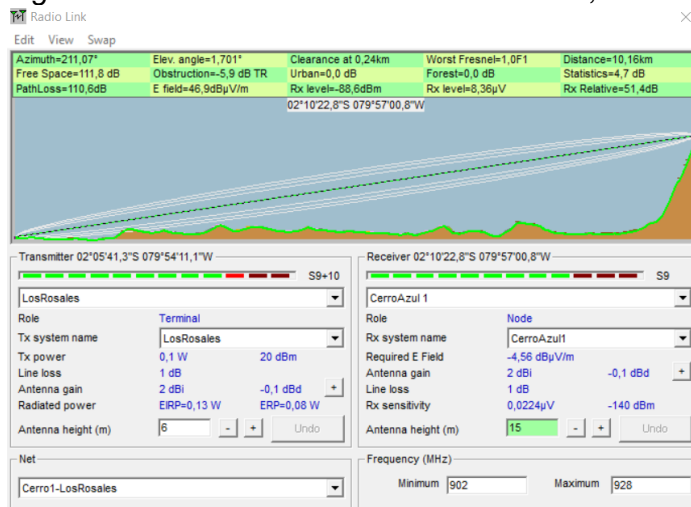
$$Lp_{dBm} = -89,77 [dBm] - 20 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -109,77 [dBm]$$

4.4.4.1.4 Simulación Tx Los Rosales, Rx Cerro azul 1.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

Figura 4.51: Tx Los Rosales Rx Cerro Azul 1, Perfil.

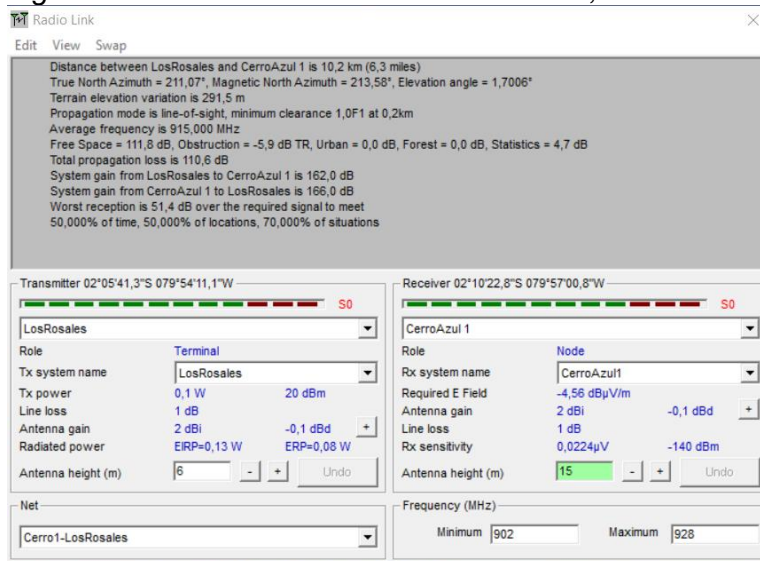


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.51, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de -1.792° ; peor fresnel de 1,0F1 que indica primera zona fresnel despajada y 0% de la segunda zona fresnel despejada; Espacio libre de 111.8 dB, similar al resultado del cálculo; Obstrucción de -5.9 dB TR, Urbano de 0.0 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 110.6 dB, aproximado al resultado del cálculo.

Figura 4.52: Tx Los Rosales Rx Cerro Azul 1, Detalles.

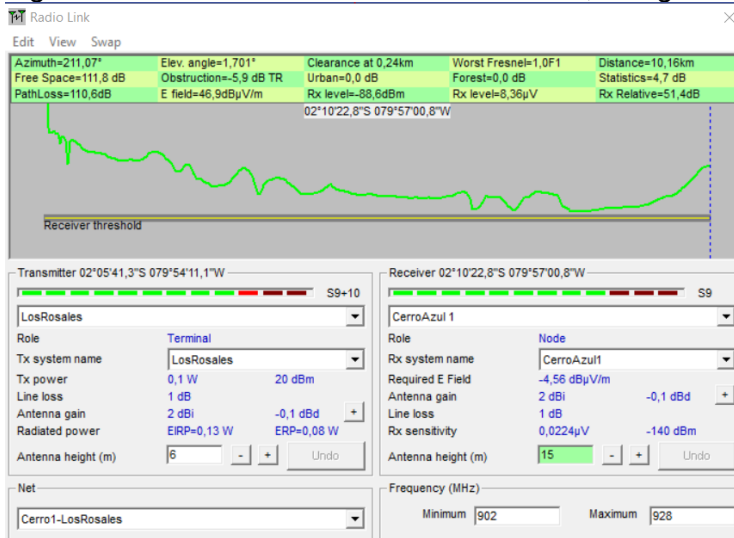


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.52, se muestra todos los detalles de la grafica anterior con descripciones especificas de los resultados con adicionales como terrian elevation variation de 291.5 metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 1.0F1 que es 0.2 Km y la peor recepción es 54.1 dB.

Figura 4.53: Tx Los Rosales Rx Cerro Azul 1, Rango.

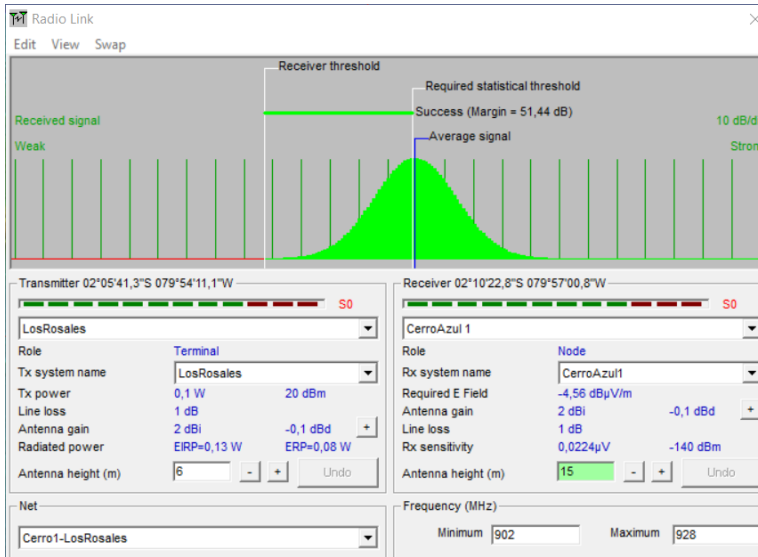


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.53, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver la variación de pérdida de la señal, pero todo dentro de los parámetros normales.

Figura 4.54: Tx Los Rosales Rx Cerro Azul 1, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.54, se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 55.45 dB.

En conclusión la efectividad de este enlace inverso también es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.2 Enlace Cerro azul 2 – La Joya.

$$d = 14,9 \text{ [Km]}$$

Cálculo de Perdidas en el espacio libre.

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log f_{GHz} + 20 \log d_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log(0.915)_{GHz} + 20 \log(14,9)_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 115,14 \text{ [dB]}$$

4.4.4.2.1 Tx Cerro azul 2, Rx La Joya.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 27 \text{ [dBm]} - 1 \text{ [dB]} + 2 \text{ [dBi]} - 115,14 \text{ [dB]} + 2 \text{ [dBi]} - 1 \text{ [dB]}$$

$$PRx_{dBm} = -86,14 \text{ [dBm]}$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -86,14 [dBm] - (-137 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 50,86 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

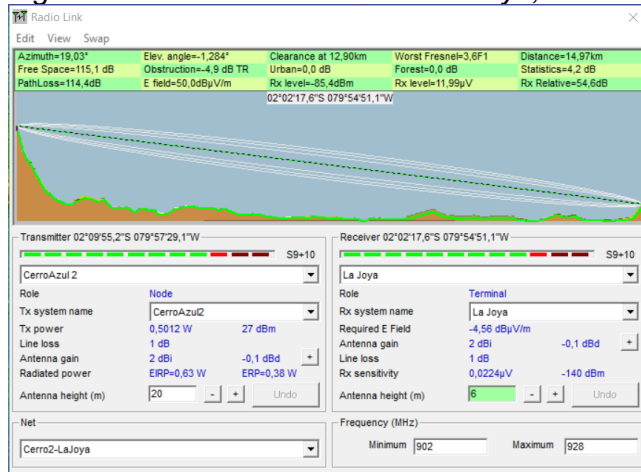
$$Lp_{dBm} = -86,14 [dBm] - 27 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -113,14 [dBm]$$

4.4.4.2.2 Simulación Tx Cerro azul 2, Rx La Joya.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

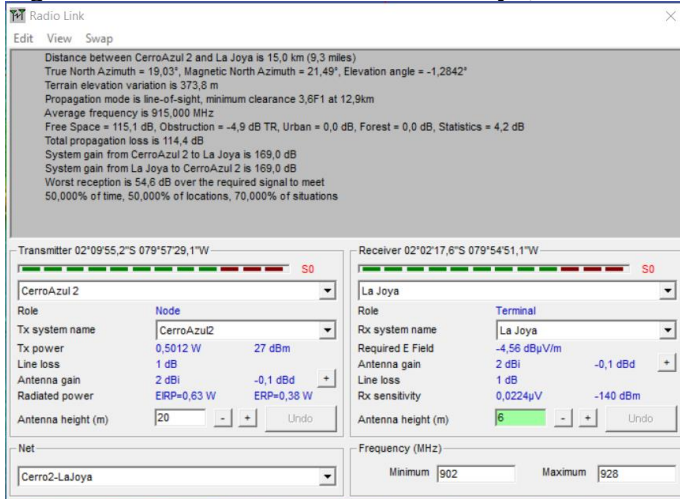
Figura 4.55: Tx Cerro Azul 2 Rx La Joya, Perfil



Fuente: Software Radio Mobile

La Figura 4.55 muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de -1.284° ; peor fresnel de $3,6F1$ que indica tercera zona fresnel despojada y 60% de la cuarta zona fresnel despojada; Espacio libre de 115.1 dB, similar al resultado del cálculo; Obstrucción de -4.9 dB TR, Urbano de 0.0 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 114.4 dB.

Figura 4.56: Tx Cerro Azul 2 Rx La Joya, Detalles.

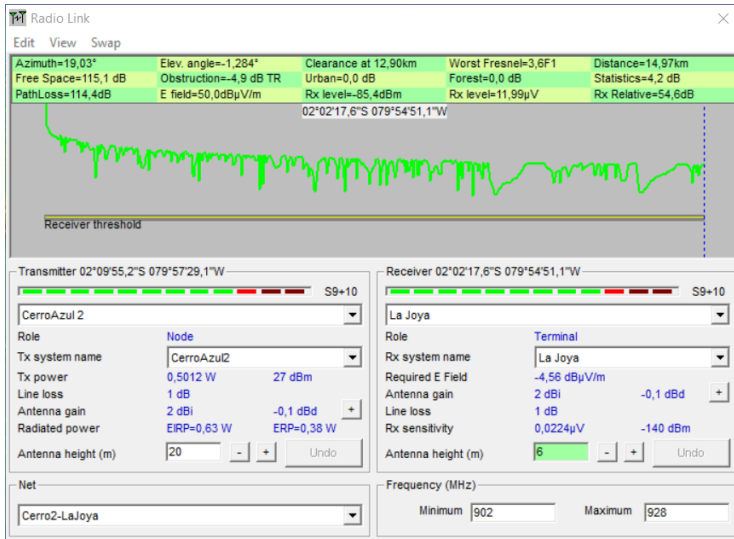


Fuente: Software Radio Mobile

La

Figura 4.56 muestra todos los detalles de la figura anterior con descripciones específicas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 373.8 metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 3.6F1 que es 12.9 Km y la peor recepción es 54.6 dB.

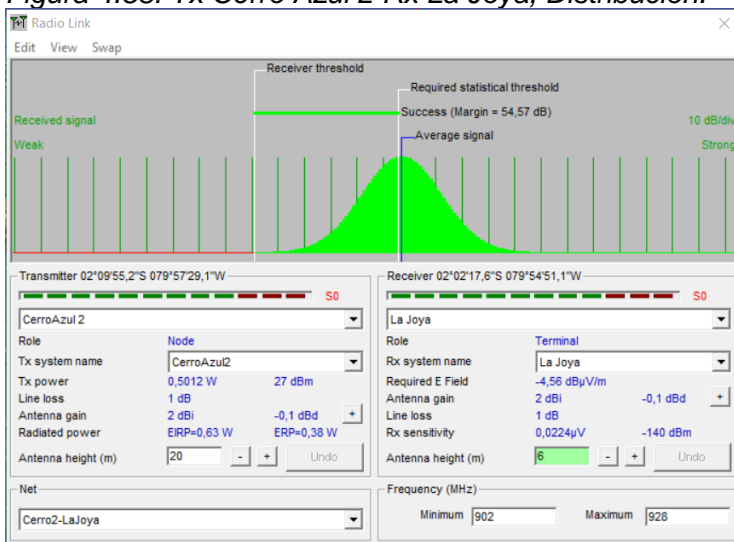
Figura 4.57: Tx Cerro Azul 2 Rx La Joya, Rango.



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.57, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver que la pérdida de la señal está dentro de parámetros aceptables con un rango de variación estable.

Figura 4.58: Tx Cerro Azul 2 Rx La Joya, Distribución.



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.58, se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 54.57 dB. En conclusión la efectividad de este enlace es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.2.3 Tx La Joya, Rx Cerro azul 2.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 27 [dBm] - 1 [dB] + 2 [dBi] - 115,14 [dB] + 2 [dBi] - 1 [dB]$$

$$PRx_{dBm} = -86,14 [dBm]$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -86,14 [dBm] - (-140 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 53,86 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

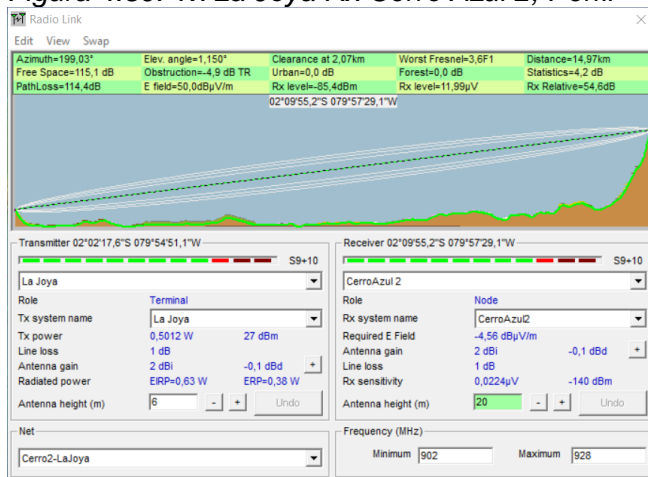
$$Lp_{dBm} = -86,14 [dBm] - 27 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -113,14 [dBm]$$

4.4.4.2.4 Simulación Tx La Joya, Rx Cerro azul 2.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

Figura 4.59: Tx La Joya Rx Cerro Azul 2, Perfil



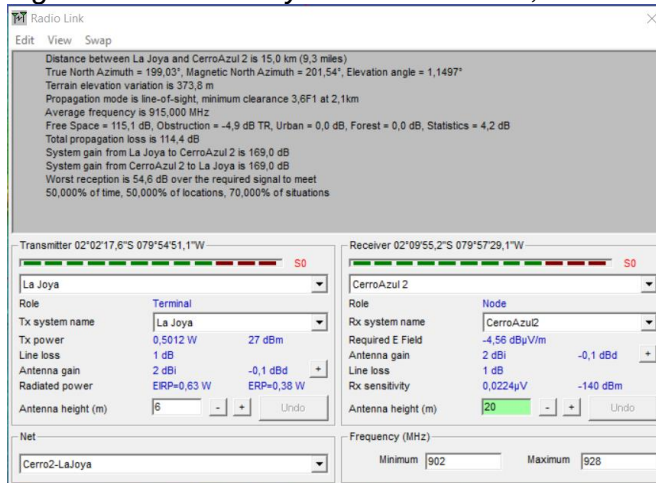
Fuente: Software Radio Mobile

La

Figura 4.59 muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de -1.150° ; peor fresnel de $3,6F1$ que indica

tercera zona fresnel despajada y 60% de la cuarta zona fresnel despejada; Espacio libre de 115.1 dB, simular al resultado del cálculo; Obstrucción de -4.9 dB TR, Urbano de 0.0 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta 114.4 dB.

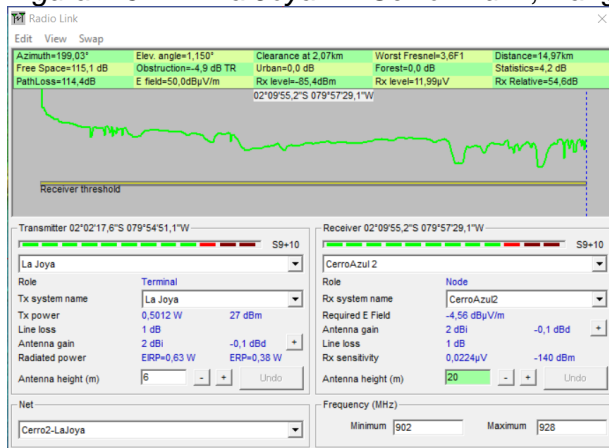
Figura 4.60: Tx La Joya Rx Cerro Azul 2, Detalles



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.60, se muestra todos los detalles de la grafica anterior con descripciones especificas de los resultados con adicionales como variación de elevacion a tierra de 373.8 metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 3.6F1 que es 2.1 Km y la peor recepción es 54.6 dB.

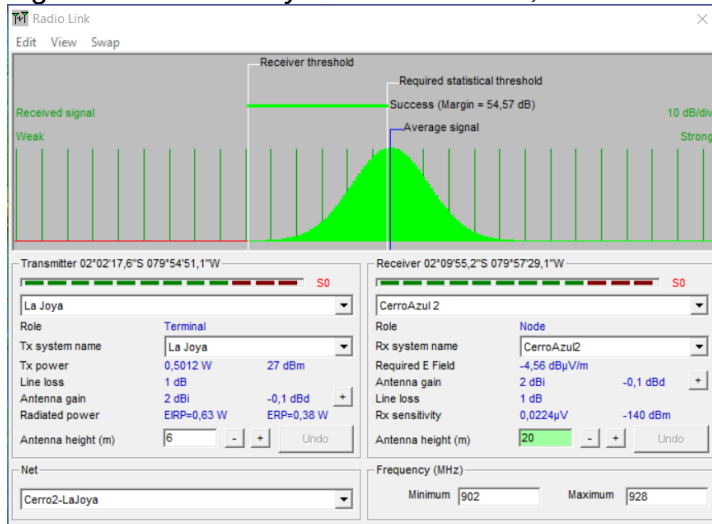
Figura 4.61: Tx La Joya Rx Cerro Azul 2, Rango



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.61, se muestra el desempeño de la señal a lo largo de la ruta de propagación, donde se puede ver la pérdida relativamente estable en un rango de parámetro normal para la comunicación.

Figura 4.62: Tx La Joya Rx Cerro Azul 2, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.62, se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 54.57 dB. En conclusión la efectividad de este enlace inverso también es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.3 Enlace La Joya – Magisterio.

$$d = 3,2 \text{ [Km]}$$

Cálculo de Perdidas en el espacio libre.

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log f_{GHz} + 20 \log d_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log(0.915)_{GHz} + 20 \log(3,2)_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 101,78 \text{ [dB]}$$

4.4.4.3.1 Tx La Joya, Rx Magisterio.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 27 \text{ [dBm]} - 1 \text{ [dB]} + 2 \text{ [dBi]} - 101,78 \text{ [dB]} + 2 \text{ [dBi]} - 1 \text{ [dB]}$$

$$PRx_{dBm} = -72,78 \text{ [dBm]}$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -72,78 [dBm] - (-137 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 64,22 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

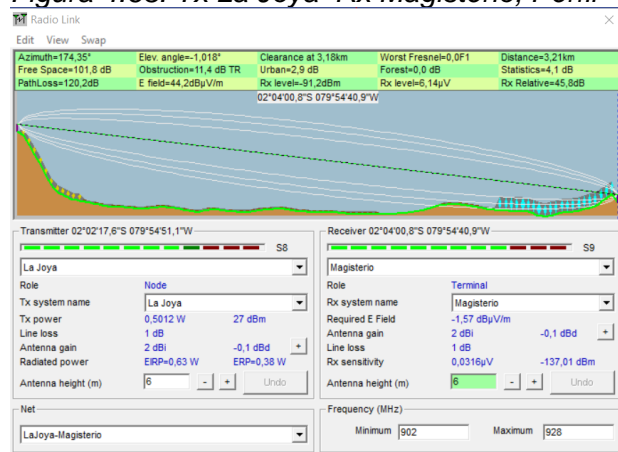
$$Lp_{dBm} = -72,78 [dBm] - 27 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -99,78 [dBm]$$

4.4.4.3.2 Simulación Tx La Joya, Rx Magisterio.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

Figura 4.63: Tx La Joya Rx Magisterio, Perfil

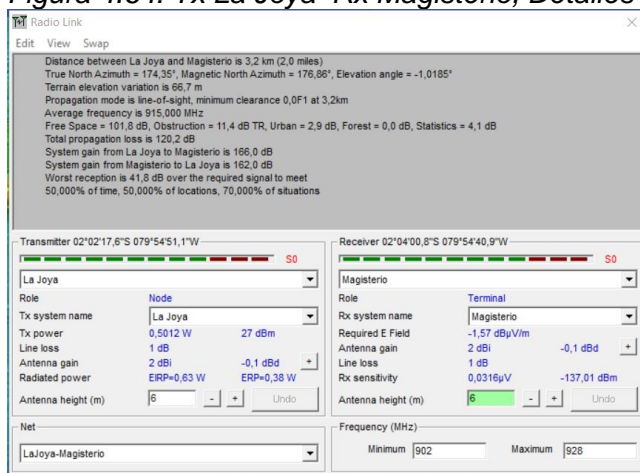


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.63, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de -1.018° ; peor fresnel de 0,0F1 que 0% de la primera zona fresnel despejada; Free Space de 101.8 dB, simular al resultado del cálculo; Obstrucción de 11.4 dB TR, Urbano de 2.9 dB, Bosque de 0.0 dB y Pérdida de ruta de 120.2 dB.

Figura 4.64: Tx La Joya Rx Magisterio, Detalles

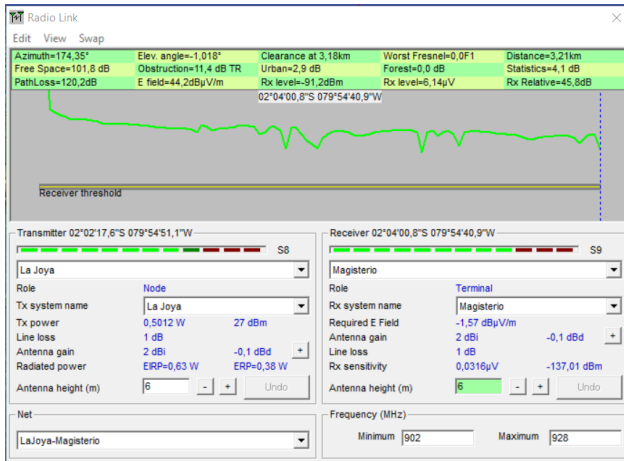


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.64, se muestra todos los detalles de la figura anterior con descripciones específicas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 66.7 metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 0.0F1 que es 3.2 Km y la peor recepción es 41.8 dB

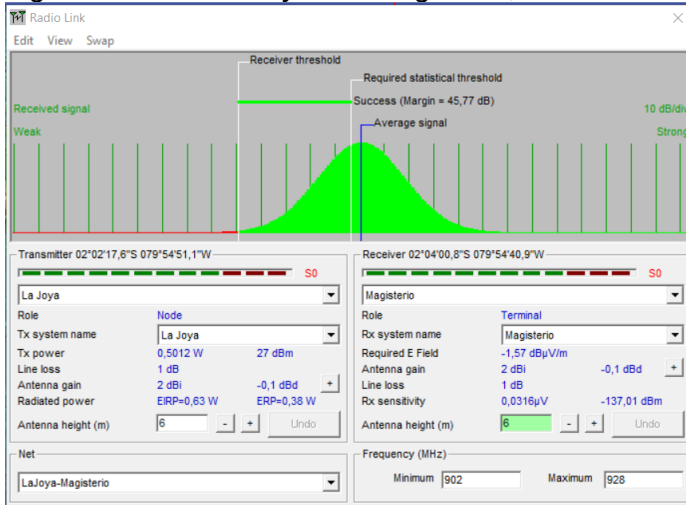
Figura 4.65: Tx La Joya Rx Magisterio, Rango



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.65, se muestra el desempeño de la señal a lo largo de su ruta de propagación, donde se puede ver poca pérdida con variación relativamente estable en los parámetros normales.

Figura 4.66: Tx La Joya Rx Magisterio, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.66, se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 45.77 dB. En conclusión la efectividad de este enlace es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.3.3 Tx Magisterio, Rx La Joya.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 20 [dBm] - 1 [dB] + 2 [dBi] - 101,78 [dB] + 2 [dBi] - 1 [dB]$$

$$PRx_{dBm} = -79,78 [dBm]$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -79,78 [dBm] - (-140 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 60,22 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

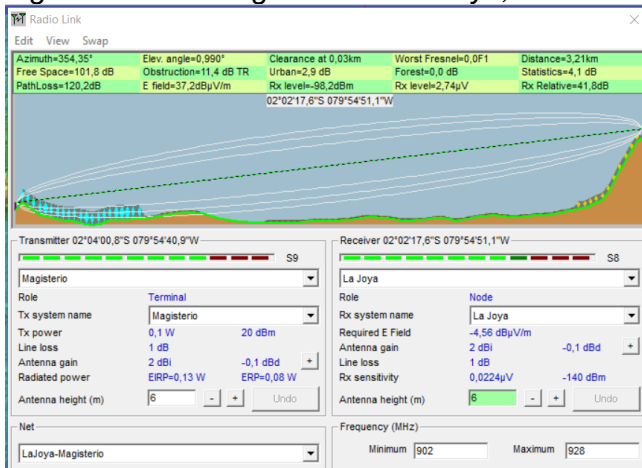
$$Lp_{dBm} = -79,78 [dBm] - 20 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -99,78 [dBm]$$

4.4.4.3.4 Simulación Tx Magisterio, Rx La Joya.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

Figura 4.67: Tx Magisterio Rx La Joya, Perfil

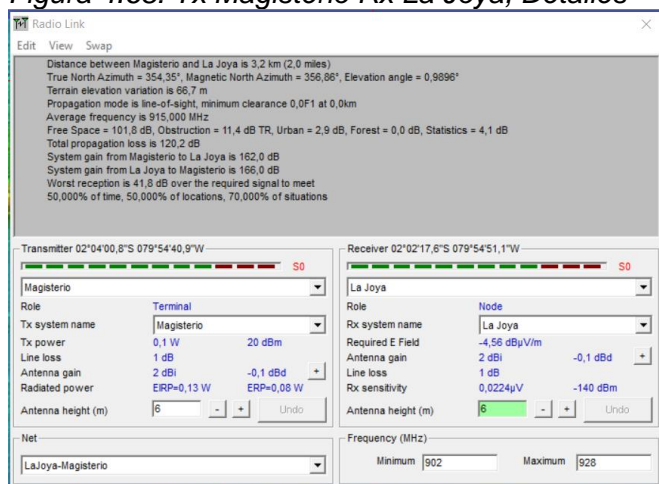


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.67, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de 0.990°; peor fresnel de 0,0F1 que indica 0% de la primera zona fresnel despejada; Espacio libre de 111.8 dB; Obstrucción de 11.4 dB TR, Urbano de 2.9 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 120.2 dB.

Figura 4.68: Tx Magisterio Rx La Joya, Detalles

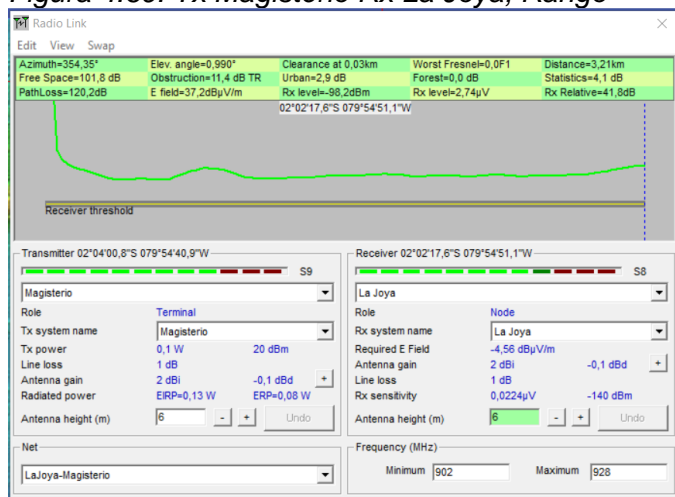


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.68, se muestra todos los detalles de la grafica anterior con descripciones especificas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 66.7 metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 0.0F1 que es 0.0 Km y la peor recepción es 41.8 dB.

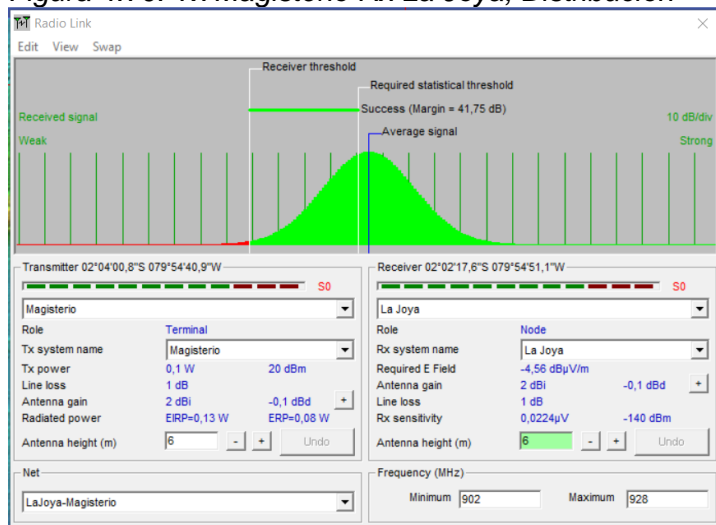
Figura 4.69: Tx Magisterio Rx La Joya, Rango



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.69, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver estabilidad dentro de los parámetros normales.

Figura 4.70: Tx Magisterio Rx La Joya, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.70, se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 41.75 dB. En conclusión la efectividad de este enlace de retorno también es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.4 Enlace S/E Germania – California 1.

$$d = 2,38 \text{ [Km]}$$

Cálculo de Perdidas en el espacio libre.

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log f_{GHz} + 20 \log d_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log(0.915)_{GHz} + 20 \log(2,38)_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 99,21 \text{ [dB]}$$

4.4.4.4.1 Tx S/E Germania, Rx California 1.

Calculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 27 [dBm] - 1 [dB] + 2 [dBi] - 99,21 [dB] + 2 [dBi] - 1 [dB]$$

$$PRx_{dBm} = -70,21 [dBm]$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -70,21 [dBm] - (-137 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 66,79 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

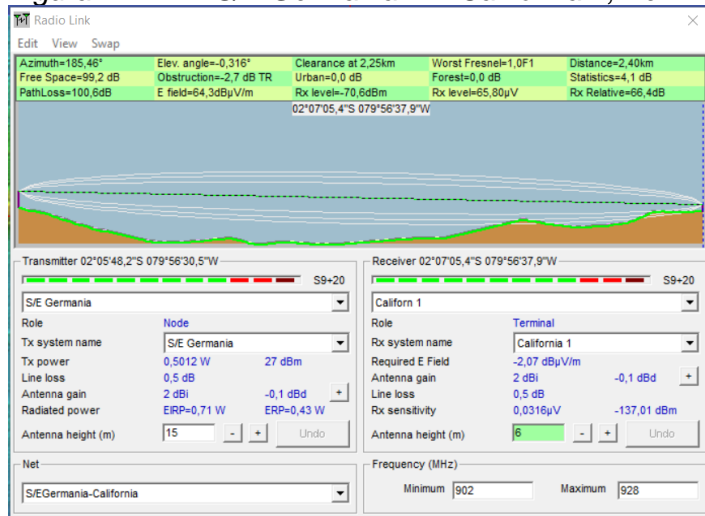
$$Lp_{dBm} = -70,21 [dBm] - 27 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -97,21 [dBm]$$

4.4.4.4.2 Simulación Tx S/E Germania, Rx California 1.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

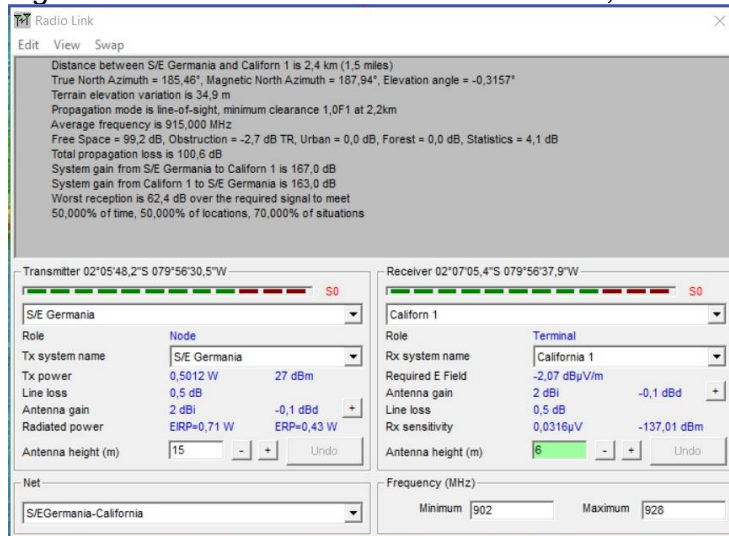
Figura 4.71: Tx S/E Germania Rx California 1, Perfil



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.71, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de 0.316°; peor fresnel de 1,0F1 que indica primera zona fresnel despajada y 0% de la segunda zona fresnel despejada; Espacio libre de 99.2 dB, simular al resultado del cálculo; Obstrucción de -2.7 dB TR, Urbano de 0.0 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 100.6 dB.

Figura 4.72: Tx S/E Germania Rx California 1, Detalles

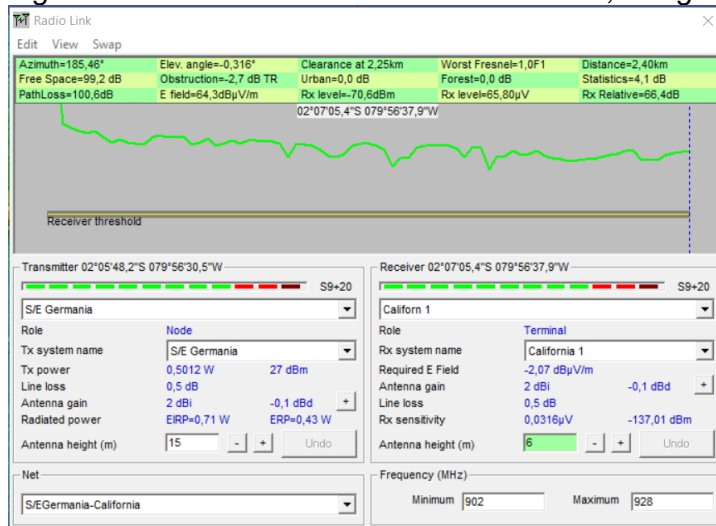


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.72, se muestra todos los detalles de la grafica anterior con descripciones especificas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 34.9 metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 1.0F1 que es 2.2 Km y la peor recepción es 62.4 dB.

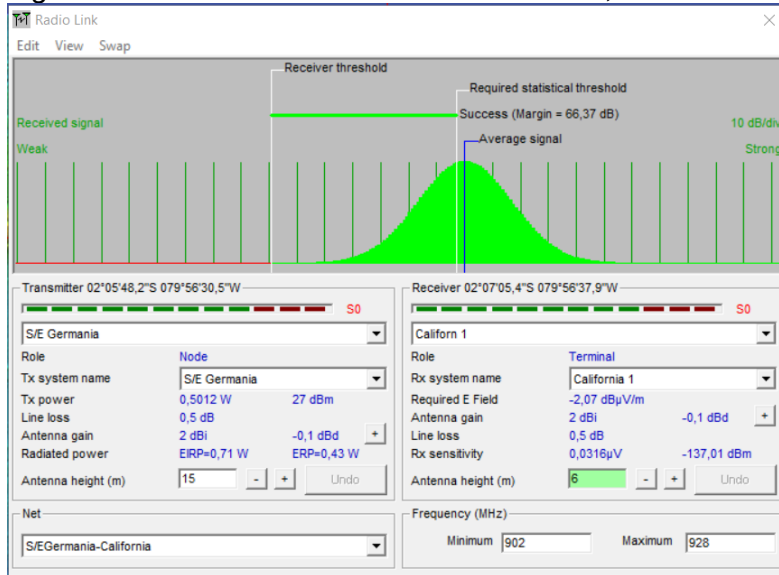
Figura 4.73: Tx S/E Germania Rx California 1, Rango



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.73, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver pocas perdidas y dentro de los parámetros normales.

Figura 4.74: Tx S/E Germania Rx California 1, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.74 se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 66.37 dB que es similar al cálculo de efectividad del enlace. En conclusión la efectividad de este enlace es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.4.3 Tx California 1, Rx S/E Germania.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 20 [dBm] - 1 [dB] + 2 [dBi] - 99,21 [dB] + 2 [dBi] - 1 [dB]$$

$$PRx_{dBm} = -77,21 [dBm]$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -77,21 [dBm] - (-140 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 62,79 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

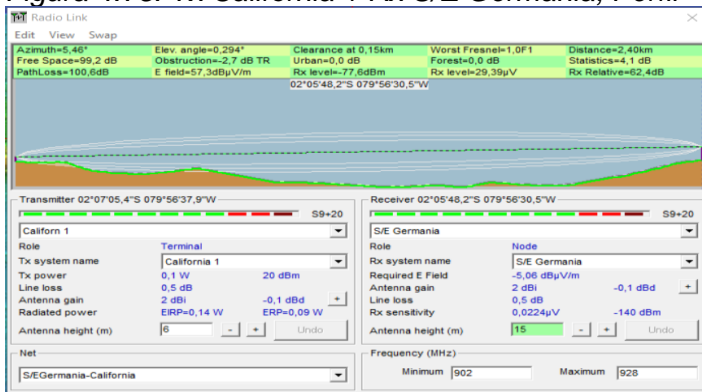
$$Lp_{dBm} = -77,21 [dBm] - 20 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -97,21 [dBm]$$

4.4.4.4 Simulación Tx California 1, Rx S/E Germania.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

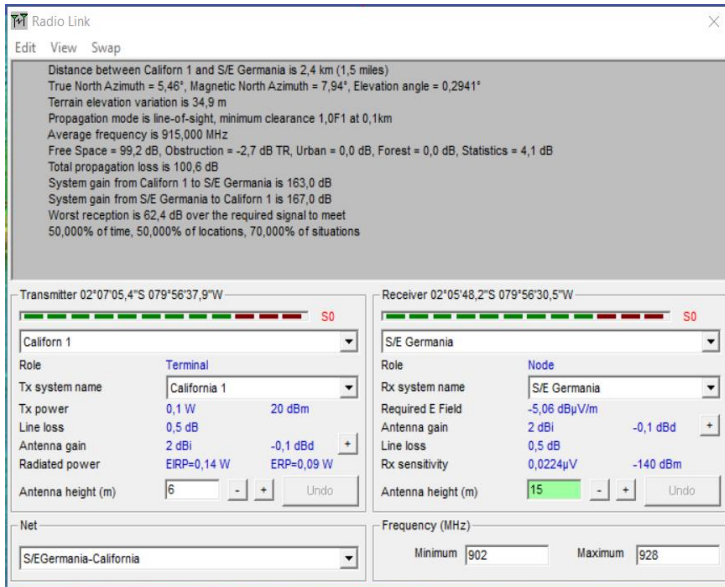
Figura 4.75: Tx California 1 Rx S/E Germania, Perfil



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.75, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de 0.294°; peor fresnel de 1,0F1 que indica primera zona fresnel despaçada y 0% de la segunda zona fresnel despeçada; Espacio libre de 99.2 dB, simular al resultado del cálculo; Obstrucción de -2.7 dB TR, Urbano de 0.0 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 100.6 dB, aproximado al resultado del cálculo.

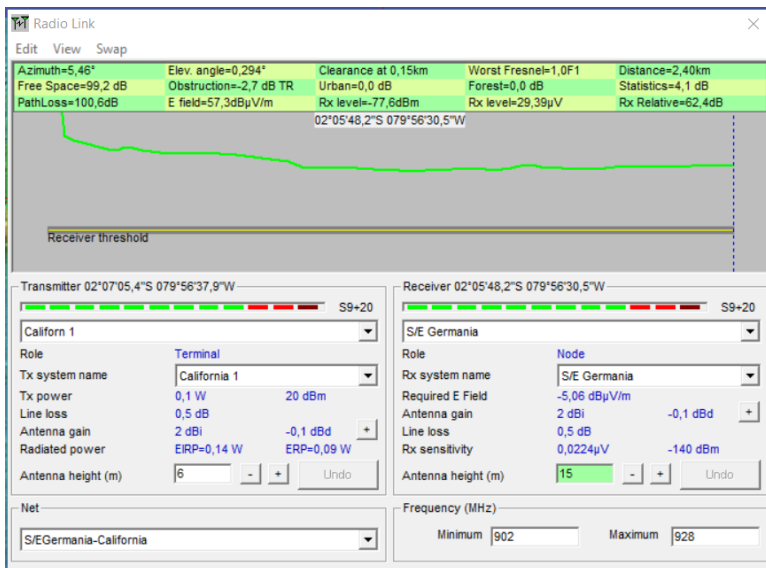
Figura 4.76: Tx California 1 Rx S/E Germania, Detalles



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.76, se muestra todos los detalles de la figura anterior con descripciones específicas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 34.9 metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 1.0F1 que es 0.1 Km y la peor recepción es 62.4 dB.

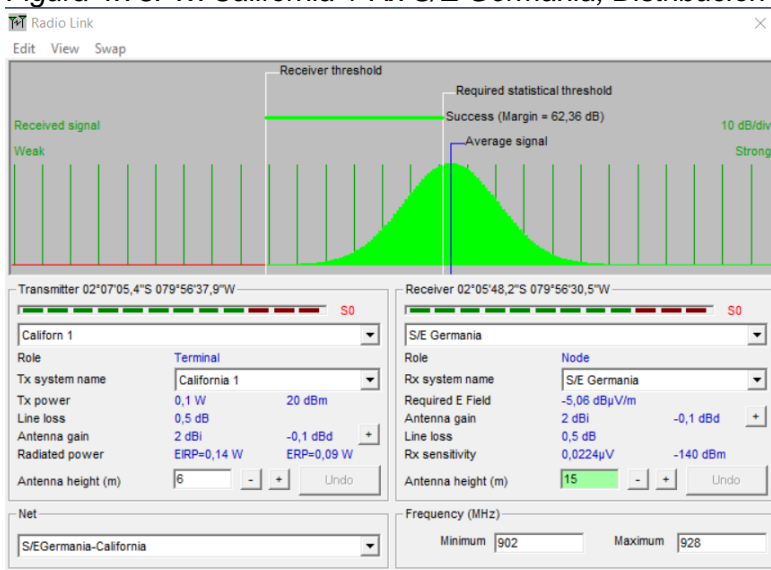
Figura 4.77: Tx California 1 Rx S/E Germania, Rango



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.77, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver poca pérdida y estabilidad dentro de los parámetros normales.

Figura 4.78: Tx California 1 Rx S/E Germania, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.78, se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 62.36 dB que es aproximado al cálculo de efectividad del enlace. En conclusión la efectividad de este enlace inverso también es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.5 Enlace Garzota – Agustín Freire.

$$d = 0,72 \text{ [Km]}$$

Cálculo de Perdidas en el espacio libre.

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log f_{GHz} + 20 \log d_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log(0.915)_{GHz} + 20 \log(0,72)_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 88,82 \text{ [dB]}$$

4.4.4.5.1 Tx Garzota, Rx Agustín Freire.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 27 \text{ [dBm]} - 1 \text{ [dB]} + 2 \text{ [dBi]} - 88,82 \text{ [dB]} + 2 \text{ [dBi]} - 1 \text{ [dB]}$$

$$PRx_{dBm} = -59,82 \text{ [dBm]}$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -59,82 \text{ [dBm]} - (-137 \text{ [dBm]})$$

$$M_{dBm} = 77,18 \text{ [dBm]}$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

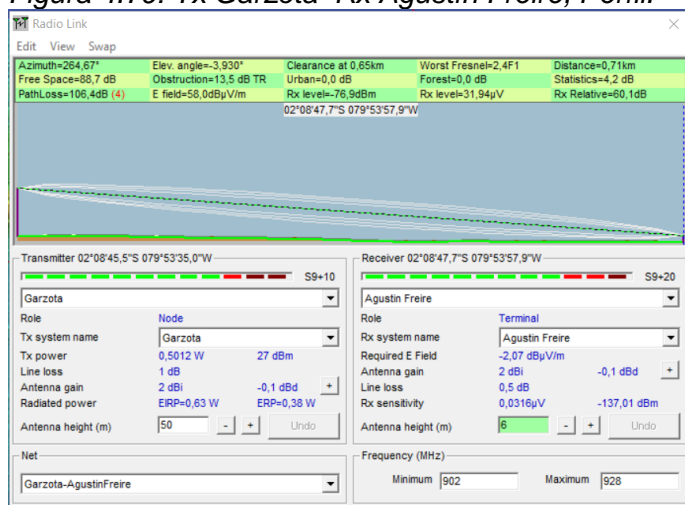
$$Lp_{dBm} = -59,82 \text{ [dBm]} - 27 \text{ [dBm]}$$

$$Lp_{dBm} = -86,82 \text{ [dBm]}$$

4.4.4.5.2 Simulación Tx Garzota, Rx Agustín Freire.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

Figura 4.79: Tx Garzota Rx Agustín Freire, Perfil.

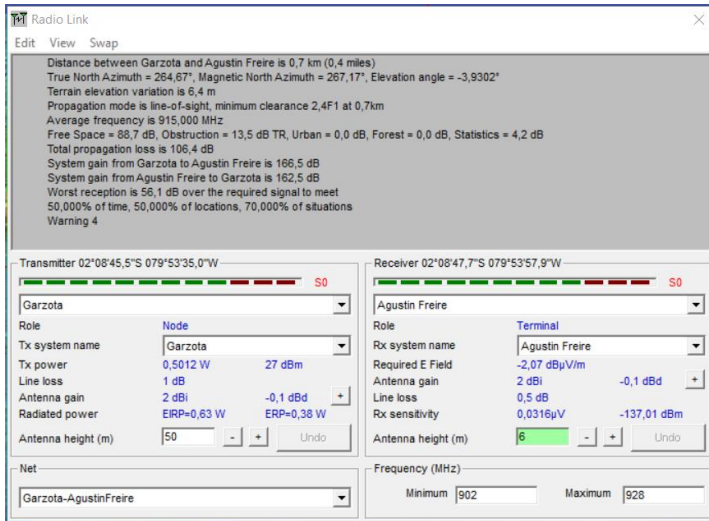


Fuente: Software Radio Mobile.

En la

Figura 4.79, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de -3.930° ; peor fresnel de 2,4F1 que indica segunda zona fresnel despejada y 40% de la tercera zona fresnel despejada; Espacio libre de 88.7 dB, similar al resultado del cálculo; Obstrucción de 13.5 dB TR, Urbano de 0.0 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 106.4 dB.

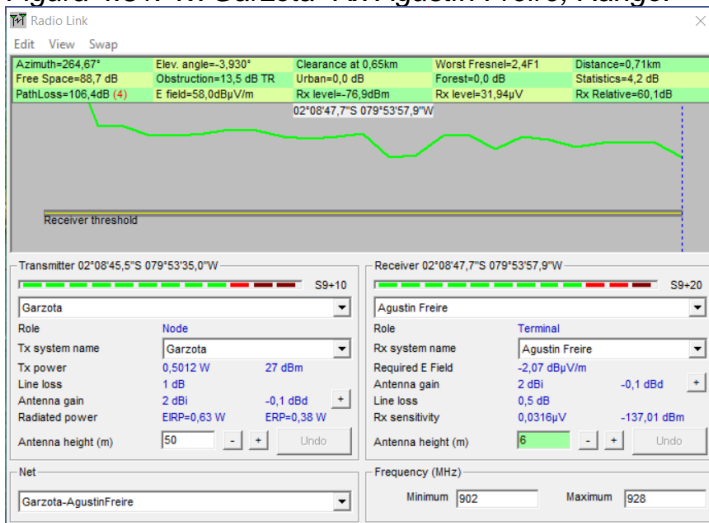
Figura 4.80: Tx Garzota Rx Agustín Freire, Detalles



Fuente: Software Radio Mobile.

La Figura 4.80 muestra todos los detalles de la figura anterior con descripciones específicas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 6.4 metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 2.4F1 que es 0.7 Km y la peor recepción es 56.1 dB.

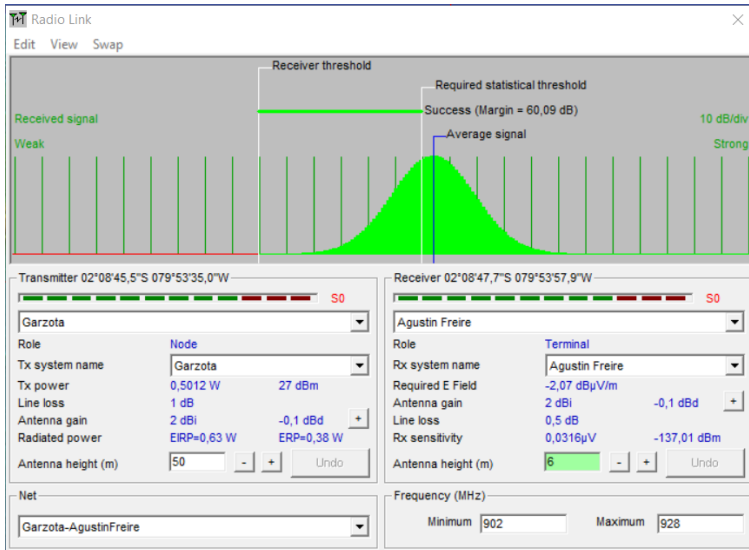
Figura 4.81: Tx Garzota Rx Agustín Freire, Rango.



Fuente: Software Radio Mobile.

En la Figura 4.81, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver poca pérdida.

Figura 4.82: Tx Garzota Rx Agustín Freire, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.82, se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 60.09 dB. En conclusión la efectividad de este enlace es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.5.3 Tx Agustín Freire, Rx Garzota.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 20 [dBm] - 1 [dB] + 2 [dBi] - 88,82 [dB] + 2 [dBi] - 1 [dB]$$

$$PRx_{dBm} = -66,82 [dBm]$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -66,82 [dBm] - (-140 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 73,18 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

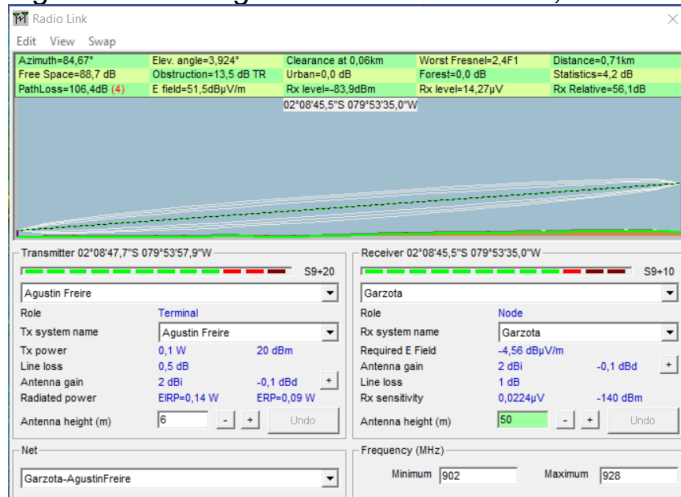
$$Lp_{dBm} = -66,82 [dBm] - 20 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -86,82 [dBm]$$

4.4.4.5.4 Simulación Tx Agustín Freire, Rx Garzota.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

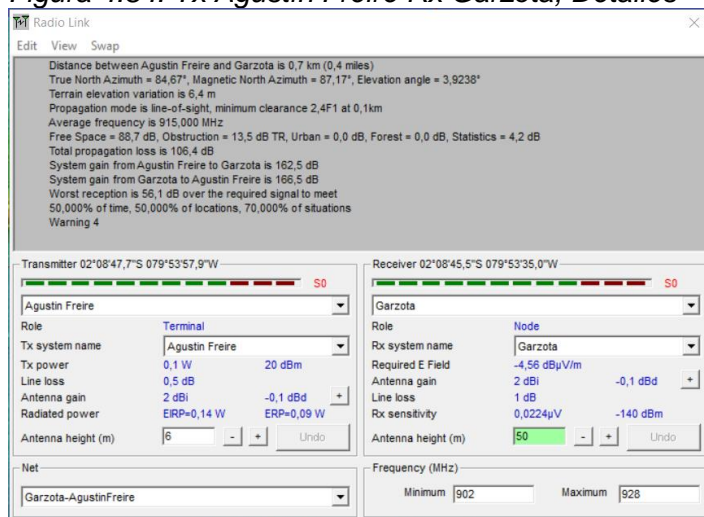
Figura 4.83: Tx Agustín Freire Rx Garzota, Perfil



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.83, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de 3.924°; peor fresnel de 2,4F1 que indica segunda zona fresnel despajada y 40% de la tercera zona fresnel despejada; Espacio libre de 88.7 dB, simular al resultado del cálculo; Obstrucción de 13.5 dB TR, Urbano de 0.0 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 106.4 dB, aproximado al resultado del cálculo.

Figura 4.84: Tx Agustín Freire Rx Garzota, Detalles

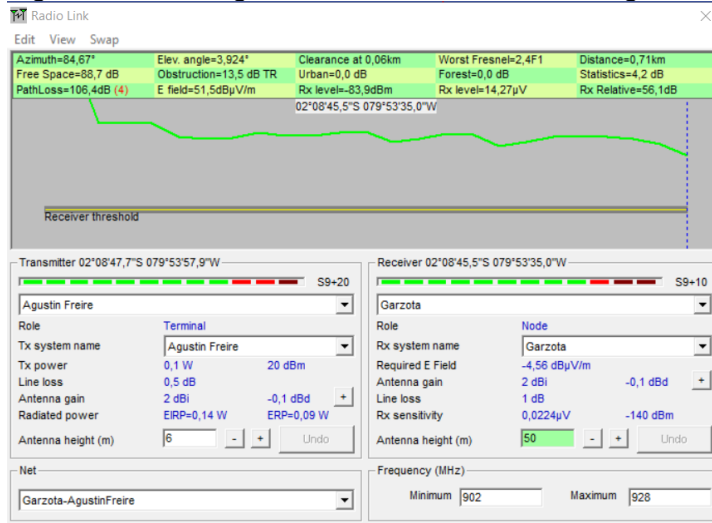


Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.84, se muestra todos los detalles de la figura anterior con descripciones específicas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 6.4

metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 2.4F1 que es 0.1 Km y la peor recepción es 56.1 dB.

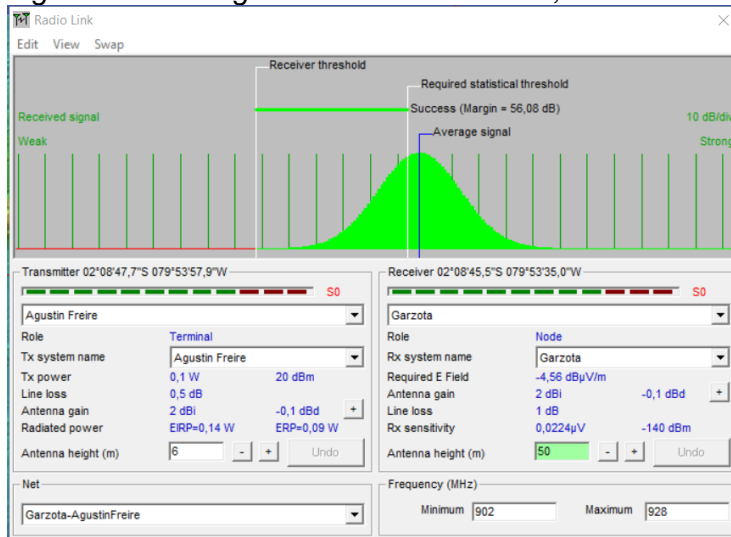
Figura 4.85: Tx Agustín Freire Rx Garzota, Rango



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.85, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver poca pérdida.

Figura 4.86: Tx Agustín Freire Rx Garzota, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.86 se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 56.08 dB. En conclusión la efectividad de este enlace inverso también es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.6 Enlace Planta Sur – Tulcán.

$$d = 2,13 [Km]$$

Cálculo de Perdidas en el espacio libre.

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log f_{GHz} + 20 \log d_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log(0.915)_{GHz} + 20 \log(2,13)_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 98,25 [dB]$$

4.4.4.6.1 Tx Planta Sur, Rx Tulcán.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 27 [dBm] - 1 [dB] + 2 [dBi] - 98,25 [dB] + 2 [dBi] - 1 [dB]$$

$$PRx_{dBm} = -69,25 [dBm]$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -69,25 [dBm] - (-137 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 67,15 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

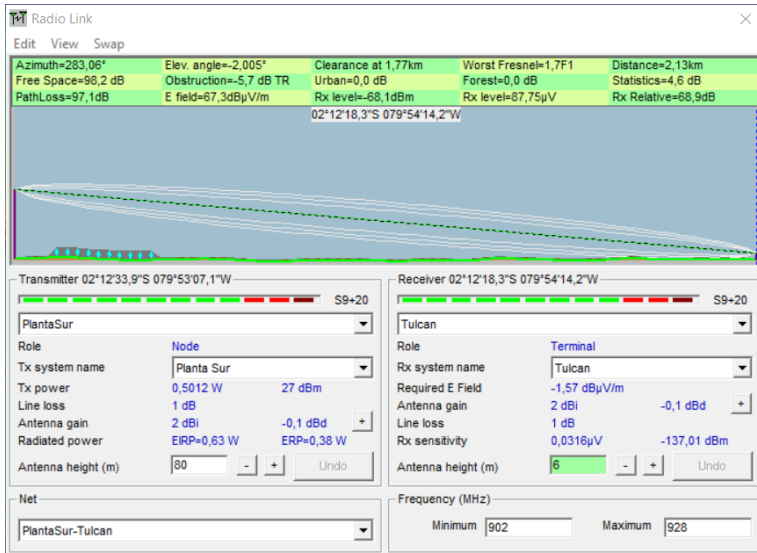
$$Lp_{dBm} = -69,25 [dBm] - 27 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -96,25 [dBm]$$

4.4.4.6.2 Simulación Tx Planta Sur, Rx Tulcán.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

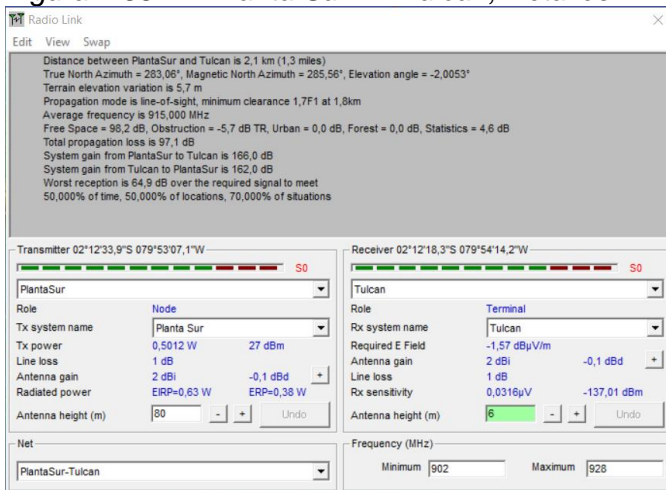
Figura 4.87: Tx Planta Sur Rx Tulcán, Perfil



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.87, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de -2.005° ; peor fresnel de 1,7F1 que indica primera zona fresnel despojada y 70% de la segunda zona fresnel despejada; Espacio libre de 98.2 dB, simular al resultado del cálculo; Obstrucción de -5.7 dB TR, Urbano de 0.0 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 97.1 dB, aproximado al resultado del cálculo.

Figura 4.88: Tx Planta Sur Rx Tulcán, Detalles



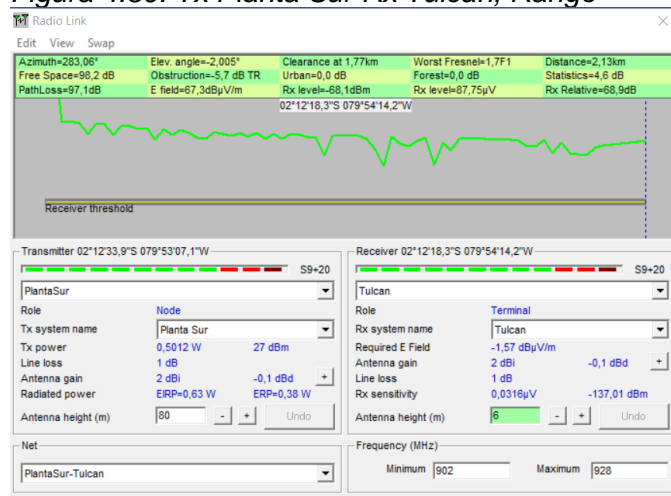
Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.88, se muestra todos los detalles de la grafica anterior con descripciones específicas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 5.7

metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 1.7F1 que es 1.8 Km y la peor recepción es 64.9 dB.

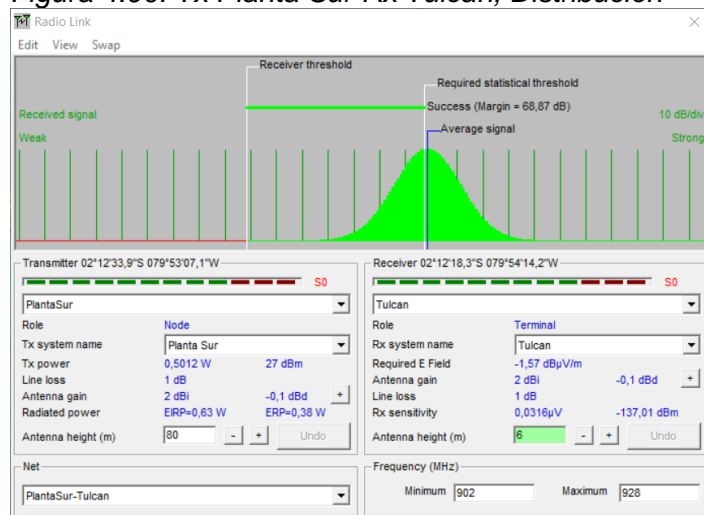
Figura 4.89: Tx Planta Sur Rx Tulcán, Rango



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.89, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver pérdida poco considerables.

Figura 4.90: Tx Planta Sur Rx Tulcán, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.90, se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 68.86 dB. En conclusión la efectividad de este enlace es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.6.3 Tx Tulcán, Rx Planta Sur.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 20 [dBm] - 1 [dB] + 2 [dBi] - 98,25 [dB] + 2 [dBi] - 1 [dB]$$

$$PRx_{dBm} = -76,25 [dBm]$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -76,25 [dBm] - (-140 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 63,75 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

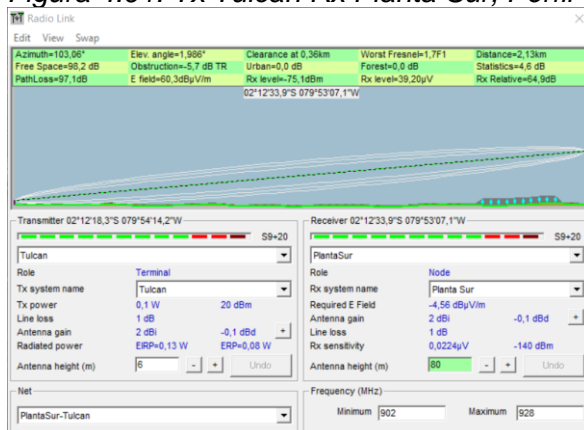
$$Lp_{dBm} = -76,25 [dBm] - 20 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -96,25 [dBm]$$

4.4.4.6.4 Simulación Tx Tulcán, Rx Planta Sur.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

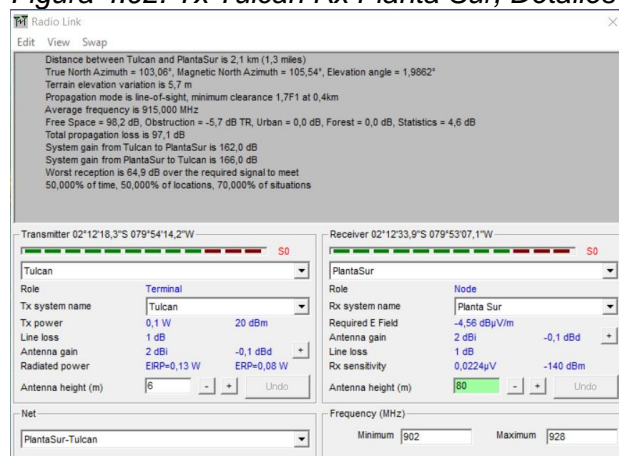
Figura 4.91: Tx Tulcán Rx Planta Sur, Perfil



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.91, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de 1.986°; peor fresnel de 1,7F1 que indica primera zona fresnel despojada y 70% de la segunda zona fresnel despejada; Espacio libre de 98.2 dB, simular al resultado del cálculo; Obstrucción de -5.7 dB TR, Urbano de 0.0 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 97.1 dB.

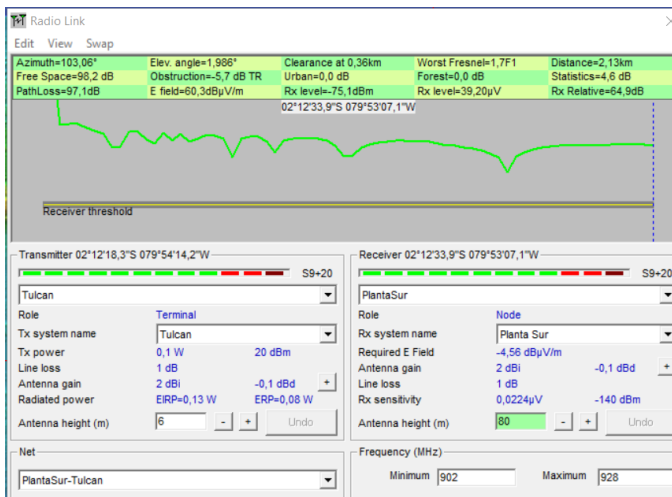
Figura 4.92: Tx Tulcán Rx Planta Sur, Detalles



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.92, se muestra todos los detalles de la grafica anterior con descripciones especificas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 5.7 metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 1.7F1 que es 0.4 Km y la peor recepción es 64.9 dB

Figura 4.93: Tx Tulcán Rx Planta Sur, Rango.

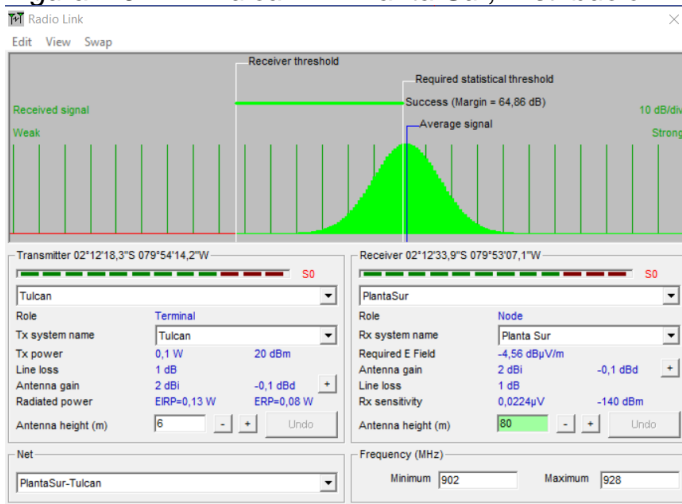


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.93, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver poca pérdida.

Figura 4.94: Tx Tulcán Rx Planta Sur, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.94 se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 64.86 dB que es aproximado al cálculo de efectividad del enlace. En conclusión la efectividad de este enlace inverso también es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.7 Enlace S/E Guasmo Sur – Unión de Bananeros.

$$d = 1,3 \text{ [Km]}$$

Cálculo de Perdidas en el espacio libre.

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log f_{GHz} + 20 \log d_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log(0,915)_{GHz} + 20 \log(1,3)_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 93,96 \text{ [dB]}$$

4.4.4.7.1 Tx S/E Guasmo Sur, Rx Unión de Bananeros.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 27 \text{ [dBm]} - 1 \text{ [dB]} + 2 \text{ [dBi]} - 93,96 \text{ [dB]} + 2 \text{ [dBi]} - 1 \text{ [dB]}$$

$$PRx_{dBm} = -64,96 \text{ [dBm]}$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -64,96 \text{ [dBm]} - (-137 \text{ [dBm]})$$

$$M_{dBm} = 72,04 \text{ [dBm]}$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

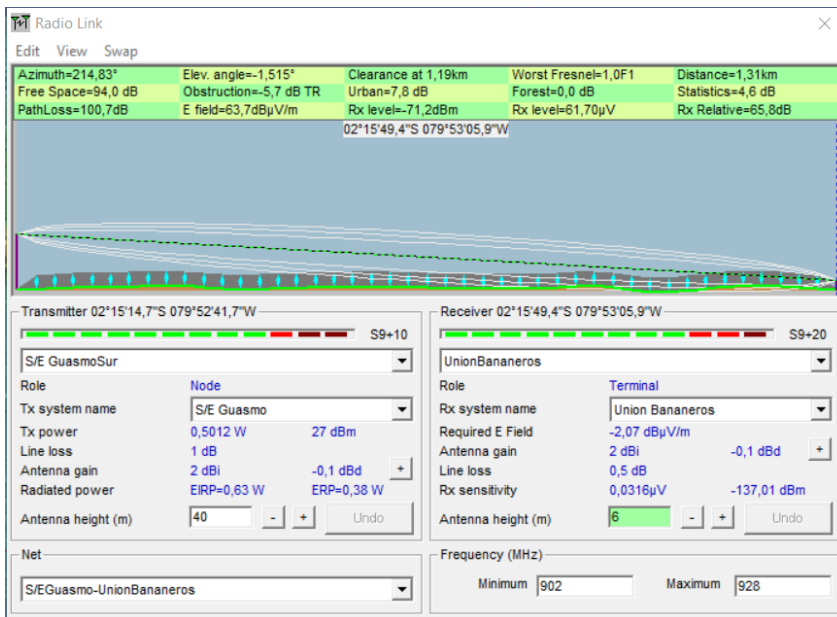
$$Lp_{dBm} = -64,96 \text{ [dBm]} - 27 \text{ [dBm]}$$

$$Lp_{dBm} = -91,96 \text{ [dBm]}$$

4.4.4.7.2 Simulación Tx S/E Guasmo Sur, Rx Unión de Bananeros.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

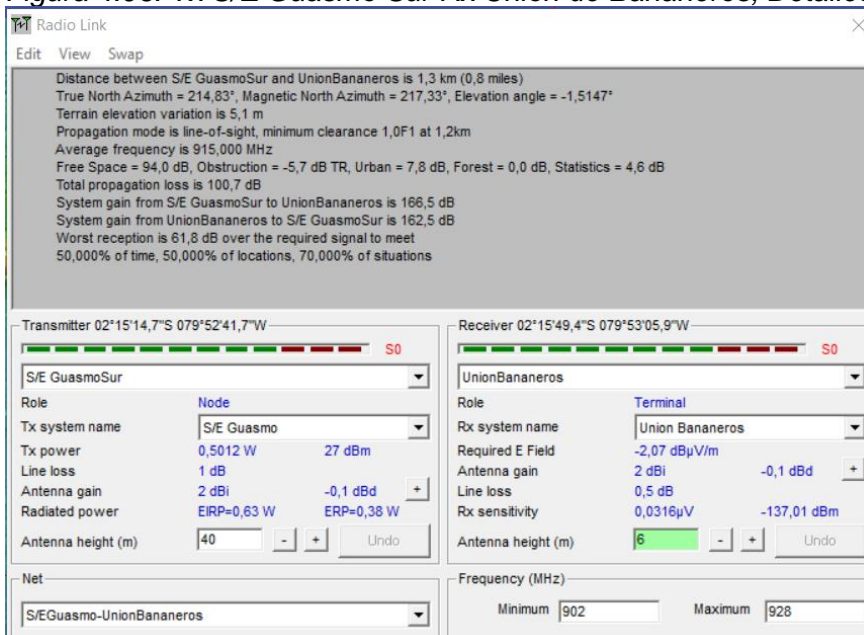
Figura 4.95: Tx S/E Guasmo Sur Rx Unión de Bananeros, Perfil



Fuente: Software Radio Mobile

En la, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de 1.515; peor fresnel de 1,0F1 que indica primera zona fresnel despojada y 0% de la segunda zona fresnel despejada; Espacio libre de 94.0 dB que es aproximado al resultado del cálculo; Obstrucción de -5.7 dB TR, Urbano de 7.8 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 100.7 dB.

Figura 4.96: Tx S/E Guasmo Sur Rx Unión de Bananeros, Detalles

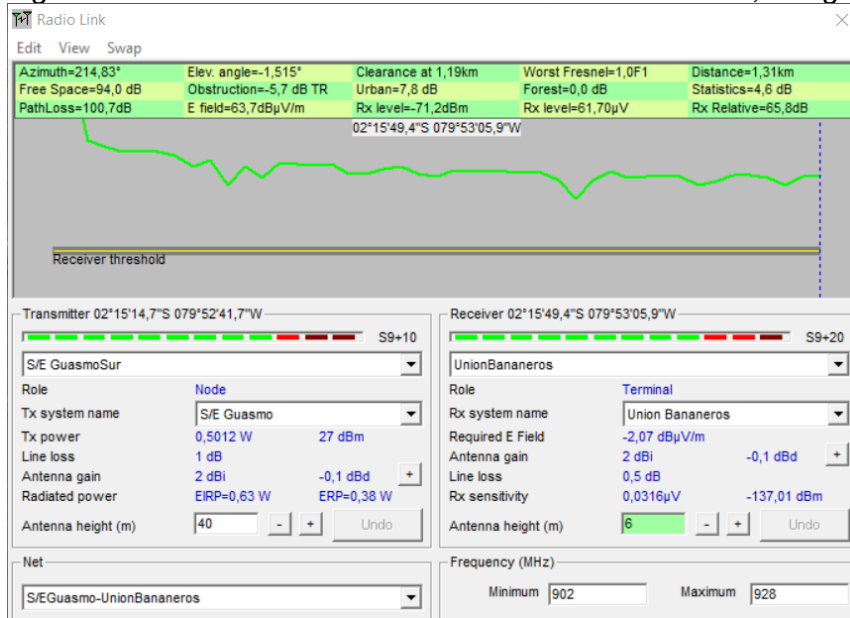


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.96, se muestra todos los detalles de la grafica anterior con descripciones específicas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 5.1 metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 1.0F1 que es 1.2 Km y la peor recepción es 61.8 dB.

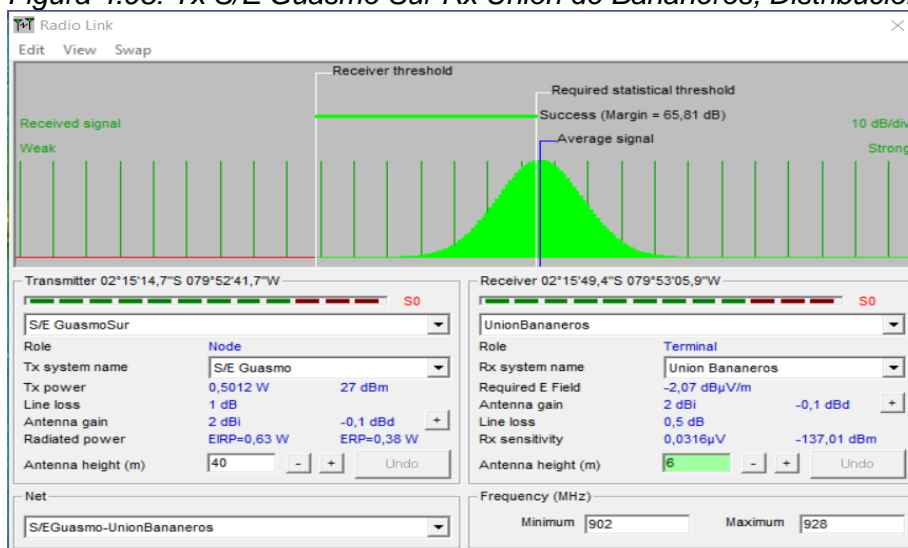
Figura 4.97: Tx S/E Guasmo Sur Rx Unión de Bananeros, Rango



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.97, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver poca pérdida de la señal.

Figura 4.98: Tx S/E Guasmo Sur Rx Unión de Bananeros, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.98, se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 65.81. En conclusión la efectividad de este enlace es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.7.3 Tx Unión de Bananeros, Rx S/E Guasmo Sur.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 20 [dBm] - 1 [dB] + 2 [dBi] - 93,96 [dB] + 2 [dBi] - 1 [dB]$$

$$PRx_{dBm} = -71,96 [dBm]$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -71,96 [dBm] - (-140 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 68,04 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

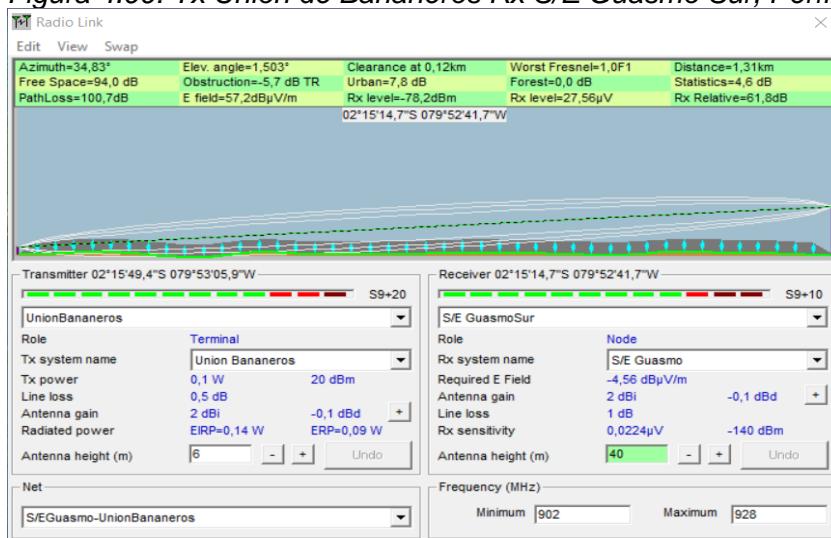
$$Lp_{dBm} = -71,96 [dBm] - 20 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -91,96 [dBm]$$

4.4.4.7.4 Simulación Tx Unión de Bananeros, Rx S/E Guasmo Sur.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

Figura 4.99: Tx Unión de Bananeros Rx S/E Guasmo Sur, Perfil

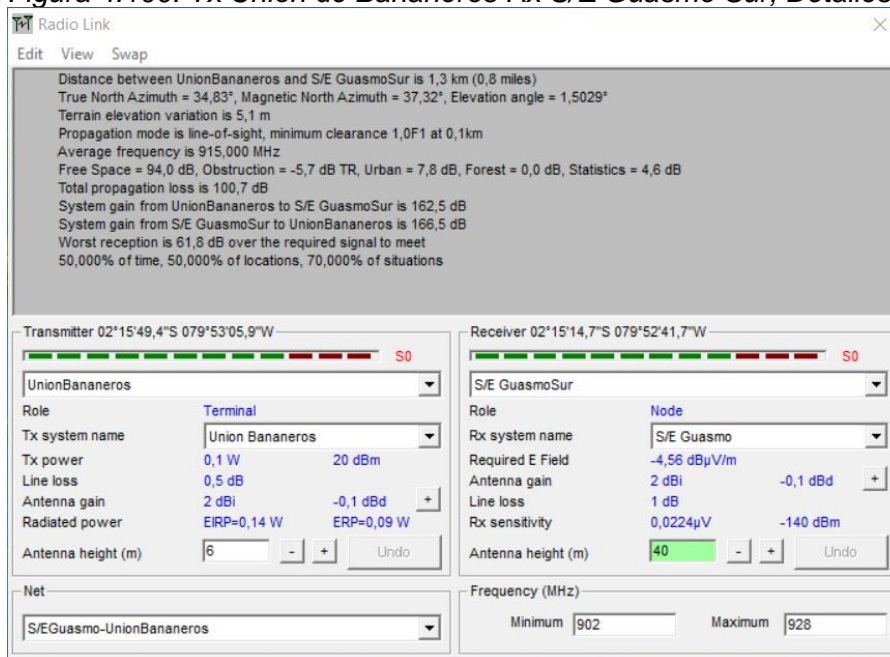


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.99, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de 1.503°; peor fresnel de 1,0F1 que indica primera zona fresnel despojada y 0% de la segunda zona fresnel despejada; Espacio libre de 94.0 dB, simular al resultado del cálculo; Obstrucción de -5.7 dB TR, Urbano de 7.8 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 100.7 dB.

Figura 4.100: Tx Unión de Bananeros Rx S/E Guasmo Sur, Detalles

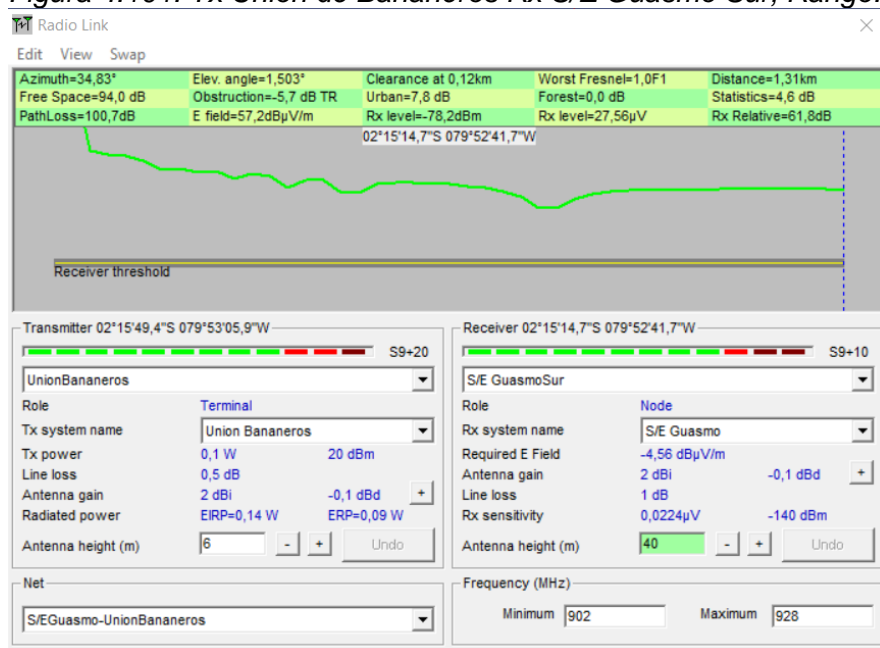


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.100, se muestra todos los detalles de la grafica anterior con descripciones especificas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 5.1 metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 1.0F1 que es 0.1 Km y la peor recepción es 61.8 dB.

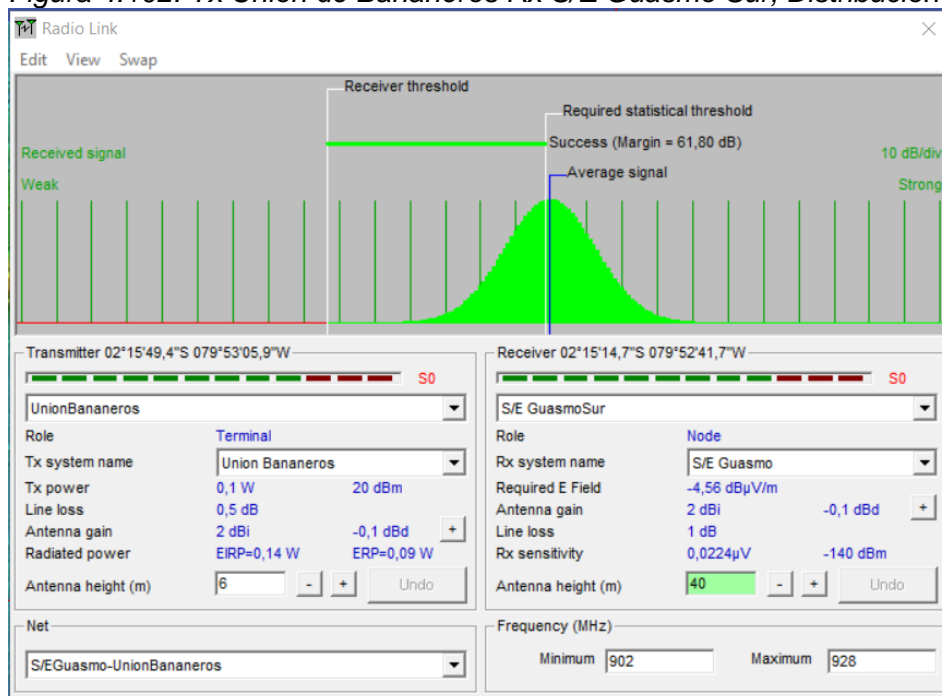
Figura 4.101: Tx Unión de Bananeros Rx S/E Guasmo Sur, Rango.



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.101, se muestra el desempeño de la señal a lo largo de su ruta de propagación, donde se puede ver poco pérdida de la señal.

Figura 4.102: Tx Unión de Bananeros Rx S/E Guasmo Sur, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.102 se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 61.80 dB. En conclusión la efectividad de este enlace inverso también es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.8 Enlace S/E Chongon – Los Ángeles 2.

$$d = 0,63 [Km]$$

Cálculo de Perdidas en el espacio libre.

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log f_{GHz} + 20 \log d_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 92,45 + 20 \log(0,915)_{GHz} + 20 \log(0,63)_{Km}$$

$$FSL_{dB} = 87,67 [dB]$$

4.4.4.8.1 Tx S/E Chongon, Rx Los Ángeles 2.

Calculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 27 [dBm] - 1 [dB] + 2 [dBi] - 87,67 [dB] + 2 [dBi] - 1 [dB]$$

$$PRx_{dBm} = -58,67 [dBm]$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -58,67 [dBm] - (-137 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 78,33 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

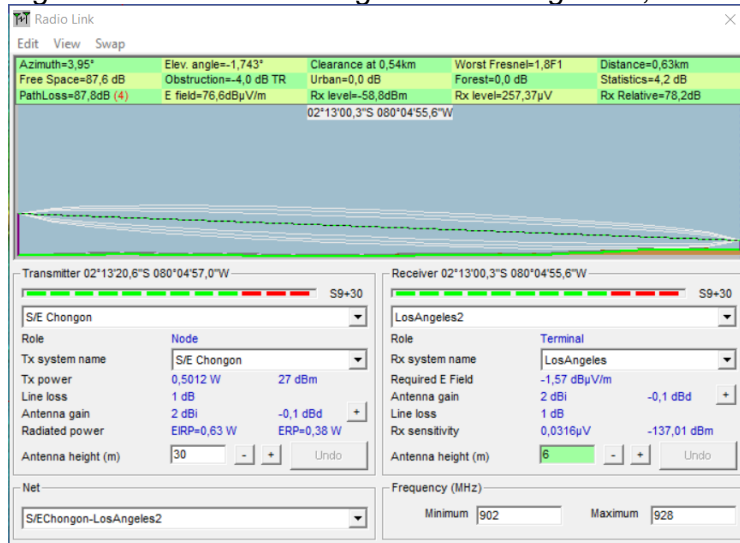
$$Lp_{dBm} = -58,67 [dBm] - 27 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -85,67 [dBm]$$

4.4.4.8.2 Simulación Tx S/E Chongon, Rx Los Ángeles 2.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

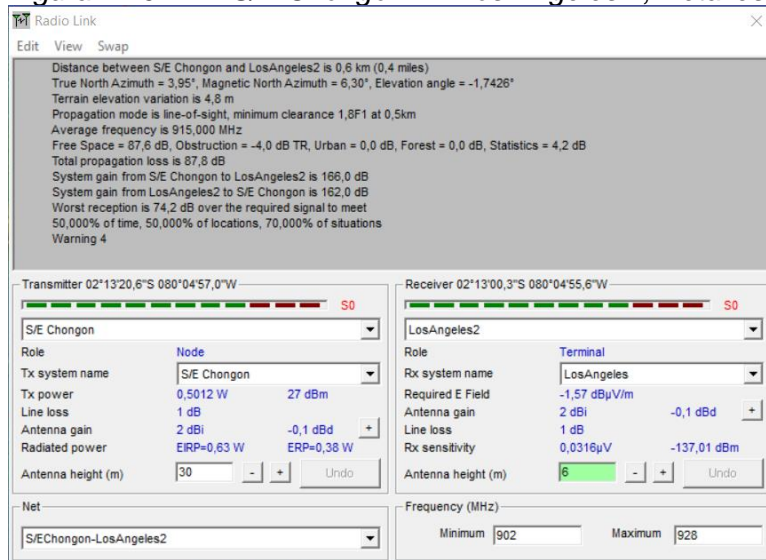
Figura 4.103: Tx S/E Chongon Rx Los Angeles 2, Perfil



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.103, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de -1.743° ; peor fresnel de 1,8F1 que indica primera zona fresnel despejada y 80% de la segunda zona fresnel despejada; Espacio libre de 87.6 dB que es similar al resultado del cálculo; Obstrucción de -4.0 dB TR, Urbano de 0.0 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 84.8 dB que es aproximado al resultado del cálculo.

Figura 4.104: Tx S/E Chongon Rx Los Angeles 2, Detalles.

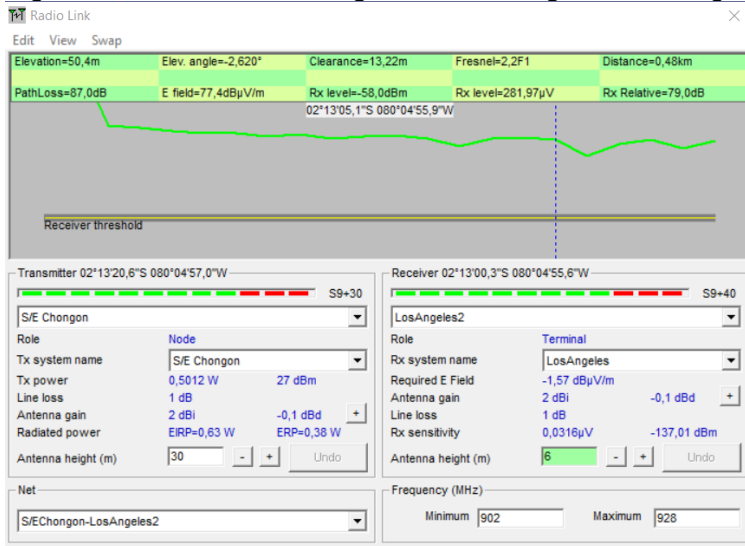


Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.104, se muestra todos los detalles de la grafica anterior con descripciones especificas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 4.8

metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 1.8F1 que es 0.5 Km y la peor recepción es 74.2 dB.

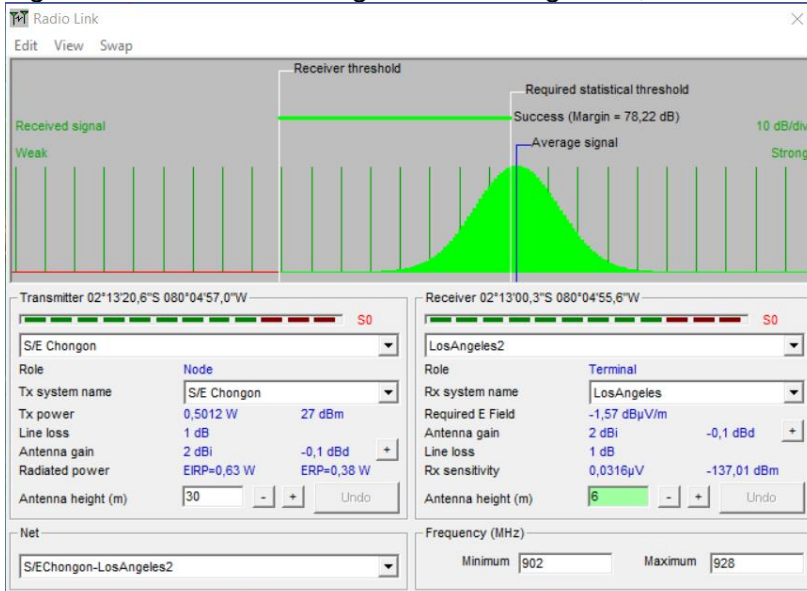
Figura 4.105: Tx S/E Chongon Rx Los Ángeles 2, Rango



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.49, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver poca pérdida de las señal.

Figura 4.106: Tx S/E Chongon Rx Los Ángeles 2, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.106, se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 78.22 dB que es aproximado al cálculo de efectividad del enlace. En conclusión la efectividad de este enlace es positiva y puede ser implementado.

4.4.4.8.3 Tx Los Ángeles 2, Rx S/E Chongon.

Cálculo de balance de potencias de enlace o potencia recibida

$$PRx_{dBm} = PTx_{dBm} - LTx_{dB} + GTx_{dBi} - FSL_{dB} + GRx_{dBi} - LRx_{dB}$$

$$PRx_{dBm} = 20 [dBm] - 1 [dB] + 2 [dBi] - 87,67 [dB] + 2 [dBi] - 1 [dB]$$

$$PRx_{dBm} = -84,67 [dBm]$$

Cálculo del Margen de desvanecimiento.

$$M_{dBm} = PRx_{dBm} - SRx_{dBm}$$

$$M_{dBm} = -84,67 [dBm] - (-140 [dBm])$$

$$M_{dBm} = 55,33 [dBm]$$

Cálculo de Perdida de potencia

$$Lp_{dBm} = PRx_{dBm} - PTx_{dBm}$$

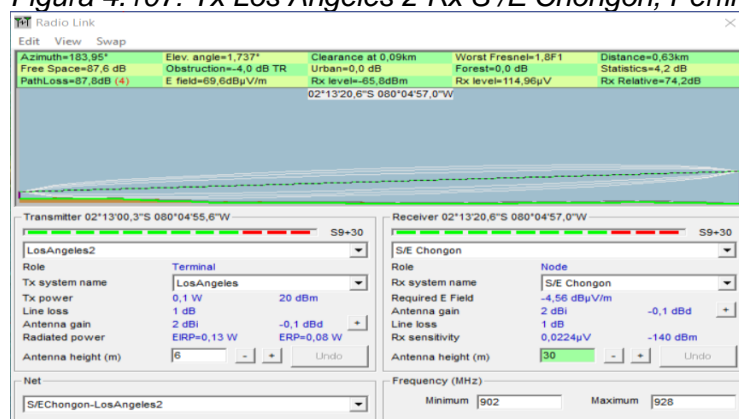
$$Lp_{dBm} = -84,67 [dBm] - 20 [dBm]$$

$$Lp_{dBm} = -104,67 [dBm]$$

4.4.4.8.4 Simulación Tx Los Ángeles 2, Rx S/E Chongon.

La simulación en Radio Mobile, ayudó a determinar la efectividad de este enlace:

Figura 4.107: Tx Los Ángeles 2 Rx S /E Chongon, Perfil

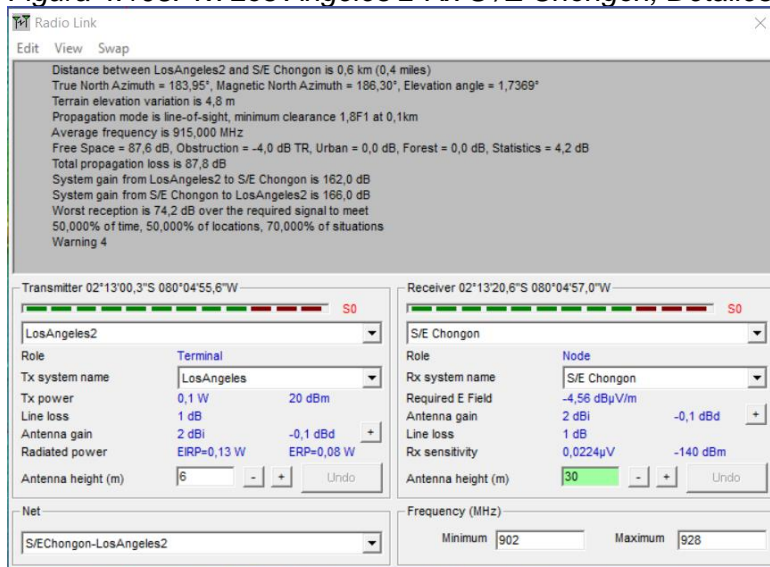


Fuente: Software Radio Mobile

En la

Figura 4.107, se muestra el perfil de propagación de la onda con línea directa con características como: Angulo de elevación de 1.737°; peor fresnel de 1,8F1 que indica primera zona fresnel despojada y 80% de la segunda zona fresnel despejada; Espacio libre de 87.6 dB, simular al resultado del cálculo; Obstrucción de -4.0 dB TR, Urbano de 0.0 dB, Bosque de 0.0 dB y Perdida de ruta de 87.8 dB.

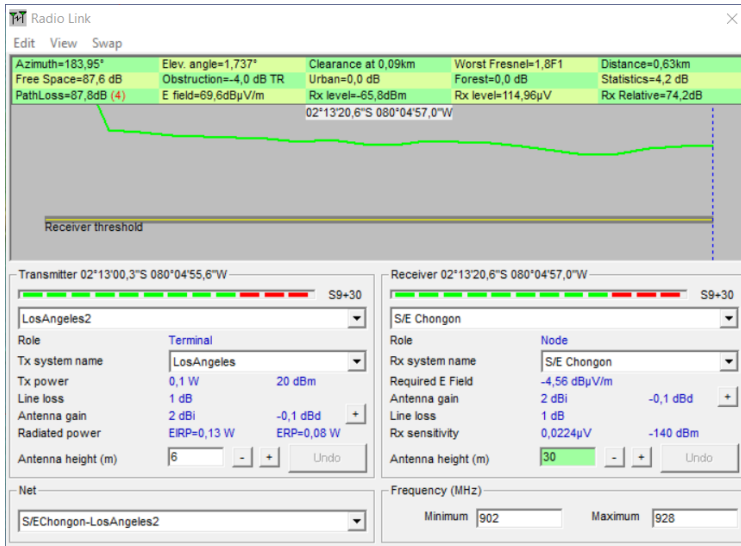
Figura 4.108: Tx Los Ángeles 2 Rx S /E Chongon, Detalles



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.108, se muestra todos los detalles de la grafica anterior con descripciones especificas de los resultados con adicionales como variación de elevación a tierra de 4.8 metros, la distancia donde esta el peor Fresnel 1.8F1 que es 0.1 Km y la peor recepcion es 72.2 dB.

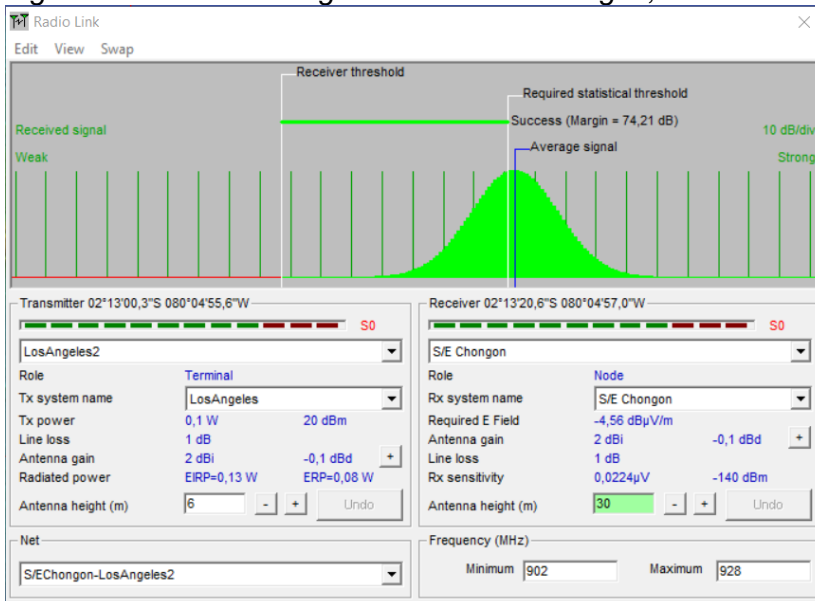
Figura 4.109: Tx Los Ángeles 2 Rx S /E Chongon, Rango



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.109, se muestra el desempeño de la señal a los largo de su ruta de propagación, donde se puede ver poca pérdida de señal.

Figura 4.110: Tx Los Ángeles 2 Rx S /E Chongon, Distribución



Fuente: Software Radio Mobile

En la Figura 4.110 se muestra la función gaussiana del desempeño de propagación de la señal dando el margen de éxito de la señal en 74.21 dB. En conclusión la efectividad de este enlace inverso también es positiva y puede ser implementado.

Como conclusión final de la efectividad de los enlaces tomados para el análisis de este proyecto es positiva sin mayor inconveniente, por características técnicas como sensibilidad de las antenas y la frecuencia en la que funcionan.

4.5 Análisis del Presupuesto.

En la siguiente Tabla 4.7, se detalló el costo de hardware con base a lo indicado en la página web de store mcci.

Tabla 4.7: Costo Hardware

Equipo	Precio	Unidad	Total parcial	salida divisas	gastos envío	total
Outdoor Gateway LoRaWAN	\$850,00	4	\$3.400,00	\$170,00	\$510,00	\$4.080,00
Indoor/outdoor LoRaWAN Gateway	\$460,00	3	\$1.380,00	\$69,00	\$207,00	\$1.656,00
Ultra-Low Power Solar LoRaWAN Gateway	\$890,00	1	\$890,00	\$44,50	\$133,50	\$1.068,00
LoRaWAN Solenoid Valve Controller	\$172,00	81	\$13.932,00	\$696,60	\$2.089,80	\$16.718,40
Uninterruptible Power Supply	\$136,00	7	\$952,00	\$47,60	\$142,80	\$1.142,40
TOTAL						\$24.664,80

Fuente: (store mcci, 2024)

Elaborado por: El Autor

Del mismo modo en la Tabla 4.8 se realizó un estimado del total del costo de mano de obra del proyecto. Teniendo en consideración que el presente año 2024 en Ecuador sueldo básico es \$460 al mes y el salario mínimo por hora es \$3.88 incluyendo todos los beneficios, se estimó que el sueldo mensual de un técnico es el sueldo básico, el del especialista es de \$900 y el del Líder es de \$1200, haciendo un regla de 3 se estimó el salario por hora de cada uno; se proyectan 176 horas de trabajo y la cantidad del personal.

Tabla 4.8: Costo Mano de Obra

PERSONAL	CANTIDAD	HORAS	PAGA HORA	TOTAL
Técnico	4	176	\$3,88	\$2.731,52
Especialista	2	176	\$7,59	\$2.671,68

Líder proyecto	1	176	\$10,12	\$1.781,12
TOTAL				\$7.184,32

Fuente: INEC sueldo básico 2024

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 4.9, se estimó el valor total de otros costos, de la siguiente forma:

Tabla 4.9: Otros Costos

OTROS	COSTO
Licencias	\$8.000,00
Movilización	\$600,00
Varios	\$200,00
TOTAL	\$8.800,00

Fuente: (lora-alliance, 2024)

Elaborado por: El Autor

Con los costos anteriores, en la Tabla 4.10 se estableció el costo total de implementación:

Tabla 4.10: Costo Implementación

IMPLEMENTACION	COSTO
Hardware	\$24.664,80
Mano de Obra	\$7.184,32
OTROS	\$8.800,00
TOTAL	\$40.649,12

Fuente: (store mcci, 2024) (lora-alliance, 2024) (milesight, 2024)

Elaborado por: El Autor

4.5.1 Análisis costo beneficio.

Se realizó una comparación del costo anual del servicio ISP (Tabla 4.11), con la implementación del proyecto (Tabla 4.10); la diferencia es notoriamente favorable en cuanto ahorro de costos en este proyecto con respecto al servicio del proveedor ISP, teniendo además como plus una red inalámbrica propia y escalable para otros dispositivos de automatización de distribución eléctrica

Tabla 4.11: Costos servicio ISP

Servicios ISP	costo unidad	cantidad	mensual	anual
Instalación	\$600,00	81	\$48.600,00	\$48.600,00
servicio Datos	\$80,00	81	\$6.480,00	\$77.760,00
TOTAL				\$126.360,00

Fuente: Factibilidades y Facturación de servicios CNT a CNEL

Elaborado por: El Autor

Finalmente, se puede indicar que el presente trabajo de tesis, bajo los análisis técnicos y económicos, es viable y factible para la interconexión de los reconectores de la red media tensión de la Ciudad de Guayaquil.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

- Se estableció las bases del problema actual en la gestión del sistema eléctrico de Guayaquil, caracterizado por costos elevados, limitaciones en la conectividad y una infraestructura de automatización insuficiente. Plantea la necesidad de desarrollar una solución innovadora basada en redes inalámbricas inteligentes y tecnologías IoT para optimizar el control y la medición de energía. Asimismo, justifica la relevancia de implementar una red propia para la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL), asegurando eficiencia, reducción de costos y escalabilidad. El enfoque metodológico propuesto combina análisis exploratorio, descriptivo y experimental, asegurando una solución técnica viable y sostenible.
- Se detallaron los componentes clave y las tecnologías implicadas en la distribución y automatización de redes eléctricas, subrayando la importancia de los sistemas SCADA y las redes LPWAN como pilares tecnológicos. Se enfatiza cómo la modernización y la automatización pueden mejorar la eficiencia, confiabilidad y respuesta del sistema eléctrico ante fallos. Asimismo, se presenta un análisis exhaustivo de los sistemas de control, medición y comunicación, destacando que la integración de tecnologías inalámbricas amplias como LoRaWAN, Sigfox, NB IoT y LTE-M permite cubrir grandes áreas geográficas con un bajo consumo energético. Esta base teórica valida la viabilidad técnica del diseño propuesto en la tesis.
- Después de un análisis detallado de las tecnologías inalámbricas disponibles, las soluciones basadas en LPWAN, como LoRaWAN, destacan por su capacidad de ofrecer una amplia cobertura geográfica, bajo consumo energético y costos de implementación relativamente bajos. Estas características las convierten en opción ideal para la automatización y control de redes eléctricas en áreas metropolitanas. Además, se evidencia la necesidad de equilibrar velocidad de datos, latencia y confiabilidad para cumplir con los requerimientos específicos de los sistemas SCADA.

La elección tecnológica LoRaWAN asegura la viabilidad técnica y económica del proyecto, alineándose con las necesidades de la Unidad de Negocio de Guayaquil.

- El diseño detallado de la red inalámbrica metropolitana demuestra que es posible implementar una solución eficiente y escalable para el monitoreo y control de las líneas de distribución eléctrica en Guayaquil. Se establecieron los requisitos técnicos, como la cobertura geográfica, velocidad de transmisión y latencia, asegurando que el sistema cumpla con los estándares de confiabilidad y rendimiento necesarios. Los cálculos de radioenlace, el análisis de la zona de Fresnel y las simulaciones confirman la viabilidad técnica de la red propuesta. Además, la selección de hardware y componentes asegura un equilibrio óptimo entre costo y funcionalidad, consolidando el diseño como una solución práctica para modernizar la red eléctrica y facilitar la gestión remota mediante tecnologías IoT.
- El presente trabajo de tesis demuestra que el diseño de una red inalámbrica metropolitana basada en tecnologías de comunicación avanzada como LoRaWAN e integradas con sistemas SCADA e IoT es una solución técnica y económicamente viable para el monitoreo y control de las líneas de media tensión de la red eléctrica en Guayaquil. A través del análisis exhaustivo de las tecnologías existentes, la caracterización de los sistemas eléctricos actuales y el desarrollo de simulaciones y cálculos, se valida la capacidad del diseño para ofrecer amplia cobertura geográfica, bajo consumo energético, alta confiabilidad y escalabilidad. La presente propuesta responde a problemáticas, como demoras en instalaciones, reparaciones, intermitencias, altos costos y falta de conectividad en zonas claves, los cuales afectan a la calidad de servicios críticos y limita la automatización de la red de distribución eléctrica, ofreciendo una plataforma que no solo optimiza el sistema actual, sino que sienta las bases para futuros avances tecnológicos. Esto contribuye significativamente a la modernización de la red eléctrica de Guayaquil, mejorando su eficiencia, estabilidad y capacidad de respuesta ante fallos.

RECOMENDACIONES.

- Antes de realizar esta implementación, realizar un piloto de esta solución en conjunto con los especialistas de SCADA encargados de las configuraciones de los reconectores de CNEL; con el fin se establecer los parámetros adecuados a configurar en la transmisión y recepción de LoRaWAN.
- Realizar un análisis de campo de todos los puntos terminales para establecer la real cobertura, calidad de la señal, efectividad del enlace, velocidad de datos y latencia; y establecer ubicaciones estratégicas para nuevos repetidores o gateways en caso de requerirse.
- Consultar en la entidad gubernamental de Telecomunicaciones ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones) sobre una frecuencia o espectro dedicado para comunicación inalámbrica de equipos de automatización de la red eléctrica, con el fin de usar una frecuencia licenciada que garantice la comunicación en este y futuros proyectos de telecomunicaciones del sector eléctrico.
- Realizar un análisis de factibilidad de las dependencias de CNEL Guayaquil; con el fin utilizar otras Subestaciones Eléctricas como puntos de Gateways o Repetidoras y levantar infraestructuras de torres, que sirvan para la ampliación de cobertura de este y futuros proyectos; e igual forma con los postes del tendido eléctrico y luminarias de CNEL E.P.
- Implementar la red en fases, comenzando con las áreas más críticas para garantizar un despliegue eficiente y priorizado. Esto permitirá identificar y resolver problemas técnicos en zonas clave antes de expandir la solución.
- En el caso de requerirlo CNEL E.P. puede hacer uso de Infraestructura de CNT E.P. entre estas las torres de Telecomunicaciones, con base en el convenio Institucional entre las dos entidades públicas.
- Incorporar tecnologías emergentes, evaluar continuamente las innovaciones en tecnologías de comunicación inalámbrica e IoT para garantizar que la red sea

escalable y adaptable a futuras demandas de conectividad, como la integración con 5G o nuevos estándares de LPWAN.

BIBLIOGRAFÍA.

- #TécnicoZ. (9 de 10 de 2020). youtube. Obtenido de https://youtu.be/zai0z-qvH_I
- Ahson, S., & Ilyas, M. (2008). RFID handbook : applications, technology, security, and privacy. CRC Press.
- areatecnologia. (2020). areatecnologia. Obtenido de <https://www.areatecnologia.com/informatica/tecnologia-inalambrica.html>
- Bharat S. Chaudhari, M. Z. (s.f.). LPWAN Technologies for IoT and M2M Applications. Academic press an imprint of Elsevier.
- CARRASCO GALDAME, E. E. (2020). METODOLOGÍA PARA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍAS LPWAN PARA DIVERSAS APLICACIONES DE INTERNET DE LAS COSAS. UNIVERSIDAD DE CHILE, SANTIAGO DE CHILE.
- Castillo, E. (2018). Diseño de una etiqueta pasiva sin chip para aplicaciones RFID en UWB. Guayaquil: UCSG.
- Chandra Karmakar, N. (2010). Handbook of smart antennas for RFID systems. John Wiley & Sons.
- Costa, F., Genovesi, S., & Monorchio, A. (2013). A Chipless RFID Based on Multiresonant High-Impedance Surfaces. IEEE TRANSACTIONS ON MICROWAVE THEORY AND TECHNIQUES, 61(1).
- Electricasas. (2020). Electricasas. Obtenido de Acometidas eléctricas domiciliarias. Tipos y elementos de una acometida: <https://www.electricasas.com/acometidas-electricas-domiciliarias-simples-aereas/>
- Erasmus Electric. (2020). Erasmus Electric-lineas de productos. Obtenido de reconectores: <https://erasmuselectric.com.ec/CMS/index.php/es/lineas-de-productos/reconectores>
- Fundacion Endesa. (2020). fundacion endesa org. Obtenido de <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-red-de-distribucion>
- Gómez Raúl, Juca Raúl. (2017). PROCESO PARA EL MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DE FLUJOS DE CARGA DE LAS REDES DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A. Cuenca: UNIVERSIDAD DE CUENCA - FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA .

- Gómez, J., Castán, R., Montero, J., Meneses, J., & García, J. (2015). Aplicación de tecnologías de medición avanzada (AMI) como instrumento para reducción de pérdidas. Boletín IIE.
- google. (2024). earth.google.com.
- Heras, A., Ias, F., Gómez, C., Franco, M. E., & Marzábal, M. (2009).
- Herredia, K., & Cholo, A. (2023). Trabajo de graduación previo a la obtención del título de: INGENIERO ELECTRÓNICO. Diseño de una Red Híbrida para Comunicación de los Equipos de Seccionamiento. Universidad de Azuay, Cuenca.
- Internet Engineering Task Force. (mayo de 2018). datatracker.ietf. Obtenido de datatracker.ietf: <https://datatracker.ietf.org/doc/pdf/rfc8376.pdf>
- J.Garcia-Hernandez, P.-C. S.-C.-T.-M. (2015). AVANCES EN LA IMPLEMENTACIÓN DE PROYECTOS AMI Y TECNOLOGÍAS APLICABLES. Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), Comisión Federal de Electricidad (CFE), Cuernavaca, Mor., México.
- Jirasereeamornkol, J. W. (2005). Power Harvest Design for Semi-Passive UHF RFID Tag Using a Tunable Impedance Transformation. 9th International Symposium on Communications and Information Tech, 1441-1445.
- Joaquín, A. (2010). Servicios en red. Madrid: Editex.
- Joseph Seymour, Terry Horsley . (2005). Los siete tipos de problemas en el suministro eléctrico. American Power Conversion, Informe interno N° 18 .
- Landázuri Carlos . (2016). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA PILOTO PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE ALIMENTADORES DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A. Cuenca: UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA .
- Logicbus. (2018). Logicbus. Obtenido de <https://www.logicbus.com.mx/automatizacion.php>
- lora-alliance. (2024). lora-alliance. Obtenido de <https://lora-alliance.org/lora-alliance-press-release/lora-alliance-presenta-el-roadmap-de-desarrollo-de-lorawan-el-exito-de-este-estandar-marca-su-rumbo-y-evolucion-futuros/>
- Luis, C. (2007). Interfaces de comunicación Industrial. Dpto. Automatización y Control Industrial.

- Magallan, C. (2019). Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial. Análisis para el control y monitoreo SCADA de las variables eléctricas en los reconectores automáticos de la alimentadora Libertad 13.8 KV de la subestación la Libertad 69/13.8 KV en redes de distribución. Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- Manuel, O. (2014). RED DE COMUNICACIONES Y LA RELACIÓN EN LA GESTIÓN OPERATIVA DE RECONECTADORES A TRAVÉS DE UN SISTEMA SCADA. UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL .
- mdpi. (21 de Septiembre de 2022). Obtenido de <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/19/6907>
- Mendez, M. (2007). Trabajo Fin de Master Electricidad. Planificación del Sistema de Distribución de Energía Eléctrica Técnicas de Optimización. Universidad de Sevilla, Sevilla. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70003/fichero/Trabajo+Fin+Master.pdf>
- Meta. (2024). Clima. Defincion de Clima. Meta AI.
- Meta. (2024). Meta AI.
- milesight. (2024). milesight. Obtenido de <https://www.milesight.com/iot/>
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES. (2018). PLAN MAESTRO DE ELECTRICIDAD. MINISTERIO DE ENERGÍA Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES.
- Mohagheghi, S.; Mousavi, M.; Stoupis, J.; Wang, Z. (2009). Modeling distribution automation system components using IEC 61850. 2009 IEEE Power & Energy Society General Meeting.
- Molina, A. (2024). Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Diseño e implementación de una red de área amplia de baja potencia (LPWAN), para el monitoreo y optimización del tiempo de registro de consumo, corte y reconexión del suministro eléctrico monofásico residencial. UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO, Chimborazo.

- Mounton Lupe. (31 de Enero de 2018). El heraldo. Obtenido de La economía: <https://www.elheraldo.co/economia/usuarios-de-energia-cambiar-medidor-antes-de-12-anos-454366>
- Munk, B. A. (2000). Frequency Selective Surfaces. Theory and Design. John Wiley & Sons.
- Northcote-Green, J., & Wilson, R. (2007). Control and Automation of Electric Power Distribution Systems. Taylor & Francis Group.
- Pereira de Siqueira Campos, A. (2008). Superfícies Seletivas em Frequência: análise e projeto. IFRN.
- Perez, E. (2015). Los sistemas SCADA en la automatización industrial. Tecnología en Marcha. Vol. 28, Nº 4.
- Pilar Catalina. (2 de 3 de 2020). energetica21.com - Revista de generación de Energía y Eficiencia Energética. Obtenido de <https://energetica21.com/noticia/transmision-y-distribucion-los-10-puntos-clave-para-la-modernizacion-de-las-redes-electricas-de-europa>
- Preradovic, S., & Karmakar, N. C. (2012). Multiresonator-Based Chipless RFID. Barcode of the future. Springer.
- Quanta Technology. (2014). Planificación y Automatización de la Distribución Reporte Final. Quanta Technology, LLC documento 12D030-RPT-4.
- Rafael, G. (1993). SISTEMA SCADA EN DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA. Quito: Escuela Politecnica Nacional, facultad de Electricidad.
- Raffino Maria. (11 de nov de 2020). concepto.de. Obtenido de <https://concepto.de/generacion-electrica/>
- Robles Adela. (2010). MODELO DE GESTIÓN COMERCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL ECUADOR. Cuenca: UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS MAESTRÍA EN GESTIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS .
- Rudd, S.E.; Kirkwood, J.D.; Davidson, E.M.; Strachan, S. M.; Gutterson, V. M.; McArthur, S. D. J. (2012). Intelligent Monitoring of Distribution Automation.
- San José, J., Pastor, J., & García, A. (2012). RFID: La Identificación por Radiofrecuencia como futuro de la identificación de objetos. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/275020704>

Sánchez, R. (2014). ETIQUETA PASIVA DE RFID SIN CHIP PARA SENSADO DE MATERIALES. Tesis en opción al grado de Maestro en Ciencias en la especialidad de Electrónica., Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica., Puebla. México.

Santos, P. (2016). Diseño de una antena tag RFID pasiva de orden cero (ZOR) en UHF con metamateriales. Guayaquil: UCSG.

Schliserman, G. E. (2015). Introducción al SCADA. Electric, Schneider. Sector Electricidad. (2017). Sector Electricidad. Obtenido de Reconectores: <http://www.sectorelectricidad.com/19183/reconectores/>

sigfox. (2024). sigfox. Obtenido de www.sigfox.com

store mcci. (2024). store mcci. Obtenido de <https://store.mcci.com/collections/milesight>

Telectrónica. (2006). Introducción a la identificación por Radio Frecuencia-RFID. TheThingsNetwork. (2024). The things network. Obtenido de www.thethingsnetwork.org

Twitter CNEL EP. (16 de Agosto de 2018). twitter. Obtenido de CNEL EP #Estácontigo: https://twitter.com/cnel_ep/status/1067070686680748033

Uluski, R. (2010). Distribution Automation – Smart Feeders in a Smart Grid World. 2010: Quanta Technologies.

Uluski, R. (2011). Distribution Management Systems. Cleveland – Ohio: Electric Power Research Institute.

Uluski, R. (2012). Creating Smart Distribution through automation. PACWorld.

Vallejo, G., & Dominguez, J. (2022). Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingenieros Electrónicos. DISEÑO DE UNA RED LPWAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES EN EL CANTÓN SAN CRISTÓBAL, PROVINCIA DE GALÁPAGOS. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, Quito.

Vera, L., & Zavala, B. (2018). INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR Previo a la obtención del Título de: INGENIERO/A EN TELECOMUNICACIONES. Diseño de una red LPWAN basada en tecnología LoRa para las estaciones hidrometeorológicas. Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil.

wikipedia. (2006). es.wikipedia.org. Obtenido de Figura: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_suministro_el%C3%A9ctrico

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

2G: 2da Generación de tecnología móvil o celular.

3G: 3ra Generación de tecnología móvil o celular.

3GPP: 3ra Generación de proyectos de asociación

4G: 4ta Generación de tecnología móvil o celular.

5G: 5ta Generación de tecnología móvil o celular.

5G MTC: 5G Comunicación tipo máquina.

802.11a: IEEE 802.11 con modulación OFDM.

802.11b: IEEE 802.11 con velocidad máxima 11Mbps en frecuencia 2.4GHz.

802.11g: IEEE 802.11 de alta velocidad máxima 54 Mbps en frecuencias 2.4 y 2.5 GHz.

802.11n: IEEE 802.11g con velocidad mejorada hasta 600Mbps.

ABP: activación por personalización.

AES: Estandar de cifrado avanzado.

AMI: Infraestructura de Medición Avanzada.

AMR: Siglas en Inglés de Lectura Automática de Medidores.

Ancho de Banda: Longitud de la extensión de frecuencias, medidas en hercios.

BN-IoT: Banda Angosta Internet de las Cosas

Banda sub-GHz: Rango de frecuencia menor a 1GHz.

bit: Unidad métrica de cantidad de información.

Bluetooth: Tecnología inalámbrica que permite interacción de datos entre dispositivos a corta distancia.

BW: Ancho de Banda.

CA: Siglas en Inglés de Automatización del Cliente.

CIS: Siglas en Inglés de Sistemas de Información de Clientes.

CNEL: Corporación Nacional de Electricidad.

CNT: Corporación Nacional de Telecomunicaciones.

Codificación: Es el proceso informático de transformar una secuencia de caracteres en un formato especial para facilitar su transmisión

CR: Tasa de código utilizado.

CRC: Código de detección de errores.

CSS: Pulso de frecuencia de espectro ensanchado.

CT: Centros de transformación.

D2D: Dispositivo a dispositivo.

DA: Siglas en inglés de Automatización de la Distribución eléctrica.

DAS: Sistema de Automatización de la Distribución.

D-BPSK: Diferencia de Modulación por desplazamiento de Fase Binaria.

dB, dBm: Unidades de medida de potencia en decibelios.

DBT-120: Adaptador Bluetooth USB.

DC: Siglas en Inglés de Corriente Directa.

DMS: siglas en Inglés de sistema de gestión de distribución.

DNP3: Siglas en Inglés Protocolo de red de distribución versión 3.

Dopplery fading: Efecto que se produce cuando el desvanecimiento varía en el tiempo debido al movimiento del transmisor o receptor, o a la dispersión de objetos.

DSM: Siglas en Inglés de Gestión del Lado de la Demanda.

E.P.: Empresa Pública.

Efecto Doppler: Cambio de la longitud de onda provocado por el movimiento del emisor.

EPA: Modelo OSI SCADA modelo EPA consta de las capas de aplicación, enlace y física, omitiendo algunas capas superiores del modelo OSI de 7 capas.

Ethernet: Tecnología tradicional para conectar dispositivos en una red de área local.

FA: Siglas en Inglés de Automatización de Alimentador.

FEC: Corrección de Errores hacia Adelante.

Frecuencia: Rango o punto medio de rango de operación de una determinada tecnología inalámbrica,

FSL: Pérdidas en el espacio libre.

GIS: Siglas en Inglés de Sistema de Información Geográfica.

GPON: Red Óptica Pasiva con capacidad Gigabit.

GPS: Sistema de posicionamiento Global.

HiperLAN2: Standard de comunicación inalámbrica de área local de banda ancha y calidad de servicio.

HMI: Interacción Hombre Máquina.

HTTPS: Protocolo seguro de transferencia de hipertexto.

IEC: Siglas en Inglés de Comisión Electro técnica Internacional.

IED: Siglas en Inglés dispositivo electrónico inteligente.

IEEE: Instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos.

IEEE 802.11: Standard que define la comunicación inalámbrica entre dispositivos de área local.

IEEE 802.15: Grupo IEEE especializado en redes inalámbricas de área personal.

Infrarrojo: Radiación del espectro electromagnético de mayor longitud de onda que el rojo y de alto poder calorífico.

Intrared: Red Informática privada

IoT: Internet de las Cosas.

IP: Siglas en Ingles de Protocolos de Internet.

IT: Siglas Ingles Tecnologia de la Información.

kWh: Unidad de consumo energia Kilo Watts hora.

LAN: Red de Area Local.

Latencia: Tiempo que transcurre entre un estímulo y la respuesta que produce

LED: Diodo Emisor de Luz.

LIFI: sistema de Comunicaciones de Luz Visible.

LNS: Servidor de red LoRa.

Longitud de onda: Distancia física entre dos puntos a partir de los cuales la onda se repite

LoRa: Tecnologia inalambrica de Largo Alcance.

LoRaWAN: Red de Area Amplia de Largo Alcance.

LPWAN: Red de Area Amplia y Baja Potencia.

LTE: Tecnologia movil Evolucion a Largo Plazo.

LTE-M: LTE para Maquinas.

M2M: Maquina a maquina.

MAC: Identificador único que se asigna a la tarjeta de red de un dispositivo.

MAIFI: Indice de frecuencia promedio de interrupciones momentaneas.

MIC: Codigo de Integridad del Mensaje.

Modulación: Variar con fines armónicos y de propagación las cualidades de una onda para transmisión de datos.

MT: Media Tension en lineas de distribucion electrica.

MTU: Unidad terminal Maestro, Nucleo sistema SCADA.

MWWAN: Redes Inalámbrica de Área Mundial Movil.

NB: Banda Angosta.

NwkSKey: Clave de Session de Red.

OFDMA: Acceso Múltiple por división de Frecuencia Ortogonal

OMS: Siglas en Ingles de Sistema de Gestion de Interrupciones.

OSI: El modelo OSI divide el sistema de comunicación de red en siete capas, que sirven para identificar los problemas de red.

OTAA: Activación por aire.

P2P: Persona a persona.

payload: Carga Util en un paquete de datos.

Ping: Comando para medir la latencia o tiempo que tardan en comunicarse dos puntos remotos.

PLC: Sigla en Ingles de Controlador Logico Programable.

Protocolo: Sistemas de Reglas que permiten que dos o más entidades en un sistema de comunicación se comuniquen entre ellas para transmitir información.

QPSK: Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura.

RF: Radio Frecuencia.

RFID: Identificación por Radio Frecuencia.

RS232: Puerto serial comunicación full duplex.

RS485: Puerto de comunicación serial half duplex.

RTU: Unidad Terminal Remota del sistema SCADA.

SA: Siglas en Ingles de Automatizacion de Subestacion.

SAIDI: Indice de duración promedio de interrupciones del sistema.

SAIFI: Indice de frecuencia media de interrupción del sistema.

SCADA: Sistema de control de supervision y adquisición de datos.

SF: Factor de esparcimiento.

Sigfox: Tecnologia LPWAN Intercambio Operativo de Frecuencia de Señal.

Smart Grid: Red electrica inteligente.

SNR: Relacion señal Ruido.

TC: Tranformador de corriente.

TCP: Protocolo de Capa de Transporte.

Telecontrol: Control a distancia.

TDMA: Acceso Múltiple por división de tiempo.

TIC: Tecnologia de la Informacion y Comunicación.

ToA: Tiempo sobre el Aire.

Topología: Mapa físico o lógico de una red para intercambiar datos.

TP: Transformador de Potencia.

U.N.: Unidad de Negocio.

UE: Union Europea.

USB: Puerto Bus Serial Universal.

UNB: Ultra banda Angosta.

UWB: Banda Ultra Ancha.

Velocidad de datos: Taza de trasmisión de bit por segundos.

VPN: red virtual privada.

vSAT: Tecnologia Satelital Terminales de Apertura muy Pequeña

WiBro: Ancho de banda Inalámbrico.

WIFI: Fidelidad Inalámbrica

WiMax: Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas.

WLAN: Red Inalambrica de Area Local.

WMAN: Red Inalambrica de Area Metropolitana.

WPAN: Redes Inalambricas de Area Personal.

WWAN: Red Inalámbrica de Área Mundial.

ZigBee: Es un conjunto de protocolos de comunicacion inalambrica que permite la creacion de redes de área personal.

ANEXOS.

Data sheet SG 50

SG50

Ultra Low Power
Solar LoRaWAN[®]

Gateway

Milesight



SG50 is an energy-efficient solar LoRaWAN[®] gateway designed for outdoor environments with limited power availability and ample solar energy resources. With built-in batteries and accessorial solar panel, SG50 can work independently in various scenarios especially the place with hard access to power resource.

Besides the high adaptability, SG50 is highly compatible with mainstream network servers and support remote management via remote network servers which provides both convenience and secured management.

Benefiting from its robust structural design and high IP67 protection rate, SG50 can work smoothly in harsh environments. It is specifically tailored for applications such as oil and gas, mining, forestry, and remote industries where power consumption must be carefully managed.

◆ Features

- Fast deployment with the all-in-one design and standard accessories
- Built-in rechargeable batteries & accessorial solar panel for wireless usage
- Support cellular for backhaul network enabling independent networking
- Equip with high-efficient power management design prolonging its battery life up to 4 days
- Compatible with remote management system for simple deployment even in remote regions
- IP67 enclosure and robust structural design promote its strength and working lifespan
- Equip with SX1302 chip, handling a higher amount of traffic with lower consumption
- Support 8 channels for more than 2000 end-nodes connections
- Equip with GPS for simple remote management and deployment

◆ Specifications

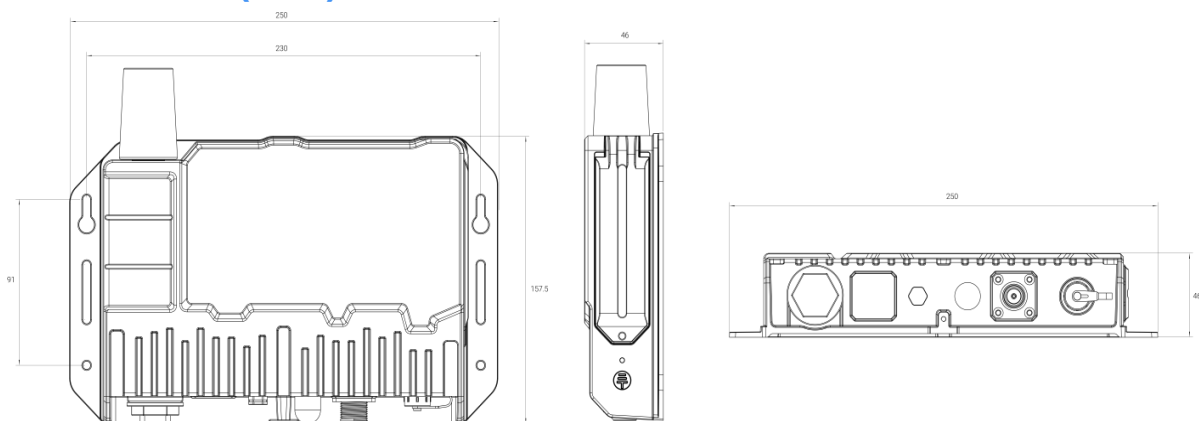
Hardware System	
CPU	Dual-core 240MHz, 32-bit Xtensa [®] LX7
Memory	8 MB PSRAM
Flash	16 MB
LoRaWAN [®]	
Antenna Connector	1 x 50 Ω N-Female External Connector
Channel	8 (Half-duplex)
Frequency Band	CN470/IN865/EU868/RU864/US915/AU915/KR920/AS923-1&2&3&4
Sensitivity	-140 dBm Sensitivity @292bps
Output Power	27 dBm Max
Protocol	V1.0 Class A/Class B/Class C and V1.0.2 Class A/Class B/Class C
LBT ¹	Support
Cellular Interface	
Network	4G LTE (CAT 1)/GSM
Antenna	1 x External Antenna (Share with GPS)
Cellular Band	L08GL (Global except North America): LTE-FDD: B1/2/3/4/5/7/8/12/13/17/18/19/20/25/26/28/66 LTE-TDD: B34/38/39/40/41; GSM: B2/3/5/8 L09NA (North America): LTE-FDD: B2/4/5/12/13/66
SIM Slot	1 (Nano SIM-4FF)
Wi-Fi Interface	
Antenna	1 x External Antenna
Standards	IEEE 802.11b/g/n, 2.4 GHz
Mode	AP Mode (Device Configuration Only)
GNSS	
Technology	GPS
Antenna	1 x External Antenna (Share with Cellular)
Others	

Button	1 × Reset/Wi-Fi Button
Console Port	1 × USB 2.0 (Type-C) for Power Supply and Console
LED Indicators	1 × SYSTEM, 1 × LTE, 1 × Wi-Fi
Built-in	Watchdog, Timer
Power Supply and Consumption	
Power Supply	1. Solar Power or DC Power (12~24VDC) via M12 Connector 2. 3.6V, 25000mAh Backup Batteries 3. 5V, 2A by Type-C Port
Battery Life ²	Up to 4 Days Without Sunlight (100 Nodes Connection with 10 min Report Interval)
Power Consumption	Typical 0.8W
Physical Characteristics	
Ingress Protection	IP67
Housing & Color	Metal Cast Aluminum, White
Weight	1.275 kg (Without Batteries), 1.755 kg (With Batteries)
Dimension	250 × 157.5 × 46mm (9.84 x 6.20 x 1.81 in)
Installation	Wall or Pole Mounting
Environmental	
Operating Temperature	-30°C to +70°C (-22°F to +158°F)
Charging Temperature	-20°C to +50°C (-4°F to +122°F)
Storage Temperature	-40°C to +85°C (-40°F to +185°F)
Relative Humidity	0% to 95% (Non-condensing) at 25°C/77°F

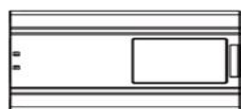
¹AU915 and US915 do not support LBT.

² Tested under laboratory conditions and for guideline purposes only.

◆ Dimensions(mm)



◆ Accessories



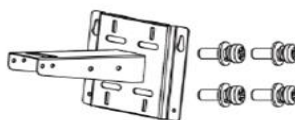
1 × Battery Pack



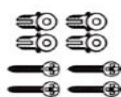
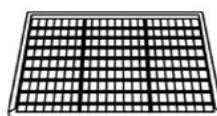
1 × SIM Card Ejector Tool



1 × LoRaWAN® Antenna

1 × Antenna
Coaxial Cable (1m)1 × Antenna U-strap
Kit1 × Antenna U-bolt
Kit1 × Mounting
Bracket Kit4 × Mounting
Screws

2 × Hose Clamps

4 × Wall Mounting
Kits1 × Solar Panel
(With M12 Power
Cable)1 × Solar Panel
Bracket Kit

Model	SP1530 (Default)	SP1545 (Optional)
Electrical Characteristics		
Open-Circuit Voltage	17 V (± 0.3 V)	
Rated Voltage	15 V (± 0.3 V)	
Rated Current	2 A (± 5%)	3 A (± 5%)
Maximum Power	30 W (± 5%)	45 W (± 5%)
Minimal Power	28.5 W (± 5%)	43 W (± 5%)
Physical Characteristics		
Cell Type	Monocrystalline Silicon	
Operating Temperature	-20°C~80°C	
Weight	1.645kg	2.305kg
Dimension	533 × 303 × 17 mm	570 × 380 × 17 mm

*Note:

- Contact us if you need any other special accessories or customized accessories.
- Optional solar panel specifications:



Data sheet Controller UC50X Series

Multi-Interface Controller

UC50x Series



◆ Introduction

UC50x series is a multi-interface controller used for data acquisition from various sensors and equipments. It contains different I/O interfaces such as analog input, digital input, digital output, serial port and so on, which simplify the deployment and replacement of LoRaWAN® or cellular networks.

UC50x series can be easily and quickly configured by NFC or wired USB port. For outdoor applications, it provides flexible power like built-in solar panel or high-capacity battery and is equipped with an IP67-rated enclosure and M12 connectors to protect itself from water and dust in harsh environments.



◆ Features

- Easy to connect with multiple wired sensors through GPIO/AI/RS232/RS485/SDI-12 interfaces
- Waterproof design including IP67 case and M12 connectors

- Solar powered and built-in battery optional
- Store historical records locally and support retransmission to prevent data loss
- Quick wireless configuration via NFC

LoRaWAN® Version Only

- Ultra-wide-distance wireless transmission up to line of sight of 15 km
- Compliant with standard LoRaWAN® gateways and network servers
- Quick and easy management with Milesight IoT Cloud solution
- Supports multicast for control in bulk (UC501 only)

LTE Version Only

- Support cumulative number report function for power saving
- Support multiple network protocols to be compatible with IoT platforms

◆ Specifications

Model	UC501	UC502
Wireless Transmission		
LoRaWAN® Version		
Antenna	Internal Antenna or External Antenna (Hardware Optional) External Antenna (EA) Version: 1 × 50 Ω SMA Female Connector	
Frequency	CN470/IN865/EU868/RU864/US915/AU915/KR920/AS923-1&2&3&4	
Tx Power	16dBm (868 MHz)/20dBm (915 MHz)/19dBm (470 MHz)	
Sensitivity	-137dBm @300bps	
Work Mode	OTAA/ABP Class A, Class C	OTAA/ABP Class A
Cellular Version		
Antenna	Internal Antenna	
Cellular Band	NB-IoT/Cat.M Version: Cat M1: B1/B2/B3/B4/B5/B8/B12/B13/B18/B19/B20/B25/B26/B27/B28/B66/B85 Cat NB2: B1/B2/B3/B4/B5/B8/ B12/B13/B18/B19/B20/B25/B28/B66/B71/B85	
SIM Slot	1 (Micro SIM-3FF)	
Application Mode	TCP/UDP/MQTT/AWS	
Data Interfaces		

Interface Type	M12 A-Coded Male	
IO		
Ports	2 x GPIO	
Logical Level	Low: 0~0.8 V, High: 2.5~3.3 V	
Maximum Current	20 mA	
Work Mode	Digital Input, Digital Output, Pulse Counter (Software Switchable)	
Serial Port		
Ports	1 x RS232 or RS485 (Software Switchable)	
Baud Rate	1200~115200 bps	
Protocol	Transparent (RS232/RS485), Modbus RTU (RS485)	
Analog Input		
Ports	2 x Analog Input	
Resolution	12 bit	
Input Range	4~20 mA or 0~10 V (Switchable)	
SDI-12		
Ports	1 x SDI-12	
Protocol	SDI-12 V1.4, Transparent	
Power Output		
Ports	2 x 3.3 V, 2 x 5/9/12 V(Switchable)	
Power Time Before Data Collection	Continuous (3.3V), 0~10 minutes (5/9/12V)	
Operation		
Power On & Off	LoRaWAN® Version: Mobile App (via NFC), PC Software (via USB Type-C), Power Button (Internal) Cellular Version: Mobile App (via NFC), Power Button (Internal)	
Configuration	LoRaWAN® Version: Mobile App (via NFC) or PC software (via USB Type-C) Cellular Version: Mobile App (via NFC)	
Physical Characteristics		
Power Connector	1 x M12 A-Coded Male Interface	
Power Supply	<ol style="list-style-type: none"> 2 x 2550 mAh Chargeable Batteries Solar powered (6V, 1.7W) 5-24 VDC 	<ol style="list-style-type: none"> 3 x 9000 mAh Replaceable ER26500 Li-SOCl₂ Batteries 5-24 VDC
Operating	-20°C~60°C	-30°C~70°C

Temperature		
Ingress Protection	IP68 (1m underwater, 7 days)	

Dimension	116 × 116 × 45.5 mm (4.56 × 4.56 × 1.79 in) (Connectors Excluded)
Installation	Wall or Pole Mounting



Data sheet UG 65

UG65

LoRaWAN® Gateway

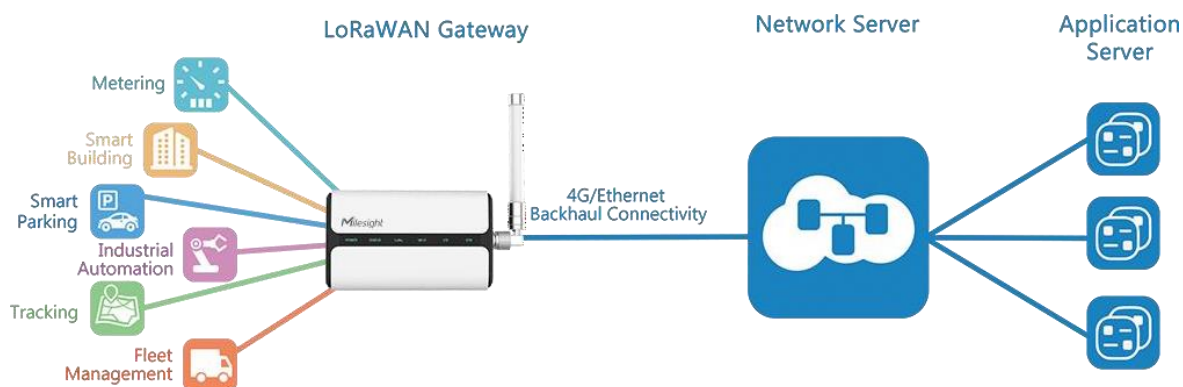
Milesight



UG65 is a robust 8-channel indoor LoRaWAN® gateway. Adopting SX1302 LoRa chip and high-performance quad-core CPU, UG65 supports connection with more than 2000 nodes. UG65 has line of sight up to 15 km and can cover about 2 km in urbanized environment, which is ideally suited to smart office, smart building and many other indoor applications.

UG65 supports not only multiple back-haul backups with Ethernet, Wi-Fi and cellular, but also has integrated mainstream network servers (such as The Things Stack, ChirpStack, etc.) and built-in network server for easy deployment.

◆ Application Example



◆ Features

- Quad-core industrial processor with big memory
- Equip with SX1302 chip, handling a higher amount of traffic with lower consumption
- 8 half/full-duplex channels
- IP65 enclosure and industrial design for parts of outdoor environment applications like eaves
- Desktop, wall or pole mounting
- Multi backhaul backups with Ethernet, cellular (4G/3G) and Wi-Fi
- DeviceHub, Milesight Development Platform and Milesight IoT Cloud provide easy and centralized management of remote devices
- Enable security communication with multiple VPNs like IPsec/OpenVPN/L2TP/PPTP/DMVPN
- Compatible with mainstream network servers like The Things Stack, ChirpStack, Actility, Everynet, etc.
- Detect and analyze the noise level and provide intuitive diagram for deployment
- Built-in network server and MQTT(s)/HTTP(s) API for easily integration
- Support BACnet/IP to integrate LoRaWAN® data to BMS system easily
- Embedded Python SDK for users secondary development
- Fast and user-friendly programming by Node-RED development tool.

◆ Specification

Hardware System

CPU Quad-core 1.5 GHz, 64-bit ARM Cortex-A53

Memory 512 MB DDR4 RAM

Flash 8 GB eMMC

LoRaWAN®

Antenna 2 × Internal Antennas + 1 × 50 Ω N-Female External Connector Channel
8 (Half/Full-duplex)

Frequency Band CN470/IN865/EU868/RU864/US915/AU915/KR920/AS923-1&2&3&4 Sensitivity
-140dBm Sensitivity @292bps

Output Power 27dBm Max

Protocol V1.0 Class A/Class B/Class C and V1.0.2 Class A/Class B/Class C

Ethernet Interface

Port 1 × RJ45 (PoE PD supported) Physical

Layer 10/100/1000 Base-T (IEEE 802.3) Data

Rate 10/100/1000 Mbps (Auto-Sensing)

Interface Auto MDI/MDIX

Mode Full or Half Duplex (Auto-Sensing)

Wi-Fi Interface

Antenna	Internal Antenna
Standards	IEEE 802.11 b/g/n, 2.4GHz
Mode	AP or Client mode
Security	WPA/WPA2 authentication, WEP/TKIP/AES encryption
Tx Power	802.11b: 18 dBm +/-2.0 dBm (11 Mbps)
	802.11g: 15 dBm +/-2.0 dBm (6 Mbps)
	802.11g: 15 dBm +/-2.0 dBm (54 Mbps)
	802.11n@2.4 GHz: 14 dBm +/-2.0 dBm (MCS0_HT20)
	802.11n@2.4 GHz: 14 dBm +/-2.0 dBm (MCS7_HT20)
	802.11n@2.4 GHz: 13 dBm +/-2.0 dBm (MCS0_HT40)
	802.11n@2.4 GHz: 13 dBm +/-2.0 dBm (MCS7_HT40)

Cellular Interface (Optional)

Antenna	Internal Antenna
SIM Slot	1 (mini SIM-2FF)

Others

Reset Button	1 × RST
Console Port	1 × Type-C
LED Indicators	1 × POWER, 1 × STATUS, 1 × LoRa, 1 × Wi-Fi, 1 × LTE, 1 × ETH
Built-in	Watchdog, RTC,

Software

Network Protocols	PPPoE, SNMP v1/v2c/v3, TCP, UDP, DHCP, DDNS, HTTP, HTTPS, DNS, ARP, SNTP, Telnet, SSH, MQTT, MQTTS, BACnet/IP, etc.
VPN Tunnel	OpenVPN/IPsec/PPTP/L2TP/GRE/DMVPN/WireGuard Firewall ACL/DMZ/Port Mapping/MAC Binding/URL Filter
Management	Web, CLI, SMS, On-demand dial up, DeviceHub, Milesight IoT Cloud, Yeastar Workplace Platform, Milesight Development Platform
Reliability	WAN Failover
App	Python SDK, Node-RED

Power Supply and Consumption

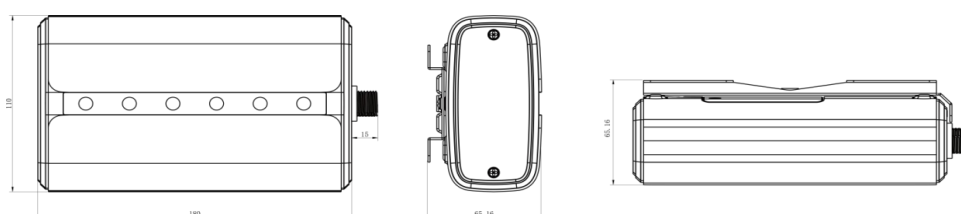
Power Input	1. 9-24 VDC by DC Male Jack Connector 2. 802.3 af PoE input
Power Consumption	Typical 2.9 W, Max 4.2 W

Physical Characteristics

Ingress Protection	IP65
--------------------	------

Weight	548g
Dimensions	180 x 110 x 56.5 mm (7.09 x 4.33 x 2.22 in)
Installation	Desktop, Wall or Pole Mounting
Environmental	
Operating Temperature	-40°C to +70°C (-40°F to +158°F)
	Reduced Cellular Performance Above 60°C
Storage Temperature	-40°C to +85°C (-40°F to +185°F)
Ethernet Isolation	1.5 kV RMS
Relative Humidity	0% to 95% (non-condensing) at 25°C/77°F
Approvals	
Regulatory	CE, FCC, IC, Telec, JATE, RCM
Environmental	RoHS, REACH

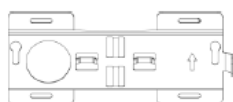
◆ Dimensions(mm)



◆ Accessories



1 × DC Jack Power Adapter



1 × Mounting Bracket



2 × Bracket Fixing Screws



4 × Wall Mounting Kits



1 × 18 cm LoRaWAN[®] Antenna



1 × 60cm LoRaWAN[®] Fiber-Glass Antenna Kit
(Optional)

Data sheet UG 67

Milesight | www.milesight.com



Tel: 86-592-5085280

Sales email: iot.sales@milesight.com

Address: Building C09, Software Park Phase III, Xiamen 361024, Fujian, China

Support email: iot.support@milesight.com

Website: www.milesight.com

UG67

Milesight

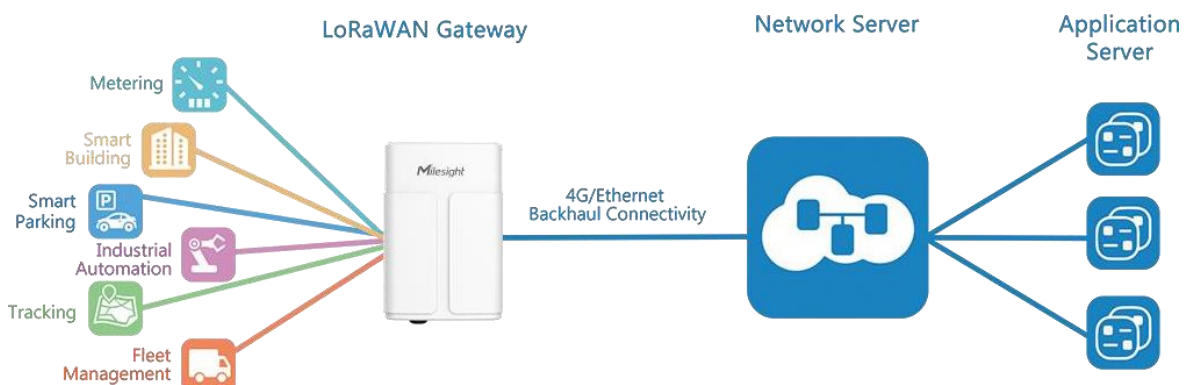
LoRaWAN® Gateway



UG67 is a robust 8-channel outdoor LoRaWAN® gateway. Adopting SX1302 LoRa chip and high-performance quad-core CPU, UG67 supports connection with more than 2000 nodes. UG67 has line of sight up to 15 km and IP67 waterproof case, which is ideally suited to smart agriculture, smart metering and many other outdoor applications.

UG67 supports not only multiple back-haul backups with Ethernet, Wi-Fi and cellular, but also has integrated mainstream network servers (such as The Things Stack, ChirpStack, etc.) and built-in network server and Milesight IoT Cloud for easy deployment.

◆ Application Example



◆ Features

- Quad-core industrial processor with big memory
- Equip with SX1302 chip, handing a higher amount of traffic with lower consumption
- 8 half/full-duplex channels
- IP67 waterproof enclosure and industrial design for harsh environment applications
- Wall or pole mounting optional
- PoE or DC supply optional
- Capacitor for sending alarms in case of power failure
- Multi backhaul backups with Ethernet, cellular (4G/3G) and Wi-Fi
- Enable security communication with multiple VPNs like IPsec/OpenVPN/L2TP/PPTP/DMVPN/WireGuard
- Devicehub, Milesight Development Platform and Milesight IoT Cloud provide easy and centralized management of remote devices
- Compatible with mainstream network servers like The Things Stack, ChirpStack, Actility, Everynet, etc.
- Detect and analyze the noise level and provide intuitive diagram for deployment
- Built-in network server and MQTT(s)/HTTP(s) API for easily integration
- Support BACnet/IP to integrate LoRaWAN® data to BMS system easily
- Embedded Python SDK for users secondary development
- Fast and user-friendly programming by Node-RED development tool

◆ Specifications

Hardware System

CPU	Quad-core 1.5 GHz, 64-bit ARM Cortex-A53
-----	--

Memory	512 MB DDR4 RAM
--------	-----------------

Flash	8 GB eMMC
-------	-----------

LoRaWAN®

Antenna Connector	2 × 50 Ω N-Female External Connectors
-------------------	---------------------------------------

Channel	8 (Half/Full-duplex)
---------	----------------------

Frequency Band	CN470/IN865/EU868/RU864/US915/AU915/KR920/AS923-1&2&3&4 Sensitivity -140dBm Sensitivity @292bps
----------------	--

Output Power	27dBm Max
--------------	-----------

Protocol	V1.0 Class A/Class B/Class C and V1.0.2 Class A/Class B/Class C
----------	---

LBT ¹	Support
------------------	---------

Ethernet Interface

Port	1 × RJ45 (PoE PD supported)
------	-----------------------------

¹ AU915 and US915 do not support LBT.

Physical Layer	10/100/1000 Base-T (IEEE 802.3) Data
Rate	10/100/1000 Mbps (Auto-Sensing)
Interface	Auto MDI/MDIX
Mode	Full or Half Duplex (Auto-Sensing)

Wi-Fi Interface

Antenna	Internal Antenna
Standards	IEEE 802.11 b/g/n, 2.4GHz
Mode	AP or Client mode
Security	WPA/WPA2 authentication, WEP/TKIP/AES encryption
Tx Power	802.11b: 18 dBm +/-2.0 dBm (11 Mbps)
	802.11g: 15 dBm +/-2.0 dBm (6 Mbps)
	802.11g: 15 dBm +/-2.0 dBm (54 Mbps)
	802.11n@2.4 GHz: 14 dBm +/-2.0 dBm (MCS0_HT20)
	802.11n@2.4 GHz: 14 dBm +/-2.0 dBm (MCS7_HT20)
	802.11n@2.4 GHz: 13 dBm +/-2.0 dBm (MCS0_HT40)
	802.11n@2.4 GHz: 13 dBm +/-2.0 dBm (MCS7_HT40)

Cellular Interface (Optional)

Antenna	Internal Antenna
SIM Slot	1 (mini SIM-2FF)

GPS

Antenna	Internal Antenna
Sensitivity	-167dBm@Tracking, -149dBm@Acquisition, -161dBm@Re-acquisition
Position Accuracy	<2.5m

Others

Reset Button	1 × RST
Console Port	1 × Type-C
LED Indicators	1 × SYS, 1 × LoRa, 1 × LTE
Built-in	Watchdog, RTC,

Software

Network Protocols	PPPoE, SNMP v1/v2c/v3, TCP, UDP, DHCP, DDNS, HTTP, HTTPS, DNS, ARP, SNTP, Telnet, SSH, MQTT, MQTTS, BACnet/IP, etc.
VPN Tunnel	OpenVPN/IPsec/PPTP/L2TP/GRE/DMVPN/WireGuard Firewall ACL/DMZ/Port Mapping/MAC Binding/URL Filter
Management	Web, CLI, SMS, On-demand dial up, DeviceHub, Milesight IoT Cloud, Yeastar Workplace Platform, Milesight Development Platform

Reliability WAN Failover

App Python SDK, Node-RED

Power Supply and Consumption

Power Supply 1. 802.3 af PoE
2. DC Power (6~12 V) via M12 Connector

Power Consumption Typical 3.6 W, Max 4.8 W

Physical Characteristics

Ingress Protection IP67

Dimensions 240 x 164 x 90.9 mm (9.45 x 6.46 x 3.58 in)

Installation Wall or Pole Mounting

Environmental

Operating -40°C to +70°C (-40°F to +158°F)

Temperature Reduced Cellular Performance Above 60°C

Storage Temperature -40°C to +85°C (-40°F to +185°F)

Ethernet Isolation 1.5 kV RMS

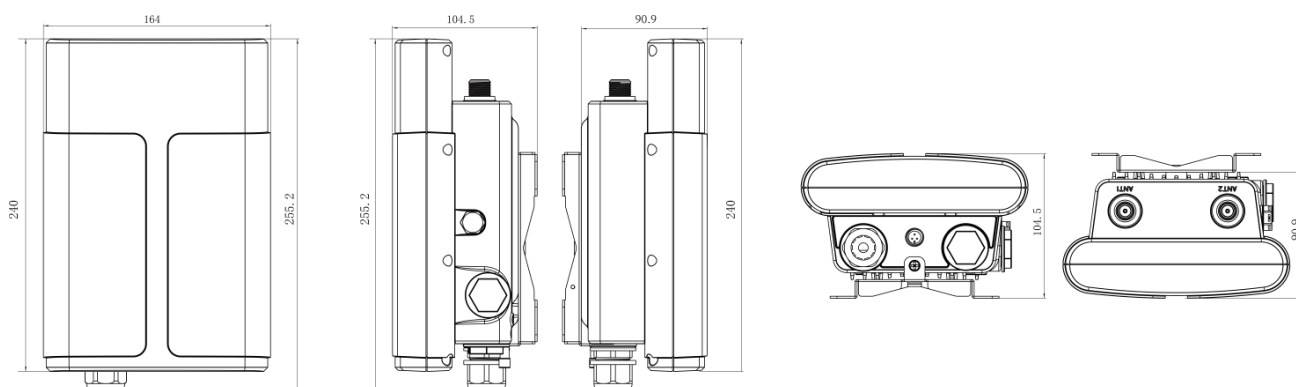
Relative Humidity 0% to 95% (non-condensing) at 25°C/77°F

Approvals

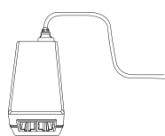
Regulatory CE, FCC, RCM,TELEC, ANATEL

Environmental RoHS

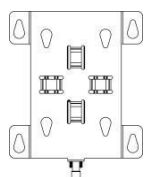
◆ Dimensions(mm)



◆ Accessories



1 x PoE Injector



1 x Mounting Bracket



4 x Wall Mounting Kits



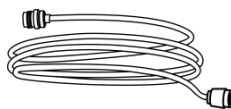
1 x RJ45 Cable Gland



1 x Cable Gland Plug



1 x SIM Dust Cover



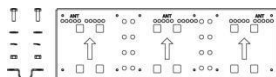
1 x Antenna Coaxial Cable (1m)



1 x M12 DC Power Cable



2 x 60cm LoRaWAN® Antennas



1 x Short Mounting Backboard Kit

***Note:** Contact us if you need any other special accessories or customized accessories.



Uninterruptible Power Supply UPS01

Milesight



Milesight UPS01 is an advanced uninterruptible power supply (UPS) designed to ensure uninterrupted operation of various devices for up to 32 hours. Featuring IP67 and IK08 ratings, the UPS01 can withstand demanding environments and provide reliable protection against dust, water, and mechanical impact. UPS01 makes it simple to prolong the working time of connected devices and supply with not only internal batteries but also an external power source through power adapter. Its plug-and-play design enables quick and easy integration with various devices such as gateways, routers, CPE, Dongle and sensing cameras, without the need for additional configuration. For added flexibility, the UPS01 offers M12 and Type-C connectors to suit different power supply scenarios. What sets the UPS01 apart is its compatibility with Milesight network devices. This allows for real-time monitoring of power consumption and remote alarm notification to facilitate effective and smart management.

◆ Features

Robust and Distinctive Design

- Adopt rechargeable 12000mAh high-capacity battery for providing up to 32 hours' supplement
- Equip with heating film for protecting battery in low-temperature environment
- High IP67 and IK08 protection for adapting to harsh environment
- Equip with a traffic light indicator and cooperate with smart internal logic for status display

High Adaptability & Easy Configuration

- Compact size with multiple deployment methods for adapting to different scenarios
- Compatible with Milesight devices for managing both power monitoring and alarming remotely
- Provide dual versions of connectors for satisfying different output voltages and devices
- Support plug-and-play without further configuration
- Overcharging and overdischarging protection

◆ Specifications

Model	Type-C Version	M12 Version
Power		
Power Input	9~20V \Rightarrow 2A	
Input Connector	DC Jack Female Connector	
Power Output	5V \Rightarrow 4A	6~8.4V \Rightarrow 1.5A
Output Connector	Type-C	4-Pin M12 A-Coded Female
Battery Capacity	4 x 3000mAh Lithium-ion Rechargeable Batteries	
Battery Supply Time ¹	6 ~ 32h	
Others		
LED Indicator	1×Traffic Light Indicator (Battery Capacity & Diagnose)	
Button	1×Reset Button (Internal)	
Software Features	Power Monitoring, Alarm, Upgrade (Only with Milesight Devices)	
Physical Characteristics		
Cable Length	DC IN: 30 cm Type-C: 100 cm	DC IN: 30 cm M12: 150 cm
Ingress Protection	IP67 & IK08	
Material & Color	Aluminum, White & Silver	
Dimension	96×60×45mm (3.78×2.36×1.77 in) (Without Cable)	
Operating Temperature	Charge Temperature: -20°C to +45°C (-4°F to +113°F) Discharge Temperature: -20°C to +60°C (-4°F to +140°F)	
Relative Humidity	0% - 95% (Non-condensing)	
Installation	Wall Mounting, DIN Rail Mounting, Pole Mounting, Desktop Mounting	

¹ The battery supply time is tested under laboratory and non-load conditions and for guideline purposes only. The actual power supply time of the UPS depends on the actual consumption of the connected device and its load.





DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Véliz Noboa, William Humberto**, con C.C: # **0704247592** autor del trabajo de titulación: **Diseño de una red inalámbrica metropolitana para monitoreo y control de líneas de distribución de energía eléctrica de la corporación nacional de electricidad Unidad de Negocio Guayaquil**, previo a la obtención del título de **Magíster en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, a los 13 días del mes de marzo del 2025

f. _____

Nombre: Véliz Noboa, William Humberto

C.C: 0704247592



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño de una red inalámbrica metropolitana para monitoreo y control de líneas de distribución de energía eléctrica de la corporación nacional de electricidad Unidad de Negocio Guayaquil.	
AUTOR(ES)	Véliz Noboa, William Humberto	
REVISOR(ES)/TUTOR	Ubilla González, Ricardo MSc.; Bohórquez Heras, Diana, PhD.; Bohórquez Escolar, Celso Bayardo	
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica Santiago de Guayaquil	
FACULTAD:	Sistema de Posgrado	
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones	
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones	
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de marzo 2025	No. DE PÁGINAS: 206 p.
ÁREAS TEMÁTICAS:	Red Inalámbrica, Tecnologías de comunicación, Distribución Eléctrica.	
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	network, wireless, metropolitan, LPWAN, LoRaWAN, monitoring, control, reclosers, medium voltage, distribution, electrical, automation, design, SCADA, long, range, low, power and modernization	
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>The present thesis develops the design of a metropolitan wireless network based on advanced communication technologies such as LoRaWAN and the Internet of Things (IoT) to improve the monitoring and control of reclosers in the medium-voltage lines of Guayaquil's electrical distribution network. This project addresses key issues in the current electrical system, such as high operating costs, limited connectivity, and insufficient automation in critical processes. The proposed network aims to ensure the system's reliability, efficiency, and responsiveness to failures, aligning with the transition to smart electrical grids.</p> <p>Based on an exhaustive analysis of the available wireless technologies and the characterization of SCADA systems, an LPWAN solution using LoRaWAN technology was selected for its benefits, including wide coverage, low energy consumption, and scalability. Detailed simulations and calculations, such as Fresnel zone analysis and radio link design, were included to validate the technical feasibility of the proposal.</p> <p>The design integrates hardware and software tailored to the needs of the National Electricity Corporation (CNEL), reducing costs by avoiding reliance on external providers and improving network stability. Additionally, phased implementation strategies were proposed, prioritizing critical areas and ensuring efficient deployment. This approach significantly contributes to modernizing the electrical system by providing scalable infrastructure adaptable to future technological advances. The network not only optimizes current operations but also enhances interaction with end-users and the remote supervision capacity of equipment, ensuring reliable and efficient service.</p>	
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-982815875	E-mail: william.veliz@cu.ucsg.edu.ec
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Bayardo Bohórquez Escolar	
	Teléfono: +593-994606932	
	E-mail: celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		