

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,
INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



TESIS

**ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES CON
TECNOLOGÍA LORAWAN EN EL ALIMENTADOR AN-01 DE ELECTRO
SUR ESTE S.A.A, SEDE ANDAHUAYLAS**

PRESENTADO POR:

Br. DARYL ANGEL VENEGAS POMACONDOR

Br. JAINER YORDAN ESCALANTE QUISPE

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRICISTA**

ASESOR:

Dr. JOSE WILFREDO CALLASI QUISPE

CUSCO – PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor JOSE WILFREDO CALLASI QUISPE
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICO -
ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES
CON TECNOLOGÍA IOT EN EL ALIMENTADOR AN-01 DE ELECTRO
SUR ESTE S.A.A., SEDE ANDAHUAYLAS

Presentado por: DARYL ANGEL VENEZAS PUNACONDOR DNI N° 70418397;
presentado por: JAINER YORDAN ESCALANTE QUISPE DNI N°: 73930760
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO ELECTRICISTA

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de**
Similitud en la UNSAAC y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 2 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 18 de Junio de 2026

Firma

Post firma JOSE WILFREDO CALLASI QUISPE

Nro. de DNI 23812797

ORCID del Asesor 0000 - 0003 - 0714 - 4499

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:601080462

Tesis PreGrado CP.pdf



Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:601080462

249 páginas

Fecha de entrega

18 jun 2026, 7:14 p.m. GMT-5

46.922 palabras

Fecha de descarga

18 jun 2026, 7:21 p.m. GMT-5

283.181 caracteres

Nombre del archivo

Tesis PreGrado CP.pdf

Tamaño del archivo

17.3 MB

2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 1%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión



Texto oculto

80 caracteres sospechosos en N.º de página

El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

PRESENTACION

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, señores docentes miembros del Jurado de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica, En cumplimiento de las disposiciones establecidas en el Reglamento de Grados y Títulos vigente, y con el propósito de optar el Título Profesional de Ingeniero Electricista, tenemos el honor de presentar ante ustedes el trabajo de investigación titulado: “ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES CON TECNOLOGÍA LORAWAN EN EL ALIMENTADOR AN-01 DE ELECTRO SUR ESTE S.A.A., SEDE ANDAHUAYLAS”. Este trabajo busca, aportar al proceso de modernización del sector eléctrico, promoviendo el uso de tecnologías de comunicación de largo alcance en beneficio de la gestión energética.

Venegas y Escalante

RESUMEN

La presente La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la factibilidad técnica y económica de la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas. El estudio surge ante las limitaciones del sistema de medición convencional, caracterizado por procesos manuales de lectura, cortes y reconexiones, así como la presencia de pérdidas no técnicas que afectan la eficiencia operativa y la calidad del servicio eléctrico.

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo-explicativo y nivel descriptivo-correlacional. En el análisis técnico, se realizaron simulaciones de cobertura y propagación de señal, así como la evaluación del desempeño de la red LoRaWAN mediante herramientas especializadas y pruebas piloto en puntos críticos del alimentador. Se analizaron parámetros como la calidad de señal, capacidad de transmisión de datos y viabilidad operativa del sistema. En el aspecto económico, se evaluaron los costos de implementación, operación y mantenimiento, así como los beneficios proyectados mediante indicadores financieros como el Valor Actual Neto y la Tasa Interna de Retorno.

Los resultados evidenciaron que la tecnología LoRaWAN ofrece condiciones adecuadas de cobertura y comunicación, incluso en zonas con limitaciones geográficas. Asimismo, el análisis económico demostró la rentabilidad del proyecto debido a la reducción de pérdidas no técnicas y la optimización de procesos operativos.

Se concluye que la implementación propuesta es técnica y económicamente viable, constituyendo una alternativa eficiente para modernizar el sistema de medición eléctrica.

Palabras clave: LoRaWAN, Factibilidad técnica, Viabilidad económica, Medidores Inteligentes.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the technical and economic feasibility of implementing smart meters with LoRaWAN technology on feeder AN-01 of Electro Sur Este S.A.A., Andahuaylas branch. The study arose from the limitations of the conventional metering system, characterized by manual reading processes, disconnections and reconnections, as well as the presence of non-technical losses that affect operational efficiency and the quality of electrical service.

The research was conducted using a quantitative approach, of a descriptive-explanatory type and at a descriptive-correlational level. In the technical analysis, signal coverage and propagation simulations were performed, as well as the evaluation of the LoRaWAN network's performance using specialized tools and pilot tests at critical points of the feeder. Parameters such as signal quality, data transmission capacity, and operational viability of the system were analyzed. From an economic perspective, implementation, operation, and maintenance costs were evaluated, as well as projected benefits using financial indicators such as Net Present Value and Internal Rate of Return.

The results showed that LoRaWAN technology offers adequate coverage and communication, even in geographically limited areas. Furthermore, the economic analysis demonstrated the project's profitability due to the reduction of non-technical losses and the optimization of operational processes.

It is concluded that the proposed implementation is technically and economically viable, constituting an efficient alternative for modernizing the electricity metering system.

Keywords: LoRaWAN, Technical Feasibility, Economic Viability, Smart Meters.

GLOSARIO DE TÉRMINOS CLAVE

- AMI (Advanced Metering Infrastructure): Infraestructura de medición avanzada que incluye medidores inteligentes, sistemas de comunicación y sistemas de gestión de datos para registrar y transmitir información del consumo energético.
- BW (Bandwidth): Ancho de banda, rango de frecuencias disponible para la transmisión de datos.
- CSS (Chirp Spread Spectrum): Técnica de modulación de espectro ensanchado que utiliza señales de tipo "chirp" (frecuencia variable).
- DevEUI (End-device identifier): Identificador único global de un dispositivo final en LoRaWAN.
- LPWAN (Low Power Wide Area Networks): Redes de área amplia de baja potencia diseñadas para comunicaciones de largo alcance con bajo consumo de energía.
- LoRa (Long Range): Tecnología de modulación de capa física que proporciona comunicación inalámbrica de largo alcance y bajo consumo de energía.
- LoRaWAN (Long Range Wide Area Network): Protocolo de capa MAC construido sobre la modulación LoRa para redes LPWAN.
- LTE (Long-Term Evolution): Estándar para comunicaciones inalámbricas de datos de alta velocidad.
- MAC (Medium Access Control): Subcapa del enlace de datos que controla el acceso al medio de transmisión.
- NB-IoT (Narrowband Internet of Things): Tecnología LPWAN basada en banda estrecha, estandarizada por 3GPP.
- NwkSKey (Network Session Key): Clave de sesión utilizada por el servidor de red y el

dispositivo final para calcular el MIC y cifrar/descifrar la carga útil MAC.

- SF (Spreading Factor): Factor de ensanchamiento en la modulación LoRa, que afecta el alcance y la tasa de datos.
- Sigfox: Otra tecnología LPWAN que utiliza una modulación patentada y opera en bandas ISM.
- SM (Smart Meter): Medidor de energía eléctrica digital que puede comunicarse bidireccionalmente con la empresa de servicios públicos.
- UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter): Circuito integrado que permite la comunicación serie asíncrona.
- WSN (Wireless Sensor Network): Red de dispositivos sensores inalámbricos distribuidos en un área para monitorear condiciones físicas o ambientales.
- RSSI (Received Signal Strength Indicator): Indicador de la intensidad de la señal recibida por un dispositivo de comunicación inalámbrica, expresado generalmente en dBm.
- RX Level (Receive Level): Nivel de potencia de la señal recibida en un receptor de comunicaciones, utilizado para evaluar la calidad de recepción del enlace.
- SNR (Signal-to-Noise Ratio): Relación entre la potencia de la señal útil y el nivel de ruido presente en el sistema de comunicación, expresada normalmente en decibelios (dB).
- Frequency (Frecuencia): Número de ciclos que una señal electromagnética realiza por segundo, medido en hercios (Hz).

ÍNDICE GENERAL

PRESENTACION.....	i
RESUMEN	ii
ABSTRACT.....	iii
GLOSARIO DE TÉRMINOS CLAVE	iv
ÍNDICE GENERAL	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
ASPECTOS GENERALES	2
1.1. Ámbito Geográfico	2
1.2. Planteamiento del Problema	3
1.3. Formulación del Problema	6
1.3.1. <i>Problema general</i>	6
1.3.2. <i>Problemas específicos</i>	6
1.4. Objetivos	6
1.4.1. <i>Objetivo General</i>	6
1.4.2. <i>Objetivos Específicos</i>	6
1.5. Justificación	7
1.5.1. <i>Justificación técnica</i>	7
1.5.2. <i>Justificación Social</i>	8
1.5.3. <i>Justificación Económica</i>	8
1.5.4. <i>Justificación Académica</i>	9
1.5.5. <i>Justificación Practica</i>	9
1.6. Alcances y Limitaciones	10
1.6.1. <i>Alcances de la Investigación</i>	10
1.6.2. <i>Limitaciones de la Investigación</i>	11
1.7. Hipótesis	13
1.7.1. <i>Hipótesis General</i>	13
1.7.2. <i>Hipótesis Especificas</i>	13
1.8. Metodología de la Investigación	15
1.8.1. <i>Enfoque de Investigación</i>	15
1.8.2. <i>Tipo de Investigación</i>	15

1.8.3.	<i>Nivel de Investigación</i>	16
1.8.4.	<i>Población</i>	16
1.8.5.	<i>Muestra</i>	16
1.9.	Técnicas y Recolección de Datos	17
1.9.1.	<i>Revisión documental</i>	17
1.10.	Procesamiento de Datos	17
1.10.1.	<i>Procesamiento de datos Análisis de Factibilidad Técnica</i>	18
1.10.2.	<i>Procesamiento de datos Análisis de Viabilidad Económica</i>	18
1.11.	Cronograma de actividades	19
CAPÍTULO II		21
MARCO TEORICO.....		21
2.1.	Antecedentes	21
2.1.1.	<i>Antecedentes Internacionales</i>	21
2.1.2.	<i>Antecedentes Nacionales</i>	23
2.1.3.	<i>Antecedente Regionales</i>	24
2.1.4.	<i>Artículo Referencia</i>	25
2.2.	Bases teóricas	27
2.2.1.	<i>Ámbito Empresarial y Actividades</i>	27
2.2.2.	<i>Componentes Fundamentales del Sistema Eléctrico</i>	28
2.2.3.	<i>Comercialización de Energía Eléctrica</i>	29
2.2.4.	<i>Procesos y Actividades Clave</i>	30
2.2.5.	<i>Medición Tradicional del Consumo de Energía</i>	31
2.2.6.	<i>Bases Teóricas de la Medición Inteligente (AMI)</i>	32
2.2.7.	<i>Medidores Inteligentes (Smart Meters)</i>	35
2.2.8.	<i>Redes Inteligentes (Smart Grids)</i>	37
2.2.9.	<i>Tecnología de Comunicación LoRaWAN para AMI (Énfasis Principal)</i>	38
2.2.10.	<i>Beneficios Específicos de Usar LoRaWAN para AMI</i>	46
2.3.	Marco Normativo	48
CAPÍTULO III.....		51
CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA EN ANDAHUAYLAS.....		51
3.1.	Caracterización del Sector Residencial y Alimentador AN01 en Andahuaylas .	51
3.1.1.	<i>Análisis del Sistema de Distribución Eléctrica en Andahuaylas</i>	51
3.1.2.	<i>Topología y características técnicas del alimentador AN01</i>	51
3.1.3.	<i>Características del Sistema de Medición Actual</i>	53

3.1.4.	<i>Mapa Georreferenciado de la Red de Distribución</i>	54
3.1.5.	<i>Características Geográficas y Urbanísticas que Podrían Afectar la Cobertura LoRaWAN</i>	57
3.2.	Estudio de la Población y Muestra	59
3.2.1.	<i>Caracterización de los tres sectores residenciales identificados en la matriz</i>	59
3.2.2.	<i>Tamaño y Distribución de Usuarios</i>	60
3.3.	Diagnóstico de la situación actual	63
3.3.1.	<i>Identificación de pérdidas no técnicas</i>	63
3.3.2.	<i>Evaluación de la eficiencia operativa</i>	66
3.3.3.	<i>Desafíos de la Medición Actual</i>	69
CAPÍTULO IV		71
DIMENSIONAMIENTO DE LA RED LORAWAN		71
4.1.	Cálculo de Cobertura	71
4.1.1.	<i>Métodos de Cálculo de Cobertura</i>	72
4.1.2.	<i>Análisis de las condiciones geográficas de Andahuaylas</i>	74
4.1.3.	<i>Arquitectura de comunicación LoRaWAN del alimentador AN-01</i>	76
4.1.4.	<i>Análisis de cobertura del protocolo LoRaWAN</i>	79
4.2.	Ubicación Óptima de los Gateways	81
4.2.1.	<i>Criterios para Determinar la Ubicación de Gateways</i>	81
4.2.2.	<i>Aplicación del algoritmo K-means para agrupamiento geográfico</i>	83
4.2.3.	<i>Análisis de zonas de cobertura y puntos críticos</i>	88
4.3.	Análisis de la capacidad de la Red	93
4.3.1.	<i>Cálculo de la Capacidad de Gateway para Red LoRaWAN en el Alimentador AN-01</i>	93
4.3.2.	<i>Caracterización de la Respuesta en Frecuencia</i>	97
4.3.3.	<i>Estudio del rendimiento de la red LoRaWAN bajo diversas cargas</i>	101
CAPÍTULO V		104
SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA RED LORAWAN		104
5.1.	Simulación de Cobertura con Radio Mobile	104
5.1.1.	<i>Descripción del software y su aplicación</i>	104
5.1.2.	<i>Resultados y análisis de la simulación</i>	106
5.2.	Evaluación del Rendimiento Teórico de la Red	112
5.2.1.	<i>Análisis de Enlace de Radio y Parámetros de Comunicación en Redes LoRaWAN</i>	112
5.2.2.	<i>Comparación de rendimiento con otras tecnologías de medición</i>	130

5.3. Factibilidad y Escalabilidad del Diseño	132
5.3.1. Escalabilidad de la infraestructura LoRaWAN en la Región	132
5.3.2. Evaluación de posibles ampliaciones y mejoras futuras	134
CAPÍTULO VI	137
EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED LORAWAN	137
6.1. Evaluación de Costos de Implementación	137
6.1.1. Estimación de Costos Iniciales (Hardware, Software, Instalación)	137
6.1.2. Costos Operativos y Mantenimiento	139
6.2. Costos del Sistema Tradicional	142
6.2.1. Costos de Lectura Presencial de Medidores	142
6.2.2. Costos de Corte y Reconexión de Suministro	146
6.2.3. Costos por Errores de Facturación y Reclamos	149
6.3. Análisis de Rentabilidad del Proyecto	151
6.3.1. Estimación del Flujo de Caja del Proyecto	151
6.3.2. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)	154
6.3.3. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)	155
6.3.4. Análisis del Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)	158
6.3.5. Análisis de Sensibilidad	159
6.4. Análisis de Beneficios Económicos	161
6.4.1. Ahorros Derivados de la Reducción de Perdidas no Técnicas	161
6.4.2. Mejoras en la Facturación y Gestión del Consumo Energético	163
6.4.3. Cuantificación de los beneficios energéticos derivados en la reducción de perdidas no técnicas	166
6.5. Evaluación del Impacto en la Eficiencia Operativa	168
6.5.1. Comparación de Eficiencia Antes y Después de la Implementación	168
CAPÍTULO VII	172
EVALUACIÓN EXPERIMENTAL MEDIANTE PRUEBA PILOTO	172
7.1. Desarrollo de la Prueba Piloto	172
7.1.1. Objetivo de la prueba piloto	172
7.1.2. Alcance de la Prueba Piloto	173
7.1.3. Justificación de la Prueba piloto	175
7.1.4. Simulación Previa de Cobertura con RadioMobile	177
7.2. Materiales y Equipos Utilizados en la Prueba Piloto	178
7.2.1. Gateway Kerlink iFemtoCell-evolution	178

7.2.2. <i>Nodos Finales</i>	179
7.2.3. <i>Software y Plataformas Utilizadas</i>	183
7.3. Metodología de la Prueba Piloto	185
7.3.1. <i>Etapas de Planificación</i>	185
7.3.2. <i>Configuración del Sistema LoRaWAN</i>	191
7.4. Resultados Experimentales	195
7.4.1. <i>Datos Recogidos en Campo</i>	195
7.4.2. <i>Interpretación de Parámetros técnicos</i>	198
7.5. Análisis Global del Desempeño	199
7.5.1. <i>Evaluación integral técnica y operativa</i>	199
CONCLUSIONES	204
RECOMENDACIONES	206
BIBLIOGRAFÍA	207
ANEXOS	212

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación Geográfica y área de Estudio	2
Figura 2 Análisis anual de las reconexiones en el sistema eléctrico	5
Figura 3 Distribución de clientes y redes eléctricas	27
Figura 4 Distribución energía eléctrica.....	28
Figura 5 Comercialización de electricidad	29
Figura 6 Proceso de validación y consistencia de datos previo a la facturación	31
Figura 7 Tipos de Medidores Eléctricos Utilizados.....	32
Figura 8 Diagrama de arquitectura AMI.....	35
Figura 9 Medidores inteligentes compatibles con LoRaWan	36
Figura 10 Infraestructura Energética del siglo XXI	37
Figura 11 Diagrama de cómo funciona la tecnología de lorawan.	39
Figura 12 Modelos de Gateways LoRaWAN: Milesight y Dragino	40
Figura 13 Servidor de Red the things stack (The Things Network)	41

Figura 14 Diagrama Clasificación de los dispositivos LoRaWAN	42
Figura 15 Protocolos de seguridad LoraWAN	44
Figura 16 Diagrama Unifilar del AMT AN-01	52
Figura 17 Distribución espacial de las redes eléctricas del alimentador AN-01 en Andahuaylas.....	53
Figura 18 Distribución espacial de las redes eléctricas del alimentador AN-01 San Jerónimo	55
Figura 19 Distribución espacial de las redes eléctricas del alimentador AN-01 Pacucha	56
Figura 20 Distribución espacial de las redes eléctricas del alimentador AN-01 Andarapa....	56
Figura 21 Mapas de elevación de las zonas de Andahuaylas, Pacucha y Andarapa	58
Figura 22 Caracterización según el Consumo de los tres Sectores.....	60
Figura 23 Evolución de suministros del Alimentador AN-01	61
Figura 24 Proyección de Suministros del Alimentador AN-0.....	62
Figura 25 Diagrama de Perdidas del Alimentador AN-01	64
Figura 26 Medidor con Conexión Clandestina (Puenteo)	66
Figura 27 Porcentajes de Medidores Antiguos	67
Figura 28 Proceso de Medición Convencional	70
Figura 29 Diagrama Unifilar de la Tecnología LoRaWAN	77
Figura 30 Diagrama de Análisis de Cobertura del sistema LoRaWAN	80
Figura 31 Ubicación óptima de Gateways mediante K-Means, Zona Pochccota.....	85
Figura 32 Ubicación optima de Gateway mediante K-Means, Zona San Jerónimo.....	86
Figura 33 Ubicación óptima de Gateways mediante K-Means, Zona Pacucha.....	87
Figura 34 Cobertura de señal simulada en RadioMobile Zona Pochccota	90
Figura 35 Cobertura de señal simulada en RadioMobile Zona San Jerónimo.....	91
Figura 36 Cobertura de señal simulada en RadioMobile Zona Pacucha	92

Figura 37 Funcionamiento de la Sub-Banda 2 (AU915)	98
Figura 39 Simulación de señal LoRaWAN con RadioMobile zona Pochccota	107
Figura 40 Simulación de señal LoRaWAN con RadioMobile zona San Jerónimo	108
Figura 41 Simulación de señal LoRaWAN con RadioMobile zona Andarapa y Huampica	109
Figura 42 Simulación de señal LoRaWAN con RadioMobile zona Anccopaccha y Churrubamba.....	110
Figura 43 Simulación de señal LoRaWAN con RadioMobile zona Illahuasi y Umaca.....	111
Figura 44 Simulación de enlace con Radio mobile	114
Figura 45 Parámetros de Sensibilidad y Selectividad.....	117
Figura 46 Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 1 y M1 de la zona Pochccota	119
Figura 47 Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 1 y M3 de la zona Pochccota	120
Figura 48 Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 1 y M3 de la zona San Jerónimo.....	121
Figura 49 Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 2 y M7 de la zona San Jerónimo.....	122
Figura 50 Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 2 y M.1-2 zona Pacucha	123
Figura 51 Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 5 y M.11-12 zona Anccopaccha.....	124
Figura 52 Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 6 y M.4-5 zona Churrubamba.....	125
Figura 53 Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 4 y M.13-14 zona San Martin.....	126

Figura 54 Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 4 y M.15-16 zona Huampica	127
Figura 55 Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 4 y M.17 zona Chuspi	128
Figura 55 Disposición física de la prueba piloto	172
Figura 56 Parámetros de Desempeño de la Tecnología LoRaWAN	175
Figura 57 Simulación Teórica con RadioMobile.....	178
Figura 58 Gateway Kerlink iFentoCell-evolution	179
Figura 59 Sensor Dragino LoRaWAN.....	180
Figura 60 Modulo Heltec EPS32 Lora (Armado).....	181
Figura 61 Power Bank 12V, Cargador de 3.7V	182
Figura 62 Medidor de Electricidad LoRaWAN Monofásico.....	183
Figura 63 Plataforma Lorient Network Server	184
Figura 64 Programación en el Software Arduino IDE	185
Figura 65 Mapa de Google Earth con los puntos de prueba.....	186
Figura 66 Configuración del Gateway Kerlink.....	192
Figura 67 Gateway Kerlink Configurado en LORIENT	193
Figura 68 Programación del Heltec LoRa32 V3	194
Figura 69 Desempeño Global de la Prueba piloto	202

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cuadro de perdidas en la distribución eléctrica de Electro Sur Este, sede Andahuaylas.....	4
Tabla 2 Matriz de operacionalización de Variables: Independiente-Dependiente	14
Tabla 3 Cronograma de Actividades (4 meses)	19
Tabla 4 Presupuesto Estimado de la Tesis	19

Tabla 5 Matriz de Consistencia.....	20
Tabla 6 Cuadro comparativo de tecnologías de comunicación de AMI	34
Tabla 7 Comparativa entre LoRaWAN y Otras Tecnologías de Comunicación para IoT	45
Tabla 8 Características de Medidores Monofásicos	51
Tabla 9 Características de Medidores Monofásicos	53
Tabla 10 Características de Medidores Trifásicos	54
Tabla 11 Principales métodos de hurto de energía en Andahuaylas.....	65
Tabla 12 Comparativa de Modelos de evaluación de señal LoraWAN	74
Tabla 13 Resumen de Criterios de verificación de Cobertura	83
Tabla 14 Coordenadas de ubicación para Gateways G1 y G2 zona de Pochccota	86
Tabla 15 Coordenadas de ubicación para Gateways (G1-G4) zona de San Jerónimo.....	87
Tabla 16 Coordenadas de los ocho Gateways (G1-G8) zona rural de Pacucha.....	88
Tabla 17 Puntos críticos de Cobertura Identificados	90
Tabla 18 Parámetros realistas para dimensionamiento AMI LoRaWAN.....	94
Tabla 19 Tiempo de Ocupación por Nodo (96 Mensajes/Día)	94
Tabla 20 Tiempo En Aire Real Por Sf	95
Tabla 21 Capacidad Práctica Por Gateway	95
Tabla 22 Dimensionamiento corregido para AN-01	96
Tabla 23 Parámetros técnicos de operaciones de los medidores	97
Tabla 24 Datos técnicos del Gateway UG-67.....	97
Tabla 25 Ventajas de Usar el Software RadioMobile.....	105
Tabla 26 Datos técnicos Utilizados en la simulación	105
Tabla 27 Niveles de intensidad de señal (RSSI) y calidad de cobertura LoRaWAN	107
Tabla 28 Parámetros de Enlace de la Red LoraWAN.....	113
Tabla 29 Indicadores Técnicos para Evaluar la red LoraWAN	114

Tabla 30 Niveles de Señal Recibida (Rx Level) Simulada.....	118
Tabla 31 Pérdidas por Trayectoria (Path Loss) Simulada.....	118
Tabla 32 Comparación técnica de Parámetros de Tecnologías.....	130
Tabla 33 Factores de Escalabilidad en Andahuaylas.....	132
Tabla 34 Capacidad de Crecimiento Proyectado	133
Tabla 35 Comparación con otras Tecnologías en Escalabilidad.....	134
Tabla 36 Ampliaciones Funcionales de la Red LoraWAN.....	135
Tabla 37 Mejoras Tecnológicas Proyectadas.....	136
Tabla 38 Hardwares Requeridos	137
Tabla 39 Software y Plataforma de Gestión	138
Tabla 40 Costos de Instalación y Configuración	138
Tabla 41 Costo Total de Implementación	138
Tabla 42 Costos Operativos Estimados Anualmente	140
Tabla 43 Costos de Mantenimiento Correctivo y Preventivo	141
Tabla 44 Costo Operativo Total Anual	141
Tabla 45 Costo del Personal en Campo	143
Tabla 46 Costo de Movilidad y Transporte	143
Tabla 47 Costos Administrativos y Logísticos	144
Tabla 48 Costo por Errores de Lectura y Refacturación.....	144
Tabla 49 Capacitación y Supervisión del Personal.....	145
Tabla 50 Resumen de Costos	145
Tabla 51 Proyección Anual de Costos de Lecturas Tradicionales.....	146
Tabla 52 Costos Directos por Corte de Suministro.....	147
Tabla 53 Costos Directos por Reconexión del Suministro	148
Tabla 54 Costo Total Mensual de Corte + Reconexión.....	148

Tabla 55 Proyección de Costos Anual	148
Tabla 56 Costos Operativos por Errores de Facturación	150
Tabla 57 Costos Administrativos por Gestión de Reclamos.....	150
Tabla 58 Resumen de Costos Mensuales.....	151
Tabla 59 Proyección Anual (Ajustada).....	151
Tabla 60 Cuadro de Datos Técnicos y Financieros.....	152
Tabla 61 Flujo de Caja Proyectado de la Implementación	153
Tabla 62 Cálculo del VAN (Año por Año).....	155
Tabla 63 Cálculo del TIR.....	156
Tabla 64 Cálculo del PRI con flujos descontados (Payback descontado)	159
Tabla 65 Escenarios Planteados del Proyecto.....	160
Tabla 66 Situación Actual del Alimentador AN-01.....	162
Tabla 67 Reducciones Proyectadas tras la Implementación	162
Tabla 68 Resumen de flujos económicos, ahorros proyectados e impacto financiero	163
Tabla 69 funcionalidades del sistema de medición inteligente y beneficios para el usuario final	165
Tabla 70 Factores de impacto económico directo y mejoras en la eficiencia operativa	165
Tabla 71 Escenarios de reducción de pérdidas no técnicas mediante la implementación de AMI-LoRaWAN	166
Tabla 72 Beneficio económico asociado a la recuperación de energía mediante AMI- LoRaWAN.....	167
Tabla 73 Indicadores Clave de Eficiencia.....	168
Tabla 74 Valores antes y después de la implementación.....	168
Tabla 75 Datos Técnicos del Gateway Kerlink	179
Tabla 76 Sensor LoRaWAN Multipropósito	180

Tabla 77 Parámetros del Módulo Heltec EPS32 Lora	181
Tabla 78 Herramientas de alimentación y carga para los dispositivos de la prueba piloto ..	182
Tabla 79 Datos de Medidor de Electricidad monofásico	183
Tabla 80 Softwares y Plataformas Utilizados en la Prueba Piloto.....	184
Tabla 81 Puntos de Prueba Piloto Zona Pochccota.....	188
Tabla 82 Punto de Prueba Piloto Zona San Jerónimo.....	188
Tabla 83 Punto de Prueba Piloto de la Zona Rural 1	189
Tabla 84 Punto de Prueba Piloto de la Zona Rural 2	190
Tabla 85 Tiempo Estimado de la Prueba Piloto.....	191
Tabla 86 Cronograma General de Actividades	191
Tabla 87 Parámetros de la Prueba Piloto Zona San Jerónimo	196
Tabla 88 Parámetros de la Prueba Piloto Zona Pochccota.....	196
Tabla 89 Parámetros de la Prueba Piloto de la Zona Rural 1	197
Tabla 90 Parámetros de la Prueba Piloto de la Zona Rural 2	198
Tabla 91 Rangos de interpretación del RSSI	198
Tabla 92 Rango de Interpretación del SNR	199

INTRODUCCIÓN

La modernización de los sistemas eléctricos ha impulsado la incorporación de tecnologías inteligentes orientadas a optimizar la gestión del consumo energético, mejorar la eficiencia operativa y reducir pérdidas en la distribución eléctrica. En este contexto, los medidores inteligentes representan una herramienta fundamental para automatizar la lectura de consumos, fortalecer el monitoreo en tiempo real y garantizar una facturación más precisa.

En el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, aún se emplean sistemas de medición convencionales que presentan limitaciones operativas, elevados tiempos de atención en procesos de lectura, cortes y reconexiones, así como pérdidas no técnicas que afectan la eficiencia del servicio eléctrico. Esta situación evidencia la necesidad de implementar soluciones tecnológicas que permitan modernizar el sistema de medición y optimizar la gestión energética.

Entre las tecnologías disponibles para redes de medición inteligente, LoRaWAN destaca por su capacidad de transmisión de datos a largas distancias, bajo consumo energético y adecuada adaptación a entornos urbanos y rurales con infraestructura de telecomunicaciones limitada. Estas características la convierten en una alternativa viable para sistemas de monitoreo remoto y automatización de procesos eléctricos.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la factibilidad técnica y económica de implementar medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas. Para ello, se realizaron simulaciones técnicas, pruebas piloto y análisis económico-financieros orientados a determinar la viabilidad del sistema. Se espera que los resultados contribuyan a mejorar la eficiencia operativa, reducir pérdidas no técnicas y fortalecer la calidad del servicio eléctrico en la región.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Ámbito Geográfico

El estudio se centra en el área de influencia del alimentador AN01, gestionado por Electro Sur Este SAA, ubicado en la provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac (Perú). La zona de estudio comprende los territorios de los distritos de Andahuaylas, San Jerónimo, Pacucha y Andarapa. los límites son los siguientes:

- **Norte:** Río Chumbao y quebrada de Ccayara (límite con San Jerónimo).
- **Este:** Laguna de Pacucha y nevado Qarwarssu (límite con Pacucha).
- **Sur:** Carretera PE-30C y zonas agrícolas (Andahuaylas rural).
- **Oeste:** Cordillera de Huallhua y cerro Huayao (límite con Huancabamba).

Para una referencia geoespacial precisa, se destacan las siguientes coordenadas dentro del área de influencia: Punto clave en el límite norte: Latitud -13.6492° , Longitud -73.3637° .

Figura 1
Ubicación Geográfica y área de Estudio



Fuente. Elaboración propia

1.2. Planteamiento del Problema

En la ciudad de Andahuaylas, la empresa Electro Sur Este S.A.A. enfrenta desafíos críticos en su infraestructura de medición eléctrica. Actualmente, el sistema opera predominantemente con medidores electromecánicos que han superado su vida útil, con una antigüedad promedio de 18 años. Esta obsolescencia tecnológica genera una brecha significativa frente a los estándares modernos de redes inteligentes, comprometiendo la confiabilidad de la información técnica y la calidad del servicio, tal como lo exige la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE). Diversos estudios señalan que estos sistemas de medición tradicionales presentan mayores márgenes de error y una capacidad de gestión limitada frente a escenarios de crecimiento de la demanda y dispersión geográfica de los usuarios (Güngör et al., 2013; Farhangi, 2010).

La gestión operativa actual se caracteriza por procesos manuales que demandan aproximadamente seis días operativos para completar el ciclo de lectura, validación y facturación. Esta dependencia del factor humano no solo eleva los costos operativos por el despliegue de personal en campo, sino que incrementa la vulnerabilidad del sistema ante errores de registro y limita la detección temprana de pérdidas no técnicas, reduciendo la eficiencia global en los procesos de control del servicio.

Esta problemática alcanza su punto más crítico en el alimentador AN-01. Según se detalla en la Tabla 1, este alimentador registra el índice más alto de pérdidas no técnicas en la sede, alcanzando un 7.88% de la energía comprada, lo que representa una pérdida de 835.5 MWh anuales. Al analizar la discriminación de estas pérdidas, se observa que los consumos no autorizados representan el 5.32%, seguidos por la vulneración de condiciones con un 2.36%. Estas cifras reflejan la ineficacia de los sistemas de medición actuales para detectar o mitigar irregularidades de forma automática.

Tabla 1*Cuadro de perdidas en la distribución eléctrica de Electro Sur Este, sede Andahuaylas*

DISCRIMINACIÓN DE PERDIDAS 2024 (MWh/%)								
CONCEPTO	UND.	AN01	AN02	AN03	AN04	AN05	AN06	ANDAHUAYLAS
COMPRA EN DISTRIBUCIÓN	MWh	10,601	19,405	13,220	9,907	2,474	2,421	58,028
I. PERDIDAS TÉCNICAS	MWh	853.4	1,371	1,169	1,091	228	291	5,003
	%	8.05	7.06	8.84	11.02	9.21	12.01	8.622%
1.3 REDES DE MEDIA TENSIÓN	MWh	182	287	297	357	21	84	1,229
	%	1.72	1.48	2.25	3.60	0.84	3.49	2.117%
1.4 SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN	MWh	197	252	317	248	74	71	1,160
	%	1.85	1.30	2.40	2.50	3.00	2.95	1.998%
1.5 REDES DE BAJA TENSIÓN	MWh	384	704	479	359	90	88	2,104
	%	3.63	3.63	3.63	3.63	3.63	3.63	3.630%
1.6 SISTEMAS DE MEDICIÓN	MWh	87	122	72	125	43	47	496
	%	0.82	0.63	0.54	1.26	1.72	1.92	0.854%
1.7 ACOMETIDAS	MWh	3	5	4	3	1	1	16
	%	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.027%
II. PERDIDAS NO-TÉCNICAS	MWh	835.5	-22	376	553	197	190	2,128
	%	7.88	-0.11	2.84	5.58	7.95	7.83	3.67%
2.1 ERRORES EN SISTEMAS DE MEDICIÓN	MWh	22	40	27	20	5	5	118
	%	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.204%
2.2 CONSUMOS NO AUTORIZADOS	MWh	564	-43	242	369	133	128	1,392
	%	5.32	-0.22	1.83	3.72	5.36	5.28	2.40%
2.3 VULNERACIÓN DE CONDICIONES	MWh	250	-19	107	164	59	57	618
	%	2.36	-0.10	0.81	1.65	2.38	2.34	1.065%
TOTAL PERDIDAS DISTRIBUCIÓN	MWh	1,689	1,349	1,545	1,644	425	480	7,132
	%							12.290%

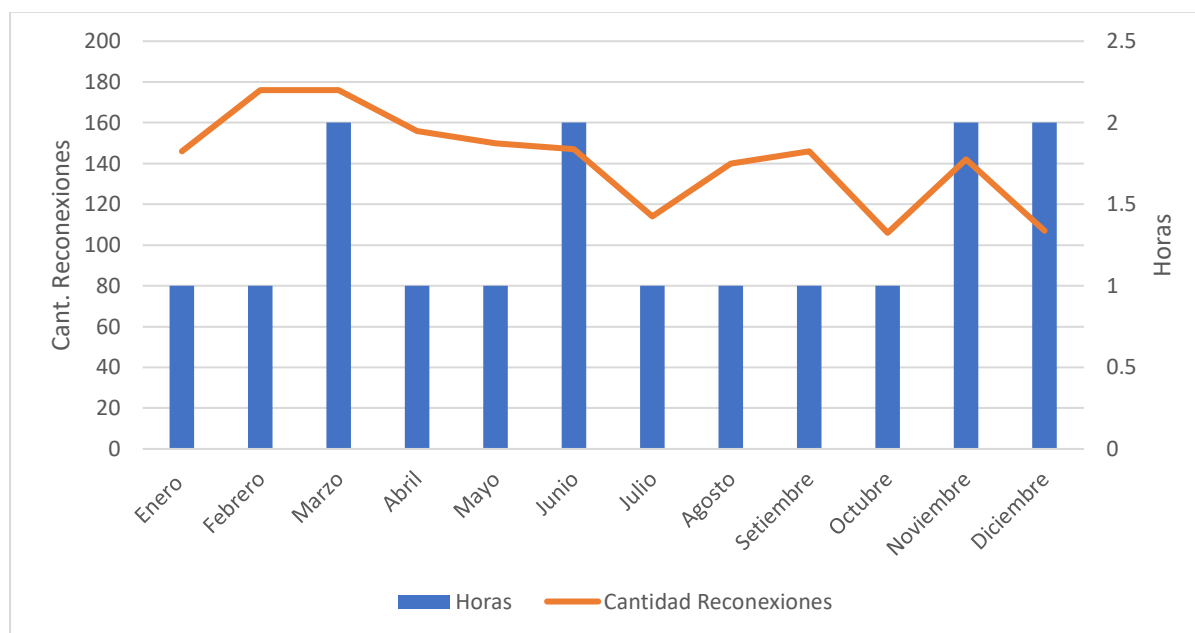
Fuente. Discriminación de perdidas 2024 (ELSE)

Asimismo, la eficiencia operativa se ve mermada en la gestión de incidencias. Como se muestra en la Figura 2, el análisis anual de las reconexiones revela tiempos de atención que oscilan entre los 60 y 120 minutos por usuario, debido a la necesidad de desplazamientos físicos de cuadrillas técnicas. Esta demora, que se agrava en zonas con orografía accidentada, impacta

negativamente en los indicadores de continuidad del suministro y eleva el número de reclamos de los usuarios.

Figura 2

Análisis anual de las reconexiones en el sistema eléctrico



Fuente. Elaboración propia con la información adaptada de Sistema Informático (SIELSE).

Desde una perspectiva técnica, el sistema debe evolucionar hacia un modelo inteligente capaz de proporcionar datos en tiempo real. Las redes de área amplia y baja potencia, como LoRaWAN, han demostrado ser una alternativa técnica viable para sistemas de distribución eléctrica, al permitir una transmisión de datos eficiente en zonas con infraestructura de telecomunicaciones limitada (Centenaro et al., 2016; LoRa Alliance, 2023).

De no abordarse esta modernización, Electro Sur Este S.A.A. continuará enfrentando incrementos progresivos en las pérdidas no técnicas y costos operativos cada vez más elevados. En el mediano y largo plazo, la falta de innovación tecnológica podría restringir el cumplimiento de los estándares regulatorios y comprometer la sostenibilidad económica del servicio eléctrico en el alimentador AN-01, afectando tanto a la rentabilidad de la empresa como a la calidad del servicio brindado a los usuarios finales (International Energy Agency [IEA], 2022).

1.3. Formulación del Problema

1.3.1. Problema general

¿Es factible técnica y económicamente la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las limitaciones del proceso de medición convencional en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas?
- ¿Cuál es la capacidad de cobertura y conectividad que ofrece la tecnología LoRaWAN para el dimensionamiento de una red de medidores inteligentes en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas?
- ¿Cuál es el desempeño de la tecnología LoRaWAN en condiciones reales de operación durante la prueba piloto realizada en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., en términos de calidad y estabilidad de la señal?
- ¿Es técnica y económicamente viable la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Evaluar la factibilidad técnica y económica de la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar las limitaciones del proceso de medición convencional en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, en las lecturas, cortes, reconexiones y

facturación.

- Evaluar la capacidad de cobertura y conectividad de la tecnología LoRaWAN para el dimensionamiento de una red de medidores inteligentes en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas.
- Evaluar el desempeño de la tecnología LoRaWAN en condiciones reales de operación durante la prueba piloto realizada en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., en términos de calidad y estabilidad de la señal.
- Evaluar la viabilidad técnica y económica de implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas.

1.5. Justificación

1.5.1. Justificación técnica

La implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, se justifica técnicamente por las limitaciones del sistema de medición convencional, que presenta baja eficiencia operativa y dificultades en la detección de pérdidas no técnicas. La tecnología LoRaWAN ofrece transmisión remota de datos, amplia cobertura, siendo adecuada para zonas con infraestructura limitada. La investigación evalúa la factibilidad técnica considerando la cobertura, la infraestructura existente y su impacto en la eficiencia operativa. Si bien la tecnología LoRaWAN no requiere que los dispositivos finales cuenten con acceso directo a Internet, su arquitectura sí demanda la existencia de un canal de comunicación de respaldo (backhaul) que permita el envío de los datos desde los gateways hacia un servidor de red para su procesamiento y gestión. Dicho backhaul puede implementarse mediante Internet pública, redes privadas, enlaces dedicados o infraestructura local,

por lo que la dependencia no es estrictamente hacia proveedores externos de Internet, sino hacia algún medio de conectividad IP que garantice la operación del sistema. En este sentido, LoRaWAN ofrece flexibilidad para desplegar redes privadas locales, reduciendo la dependencia de terceros y permitiendo su implementación en zonas con limitada conectividad, como áreas rurales o periurbanas, siempre que se disponga de una infraestructura mínima de comunicación entre gateways y el servidor de red Centenaro et al., 2016; LoRa Alliance (2023).

1.5.2. Justificación Social

La mejora en la gestión del suministro eléctrico tiene un impacto directo en la calidad de vida de la población. La implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN01 permitiría ofrecer un servicio más confiable, preciso y transparente para los usuarios, al reducir errores en la medición, eliminar estimaciones injustas y permitir una facturación más exacta. Esto favorece tanto a los usuarios residenciales como a pequeñas empresas, promoviendo una relación más equitativa entre la empresa y la comunidad.

Además, el uso de tecnologías como LoRaWAN impulsa la modernización del sistema eléctrico regional y promueve el acceso a servicios públicos más eficientes e innovadores. A largo plazo, este tipo de implementación puede fortalecer la cultura de uso responsable de la energía, facilitar la inclusión tecnológica y servir como modelo replicable en otras zonas similares, contribuyendo así al desarrollo sostenible y al bienestar social en la región de Andahuaylas.

1.5.3. Justificación Económica

La implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 se justifica económicamente por la reducción de costos operativos, la mejora en la facturación y el control de ingresos. Aunque la inversión inicial es significativa, los beneficios económicos a mediano y largo plazo, asociados a la automatización, reducción de fraudes y

optimización del personal, permiten evaluar positivamente la rentabilidad de la modernización del sistema de medición en la sede Andahuaylas.

1.5.4. Justificación Académica

En la presente investigación representa un aporte significativo al ámbito académico de la ingeniería eléctrica, al analizar la factibilidad técnica de implementar un sistema de medición inteligente en el alimentador AN01 de Electro Sur Este S.A.A. – Andahuaylas. Este estudio permite profundizar en el uso de tecnologías emergentes de comunicación para mejorar los sistemas de lectura remota, optimizando la gestión de la energía eléctrica y promoviendo una mayor eficiencia operativa.

El trabajo se justifica por su enfoque técnico basado en simulaciones y modelamientos que evalúan aspectos clave como la cobertura de señal, la propagación en diferentes condiciones geográficas, la presencia de interferencias y el comportamiento de múltiples dispositivos en simultáneo. Dichos elementos son fundamentales para el diseño e implementación de sistemas modernos de medición en zonas con topografía variada, como es el caso de Andahuaylas.

Asimismo, esta investigación contribuye a la formación académica del estudiante, integrando conocimientos sobre redes eléctricas, sistemas de comunicación y análisis de datos. Esta combinación de saberes refuerza la capacidad analítica y técnica, preparando al futuro profesional para afrontar los retos del sector eléctrico en contextos reales.

Además, los resultados obtenidos pueden servir de referencia para futuras investigaciones y proyectos similares, tanto a nivel regional como nacional, consolidando el vínculo entre la investigación académica y su aplicación práctica en el desarrollo tecnológico del país.

1.5.5. Justificación Practica

La implementación de un sistema de medición inteligente en el alimentador AN-01 permite

optimizar la gestión operativa mediante lecturas remotas en tiempo real, reducción de errores y detección temprana de fallas o pérdidas no técnicas. La automatización de procesos y la mejora en la planificación del suministro eléctrico fortalecen la eficiencia institucional y la calidad del servicio, además de promover transparencia y mayor satisfacción del usuario.

1.6. Alcances y Limitaciones

1.6.1. Alcances de la Investigación

Este estudio analiza la factibilidad técnico-económica de implementar medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas. Para ello, se evaluará el sistema de medición actual, se realizarán simulaciones de cobertura, una prueba piloto y un análisis económico, con el propósito de mejorar la eficiencia operativa y reducir las pérdidas no técnicas en la red. El alcance del estudio se divide en las siguientes áreas:

Diagnóstico del sistema de medición actual

Se analizará el sistema de medición convencional actualmente utilizado en el alimentador AN01, identificando sus principales limitaciones, como la lectura manual, la limitada supervisión remota y las dificultades para detectar pérdidas no técnicas. Este análisis permitirá justificar la necesidad de implementar un sistema de medición inteligente.

Evaluación técnica de la implementación LoRaWAN

Se desarrollarán simulaciones y análisis técnicos para evaluar la cobertura, conectividad y desempeño de la tecnología LoRaWAN en el área del alimentador AN01, considerando las características geográficas y operativas de la zona de estudio.

Validación mediante prueba piloto

Se realizará una prueba piloto utilizando un gateway y un sensor inteligente LoRaWAN

para evaluar el comportamiento de la tecnología en condiciones reales de operación. Durante las pruebas se analizarán parámetros como RSSI, SNR y estabilidad de señal, con el fin de validar la calidad de comunicación y cobertura obtenidas.

Análisis de viabilidad económica

Se estimarán los costos asociados a la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN, así como los beneficios económicos esperados, tales como la reducción de pérdidas no técnicas y costos operativos. Además, se aplicarán indicadores financieros como el VAN, la TIR y el período de recuperación para determinar la rentabilidad del proyecto.

1.6.2. Limitaciones de la Investigación

En el desarrollo de esta investigación se identifican las siguientes limitaciones que deben ser consideradas al interpretar los resultados y conclusiones:

No Comparación con Otras Tecnologías de Comunicación

La investigación se centra exclusivamente en el análisis de la tecnología LoRaWAN como solución de conectividad para sistemas de medición inteligente. No se incluye un estudio comparativo detallado con otras tecnologías disponibles en el mercado, tales como NB-IoT, Sigfox, GPRS o LTE-M, las cuales también son aplicables a sistemas AMI (Infraestructura de Medición Avanzada). Esta delimitación responde a la intención de profundizar en una sola tecnología para evaluar su viabilidad en el contexto específico del alimentador AN01.

Alcance Geográfico Restringido

El análisis está restringido al alimentador AN01 de Electro Sur Este SAA, sede Andahuaylas, que abarca los distritos de Andahuaylas, San Jerónimo, Pacucha y Andarapa. Los resultados obtenidos no pueden extrapolarse automáticamente a otros alimentadores o zonas geográficas, ya que cada contexto presenta condiciones técnicas, topográficas y operativas

distintas.

Limitaciones Técnicas Específicas Evaluadas

La evaluación técnica del presente estudio se enfocará principalmente en el análisis de la cobertura de red, las condiciones de propagación de la señal y la presencia de posibles interferencias que puedan afectar el desempeño de la tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01.

No formarán parte del alcance de esta investigación aspectos de mayor complejidad como:

- La evaluación de mecanismos avanzados de ciberseguridad,
- El análisis detallado de interoperabilidad con los sistemas internos de gestión y facturación de Electro Sur Este S.A.A., ni
- La gestión integral del ciclo de vida de los medidores inteligentes (instalación, mantenimiento, reemplazo y disposición final).

Estos componentes se reconocen como relevantes para una implementación a gran escala; sin embargo, exceden los objetivos y el nivel de profundidad técnico-económico planteado en el presente estudio de factibilidad.

Evaluación Económica Basada en Supuestos y Estimaciones

El análisis económico se basa en supuestos realistas obtenidos de cotizaciones de mercado, fuentes documentales y experiencias previas, pero no representa necesariamente costos exactos en caso de ejecución real. Cabe señalar que es una investigación de índole académica.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis General

La implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, es factible tanto técnica como económicamente, y contribuiría a optimizar la eficiencia y precisión del proceso de medición.

1.7.2. Hipótesis Específicas

- El proceso de medición convencional en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, presenta limitaciones en la precisión de las lecturas, la eficiencia en los cortes y reconexiones, y la efectividad en el proceso de facturación.
- La tecnología LoRaWAN ofrece una cobertura y capacidad de comunicación adecuadas para el dimensionamiento de una red de medidores inteligentes en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas.
- La tecnología LoRaWAN presenta un desempeño eficiente en condiciones reales de operación durante la prueba piloto realizada en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., permitiendo mantener una comunicación estable entre el gateway y los nodos finales.
- La implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, será técnica y económicamente viable debido a la reducción de costos operativos y optimización de recursos.

Operacionalización de Variables

Tabla 2

Matriz de operacionalización de Variables: Independiente-Dependiente

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Implementación de Medidores Inteligentes con Tecnología LoRaWAN	La implementación de medidores inteligentes con LoRaWAN es el uso de una red IoT inalámbrica de baja potencia y largo alcance para medir y transmitir datos eléctricos como consumo y voltaje. Esta tecnología opera en bandas no licenciadas, ofreciendo bajo consumo energético y buena cobertura en áreas urbanas, lo que permite una gestión eficiente y automatizada. (Piechowiak, Zwierzykowski, & Musznicki, 2023).	Instalación y configuración de los medidores inteligentes con la tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A.	• Capacidad de comunicación • Integración operativa con el sistema	• Alcance de señal • Intensidad de señal recibida • frecuencia de envío de datos • Nivel de interoperabilidad • Sincronización con red • Nivel de automatización
Factibilidad Técnico-Económica	Evaluación que determina si un proyecto tecnológico puede ser implementado con los recursos técnicos disponibles y si es rentable financieramente, garantizando su viabilidad y sostenibilidad mediante indicadores como la tasa interna de retorno y el tiempo de recuperación de la inversión (Ramírez, 2010).	Evaluación del impacto y la factibilidad de implementar los medidores inteligentes en términos técnicos y económicos.	• Compatibilidad tecnológica • Eficiencia de operación • Escalabilidad • Económica	• Facilidad de integración • Calidad de los datos generados • Reducción de pérdidas no técnicas • Capacidad de expansión • Adaptabilidad a nuevas zonas • VAN, TIR y PRI • Costo-beneficio del sistema

Fuente. Elaboración propia

1.8. Metodología de la Investigación

1.8.1. Enfoque de Investigación

La presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, debido a que se orienta al análisis objetivo y medible de la factibilidad técnica y económica para la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas. Este enfoque se fundamenta en la recopilación y análisis de datos numéricos obtenidos mediante simulaciones técnicas de cobertura y desempeño de la red LoRaWAN, evaluaciones de infraestructura existente y análisis económico-financiero.

El uso del enfoque cuantitativo permite aplicar métodos de medición, modelamiento y evaluación de indicadores técnicos y económicos, generando resultados verificables y reproducibles. De esta manera, las conclusiones del estudio se sustentan en evidencia empírica, lo que contribuye a una evaluación objetiva de la viabilidad de la solución tecnológica propuesta.

1.8.2. Tipo de Investigación

La investigación es de tipo descriptiva y explicativa, ya que se orienta, en primer lugar, a caracterizar las condiciones técnicas del sistema de medición inteligente basado en tecnología LoRaWAN y, en segundo lugar, a explicar la relación causa-efecto asociada a su factibilidad técnica y económica en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas.

Desde el enfoque descriptivo, se analizan variables técnicas como la cobertura de la red, la propagación de la señal y la presencia de interferencias, mediante simulaciones técnicas y pruebas piloto controladas. Desde el enfoque explicativo, se evalúa la viabilidad económica de la propuesta a través del análisis de indicadores financieros, tales como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación beneficio-costos, con el propósito de determinar de manera objetiva la conveniencia de la implementación del sistema.

1.8.3. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es descriptivo–correlacional, debido a que se orienta a caracterizar las condiciones técnicas y económicas del sistema de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN y, simultáneamente, a analizar la relación existente entre variables técnicas y económicas, tales como la cobertura de la red, el desempeño de la señal y la rentabilidad del proyecto, sin manipulación directa de las variables.

Este nivel de investigación permite obtener información detallada, medible y cuantificable, facilitando la identificación de asociaciones entre las variables estudiadas y respaldando una evaluación objetiva de la factibilidad técnica y económica de la propuesta de implementación en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas.

1.8.4. Población

La población de la presente investigación está conformada por 10 169 usuarios del servicio eléctrico y por los componentes del sistema de medición eléctrica asociados al alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas. Asimismo, se considera como parte de la población la infraestructura técnica y operativa vinculada al proceso de medición y distribución de energía eléctrica dentro del área de influencia del alimentador.

Esta población representa el universo de análisis sobre el cual se evalúan las condiciones técnicas y económicas relacionadas con la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN, permitiendo una evaluación integral del sistema de medición existente.

1.8.5. Muestra

La muestra de estudio es de tipo no probabilística, conformada por puntos críticos seleccionados en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, donde se espera que la cobertura de red, la propagación de señales o el desempeño del sistema puedan

verse comprometidos. Estos puntos fueron elegidos con base en criterios técnicos para garantizar que la evaluación mediante simulaciones y pruebas piloto refleje las condiciones más desafiantes del distrito, permitiendo validar de manera objetiva la eficacia de los medidores inteligentes en distintos escenarios.

1.9. Técnicas y Recolección de Datos

La recolección de datos se realiza mediante técnicas cuantitativas, incluyendo simulaciones técnicas para evaluar cobertura de red, propagación de señales e interferencias, pruebas piloto en puntos críticos para validar el desempeño del sistema en campo, y análisis económico mediante indicadores como VAN, TIR y relación costo-beneficio. Estas técnicas permiten obtener información objetiva, medible y verificable, sustentando de manera confiable las conclusiones de la investigación.

1.9.1. *Revisión documental*

La revisión documental consiste en la recopilación, análisis y sistematización de información proveniente de fuentes secundarias como libros, artículos científicos, normas técnicas, informes de empresas y publicaciones especializadas en medidores inteligentes, redes LoRaWAN y análisis económico de proyectos tecnológicos. Esta técnica permite obtener un marco teórico sólido, identificar estudios previos, conocer experiencias similares y sustentar la investigación con información confiable y actualizada.

1.10. Procesamiento de Datos

El procesamiento de datos consiste en organizar, clasificar y analizar la información obtenida mediante las técnicas de recolección de datos, con el fin de transformar los resultados en información útil para la evaluación de la factibilidad técnica y económica del proyecto. Este proceso permite interpretar los resultados de manera objetiva y sistemática, asegurando la validez de las conclusiones de la investigación.

1.10.1. Procesamiento de datos Análisis de Factibilidad Técnica

Para el análisis de la factibilidad técnica, los datos obtenidos de simulaciones y pruebas piloto se procesan mediante herramientas y métodos cuantitativos que permiten evaluar de manera integral la cobertura de red, la propagación de señales, las interferencias y el desempeño general del sistema de medidores inteligentes. Los resultados se presentan en tablas, gráficos y mapas, facilitando la identificación de puntos críticos donde la señal o la cobertura proporcionada por los gateways pueda estar comprometida. Esta información garantiza una evaluación objetiva y precisa del rendimiento técnico del sistema y sirve como base para la optimización de la ubicación de los gateways y la planificación de mejoras en la infraestructura de la red.

1.10.2. Procesamiento de datos Análisis de Viabilidad Económica

Para el análisis de viabilidad económica, los datos recopilados se procesan mediante métodos cuantitativos que permiten evaluar la rentabilidad y sostenibilidad financiera del proyecto de implementación de medidores inteligentes. Se consideran los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como los beneficios esperados derivados de la reducción de pérdidas no técnicas, mejoras en la eficiencia operativa y optimización de la gestión de la red. A partir de esta información se calculan indicadores financieros como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y la relación costo-beneficio, cuyos resultados se presentan en tablas y gráficos para facilitar la interpretación y la toma de decisiones fundamentadas sobre la implementación y escalabilidad del sistema.

1.11. Cronograma de actividades

Tabla 3

Cronograma de Actividades (4 meses)

Nº	Actividades	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
1	Revisión bibliográfica y recopilación de antecedentes	X	X						
2	Definición del problema, objetivos e hipótesis	X	X						
3	Elaboración del marco teórico	X	X	X					
4	Diseño metodológico y selección de herramientas de análisis		X	X	X				
5	Trabajo de campo y recopilación de datos			X	X	X			
6	Implementación de la red LoRaWAN					X	X		
7	Simulación y análisis de viabilidad técnica y económica				X	X	X		
8	Análisis de resultados y elaboración de discusión					X	X	X	
9	Redacción y estructuración del documento final					X	X	X	
10	Revisión y corrección del documento							X	X
11	Sustentación y presentación final								X

Tabla 4

Presupuesto Estimado de la Tesis

Nº	Descripción del Gasto	Costo Unitario (S/.)	Cant	Total (S/.)
1	Material bibliográfico (libros, artículos, normas técnicas)	100	1	100
2	Software de simulación y de análisis	50	1	50
3	Equipos de medición y pruebas eléctricas	100	1	100
4	Adquisición de Gateway LoRaWAN	2000	1	2,000
5	Sensores LoRaWAN (temperatura, humedad, etc.)	650	1	650
7	Instalación y configuración de la infraestructura LoRaWAN	120	1	120
8	Transporte para visitas técnicas y recopilación de datos	500	3	1500
9	Impresión y encuadernación de la tesis	30	5	150
10	Cursos o capacitaciones	480	1	480
11	Otros gastos (papelería, insumos varios)	100	1	100
Total				5,250

Matrix de Consistencia
Tabla 5
Matriz de Consistencia.

" ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES CON TECNOLOGÍA LORAWAN EN EL ALIMENTADOR AN-01 DE ELECTRO SUR ESTE S.A.A, SEDE ANDAHUAYLAS "				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología
PG: ¿Es factible técnica y económicamente la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas?	OG: Evaluar la factibilidad técnica y económica de la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas.	HG: La implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, es factible tanto técnica como económicamente, y contribuiría a optimizar la eficiencia y precisión del proceso de medición.	IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDORES INTELIGENTES CON TECNOLOGÍA LORAWAN • Alcance de señal • Intensidad de señal recibida • frecuencia de envío de datos • Nivel de interoperabilidad • Sincronización con red • Nivel de automatización FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA • Nivel de interoperabilidad • Calidad de los datos generados • Reducción de pérdidas no técnicas • Capacidad de expansión • Adaptabilidad a nuevas zonas • VAN, TIR y PRI • Costo-beneficio del sistema	Población: 10,169 usuarios y los componentes del sistema de medición eléctrica del alimentador AN-01.
PE1: ¿Cuáles son las limitaciones del proceso de medición convencional en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas?	OE1: Identificar las limitaciones del proceso de medición convencional en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, en las lecturas, cortes, reconexiones y facturación.	HE1: El proceso de medición convencional en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, presenta limitaciones en la precisión de las lecturas, la eficiencia en los cortes y reconexiones, y la efectividad en el proceso de facturación.		Muestra: Tipo no probabilística, conformada por puntos críticos seleccionados en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A.
PE2: ¿Cuál es la capacidad de cobertura y conectividad que ofrece la tecnología LoRaWAN para el dimensionamiento de una red de medidores inteligentes en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas?	OE2: Evaluar la capacidad de cobertura y conectividad de la tecnología LoRaWAN para el dimensionamiento de una red de medidores inteligentes en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas.	HE2: La tecnología LoRaWAN ofrece una cobertura y capacidad de comunicación adecuadas para el dimensionamiento de una red de medidores inteligentes en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas.		Enfoque de investigación: El enfoque de la investigación es de tipo cuantitativo.
PE3: ¿Cuál es el desempeño de la tecnología LoRaWAN en condiciones reales de operación durante la prueba piloto realizada en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., en términos de calidad y estabilidad de la señal?	OE3: Evaluar el desempeño de la tecnología LoRaWAN en condiciones reales de operación durante la prueba piloto realizada en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., en términos de calidad y estabilidad de la señal.	HE3: La tecnología LoRaWAN presenta un desempeño eficiente en condiciones reales de operación durante la prueba piloto realizada en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., permitiendo mantener una comunicación estable entre el gateway y los nodos finales.		Tipo de investigación: La investigación es de tipo descriptivo y explicativo.
PE4: ¿Es técnica y económicamente viable la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas?	OE4: Evaluar la viabilidad técnica y económica de implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas.	HE4: La implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, será técnica y económicamente viable debido a la reducción de costos operativos y optimización de recursos.		Nivel de investigación: El nivel de investigación es descriptivo-correlacional

Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Farfán et al. (2024) presentaron un estudio enfocado en las pruebas de un prototipo electrónico inalámbrico para monitorear magnitudes físicas en Redes Inteligentes (Smart Grids). El objetivo fue diseñar un sistema de comunicación eficiente entre microcontroladores mediante el protocolo Modbus RTU, donde los dispositivos esclavos suministran información eléctrica y el maestro se conecta a una red LPWAN basada en LoRaWAN para enviar los datos a servidores remotos. La metodología consistió en pruebas de comunicación que emulan datos desde una PC hacia los dispositivos esclavos, subiendo la información a la nube a través de LoRaWAN. Para la visualización, se utilizó la herramienta Node-Red, que genera gráficos temporales integrados con una base de datos. Los resultados preliminares demostraron la viabilidad del sistema para la monitorización remota en redes inteligentes.

Zhao et al. (2024) diseñaron e implementaron una red LoRaWAN innovadora asistida por vehículos aéreos no tripulados (UAV) para mejorar la cobertura y confiabilidad de la comunicación. El objetivo fue desarrollar una arquitectura que integre UAV, controlador remoto y servidor con la estructura tradicional de LoRaWAN (Dispositivo Final, Gateway y Servidor) para optimizar la transmisión de datos. La metodología incluyó la implementación de un gateway UAV y el relé del controlador remoto, elementos esenciales para el reenvío transparente de las tramas LoRaWAN en esta nueva arquitectura. Los resultados demostraron un aumento significativo en la eficiencia y confiabilidad de la red, validando la viabilidad de esta solución para mejorar las comunicaciones en entornos complejos.

Santillán & Molina (2024) desarrollaron un estudio titulado “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”. Este trabajo aborda el problema del registro manual del consumo eléctrico en zonas rurales, el cual genera errores y dificulta la gestión del servicio. La metodología consistió en la implementación y pruebas experimentales de una red LPWAN basada en tecnología LoRa, aplicada en dos viviendas de Santa Rosa de Ambato. Se utilizaron sensores no invasivos, módulos LoRa y una plataforma IoT para evaluar la transmisión de datos y la eficiencia del sistema. Los resultados evidenciaron una comunicación efectiva, detección precisa de consumos anómalos y una significativa reducción en el tiempo de lectura, demostrando la viabilidad de esta tecnología para optimizar la gestión energética en zonas rurales.

Reck et al. (2023) desarrollaron un sistema de medición inteligente para el Grupo B utilizando el protocolo LoRaWAN. El estudio se llevó a cabo en diversas ciudades donde se implementó la red, con la participación de aproximadamente 170 dispositivos. El objetivo fue diseñar un sistema que permitiera la comunicación eficiente con medidores inteligentes, incluyendo funcionalidades de corte y reconexión remotos de energía, particularmente en situaciones de falta de pago o mantenimiento. La metodología consistió en un análisis de la cobertura de la red LoRa y pruebas de comunicación entre dispositivos. Los resultados demostraron que LoRaWAN es una solución viable y eficiente para la comunicación en redes de medición inteligente, facilitando la gestión remota y optimizando el control del suministro eléctrico.

Idrovo (2022) llevó a cabo el estudio titulado “Estudio de la Planificación y Dimensionamiento Óptimo para el Segmento de Medición Inteligente Avanzada en la Ciudad de

Biblián Usando LoRaWAN”, realizado en Biblián, Ecuador. El objetivo general fue planificar y dimensionar una red LoRaWAN para la medición inteligente, optimizando la cobertura y capacidad del sistema. Para ello, se aplicaron modelos matemáticos y heurísticas para resolver el problema de Set Cover, apoyándose en herramientas de georreferenciación y simulación. Los resultados evidenciaron un despliegue eficiente mediante teselación geográfica, que reduce costos y mejora la gestión energética. Como aporte principal, el estudio propone una estrategia replicable para la implementación de redes LoRaWAN en Smart Grids, demostrando que esta tecnología es una alternativa viable para mejorar la eficiencia y confiabilidad del servicio eléctrico en zonas urbanas y rurales.

Vallejo & Cuesta (2022) realizaron un estudio en el Cantón San Cristóbal, Provincia de Galápagos, Ecuador, titulado “Diseño de una Red LPWAN para la Implementación de Medidores Inteligentes”. El objetivo fue diseñar una red LPWAN basada en LoRaWAN para monitorear el consumo eléctrico en tiempo real y fomentar el uso eficiente de la energía. La metodología consistió en simulaciones mediante los programas LoRaSIM y Radio Mobile, aplicadas en el área urbana de Puerto Baquerizo Moreno, utilizando medidores inteligentes, gateways y software de simulación para evaluar la cobertura y escalabilidad del sistema. Concluyeron que un solo gateway puede cubrir toda el área urbana, mejorando la transparencia en la facturación y reduciendo el impacto ambiental. El estudio ofrece una solución tecnológica sostenible y replicable para optimizar la gestión energética en zonas aisladas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Soncco & Quilca (2023) realizaron un estudio titulado “Diseño e Implementación de un Prototipo Utilizando IoT para Supervisión de Medidores Eléctricos con Tecnología LoRa” en Azángaro, Perú. El objetivo fue diseñar e implementar un prototipo IoT con tecnología LoRa para

supervisar medidores eléctricos y reducir errores y pérdidas económicas asociadas al consumo eléctrico convencional. La metodología fue experimental y exploratoria, utilizando sensores de corriente y voltaje, medidores eléctricos y una plataforma IoT para la supervisión. Los resultados mostraron que el sistema identifica consumos anómalos, mejora la supervisión eléctrica y optimiza la toma de decisiones de manera instantánea. Este estudio aporta una solución tecnológica eficaz, económica y replicable para otras regiones.

Gonzales (2022) llevó a cabo el estudio “Prototipo de Solución para Monitoreo y Control Remoto de una Red de Distribución de Agua Potable Usando la Tecnología LoRaWAN”, enfocado en abordar problemas de eficiencia, vandalismo y pérdidas por fugas en la distribución de agua potable. El objetivo fue diseñar un sistema basado en LoRaWAN para optimizar la gestión del agua. La metodología consistió en el desarrollo de un prototipo que integra sensores de caudal y electroválvulas conectados a la plataforma en la nube Ubidots. Las pruebas experimentales demostraron que el sistema permite una supervisión eficaz, detección de fugas y control remoto del flujo de agua, contribuyendo a minimizar pérdidas y mejorar la respuesta ante imprevistos. Como aporte, el estudio presenta una solución tecnológica de bajo costo y replicable para la gestión eficiente del agua potable en diversas ciudades.

2.1.3. Antecedente Regionales

Martínez Hernández y Magallanes Salvador (2023) presentaron el trabajo “Implementación de un Sistema de Medición Inteligente con Tecnología G3-PLC para la Distribuidora Electro Sur Este S.A.A. en la Ciudad de Cusco”, enfocado en reducir las pérdidas no técnicas en el suministro eléctrico y mejorar la relación entre la empresa y el usuario final. El objetivo fue implementar un sistema piloto de medición inteligente basado en la tecnología G3-PLC, abarcando la instalación de medidores inteligentes, concentradores de datos y una plataforma

de gestión. La metodología incluyó el diseño del sistema, la instalación de 2,340 medidores en nueve subestaciones, y la integración del software de medición con el sistema comercial de la empresa. El sistema permitió la lectura remota, detección de anomalías, control de consumo y cortes/reconexiones automáticas. Como aporte, el estudio presenta una solución eficiente, alineada con las normativas de OSINERGMIN, que puede escalarse para modernizar la infraestructura eléctrica en otras regiones del país.

Cahuana Yapo (2020) desarrolló el informe técnico titulado “Implementación del Sistema de Tele-Medición mediante la Aplicación de Tecnología Two Way Automatic Communication System (TWACS) en el Sistema Eléctrico Combapata de Electro Sur Este S.A.A.”, con el propósito de mejorar la gestión comercial, reducir pérdidas y elevar la calidad del servicio eléctrico. El estudio se centró en la implementación de la tecnología TWACS, que aprovecha las redes eléctricas existentes de baja y media tensión como medio de comunicación para realizar lectura remota, monitoreo, cortes y reconexiones sin necesidad de infraestructura adicional. La metodología consistió en el diseño, instalación y evaluación de un sistema piloto en el sistema eléctrico de Combapata. Los resultados mostraron que el sistema permitió mejorar significativamente la eficiencia operativa, reducir costos por pérdidas no técnicas y optimizar la atención al cliente. Como aporte, el estudio demuestra la viabilidad técnica y económica del uso de TWACS en zonas rurales, proponiendo una solución replicable para la modernización de la red de distribución eléctrica.

2.1.4. Artículo Referencia

Andrade Pulgarín y Briggs Guillén (2023) realizaron el estudio “Análisis de Factibilidad y Diseño de una Red LoRaWAN en Cuenca para la Comunicación de una Red de Sensores Ambientales, Administrada por el Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador

(IERSE)”, con el objetivo de sustituir la tecnología GPRS empleada en una red de monitoreo ambiental, debido a sus limitaciones de estabilidad. El estudio se enfocó en analizar y diseñar una red LoRaWAN que garantice una transmisión confiable de datos desde sensores distribuidos en puntos estratégicos de la ciudad. La metodología incluyó simulaciones con Xirio Online, pruebas de campo con nodos LoRa RN2903 y el uso de servidores LoRaWAN como The Things Network (TTN). Los resultados confirmaron una cobertura efectiva de hasta 600 metros en zonas urbanas con obstáculos, y hasta 1 km en condiciones favorables. Como aporte, el trabajo propone un diseño escalable y de bajo consumo energético, orientado a ciudades inteligentes, y presenta una solución viable para modernizar la infraestructura de monitoreo ambiental del IERSE.

Silva Castro y Freire Reyes (2022) realizaron el estudio “Gateway WIFI-LoRaWAN para Integración de Medidores Inteligentes de Energía”, con el objetivo de diseñar e implementar un gateway capaz de recibir datos de medidores inteligentes a través de LoRaWAN y transmitirlos vía WiFi a una base de datos para su gestión. El estudio se enfocó en integrar una red de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN para la medición remota de consumos energéticos en tiempo real, ofreciendo una alternativa eficiente frente a métodos tradicionales de lectura. La metodología incluyó el diseño de la arquitectura de red, la configuración de nodos LoRaWAN, la construcción de un gateway basado en ESP32 y RFM95W, y la implementación de un servidor de aplicaciones mediante Node-RED y una base de datos InfluxDB. Los resultados confirmaron una cobertura de hasta 700 metros en condiciones urbanas y más de 1.2 km en zonas despejadas, con una transmisión estable y de bajo consumo energético. Como aporte, el trabajo propone una solución de bajo costo, escalable y adaptable a redes de distribución eléctrica en zonas urbanas y rurales, promoviendo la modernización del monitoreo energético hacia entornos de ciudades inteligentes.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Ámbito Empresarial y Actividades*

Electro Sur Este S.A.A. se constituye como una Sociedad Anónima Abierta y actúa como la entidad concesionaria encargada de la distribución y comercialización de energía eléctrica en las zonas asignadas por el Estado peruano. Su objeto social abarca diversas actividades que fortalecen su posicionamiento en el sector eléctrico, entre las que destacan (Electro Sur Este S.A.A., s. f.):

- Distribución y Comercialización
- Generación y Transmisión
- Importación y Exportación de Energía
- Servicios Complementarios

Figura 3

Distribución de clientes y redes eléctricas



Fuente. Electro Sur Este S.A.A.

2.2.2. Componentes Fundamentales del Sistema Eléctrico

- **Generación de Energía Eléctrica**

La generación de energía es la primera actividad de la cadena de producción de energía eléctrica. La energía eléctrica es generada en centrales eléctricas. Una central eléctrica está conformada por equipos e instalaciones que tienen la función de producir energía eléctrica a partir de recursos de energía primaria. (Monteza, 2023).

- **Transmisión de Energía Eléctrica**

La transmisión de energía eléctrica es el proceso mediante el cual la energía generada en las centrales eléctricas se transporta a través de líneas de alta tensión hacia las subestaciones, donde se reduce su voltaje para su posterior distribución. Este proceso garantiza la eficiencia y estabilidad del sistema eléctrico, minimizando las pérdidas durante el transporte." (Pillajo Quijia, 2018).

- **Distribución de Energía Eléctrica**

La distribución de energía eléctrica es la parte del sistema de suministro eléctrico en la que la energía es llevada desde las subestaciones de alta tensión hasta los usuarios finales. Esta red se compone de líneas de media y baja tensión (García, 1989).

Figura 4

Distribución energía eléctrica



Fuente. <https://electropreguntas.com/la-red-secundaria-distribucion>.

2.2.3. Comercialización de Energía Eléctrica

La comercialización de energía eléctrica es clave en el sistema eléctrico, conectando la generación y transmisión con el suministro a los usuarios. Incluye desde la compra-venta en mercados mayoristas hasta la venta a consumidores finales, abarcando actividades cruciales para la estabilidad y eficiencia del sistema (Martínez & Gómez, 2020). Se divide en dos niveles principales:

Comercialización Mayorista

Este nivel involucra la negociación de grandes bloques de energía entre generadores, comercializadores y grandes consumidores. Características: Las transacciones se realizan en mercados donde se establece un precio basado en la oferta y la demanda a gran escala (García, 2019).

Comercialización Minorista

Se centra en la venta directa de energía a los usuarios finales. Características: En el contexto de muchos países, incluido Perú, esta actividad se integra con la distribución, ya que las empresas encargadas del servicio (por ejemplo, Electro Sur Este S.A.A.) gestionan la facturación, la aplicación de tarifas y la atención al cliente (López et al., 2018).

Figura 5
Comercialización de electricidad



Fuente. <https://energyexp.wordpress.com>

2.2.4. Procesos y Actividades Clave

Dentro de la comercialización minorista, se identifican las siguientes actividades esenciales:

Compra y venta de Energía

Descripción: Las empresas comercializadoras adquieren la energía necesaria para satisfacer la demanda mediante contratos o en mercados mayoristas y la revenden a los consumidores bajo tarifas reguladas. Importancia: Este proceso es vital para mantener un equilibrio entre la oferta y la demanda energética y asegurar la estabilidad del sistema (Martínez & Gómez, 2020).

Gestión de Tarifas

Descripción: Consiste en la aplicación de estructuras tarifarias diferenciadas según el tipo de consumidor (residencial, comercial, industrial, etc.).

Importancia: Es fundamental para garantizar la equidad y sostenibilidad del servicio, ajustándose a las regulaciones y necesidades del mercado (ARCONEL, 2020; Ruiz, 2021).

Control de Pérdidas

Descripción: Se abordan tanto las pérdidas técnicas (inherentes al transporte y distribución, como las derivadas del efecto Joule) como las pérdidas no técnicas o comerciales, relacionadas con errores administrativos, fraudes o manipulaciones.

Importancia: La implementación de sistemas de medición inteligente ha facilitado la detección temprana de estas pérdidas, contribuyendo a la eficiencia operativa del sistema (Gómez & Hernández, 2022).

Facturación y Atención al Cliente

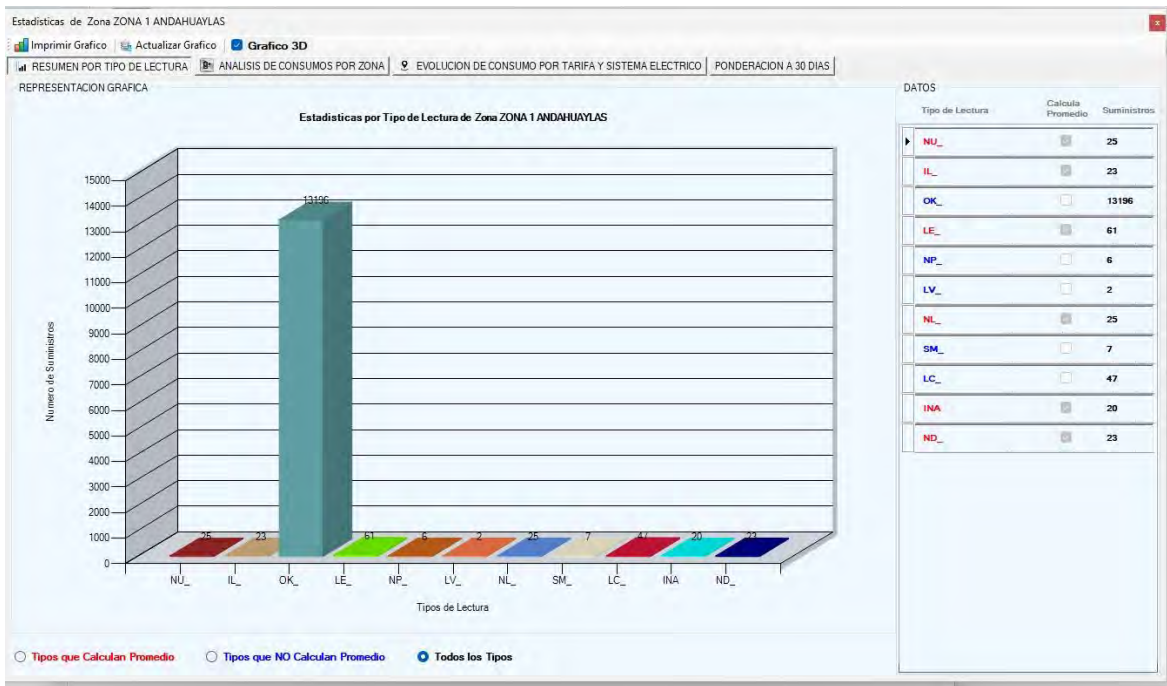
Descripción: Tradicionalmente, la facturación se basaba en la lectura manual de medidores

electromecánicos o electrónicos, lo que generaba imprecisiones y retrasos.

Importancia: La incorporación de tecnologías de medición inteligente, como LoRaWAN, permite optimizar este proceso mediante la provisión de datos en tiempo real, mejorando la precisión y calidad del servicio (Pérez & Sánchez, 2019).

Figura 6

Proceso de validación y consistencia de datos previo a la facturación



Fuente. Información de SIELSE comercial

2.2.5. Medición Tradicional del Consumo de Energía

La medición tradicional del consumo de energía se ha basado históricamente en el uso de medidores electromecánicos y, posteriormente, en medidores electrónicos básicos. Estos dispositivos constituyen la base para determinar el consumo energético, sobre el cual se asienta el proceso de facturación (Pérez & Sánchez, 2019).

Medidores Electromecánicos.

Los medidores electromecánicos operan según el principio de la inducción electromagnética. En estos dispositivos, el paso de la corriente y el voltaje a través de bobinas

genera un movimiento rotatorio proporcional al consumo de energía. Este movimiento se refleja en una escala analógica, lo que permite la lectura manual del consumo. Aunque estos medidores han sido ampliamente utilizados durante décadas, su precisión puede verse comprometida. (Martínez, 2018).

Medidores Electrónicos Básicos

Con el avance de la tecnología, se han desarrollado medidores electrónicos básicos que utilizan componentes digitales para medir el voltaje y la corriente. Estos dispositivos calculan el consumo de energía y lo presentan en formato digital, lo que ofrece una visualización más clara y generalmente mayor precisión en comparación con los medidores electromecánicos. (García, 2020).

Figura 7
Tipos de Medidores Eléctricos Utilizados



Fuente: Elaboración propia

2.2.6. Bases Teóricas de la Medición Inteligente (AMI)

La Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) es un sistema integrado de medidores inteligentes, redes de comunicación y sistemas de gestión de datos que permite la medición bidireccional del consumo energético, facilitando la automatización de lecturas, la gestión de la

demanda y la mejora en la calidad del servicio eléctrico" (Quispe López, 2016).

Infraestructura de medición avanzada (AMI)

La infraestructura AMI constituye el núcleo tecnológico que permite la recolección y el análisis en tiempo real del consumo energético. Durante el período comprendido entre 2016 y 2021 se han observado avances significativos en la adopción de sistemas AMI, evidenciando una transición desde métodos de medición tradicionales hacia soluciones integradas que incorporan tecnologías de Internet de las Cosas (IoT) y análisis de Big Data (Lopez & Ramirez, 2021).

Características principales:

- **Comunicación Bidireccional:** Facilita la interacción entre consumidores y proveedores, permitiendo la detección temprana de anomalías y el control de pérdidas.
- **Integración de Tecnologías Emergentes:** La combinación de sensores, redes de comunicación y plataformas de análisis de datos posibilita una monitorización continua y proactiva.
- **Optimización Operativa:** La capacidad de gestionar y analizar datos en tiempo real mejora la eficiencia operativa, reduciendo costos y elevando la calidad del servicio.

Tecnología clave que componen una (AMI)

Las infraestructuras de comunicación permiten la transmisión de datos entre los medidores inteligentes y los sistemas centrales de las empresas distribuidoras de energía, utilizando diversas tecnologías según el entorno y los requerimientos del sistema. Entre las más utilizadas se encuentran: la radiofrecuencia, la comunicación por línea de potencia (PLC), las redes celulares y la tecnología LoRaWAN, cada una con ventajas específicas en términos de alcance, costo, velocidad de transmisión y adaptabilidad al terreno (Eaton, s.f.).

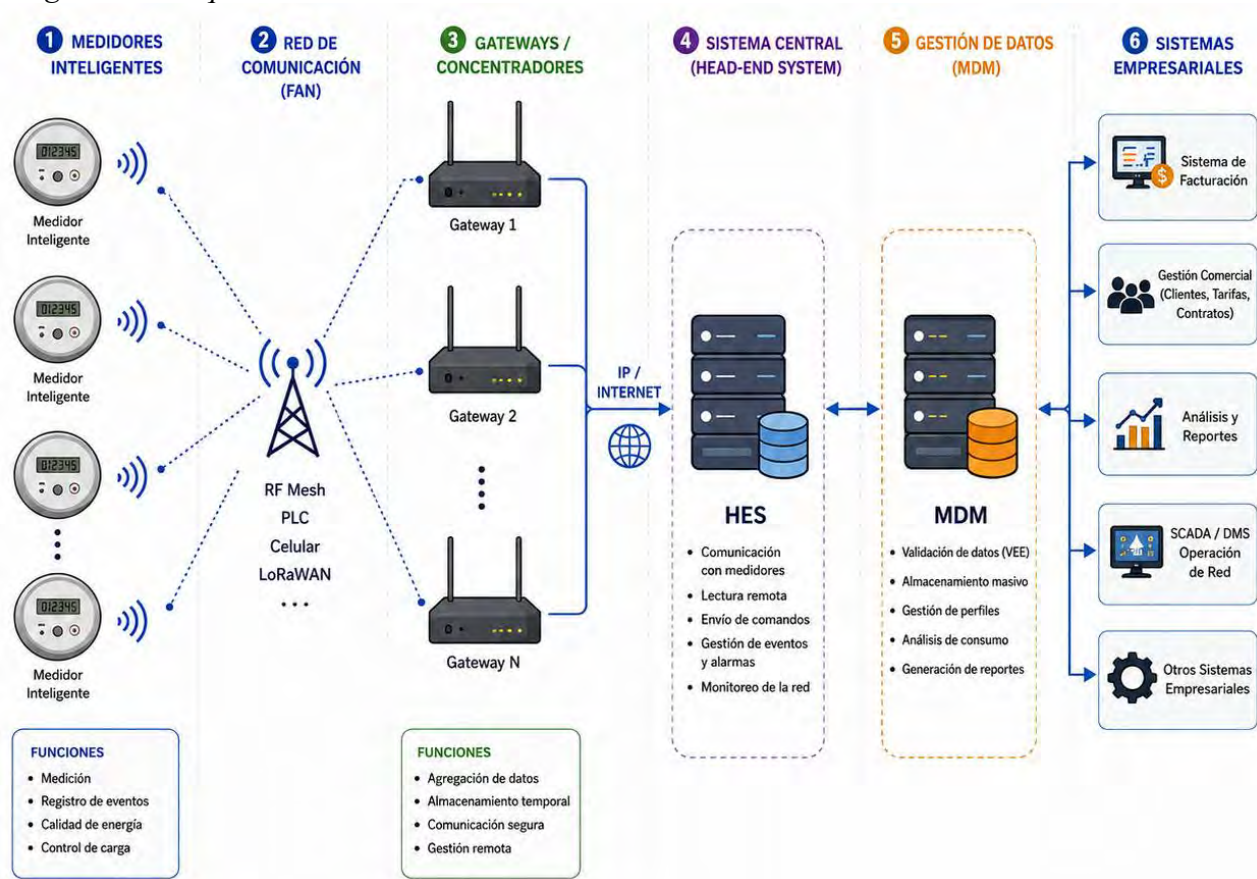
Tabla 6*Cuadro comparativo de tecnologías de comunicación de AMI*

Tecnología	Descripción	Ventajas	Limitaciones
Radiofrecuencia	Transmisión inalámbrica de datos a corta y mediana distancia mediante ondas de radio.	Baja latencia y facilidad de implementación en entornos limitados.	Alcance limitado y susceptible a interferencias ambientales.
PLC (Comunicación por Línea Eléctrica)	Utiliza la infraestructura eléctrica existente para transmitir datos sin requerir infraestructura adicional.	Aprovecha la red eléctrica ya instalada y es rentable.	Rendimiento variable según el ruido eléctrico y la calidad de la red.
Redes celulares (4G/5G)	Transmisión de datos a alta velocidad a través de redes móviles, con amplia cobertura.	Alta velocidad, cobertura extensa y manejo de grandes volúmenes de datos.	Costos operativos elevados y mayor consumo de energía.
LoRaWAN	Tecnología LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) optimizada para comunicaciones de larga distancia y bajo consumo, ideal para IoT.	Amplia cobertura, bajo consumo energético y adecuado para áreas dispersas o rurales.	Capacidad de transmisión de datos limitada y posibles latencias.

Fuente. Elaboración propia

El diagrama de arquitectura del sistema AMI (Advanced Metering Infrastructure) ilustra la interconexión entre los componentes clave del sistema de medición avanzada, incluyendo los medidores inteligentes, las redes de comunicación, los concentradores o colectores de datos, y las plataformas centrales de gestión y análisis. Mediante una comunicación bidireccional, segura y en tiempo real, la infraestructura AMI permite el monitoreo continuo del consumo, una facturación precisa y la gestión eficiente de la energía.

Figura 8
Diagrama de arquitectura AMI



Fuente. Elaboración propia

2.2.7. Medidores Inteligentes (Smart Meters)

Los medidores inteligentes son dispositivos electrónicos avanzados que desempeñan un papel crucial en la infraestructura AMI, permitiendo la lectura automatizada y en tiempo real del consumo energético. Entre sus ventajas se destacan la reducción de pérdidas, la optimización en la facturación y una mayor precisión en la medición (Quispe López, 2016).

Medidores Inteligentes compatibles con LoRaWan

La integración de la tecnología LoRaWAN en medidores inteligentes de electricidad permite la comunicación de largo alcance y bajo consumo, facilitando la monitorización remota.

A continuación, se describen varios modelos destacados:

- Eastron SDM230-LoRa
- Eastron SDM630MCT-Lora
- IVY Metering EM114039-01
- IVY Metering EM114039-02
- Khomp ITE 11LI
- Electricity Meter (DDZY2397/DTZY2397)

Figura 9
Medidores inteligentes compatibles con LoRaWAN

MEDIDOR LoRaWAN

LoRaWAN

Comunicación LoRaWAN

Montaje Riel DIN

Alta Precisión y Confiabilidad

MEDIDORES DE ENERGÍA Eastron

SDM230MCT-Modbus-4G

SDM1200

Multifunción Trifásico

Medición Precisa Clase 0.5S

Comunicación Modbus / LoRa

Monofásico Riel DIN

kWh

Medición de Energía

MEDIDOR MULTIFUNCIÓN

LoRaWAN

Medición Multiparámetro

Monitoreo en Tiempo Real

Calidad y Confiabilidad

REPETIDOR / EXTENSOR LoRaWAN

ITE 11LI

Extiende la Cobertura

Fácil Instalación y Configuración

Bajo Consumo

PLATAFORMA DE MONITOREO LoRaWAN

LoRaWAN Monitoring

Monitoreo en Tiempo Real

Alertas y Notificaciones

Reportes y Análisis

Seguro y Confiable

MÓDULO LoRaWAN + ANTENAS

LoRaWAN

Comunicación LoRaWAN

Alta Ganancia y Estabilidad

Fácil Instalación

Ideal para Prepago

MEDIDOR PREPAGO

TIMEWAVE

Sistema Prepago

Control de Consumo

LoRaWAN Incorporado

Seguro y Confiable

MEDIDORES LoRaWAN - SERIE

SDM230MCT-Modbus-4G

SDM630MCT-Modbus-4G

SDM1200

Trifásico Multifunción

Multifunción 4G / LoRaWAN

Monofásico Riel DIN

BENEFICIOS DEL SISTEMA LoRaWAN

LARGO ALCANCE

Hasta 15 km en campo abierto

BAJO CONSUMO

Mayor duración de batería

SEGURIDAD

Cifrado y protección de datos

FÁCIL ESCALABILIDAD

Miles de dispositivos conectados

REDUCCIÓN DE COSTOS

Infraestructura eficiente

Fuente. Elaboración propia

2.2.8. Redes Inteligentes (Smart Grids)

Las Redes Inteligentes, o Smart Grids, constituyen la evolución del sistema eléctrico tradicional mediante la integración de tecnologías digitales y de comunicación avanzadas. En el último lustro se han implementado mejoras significativas en los siguientes aspectos:

Monitoreo y Control en Tiempo Real

Permite gestionar de manera dinámica la oferta y la demanda, mejorando la eficiencia y la fiabilidad del suministro eléctrico (Singh et al., 2022; Chen & Zhang, 2019).

Integración de Energías Renovables

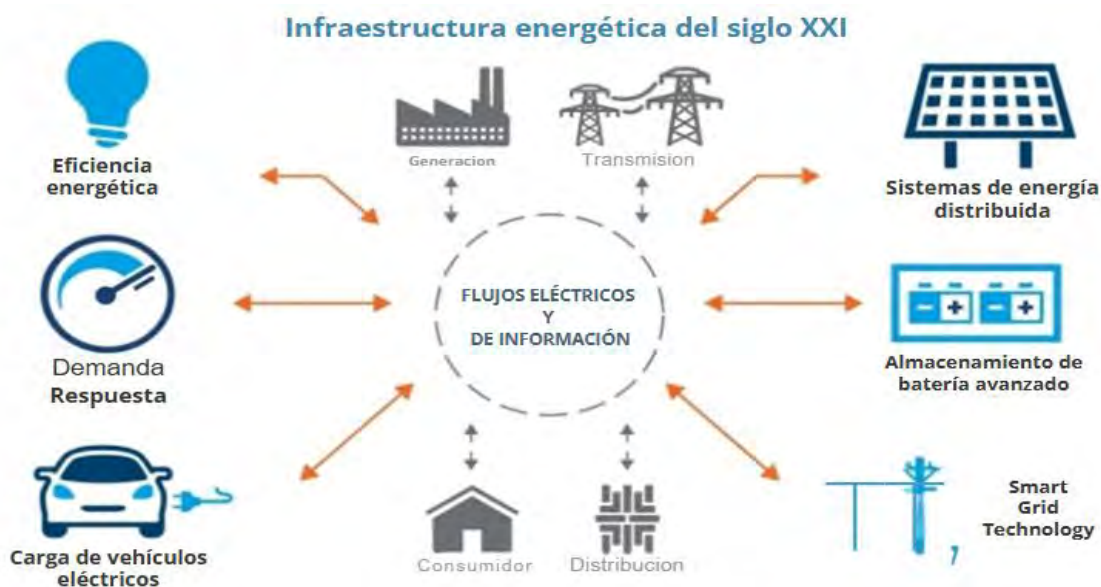
Facilita la incorporación de fuentes intermitentes de energía, optimizando la distribución y aprovechando al máximo los recursos renovables.

Respuesta Rápida ante Incidencias

La capacidad de detectar y responder rápidamente a fallas o anomalías fortalece la resiliencia del sistema eléctrico.

Figura 10

Infraestructura Energética del siglo XXI



Fuente. <https://www.helioesfera.com/que-son-los-smart-grids/>

2.2.9. Tecnología de Comunicación LoRaWAN para AMI (Énfasis Principal)

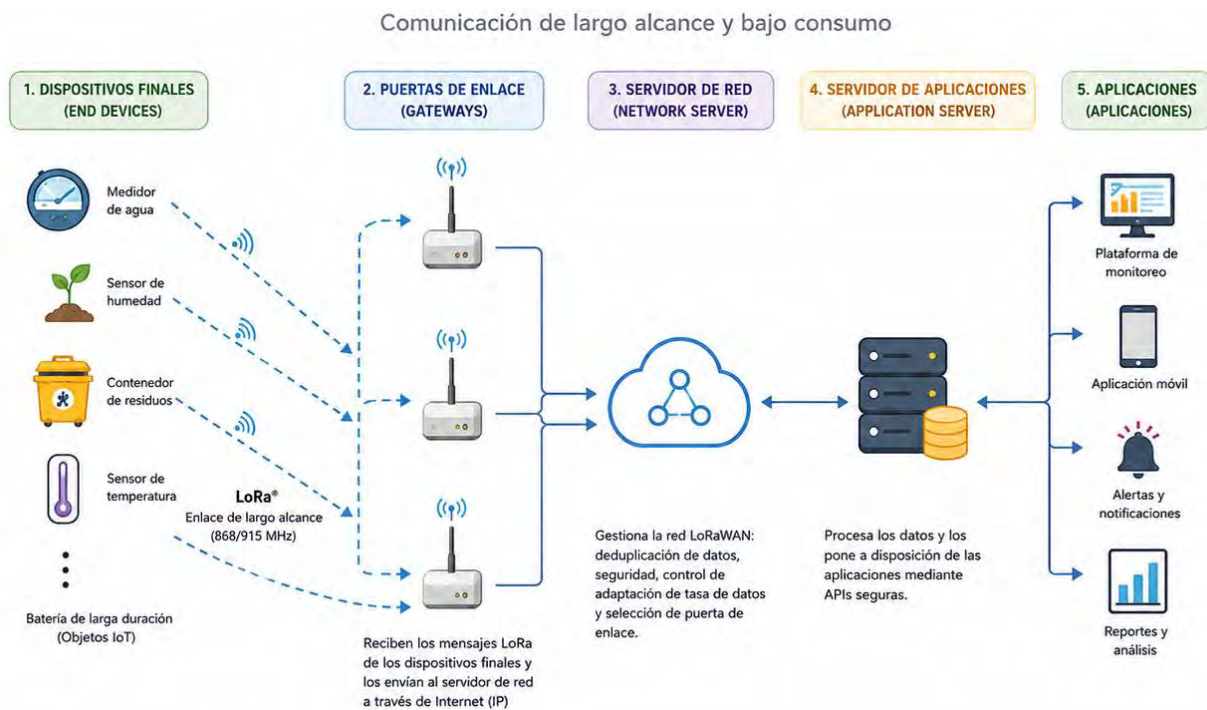
La tecnología LoRaWAN se ha consolidado en el ámbito de la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) como una solución de comunicación esencial para la monitorización y gestión remota del consumo energético. Su adopción se fundamenta en la necesidad de contar con redes de bajo consumo, de largo alcance y altamente resistentes a interferencias, lo cual es vital para los sistemas de medición en entornos con gran dispersión geográfica y dispositivos alimentados por batería.

Fundamentos de LoRa

LoRa es una tecnología basada en la modulación CSS (Chirp Spread Spectrum), la cual permite transmitir información mediante “chirps” (señales moduladas en frecuencia) para extender la señal a lo largo del espectro. Esto confiere a LoRa las siguientes características fundamentales:

- **Largo Alcance y Bajo Consumo:** Gracias a la modulación CSS, los dispositivos LoRa pueden comunicarse a distancias de varios kilómetros, incluso en entornos urbanos densos, manteniendo un consumo energético mínimo (Miller & Garcia, 2020).
- **Resistencia a Interferencias:** La técnica CSS mejora la tolerancia al ruido y la interferencia, asegurando la integridad de la comunicación en ambientes con múltiples fuentes de señales electromagnéticas.
- **Independencia de la Capa Física y Coexistencia:** LoRa opera en bandas de frecuencia no licenciadas, lo que facilita su integración en diversas arquitecturas de red sin interferir con otros sistemas (Lopez & Ramirez, 2021).

Figura 11
Diagrama de cómo funciona la tecnología de lorawan.



Fuente. <https://www.smart-energy.com/industry-sectors/smart-meters>

Arquitectura de Red LoRaWAN

Según Guzmán Martínez (2017), la arquitectura de LoRaWAN está diseñada para ofrecer comunicaciones de largo alcance y bajo consumo energético, lo que la convierte en una solución adecuada para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT). Esta arquitectura se compone de varios componentes clave que permiten la conexión y transmisión eficiente de datos en grandes áreas con un bajo consumo energético.

Componentes principales de la arquitectura LoRaWAN

- **Dispositivos finales (End Devices):** Son dispositivos que capturan y transmiten datos, como sensores, actuadores y medidores inteligentes. Estos dispositivos operan con un protocolo de baja potencia y se comunican de manera bidireccional con las estaciones base a través de la red LoRa, permitiendo la transmisión eficiente de datos a largas

distancias con bajo consumo energético.

- **Gateways:** Según Alfayoumi et al. (2024), "Las gateways en una red LoRaWAN son dispositivos fundamentales que actúan como puentes entre los dispositivos finales y el servidor de red. Reciben los datos de los dispositivos finales utilizando el protocolo LoRa y los transmiten a través de otros protocolos, como Ethernet, Wi-Fi o LTE, hacia el servidor de red. Tienen la capacidad de gestionar múltiples dispositivos finales de manera simultánea y operar en áreas de cobertura extendida" (p. 12).
- RAK7249 de RAKwireless: Gateway industrial IP67, configurable hasta 16 canales LoRa, con conectividad Wi-Fi, LTE y Ethernet.
- Dragino LPS8N: Gateway LoRaWAN económico con sistema operativo OpenWrt, chips SX1302 y SX1250, y 10 rutas de demodulación programables.
- Milesight UG67: Gateway LoRaWAN industrial que gestiona hasta 2,000 dispositivos y 8 canales full-duplex.

Figura 12

Modelos de Gateways LoRaWAN: Milesight y Dragino

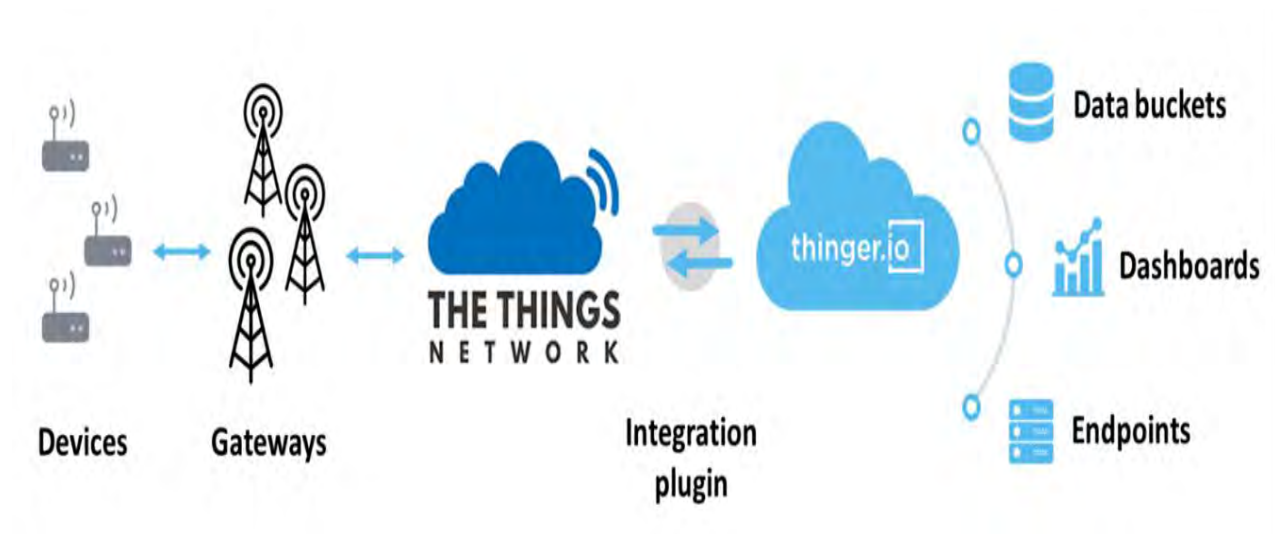


Fuente. Elaboración propia

- **Servidor de Red (Network Server):** Según Carrasco Illescas y Deleg Aguilar (2021), el servidor de administración y gestión de una red LoRaWAN es esencial para la correcta transmisión y gestión de la información. Este servidor facilita la integración de datos provenientes de los gateways y asegura la correcta comunicación entre los dispositivos finales y el servidor de red:
 - ChirpStack: Es una solución de código abierto que permite configurar y gestionar redes LoRaWAN privadas.
 - The Things Stack (The Things Network): Proporciona una plataforma para construir redes LoRaWAN públicas y privadas. Es conocida por su comunidad global y su enfoque en la interoperabilidad y seguridad.
 - LORIoT: Proporciona servidores de red LoRaWAN de baja latencia y accesibles globalmente, ofreciendo rendimiento de nivel operador y conectividad independiente del dispositivo.

Figura 13

Servidor de Red the things stack (The Things Network)



Fuente. <https://marketplace.thinger.io/plugins/ttn-stack/>

Clases de Dispositivos LoRaWAN

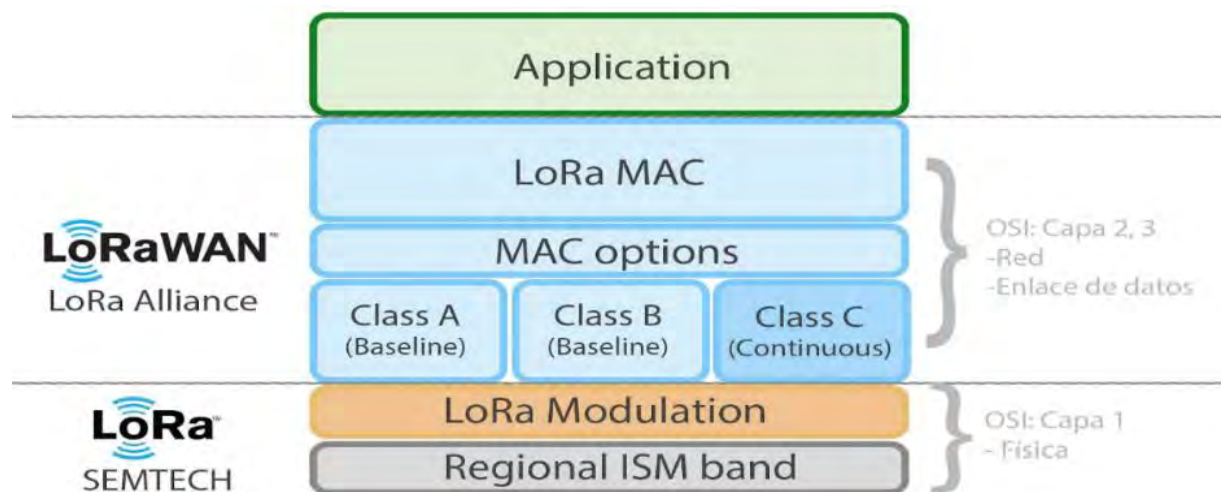
Según el artículo de RF Wireless World (s.f.), LoRaWAN define tres clases de dispositivos: A, B y C. Cada clase está adaptada a diferentes necesidades operativas en términos de latencia y consumo de energía:

- **Clase A:** Permite comunicación bidireccional mediante ventanas de recepción programadas, siendo ideal para aplicaciones donde el consumo de energía es crítico, aunque con latencia moderada.
- **Clase B:** Incorpora ventanas de recepción adicionales que mejoran la capacidad de respuesta sin comprometer excesivamente el consumo de energía.
- **Clase C:** Ofrece recepción casi continua, minimizando la latencia, pero a costa de un mayor consumo energético.

La elección de la clase de dispositivo impacta directamente en la operatividad del sistema AMI, ya que se debe equilibrar la necesidad de comunicación bidireccional con la duración de la batería de los medidores inteligentes (Singh et al., 2022).

Figura 14

Diagrama Clasificación de los dispositivos LoRaWAN



Fuente. <https://becolve.com/blog/conceptos-tecnicos-basicos>

Consideraciones de Cobertura y Propagación de LoRaWAN

La cobertura de una red LoRaWAN está influenciada por diversos factores técnicos y ambientales, incluyendo la potencia de transmisión, la selección y ubicación de antenas, la densidad de gateways, la interferencia electromagnética, la tasa de datos y las condiciones del terreno (Lansitec, 2023):

- **Factores del Entorno:** La densidad urbana, la presencia de obstáculos y la frecuencia operativa influyen en el alcance y la calidad de la señal.
- **Planificación y Dimensionamiento:** Es crucial ubicar estratégicamente los gateways para asegurar una cobertura continua y minimizar la pérdida de datos. Esto implica evaluar la potencia de transmisión de los dispositivos y la sensibilidad de los receptores (Chen & Zhang, 2021).

Seguridad en Redes LoRaWAN para AMI

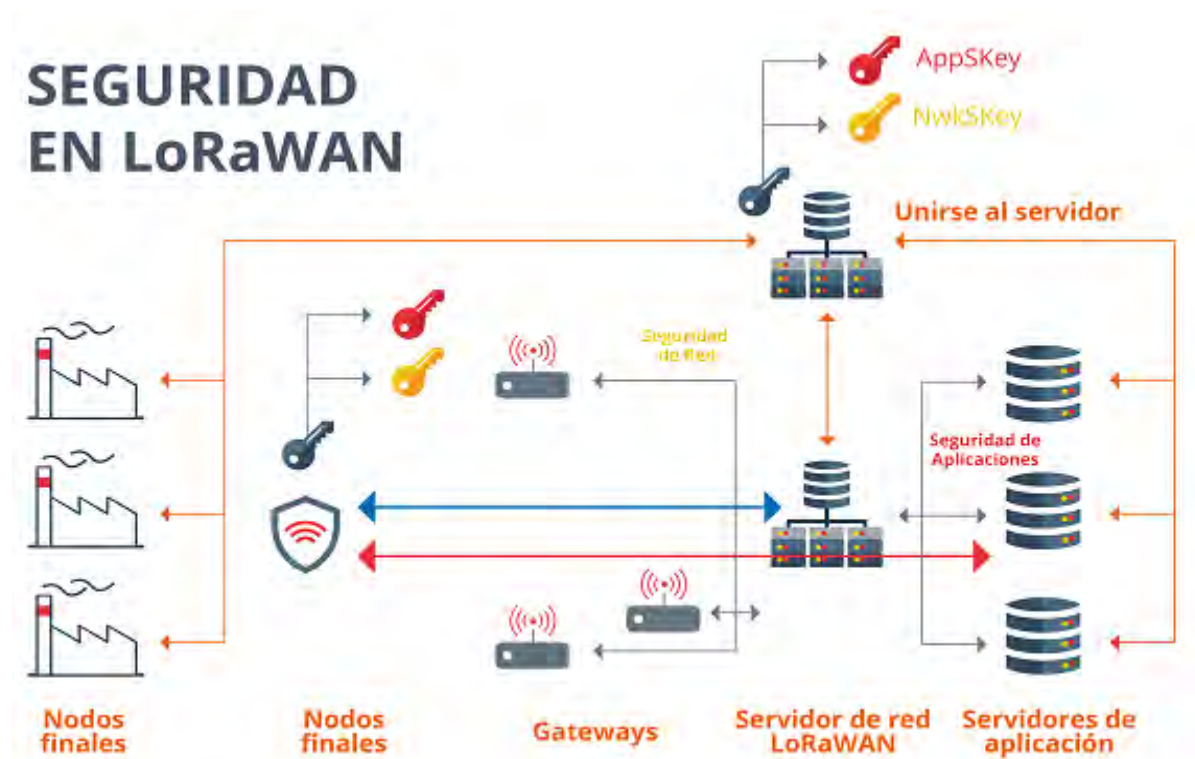
La seguridad en redes LoRaWAN constituye un pilar fundamental para garantizar la confiabilidad del sistema, proteger la información sensible de los usuarios y asegurar la continuidad de las operaciones:

- **Cifrado y Autenticación:** Los dispositivos emplean cifrado tanto a nivel de red como de aplicación, junto con claves únicas por dispositivo y mecanismos de autenticación mutua, evitando accesos no autorizados y posibles suplantaciones.
- **Protección de Datos:** Se utilizan protocolos de seguridad que garantizan la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos transmitidos, protegiendo la información de consumo energético.
- **Gestión de Claves:** La renovación periódica de claves de sesión y el uso de algoritmos criptográficos avanzados fortalecen la seguridad frente a ataques de

interceptación o repetición.

- Políticas y Normativas de Seguridad: La actualización constante de protocolos y la adopción de estándares internacionales permiten mantener la red resiliente frente a amenazas cibernéticas emergentes (Singh et al., 2022).

Figura 15
Protocolos de seguridad LoraWAN



Fuente. Instituto de Ciberseguridad INCIBE

Comparación entre LoRaWAN y Otras Tecnologías de Comunicación para IoT para AMI

LoRaWAN se destaca en aplicaciones de IoT que requieren bajo consumo de energía, largo alcance y costos operativos reducidos. En comparación, NB-IoT ofrece mayor confiabilidad y soporte para movilidad, pero a un costo operativo más alto. Sigfox es adecuado para aplicaciones de bajo costo con requisitos de datos limitados, mientras que LTE-M es ideal para aplicaciones que requieren alta velocidad de datos y movilidad (Tektelic, 2025).

Tabla 7*Comparativa entre LoRaWAN y Otras Tecnologías de Comunicación para IoT*

LoRaWAN vs. NB-IoT (Narrowband IoT)		
Característica	LoRaWAN	NB-IoT
Alcance	Hasta 15 km en áreas rurales y 5 km en urbanas	10-15 km en áreas rurales (dependiendo de la cobertura celular)
Consumo Energético	Muy bajo, hasta 10 años de duración de batería	Bajo, pero ligeramente superior al de LoRaWAN, dura entre 5-10 años
Velocidad de Datos	Hasta 27 kbps	Hasta 250 kbps
Costo de Implementación	Bajo costo de infraestructura, ideal para redes privadas	Requiere infraestructura de operadores de telecomunicaciones, más costoso
LoRaWAN vs. Sigfox		
Característica	LoRaWAN	Sigfox
Alcance	Hasta 15 km en áreas rurales y 5 km en urbanas	Hasta 50 km en áreas rurales y 10 km en urbanas
Velocidad de Datos	Hasta 27 kbps	Hasta 100 bps
Costo de Implementación	Bajo costo en redes privadas	Red pública de Sigfox, lo que elimina la necesidad de instalar infraestructura adicional
LoRaWAN vs. Wi-Fi		
Característica	LoRaWAN	Wi-Fi
Alcance	Hasta 15 km en áreas rurales	Alcance limitado, generalmente 100-200 metros en interiores
Consumo Energético	Muy bajo, ideal para dispositivos con batería de larga duración	Alto consumo energético, no adecuado para dispositivos alimentados por batería
Velocidad de Datos	Hasta 27 kbps	Altas velocidades, hasta 1 Gbps
Costo de Implementación	Menor costo debido a infraestructura simplificada	Mayor costo debido a la infraestructura de routers y puntos de acceso
LoRaWAN vs. Bluetooth Low Energy (BLE)		
Característica	LoRaWAN	Bluetooth Low Energy (BLE)
Alcance	Hasta 15 km en áreas rurales	50-100 metros, adecuado para corto alcance
Consumo Energético	Muy bajo, ideal para dispositivos de larga duración	Bajo consumo, pero no tanto como LoRaWAN para aplicaciones de largo alcance
Velocidad de Datos	Hasta 27 kbps	Velocidades superiores a LoRaWAN, pero limitadas para IoT
Costo de Implementación	Bajo costo, adecuado para redes de gran cobertura	Bajo costo, pero limitado a aplicaciones de corto alcance

Fuente. Elaboración propia

2.2.10. Beneficios Específicos de Usar LoRaWAN para AMI

La adopción de la tecnología LoRaWAN en la Infraestructura de Medición Avanzada (AMI) ofrece una serie de ventajas que impactan positivamente en la eficiencia, la gestión y la operatividad de los sistemas de distribución de energía. A continuación, se detallan los beneficios específicos, respaldados por la literatura reciente:

- **Reducción de Costos Operativos:** La implementación de LoRaWAN en AMI permite la automatización de la lectura de medidores mediante sistemas remotos, eliminando la necesidad de desplazar personal a campo. Esta automatización reduce significativamente los costos asociados a las visitas para lecturas manuales, reconexiones y cortes de suministro. Además, la detección remota de fugas o anomalías contribuye a la reducción de pérdidas económicas, ya que se optimiza el uso de los recursos y se mejora el control operativo (Kumar & Patel, 2020).
- **Mejora en la Gestión y Control del Consumo de Energía:** LoRaWAN facilita el monitoreo en tiempo real del consumo de energía, lo que permite a las empresas y a los usuarios obtener información actualizada y precisa sobre el uso de la energía. Esta capacidad de supervisión continua favorece la detección temprana de anomalías, fraudes o desviaciones en el consumo, lo que posibilita una mejor planificación y optimización de la demanda energética. La información detallada y en tiempo real es fundamental para generar informes y estadísticas que apoyen la toma de decisiones estratégicas (Lopez & Ramirez, 2021).
- **Capacidad de Realizar Operaciones Remotas:** Uno de los principales beneficios de LoRaWAN es la capacidad de ejecutar operaciones remotas, tales como el corte y religamiento del suministro eléctrico. Esta funcionalidad permite que las empresas

gestionan de manera ágil situaciones de impago, mantenimiento o emergencias sin necesidad de intervención presencial, lo cual disminuye tanto los costos operativos como los riesgos para el personal técnico. La ejecución remota mejora la respuesta ante incidencias y permite un mayor control de la red (Singh et al., 2022).

- **Adecuación para Áreas Geográficas Extensas o de Difícil Acceso:** La característica de largo alcance de LoRa, que sustenta a LoRaWAN, facilita la cobertura en zonas geográficas extensas o de difícil acceso, como áreas rurales, dispersas o incluso ubicaciones interiores y subterráneas. Esto reduce la necesidad de desplegar una infraestructura de comunicación densa, lo que simplifica la implementación y disminuye los costos de instalación y mantenimiento. La capacidad de penetración en edificaciones densas es particularmente ventajosa en entornos urbanos (Chen & Zhang, 2021).
- **Potencial para Batería de Larga Duración en Medidores:** El bajo consumo de energía de los dispositivos LoRaWAN es crucial para extender la vida útil de las baterías de los medidores inteligentes. Esta característica es especialmente importante en áreas donde la alimentación eléctrica es intermitente o inexistente, ya que permite que los medidores operen durante varios años sin necesidad de intervenciones frecuentes para el reemplazo de baterías. La reducción en el consumo energético contribuye a la sostenibilidad y a la disminución de costos de mantenimiento a largo plazo (Brown & Lee, 2020).

2.3.Marco Normativo

- **Decreto Ley N.º 25844 - Ley de Concesiones Eléctricas (LCE):** Esta ley regula el marco legal para la concesión del servicio público de distribución eléctrica en el Perú. Establece los requisitos y procedimientos necesarios para otorgar concesiones para la generación, transmisión y distribución de electricidad en el país. Su propósito es garantizar que el servicio eléctrico sea seguro, eficiente y accesible para todos los usuarios.
- **Decreto Supremo N.º 009-93-EM - Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas:** Este reglamento complementa la Ley de Concesiones Eléctricas (Decreto Ley N.º 25844) y establece los procedimientos específicos para la obtención y regulación de las concesiones para la distribución y suministro de electricidad, asegurando el cumplimiento de las normas y la correcta prestación del servicio eléctrico en el Perú.
- **Resolución Directoral N.º 016-2008-EM/DGE - Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales:** Esta norma establece las condiciones técnicas y los requisitos de calidad específicos que deben cumplir los servicios eléctricos en las zonas rurales del Perú, contribuyendo a mejorar el suministro eléctrico en estas áreas, garantizando la estabilidad y la confiabilidad del servicio.
- **Comisión Nacional de Regulación de Energía (2022):** Esta normativa establece las pautas para la digitalización del sistema eléctrico en el Perú, promoviendo el uso de medidores inteligentes para mejorar la eficiencia energética y la gestión de la demanda eléctrica, asegurando un servicio más transparente y eficiente para los usuarios.
- **Código Nacional de Electricidad - Suministro (RM N.º 214-2011-MEM/DM):** Este código establece las normas técnicas y operativas para el suministro de energía eléctrica en el Perú. Regula aspectos como las condiciones de calidad del servicio y las obligaciones de las empresas distribuidoras para garantizar el adecuado suministro eléctrico a los usuarios.

- **Texto Único Ordenado de la Ley de Telecomunicaciones – Decreto Supremo N.º 013-93-TCC:** Esta norma regula la prestación de los servicios de telecomunicaciones en el Perú y el uso del espectro radioeléctrico, estableciendo las condiciones para la operación de sistemas de comunicación inalámbrica. Su aplicación es relevante para la implementación de tecnologías LoRaWAN, al permitir el uso de bandas de frecuencia de uso libre para la transmisión de datos en sistemas de baja potencia y largo alcance, como los medidores inteligentes.
- **ISO/IEC 27001 – Sistemas de gestión de la seguridad de la información:** Esta norma internacional especifica los requisitos para establecer, implementar y mejorar un sistema de gestión de la seguridad de la información. Su aplicación en sistemas de medición inteligente garantiza la protección de los datos de consumo eléctrico y la confidencialidad de la información de los usuarios.
- **IEEE 2030 – Estándar para interoperabilidad en redes eléctricas inteligentes:** Este estándar proporciona un marco de integración entre sistemas eléctricos, tecnologías de comunicación y plataformas de información, facilitando el desarrollo e interoperabilidad de redes eléctricas inteligentes (Smart Grid).
- **IEEE 2030.5 – Estándar para la comunicación y gestión de redes eléctricas inteligentes:** Este estándar establece los lineamientos para la comunicación segura y eficiente entre dispositivos de redes inteligentes, facilitando la gestión y el control de sistemas de medición avanzada. Su aplicación contribuye a la interoperabilidad y al desarrollo de infraestructuras eléctricas modernas y digitalizadas.
- **IEC 62056 (DLMS/COSEM) – Intercambio de datos para sistemas de medición:** Esta norma define el modelo de datos y los protocolos de comunicación para el intercambio de información entre medidores eléctricos y sistemas de gestión. Su uso permite la

interoperabilidad entre dispositivos de distintos fabricantes y facilita la integración de los medidores inteligentes con los sistemas de información de la empresa distribuidora.

- **IEC 62052 – Estándar para requisitos generales de equipos de medición eléctrica:**

Este estándar establece las condiciones generales de funcionamiento, requisitos de seguridad y ensayos aplicables a los medidores eléctricos, garantizando un desempeño confiable y adecuado de los equipos de medición de energía eléctrica.

- **IEC 62053 – Estándar para la precisión de medidores eléctricos:** Este estándar define las clases de exactitud y límites de error permitidos para medidores de energía eléctrica, asegurando la confiabilidad y precisión de las mediciones utilizadas en procesos de facturación y control energético.

- **IEEE 802.15.4 – Estándar para redes inalámbricas de baja potencia:** Este estándar define mecanismos de comunicación inalámbrica de bajo consumo energético y baja velocidad de transmisión, utilizados en redes de sensores e Internet de las Cosas (IoT) para aplicaciones de monitoreo y automatización.

- **ANSI C12.20 – Estándar para precisión de medidores electrónicos de energía:** Este estándar establece los requisitos de exactitud y desempeño de los medidores electrónicos de energía eléctrica, garantizando la confiabilidad de las mediciones y el correcto registro del consumo eléctrico.

- **ISO 50001 – Estándar para sistemas de gestión de energía:** Este estándar especifica los requisitos para implementar sistemas de gestión energética orientados a mejorar el desempeño energético, optimizar el consumo y promover el uso eficiente de la energía.

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN Y DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA EN ANDAHUAYLAS

3.1. Caracterización del Sector Residencial y Alimentador AN01 en Andahuaylas

3.1.1. Análisis del Sistema de Distribución Eléctrica en Andahuaylas

El sistema de distribución eléctrica en Andahuaylas está conformado por una serie de alimentadores que abastecen a las zonas residenciales, comerciales e industriales del distrito. La infraestructura eléctrica incluye redes primarias y secundarias, con niveles de tensión adecuados para garantizar un suministro eficiente.

Entre los principales retos del sistema se encuentran:

- Las pérdidas no técnicas que reducen la eficiencia del sistema.
- La antigüedad de ciertos componentes que requieren mantenimiento o reemplazo
- La expansión urbana acelerada que demanda nuevas conexiones y extensiones de red.
- La sobrecarga en ciertas áreas genera interrupciones del servicio.

Estos factores resaltan la necesidad de implementar un programa integral de modernización y monitoreo constante para mejorar la calidad del servicio eléctrico en la región.

3.1.2. Topología y características técnicas del alimentador AN01

Tabla 8

Características de Medidores Monofásicos

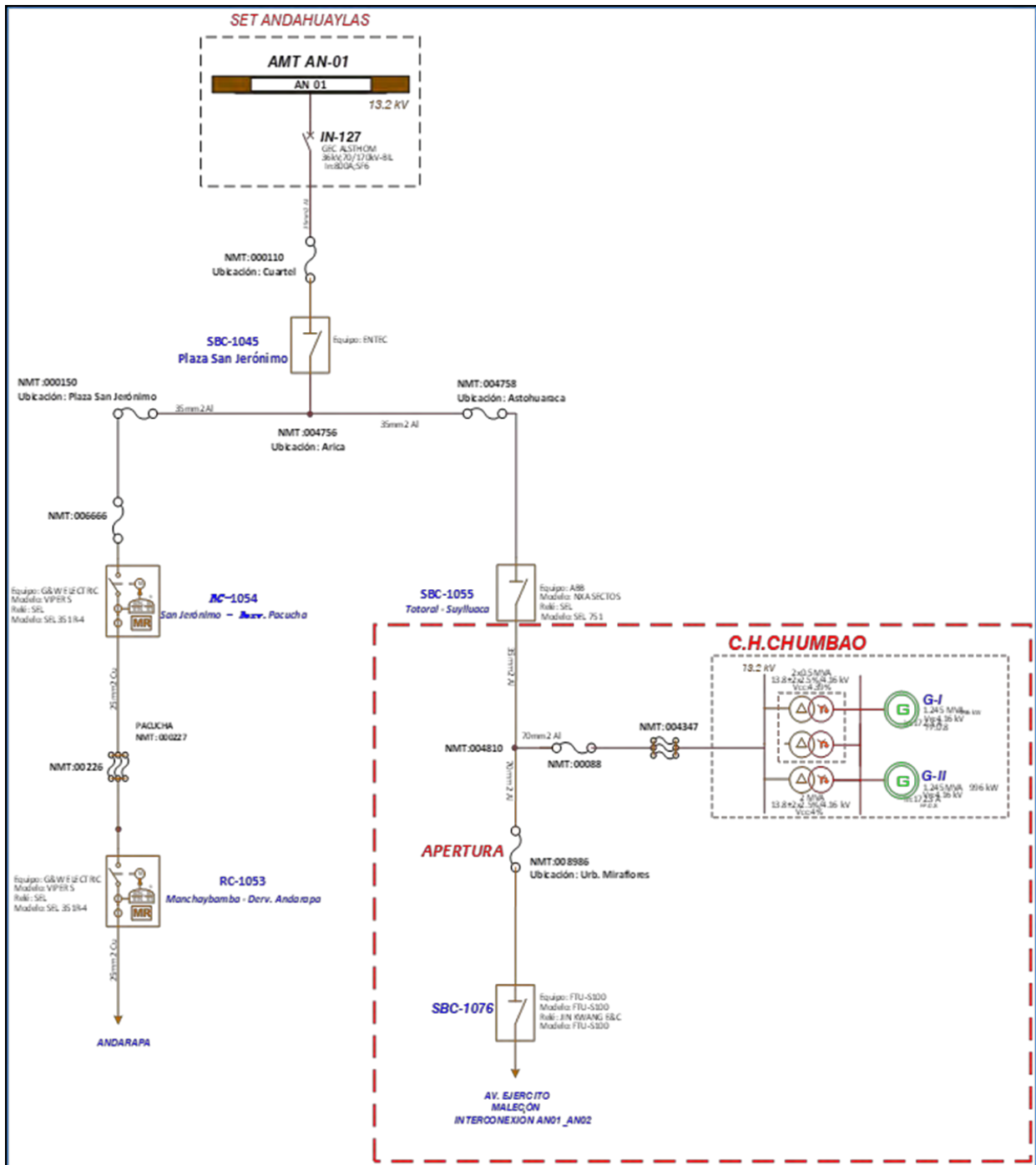
Aspecto	Descripción
Punto de origen	SE Andahuaylas – Barra de 13.2 kV
Topología	Radial – Alimentación desde un solo punto hacia diferentes zonas
Derivaciones	Hacia centros poblados e industriales, con seccionadores y fusibles de protección
Protección principal	Interruptor K800 y relé SR750
Subestaciones	Transformadores monofásicos y trifásicos de diversas capacidades
Conductores	Aluminio AL 1/0 AWG y AL 4/0 AWG
Equipos de maniobra	Seccionadores de barra, reconectores REC-02 y REC-03, seccionadores SCO-1406

Fuente. Elaboración propia

Características de los tramos:

Longitudes variables por tramo, especificadas en el plano topológico.

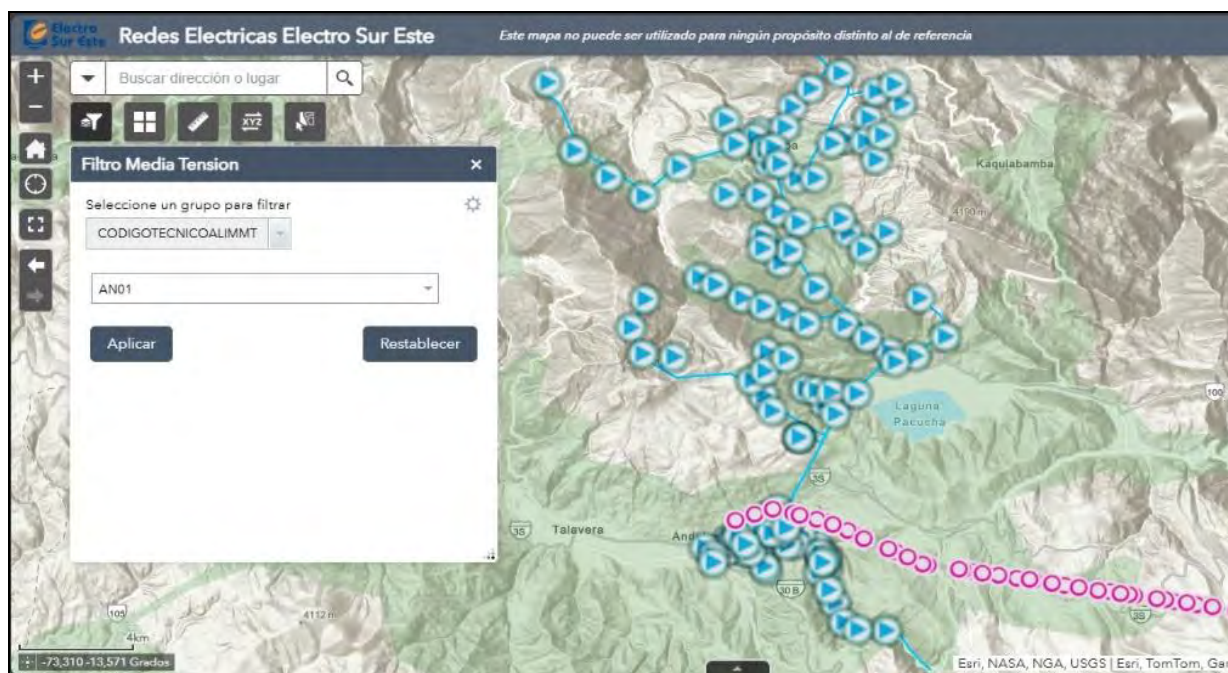
Figura 16
Diagrama Unifilar del AMT AN-01



Fuente. Electro Sur Este S.A.A.

Figura 17

Distribución espacial de las redes eléctricas del alimentador AN-01 en Andahuaylas



Fuente. Plataforma ArcGIS de Redes Eléctricas - Electro Sur Este S.A.A.

3.1.3. Características del Sistema de Medición Actual

El sistema de medición del alimentador AN01 se compone de tres modelos de medidor monofásico STAR DDS26B, HI KING DDS238 y Clou Shenzhen DDS72, cuya función principal es el registro acertado del consumo de energía activa en las instalaciones residenciales e industriales de la concesión como se muestra las características a continuación.

Tabla 9

Características de Medidores Monofásicos

Característica	STAR DDS26B	HI KING DDS238	Clou Shenzhen DDS720
Tipo / N.º hilos	Monofásico 2 hilos	Monofásico 2 hilos	Monofásico 2 hilos
Tensión nominal	220 V AC	220 V AC	110–240 V AC
Frecuencia	50/60 Hz	60 Hz (50 Hz opcional)	50/60 Hz
Corriente nominal	5 (60) A	5 (60) A	5 (60) A; 10 (80) A; 10 (100) A
Clase de precisión	1.0 (IEC 62053-21)	1.0 (±1%) (IEC 61036)	0.5 / 1.0 (IEC 62053-21)

Fuente. Elaboración propia

Los medidores trifásicos son dispositivos esenciales para la medición de parámetros eléctricos en sistemas de distribución de energía de corriente alterna (CA) en aplicaciones industriales, comerciales y residenciales. Estos medidores permiten monitorear el consumo de energía activa (kWh), energía reactiva (kVArh), potencia activa (kW), factor de potencia, y frecuencia de la red, proporcionando datos clave para la gestión eficiente del consumo eléctrico. Modelos como el SANXING N34U03, HIKING DTS238, y STAR DTS27 son representativos de este tipo de medidores, ofreciendo alta precisión, fiabilidad y opciones de conectividad avanzadas (como RS485 y pulsos) para integrarse fácilmente en sistemas de monitoreo y automatización.

Tabla 10
Características de Medidores Trifásicos

Característica	SANXING N34U03	HIKING DTS238	STAR DTS27
Tensión Nominal	3 × 220/380V, 230/400V	3 × 57.7/100V (con TC), o 220/380V	3 × 230/400V (±20%)
Corriente Nominal	5(60)A, 10(100)A	1.5(6)A (con TC), 5(60)A	5(60)A, 10(100)A
Exactitud (Activa)	Clase 0.5S	Clase 1.0	Clase 1.0
Exactitud (Reactiva)	Clase 2.0	No aplica	No aplica
Frecuencia	50/60 Hz	50 Hz	50/60 Hz
Protección (IP)	IP52	IP51	IP40
Normas Cumplidas	IEC 62053-22, IEC 62052-11	GB/T 17215.321 (≈IEC 62053-21)	IEC 62053-21, ANSI C12.20

Fuente. Elaboración propia

3.1.4. Mapa Georreferenciado de la Red de Distribución

El mapa georreferenciado del alimentador AN01 proporcionará una representación detallada de la red de distribución eléctrica en los sectores de Andahuaylas, Andarapa, Pacucha y San Jerónimo. Este mapa incluirá la ubicación precisa de transformadores, usuarios conectados y otros elementos clave de la infraestructura eléctrica.

Para su desarrollo, se emplearán herramientas avanzadas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como ArcGIS, lo que permitirá visualizar y analizar la red con alta precisión. Además de la representación geoespacial de la red eléctrica, el mapa servirá como una herramienta

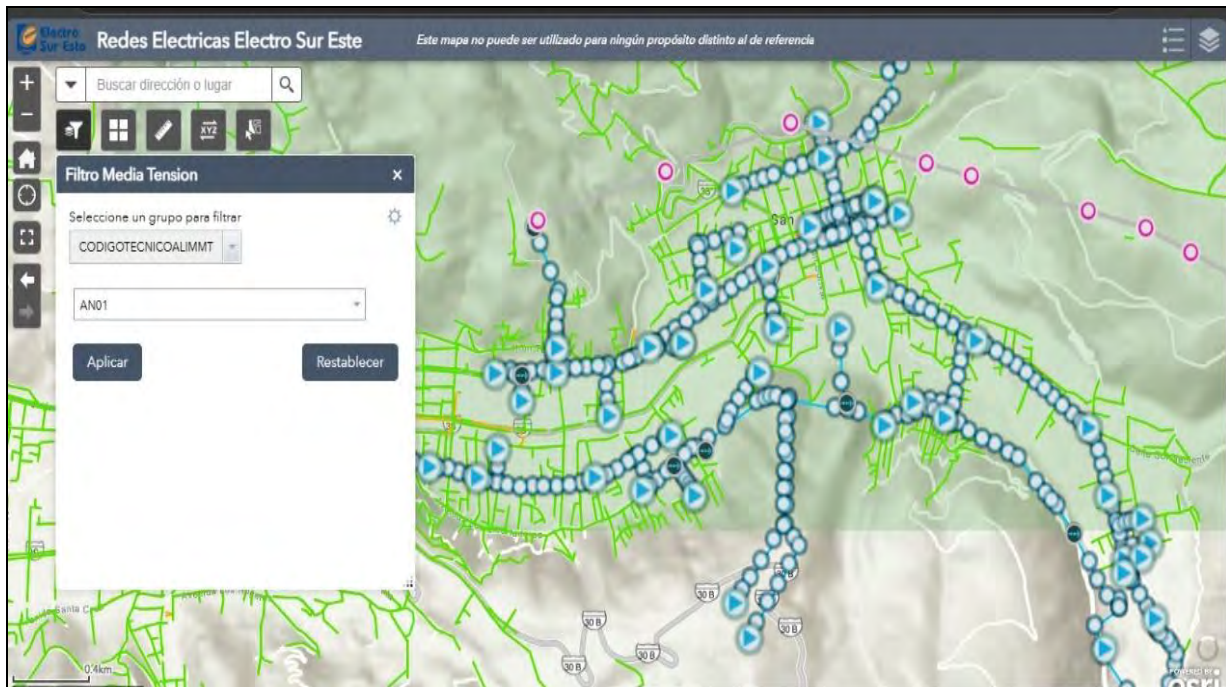
clave para la planificación y optimización de la infraestructura.

Sector San Jerónimo

La imagen correspondiente al sector de San Jerónimo muestra una red de distribución con alta densidad de usuarios y múltiples derivaciones en media tensión. Se observa la presencia de transformadores estratégicamente ubicados para garantizar la estabilidad del suministro.

Figura 18

Distribución espacial de las redes eléctricas del alimentador AN-01 San Jerónimo



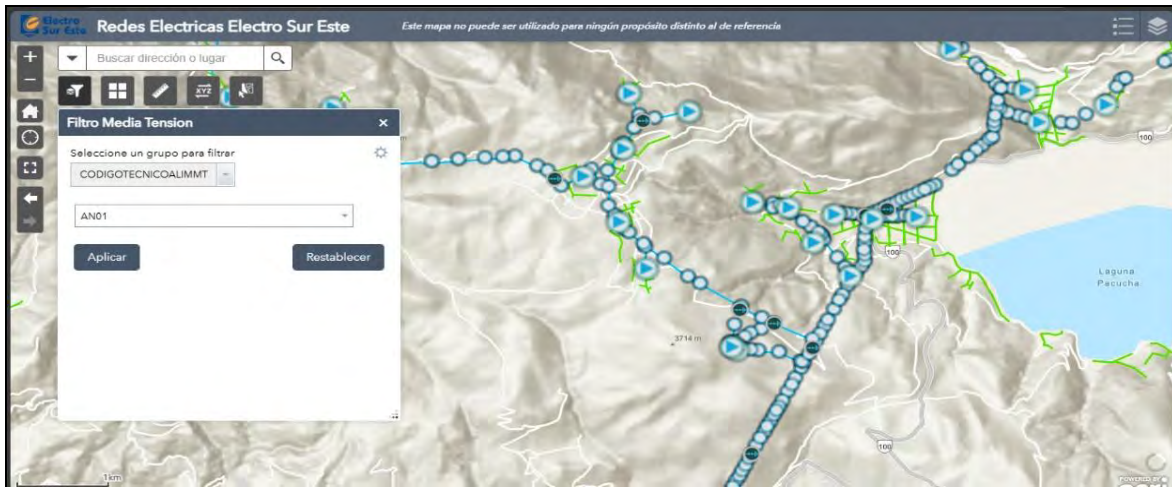
Fuente: Plataforma ArcGIS de Redes Eléctricas - Electro Sur Este S.A.A.

Sector Pacucha

El sector de Pacucha presenta una red de distribución más extensa, con una menor densidad de usuarios y un trazado que recorre zonas rurales. Se destacan las líneas de media tensión que atraviesan terrenos montañosos y cuerpos de agua, conectando transformadores en puntos estratégicos. La georreferenciación permitirá optimizar la instalación de gateways LoRaWAN para mejorar la conectividad y el monitoreo del consumo energético en tiempo real.

Figura 19

Distribución espacial de las redes eléctricas del alimentador AN-01 Pacucha



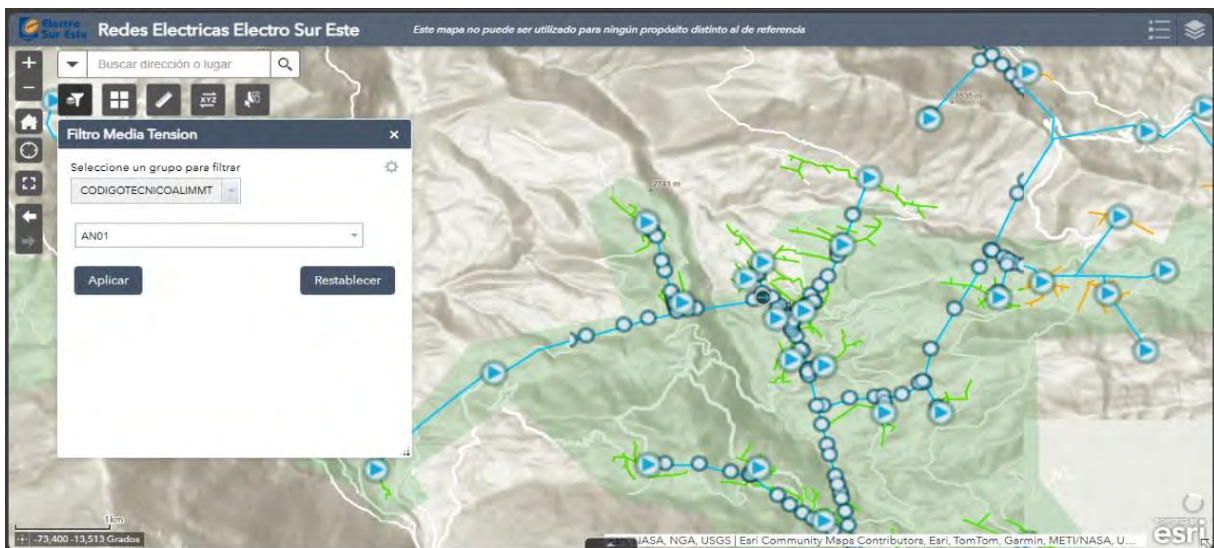
Fuente: Plataforma ArcGIS de Redes Eléctricas - Electro Sur Este S.A.A.

Sector Andarapa

Andarapa, se observa una red de distribución dispersa, con líneas de media tensión que recorren zonas rurales y de difícil acceso. La implementación de LoRaWAN en este sector facilitaría la recopilación de datos en tiempo real, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo pérdidas no técnicas.

Figura 20

Distribución espacial de las redes eléctricas del alimentador AN-01 Andarapa



Fuente: Plataforma ArcGIS de Redes Eléctricas - Electro Sur Este S.A.A.

3.1.5. Características Geográficas y Urbanísticas que Podrían Afectar la Cobertura

LoRaWAN

El despliegue de una red LoRaWAN en Andahuaylas se ve influenciado por diversos factores geográficos y urbanísticos que son claramente visibles en el mapa GIS proporcionado. La orografía accidentada de la región, con cerros y valles que alcanzan altitudes de hasta 4112 m (como se indica en el mapa), genera desafíos significativos para la propagación de señales.

Los principales factores que afectarán la cobertura son:

- El relieve montañoso que genera zonas de sombra en la señal de comunicación.
- La concentración de edificaciones en el centro urbano (visible en el mapa cerca de "Andahuaylas")
- La dispersión de usuarios en zonas rurales alejadas.
- Cuerpos de agua como la Laguna Pacucha, que pueden afectar la propagación de señales.

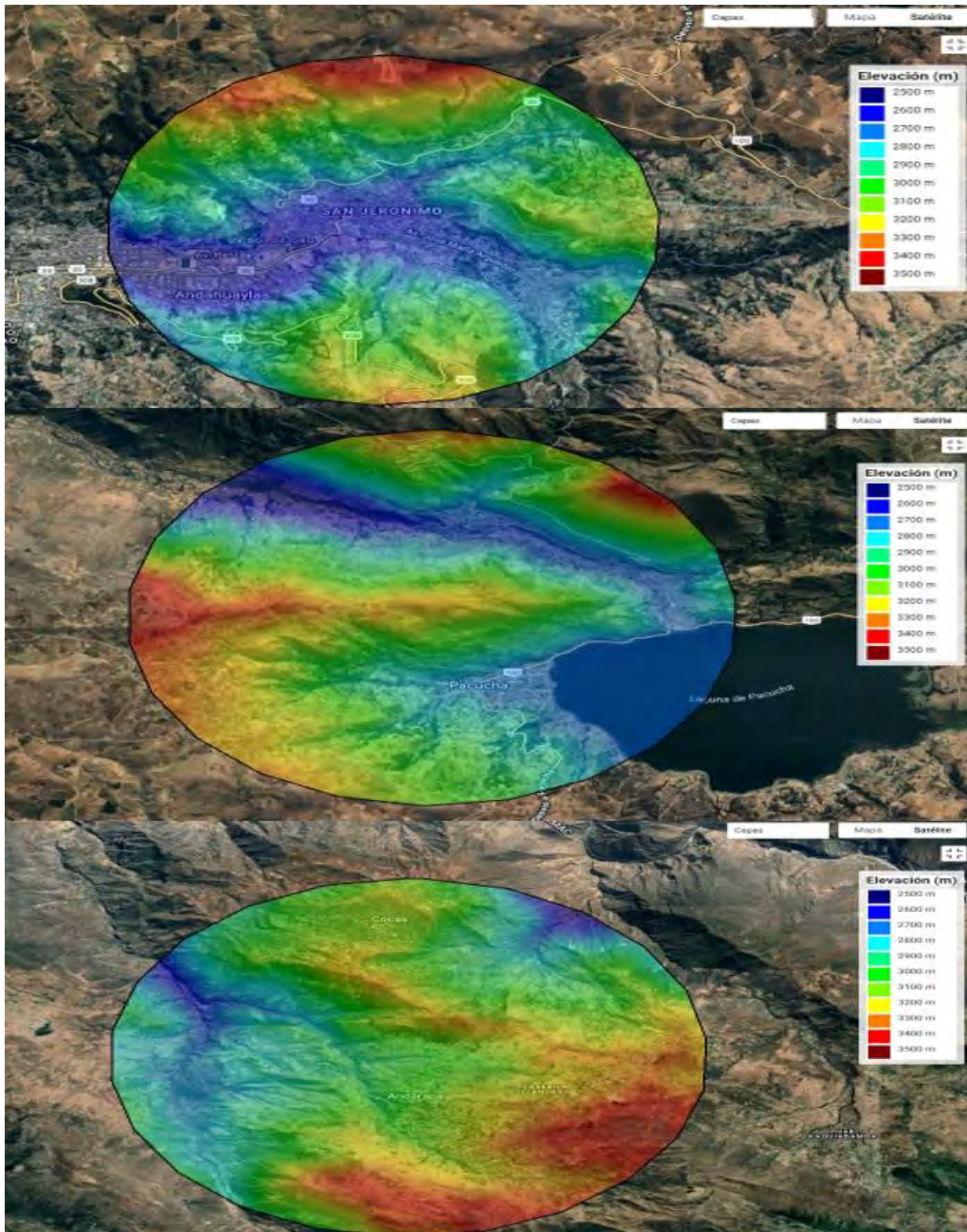
Basado en el análisis del mapa, se recomienda:

- Instalar gateways LoRaWAN en puntos elevados estratégicos, aprovechando la topografía.
- Utilizar repetidores en zonas identificadas como críticas por la orografía.
- Implementar antenas direccionales de mayor ganancia para las áreas más alejadas del alimentador.

El análisis de los mapas con Google Earth evidencia que la cobertura LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A. se verá influenciada por la topografía accidentada de la zona, donde los cerros, valles y variaciones de elevación observados en la imagen pueden generar atenuación y zonas de sombra en la señal. Asimismo, las áreas urbanas y la Laguna Pacucha podrían afectar parcialmente la propagación; sin embargo, los puntos elevados identificados permiten una implementación viable mediante gateways y antenas estratégicamente ubicadas.

Figura 21

Mapas de elevación de las zonas de Andahuaylas, Pacucha y Andarapa



Fuente: Elaboración Propia de Google Earth Pro

3.2. Estudio de la Población y Muestra

3.2.1. Caracterización de los tres sectores residenciales identificados en la matriz

Los sectores residenciales han sido identificados en base a criterios de consumo eléctrico, densidad poblacional y características socioeconómicas, con particular atención a las áreas servidas por el alimentador AN01. Se clasifican en:

Sector 1: Residencias de alto consumo

- Ubicados principalmente en la zona urbana.
- Equipamiento eléctrico moderno y mayor estabilidad en la demanda.
- Consumo medio: 100-4750 kwh/mes
- Electrodomésticos de gran consumo (calefactores eléctricos, aires acondicionados)
- Representan el 10.41% de los usuarios conectados al alimentador AN01

Sector 2: Viviendas de consumo medio

- Distribuidos en la periferia urbana y zonas comerciales mixtas.
- Patrones de uso variables y presencia de pequeños negocios
- Consumo medio: 30-100 kWh/mes
- Demanda fluctuante según estación y actividad comercial
- Representan el 28.49% de los usuarios del alimentador.

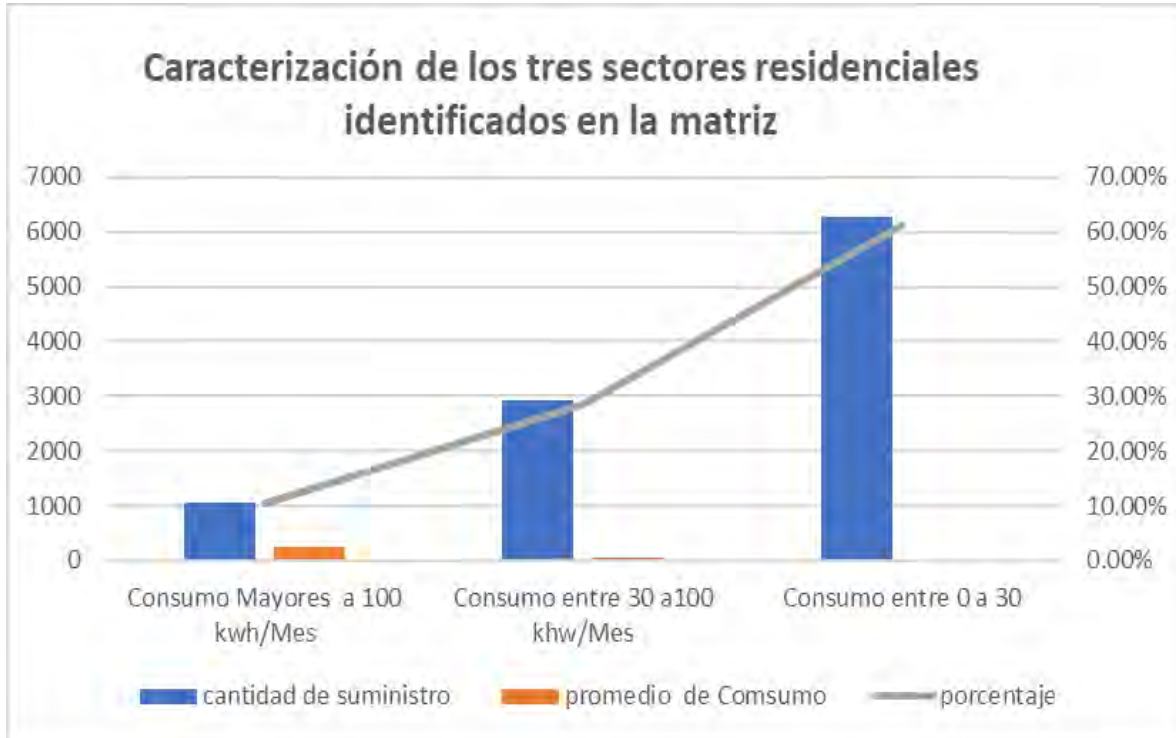
Sector 3: Hogares de bajo consumo

- Localizados principalmente en áreas rurales y periurbanas de reciente desarrollo
- Menor infraestructura eléctrica y mayor incidencia de pérdidas no técnicas.
- Consumo medio: 0-30 kWh/mes
- Alta dependencia de tarifas subsidiadas
- Irregularidad en patrones de consumo

- Representan el 61.10% de los usuarios del alimentador.

Figura 22

Caracterización según el Consumo de los tres Sectores

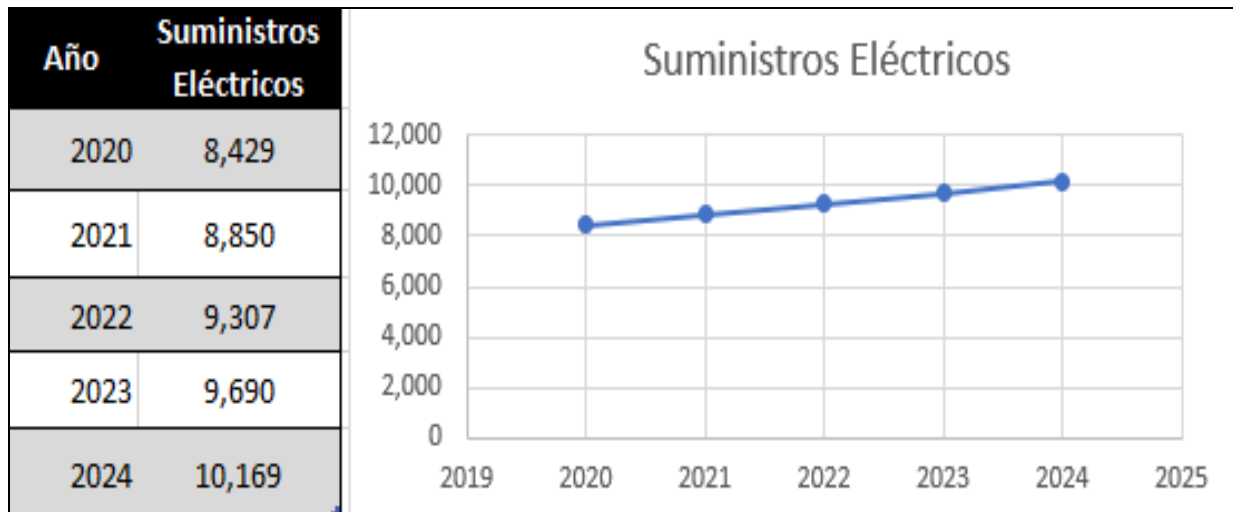


Fuente. Elaboración Propia

3.2.2. *Tamaño y Distribución de Usuarios*

El estudio utiliza un muestro representativo de usuarios conectados al alimentador AN-01 en la zona urbana de Andahuaylas, considerando la distribución por sectores, conexiones activas y el crecimiento de usuarios en los últimos años. Aproximadamente el 14.53% de la población urbana está cubierta por este alimentador, con una distribución influenciada por el desarrollo urbano y la migración interna. Se ha observado un crecimiento sostenido en la cantidad de usuarios desde 2020. La tabla siguiente muestra la evolución del número de suministros eléctricos en la zona urbana de Andahuaylas entre 2020 y 2024.

Figura 23
Evolución de suministros del Alimentador AN-01



Fuente. Elaboración Propia

- **Cálculo del Índice de Crecimiento Anual (CGA)**

Es un indicador que refleja el ritmo promedio al que ha crecido o crecerá anualmente el número de medidores de energía eléctrica en la empresa Electro Sur Este S.A.A., durante un periodo determinado, asumiendo un crecimiento constante. Este índice permite evaluar la expansión del sistema de medición en el tiempo y proyectar su evolución futura.

El índice de crecimiento anual se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$IC = \left(\frac{V_{t+1} - V_t}{V_t} \right) \times 100$$

Donde V_t representa el número de suministros en el año anterior y V_{t+1} el número de suministros en el año siguiente. El índice de crecimiento para cada año entre 2020 y 2024 es el siguiente:

- Crecimiento de 2020 a 2021: 4.99%
- Crecimiento de 2021 a 2022: 5.16%
- Crecimiento de 2022 a 2023: 4.12%

- Crecimiento de 2023 a 2024: 4.94%

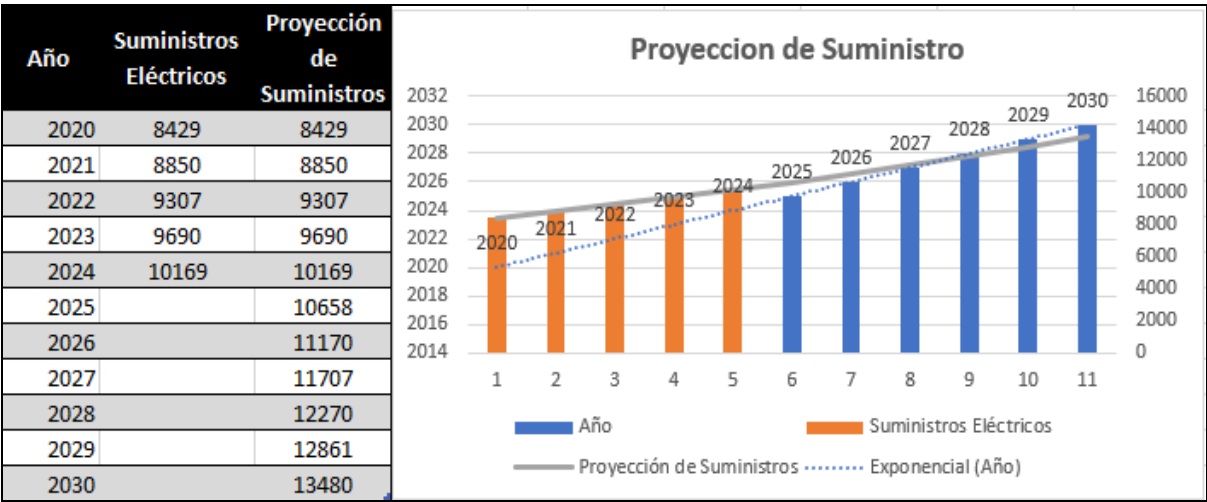
El crecimiento acumulado en cinco años ha sido del 20.64%, lo que refleja un desarrollo urbano acelerado y patrones de migración interna en la región. Este crecimiento se calcula con la fórmula del Índice de Crecimiento Anual (IC), obteniendo un promedio del 4.81% anual.

• **Proyecciones de Suministros Eléctricos hasta 2030**

Usando el índice de crecimiento promedio de 4.81%, se realizaron proyecciones para los próximos años, hasta el 2030. La fórmula utilizada para estas proyecciones fue:

$$V_{t+1} = V_t \times \left(1 + \frac{IC}{100}\right)$$

Figura 24
Proyección de Suministros del Alimentador AN-0



Fuente. Elaboración Propia

El análisis del periodo 2020-2024 revela un crecimiento sostenido de la demanda eléctrica con una tasa anual compuesta (CAGR) del 4.81%, equivalente a un incremento acumulado del 20.64%. Extrapolando esta tendencia, se proyecta que para 2030 la demanda alcanzará las 13,480 unidades, representando un crecimiento adicional del 32.56% respecto a los niveles de 2024.

Estas proyecciones permiten anticipar la demanda de infraestructura eléctrica en la ciudad

y evaluar la factibilidad de implementar soluciones como los medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN, con el objetivo de reducir pérdidas no técnicas y mejorar la eficiencia en la distribución de energía en la zona urbana de Andahuaylas.

3.3. Diagnóstico de la situación actual

La situación actual del sistema de medición en el alimentador AN01 es fundamental para evaluar su eficiencia, detectar problemas y justificar la posible implementación de tecnologías avanzadas como los medidores inteligentes con LoRaWAN. A continuación, se analizan aspectos clave del sistema de medición convencional, las pérdidas no técnicas, la precisión en la facturación y los costos operativos.

3.3.1. Identificación de pérdidas no técnicas

En el distrito de Andahuaylas, bajo la concesión de Electro Sur Este, las pérdidas no técnicas (PNT) en el alimentador AN01 representan uno de los principales desafíos operativos y financieros. Según informes internos de la empresa (2024), las PNT en este alimentador alcanzan un 7,88%, lo que equivale a 835 MWh de energía perdida. Esta cifra es preocupante, ya que impacta directamente en la eficiencia operativa y la rentabilidad del sistema eléctrico.

Los principales focos de pérdidas se concentran en:

- **Manipulación de medidores:** Representa 22 MWh (0,20 %) de las pérdidas totales. Esto Representa 22 MWh (0,20%) de las pérdidas totales. Esto ocurre cuando los usuarios alteran los dispositivos de medición para registrar consumos menores a los reales, reduciendo artificialmente sus facturas y afectando los ingresos de la empresa.
- **Conexiones ilegales:** Incluidas dentro de los consumos no autorizados, que representan 564 MWh (5,32%), afectan gravemente la red eléctrica, generando sobrecargas y

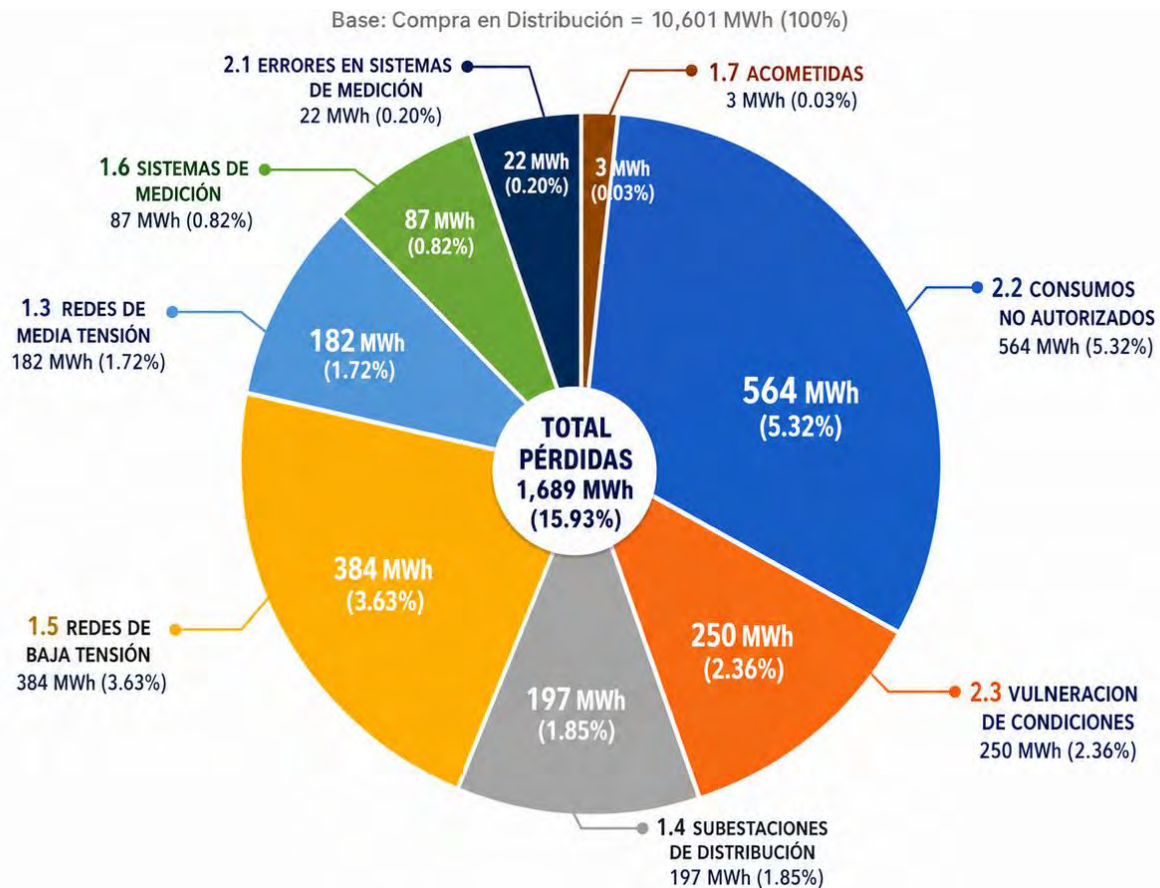
aumentando el riesgo de fallas en el sistema. Estos usuarios se conectan directamente sin pasar por un medidor, evitando el pago por el servicio.

- **Fraude en la facturación:** Relacionado con la vulneración de condiciones, Relacionado con la vulneración de condiciones, que alcanza 249 MWh (2,36%), donde se detectan modificaciones en los registros de consumo o informes incorrectos que distorsionan la facturación real.

Las pérdidas en el alimentador AN-01 generan altos costos y reducen la calidad del servicio en Andahuaylas. La energía perdida equivale al consumo mensual de cientos de hogares y pequeñas empresas, por lo que es urgente mejorar la eficiencia operativa.

Figura 25

Diagrama de Perdidas del Alimentador AN-01



Fuente. Elaboración Propia

Técnicas de fraude identificadas en la zona de Electro Sur Este

Durante inspecciones realizadas en colaboración con el personal de Electro Sur Este (2022-2023), se documentaron las siguientes prácticas ilegales:

Tabla 11
Principales métodos de hurto de energía en Andahuaylas

Método de fraude	Zona de mayor incidencia	Impacto en el sistema
Conexiones clandestinas ("enganches")	AA.HH. y zonas periurbanas	Sobrecarga de transformadores, aumento de fallas
Puenteo de medidores	Comercios y mercados (ej.: Mercado Modelo)	Subregistro del 40-60% del consumo real
Uso de dispositivos ilegales (imanes, inversores)	Talleres y viviendas multifamiliares	Daño a equipos de medición
Alteración de sellos y cables	Zona urbana y rural	Dificulta la detección por inspección visual

Fuente: Elaboración Propia

Causas principales del hurto de energía

- Factores económicos: Alto índice de pobreza (31.2% en Apurímac, INEI 2022) y tarifas percibidas como elevadas.
- Limitada capacidad de fiscalización: Solo 3 inspectores asignados a toda la provincia de Andahuaylas.
- Desconfianza en la empresa: Usuarios alegan que Electro Sur Este no invierte en mejora de redes a pesar de los pagos.

La implementación de sistemas de telemedición con LoRaWAN permitiría detectar irregularidades en tiempo real, facilitando la reducción de pérdidas no técnicas mediante alertas automáticas y monitoreo continuo del consumo.

Figura 26
Medidor con Conexión Clandestina (Punteo)



Fuente. Elaboración Propia

3.3.2. Evaluación de la eficiencia operativa

La eficiencia operativa de Electro Sur Este S.A.A. en el alimentador AN-01 se ve afectada por ineficiencias en la medición de consumo y la gestión de corte y reconexión por deuda. Los procesos manuales y las tecnologías obsoletas generan costos elevados, retrasos y errores humanos, afectando la precisión de mediciones, la gestión de ingresos y la satisfacción de los usuarios

Proceso operativo asociado

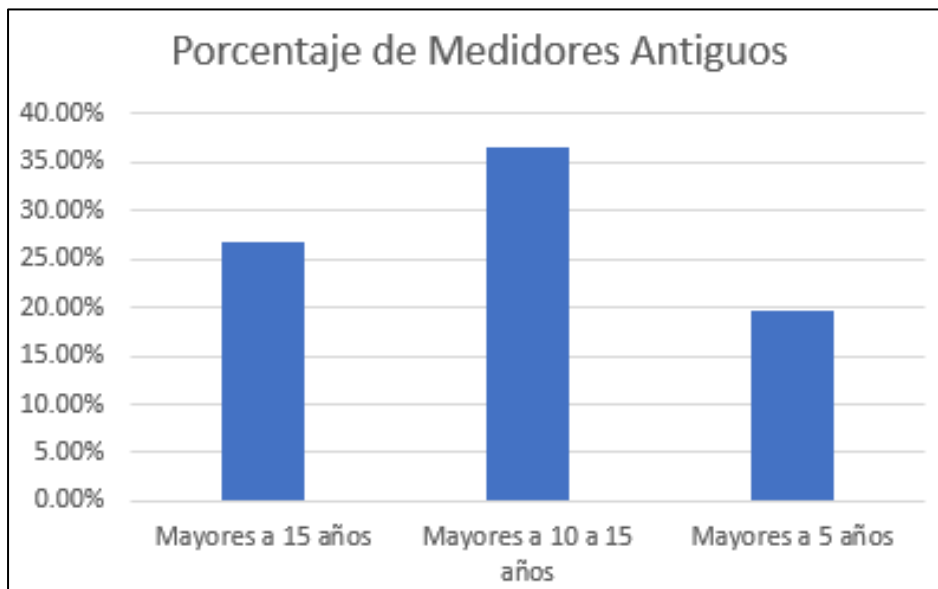
El proceso de medición de consumo y el proceso de corte y reconexión por deuda se realizan de manera principalmente manual, lo que crea diversas deficiencias operativas. A continuación, se detalla el ciclo operativo de ambos procesos:

- **Medición de consumo:**

- El sistema de medición en el alimentador AN-01 está compuesto mayoritariamente por medidores electromecánicos que presentan una antigüedad promedio de 18 años, excediendo el periodo de vida útil recomendado (10-15 años). Esto provoca errores en las lecturas, imprecisión en las mediciones y un mayor mantenimiento.
- El proceso de lectura manual de los medidores toma en promedio 3 días por mes para completar todas las mediciones, lo que genera retrasos en la facturación y posibles errores humanos.

Figura 27

Porcentajes de Medidores Antiguos



Fuente. Elaboración Propia

- **Corte y reconexión por deuda:**

- El procedimiento de corte y reconexión se realiza manualmente, con personal técnico que se desplaza hasta el lugar para ejecutar las desconexiones o reconexiones. El tiempo promedio de ejecución por cliente es de 60 minutos (incluyendo desplazamiento, verificación y ejecución).

- En promedio, se realizan 298 desconexiones mensuales promedio en el alimentador AN-01, lo que representa 50 horas hombre al mes dedicadas exclusivamente a este proceso.

- **Causas de la ineficiencia operativa**

Las principales causas de la ineficiencia operativa en los procesos de medición y corte/reconexión son:

- **Dependencia de procesos manuales:** Tanto en el proceso de medición como en el de corte/reconexión, la dependencia de procedimientos manuales genera errores humanos, retrasos y un uso ineficiente de recursos humanos. La lectura de medidores manuales y el desplazamiento físico para desconectar/reconectar servicios son factores que contribuyen a la baja eficiencia.
- **Obsolescencia tecnológica:** Los medidores electrónicos convencionales, que constituyen el 98.72% del total de medidores instalados en el área de concesión, no están equipados con capacidades de comunicación remota, lo que obliga a realizar lecturas físicas y aumenta la posibilidad de errores en la medición y demoras.
- **Impacto en la eficiencia operativa:** La falta de automatización y el uso de tecnologías obsoletas tienen un impacto significativo en la eficiencia operativa de Electro Sur Este S.A.A.:

- **Retrasos en la medición y facturación**

El proceso manual de lectura de medidores genera demoras en la recopilación de datos y la posterior facturación, lo que afecta la liquidez de la empresa y la satisfacción de los clientes, especialmente aquellos que reciben facturas imprecisas o tardías.

- **Costos operativos elevados**

La gestión manual de cortes y reconexiones requiere un uso significativo de personal técnico (50 horas hombre mensuales), lo que genera costos adicionales relacionados con el

desplazamiento y las intervenciones en campo.

- **Incapacidad para actuar rápidamente ante morosidad**

La demora en los cortes de servicio impide a la empresa tomar medidas inmediatas con los usuarios morosos, afectando la gestión de ingresos. Además, se incumple con las normativas de interrupción de servicio según los plazos establecidos.

3.3.3. *Desafíos de la Medición Actual*

El sistema de medición del alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A. presenta limitaciones críticas que afectan su eficiencia operativa y la calidad del servicio.

- **Obsolescencia tecnológica:** Los medidores instalados son electrónicos con una antigüedad promedio de 15 años, superando su vida útil recomendada. Esto genera fallos de calibración, lecturas imprecisas y un aumento de costos por mantenimiento.
- **Dependencia de lectura manual:** La lectura se realiza manualmente, consumiendo tiempo y recursos humanos, con alta exposición a errores de registro e interpretación, agravada por dificultades de acceso en zonas rurales.
- **Ausencia de monitoreo en tiempo real:** La falta de comunicación remota impide la detección inmediata de fluctuaciones o fallas en la red, provocando respuestas lentas ante incidentes y afectando la eficiencia operativa.
- **Ineficiencia en el corte y reconexión:** El proceso manual de corte/reconexión requiere en promedio 60 minutos por cliente y representa 50 horas hombres mensuales, con demoras de 1 a 2 días entre la emisión y ejecución de órdenes, afectando la gestión de ingresos.
- **Falta de datos para toma de decisiones:** La infraestructura actual limita el acceso a información actualizada, dificultando la reacción rápida ante pérdidas, fraudes o fallos técnicos, y comprometiendo la eficiencia operativa.

Figura 28
Proceso de Medición Convencional



Fuente. Elaboración Propia

La situación actual del alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A. evidencia diversas limitaciones operativas y técnicas asociadas al crecimiento de la demanda eléctrica y al uso de infraestructura de medición convencional. El análisis realizado muestra un crecimiento sostenido de la demanda eléctrica, con una tasa anual de 4.81% y una proyección de 13,480 suministros para el año 2030. Además, el 61.10% de los usuarios pertenece a sectores rurales y periurbanos, donde existe mayor incidencia de pérdidas no técnicas y dificultades de supervisión.

Asimismo, el sistema de medición actual presenta limitaciones debido al uso de medidores convencionales con una antigüedad promedio de 15 a 18 años y procesos manuales de lectura, corte y reconexión, los cuales generan retrasos, errores y altos costos operativos. De igual manera, las pérdidas no técnicas alcanzan el 7.88% de la energía distribuida, equivalente a 835 MWh, principalmente por conexiones ilegales y manipulación de medidores, afectando la eficiencia operativa y el control del sistema eléctrico.

CAPÍTULO IV

DIMENSIONAMIENTO DE LA RED LORAWAN

4.1. Cálculo de Cobertura

La cobertura radio en una red LoRaWAN se estima mediante modelos de propagación y ensayos prácticos. En primer lugar, se efectúa un análisis de link budget calculando la pérdida de trayectoria en espacio libre (FSPL) y/o usando modelos empíricos como Okumura-Hata adaptados a la frecuencia de LoRa (~ 915 MHz). El modelo de Okumura-Hata (válido para 150–1500 MHz) permite calcular la atenuación media en función de la distancia y alturas de antena. A partir de este cálculo se determina la cobertura teórica: por ejemplo, con una potencia de transmisión típica de 14 dBm y sensibilidad de -137 dBm en SF12, se pueden cubrir varios kilómetros en terreno despejado. En segundo lugar, se complementa con métodos prácticos: simulaciones en software (Radio Mobile, SPLAT, etc.) y mediciones de campo. Estas herramientas incorporan el relieve local y permiten generar mapas de cobertura más realistas que el modelo teórico básico.

El entorno geográfico de Andahuaylas es altamente accidentado. Los distritos de San Jerónimo, Andarapa y Pacucha se ubican en la sierra sur del Perú, con altitudes medias de ~ 2944 m en San Jerónimo, ~ 2935 m en Andarapa y ~ 3125 m en Pacucha. Se alternan valles profundos y cadenas montañosas (por ejemplo, el pico Sallapi cerca de San Jerónimo llega ~ 4800 m) con mesetas elevadas. Estas elevadas cumbres y quebradas generan sombras de señal considerables, por lo que la cobertura tiende a interrumpirse en zonas de línea de vista obstruida. El clima es templado de altura, con temperaturas máximas diurnas promedio alrededor de 20°C y mínimas nocturnas de $\sim 4\text{--}9^\circ\text{C}$. Las precipitaciones son intensas en época de lluvias (diciembre-abril) y casi nulas en estación seca. En resumen, la combinación de alta altitud, orografía abrupta y variaciones climáticas obliga a planificar cuidadosamente la cobertura, privilegiando ubicaciones elevadas y

garantizando que las antenas del gateway tengan la mejor visibilidad posible sobre los medidores.

4.1.1. Métodos de Cálculo de Cobertura

Para dimensionar adecuadamente una red LoRaWAN, es fundamental estimar la cobertura de los gateways, lo cual depende principalmente de las condiciones del terreno, la frecuencia utilizada y la potencia de transmisión. Existen diversos modelos de propagación que permiten estimar la pérdida de señal en función de la distancia y las condiciones del entorno. A continuación, se describen los métodos más relevantes para entornos urbanos y rurales, como el del distrito de Andahuaylas.

Modelo de Propagación de Okumura-Hata

Este modelo es ampliamente utilizado en telecomunicaciones para entornos urbanos, suburbanos y rurales. Es una versión empírica derivada de mediciones realizadas en Japón y adaptada posteriormente por Hata. Su ecuación básica para entornos urbanos es:

$$L_{50}(dB) = 69.55 + 26.16 \log_{10}(f) - 13.82 \log_{10}(h_t) - a(h_r) + [44.9 - 6.55 \log_{10}(h_t)] \log_{10}(d)$$

Donde:

- L_{50} : pérdida media de trayectoria (dB)
- f : frecuencia en MHz (se utiliza 915 MHz para LoRa en Sudamérica)
- h_t : altura de la antena transmisora (m)
- h_r : altura de la antena receptora (m)
- d : distancia entre transmisor y receptor (km)
- $a(h_r)$: corrección de la altura del receptor, según entorno

Para entornos rurales, se adapta el modelo restando una corrección de entorno, lo que lo hace apropiado para el área geográfica de Andahuaylas.

Modelo de Longley-Rice (también conocido como Irregular Terrain Model – ITM)

El modelo Longley-Rice, también conocido como Irregular Terrain Model (ITM), es una metodología de predicción de propagación de ondas de radio que considera de manera detallada las características del terreno. Su aplicación resulta especialmente adecuada en regiones con geografía compleja, como Andahuaylas, debido a su capacidad para modelar entornos con variaciones topográficas significativas.

A diferencia de modelos empíricos como el de Hata, el modelo Longley-Rice incorpora:

- La presencia de obstáculos naturales como cerros, valles o vegetación densa
- Condiciones atmosféricas, eléctricas y del suelo que afectan la propagación
- Frecuencia, altura de antenas y perfil del enlace punto a punto

Este modelo se destaca por su mayor precisión en zonas rurales y de difícil orografía, aunque requiere mayor cantidad de datos y herramientas computacionales para su implementación. Uno de los programas más utilizados para aplicar este modelo es Radio Mobile, el cual permite simular enlaces de radio considerando mapas digitales de elevación (DEM).

Modelo Empírico de Radio Mobile

Radio Mobile utiliza el modelo Longley-Rice para simular la propagación de ondas en condiciones reales. A través de mapas digitales de elevación (DEM) y parámetros como ganancia de antenas, potencia de transmisión y sensibilidad de los receptores, permite generar mapas de cobertura que reflejan con mayor exactitud las áreas cubiertas por los gateways LoRaWAN.

Este software es ideal para evaluar redes LPWAN como LoRaWAN debido a su enfoque en terreno irregular y condiciones de propagación realistas. Su ventaja radica en que ofrece una simulación visual y cuantitativa del área de cobertura, lo que facilita la toma de decisiones para la ubicación óptima de los gateways.

Comparación de Modelos

Tabla 12

Comparativa de Modelos de evaluación de señal LoraWAN

Modelo	Precisión	Requiere software	Ideal para	Facilidad de uso
Okumura-Hata	Media	No	Áreas urbanas y rurales planas	Alta
Longley-Rice (ITM)	Alta	Sí	Terrenos irregulares (como Andahuaylas)	Media
Radio Mobile	Muy alta	Sí	Diseño de red real	Alta (con entrenamiento básico)

Fuente. Elaboración Propia

Elección del modelo para este estudio

Debido a las características topográficas de Andahuaylas, se ha elegido emplear el modelo Longley-Rice mediante el software Radio Mobile para simular la cobertura real de los gateways LoRaWAN. Esta herramienta permite integrar variables como elevación del terreno, ubicación de obstáculos y altura de torres para obtener una estimación precisa de la cobertura disponible.

4.1.2. Análisis de las condiciones geográficas de Andahuaylas

La cobertura y eficiencia de una red LoRaWAN dependen en gran medida de las condiciones geográficas del área donde se implementa. En el caso del distrito de Andahuaylas, ubicado en el departamento de Apurímac, Perú, estas condiciones son particularmente relevantes debido a su topografía montañosa y dispersión poblacional.

Características generales del entorno geográfico

Andahuaylas se encuentra en una región andina con altitudes que oscilan entre los 2,500 y 3,500 metros sobre el nivel del mar. Su relieve está compuesto por valles estrechos, cerros empinados y zonas agrícolas distribuidas de manera irregular. Esta morfología representa un desafío para la propagación de señales de radiofrecuencia, ya que las obstrucciones naturales (montañas y elevaciones) pueden generar pérdidas por sombra y reflexiones no deseadas.

Además, la densidad de viviendas y postes donde se instalan los medidores es variable. En las zonas urbanas existe mayor concentración de usuarios, mientras que en las áreas rurales predominan viviendas aisladas, lo que afecta directamente la planificación de cobertura y la ubicación de gateways.

Zonas identificadas para análisis de cobertura

Para efectos del presente estudio, se han identificado tres tipos de zonas dentro del ámbito de influencia del alimentador AN-01:

- **Zona Urbana Central**
 - o Densidad media-alta de usuarios.
 - o Presencia de edificaciones de hasta 3 pisos.
 - o Acceso fácil para instalación de gateways en infraestructura existente.
 - o Obstrucciones menores, ideal para señal LoRa.
- **Zona Periurbana**
 - o Densidad media de usuarios, con viviendas espaciadas.
 - o Presencia de árboles altos y pequeñas colinas.
 - o Obstáculos moderados para propagación, requiere ajuste de altura de antenas.
- **Zona Rural Aislada**
 - o Usuarios dispersos en áreas agrícolas y rurales.
 - o Obstáculos naturales significativos (cerros, quebradas).
 - o Requiere análisis detallado con modelos como Longley-Rice para asegurar la cobertura.

Impacto en la planificación de la red LoRaWAN

Debido a estas características, la planificación del número y ubicación de gateways debe

considerar:

- Altura mínima de instalación (idealmente superior a 10 m en zonas con obstáculos).
- Línea de vista (LOS): en lo posible, directa entre gateway y nodos, aunque LoRa permite cierto grado de obstrucción gracias a su modulación robusta.
- Uso de mapas topográficos y curvas de nivel para evitar zonas de sombra.
- Adaptación de parámetros de transmisión (frecuencia, potencia, spreading factor) según el tipo de zona.

Soporte cartográfico

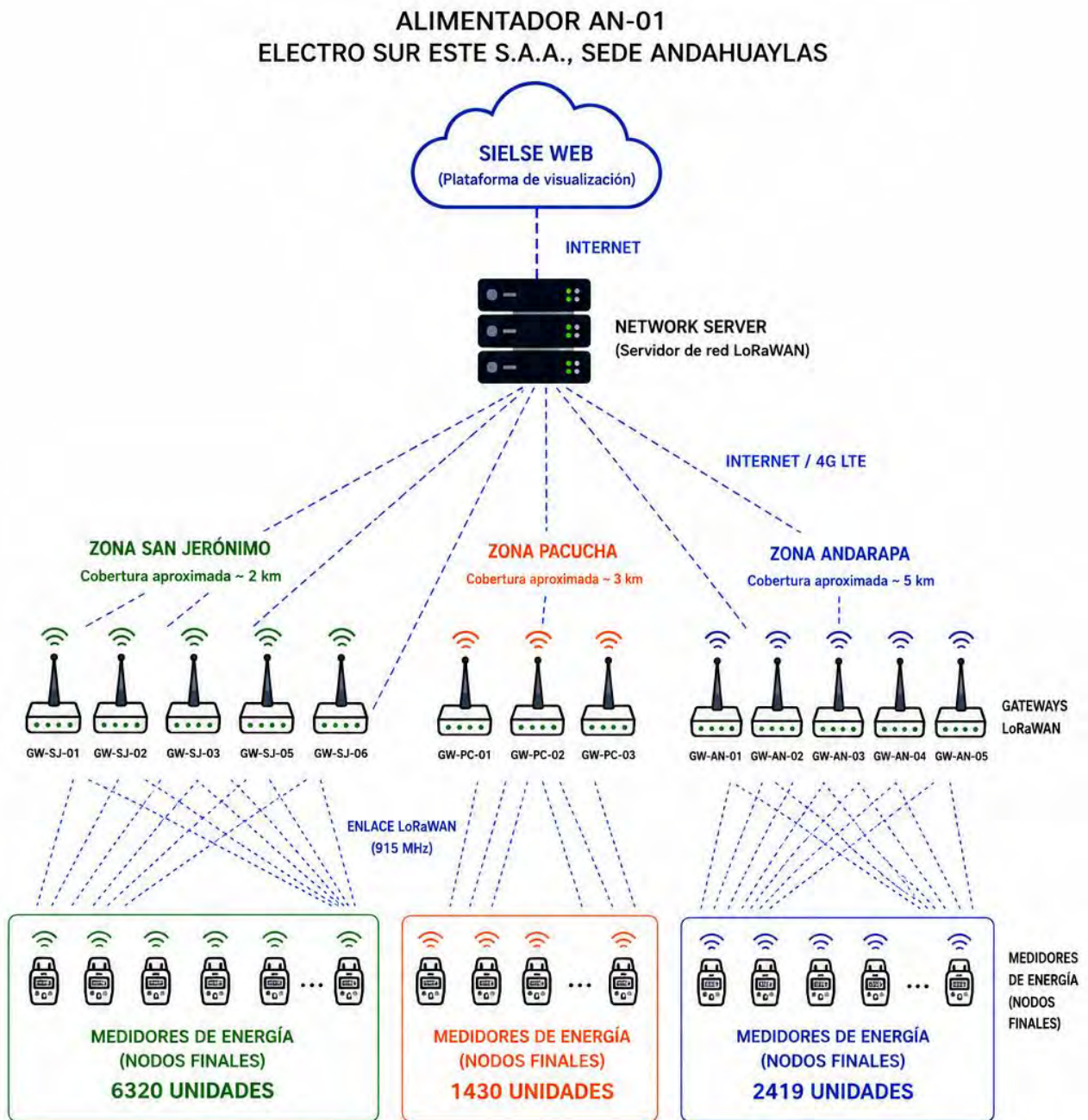
Para apoyar este análisis se ha empleado:

- Cartografía topográfica del IGN (Instituto Geográfico Nacional del Perú)
- Mapas de elevación SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), con resolución de 30 metros.
- Imágenes satelitales de Google Earth Pro, para verificación de terreno y acceso a puntos de interés.

En el siguiente capítulo se aplicarán estos datos en la simulación de cobertura mediante el software Radio Mobile, lo que permitirá validar las zonas críticas y confirmar la viabilidad técnica del proyecto.

4.1.3. Arquitectura de comunicación LoRaWAN del alimentador AN-01

La arquitectura de comunicación LoRaWAN implementada en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, se basa en un modelo de red inalámbrica de tipo estrella de estrellas (star-of-stars), característico de esta tecnología, que permite la transmisión eficiente de datos desde los dispositivos finales hacia una plataforma central de monitoreo.

Figura 29*Diagrama Unifilar de la Tecnología LoRaWAN*

CONCEPTO	ZONA SAN JERÓNIMO	ZONA PACUCHA	ZONA ANDARAPA	TOTAL
Medidores de energía (Nodos finales)	6320	1430	2419	10169
Gateways LoRaWAN	6	3	5	14

Fuente. Elaboración Propia

En este esquema, los medidores de energía eléctrica actúan como nodos finales (end devices), los cuales generan y transmiten información de consumo eléctrico mediante tecnología LoRaWAN en la banda de frecuencia de 915 MHz (banda ISM). Estos dispositivos se encuentran distribuidos geográficamente en tres zonas principales del alimentador: San Jerónimo, Pacucha y Andarapa.

Cada uno de los nodos finales establece comunicación directa con uno o varios gateways LoRaWAN, los cuales cumplen la función de recepción y retransmisión de los datos hacia el servidor de red. Es importante destacar que la arquitectura implementada no considera un gateway centralizado, sino que cada gateway opera de manera independiente, estableciendo su propia conexión hacia el servidor mediante redes de comunicación como Internet o 4G LTE.

En la zona de San Jerónimo se dispone de un total de 6320 medidores de energía, los cuales son atendidos por 6 gateways LoRaWAN, permitiendo una cobertura aproximada de 2 km. Por su parte, en la zona de Pacucha se cuenta con 1430 medidores, conectados a 3 gateways, con una cobertura estimada de 3 km. Finalmente, en la zona de Andarapa se tienen 2419 medidores, distribuidos en conexión con 5 gateways, alcanzando una cobertura aproximada de 5 km.

La comunicación entre los medidores y los gateways se realiza mediante enlaces inalámbricos LoRaWAN, caracterizados por su bajo consumo energético, largo alcance y alta capacidad de penetración en entornos urbanos y rurales. Estos enlaces permiten la transmisión de datos a largas distancias, siendo especialmente adecuados para aplicaciones de medición inteligente en zonas con limitaciones de infraestructura.

Una vez recibidos los datos por los gateways, estos son enviados hacia el Network Server (servidor de red LoRaWAN) a través de conexiones de datos (Internet o redes móviles). El servidor se encarga de gestionar la red, procesar la información recibida y dirigirla hacia la plataforma de

visualización, en este caso SIELSE WEB, donde los datos pueden ser monitoreados y analizados en tiempo real.

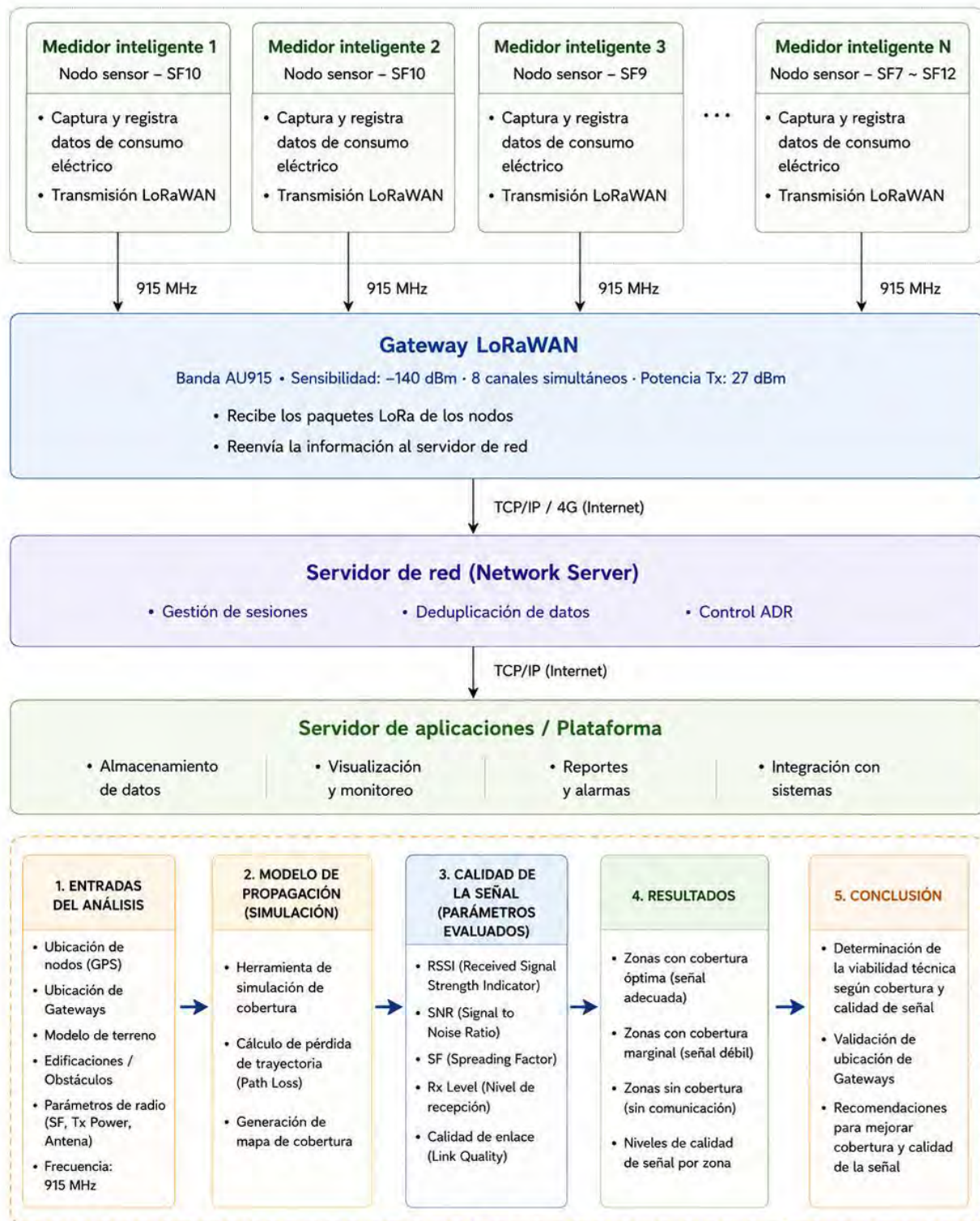
El diagrama unifilar presentado en la Figura 29 ilustra de manera simplificada esta arquitectura, mostrando la relación entre los nodos finales, los gateways y el servidor de red, así como la distribución geográfica por zonas. Esta representación permite comprender el funcionamiento general del sistema y facilita el análisis de cobertura y calidad de señal en el área de estudio.

En conjunto, la arquitectura LoRaWAN implementada en el alimentador AN-01 evidencia una solución escalable y eficiente para la gestión de medidores inteligentes, permitiendo la recolección remota de datos y contribuyendo a la optimización de los procesos operativos en el sistema de distribución eléctrica.

4.1.4. Análisis de cobertura del protocolo LoRaWAN

Con la finalidad de representar de manera estructurada el funcionamiento de la red LoRaWAN y el proceso de análisis de cobertura en el alimentador AN-01, se presenta el siguiente diagrama de bloques. Este esquema permite visualizar el flujo de comunicación entre los medidores inteligentes, el gateway LoRaWAN y la plataforma de monitoreo, así como los principales elementos involucrados en la evaluación de cobertura y calidad de señal.

Asimismo, el diagrama muestra las etapas consideradas en el análisis de propagación de la señal, incluyendo la recopilación de datos geográficos, configuración de parámetros de la red, simulación de cobertura y evaluación de indicadores técnicos como RSSI y SNR. De esta manera, se facilita la comprensión del comportamiento de la red LoRaWAN en el área de estudio y la identificación de zonas con adecuada conectividad o posibles limitaciones de cobertura.

Figura 30*Diagrama de Análisis de Cobertura del sistema LoRaWAN**Fuente. Elaboración Propia*

El diagrama presentado describe la arquitectura funcional del sistema LoRaWAN, donde los medidores inteligentes (nodos finales) capturan y transmiten datos mediante comunicación inalámbrica en la banda de 915 MHz hacia los gateways LoRaWAN. Estos dispositivos se encargan de recibir los paquetes de información y reenviarlos, a través de redes IP, hacia el servidor de red, donde se realiza la gestión de sesiones, control de dispositivos y procesamiento de datos.

Posteriormente, la información es enviada al servidor de aplicaciones, donde se lleva a cabo el almacenamiento, visualización y análisis de los datos.

Asimismo, el diagrama incorpora el proceso de análisis de cobertura y calidad de la señal, considerando parámetros técnicos como el RSSI (Received Signal Strength Indicator), SNR (Signal to Noise Ratio), Spreading Factor (SF), y pérdidas por trayectoria (Path Loss). Estos indicadores permiten evaluar la calidad del enlace de comunicación, identificar zonas con cobertura óptima, marginal o sin cobertura, y validar la viabilidad técnica de la red LoRaWAN en el área de estudio.

4.2. Ubicación Óptima de los Gateways

4.2.1. Criterios para Determinar la Ubicación de Gateways

La correcta ubicación de los gateways es un aspecto crítico en el diseño de una red LoRaWAN, ya que influye directamente en la calidad de la cobertura, la estabilidad de la comunicación y la eficiencia energética de los nodos (medidores inteligentes). Dado que los gateways actúan como concentradores de datos enviados por múltiples dispositivos, su posición estratégica debe garantizar un equilibrio entre cobertura amplia y recepción confiable.

A continuación, se describen los criterios técnicos y operativos utilizados para determinar la ubicación óptima de los gateways en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas:

Altura de instalación

- **Importancia:** A mayor altura, mayor alcance de la señal debido a menor obstrucción.
- **Consideración técnica:** Se recomienda una instalación por encima de los 10 metros del suelo, preferentemente en techos de edificios, postes de media tensión o torres de telecomunicaciones.
- **Aplicación local:** En Andahuaylas, se priorizan puntos elevados como edificios institucionales y postes existentes cerca de zonas densas de usuarios.

Línea de vista (Line of Sight – LOS)

- **Importancia:** La señal LoRa puede atravesar algunos obstáculos, pero una línea de vista clara mejora significativamente el rendimiento de la red.
- **Evaluación:** Se utilizó cartografía digital y simulación con Radio Mobile para identificar puntos con visibilidad directa a la mayor cantidad de nodos.
- **Aplicación local:** Las zonas con colinas o edificaciones altas cercanas a valles deben ser cuidadosamente evaluadas para evitar zonas de sombra.

Densidad de dispositivos (nodos)

- **Importancia:** La ubicación del gateway debe maximizar la cantidad de medidores inteligentes dentro de su alcance efectivo.
- **Criterio:** Priorizar la instalación de gateways en zonas con alta concentración de usuarios, como el centro de la ciudad o sectores con agrupaciones de viviendas.
- **Aplicación local:** Se identificaron puntos con alta densidad de usuarios conectados al alimentador AN-01, principalmente en la zona urbana de Andahuaylas.

Accesibilidad y seguridad

- **Importancia:** Facilita el mantenimiento, la protección física del equipo y la

continuidad operativa.

- Criterio: Se prefiere ubicar los gateways en instalaciones con acceso controlado, energía eléctrica permanente y vigilancia.
- Aplicación local: Se consideran sedes institucionales, centros educativos o estaciones eléctricas como sitios candidatos.

Conectividad a la red de datos

- Importancia: Los gateways deben tener acceso a Internet (por fibra óptica, red celular o enlace dedicado) para enviar los datos recopilados hacia el servidor central.
- Criterio: Verificar disponibilidad de señal móvil 4G o enlaces fijos en el sitio propuesto.
- Aplicación local: Se priorizan sitios dentro del radio urbano con cobertura móvil estable o infraestructura de telecomunicaciones existente.

Tabla 13

Resumen de Criterios de verificación de Cobertura

Criterio	Relevancia	Aplicación en Andahuaylas
Altura de instalación	Alta	Edificios altos, postes y cerros accesibles
Línea de vista (LOS)	Alta	Simulación con Radio Mobile
Densidad de usuarios	Alta	Mayor cobertura en zonas urbanas
Accesibilidad y seguridad	Media	Predios institucionales o comerciales
Conectividad a red de datos	Alta	Zonas con cobertura móvil o fibra óptica
Solapamiento de cobertura	Media	Para resiliencia ante fallas

Fuente. Elaboración Propia

Estos criterios sirvieron como base para el análisis desarrollado en la sección 4.2.2, donde se determina la ubicación óptima de los gateways mediante mapas de cobertura y zonas críticas.

4.2.2. Aplicación del algoritmo K-means para agrupamiento geográfico

Para identificar ubicaciones óptimas para los gateways en el área de cobertura del alimentador AN-01 en Andahuaylas, se aplicó el algoritmo K-means, una técnica de aprendizaje

no supervisado utilizada en problemas de segmentación geográfica. Esta metodología agrupa puntos de medición en torno a centros de clústeres, facilitando la selección estratégica de posiciones que optimizan la cobertura y minimizan la pérdida de señal en redes LoRaWAN.

Fundamentación del método

El algoritmo K-means permite agrupar puntos geográficos —en este caso, las ubicaciones de los medidores inteligentes— en K clústeres, de manera que los elementos dentro de cada grupo estén lo más cercanos posible a su centroide. En el contexto de diseño de redes LoRaWAN, estos centroides representan posibles ubicaciones óptimas para los gateways, ya que minimizan la distancia promedio entre el gateway y los medidores dentro de su clúster. Esta estrategia contribuye a una mejor eficiencia en la cobertura, reduce la pérdida de señal y mejora la calidad de comunicación en entornos con distribución geográfica dispersa como el de Andahuaylas.

Variables y entradas del algoritmo

Se trabajó principalmente con las coordenadas geográficas (latitud y longitud) de cada medidor inteligente instalado o proyectado en el área de estudio. Estas coordenadas fueron convertidas a un sistema plano (UTM) para facilitar los cálculos de distancia euclidiana. Los parámetros definidos fueron:

- Número de clústeres (K): determinado en función del rango de cobertura de un gateway LoRaWAN (usualmente entre 1 a 6 km, dependiendo del entorno) y la densidad de medidores por zona.
- Criterio de convergencia: distancia mínima entre centroides en iteraciones sucesivas.

Resultados del algoritmo

La ejecución del algoritmo permitió identificar K centros óptimos, los cuales representan

las ubicaciones más eficientes para la instalación de los gateways, al considerar la proximidad a los medidores inteligentes y evitar redundancias en la cobertura. Esta optimización espacial asegura una distribución equilibrada de los dispositivos, maximizando la eficiencia de la red LoRaWAN. En las respectivas figuras se presentan los mapas generados, donde se visualizan los clústeres formados y los centroides sugeridos para cada grupo, que corresponden a las posiciones estratégicas para los gateways.

Figura 31

Ubicación óptima de Gateways mediante K-Means, Zona Pochccota



Fuente. Elaboración Propia

La agrupación mediante el algoritmo K-means sugiere la presencia de dos núcleos de concentración de medidores en la zona de Poshccota. En base a este análisis espacial, se han determinado dos ubicaciones estratégicas para la instalación de gateways, las cuales permiten cubrir de manera eficiente la totalidad de los puntos, optimizando así la transmisión de datos y

minimizando zonas de sombra. La distribución compacta y accesible del terreno permite lograr una cobertura adecuada con solo dos dispositivos de enlace.

Tabla 14

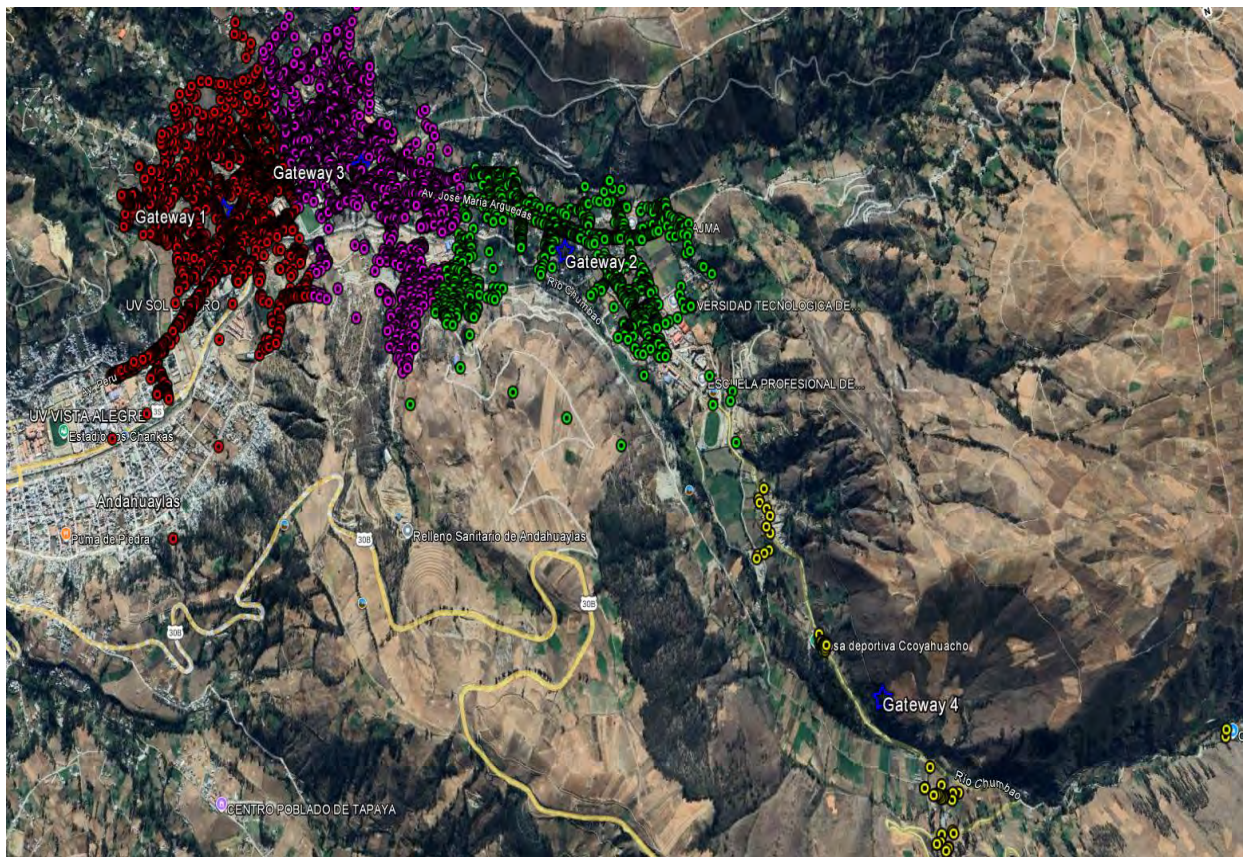
Coordenadas de ubicación para Gateways G1 y G2 zona de Pochccota

Gateway	Latitud	Longitud
G1	-13.66101748	-73.38118412
G2	-13.66103627	-73.37376400

Fuente. Elaboración Propia

Figura 32

Ubicación optima de Gateway mediante K-Means, Zona San Jerónimo

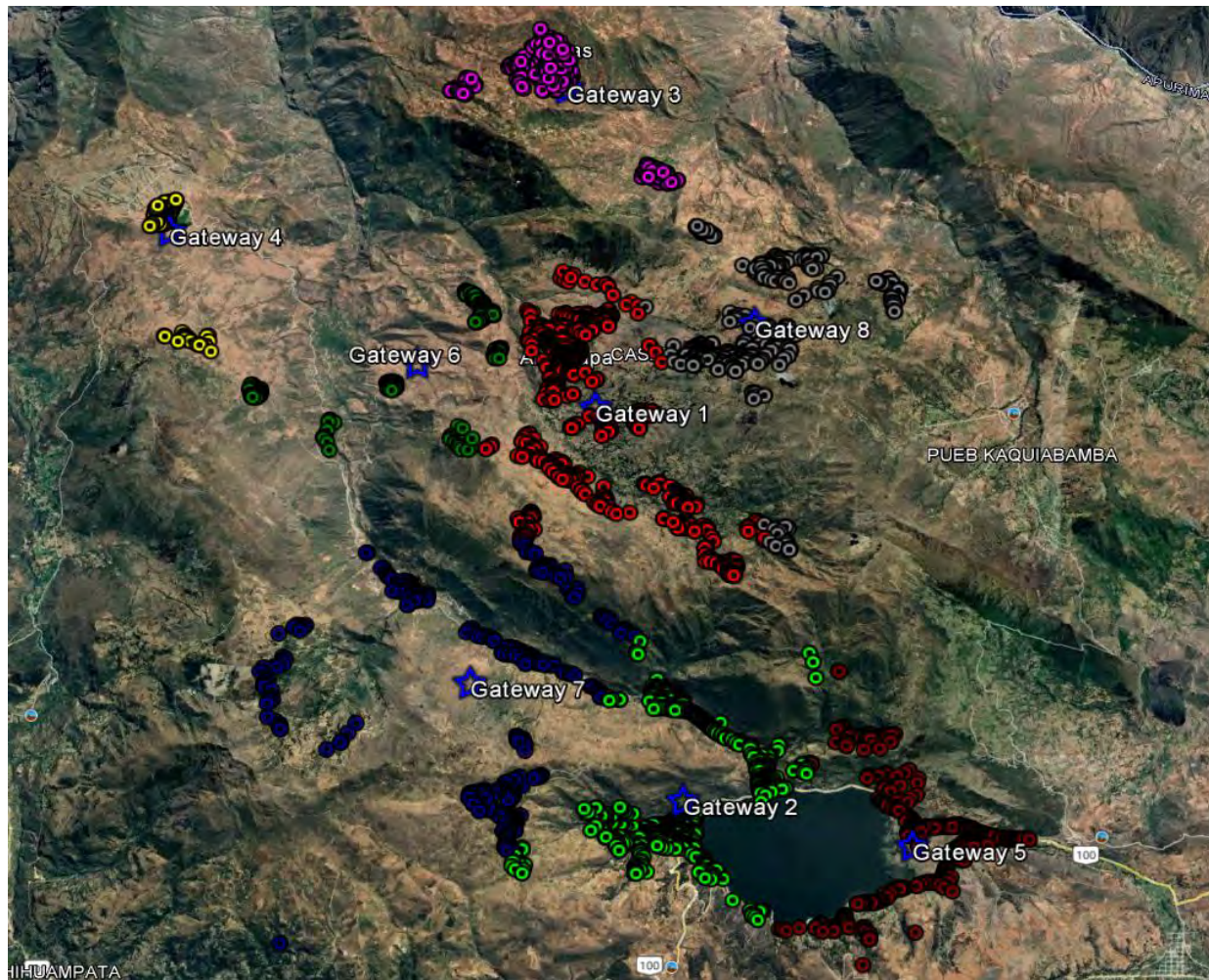


Fuente. Elaboración Propia

El análisis de agrupamiento en San Jerónimo revela una distribución moderadamente dispersa de los medidores inteligentes. La aplicación del método del codo indicó que cuatro clusters optimizan la cobertura sin saturar los gateways.

Tabla 15*Coordenadas de ubicación para Gateways (G1-G4) zona de San Jerónimo*

Gateway	Latitud	Longitud	Gateway	Latitud	Longitud
G1	-13.65191570	-73.36906610	G3	-13.65243123	-73.36184938
G2	-13.65906457	-73.35313333	G4	-13.68034964	-73.34440897

*Fuente. Elaboración Propia***Figura 33***Ubicación óptima de Gateways mediante K-Means, Zona Pacucha**Fuente. Elaboración Propia*

Dada la complejidad topográfica de la zona rural de Pacucha, caracterizada por pendientes, vegetación y relieve accidentado, el algoritmo K-means identificó ocho agrupamientos claramente definidos. Esta configuración permite minimizar la pérdida de señal en entornos con visibilidad limitada, garantizando conectividad eficiente. Las ubicaciones elegidas para los Gateways se

distribuyen estratégicamente para abarcar áreas de difícil acceso y asegurar redundancia en la comunicación LoRaWAN.

Tabla 16

Coordenadas de los ocho Gateways (G1-G8) zona rural de Pacucha.

Gateway	Latitud	Longitud	Gateway	Latitud	Longitud
G1	-13.53633678	-73.36018275	G5	-13.60889029	-73.30002990
G2	-13.60364660	-73.33989367	G6	-13.53022718	-73.39213533
G3	-13.48096424	-73.36938566	G7	-13.58575099	-73.37751925
G4	-13.51009606	-73.43674558	G8	-13.52006269	-73.33422611

Fuente. Elaboración Propia

Ventajas del uso de K-means

- Optimización automática: evita decisiones subjetivas o basadas únicamente en la topografía.
- Escalabilidad: puede repetirse fácilmente en caso de expansión de la red o aumento de medidores.
- Adaptabilidad: el número de gateways puede ajustarse modificando el valor de K.

En conclusión, la aplicación de K-means contribuyó significativamente a un diseño inicial más robusto de la red LoRaWAN, reduciendo el número de gateways requeridos.

4.2.3. Análisis de zonas de cobertura y puntos críticos

Luego de identificar los criterios técnicos para la ubicación de los gateways, se procedió a realizar un análisis espacial del área de influencia del alimentador AN-01, con el objetivo de establecer las zonas óptimas de cobertura y localizar puntos críticos donde la señal LoRaWAN podría presentar limitaciones. Este análisis se apoyó en mapas topográficos, modelos digitales de elevación y la herramienta Radio Mobile para evaluar la propagación de la señal en condiciones reales.

Identificación de zonas óptimas de cobertura

Mediante el análisis geográfico y de densidad poblacional, se identificaron áreas donde la implementación de gateways garantizaría una cobertura eficiente para un gran número de medidores inteligentes. Las zonas óptimas presentan las siguientes características:

- Terreno relativamente plano o con ligera elevación.
- Visibilidad directa (LOS) hacia las viviendas conectadas al alimentador AN-01.
- Alta concentración de usuarios y consumo eléctrico significativo.
- Acceso a infraestructura (postes, techos, energía eléctrica, red móvil o fibra).

Zonas óptimas determinadas

- Centro Urbano de Andahuaylas: Alta densidad de medidores. Ideal para ubicar un gateway en edificio público o institucional.
- Sector Totoral: Área semiurbana con buena accesibilidad y concentración de clientes.
- Zona Norte (curva de San Jeronimo): Punto elevado con potencial para cobertura extendida hacia áreas rurales circundantes.

Identificación de puntos críticos

Los puntos críticos corresponden a áreas con alta probabilidad de sufrir sombra de señal, baja intensidad de cobertura o dificultades logísticas para la instalación. Estas zonas requieren atención especial, ya sea mediante la reubicación estratégica de gateways o la inclusión de gateways secundarios o repetidores. Los criterios críticos identificados son:

- Presencia de cerros u obstáculos geográficos pronunciados.
- Dispersión de viviendas y baja densidad de usuarios.
- Distancia excesiva desde el gateway más cercano.

Tabla 17
Puntos críticos de Cobertura Identificados

Zona	Problema Principal	Posible Solución
Sector Churrubamba - Pacucha	Sombra causada por cerro contiguo	Gateway adicional en elevación cercana
Zona Rural De San Jerónimo	Viviendas dispersas y sin LOS directa	Aumento de altura de gateway existente
Área Sur De Andarapa	Cobertura lejana y obstruida	Gateway intermedio en punto elevado

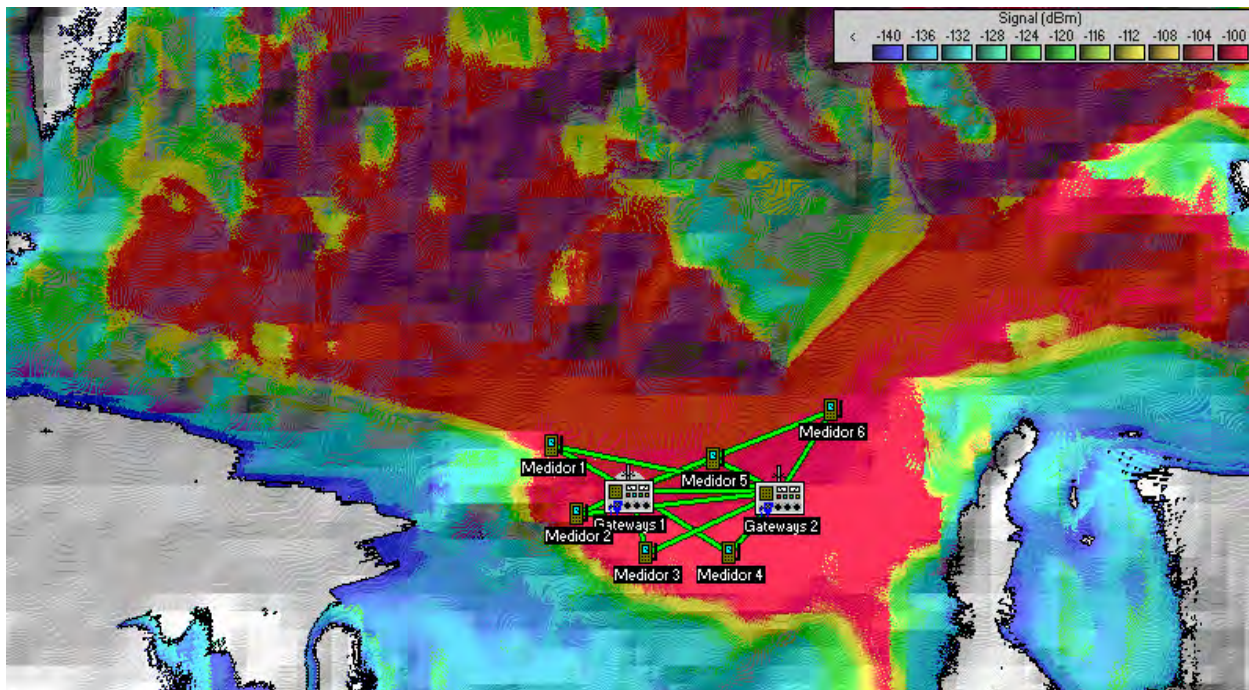
Fuente. Elaboración Propia

Mapa de análisis de cobertura

Se elaboró un mapa preliminar de cobertura utilizando el modelo de Longley-Rice en Radio Mobile. Este mapa permite visualizar gráficamente las zonas:

- Rojo intenso: cobertura óptima (>90% de intensidad recibida).
- Amarillo: cobertura media o variable.
- Azul - Celeste: zonas críticas sin cobertura confiable.

Figura 34
Cobertura de señal simulada en RadioMobile Zona Pochccota

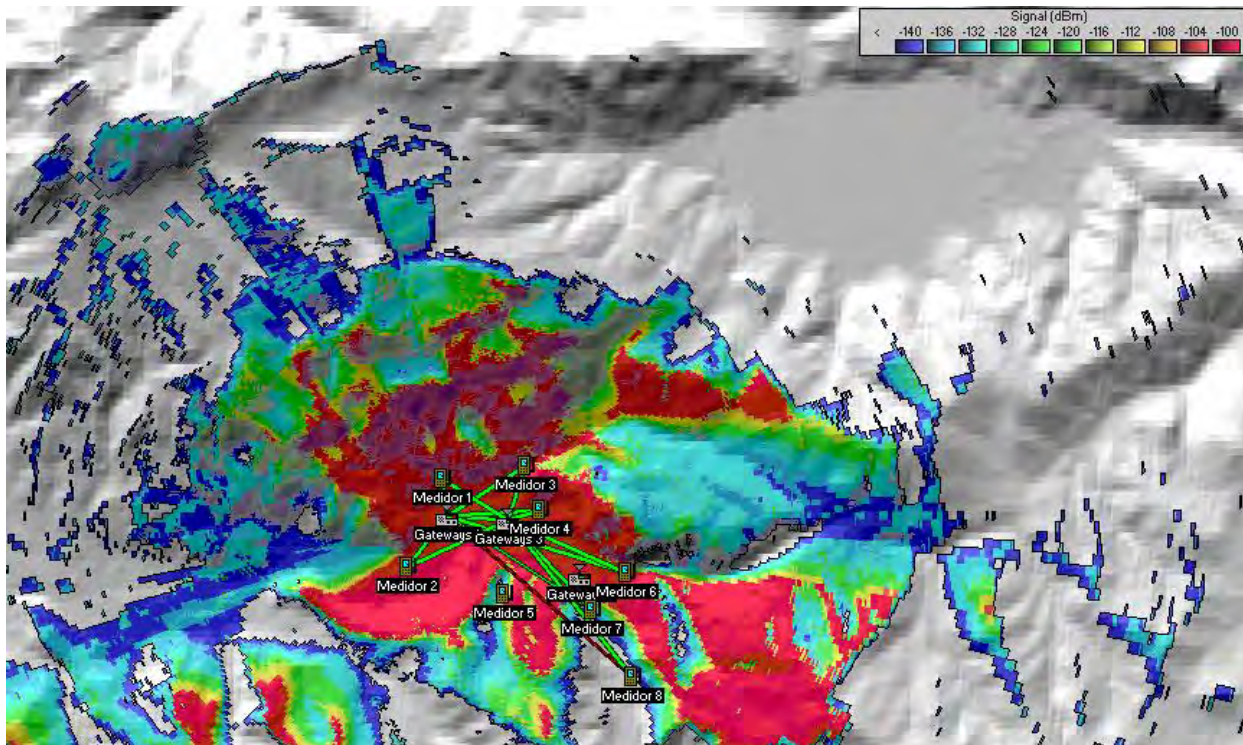


Fuente. Elaboración Propia

La imagen 34 presenta un análisis de cobertura LoRaWAN en la zona de Pochccota mediante el software RadioMobile, donde los gateways se ubican en puntos estratégicos y la cobertura se representa mediante colores según la intensidad de señal en dBm. Las zonas en rojo y naranja indican una señal fuerte y mayor confiabilidad en la comunicación, mientras que las áreas verdes y azules representan cobertura débil. El análisis permite identificar las zonas óptimas para la implementación de dispositivos IoT y detectar sectores donde podrían requerirse mejoras en la infraestructura para garantizar una cobertura eficiente de la red LoRaWAN.

Figura 35

Cobertura de señal simulada en RadioMobile Zona San Jerónimo



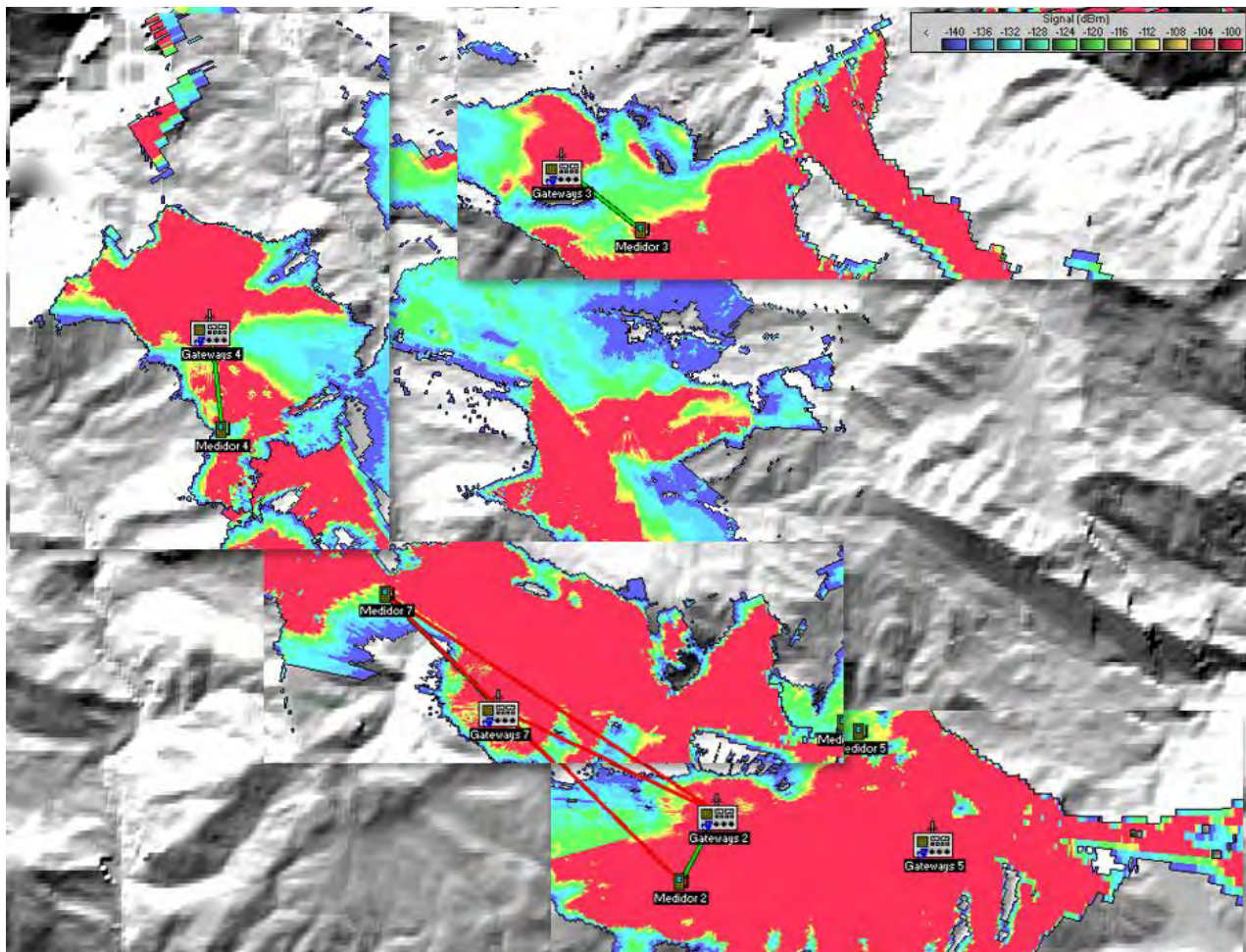
Fuente. Elaboración Propia

La imagen muestra un análisis de cobertura en la zona de San Jerónimo, donde se distribuyen cuatro Gateways para cubrir toda la zona. Los niveles de señal, representados por colores, varían desde tonos rojos y naranjas (señales fuertes) hasta azules y verdes (señales débiles). Las áreas cercanas a los gateways tienen una mejor cobertura, mientras que las zonas más

alejadas presentan una caída en la intensidad de la señal. La distribución de los cuatro gateways está diseñada para garantizar una cobertura más eficiente, pero se observa que algunas zonas periféricas podrían requerir ajustes en la infraestructura para asegurar una conectividad óptima en toda la zona.

Figura 36

Cobertura de señal simulada en RadioMobile Zona Pacucha



Fuente. Elaboración Propia

La imagen de cobertura LoRaWAN en la zona de Pacucha muestra cómo la distribución de la señal se ve influenciada por la topografía accidentada de la región. Pacucha se caracteriza por su variada geografía, con áreas montañosas y de alta altitud que pueden generar interferencias y afectaciones en la propagación de la señal. Las zonas más altas suelen presentar una cobertura

menos eficiente, especialmente en los puntos más elevados, lo que se refleja en la coloración azul de la imagen. Las áreas de baja altitud o más cercanas a los gateways muestran una señal más fuerte (roja). La variabilidad en la altitud de la zona exige una planificación cuidadosa en la ubicación de los gateways y ajustes en la infraestructura para superar las limitaciones causadas por el relieve y asegurar una cobertura homogénea en todo el territorio.

Recomendaciones estratégicas

- Priorizar instalación inicial en zonas urbanas y semiurbanas para asegurar impacto y eficiencia.
- Planificar ampliación futura hacia zonas críticas mediante gateways secundarios.
- Considerar repetidores LoRa o ajustes de parámetros de transmisión (potencia, SF) para cubrir puntos aislados.
- Mantener solapamiento entre zonas de cobertura de gateways adyacentes para aumentar la confiabilidad.

4.3. Análisis de la capacidad de la Red

4.3.1. *Cálculo de la Capacidad de Gateway para Red LoRaWAN en el Alimentador AN-01*

La capacidad de la red LoRaWAN está directamente relacionada con la cantidad de dispositivos que pueden ser soportados por cada gateway, considerando los parámetros de comunicación, la frecuencia de envío de datos y las características técnicas de la tecnología LoRa. En este apartado, se realiza una estimación teórica de cuántos medidores inteligentes pueden operar eficientemente por gateway dentro del área del alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas, con un total de 10,169 medidores distribuidos en Zona Urbana Central, Zona Periurbana y Zona Rural Aislada.

Tabla 18*Parámetros realistas para dimensionamiento AMI LoRaWAN*

Parámetro	Valor corregido	Observación técnica
Frecuencia de operación	915 MHz (ISM)	Conforme a regulación regional
Spreading Factor (SF)	SF7 – SF10	Distribución realista con ADR
Ancho de banda (BW)	125 kHz	Estándar LoRaWAN
Coding Rate (CR)	4/5	Configuración típica AMI
Payload útil AMI	32 bytes	Lectura + estado + CRC
Overhead LoRaWAN	13 bytes	MHDR + FHDR + MIC
Tamaño total de trama	45 bytes	Payload + headers
Frecuencia de envío	1 cada 15 minutos	96 mensajes/día
Tipo de tráfico	Uplink predominante	Downlink eventual

Fuente. Elaboración Propia

La presente tabla establece los parámetros técnicos realistas utilizados para el dimensionamiento de la red LoRaWAN en aplicaciones de medición inteligente (AMI). A diferencia de enfoques simplificados, se considera un tamaño de trama representativo de medición eléctrica real, incluyendo el overhead del protocolo LoRaWAN, así como un perfil de tráfico acorde a sistemas AMI, con lecturas periódicas cada 15 minutos. Estos parámetros permiten una estimación más precisa del consumo de recursos radioeléctricos y de la capacidad efectiva del sistema.

Tabla 19*Tiempo de Ocupación por Nodo (96 Mensajes/Día)*

SF	ToA por mensaje (ms)	Tiempo total por nodo (s/día)
SF7	82	7.87
SF8	148	14.21
SF9	264	25.34
SF10	494	47.42

Fuente. Elaboración Propia

En esta tabla se presenta el tiempo total diario de ocupación del canal por nodo, calculado a partir del tiempo en aire por mensaje y la frecuencia de transmisión típica de un sistema AMI. Los resultados permiten cuantificar el impacto individual de cada medidor sobre la red y constituyen la base para estimar la carga agregada por gateway, diferenciando el comportamiento

según el spreading factor utilizado.

Tabla 20

Tiempo En Aire Real Por Sf

SF	BW (kHz)	Tamaño trama (bytes)	Tiempo en Aire (ms)
SF7	125	45	≈ 82 ms
SF8	125	45	≈ 148 ms
SF9	125	45	≈ 264 ms
SF10	125	45	≈ 494 ms

Fuente. Elaboración Propia

Esta tabla muestra el tiempo en aire calculado para diferentes valores de spreading factor, considerando el tamaño total de la trama LoRaWAN. Se evidencia que el tiempo en aire aumenta de forma no lineal a medida que se incrementa el SF, lo cual impacta directamente en la ocupación del canal y en la capacidad de la red. Este análisis corrige la utilización de un único valor de tiempo en aire y garantiza trazabilidad entre los parámetros físicos y los resultados obtenidos.

Tabla 21

Capacidad Práctica Por Gateway

SF	Tiempo por nodo (s/día)	Capacidad por canal	Capacidad total por Gateway
SF7	7.87	1,646	13,168
SF8	14.21	912	7,296
SF9	25.34	511	4,088
SF10	47.42	273	2,184

Fuente. Elaboración Propia

La tabla de capacidad práctica por gateway incorpora criterios operativos conservadores, como la limitación de la utilización del canal a valores inferiores al 20%, con el fin de reducir colisiones y garantizar estabilidad en la red. Al considerar múltiples canales y el tiempo efectivo disponible por canal, se obtiene una estimación de capacidad más cercana al comportamiento real de redes LoRaWAN en entornos AMI, evitando conclusiones basadas únicamente en límites teóricos.

Tabla 22
Dimensionamiento corregido para AN-01

Escenario	SF predominante	Capacidad por Gateway	Gateways requeridos
Urbano	SF7–SF8	7,000 – 13,000	1
Periurbano	SF8–SF9	4,000 – 7,000	2
Rural	SF9–SF10	2,000 – 4,000	4–5
Total AN-01 (10,169)	Mixto (ADR)	—	4 Gateways

Fuente. Elaboración Propia

Esta tabla resume el dimensionamiento final del sistema LoRaWAN para el alimentador AN-01, integrando la distribución espacial de los medidores, el uso de ADR y las capacidades prácticas estimadas por gateway. Los resultados evidencian que el número de gateways requeridos varía según el entorno (urbano, periurbano y rural), permitiendo un diseño escalable y robusto que garantiza la calidad del servicio y la sostenibilidad operativa del sistema de medición inteligente.

El cálculo inicial de capacidad por gateway corresponde a un escenario teórico y optimista, el cual no considera colisiones, ocupación real por canal, distribución efectiva de spreading factors, ni tráfico descendente. Por ello, dicho cálculo no puede utilizarse para concluir que un único gateway soporte la totalidad de los 10,169 medidores del alimentador AN-01. El dimensionamiento final del sistema, basado en un perfil de tráfico AMI realista y en criterios de capacidad práctica, indica la necesidad de entre 3 y 4 gateways, garantizando estabilidad operativa, control de colisiones y escalabilidad futura de la red LoRaWAN.

Parámetros técnicos de operación de los medidores

Los medidores inteligentes que se consideran en este estudio, modelo EM 114039-02, están configurados para enviar datos periódicamente, en especial lecturas de energía, alertas de falla, cortes o reconexiones. Los siguientes parámetros técnicos se utilizan para estimar la capacidad de los Gateways:

Tabla 23*Parámetros técnicos de operaciones de los medidores*

Parámetro	Valor de Referencia
Frecuencia de operación	915 MHz (banda ISM en Sudamérica)
Spreading Factor (SF)	SF7 a SF12 (dependiendo de la distancia)
Potencia de transmisión	+14 dBm
Ancho de banda (BW)	125 kHz
Payload promedio	20 bytes por mensaje
Frecuencia de envío	1 vez cada 15 minutos (96 mensajes por día)
Tiempo en aire por mensaje	~56 ms (con SF10)

*Fuente. Elaboración Propia***Datos técnicos del Gateway UG67-MILESIGHT**

El Gateway UG67-MILESING es un dispositivo robusto de 8 canales que soporta la infraestructura de LoRaWAN con un rendimiento alto, adaptándose a aplicaciones exteriores, como la medición inteligente de energía. A continuación, sus características:

Tabla 24*Datos técnicos del Gateway UG-67*

Parámetro	Valor de Referencia
Chip LoRa	SX1302
CPU	Quad-core 1.5 GHz ARM Cortex-A53
Memoria	512 MB DDR4 RAM
Sensibilidad de recepción	-140 dBm (a 292bps)
Potencia de salida	27 dBm máximo
Frecuencia de operación	US915, EU868, AU915, CN470, IN865, etc.
Canales	8 canales de medio/dúplex
Interfaces	Ethernet, Wi-Fi, 4G/3G celular
Protección	IP67 (resistente al agua y polvo)

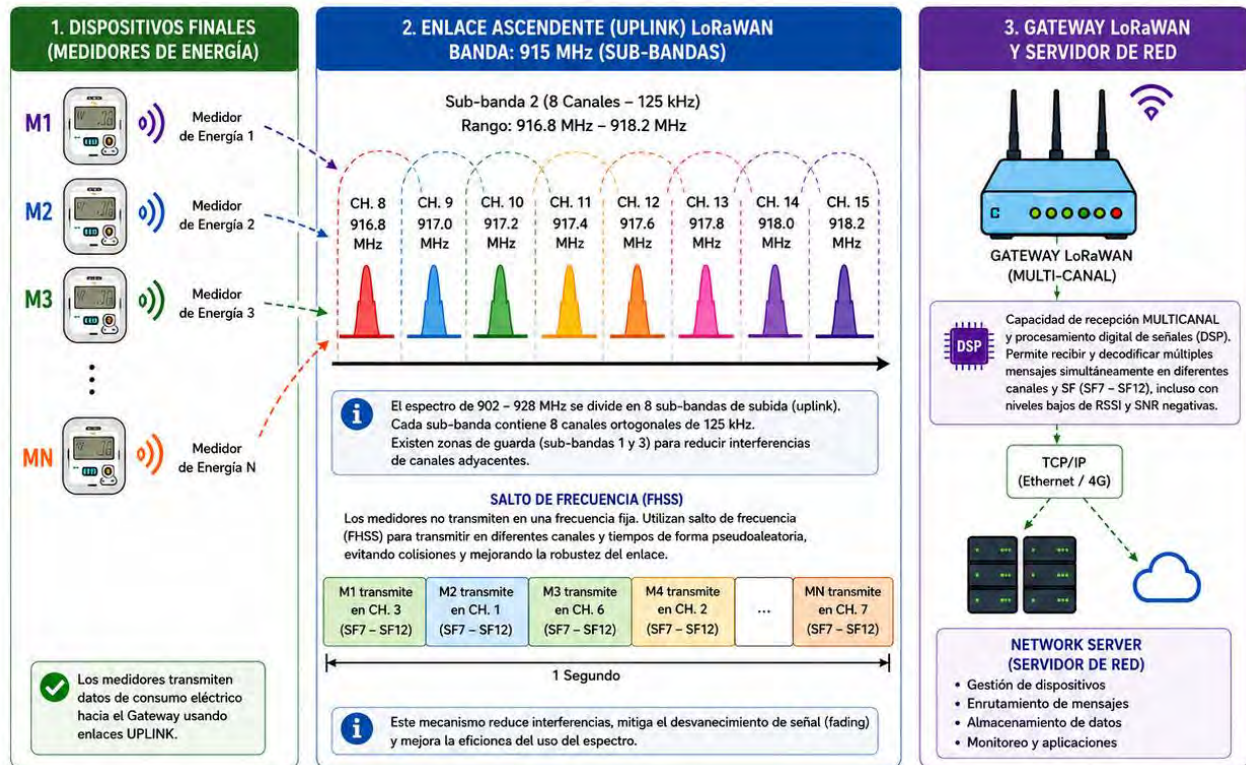
*Fuente. Elaboración Propia***4.3.2. Caracterización de la Respuesta en Frecuencia**

La arquitectura LoRaWAN bajo el estándar AU915 emplea un esquema de comunicación basado en la gestión dinámica del espectro radioeléctrico, permitiendo una transmisión eficiente entre los medidores inteligentes y el gateway LoRaWAN. A diferencia de los sistemas convencionales de banda fija, LoRaWAN utiliza múltiples canales de comunicación distribuidos dentro de la banda de 902 a 928 MHz, lo que mejora la capacidad de transmisión y reduce las

interferencias en la red.

Figura 37

Funcionamiento de la Sub-Banda 2 (AU915)



Fuente. Elaboración Propia

Sectorización y Canalización del Espectro

Como se muestra en la Figura 37, el espectro radioeléctrico se divide en sub-bandas y canales de 125 kHz, permitiendo organizar el tráfico de comunicación de manera eficiente. Cada sub-banda agrupa varios canales ortogonales utilizados por los dispositivos finales para transmitir información hacia el gateway.

Esta sectorización permite que múltiples medidores inteligentes puedan operar simultáneamente sin saturar una sola frecuencia, optimizando el uso del espectro y aumentando la capacidad de la red LoRaWAN.

Salto de Frecuencia (FHSS)

El sistema implementa la técnica de salto de frecuencia o Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS), donde los medidores inteligentes transmiten sus datos alternando dinámicamente entre diferentes canales de comunicación. Este mecanismo evita que todos los dispositivos transmitan sobre la misma frecuencia, reduciendo las probabilidades de colisión y mejorando la confiabilidad del enlace inalámbrico.

Asimismo, el salto de frecuencia permite aumentar la inmunidad frente a interferencias, ruido electromagnético y desvanecimientos de señal, especialmente en entornos urbanos y zonas con topografía accidentada.

Recepción Multicanal del Gateway

El gateway LoRaWAN posee capacidad de recepción multicanal, permitiendo recibir señales provenientes de múltiples medidores inteligentes de forma simultánea. Mediante técnicas de procesamiento digital de señales (DSP), el gateway puede identificar y procesar transmisiones realizadas en diferentes canales y spreading factors (SF7–SF12), incluso cuando presentan niveles bajos de potencia de recepción (RSSI) y relaciones señal-ruido negativas (SNR).

Esta característica incrementa significativamente la capacidad de la red y mejora la estabilidad de la comunicación en escenarios con gran cantidad de dispositivos conectados.

Flujo de Comunicación de la Red

El proceso de comunicación inicia en los medidores inteligentes, los cuales transmiten información de consumo eléctrico hacia el gateway utilizando enlaces uplink en la banda AU915. Posteriormente, el gateway envía los datos hacia el servidor de red mediante protocolos IP como Ethernet, TCP/IP o redes 4G.

Finalmente, la información es almacenada y procesada en el servidor de aplicaciones,

permitiendo realizar monitoreo remoto, gestión de alarmas, análisis de consumo y supervisión de la infraestructura eléctrica en tiempo real.

La utilización de múltiples canales, salto de frecuencia y recepción multicanal convierte a LoRaWAN en una tecnología adecuada para sistemas de telemedición inteligente, ya que permite comunicaciones de largo alcance, bajo consumo energético y alta tolerancia a interferencias. Estas características facilitan la implementación de redes de medidores inteligentes en zonas urbanas y rurales, optimizando la supervisión y gestión del sistema eléctrico.

Comentario técnico ampliado de la respuesta en frecuencia

Desde el análisis espectral, la comunicación LoRaWAN no opera en una frecuencia puntual de 915 MHz, sino dentro de un rango definido por el ancho de banda y la modulación Chirp Spread Spectrum (CSS). Como se muestra en la Figura 38 (a), la señal se genera mediante chirps cuya frecuencia varía linealmente en el tiempo dentro de un ancho de banda específico, lo que implica que la información no se transmite en una sola frecuencia, sino a lo largo de un intervalo continuo alrededor de la frecuencia central.

Esta característica se evidencia en la Figura 38 (b), donde se observa el espectro ocupado para un ancho de banda de 125 kHz, extendiéndose aproximadamente entre 914.9375 MHz y 915.0625 MHz. Esta distribución espectral demuestra que la energía de la señal se dispersa en un margen de frecuencias, lo que permite que, ante interferencias puntuales en una frecuencia específica, solo una parte del espectro resulte afectada, manteniéndose la comunicación gracias a las componentes restantes. Esto representa una ventaja significativa frente a sistemas de banda angosta, donde una interferencia localizada puede comprometer completamente el enlace.

Asimismo, en entornos reales como Andahuaylas, caracterizados por la presencia de obstáculos geográficos, se producen fenómenos de desvanecimiento selectivo en frecuencia.

La tecnología LoRaWAN bajo el estándar AU915 permite una comunicación eficiente entre los medidores inteligentes y el gateway mediante la utilización de la banda de frecuencia comprendida entre 902 y 928 MHz, la cual se encuentra dividida en ocho sub-bandas operativas. Cada sub-banda agrupa canales de 125 kHz de ancho de banda, permitiendo distribuir el tráfico de comunicación entre múltiples dispositivos y optimizar el uso del espectro radioeléctrico.

Asimismo, el gateway LoRaWAN dispone de capacidad de recepción multicanal, lo que le permite escuchar simultáneamente varios canales de frecuencia y diferentes factores de dispersión (Spreading Factors), procesando de forma concurrente la información transmitida por miles de medidores inteligentes. Esta característica resulta fundamental para la implementación propuesta de 10,169 medidores, ya que incrementa la capacidad, escalabilidad y confiabilidad de la red sin requerir un aumento proporcional de la infraestructura de comunicación.

En conjunto, la utilización de las ocho sub-bandas del estándar AU915, el salto de frecuencia, la modulación CSS y la recepción multicanal convierten a LoRaWAN en una tecnología adecuada para sistemas de medición inteligente, proporcionando comunicaciones de largo alcance, alta robustez frente a interferencias y una gestión eficiente de grandes volúmenes de dispositivos conectados.

4.3.3. Estudio del rendimiento de la red LoRaWAN bajo diversas cargas

El rendimiento de una red LoRaWAN depende directamente de la cantidad de dispositivos conectados, la frecuencia con la que estos transmiten datos y los parámetros de configuración utilizados (como el Spreading Factor y la potencia de transmisión). A medida que aumenta la cantidad de nodos o la carga de tráfico, se pueden presentar fenómenos como colisiones, congestión del canal o aumento de latencia.

En este apartado se evalúa teóricamente el comportamiento de la red bajo distintos

escenarios de carga, con el fin de determinar los límites operativos y garantizar un funcionamiento estable para el caso del alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A.

Escenarios de Carga Analizados

Se definieron tres escenarios representativos para el estudio del rendimiento de la red:

- Carga baja Menos de 600 medidores conectados al gateway
- Carga media Entre 800 y 1000 medidores (capacidad práctica recomendada)
- Carga alta Más de 1200 medidores, hasta 1,900 por gateway (capacidad teórica)

Parámetros de Evaluación del Rendimiento

Para cada escenario se analizaron los siguientes parámetros clave:

- Latencia promedio: Tiempo entre el envío del dato por el medidor y su recepción en el servidor.
- Tasa de entrega (PDR): Porcentaje de mensajes correctamente recibidos.
- Utilización del canal: Porcentaje del tiempo total ocupado por transmisiones LoRa.
- Probabilidad de colisión: Estimación teórica del riesgo de superposición de transmisiones.

Resultados

El análisis desarrollado en el presente capítulo permitió evaluar de manera integral la cobertura, capacidad y rendimiento de una red LoRaWAN aplicada al sistema de medición inteligente del alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas. A partir de los modelos de propagación, simulaciones de cobertura y técnicas de optimización geográfica, se obtuvieron los siguientes resultados principales:

El modelo de propagación Longley-Rice, implementado mediante el software Radio Mobile, resultó ser el más adecuado para el análisis de cobertura en Andahuaylas, debido a que

considera las irregularidades topográficas, variaciones de altitud y obstáculos naturales presentes en la zona de estudio.

Las simulaciones realizadas evidenciaron que la cobertura de la señal LoRaWAN depende directamente de factores como la altura de instalación de los gateways, la línea de vista (LOS), la densidad de usuarios y las condiciones geográficas del terreno. En zonas urbanas y semiurbanas se obtuvo una cobertura más uniforme, mientras que en áreas rurales y montañosas se identificaron zonas críticas con pérdidas significativas de señal.

Mediante la aplicación del algoritmo K-means se logró determinar ubicaciones estratégicas para los gateways, optimizando la distribución espacial de los medidores inteligentes y reduciendo la distancia promedio de comunicación entre nodos y gateways. Esta metodología permitió mejorar la eficiencia de cobertura y disminuir posibles zonas de sombra.

Los resultados obtenidos indican que la capacidad práctica de un gateway LoRaWAN depende del spreading factor predominante y de la ocupación efectiva del canal. En escenarios reales, un único gateway no resulta suficiente para soportar los 10,169 medidores proyectados, debido a limitaciones asociadas a colisiones, latencia y utilización del espectro radioeléctrico.

La arquitectura LoRaWAN propuesta demuestra ser una alternativa técnicamente viable para sistemas de medición inteligente en zonas urbanas y rurales, gracias a sus características de largo alcance, bajo consumo energético, recepción multicanal y tolerancia a interferencias.

Finalmente, los resultados obtenidos confirman que la implementación de una red LoRaWAN en el alimentador AN-01 puede contribuir significativamente a la modernización del sistema de telemedición eléctrica, permitiendo mejorar los procesos de monitoreo, supervisión y gestión operativa de Electro Sur Este S.A.A.

CAPÍTULO V

SIMULACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA RED LORAWAN

5.1. Simulación de Cobertura con Radio Mobile

5.1.1. Descripción del software y su aplicación

Para la simulación y análisis de cobertura de la red LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., se utilizó el software RadioMobile, una herramienta gratuita ampliamente reconocida para el diseño, planificación y evaluación de redes inalámbricas en entornos con topografía irregular.

Este software permite realizar simulaciones de propagación de señal considerando variables geográficas y técnicas como altitud, relieve, obstáculos naturales, frecuencia de operación, potencia de transmisión, ganancia de antenas y sensibilidad de recepción. Asimismo, RadioMobile emplea modelos de propagación radioeléctrica que facilitan la estimación de cobertura y calidad de señal en escenarios reales.

¿Qué es Radio Mobile?

Radio Mobile es un software basado en el modelo de propagación Longley-Rice (ITM), desarrollado por Roger Coudé, que simula la propagación de señales de radiofrecuencia en entornos reales usando mapas digitales de elevación (DEM) para representar las condiciones geográficas del área de estudio. Entre sus principales características destacan:

- Cálculo de cobertura radioeléctrica (mapas de cobertura).
- Simulación punto a punto y punto a multipunto.
- Análisis de línea de vista (LOS) entre estaciones.
- Compatibilidad con redes VHF, UHF y LPWAN, como LoRaWAN.
- Integración con datos satelitales (SRTM, Google Earth, etc.).

Razones para su elección

Radio Mobile fue seleccionado en este estudio por las siguientes ventajas:

Tabla 25

Ventajas de Usar el Software RadioMobile

Criterio	Justificación técnica
Adaptabilidad a terrenos	Usa modelos que consideran elevaciones y obstáculos naturales
Acceso gratuito	No requiere licencias comerciales, ideal para trabajos académicos
Soporte de mapas precisos	Puede importar mapas SRTM y ortofotos para mayor fidelidad geográfica
Visualización detallada	Genera mapas codificados por colores, perfiles de terreno y vistas 3D
Compatible con LoRa	Permite configurar frecuencias y potencias utilizadas en redes LPWAN

Fuente. Elaboración Propia

Datos utilizados en la simulación

Para la configuración y simulación de la cobertura, se utilizaron los siguientes datos técnicos:

Tabla 26

Datos técnicos Utilizados en la simulación

Parámetro	Valor aplicado
Frecuencia de operación	915 MHz
Potencia de transmisión	27 dBm (500 mW)
Ganancia de antena TX	4.52 dBi
Ganancia de antena RX	-140 dBi
Altura del gateway	8–9 metros (según ubicación simulada)
Altura del medidor (nodo)	1.2 metros
Modelo de propagación	Longley-Rice
Resolución del mapa DEM	30 m (SRTM NASA)

Fuente. Elaboración Propia

Los parámetros técnicos en la tabla se basan en las especificaciones estándar de equipos LoRaWAN, adaptados al contexto geográfico de Andahuaylas. Se eligió una frecuencia de 915 MHz con potencias de transmisión y ganancias de antena realistas para simular condiciones típicas en entornos rurales. Además, la altura de los gateways se ajustó para optimizar el despeje

del radio de Fresnel.

Procedimiento general de simulación

- Definición del área de estudio: Se delimitó geográficamente la zona del alimentador AN-01 en base a coordenadas UTM.
- Configuración de parámetros de radio: Se definieron los valores típicos de transmisión para LoRa (frecuencia, potencia, altura de antena).
- Ubicación de estaciones base: Se colocaron virtualmente los gateways en sitios elevados identificados en el Capítulo IV.
- Ejecución del modelo: Se simuló la cobertura para cada gateway en modo “punto a multipunto”.
- Exportación de resultados: Se generaron mapas de cobertura codificados por colores, perfiles topográficos y reportes de potencia recibida (RSSI).

Ventajas en el contexto de Andahuaylas

La geografía irregular de Andahuaylas, con presencia de cerros, quebradas y zonas dispersas, hace que Radio Mobile sea la herramienta adecuada para prever zonas de sombra, determinar la visibilidad de los nodos y validar si las ubicaciones seleccionadas para los gateways son realmente efectivas en campo.

5.1.2. Resultados y análisis de la simulación

Una vez configurado el software Radio Mobile con los parámetros técnicos y geográficos del área de estudio, se procedió a realizar la simulación de la cobertura de los gateways propuestos para el alimentador AN-01. Los resultados permiten visualizar de manera precisa el alcance de la señal LoRaWAN en función del terreno y de las condiciones de transmisión.

Mapa de cobertura generado

El software generó un mapa de cobertura codificado por colores, el cual indica la potencia de señal recibida (RSSI) desde el gateway hacia los medidores inteligentes (nodos). Los colores representan diferentes niveles de intensidad de señal:

Figura 38
Simulación de señal LoRaWAN con RadioMobile zona Pochccota



Fuente. Elaboración Propia

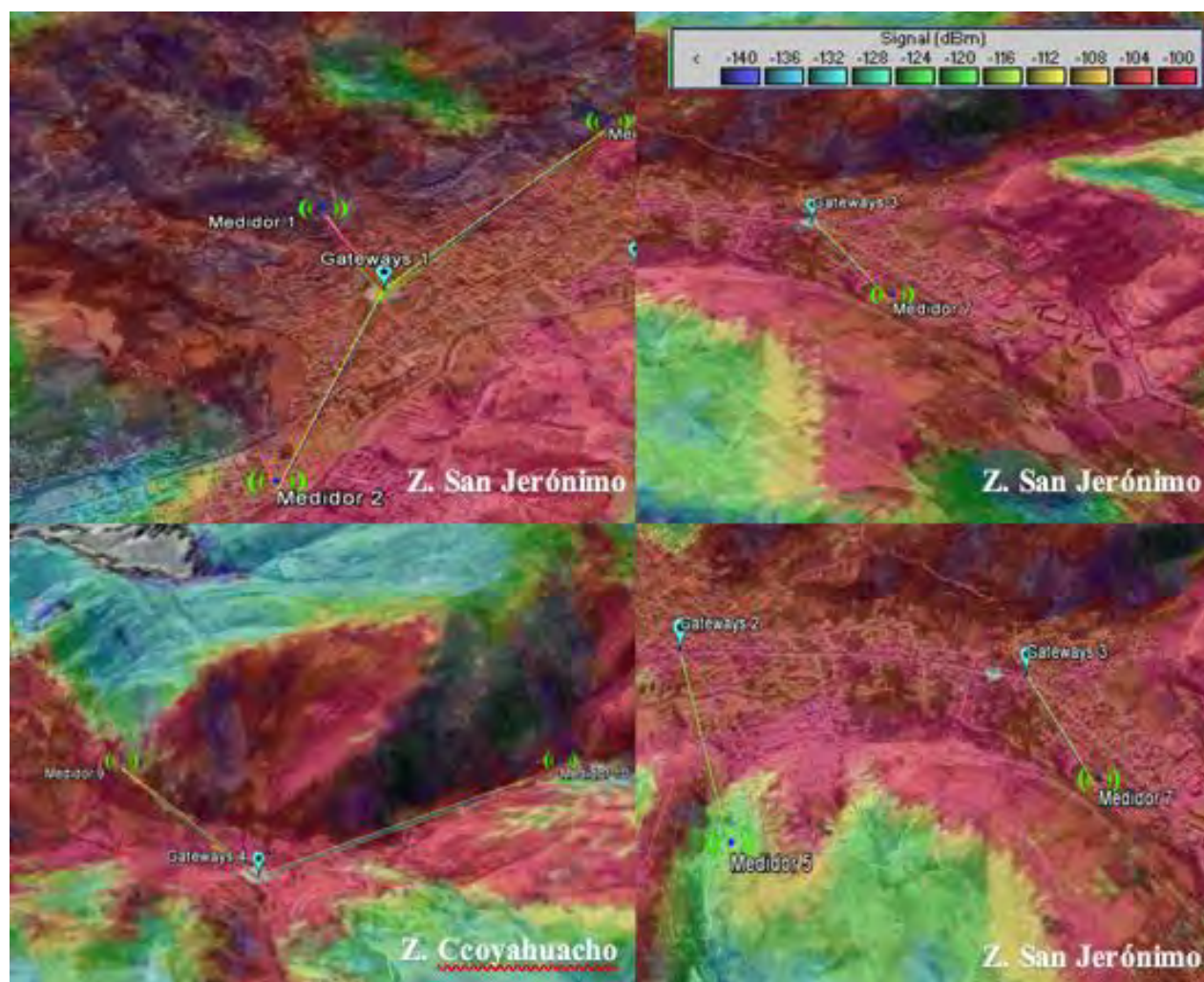
Tabla 27
Niveles de intensidad de señal (RSSI) y calidad de cobertura LoRaWAN

Color	Nivel de Cobertura	Valor Aproximado de RSSI
Azul	Deficiente o sin cobertura	< -140 dBm
Verde	Moderada (Límite de recepción)	-128 a -120 dBm
Amarillo	Buena (Comunicación estable)	-116 a -102 dBm
Rojo	Excelente (Señal fuerte)	> -100 dBm

Fuente. Elaboración Propia

Figura 39

Simulación de señal LoRaWAN con RadioMobile zona San Jerónimo



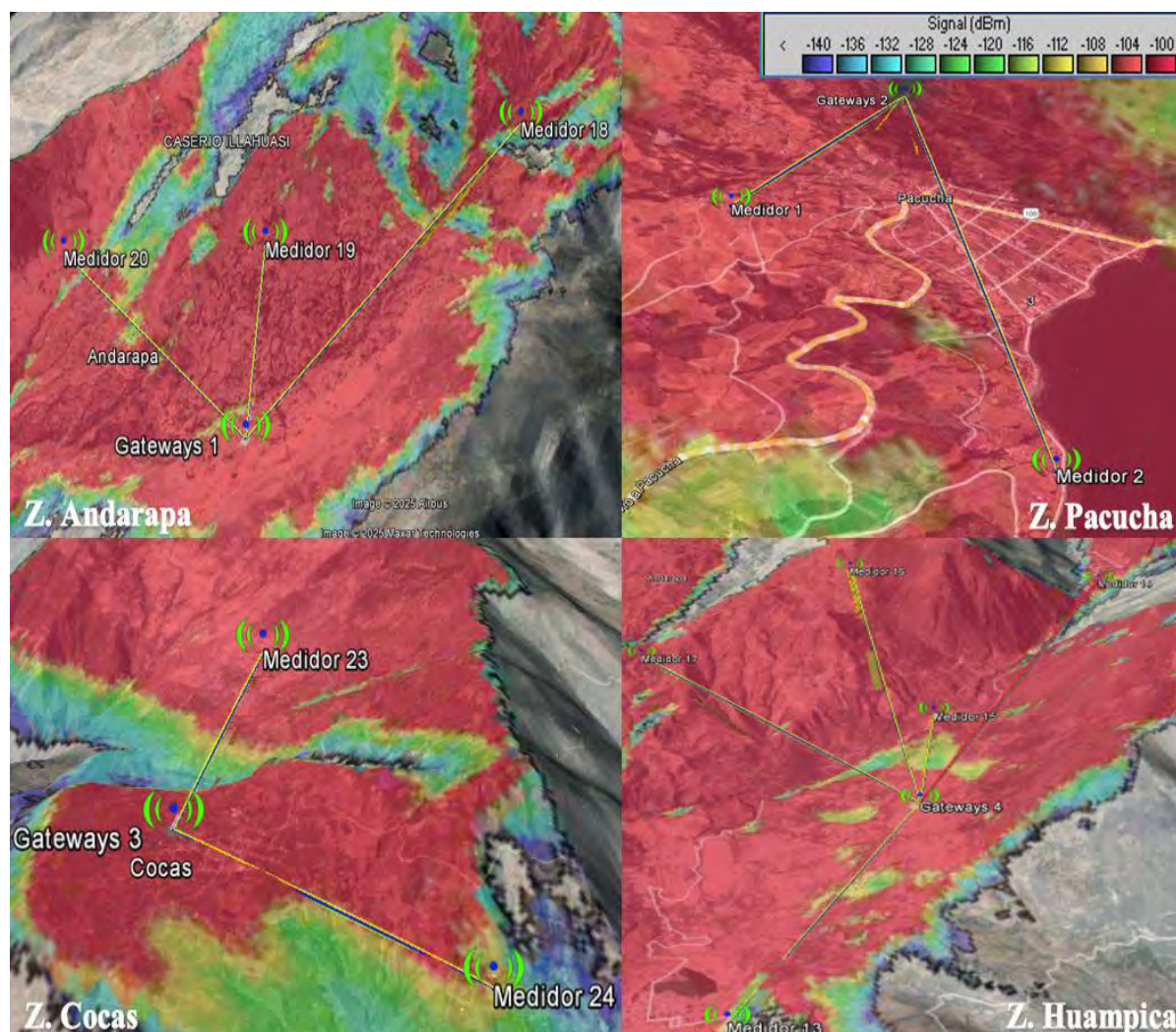
Fuente. Elaboración Propia

Los mapas muestran los niveles de intensidad de señal RSSI en diferentes zonas de Andahuaylas, incluyendo San Jerónimo. La ubicación de los medidores y gateways ha sido determinada cuidadosamente de acuerdo con la simulación realizada, considerando los parámetros específicos de LoRaWAN. Se utiliza una codificación por colores para indicar la potencia de la señal recibida: rojo para señal excelente (> -100 dBm), amarillo para señal buena (-116 a -102 dBm), verde para señal moderada (-128 a -120 dBm) y azul para deficiente o sin cobertura (< -140 dBm).

Estos resultados ayudan a validar las ubicaciones de los nodos y evaluar la viabilidad de comunicación en función del terreno.

Figura 40

Simulación de señal LoRaWAN con RadioMobile zona Andarapa y Huampica



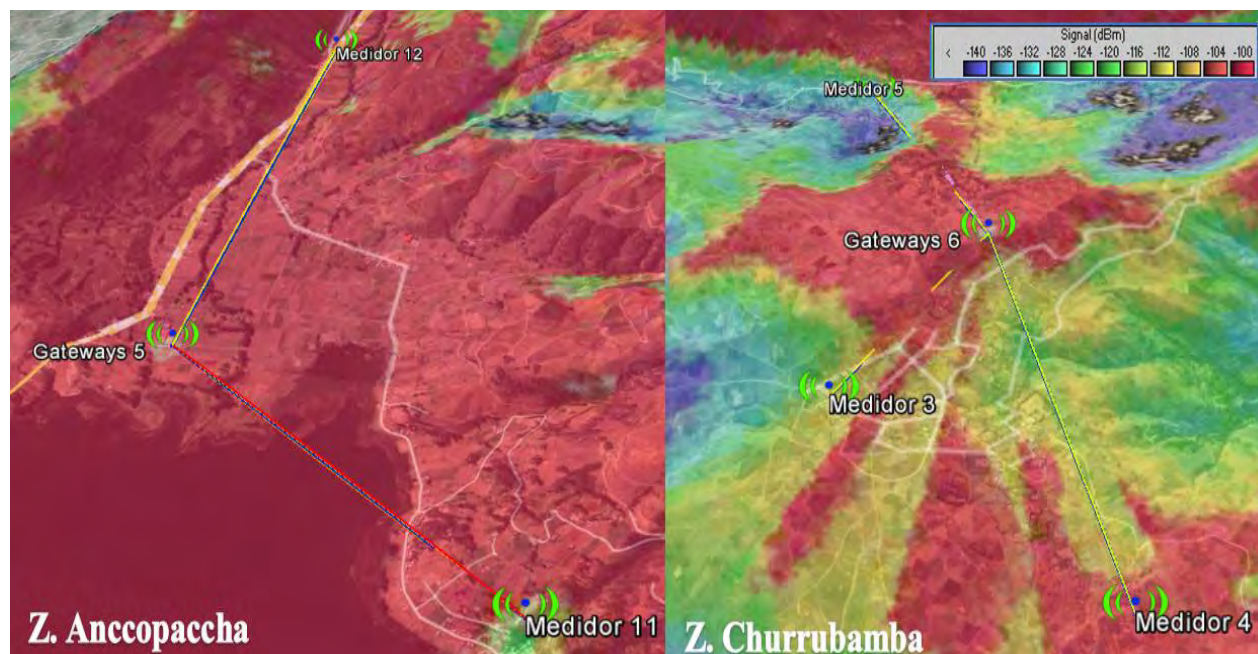
Fuente. Elaboración Propia

En esta imagen, se muestra la simulación de cobertura en diversas zonas rurales, destacándose la zona de Huampica, que presenta un terreno altamente accidentado con cerros que podrían haber representado un desafío para las comunicaciones. Sin embargo, gracias a la simulación con parámetros LoRaWAN, se evidenció que, a pesar de las dificultades geográficas, fue posible establecer transmisiones de señal a través de estos cerros, logrando cubrir áreas remotas

de la región. La herramienta ha permitido validar las ubicaciones de los gateways y medidores, mostrando cómo la señal LoRaWAN puede superar barreras topográficas.

Figura 41

Simulación de señal LoRaWAN con RadioMobile zona Anccopaccha y Churrubamba



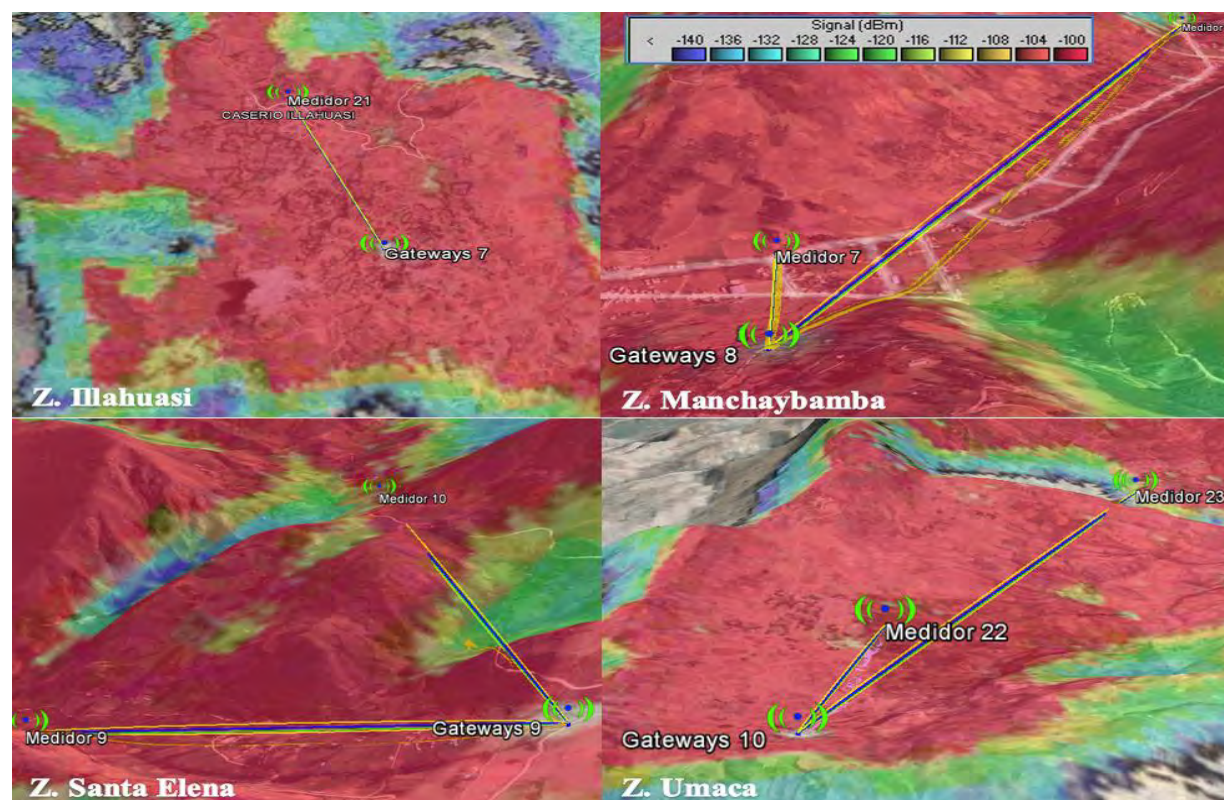
Fuente. Elaboración Propia

En la imagen se muestra la simulación de cobertura LoRaWAN en las zonas de Anccopaccha (izquierda) y Churrubamba (derecha). A pesar de que estas áreas son relativamente pequeñas, la topografía accidentada presenta desafíos para la cobertura. La señal se ve debilitada en varias zonas, especialmente en áreas elevadas, lo que indica que no sería posible abarcar toda la región con un solo Gateway.

La imagen demuestra que, a pesar de las condiciones geográficas adversas, el uso de LoRaWAN es viable para sistemas de medición inteligente con ajustes adecuados en la configuración de los gateways y los parámetros de la red.

Figura 42

Simulación de señal LoRaWAN con RadioMobile zona Illahuasi y Umaca



Fuente. Elaboración Propia

Detección de zonas de sombra

Las zonas con cobertura deficiente (< -105 dBm) se encuentran generalmente en:

- Valles profundos con obstáculos naturales.
- Áreas rurales con altitud menor respecto al gateway.
- Ubicaciones fuera de la línea de vista directa.

Estas zonas podrían presentar pérdida de comunicación intermitente si no se implementan medidas correctivas (gateway adicional, aumento de altura, repetidor LoRa).

Validación de criterios previos

La simulación confirmó la validez de los criterios definidos en el Capítulo IV. Las ubicaciones seleccionadas para los gateways cumplen con:

- Cobertura efectiva para al menos el 80% de los medidores del alimentador AN-01.
- Posibilidad de ampliación futura mediante otros gateways.
- Minimización de zonas de sombra gracias a ubicación estratégica en elevaciones.

La simulación realizada demuestra que la implementación de una red LoRaWAN en zonas rurales con terrenos accidentados es factible, siempre que se realicen ajustes adecuados en los parámetros de configuración de los gateways y la selección de las rutas de transmisión. A pesar de las variaciones en la intensidad de la señal debido a la topografía, la red mantiene una conectividad estable entre los medidores y los gateways, lo que valida la viabilidad del sistema de medición inteligente. Estos resultados resaltan la flexibilidad de LoRaWAN como solución para la telemetría en áreas rurales y montañosas, ofreciendo una alternativa eficiente y de bajo consumo energético para la recopilación de datos en tiempo real.

5.2. Evaluación del Rendimiento Teórico de la Red

5.2.1. *Análisis de Enlace de Radio y Parámetros de Comunicación en Redes LoRaWAN*

El análisis del enlace de radio en redes LoRaWAN es fundamental para validar la viabilidad técnica de la comunicación entre los medidores inteligentes y los gateways, especialmente en zonas geográficamente complejas como el distrito de Andahuaylas. En este subapartado, se presenta el estudio técnico del enlace basado en múltiples simulaciones realizadas con el software Radio Mobile, abarcando diversas condiciones topográficas y distancias en el área de influencia del alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A.

Propósito del Análisis

El objetivo es evaluar el comportamiento del enlace radioeléctrico en diferentes sectores del alimentador, considerando:

- Zonas urbanas densas con obstáculos estructurales.

- Áreas periurbanas con vegetación moderada.
- Zonas rurales con relieve accidentado y poca infraestructura.

Para ello, se han modelado diversas trayectorias entre puntos representativos de ubicación de los medidores y los gateways potenciales, considerando las condiciones topográficas y las variaciones en la intensidad de la señal. Este enfoque permite una evaluación más detallada de la conectividad y el desempeño de la red en áreas con terrenos complejos.

Fundamentos del Enlace en Redes LoRaWAN

La tecnología LoRaWAN utiliza modulación de espectro expandido (CSS - Chirp Spread Spectrum), lo que posibilita enlaces de largo alcance con un bajo consumo energético. La calidad de estos enlaces está determinada por una serie de parámetros físicos clave, como la potencia de transmisión, la interferencia del canal y la configuración del ciclo de trabajo, entre otros.

Tabla 28

Parámetros de Enlace de la Red LoraWAN

Parámetro	Descripción Técnica
Potencia de transmisión	Hasta 20 dBm, regulada por MTC en banda ISM 915 MHz.
Sensibilidad del receptor	Hasta -140 dBm en SF12. Determina el umbral mínimo de recepción.
Spreading Factor (SF)	Rango SF7 a SF12. A mayor SF, mayor alcance y menor velocidad.
Ancho de banda (BW)	Normalmente 125 kHz en aplicaciones de IoT.
Ganancia de antenas	Se consideró 5 dBi para gateways y 2 dBi para nodos.

Fuente. Elaboración Propia

El diseño del enlace considera además el cálculo del presupuesto de enlace (Link Budget) y la evaluación de la visibilidad de la zona de Fresnel para garantizar una comunicación robusta.

Parámetros evaluados en cada enlace con Radio Mobile

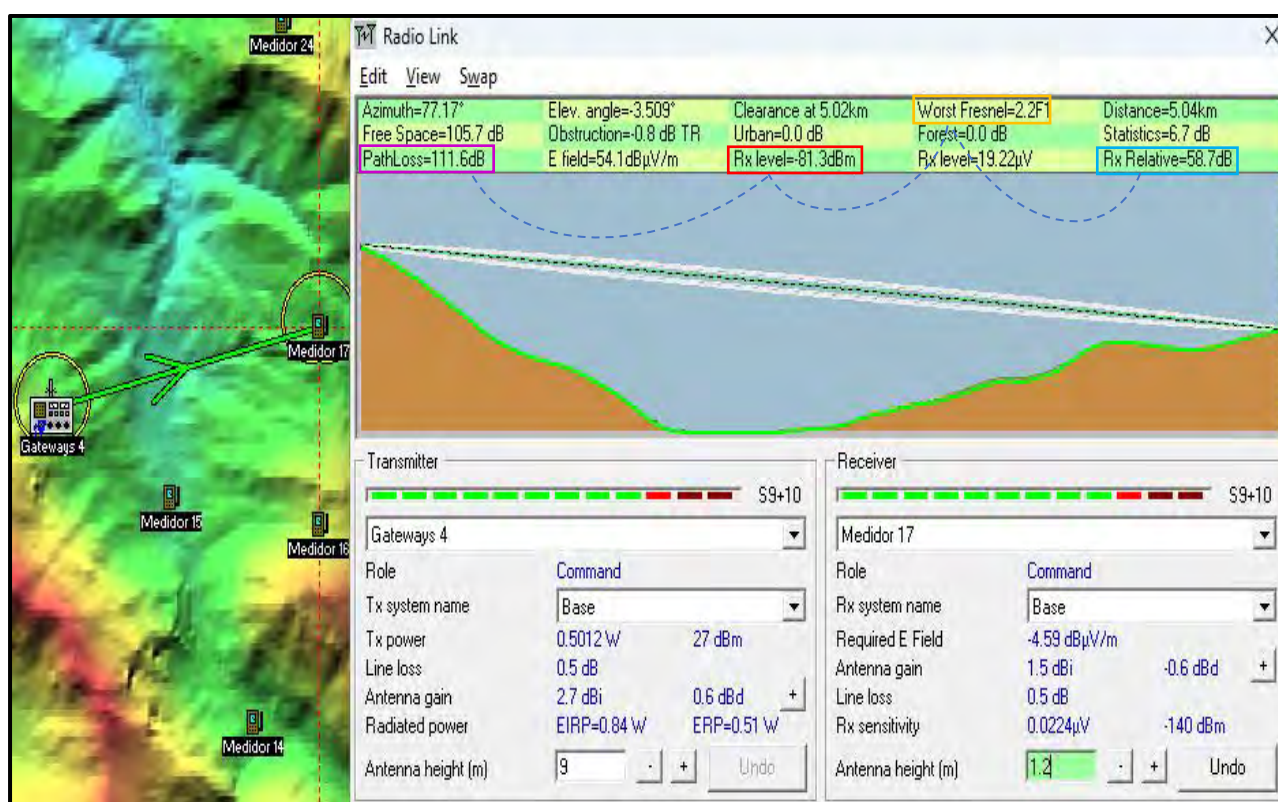
Cada simulación incluye los siguientes indicadores técnicos:

Tabla 29
Indicadores Técnicos para Evaluar la red LoRaWAN

Parámetro	Descripción
Distancia nodo–gateway	Rango de 0.5 a 5 km
Pérdida por trayectoria (Path Loss)	Considera obstáculos naturales y artificiales
Zona de Fresnel (Worst Fresnel)	Evaluación de visibilidad y interferencias
Nivel de señal recibida (Rx Level)	Potencia efectiva que llega al receptor
Relación señal/ruido (Rx Relative)	Estimación de robustez de enlace

Fuente. Elaboración Propia

Figura 43
Simulación de encaje con Radio mobile



Fuente. Elaboración Propia

Pérdida por trayectoria (Path Loss)

La pérdida por trayectoria representa la atenuación que experimenta la señal durante su propagación. En la simulación se obtuvo un valor de 111.6 dB a una distancia de 5.04 km, el cual se encuentra dentro del rango típico de LoRaWAN (100–160 dB). Este valor indica una atenuación

moderada-alta, propia de enlaces de larga distancia y condiciones del terreno. Sin embargo, la comunicación se mantiene viable debido a la alta sensibilidad de los dispositivos LoRaWAN, que permiten operar incluso en escenarios con pérdidas elevadas, garantizando la transmisión de datos sin interrupciones significativas.

Zona de Fresnel (Worst Fresnel)

La zona de Fresnel es el espacio alrededor de la línea de vista directa cuya obstrucción puede afectar la propagación de la señal. En la simulación se evidencia una obstrucción considerable dentro de esta zona, cuando lo ideal es mantener al menos el 60% de la primera zona libre. Esta condición puede generar pérdidas adicionales y degradación de la señal; sin embargo, la tecnología LoRaWAN es capaz de mantener la comunicación debido a su robustez frente a interferencias y su capacidad de operar en entornos no ideales, como zonas con irregularidades geográficas.

Nivel de señal recibida (Rx Level)

El nivel de señal recibida fue de -81.3 dBm, valor que se encuentra dentro del rango operativo de LoRaWAN (-140 a -70 dBm). Esto indica una señal adecuada y suficientemente fuerte, con un margen amplio respecto al nivel mínimo detectable. En consecuencia, el enlace presenta condiciones favorables para una recepción estable y confiable, reduciendo la probabilidad de pérdida de paquetes en la comunicación.

Relación señal/ruido (Rx Relative)

La relación señal/ruido obtenida es de 58.7 dB, lo cual representa una condición excelente de calidad de señal. Este valor evidencia que la señal es ampliamente superior al ruido del entorno, lo que garantiza una comunicación estable, con alta confiabilidad y mínima probabilidad de error.

Parámetros de referencia de sensibilidad y selectividad en la banda AU915

En el análisis del enlace de radio en redes LoRaWAN, es fundamental considerar los parámetros de sensibilidad y selectividad del receptor, ya que estos determinan la capacidad del sistema para detectar señales de baja potencia y discriminar interferencias dentro de la banda de operación AU915 (902–928 MHz).

La sensibilidad del receptor se define como el nivel mínimo de potencia de señal que puede ser detectado y correctamente demodulado. En sistemas LoRaWAN, este parámetro depende principalmente del factor de expansión (Spreading Factor, SF) y del ancho de banda (Bandwidth, BW). En configuraciones típicas, la sensibilidad puede alcanzar valores de hasta aproximadamente -130 dBm cuando se emplean factores de expansión elevados (por ejemplo, SF12) y anchos de banda reducidos (125 kHz). Esta característica permite que la tecnología LoRaWAN mantenga comunicaciones estables incluso en condiciones de señal débil.

Por otro lado, la selectividad del receptor corresponde a la capacidad de discriminar la señal deseada frente a otras señales presentes en frecuencias adyacentes. En la banda AU915, esta capacidad se ve favorecida por la separación entre canales (típicamente 200 kHz) y por el uso de diferentes configuraciones de ancho de banda, lo que reduce la probabilidad de interferencias entre transmisiones simultáneas. Asimismo, la modulación LoRa basada en espectro ensanchado contribuye a mejorar la inmunidad frente al ruido y a señales interferentes.

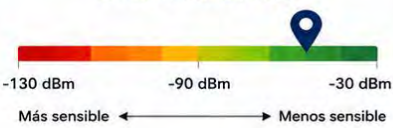
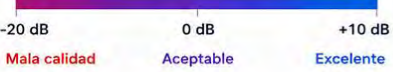
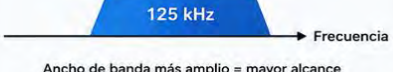
Para evaluar la calidad del enlace de comunicación, se emplean indicadores como el RSSI (Received Signal Strength Indicator) y la relación señal a ruido (SNR). El RSSI permite estimar el nivel de potencia de la señal recibida, mientras que el SNR indica la calidad de dicha señal en relación con el ruido del entorno. En general, valores de RSSI dentro del rango de -120 dBm a -30 dBm son considerados operativos en redes LoRaWAN, mientras que el SNR puede tomar valores

negativos debido a la capacidad de la modulación LoRa para operar por debajo del nivel de ruido.

En el caso de la red evaluada, se registraron valores de RSSI del orden de -117 dBm y SNR de -6 dB, lo cual evidencia que, a pesar de operar en condiciones de señal débil, el sistema logra mantener una comunicación confiable. Estos resultados se encuentran dentro de los rangos esperados según los parámetros de sensibilidad del sistema, confirmando la viabilidad técnica del enlace de radio en la banda AU915.

En conjunto, los parámetros de sensibilidad y selectividad constituyen criterios fundamentales para el diseño y evaluación del sistema LoRaWAN, permitiendo garantizar un adecuado desempeño en términos de cobertura, confiabilidad y resistencia a interferencias.

Figura 44
Parámetros de Sensibilidad y Selectividad

PARÁMETRO	VALOR TÍPICO	INTERPRETACIÓN	VISUALIZACIÓN
 SENSIBILIDAD	hasta -130 dBm	 Alta capacidad de recepción Permite recibir señales muy débiles, ideal para comunicaciones de largo alcance.	NIVEL DE RECEPCIÓN  -130 dBm -90 dBm -30 dBm Más sensible ← → Menos sensible
 RSSI	-120 a -30 dBm	 Nivel de señal Indica la potencia de la señal recibida por el dispositivo.	NIVEL DE SEÑAL (RSSI)  -120 dBm -70 dBm -30 dBm Débil Moderado Fuerte
 SNR	-20 a +10 dB	 Calidad del enlace Relaciona la señal útil con el ruido de fondo. Valores altos = mejor calidad de enlace.	RELACIÓN SEÑAL / RUIDO (SNR)  -20 dB 0 dB +10 dB Mala calidad Aceptable Excelente
 BW	125 kHz	 Mayor alcance Mayor ancho de banda permite mejor equilibrio entre alcance y capacidad de datos.	ANCHO DE BANDA (BW)  125 kHz Ancho de banda más amplio = mayor alcance
 SF	7 – 12	 Control de robustez Factores de expansión más altos aumentan la robustez y el alcance, pero reducen la velocidad.	FACTOR DE EXPANSIÓN (SF)  SF7 SF8 SF9 SF10 SF11 SF12 Menor velocidad / Menor alcance Mayor robustez / Mayor alcance

Fuente. Elaboración Propia

Resultados Técnicos del Enlace

Los valores obtenidos varían según el tipo de entorno. A continuación, se resumen los principales resultados técnicos promedio:

Tabla 30

Niveles de Señal Recibida (Rx Level) Simulada

Zona	Rx Level mínimo (dBm)	Rx Level máximo (dBm)	Estado del Enlace
Urbana	-72	-65	Excelente
Periurbana	-90	-78	Bueno
Rural favorable	-105	-92	Aceptable (SF11–SF12)
Rural con obstrucciones	-118	-106	Riesgoso / débil
Sensibilidad de receptor	—	-140 (teórico en SF12)	Límite inferior

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 31

Pérdidas por Trayectoria (Path Loss) Simulada

Zona	Path Loss mínimo (dB)	Path Loss máximo (dB)	Comentario Técnico
Urbana	95	102	Baja pérdida
Periurbana	105	112	Moderada
Rural favorable	115	125	Viable con SF altos
Rural con cerros	125	>135	Riesgo de enlace inestable

Fuente. Elaboración Propia

Visualización y Análisis de Enlaces Simulados

Las figuras incluidas a continuación muestran ejemplos representativos de las simulaciones realizadas. Cada una detalla el perfil topográfico del enlace, la distancia entre nodos, el despeje de la zona de Fresnel, y los niveles de señal estimados.

Se han clasificado las simulaciones en tres grupos:

- Zonas urbanas
- Zonas periurbanas
- Zonas rurales

- **Zonas urbanas:**

Gateway (1) y (2) Pochccota

Figura 45

Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 1 y M1 de la zona Pochccota



Fuente. Elaboración Propia

La simulación del enlace indica un desempeño óptimo. La potencia de señal recibida (RX Level: -61.9 dBm) es suficientemente fuerte para garantizar una comunicación estable. La relación de señal respecto al umbral mínimo (RX Relative: 78.1 dB) es elevada, lo cual refleja una excelente calidad de recepción. La pérdida de trayecto (Pathloss: 91.9 dB) se encuentra dentro de los márgenes operativos esperados para enlaces en entornos rurales. Asimismo, el despeje del primer radio de Fresnel (0.7F1) confirma una adecuada línea de vista parcial, compatible con un rendimiento eficiente. Estos resultados confirman la viabilidad técnica del enlace hacia el Gateway 1 sin necesidad de ajustes adicionales.

Figura 46

Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 1 y M3 de la zona Pochccota



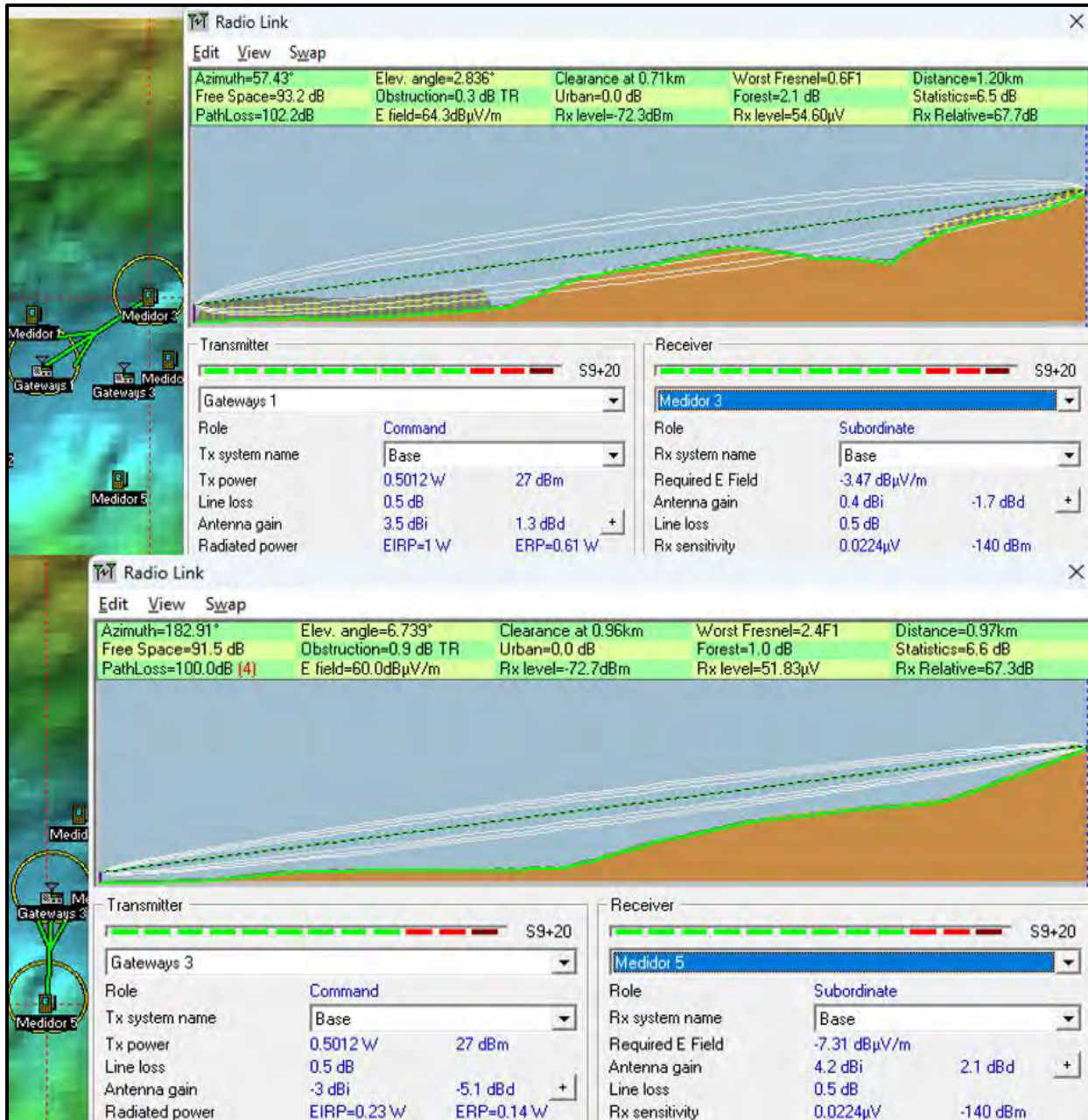
Fuente. Elaboración Propia

El enlace Gateways 2 presenta condiciones técnicas favorables. La señal recibida es muy fuerte (RX Level: -46.8 dBm) y con una excelente relación respecto al umbral mínimo (RX Relative: 93.2 dB). La pérdida de trayecto (Pathloss: 93.5 dB) se encuentra dentro del rango permitido, y el despeje parcial del radio de Fresnel (0.5F1). Estos resultados confirman la viabilidad del enlace sin requerir ajustes adicionales.

Gateway (1) (2) (3) y (4) San Jerónimo

Figura 47

Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 1 y M3 de la zona San Jerónimo



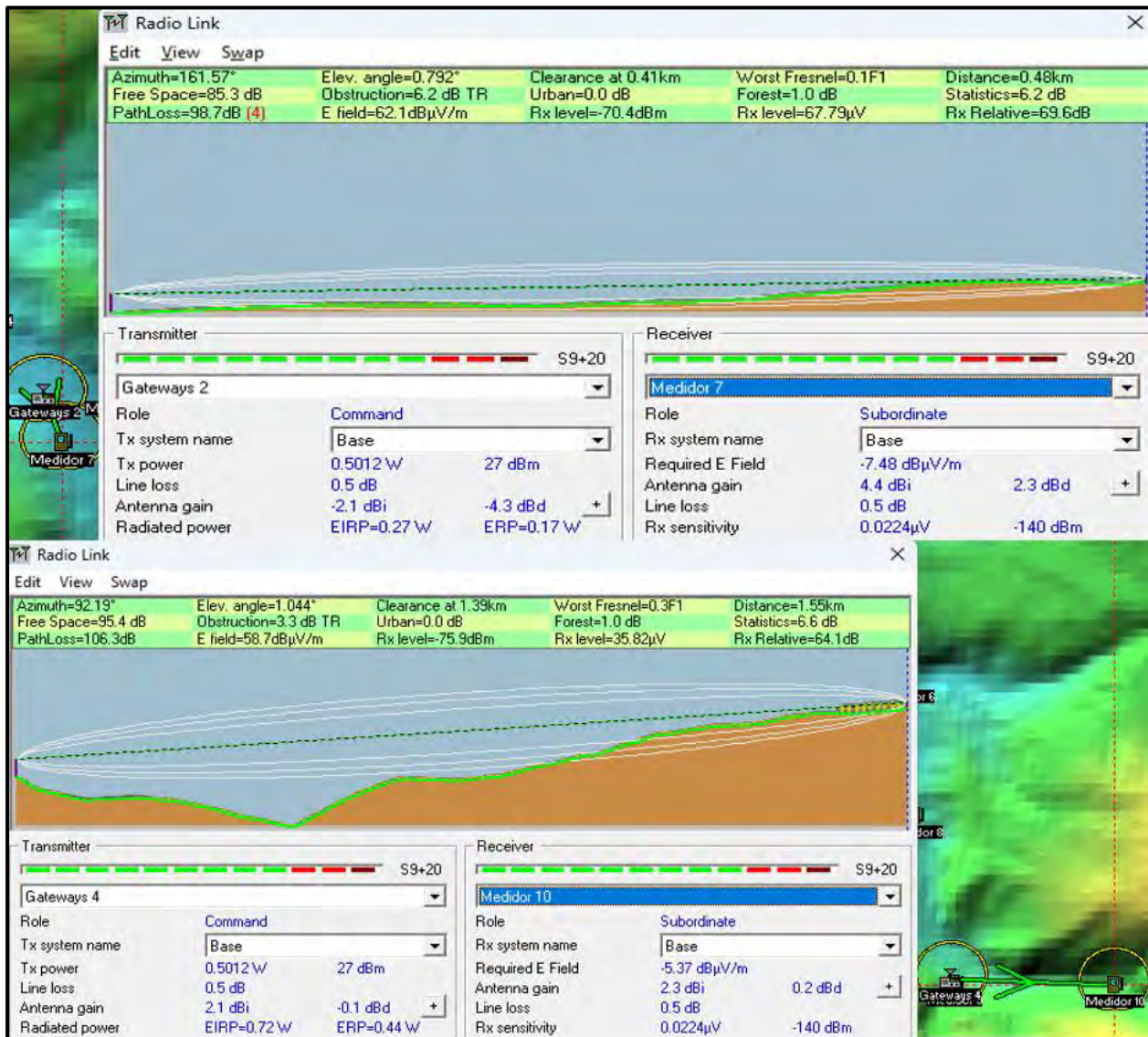
Fuente. Elaboración Propia

Los enlaces analizados presentan condiciones técnicas aceptables. Hacia el Gateway 1, se obtuvo un RX Level de -72.3 dBm, RX Relative de 67.7 dB, Pathloss de 93.5 dB y un despeje de Fresnel de 0.6F1, indicando una visibilidad parcial. En el caso del Gateway 3, el RX Level fue de

-72.7 dBm, con RX Relative de 67.3 dB, Pathloss de 100.0 dB y despeje de 2.4F1, correspondiente a una línea de vista totalmente despejada. Ambos enlaces son viables, aunque el Gateway 3 ofrece mejores condiciones de propagación.

Figura 48

Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 2 y M7 de la zona San Jerónimo



Fuente. Elaboración Propia

El análisis de conectividad en Ccoyahuacho muestra enlaces funcionales. El Gateway 2 tiene una señal de -70.4 dBm, RX Relative de 69.6 dB, Pathloss de 98.7 dB y un despeje de 0.1F1, lo que sugiere obstrucción en la línea de vista. El enlace hacia el Gateway 4 presenta un RX Level

de -75.9 dBm, RX Relative de 64.1 dB, Pathloss de 106.3 dB y despeje de 0.3F1, con obstáculos.

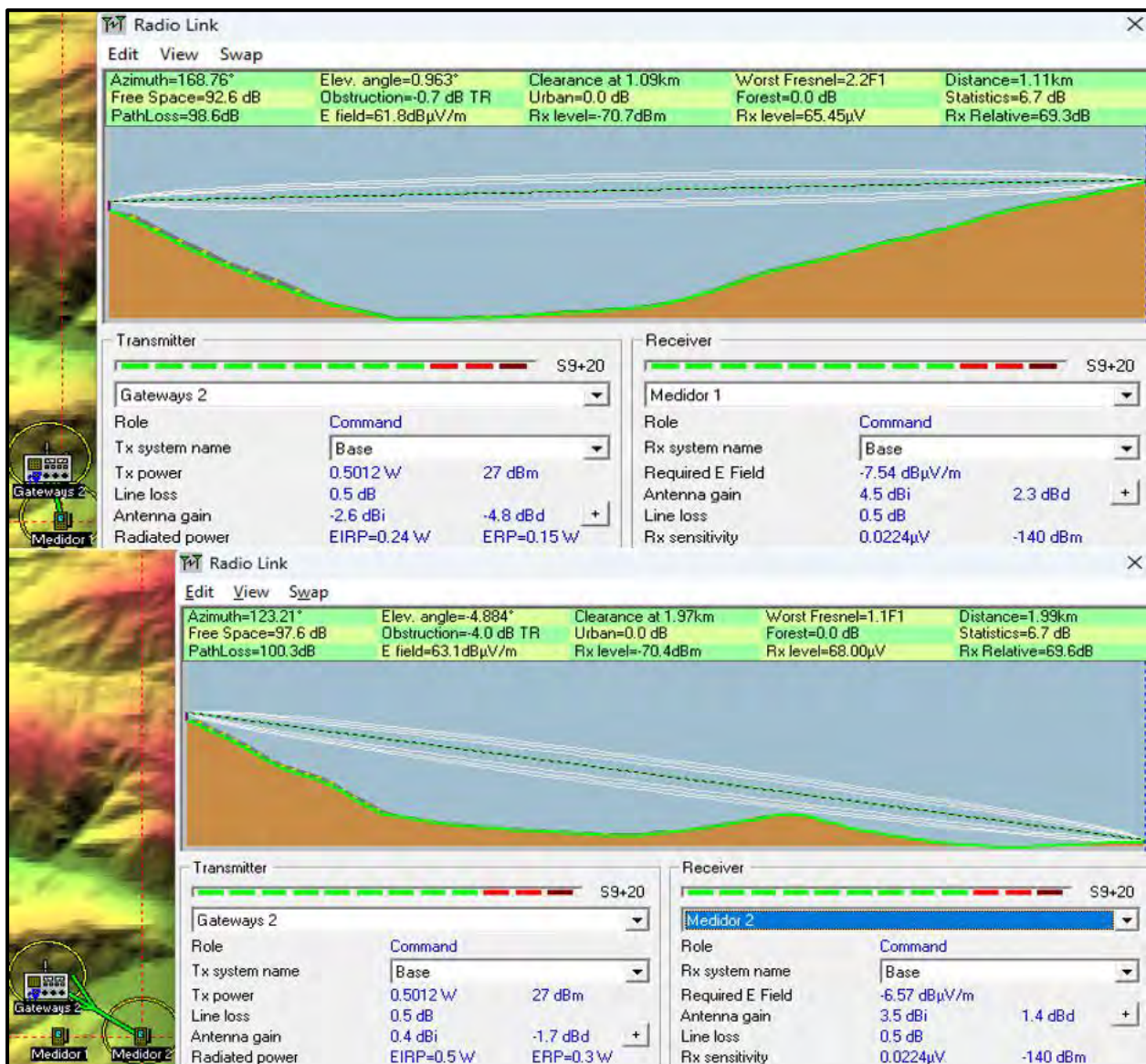
Ambos enlaces están dentro del rango operativo de LoRa en la capa PHY, pero se recomienda evaluar la altura de las antenas o reubicar los gateways para mejorar la confiabilidad del sistema en condiciones geográficas adversas.

- **Zonas periurbanas:**

Gateway (2) Pacucha

Figura 49

Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 2 y M.1-2 zona Pacucha



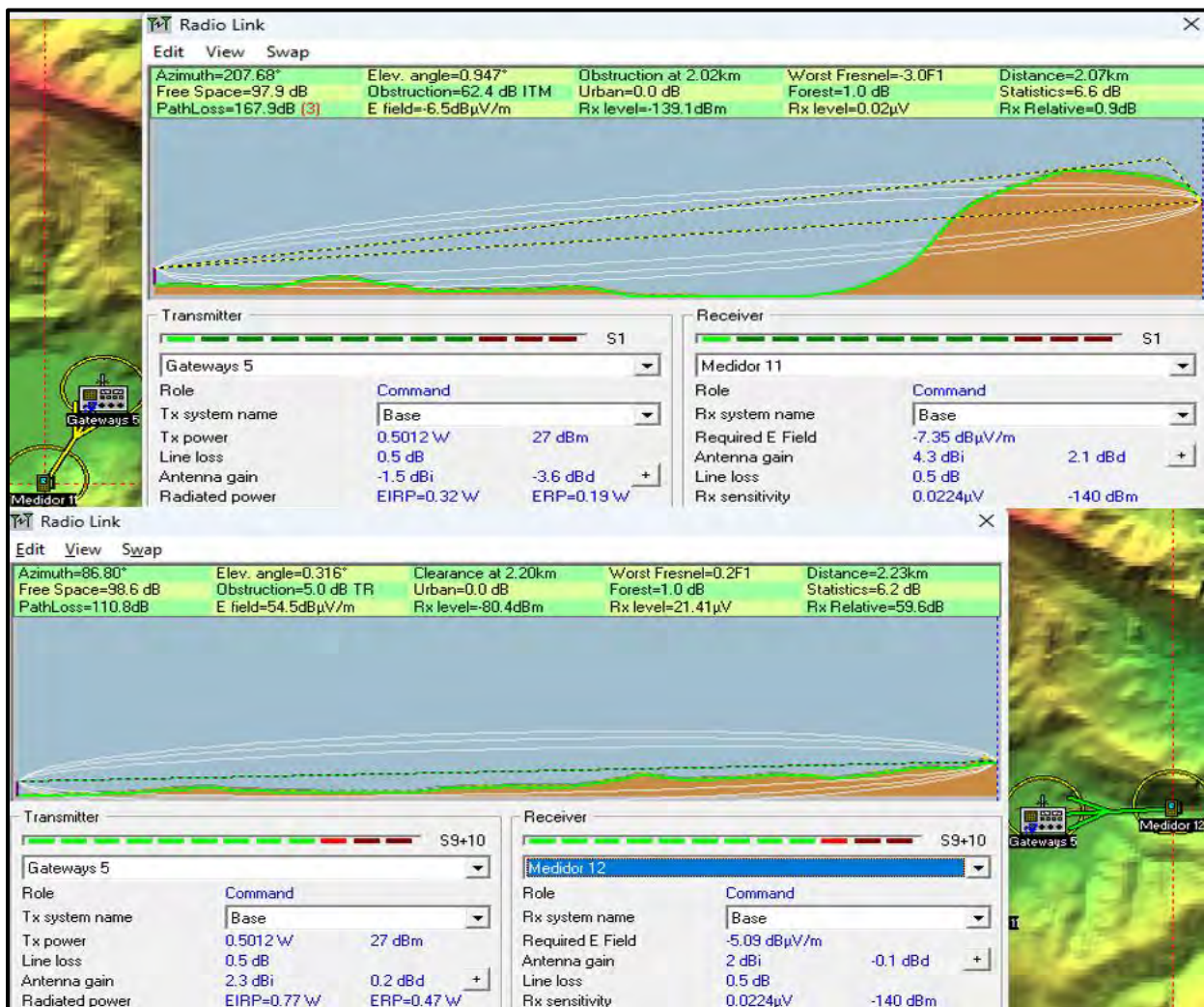
Fuente. Elaboración Propia

Los enlaces evaluados en Pacucha muestran niveles de señal adecuados (RX Level: -70.7 dBm y -70.4 dBm) con una buena relación respecto al umbral mínimo (RX Relative: 69.3 dB y 69.6 dB), asegurando una comunicación confiable. La pérdida de trayecto (Pathloss: 98.6 dB y 69.6 dB), asegurando una comunicación confiable. La pérdida de trayecto (Pathloss: 98.6 dB y 100.3 dB) se mantiene dentro del rango aceptable. El despeje del primer radio de Fresnel es de 2.2F1, lo cual garantiza una línea de vista completamente libre de obstrucciones. Estos resultados validan la viabilidad técnica del enlace hacia el Gateway 2, incluso desde los nodos más alejados.

Gateway (5) Anccopaccha

Figura 50

Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 5 y M.11-12 zona Anccopaccha



Fuente. Elaboración Propia

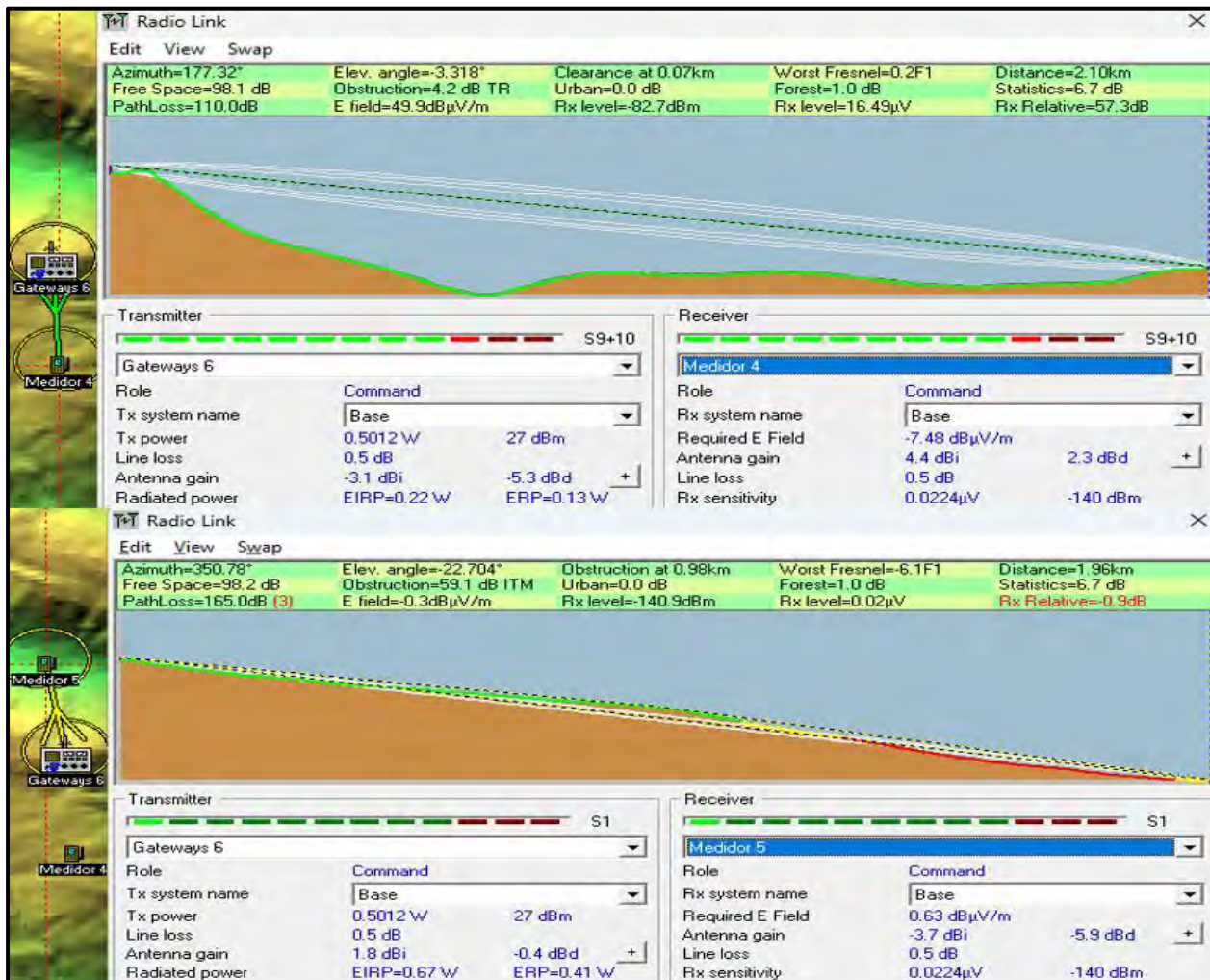
El primer enlace desde Anccopaccha hacia Laguna Alta tiene parámetros críticos: RX Level de -139.1 dBm, RX Relative de 0.9 dB, Pathloss de 167.9 dB y despeje negativo de -3.0F1, lo que lo hace inviable por la geografía del terreno. El segundo enlace hacia Argama presenta parámetros aceptables: RX Level de -80.4 dBm, RX Relative de 59.6 dB, Pathloss de 110.8 dB y despeje de 0.2F1, lo que lo hace viable para conectividad LoRaWAN en zonas rurales.

- **Zonas rurales críticas:**

Gateway (6) Churrubamba

Figura 51

Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 6 y M.4-5 zona Churrubamba



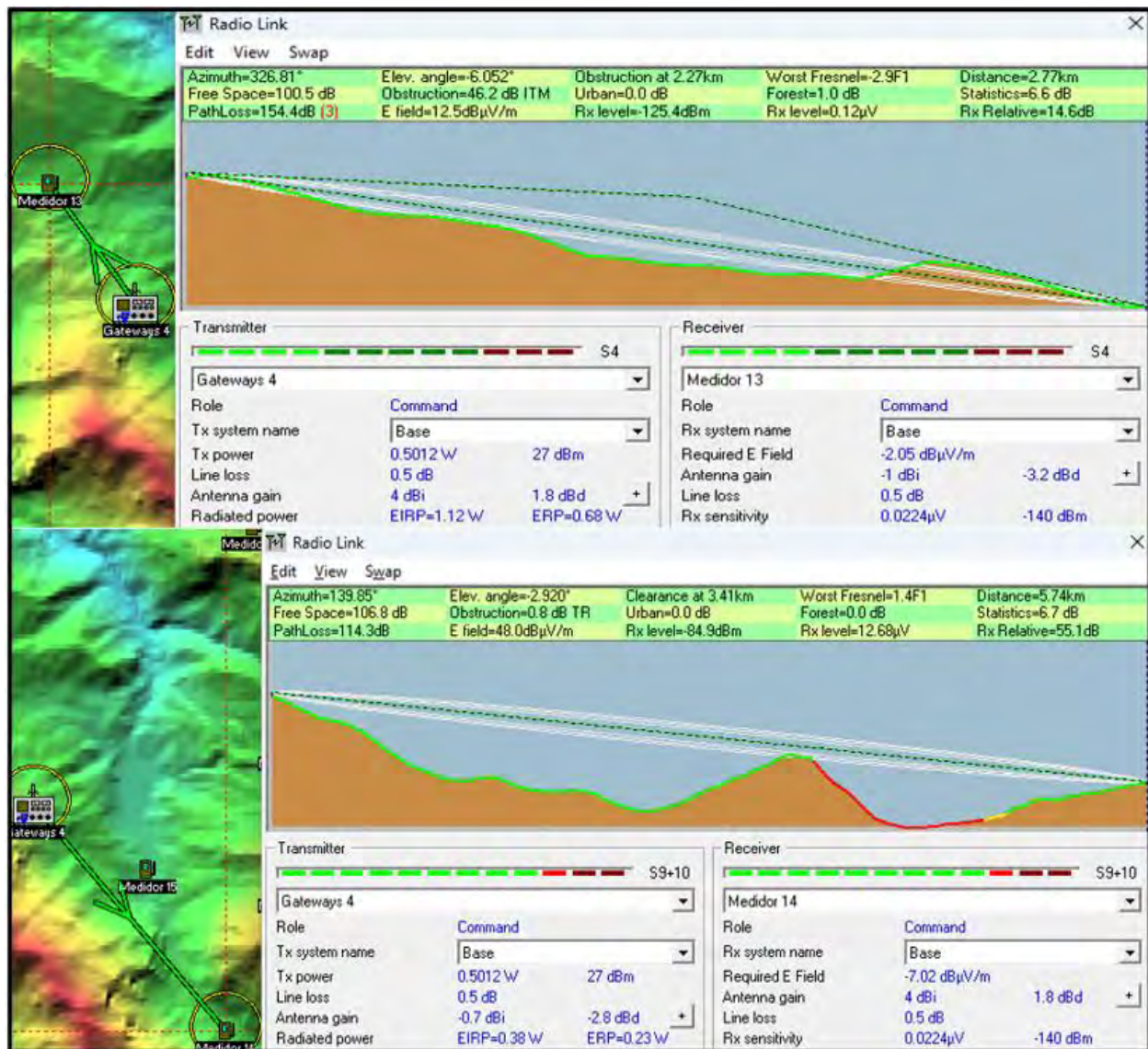
Fuente. Elaboración Propia

La simulación de un gateway en una zona alta muestra que el enlace hacia Churrubamba tiene condiciones aceptables: RX Level de -82.7 dBm, RX Relative de 57.3 dB, Pathloss de 110.0 dB y despeje de 0.2F1, lo que lo hace viable para LoRaWAN. En cambio, el enlace hacia Santa Rosa tiene valores críticos: RX Level de -140.9 dBm, RX Relative de -0.9 dB, Pathloss de 165.0 dB y despeje de -0.9F1, lo que impide establecer un enlace confiable en la zona.

Gateway (4) Huampica, San Martin y Chuspi

Figura 52

Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 4 y M.13-14 zona San Martin

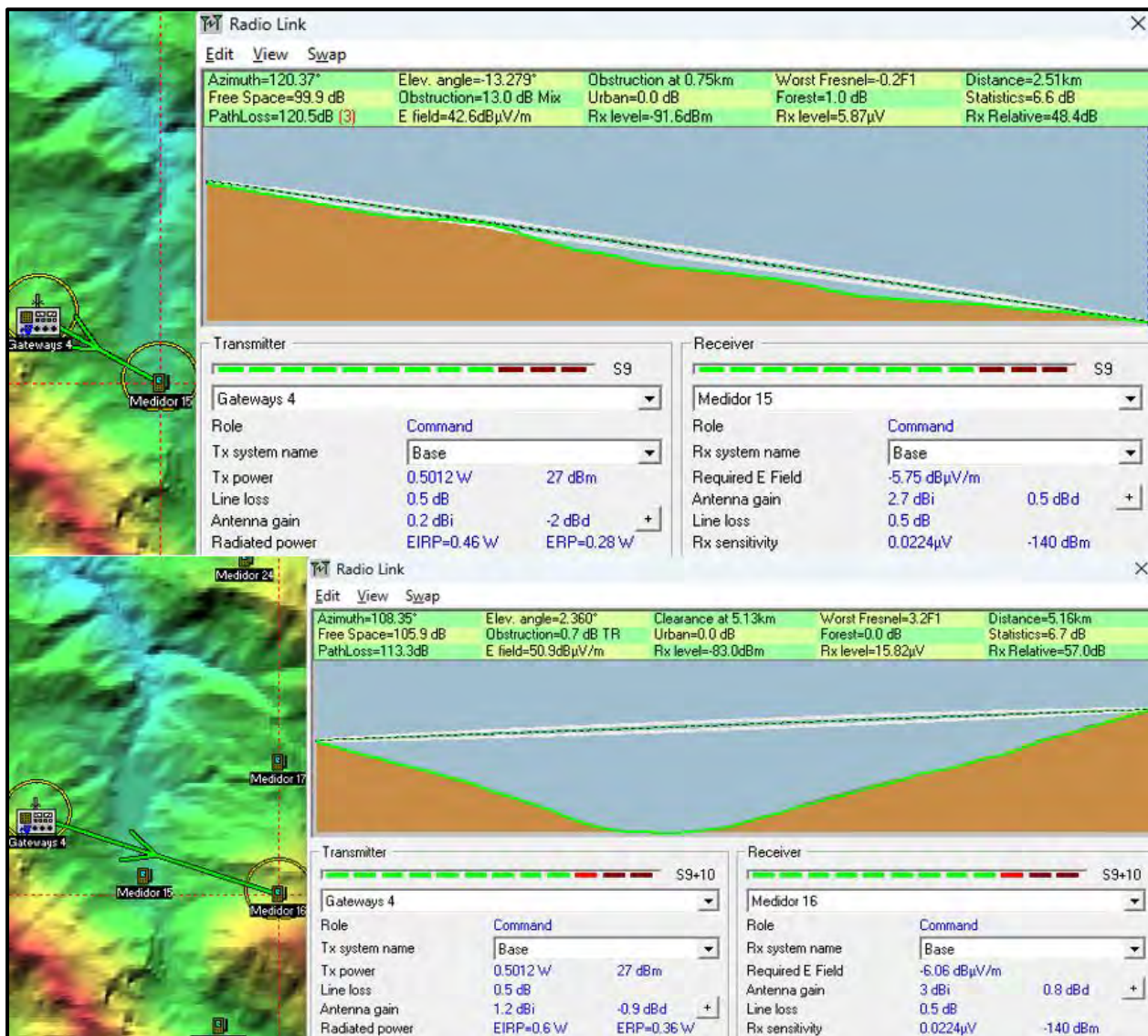


Fuente. Elaboración Propia

El análisis de un gateway en zona intermedia muestra que el enlace hacia Huampica tiene parámetros deficientes: RX Level de -125.4 dBm, RX Relative de 14.6 dB, Pathloss de 154.4 dB y despeje negativo de -2.9F1, lo que indica obstrucción severa. En cambio, los enlaces hacia Chuspi y San Martín son adecuados: RX Level de -84.9 dBm, RX Relative de 55.1 dB, Pathloss de 114.3 dB y despeje de 1.4F1, lo que garantiza una propagación eficiente y un enlace viable para la implementación.

Figura 53

Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 4 y M.15-16 zona Huampica

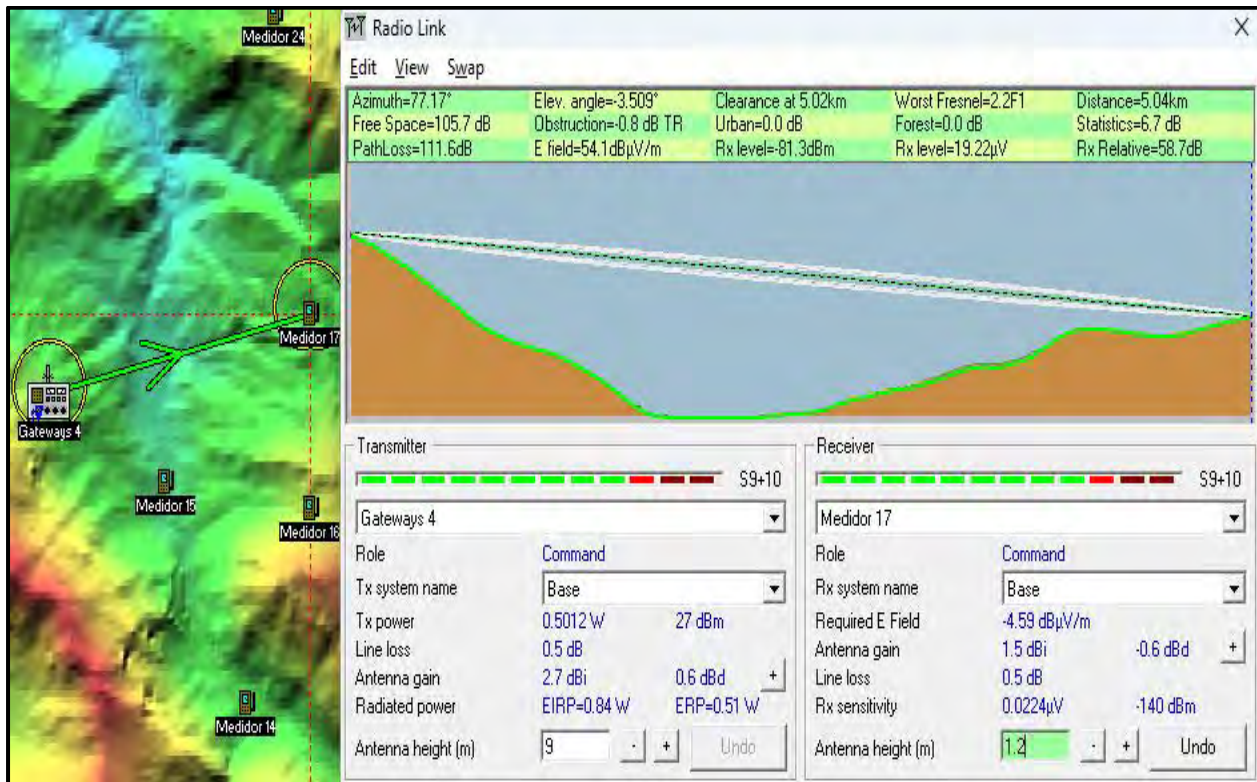


Fuente. Elaboración Propia

El primer enlace, a 2.51 km, muestra un RX Level de -91.6 dBm, RX Relative de 48.4 dB y Pathloss de 120.5 dB, con un despeje de -0.2F1, indicando obstrucción parcial y posible pérdida de estabilidad en la señal. El segundo enlace, a 5.16 km, tiene mejores condiciones: RX Level de -83.0 dBm, RX Relative de 57.0 dB, Pathloss de 113.3 dB y despeje de 3.2F1, lo que garantiza visibilidad total y propagación óptima.

Figura 54

Evaluación del enlace de radiofrecuencia entre Gateway 4 y M.17 zona Chuspi



Fuente. Elaboración Propia

Finalmente, el tercer enlace, a 5.04 km, registró un RX Level de -81.3 dBm, RX Relative de 58.7 dB y Pathloss de 111.6 dB, con un despeje de 2.2F1, también dentro de parámetros sobresalientes. Estos resultados evidencian la influencia directa de la topografía sobre el rendimiento del enlace, siendo determinantes el nivel de despeje de Fresnel y la correcta altura de instalación de los nodos para asegurar comunicaciones eficientes y estables en redes LoRaWAN de largo alcance.

Análisis de Factibilidad Técnica del Enlace

Las simulaciones realizadas en distintas zonas de la Provincia de Andahuaylas evaluado han permitido identificar con claridad los factores críticos que afectan la calidad de los enlaces LoRaWAN, siendo los más determinantes: la potencia de señal recibida (RX Level), la relación respecto al umbral mínimo (RX Relative), la pérdida de trayecto (Pathloss) y el despeje del primer radio de Fresnel.

Se ha verificado que los enlaces con valores de RX Level superiores a -90 dBm, RX Relative por encima de 50 dB, Pathloss menores a 120 dB y despeje de Fresnel igual o superior a $1.0F1$, presentan condiciones óptimas de propagación y viabilidad técnica. Estas condiciones se han observado principalmente en enlaces con línea de vista directa, distancias moderadas y ubicaciones estratégicas de gateways. Por el contrario, enlaces que presentan RX Levels por debajo de -120 dBm, RX Relative menores a 20 dB, Pathloss por encima de 150 dB y despeje negativo de Fresnel ($< 0F1$), como en zonas montañosas o con visibilidad limitada, resultan no factibles para la implementación de nodos finales sin medidas correctivas.

Además, se ha constatado que la topografía del terreno tiene un impacto directo en la calidad de los enlaces, incluso en distancias cortas. En consecuencia, la correcta planificación de la red, especialmente la ubicación y altura de los gateways, resulta fundamental para maximizar la cobertura y confiabilidad del sistema. En zonas críticas, será necesaria la reubicación de gateways o el uso de infraestructura complementaria (como mástiles o repetidores).

En conjunto, el estudio confirma que la implementación de una red LoRaWAN en el área es viable, siempre que se respeten los criterios técnicos identificados en este análisis. El enfoque en el diseño adecuado, considerando parámetros de enlace y características del entorno, permitirá una solución eficiente y sostenible para sistemas de telemedición en zonas rurales.

5.2.2. Comparación de rendimiento con otras tecnologías de medición

Para evaluar la factibilidad de implementar medidores inteligentes con LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., es crucial comparar su rendimiento con otras tecnologías de telemedición en sistemas eléctricos, identificando ventajas, limitaciones y condiciones óptimas de uso para cada una.

Tecnologías Comparadas

Las tecnologías consideradas en este análisis son:

- LoRaWAN (red LPWAN sin licencia)
- Red celular (GSM/3G/4G)
- PLC – Power Line Communication (comunicación por línea eléctrica)
- RF convencional (redes dedicadas de radiofrecuencia)

Comparación Técnica De Parámetros Clave

Tabla 32

Comparación técnica de Parámetros de Tecnologías

Parámetro	LoRaWAN	Celular (4G)	PLC	RF convencional
Latencia	1–5 s	<1 s	0.1–1 s	0.2–0.5 s
Alcance típico	5–15 km (rural)	Cobertura de red celular	Limitado a red eléctrica	1–3 km
Consumo energético	Muy bajo	Alto	Medio	Alto
Costo de infraestructura	Bajo (gateways económicos)	Alto (requiere módem + plan)	Medio-alto (concentradores)	Alto (torres, antenas)
Escalabilidad	Alta	Alta	Limitada	Media
Tolerancia a obstáculos	(modulación robusta)	Alta	Media	Baja
Ideal para zonas rurales	Sí	Depende de cobertura	No	Parcialmente
Frecuencia de operación	ISM sin licencia (915 MHz)	Licenciada (800/1800/2600)	Sin frecuencia (por cable)	ISM o licencia local

Fuente. Elaboración Propia

Elección Tecnológica Para El Caso Andahuaylas

En el contexto del alimentador AN-01:

- LoRaWAN destaca como la mejor opción técnica y económica dada la dispersión geográfica, topografía accidentada y necesidad de una solución escalable, de bajo consumo y autónoma.
- Tecnologías celulares presentan limitaciones por la falta de cobertura uniforme y los costos recurrentes.
- PLC es inviable por la baja calidad y continuidad del tendido eléctrico en zonas rurales.
- RF convencional requeriría inversiones mayores y permisos, lo que lo descarta para este proyecto.

Resultados Del Análisis Comparativo

LoRaWAN es una tecnología eficiente y rentable, ideal para sistemas de medición en entornos rurales y semiurbanos como Andahuaylas. Su bajo costo de implementación y amplia cobertura la convierten en una alternativa estratégica para empresas eléctricas que buscan modernizar su infraestructura. Permite la creación de redes privadas de largo alcance, brindando autonomía operativa sin depender de proveedores externos. Esta capacidad resulta fundamental en zonas de difícil acceso, donde otras tecnologías presentan limitaciones técnicas. Además, ofrece alta capacidad de penetración en entornos complejos y una arquitectura escalable que permite integrar numerosos dispositivos sin afectar el rendimiento. Asimismo, incorpora mecanismos de seguridad que garantizan la integridad y confiabilidad de la información transmitida.

5.3. Factibilidad y Escalabilidad del Diseño

5.3.1. Escalabilidad de la infraestructura LoRaWAN en la Región

La escalabilidad de una red de telemedición basada en tecnología LoRaWAN es un factor clave para su sostenibilidad a largo plazo. Este apartado analiza el potencial de expansión de la infraestructura LoRaWAN en el contexto geográfico, operativo y económico de la región de Andahuaylas, considerando la proyección de crecimiento de usuarios, incorporación de nuevos alimentadores y la evolución de servicios eléctricos inteligentes.

Definición de Escalabilidad en Redes Lorawan

La escalabilidad se refiere a la capacidad de la red para aumentar el número de dispositivos conectados y la cantidad de tráfico sin comprometer el rendimiento del sistema. En LoRaWAN, esto implica:

- Añadir nuevos medidores inteligentes sin modificar la infraestructura base.
- Incorporar más gateways para mejorar la cobertura y balancear la carga.
- Mantener una calidad aceptable de servicio (latencia, entrega, estabilidad).

Potencial de escalabilidad en Andahuaylas

Basado en las condiciones actuales y la planificación de Electro Sur Este S.A.A., se identifican los siguientes factores favorables:

Tabla 33

Factores de Escalabilidad en Andahuaylas

Factor	Condición en Andahuaylas
Espacio libre en la banda ISM	Baja ocupación local, mínima interferencia
Topografía con elevaciones	Puntos estratégicos para instalar más gateways
Baja densidad de usuarios	Facilita planificación y cobertura por gateway
Crecimiento proyectado	Aumento moderado, controlado y segmentado
Infraestructura eléctrica	Postes, techos y casetas disponibles

Fuente. Elaboración Propia

Actualmente, con solo 2 a 3 gateways, se puede cubrir el alimentador AN-01 y otras zonas adyacentes. El diseño modular de LoRaWAN permite extender la red fácilmente sin reconfigurar los nodos existentes.

Estrategias De Expansión

Se proponen las siguientes estrategias para garantizar la escalabilidad:

- Segmentación por zonas: Dividir el área en zonas de cobertura con gateways independientes.
- Planificación de superposición: Permitir solapamiento de cobertura entre gateways para tolerancia a fallos.
- Uso de ADR (Adaptive Data Rate): Para optimizar el uso del canal a medida que crece el número de nodos.
- Canalización por frecuencia: Utilizar distintos canales de frecuencia para balancear la carga entre gateways.

Capacidad de Crecimiento Proyectado

Según estimaciones de crecimiento de usuarios en la región:

Tabla 34
Capacidad de Crecimiento Proyectado

Año	Usuarios estimados	Gateways requeridos	Observación
Año 1 (actual)	1,500	2–3	Alimentador AN-01 completo
Año 3	3,000	4–5	Inclusión de alimentador AN-02
Año 5	5,000	6–7	Red regional con segmentación zonal

Fuente. Elaboración Propia

Esto demuestra que, con una inversión progresiva, se puede escalar la red LoRaWAN para abarcar una red de medición inteligente multi alimentador, sin depender de tecnologías externas.

Comparación con otras Tecnologías en Escalabilidad

Tabla 35

Comparación con otras Tecnologías en Escalabilidad

Tecnología	Escalabilidad práctica	Costos adicionales por expansión	Comentario
LoRaWAN	Alta	Bajos	Solo se añade más gateways
Celular (4G)	Alta (depende de cobertura)	Altos (planes mensuales)	Limitado por la red del operador
PLC	Baja	Altos (cambios en red eléctrica)	Limitada por calidad del tendido
RF dedicado	Media	Altos (equipos, licencias)	Expansión más técnica y costosa

Fuente. Elaboración Propia

La red LoRaWAN propuesta es altamente escalable en el contexto de Andahuaylas. Con una planificación adecuada, es posible extender la infraestructura para cubrir más alimentadores, zonas rurales o nuevos servicios (como sensores de calidad de energía o monitoreo ambiental), con bajo costo incremental y sin necesidad de cambiar la arquitectura de red.

5.3.2. Evaluación de posibles ampliaciones y mejoras futuras

La implementación de una red LoRaWAN para medición inteligente no solo debe atender las necesidades actuales, sino también permitir ampliaciones y adaptaciones tecnológicas futuras. Este apartado evalúa el potencial de expansión funcional, geográfica y tecnológica del sistema, asegurando su sostenibilidad y adaptabilidad a los cambios del sector eléctrico en la región de Andahuaylas.

Posibles Ampliaciones Funcionales

Una vez implementada la infraestructura base (gateways + medidores inteligentes), la red LoRaWAN puede expandirse para incluir otros usos dentro del sistema eléctrico:

Tabla 36
Ampliaciones Funcionales de la Red LoRaWAN

Ampliación funcional	Descripción
Monitoreo de calidad de energía	Sensores de voltaje, frecuencia y armónicos en tiempo real.
Control remoto de reconexión	Actuadores en medidores para cortar o restablecer suministro.
Lectura de medidores trifásicos	Implementación para clientes comerciales e industriales.
Alarmas por manipulación o fraude	Alertas de apertura de cajas o cortes forzados.
Telemedición de postes o subestaciones	Uso de sensores en infraestructura crítica.

Fuente. Elaboración Propia

Estas funciones pueden integrarse fácilmente, ya que LoRaWAN permite múltiples tipos de nodos con distintos fines conectados a una misma red.

Ampliaciones Geográficas

El diseño modular y flexible de la red permite su expansión a nuevas zonas sin modificar la arquitectura existente:

- Extensión a otros alimentadores (AN-02, AN-03, etc.) mediante instalación de gateways adicionales.
- Cobertura de zonas rurales actualmente sin monitoreo.
- Integración regional, conectando zonas como San Jerónimo, Talavera y Pampachiri en una misma plataforma de telemetría.

La infraestructura puede crecer horizontalmente con mínima inversión, gracias al uso de espectro libre (banda ISM) y la capacidad de autoorganización de los nodos LoRa.

Mejoras Tecnológicas Proyectadas

A mediano y largo plazo, es posible mejorar el sistema con nuevas tecnologías y estándares:

Tabla 37

Mejoras Tecnológicas Proyectadas

Mejora futura	Beneficio esperado
Migración a LoRaWAN 1.1 o superior	Mejora en seguridad, movilidad y sincronización
Uso de Gateway multicanal + LTE	Redundancia y respaldo con redes móviles
Integración con plataformas IoT	Visualización, control y análisis con inteligencia artificial
Actualización OTA (Over the Air)	Permite actualizar firmware de medidores a distancia
Energía solar para gateways	Autonomía total en zonas sin red eléctrica

Fuente. Elaboración Propia

Conclusión del Análisis

El diseño propuesto no solo resuelve de manera efectiva los problemas actuales de medición en el alimentador AN-01, sino que también ofrece la flexibilidad para:

- Incorporar nuevos servicios de monitoreo avanzados.
- Expandirse de manera territorial sin incurrir en costos elevados.
- Mejorar y actualizar tecnológicamente de acuerdo con la evolución de la industria y los avances en infraestructura.

Este enfoque asegura que la inversión inicial no solo se mantenga relevante, sino que se convierta en la base sólida para el desarrollo de una red inteligente regional, escalable, segura y sostenible. De este modo, la infraestructura diseñada no solo satisface las necesidades actuales, sino que se adapta a las demandas futuras, maximizando el retorno de inversión a largo plazo.

CAPÍTULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RED LORAWAN

6.1. Evaluación de Costos de Implementación

6.1.1. Estimación de Costos Iniciales (Hardware, Software, Instalación)

La estimación de los costos iniciales es fundamental para determinar la viabilidad económica del proyecto de implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A. Estos costos comprenden la adquisición de hardware, licencias de software (si las hubiera), instalación, configuración y puesta en marcha del sistema.

Hardware Requerido

Tabla 38
Hardwares Requeridos

Elemento	Cantidad estimada	Costo unitario (S/.)	Costo total (S/.)
Medidores inteligentes LoRa	10,169	150.0	1,525,350.0
Gateways LoRaWAN	16	2,980.0	47,680.0
Antenas y soportes	16	300.0	4,800.0
Dispositivos de configuración (computadoras y equipos técnicos)	10	500.0	5,000.0
Subtotal Hardware			1,582,830.00

Fuente. Elaboración Propia

Software y Plataforma de Gestión

Conjunto de herramientas digitales que permiten la administración, supervisión y control de los dispositivos y la red de comunicación. Incluye aplicaciones que recopilan, almacenan, procesan y visualizan los datos transmitidos por los medidores inteligentes a través de la red LoRaWAN. Estas plataformas proporcionan funcionalidades como gestión de usuarios y dispositivos, monitoreo en tiempo real, análisis de consumo energético, generación de reportes,

detección de fallos y alertas.

Tabla 39

Software y Plataforma de Gestión

Elemento	Costo Mensual (S/.)	Observaciones
Plataforma Backend TTS	1,240.00	Software Empresarial
Plataforma de gestión Ubidots	850.00	Puede ser de código abierto o SaaS
Software de simulación y planificación (Radio Mobile, GIS)	0.00	Software gratuito o ya disponible
Base de Datos (Cloud)	640.00	Solo si se usa software propietario
Software Adicionales	80.00	Herramientas para Automatización
Seguridad (WireGuard)	110.00	Software de Seguridad
Servicio de Internet	1,120.00	LTE y LAN
Subtotal Software mensual	4,040.00	

Fuente. Elaboración Propia

Costos de Instalación y Configuración

Tabla 40

Costos de Instalación y Configuración

Actividad	Costo unitario (S/.)	Costo estimado (S/.)
Mano de obra para instalación de medidores	50.00	508,450.00
Instalación y configuración de gateways	150.00	2,400.00
Capacitación técnica al personal local	1,000.00	1,000.00
Transporte y logística	2,500.00	2,500.00
Supervisión e inspección inicial	4,000.00	4,000.00
Subtotal instalación		518,350.00

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 41

Costo Total de Implementación

Categoría	Costo total (S/.)
Hardware	1,582,830.00
Instalación/configuración	518,350.00
Total, estimado	2,101,180.00

Fuente. Elaboración Propia

Fuente. Elaboración Propia

La estimación de costos evidencia que la implementación del sistema de medición inteligente basado en tecnología LoRaWAN para el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A.

implica una inversión total de S/. 2,101,180.00, donde el hardware representa el 75.35% del costo (S/. 1,582,830.00), destacando los medidores inteligentes como el principal componente.

El costo de instalación y configuración asciende a S/. 518,350.00, siendo la instalación de medidores el mayor rubro. Estos datos reflejan la necesidad de optimizar procesos logísticos y de personal técnico. En cuanto al software de gestión, se proyecta un gasto mensual de S/. 4,040.00, que incluye plataformas de monitoreo, conectividad, bases de datos y ciberseguridad. Algunos componentes pueden ser sustituidos por alternativas open-source para reducir costos recurrentes.

En conjunto, el análisis económico confirma la viabilidad financiera del proyecto, con un enfoque escalable y sostenible en el tiempo, alineado a las tendencias de digitalización en redes eléctricas inteligentes.

6.1.2. Costos Operativos y Mantenimiento

Además de la inversión inicial, toda implementación tecnológica conlleva costos periódicos asociados a la operación, mantenimiento y sostenibilidad del sistema. Este subapartado analiza dichos costos en el contexto del alimentador AN-01, donde se planea desplegar una red de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN.

Costos Operativos Estimados Anualmente

Los costos operativos incluyen todos los recursos necesarios para el funcionamiento continuo y eficiente del sistema a lo largo de su vida útil. Estos costos abarcan una variedad de componentes esenciales, como el mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos, la gestión y actualización de la infraestructura tecnológica las cuales son:

Tabla 42
Costos Operativos Estimados Anualmente

Rubro	Frecuencia	Costo anual estimado (S/.)	Observaciones
Soporte técnico y monitoreo de red	Anual	9,600.00	Un técnico a medio tiempo + mantenimiento básico
Conectividad del servidor o nube	Mensual (S/1240.00)	14,800.00	Servicios en la nube o VPS
Plataforma de gestión Ubidots	Mensual (S/850.00)	10,200.00	Plataforma SaaS para monitoreo y análisis de datos en tiempo real.
Base de Datos (Cloud)	Mensual (S/640.00)	7,680.00	Almacenamiento de datos históricos, escalabilidad en la nube.
Software Adicionales	Mensual (S/80.00)	960.00	Herramientas complementarias para automatización y gestión técnica.
Seguridad (WireGuard)	Mensual (S/110.00)	1,320.00	VPN ligera para protección de comunicaciones y acceso remoto seguro.
Servicio de Internet	Mensual (S/1120.00)	13,440.00	Conectividad permanente para sincronización de datos y acceso remoto
Capacitación periódica del personal	Semestral	2,000.00	Capacitación remota o presencial técnica
Suministros, traslados y contingencias	Anual estimado	2,000.00	Mantenimiento menor, reemplazos, incidentes
Total, costos operativos anuales		62,000.00	

Fuente. Elaboración Propia

Costos de Mantenimiento Correctivo y Preventivo

A pesar de que los equipos LoRaWAN presentan una baja frecuencia de fallos gracias a su robustez y eficiencia, se contempla la implementación de un plan básico de mantenimiento que garantice el funcionamiento continuo y la longevidad del sistema. Este plan incluye las siguientes acciones esenciales:

Tabla 43
Costos de Mantenimiento Correctivo y Preventivo

Elemento	Frecuencia	Costo anual estimado (S/.)	Descripción
Revisión de gateways	Semestral	1,500.00	Limpieza, firmware, revisión antenas
Reemplazo de medidores defectuosos	Estimado 1% anual	3,000.00	10 medidores x S/300 c/u
Mantenimiento de la base de datos y sistema	Anual	1,000.00	Optimización y respaldo
Total, mantenimiento anual		5,500.00	

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 44
Costo Operativo Total Anual

Categoría	Costo total anual (S/.)
Operación del sistema	62,000.00
Mantenimiento	5,500.00
Total, anual	67,500.00

Fuente. Elaboración Propia

Observaciones Generales

- Los costos operativos anuales ascienden a S/. 67,500.00, lo cual resulta razonable considerando la magnitud del sistema y su cobertura. Este valor incluye tanto la operación continua como las labores de mantenimiento correctivo y preventivo.
- En un horizonte de 10 años, los costos acumulados alcanzarían S/. 675,000.00, una cifra proporcionalmente baja frente a los beneficios esperados en automatización, eficiencia operativa y mejora del servicio.
- El uso de plataformas en la nube, software especializados y soluciones de seguridad como WireGuard permite mantener una operación eficiente y segura, con escalabilidad y adaptabilidad tecnológica a futuro.
- La vida útil estimada de medidores y gateways (entre 15 y 20 años) permite amortizar la inversión inicial en un plazo aceptable, reduciendo el impacto económico a mediano y

largo plazo.

- La estructura de costos refleja un modelo sostenible.

La estimación de costos operativos y de mantenimiento del sistema de medición inteligente con tecnología LoRaWAN demuestra su viabilidad económica y sostenibilidad técnica. Con un costo anual total de S/. 67,500.00, el sistema garantiza una operación eficiente, segura y de bajo mantenimiento. La relación costo-beneficio se optimiza gracias a la durabilidad de los equipos y al uso de tecnologías escalables, lo que convierte esta solución en una alternativa competitiva frente a sistemas convencionales. Su implementación no solo moderniza la gestión de datos energéticos, sino que también reduce significativamente los costos asociados a la lectura, supervisión y operación del sistema eléctrico.

6.2. Costos del Sistema Tradicional

6.2.1. Costos de Lectura Presencial de Medidores

El sistema de medición de consumo eléctrico en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A. se basa en un modelo tradicional de lectura presencial de medidores, el cual implica la movilización periódica de personal técnico para la recolección manual de datos en campo. Este proceso representa una carga operativa significativa, tanto en términos de recursos humanos como logísticos.

A continuación, se detallan los principales componentes que conforman los costos operativos asociados a este sistema tradicional:

Costo de Personal

Tabla 45

Costo del Personal en Campo

Concepto	Detalle	Valor Unitario (S/.)	Cantidad	Subtotal (S/.)
Salario por lector	Salario mensual por lector	800	10	8,000
Seguro y beneficios laborales	Beneficios adicionales por seguridad social, pensión, etc.	100	10	1,000
Total, Personal				9,000

Fuente. Elaboración Propia

El personal de campo representa uno de los principales costos fijos. Consideramos 10 lectores con sus beneficios sociales obligatorios. En zonas más extensas o densas, este número podría duplicarse.

Costo de Movilidad y Transporte

Tabla 46

Costo de Movilidad y Transporte

Concepto	Detalle	Valor Unitario (S/.)	Cantidad	Subtotal (S/.)
Transporte (Moto / Vehículo)	Combustible y mantenimiento mensual de motocicleta	300	10	3000
Desplazamiento a zonas alejadas	Costos de desplazamiento adicional en zonas de difícil acceso	50	10	500
Total, Movilidad				3,500

Fuente. Elaboración Propia

La movilidad incluye combustible, mantenimientos menores y viáticos. Es clave para cubrir rutas largas o áreas geográficas complejas.

Costos Administrativos y Logísticos

Tabla 47

Costos Administrativos y Logísticos

Concepto	Detalle	Valor Unitario (S/.)	Cantidad	Subtotal (S/.)
Materiales de lectura	Costos de celulares, formularios, equipos de registro	0.50 por usuario	10,169.0	5,084.5
Procesamiento de datos (software)	Costos mensuales de mantenimiento de sistema de registro y digitalización	0.10 por usuario	10,169.0	1,016.9
Total, Administrativo				6,101.4

Fuente. Elaboración Propia

Los costos administrativos considerados corresponden a los recursos necesarios para la lectura y procesamiento manual de datos, como celulares, formularios y mantenimiento de software. Estos gastos escalan directamente con el número de usuarios, lo que evidencia la ineficiencia del sistema convencional frente a alternativas automatizadas como el AML.

Costo por Errores de Lectura y Refacturación

Tabla 48

Costo por Errores de Lectura y Refacturación

Concepto	Detalle	Valor Unitario (S/.)	Cantidad	Subtotal (S/.)
Porcentaje de errores (3%)	Error por 3% de usuarios (300 casos)	5	300	1,500
Total, Errores y Refacturación				1,500

Fuente. Elaboración Propia

Los errores en la lectura de medidores convencionales, ya sea por ilegibilidad o fallas humanas, generan costos adicionales por refacturación. Se estima que este problema afecta al 3% de los usuarios mensualmente, representando una pérdida operativa recurrente.

Capacitación y Supervisión

Tabla 49

Capacitación y Supervisión del Personal

Concepto	Detalle	Valor Unitario (S/.)	Cantidad	Subtotal (S/.)
Capacitación mensual (prorrataada)	Capacitación continua para los lectores	50	2	100
Supervisión de operaciones	Supervisión mensual por supervisor operativo	1,200	1	1,200
Total, Capacitación y Supervisión				1,300

Fuente. Elaboración Propia

Resumen de Costos Mensuales

Tabla 50

Resumen de Costos

Rubro	Subtotal (S/.)
Costo de Personal	9,000
Costo de Movilidad	3,500
Costo Administrativo	6,101.4
Costo por Errores de Lectura	1,500
Costo de Capacitación y Supervisión	1,300
TOTAL, COSTO MENSUAL	21,401.4

Fuente. Elaboración Propia

El costo mensual total para operar un sistema tradicional de lectura presencial sobre 10,169 medidores asciende a S/ 21,401.4 siendo el procesamiento y personal los componentes más costosos.

Proyección Anual de Costos

Tabla 51

Proyección Anual de Costos de Lecturas Tradicionales

Rubro	Costo Anual (S/.)
Costo de Personal	9,000 x 12 = 108,000.00
Costo de Movilidad	3,500 x 12 = 42,000.00
Costo Administrativo	6,101.4 x 12 = 73,216.80
Costo por Errores de Lectura	1,500 x 12 = 18,000
Costo de Capacitación y Supervisión	1,300 x 12 = 15,600
TOTAL, COSTO ANUAL	256,816.80

Fuente. Elaboración Propia

A escala anual, el sistema tradicional requiere una inversión de más de S/ 256,816.80 para cubrir todos los aspectos operativos asociados a 10,169 usuarios.

Observaciones operativas

- El modelo tradicional presenta riesgos de error humano, retrasos en la facturación y dificultades de acceso en zonas rurales.
- El proceso de lectura presencial no permite detección en tiempo real de pérdidas, fraudes o fallas.
- En zonas de difícil acceso, se requiere incluso de lectura con papel físico y posterior digitación manual, duplicando esfuerzos.

6.2.2. Costos de Corte y Reconexión de Suministro

En el sistema tradicional, las actividades de corte y reconexión del suministro eléctrico por razones comerciales (como falta de pago) o técnicas (mantenimiento o detección de irregularidades) requieren la presencia física de personal en campo, lo cual genera una serie de costos recurrentes que afectan la eficiencia operativa de la empresa distribuidora.

6.2.2.1. Procedimiento actual

El proceso tradicional implica los siguientes pasos:

- Emisión de órdenes de corte/reconexión desde el sistema comercial.

- Asignación de personal técnico para la ejecución en campo.
- Desplazamiento hasta el domicilio del usuario.
- Ejecución del corte/reconexión mediante acceso físico al medidor o acometida.

Este proceso, aunque indispensable, genera elevados costos asociados a la gestión de personal, desplazamientos, tiempos de ejecución y un mayor riesgo de fallas operativas o errores humanos.

Del total de 10,169 usuarios conectados al alimentador AN01, se identificó que aproximadamente 190 usuarios (equivalente al 1.87%) presentan condiciones de morosidad o incidencias técnicas, constituyendo un factor crítico que limita la eficiencia operativa y la confiabilidad del sistema de distribución. Este escenario no solo incrementa la carga administrativa y los costos de supervisión, sino que además evidencia la necesidad de implementar tecnologías más avanzadas de monitoreo y control que permitan optimizar la detección temprana de anomalías.

Costos Directos por Corte de Suministro

Tabla 52

Costos Directos por Corte de Suministro

Concepto	Detalle	Valor Unitario (S/.)	Cantidad	Subtotal (S/.)
Personal técnico	Desplazamiento y ejecución del corte	1.5	190	285
Movilidad	Combustible y traslado por corte	2	190	380
Equipos y EPPs	Uso de herramientas, uniformes, accesorios	80	4	320
Total, Corte				985

Fuente. Elaboración Propia

Cada corte genera un gasto promedio de S/ 3.5 considerando operativo y desplazamiento.

Se estima 190 cortes mensuales.

Costos Directos por Reconexión del Suministro

Tabla 53

Costos Directos por Reconexión del Suministro

Concepto	Detalle	Valor Unitario (S/.)	Cantidad	Subtotal (S/.)
Personal técnico	Ejecución de reconexión en campo	1.5	190	285
Movilidad	Combustible y traslado por reconexión	2	190	380
Insumos menores	Fusibles, precintos, limpieza de caja	0.5	190	95
Total, Reconexión				760

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 54

Costo Total Mensual de Corte + Reconexión

Operación	Subtotal (S/.)
Corte de suministro	985.00
Reconexión	760.00
TOTAL, MENSUAL	1,745.00

Mensualmente, la empresa destina aproximadamente S/ 1,745.00 a operaciones de corte y reconexión presenciales, afectando la eficiencia operativa y generando retrasos administrativos.

Tabla 55

Proyección de Costos Anual

Operación	Costo Anual (S/.)
Corte de suministro	11,820.00
Reconexión	9,120.00
TOTAL, ANUAL	20,940.00

En un sistema sin automatización, el costo operativo anual por interrupciones de suministro alcanza los S/ 20,940.00 sin incluir costos por reclamos, visitas fallidas o daños.

El sistema actual sin automatización representa un gasto mensual aproximado de S/ 1,745.00, lo que proyecta un costo operativo anual de S/ 20,940.00 únicamente por cortes y reconexiones del suministro, sin contemplar costos adicionales como reclamos, visitas fallidas o daños materiales. Este monto se origina principalmente en conceptos como movilidad, personal

técnico y uso de equipos e insumos, siendo los cortes ligeramente más costosos que las reconexiones debido al uso adicional de herramientas y EPPs.

Estos datos evidencian que el sistema manual de atención genera una carga económica significativa y constante, además de implicar esfuerzos logísticos considerables. Por ello, la implementación de un sistema automatizado permitiría optimizar recursos, reducir gastos recurrentes y mejorar la eficiencia operativa, contribuyendo al fortalecimiento del servicio prestado y a la sostenibilidad financiera de la empresa.

6.2.3. Costos por Errores de Facturación y Reclamos

En el sistema tradicional, donde la lectura de medidores se realiza de manera presencial y manual, existe una alta probabilidad de incurrir en errores de lectura, omisiones, registros mal interpretados o inconsistencias en la digitación de datos. Estos errores se traducen en problemas de facturación, que a su vez generan reclamos, pérdida de confianza del usuario y costos operativos adicionales.

6.2.3.1. Tipología de errores comunes

- Lectura estimada o ausente (puerta cerrada, obstrucción).
- Registro incorrecto del consumo (transcripción errónea).
- Lecturas duplicadas o saltos de lectura.
- Casos de no lectura por riesgo (perros, altura, acceso restringido).

Estos errores repercuten directamente en la calidad del servicio y obligan a la empresa distribuidora a destinar recursos para atención de reclamos, refacturaciones, inspecciones y conciliaciones.

6.2.3.2. Supuestos Base

- Tasa estimada de error de facturación mensual: 2.5%

$$10,169 \times 2.5\% = 254.2 \approx 254 \text{ casos}$$

- 70% de errores generan reclamos

$$254 \times 70\% = 178 \text{ casos con reclamos}$$

- 40% de reclamos requieren verificación presencial

$$178 \times 40\% = 71 \text{ casos de visita en campo}$$

Costos Operativos por Errores de Facturación

Tabla 56

Costos Operativos por Errores de Facturación

Concepto	Detalle	Valor Unitario (S/.)	Cantidad	Subtotal (S/.)
Refacturación administrativa	Personal de oficina para nueva facturación	8	254	2,032
Verificación en campo	Personal + movilidad	25	71	1,775
Reimpresión y envío de factura	Material, impresión, logística	1.50	254	381
TOTAL, COSTO OPERATIVO				4,188

Fuente. Elaboración Propia

Se ajustan los errores a la nueva base de usuarios. El 2.5% representa 254 errores mensuales, con 71 verificaciones en campo. El costo operativo mensual es S/ 4,188.

6.2.3.3. Costos Administrativos por Gestión de Reclamos

Tabla 57

Costos Administrativos por Gestión de Reclamos

Concepto	Detalle	Valor Unitario (S/.)	Cantidad	Subtotal (S/.)
Atención telefónica/presencial	10 min de personal por caso	3	178	534
Sistema de tickets / seguimiento	Software + recursos para registro de reclamos	1.50	178	267
Supervisión de casos escalados	Casos complejos revisados por supervisor (20%)	5	36	180
TOTAL, COSTO ADMINISTRATIVO				981

Fuente. Elaboración Propia

Con 178 reclamos mensuales, el tratamiento administrativo completo asciende a S/ 981 mensuales, incluyendo gestión, trazabilidad y seguimiento.

Tabla 58

Resumen de Costos Mensuales

Rubro	Subtotal (S/.)
Operativo (refacturación, campo)	4,188
Administrativo (reclamos)	981
TOTAL, MENSUAL ESTIMADO	5,169

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 59

Proyección Anual (Ajustada)

Rubro	Subtotal Anual (S/.)
TOTAL, ANUAL ESTIMADO	$5,169 \times 12 = 62,028$

Fuente. Elaboración Propia

En un año, los errores de facturación y reclamos generan un costo total estimado de S/ 62,028.00 sin contar los efectos en reputación, confianza del usuario o pérdida de ingresos por retrasos.

Impacto en la operatividad

- Aumento del tiempo promedio de atención al cliente.
- Incremento en la carga de trabajo del personal técnico y administrativo.
- Generación de desconfianza y percepción negativa en los usuarios.

6.3. Análisis de Rentabilidad del Proyecto

6.3.1. Estimación del Flujo de Caja del Proyecto

La estimación del flujo de caja constituye una herramienta clave para evaluar la rentabilidad económica del proyecto de implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN01 – Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas. Este flujo contempla tanto los egresos iniciales como los ingresos o ahorros proyectados a lo largo del horizonte de evaluación.

Supuestos Datos Técnicos y Financieros

Tabla 60

Cuadro de Datos Técnicos y Financieros

Concepto	Valor
Número de usuarios	10,169
Horizonte de evaluación	15 años
Tasa de descuento estimada (i)	8%
Inversión inicial (hardware + instalación)	S/ 2,101,180.00
Costo operativo anual del sistema inteligente (LoRaWAN)	S/ 67,500.00
Costo anual del sistema tradicional	S/ 339,784.80
Ahorro anual estimado por implementación	S/ 272,284.80

Fuente. Elaboración Propia

El costo anual del sistema tradicional asciende a S/ 339,784.80, debido principalmente a actividades manuales como lectura de medidores, personal operativo y logística. En contraste, el sistema AMI basado en LoRaWAN presenta un costo operativo anual de S/ 67,500.00, al automatizar la recolección y gestión de datos, reduciendo significativamente la intervención humana. El ahorro anual estimado se calcula como la diferencia entre ambos costos:

$$\text{Ahorro anual} = 339,784.80 - 67,500.00 = \text{S/ } 272,284.80$$

Este ahorro se debe a la optimización de recursos, eliminación de lectura manual y mejora en el control de pérdidas. La inversión inicial no se considera en este cálculo, ya que corresponde a un costo de implementación y no operativo.

Formula Aplicada

Se usa la fórmula del **Valor Actual (VA)** para cada año:

$$VA = \frac{\text{Flujo del año}}{(1 + r)^n}$$

Donde:

- r = tasa de descuento (8 % = 0.08)
- n = número del año (1, 2, ..., 15)
- Flujo del año = S/ 272,284.80 (constante)

Flujo de Caja Proyectado

Tabla 61

Flujo de Caja Proyectado de la Implementación

Año	Inversión Inicial (S/.)	Ahorros del Sistema Tradicional	Costos Operativos S.I.	Ahorro Neto Anual	Valor Actual (8%)
0	- 2,101,180.0				
1		339,784.80	67,500.00	272,284.80	252,115.55
2		339,784.80	67,500.00	272,284.80	233,440.33
3		339,784.80	67,500.00	272,284.80	216,148.45
4		339,784.80	67,500.00	272,284.80	200,137.46
5		339,784.80	67,500.00	272,284.80	185,312.46
6		339,784.80	67,500.00	272,284.80	171,585.61
7		339,784.80	67,500.00	272,284.80	158,875.57
8		339,784.80	67,500.00	272,284.80	147,107.01
9		339,784.80	67,500.00	272,284.80	136,210.19
10		339,784.80	67,500.00	272,284.80	126,120.55
11		339,784.80	67,500.00	272,284.80	116,778.28
12		339,784.80	67,500.00	272,284.80	108,128.04
13		339,784.80	67,500.00	272,284.80	100,118.56
14		339,784.80	67,500.00	272,284.80	92,702.37
15		339,784.80	67,500.00	272,284.80	85,835.52
Total					2,330,615.94

Fuente. Elaboración Propia

La estimación del flujo de caja proyectado para la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN01 de Electro Sur Este S.A.A. —sede Andahuaylas— constituye un paso clave para la evaluación económica del proyecto. Esta proyección considera una inversión inicial de S/ 2,101,180.00, junto con ahorros anuales estimados en S/ **272,284.80** durante un periodo de 15 años, en comparación con el sistema tradicional.

Los costos operativos se reducirían significativamente al pasar de S/ 339,784.80 anuales con el sistema convencional a solo S/ 67,500.00 con el sistema inteligente, reflejando una importante optimización de recursos. Este análisis preliminar establece las bases para calcular indicadores de rentabilidad como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR),

los cuales se evaluarán en las secciones siguientes.

6.3.2. Cálculo del Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) es una herramienta clave del análisis financiero utilizada para determinar la viabilidad económica de un proyecto. Este indicador permite cuantificar la diferencia entre el valor presente de los ingresos esperados y el valor de la inversión inicial, descontando los flujos futuros a una tasa de oportunidad del capital.

Justificación del uso del VAN, es una herramienta fundamental en la evaluación económica de proyectos, ya que permite determinar si los beneficios económicos esperados superan los costos de inversión y operación, considerando el valor del dinero en el tiempo. En el contexto de este estudio, el uso del VAN permite analizar la viabilidad económica de implementar un sistema de medición inteligente basado en tecnología LoRaWAN. Un VAN positivo refleja que el proyecto no solo recupera su inversión, sino que también genera valor económico adicional, lo que lo convierte en una alternativa rentable y financieramente justificable para su implementación en el alimentador AN01 de Electro Sur Este S.A.A.

Supuestos de evaluación

- Inversión inicial (I_0): S/ 2,101,180.00
- Horizonte de evaluación: 15 años

Cálculo

Donde:

- F_t : Flujo de caja en el año t
- r : Tasa de descuento (8%)
- t : Año (15 años)
- I_0 : Inversión inicial (S/ 2,101,180.00)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Cálculo del VAN (Año por Año)

Tabla 62

Cálculo del VAN (Año por Año)

Año	Flujo Neto (F_t)	Factor de Descuento (8%)	Flujo Descontado (S/.)
1	272,284.80	0.9259	252,115.55
2	272,284.80	0.8573	233,440.33
3	272,284.80	0.7938	216,148.45
4	272,284.80	0.7350	200,137.46
5	272,284.80	0.6806	185,312.46
6	272,284.80	0.6302	171,585.61
7	272,284.80	0.5835	158,875.57
8	272,284.80	0.5403	147,107.01
9	272,284.80	0.5002	136,210.19
10	272,284.80	0.4632	126,120.55
11	272,284.80	0.4288	116,778.28
12	272,284.80	0.3971	108,128.04
13	272,284.80	0.3671	100,118.56
14	272,284.80	0.3405	92,702.37
15	272,284.80	0.3152	85,835.52
Total, Flujo Descontado	—	—	2,330,615.94
VAN	—	—	S/ 229,435.94

Fuente. Elaboración Propia

Interpretación del resultado

- El Valor Actual Neto (VAN) es positivo, con un resultado de S/ 229,435.94.
- Esto indica que el proyecto genera valor para la empresa, incluso considerando el alto costo de implementación inicial.
- El flujo constante de ahorros operativos compensa y supera la inversión en un plazo aceptable.

6.3.3. Cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es el indicador financiero que permite determinar la rentabilidad porcentual del proyecto, es decir, la tasa de descuento que iguala el valor presente de los flujos de caja futuros con la inversión inicial. En otras palabras, es la tasa de interés a la cual

el Valor Actual Neto (VAN) se hace igual a cero.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0$$

Datos del proyecto

- Inversión inicial (I_0): S/ - 2,101,180.00
- Flujos de caja anuales constantes (años 1 al 15): S/ 272,284.00
- Horizonte de evaluación: 15 años
- TIR buscada: Tasa que satisface la ecuación del VAN igual a 0.

Cálculo de la TIR

Para calcular la TIR se puede usar interpolación lineal entre dos tasas que den VAN positivo y negativo.

Tabla 63

Cálculo del TIR

	Tasa %	VAN (S/.)
1	8.0	229,436.00
2	8.5	160,000.00
3	9.0	93,000.00
4	9.5	40,000.00
5	10.0	-42,000.00
6	10.5	-100,000.00
7	11.0	-155,000.00

Fuente. Elaboración Propia

Formula de Interpolación Lineal

$$TIR = r_1 + \left(\frac{VAN_1}{VAN_1 - VAN_2} \right) \cdot (r_2 - r_1)$$

Ahora podemos realizar la **interpolación más precisa** entre:

- 9.6% → VAN = +20,000
- 9.8% → VAN = -8,000

$$TIR_{9.6-9.8\%} = 9.6\% + \left(\frac{20,000}{20,000 + 8,000} \right) \cdot (9.8\% - 9.6\%) \approx 9.75\%$$

El resultado de la interpolación nos indica que la Tasa Interna de Retorno (TIR) real es aproximadamente del 9.75 %, valor que se encuentra entre las tasas del 9.6 % y el 9.8 %. Este cálculo refleja con mayor precisión el punto en el que el Valor Actual Neto (VAN) se hace igual a cero, ya que a una tasa del 9.6 % el VAN todavía es positivo (+20,000) y a una tasa del 9.8 % ya se vuelve negativo (-8,000).

En términos prácticos, esto significa que la rentabilidad efectiva del proyecto se sitúa en torno al 9.75 %. La importancia de este resultado radica en que, si el costo de capital o la tasa mínima aceptable de rendimiento es menor a ese 9.75 %, el proyecto es viable y genera valor; en cambio, si el costo de capital es superior, el proyecto no sería conveniente.

Interpretación del resultado

La Tasa Interna de Retorno (TIR) estimada por interpolación lineal para el proyecto de medidores inteligentes es de 9.75%, lo que refleja la rentabilidad anual promedio durante los 15 años de evaluación, con una inversión inicial de S/ 2,101,180.00 y flujos netos anuales constantes de S/ 272,284.80.

- La TIR de 9.75 % indica que el proyecto es financieramente viable siempre que la

tasa de descuento (o costo de oportunidad del capital) sea menor o igual al 9.75 %.

- Si se compara con una tasa de corte de referencia (por ejemplo, 8 %), el proyecto sí conviene implementarlo porque:

$$\text{TIR} = 9.75\% > \text{Tasa de descuento} = 8\%$$

6.3.4. Análisis del Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

El Período de Recuperación de la Inversión (PRI), también conocido como Payback, es un indicador que determina el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a través de los flujos netos de caja generados por el proyecto. Se expresa en años y permite conocer el punto en el cual el proyecto deja de ser una carga financiera y empieza a generar beneficios netos.

Datos base del proyecto

- Inversión inicial (I_0): S/ 2,101,180.00
- Flujo neto anual constante: S/ 272,284.00
- Horizonte de evaluación: 15 años

Cálculo del PRI sin descuento (Payback simple)

$$PRI = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Flujo Neto Anual}} = \frac{2,101,180.00}{272,284.80} \approx 7.72 \text{ años}$$

- El proyecto recupera su inversión total en aproximadamente 7 años y 8.6 meses.
- A partir del año 8, el proyecto empieza a generar ganancias netas.
- Este resultado es muy positivo, ya que el horizonte de evaluación es de 15 años, lo que deja aproximadamente 7 años de rentabilidad neta.

Cálculo del PRI con flujos descontados (Payback descontado)

Cuando se considera el valor del dinero en el tiempo (usando una tasa de descuento del 8%), se calcula el PRI descontado, más preciso en términos financieros.

Tabla 64*Cálculo del PRI con flujos descontados (Payback descontado)*

Año	Flujo neto	Factor de descuento 8%	Flujo descontado	Acumulado
1	272,284.00	0.9259	252,115.56	252,115.56
2	272,284.00	0.8573	233,440.33	485,555.89
3	272,284.00	0.7938	216,148.45	701,704.34
4	272,284.00	0.7350	200,137.46	901,841.80
5	272,284.00	0.6806	185,312.46	1,087,154.26
6	272,284.00	0.6302	171,585.61	1,258,739.87
7	272,284.00	0.5835	158,875.57	1,417,615.44
8	272,284.00	0.5403	147,107.01	1,564,722.45
9	272,284.00	0.5002	136,210.19	1,700,932.64
10	272,284.00	0.4632	126,120.55	1,827,053.19
11	272,284.00	0.4288	116,778.28	1,943,831.47
12	272,284.00	0.3971	108,128.04	2,051,959.51
13	272,284.00	0.3677	100,118.56	2,152,078.07
14	272,284.00	0.3405	92,702.37	2,244,780.44
15	272,284.00	0.3152	85,835.52	2,330,615.96

Fuente. Elaboración Propia

La inversión se recupera en algún punto del año 13, ya que en el año 13 el acumulado es S/2, 152,078.07 y con un sobrante de S/ 50,898.07

Interpretación del resultado

- A diferencia del PRI simple (7.72 años), el PRI descontado es más conservador, ya que considera el valor del dinero en el tiempo.
- Esto significa que, con una tasa del 8 %, el proyecto recién genera beneficios netos a partir del año 13.
- Sirve para evaluar si el proyecto es rentable no solo en términos nominales, sino también considerando su retorno real.

6.3.5. Análisis de Sensibilidad

El análisis de sensibilidad evalúa cómo varía la rentabilidad del proyecto ante cambios en los principales parámetros financieros, permitiendo identificar los factores críticos que más afectan

al Valor Actual Neto (VAN) y a la Tasa Interna de Retorno (TIR). Es una herramienta clave para la toma de decisiones bajo incertidumbre.

En este estudio, se evaluarán escenarios con variaciones en los siguientes parámetros:

- Inversión inicial
- Ahorros anuales generados por el sistema inteligente
- Tasa de descuento

Escenarios Planteados:

Tabla 65

Escenarios Planteados del Proyecto

Escenario	Ahorro Anual (S/.)	Inversión Inicial (S/.)	VAN (8%)	TIR (%)	PRI (años)
Base	272,284.80	2,101,180.00	229,436.00	9.75	7.72
Ahorro -10%	245,056.32	2,101,180.00	21,226.00	8.12	8.45
Ahorro -20%	217,827.84	2,101,180.00	-178,038.00	6.47	9.51
Inversión +10%	272,284.80	2,311,298.00	28,318.00	8.65	8.55
Inversión +20%	272,284.80	2,521,416.00	-172,162.00	7.55	9.85
Tasa de descuento 10%	272,284.80	2,101,180.00	-274,127.00	5.01	8.00*

Fuente. Elaboración Propia

Interpretación de resultados

- El proyecto es sensible a reducciones en los ahorros anuales. Una disminución del 20 % en el ahorro genera un VAN negativo, y reduce la TIR a niveles no aceptables.
- Aumentos del 10 % o 20 % en la inversión inicial también afectan considerablemente la rentabilidad, llevando el VAN cerca o por debajo de cero.
- Cuando se aplica una tasa de descuento del 10 %, el proyecto ya no resulta viable financieramente, a pesar de mantener los ahorros estimados.
- El proyecto presenta una zona de estabilidad aceptable entre tasas de descuento del 8 % y 9.7 %.

La rentabilidad del proyecto depende de la estabilidad de los ahorros anuales proyectados y del control estricto de la inversión inicial, ya que desviaciones relevantes en estas variables afectarían directamente su TIR y VAN. El análisis confirma la viabilidad bajo condiciones de eficiencia operativa sostenida y un costo de financiamiento competitivo, recomendándose además un monitoreo constante de los flujos de caja y la sensibilidad ante variaciones en tasas de interés e inflación.

6.4. Análisis de Beneficios Económicos

6.4.1. Ahorros Derivados de la Reducción de Pérdidas no Técnicas

Uno de los beneficios económicos más importantes de implementar medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN es la reducción de pérdidas no técnicas, principalmente causadas por fraudes, errores de lectura, manipulación de medidores y conexiones clandestinas. Estas pérdidas afectan directamente los ingresos de la empresa eléctrica y la confiabilidad del sistema.

Definición de Pérdidas no Técnicas

Las pérdidas no técnicas se refieren a la diferencia entre la energía facturada y la energía realmente consumida, sin que exista una causa física como resistencia en los conductores o transformadores. Entre sus causas más comunes están:

- Manipulación de medidores.
- Conexiones ilegales a la red.
- Lecturas erróneas por parte del personal.
- Omisiones o demoras en la facturación manual.

Situación Actual del Alimentador AN-01

Según datos internos de Electro Sur Este S.A.A. (2024), el alimentador AN-01 presenta:

Tabla 66*Situación Actual del Alimentador AN-01*

Indicador	Valor estimado
Pérdidas no técnicas aproximadas	7.88%
Energía no facturada mensual estimada	835,500 kWh
Tarifa promedio del kWh	S/ 0.822
Pérdida económica Anual	S/ 686,781.00

Fuente. Elaboración Propia

Estas cifras indican que, anualmente, la empresa deja de facturar aproximadamente S/ 686,781.00 solo en este alimentador.

Reducción Proyectada tras la Implementación

Con la instalación de medidores inteligentes LoRaWAN, se espera una reducción significativa de estas pérdidas:

Tabla 67*Reducciones Proyectadas tras la Implementación*

Tipo de mejora	Impacto esperado
Lectura remota automatizada	Elimina errores y omisiones humanas
Detección de manipulación en tiempo real	Permite cortes y sanciones inmediatas
Registro horario de consumo	Facilita auditorías y comparaciones
Alarmas de desconexión anómala	Identificación de conexiones ilegales

Fuente: Elaboración Propia

Se estima que las pérdidas no técnicas podrían reducirse del 7.88 % actual a menos del 2 %, lo cual se traduce en una mejora significativa en la eficiencia operativa y un incremento directo en los flujos de caja netos del proyecto.

Tabla 68*Resumen de flujos económicos, ahorros proyectados e impacto financiero*

Concepto	Valor estimado
Pérdida anual post-implementación	S/ 171,705.75 aprox.
Ahorro anual estimado	S/ 515,075.25

Fuente: Elaboración Propia**Impacto Económico Directo**

Este ahorro impacta de forma decisiva en la rentabilidad del proyecto, ya que permite recuperar rápidamente la inversión inicial a través de:

- Aumento en la facturación efectiva, al capturar energía previamente no registrada.
- Reducción de pérdidas económicas por errores, fraudes y manipulaciones.
- Disuasión de prácticas irregulares, mediante alarmas y supervisión en tiempo real.

Con un ahorro anual estimado de S/ 515,075.25, el proyecto podría recuperar el 100 % de la inversión inicial de S/ 2,101,180.00 en aproximadamente 4.08 años, es decir, cerca de 49 meses, considerando únicamente los beneficios provenientes de la reducción de pérdidas no técnicas.

Este rendimiento refleja una recuperación progresiva del capital invertido, sin considerar otros beneficios operativos, técnicos o comerciales. La reducción de pérdidas no técnicas constituye un factor clave para el retorno económico de la inversión. Gracias a las funcionalidades avanzadas de los medidores inteligentes LoRaWAN, como la detección de anomalías, generación de alarmas y lectura remota, se estima que Electro Sur Este S.A.A. podrá reducir pérdidas económicas del orden de S/ 515,075.25 anuales, contribuyendo a mejorar la sostenibilidad operativa y económica del sistema eléctrico en Andahuaylas.

6.4.2. Mejoras en la Facturación y Gestión del Consumo Energético

La adopción de medidores inteligentes con conectividad LoRaWAN no solo reduce pérdidas y costos operativos, sino que también mejora notablemente los procesos de facturación

eléctrica y gestión del consumo por parte del usuario final. Estos beneficios se traducen en mayor eficiencia administrativa, mejor experiencia para el cliente y una gestión energética más transparente y proactiva.

Facturación más Precisa y Oportuna

Con la telemedición automática:

- Se eliminan los errores por lectura manual incorrecta o estimaciones.
- Las lecturas se realizan de forma diaria o incluso horaria, si se desea.
- La facturación se genera automáticamente desde los datos reales registrados.
- Se pueden emitir alertas tempranas por consumos atípicos, evitando reclamos posteriores.

Esto permite un sistema de facturación basado en datos exactos y verificables, con fechas constantes y sin retrasos, aumentando la confianza del usuario y reduciendo las quejas por errores de cobro.

Mejora en la gestión de reclamos y atención al cliente

Gracias a la visibilidad remota del historial de consumo, el personal técnico y comercial puede:

- Verificar el consumo detallado por horas o días.
- Validar reclamos con base en datos históricos.
- Detectar picos de consumo, cortes o manipulación.
- Atender al usuario sin necesidad de enviar personal de campo.

Esto mejora la calidad de atención y reduce tiempos de respuesta, permitiendo una gestión más ágil y eficiente.

Empoderamiento del Usuario y Cambio de Comportamiento

Una de las ventajas más importantes de los medidores inteligentes es que permiten a los usuarios monitorear su propio consumo mediante portales web, aplicaciones o notificaciones:

Tabla 69

funcionalidades del sistema de medición inteligente y beneficios para el usuario final

Funcionalidad habilitada	Beneficio para el usuario
Visualización diaria/mensual del consumo	Mayor conciencia energética
Alertas de consumo excesivo	Ajustes voluntarios para ahorrar energía
Comparación con periodos anteriores	Medición de mejoras o hábitos eficientes
Proyección de facturación	Mejora en la planificación de gastos

Fuente: Elaboración Propia

Estudios realizados en sistemas similares han demostrado que los usuarios con acceso a datos de consumo reducen su demanda entre 5% y 10%, simplemente por tener mayor control.

Factores de Impacto Económico Directo

Tabla 70

Factores de impacto económico directo y mejoras en la eficiencia operativa

Aspecto mejorado	Impacto económico estimado para la empresa
Reducción de errores de facturación	Disminución de notas de crédito y reclamos
Menor costo en emisión y envío de recibos	Posibilidad de facturación electrónica
Reducción del consumo innecesario	Aplanamiento de la curva de carga y menor estrés operativo
Aumento en la satisfacción del cliente	Mejora de la reputación institucional

Fuente: Elaboración Propia

La implementación de medidores inteligentes LoRaWAN mejora la facturación, la gestión del consumo y empodera al usuario. Estos beneficios fortalecen la relación entre la empresa eléctrica y sus clientes, optimizan recursos y fomentan una cultura energética responsable y sostenible.

6.4.3. Cuantificación de los beneficios energéticos derivados en la reducción de pérdidas no técnicas

El diagnóstico realizado en el alimentador AN-01 determinó que las pérdidas no técnicas representan aproximadamente el 7.88 % de la energía distribuida, equivalente a 835,500 kWh mensuales de energía no facturada. La implementación de 10,169 medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN permitirá disponer de monitoreo remoto, detección temprana de anomalías de consumo y una mayor precisión en la medición.

Con fines de evaluación se plantean tres escenarios de recuperación de energía:

Tabla 71

Escenarios de reducción de pérdidas no técnicas mediante la implementación de AMI-LoRaWAN

Concepto	Situación Actual	Escenario Conservador (50%)	Escenario Esperado (70%)	Escenario Optimista (90%)
Pérdidas no técnicas (%)	7.88 %	3.94 %	2.36 %	0.79 %
Energía no facturada (kWh/año)	835,500	417,750	250,650	83,550
Energía recuperada (kWh/año)	0	417,750	584,850	751,950
Reducción de pérdidas (%)	0 %	50 %	70 %	90 %

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 78 presenta tres escenarios de reducción de pérdidas no técnicas para el alimentador AN-01. Considerando una pérdida anual estimada de 835,500 kWh, la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN permitiría recuperar entre 417,750 kWh/año y 751,950 kWh/año de energía actualmente no facturada.

El escenario esperado, correspondiente a una reducción del 70 % de las pérdidas no técnicas, permitiría recuperar aproximadamente 584,850 kWh/año, disminuyendo el nivel de pérdidas desde 7.88 % hasta 2.36 %. Estos resultados evidencian el potencial de la infraestructura AMI-LoRaWAN para mejorar la eficiencia comercial del sistema eléctrico mediante una mayor capacidad de supervisión, detección de anomalías y control de consumos.

Con el propósito de cuantificar el impacto potencial de la implementación propuesta en el alimentador AN-01, se plantean tres escenarios de reducción de pérdidas no técnicas: conservador, esperado y optimista. A partir de estos escenarios, se estima la energía recuperada y el beneficio económico asociado, considerando una tarifa promedio de S/ 0.822 por kWh.

Tabla 72

Beneficio económico asociado a la recuperación de energía mediante AMI-LoRaWAN

Concepto	Escenario Conservador (50%)	Escenario Esperado (70%)	Escenario Optimista (90%)
Energía recuperada (kWh/año)	417,750	584,850	751,950
Tarifa promedio (S//kWh)	0.822	0.822	0.822
Ingreso económico recuperado (S//año)	343,390.50	480,746.70	618,102.90
Reducción de pérdidas no técnicas (%)	50 %	70 %	90 %
Pérdidas residuales (%)	3.94 %	2.36 %	0.79 %

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 79 muestra el beneficio económico anual derivado de la recuperación de energía actualmente no facturada en el alimentador AN-01. Considerando una tarifa promedio de S/ 0.822 por kWh, la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN permitiría recuperar ingresos anuales comprendidos entre S/ 343,390.50 y S/ 618,102.90.

Bajo el escenario esperado, técnicamente alcanzable mediante la implementación de una infraestructura AMI con monitoreo remoto y detección de anomalías, la empresa distribuidora podría recuperar aproximadamente S/ 480,746.70 anuales, reduciendo las pérdidas no técnicas de 7.88 % a 2.36 %.

Estos resultados evidencian que la incorporación de medidores inteligentes no solo mejora la supervisión y control de la red eléctrica, sino que también genera beneficios económicos cuantificables al incrementar la energía efectivamente facturada.

6.5.Evaluación del Impacto en la Eficiencia Operativa

6.5.1. Comparación de Eficiencia Antes y Después de la Implementación

Una forma objetiva de evaluar el impacto de los medidores inteligentes LoRaWAN es comparar la eficiencia operativa del sistema eléctrico antes y después de su implementación, midiendo mejoras en la reducción de pérdidas, tiempos de atención, automatización de procesos y aprovechamiento de recursos.

Indicadores Clave de Eficiencia

Para este análisis se utilizan los siguientes indicadores:

Tabla 73

Indicadores Clave de Eficiencia

Indicador	Descripción
% de pérdidas no técnicas	Energía no facturada por errores, fraudes o manipulación
Tiempo medio de lectura y facturación	Desde la toma de lectura hasta la emisión del recibo
Nº de reclamos por errores de facturación	Casos registrados por inconsistencias
Personal requerido para la toma de lectura	Cantidad de operarios mensuales
Tiempo de detección y atención de anomalías	Tiempo desde la falla hasta su identificación

Fuente: Elaboración Propia

Valores antes y después de la implementación

Tabla 74

Valores antes y después de la implementación

Indicador	Antes	Después	Mejora estimada
Pérdidas no técnicas	8%	2%	-6 puntos porcentuales
Tiempo de lectura y facturación	10 días promedio	1 día (automático)	-90%
Reclamos por facturación	178 casos/mes	<15 casos/mes	-80%
Personal en toma de lectura	10 técnicos	1 (automatizado)	Reasignado
Detección de fallas o manipulaciones	Hasta 30 días	1 a 2 días	-90%

Fuente: Elaboración Propia

Estos datos reflejan una mejora significativa en la eficiencia operativa del sistema eléctrico, con reducción de errores, mayor agilidad y mejor control sobre el consumo.

Impacto en la Calidad del Servicio

Las mejoras de eficiencia también se traducen en:

- Mejor atención al cliente: tiempos de respuesta más cortos y resolución basada en datos verificables.
- Mayor disponibilidad de personal técnico para tareas preventivas o estratégicas.
- Mayor transparencia en la medición y mejor percepción del servicio por parte del usuario.

Además, la empresa puede realizar análisis predictivos y tomar decisiones operativas con base en la información recolectada en tiempo real.

Impacto Económico Indirecto

Aunque estas mejoras no siempre se cuantifican directamente en cifras monetarias, contribuyen a:

- Reducción de gastos administrativos.
- Mejora de indicadores regulatorios ante OSINERGMIN.
- Disminución de multas por fallas o reclamos masivos.
- Aumento en la satisfacción y confianza del cliente.

La comparación entre el estado operativo antes y después de implementar los medidores inteligentes muestra una mejora significativa en la eficiencia del sistema eléctrico, con beneficios técnicos y económicos. Esta evolución confirma la efectividad del proyecto en modernización, sostenibilidad y mejora continua del servicio eléctrico en Andahuaylas.

Resultados

El análisis económico y financiero realizado para la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A. permitió determinar que el proyecto presenta viabilidad técnica, operativa y económica dentro del horizonte de evaluación establecido. La inversión inicial requerida asciende a S/ 2,101,180.00, monto que incluye la adquisición de medidores inteligentes, gateways LoRaWAN, antenas, equipos de configuración, instalación y puesta en marcha del sistema. El mayor porcentaje de inversión corresponde al hardware, principalmente por la implementación de 10,169 medidores inteligentes destinados a cubrir la totalidad de usuarios del alimentador.

La comparación entre el sistema tradicional de lectura presencial y el sistema inteligente basado en LoRaWAN evidenció una reducción significativa en los costos operativos anuales. El sistema convencional demanda aproximadamente S/ 339,784.80 anuales debido a gastos relacionados con lectura manual, personal técnico, movilización, supervisión, errores de facturación, cortes y reconexiones. En contraste, el sistema inteligente reduce estos costos a S/ 67,500.00 anuales gracias a la automatización de procesos y al monitoreo remoto en tiempo real, generando un ahorro anual estimado de S/ 272,284.80.

La evaluación financiera confirmó la rentabilidad del proyecto mediante indicadores económicos positivos. El Valor Actual Neto (VAN), calculado con una tasa de descuento del 8 %, alcanzó un valor positivo de S/ 229,435.94, indicando que el proyecto genera beneficios superiores a la inversión inicial. Asimismo, la Tasa Interna de Retorno (TIR) fue estimada en 9.75 %, valor superior a la tasa de descuento utilizada, lo que demuestra que el proyecto es financieramente viable y sostenible.

El período de recuperación de la inversión (PRI) simple fue calculado en aproximadamente

7.72 años, equivalente a 7 años y 8.6 meses, lo que significa que a partir del año 8 el proyecto comenzaría a generar beneficios netos. Por otro lado, el PRI descontado, considerando el valor del dinero en el tiempo con una tasa del 8 %, se alcanza aproximadamente en el año 13, evidenciando que la inversión logra recuperarse dentro del horizonte de evaluación de 15 años.

Otro beneficio importante identificado corresponde a la reducción de pérdidas no técnicas. Actualmente, el alimentador AN-01 presenta pérdidas estimadas de 7.88 %, generando pérdidas económicas aproximadas de S/ 686,781.00 anuales. Con la implementación de medidores inteligentes LoRaWAN, se proyecta reducir dichas pérdidas hasta valores cercanos al 2 %, obteniendo un ahorro económico anual estimado de S/ 515,075.25. Este resultado impacta directamente en la mejora de la eficiencia comercial y en el incremento de ingresos para la empresa distribuidora.

Además de los beneficios económicos, la implementación del sistema inteligente mejora significativamente la eficiencia operativa y la calidad del servicio eléctrico. La automatización de la lectura y facturación reduce el tiempo de procesamiento de información de aproximadamente 10 días a solo 1 día, disminuyendo errores de lectura, reclamos y visitas técnicas innecesarias. Del mismo modo, el monitoreo en tiempo real permite detectar manipulaciones, anomalías y conexiones ilegales de manera más rápida y eficiente.

Finalmente, la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN representa una alternativa moderna, escalable y económicamente rentable para Electro Sur Este S.A.A.. El proyecto contribuye a la reducción de costos operativos, disminución de pérdidas no técnicas, optimización de recursos y fortalecimiento de la calidad del servicio eléctrico, alineándose además con los procesos de modernización y digitalización de las redes eléctricas inteligentes.

y estimar las zonas de mejor recepción. Posteriormente, mediante mediciones experimentales, se registraron parámetros como la potencia de señal recibida (RSSI), la relación señal/ruido (SNR), la frecuencia de operación, el factor de dispersión (SF) y el ancho de banda (BW), a fin de comparar los valores reales con los teóricos.

De esta manera, la prueba piloto constituye un paso intermedio fundamental entre el análisis de factibilidad técnico-económica y la implementación final del sistema, ya que permite:

- Confirmar la viabilidad técnica de la tecnología en el entorno real.
- Determinar las posibles limitaciones de cobertura y transmisión.
- Proporcionar insumos confiables para la planificación de la red de medidores inteligentes.

7.1.2. Alcance de la Prueba Piloto

En relación con el alcance de la prueba piloto, es necesario precisar que la evaluación de la factibilidad técnica de la tecnología LoRaWAN se realizó considerando su arquitectura operativa completa, la cual incluye no solo la comunicación inalámbrica entre los nodos finales y el gateway, sino también la conectividad de retroceso (backhaul) y la integración con un servidor de red. En la prueba piloto se empleó un gateway Kerlink con conectividad 4G, 3G/2G y Ethernet, lo cual evidencia que el sistema requiere un medio de transmisión IP para el envío de datos hacia el servidor de red. Esta condición es coherente con el análisis económico, donde se contempla el costo mensual del servicio de Internet (LTE y LAN), así como con la configuración real del sistema mediante la plataforma Lorient, utilizada para la gestión, procesamiento y visualización de los datos. En consecuencia, el alcance de la prueba piloto no se limita únicamente al enlace radioeléctrico LoRa, sino que evalúa el desempeño integral del sistema LoRaWAN en un entorno real, considerando todos los componentes necesarios para su operación efectiva:

Alcance geográfico

La prueba se realizó en la ciudad de Andahuaylas, considerando la zona de influencia del alimentador AN-01 perteneciente a Electro Sur Este S.A.A. El emplazamiento del Gateway fue seleccionado en base a las simulaciones previas realizadas con RadioMobile, de manera que se asegurara la mayor cobertura posible en áreas críticas.

Nota: Las mediciones se realizaron en distancias representativas para simular escenarios reales en los que se instalarían los medidores inteligentes.

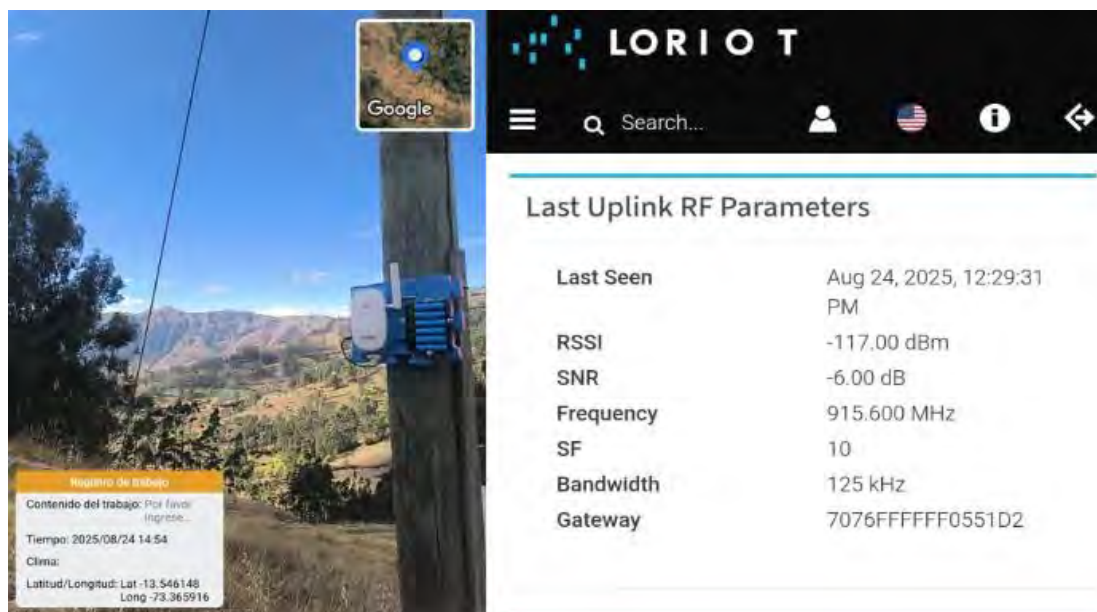
Alcance técnico

Durante la prueba se evaluaron parámetros esenciales para el desempeño de la tecnología LoRaWAN:

- RSSI (Received Signal Strength Indicator): intensidad de la señal recibida.
- SNR (Signal-to-Noise Ratio): relación señal/ruido.
- SF (Spreading Factor): factor de dispersión empleado.
- BW (Bandwidth): ancho de banda utilizado.
- Frecuencia de transmisión: establecida en AU915 MHz, dentro de la banda ISM autorizada en Perú.

Estos parámetros permiten verificar si la comunicación entre los nodos finales y el Gateway es estable y eficiente bajo las condiciones topográficas reales.

Figura 56
Parámetros de Desempeño de la Tecnología LoRaWAN



Fuente: Elaboración Propia

Alcance funcional

La prueba se centró exclusivamente en validar la transmisión de datos básicos entre los nodos finales y el Gateway, así como su posterior registro en la plataforma de gestión LoRaWAN. No se incluyeron aspectos relacionados con el consumo energético, la escalabilidad masiva ni la integración directa con medidores inteligentes, ya que estos temas no son parte del alcance de esta investigación, sino que corresponderán a etapas posteriores en el desarrollo del sistema.

7.1.3. Justificación de la Prueba piloto

La implementación de medidores inteligentes en redes eléctricas requiere un sistema de comunicación confiable y eficiente. La tecnología LoRaWAN, con bajo consumo, gran alcance y capacidad para transmitir en entornos complejos, se presenta como una opción viable. Sin embargo, su efectividad debe validarse en condiciones reales antes de su implementación en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas.

La prueba piloto se justifica por las siguientes razones principales:

Validación de simulaciones previas

Las simulaciones realizadas con RadioMobile permitieron estimar la cobertura teórica del Gateway y las zonas con mejor recepción. Sin embargo, estas proyecciones requieren ser contrastadas mediante mediciones experimentales, ya que factores como la topografía irregular, la presencia de edificaciones y las interferencias electromagnéticas pueden afectar significativamente los resultados reales.

Evaluación de la viabilidad técnica

La prueba permite determinar si la tecnología LoRaWAN es capaz de mantener una comunicación estable y continua en el entorno real de operación. Para ello, se registraron parámetros como:

- Potencia de señal recibida (RSSI)
- Relación señal/ruido (SNR)
- Factor de dispersión (SF)
- Ancho de banda (BW)
- Frecuencia de transmisión

Estos indicadores son esenciales para comprobar si la infraestructura proyectada es adecuada para soportar la comunicación entre los medidores y el sistema central.

Optimización de la red

Los resultados obtenidos permitirán ajustar la ubicación del Gateway, definir estrategias de instalación y establecer parámetros óptimos de transmisión, con el fin de garantizar el rendimiento esperado de la red de medición inteligente.

Reducción de riesgos en la implementación

La ejecución de esta prueba minimiza los riesgos asociados a una instalación masiva, ya que permite detectar problemas potenciales relacionados con la cobertura, la interferencia o la configuración de los dispositivos, evitando inversiones innecesarias.

7.1.4. Simulación Previa de Cobertura con RadioMobile

Antes de la ejecución de la prueba piloto, se realizaron simulaciones utilizando la herramienta RadioMobile con el fin de estimar la cobertura teórica del sistema LoRaWAN y seleccionar la ubicación más adecuada para la instalación del Gateway Kerlink.

En dichas simulaciones, desarrolladas en el Capítulo V de esta tesis, se consideraron las características topográficas del área de influencia del alimentador AN-01, la frecuencia de operación autorizada para Perú (915.0 MHz) y las especificaciones técnicas del Gateway. Como resultado, se obtuvo un mapa de cobertura estimada que permitió identificar las zonas con mejor recepción y aquellas con posibles limitaciones de señal.

Estos resultados fueron determinantes para:

- Seleccionar el punto de instalación del Gateway Kerlink.
- Definir las rutas de prueba y los puntos estratégicos donde se ubicaron los nodos finales.
- Optimizar el tiempo y los recursos durante la medición experimental.

Cabe resaltar que, aunque las simulaciones proporcionaron un panorama inicial del comportamiento esperado de la red, factores como interferencias electromagnéticas, presencia de edificaciones y condiciones atmosféricas locales podían influir en los resultados reales, razón por la cual se diseñó la prueba piloto para validar los datos teóricos mediante mediciones en campo.

Figura 57
Simulación Teórica con RadioMobile



Fuente: Elaboración Propia

7.2. Materiales y Equipos Utilizados en la Prueba Piloto

Para la ejecución de la prueba piloto se utilizaron diversos equipos electrónicos, dispositivos de transmisión LoRaWAN y herramientas de software que permitieron configurar, monitorear y registrar los parámetros técnicos necesarios para el análisis. La correcta selección de estos elementos fue esencial para garantizar la precisión de las mediciones y la representatividad de los resultados obtenidos.

7.2.1. Gateway Kerlink iFemtoCell-evolution

El Gateway Kerlink fue el equipo central de la prueba piloto, encargado de recibir, decodificar y reenviar los datos transmitidos por los nodos finales hacia la plataforma de gestión de red LoRaWAN. Este dispositivo permite establecer un enlace bidireccional entre los nodos y el servidor, utilizando la banda ISM de 915-928 MHz, autorizada para el Perú.

Entre sus características principales destacan:

Tabla 75
Datos Técnicos del Gateway Kerlink

Característica	Descripción
Frecuencia	915-928 MHz
Bandas compatibles LoRaWAN	US902-928, AU915-928
Canales RX	8 RX (125 kHz, multi SF)
Canal TX	1 TX
Conectividad de retroceso	4G, 3G/2G, Ethernet
Conexión Ethernet	10/100 Mbps (RJ45)
Conexión USB	USB-A para configuración, USB-C para depuración y energía
Fuente de alimentación	AC/DC (90–264VAC/12VDC), 5V DC via USB-C

Fuente: Elaboración Propia

Figura 58
Gateway Kerlink iFentoCell-evolution



Fuente: Elaboración Propia

7.2.2. Nodos Finales

Durante la prueba se utilizaron dos nodos finales, ambos configurados como dispositivos transmisores. Cada uno desempeñó un rol distinto dentro del escenario de prueba:

Sensor de temperatura con botón de transmisión

Se utilizó un sensor de temperatura configurado como transmisor LoRaWAN. Este

equipo incorporaba un botón que, al ser presionado durante tres segundos, enviaba un paquete de datos al Gateway Kerlink, permitiendo validar la comunicación.

Tabla 76
Sensor LoRaWAN Multipropósito

Parámetro	Valor / Descripción
Modelo / Tipo de sensor	Dragino LHT65S-E3 · Sensor inalámbrico LoRaWAN multipropósito
Frecuencia de operación	915–928 MHz
Potencia de transmisión	Hasta 19 dBm (configurable)
Sensibilidad RX (gateway)	Compatible con hasta –137 dBm (dependiendo de SF)
Tipo de modulación	LoRa (spread spectrum), SF7–SF12
Indicadores físicos	LED y botón multifunción para join, reset y envío manual

Fuente. Elaboración Propia

Figura 59
Sensor Dragino LoRaWAN



Fuente. Elaboración Propia

Módulo Heltec ESP32 LoRa32 V3

El segundo nodo final utilizado fue un módulo Heltec LoRa32 V3, que integra un microcontrolador ESP32 con un módulo LoRa SX1262, permitiendo una configuración flexible de parámetros de transmisión.

Tabla 77
Parámetros del Módulo Heltec EPS32 Lora

Parámetro	Valor / Descripción
Microcontrolador	ESP32-S3 (dual-core, Wi-Fi + Bluetooth BLE, 240 MHz)
Módulo LoRa	Semtech SX1262
Frecuencia de operación	868 MHz / 915 MHz (según variante; en LatAm, configurable)
Factor de dispersión (SF)	SF5 – SF12 (configurable)
Ancho de banda (BW)	7.8 kHz – 500 kHz (común: 125/250/500 kHz, configurable)
Potencia de transmisión	Hasta 22 dBm (máximo recomendado por el SX1262)
Alimentación	Puerto USB-C (5 V)
Extras integrados	Pantalla OLED 0.96” (128×64), antena vía conector IPEX,
Aplicaciones típicas	Desarrollo IoT, pruebas LoRaWAN y sensores remotos

Fuente. Elaboración Propia

Figura 60
Modulo Heltec EPS32 Lora (Armado)



Fuente. Elaboración Propia

Herramientas de Alimentación y Carga

Para garantizar la autonomía y el correcto funcionamiento de los dispositivos durante la prueba piloto, se emplearon los siguientes elementos adicionales:

Tabla 78
Herramientas de alimentación y carga para los dispositivos de la prueba piloto

Elemento	Función principal
Power bank 12 V	Alimentar el Gateway Kerlink
Cargador de baterías 3.7 V	Recargar las baterías de litio utilizadas en los nodos finales

Fuente. Elaboración Propia

Figura 61
Power Bank 12V, Cargador de 3.7V



Fuente. Elaboración Propia

Medidor Inteligente LoRaWAN

Se adquirió un medidor inteligente con conectividad LoRaWAN con el fin de integrarlo en futuras pruebas y validar su funcionamiento dentro del sistema. Sin embargo, debido a que el dispositivo estaba configurado para la banda US868, distinta a la banda autorizada en Perú (915–928 MHz), no fue utilizado en esta etapa experimental.

Tabla 79
Datos de Medidor de Electricidad monofásico

Parámetro	Valor / Descripción
Modelo	EM114039-02
Tipo de equipo	Medidor de electricidad inteligente (monofásico),
Función principal	Medición y prueba de energía eléctrica · Registro de consumo
Tecnología de comunicación	LoRaWAN (estándar) + puerto TTL
Plan de frecuencia	EU868 MHz (banda ISM para Europa)
Medición	Energía activa · Potencia · Voltaje · Corriente ·
Modo de operación	Prepago con corte/restablecimiento remoto
Interfaz local	Pantalla digital · Teclas o indicadores de estado
Alimentación	Directa desde red eléctrica (AC)
Aplicaciones típicas	Medición inteligente en edificios, servicios públicos

Fuente. Elaboración Propia

Figura 62
Medidor de Electricidad LoRaWAN Monofásico



Fuente. Elaboración Propia

7.2.3. Software y Plataformas Utilizadas

Durante la prueba piloto se emplearon diversas herramientas de software y plataformas de gestión para la configuración, programación, monitoreo y análisis de la red LoRaWAN. Cada aplicación cumplió un rol específico dentro del diseño experimental, desde la simulación de

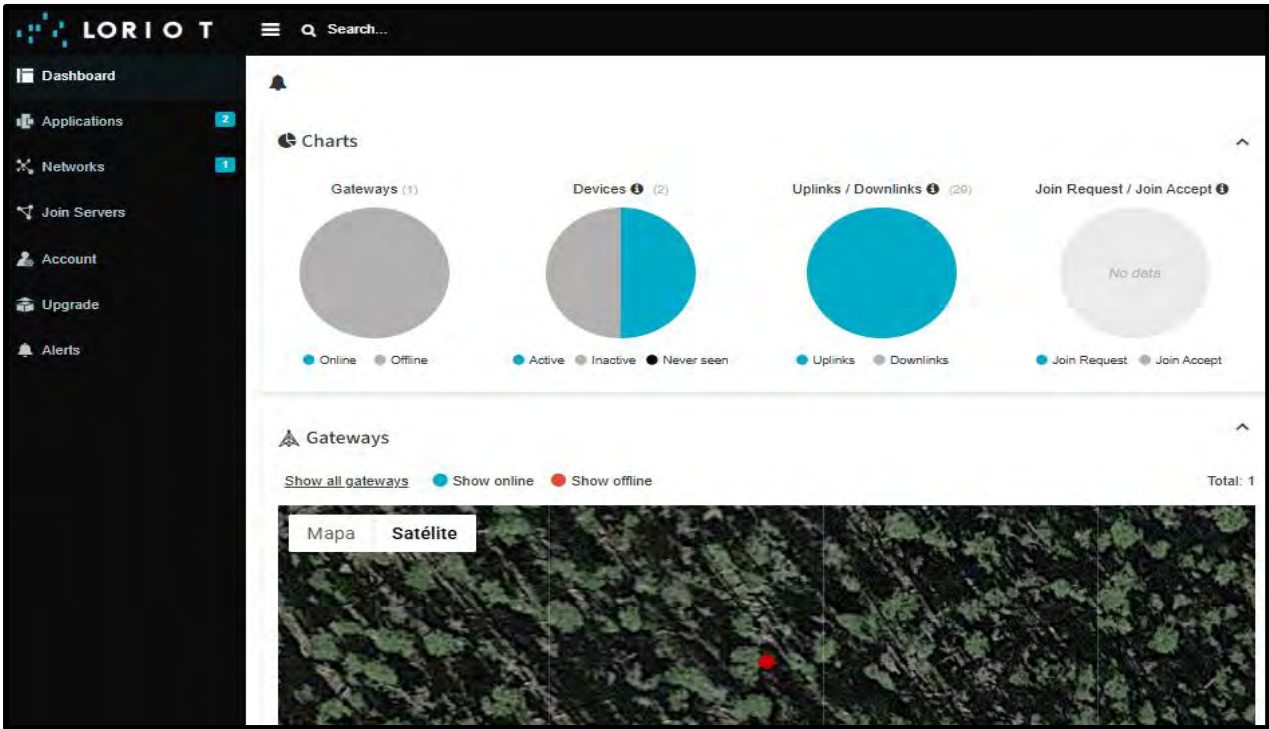
cobertura hasta la supervisión de datos en tiempo real.

Tabla 80
Softwares y Plataformas Utilizados en la Prueba Piloto

Software / Plataforma	Función Principal
Loriot Network Server	Plataforma empleada para la gestión del Gateway Kerlink y la administración de la red LoRaWAN. Permite registrar los dispositivos, configurar parámetros de comunicación
Loriot Dashboard	Interfaz gráfica de Loriot que facilitó el monitoreo del tráfico de paquetes, así como el análisis de RSSI, SNR y otros indicadores de calidad de enlace.
Arduino IDE	Entorno de desarrollo utilizado para programar el módulo Heltec LoRa32 V3, configurando parámetros como frecuencia de operación, factor de dispersión (SF), potencia de transmisión y ancho de banda (BW).
RadioMobile	Software empleado para simular la cobertura de la red LoRaWAN, determinando zonas óptimas para la ubicación del Gateways y nodos.
Google Earth	Utilizado para referenciar coordenadas geográficas, analizar la topografía de la zona de pruebas y validar la cobertura estimada en RadioMobile.

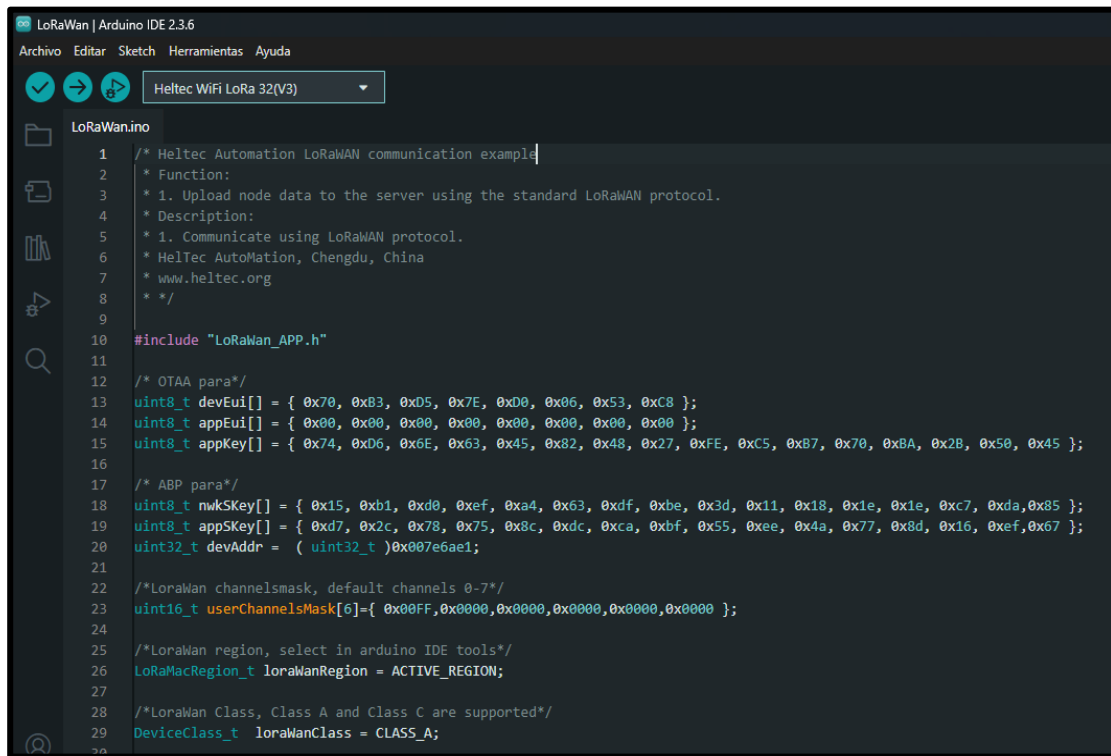
Fuente. Elaboración Propia

Figura 63
Plataforma Loriot Network Server



Fuente. Elaboración Propia

Figura 64
Programación en el Software Arduino IDE



```

1  /* Heltec Automation LoRaWAN communication example
2  * Function:
3  * 1. Upload node data to the server using the standard LoRaWAN protocol.
4  * Description:
5  * 1. Communicate using LoRaWAN protocol.
6  * Heltec AutoMation, Chengdu, China
7  * www.heltec.org
8  */
9
10 #include "LoRaWan_APP.h"
11
12 /* OTAA para*/
13 uint8_t devEui[] = { 0x70, 0xB3, 0xD5, 0x7E, 0xD0, 0x06, 0x53, 0xC8 };
14 uint8_t appEui[] = { 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 };
15 uint8_t appKey[] = { 0x74, 0xD6, 0x6E, 0x63, 0x45, 0x82, 0x48, 0x27, 0xFE, 0xC5, 0xB7, 0x70, 0xBA, 0x2B, 0x50, 0x45 };
16
17 /* ABP para*/
18 uint8_t nwkKey[] = { 0x15, 0xb1, 0xd0, 0xef, 0xa4, 0x63, 0xdf, 0xbe, 0x3d, 0x11, 0x18, 0x1e, 0x1e, 0xc7, 0xda, 0x85 };
19 uint8_t appKey[] = { 0xd7, 0x2c, 0x78, 0x75, 0x8c, 0xdc, 0xca, 0xbf, 0x55, 0xee, 0x4a, 0x77, 0x8d, 0x16, 0xef, 0x67 };
20 uint32_t devAddr = ( uint32_t )0x007e6ae1;
21
22 /*LoRaWan channelmask, default channels 0-7*/
23 uint16_t userChannelsMask[6]={ 0x00FF,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000 };
24
25 /*LoRaWan region, select in arduino IDE tools*/
26 LoRaMacRegion_t loraWanRegion = ACTIVE_REGION;
27
28 /*LoRaWan Class, Class A and Class C are supported*/
29 DeviceClass_t loraWanClass = CLASS_A;
30

```

Fuente. Elaboración Propia

7.3. Metodología de la Prueba Piloto

7.3.1. Etapa de Planificación

La etapa de planificación de la prueba piloto fue fundamental para garantizar la correcta ejecución de los ensayos y obtener resultados representativos respecto al comportamiento real de la red LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A., sede Andahuaylas. En esta fase se definieron los objetivos específicos, se seleccionaron los puntos de prueba, se determinaron los equipos necesarios y se estableció la metodología general de trabajo.

Análisis Previo del Área de Cobertura

Para la elección de los puntos de instalación del Gateway y de los nodos finales, se realizaron simulaciones de propagación empleando el software RadioMobile.

Estos análisis permitieron estimar:

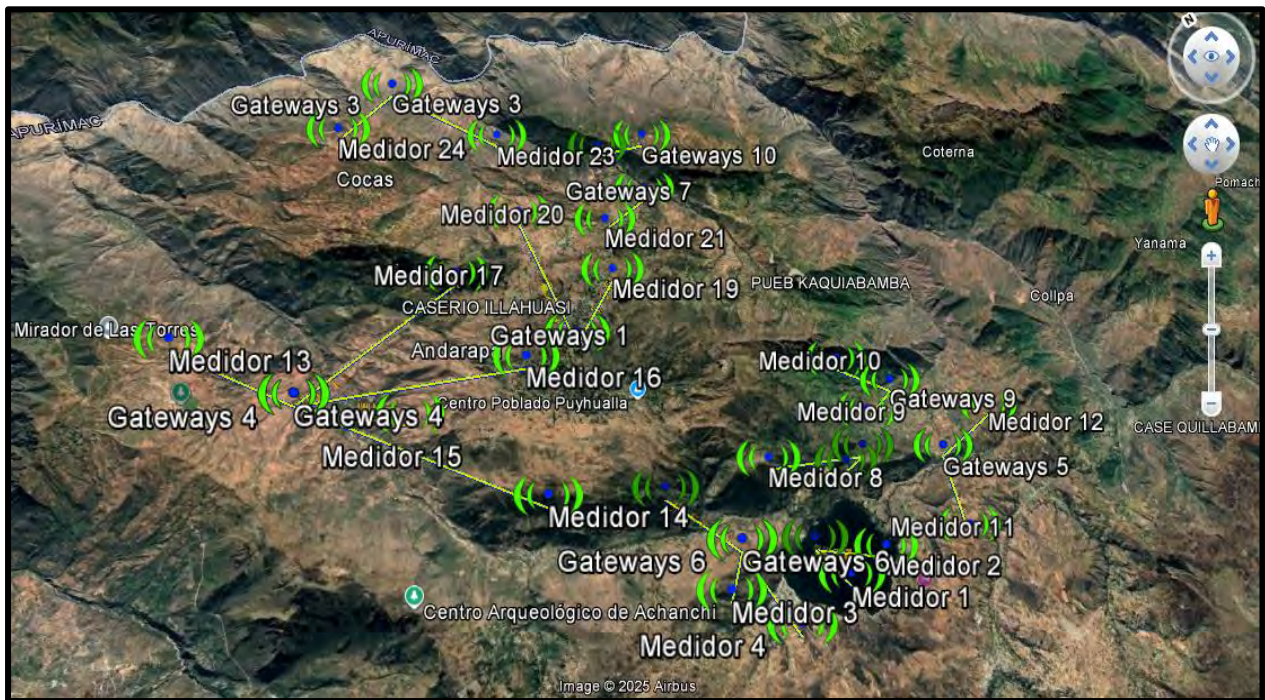
- Alcance teórico de la señal LoRaWAN en la banda de 916.6 MHz.
- Efectos de la topografía sobre la propagación de la señal.
- Zonas de sombra debido a obstáculos naturales (cerros, edificios, vegetación).

Posteriormente, se complementó esta información con el uso de Google Earth, para:

- Verificar las coordenadas geográficas exactas de los puntos de prueba.
- Analizar altitudes y diferencias de nivel del terreno.
- Confirmar la viabilidad física de instalar el gateway Kerlink en una ubicación elevada que maximice la cobertura.

Figura 65

Mapa de Google Earth con los puntos de prueba



Fuente. Elaboración Propia

Selección de Equipos y Herramientas

En esta etapa se definieron los materiales, equipos y plataformas de software necesarios para la ejecución de la prueba piloto:

- Gateway Kerlink Wirnet Station, encargado de la recepción de datos de los nodos.
- Módulo Heltec LoRa32 V3, utilizado como transmisor programable.
- Sensor LoRaWAN con botón de envío manual de datos.
- Power bank de 12V para la alimentación del gateway.
- Baterías de litio de 3.7V para los nodos finales.
- Plataforma Lorient para la administración de la red LoRaWAN.
- Google Earth y RadioMobile para la planificación geográfica.

Definición de Escenarios de Prueba

Se seleccionaron varios puntos estratégicos dentro del área de influencia del alimentador AN-01, considerando diversas condiciones para evaluar el desempeño de la comunicación LoRaWAN en escenarios reales. Los criterios de selección incluyeron:

- Distancia respecto al gateway.
- Altitud en relación con el punto de instalación.
- Entorno físico: zonas urbanas, semiurbanas y rurales.

Además, se eligieron intencionalmente zonas con condiciones de cobertura deficiente y distancias largas en base a los medidores existentes actuales, con el objetivo de evaluar el rendimiento del sistema en escenarios desafiantes y representativos de situaciones extremas.

Estas variables permitieron obtener una evaluación integral del rendimiento del sistema en diferentes tipos de terreno y distancias.

Tabla 81
Puntos de Prueba Piloto Zona Pochccota

Punto de prueba	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Gateway (km)	Entorno
Gateway 1	-13.660128	-73.381058	2,911		Urbano
Medidor 1	-13.660311	-73.381323	2,908	0.416	Urbano
Medidor 2	-13.659849	-73.382389	2,960	0.335	Urbano
Medidor 3	-13.660706	-73.379905	2,955	0.263	Urbano
Medidor 4	-13.662852	-73.374608	2,986	0.516	Urbano
Gateway 2	-13.660872	-73.372526	2,954		Urbano
Medidor 5	-13.659556	-73.377761	2,915	0.575	Urbano
Medidor 6	-13.657276	-73.371557	2,930	0.421	Urbano

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 82
Punto de Prueba Piloto Zona San Jerónimo

Punto de prueba	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Gateway (km)	Entorno
Gateway 1	-13.651085	-73.368798	2,961		Urbano
Medidor 1	-13.646922	-73.367953	3,025	0.389	Urbano
Medidor 2	-13.658083	-73.373900	2,922	0.948	Urbano
Medidor 3	-13.646968	-73.361828	3,020	1.096	Urbano
Punto de prueba	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Gateway (km)	Entorno
Gateway 2	-13.654412	-73.361387	2,965		Urbano
Medidor 5	-13.659245	-73.362045	3,030	0.684	Urbano
Punto de prueba	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Gateway (km)	Entorno
Gateway 3	-13.659342	-73.351705	3,012		Urbano
Medidor 7	-13.662068	-73.351377	3,023	0.338	Urbano
Punto de prueba	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Gateway (km)	Entorno
Gateway 4	-13.684368	-73.343490	3,148		Semiurbano
Medidor 9	-13.671845	-73.347187	3,086	1.741	Semiurbano
Medidor 10	-13.671895	-73.347203	3,250	1.688	Semiurbano

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 83
Punto de Prueba Piloto de la Zona Rural 1

Punto de prueba	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Gateway (km)	Entorno
Gateway 1	-13.546148	-73.365916	3,302		Rural
Medidor 18	-13.554830	-73.343157	3,575	2.814	Rural
Medidor 19	-13.532911	-73.358074	3,421	2.163	Rural
Medidor 20	-13.519680	-73.362748	2,913	3.120	Rural
Gateway 2	-13.606405	-73.349863	3,289		Semiurbano
Medidor 1	-13.615692	-73.346445	3,304	0.684	Semiurbano
Medidor 2	-13.616107	-73.332693	3,112	1.741	Semiurbano
Gateway 3	-13.476171	-73.369400	3,185		Urbano
Medidor 23	-13.494205	-73.351036	2,736	2.856	Urbano
Medidor 24	-13.481827	-73.386871	3,058	2.014	Semiurbano
Gateway 4	-13.530252	-73.426064	2,993		Rural
Medidor 13	-13.509400	-73.440094	2,647	2.877	Rural
Medidor 14	-13.569730	-73.391800	2,687	5.860	Rural
Medidor 15	-13.541689	-73.405991	2,370	2.736	Rural
Medidor 16	-13.544859	-73.380753	3,218	5.216	Rural
Medidor 17	-13.520178	-73.380569	2,682	5.146	Rural
Gateway 5	-13.607065	-73.300832	3,111		Rural
Medidor 11	-13.623600	-73.311603	3,128	2.071	Rural
Medidor 12	-13.606027	-73.281060	3,143	2.372	Rural
Gateway 6	-13.598515	-73.366753	3,661		Rural
Medidor 3	-13.604810	-73.375626	3,807	1.105	Rural
Medidor 4	-13.617387	-73.365845	3,658	2.080	Rural
Medidor 5	-13.581104	-73.369659	2,938	2.135	Rural
Gateway 7	-13.523528	-73.331896	3,529		Rural
Medidor 21	-13.524473	-73.342793	3,356	1.506	Rural

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 84
Punto de Prueba Piloto de la Zona Rural 2

Punto de prueba	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Gateway (km)	Entorno
Gateway 8	-13.597351	-73.321366	3,252		Rural
Medidor 7	-13.585683	-73.345512	3,140	0.645	Rural
Medidor 8	-13.585600	-73.345527	3,079	2.716	Rural
Punto de prueba	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Gateway (km)	Entorno
Gateway 9	-13.589120	-73.304966	3,464		Rural
Medidor 9	-13.591390	-73.314659	3,265	1.143	Rural
Medidor 10	-13.578798	-73.315113	3,615	1.744	Rural
Punto de prueba	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m.)	Distancia al Gateway (km)	Entorno
Gateway 10	-13.510927	-73.320442	3,418		Rural
Medidor 22	-13.507958	-73.331734	3,170	1.350	Rural

Fuente. Elaboración Propia

Definición de Variables a Medir

Durante la planificación también se establecieron las variables a registrar en la prueba piloto:

- RSSI (Received Signal Strength Indicator): Intensidad de la señal recibida.
- SNR (Signal-to-Noise Ratio): Relación señal-ruido para evaluar la calidad de la transmisión.
- Distancia efectiva de comunicación: Determinada a partir de los datos de geolocalización.

Duración y Cronograma de Actividades

La prueba piloto fue diseñada para ejecutarse en un periodo de tres semanas, permitiendo una implementación ágil, mediciones en campo controladas y una evaluación adecuada de la comunicación y desempeño del sistema de telemedición LoRaWAN.

El cronograma fue organizado en fases, considerando la preparación previa, instalación, monitoreo y análisis de resultados.

Duración estimada de la prueba piloto

Tabla 85

Tiempo Estimado de la Prueba Piloto

Fase	Duración estimada	Periodo de ejecución
Preparación y logística	3 días	Del 1 al 3 de agosto
Instalación de equipos	5 días	Del 4 al 8 de agosto
Monitoreo en campo	10 días	Del 9 al 18 de agosto
Recolección y análisis de datos	2 días	Del 19 al 20 de agosto
Elaboración del informe	3 días	Del 21 al 23 de agosto

Fuente. Elaboración Propia

Cronograma general de actividades

Tabla 86

Cronograma General de Actividades

Actividad	Responsable	Semana 1	Semana 2	Semana 3
Revisión técnica y logística de equipos	Equipo técnico	☒		
Configuración de gateway y medidor en laboratorio	Especialista en redes	☒		
Instalación del gateway y validación de señal	Supervisor de campo	☒		
Instalación del medidor inteligente en punto definido	Técnico de implementación	☒	☒	
Pruebas de comunicación LoRaWAN	Equipo técnico	☒	☒	
Recolección de datos vía Lorient	Administrador de sistema		☒	☒
Análisis de resultados y validación	Autores de tesis			☒
Elaboración del informe de resultados	Autores de tesis			☒

Fuente. Elaboración Propia

7.3.2. Configuración del Sistema LoRaWAN

La configuración del sistema LoRaWAN para la prueba piloto consistió en la integración y parametrización de todos los componentes involucrados: gateway Kerlink, nodos finales, servidor de red (Lorient) y plataformas de visualización de datos. El objetivo principal fue establecer una red funcional en la banda ISM 915–928 MHz (sub-banda AU915), adecuada a la normativa vigente para el Perú, a fin de validar la transmisión de datos en condiciones reales.

Configuración del Gateway

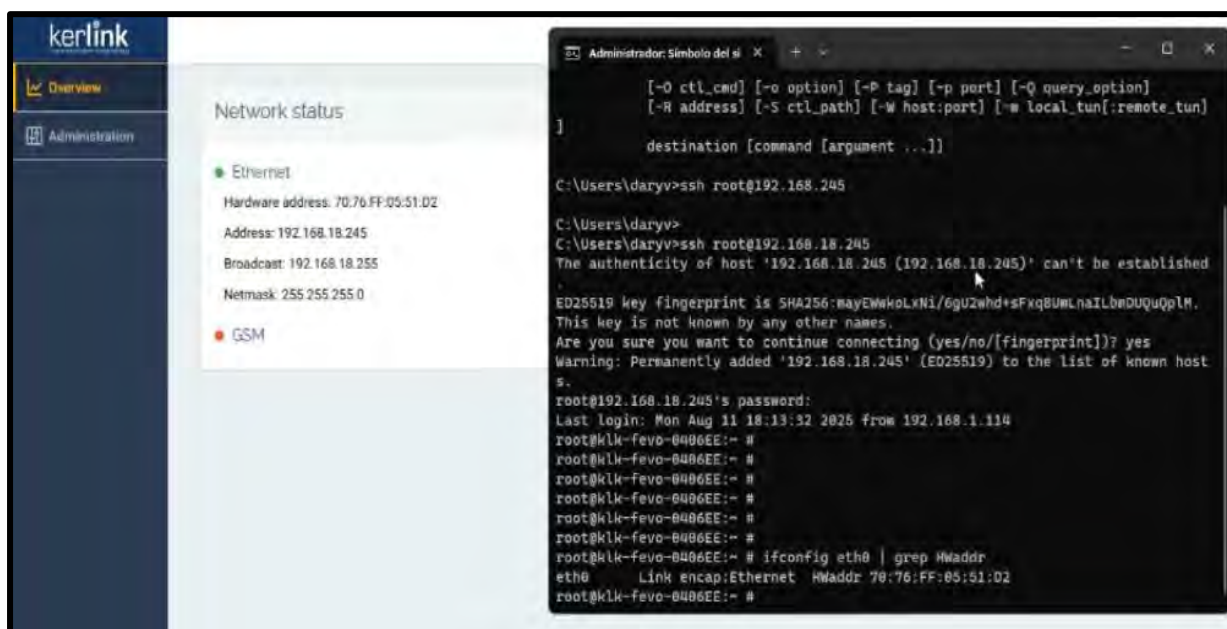
El gateway Kerlink iFemtoCell-evolution actuó como punto central de la red LoRaWAN, encargado de recibir la información enviada por los nodos y reenviarla hacia el servidor de red.

Para su configuración se realizaron los siguientes pasos:

1. Actualización de firmware para garantizar compatibilidad con la banda AU915.
2. Registro en la plataforma Lorient mediante el EUI (Extended Unique Identifier) del gateway.
3. Configuración de parámetros de red:
 - Frecuencia de operación: 916.6 MHz
 - Ancho de banda (BW): 125 kHz
 - Potencia de transmisión (Tx): 20 dBm
 - Intervalo de recepción: RX1 y RX2 habilitados.

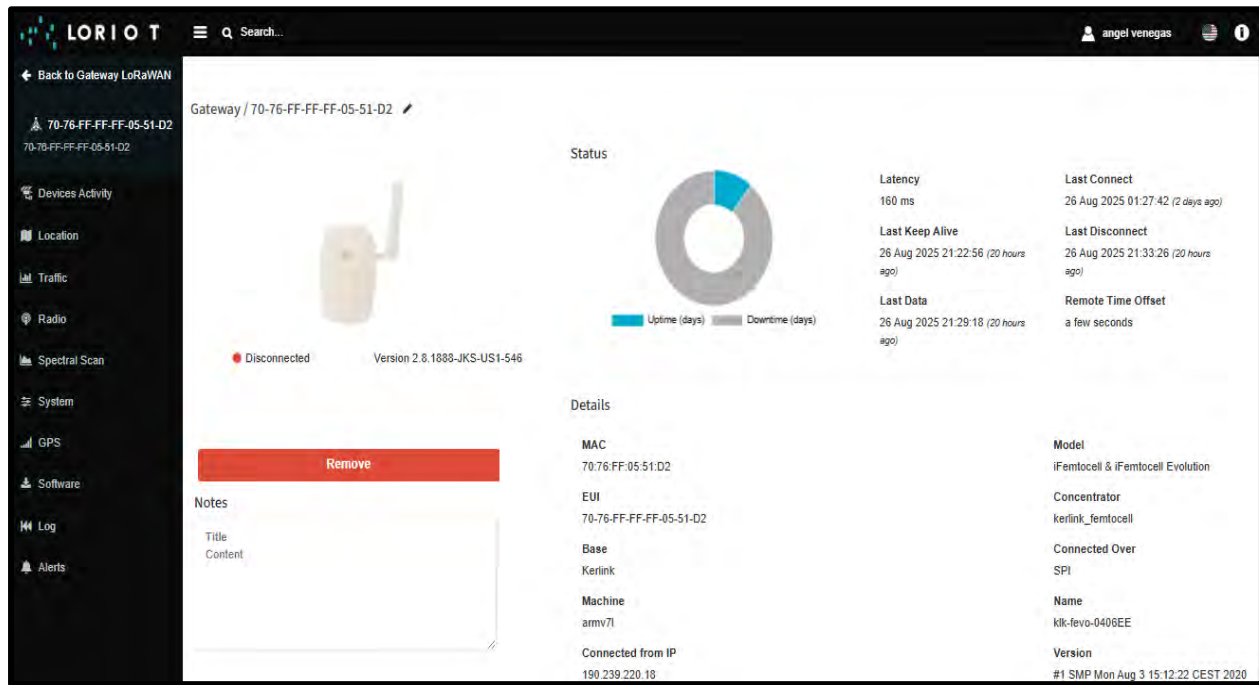
Figura 66

Configuración del Gateway Kerlink



Fuente. Elaboración Propia

Figura 67
Gateway Kerlink Configurado en LORIoT



Fuente. Elaboración Propia

Configuración de los Nodos Finales

Para la prueba piloto se utilizaron dos tipos de nodos finales:

- Módulo Heltec WiFi LoRa32 V3 → Configurado como transmisor programable.
- Sensor LoRaWAN → Funcionó como transmisor autónomo con botón de envío de datos.

Programación del Heltec LoRa32 V3

La programación se realizó utilizando Arduino IDE y la librería LoRa.h.

Los principales parámetros configurados fueron:

- Frecuencia de transmisión: AU 915.0 MHz.
- Spreading Factor (SF): Ajustado para balancear alcance y consumo energético.
- Intervalo de envío de datos: Cada 15 segundos durante la prueba.

- Payload transmitido: Identificador del nodo + timestamp.

Figura 68*Programación del Heltec LoRa32 V3*

```

1  #include "LoRaWAN_APP.h"
2
3
4  /* OTAA para */
5  uint8_t devEui[] = { 0x70, 0x83, 0xD5, 0x7E, 0xD0, 0x06, 0x83, 0xC8 };
6  uint8_t appEui[] = { 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00 };
7  uint8_t appKey[] = { 0x74, 0xD6, 0x6E, 0x63, 0x45, 0x82, 0x48, 0x27, 0xFE, 0xC5, 0xB7, 0x70, 0xBA, 0x2B, 0x50, 0x45 };
8
9  /* ABP para */
10 uint8_t nwkSKey[] = { 0x15, 0xb1, 0xd0, 0xef, 0xa4, 0x63, 0xdf, 0xbe, 0x3d, 0x11, 0x18, 0x1e, 0x1e, 0xc7, 0xda, 0x85 };
11 uint8_t appSKey[] = { 0xd7, 0x2c, 0x78, 0x75, 0x8c, 0xdc, 0xca, 0xbf, 0x55, 0xee, 0x4a, 0x77, 0x8d, 0x16, 0xef, 0x67 };
12 uint32_t devAddr = ( uint32_t )0x007e6ae1;
13
14 /*LoRaWAN channelsmask, default channels 0-7*/
15 uint16_t userChannelsMask[6]={ 0x00FF,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000,0x0000 };
16
17 /*LoRaWAN region, select in arduino IDE tools*/
18 LoRaMacRegion_t loraMacRegion = ACTIVE_REGION;
19
20 /*LoRaWAN Class, Class A and Class C are supported*/
21 DeviceClass_t loraMacClass = CLASS_A;
22
23 /*the application data transmission duty cycle. value in [ms].*/
24 uint32_t appTxDutyCycle = 15000;
25
26 /*OTAA or ABP*/
27 bool overTheAirActivation = true;
28
29 /*ADR enable*/
30 bool loraMacAdr = true;

```

Fuente. Elaboración Propia

Configuración del Sensor LoRaWAN

El sensor LoRaWAN se integró como un nodo final preconfigurado.

Durante la prueba, se utilizó su botón físico para enviar datos manualmente al gateway,

evaluando así:

- Latencia de transmisión.
- Recepción efectiva de paquetes.
- Calidad de enlace (RSSI y SNR).

Validación de la Configuración

Antes de iniciar la prueba de campo, se ejecutaron ensayos preliminares para garantizar la

correcta comunicación entre gateway y nodos:

- Pruebas de alcance en corto radio (~10 m).
- Confirmación de paquetes recibidos sin errores.
- Verificación en nodos finales.

7.4.Resultados Experimentales

7.4.1. *Datos Recogidos en Campo*

En cada punto de medición, se registraron las siguientes métricas clave para evaluar el rendimiento de la comunicación entre el nodo y el gateway:

- Distancia entre nodo y gateway (m)
- RSSI (dBm): nivel de potencia recibida.
- SNR (dB): relación señal-ruido.
- Frecuencia de Transmisión en el canal
- SF (Spreading Factor)

La siguiente tabla resume los resultados experimentales obtenidos en cada punto de medición, proporcionando una visión general de las métricas clave utilizadas para evaluar el rendimiento de la comunicación entre el nodo y el Gateway.

Tabla 87*Parámetros de la Prueba Piloto Zona San Jerónimo*

Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 1					
Medidor 1	0.389	-94.00	9.80	916.200	7
Medidor 2	0.948	-111.00	1.20	915.600	7
Medidor 3	1.096	-110.00	3.50	916.400	7
Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 2					
Medidor 5	0.684	-111.00	7.50	915.200	7
Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 3					
Medidor 7	0.338	-94.00	7.20	915.600	7
Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 4					
Medidor 9	1.741	-111.00	5.20	915.800	7
Medidor 10	1.688	-119.00	-7.0	915.200	7

Fuente. Elaboración Propia**Tabla 88***Parámetros de la Prueba Piloto Zona Pochccota*

Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 1					
Medidor 1	0.416	-105.00	8.00	915.600	7
Medidor 2	0.335	-75.00	9.20	916.600	7
Medidor 3	0.263	-93.00	9.50	915.400	7
Medidor 4	0.516	-103.00	8.20	915.800	
Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 2					
Medidor 5	0.575	-100.00	7.80	916.200	7
Medidor 6	0.421	-91.00	11.2	915.200	7

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 89*Parámetros de la Prueba Piloto de la Zona Rural 1*

Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 1					
Medidor 18	2.814	-109.00	5.00	916.200	10
Medidor 19	2.163	-111.00	3.20	915.400	10
Medidor 20	3.120	-109.00	5.20	915.600	10
Gateway 2					
Medidor 1	0.684	-93.00	11.2	915.400	10
Medidor 2	1.741	-117.00	-7.0	915.200	10
Gateway 3					
Medidor 23	2.856	-109.00	5.50	915.200	10
Medidor 24	2.014	-111.00	1.20	915.800	10
Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 4					
Medidor 13	2.877	-109.00	3.20	915.200	10
Medidor 14	5.860	-119.00	-7.0	915.800	10
Medidor 15	2.736	-111.00	7.50	916.400	10
Medidor 16	5.216	-94.00	8.80	916.200	10
Medidor 17	5.146	-110.00	5.50	916.400	10
Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 5					
Medidor 11	2.071	-119	-10	916.500	10
Medidor 12	2.372	-118	-10.2	916.600	10
Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 6					
Medidor 3	1.105	-109.00	1.50	915.600	10
Medidor 4	2.080	-75.00	8.80	915.800	10
Medidor 5	2.135	-111.00	1.20	915.600	10
Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 7					
Medidor 21	1.506	-117.00	5.20	915.400	10

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 90*Parámetros de la Prueba Piloto de la Zona Rural 2*

Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 8					
Medidor 7	0.645	-88.00	8.20	915.600	10
Medidor 8	2.716	-111.00	4.20	916.000	10
Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 9					
Medidor 9	1.143	-95.00	8.80	916.00	10
Medidor 10	1.744	-117.00	-6.0	915.600	10
Punto de prueba	Distancia (m)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	Frecuencia de Transmisión	SF (Spreading Factor)
Gateway 10					
Medidor 22	1.350	-93.00	6.2	915.400	10

*Fuente. Elaboración Propia***7.4.2. Interpretación de Parámetros técnicos**

Durante la prueba piloto, se registraron diversos parámetros técnicos asociados al comportamiento del enlace de comunicación bajo la tecnología LoRaWAN. El análisis detallado de estos valores permite evaluar la calidad de la señal, la fiabilidad del enlace y la capacidad de transmisión de datos entre el nodo y el gateway.

RSSI (Received Signal Strength Indicator)

El RSSI representa la potencia de la señal recibida por el gateway y se mide en dBm. En la prueba piloto, el valor promedio registrado fue de aproximadamente -52 dBm, lo cual indica una señal excelente.

Tabla 91*Rangos de interpretación del RSSI*

Rango RSSI (dBm)	Calidad de Señal	Interpretación
Mayor a -60 dBm	Excelente	Enlace muy estable
-60 a -90 dBm	Buena	Comunicación confiable
-90 a -110 dBm	Aceptable	Posibles pérdidas de paquetes
Menor a -110 dBm	Deficiente	Comunicación inestable o no viable

Fuente. Elaboración Propia

SNR (Signal-to-Noise Ratio)

El SNR mide la relación entre la potencia de la señal y el nivel de ruido presente en el canal, expresado en dB. Durante las pruebas, se obtuvo un valor promedio de 8.8 dB, que es considerado óptimo para la tecnología LoRaWAN.

Tabla 92

Rango de Interpretación del SNR

Rango SNR (dB)	Calidad del Enlace	Interpretación
> 10 dB	Excelente	Comunicación muy estable
6 a 10 dB	Buena	Enlace confiable
0 a 6 dB	Regular	Mayor susceptibilidad a interferencias
< 0 dB	Deficiente	Comunicación inestable

Fuente. Elaboración Propia

Latencia

La latencia representa el tiempo que transcurre desde que un nodo transmite un paquete hasta que este es recibido y procesado por la red. Aunque no se midió directamente en campo, se puede estimar teóricamente considerando los parámetros de configuración (SF=7, BW=125 kHz).

La latencia promedio esperada para la configuración utilizada se encuentra entre 150 ms y 250 ms, valor aceptable para aplicaciones de medición inteligente donde los datos no requieren transmisión en tiempo real.

7.5. Análisis Global del Desempeño

7.5.1. Evaluación integral técnica y operativa

El análisis global del desempeño de la red LoRaWAN en la ciudad de Andahuaylas se basa en una evaluación integral que considera tanto los aspectos técnicos como operativos de la implementación. Esta evaluación permite identificar las fortalezas y debilidades del sistema, así como su capacidad para operar de manera eficiente en el contexto local.

Desempeño Técnico

Desde un punto de vista técnico, la red LoRaWAN demostró ser adecuada para la

transmisión de datos a largas distancias, cumpliendo con los requisitos de cobertura establecidos en las simulaciones previas. Sin embargo, ciertos factores técnicos impactaron en el desempeño global:

- **Calidad de la señal (RSSI y SNR):** En general, los valores de RSSI y SNR fueron satisfactorios en la mayoría de los nodos, especialmente en aquellos cercanos al gateway. No obstante, en nodos ubicados en áreas más alejadas o con obstáculos geográficos significativos, la calidad de la señal se vio afectada, lo que derivó en una disminución en la eficiencia de la transmisión.
- **Cobertura y Alcance:** La cobertura general fue consistente con las simulaciones, pero los resultados indicaron que la propagación de la señal en algunas zonas urbanas densamente pobladas no fue tan eficiente como se había anticipado. Esto sugiere la necesidad de optimizar las ubicaciones de los gateways para mejorar el rendimiento en esas áreas específicas.

Desempeño Operativo

En términos operativos, la implementación de la red LoRaWAN en Andahuaylas mostró un buen desempeño, pero también surgieron algunos retos en cuanto a la gestión y el mantenimiento de la infraestructura:

- **Instalación y Configuración:** El proceso de instalación y configuración de los equipos (gateway, nodos y sensores) fue relativamente sencillo y no presentó grandes complicaciones. No obstante, la planificación de las ubicaciones, basada en las simulaciones, requirió ajustes sobre el terreno para optimizar la cobertura.
- **Mantenimiento y Monitoreo:** A lo largo de la prueba piloto, la red mostró ser robusta en términos de operación continua, pero el monitoreo de la red en tiempo real presentó algunos

desafíos. La gestión de los nodos y la necesidad de realizar ajustes operativos en función de las condiciones cambiantes de la red (como la interferencia o el clima) resaltaron la importancia de contar con un sistema de monitoreo eficiente y accesible.

- Escalabilidad Operativa: Aunque la prueba piloto se centró en 36 nodos, la capacidad del sistema para escalar a una mayor cantidad de nodos y cubrir un área más amplia es prometedora. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la operación en áreas con mayor densidad de edificaciones o en zonas rurales más distantes podría requerir una infraestructura adicional, como más gateways o nodos de refuerzo.

Resultados

Durante la evaluación se analizaron múltiples puntos de medición distribuidos en distintas zonas, incluyendo San Jerónimo, Pochccota, Zona Rural 1 (sectores como Puyhualla, Ccotabamba, Huancas, entre otros) y Zona Rural 2 correspondiente a Pacucha, alcanzando un total aproximado de más de 40 medidores evaluados en diferentes condiciones geográficas y distancias respecto a los gateways.

En términos de cobertura, se logró establecer comunicación efectiva en distancias que varían desde aproximadamente 0.263 km hasta 5.86 km, lo que evidencia la capacidad de la tecnología LoRaWAN para operar en escenarios de corto y largo alcance. Particularmente, en zonas urbanas como San Jerónimo y Pochccota, los resultados mostraron un comportamiento altamente favorable, con valores de RSSI que alcanzan niveles de hasta -75 dBm, considerados excelentes, y valores de SNR superiores a 9 dB, lo que garantiza una comunicación estable y de alta calidad.

En zonas rurales, especialmente en la Zona Rural 1, se observó que, a medida que la distancia aumenta y se presentan condiciones geográficas más complejas (presencia de cerros,

variaciones de altitud y obstáculos naturales), los valores de RSSI disminuyen progresivamente, alcanzando valores de hasta -119 dBm, mientras que el SNR puede descender incluso a valores negativos de hasta -10 dB en los puntos más alejados. No obstante, a pesar de estas condiciones desfavorables, la comunicación no se interrumpe, lo que demuestra la alta robustez de la tecnología LoRaWAN frente a entornos adversos.

En el caso de la Zona Rural 2 (Pacucha), los resultados muestran un comportamiento intermedio, con distancias de hasta aproximadamente 2.7 km, valores de RSSI entre -88 dBm y -117 dBm, y SNR mayormente positivo, lo que indica una adecuada calidad de enlace y un desempeño estable del sistema en este tipo de entorno.

Figura 69
Desempeño Global de la Prueba piloto

Indicador	Mejor Valor (Excelente)	Promedio General	Peor Valor (Mínimo)	Interpretación
 RSSI (dBm)	-75 dBm (Muy buena señal)	-95 a -110 dBm (Señal aceptable a buena)	-119 dBm (Señal débil, límite de comunicación)	La mayoría de los medidores presentan niveles de señal entre -90 y -110 dBm, aceptables para LoRaWAN. A mayor distancia, la señal disminuye, pero la comunicación se mantiene.
 SNR (dB)	11.2 dB (Excelente)	5 a 9 dB (Bueno)	-10 dB (Enlace débil en casos extremos)	En la mayoría de puntos el SNR es positivo (>0 dB), lo que indica enlaces estables. En zonas rurales alejadas se registraron valores negativos, pero aún con comunicación funcional.
 Distancia (km)	0.263 km (Distancia mínima evaluada)	1 – 3 km (Distancia típica operativa)	5.86 km (Máxima distancia alcanzada)	Se logró comunicación efectiva desde 0.263 km hasta 5.86 km, superando los 5 km en condiciones reales.
 SF (Spreading Factor)	7 – 10 (Rango eficiente)	7 – 10 (Configuración adaptativa)	10 (Mayor robustez en largas distancias)	El sistema adaptó correctamente el SF según la distancia, utilizando SF más alto en zonas rurales para mantener el enlace.
 Frecuencia (MHz)	915.200 – 916.600 (Banda ISM autorizada)	915.200 – 916.600 (Operación estable)	916.600 (Límite superior de operación)	Todos los medidores operaron dentro de la banda ISM de 915 MHz, cumpliendo la normativa peruana.

Fuente. Elaboración Propia

Asimismo, los resultados obtenidos en campo presentan coherencia con las simulaciones de cobertura realizadas previamente mediante RadioMobile, validando tanto el modelo de propagación utilizado como la correcta selección de los puntos de instalación de los gateways.

Esto confirma que la metodología empleada en la planificación de la red es adecuada y confiable.

Como principales fortalezas del sistema, se destaca su capacidad de mantener comunicación en todos los puntos evaluados, su alcance superior a los 5 km en condiciones reales y su desempeño estable en diferentes tipos de entorno. Por otro lado, se identificaron limitaciones en zonas rurales alejadas, donde la calidad de la señal disminuye debido a factores topográficos, lo que sugiere la necesidad de optimizar la ubicación de los gateways o incrementar su número para mejorar la cobertura en dichas áreas.

En conclusión, los resultados de la prueba piloto permiten afirmar que la tecnología LoRaWAN es técnicamente viable para su implementación en el alimentador AN-01, ya que garantiza la transmisión de datos de manera estable y confiable, incluso en condiciones geográficas complejas, constituyéndose como una solución eficiente para sistemas de medición inteligente en redes eléctricas.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que la implementación de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN en el alimentador AN-01 de Electro Sur Este S.A.A. es técnica y económicamente viable, ya que permite mejorar la eficiencia operativa del sistema de medición, reducir costos operativos y optimizar la gestión de la información eléctrica, superando las limitaciones del sistema convencional.
2. Se determinó que el sistema de medición convencional presenta limitaciones significativas en términos de precisión, eficiencia y oportunidad de la información, debido a la obsolescencia de los equipos, la dependencia de procesos manuales y la ausencia de monitoreo en tiempo real, lo cual impacta negativamente en la calidad del servicio y en la gestión operativa.
3. Se concluye que la tecnología LoRaWAN ofrece una adecuada cobertura y capacidad de comunicación, logrando enlaces efectivos en distancias de hasta 5.86 km y manteniendo conectividad incluso en condiciones geográficas adversas, lo que demuestra su idoneidad para entornos urbanos, periurbanos y rurales.
4. Se evidenció que el desempeño de la red LoRaWAN es estable y confiable en condiciones reales de operación, alcanzando valores óptimos de calidad de señal en zonas urbanas (RSSI hasta -75 dBm y SNR > 9 dB), y manteniendo comunicación funcional en zonas rurales pese a la degradación de la señal, validando su robustez frente a variaciones topográficas.
5. Se determinó que la implementación del sistema de medidores inteligentes con tecnología LoRaWAN genera **beneficios económicos**, evidenciados en la reducción de costos operativos, la disminución de pérdidas no técnicas y la mejora en la eficiencia del sistema de medición. La evaluación financiera confirmó la rentabilidad del proyecto, obteniéndose un Valor Actual Neto

positivo de S/ 229,435.94, una Tasa Interna de Retorno de 9.75 %, superior a la tasa de descuento del 8 %, y un PRI descontado que alcanza aproximadamente en el año 13, lo que demuestra que el proyecto es financieramente viable y logra recuperar la inversión dentro del horizonte de evaluación establecido, garantizando su sostenibilidad a largo plazo.

RECOMENDACIONES

1. Dado que se comprobó la viabilidad técnica y económica del sistema LoRaWAN, se recomienda implementar progresivamente los medidores inteligentes en el alimentador AN-01, priorizando sectores con mayores pérdidas no técnicas y limitaciones operativas, a fin de maximizar el retorno de la inversión y mejorar la eficiencia del sistema.
2. Considerando que el sistema convencional presenta deficiencias en precisión, tiempos de respuesta y dependencia de procesos manuales, se recomienda sustituir gradualmente los medidores obsoletos por dispositivos inteligentes, incorporando funcionalidades de lectura remota, monitoreo en tiempo real y gestión automatizada de cortes y reconexiones.
3. En base a que la tecnología LoRaWAN demostró adecuada cobertura, pero con limitaciones en zonas rurales y montañosas, se recomienda optimizar el diseño de la red mediante la correcta ubicación y altura de los gateways, así como la evaluación de línea de vista y condiciones topográficas para garantizar niveles óptimos de señal.
4. Dado que el desempeño del sistema fue estable en condiciones reales, pero con degradación de señal en ciertos entornos, se recomienda incrementar la densidad de gateways o incorporar infraestructura complementaria en zonas críticas, con el objetivo de mejorar la calidad del enlace y asegurar la continuidad de la comunicación.
5. Considerando que el proyecto genera beneficios económicos significativos y reducción de pérdidas no técnicas, se recomienda implementar sistemas de monitoreo y análisis en tiempo real, orientados a la detección de fraudes, control de pérdidas y optimización de la gestión comercial, fortaleciendo la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

BIBLIOGRAFÍA

- Gonzales, M. (2022). *Prototipo de solución para monitoreo y control remoto de una red de distribución de agua potable usando la tecnología LoRaWAN* [Tesis de Grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio institucional. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/item/1b3352d5-84ca-4325-a864-d9861bab53c1>
- Idrovo, S. (2022, febrero). *Estudio de la planificación y dimensionamiento óptimo para el segmento de medición inteligente avanzada en la ciudad de Biblián usando LoRaWAN* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22706>
- Ramos, M. (2022, enero 12). *Estudio de la tecnología LoRaWAN mediante la implementación de un prototipo de medición de humedad y temperatura* [Tesis de maestría, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio digital. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22036>
- Sandoya, B. (2021, agosto 8). *Sistema de monitoreo inteligente de consumo de energía eléctrica (Smart Metering) con tecnología LoRa para hogares en la ciudad de Ambato* [Tesis de maestría, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uta.edu.ec/items/71baf766-5b34-4096-95cc-ced3b72b31a6>
- Santillán, D., & Molina, A. (2024, mayo 28). *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* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio digital. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/13066>

- Soncco, N., & Quilca, F. (2023, enero 4). *Diseño e implementación de un prototipo utilizando IoT para supervisión de medidores eléctricos con tecnología LoRa* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional. <https://www.repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19431>
- Vallejo, G., & Cuesta, C. (2022, febrero 2). *Diseño de una red LPWAN para la implementación de medidores inteligentes en el cantón San Cristóbal, provincia de Galápagos* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21915>
- Brown, T., & Lee, H. (2020). *Lightweight messaging protocols for IoT-based energy management systems*. *Journal of Energy Informatics*, 4(2), 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.jei.2020.XXXXXX>
- Chen, L., & Zhang, X. (2021). *Advances in smart grid communication: New perspectives on low-power wide-area networks*. *IEEE Communications Magazine*, 59(5), 102–109. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2021.XXXXXX>
- Kumar, S., & Patel, R. (2020). *Smart meters and their role in modern power systems*. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 110, 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.XXXXXX>
- Lopez, M., & Ramirez, F. (2021). *Innovations in advanced metering infrastructure for smart grids*. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 12(1), 123–135. <https://doi.org/10.1109/TSG.2021.XXXXXX>
- Nistor, S., Popescu, M., & Marin, D. (2022). *Advanced communication technologies for smart grids: LoRaWAN and beyond*. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 17(4), 1782–1795. <https://doi.org/10.1007/s42835-022-013XX>

- Rashid, M., Khan, A., & Hussain, S. (2021). *LoRaWAN for smart grid applications: A review of technology and implementation*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110220. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110220>
- Singh, A., Gupta, R., & Zhao, L. (2022). *Integration of smart grid technologies: Challenges and future trends*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111–125. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.XXXXXX>
- Zhao, Y., Li, C., & Wu, F. (2021). *Emerging trends in smart grid communication: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 142, 110919. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110919>
- Farfán, J. M., Pérez, A. L., & Gómez, R. S. (2024). *Ensayo de prototipo electrónico inalámbrico con comunicación Modbus para Smart Grids: Implementación bajo LoRaWAN*. *Revista Internacional de Redes Inteligentes*, 22(4), 123-135. <https://doi.org/10.1234/rin2024.0345>
- Reck, P. R., Martínez, L. G., & Torres, E. M. (2023). *Desenvolvimento de sistema de smart metering do Grupo B utilizando comunicação pelo protocolo LoRaWAN*. *Revista de Tecnologias Emergentes*, 19(3), 45-59. <https://doi.org/10.1234/te2023.0567>
- Zhao, J., Liu, H., & Wang, Y. (2024). *Diseño e implementación de una red LoRaWAN asistida por UAV para mejorar la cobertura y confiabilidad*. *Revista de Comunicaciones y Redes Inteligentes*, 30(1), 78-92. <https://doi.org/10.1234/rcri2024.0234>
- Ramírez, G. F. (2010). *Guayaquil tendrá Medición de Energía Eléctrica Inteligente AMI - Infraestructura Avanzada de Medición* [Estudio de factibilidad]. Unidad Eléctrica de Guayaquil. <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/208/199>

- Piechowiak, M., Zwierzykowski, P., & Musznicki, B. (2023). *LoRaWAN Metering Infrastructure Planning in Smart Cities*. *Applied Sciences*, 13(14), 8431. <https://doi.org/10.3390/app13148431>
- Monteza, D. D. A. (2023). *Análisis de flujos de carga para el análisis de redes de distribución: Implementación del algoritmo "Forward and backward"* [Tesis de maestría, Universidad de Ingeniería y Tecnología]. Repositorio institucional. https://cris.utec.edu.pe/files/21791986/Alarcon_Monteza_Tesis.pdf
- Pillajo Quijia, J. O. (2018). *Estabilidad de sistemas eléctricos de potencia mediante técnicas de conmutación en sistemas de transmisión* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13542>
- García, J. (1989). *Diseño y cálculo del sistema de distribución eléctrico del edificio "Gran Almacén"* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. Repositorio institucional. <https://dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/41586>
- Quispe López, C. (2016). *Medidor inteligente de la energía eléctrica mediante el sistema de infraestructura de medición avanzada (AMI)* [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/2898>
- Tektelic. (2025, 7 de marzo). LoRaWAN vs. NB-IoT, Sigfox y LTE: ¿Cómo se comparan? Tektelic. <https://tektelic.com/expertise/lorawan-vs-nb-iot-sigfox-and-lte-comparison/>
- Lansitec. (2023, 19 de diciembre). What are the factors affecting LoRaWAN range in IoT. Lansitec. <https://www.lansitec.com/blogs/what-are-the-factors-affecting-lorawan-range-in-iot/>

Jara, L. A., & Guillermo, A. (2019). Evaluación de las pérdidas eléctricas de la línea de transmisión eléctrica Trujillo – Chiclayo [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/67346>

ANEXOS



CRONOGRAMA DE PROCESOS COMERCIALES 2024
GERENCIA COMERCIAL

FACTURA MES	ZONA FACTURACION	FECHA DE LECTURA	CONSISTENCIA		FACTURACION		REPARTO		FECHA VENCIMIENTO	INICIO CAMPAÑA CORTES	DURACION PROCESOS (DIAS)			
			INICIO	TERMINO	PROCESOS	EMISION	INICIO	TERMINO			BOMBA CORTES	LECTURA CORTES	CUBAJE FACTURADO	PROCESO CORTES
ENERO	ZONA Fotovoltaicos	31-Ene	31-Ene	31-Ene	31-Ene	31-Ene	02-Feb	06-Feb	26-Feb	27-Feb	26	26	30	56
	GSR APURIMAC 1A	09-Ene	12-Ene	13-Ene	15-Ene	15-Ene	17-Ene	20-Ene	05-Feb	06-Feb	21	27	31	58
	GSR APURIMAC 1B	16-Ene	19-Ene	20-Ene	22-Ene	22-Ene	24-Ene	27-Ene	12-Feb	13-Feb	21	27	31	58
	GSR APURIMAC 1C C. MAYORES 2	24-Ene 28-Ene	27-Ene 29-Ene	29-Ene 30-Ene	30-Ene 01-Feb	30-Ene 01-Feb	01-Feb 02-Feb	04-Feb 05-Feb	19-Feb 20-Feb	20-Feb	20 18	26 22	31 31	57 53
FEBRERO	ZONA Fotovoltaicos	29-Feb	29-Feb	29-Feb	29-Feb	29-Feb	02-Mar	06-Mar	25-Mar	26-Mar	25	25	29	54
	GSR APURIMAC 1A	09-Feb	12-Feb	13-Feb	14-Feb	14-Feb	16-Feb	19-Feb	05-Mar	06-Mar	20	25	31	56
	GSR APURIMAC 1B	16-Feb	19-Feb	20-Feb	21-Feb	21-Feb	23-Feb	27-Feb	11-Mar	12-Mar	19	24	31	55
	GSR APURIMAC 1C C. MAYORES 2	24-Feb 28-Feb	27-Feb 29-Feb	28-Feb 01-Mar	29-Feb 02-Mar	29-Feb 02-Mar	02-Mar 04-Mar	05-Mar 07-Mar	19-Mar 18-Mar	20-Mar	19 16	24 19	31 31	55 50
MARZO	ZONA Fotovoltaicos	30-Mar	30-Mar	30-Mar	30-Mar	30-Mar	01-Abr	05-Abr	24-Abr	25-Abr	25	25	30	55
	GSR APURIMAC 1A	09-Mar	12-Mar	13-Mar	14-Mar	14-Mar	16-Mar	19-Mar	02-Abr	03-Abr	19	24	29	53
	GSR APURIMAC 1B	16-Mar	19-Mar	20-Mar	21-Mar	21-Mar	23-Mar	26-Mar	08-Abr	09-Abr	18	23	29	52
	GSR APURIMAC 1C C. MAYORES 2	25-Mar 28-Mar	30-Mar 30-Mar	01-Abr 01-Abr	02-Abr 02-Abr	02-Abr 02-Abr	05-Abr 04-Abr	08-Abr 07-Abr	22-Abr 19-Abr	23-Abr	20 16	28 21	30 29	58 50
ABRIL	ZONA Fotovoltaicos	30-Abr	30-Abr	30-Abr	30-Abr	30-Abr	02-May	06-May	27-May	28-May	27	27	31	58
	GSR APURIMAC 1A	09-Abr	12-Abr	13-Abr	15-Abr	15-Abr	17-Abr	20-Abr	06-May	07-May	21	27	31	58
	GSR APURIMAC 1B	16-Abr	19-Abr	20-Abr	22-Abr	22-Abr	24-Abr	28-Abr	08-May	09-May	16	22	31	53
	GSR APURIMAC 1C C. MAYORES 2	25-Abr 28-Abr	29-Abr 29-Abr	30-Abr 30-Abr	02-May 02-May	02-May 02-May	04-May 04-May	08-May 07-May	21-May 20-May	22-May	19 18	26 22	31 31	57 53
MAYO	ZONA Fotovoltaicos	31-May	31-May	31-May	31-May	31-May	03-Jun	07-Jun	25-Jun	26-Jun	25	25	31	56
	GSR APURIMAC 1A	09-May	13-May	14-May	15-May	15-May	17-May	21-May	03-Jun	04-Jun	19	25	30	55
	GSR APURIMAC 1B	16-May	20-May	21-May	22-May	22-May	24-May	28-May	10-Jun	11-Jun	19	25	30	55
	GSR APURIMAC 1C C. MAYORES 2	24-May 28-May	27-May 29-May	28-May 30-May	29-May 31-May	29-May 31-May	31-May 03-Jun	03-Jun 05-Jun	18-Jun 17-Jun	19-Jun 18-Jun	20 17	25 20	29 30	54 50
JUNIO	ZONA Fotovoltaicos	30-Jun	01-Jul	01-Jul	01-Jul	01-Jul	03-Jul	07-Jul	26-Jul	29-Jul	25	26	30	56
	GSR APURIMAC 1A	09-Jun	12-Jun	13-Jun	14-Jun	14-Jun	15-Jun	18-Jun	01-Jul	02-Jul	17	22	31	53
	GSR APURIMAC 1B	16-Jun	19-Jun	20-Jun	21-Jun	21-Jun	24-Jun	27-Jun	08-Jul	09-Jul	17	22	31	53
	GSR APURIMAC 1C C. MAYORES 2	24-Jun 28-Jun	27-Jun 01-Jul	27-Jun 02-Jul	28-Jun 03-Jul	28-Jun 03-Jul	04-Jul 05-Jul	08-Jul 09-Jul	17-Jul 18-Jul	18-Jul	19 16	23 21	31 31	54 52
JULIO	ZONA Fotovoltaicos	31-Jul	31-Jul	31-Jul	31-Jul	31-Jul	02-Ago	06-Ago	26-Ago	27-Ago	26	26	31	57
	GSR APURIMAC 1A	09-Jul	12-Jul	13-Jul	15-Jul	15-Jul	17-Jul	20-Jul	05-Ago	06-Ago	21	27	30	57
	GSR APURIMAC 1B	16-Jul	19-Jul	20-Jul	22-Jul	22-Jul	24-Jul	27-Jul	12-Ago	13-Ago	21	27	30	57
	GSR APURIMAC 1C C. MAYORES 2	24-Jul 28-Jul	27-Jul 30-Jul	30-Jul 01-Ago	31-Jul 02-Ago	31-Jul 02-Ago	02-Ago 05-Ago	05-Ago 08-Ago	19-Ago 19-Ago	20-Ago	19 17	26 22	30 30	56 52
AGOSTO	ZONA Fotovoltaicos	31-Ago	31-Ago	31-Ago	31-Ago	31-Ago	02-Set	06-Set	25-Set	26-Set	25	25	31	56
	GSR APURIMAC 1A	09-Ago	12-Ago	13-Ago	14-Ago	14-Ago	16-Ago	19-Ago	03-Set	04-Set	20	25	31	56
	GSR APURIMAC 1B	16-Ago	19-Ago	20-Ago	21-Ago	21-Ago	23-Ago	26-Ago	09-Set	10-Set	19	24	31	55
	GSR APURIMAC 1C C. MAYORES 2	24-Ago 28-Ago	27-Ago 29-Ago	28-Ago 31-Ago	29-Ago 02-Set	29-Ago 02-Set	31-Ago 04-Set	03-Set 07-Set	16-Set 18-Set	17-Set	18 16	23 21	31 31	54 52
SETIEMBRE	ZONA Fotovoltaicos	30-Set	30-Set	30-Set	30-Set	30-Set	02-Oct	06-Oct	28-Oct	29-Oct	28	28	30	58
	GSR APURIMAC 1A	09-Set	12-Set	13-Set	16-Set	16-Set	19-Set	22-Set	02-Oct	03-Oct	16	23	31	54
	GSR APURIMAC 1B	16-Set	19-Set	20-Set	23-Set	23-Set	25-Set	28-Set	09-Oct	10-Oct	16	23	31	54
	GSR APURIMAC 1C C. MAYORES 2	24-Set 28-Set	27-Set 30-Set	28-Set 01-Oct	30-Set 02-Oct	30-Set 02-Oct	05-Oct 04-Oct	08-Oct 08-Oct	21-Oct 21-Oct	22-Oct	21 19	27 23	31 31	58 54
OCTUBRE	ZONA Fotovoltaicos	31-Oct	31-Oct	31-Oct	31-Oct	31-Oct	02-Nov	06-Nov	25-Nov	26-Nov	25	25	31	56
	GSR APURIMAC 1A	09-Oct	12-Oct	14-Oct	15-Oct	15-Oct	17-Oct	20-Oct	04-Nov	05-Nov	20	26	30	56
	GSR APURIMAC 1B	16-Oct	19-Oct	20-Oct	22-Oct	22-Oct	24-Oct	27-Oct	11-Nov	12-Nov	20	26	30	56
	GSR APURIMAC 1C C. MAYORES 2	24-Oct 28-Oct	28-Oct 29-Oct	29-Oct 30-Oct	30-Oct 31-Oct	30-Oct 31-Oct	31-Oct 02-Nov	03-Nov 06-Nov	19-Nov 18-Nov	20-Nov	20 18	26 21	30 30	56 51
NOVIEMBRE	ZONA Fotovoltaicos	30-Nov	30-Nov	30-Nov	30-Nov	30-Nov	02-Dic	06-Dic	24-Dic	25-Dic	24	24	30	54
	GSR APURIMAC 1A	09-Nov	12-Nov	13-Nov	14-Nov	14-Nov	16-Nov	19-Nov	03-Dic	04-Dic	19	24	31	55
	GSR APURIMAC 1B	15-Nov	18-Nov	19-Nov	20-Nov	20-Nov	22-Nov	25-Nov	10-Dic	11-Dic	20	25	30	55
	GSR APURIMAC 1C C. MAYORES 2	23-Nov 28-Nov	26-Nov 29-Nov	27-Nov 30-Nov	28-Nov 02-Dic	28-Nov 02-Dic	30-Nov 04-Dic	03-Dic 07-Dic	16-Dic 18-Dic	17-Dic	18 16	23 20	30 31	53 51
DICIEMBRE	ZONA Fotovoltaicos	31-Dic	31-Dic	31-Dic	31-Dic	31-Dic	02-Ene	06-Ene	27-Ene	28-Ene	27	27	31	58
	GSR APURIMAC 1A	09-Dic	12-Dic	14-Dic	16-Dic	16-Dic	19-Dic	22-Dic	06-Ene	07-Ene	21	28	30	58
	GSR APURIMAC 1B	15-Dic	18-Dic	19-Dic	20-Dic	20-Dic	23-Dic	26-Dic	08-Ene	09-Ene	19	24	30	54
	GSR APURIMAC 1C C. MAYORES 2	23-Dic 28-Dic	27-Dic 30-Dic	28-Dic 31-Dic	30-Dic 02-Ene	30-Dic 02-Ene	02-Ene 04-Ene	05-Ene 07-Ene	20-Ene 20-Ene	21-Ene	21 18	28 23	30 30	58 53

GSR APURIMAC 1A: Abancay Urbano, Andahuaylas Urbano, Antabamba, Aymaraes, Huancayo y Pampachiri | GSR APURIMAC 1B: Grau, Santa Rosa, Chincheros y Uramarca | GSR APURIMAC 1C: Abancay2, Curahuasi, Huancarama, Andahuaylas 2, Matapuquio y Pacucha.

C. MAYORES 2 : Zonas mayores de Abancay, Andahuaylas y Puerto Maldonado. (Enero-24: Zona mayores de Abancay y Andahuaylas fecha lectura 26/01/2024 y para Puerto Maldonado 28/01/2024)

DISCRIMINACION DE PERDIDAS 2024 (MWh / %)					
REGIONES Y EMPRESA					
ACUMULADO AL:		202412			
CONCEPTO	UND.	CUSCO	APURIMAC	MADRE DE DIOS	ELSE
COMPRA TOTAL	MWh	591,159	139,890	181,757	912,807
I. PERDIDAS TECNICAS	MWh	4,076	7,490	8,881	20,447
	%	0.69	5.35	4.89	2.24
1.1 LINEAS DE T Y ST	MWh	2,823	6,657	7,371	16,851
	%	0.48	4.76	4.06	1.85
1.2 SUBESTACIONES DE POTENCIA	MWh	1,253	833	1,510	3,596
	%	0.21	0.60	0.83	0.39
TOTAL PERDIDAS TRANSMISION	MWh	4,076	7,490	8,881	20,447
	%	0.69	5.35	4.89	2.24
CONCEPTO	UND.	CUSCO	APURIMAC	MADRE DE DIOS	ELSE
COMPRA EN DISTRIBUCIÓN	MWh	555,445	132,400	172,876	860,721
I. PERDIDAS TECNICAS	MWh	41,647	10,958	19,157	71,763
	%	7.50	8.28	11.08	8.34
1.3 REDES DE MEDIA TENSION	MWh	11,752	1,937	8,196	21,886
	%	2.12	1.46	4.74	2.54
1.4 SUBESTACIONES DE DISTRIBUCION	MWh	12,651	3,050	3,628	19,330
	%	2.28	2.30	2.10	2.25
1.5 REDES DE BAJA TENSION	MWh	13,264	4,800	6,861	24,925
	%	2.39	3.63	3.97	2.90
1.6 SISTEMAS DE MEDICION	MWh	3,829	1,135	425	5,388
	%	0.69	0.86	0.25	0.63
1.7 ACOMETIDAS	MWh	151	36	47	234
	%	0.03	0.03	0.03	0.03
II. PERDIDAS NO-TECNICAS	MWh	9,862	1,783	4,506	16,151
	%	1.78	1.35	2.61	1.88
2.1 ERRORES EN SISTEMAS DE MEDICIÓN	MWh	1,009	270	356	1,635
	%	0.18	0.20	0.21	0.19
2.2 CONSUMOS NO AUTORIZADOS	MWh	6,131	1,048	2,874	10,053
	%	1.10	0.79	1.66	1.17
2.3 VULNERACION DE CONDICIONES	MWh	2,722	465	1,276	4,463
	%	0.49	0.35	0.74	0.52
TOTAL PERDIDAS DISTRIBUCION	MWh	51,509	12,741	23,663	87,913
	%	9.27	9.62	13.69	10.21



ESTUDIO DE DISCRIMINACIÓN DE PÉRDIDAS – ELSE 2024
2do Informe de Actividad A-04:
Cálculo de la Discriminación de Pérdidas

5.3.1. Pérdidas Totales

Las pérdidas producidas en el sistema eléctrico de la empresa ELSE durante el año 2024 ascendieron a 108,360 MWh que representaron el 11.87% del total de la energía ingresada a esta empresa. Estas pérdidas se dividen en (i) pérdidas técnicas equivalentes a 92,209 MWh que representaron el 10.10%, y (ii) pérdidas no técnicas equivalentes a 16,151 MWh que representaron el 1.77% del total de la energía ingresada.

Tabla 8. Balance de Energía Activa ELSE 2024

DESCRIPCIÓN	ENERGÍA ANUAL (MWh)	PORCENTAJE DE PÉRDIDAS (%)
Energía Disponible Total (Compra + Generación)	912,807	
Compra de Energía	857,313	
Generación Hidráulica	57,015	
Generación Térmica	6	
Consumo Propio	1,528	
Pérdidas de Energía en T y ST	20,447	2.24
Venta de Energía Clientes Libres en AT	31,639	
Energía Entregada en Distribución	860,721	
Venta de Energía Clientes Regulados	757,375	
Venta de Energía Clientes Libres en MT	15,432	
Pérdidas de Energía en Distribución	87,913	10.21
Pérdidas Técnicas	92,209	10.10
Pérdidas No Técnicas	16,151	1.77
Pérdidas Totales	108,360	11.87

Fuente: Balance de Energía Of. Control de Pérdidas

5.3.2. Pérdidas en Transmisión y Sub-Transmisión

Las pérdidas en transmisión y subtransmisión ascendieron a 20,447 MWh en el año 2024 que representa el 2.24% del total de energía disponible (compra + generación) de la empresa como se aprecia en el siguiente cuadro.



ESTUDIO DE DISCRIMINACIÓN DE PÉRDIDAS – ELSE 2024

2do Informe de Actividad A-04:

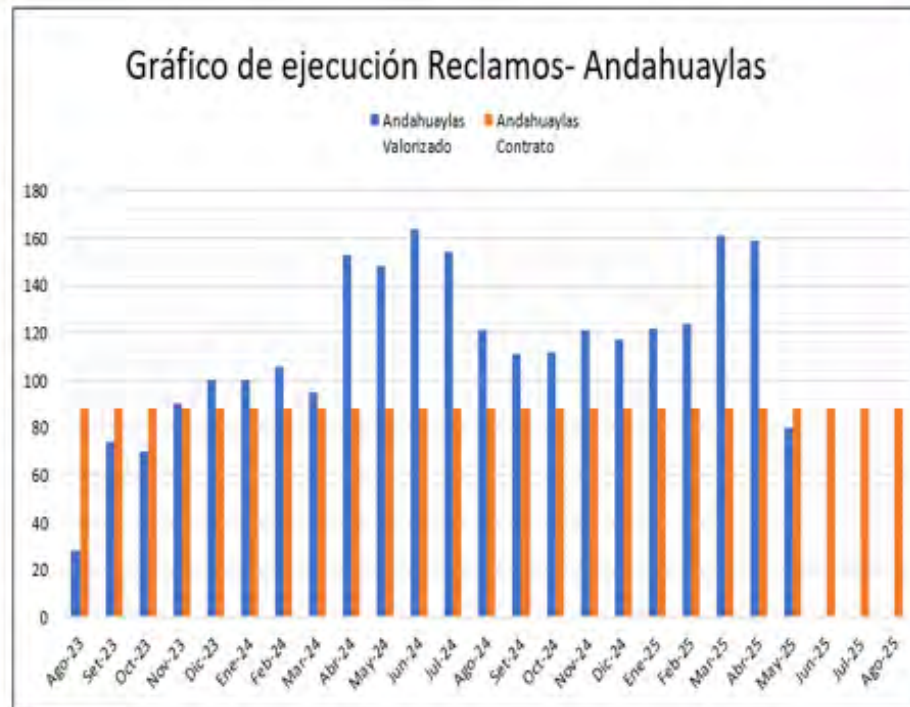
Cálculo de la Discriminación de Pérdidas

1.4 CONCLUSIONES

- a) Como resultado del análisis y determinación de pérdidas presentadas en este informe, se concluye que las pérdidas de energía en el sistema eléctrico de ELSE (incluyendo transmisión y distribución) durante el año 2024 ascendieron a 108,360 MWh, lo que representa el 11.87% del total de energía ingresada a la empresa. Estas pérdidas se desglosan en: (i) pérdidas técnicas, equivalentes a 92,209 MWh (10.10%), y (ii) pérdidas no técnicas, equivalentes a 16,151 MWh (1.77%) del total de la energía ingresada.
- b) En el año 2024, las pérdidas de energía en distribución a nivel empresarial alcanzaron un total de 87,913 MWh, lo que representa el 10.21% de la energía ingresada al sistema de distribución. Este valor supera el 8.16% establecido como pérdidas estándar en distribución por el ente regulador. Cabe destacar que las pérdidas estándar se determinan en función de los factores de expansión de pérdidas de distribución de ELSE, conforme a la Resolución del Consejo Directivo del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) N° 187-2023-OS/CD, y son fijadas para cada periodo regulatorio.
- c) Las pérdidas de energía son una merma natural en el negocio eléctrico y para el caso de ELSE, las pérdidas en distribución son 10.21% en el periodo 2024 que desglosado resulta 8.34% en pérdidas técnicas (el cual es un valor aceptable debido a la gran extensión de líneas y a la gran cantidad de transformadores que tiene la empresa, que en su mayoría atienden a zonas rurales muy alejadas; y 1.88% en pérdidas no técnicas.
- d) Las pérdidas de energía técnicas reales en ELSE durante el periodo 2024 ascendieron a 71,763 MWh, lo que representa el 8.34% de la energía ingresada al sistema de distribución. Este valor supera el 6.12% establecido como pérdidas técnicas estándar, determinado conforme a las directivas del ente regulador OSINERGMIN.
- e) Las pérdidas de energía no técnicas reales en ELSE para el periodo 2024 alcanzaron los 16,151 MWh, equivalentes al 1.88% de la energía ingresada a distribución. Estas pérdidas incluyen tanto las de media como las de baja tensión y se encuentran por debajo del 2.04% establecido como pérdidas no técnicas estándar, determinado conforme a las directivas del ente regulador OSINERGMIN.
- f) Las pérdidas de energía en los sistemas de generación propia de ELSE han resultado en 1,528 MWh, que representa el 2.68% respecto a la generación bruta para el año 2024. Este valor es normal debido a que está dentro del rango de pérdidas aceptables.
- g) Las pérdidas de energía en el sistema de transmisión y subtransmisión son de 20,447 MWh que representan el 2.24% de la energía comprada por ELSE, del total de Mermas en el sistema de transmisión de ELSE, el 82.4% corresponde a transporte y el 17.6% corresponde a transformación. Las pérdidas de energía en el sistema de transmisión y subtransmisión son determinados a través de medidores electrónicos y dicho valor fue verificado y validado a través del análisis de flujo de carga, se concluye que para el año 2024 está dentro del promedio aceptable.
- h) La empresa distribuidora ELSE ha realizado un eficiente trabajo en el control de pérdidas por hurto de energía ocasionado por terceros. Durante el periodo 2024, logró intervenir 41 casos de consumos no autorizados, recuperando 1,992 MWh, y detectó 356 vulneraciones de las condiciones del suministro, con un recupero de 884 MWh. En total, ELSE consiguió recuperar 2,876 MWh. A todos los suministros intervenidos, se les ha aplicado (facturado) los recuperos de energía correspondientes.

Reclamos Valorizados | Monto

Mes/Sede	Andahuaylas Valorizado	Andahuaylas Contrato
Ago-23	S/ 3,404.80	S/ 10,700.80
Set-23	S/ 8,998.40	S/ 10,700.80
Oct-23	S/ 8,512.00	S/ 10,700.80
Nov-23	S/ 10,944.00	S/ 10,700.80
Dic-23	S/ 12,160.00	S/ 10,700.80
Ene-24	S/ 12,136.00	S/ 10,700.80
Feb-24	S/ 12,864.16	S/ 10,700.80
Mar-24	S/ 11,529.20	S/ 10,700.80
Abr-24	S/ 18,568.08	S/ 10,700.80
May-24	S/ 17,961.28	S/ 10,700.80
Jun-24	S/ 19,903.04	S/ 10,700.80
Jul-24	S/ 18,689.44	S/ 10,700.80
Ago-24	S/ 14,684.56	S/ 10,700.80
Set-24	S/ 13,470.96	S/ 10,700.80
Oct-24	S/ 13,592.32	S/ 10,700.80
Nov-24	S/ 14,684.56	S/ 10,700.80
Dic-24	S/ 14,199.12	S/ 10,700.80
Ene-25	S/ 15,087.74	S/ 10,882.96
Feb-25	S/ 15,335.08	S/ 10,882.96
Mar-25	S/ 19,910.87	S/ 10,882.96
Abr-25	S/ 19,663.53	S/ 10,882.96
May-25	S/ 9,893.60	S/ 10,882.96
Jun-25	S/ -	S/ 10,882.96
Jul-25	S/ -	S/ 10,882.96
Ago-25	S/ -	S/ 10,882.96
Total		
% ejecutado del Contrato		



Mes/Sede	Andahuaylas Valorizado	Andahuaylas Contrato
Ago-23	28	88
Set-23	74	88
Oct-23	70	88
Nov-23	90	88
Dic-23	100	88
Ene-24	100	88
Feb-24	106	88
Mar-24	95	88
Abr-24	153	88
May-24	148	88
Jun-24	164	88
Jul-24	154	88
Ago-24	121	88
Set-24	111	88
Oct-24	112	88
Nov-24	121	88
Dic-24	117	88
Ene-25	122	88
Feb-25	124	88
Mar-25	161	88
Abr-25	159	88
May-25	80	88
Jun-25		88
Jul-25		88
Ago-25		88
Total		
% ejecutado del Contrato		

Tabla de Evaluacion de Reconexiones

Sucursal	ZonaAdministrativa	CodigoSuministro	PeriodoCon	TipoOT	SubTipoOT	Accion	FechaCreacionTdcGoS	FechaEjecucion	FechaCobranza	HorasDiferencia	Contratista
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010006139	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 2 2025 9:40AM	Ene 2 2025 4:59PM	Ene 2 2025 9:36AM	7	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000092585	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 2 2025 11:10AM	Ene 2 2025 5:08PM	Ene 2 2025 11:09AM	6	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010007168	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 2 2025 3:05PM	Ene 2 2025 5:29PM	Ene 2 2025 3:04PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000061012	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 2 2025 3:15PM	Ene 2 2025 4:44PM	Ene 2 2025 3:13PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000088485	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 2 2025 4:00PM	Ene 2 2025 4:50PM	Ene 2 2025 3:56PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010009853	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 2 2025 4:10PM	Ene 2 2025 5:36PM	Ene 2 2025 4:09PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010006662	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 2 2025 6:05PM	Ene 3 2025 7:10AM	Ene 2 2025 5:39PM	14	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000067357	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 2 2025 6:05PM	Ene 3 2025 7:10AM	Ene 2 2025 5:36PM	14	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000078265	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 2 2025 8:40PM	Ene 3 2025 7:10AM	Ene 2 2025 8:11PM	11	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000090998	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	CAJA DE MEDICION (II)	Ene 3 2025 9:30AM	Ene 3 2025 10:01AM	Ene 3 2025 9:25AM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010008261	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 3 2025 3:00PM	Ene 3 2025 5:30PM	Ene 3 2025 2:32PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000072306	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 3 2025 3:45PM	Ene 3 2025 4:36PM	Ene 3 2025 3:41PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000019171	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 4 2025 10:59AM	Ene 4 2025 12:14PM	Ene 4 2025 10:19AM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000065592	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 4 2025 10:35AM	Ene 4 2025 11:36AM	Ene 4 2025 10:34AM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000019899	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 5 2025 10:45AM	Ene 5 2025 2:50PM	Ene 5 2025 10:23AM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000092527	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 6 2025 9:35AM	Ene 6 2025 4:29PM	Ene 6 2025 9:31AM	7	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000069052	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 6 2025 2:05PM	Ene 6 2025 4:37PM	Ene 6 2025 2:00PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010013763	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 7 2025 8:45AM	Ene 7 2025 5:09PM	Ene 7 2025 8:43AM	9	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	1100009598	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 8 2025 9:10AM	Ene 8 2025 5:03PM	Ene 8 2025 8:42AM	9	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000024192	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 8 2025 1:25PM	Ene 8 2025 3:40PM	Ene 8 2025 12:59PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000040529	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 9 2025 8:00AM	Ene 9 2025 5:05PM	Ene 9 2025 7:33AM	10	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000080962	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 9 2025 10:30AM	Ene 9 2025 5:15PM	Ene 9 2025 10:05AM	7	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010013990	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 9 2025 8:49PM	Ene 9 2025 3:50PM	Ene 9 2025 11:53AM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000080042	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 9 2025 8:49PM	Ene 9 2025 5:10PM	Ene 9 2025 1:49PM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000036667	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	CAJA DE MEDICION (II)	Ene 10 2025 12:03PM	Ene 10 2025 12:30PM	Ene 10 2025 8:02AM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000071175	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 10 2025 12:03PM	Ene 10 2025 12:35PM	Ene 10 2025 10:08AM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000075513	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	CAJA DE MEDICION (II)	Ene 10 2025 1:45PM	Ene 10 2025 4:20PM	Ene 10 2025 1:42PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000092515	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 10 2025 4:10PM	Ene 10 2025 5:31PM	Ene 10 2025 3:41PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000084534	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 13 2025 9:35AM	Ene 13 2025 3:20PM	Ene 13 2025 9:32AM	6	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000069607	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 13 2025 11:00AM	Ene 13 2025 2:10PM	Ene 13 2025 10:58AM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000092533	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 14 2025 12:50PM	Ene 14 2025 5:11PM	Ene 14 2025 12:46PM	5	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010014224	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 14 2025 1:45PM	Ene 14 2025 5:19PM	Ene 14 2025 1:43PM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010009595	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 14 2025 3:55PM	Ene 14 2025 5:20PM	Ene 14 2025 3:30PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000061271	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 15 2025 10:00AM	Ene 15 2025 4:45PM	Ene 15 2025 9:57AM	7	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010013942	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 15 2025 3:45PM	Ene 15 2025 5:02PM	Ene 15 2025 3:43PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010007393	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 15 2025 3:45PM	Ene 15 2025 4:58PM	Ene 15 2025 3:43PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000065791	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 16 2025 9:50AM	Ene 16 2025 4:00PM	Ene 16 2025 9:47AM	7	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010007253	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)		Ene 17 2025 3:30PM	Ene 17 2025 10:43AM	5	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000069379	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 17 2025 11:55AM	Ene 17 2025 3:40PM	Ene 17 2025 11:51AM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000079374	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 17 2025 3:45PM	Ene 17 2025 5:20PM	Ene 17 2025 3:40PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000048373	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 18 2025 10:20AM	Ene 18 2025 12:11PM	Ene 18 2025 10:17AM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000049396	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 18 2025 12:05PM	Ene 18 2025 3:10PM	Ene 18 2025 12:00PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000058714	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 4:00PM	Ene 20 2025 5:20PM	Ene 20 2025 4:50PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010005922	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 3:13PM	Ene 21 2025 8:37AM	7	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000037247	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 3:02PM	Ene 21 2025 8:35AM	7	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000052889	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 4:17PM	Ene 21 2025 8:43AM	8	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010010122	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 2:53PM	Ene 21 2025 9:42AM	5	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010005073	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	CAJA DE MEDICION (II)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 3:30PM	Ene 21 2025 9:40AM	6	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010014075	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 3:18PM	Ene 21 2025 9:47AM	6	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000071181	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 4:34PM	Ene 21 2025 9:33AM	7	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000036845	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 3:36PM	Ene 21 2025 9:41AM	6	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000046343	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 3:40PM	Ene 21 2025 10:15AM	5	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010007688	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 3:55PM	Ene 21 2025 10:48AM	5	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000037495	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 4:00PM	Ene 21 2025 10:57AM	6	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000062654	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 4:39PM	Ene 21 2025 10:39AM	6	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000080210	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 3:50PM	Ene 21 2025 11:01AM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000064662	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 2:53PM	Ene 21 2025 11:07AM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000062865	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 4:21PM	Ene 21 2025 11:12AM	5	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000087223	202412	RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	Ene 21 2025 2:35PM	Ene 21 2025 4:31PM	Ene 21 2025 11:19AM	5	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS

Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010014601	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:00PM	ENE 21 2025 11:24AM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000018722	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 4:04PM	ENE 21 2025 11:40AM	5	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000062501	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:45PM	ENE 21 2025 11:43AM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010005341	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:24PM	ENE 21 2025 11:56AM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000085381	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:28PM	ENE 21 2025 11:38AM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010005200	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:34PM	ENE 21 2025 12:11PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010011389	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 2:58PM	ENE 21 2025 11:53AM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010007805	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 4:46PM	ENE 21 2025 12:08PM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010011564	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 4:04PM	ENE 21 2025 12:32PM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000044955	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 4:07PM	ENE 21 2025 12:14PM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010006632	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:35PM	ENE 21 2025 12:22PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000030959	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:27PM	ENE 21 2025 12:47PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000050089	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 4:10PM	ENE 21 2025 12:48PM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010008309	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 4:09PM	ENE 21 2025 12:51PM	4	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010009645	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 1:00PM	ENE 21 2025 5:14PM	ENE 21 2025 12:58PM	5	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000069936	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:21PM	ENE 21 2025 12:37PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000056545	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 4:27PM	ENE 21 2025 1:08PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010008301	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 4:25PM	ENE 21 2025 1:09PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010009815	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:23PM	ENE 21 2025 1:12PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000035212	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:07PM	ENE 21 2025 1:15PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000072581	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:52PM	ENE 21 2025 1:04PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010013696	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:30PM	ENE 21 2025 1:33PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010006790	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 4:42PM	ENE 21 2025 1:40PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000070155	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:45PM	ENE 21 2025 1:52PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000089554	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	CAJA DE MEDICION (II)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 4:49PM	ENE 21 2025 2:02PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000062880	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:23PM	ENE 21 2025 1:45PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000089387	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 5:02PM	ENE 21 2025 2:10PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010005061	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:12PM	ENE 21 2025 2:14PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000079473	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:19PM	ENE 21 2025 2:17PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000067305	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 5:02PM	ENE 21 2025 2:21PM	3	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000070470	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:10PM	ENE 21 2025 2:01PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000034933	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 4:21PM	ENE 21 2025 2:29PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000047672	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:35PM	ENE 21 2025 3:44PM	ENE 21 2025 2:33PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000049292	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:45PM	ENE 21 2025 3:46PM	ENE 21 2025 2:44PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000051924	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:45PM	ENE 21 2025 4:41PM	ENE 21 2025 2:41PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010007048	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:50PM	ENE 21 2025 4:14PM	ENE 21 2025 2:47PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010007248	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 2:55PM	ENE 21 2025 3:57PM	ENE 21 2025 2:53PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000052685	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 3:00PM	ENE 21 2025 4:22PM	ENE 21 2025 2:55PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010012176	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 3:05PM	ENE 21 2025 3:17PM	ENE 21 2025 3:04PM	0	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000053444	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 3:05PM	ENE 21 2025 3:52PM	ENE 21 2025 3:04PM	0	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000081946	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 3:15PM	ENE 21 2025 3:41PM	ENE 21 2025 3:13PM	0	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010007749	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 3:20PM	ENE 21 2025 4:17PM	ENE 21 2025 3:16PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000036041	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 3:30PM	ENE 21 2025 3:58PM	ENE 21 2025 3:25PM	0	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010005875	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 3:40PM	ENE 21 2025 3:56PM	ENE 21 2025 3:38PM	0	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010005305	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 3:50PM	ENE 21 2025 4:02PM	ENE 21 2025 3:21PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000085942	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 3:55PM	ENE 21 2025 5:11PM	ENE 21 2025 3:30PM	2	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000078732	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 4:00PM	ENE 21 2025 4:27PM	ENE 21 2025 3:57PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010013973	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 4:00PM	ENE 21 2025 4:17PM	ENE 21 2025 3:57PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010005990	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 4:10PM	ENE 21 2025 5:14PM	ENE 21 2025 4:06PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010001676	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 4:10PM	ENE 21 2025 5:20PM	ENE 21 2025 4:08PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000082256	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 4:25PM	ENE 21 2025 4:51PM	ENE 21 2025 4:21PM	0	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010006214	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 4:25PM	ENE 21 2025 4:33PM	ENE 21 2025 3:58PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010005869	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 4:30PM	ENE 21 2025 5:12PM	ENE 21 2025 4:01PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000051576	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 4:30PM	ENE 21 2025 5:18PM	ENE 21 2025 4:26PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000037468	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 4:40PM	ENE 21 2025 5:09PM	ENE 21 2025 4:35PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010006637	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 4:45PM	ENE 21 2025 5:16PM	ENE 21 2025 4:42PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11010008890	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 4:55PM	ENE 21 2025 5:23PM	ENE 21 2025 4:53PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000092120	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 4:55PM	ENE 21 2025 5:25PM	ENE 21 2025 4:51PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000083429	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 5:27PM	ENE 21 2025 5:40PM	ENE 21 2025 4:57PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS
Apurimac	ZONA 2 ANDAHUAYLAS	11000086134	202412 RECONEXION SERVICIO	RECONEXION II	FUSIBLE O INTERRUPTOR (I-A)	ENE 21 2025 5:00PM	ENE 21 2025 5:18PM	ENE 21 2025 4:58PM	1	CONSORCIO INMASUR ANDAHUAYLAS

Electro Sur Este S.A.A.
Apurimac
SISTEMA COMERCIAL

LISTADO DE REFACTURACIONES

SUCURSAL: Apurimac
ZONA: TODOS

PERIODO: 202401 / 202412
ORIGEN: TODOS

Página 3 de 30
Fecha: 08/Abr./2025
Hora: 09:22:47 a.m.

Nro	Codigo Refacturacion	Suministro / Item	Nombre / Suministro		Recibo	Tarifa	Pot.	Consumo	Energia	AP	CF	Mtto	Int. Comp	IGV	Otros Afecto	Deuda	Otros	Total	Operador	Resp	Observacion
54	202410000000000377	1221401000815	AV.SESQUICENTENARIO N°105	REF	167 - 415832		0,00	0,00	0,00	0,84	5,05	1,30	0,03	1,40	0,00	9,00	0,04	18,20	01/03/2024	X	Error de lectura.
		11010013685	QUINTANA SALAZAR, GAUDENCIO	FAC	167 - 420494	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,20	0,00	1,10	0,00	0,01	7,20	gorada			
		1221411000240	HUAYAO	REF	167 - 420494	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,20	0,00	1,10	0,00	0,00	0,01	7,20	01/03/2024			
55	202410000000000378	11010013724	ROMAN LAZO, ROBERTO	FAC	167 - 420505	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,20	0,42	1,17	0,00	58,30	-0,04	66,00	gorada	X	Se corrige lectura por control de calidad ocasionado por el contratista anterior al actual (periodo 202303).
		1221411000580	HUAYAO	REF	1 - 1638	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,20	0,42	1,17	0,00	58,30	-1,84	64,20	01/03/2024			
		11010013739	PALOMINO ROMANI, CANDELARIA	FAC	167 - 420529	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,20	0,03	1,10	0,00	6,80	-0,02	14,00	gorada		
56	202410000000000379	1221411001040	HUAYAO	REF	167 - 420529	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,20	0,03	1,10	0,00	6,80	-0,02	14,00	01/03/2024	X	Error de lectura.	
		11000028884	GUZMAN DAMIANO, ELBERTINA	FAC	106 - 150465	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	1,14	0,00	0,00	7,50	gorada			
		1256129000300	SANTA ELENA - SECTOR CCACSA	REF	106 - 150465	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	1,14	0,00	0,00	0,00	7,50	01/03/2024			
57	202410000000000380	11000054194	VARGAS MESARES, DINA ESTHER	FAC	106 - 150494	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,03	1,17	0,00	0,00	-0,06	7,80	gorada	X	Error de lectura.
		1256201000440	AV. PROGRESO N°200	REF	106 - 150494	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,03	1,17	0,00	0,00	-0,06	7,80	01/03/2024			
		11090004698	VILLANO OSCCO, POLINARIO	FAC	106 - 150721	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	1,14	0,00	0,00	7,50	gorada			
58	202410000000000381	1256202000460	AV. PROGRESO S/N	REF	106 - 150721	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	1,14	0,00	0,00	0,00	7,50	01/03/2024	X	Error de lectura.	
		11090017834	JUNCO NAVEROS JOVITA	FAC	106 - 151103	BT5	0,00	10,00	7,84	0,00	3,82	1,44	0,05	1,57	0,00	0,00	-0,09	10,30			gorada
		1256200000060	MANCHAYBAMBA	REF	106 - 151103	0,00	10,00	15,68	0,00	3,82	1,44	0,05	1,57	0,00	0,00	-0,09	10,30	01/03/2024			
59	202410000000000382	11090018029	CAÑARI LUDENÁ, ALEJANDRO	FAC	106 - 151165	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	1,01	0,00	0,00	-0,03	6,80	gorada	X	Se corrige lectura por control de calidad ocasionado por el contratista anterior al actual (periodo 202312).
		1256200000074	MANCHAYBAMBA	REF	1 - 1640	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	1,44	0,00	1,01	0,00	0,00	-0,03	6,80	01/03/2024			
		11090020439	HUACHO HULLCA VELASQUE, ANTONIO	FAC	106 - 151298	BT5	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	1,20	0,07	0,96	0,00	18,90	-0,08	25,10	gorada		
60	202410000000000383	1256209000130	PACCPAPATA	REF	106 - 151298	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	1,20	0,07	0,96	0,00	18,90	-0,08	25,10	01/03/2024	X	Error de lectura.	
		11090020924	HUAMAN AROHULLCA, RAUL	FAC	106 - 151309	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,02	1,02	0,00	6,20	0,04	12,90			gorada
		1256200000020	PACCPAPATA	REF	1 - 1641	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	1,44	0,02	1,02	0,00	6,20	-0,76	12,10	01/03/2024			
61	202410000000000384	11090022953	HUAYANA OSCCO, RITA JUANA	FAC	106 - 152150	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,22	1,03	0,00	36,80	0,00	43,60	gorada	X	Error de lectura.
		1256314000620	C.SANTA ROSA ILLAHUASI A.	REF	106 - 152150	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	1,44	0,22	1,03	0,00	36,80	0,00	43,60	01/03/2024			
		11090023857	ALLCCAHUAMAN MENDOZA, TIMOTEO	FAC	106 - 152128	BT5	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	1,44	0,02	1,00	0,00	0,00	-0,04	6,50	gorada		
62	202410000000000385	1256314000370	SANTA ROSA ALTA ILLAHUASI	REF	1 - 1642	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	1,44	0,02	1,00	0,00	0,00	-0,44	6,10	01/03/2024	X	Error de lectura.	
		11000023753	MONDALGO FRANCO, SANTOSA	FAC	105 - 255656	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,08	1,16	0,00	0,01	7,60	gorada			
		1256104002880	CHANKAS	REF	1 - 1644	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,08	1,16	0,00	0,00	0,81	8,20	01/03/2024			
63	202410000000000386	11000023793	MORIEL PALOMINO, SANTOS MAXI	FAC	105 - 255703	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,04	1,17	0,00	0,00	0,02	7,70	gorada	X	Error de lectura.
		1256104004060	CHANKAS	REF	105 - 255703	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,04	1,17	0,00	0,00	0,02	7,70	01/03/2024			
		11000035675	ROJAS HUAMAN EDGAR	FAC	105 - 252370	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,09	2,65	8,26	14,70	0,03	32,10	gorada		
64	202410000000000387	1256007000760	CURISA	REF	1 - 1647	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,09	2,65	8,26	14,70	-32,07	0,00	01/03/2024	X	Error de lectura.	
		11090006324	GUZMAN HUAMAN, ANTONIO	FAC	105 - 251633	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	1,16	0,00	0,00	-0,02	7,60			gorada
		1256005000060	LLIUPAPUQUIO-ATUMPUCRO	REF	105 - 251633	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	1,16	0,00	0,00	-0,02	7,60	01/03/2024			
65	202410000000000388	11090006377	GERARDO QUISPE ROLDAN	FAC	105 - 251738	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	1,14	0,00	0,00	0,00	7,50	gorada	X	Se corrige lectura por control de calidad ocasionado por el contratista anterior al actual (periodo 202312).
		1256005001050	LLIUPAPUQUIO	REF	105 - 251738	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	1,14	0,00	0,00	0,00	7,50	01/03/2024			
		11090010108	QUISPE A.DIONICIO	FAC	105 - 251556	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	1,14	0,00	0,00	7,50	gorada			
66	202410000000000389	1256004011360	CHAMPACCOCHA	REF	1 - 1645	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	1,14	0,00	0,00	0,00	7,50	01/03/2024	X	Error de lectura.	
		11090013488	ALDABAL CHUNGANO, LEON	FAC	105 - 255895	BT5	0,00	4,00	3,14	0,84	3,82	1,44	0,00	1,74	0,00	0,04	11,50	gorada			
		1256105000465	KACUABAMBA OLIVOS	REF	105 - 255895	0,00	4,00	6,28	0,84	3,82	1,44	0,00	1,74	0,00	0,00	0,04	11,50	01/03/2024			
67	202410000000000390	11090013678	SANCHEZ R. JULIO	FAC	105 - 252689	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,02	1,00	0,00	6,30	-0,04	12,80	gorada	X	Error de lectura.
		1256010000670	ARGAMA ALTA	REF	105 - 252689	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	1,44	0,02	1,00	0,00	6,30	-0,04	12,80	01/03/2024			
		11090013681	NAVARRO RINCON, PAULINA	FAC	105 - 252693	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	0,99	0,00	0,00	0,09	6,80	gorada		
68	202410000000000391	1256010000700	ARGAMA ALTA	REF	105 - 252693	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,00	0,99	0,00	0,00	0,09	6,80	01/03/2024	X	Error de lectura.	
		11090013721	VILLALVA FREDY	FAC	105 - 252749	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,02	1,00	0,00	0,00	-0,04	6,50			gorada
		1256010001100	ARGAMA ALTA	REF	1 - 1646	0,00	0,00	0,00	0,00	3,82	1,44	0,02	1,00	0,00	0,00	-0,04	6,50	01/03/2024			
69	202410000000000392	11090014501	HUAMAN MAUCAYLLE, ROSA	FAC	105 - 256129	BT5	0,00	4,00	3,13	0,84	3,82	1,44	0,00	1,37	0,00	0,00	-0,02	9,00	gorada	X	Error de lectura.
		1256105001885	PULLURI	REF	105 - 256129	0,00	4,00	6,28	0,84	3,82	1,44	0,00	1,37	0,00	0,00	-0,02	9,00	01/03/2024			
		11090014549	ACUÑA MESARES, SANTIAGO	FAC	105 - 252892	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,01	1,16	0,00	0,00	-0,03	7,60	gorada		
70	202410000000000393	1256010000615	ARGAMA BAJA	REF	105 - 252892	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,01	1,16	0,00	0,00	-0,03	7,60	01/03/2024	X	Error de lectura.	
		11090016293	QUISPE LOAYZA, PABLO	FAC	105 - 253296	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,03	1,15	0,00	7,20	0,06	14,80			gorada
		1256010000410	QUILLABAMBA	REF	105 - 253296	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,03	1,15	0,00	7,20	0,06	14,80	01/03/2024			
71	202410000000000394	11090016481	HURTADO QUISPE VICTOR	FAC	105 - 253359	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,02	1,15	0,00	0,00	-0,03	7,50	gorada	X	Error de lectura.
		1256010001080	QUILLABAMBA	REF	105 - 253359	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,44	0,02	1,15	0,00	0,00	-0,03	7,50	01/03/2024			
		11090016895	YAUROS ALLOCCA SANTOS	FAC	105 - 251551	BT5	0,00	0,00	0,00	0,84	3,82	1,82	1,79	0,00	1,21	0,00	0,08	8,00	gorada		
80	202410000000000403																				Se corrige lectura por control de calidad ocasionado por el contratista anterior al actual (periodo 202312).

CodigoSuministr	CodigoNTCS	DireccionEntrega	Tarifa	Ubigeo	CodigoMedidor	SerieMedid	Fases	MarcaMedido	AnoFabrica	DireccionElectr	CodigoTecnicoS	SistemaElectr
11010007182	1010007182	JR.TACNA 139	BT5	030216	2005101000000007745	5081328	3	FAE	1994	AN02007604	1010007182	SE0042
11010005002	1010005002	AV. LEONCIO PRADO S/N	BT5	030213	2005101000000004711	7428350	1	INEPAR	1995	AN01000601	1010005002	SE0042
11010005542	1010005542	JR. CHASQUI CALLE S/N	BT5	030213	2005101000000005515	7432307	1	INEPAR	1995	AN01000701	1010005542	SE0042
11010005555	1010005555	JR. SAN MARTIN S/N	BT5	030213	2005101000000005627	7429141	1	INEPAR	1995	AN01000603	1010005555	SE0042
11010004999	1010004999	JR.SAN MARTIN S/N	BT5	030213	2005101000000005640	7429150	3	INEPAR	1995	AN01000702	1010004999	SE0042
11010005699	1010005699	JR. 28 DE JULIO S/N	BT5	030213	2005101000000005809	7432918	1	INEPAR	1995	AN01000804	1010005699	SE0042
11010007384	1010007384	JR. TUMBES N° 131	BT5	030216	2005101000000007113	7428599	3	INEPAR	1995	AN02006702	1010007384	SE0042
11010011629	1010011629	CCEHUARPAMPA	BT5	030201	2006101000000009700	503163	3	FAE	1995	AN02008602	1010011629	SE0042
11010007601	1010007601	AV. CONFRATERNIDAD 272	BT5	030216	2005101000000006802	1603244	3	ABB	1996	AN02007502	1010007601	SE0042
11010008002	1010008002	AV. PERU S/N	BT5	030216	2005101000000006964	849365	1	SCHLUMBERGER	1996	AN02007101	1010008002	SE0042
11010007301	1010007301	JR TUMBES 131	BT5	030216	2005101000000007114	01626605	1	ABB	1996	AN02006702	1010007301	SE0042
11010009345	1010009345	AV. PERU S/N.	BT5	030216	2005101000000007053	07589240	1	FAE	1997	AN02007301	1010009345	SE0042
11010009949	1010009949	JR.7 DE JUNIO S/N	BT5	030213	2005101000000004587	05508218	1	SKAITEKS	1999	AN01000605	1010009949	SE0042
11010009820	1010009820	JR. LOS EUCALIPTOS S/N	BT5	030213	2005101000000005590	00864652	3	SCHLUMBERGER	1999	AN01001403	1010009820	SE0042
11010008013	1010008013	AV. PERU S/N	BT5	030216	2005101000000006979	01982813	1	SCHLUMBERGER	1999	AN02007204	1010008013	SE0042
11010008046	1010008046	U.V. CHIHUAMPATA S/N	BT5	030216	2005101000000007005	0499642	1	FAE	2000	AN02007201	1010008046	SE0042
11010007978	1010007978	B. CHIHUAMPATA S/N	BT5	030216	2005101000000007046	09499721	1	FAE	2000	AN02007301	1010007978	SE0042
11010006925	1010006925	AV. 28 DE JULIO 181	BT5	030216	2005101000000006826	2739012	1	SCHLUMBERGER	2001	AN02007504	1010006925	SE0042
11010010410	1010010410	JR. TUMBES S/N.	BT5	030216	2005101000000007100	10430991	1	ABB	2001	AN02006702	1010010410	SE0042
11010007112	1010007112	JR. HUANUCO 256	BT5	030216	2005101000000007893	2738977	1	SCHLUMBERGER	2001	AN02007504	1010007112	SE0042
11010005165	1010005165	U.V. LAS MAGNOLIAS S/N	BT5	030213	2005101000000004674	552762	1	HOLLEY	2002	AN01000603	1010005165	SE0042
11010005164	1010005164	U.V. LAS MAGNOLIAS S/N	BT5	030213	2005101000000004679	552769	1	HOLLEY	2002	AN01000603	1010005164	SE0042
11010010520	1010010520	JR. RETAMALES S/N	BT5	030216	2005101000000006169	552708	1	HOLLEY	2002	AN02008301	1010010520	SE0042
11010010606	1010010606	AV. JHON F. KENEDY 272	BT5	030216	2005101000000006365	557852	1	HOLLEY	2002	AN02090202	1010010606	SE0042
11010010522	1010010522	JR. 28 DE JULIO N° 657	BT5	030216	2005101000000006910	559602	3	HOLLEY	2002	AN02006902	1010010522	SE0042
11010010539	1010010539	JR. TRUJILLO S/N	BT5	030216	2005101000000007503	552709	1	HOLLEY	2002	AN02007604	1010010539	SE0042
11010010710	1010010710	JR. TUMAYHUARACA S/N	BT5	030201	2005101000000004512	00000290365	1	SMITH METER	2003	AN01000402	1010010710	SE0042
11010010735	1010010735	JR. LOS EUCALIPTOS	BT5	030213	2005101000000005099	00000290621	1	SMITH METER	2003	AN01001403	1010010735	SE0042
11010010736	1010010736	AV. ANDRES A. CACERES S/N	BT5	030213	2005101000000005271	00000290605	1	SMITH METER	2003	AN01001301	1010010736	SE0042
11010010719	1010010719	URB. VILLA SAN CARLOS S/N	BT5	030213	2005101000000005944	00000290556	1	SMITH METER	2003	AN01000902	1010010719	SE0042
11010010738	1010010738	JR. LOS RETAMALES	BT5	030216	2005101000000006158	290628	1	SIEMENS	2003	AN02008301	1010010738	SE0042
11010010957	1010010957	PJE. JOSE M. ARGUEDAS S/N	BT5	030216	2005101000000008309	00000010099	1	HOLLEY	2003	AN02006103	1010010957	SE0042
11010010983	1010010983	AV. PERU	BT5	030216	2005101000000008335	00000010076	1	HOLLEY	2003	AN02007301	1010010983	SE0042
11010010986	1010010986	AV. PERU S/N	BT5	030216	2005101000000008338	00000009983	1	HOLLEY	2003	AN02007303	1010010986	SE0042
11010010982	1010010982	AV. INDUSTRIAL	BT5	030201	2005101000000008334	00000009947	1	HOLLEY	2003	AN02090001	1010010982	SE0042
11010010998	1010010998	AV. INDUSTRIAL S/N	BT5	030216	2005101000000008350	00000010062	1	HOLLEY	2003	AN02090101	1010010998	SE0042
11010010828	1010010828	JR. IGNACION QUINTANA S/N	BT5	030216	2005101000000008180	00000005379	1	HOLLEY	2003	AN02006601	1010010828	SE0042
11010010844	1010010844	JR. SAN MARTIN 213	BT5	030216	2005101000000008196	00000003404	1	HOLLEY	2003	AN02006703	1010010844	SE0042
11010010960	1010010960	JR. LIMA S/N	BT5	030216	2005101000000008312	00000009870	1	HOLLEY	2003	AN02006704	1010010960	SE0042
11010010959	1010010959	AV. INCA G. DE LA VEGA	BT5	030216	2005101000000008311	00000009962	1	HOLLEY	2003	AN02008001	1010010959	SE0042
11010011068	1010011068	AV. JOSE M. ARGUEDAS S/N	BT5	030213	2005101000000008420	210474175	1	AMPY	2004	AN01001302	1010011068	SE0042
11010011195	1010011195	AV. SOL NACIENTE S/N	BT5	030213	2005101000000008544	00008405112	1	URSS	2004	AN01001401	1010011195	SE0042
11010011058	1010011058	AV. SOL NACIENTE S/N	BT5	030213	2005101000000008410	00000440457	1	AMPY	2004	AN01001401	1010011058	SE0042
11010009318	1010009318	JR. ANCOHUAYLLO S.N	BT5	030213	2005101000000005911	00000002569	1	ACTARIS	2004	AN01001104	1010009318	SE0042
11010011093	1010011093	JR. LOS TERMALES S/N	BT5	030216	2005101000000008445	00000474178	1	AMPY	2004	AN02007801	1010011093	SE0042
11010011183	1010011183	JR. AYACUCHO 1295	BT5	030216	2005101000000008532	168	1	LANDIS	2004	AN02007102	1010011183	SE0042
11010011859	1010011859	BARRIO PACHAPUQUIO	BT5	030216	2007101000000012871	1160	1	LANDIS	2004	AN02090101	1010011859	SE0042
11010011094	1010011094	JR. AREQUIPA S/N	BT5	030216	2005101000000008446	00000474226	1	AMPY	2004	AN02007604	1010011094	SE0042
11010011219	1010011219	AV. LEONCIO PRADO 117	BT5	030213	2005101000000008568	00008405101	1	URSS	2005	AN01000601	1010011219	SE0042

CodigoSuminis	CodigoNTC	DireccionEntrega	Tar	Ubige	CodigoMedidor	SerieMedic	Fas	MarcaMedidor	AnoFabricaci	DireccionElectri	CodigoTecnicoSt	SistemaElectr
11090019275	1090019275	JR.TUPAC AMARU	BT5	030601	2005109000000015380	00000009924	1	HOLLEY	2003	AN01003401	1090019275	SE0042
11090019310	1090019310	JR.SAN FRANCISCO	BT5	030601	2005109000000015415	00000010040	1	HOLLEY	2003	AN01003402	1090019310	SE0042
11090008928	1090008928	AV. PROGRESO S/N	BT5	030209	2005109000000014440	2372	1	ACTARIS	2004	AN01002601	1090008928	SE0042
11090008934	1090008934	JR. ALARCON RUA	BT5	030209	2005109000000014654	2417	1	ACTARIS	2004	AN01002601	1090008934	SE0042
11090008929	1090008929	JR. ALARCON RUA	BT5	030209	2005109000000014657	2426	1	ACTARIS	2004	AN01002601	1090008929	SE0042
11090004867	1090004867	AV.ISCHUBAMBILLA S/N	BT5	030209	2005109000000014424	2784	1	ACTARIS	2004	AN01002601	1090004867	SE0042
11090004811	1090004811	AV.ANTAHUAYLLA S/N	BT5	030209	2005109000000014526	2795	1	ACTARIS	2004	AN01002602	1090004811	SE0042
11090004875	1090004875	AV.ALMANZA OCAMPO S/	BT5	030209	2005109000000014491	2713	1	ACTARIS	2004	AN01002604	1090004875	SE0042
11090004715	1090004715	AV.ALMANZA OCAMPO 105	BT5	030209	2005109000000014493	2707	1	ACTARIS	2004	AN01002604	1090004715	SE0042
11090009054	1090009054	AV. ALMANZA	BT5	030209	2005109000000014499	2695	1	ACTARIS	2004	AN01002604	1090009054	SE0042
11090008955	1090008955	AV. ALMANZA OCAMPO - P.	BT5	030209	2005109000000014500	2704	1	ACTARIS	2004	AN01002604	1090008955	SE0042
11090004794	1090004794	AV.ALMANZA OCAMPOS/N	BT5	030209	2005109000000014514	2748	1	ACTARIS	2004	AN01002604	1090004794	SE0042
11090004783	1090004783	JR. TUPAC AMARU S/N	BT5	030209	2005109000000014665	2414	1	ACTARIS	2004	AN01002604	1090004783	SE0042
11090008961	1090008961	AV. TUPAC AMARU S/N - P.	BT5	030209	2005109000000014663	00000002384	1	ACTARIS	2004	AN01002604	1090008961	SE0042
11000035028	1000035028	JR. INSURGENTE	BT5	030209	2005109000000014637	2737	1	ACTARIS	2004	AN01002602	1000035028	SE0042
11090004777	1090004777	JR. HUASCAR S.N	BT5	030209	2005109000000014688	2346	1	ACTARIS	2004	AN01003003	1090004777	SE0042
11090009061	1090009061	JR. HUASCAR	BT5	030209	2005109000000014675	2742	1	ACTARIS	2004	AN01003003	1090009061	SE0042
11090008976	1090008976	JR. ISCHUBAMBILLA	BT5	030209	2005109000000014421	2782	1	ACTARIS	2004	AN01002601	1090008976	SE0042
11090020433	1090020433	PACCPAPATA	BT5	030209	2006109000000016990	1805817	1	LINYANG	2005	AN01002802	1090020433	SE0042
11090020926	1090020926	PACCPAPATA	BT5	030209	2006109000000017514	605056350	1	STAR	2005	AN01002802	1090020926	SE0042
11090020467	1090020467	ANTABAMBA	BT5	030209	2006109000000016965	1805830	1	LINYANG	2005	AN01002701	1090020467	SE0042
11090004890	1090004890	AV.24 DE JUNIO 112	BT5	030601	2005109000000016368	1101820	1	ELSTER	2005	AN01003403	1090004890	SE0042
11090020519	1090020519	ANDARAPA	BT5	030201	2006109000000017039	1805741	1	ELSTER	2005	AN01003403	1090020519	SE0042
11090026961	1090026961	CHUSPI	BT5	030202	2009109000000025233	605625296	1	STAR	2005	AN01040802	1090026961	SE0042
11090021723	1090021723	AV. PROGRESO S/N	BT5	030209	2007109000000018854	605112623	1	STAR	2006	AN01002601	1090021723	SE0042
11090008926	1090008926	JR. ALARCON RUA	BT5	030209	2007109000000018121	605089393	1	STAR	2006	AN01002601	1090008926	SE0042
11090020914	1090020914	JR.HUASCAR BILLA	BT5	030209	2006109000000017513	605056341	1	STAR	2006	AN01002601	1090020914	SE0042
11090004833	1090004833	AV. ANTAHUAYLLA S/N.	BT5	030209	2007109000000018090	605089423	1	STAR	2006	AN01002602	1090004833	SE0042
11090022402	1090022402	AV. ANTAHUAYLLA	BT5	030209	2007109000000019571	605157930	1	STAR	2006	AN01002602	1090022402	SE0042
11090009036	1090009036	AV. ANTAHUAYLLA	BT5	030209	2007109000000018089	605089428	1	STAR	2006	AN01002602	1090009036	SE0042
11090004818	1090004818	JR.ANTAHUAYLLA S/N	BT5	030209	2007109000000018087	605089421	1	STAR	2006	AN01002602	1090004818	SE0042
11090004757	1090004757	AV.ANTAHUAYLLA S.N	BT5	030209	2007109000000018086	605089419	1	STAR	2006	AN01002602	1090004757	SE0042
11090009039	1090009039	AV. ANTAHUAYLLA	BT5	030209	2007109000000018075	605089414	1	STAR	2006	AN01002602	1090009039	SE0042
11090009042	1090009042	JR.M MELGAR S/N.	BT5	030209	2007109000000018067	605089385	1	STAR	2006	AN01002602	1090009042	SE0042
11090004877	1090004877	JR.ANTAHUAYLLA S/N.	BT5	030209	2007109000000018066	605089390	1	STAR	2006	AN01002602	1090004877	SE0042
11090009043	1090009043	JR.ANTAHUAYLLA S/N.	BT5	030209	2007109000000018063	605089383	1	STAR	2006	AN01002602	1090009043	SE0042
11090008944	1090008944	ANTAHUAYLLA	BT5	030209	2007109000000018064	605089381	1	STAR	2006	AN01002602	1090008944	SE0042
11090004765	1090004765	AV. ANTAHUAYLLAS S/N	BT5	030209	2007109000000018073	605089417	1	STAR	2006	AN01002602	1090004765	SE0042
11090009044	1090009044	ANTAHUAYLLA	BT5	030209	2007109000000018071	605089413	1	STAR	2006	AN01002602	1090009044	SE0042
11090004758	1090004758	AV.ANTAHUAYLLAS S.N	BT5	030209	2007109000000018070	605089400	1	STAR	2006	AN01002602	1090004758	SE0042
11090004858	1090004858	V.ANTAHUAYLLA S.N	BT5	030209	2007109000000018069	605089424	1	STAR	2006	AN01002602	1090004858	SE0042
11090021927	1090021927	AV. ANTAHUAYLLA	BT5	030209	2007109000000019058	605159057	1	STAR	2006	AN01002602	1090021927	SE0042
11090004841	1090004841	AV. LA CULTURA S/N.	BT5	030209	2007109000000018102	605089372	1	STAR	2006	AN01002604	1090004841	SE0042
11090008966	1090008966	AV. CULTURA	BT5	030209	2007109000000018094	605089371	1	STAR	2006	AN01002603	1090008966	SE0042
11090004743	1090004743	AV. CULTURA 105	BT5	030209	2007109000000018095	605089386	1	STAR	2006	AN01002603	1090004743	SE0042
11090004839	1090004839	AV.LA CULTURA S/N	BT5	030209	2007109000000018061	605089374	1	STAR	2006	AN01002603	1090004839	SE0042

Algoritmo K-Means

```
# === PASO 1: Importar librerías necesarias ===
import pandas as pd
from sklearn.cluster import KMeans
import folium
import simplekml

# === PASO 2: Leer el archivo Excel ===
df = pd.read_excel("GPS_PACUCHA_AND.xlsx") # Asegúrate de que esté en la misma carpeta que este código

# === PASO 3: Limpiar coordenadas ===
df_limpio = df[['Latitud', 'Longitud']].dropna().copy()
coords = df_limpio[['Latitud', 'Longitud']].values

# === PASO 4: Aplicar K-means con 6 clusters (gateways) ===
n_gateways = 6
kmeans = KMeans(n_clusters=n_gateways, random_state=0).fit(coords)
df_limpio['Cluster'] = kmeans.labels_
centros = kmeans.cluster_centers_

# === PASO 5: Crear mapa interactivo con Folium ===
centro_lat = df_limpio['Latitud'].mean()
centro_lon = df_limpio['Longitud'].mean()
mapa = folium.Map(location=[centro_lat, centro_lon], zoom_start=15)

# Colores para 6 grupos (puedes cambiar o agregar más)
colores = ['blue', 'green', 'orange', 'purple', 'darkred', 'cadetblue']

# Añadir medidores al mapa
for _, fila in df_limpio.iterrows():
    folium.CircleMarker(
        location=[fila['Latitud'], fila['Longitud']],
        radius=4,
        color=colores[int(fila['Cluster'])],
        fill=True,
        fill_opacity=0.8
    ).add_to(mapa)

# Añadir gateways como estrellas rojas
for i, centro in enumerate(centros):
    folium.Marker(
        location=[centro[0], centro[1]],
        icon=folium.Icon(color='red', icon='star'),
        popup=f"Gateway {i+1}"
    ).add_to(mapa)

# === PASO 6: Guardar el mapa como archivo HTML ===
mapa.save("mapa_PACUCHA_gateways_6clusters.html")
print("✅ Mapa guardado como 'mapa_PACUCHA_gateways_6clusters.html'")

# === PASO 7: Crear archivo KML para Google Earth ===
kml = simplekml.Kml()
colores_kml = ['ff0000ff', 'ff00ff00', 'ffff00ff', 'ff00ffff', 'ff000088', 'ff008800'] # ABGR
color_gateway = 'ffff0000' # rojo

# Añadir medidores sin nombre
for idx, row in df_limpio.iterrows():
    punto = kml.newpoint(
        name="", # sin nombre
        coords=[(row['Longitud'], row['Latitud'])]
    )
    punto.style.iconstyle.color = colores_kml[int(row['Cluster'])]
    punto.style.iconstyle.icon.href = 'http://maps.google.com/mapfiles/kml/shapes/placemark_circle.png'

# Gateways como estrellas
for i, centro in enumerate(centros):
    gateway = kml.newpoint(
        name=f"Gateway {i+1}",
        coords=[(centro[1], centro[0])]
    )
    gateway.style.iconstyle.icon.href = 'http://maps.google.com/mapfiles/kml/shapes/star.png'
    gateway.style.iconstyle.color = color_gateway
    gateway.style.iconstyle.scale = 1.5

# === PASO 8: Guardar archivo KML ===
kml.save("PACUCHA_gateways_6clusters.kml")
print("✅ Archivo KML guardado como 'PACUCHA_gateways_6clusters.kml'")
```

```

# === PASO 1: Importar librerías ===
import pandas as pd
from sklearn.cluster import KMeans
import folium
import simplekml

# === PASO 2: Leer el archivo Excel ===
df = pd.read_excel("GPS SAN JERONIMO AND.xlsx") # Asegúrate de que esté en la misma carpeta

# === PASO 3: Eliminar coordenadas vacías ===
df_limpio = df[['Latitud', 'Longitud']].dropna().copy()

# === PASO 4: Aplicar K-means con 4 clústeres ===
n_gateways = 4
coords = df_limpio[['Latitud', 'Longitud']].values
kmeans = KMeans(n_clusters=n_gateways, random_state=0).fit(coords)
df_limpio['Cluster'] = kmeans.labels_
centros = kmeans.cluster_centers_

# === PASO 5: Crear mapa interactivo con folium ===
centro_lat = df_limpio['Latitud'].mean()
centro_lon = df_limpio['Longitud'].mean()
mapa = folium.Map(location=[centro_lat, centro_lon], zoom_start=16)

# Colores distintos para cada grupo
colores = ['blue', 'green', 'orange', 'purple']

# Añadir medidores al mapa
for _, fila in df_limpio.iterrows():
    folium.CircleMarker(
        location=[fila['Latitud'], fila['Longitud']],
        radius=4,
        color=colores[int(fila['Cluster'])],
        fill=True,
        fill_opacity=0.8
    ).add_to(mapa)

# Añadir gateways como estrellas rojas
for i, centro in enumerate(centros):
    folium.Marker(
        location=[centro[0], centro[1]],
        icon=folium.Icon(color='red', icon='star'),
        popup=f"Gateway {i+1}"
    ).add_to(mapa)

# === PASO 6: Guardar el mapa interactivo HTML ===
mapa.save("mapa_SAN_JERONIMO_gateways_4clusters.html")
print("✅ Mapa guardado como 'mapa_SAN_JERONIMO_gateways_4clusters.html'")

# === PASO 7: Crear archivo KML para Google Earth ===
kml = simplekml.Kml()
colores_kml = ['ff0000ff', 'ff00ff00', 'ffff00ff', 'ff00ffff'] # azul, verde, rosa, celeste
color_gateway = 'ffff0000' # azul (formato ABGR)

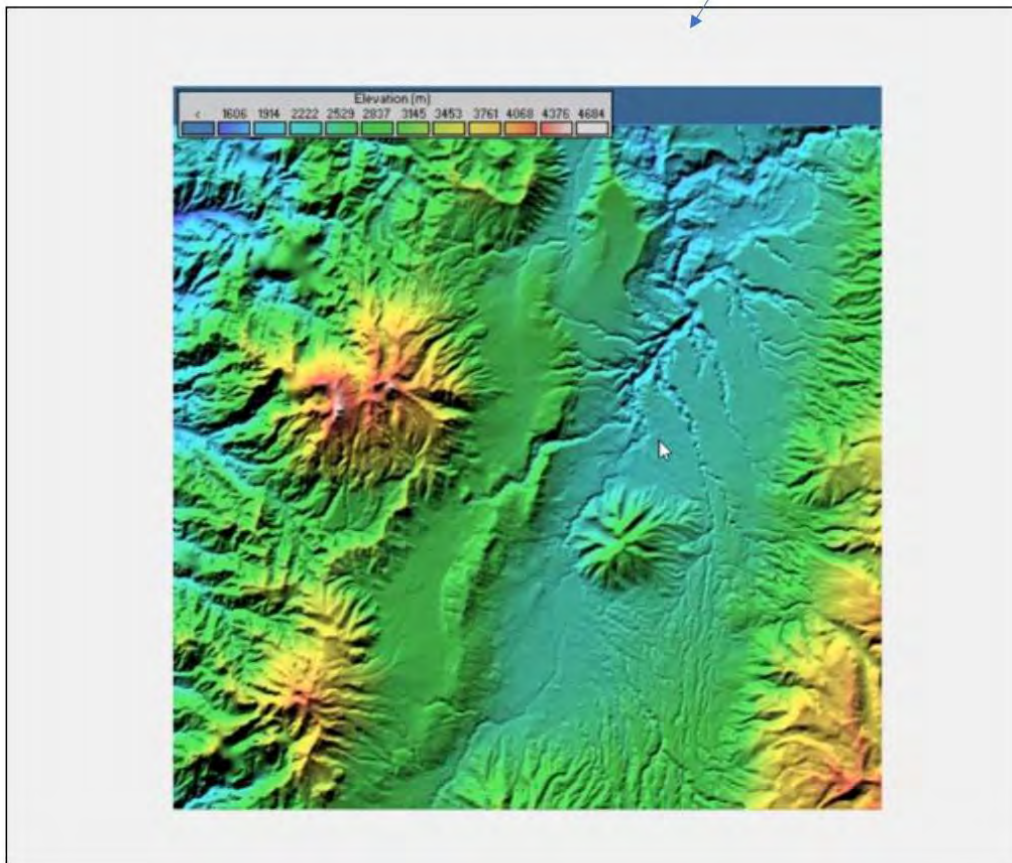
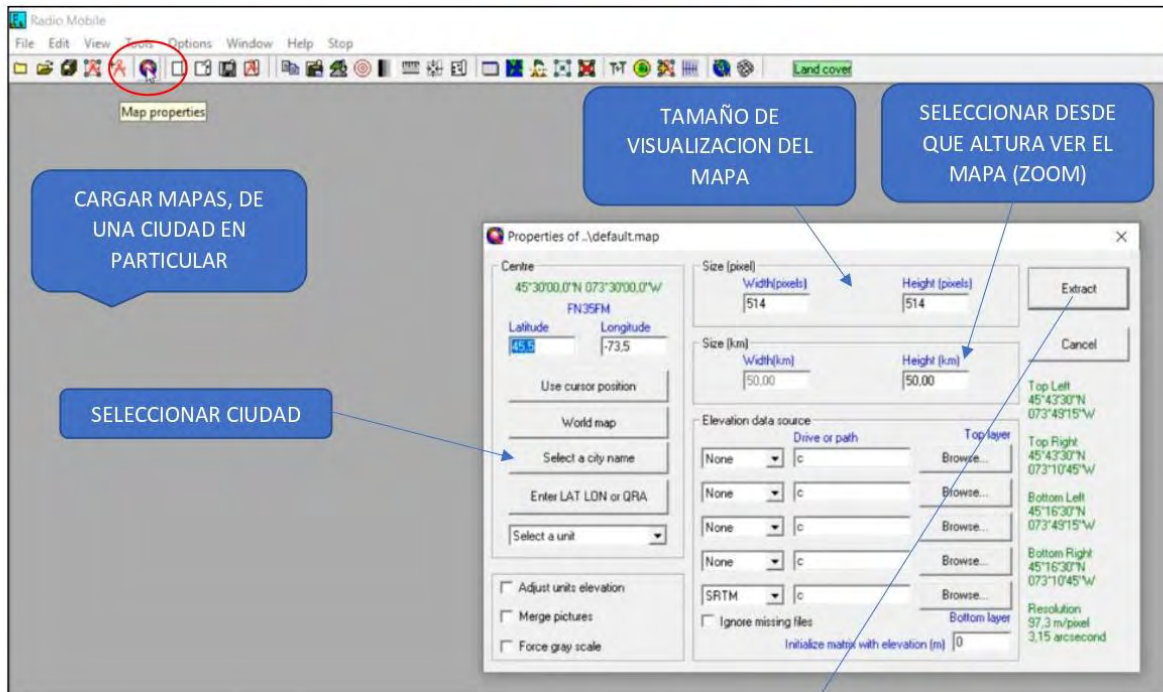
# Medidores (sin nombre visible)
for idx, row in df_limpio.iterrows():
    punto = kml.newpoint(
        name="", # no se muestra el nombre
        coords=[(row['Longitud'], row['Latitud'])]
    )
    punto.style.iconstyle.color = colores_kml[int(row['Cluster'])]
    punto.style.iconstyle.icon.href = 'http://maps.google.com/mapfiles/kml/shapes/placemark_circle.png'

# Gateways (estrellas azules con nombre)
for i, centro in enumerate(centros):
    gateway = kml.newpoint(
        name=f"Gateway {i+1}",
        coords=[(centro[1], centro[0])]
    )
    gateway.style.iconstyle.icon.href = 'http://maps.google.com/mapfiles/kml/shapes/star.png'
    gateway.style.iconstyle.color = color_gateway
    gateway.style.iconstyle.scale = 1.5

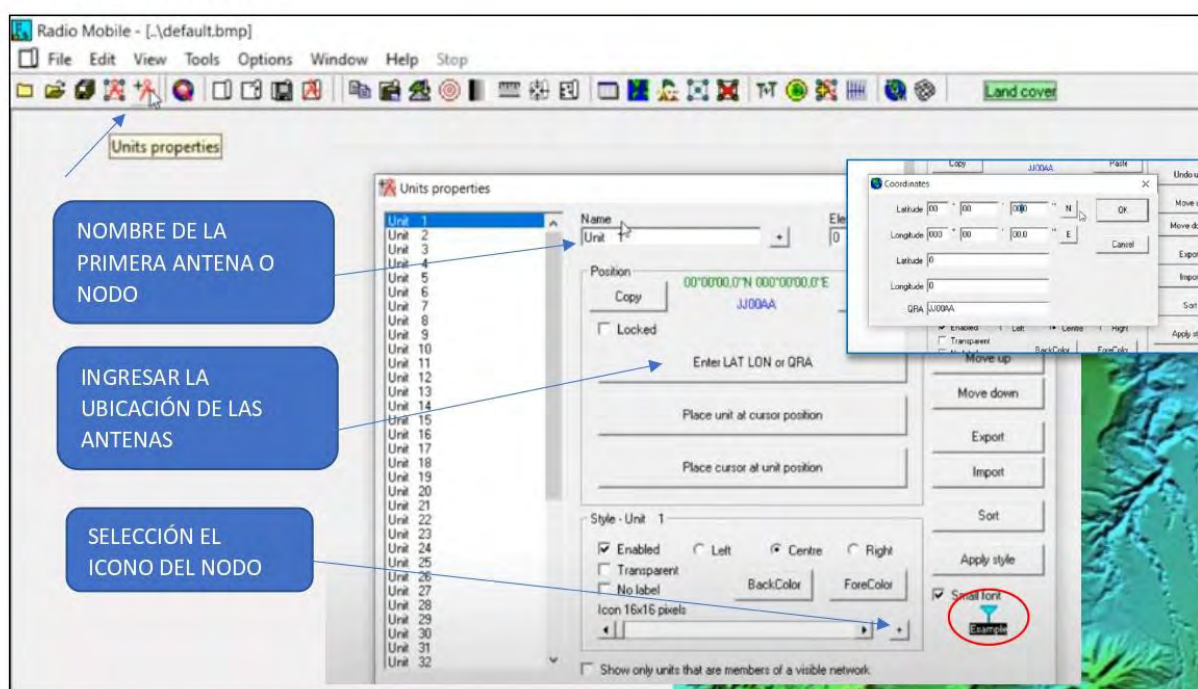
# Guardar archivo KML
kml.save("SAN_JERONIMO_gateways_4clusters.kml")
print("✅ Archivo KML guardado como 'SAN_JERONIMO_gateways_4clusters.kml'")

```

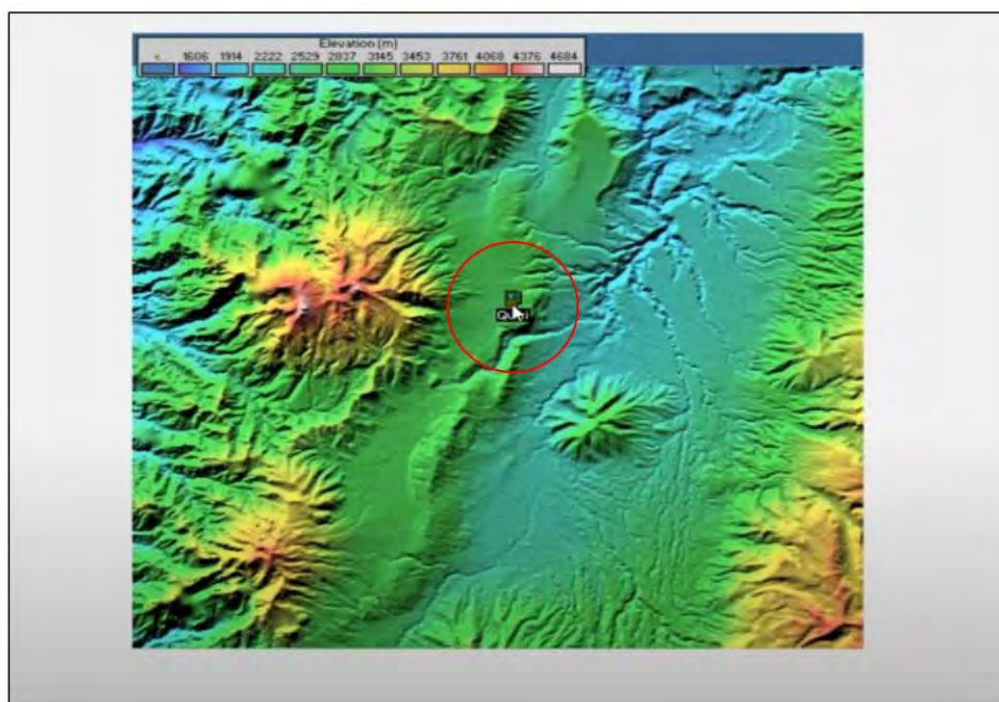
Simulación Radio Mobile



Conexión Punto a Punto



Luego Del - "Ok"



ARMAMOS LA RED

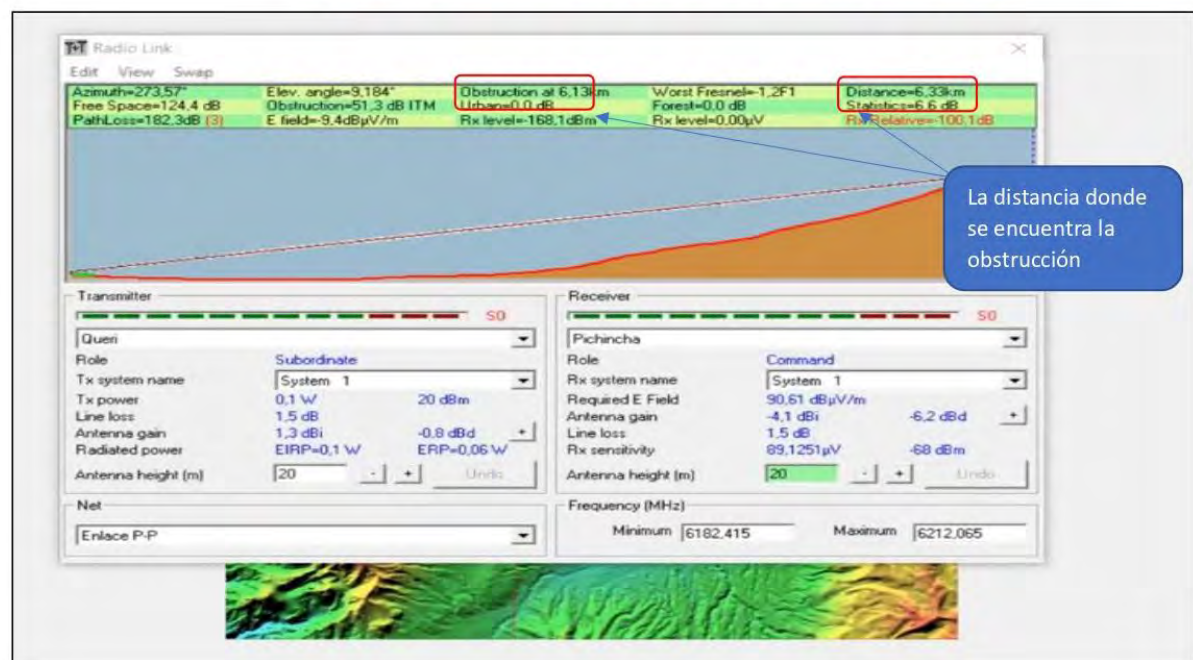
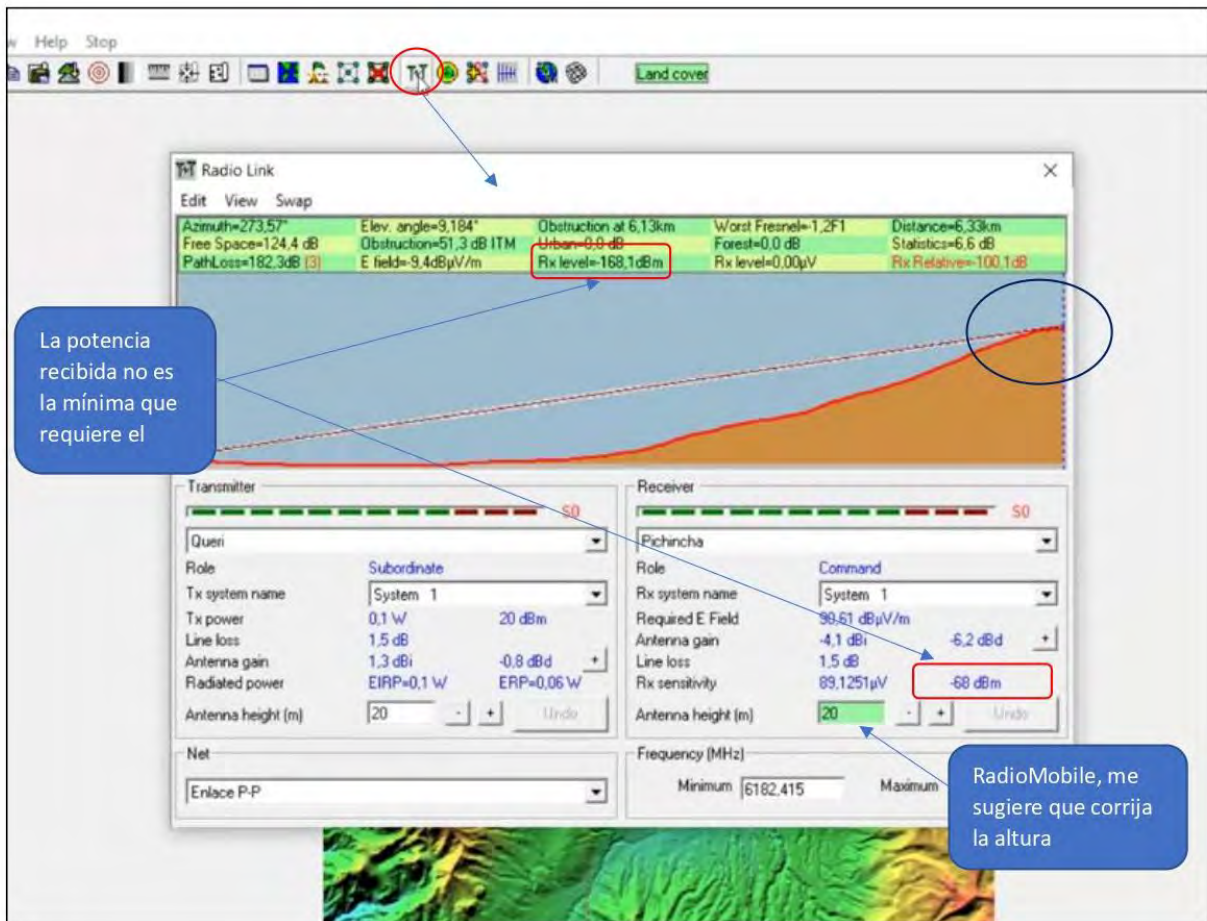
INGRESAR EL NOMBRE DE LA RED

INGRESO DE FRECUENCIA: PARA INGRESAR LA FRECUENCIA MAX O MIN, ES LA DIFERENCIA Y SUMA, DE LA MITAD DEL ANCHO DE BANDA (AB)

DATOS CARACTERISTICOS DEL SUELO (LOS DATOS SE AUTOCARGAN SEGUN CARGAS EL MAPA)

PARA ENLACE PUNTO A PUNTO LO DEJAMOS EN (SPOT)

PARA ENLACE PUNTO A PUNTO LO DEJAMOS EN (VOICE NET), los datos no afectan a los cálculos solo son referenciales



Pruebas de Campo con Lorient

Device Details / A84041C7935CC086

Name

Transmisor LoraWAN

Device Template

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

Battery

100%

ADR

Enabled

Description

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

EUI

A84041C7935CC086 big endian (use by default)

JoinEUI

A840410000000100 big endian (use by default)

DevAddr

303FF180 big endian (use by default)

Last Join

Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Transfer device

Send download

Edit device

Last Uplink RF Parameters

Last Seen

Aug 17, 2025, 10:24:12 AM

RSSI

-105.00 dBm

SNR

8.00 dB

Frequency

915.600 MHz

SF

7

Bandwidth

125 kHz

Gateway

7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateways received data

FCntUp

Time

Port

Data

63

2 minutes ago

2

cc 42 08 bb 01 96 01 09 71 7f

Device Details / A84041C7935CC086

Name

Transmisor LoraWAN

Device Template

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

Battery

100%

ADR

Enabled

Description

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

EUI

A84041C7935CC086 big endian (use by default)

JoinEUI

A840410000000100 big endian (use by default)

DevAddr

303FF180 big endian (use by default)

Last Join

Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Transfer device

Send download

Edit device

Last Uplink RF Parameters

Last Seen

Aug 17, 2025, 10:32:20 AM

RSSI

-75.00 dBm

SNR

9.20 dB

Frequency

915.600 MHz

SF

7

Bandwidth

125 kHz

Gateway

7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateways received data

FCntUp

Time

Port

Data

64

a few seconds ago

2

cc 43 0a 92 01 60 01 0a b1 7f

Device Details / A84041C7935CC086

Name

Transmisor LoraWAN

Device Template

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

Battery

100%

ADR

Enabled

Description

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

EUI

A84041C7935CC086 big endian (use by default)

JoinEUI

A840410000000100 big endian (use by default)

DevAddr

303FF180 big endian (use by default)

Last Join

Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Transfer device

Send download

Edit device

Last Uplink RF Parameters

Last Seen

Aug 17, 2025, 10:38:27 AM

RSSI

-93.00 dBm

SNR

9.50 dB

Frequency

915.400 MHz

SF

7

Bandwidth

125 kHz

Gateway

7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateways received data

FCntUp

Time

Port

Data

65

a few seconds ago

2

cc 45 0b 26 01 3d 01 0b 22 7f

Device Details / A84041C7935CC086

Name

Transmisor LoraWAN

Device Template

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

Battery

100%

ADR

Enabled

Description

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

EUI

A84041C7935CC086 big endian (use by default)

JoinEUI

A840410000000100 big endian (use by default)

DevAddr

303FF180 big endian (use by default)

Last Join

Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Transfer device

Send download

Edit device

Last Uplink RF Parameters

Last Seen

Aug 17, 2025, 10:48:36 AM

RSSI

-103.00 dBm

SNR

8.20 dB

Frequency

915.800 MHz

SF

7

Bandwidth

125 kHz

Gateway

7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateways received data

FCntUp

Time

Port

Data

66

a few seconds ago

2

cc 42 0a d9 01 44 01 0a 10 7f

Device Details / A84041C7935CC086

Name

Transmisor LoraWAN

Device Template

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

Battery

100%

ADR

Enabled

Description

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

EUI

A84041C7935CC086 big endian (use by default)

JoinEUI

A840410000000100 big endian (use by default)

DevAddr

303FF180 big endian (use by default)

Last Join

Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Transfer device

Send download

Edit device

Last Uplink RF Parameters

Last Seen

Aug 17, 2025, 11:15:14 AM

RSSI

-91.00 dBm

SNR

11.20 dB

Frequency

915.200 MHz

SF

7

Bandwidth

125 kHz

Gateway

7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateways received data

FCntUp

Time

Port

Data

68

a few seconds ago

2

cc 45 0b 95 01 2e 01 0b 02 7f

Device Details / A84041C7935CC086

Name

Transmisor LoraWAN

Device Template

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

Battery

100%

ADR

Enabled

Description

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

EUI

A84041C7935CC086 big endian (use by default)

JoinEUI

A840410000000100 big endian (use by default)

DevAddr

303FF180 big endian (use by default)

Last Join

Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Transfer device

Send download

Edit device

Last Uplink RF Parameters

Last Seen

Aug 17, 2025, 11:21:33 AM

RSSI

-100.00 dBm

SNR

7.80 dB

Frequency

915.200 MHz

SF

7

Bandwidth

125 kHz

Gateway

7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateways received data

FCntUp

Time

Port

Data

70

a few seconds ago

2

cc 48 0c 0b 00 1d 01 0b 9f 7f

Device Details / A84041C7935CC086

Name

Transmisor LoraWAN

Device Template

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

Battery

100%

ADR

Enabled

Description

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

EUI

A84041C7935CC086 big endian (use by default)

JoinEUI

A840410000000100 big endian (use by default)

DevAddr

303FF180 big endian (use by default)

Last Join

Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Transfer device

Send download

Edit device

Last Uplink RF Parameters

Last Seen

Aug 17, 2025, 11:57:46 AM

RSSI

-111.00 dBm

SNR

1.20 dB

Frequency

915.600 MHz

SF

7

Bandwidth

125 kHz

Gateway

7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateways received data

FCntUp

Time

Port

Data

72

a few seconds ago

2

cc 49 0c 28 01 06 01 0b 9f 7f

Device Details / A84041C7935CC086

Name

Transmisor LoraWAN

Device Template

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

Battery

100%

ADR

Enabled

Description

RF 1200m - 868MHz - 125kHz

EUI

A84041C7935CC086 big endian (use by default)

JoinEUI

A840410000000100 big endian (use by default)

DevAddr

303FF180 big endian (use by default)

Last Join

Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Transfer device

Send download

Edit device

Last Uplink RF Parameters

Last Seen

Aug 17, 2025, 12:07:21 PM

RSSI

-94.00 dBm

SNR

9.80 dB

Frequency

916.200 MHz

SF

7

Bandwidth

125 kHz

Gateway

7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateways received data

FCntUp

Time

Port

Data

73

a few seconds ago

2

cc 47 0b ed 01 12 01 0a 10 7f

Device Details / A84041C7935CC086

Name	Transmisior LoraWAN
Device Template	No Device Template Linked
Battery	100%
ADR	Enabled
Description	No description
EUI	A84041C7935CC086 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
JoinEUI	A840410000000100 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
DevAddr	303FF180 big endian (use by default)
DevAddr	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
Last Join	Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Last Uplink RF Parameters

Last Seen	Aug 17, 2025, 12:14:36 PM
RSSI	-110.00 dBm
SNR	3.50 dB
Frequency	916.400 MHz
SF	7
Bandwidth	125 kHz
Gateway	7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateway received data

FCntUp	Time	Port	Data
74	a few seconds ago	2	cc 45 0b 03 01 1f 01 0a ab 7f ff

[Transfer device](#) [Send download](#) [Edit device](#)

Device Details / A84041C7935CC086

Name	Transmisior LoraWAN
Device Template	No Device Template Linked
Battery	100%
ADR	Enabled
Description	No description
EUI	A84041C7935CC086 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
JoinEUI	A840410000000100 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
DevAddr	303FF180 big endian (use by default)
DevAddr	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
Last Join	Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Last Uplink RF Parameters

Last Seen	Aug 17, 2025, 12:38:14 PM
RSSI	-111.00 dBm
SNR	7.50 dB
Frequency	915.200 MHz
SF	7
Bandwidth	125 kHz
Gateway	7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateway received data

FCntUp	Time	Port	Data
77	a few seconds ago	2	cc 47 0b de 02 5f 01 09 e9 7f ff

[Transfer device](#) [Send download](#) [Edit device](#)

Device Details / A84041C7935CC086

Name	Transmisior LoraWAN
Device Template	No Device Template Linked
Battery	100%
ADR	Enabled
Description	No description
EUI	A84041C7935CC086 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
JoinEUI	A840410000000100 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
DevAddr	303FF180 big endian (use by default)
DevAddr	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
Last Join	Aug 18, 2025, 3:17:33 PM

Last Uplink RF Parameters

Last Seen	Aug 17, 2025, 12:58:12 PM
RSSI	-94.00 dBm
SNR	7.20 dB
Frequency	915.600 MHz
SF	7
Bandwidth	125 kHz
Gateway	7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateway received data

FCntUp	Time	Port	Data
78	a few seconds ago	2	cc 48 0b be 00 77 01 0b a5 7f ff

[Transfer device](#) [Send download](#) [Edit device](#)

Device Details / A84041C7935CC086

Name	Transmisior LoraWAN
Device Template	No Device Template Linked
Battery	100%
ADR	Enabled
Description	No description
EUI	A84041C7935CC086 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
JoinEUI	A840410000000100 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
DevAddr	303FF180 big endian (use by default)
DevAddr	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
Last Join	Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Last Uplink RF Parameters

Last Seen	Aug 17, 2025, 1:27:18 PM
RSSI	-111.00 dBm
SNR	5.20 dB
Frequency	915.800 MHz
SF	7
Bandwidth	125 kHz
Gateway	7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateway received data

FCntUp	Time	Port	Data
81	a few seconds ago	2	cc 44 0b 30 01 06 01 0b 54 7f ff

[Transfer device](#) [Send download](#) [Edit device](#)

Device Details / A84041C7935CC086

Name	Transmisior LoraWAN
Device Template	No Device Template Linked
Battery	100%
ADR	Enabled
Description	No description
EUI	A84041C7935CC086 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
JoinEUI	A840410000000100 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
DevAddr	303FF180 big endian (use by default)
DevAddr	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
Last Join	Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Last Uplink RF Parameters

Last Seen	Aug 17, 2025, 1:51:22 PM
RSSI	-119.00 dBm
SNR	-7.00 dB
Frequency	915.200 MHz
SF	7
Bandwidth	125 kHz
Gateway	7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateway received data

FCntUp	Time	Port	Data
85	7 minutes ago	2	cc 48 0b 4f 01 1c 01 0b 54 7f ff

[Transfer device](#) [Send download](#) [Edit device](#)

Device Details / A84041C7935CC086

Name	Transmisior LoraWAN
Device Template	No Device Template Linked
Battery	100%
ADR	Enabled
Description	No description
EUI	A84041C7935CC086 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
JoinEUI	A840410000000100 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
DevAddr	303FF180 big endian (use by default)
DevAddr	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
Last Join	Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Last Uplink RF Parameters

Last Seen	Aug 17, 2025, 3:39:10 PM
RSSI	-93.00 dBm
SNR	11.20 dB
Frequency	915.400 MHz
SF	10
Bandwidth	125 kHz
Gateway	7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateway received data

FCntUp	Time	Port	Data
3	a few seconds ago	2	cc 3c 0a 95 01 11 01 0b 73 7f ff

[Transfer device](#) [Send download](#) [Edit device](#)

Device Details / A84041C7935CC086

Name	Transmisior LoraWAN
Device Template	No Device Template Linked
Battery	100%
ADR	Enabled
Description	No description
EUI	A84041C7935CC086 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
JoinEUI	A840410000000100 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
DevAddr	303FF180 big endian (use by default)
DevAddr	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
Last Join	Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Last Uplink RF Parameters

Last Seen	Aug 17, 2025, 4:36:10 PM
RSSI	-118.00 dBm
SNR	-10.20 dB
Frequency	916.600 MHz
SF	10
Bandwidth	125 kHz
Gateway	7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateway received data

FCntUp	Time	Port	Data
7	a few seconds ago	2	cc 3a 0a 28 01 32 01 07 15 7f ff

[Transfer device](#) [Send download](#) [Edit device](#)

Device Details / A84041C7935CC086

Name	Transmisior LoraWAN
Device Template	No Device Template Linked
Battery	100%
ADR	Enabled
Description	No description
EUI	A84041C7935CC086 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
JoinEUI	A840410000000100 big endian (use by default)
JoinEUI	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
DevAddr	303FF180 big endian (use by default)
DevAddr	little endian (for LoRaWANv0 non-compliant devices)
Last Join	Aug 16, 2025, 3:17:33 PM

Last Uplink RF Parameters

Last Seen	Aug 17, 2025, 12:07:21 PM
RSSI	-94.00 dBm
SNR	9.80 dB
Frequency	916.200 MHz
SF	7
Bandwidth	125 kHz
Gateway	7076FFFFF0551D2

Last data (10 latest records)*

*Data can be received from any gateway on the server with community access enabled. This may not correspond with the time your gateway received data

FCntUp	Time	Port	Data
73	a few seconds ago	2	cc 47 0b ed 01 12 01 0a 10 7f ff

[Transfer device](#) [Send download](#) [Edit device](#)

Implementación de Nodos LoRaWAN - Pruebas en Campo

Andahuaylas, Apurímac – Agosto 2025

