

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Mecánica



TESIS

Diseño de un nuevo alimentador en 22 kV para mejorar la caída de tensión conforme a la NTCSE en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba, Huancavelica.

Para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

Elaborado por

Carlos Jesús Celis Dávila

 [0009-0001-2748-3677](https://orcid.org/0009-0001-2748-3677)

Asesor

Dr. Bernabé Alberto Tarazona Bermudez

 [0000-0002-0960-448X](https://orcid.org/0000-0002-0960-448X)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	(Celis, 2025)
Referencia/Reference	Celis, C. (2025). <i>Diseño de un nuevo alimentador en 22 kV para mejorar la caída de tensión conforme a la NTCSE en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba, Huancavelica</i> . [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Dedico este logro en primer lugar a Dios que me acompaña en cada paso y a mis padres José y Delina, que son mi motivación y mi sustento para no rendirme y seguir adelante.

Agradecimientos

Agradezco a la empresa PRICONSA por darme los conocimientos técnicos para el desarrollo de la presente tesis, a Miguel Renteria y Fernando Angeles, mis amigos de esta misma por las enseñanzas, al MSc. Ing. Daniel Rojas Cama y al Dr. Bernabé Tarazona por haber confiado en mi compromiso para la realización de la presente tesis.

Resumen

El presente trabajo se desarrolla con la finalidad de mejorar la caída de tensión del sistema eléctrico Lircay-Acobamba en el departamento de Huancavelica, diseñando un nuevo alimentador A4124NU en 22 kV. En primer lugar, se realizó un diagnóstico de la caída de tensión de los diferentes centros poblados que abarca el alimentador A4124, donde se observa que la caída de tensión que oscila entre 10% y 20% en diferentes centros poblados que se contrapone a la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos Rurales que manifiesta que debe ser hasta 6% en media tensión.

Se evalúa la implementación del alimentador en un horizonte de 20 años, además de evaluar 4 contingencias en el último año de evaluación del horizonte considerado (2044).

Los resultados muestran que con el alimentador A4124NU la caída de tensión mejora lo suficiente para cumplir con la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos Rurales, que indica que debe ser menor a 6%, lo cual se cumple en todos los ramales de los centros poblados estudiados, en los 10 años iniciales del horizonte considerado, sin ningún otro equipo adicional.

Para el correcto funcionamiento en los últimos 10 años del horizonte considerado y según el análisis de contingencia se propone la instalación en el año 10 (2034) de un banco de reguladores de tensión-BRT en Huayllay Chico, y un banco de condensadores fijo- BCF de 300 kVAR, en Lircay y en Ccochaccasa y al año 15 (2039) un banco de condensadores fijo de 150 kVAR.

Palabras clave — Alimentador eléctrico, Distribución, Caída de tensión, Diseño eléctrico.

Abstract

The present thesis is developed with the purpose of improving the voltage drop of the Lircay–Acobamba electrical system in the department of Huancavelica by designing a new 22 kV feeder, A4124NU. First, a diagnostic assessment was carried out regarding the voltage drop in the different population centers supplied by the A4124 feeder. The results show voltage drop values ranging from 10% to 20% in several localities, which contradict the Rural Electric Service Quality Technical Standard (NTCSER), which establishes that voltage drop in medium-voltage networks must not exceed 6%.

The implementation of the new feeder is evaluated over a 20-year planning horizon, along with the assessment of four contingencies in the final year considered (2044).

The results show that with the A4124NU feeder, the voltage drop is sufficiently improved to comply with the Rural Electric Service Quality Technical Standard, which requires that voltage drop remain below 6%. This condition is met across all branches supplying the studied population centers during the first 10 years of the planning horizon, without the need for additional equipment.

For proper operation in the last 10 years of the planning horizon, and based on contingency analysis, the installation in year 10 (2034) of a voltage regulator bank (BRT) in Huayllay Chico is proposed, along with a 300 kVAR fixed capacitor bank (FCB) in Lircay and Ccochaccasa, and in year 15 (2039) an additional 150 kVAR fixed capacitor bank.

Keywords — Electrical feeder, Distribution, Voltage drop, Electrical design.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VI
INTRODUCCIÓN	XV
CAPÍTULO I. PROTOCOLO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1 Antecedentes de la Investigación	1
1.2 Identificación y descripción del problema de investigación.....	7
1.3 Formulación del problema.....	8
1.3.1 Problema general.....	8
1.3.2 Problemas específicos	8
1.4 Justificación e importancia	9
1.5 Objetivos.....	10
1.5.1 Objetivo general.....	10
1.5.2 Objetivos específicos	10
1.6 Hipótesis de la investigación	10
1.6.1 Hipótesis principal.....	10
1.6.2 Hipótesis específicas	10
1.7 Variables y Operacionalización de variables	12
1.8 Marco metodológico	13
1.8.1 Unidad de Análisis	13
1.8.2 Tipo, enfoque, diseño y nivel de investigación	13
1.8.2.1 Tipo de Investigación	13
1.8.2.2 Nivel de investigación	13
1.8.2.3 Enfoque y diseño de la investigación	13
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN	14
2.1 Caída de tensión en redes de media tensión	14
2.2 Indicadores de calidad del Sistema, SAIDI -SAIFI.....	15
2.3 Diseño de alimentador eléctrico en media tensión	18

2.3.1	Análisis de la demanda eléctrica	19
2.3.2	Fundamentos técnicos y normativos diseño eléctrico	20
2.3.2.1	Norma DGE Bases para diseños de Líneas y Redes Primarias para electrificación rural (RD 018-2003-EM/DGE).....	20
2.3.2.2	Norma DGE Especificaciones técnicas de soportes normalizados para Líneas y Redes Primarias para Electrificación rural (RD 024-2003-EM/DGE).....	21
2.3.2.3	Norma DGE Especificaciones técnicas para el suministro de materiales y equipos de Líneas y Redes Primarias para Electrificación rural (RD N° 026-2003-EM/DGE).	22
2.3.3	Componentes del sistema eléctrico en media tensión.....	22
2.3.3.1	Subestación de distribución	22
2.3.3.2	Alimentador eléctrico	24
2.3.4	Topología de la red de distribución	24
2.3.4.1	Red Radial.....	24
2.3.4.2	Red en Anillo	25
2.3.5	Selección de ruta óptima.....	26
2.3.6	Selección del conductor, armados y sus componentes	27
2.3.7	Equipamiento eléctrico de protección y maniobra	29
2.3.7.1	Recloser	29
2.3.7.2	Seccionador Bajo Carga	29
2.3.7.3	Seccionalizadores.....	30
2.3.7.4	Seccionador Cut Out Fusible	30
2.3.7.5	Banco de Condensadores	30
2.3.7.6	Banco Regulador de Tensión.....	30
2.3.8	Análisis del sistema eléctrico	31
2.3.8.1	Digsilent PowerFactory y su método de cálculo	31
2.4	Marco conceptual.....	31
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN		33

3.1	Recopilación de la Información	33
3.1.1	Trabajo de campo	33
3.1.1.1	Estructuras del alimentador A4124	33
3.1.1.2	Calicatas.....	38
3.1.1.3	Resistividades	40
3.1.2	Demanda y Oferta eléctrica	51
3.1.3	Características ambientales:.....	52
3.2	Diagnóstico de la caída de tensión de los alimentadores existentes	54
3.3	Análisis de la ruta del alimentador A4124NU	56
3.4	Análisis de la demanda	57
3.4.1	Tasa de Crecimiento Promedio de Clientes	57
3.4.2	Tasa de Crecimiento de Energía del Alimentador A4124	59
3.4.3	Tasa de Crecimiento de Potencia del Alimentador A4124.....	60
3.4.4	Estimación de la Oferta.....	64
3.4.5	Determinación de la brecha Oferta Demanda	64
3.5	Análisis del sistema eléctrico en condiciones normales	65
3.5.1	Análisis Año 1 (2025):.....	67
3.5.2	Análisis Año 10 (2034):.....	69
3.5.3	Análisis Año 20 (2044):.....	72
3.6	Análisis del sistema eléctrico en contingencias	74
3.6.1	Contingencia 1: Salida de LP Ingenio-Ccochaccasa	74
3.6.2	Contingencia 2: Salida de LP Ingenio-Rumichaca.....	76
3.6.3	Contingencia 3: Salida de LP Huayllay Grande- Bellavista	77
3.6.4	Contingencia 4: Salida de LP Ccochaccasa- Vista Alegre.....	78
3.7	Análisis de cortocircuito.....	80
3.8	Equipamiento del nuevo alimentador	84
3.8.1	Definición de armados de las Líneas Primarias-LP	84
3.8.2	Definición de los armados de Redes Primarias-RP	85

3.8.3	Definición y Ubicación del Equipos de protección eléctrica	85
3.9	Análisis del SAIDI y SAIFI	87
3.10	Evaluación Económica	89
3.10.1	Metrado y Valor Referencial	89
3.10.2	Evaluación privada y social	90
3.10.3	Análisis de Sostenibilidad	91
3.10.4	Análisis de Sensibilidad	92
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS		
.....		94
4.1	Análisis de los resultados de la investigación	94
4.2	Contrastación de hipótesis formuladas	95
CONCLUSIONES		97
RECOMENDACIONES.....		99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		100
ANEXOS		103

Lista de Figuras

Figura 1: Participación de la Energía Eléctrica disponible	7
Figura 2: Resultado de las mediciones de nivel de tensión 2016.....	15
Figura 3: Indicadores SAIDI – SAIFI 2016.....	18
Figura 4: Subestación Ingenio, Huancavelica.....	23
Figura 5: Red radial.....	25
Figura 6: Red en anillo	26
Figura 7: Armado tipo triangular	28
Figura 8: Armado tipo bandera	28
Figura 9: Estructura N°1 del alimentador A4124.....	34
Figura 10: Estructura N°2 del alimentador A4124.....	34
Figura 11: Estructura N°3 del alimentador A4124.....	35
Figura 12: Estructura N°4 del alimentador A4124.....	35
Figura 13: Estructura N°5 del alimentador A4124.....	36
Figura 14: Estructura N°6 del alimentador A4124.....	36
Figura 15: Estructura N°7 del alimentador A4124.....	37
Figura 16: Estructura N°8 del alimentador A4124.....	37
Figura 17: Calicata 1	38
Figura 18: Calicata 2	39
Figura 19: Calicata 3	39
Figura 20: Calicata 4	40
Figura 21: Resistividad 2, medición a 2m-1 (79.7 ohm – m).....	43
Figura 22: Resistividad 2, medición a 2m-2 (79.7 ohm – m).....	43
Figura 23: Resistividad 2, medición a 4m-1 (50.3 ohm -m).....	44
Figura 24: Resistividad 2, medición a 4m-1 (50.3 ohm -m).....	44
Figura 25: Resistividad 2, medición a 6m-1 (48 ohm -m).....	45
Figura 26: Resistividad 2, medición a 6m-2 (48 ohm -m).....	45
Figura 27: Resistividad 2, medición a 8m-1 (56.8 ohm -m).....	46

Figura 28: Resistividad 2, medición a 8m-2 (56.8 ohm – m).....	46
Figura 29: Resistividad 12, medición a 2m-1 (165.4 ohm -m).....	47
Figura 30: Resistividad 12, medición a 2m-2 (165.4 ohm -m).....	47
Figura 31: Resistividad 12, medición a 4m-1 (202 ohm -m).....	48
Figura 32: Resistividad 12, medición a 4m-2 (202 ohm -m).....	48
Figura 33: Resistividad 12, medición a 6m-1 (185.3 ohm -m).....	49
Figura 34: Resistividad 12, medición a 6m-2 (185.3 ohm -m).....	49
Figura 35: Resistividad 12, medición a 8m-1 (164.4 ohm -m).....	50
Figura 36: Resistividad 12, medición a 8m-2 (164.4 ohm -m).....	50
Figura 37: Estaciones Meteorológicas dentro del área de influencia	53
Figura 38: Modelado de la Línea y Red Primaria en Power Factory Digsilent.....	54
Figura 39: Gráfico de proyección de crecimiento de clientes.....	58
Figura 40: Gráfico de proyección de crecimiento de energía activa.....	60
Figura 41: Gráfico de proyección de crecimiento de Máxima Demanda.	61
Figura 42: Modelado de la red proyectada en Digsilent.	66
Figura 43: Modelado del año 1 en Digsilent.....	67
Figura 44: Ramales de la red proyectada Año 1.....	68
Figura 45: Modelado del Año 10 en Digsilent.	70
Figura 46: Caída de Tensión cercana a los ramales en el año 10.	70
Figura 47: Caída de tensión con equipos implementados.	71
Figura 48: Modelado del año 20 en Digsilent.....	72
Figura 49 Caída de Tensión cercana a los ramales en el año 20	73
Figura 50 Caída de tensión con equipos implementados	73
Figura 51 Análisis de Contingencia 1	75
Figura 52 Análisis de Contingencia 2	76
Figura 53: Análisis de Contingencia 3	77
Figura 54: Análisis de Contingencia 4	79
Figura 55: Método utilizado en el Digsilent	80

Lista de Tablas

Tabla 1: Tolerancias SAIFI y SAIDI	17
Tabla 2: Datos de Calicatas	38
Tabla 3: Resumen de Medición de Puestas a tierra	41
Tabla 4: Demanda de Energía del alimentador A4124	51
Tabla 5: Información ambiental de la zona de estudio	53
Tabla 6: Diagnóstico de caída de tensión	55
Tabla 7: Número de clientes 2018-2022.....	58
Tabla 8: Tasa de Crecimiento anual de Clientes del SE Huancavelica Rural	59
Tabla 9: Consumo de Energía 2019-2022.....	59
Tabla 10: Tasa de Crecimiento de Energía Activa	60
Tabla 11: Máximas Demandas de Potencia Anual	61
Tabla 12: Tasa de Crecimiento Anual de la Máxima Demanda de Potencia.....	62
Tabla 13: Factibilidades de Suministro	62
Tabla 14: Proyección de la Energía Activa	63
Tabla 15: Proyección de la Demanda de Potencia	64
Tabla 16: Brecha Oferta-Demanda.....	65
Tabla 17: Caída de Tensión en Condiciones Normales-Año 1	69
Tabla 18: Caída de Tensión en Condiciones Normales-Año 10	72
Tabla 19: Caída de Tensión de Tensión en Condiciones Normales-Año 20	74
Tabla 20: Caída de Tensión Contingencia 1.....	75
Tabla 21: Caída de Tensión Contingencia 2.....	77
Tabla 22: Caída de Tensión Contingencia 3.....	78
Tabla 23: Caída de Tensión Contingencia 4.....	79
Tabla 24: Análisis de cortocircuito Año 1 (2025).....	81
Tabla 25: Análisis de cortocircuito Año 10 (2034).....	81
Tabla 26: Análisis de cortocircuito Año 20 (2044).....	82
Tabla 27: Análisis de cortocircuito Contingencia 1	82

Tabla 28: Análisis de cortocircuito Contingencia 2	83
Tabla 29: Análisis de cortocircuito Contingencia 3	83
Tabla 30: Análisis de cortocircuito Contingencia 4	84
Tabla 31: BIL Típico	85
Tabla 32: SAIDI y SAIFI alimentador A4124.....	87
Tabla 33: Motivos de fallas comunes 2018-2022 del alimentador A4124	88
Tabla 34: Presupuesto de suministro	89
Tabla 35: Presupuesto de montaje.....	90
Tabla 36: Resumen General del alimentador	90
Tabla 37: Evaluación privada y social	91
Tabla 38: Análisis de Sostenibilidad	91
Tabla 39: Análisis de Sensibilidad	92

Introducción

Esta Tesis, comprende cuatro capítulos, los cuales han sido desarrollados con información recopilada en campo, referencias bibliográficas y estudios hechos en gabinete. El desarrollo de este tema de investigación muestra el estudio realizado destinado a mejorar la caída de tensión del alimentador de Lircay, Acobamba y zonas aledañas en Huancavelica, para esto se utiliza información de campo del alimentador A4124 e información brindada por la concesionaria Electrocentro para definir de forma correcta la problemática del sistema eléctrico de la zona.

En el Primer Capítulo, se precisa el Protocolo de la Investigación, se describe el problema de investigación el objetivo general y objetivos específicos y se exponen antecedentes investigativos internacionales y nacionales de estudios, investigaciones y/o tesis de mejora de la calidad de servicio eléctrico en diferentes aplicaciones en media tensión.

Por otro lado, en el Segundo Capítulo se desarrolla el fundamento teórico, en el cual se desarrollan conceptos que nos ayudan a comprender la presente tesis, se explica cierta normativa, y descripción de algunos equipos utilizados en el desarrollo de la presente tesis.

En el Tercer Capítulo se da el desarrollo de la investigación, en primer lugar, muestra la recopilación de información realizada como el trabajo de campo como datos de calicatas y se muestra algunos postes existentes de alimentador A4124, también se hace el diagnóstico de caída de tensión de diferentes zonas del lugar estudiado en Huancavelica. Posteriormente, se analiza la ruta del alimentador, se proyecta la demanda, y con estos datos, se obtienen del modelado, los resultados de caída de tensión en los diferentes ramales implementado el nuevo alimentador, a través del software Power Factory Digsilent en el horizonte del proyecto, para demostrarla mejora de la caída de tensión. Además, se presenta el valor referencial de la implementación del alimentador.

En el Cuarto Capítulo se realiza el análisis y discusión de resultados del diseño del alimentador A4124NU, según los objetivos e hipótesis plantados en la investigación.

Finalmente se expone las Conclusiones, Recomendaciones y la Referencia Bibliográfica utilizada para la elaboración de la presente Tesis.

Además, para el mejor entendimiento y sustento de la presente tesis se presentan los Anexos que incluyen planos, cálculos mecánicos de conductor y cálculo mecánico de estructuras.

Capítulo I. Protocolo de la Investigación

1.1 Antecedentes de la Investigación

Mehmet¹ (2020), planteó como objetivo evaluar y mejorar la confiabilidad de un sistema de distribución eléctrica mediante la integración de sistemas de almacenamiento de energía (ESS, por sus siglas en inglés) en diferentes configuraciones de red, el autor busca identificar la configuración óptima con la cual pueda obtener mejores índices de confiabilidad, utilizando datos históricos y configuraciones.

El tipo de investigación es aplicada, dado que usa simulaciones computacionales basadas en datos reales. Primero se selecciona una parte representativa de una red de distribución, se estudian los índices estándar SAIFI (Índice de Frecuencia de Interrupción Promedio del Sistema), SAIDI (Índice de Duración de Interrupción Promedio del Sistema), CAIDI (Índice de Duración Promedio de Interrupción por Cliente), ASAI (Índice de Disponibilidad Promedio del Sistema) y ENS (Energía No Suministrada), en 4 configuraciones con diferentes ubicaciones de ESS y esquemas de conmutación, usando el software Digsilent.

Los resultados del investigador muestran que en la configuración B, donde el ESS ubicado aguas arriba y cerca del punto de falla, es el que mejora significativamente los valores de SAIDI y ENS, y la configuración, donde el ESS está ubicado de forma centralizada y alejada de las cargas críticas, presenta los peores índices de confiabilidad.

Mehmet concluyó que la integración estratégica de ESS en la red de distribución puede mejorar significativamente la confiabilidad del sistema. Esto es, la configuración de la red y la ubicación de los ESS son factores críticos y una planificación óptima puede reducir las interrupciones y la energía no suministrada.

¹ Mehmet Ridâ Tur (2020): Artículo científico: "Reliability Assesment of Distribution Power System When Considering Energy Storage Configuration Technique", Karabuk University, Turquía, Publicado en IEEE Acces. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9078068>

El presente estudio aporta a la presente tesis para comprender mejor diferentes parámetros de confiabilidad como el SAIDI y SAIFI para diversas configuraciones a través de un software especializado.

Mohammed & Mustafa² (2017) formularon como objetivo de su investigación evaluar y comparar la confiabilidad de redes de distribución en configuración de anillo abierto (open-ring) y anillo cerrado (closed-ring) utilizando el criterio de pérdida total de continuidad (TLOC). Ellos desarrollan un tipo investigación aplicada y cuantitativa, con simulaciones en un sistema de prueba de 6 nodos.

Los resultados muestran que el SAIFI disminuyó de 1.804 (open- ring) a 0.0003 (closed – ring), el SAIDI se redujo de 2.17 h/año a 0.0006 h/año, también se mostraron mejoras en los parámetros ENS, disminuyendo de 47.55 MWh/año a 13.7 kWh/año y ASAI mejora de 0.9997523 a 0. 99999999.

Según los descrito concluyen que la configuración de anillo cerrado mejora significativamente la confiabilidad del sistema, reduciendo interrupciones y energía no suministrada. Sin embargo, requiere sistemas de protección y control más complejos.

La presente investigación aporta a la presente tesis el clarificar los conceptos de anillo abierto y anillo cerrado, conceptos utilizados en la presente tesis al definir el nuevo alimentador, para poder usar un tramo normalmente abierto como anillo en contingencia.

Rodriguez³ (2023) propuso como objetivo diseñar una red de suministro eléctrico en media tensión en 22,9 kV para el caserío El Llimbe, Cajamarca, utilizando el software DLT CAD.

² Mohammed Wadi, Mustafa Baysal, Abdulfetah Shobole (2017), Artículo científico: "Comparison between Open-Ring and Closed-Ring Grids Reliability", Yildiz Technical University, Turquía. Publicado en International Journal of Engineering Research and Development (IJERD). Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Mohammed-Wadi/publication/317390911_Comparison_between_open-ring_and_closed-ring_grids_reliability/links/5c2f14e5299bf12be3ab84a8/Comparison-between-open-ring-and-closed-ring-grids-reliability.pdf

³ Rodriguez Barrionuevo, Anthony Arquimedes (2023), Tesis: "Estudio e implementación de software DLT CAD para el diseño de una red primaria en media tensión 22.9 kV", Universidad de Piura, Perú. Publicado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Piura. Disponible en: <https://pirhua.udep.edu.pe/item/56fb4538-588c-45c4-bf24-64b54dc21009>

El tipo de investigación es del tipo aplicada con enfoque en diseño y simulación de redes eléctricas.

Como procedimiento primero se realiza la recolección de datos topográficos y eléctricos del área, se modela la red en DLT CAD, finalmente se realiza la simulación y análisis del flujo de carga y caída de tensión.

Los resultados muestran el diseño de la red primaria eficiente y conforme a normativas y edificación de puntos críticos y optimización del trazado de la red.

Rodriguez concluye que el DLT CAD facilitó el diseño de la red eléctrica adecuada para el caserío, mejorando la planificación y reduciendo posibles errores en la implementación.

La tesis descrita nos recuerda que antes de realizar el diseño del alimentador se debe realizar el análisis de la zona de estudio, así como la presente tesis obtiene esta información a través de la página del Senamhi y se expone el resumen de las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de donde se contemplaría el nuevo alimentador.

Mateo⁴ (2017), expone como objetivo rediseñar el alimentador 212 Sechura – Monsefú para mejorar la calidad de servicio eléctrico en la zona. El tipo de investigación es aplicada.

El procedimiento seguido inicia con la evaluación del estado actual del alimentador, en segundo lugar, se tiene la identificación de deficiencias y puntos de mejor. Por último, presenta la propuesta de rediseño con mejoras técnicas y económicas.

Los resultados de la investigación muestran mejora en la confiabilidad y capacidad del alimentador y reducción de pérdidas técnicas y mejora en la calidad del suministro.

La tesis expuesta nos da una mejor idea de cómo se puede modificar el trazado de un alimentador para mejorar la calidad de servicio eléctrico lo cual sirve al momento de trazar la ruta del nuevo alimentador propuesto en la presente tesis.

⁴ Mateo Pacherrres, Jorge Luis (2017), Tesis: "Rediseño del Alimentador - 212 Sechura - Monsefú para mejorar el servicio eléctrico Monsefú - 2017", Universidad Cesar Vallejo, Perú. Publicado en repositorio UCV. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32421>

El autor concluye que el rediseño propuesto optimiza el funcionamiento del alimentador beneficiando a los usuarios con un servicio más confiable y eficiente.

Gutiérrez⁵ (2018) planteó como objetivo el mejorar el sistema eléctrico de Huancayo mediante la ampliación de la red primaria trifásica en 10 kV, promoviendo el uso productivo de la energía eléctrica.

El tipo de investigación es aplicada con enfoque en planificación y diseño de redes eléctricas, la investigación se enfocó en describir y analizar el comportamiento del sistema eléctrico actual y proponer mejoras basadas en la normativa.

Gutierrez evaluó el análisis de la demanda eléctrica actual y futura, luego realizó el diseño de la ampliación de la red trifásica conforme al Código Nacional de Electricidad. Finalmente, la evaluación de la capacidad de la red para soportar cargas productivas.

Los resultados muestran la existencia de un porcentaje significativo de potencia disponible para cubrir la demanda de futuros clientes que podrían aplicar cargas de uso productivo de la energía eléctrica. También se muestra que la diferencia de potencia existente es suficiente para cubrir el suministro sin necesidad de ampliar la potencia eléctrica de las subestaciones de distribución, en referencia a los transformadores de distribución que se usan y a las dimensiones de las redes tanto primarias como secundarias.

El autor concluye que la ampliación de la red primaria trifásica a 10 kV es una solución viable y efectiva para mejorar el sistema eléctrico de Huancayo, promoviendo el uso productivo de la energía eléctrica. Por otro lado, la infraestructura existente, incluyendo subestaciones y transformadores, tiene la capacidad suficiente para soportar la ampliación propuesta sin necesidad de incrementar la potencia instalada.

⁵ Gutiérrez Suárez, Miguel Ángel (2018): Tesis: "Mejoramiento del sistema eléctrico Huancayo mediante la ampliación de la red trifásica en 10 kV según el Código Nacional de Electricidad", Universidad Continental, Perú. Publicado en el Repositorio Institucional de la Universidad Continental. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4985>

Esta tesis aporta al presente trabajo de investigación a dar más ejemplos de cómo se puede mejorar el sistema eléctrico tomando en cuenta el código nacional de electricidad y que será citado en el fundamento teórico.

Roman⁶ (2020), propone como objetivo reducir los índices de confiabilidad IEEE (SAIFI, SAIDI, CAIFI, CAIDI) mediante la ubicación óptima de recloser en el alimentador A4027. El tipo de investigaciones aplicada utilizando simulaciones y programación en DigSILENT PowerFactory

El procedimiento seguido por el autor se sintetiza en recolección de datos de fallas del alimentador A4027, simulación del sistema en DigSILENT PowerFactory, y programación en DigSILENT para automatizar y optimizar la ubicación de los reconectores de la red eléctrica.

Los resultados muestran que el SAIFI se reduce en un 61.22% y la reducción del SAIDI en un 61.54%, lo cual representa una mejora significativa en la confiabilidad del sistema.

Se concluye que la ubicación estratégica de reclosers mejora notablemente la confiabilidad del sistema eléctrico, cumpliendo con los estándares IEEE y beneficiando a los usuarios finales.

La investigación aporta a la presente tesis la consolidación de conocer como la ubicación correcta de los equipos de protección como el recloser pueden ayudar a reducir los parámetros de confiabilidad de suministro como el SAIDI y SAIFI, lo que también se quiere lograr en la presente tesis.

⁶ Román Révolo, José Luis (2020): Tesis: "Reducción de índices de confiabilidad IEEE con ubicación óptima de Reclosers del alimentador A4027 de San Francisco Ayacucho Electrocentro", Universidad Nacional del Centro del Perú, Perú. Publicado en el Repositorio Institucional de la UNCP. Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6658>

Baygorrea⁷ (2019), planteó como objetivo implementar alimentadores ecológicos en líneas primarias para mejorar los indicadores de calidad de suministro eléctrico en la Amazonía peruana.

El tipo de investigación es aplicada con enfoque en sostenibilidad y eficiencia energética.

En primer lugar, la evaluación de las condiciones actuales de las líneas primarias en la Amazonía, se evalúa la implementación de alimentadores con materiales y tecnologías ecológicas. Finalmente se monitorea de los indicadores de calidad de suministro antes y después de la implementación.

Los resultados nos muestran mejoran en los indicadores de calidad de suministro como continuidad y tensión.

Baygorrea concluye que la adopción de alimentadores ecológicos es viable y beneficiosa para mejorar la calidad del suministro eléctrico en regiones sensibles como la Amazonía, promoviendo un desarrollo sostenible.

La presente tesis nos aporta el cómo la implementación de nuevas tecnologías puede ayudar a mejorar la calidad de servicio eléctrico y a su vez nos da un ejemplo de un proyecto de electrificación que nos sirve de base para la presente tesis.

⁷ Baygorrea Quicaño, Ronald Alejandro (2019): Tesis: "Implementación de alimentadores ecológicos en líneas primarias para la mejora de los indicadores de calidad de suministro en la Amazonía peruana", Universidad Nacional del Callao, Perú. Publicado en repositorio académico de la Universidad Nacional del Callao. Disponible en: Repositorio de la UNAC

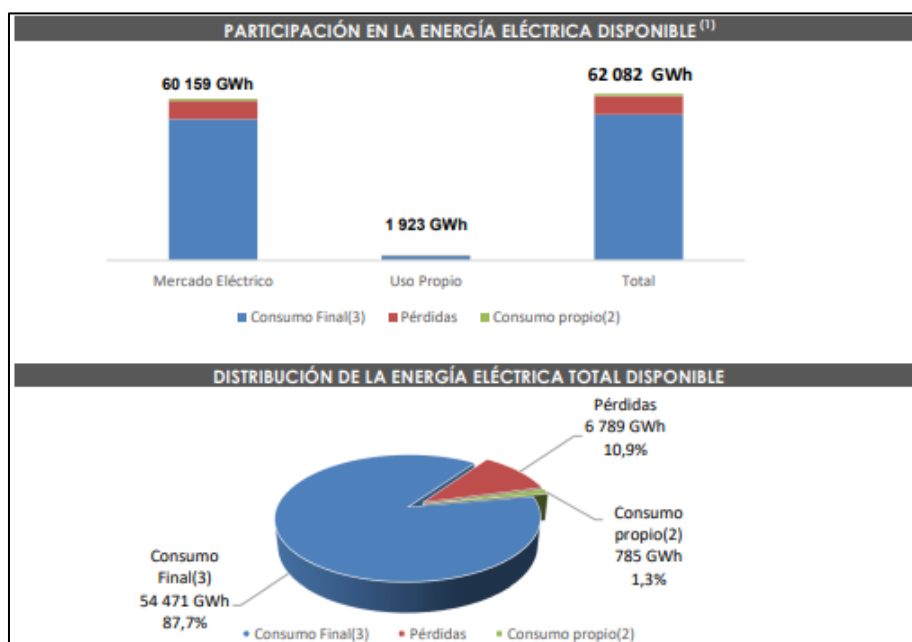
1.2 Identificación y descripción del problema de investigación

El incremento progresivo de la demanda eléctrica en el Perú es un hecho gestionable mediante una adecuada planificación técnica. Si bien los sistemas eléctricos están diseñados para atender aumentos de consumo previsibles, cuando estos exceden los rangos proyectados o no cuentan con un buen análisis de proyección, se puede comprometer la calidad del servicio eléctrico.

Según el Ministerio de Energía y Minas (2023) “Anuario Estadístico de Electricidad”, durante el año 2023, en Perú se generaron 62,069 GWh de energía eléctrica, con una importación de 24 GWh desde Ecuador. Del total generado, el 97% provino de empresas del mercado eléctrico y el 3% de empresas industriales para uso propio, destacándose las petroleras y mineras. En términos de disponibilidad total de energía, el 1.3% se destinó a servicios auxiliares, el 10.9% se perdió en transmisión y distribución, y el 87.8% llegó al consumidor final. Las pérdidas y usos específicos variaron entre las empresas del mercado eléctrico y las industriales. La energía eléctrica comercializada fue de 52,661 GWh, con el 37% en el mercado regulado y el 63% en el mercado libre (Ver figura 1).

Figura 1

Participación de la Energía Eléctrica disponible



Fuente: MINEM

Al respecto, las provincias de Lircay y Acobamba, entre otras aledañas, se vienen alimentando de la SET Ingenio 60/22/4.1 kV, 12.5/12.5/4 MVA, en el nivel de tensión de 22 kV. Cabe señalar que el sistema eléctrico en dicho nivel de tensión, desde el año 2016, viene presentando deficiencias críticas en la calidad del servicio, siendo la caída de tensión un problema que afecta a la población del lugar. Este fenómeno se manifiesta principalmente en los ramales del alimentador A4124, donde el diagnóstico realizado en gabinete reporta valores que oscilan entre 10% y 20% como por ejemplo 12.3 %, 12.8 %, 13.7% y hasta 20 % de caída de tensión en los centros poblados de Bellavista, Acobamba, Paucará y Huayllay Grande respectivamente, estos valores superan ampliamente el máximo del 6 % permitido por la Norma Técnica de Calidad del Suministro Eléctrico Rural⁸ (en adelante NTCSER) para redes de media tensión en zonas rurales, lo cual indica una situación crítica de subvoltaje que compromete la correcta operación de equipos eléctricos y sistemas productivos locales, como el uso de maquinaria agrícola, conservación de alimentos y pequeños talleres eléctricos o carpintería, que requieren un suministro eléctrico estable para su funcionamiento adecuado.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿En qué medida la caída de tensión en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba afecta el cumplimiento de los límites establecidos por la NTCSER?

1.3.2 Problemas específicos

1) ¿Cuál es el estado situacional de la caída de tensión del sistema eléctrico Lircay - Acobamba, Huancavelica?

⁸ Osinergmin (2017): “Norma Técnica de calidad de servicios eléctricos rurales”, Perú. Publicado en Plataforma del estado peruano. Disponible en: https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/PlantillaResolucionesBusqueda/Resoluci%C3%B3n-Directoral-016-2008-EM-DGE.pdf

- 2) ¿Cómo impacta la proyección de la demanda eléctrica a 20 años en el comportamiento de la caída de tensión de los alimentadores A4124 y A4124NU?
- 3) ¿Cuál es la ruta más adecuada y el calibre óptimo del conductor para el diseño del nuevo alimentador (A4124NU) en 22 kV que permita cumplir con la NTCSE en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba?
- 4) ¿Qué componentes y equipos deben considerarse para la implementación integral del nuevo alimentador (A4124NU)?

1.4 Justificación e importancia

Desde el enfoque tecnológico, el diseño de un nuevo alimentador (A4124NU) en 22kV permitirá proponer una solución técnica sustentada, adaptada a las condiciones eléctricas y normativas de la zona.

En el aspecto económico, un suministro eléctrico deficiente puede aumentar los costos de operación de pequeños negocios, generar fallas en equipos y limitar el desarrollo de actividades productivas como talleres, conservación de productos, agroindustria o sistemas de bombeo agrícola. La mejora en la estabilidad del suministro contribuirá a reducir pérdidas, optimizar el uso de equipos eléctricos o electrónicos y favorecer el crecimiento económico local.

Desde el punto de vista social, el acceso a un servicio eléctrico confiable tiene impacto directo en la calidad de vida de la población. La caída de tensión afecta servicios básicos como iluminación, telecomunicaciones, refrigeración de alimentos y conectividad educativa. Mejorar la calidad del servicio en zonas rurales promueve la inclusión energética y fortalece el acceso equitativo a servicios fundamentales para el desarrollo humano.

Por lo tanto, el presente trabajo tiene importancia estratégica para el fortalecimiento del sistema eléctrico rural en Huancavelica, integrando criterios técnicos, económicos y sociales en el proceso de planificación y diseño eléctrico sostenible.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar un nuevo alimentador (A4124NU) en 22 kV para mejorar la caída de tensión conforme a la NTCSER en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba, Huancavelica.

1.5.2 Objetivos específicos

- 1) Evaluar el estado situacional de la caída de tensión en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba, Huancavelica.
- 2) Proyectar la demanda eléctrica en el área de influencia del alimentador A4124 y el nuevo alimentador A4124NU para un horizonte de planificación de 20 años.
- 3) Seleccionar la ruta óptima y determinar el calibre técnico adecuado del conductor para el diseño del nuevo alimentador (A4124NU) en 22 kV.
- 4) Definir los componentes complementarios necesarios para la implementación del nuevo alimentador (A4124NU), como estructuras, aisladores, puesta a tierra y equipos de protección y maniobra.

1.6 Hipótesis de la investigación

1.6.1 Hipótesis principal

El diseño del nuevo alimentador en 22 kV mejorará la caída de tensión del sistema eléctrico Lircay–Acobamba, permitiendo cumplir los límites establecidos por la NTCSER.

1.6.2 Hipótesis específicas

H1: La caída de tensión actual en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba supera los límites establecidos por la NTCSER.

H2: La evaluación de la demanda eléctrica proyectada a 20 años permite analizar el comportamiento de la caída de tensión en los alimentadores A4124 y A4124NU, a su vez verificar si se mantiene dentro de los límites establecidos por la NTCSER.

H3: La selección de una ruta técnica adecuada y un conductor de calibre óptimo permitirá reducir la caída de tensión en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba.

H4: La especificación de los elementos estructurales y eléctricos del nuevo alimentador (A4124NU), como postes, puesta a tierra y equipos de protección y maniobra, garantiza condiciones adecuadas para la mejora en la caída de tensión.

1.7 Variables y Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
V.I (X): Diseño del nuevo alimentador (A4124NU) en 22kV	Formulación técnica que comprende el trazado, selección de conductor y definición de componentes eléctricos y estructurales de un alimentador en media tensión, conforme criterios eléctricos, topográficos y normativos.	Evaluado mediante análisis técnico del trazado, selección del conductor y especificación de componentes eléctricos (equipos de protección y maniobra) y estructurales (armados) validado con cálculos justificativos, y normativa vigente.	Parámetros eléctricos	a) Potencia b) Nivel de tensión c) Caída de tensión	kW, KVA kV Porcentaje
			Ruta del alimentador	Longitud del trazado	km
			Selección del conductor	Sección transversal del conductor	mm ²
			Componentes eléctricos y estructurales	Número de armados (postes y accesorios) instalados	Unidades
				Número de equipos de maniobra especificados	Unidades
V.D. (Y): Mejora de la caída de tensión conforme a la NTCSE	La mejora de la caída de tensión se define como el estado técnico en el cual el suministro es optimizado para garantizar el cumplimiento de los parámetros mínimos establecidos por la NTCSE.	Se evaluará según el cumplimiento del límite máximo de caída de tensión permitido (6 %) en redes de media tensión rurales.	Caída de tensión	Porcentaje de caída de tensión en los alimentadores A4124 (actual) y A4124NU (nuevo)	Porcentaje (%)

1.8 Marco metodológico

1.8.1 Unidad de Análisis

Las unidades de análisis de la presente investigación son el alimentador actual A4124, y el nuevo alimentador A4124NU en 22 kV.

1.8.2 Tipo, enfoque, diseño y nivel de investigación

1.8.2.1 Tipo de Investigación

La presente investigación es del tipo **aplicada**, dado que busca resolver, cómo mejorar la caída de tensión de los alimentadores en las provincias de Lircay, Acobamba y zonas aledañas de la región Huancavelica, mediante el diseño de un nuevo alimentador en 22 kV. Este estudio genera conocimiento aplicable a una situación real, contribuyendo a optimizar el desempeño del sistema eléctrico.

1.8.2.2 Nivel de investigación

La investigación es del tipo **explicativo**, porque analiza la relación causa–efecto entre el diseño del nuevo alimentador y la mejora de la caída de tensión en la zona de estudio.

1.8.2.3 Enfoque y diseño de la investigación

La investigación tiene un enfoque **cuantitativo**, dado que se basa en la obtención y análisis de resultados numéricos y medibles, como la caída de tensión y la proyección de la demanda. Asimismo, el diseño es de tipo **cuasi experimental**, ya que no se realiza una intervención directa en campo, sino que los resultados se obtienen a través de simulaciones y modelado del sistema eléctrico en el software DIgSILENT PowerFactory.

Capítulo II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Caída de tensión en redes de media tensión

La caída de tensión es uno de los parámetros eléctricos más importantes para evaluar la calidad del servicio en redes de distribución. Este fenómeno ocurre cuando existe una diferencia significativa entre la tensión nominal en el punto de suministro y la tensión que efectivamente reciben los usuarios finales, debido principalmente a la impedancia del conductor, la longitud del tramo y el nivel de carga de la red.

Según la NTCSEER “Título cuarto” para la calidad de producto se establece que el indicador para evaluar la calidad de producto es la tensión, para evaluar el mismo se realiza en un Intervalo de Medición (k) de quince (15) minutos de duración, la diferencia (ΔV_k) entre la media de los valores eficaces (RMS) instantáneos medidos en el punto de entrega (V_k) y el valor de la tensión nominal (V_N) de mismo punto⁸:

$$\Delta V_k (\%) = (V_k - V_N) / V_N \times 100\% \quad (1)$$

Está expresada en porcentaje (%)

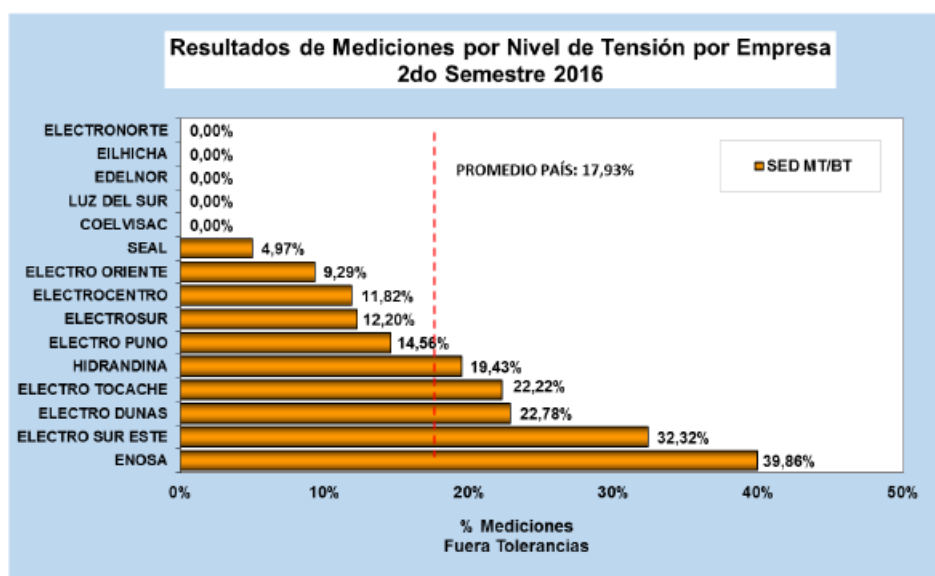
Las tolerancias admitidas son $\pm 6\%$ para media tensión (MT)

En alimentadores de gran longitud, como es el caso del alimentador A4124 en Huancavelica, la caída de tensión tiende a incrementarse considerablemente hacia los extremos del sistema, sobre todo en condiciones de alta demanda o con conductores de sección reducida. Esto no solo compromete la calidad del servicio eléctrico, sino también la seguridad y la vida útil de los equipos.

Según Osinergmin⁹ (2017) en el Perú, en promedio el 17,93% de las mediciones que realizaron en subestaciones de distribución en el Segundo Semestre 2016 presentan niveles de tensión que superan las tolerancias establecidas en la NTCSEER.

Figura 2

Resultado de las mediciones de nivel de tensión 2016



Fuente: OSINERGMIN

En la presente investigación se realizará el diseño de un alimentador en cumplimiento de los supervisado por Osinergmin.

2.2 Indicadores de calidad del Sistema, SAIDI -SAIFI

El OSINERGMIN, fiscaliza la calidad del sistema eléctrico a través de parámetros internacionales los cuales son:

El parámetro SAIDI representa la duración promedio de las interrupciones de energía eléctrica experimentadas por un cliente durante un período de tiempo determinado, generalmente expresado en minutos por cliente al año. Es decir, SAIDI mide la cantidad promedio de tiempo que un cliente está sin suministro de energía debido a interrupciones

⁹ Osinergmin (2017) Informe estadístico: "Estadísticas de la calidad del tensión, segundo semestre de 2016", Lima Perú, disponible en: <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/electricidad/calidad/NTCSEER/tension>

en el servicio. Un valor bajo de SAIDI indica una alta fiabilidad del suministro eléctrico, mientras que un valor alto indica una baja fiabilidad.

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^n t_i x U_i}{N} \quad (2)$$

Donde:

t_i : Duración de cada interrupción

U_i : Número de usuarios afectados en cada interrupción

n : Número de interrupciones del periodo

N : Número de usuarios del sistema eléctrico al final del periodo según corresponda

Por otro lado, SAIFI representa la frecuencia promedio de interrupciones de energía eléctrica experimentadas por un cliente durante un período de tiempo determinado. Se expresa típicamente en número de interrupciones por cliente al año. SAIFI mide la cantidad promedio de veces que se interrumpe el suministro eléctrico para un cliente. Al igual que SAIDI, un valor bajo de SAIFI indica una alta fiabilidad del servicio eléctrico, mientras que un valor alto indica una baja fiabilidad.

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{N} \quad (5)$$

Donde:

U_i : Número de usuarios afectados en cada interrupción

n : Número de interrupciones del periodo

N : Número de usuarios del sistema eléctrico al final del periodo según corresponda

Según RS N° 178-2012-OS/CD los valores de desempeño establecido por Osinergmin son los siguientes:

Tabla 1

Tolerancias SAIFI y SAIDI

Sector Típico	SAIFI (vec/usu- año)	SAIDI (Hrs/año)
1	3	6.5
2	5	9
3	7	12
4	12	24
5	16	40
SER	12	27

Fuente: OSINERGMIN

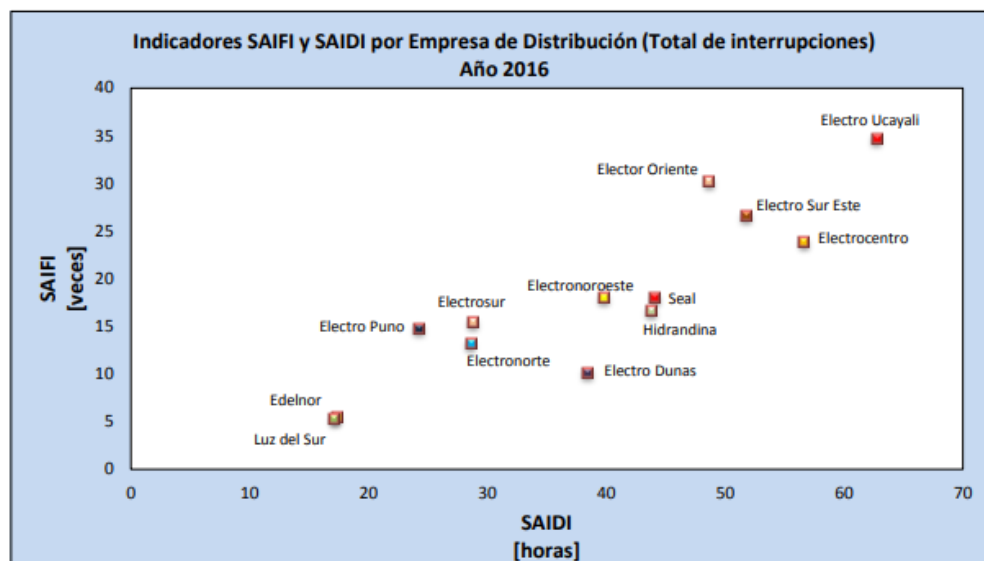
A su vez deben cumplir lo establecido por Osinergmin según el Procedimiento N° 074-2004 OS/CD “Procedimiento para la supervisión de la operación de los sistemas eléctricos”

Según Osinergmin¹⁰ (2017) se observa que la empresa Electrocentro en el año 2016 contaba en promedio con SAIDI de 58 horas y un SAIFI de 26 veces; lo cual son valores que exceden lo ordenado en la norma, sin embargo, tal como se verá en el presente estos valores pueden variar dependiendo de la zona y el alimentador evaluado.

¹⁰ Osinergmin (2017) Informe estadístico: “Estadísticas de la calidad del suministro por sistema eléctrico”, Lima Perú, disponible en:
https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/CALIDAD/NTCSE/Osinergmin-Electricidad-Estadistica-Calidad-Suministro-SE.pdf

Figura 3

Indicadores SAIDI – SAIFI 2016



Fuente: OSINERGMIN

En la presente tesis se evaluará como el alimentador podría mejorar los parámetros SAIDI y SAIFI, aunque estos no se encuentren en valores superiores al requerido.

2.3 Diseño de alimentador eléctrico en media tensión

El diseño de un alimentador eléctrico en media tensión es un proceso de planificación y evaluación técnica a través del cual se dimensiona los elementos, equipos, entre otros, considerando aspectos mecánico-eléctricos, normativos, topográficos y socioeconómicos.

Un alimentador mal diseñado puede generar pérdidas excesivas, caída de tensión fuera de norma, dificultades de mantenimiento o incluso interrupciones del suministro. Por ello, se recomienda que su diseño contemple simulaciones de carga máxima, evaluación de contingencias y estudios de regulación de tensión.

En zonas rurales como Huancavelica, con topografía accidentada y gran dispersión geográfica, el diseño de alimentadores debe ser cuidadosamente dimensionado para asegurar que los usuarios más alejados reciban tensión dentro del rango permitido. En la presente tesis el proceso incluye el análisis de la demanda eléctrica, la selección de la ruta, selección de armados, establecer equipos de protección y maniobra estratégicos, y definir

puntos de refuerzo como bancos de capacitores o reguladores de tensión en el horizonte considerado.

2.3.1 *Análisis de la demanda eléctrica*

La proyección de la demanda eléctrica constituye un elemento esencial en la planificación y diseño de sistemas de distribución eléctrica, ya que permite prever el comportamiento futuro del consumo y garantizar la capacidad del sistema en horizontes de mediano y largo plazo.

Según **Hidalgo Palomino¹¹ (2018)**, existen distintos enfoques metodológicos para realizar estas proyecciones, entre los cuales destacan los modelos econométricos, que se basan en la teoría económica y consideran variables como el crecimiento del PBI o el ingreso per cápita, y los modelos tendenciales, que proyectan la demanda en función de su crecimiento histórico. Estos últimos descansan en la premisa de que la tasa de crecimiento observada en los años anteriores se repetirá en el futuro.

En el presente trabajo se adopta el enfoque tendencial, tomando como base los registros históricos de la demanda eléctrica de Electrocentro entre 2018 y 2022. Con la tasa de crecimiento obtenida, se proyecta la energía y la demanda máxima de los centros poblados de Lircay, Acobamba y zonas aledañas para un horizonte de planificación de 20 años (2025–2044). Este procedimiento permite evaluar el comportamiento de la caída de tensión y la necesidad del nuevo alimentador A4124NU.

En zonas rurales como Lircay y Acobamba, la demanda puede estar influenciada por la migración, la incorporación de nuevos usuarios, la electrificación de centros poblados aún no atendidos y el crecimiento de actividades productivas locales (agricultura, agroindustria, manufactura artesanal). Una subestimación en la proyección compromete la capacidad del sistema y agrava problemas como la caída de tensión, mientras que una sobreestimación innecesaria eleva los costos de inversión.

¹¹ Hidalgo Palomino Fernando Guillermo (2018): Tesis de maestría: “Uso de técnicas estadísticas para determinar la proyección de las ventas de energía eléctrica del sistema interconectado Nacional”, Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú. Publicado en repositorio académico de la Universidad Nacional Federico Villarreal. Disponible en: Repositorio de la UNFV

Por tanto, la correcta estimación de la demanda eléctrica es una de las bases más importantes para el dimensionamiento del nuevo alimentador A4124NU. Este análisis permite anticipar los requerimientos de capacidad, seleccionar adecuadamente el conductor, los equipos de protección, y garantizar que el sistema funcione dentro de los límites establecidos por la NTCSE durante todo el horizonte de planificación.

2.3.2 Fundamentos técnicos y normativos diseño eléctrico

2.3.2.1 Norma DGE Bases para diseños de Líneas y Redes Primarias para electrificación rural¹² (RD 018-2003-EM/DGE).

Esta norma establece las bases para el diseño de líneas y redes primarias de electrificación rural, abordando criterios técnicos como distancias mínimas de seguridad, cálculos mecánicos del conductor, cálculos mecánicos de postes y crucetas, cálculos eléctricos, pérdida de potencia, puesta a tierra, entre otros. Además, se enfoca en asegurar que las redes minimicen riesgos y ofrezcan un servicio continuo de energía en estas áreas, considerando también un balance entre costos de implementación y operación. A continuación, resumiremos algunos capítulos de la mencionada resolución¹².

Cálculo mecánico de estructuras (postes y crucetas)

Según la norma se presenta diferentes fórmulas para determinar parámetros de cargas mecánicas en postes, como momento debido a la carga del viento sobre los conductores, momento debido a la carga de conductores, esfuerzo a la flexión en crucetas de madera, entre otras fórmulas. Además, describe características que se deben considerar de los postes de madera y concreto¹².

Cálculo mecánico de conductor

La presente norma se usa para determinar distintos parámetros relativos a los conductores de líneas y redes primarias, se recomienda en primera instancia utilizar el conductor AAAC, fabricado según las normas ASTM B398, ASTM B399 o IEC 1089, a

¹² Ministerio de Energía y Minas (2016): Norma DGE: “Bases para el diseño de líneas y redes primarias para electrificación rural”, Perú. Publicado en: Plataforma del estado peruano. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minem/informes-publicaciones/4721077-norma-dge-bases-para-el-diseno-de-lineas-y-redes-primarias-para-electrificacion-rural>

menos que sean zonas geográficas cercanas al mar donde se recomienda usar conductores de aleación de aluminio engrasados o conductor de cobre cubierta de polietileno¹².

Por otro lado, para los cálculos mecánicos definen los esfuerzos máximos en el conductor; de modo referencial como Every Day Stress (EDS) inicial y final un 18% y 15% del esfuerzo de rotura del conductor respectivamente. Se definen 6 hipótesis de estado con diferentes parámetros de temperatura, velocidad y sobrecarga de hielo¹².

Finalmente, las fórmulas consideradas son de ecuación de cambio de estado, esfuerzo del conductor en el extremo superior derecho, izquierdo, ángulo del conductor respecto a la línea horizontal en el apoyo derecho e izquierdo, vano peso, vano medio y vano equivalente entre otras fórmulas que sirven para determinar si el conductor puede soportar¹².

2.3.2.2 Norma DGE Especificaciones técnicas de soportes normalizados para Líneas y Redes Primarias para Electrificación rural¹³ (RD 024-2003-EM/DGE).

Esta norma muestra los planos de distintos soportes normalizados para líneas y redes primarias para la electrificación rural. Podemos observar los soportes de suspensión, para ángulos de 0° a 5°, soporte de suspensión ángulo 5° a 30°, soporte de ángulo 30° a 60°, soporte ángulo 60° a 90°, soportes de retención o anclaje y soporte terminal, todos estos tipos de armados para diferentes configuraciones como monofásico, bifásico o trifásico con neutro entre otras¹³.

Además, hay planos de soportes para equipos de protección eléctrica como los recloser, seccionadores o subestaciones de distribución, también tableros de distribución y a su vez diferentes algunos elementos como aisladores, accesorios metálicos, retenidas, y detalles de puesta a tierra¹³.

¹³ Ministerio de Energía y Minas (2022): Norma DGE: "Especificaciones técnicas de soportes normalizados para Líneas y Redes Primarias para Electrificación rural", Perú. Publicado en: Plataforma del estado peruano. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/3583423-370-2022-minem-dm>

2.3.2.3 Norma DGE Especificaciones técnicas para el suministro de materiales y equipos de Líneas y Redes Primarias para Electrificación rural¹⁴ (RD N° 026-2003-EM/DGE).

Esta norma define las especificaciones técnicas para el suministro de materiales y equipos utilizados en la construcción de líneas y redes primarias en áreas rurales. Se enfoca en garantizar la calidad de los materiales eléctricos, asegurar su compatibilidad con las normativas de diseño, y detallar los procedimientos de pruebas y certificación necesarios. Además, incluye lineamientos sobre el embalaje, transporte y almacenamiento para asegurar que los materiales y equipos lleguen en condiciones óptimas al lugar de instalación¹⁴.

De estos podemos referenciar las especificaciones técnicas los postes de concreto armado, las crucetas y brazos de madera, los aisladores poliméricos tipo suspensión, conductores de aleación de aluminio, accesorios para retenidas y material para puesta a tierra¹⁴.

También especifican algunos equipos de protección eléctrica como recloser, seccionalizadores, tableros de distribución, equipos de proyección, control y elementos de conexión¹⁴.

2.3.3 Componentes del sistema eléctrico en media tensión

2.3.3.1 Subestación de distribución

Es el conjunto de instalaciones dedicadas a la transformación y/o seccionamiento de la energía eléctrica. Recibe energía de una red de distribución primaria y la entrega a un subsistema de distribución secundaria, a instalaciones de alumbrado público, a otra red de distribución primaria, o directamente a los usuarios. Generalmente incluye un transformador de potencia y equipos de maniobra, protección y control en ambos lados,

¹⁴ Ministerio de Energía y Minas (2022): Norma DGE: “Especificaciones técnicas para el suministro de materiales y equipos de Líneas y Redes Primarias para Electrificación rural”, Perú. Publicado en: Plataforma del estado peruano. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/3595222-376-2022-minem-dm>

primario y secundario, y a veces, edificaciones para alojar estos equipos (Norma Técnica E.C. 010, MINEM).

Por otro lado, también se define como una combinación de equipos que generalmente incluyen un transformador 1.5 MVA a 5MVA, estas subestaciones pueden tener alimentación desde una línea de subtransmisión o pueden tener dos fuentes de suministro. A su vez existen subestaciones de distribución para clientes especiales (RUS, *Design Guide for Rural Substations*, 2001).

Según Juárez¹⁵ (1995) podemos considerar que una subestación de distribución se encarga de recibir la potencia de subtransmisión y transformarlas al voltaje de los alimentadores, su voltaje va desde 66kV hasta los 230 kV, con potencias de decenas de MW.

Por lo expuesto, se define que la subestación de donde es energizado nuestro alimentador, Subestación Ingenio de 60/22/4.1 kV – 12,5 MVA; si bien la potencia esta fuera de los 5 MVA; se considera de distribución dado su voltaje y el funcionamiento de la misma, dado que esta subestación recibe la energía de una línea de transmisión y la transforma a voltaje de 22kV para distribuir la potencia con los alimentadores.

Figura 4

Subestación Ingenio, Huancavelica



Fuente Propia, fotografía de campo.

¹⁵ Juárez Cervantes, José Dolores (1995). Libro: Sistemas de distribución eléctrica. (1995), Universidad Autónoma Metropolitana, México. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/48392416.pdf>

2.3.3.2 Alimentador eléctrico

Un alimentador es un conjunto de elementos que se extiende desde una subestación hasta un área determinada, suministrando energía a una red de distribución. Su función principal es transportar la energía eléctrica desde la subestación hasta los puntos de distribución más cercanos a los consumidores finales. Los alimentadores operan típicamente a niveles de tensión de media tensión (por ejemplo, 22 kV) y están diseñados para soportar una cantidad significativa de carga eléctrica, garantizando un suministro continuo y confiable. Los alimentadores pueden ser radiales, en anillo, o en configuración mallada, dependiendo de la topología de la red.

En el presente estudio, de la Subestación Ingenio 60/22/4.1 kV- 12.5 MVA sale el alimentador A4122 en 22 kV, el cual abastece a 3 alimentadores A4124, A4125 y A4126 ubicados en la SET Rumichaca para las provincias de Lircay, Acobamba, Angaraes, Yanacocha, entre otros distritos y centros poblados en Huancavelica. El recorrido de los alimentadores existentes se ve en el “Plano GEN 02 “Ubicación de Líneas y Redes Primarias Existentes y proyectadas”

2.3.4 Topología de la red de distribución

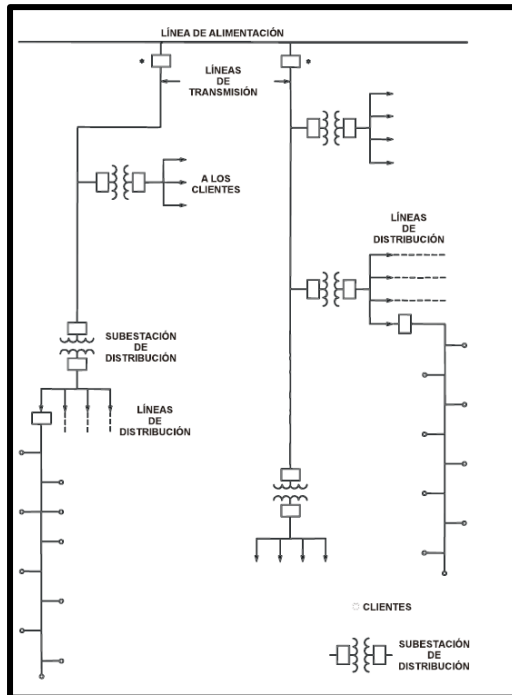
2.3.4.1 Red Radial

Se caracteriza porque la energía fluye desde un único punto de alimentación hacia diferentes ramales. Es común en zonas rurales, donde se atiende a usuarios dispersos. Su principal ventaja es la simplicidad de diseño y la facilidad para localizar fallas, aunque tiene como limitaciones la baja capacidad de expansión y que cualquier avería afecta a un número considerable de usuarios¹⁶.

¹⁶ García Trasancos, J. (2010). Instalaciones eléctricas en media y baja tensión. Madrid: Ediciones Paraninfo.

Figura 5

Red radial



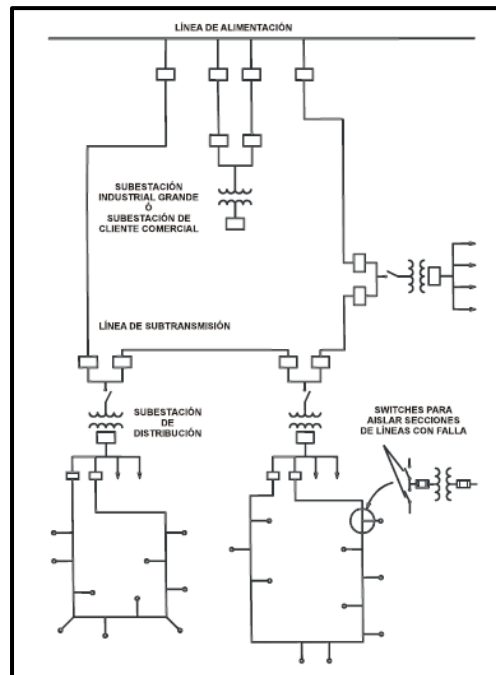
Fuente: <https://distribucion.webnode.com.co/topologias-de-las-redes-de-distribucion/>

2.3.4.2 Red en Anillo

Está formada por una línea cerrada alimentada desde dos extremos. Se emplea en media tensión para asegurar continuidad del servicio, ya que permite que, ante una falla en un tramo, la energía se pueda restablecer desde el otro extremo. Sus ventajas son la reducción de la caída de tensión y una mayor seguridad en el suministro respecto a la red radial.¹⁶

Figura 6

Red en anillo



Fuente: <https://distribucion.webnode.com.co/topologias-de-las-redes-de-distribucion/>

2.3.5 Selección de ruta óptima

La selección de la ruta óptima para un alimentador en media tensión es un proceso integral que combina criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales. En el contexto de electrificación rural, donde las distancias pueden ser largas y el acceso limitado, la correcta elección de la trayectoria del alimentador incide directamente en el costo del alimentador, la estabilidad del servicio y la facilidad de operación y mantenimiento.

La presente a considerado para seleccionar la mejor ruta:

- Evitar el paso por zonas con vestigios arqueológicos
- Evitar el paso por zonas protegidas por el estado contando para ello con la última publicación del “listado Oficial de las Áreas Naturales Protegidas” y del “Mapa de las Áreas Naturales Protegidas” publicadas por el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado-SERNANP.
- Evitar el paso por terrenos inundables, suelos hidromórficos, geológicamente inestables o terrenos con pendientes pronunciadas en los

que sean frecuentes las caídas de rocas y deslizamiento de terreno (huaycos).

- Minimizar la afectación de terrenos de propiedad privada; los cuales se determinan con la autoridad de cada localidad.
- Desarrollo del trazo de la ruta cercana a las carreteras, aprovechando accesos existentes como trochas carrozables; y respetando los derechos de vía en las carreteras.
- Poligonal lo más recta posible, tratando de minimizar los fuertes ángulos de desvío.

En investigaciones como el presente diseño del alimentador A4124NU, el trazado se optimizó mediante una visita de campo. Se considero los puntos de carga actuales y futuros, la conexión a subestaciones existentes, la posibilidad de expansión a nuevos centros poblados y la operación y mantenimiento del alimentador.

Una ruta mal seleccionada puede aumentar considerablemente el costo de la implementación del alimentador, afectar la eficiencia del sistema y generar conflictos sociales o ambientales. Por tanto, su análisis debe formar parte integral del diseño técnico del alimentador, con el soporte de planos, coordenadas georreferenciadas y especificaciones normativas.

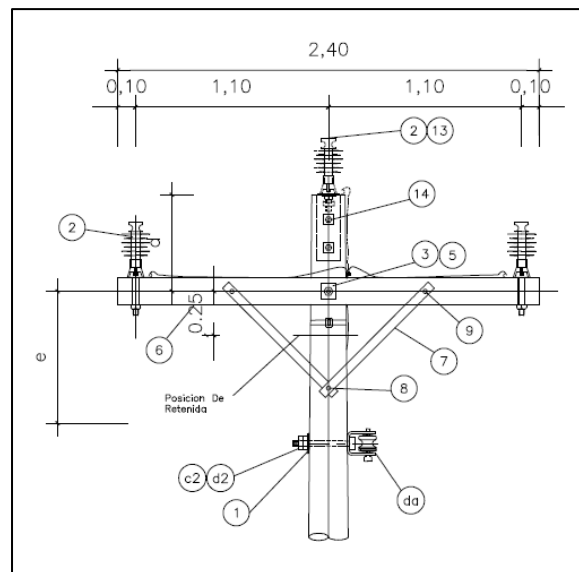
2.3.6 Selección del conductor, armados y sus componentes

En la implementación de alimentadores eléctricos en media tensión, los componentes estructurales y eléctricos desempeñan un papel fundamental para garantizar la estabilidad mecánica, la seguridad del sistema y el cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos en las normas técnicas vigentes.

Según la evaluación considerada en la presente tesis se utiliza el conductor de aleación de aluminio AAAC, armados de forma triangular para líneas primarias y armados de tipo bandera para redes primarias y así cumplir con las distancias mínimas de seguridad.

Figura 7

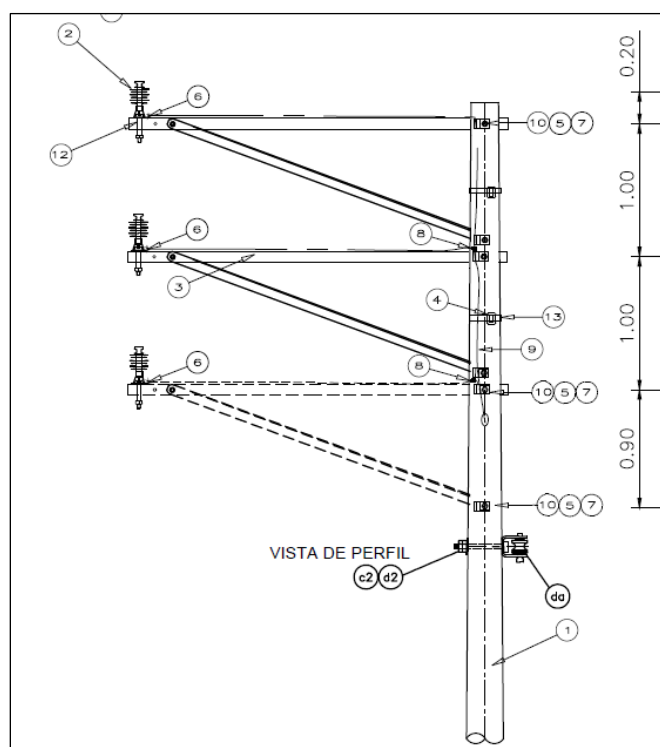
Armado tipo triangular



Fuente: DGER

Figura 8

Armado tipo bandera



Fuente: Electrocentro

2.3.7 Equipamiento eléctrico de protección y maniobra

El equipamiento eléctrico comprende todos los dispositivos, aparatos y componentes utilizados en el sistema eléctrico para generar, transmitir, distribuir o utilizar energía eléctrica. Esto puede incluir generadores, transformadores, interruptores, conductores, dispositivos de protección, medidores, equipos de control y cualquier otro componente necesario para el funcionamiento del sistema eléctrico.

2.3.7.1 Recloser

Un Recloser es un dispositivo de protección utilizado en sistemas eléctricos de distribución para detectar y responder a condiciones anormales, como cortocircuitos y sobrecargas. Funciona cerrando y restaurando automáticamente el circuito después de una interrupción, lo que ayuda a minimizar el tiempo de inactividad del sistema y a mantener la continuidad del suministro eléctrico. Los Recloser son especialmente útiles en redes de distribución de electricidad donde las fallas son comunes y la restauración rápida del servicio es crucial.

En la presente investigación se usan los recloser al inicio de recorridos largos, a fin de verificar fallos en recorridos considerables.

2.3.7.2 Seccionador Bajo Carga

Un seccionador bajo carga es un dispositivo utilizado en sistemas eléctricos para abrir o cerrar un circuito bajo carga, es decir, mientras la corriente está fluyendo. Esto permite aislar secciones específicas de un sistema eléctrico para mantenimiento o reparación sin interrumpir el suministro de energía a otras partes del sistema. Los seccionadores bajo carga son esenciales para garantizar la seguridad del personal y la confiabilidad del sistema eléctrico durante las operaciones de mantenimiento.

Su uso en el presente contexto será para determinar si conectar la red en anillo que podría generarse de ser requerido según la carga del sistema.

2.3.7.3 Seccionalizadores

Los seccionalizadores son dispositivos utilizados en sistemas eléctricos de distribución para dividir la red en secciones más pequeñas y manejables. Esto ayuda a reducir el impacto de las interrupciones al aislar automáticamente las áreas afectadas por fallas, lo que permite restaurar el suministro a otras áreas no afectadas más rápidamente. Los seccionalizadores son importantes para mejorar la confiabilidad y eficiencia del sistema eléctrico al minimizar el tiempo de inactividad y los cortes de energía para los clientes.

Se usan en cada ramal del recorrido principal, donde se observe varias subestaciones de distribución.

2.3.7.4 Seccionador Cut Out Fusible

Un seccionador cut out es un dispositivo de protección utilizado en sistemas de distribución eléctrica para desconectar automáticamente un equipo o circuito de la red en caso de una falla o sobrecarga. Consiste en un fusible que se funde cuando la corriente excede un cierto nivel, lo que interrumpe el flujo de electricidad y protege el equipo y el sistema contra daños mayores. Los seccionadores cut out son comunes en redes eléctricas de baja y media tensión y son fundamentales para la seguridad y la protección del sistema.

2.3.7.5 Banco de Condensadores

Un banco de condensadores es un conjunto de condensadores conectados en paralelo que se utiliza en sistemas eléctricos para corregir el factor de potencia y mejorar la eficiencia del sistema. Ayudan a reducir la cantidad de energía reactiva consumida por equipos inductivos, como motores eléctricos, lo que resulta en una operación más eficiente y un menor costo de energía para el usuario final. Los bancos de condensadores son importantes en la gestión de la calidad de la energía y en la optimización de la distribución de energía eléctrica.

2.3.7.6 Banco Regulador de Tensión

Un banco regulador de tensión es un conjunto de dispositivos utilizado en sistemas eléctricos para mantener la tensión dentro de un rango específico y garantizar un suministro

de energía eléctrica estable y confiable. Consiste en reguladores automáticos de tensión que ajustan la relación de transformación de los transformadores de distribución para compensar las fluctuaciones de carga y mantener la tensión en niveles aceptables. Los bancos reguladores de tensión son esenciales para garantizar la calidad del suministro eléctrico y la operación eficiente de los equipos conectados a la red.

2.3.8 Análisis del sistema eléctrico

2.3.8.1 Digsilent PowerFactory y su método de cálculo

El Digsilent es un software utilizado para el análisis y simulaciones de sistemas eléctricos de potencia. Está diseñado para manejar diversas aplicaciones como estudios de flujo de potencia, análisis de estabilidad, análisis de cortocircuito entre otros.

En Digsilent PowerFactory, el cálculo de flujo de potencia se realiza utilizando principalmente el método de Newton-Raphson, que puede formularse de dos maneras: a través de ecuaciones de corriente o de ecuaciones de potencia. La formulación de ecuaciones de potencia es preferida para sistemas de transmisión, especialmente en condiciones de alta carga, mientras que la formulación de ecuaciones de corriente tiende a ser más efectiva en sistemas de distribución, incluyendo aquellos desbalanceados. Adicionalmente, PowerFactory incluye un proceso iterativo externo para ajustar transformadores y reactancias, garantizando que las condiciones operativas del sistema cumplan con los valores determinados. Por otra parte, el método de flujo de potencia DC es una herramienta rápida y aproximada, diseñada para análisis donde se requiere una estimación eficiente del flujo de potencia activa, prescindiendo de la iteración y los detalles como las pérdidas y las magnitudes de voltaje (Digsilent PowerFactory Manual, 2021).

2.4 Marco conceptual

- **Demanda eléctrica:** Cantidad de potencia o energía solicitada por los usuarios del sistema eléctrico en un periodo determinado, expresada en kW o kWh.
- **Líneas y redes primarias:** Conjunto de conductores y estructuras que operan en media tensión (≥ 22 kV en Perú), destinadas a transportar energía desde subestaciones hasta centros de carga.

- **Georreferenciación:** Proceso de ubicar y representar espacialmente elementos de la red eléctrica mediante coordenadas geográficas, facilitando el análisis y diseño del sistema.
- **Ampacidad:** Capacidad máxima de conducción de corriente de un conductor eléctrico sin superar sus límites térmicos, determinada por condiciones de operación y ambientales.
- **SICOM:** Sistema de Información Comercial de Osinergmin que registra datos históricos de clientes, consumos y demandas, útil para la proyección de carga.
- **Conductor AAAC:** Conductor eléctrico de aleación de aluminio, usado en líneas aéreas de distribución por su resistencia mecánica, bajo peso y buena conductividad.
- **Puesta a Tierra:** Sistema de conexión eléctrica directa entre equipos o estructuras y el suelo, diseñado para proteger a personas e instalaciones frente a fallas o descargas atmosféricas.
- **Vano:** Distancia horizontal entre dos estructuras consecutivas de una línea aérea, considerada en el cálculo mecánico de conductores y soportes.
- **Equipos de maniobra:** Dispositivos instalados en redes de media tensión, como reclosers, seccionadores o fusibles, que permiten la protección, seccionamiento y operación segura del sistema.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

En el presente capítulo se muestra el desarrollo de investigación, se muestra que información se recolectó en una visita técnica, como fotos del alimentador A4124 a reconfigurar, calicatas, resistividades; información de la demanda del alimentador A4124; información de las características ambientales, se realiza un diagnóstico de caída de tensión de los alimentadores existentes.

3.1 Recopilación de la Información

Para el presente trabajo, los datos correspondientes a la unidad de análisis del alimentador A4124 se recolectan de la siguiente manera:

3.1.1 Trabajo de campo

Se realizó un viaje de campo para visualizar el estado actual de la zona de ubicación mencionada anteriormente, y se realizó un trazado de una posible ruta del alimentador a diseñar, se tomaron fotografías y se ubicaron mediante garmin¹⁷ las estructuras existentes del alimentador A4124, se visitó la subestación Ingenio 60/22 kV-12.5 MVA, se realizó toma de muestra del terreno con 10 calicatas de diferentes centímetros de profundidad, además se realizó la medición de resistividad del terreno.

3.1.1.1 Estructuras del alimentador A4124

Se muestran a continuación algunas de las estructuras del alimentador A4124 con sus coordenadas y con qué elementos cuentan según la información recolectada y observada:

¹⁷ Dispositivo usado para obtener las coordenadas GPS de las estructuras.

Figura 9

Estructura N°1 del alimentador A4124



Fuente: Propia

Coordenadas tomadas con Garmin, x= 522392; y= 8569188, poste de Concreto Armado Centrifugado, aisladores de porcelana y poliméricos, conexiones de Media Tensión, Baja tensión y Comunicaciones, seccionadores cut-out.

Figura 10

Estructura N°2 del alimentador A4124



Fuente: Propia

Coordenadas x= 522402; y= 8569228, poste de Concreto Armado Centrifugado, aisladores de porcelana y poliméricos, conexiones de Media Tensión y comunicaciones.

Figura 11

Estructura N°3 del alimentador A4124



Fuente: Propia

Nota: Coordenadas x= 522402; y= 8569228, poste y cruceta de Madera, aisladores de porcelana, conexiones de Media Tensión, retenida vertical, fuente propia

Figura 12

Estructura N°4 del alimentador A4124



Fuente: Propia

Coordenadas x= 524835; y= 8570944, poste y cruceta de madera, aisladores de porcelana, conexiones de Media Tensión.

Figura 13

Estructura N°5 del alimentador A4124



Fuente: Propia

Coordenadas x= 525129; y= 8570943, poste de madera, se observa pandeo del poste, aisladores de porcelana, conexiones de Media Tensión trifásico.

Figura 14

Estructura N°6 del alimentador A4124



Fuente: Propia

Coordenadas x= 525587; y= 8570917, biposte de madera, aisladores de porcelana y poliméricos, conexiones de Media Tensión Comunicaciones.

Figura 15

Estructura N°7 del alimentador A4124



Fuente: Propia

Coordenadas x= 526022; y= 8571166, poste de Concreto Armado Centrifugado, aisladores de porcelana y poliméricos, conexiones de Media Tensión, Baja tensión y Comunicaciones, seccionadores cut-out.

Figura 16

Estructura N°8 del alimentador A4124



Fuente: Propia

Coordenadas x= 5227072; y= 8571687, triposte de madera, aisladores de porcelana, conexiones de Media Tensión.

3.1.1.2 Calicatas

Para conocer las características mecánicas del terreno y poder definir los parámetros de diseño para la cimentación de estructuras, se realizó 10 calicatas de diversos cm de profundidad los cuales se resumen en la siguiente tabla y se muestran imágenes de las 4 primeras calicatas:

Tabla 2

Datos de Calicatas

Cod.	Coordenadas UTM		Altitud m.s.n.m	Profundidad (cm)
	Este	Norte		
CAL-01	526918	8571578	4,105	190
CAL-02	522142	8568538	4,426	50
CAL-03	521747	8567941	4,248	150
CAL-04	518533	8565398	3,569	180
CAL-05	517477	8565315	3,565	120
CAL-06	529668	8574229	3,819	110
CAL-07	531162	8575025	3,749	170
CAL-08	534804	8581577	3,519	170
CAL-09	535004	8578415	3,623	210
CAL-10	533990	8576415	3,542	190

Fuente: Propia

Figura 17

Calicata 1



Fuente: Propia, coordenadas x= 526918; y= 8571578

Figura 18

Calicata 2



Fuente: Propia, Coordenadas x= 522142; y= 8568538

Figura 19

Calicata 3



Fuente; Propia, Coordenadas x= 521747; y=8567941

Figura 20

Calicata 4



Fuente: Propia, Coordenadas x= 528533; y=8565395

3.1.1.3 Resistividades

Se llevaron a cabo mediciones de resistividad en veintiún (21) ubicaciones distintas del terreno utilizando el Telurómetro Digital Megabras 105R. Se variaron las distancias entre electrodos a 2, 4, 6 y 8 metros con el propósito de analizar las características eléctricas del terreno y determinar el tipo de suelo presente, así como establecer el tipo de Puesta a Tierra (PAT) adecuado para cada poste. A continuación, se muestra la tabla de resistividades e imágenes de las dos primeras resistividades.

Tabla 3

Resumen de Medición de Puestas a tierra

Descripción	Separación	Resistividad
	a (m)	$2\pi x a \rho R$ (Ohm-m)
R1	2	67
	4	32.9
	6	25.2
	8	26.8
R2	2	79.7
	4	50.3
	6	48
	8	56.8
R3	2	879
	4	197.8
	6	112.6
	8	386
R4	2	277
	4	183
	6	133.3
	8	148.2
R5	2	72.2
	4	58.9
	6	57.8
	8	68
R6	2	33.6
	4	66.2
	6	15.1
	8	22.9
R7	2	42.3
	4	59.8
	6	73.5
	8	74.4
R8	2	66.2
	4	70.2
	6	89.3
	8	61.6
R9	2	79.8
	4	66.7
	6	62.7
	8	42.3
R10	2	886
	4	243
	6	46.4
	8	26.8
R11	2	48.1

	4	80.6
	6	82.4
	8	93.2
R12	2	165.4
	4	202
	6	185.3
	8	176.7
R13	2	82.2
	4	96.5
	6	116.7
	8	116.4
R14	2	155.5
	4	235
	6	561
	8	448
R15	2	33.7
	4	35.3
	6	29.4
	8	28.1
R16	2	70.5
	4	44.7
	6	35.5
	8	25.1
R17	2	134.5
	4	2.02
	6	88.7
	8	213
R18	2	4.13
	4	1269
	6	591
	8	221
R19	2	105.2
	4	89.1
	6	95.3
	8	95.1
R20	2	83.3
	4	77.6
	6	87.9
	8	95.7
R21	2	89.6
	4	58.6
	6	63.9
	8	28.1

Fuente: Propia

Figura 21

Resistividad 2, medición a 2m-1 (79.7 ohm – m)



Fuente: Propia.

Figura 22

Resistividad 2, medición a 2m-2 (79.7 ohm – m)



Fuente: Propia.

Figura 23

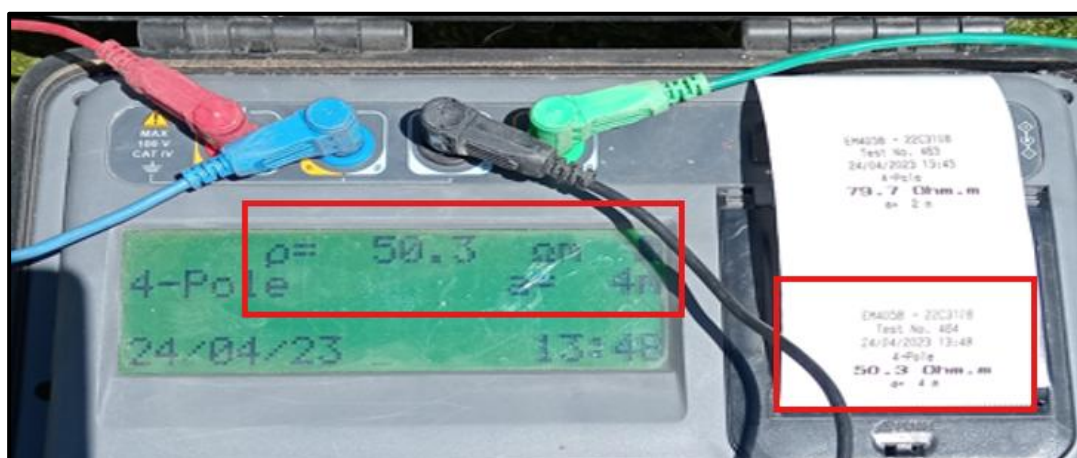
Resistividad 2, medición a 4m-1 (50.3 ohm -m)



Fuente: Propia.

Figura 24

Resistividad 2, medición a 4m-2 (79.7 ohm – m)



Fuente: Propia.

Figura 25

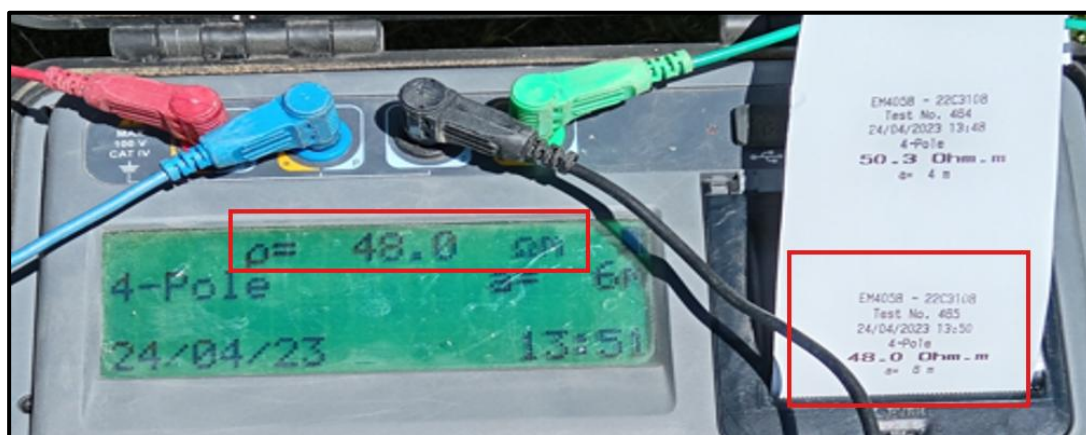
Resistividad 2, medición a 6m-1 (48 ohm -m)



Fuente: Propia.

Figura 26

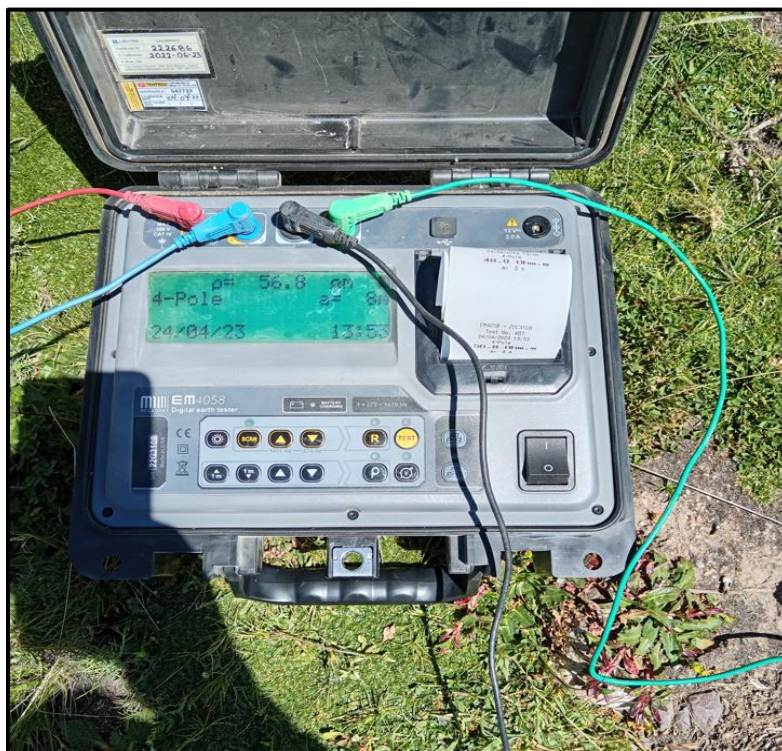
Resistividad 2, medición a 6m-2 (48 ohm – m)



Fuente: Propia.

Figura 27

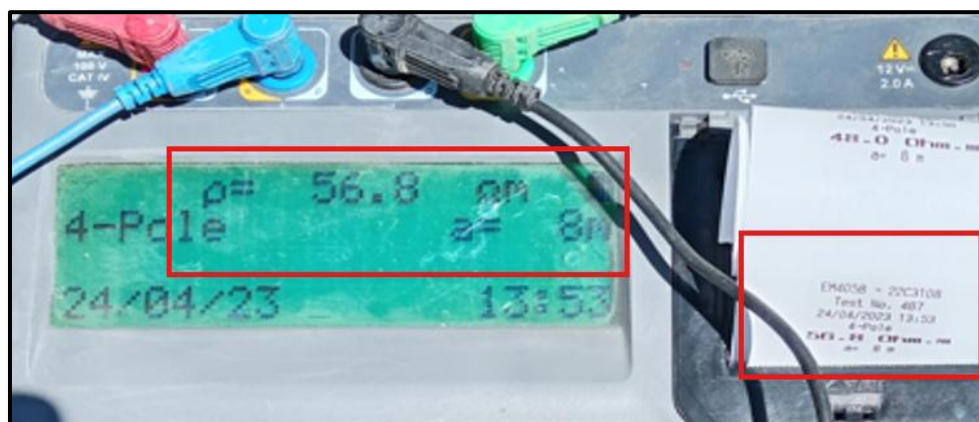
Resistividad 2, medición a 8m-1 (56.8 ohm -m)



Fuente: Propia.

Figura 28

Resistividad 2, medición a 8m-2 (56.8 ohm – m)



Fuente: Propia.

Figura 29

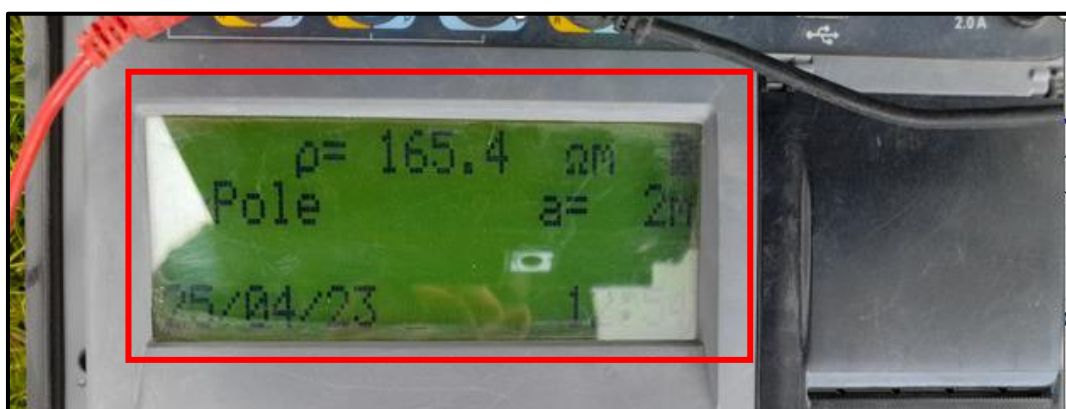
Resistividad 12, medición a 2m-1 (165.4 ohm -m)



Fuente: Propia.

Figura 30

Resistividad 12, medición a 2m-2 (165.4 ohm – m)



Fuente: Propia.

Figura 31

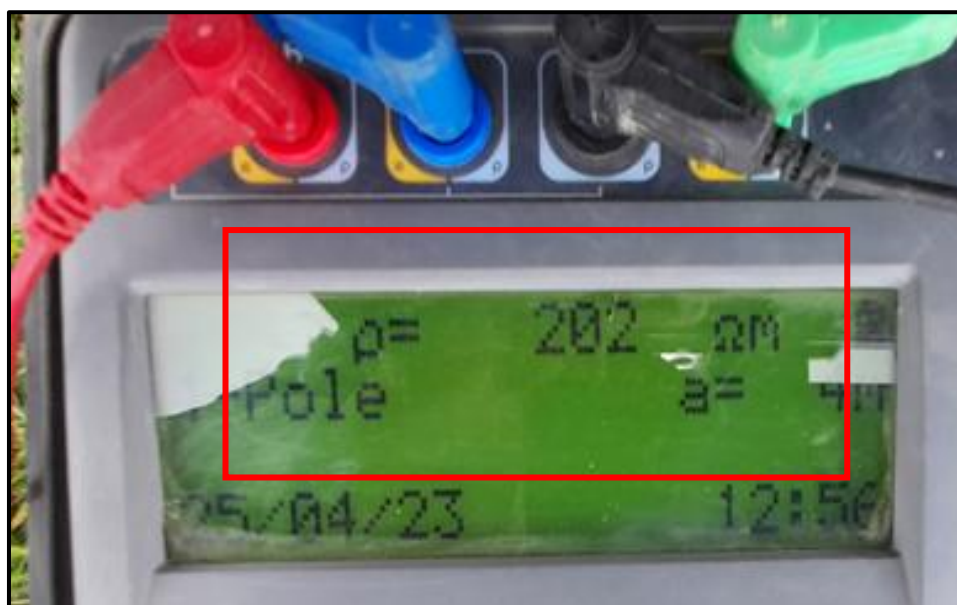
Resistividad 12, medición a 4m-1 (202 ohm -m)



Fuente: Propia.

Figura 32

Resistividad 12, medición a 4m-2 (202 ohm – m)



Fuente: Propia

Figura 33

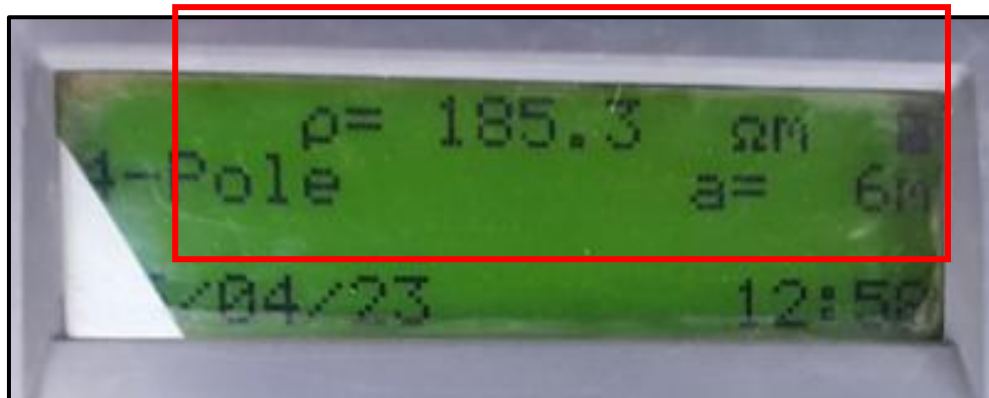
Resistividad 12, medición a 6m-1 (185.3 ohm -m)



Fuente: Propia.

Figura 34

Resistividad 12, medición a 6m-2 (185.3 ohm – m)



Fuente: Propia.

Figura 35

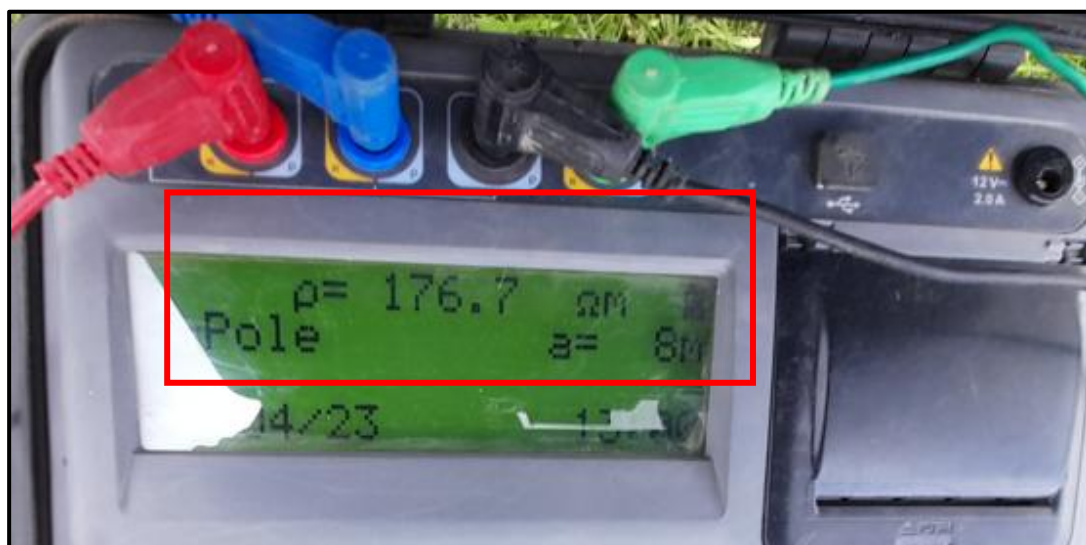
Resistividad 12, medición a 8m-1 (164.4 ohm -m)



Fuente: Propia.

Figura 36

Resistividad 12, medición a 8m-2 (164.4 ohm – m)



Fuente: Propia.

3.1.2 Demanda y Oferta eléctrica

La Oferta de Potencia es dado por la potencia del transformador Ingenio 12.5 MVA.

Los datos de la demanda requerida por el alimentador A4124 de los últimos años (2019-2022) fueron brindados por la empresa Electrocentro, los cuales se muestran en la siguiente tabla.

Se resalta el año 2020 por ser un año atípico debido a la pandemia de COVID-19.

Tabla 4

Demanda de Energía del alimentador A4124

Años/Meses	Días	Máx.Dem. (kW)	FC	Energía (MWh)
2019				7,594
Ene	31	1,609	0.48	571
Feb	28	1,612	0.48	522
Mar	31	1,806	0.46	623
Abr	30	1,873	0.46	624
May	31	1,864	0.47	652
Jun	30	1,911	0.46	639
Jul	31	1,924	0.47	671
Ago	31	1,879	0.46	645
Set	30	1,917	0.48	656
Oct	31	1,919	0.48	680
Nov	30	1,888	0.47	645
Dic	31	1,849	0.48	665
2020				7,560
Ene	31	1,669	0.46	566
Feb	29	1,663	0.50	579
Mar	31	1,713	0.49	621
Abr	30	1,718	0.48	592
May	31	1,803	0.47	629
Jun	30	1,818	0.48	628
Jul	31	1,868	0.47	650
Ago	31	1,843	0.47	645
Set	30	1,833	0.49	643
Oct	31	1,898	0.48	684
Nov	30	1,881	0.48	646
Dic	31	1,851	0.49	677
2021				8,051
Ene	31	1,795	0.50	662
Feb	28	1,807	0.46	564
Mar	31	1,830	0.50	688

Abr	30	1,891	0.49	673
May	31	1,885	0.50	699
Jun	30	1,935	0.50	692
Jul	31	1,903	0.50	704
Ago	31	1,853	0.50	689
Set	30	1,858	0.50	670
Oct	31	1,828	0.51	688
Nov	30	1,938	0.46	639
Dic	31	1,783	0.51	683
2022				8,100
Ene	31	1,932	0.44	636
Feb	28	1,718	0.52	606
Mar	31	1,857	0.51	709
Abr	30	1,881	0.50	681
May	31	1,841	0.51	694
Jun	30	1,865	0.51	686
Jul	31	1,897	0.50	710
Ago	31	1,815	0.52	697
Set	30	2,103	0.44	662
Oct	31	1,806	0.51	686
Nov	30	1,781	0.51	651
Dic	31	1,979	0.46	684

Fuente: Electrocentro

Esta información es procesada para proyectar la demanda que nuestro alimentador debe proveer en un horizonte de 20 años y comprobar si la oferta es suficiente esto se evalúa en numeral 3.4 de la presente tesis “Análisis de la demanda”. Con esa información se modelará en el Digsilent, en el numeral 3.5 del presente estudio.

3.1.3 Características ambientales:

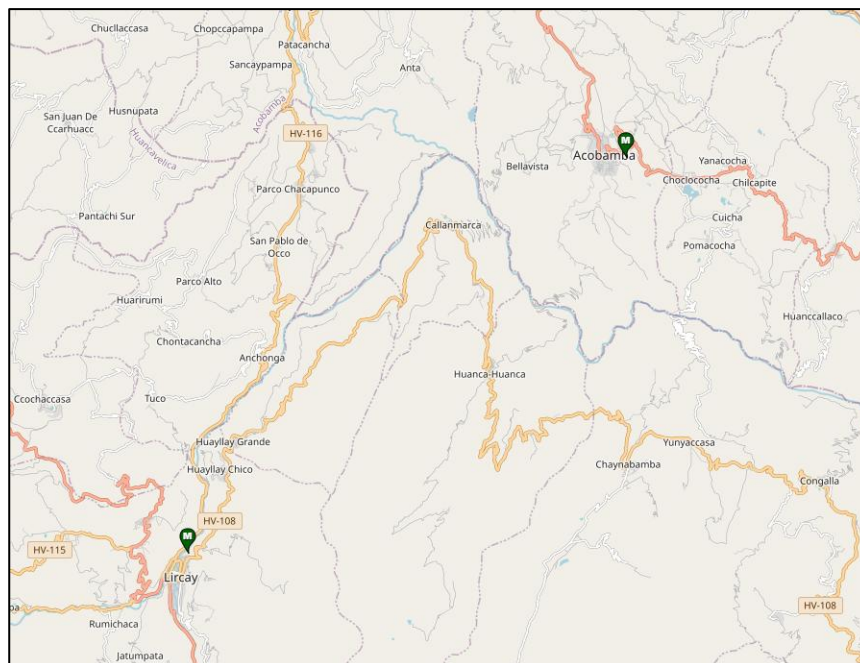
Las características ambientales como temperatura máxima y mínima, velocidad de viento y humedad, fueron recopiladas en la página web del Senamhi¹⁸, esto se realizará para los últimos 5 años anteriores a la fecha considerada de inicio del horizonte considerado.

Como se puede observar en la Figura N° 35, se observa dos estaciones meteorológicas que están dentro del área de influencia de nuestro análisis.

¹⁸ Página web del Senamhi: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>

Figura 37

Estaciones Meteorológicas dentro del área de influencia



Fuente: SENAMHI

Estas dos estaciones son las estaciones Lircay y Acobamba, las cuales tienen los siguientes datos y resultados, en resumen:

Tabla 5

Información ambiental de la zona de estudio

Estación Meteorológica	Lircay	Acobamba
Código	112065	112067
Altitud	3303 msnm	3399 msnm
Distrito	Lircay	Acobamba
Temperatura Máxima °C	27.9	29.3
Temperatura Mínima °C	-3.9	-2.4
Temperatura Media °C	12.7141892	12.1131944
Viento Máximo m/s	2.84684685	2.6570216
Humedad Relativa (%)	71.5722188	65.5804033
Intensidad sísmica (Escala de Mercalli)	V	V

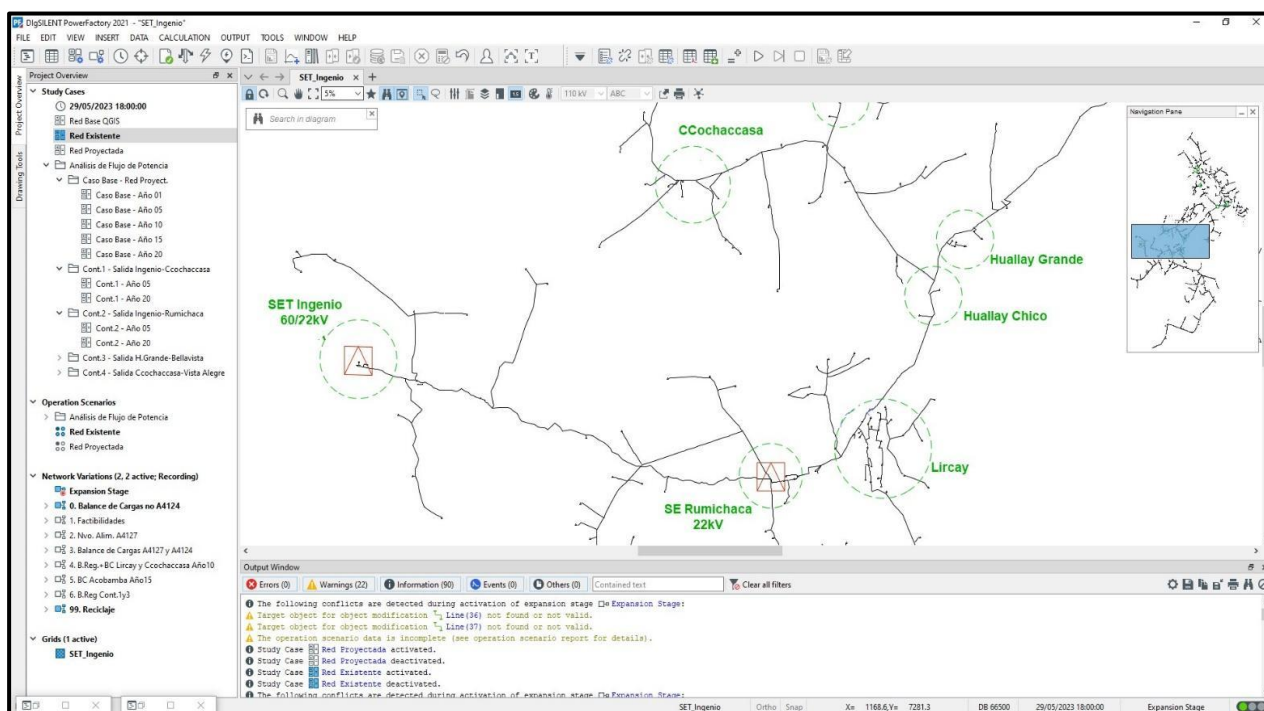
Fuente: SENAMHI

3.2 Diagnóstico de la caída de tensión de los alimentadores existentes

Se ha evaluado la caída de tensión según información entregada por Electrocentro y con la información recopilada en campo, modelando la red existente en el software Power Factory Digsilent; con un modelo georreferenciado; iniciando el Subestación Ingenio, con una barra de 22 kV, y los alimentadores que lo conforman.

Figura 38

Modelado de la Línea y Red Primaria en Power Factory Digsilent.



Fuente: Propia.

Para el análisis de la caída de tensión hemos tomado diferentes Distritos y Centros Poblados los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6*Diagnóstico de caída de tensión*

Puntos/Lugares	Sección mm ² (AAAC)	N° Fases	2023		
			Tensión		AV
			kV	p.u.	(%)
Salida SET Ingenio 60/22kV	-	-	22	1.03	-3.00
Dist. Lircay	35	3Ø	20.48	0.931	6.9
Dist. Ccochaccasa	35	2Ø	20.13	0.915	8.5
CP Chucuspa	25	1Ø	10.06	0.792	20.8
Dist. Huayllay Chico	Cu 10	1Ø	10.2	0.803	19.7
CP Atalla	25	1Ø	10.05	0.791	20.9
CP San Pablo de Occo	25	1Ø	9.99	0.787	21.3
CP Chacapunco	25	1Ø	9.99	0.787	21.3
Dist. Huayllay Grande	10	1Ø	9.99	0.787	21.3
CP Bellavista	70	3Ø	19.29	0.877	12.3
Dist. Acobamba	25	3Ø	19.18	0.872	12.8
CP Chanquil	70	3Ø	19.05	0.866	13.4
Dist. Paucará	35	3Ø	18.99	0.863	13.7

Fuente: Propia

Como se puede observar en el cuadro anterior; la caída de tensión en llega a ser mayor a 20% en distintos centros poblados, lo cual está fuera de lo permitido por la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos Rurales (menor a 6%, según el Título cuarto “Indicadores de la calidad de Producto” de la NTCSE, referenciado en el numeral ítem 2.1.1 de la presente tesis) por lo cual se requiere que el nuevo alimentador a implementar puede disminuir estos porcentajes y se tenga una mejor calidad de tensión.

3.3 Análisis de la ruta del alimentador A4124NU

Se ha analizado y definido después del trabajo en campo la ruta más eficiente que deberá tener el nuevo alimentador.

Durante el desarrollo de la definición de los puntos notables de las rutas de líneas se procedió a tomar sus coordenadas UTM (georreferenciación), utilizando el GPS Diferencial con nivel de precisión centimétrico, con lo cual se formaron los siguientes tramos:

Tramo 1: LP 22kV SET Ingenio-Ccochaccasa

Se plantea iniciar el nuevo alimentador A4124NU desde la SET Ingenio, luego la ruta seguirá paralelo al alimentador A4122 en la parte superior de la falda del cerro en dirección al Centro Poblado Succamarca.

La red proyectada bordeará el Centro Poblado Succamarca por lomas existentes, luego cruzará el valle para continuar en paralelo a la LST 60kV Huancavelica - Ingenio, este trazo continuará en paralelo hasta aproximarse a 1km de la mina Buenaventura para luego separarse de la LST mencionada en dirección a la capital distrital de Ccochaccasa, cabe precisar, que previo a la llegada de Ccochaccasa, la ruta proyectada se conectará a la ruta existente a partir de una ramal del A4124 que alimenta a una estación de telecomunicaciones.

Tramo 2: LP 22kV Ccochaccasa-Huayllay Chico (Anillo Intermedio)

Asimismo, se plantea conectar el Alimentador A4124NU al alimentador A4124 para formar un anillo en la parte intermedia del nuevo alimentador, inicia de una zona cercana al centro poblado Ccochacasa, sigue bordeando la falda del cerro del centro poblado Chucuspa e ir paralelo a la trocha carrozable, finalmente bordea el CP Ocospa para cruzar el valle hacia Huayllay Chico y conectarse al Alimentador A4124.

Tramo 3: LP 22kV Ccochaccasa-CP Vista Alegre

En adelante el Alimentador A4124NU se proyecta evitando salir de la ruta existente del alimentador A4124; en la cercanía del CP Rudioccasa la ruta proyectada ingresa como Red Primaria (dado que ingresa a un centro poblado, en adelante RP) para luego continuar

paralelo al alimentador A4124 bordeando los predios y parcelas existentes hasta llegar al CP Ccasacancha por lo cual de igual manera ingresará como RP por la vía tipo trocha carrozable.

El alimentador A4124NU continuará bordeando la CP Atalla, cabe precisar que la ruta proyectada en este tramo cruza parcialmente parcelas hasta cruzar el valle,

Luego el Alimentador A4124NU continua por la ruta existente del alimentador A4124 hasta el CP San Pablo de Occo, por lo cual la ruta proyectada ingresa como RP por la vía provincial tipo trocha carrozable hasta el CP Ñahuinpuquio, para luego proyectarse por lomas de cerro hasta el CP Molinopampa provincia de Acobamba, es en este lugar donde continúa por la ruta existente de una ramal del alimentador A4124 pasando por el CP Patacancha de la provincia Acobamba hasta el CP Vista Alegre para conectarse al Alimentador A4124.

Para visualizar la ruta se muestra el plano GEN-01 donde se observa que zonas recorre el alimentador A4124NU, y las redes existentes.

3.4 Análisis de la demanda

Para el Sistema Eléctrico Huancavelica Rural existente se ha obtenido información del Electrocentro, referente a la demanda de potencia. Según el análisis considerado la estimación de la demanda regulada es la misma sin o con nuevo alimentador.

3.4.1 Tasa de Crecimiento Promedio de Clientes

La Tasa de Crecimiento de los Clientes se ha obtenido tomando la Base de Datos del Osinergmin-SICOM 2018 al 2022 (información de N° de Clientes del SE Huancavelica Rural)

Tabla 7

Número de clientes 2018-2022

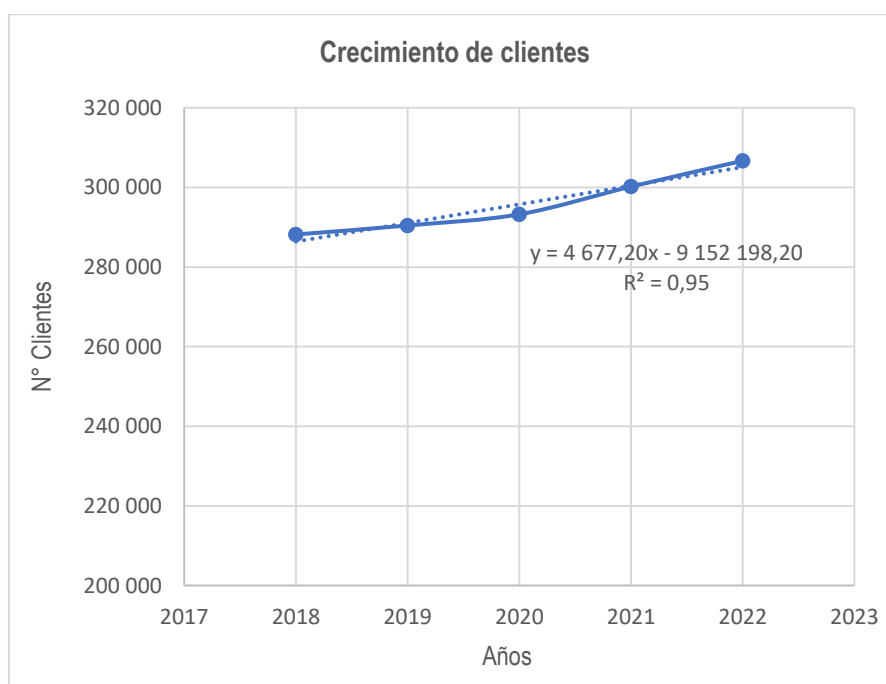
Año	N° Total Clientes
2018	288,176
2019	290,437
2020	293,238
2021	300,195
2022	306,683

Fuente: SICOM

Con los datos obtenidos de los años 2018-2022, se realiza la proyección lineal a través de una gráfica para poder obtener la fórmula de proyección, luego de esto reemplazamos los años en la fórmula obtenida, en la tabla 7 se muestra los resultados al año 1 (2025); año 5 (2029), año 10 (2034); año 15 (2039) y año 20 (2044).

Figura 39

Gráfico de proyección de crecimiento de clientes.



Fuente: Propia.

Tabla 8

Tasa de Crecimiento anual de Clientes del SE Huancavelica Rural

Año	N° Total Clientes
2025	319,132
2029	337,841
2034	361,227
2039	384,613
2044	407,999
TC Promedio	1.27%

Fuente: Propia.

3.4.2 Tasa de Crecimiento de Energía del Alimentador A4124

La energía se calculó con las máximas potencias por mes y los factores de carga de los días correspondientes, estos datos han sido proporcionados por Electrocentro, sin embargo no se ha tomado en cuenta el año 2020, debido a que se considera un año inusual por el covid-19.

Tabla 9*Consumo de Energía 2019-2022*

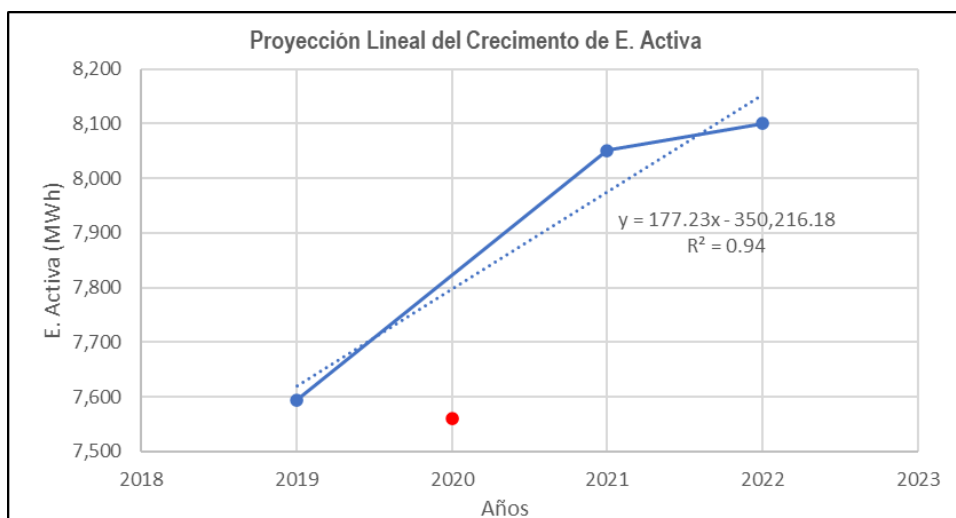
Años	Energía MWh
2019	7,594
2020	7,560
2021	8,051
2022	8,100

Fuente: Propia.

Con la información obtenida se ha realizado la proyección a través de una gráfica de donde se obtiene la fórmula de proyección, con esta proyectamos la energía para el horizonte de evaluación, del año 1 (2025) al año 20 (2044), y se obtiene una tasa de crecimiento promedio anual de 1.8%.

Figura 40

Gráfico de proyección de crecimiento de energía activa



Fuente: Propia.

Tabla 10

Tasa de Crecimiento de Energía Activa

Año	E. Activa (MWh)
2025	8,675
2029	9,383
2034	10,270
2039	11,156
2044	12,042
TC.	1.8%

Fuente: Propia.

3.4.3 Tasa de Crecimiento de Potencia del Alimentador A4124

Los datos de potencias del 2019 al 2022 han sido proporcionados por Electrocentro, sin embargo no se ha tomado en cuenta el año 2020, debido a que se considera un año inusual por el covid-19.

Tabla 11**Máximas Demandas de Potencia Anual**

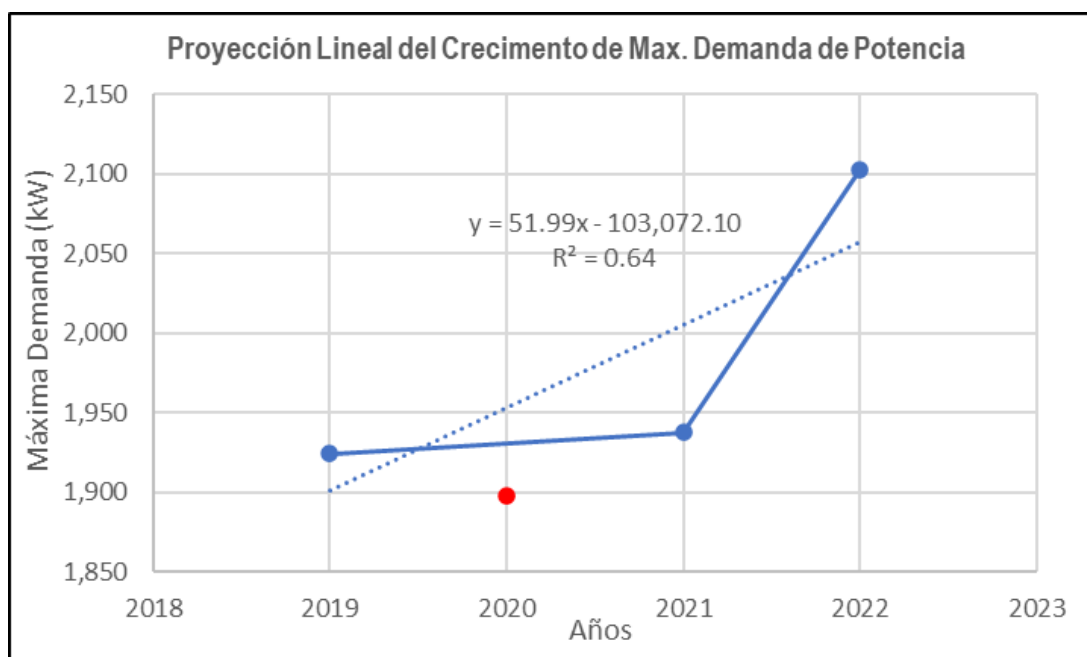
Años	Máx. Demanda (kW)
2019	1,924
2020	1,898
2021	1,938
2022	2,103

Fuente: Propia.

Con los datos obtenidos se proyecta linealmente la máxima demanda, a través de obtener la fórmula de la gráfica: con esta proyectamos la máxima demanda de potencia en el horizonte del nuevo alimentador y se obtiene una tasa de crecimiento promedio anual de 2.1%

Figura 41

Gráfico de proyección de crecimiento de Máxima Demanda.



Fuente: Propia.

Tabla 12

Tasa de Crecimiento Anual de la Máxima Demanda de Potencia

Año	Max Dem (kW)
2025	2,208
2029	2,416
2034	2,676
2039	2,936
2044	3,195
TC Promedio	2.1%

Fuente: Propia.

Por otro lado, las factibilidades de suministro para los alimentadores A4124 y A4122; brindados por Electrocentro se muestran en la siguiente tabla

Tabla 13

Factibilidades de Suministro

Zona Que Electrificar	Fecha	SED kVA	FP	MD kW	FS	DM kW Simult.	FC	MWh /año	Distrito	Uso
Alimentador A4124						385		1,652		
Ampliación Yanacocha	2/06/2021	45	0.95	43	0.50	21	0.35	65	Lircay	Domestico
Terminal Terrestre Acobamba	12/07/2021	66	0.90	59	0.75	45	0.45	173	Acobamba	Comercial
IE 36797 Barrio Progreso	5/08/2021	60	0.95	57	0.75	43	0.45	167	Paucará	C. Educativo
Hospital Acobamba	23/11/2021	198	0.90	178	0.75	134	0.60	693	Acobamba	C. Salud
Universidad Nac. Huancav.	19/05/2022	150	0.95	143	0.75	107	0.45	416	Lircay	C. Educativo
IE 125 Paucará-Acobamba	19/07/2022	50	0.95	48	0.75	36	0.45	139	Paucará	C. Educativo
Alimentador A4122						252		1,306		
Minera Micozha Cambalache	11/11/2021	420	0.80	336	0.75	252	0.60	1,306	Lircay	Industrial

Fuente: Propia.

Por consiguiente, habiendo calculado la tasa de crecimiento de la Energía activa del alimentador A4124 que es un 1.8% en promedio se procede a proyectar la Energía para un horizonte de 20 años con esta tasa de crecimiento para los alimentadores A4122 – A4124. Tomando como año base el 2022 y considerando el 2025 como Año 1 del nuevo alimentador, lo cual se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 14*Proyección de la Energía Activa*

Tasa de Crecimiento	1.8%				
Alimentador	Año 1 (2025)	Año 5 (2029)	Año 10 (2034)	Año 15 (2039)	Año 20 (2044)
A4124	9,371	10,664	11,686	12,622	13,645
Clientes regulados	8,545	9,178	10,034	10,970	11,993
Factibilidad de suministro	826	1,487	1,652	1,652	1,652
A4125	1,215	1,304	1,426	1,559	1,705
Clientes regulados	1,215	1,304	1,426	1,559	1,705
A4126	1,296	1,391	1,521	1,663	1,818
Clientes regulados	1,296	1,391	1,521	1,663	1,818
Factibilidad de suministro (A4122)	653	1,176	1,306	1,306	1,306

Fuente: Propia.

De forma similar a la Demanda de Energía se calcula la demanda de Potencia con una tasa de crecimiento de 2.1%. La demanda máxima- al año 2044 del Alimentador A4124NU proyectado es de 2,56 MW, y el A4122 existente es de 2,5 MW, siendo la Demanda Máxima similar en ambos alimentadores.

Tabla 15

Proyección de la Demanda de Potencia

TC	2.1%	Máximas Demandas (kW)				
	Alimentador	Año 1 (2025)	Año 5 (2029)	Año 10 (2034)	Año 15 (2039)	Año 20 (2044)
A4124NU (Proyectado)	A4124NU	1,678	1,915	2,125	2,330	2,557
	Cientes regulados	1,550	1,684	1,868	2,073	2,300
	Factibilidad de suministro	128	231	257	257	257
A4122 (Existente)	A4122	210	318	353	364	377
	Cientes regulados	84	91	101	112	125
	Factibilidad de suministro	126	227	252	252	252
	A4124	752	863	957	1,048	1,149
	Cientes regulados	688	747	829	920	1,020
	Factibilidad de suministro	64	115	128	128	128
	A4125, Cliente regulados	318	346	384	426	472
	A4126, Cliente regulados	340	369	409	454	504
	A4122	1,620	1,896	2,104	2,292	2,502
	Cientes regulados	1,429	1,553	1,723	1,912	2,121
	Factibilidad de suministro	190	342	380	380	380
SET Ing 22kV	A4123, Cliente regulados	53	58	64	71	79
	Minas Buenaventura	4,060	4,060	4,060	4,060	4,060
	MD Total kW	7,411	7,928	8,353	8,753	9,198

Fuente: Propia.

3.4.4 Estimación de la Oferta

Se considera la oferta del TP 60/22kV – 12,5 MVA (ONAN) de la SET Ingenio.

3.4.5 Determinación de la brecha Oferta Demanda

Con el cálculo de la oferta y la demanda se puede determinar la brecha oferta-demanda, con lo cual se tiene una demanda máxima de 9.2 MW, por lo cual el Transformador de Potencia de la SET Ingenio DE 12.5 MVA puede cubrir la demanda proyectada y se muestra en el siguiente cuadro para los años 1, 5, 10, 15 y 20:

Tabla 16*Brecha Oferta-Demanda*

Oferta Dem.	Descripción	2025	2029	2034	2039	2044
		1	5	10	15	20
Oferta	SET Ingenio 60/22kV	11.9	11.9	11.9	11.9	11.9
Demanda	A4124NU	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6
	A4122 existente	1.6	1.9	2.1	2.3	2.5
	A4123 existente	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Minas Buenaventura	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
	Deman. Máx. Total, MW	7.4	7.9	8.4	8.8	9.2
Brecha Oferta-Demanda SET Ingenio 60/22 kV, MW		4.5	3.9	3.5	3.1	2.7

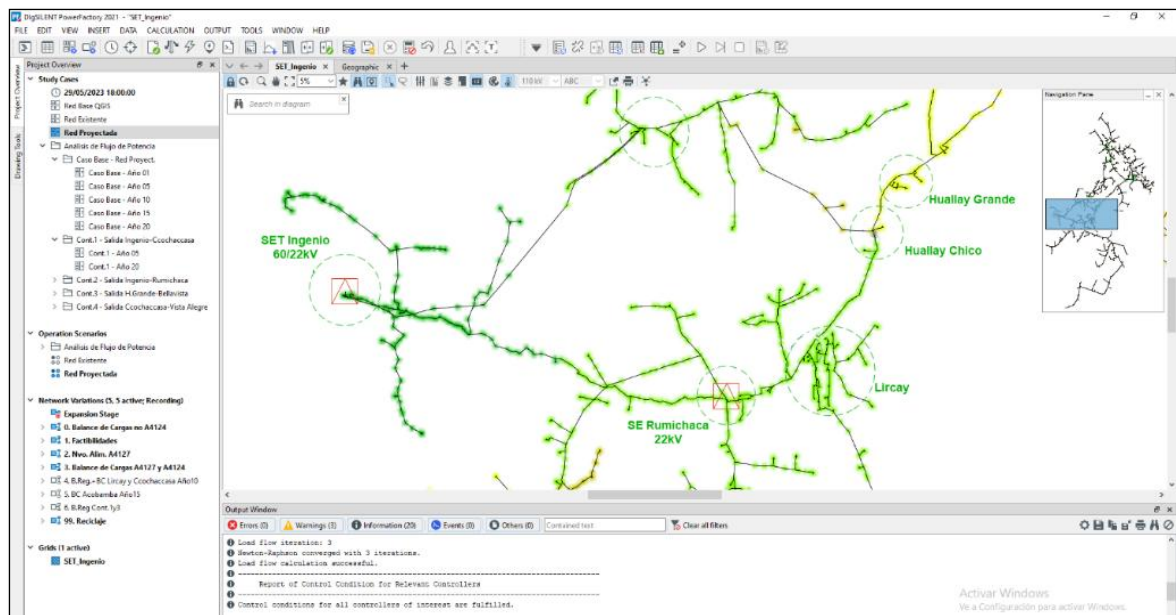
Fuente: Propia.

3.5 Análisis del sistema eléctrico en condiciones normales

Habiéndose definido la ruta en campo se ha modelado y efectuado el análisis de los Alimentadores A4122, A4124 y A4124NU mediante el programa Power Factory Digsilent.

Figura 42

Modelado de la red proyectada en Digsilent.



Fuente: Propia.

Con el modelado de la red proyectada con el alimentador A4124NU, y con la proyección de la demanda de los alimentadores a un horizonte de 20 años (2025-2044) se analiza la caída de tensión en los años 2025 (año 1), 2029 (año 5), 2034 (año 10), y 2044 (año 20)

Selección del conductor

Para el presente análisis se ha considerado un conductor AAAC (Al Aluminio Alloy conductor o conductor de aleación de aluminio) de 70 mm², esto con la finalidad de poder mejorar la caída de tensión en los ramales más alejados de la SET Ingenio, además de haber sido coordinado con la concesionaria Electrocentro, que, para facilidad de mantenimiento preventivo o correctivo, sugirió que el alimentador sea de 70 o 120 mm².

Si bien se podría considerar un alimentador de 120 mm², esto afectaría a los armados utilizados, dado que el peso del conductor sería mucho mayor comparándolo con el de 70 mm² lo que involucraría mayor costo tanto del conductor, como de sus armados soporte.

Además de esto para comprobar la dimensión del conductor se ha realizado el análisis de la “Capacidad Térmica del conductor” que se presenta en anexo N° 2 y el “Cálculo Mecánico de conductores” considerando un EDS de 15% y 12% presentado en el anexo N° 3.

Con esto podemos decir que el conductor AAAC de 70 mm², cumple con lo requerido para mejorar la caída de tensión según los objetivos de la tesis, y cumple con diferentes parámetros térmicos y mecánicos para que pueda utilizarse sin problemas.

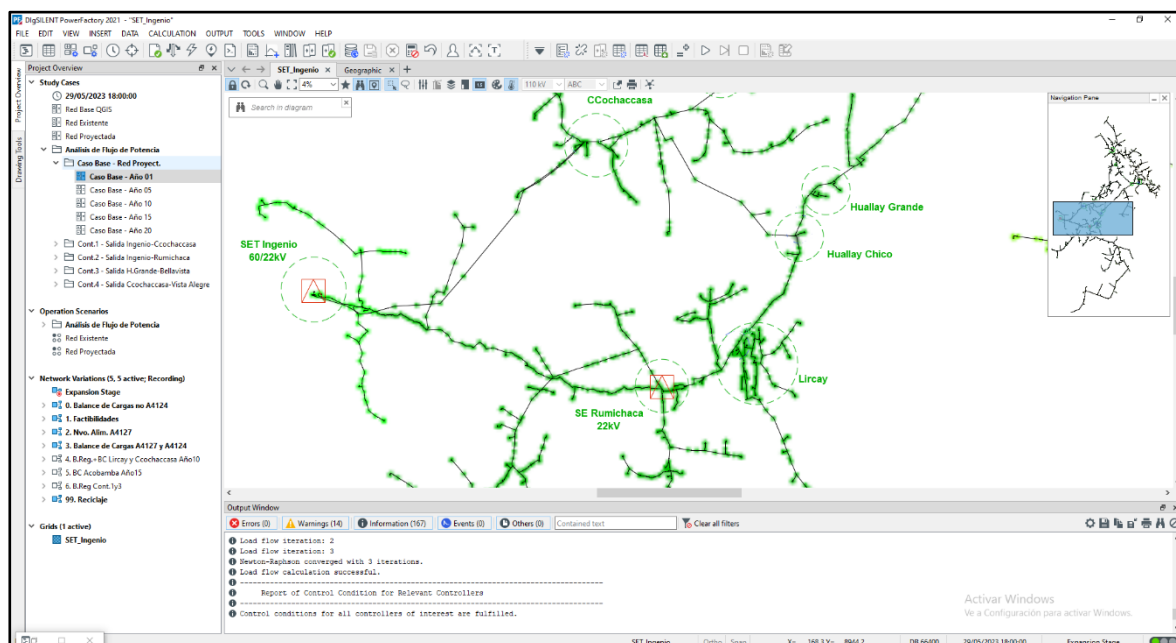
3.5.1 Análisis Año 1 (2025):

Se ha efectuado un balance de cargas entre el alimentador A4124NU y A4124; por lo que Acobamba se integra al Alimentador nuevo, y Lircay queda en el Alimentador existente.

Por otro lado, se puede observar que se forman dos anillos, que quedaran normalmente abiertos.

Figura 43

Modelado del año 1 en Digsilent.

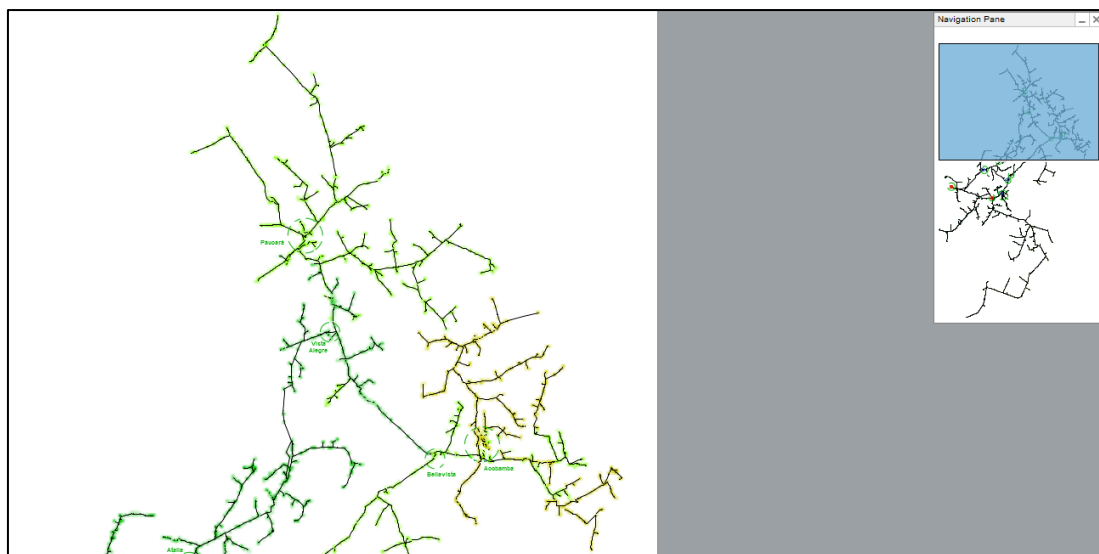


Fuente: Propia.

Gráficamente se observa que con el nuevo alimentador los ramales más alejados de la SET Ingenio, es decir cercanos a Paucará y Acobamba, tienen una menor caída de tensión con respecto al diagnóstico.

Figura 44

Ramales de la red proyectada Año 1.



Fuente: Propia.

A continuación, se muestra los resultados de la caída de tensión en el año 1 en los 10 tramos considerados en el diagnóstico

Tabla 17

Caída de Tensión en Condiciones Normales-Año 1

Puntos	Sección mm ² AAAC	N° Fases	Año 1 (2025)		
			Tensión		AV
			kV	p.u.	(%)
Salida SET Ingenio 60/22kV	-	-	22.66	1.030	-3.00
Dist. Lircay	35	3ø	22.07	1.003	-0.3
Dist. Ccochaccasa	35	2ø	22.15	1.007	-0.7
CP Chucuspa	25	1ø	12.70	1.000	0.0
Dist. Huayllay Chico	Cu 10	1ø	12.60	0.992	0.8
CP Ccasacancha	25	1ø	12.71	1.001	-0.1
CP Atalla	25	1ø	12.67	0.998	0.2
CP San Pablo de Occo	25	1ø	12.64	0.995	0.5
CP Chacapunco	25	1ø	12.59	0.991	0.9
CP Molinopampa	70	3ø	21.80	0.991	0.9
CP Vista Alegre	70	3ø	21.71	0.987	1.3
Dist. Huayllay Grande	10	1ø	12.57	0.990	1.0
Dist. Callanmarca	35	1ø	12.41	0.977	2.3
Dist. Huanca-Huanca	25	1ø	12.38	0.975	2.5
CP Bellavista	70	3ø	21.38	0.972	2.8
Dist. Acobamba	25	3ø	21.27	0.967	3.3
CP Chanquil	70	3ø	21.69	0.986	1.4
Dist. Paucará	35	3ø	21.65	0.984	1.6
			≥0,94	≤ 6,0%	

Fuente: Propia.

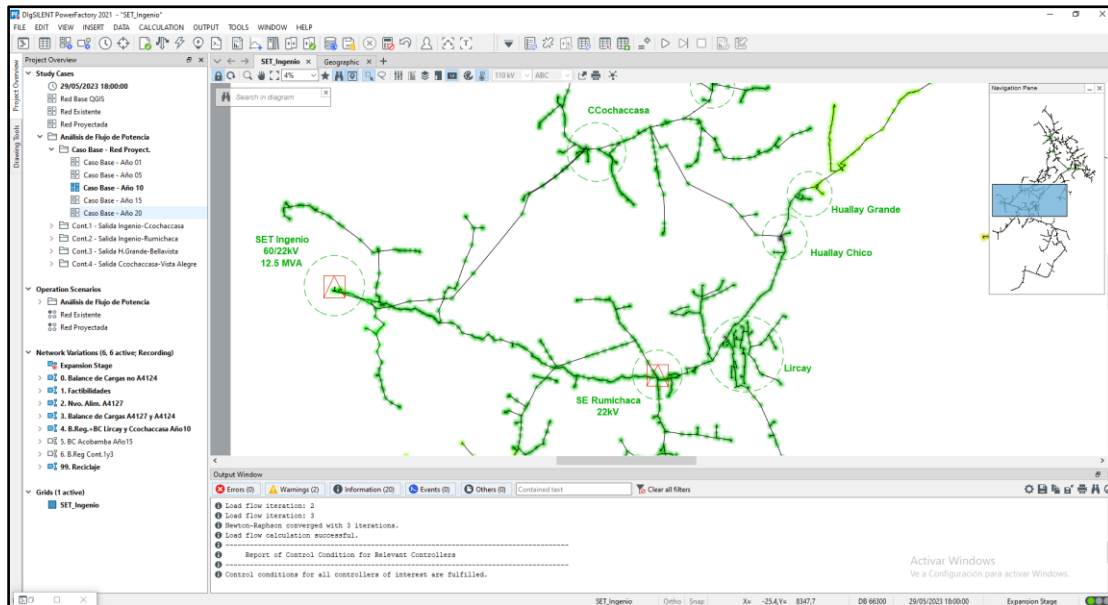
Del cuadro anterior podemos observar que para el primer año de implementación del alimentador A4124NU, se tendría una caída de tensión menor al 6%. Lo cual cumple con la NTCSE.

3.5.2 Análisis Año 10 (2034):

Con la configuración considerada para el año 1, se hace la evaluación de caída de tensión para el año 10.

Figura 45

Modelado del Año 10 en Digsilent.

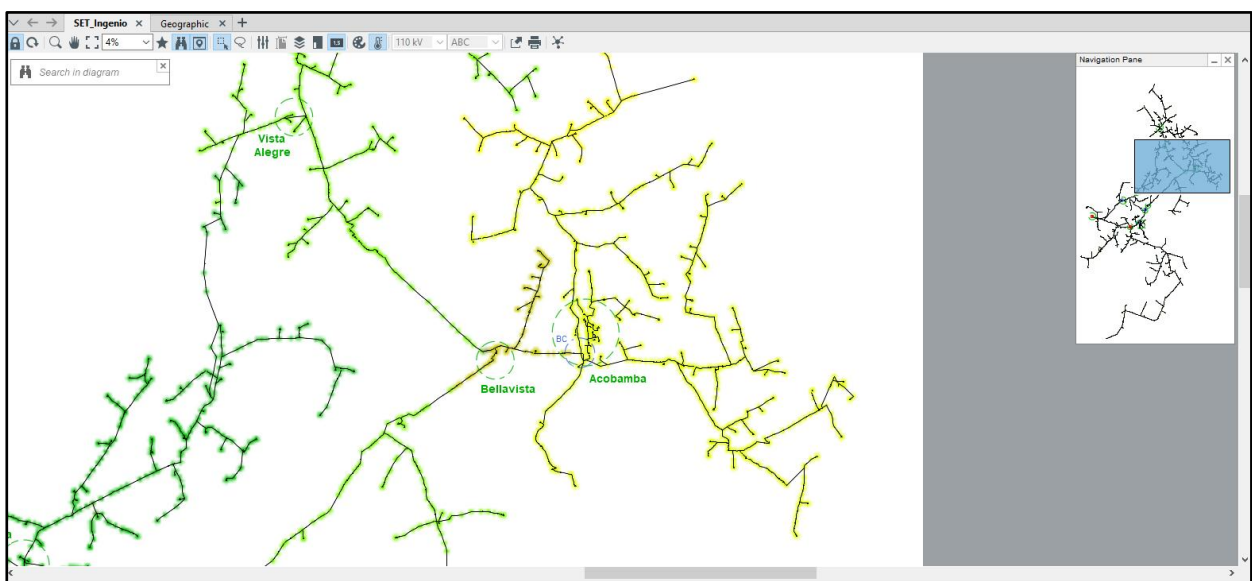


Fuente: Propia.

Por otro lado, se observa que en los ramales cercanos a Acobamba la caída de tensión llega a valores mayores 6% en los ramales lo cual excede lo establecido en la NTCSE.

Figura 46

Caída de Tensión cercana a los ramales en el año 10.

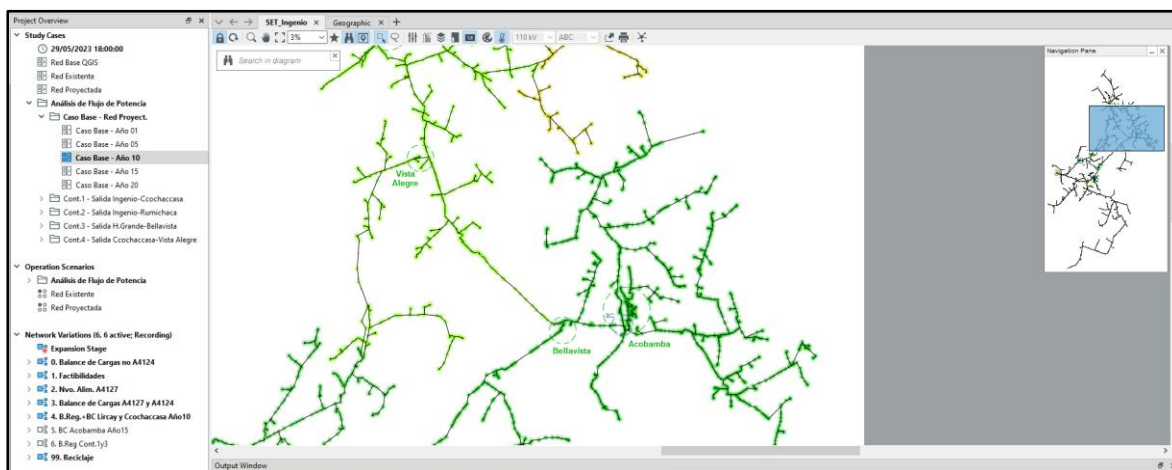


Fuente: Propia.

Para mejorar la caída de tensión se tendría que colocar un banco de reguladores de tensión en Huayllay Chico, y dos bancos de capacitores de 300 kVAR uno en el distrito de Lircay y otro en Ccochaccasa. Con lo cual los resultados mejoran notablemente

Figura 47

Caída de tensión con equipos implementados.



Fuente: Propia.

Implementado los equipos mencionados, modelándolo en el Power Factory, se logran los siguientes resultados:

Tabla 18

Caída de Tensión en Condiciones Normales-Año 10

Puntos	Sección mm² AAAC	Nº Fases	Año 10 (2034)		
			Tensión		AV
			kV	p.u.	(%)
Salida SET Ingenio 60/22kV	-	-	22.66	1.030	-3.00
Dist. Lircay	35	3Ø	21.96	0.998	0.2
Dist. Ccochaccasa	35	2Ø	22.04	1.002	-0.2
CP Chucuspa	25	1Ø	12.62	0.994	0.6
Dist. Huayllay Chico	Cu 10	1Ø	13.14	1.035	-3.5
CP Atalla	25	1Ø	12.59	0.991	0.9
CP San Pablo de Occo	25	1Ø	12.53	0.987	1.3
CP Chacapunco	25	1Ø	12.48	0.983	1.7
CP Vista Alegre	70	3Ø	21.49	0.977	2.3
Dist. Huayllay Grande	10	1Ø	13.11	1.032	-3.2
CP Bellavista	70	3Ø	22.20	1.009	-0.9
Dist. Acobamba	25	3Ø	22.07	1.003	-0.3
CP Chanquil	70	3Ø	21.45	0.975	2.5
Dist. Paucará	35	3Ø	21.41	0.973	2.7
			≥0,94		≤ 6,0%

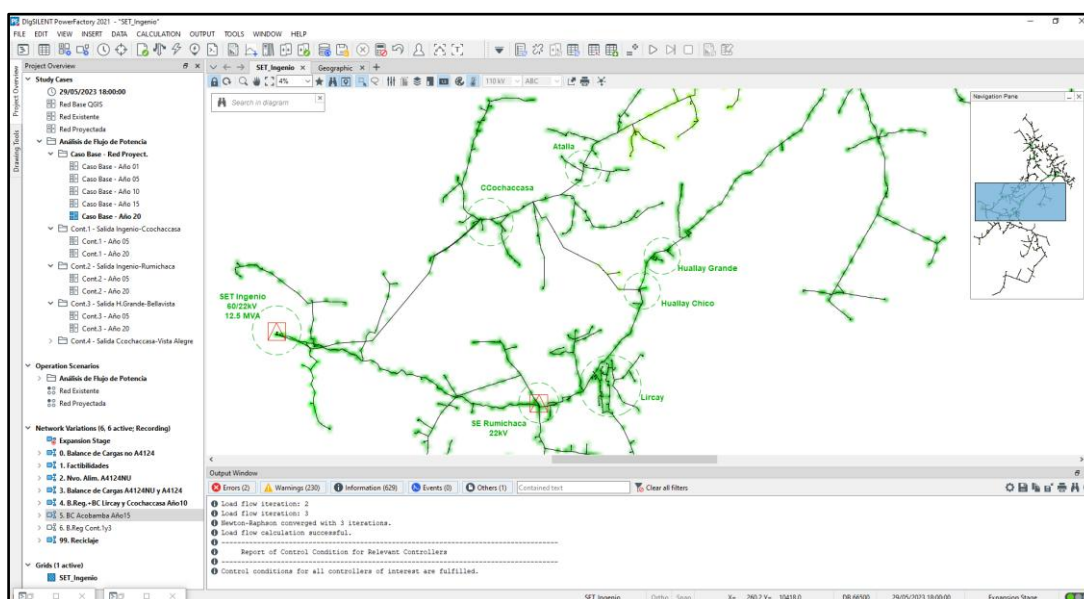
Fuente: Propia.

3.5.3 Análisis Año 20 (2044):

Como último año de horizonte, se realiza el análisis para el año 20

Figura 48

Modelado del año 20 en Digsilent

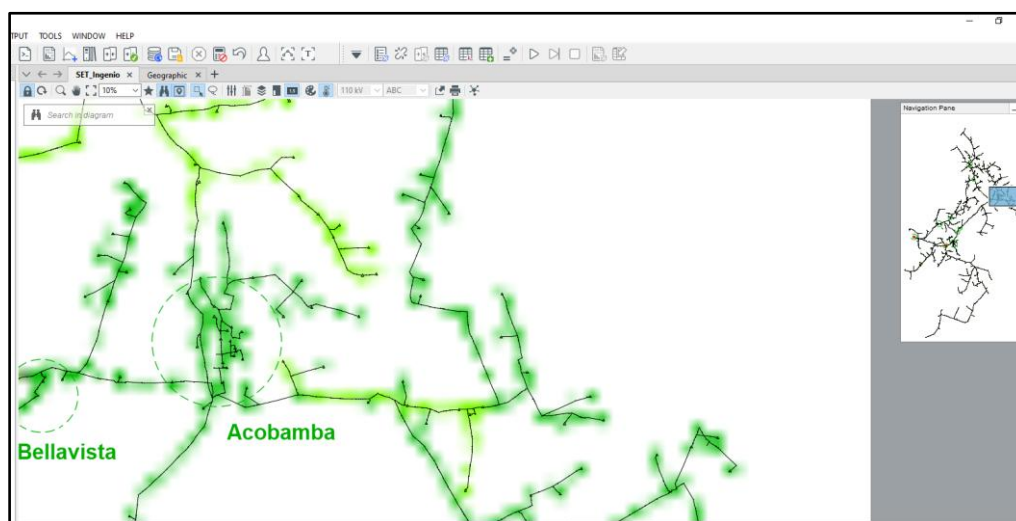


Fuente: Propia.

Se observa que la caída de tensión en los ramales es cercana al 6%, lo cual si bien no está fuera de lo permitido por la NTCSEER dado que Acobamba es una zona principal de la red analizada esto debería ser mejorada.

Figura 49

Caída de Tensión cercana a los ramales en el año 20

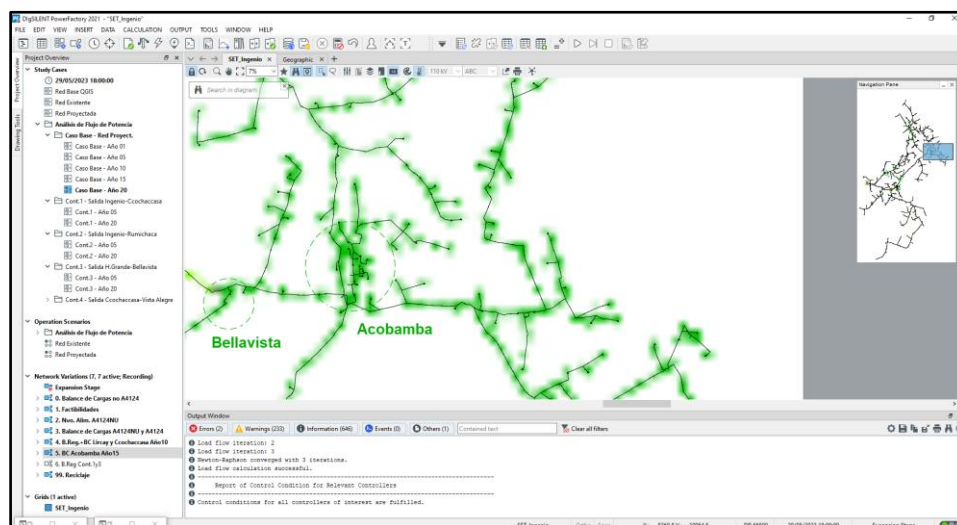


Fuente: Propia.

Para mejorar la caída de tensión se propone un banco de condensadores de 15 kVAR, el cual mejora la caída de tensión en el distrito de Acobamba.

Figura 50

Caída de tensión con equipos implementados



Fuente: Propia.

Implementado el equipo mencionado, modelándolo en el Power Factory, se logran los siguientes resultados:

Tabla 19

Caída de Tensión de Tensión en Condiciones Normales-Año 20

Puntos	Sección mm ² AAAC	N° Fases	Año 20 (2044)		
			Tensión		AV
			kV	p.u.	(%)
Salida SET Ingenio 60/22kV	-	-	22.66	1.030	-3.00
Dist. Lircay	35	3ø	21.80	0.991	0.9
Dist. Ccochaccasa	35	2ø	21.91	0.996	0.4
CP Chucuspa	25	1ø	12.53	0.987	1.3
Dist. Huayllay Chico	Cu 10	1ø	13.03	1.026	-2.6
CP Atalla	25	1ø	12.48	0.983	1.7
CP San Pablo de Occo	25	1ø	12.42	0.978	2.2
CP Chacapunco	25	1ø	12.34	0.972	2.8
CP Vista Alegre	70	3ø	21.23	0.965	3.5
Dist. Huayllay Grande	10	1ø	12.99	1.023	-2.3
CP Bellavista	70	3ø	21.93	0.997	0.3
Dist. Acobamba	25	3ø	21.78	0.990	1.0
CP Chanquil	70	3ø	21.19	0.963	3.7
Dist. Paucará	35	3ø	21.12	0.960	4.0
			≥0,94		≤ 6%

Fuente: Propia.

3.6 Análisis del sistema eléctrico en contingencias

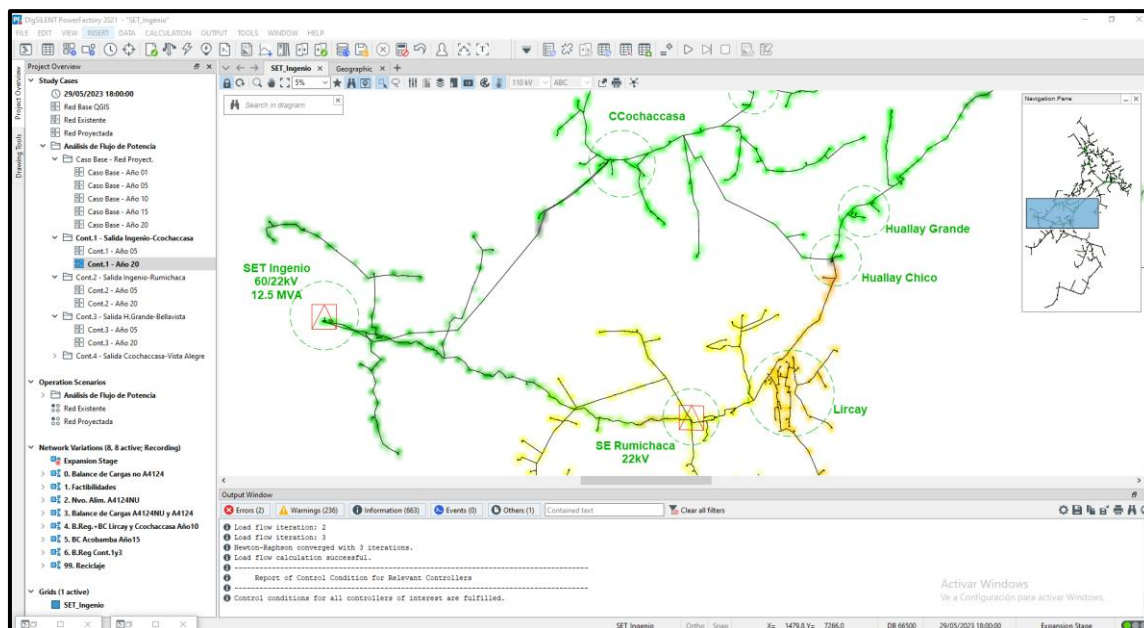
Se han analizado 04 contingencias en el año 20, considerando las salidas fuera de servicio de los tramos en 22kV: 1) Ingenio-Ccochaccasa; 2) Ingenio-Rumichaca; 3) Huayllay Grande-Bellavista; 4) Ccochaccasa-Vista Alegre; de tal forma que el Sistema Eléctrico Ingenio tenga el mayor grado de confiabilidad, y que, ante la salida de cualquiera de los tramos considerados, el Sistema Eléctrico funcionará satisfactoriamente, garantizando la continuidad y la calidad del servicio eléctrico, aún en contingencia se mantiene el valor de 6%.

3.6.1 Contingencia 1: Salida de LP Ingenio-Ccochaccasa

En esta contingencia se ha analizado la salida de un tramo de la Línea Primaria que va desde la SET Ingenio a Ccochaccasa

Figura 51

Análisis de Contingencia 1



Fuente: Propia.

Se observa que cumple con la caída de tensión en todos los distritos y centros poblados (< 6%)

Tabla 20

Caída de Tensión Contingencia 1

Puntos	Sección mm ² AAAC	N° Fases	Cont.1 (Año 20)		
			Tensión kV	p.u.	AV (%)
Salida SET Ingenio 60/22kV			22.66	1.030	-3.00
Dist. Lircay	35	3ø	20.66	0.939	6.0
Dist. Ccochaccasa	35	2ø	22.55	1.025	-2.5
CP Chucuspa	25	1ø	12.98	1.022	-2.2
Dist. Hualay Chico	Cu 10	1ø	13.02	1.025	-2.5
CP Atalla	25	1ø	12.94	1.019	-1.9
CP San Pablo de Occo	25	1ø	12.89	1.015	-1.5
CP Chacapunco	25	1ø	12.75	1.004	-0.4
CP Vista Alegre	70	3ø	22.04	1.002	-0.2
Dist. Hualay Grande	10	1ø	13.03	1.026	-2.6
CP Bellavista	70	3ø	22.00	1.000	0.0
Dist. Acobamba	25	3ø	21.87	0.994	0.6
CP Chanquil	70	3ø	22.00	1.000	0.0
Dist. Paucará	35	3ø	21.93	0.997	0.3
			≥0,9		≤ 6%

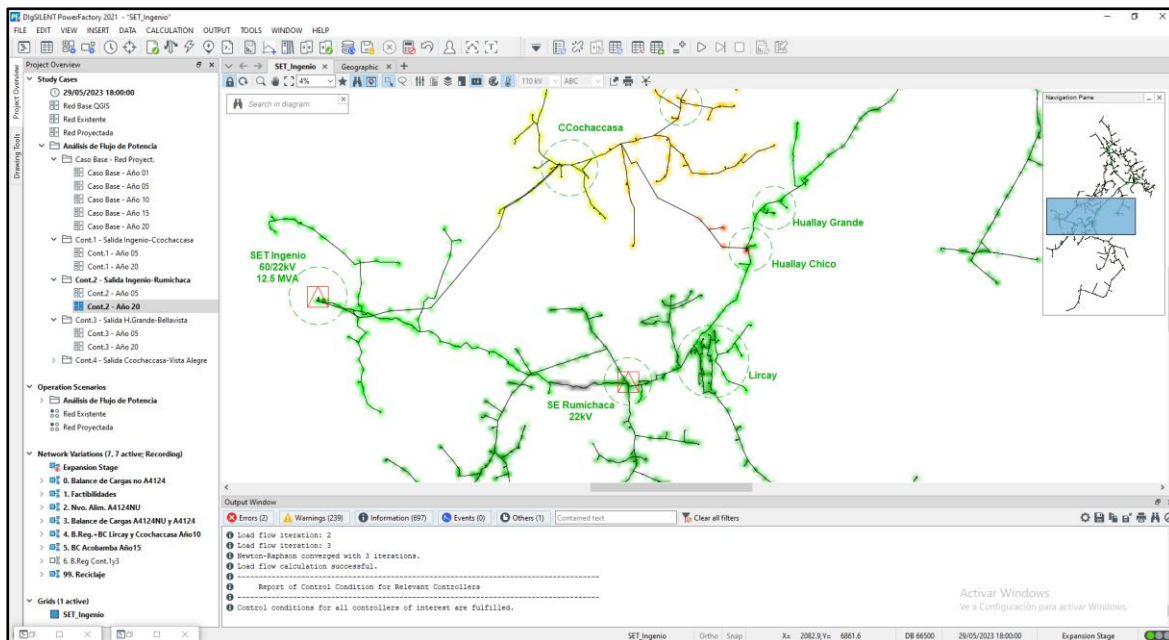
Fuente: Propia.

3.6.2 Contingencia 2: Salida de LP Ingenio-Rumichaca

En la contingencia 2 se plantea la salida de la línea primaria Ingenio Rumichaca

Figura 52

Análisis de Contingencia 2



Fuente: Propia.

Se observa que cumple con la caída de tensión en todos los distritos y centros poblados (< 6%).

Tabla 21

Caída de Tensión Contingencia 2

Puntos	Sección mm ² AAAC	Nº Fases	Cont.2 (Año 20)		
			Tensión kV	p.u.	AV (%)
Salida SET Ingenio 60/22kV			22.66	1.03	-3.00
Dist. Lircay	35	3Ø	22.40	1.018	-1.8
Dist. Ccochaccasa	35	2Ø	21.08	0.958	4.2
CP Chucuspa	25	1Ø	11.91	0.938	6.0
Dist. Huallay Chico	Cu 10	1Ø	13.02	1.025	-2.5
CP Atalla	25	1Ø	11.91	0.938	6.2
CP San Pablo de Occo	25	1Ø	11.93	0.939	6.0
CP Chacapunco	25	1Ø	11.89	0.936	6.0
CP Vista Alegre	70	3Ø	20.61	0.937	6.0
Dist. Huallay Grande	10	1Ø	12.98	1.022	-2.2
CP Bellavista	70	3Ø	21.60	0.982	1.8
Dist. Acobamba	25	3Ø	21.45	0.975	2.5
CP Chanquil	70	3Ø	21.34	0.970	3.0
Dist. Paucará	35	3Ø	21.27	0.967	3.3
			≥0,9 ≤6%		

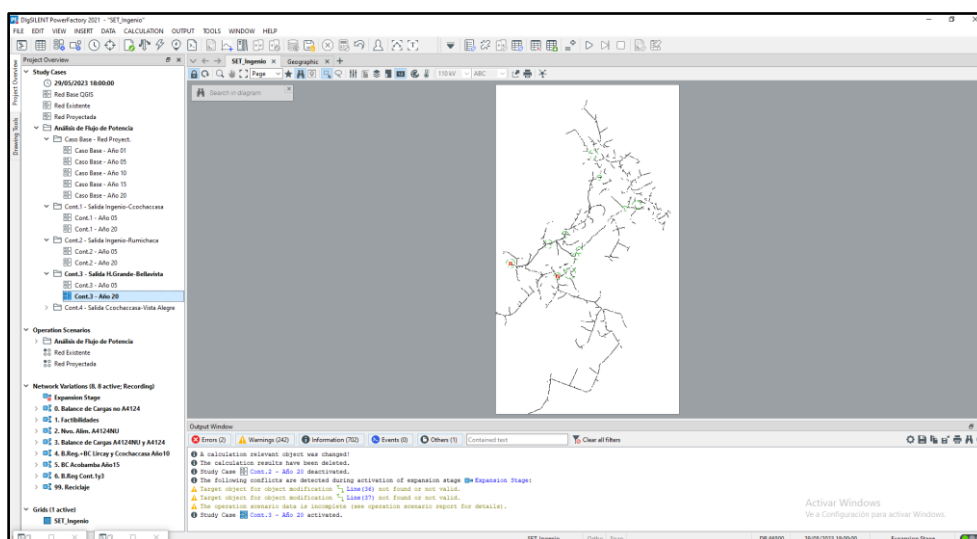
Fuente: Propia.

3.6.3 Contingencia 3: Salida de LP Huayllay Grande- Bellavista

En la contingencia 3 se plantea la salida de la línea primaria Huayllay Grande- Bellavista.

Figura 53

Análisis de Contingencia 3



Fuente: Propia.

De los resultados obtenidos se observa que la caída de tensión es menor que el 6%

Tabla 22

Caída de Tensión Contingencia 3

Puntos	Sección mm ² AAAC	N° Fases	Cont.3 (Año 20)		
			Tensión		AV
			kV	p.u.	(%)
Salida SET Ingenio 60/22kV			22.66	1.03	-3.00
Dist. Lircay	35	3ø	20.68	0.940	6.0
Dist. Ccochaccasa	35	2ø	22.6	1.027	-2.7
CP Chucuspa	25	1ø	13.0	1.026	-2.6
Dist. Huallay Chico	Cu 10	1ø	13.2	1.042	-4.2
CP Atalla	25	1ø	12.9	1.018	-1.8
CP San Pablo de Occo	25	1ø	12.7	1.001	-0.1
CP Chacapunco	25	1ø	12.6	0.996	0.4
CP Vista Alegre	70	3ø	21.3	0.966	3.4
Dist. Huallay Grande	10	1ø	13.3	1.044	-4.4
CP Bellavista	70	3ø	20.7	0.943	5.7
Dist. Acobamba	25	3ø	20.6	0.936	6.0
CP Chanquil	70	3ø	21.1	0.960	4.0
Dist. Paucará	35	3ø	21.05	0.957	4.3
			≥0,9		≤ 6%

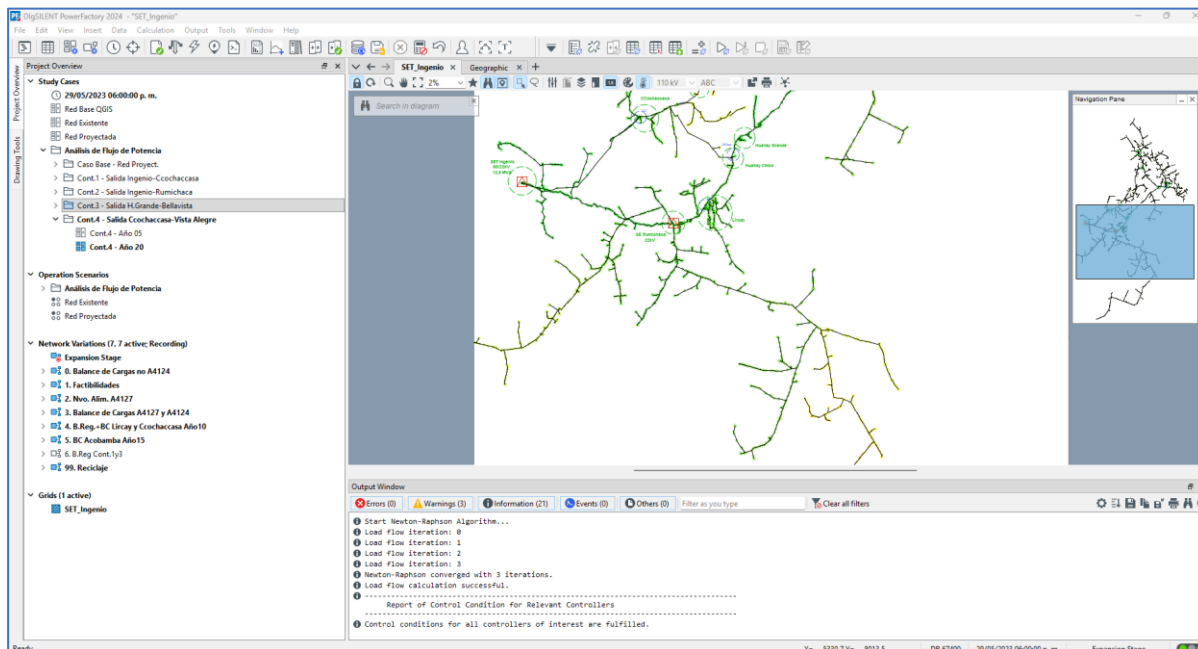
Fuente: Propia.

3.6.4 Contingencia 4: Salida de LP Ccochaccasa- Vista Alegre

En la contingencia 4 se plantea la salida de la línea primaria que va desde Ccochaccasa- Vista Alegre.

Figura 54

Análisis de Contingencia 4



Fuente: Propia.

De los resultados obtenidos se observa que la caída de tensión es menor que el 6%.

Tabla 23

Caída de Tensión Contingencia 4

Puntos	Sección mm ² AAAC	N° Fases	Cont.4 (Año 20)		
			Tensión		AV
			kV	p.u.	(%)
Salida SET Ingenio 60/22kV			22.66	1.030	-3.00
Dist. Lircay	35	3ø	21.80	0.991	0.9
Dist. Ccochaccasa	35	2ø	21.85	0.993	0.7
CP Chucuspa	25	1ø	12.47	0.982	1.8
Dist. Huallay Chico	Cu 10	1ø	13.03	1.026	-2.6
CP Atalla	25	1ø	11.99	0.944	5.6
CP San Pablo de Occo	25	1ø	12.13	0.955	4.5
CP Chacapunco	25	1ø	12.17	0.958	4.2
CP Vista Alegre	70	3ø	20.92	0.951	4.9
Dist. Huallay Grande	10	1ø	12.93	1.018	-1.8
CP Bellavista	70	3ø	21.36	0.971	2.9
Dist. Acobamba	25	3ø	21.21	0.964	3.6
CP Chanquil	70	3ø	21.03	0.956	4.4
Dist. Paucará	35	3ø	20.97	0.953	4.7
			≥0,9		≤ 6%

Fuente: Propia.

3.7 Análisis de cortocircuito

A continuación, se presenta el análisis de cortocircuito realizado con el software Digsilent, se ha analizado con el método de cálculo IEC 60909 una falla trifásica, bifásica a tierra y monofásica a tierra en condiciones normales para el año 1(2025); año 10 (2034); año 20 (2044) y se analiza para el caso de las contingencias 1, 2, 3 y 4 en el año 20 (2044).

Figura 55

Método utilizado en el Digsilent

The screenshot shows the 'Short-Circuit Calculation' dialog box in the Digsilent software. The window title is 'Short-Circuit Calculation - ... de Flujo de Potencia\Caso Base - Red Proyect.\Caso Base - Año 01\Short-Circuit Calculation.ComShc'. The 'Basic Options' tab is selected in the left sidebar. The main area contains the following settings:

- Method:** IEC 60909 (dropdown)
- Published:** 2016 (dropdown)
- Execute:** button
- Close:** button
- Cancel:** button
- Contents:** button
- Fault Type:** 3-Phase Short-Circuit (dropdown)
- Calculate:** Max. Short-Circuit Currents (dropdown)
- Max. Voltage Tolerance for LV-Systems:** 6 % (dropdown)
- Short-Circuit Duration:**
 - Break Time:** 0.1 s (text input)
 - Used Break Time:** global (dropdown)
 - Fault Clearing Time (lth):** 1. s (text input)
- Fault Impedance:**
 - ☐ Enhanced Fault Impedance Definition
 - Resistance, Rf:** 0. Ohm (text input)
 - Reactance, Xf:** 0. Ohm (text input)
- Fault Location:**
 - At:** User Selection (dropdown)
 - User Selection:** SET_Ingenio\SET Ingenio 66/22kV 25MVA (dropdown with arrow)

Fuente: Propia.

A continuación, se presenta lo descrito en las siguientes tablas:

Tabla 24

Análisis de cortocircuito Año 1 (2025)

Puntos	Año 1 (2025)		
	3Ø	2Ø a tierra	1Ø a tierra
	Ikss (kA)	Ikss C (kA)	Ikss (kA)
Salida SET Ingenio 60/22kV	2.5	2.499	2.499
CP Palcas	1.821	1.73	1.471
Dist. Lircay	0.929	0.889	0.632
Dist. Ccochaccasa	1.109	1.057	0.773
CP Bellavista	0.453	0.437	0.289
Dist. Acobamba	0.427	0.412	0.272
Dist. Paucará	0.428	0.412	0.272

Fuente: Propia.

Tabla 25

Análisis de cortocircuito Año 10 (2034)

Puntos	Año 10 (2034)		
	3Ø	2Ø a tierra	1Ø a tierra
	Ikss (kA)	Ikss C (kA)	Ikss (kA)
Salida SET Ingenio 60/22kV	2.7	2.699	2.699
CP Palcas	1.922	1.825	1.537
Dist. Lircay	0.953	0.912	0.643
Dist. Ccochaccasa	1.143	1.09	0.79
CP Bellavista	0.463	0.446	0.295
Dist. Acobamba	0.428	0.413	0.272
Dist. Paucará	0.432	0.417	0.274

Fuente: Propia.

Tabla 26

Análisis de cortocircuito Año 20 (2044)

Puntos	Año 20 (2044)		
	3Ø	2Ø a tierra	1Ø a tierra
	Ikss (kA)	Ikss C (kA)	Ikss (kA)
Salida SET Ingenio 60/22kV	2.7	2.699	2.699
CP Palcas	1.922	1.825	1.537
Dist. Lircay	0.953	0.912	0.643
Dist. Ccochaccasa	1.143	1.09	0.79
CP Bellavista	0.463	0.446	0.295
Dist. Acobamba	0.428	0.413	0.272
Dist. Paucará	0.432	0.417	0.274

Fuente: Propia.

Tabla 27

Análisis de cortocircuito Contingencia 1

Puntos	Contingencia 1 (Año 20)		
	3Ø	2Ø a tierra	1Ø a tierra
	Ikss (kA)	Ikss C (kA)	Ikss (kA)
Salida SET Ingenio 60/22kV	2.7	2.699	2.699
CP Palcas	1.922	1.825	1.537
Dist. Lircay	0.953	0.911	0.641
Dist. Ccochaccasa	0.596	0.572	0.384
CP Bellavista	0.472	0.454	0.301
Dist. Acobamba	0.436	0.42	0.277
Dist. Paucará	0.344	0.332	0.216

Fuente: Propia.

Tabla 28

Análisis de cortocircuito Contingencia 2

Puntos	Contingencia 2 (Año 20)		
	3Ø	2Ø a tierra	1Ø a tierra
	Ikss (kA)	Ikss C (kA)	Ikss (kA)
Salida SET Ingenio 60/22kV	2.7	2.699	2.699
CP Palcas	1.922	1.825	1.537
Dist. Lircay	0.652	0.626	0.424
Dist. Ccochaccasa	1.143	1.09	0.79
CP Bellavista	0.463	0.446	0.296
Dist. Acobamba	0.428	0.413	0.271
Dist. Paucará	0.335	0.324	0.211

Fuente: Propia.

Tabla 29

Análisis de cortocircuito Contingencia 3

Puntos	Contingencia 3 (Año 20)		
	3Ø	2Ø a tierra	1Ø a tierra
	Ikss (kA)	Ikss C (kA)	Ikss (kA)
Salida SET Ingenio 60/22kV	2.7	2.699	2.699
CP Palcas	1.794	1.704	1.453
Dist. Lircay	1.269	1.209	0.899
Dist. Ccochaccasa	0.986	0.937	0.709
CP Bellavista	0.448	0.432	0.284
Dist. Acobamba	0.418	0.403	0.265
Dist. Paucará	0.48	0.463	0.306

Fuente: Propia.

Tabla 30

Análisis de cortocircuito Contingencia 4

Puntos	Contingencia 4 (Año 20)		
	3Ø	2Ø a tierra	1Ø a tierra
	Ikss (kA)	Ikss C (kA)	Ikss (kA)
Salida SET Ingenio 60/22kV	2.7	2.699	2.699
CP Palcas	1.922	1.825	1.537
Dist. Lircay	0.953	0.912	0.643
Dist. Ccochaccasa	1.143	1.09	0.79
CP Bellavista	0.463	0.446	0.294
Dist. Acobamba	0.428	0.413	0.71
Dist. Paucará	0.335	0.324	0.21

Fuente: Propia.

Se puede observar que la mayor corriente de cortocircuito se da en la subestación Ingenio 2.7 kA en el año 20 tanto en contingencia como en condiciones normales.

3.8 Equipamiento del nuevo alimentador

Los presentes equipos, entre otros se definen después de haber realizado la evaluación del conductor según el Digsilent y siguiendo la normativa del código nacional de electricidad, la norma DGE Bases para el diseño de Líneas y Redes primarias descrito en el fundamento teórico; entre otros que nos ayudan a definir lo óptimo para el presente alimentador.

3.8.1 Definición de armados de las Líneas Primarias-LP

En las líneas primarias se tiene 33.96 km, se usarán estructuras de Media Tensión de Concreto Armado Centrifugado 13/300daN y 13/400daN; armado triangular (tipo DGER/MEM) según lo indicado en la Norma DGE Especificaciones técnicas de soportes normalizados para Líneas y Redes Primarias, cruceta de madera de 2.4 m, aisladores tipo PIN y suspensión 27 kV 150 kV BILL; Puestas a Tierra como PAT-0 c/400 m; PAT-3 c/3 km (≥ 4000 msnm) y c/ 5km (< 4000 msnm); según indica el Código Nacional de Electricidad la resistencia de puesta a tierra debe ser menor a 25 ohm.

Tabla 31*BIL Típico*

Tabla 110-1 Valores para utilizarse con la Figura 110-1		
Tensión nominal entre fases (V)	BIL Típico (kV)	Dimensión "R" (m)
151 – 7 200	95	3,0
13 800	110	3,1
23 000	150	3,1
34 500	200	3,2
46 000	250	3,3
69 000	350	3,5
115 000	550	4,0
138 000	650	4,2
161 000	750	4,4
230 000	825	4,5
230 000	900	4,7
345 000	1 050	5,0
345 000	1 175	5,3
345 000	1 300	5,5
500 000	1 550	6,0
500 000	1 800	6,6

Fuente: CNE Suministro 2011

3.8.2 Definición de los armados de Redes Primarias-RP

En las RP en 22kV, que se ubican dentro de las localidades, en las vías públicas, donde se tiene facilidades de acceso e instalación, se plantea el uso de postes de Concreto Armado Centrifugado de 15m/400kg, con los bastidores de Fierro Galvanizado de disposición vertical, con un distanciamiento de 2,4m del poste, a fin de respetar las Distancias Mínimas de Seguridad a edificaciones actuales y futuras que se puedan presentar, por la construcción irregular de balcones en zonas urbanas según la norma DGE Bases para diseños de Líneas y Redes Primarias para electrificación rural. Se utilizarán los armados brindados por Electrocentro que cumplen con lo descrito.

3.8.3 Definición y Ubicación del Equipos de protección eléctrica

En el plano GEN-05 “Diagrama Unifilar Georreferenciado – Ubicación de Equipos de Protección y Maniobra” presentado en los Anexos, se observa la ubicación de Equipos de Protección, Maniobra y Pararrayos de Línea Primaria, presenta la ubicación del recloser,

seccionalizadores, seccionadores bajo carga, cut-out y pararrayos intermedios, para lograr una adecuada confiabilidad del servicio eléctrico de Lircay, considerando el análisis de caída de tensión efectuado y lo equipos considerados:

- Dentro de los anillos: Se utilizarán **Recloser** de 27kV, 100A, 150kV-BIL, 12.5 kA; Pararrayos de 21kV, 10kA, 150kV-BIL, con PAT-1+ Unidad Remota de Control (en adelante “RTU”) + transformación auxiliar, previsto para su operación desde el sistema SCADA.

Para la apertura y cierre (normalmente abiertos) de los alimentadores, se plantea los **Seccionadores bajo carga**, con un seccionador-cuchilla tipo cut-out, previsto para su operación desde el sistema SCADA, de 27kV, 100A, 150kV-BIL, 12.5kA; RTU, Cut Out Cuchilla 27kV 100A 150kV-BIL; Pararrayo 21kV 10kA 150kV-BIL c/ PAT-1, + RTU + transformador auxiliar + transformador de corriente.

- Ramales Radiales: Se emplearán los **seccionalizadores** tipo cut-out, de 27kV, 400A, 150kV-BIL, 12.5kA; RTU, Cut Out Cuchilla 27kV 100A 150kV-BILL; Pararrayo 21kV 10kA 150kV-BIL c/ PAT-1, + RTU + Transformador auxiliar + transformador de corriente + relé.

- Ramales Pequeños: Se emplearán los cut-out, con fusibles rápido-lentos, de 27kV, 100 A y 150 kV-BIL.

- Pararrayos de Línea: Debido a que en la zona se tienen descargas atmosféricas fuertes, debido a la altitud (de 3,000 a 4,500 msnm), se plantea instalar pararrayos intermedios de línea, cada 5 km, con pararrayos tipo distribución de 21 kV, 10kA, con un PAT-3 (3 varillas de PAT), para lograr las descargas a lo largo de la línea.

3.9 Análisis del SAIDI y SAIFI

Los índices SAIDI (System Average Interruption Duration Index) y SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) nos sirven para evaluar la calidad del servicio eléctrico. En esta sección, se analizan los valores de estos índices para el alimentador A4124 durante el período 2018-2022, proporcionados por la concesionaria Electrocentro. Además, se estima como el alimentador propuesto podría reducir significativamente estos índices, mejorando así la confiabilidad del suministro eléctrico.

Por información brindada por la concesionaria Electrocentro se obtuvo la siguiente información del parámetro SAIDI y SAIFI del alimentador A4124 de los años del 2018 al 2022.

Tabla 32

SAIDI y SAIFI alimentador A4124

AMT	Indicador	2018	2019	2020	2021	2022
A4124	SaifiMT (vec/usu- año)	5.85	1.98	2.36	3.52	2.01
A4124	SaidiMT (hrs/año)	11.17	3.92	4.97	4.81	4.44

Fuente: Electrocentro

Se observa que los valores de SAIDI y SAIFI están dentro de los valores establecidos por OSINERGMIN según la RS N° 178 -2012 – OS/ CD; para el sector típico de Sistema eléctricos rurales (SER) según tabla 1 “Tolerancia SAIDI y SAIFI” de la presente tesis; donde el valor máximo de SAIFI es de 12 y el valor máximo de SAIDI es 27.

Según información brindada por Electrocentro la mayor parte de fallas para el cálculo de estos parámetros se da por descargas atmosféricas. Otros motivos son, nevada, formación de hielo, avería en equipo de protección, cambio de estructura, fuertes vientos en la zona.

Tabla 33

Motivos de fallas comunes 2018-2022 del alimentador A4124

Motivo de falla	Número de veces	Porcentaje
Descarga atmosférica	515	52.5%
Nevada, formación de hielo	4	0.4%
Avería en equipo de protección - Cut Out	14	1.4%
Cambio de estructuras	13	1.3%
Caída de árboles	65	6.6%
Fuertes vientos en la zona	172	17.5%
Falla terminal cable	5	0.5%
Seguridad	16	1.6%
Otros	2	0.2%
De coordinación de protección	6	0.6%
Bajo nivel de aislamiento (Elemento Eléctrico mal dimensionado)	3	0.3%
Avería en equipo de protección - Pararrayo	15	1.5%
Línea abierta o caída	28	2.9%
Contacto entre conductores	16	1.6%
Colapso de estructura	9	0.9%
Cambio de estructuras y accesorios en riesgo	7	0.7%
Cambio de ferretería y accesorios	14	1.4%
Avería en equipo de protección y/o maniobra	17	1.7%
Sobrecarga	21	2.1%
Incendio - Quema de material en cercanías	1	0.1%
Expansión de redes	11	1.1%
Colisión de vehículo contra retenida	3	0.3%
Contacto de Red con árbol	24	2.4%

Fuente: Electrocentro

Según lo observado con el diseño propuesto en el presente capítulo, el suministro de energía eléctrica puede ser suministrada de diferentes formas dado que se pueden formar anillos por donde fácilmente podemos transferir o dar suministro a varias zonas por diferentes rutas. Además, que cada cierto tramo como ya se mencionó, se pondrán pararrayos para poder proteger los equipos de descargas atmosféricas

Es por esto que nuestra propuesta podría suministrar de energía casi en cualquier situación de contingencia. Por lo que el índice SAIDI y SAIFI podría verse reducido en

aproximadamente 50% dado que es un valor cercano al porcentaje de fallas por descarga atmosféricas, además se podría cubrir también varias de las otras fallas mencionadas.

3.10 Evaluación Económica

3.10.1 Metrado y Valor Referencial

Se realiza el presupuesto del alimentador considerando líneas y redes primarias, el detalle de los materiales en los armados de los postes a utilizar se puede ver en los planos de los armados de forma referencial.

Tabla 34

Presupuesto de suministro

Sección	Descripción	Línea Primaria	Red Primaria	Total General
Obra				
I	Suministros de materiales			
1.01	Crucetas de madera	68,000.00	-	68,000.00
1.02	Postes y accesorios de concreto armado	262,466.00	274,038.57	536,504.57
1.03	Aisladores y accesorios	99,051.34	43,205.64	142,256.98
1.04	Accesorios para conductores	32,731.20	26,944.16	59,675.36
1.05	Conductores	243,281.41	71,231.85	314,513.26
1.06	Ferretería de postes y crucetas	63,740.10	428,183.65	491,923.75
1.07	Retenidas	26,444.00	30,353.79	56,797.79
1.08	Puestas a tierra	15,776.90	2,063.34	17,840.24
1.09	Equipos de protección, seccionamiento y accesorios	337,291.21	-	337,291.21
Total suministro de materiales		1,148,782.16	876,021.00	2,024,803.16

Fuente: Propia.

Además, también se suma el precio aproximado del montaje electromecánico que incluye las obras preliminares y la instalación de los postes con sus componentes.

Tabla 35*Presupuesto de montaje*

Sección Obra	Descripción	Línea Primaria	Red Primaria	Total General
II	Montaje electromecánico			
2.01	Obras preliminares o civiles	115,804.54	7,965.73	123,770.27
2.02	Instalación de Postes CAC	170,051.84	106,120.75	276,172.59
2.03	Instalación de Retenidas	31,124.50	30,764.63	61,889.13
2.04	Montaje de armados	41,756.80	40,357.80	82,114.60
2.05	Montaje de conductores	332,359.55	97,385.96	429,745.51
2.06	Instalación de Puesta a Tierra	32,155.22	19,933.27	52,088.49
2.07	Prueba y puesta en servicio	19747.5	0	19,747.50
Total montaje electromecánico		742,999.95	302,528.14	1,045,528.09

Fuente: Propia.

Finalmente se considera el transporte de los materiales, los gastos generales y las utilidades con lo cual se obtiene que el alimentador A4124NU, tendría un presupuesto aproximado de S/ 4 580 389,76

Tabla 36*Resumen General del alimentador*

Resumen General			
Resumen General	Línea Primaria	Red Primaria	Total
1 Suministro de Materiales	1,148,782.16	876,021.00	2,024,803.16
2 Montaje Electromecánico	742,999.95	302,528.14	1,045,528.09
3 Transporte	57,439.11	43,801.05	101,240.16
4 5.0 Costo Directo (C.D)	1,949,221.22	1,222,350.19	3,171,571.41
5 Gastos generales	280,492.93	175,896.19	456,389.13
6 Gastos generales variables directos	240,326.35	150,707.86	391,034.20
7 Gastos generales fijos indirectos	40,166.59	25,188.33	65,354.92
8 Utilidades (8%)	155,937.70	97,788.01	253,725.71
9 Sub-Total sin I.G.V. (S/)	2,385,651.84	1,496,034.39	3,881,686.24
10 Impuesto General a las Ventas (18%)	429,417.33	269,286.19	698,703.52
Costo Total de Obra (Incluye I.G.V.) S/	2,815,069.17	1,765,320.58	4,580,389.76

Fuente: Propia.

3.10.2 Evaluación privada y social

Se ha realizado la evaluación económica a precios sociales y privados. Los indicadores económicos a precios privados resultan negativos, por lo que no se obtiene rentabilidad económica. El motivo es que la demanda máxima proyectada está muy por

debajo de la capacidad instalada, sin embargo, la carga de la Minera Micozha Cambalache (según información de Electrocentro) mejora rentabilidad privada y social del proyecto. Por otro lado, los indicadores económicos a precios sociales resultan positivos, por lo que se obtiene rentabilidad social ajustada. De aparecer cargas especiales como otras mineras, los indicadores sociales van a mejorar sustancialmente.

Tabla 37

Evaluación privada y social

a Precios	Unidad	Privados	Sociales
Tasa de Descuento	%	12%	8%
VAN (12%)	mil. S/	-1,510	640
TIR	%	6.80%	10.50%
Relación beneficio Costo	p.u.	0.67	1.21
Período de Repago	años	10.3	7.7

Fuente: Propia.

3.10.3 Análisis de Sostenibilidad

Respecto de la sostenibilidad, los costos de compra de energía, operación y mantenimiento del proyecto son cubiertos con los beneficios obtenidos por la venta de energía a los beneficiarios del proyecto, lográndose la Sostenibilidad del Proyecto.

Tabla 38

Análisis de Sostenibilidad

Ítem	Cobertura:		2025	2029	2034	2039	2044
	Ingresos/Egresos	Unidad	1	5	10	15	20
1	Compra de Energía	S/.	5,047,194	5,862,379	6,442,636	6,949,013	7,505,553
2	VAD-Inversión MT	S/.	1,494,532	1,729,842	1,923,919	2,107,969	2,313,160
3	Venta de Energía	S/.	6,240,172	7,248,038	7,965,447	8,591,515	9,279,601
4	Cobertura [(2+3)/1]	%	153%	153%	153%	154%	154%

Fuente: Propia.

3.10.4 Análisis de Sensibilidad

Se realizó la evaluación de sensibilidad considerando variaciones en las siguientes variables:

- (1): Sensibilidad considerando la variación de la inversión en - 10%
- (2): Sensibilidad considerando la variación de la inversión en + 10%
- (3): Sensibilidad Variando la Tarifa de Compra de Potencia y Energía en - 2%
- (4): Sensibilidad Variando la Tarifa de Compra de Potencia y Energía en + 2%
- (5): Sensibilidad Variando la Tarifa de Venta de Potencia y Energía en - 2%
- (6): Sensibilidad Variando la Tarifa de Venta de Potencia y Energía en + 2%
- (7): Sensibilidad Variando la Demanda en - 5%
- (8): Sensibilidad Variando la Demanda en + 5%

Se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 39

Análisis de Sensibilidad

Ítem	Variables	Unid	Caso Base (0)	Sensibilidad							
				-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8
Indicadores Económicos Incrementales a Precios Privados											
1	Tasa de Descuento	%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%	12%
2	Valor Actual Neto-VAN	mil. S/.	-1,510	-1,133	-1,886	-1,336	-1,683	-1,724	-1,295	-1,715	-1,304
3	Tasa Interna de Retorno -TIR	%	6.80%	7.80%	5.90%	7.40%	6.10%	5.90%	7.60%	6.00%	7.60%
4	Relación Beneficio/Costo-B/C	pu	0.67	0.73	0.63	0.71	0.64	0.63	0.72	0.63	0.72
5	Período de Repago (años)	años	10.3	9.5	11.2	9.8	11	11.1	9.7	11.1	9.7
Indicadores Económicos Incrementales a Precios Sociales											
1	Tasa de Descuento	%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%	8%
2	Valor Actual Neto-VAN	mil S/.	640	916	362	839	439	392	886	403	875
3	Tasa Interna de Retorno -TIR	%	10.50%	11.90%	9.30%	11.20%	9.70%	9.60%	11.40%	9.60%	11.30%
4	Relación Beneficio/Costo-B/C	pu	1.209	1.33	1.108	1.273	1.143	1.128	1.289	1.131	1.285
5	Período de Repago (años)	años	7.7	7	8.4	7.3	8.2	8.3	8.6	8.3	7.3

Fuente: Propia.

Los indicadores económicos a precios privados, bajo cualquiera de las sensibilidades mencionadas, resultan negativos.

Los indicadores económicos a precios sociales resultan positivos.

Capítulo IV. Discusión de resultados y contrastación de Hipótesis

4.1 Análisis de los resultados de la investigación

En el presente estudio se realizó el diagnóstico del alimentador A4124, actualmente en operación para suministrar energía eléctrica a las provincias de Lircay, Acobamba y zonas aledañas de Huancavelica. Los resultados obtenidos evidencian que dicho alimentador presenta problemas críticos de caída de tensión, con valores que superan el 20 %, lo cual sobrepasa ampliamente los límites máximos establecidos por la NTCSE (±6 %). Esta condición refleja una deficiencia significativa en la calidad del servicio eléctrico y confirma la necesidad de implementar una solución estructural y técnica.

En relación con la proyección de la demanda, el análisis efectuado con base en registros históricos (2018–2022) permitió determinar tasas de crecimiento sostenidas tanto en la energía como en la demanda máxima de la zona, lo que agrava el problema de caída de tensión en el horizonte de planificación. Estos resultados refuerzan la importancia de diseñar un nuevo alimentador que soporte las condiciones futuras de carga y evite la saturación del sistema existente.

El diseño del nuevo alimentador A4124NU consideró la selección de una ruta técnica adecuada, la elección de un conductor de sección óptima, así como la especificación de componentes estructurales (postes, armados, cimentaciones, puesta a tierra) y eléctricos (reclosers, seccionadores, fusibles, bancos de condensadores, reguladores). Este proceso, sustentado en criterios eléctricos, topográficos y normativos, permitió validar el comportamiento del sistema

Finalmente, el modelado eléctrico del alimentador propuesto en Digsilent PowerFactory demostró que la caída de tensión se mantiene dentro de los límites normativos, tanto en condiciones actuales como proyectadas a 20 años. Esto confirma que el nuevo diseño no solo soluciona el problema inmediato, sino que garantiza un desempeño

adecuado en el horizonte de planificación, mejorando sustancialmente la calidad del servicio eléctrico en la zona de estudio.

4.2 Contrastación de hipótesis formuladas

H1: La caída de tensión actual en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba supera los límites establecidos por la NTCSE.

Validada, dado que los resultados del diagnóstico mostraron caídas superiores al 20 %, muy por encima del límite normativo de ± 6 % que afectan la zona investigada.

H2: La evaluación de la demanda eléctrica proyectada a 20 años permite analizar el comportamiento de la caída de tensión en los alimentadores A4124 y A4124NU, a su vez verificar si se mantiene dentro de los límites establecidos por la NTCSE.

Contrastada, pues las evaluaciones realizadas evidenciaron que el nuevo los alimentadores A4124 y A4124NU operan dentro de los parámetros permitidos, incluso en escenarios de máxima demanda proyectada.

H3: La selección de una ruta técnica adecuada y un conductor de calibre óptimo permitirá reducir la caída de tensión en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba.

Confirmada, dado que el diseño propuesto con un trazado optimizado y un conductor AAAC de sección de 70mm² redujo la caída de tensión a niveles menores al 6 % en todo el recorrido del alimentador.

H4: La especificación de los elementos estructurales y eléctricos del nuevo alimentador (A4124NU), como postes, puesta a tierra y equipos de protección y maniobra, garantiza condiciones adecuadas para la mejora en la caída de tensión.

Verificada, ya que la inclusión de estructuras normalizadas, puesta a tierra y equipos de maniobra conforme a la normativa permitió validar la confiabilidad operativa del nuevo alimentador y su cumplimiento técnico.

En síntesis, al haber contrastado y validado las hipótesis específicas H1, H2, H3 y H4, se confirma también la hipótesis principal, que sostiene que el diseño del alimentador A4124NU mejorará la caída de tensión del sistema eléctrico Lircay–Acobamba, permitiendo

cumplir los límites establecidos por la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos Rurales.

Conclusiones

1) La implementación del nuevo alimentador A4124NU permite reducir significativamente la caída de tensión del sistema eléctrico Lircay-Acobamba, logrando que los valores se mantengan dentro de los límites establecidos por la NTCSE. Con ello se mejora de manera integral el servicio eléctrico y se garantiza mayor continuidad y confiabilidad del suministro.

2) Antes de la propuesta, la caída máxima de tensión alcanzaba oscilaba entre 10% y 20% en los centros poblados del alimentador A4124, mientras que con el nuevo diseño se reduce a 6%, lo que representa una mejora del 70 % en la regulación de tensión.

3) El esquema de operación con anillos normalmente abiertos, junto con la instalación programada de un Banco Regulador de Tensión (2034) y Bancos de Condensadores (2034 y 2039), asegura estabilidad de tensión en el horizonte de planificación dentro de la normativa.

4) El análisis de contingencia demuestra que la operación temporal en anillo cerrado, aplicada únicamente durante eventos de falla, mejora significativamente la regulación de tensión en zonas críticas como Acobamba y Paucará, garantizando continuidad de suministro en escenarios adversos.

5) La implementación del A4124NU no solo corrige la problemática del alimentador A4124, sino que además beneficia a los alimentadores A4125 y A4126, logrando que sus niveles de caída de tensión se ajusten a lo normado y aumentando la confiabilidad del sistema.

6) La mejora en la confiabilidad de suministro contribuirá a la reducción de los indicadores SAIDI y SAIFI, dado que la nueva configuración y los esquemas de contingencia permiten disminuir la frecuencia y duración de las interrupciones.

7) El diseño estructural con postes de concreto armado centrifugado y armados normalizados DGER asegura cumplimiento normativo, mayor durabilidad y reducción de

costos de mantenimiento, considerando además las condiciones urbanas de los centros poblados.

8) El impacto ambiental del nuevo alimentador resulta mínimo, ya que el trazado aprovecha rutas eléctricas existentes, evitando nuevas afectaciones territoriales y preservando el entorno natural.

9) Según la evaluación económica a nivel privado con una tasa de descuento del 12% con lo que se obtiene un valor actual neto (VAN) negativa y una tasa de retorno de inversión del 6.8% por lo que no se obtiene rentabilidad económica a nivel privado. A nivel social tenemos un valor actual neto positivo, por lo que se obtiene rentabilidad a nivel social, esto podría mejorar en ambos casos si se obtienen más cargas como la Minera Micozha Cambalache.

10) La mejora integral en la caída de tensión del sistema eléctrico estudiado contribuye directamente al desarrollo económico y social de la región, favoreciendo la educación, salud, producción agrícola y actividades comerciales de la población beneficiada.

Recomendaciones

1) La recopilación de los datos iniciales en campo se convierte en un recurso esencial para examinar detalladamente los problemas en un sistema eléctrico. En consecuencia, es de suma importancia lograr la adquisición en tiempo real de esta información.

2) Los centros poblados y distritos rurales requieren de una calidad de tensión dentro de la normativa para una adecuada operación de sus electrodomésticos y otros equipos que pudieran necesitar para el desarrollo de sus actividades productivas.

3) Se sugiere tener un plan de mantenimiento rápido y eficaz, para en caso de contingencia, poder solucionar el problema a la brevedad posible.

4) Dado que la rentabilidad económica del nuevo alimentador a nivel privado es limitada, se recomienda gestionar la incorporación de nuevas cargas, para mejorar la viabilidad financiera. Además, se debe promover la conexión de otros usuarios industriales o comerciales que puedan incrementar la demanda.

5) Se recomienda ejecutar la implementación del nuevo alimentador teniendo en cuenta el impacto ambiental, social y económico, para que esto contribuya al desarrollo de la región Huancavelica.

Referencias bibliográficas

- Anthony R (2023), *Estudio e implementación de software DLT CAD para el diseño de una red primaria en media tensión en 22.9 kV* [Tesis de grado, Universidad de Piura].
- Baygorrea, R (2019), *Implementación de Conductores Ecológicos en líneas primarias para la mejorade los indicadores de calidad de suministro en la amazonia peruana* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Callao, Perú]
- CNE Suministro (Código Nacional de Electricidad - Suministro). (2011). *Suministro 2011*.
- DIgSILENT. (2021). *Manual de usuario Power Factory*. Version 2021.
- EPRI (2013). *AC Transmission Line Reference Book - 200 kV and above* (3rd ed.). Electric Power Research Institute.
- García Trasancos, J. (2010). *Instalaciones eléctricas en media y baja tensión*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1994). *Power System Analysis*. McGraw-Hill.
- Gutiérrez, M (2018) *Mejoramiento del sistema eléctrico Huancayo mediante la ampliación de la red trifásica en 10 kV según el código nacional de Electricidad* [Tesis de grado, Universidad Continental]
- IEC. (2016). *Short-circuit currents in three-phase AC systems (IEC 60909:2016)*.
- International Energy Agency (2024) “*Analysis and forecast to 2026*” [Revista Internacional]
- Juárez Cervantes, J. D. (1995). *Sistemas de distribución eléctrica*.
- Mateo J (2017), *Rediseño Del Alimentador - 212 Secho - Monsefu para mejorar El Servicio Eléctrico Monsefú – 2017* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo].
- Marín L (2016), *Diseño de líneas y redes primarias en 22,9 kv para la electrificación rural de los caseríos SHIDIN – Shuto del distrito de Jesús – Cajamarca* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del sur].

- Mehmet, R (2020) *Reliability Assesment of Distribution Power System When Considering Energy Storage Configuration Technique* [Trabajo de Investigación, IEEE]
- Ministerio de Energía y Minas (1997) Decreto Supremo N° 020-97- EM “Norma técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos”
- Ministerio de Energía y Minas. (2003). *Resolución Directoral N° 18-2003-EM/DGE “Norma DGE Bases para diseños de Líneas y Redes Primarias para electrificación rural”*.
- Ministerio de Energía y Minas. (2003). *Resolución Directoral N° 24-2003-EM/DGE . “Norma DGE Especificaciones técnicas de soportes normalizados para Líneas y Redes Primarias para Electrificación rural”*.
- Ministerio de Energía y Minas. (2003). *Resolución Directoral N° 26-2003-EM/DGE “Norma DGE Especificaciones técnicas para el suministro de materiales y equipos de Líneas y Redes Primarias para Electrificación rural”*.
- Ministerio de Energía y Minas (2008) Resolución Directoral N° 016-2008-EM-DGE “Norma técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos”
- MINEM (2023) “*Anuario Estadístico de Electricidad*” [Revista nacional]
- Mohammed Wadi, Mustafa Byasal, Abdulfetah Shobole (2017), “Comparison between Open- Ring and Closed- Ring Grids Reliability” [Trabajo de Investigación, Yildiz Technical University].
- Norma EC 010. “*Redes de Distribución de Energía eléctrica*”
- Osinergmin. (2004). *Procedimiento 074-2004-OS/CD*.
- Osinergmin (2020) Plan de Inversiones de Transmisión 2021-2025
- Osinergmin (2020) Informe N° 345-2020- GRT.;
<https://www.osinergmin.gob.pe/Resoluciones/pdf/2020/Informe-Tecnico-345-2020-GRT.pdf>
- Roman, J (2020), *Reducción de índices de Confiabilidad IEEE con ubicación óptima de Reclosers del alimentador A4027 de San Francisco Ayacucho Electrocentro* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Perú]

- Romero, M (2023), *Diseño del proyecto de electrificación del centro poblado los jardines de Villacurí – Salas – Ica* [Trabajo de Suficiencia profesional, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]
- RUS (Rural Utilities Service). (2001). *Design Guide for Rural Substations*.
- Torres, E (2019), *Diseño de la red de distribución primaria y subestación aérea monoposte 10/0.22 kV, 50 KVA para satisfacer la demanda del sector Vallecito Alto V Etapa Comité 44 del distrito de Villa María del Triunfo* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del sur].

Anexos

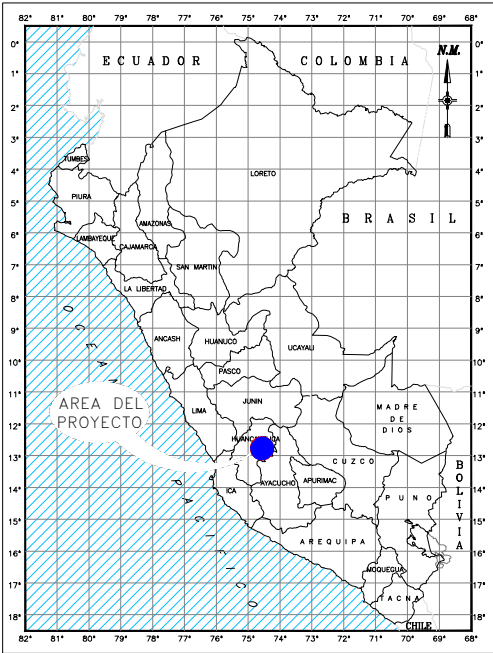
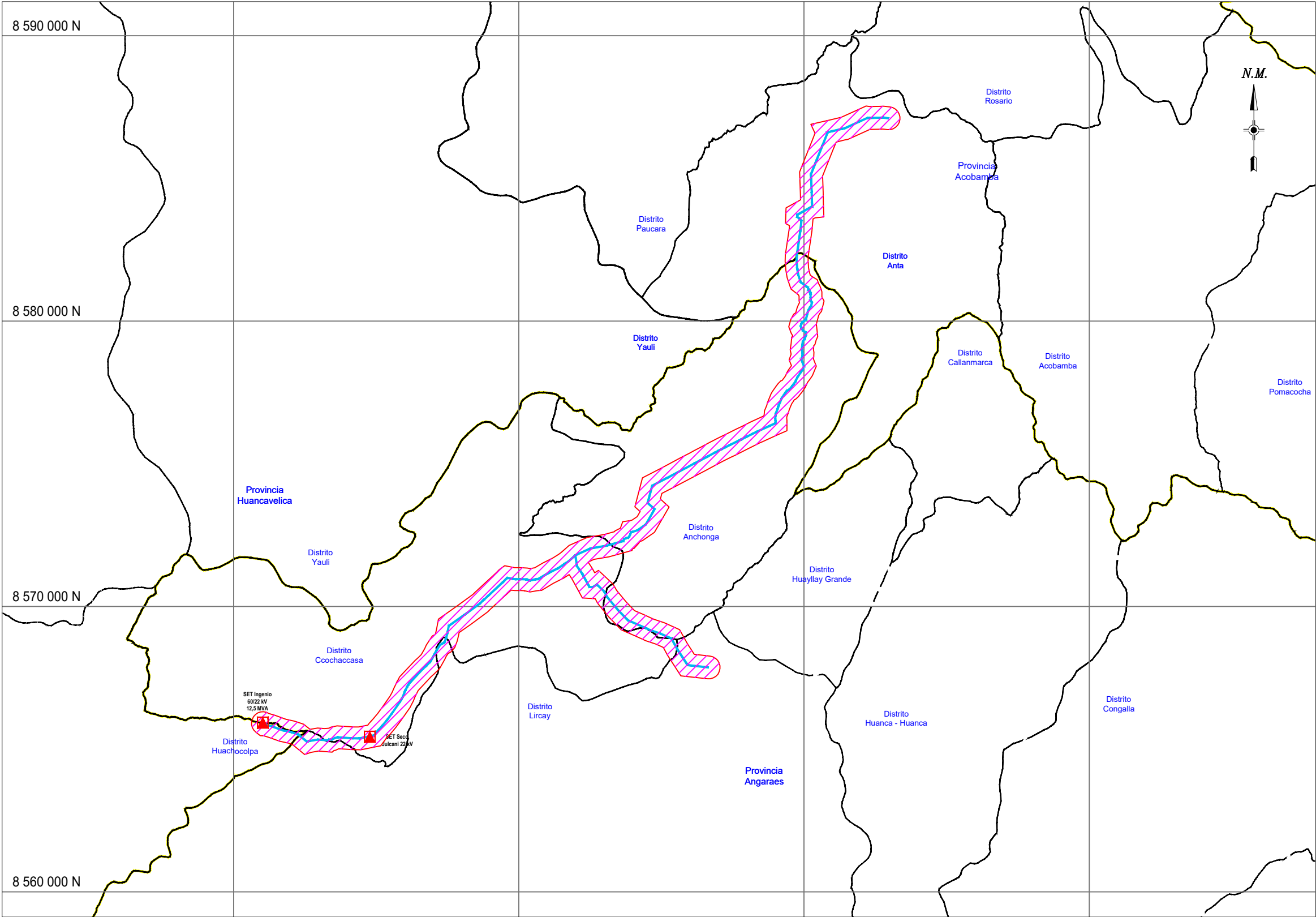
Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	1
Anexo 2: Planos.....	3
Anexo 3 Capacidad Térmica de Conductores.....	13
Anexo 4: Cálculo Mecánico de Conductores.....	17
Anexo 5: Cálculo Mecánico de Estructuras Proyectadas (Cargas Mayoradas) - Postes de MT	19

Anexo 1: Matriz de consistencia

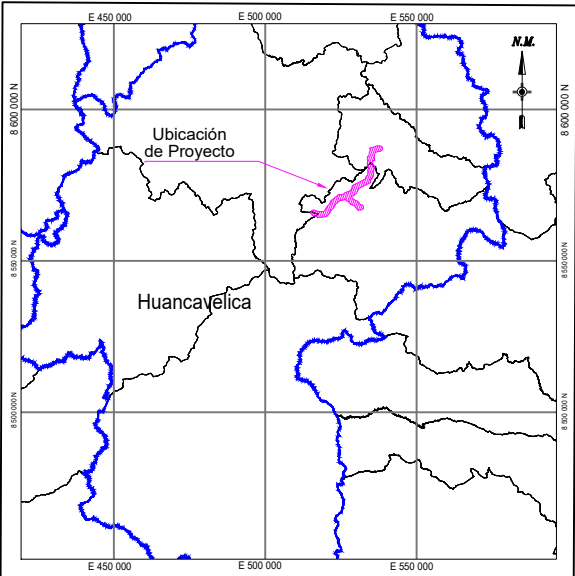
Problema Principal	Objetivo General	Hipótesis Principal	Variable Dependiente	Variable Independiente	Indicador	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
¿En qué medida la caída de tensión en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba afecta el cumplimiento de los límites establecidos por la NTCSE?	Diseñar un nuevo alimentador (A4124NU) en 22 kV para mejorar la caída de tensión conforme a la NTCSE en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba, Huancavelica.	El diseño del nuevo alimentador en 22 kV mejorará la caída de tensión del sistema eléctrico Lircay–Acobamba, permitiendo cumplir los límites establecidos por la NTCSE.	Mejora de la caída de tensión.	Nuevo Alimentador A4124NU.	- Caída de tensión. - Indicadores de continuidad SAIFI y SAIDI.	- Información de campo. - Datos de Electrocentro y SENAMHI. - Simulación y análisis en DlgSILENT.
Problemas Secundarios	Objetivos Específicos	Hipótesis Secundarias	Variable Dependiente	Variable Independiente	Indicador	Técnicas e instrumentos de recolección de datos
¿Cuál es el estado situacional de la caída de tensión del sistema eléctrico Lircay - Acobamba, Huancavelica?	Evaluar el estado situacional de la caída de tensión en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba, Huancavelica.	H1: La caída de tensión actual en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba supera los límites establecidos por la NTCSE.	Caída de tensión.	Estado actual del sistema eléctrico Lircay–Acobamba.	- Caída de tensión. - Continuidad del servicio.	- Inspección de campo. - Registros de Electrocentro. - Simulación de flujo de carga.
¿Cómo impacta la proyección de la demanda eléctrica a 20 años en el comportamiento de la caída de tensión de los alimentadores A4124 y A4124NU?	Proyectar la demanda eléctrica en el área de influencia del alimentador A4124 y el nuevo alimentador A4124NU para un horizonte de planificación de 20 años.	H2: La evaluación de la demanda eléctrica proyectada a 20 años permite analizar el comportamiento de la caída de tensión en los alimentadores A4124 y A4124NU, a su vez verificar si se mantiene dentro de los límites establecidos por la NTCSE.	Cobertura del servicio y caída de tensión proyectada.	Crecimiento de la demanda eléctrica.	- Demanda máxima anual. - Tasa de crecimiento.	- Análisis de tendencias históricas (SICOM y Electrocentro). - Proyección de carga en Excel.
¿Cuál es la ruta más adecuada y el calibre óptimo del conductor para el diseño del nuevo alimentador (A4124NU) en 22 kV que permita cumplir con la NTCSE en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba?	Seleccionar la ruta óptima y determinar el calibre técnico adecuado del conductor para el diseño del nuevo alimentador (A4124NU) en 22 kV.	H3: La selección de una ruta técnica adecuada y un conductor de calibre óptimo permitirá reducir la caída de tensión en el sistema eléctrico Lircay–Acobamba.	Caída de tensión y pérdidas eléctricas.	Longitud, tipo y calibre del conductor.	- Nivel de caída de tensión. - Pérdidas de potencia.	- Simulación de flujo de potencia en Digsilent. - Análisis comparativo de secciones y materiales.

¿Qué componentes y equipos deben considerarse para la implementación integral del nuevo alimentador (A4124NU)?	Definir los componentes complementarios necesarios para la implementación del nuevo alimentador (A4124NU), como estructuras, aisladores, puesta a tierra y equipos de protección y maniobra.	H4: La especificación de los elementos estructurales y eléctricos del nuevo alimentador (A4124NU), como postes, puesta a tierra y equipos de protección y maniobra, garantiza condiciones adecuadas para la mejora en la caída de tensión.	Continuidad y seguridad del suministro.	Equipos y componentes eléctricos del sistema.	- Nivel de confiabilidad del sistema. - Tiempo medio de interrupción.	- Fichas técnicas y normas, DGER y NTCSE. - Datos técnicos de Electrocentro.
--	--	--	---	---	--	---

Anexo Planos

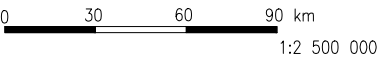


Mapa Departamental De Ubicación



Mapa Provincial De Ubicación

Escala Gráfica



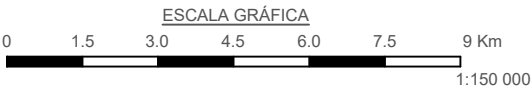
1:2 500 000

Carta IGN : Huancavelica 26-n, Huachocolpa 27-n

ESC: 1/150 000

Coordenadas UTM WGS-84 Zona Geografica 18L

Fuente: Zonificación Ecológica y
Económica-ZEE/MINAM/GEOSERVIDOR/2015
Coordenadas UTM WGS-84 Zona Geográfica 18-L



1:150 000

Leyenda	
Angares	Capital Provincial y Provincia
Lircay	Capital Distrital
Ccascabamba	Centro Poblado
	Subestación Eléctrica
	Límite Provincial
	Límite Distrital
	Alimentador 22kV A4124NU (Proyectado)
	Área del Proyecto

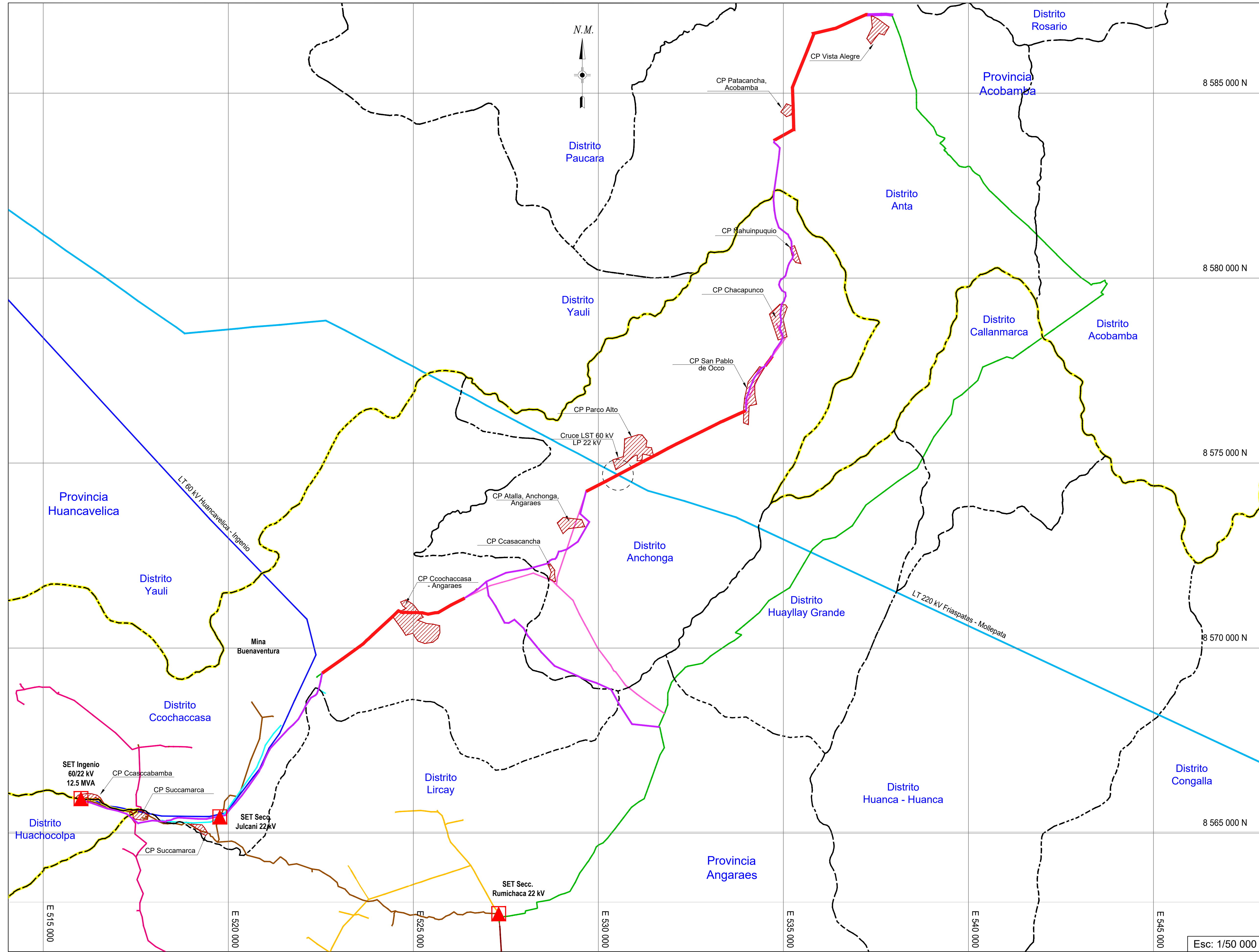
DIBUJO	C.J.C.D		ESCALA
DISEÑO	C.J.C.D		1:150 000
APROBO	C.J.C.D		FECHA
NORMA	C.J.C.D		17/03/2024



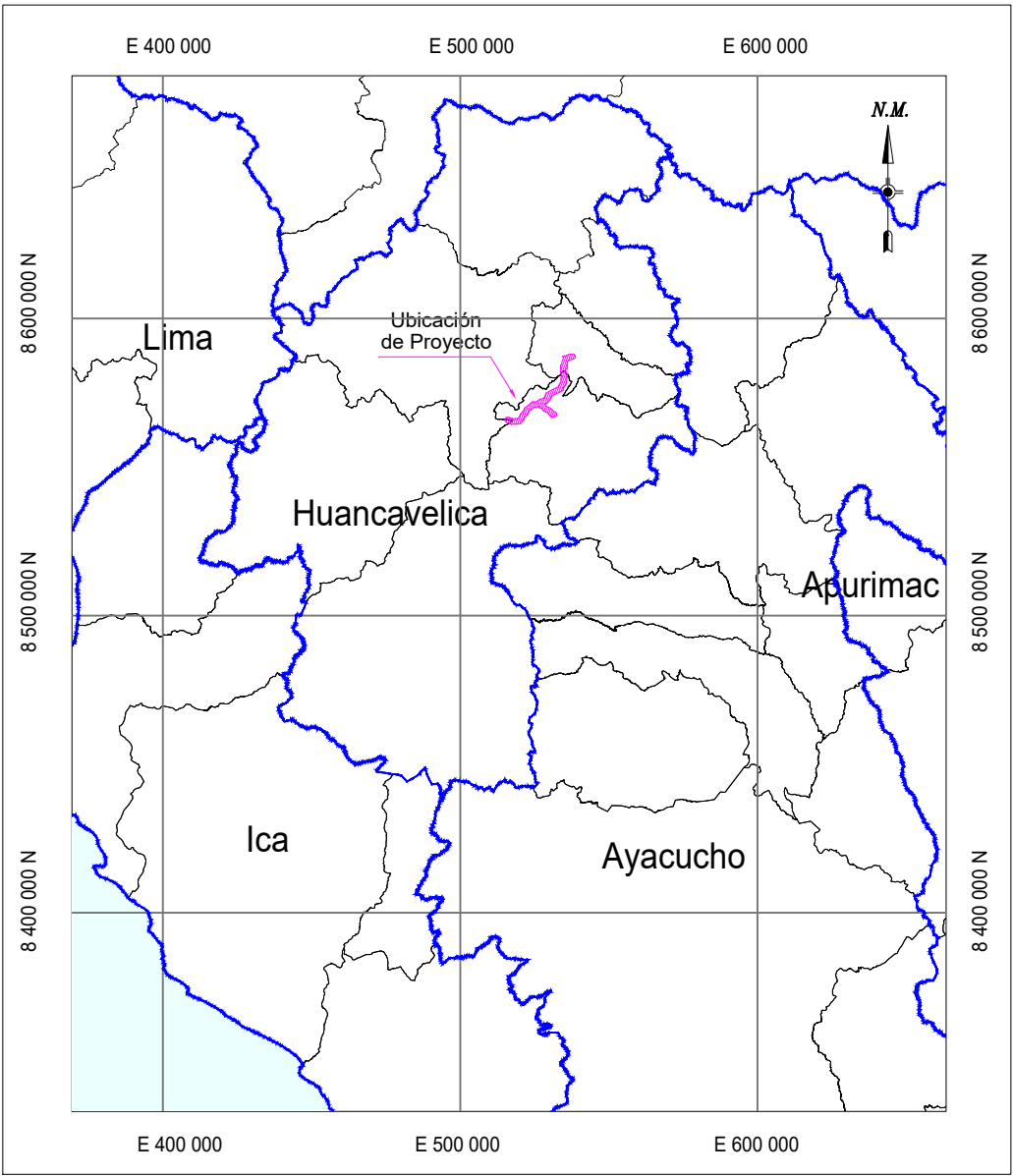
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MECÁNICA
DPTO. ACAD. DE ING. MECÁNICA

PLANO GENERAL DE UBICACIÓN

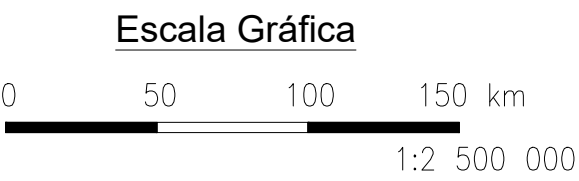
PLANO N°	1
SUSTITUYE A	
SUSTITUIDO POR	



Ubicación Nacional
Escala: 1/20 000 000



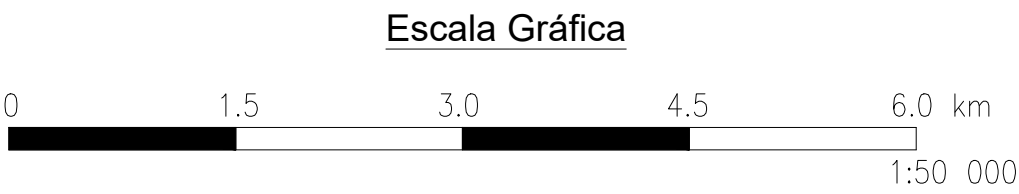
Mapa Provincial
Escala: 1/2 500 000



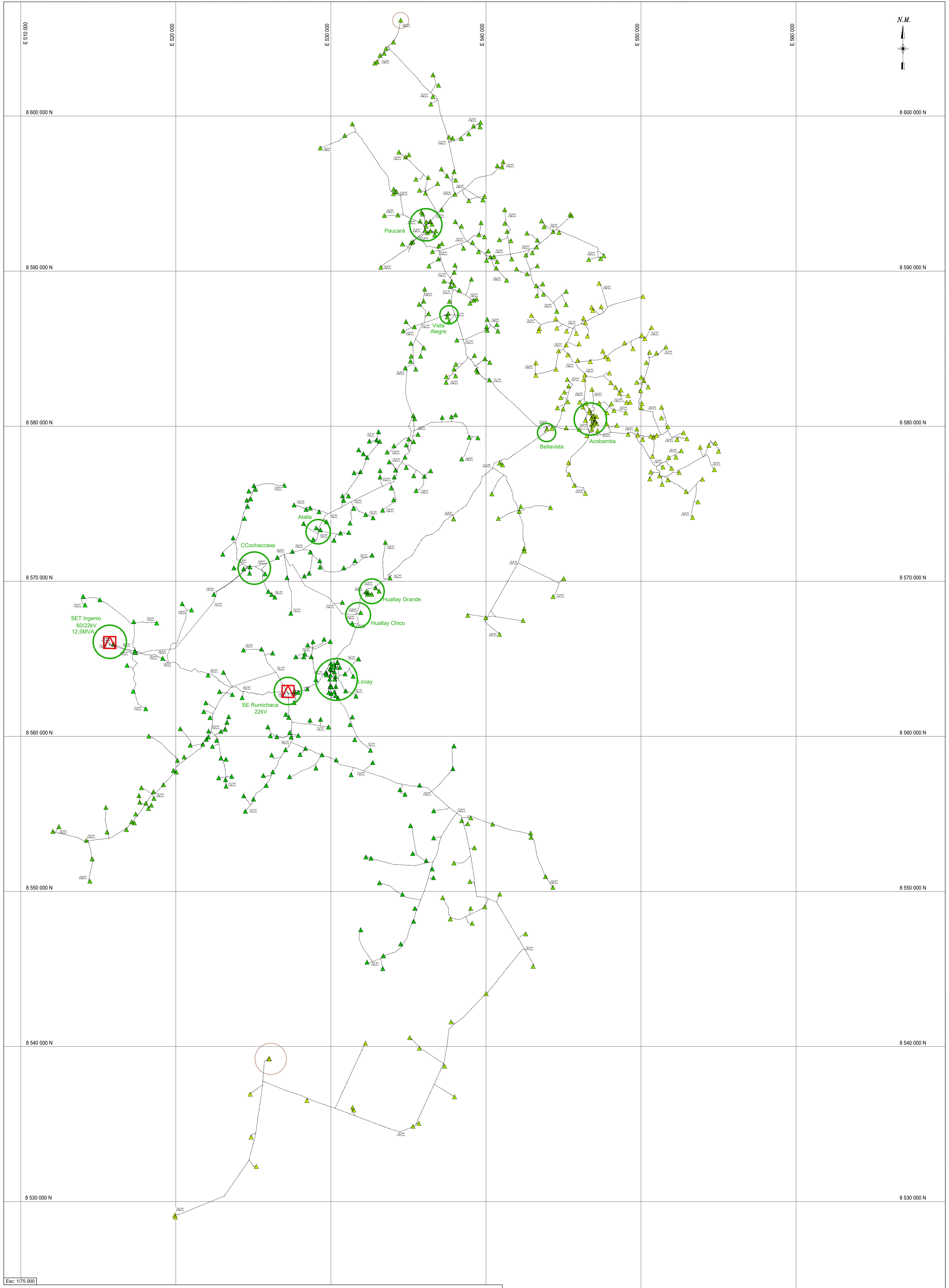
Legenda	
Angares	Capital Provincial y Provincia
Lircay	Capital Distrital
Ccasocabamba	Centro Poblado
	Subestación Eléctrica
	Límite Provincial
	Límite Distrital
	Alimentador 22kV A4122 (Existente)
	Alimentador 22kV A4124NU(Proyectado-Renov.)
	Alimentador 22kV A4124NU (Proyectado)
	Alimentador 22kV A4124 (Existente)
	Alimentador 22kV A4124 (Desmontaje)
	Alimentador 22kV A4125 (Existente)
	Alimentador 22kV A4126 (Existente)
	Alimentador 22kV Privado (Mina Buenaventura)
	LT 60kV Huancavelica – Ingenio
	LT 220kV Friaspata – Mollepata

Coordenadas UTM WGS-84 Zona Geográfica 18L

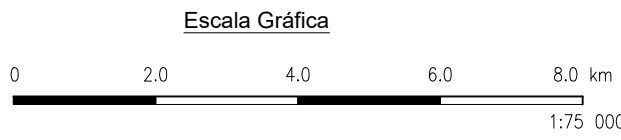
Carta IGN: Huancavelica 26-n, Huachocolpa 27-n



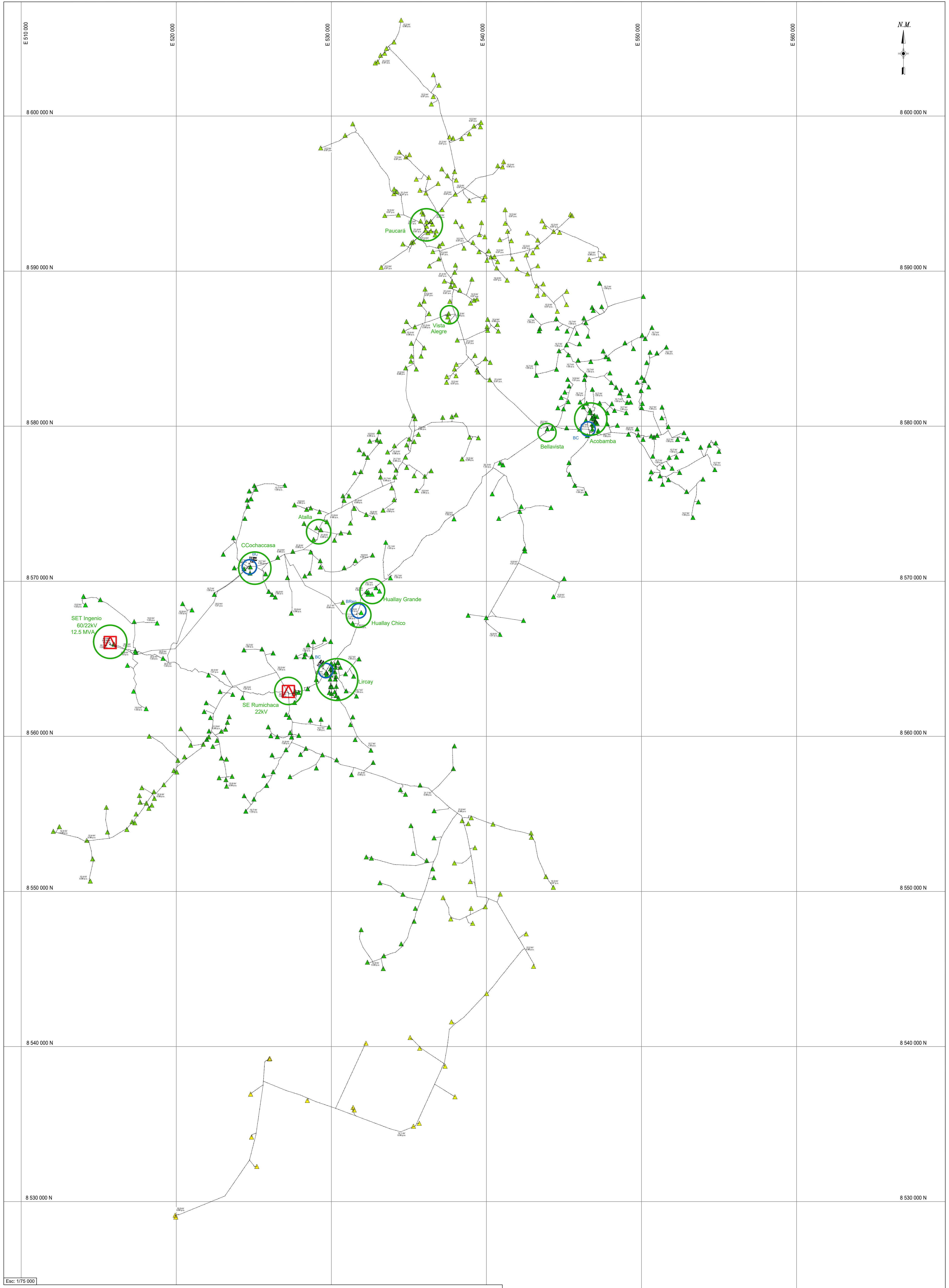
DIBUJO	C.J.C.D		ESCALA	1:150 000	REDES EXISTENTES Y RPROYECTADAS	N° 2	
DISEÑO	C.J.C.D						
APROBO	C.J.C.D		FECHA				
NORMA	C.J.C.D		17/03/2024				
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA					PLANO N°		
 FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA DPTO. ACAD. DE ING. MECÁNICA					SUSTITUYE A		
					SUSTITUIDO POR		



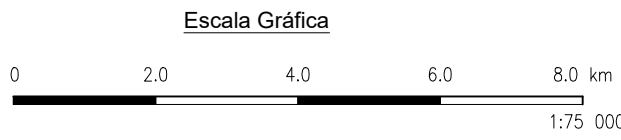
Esc. 1/75 000



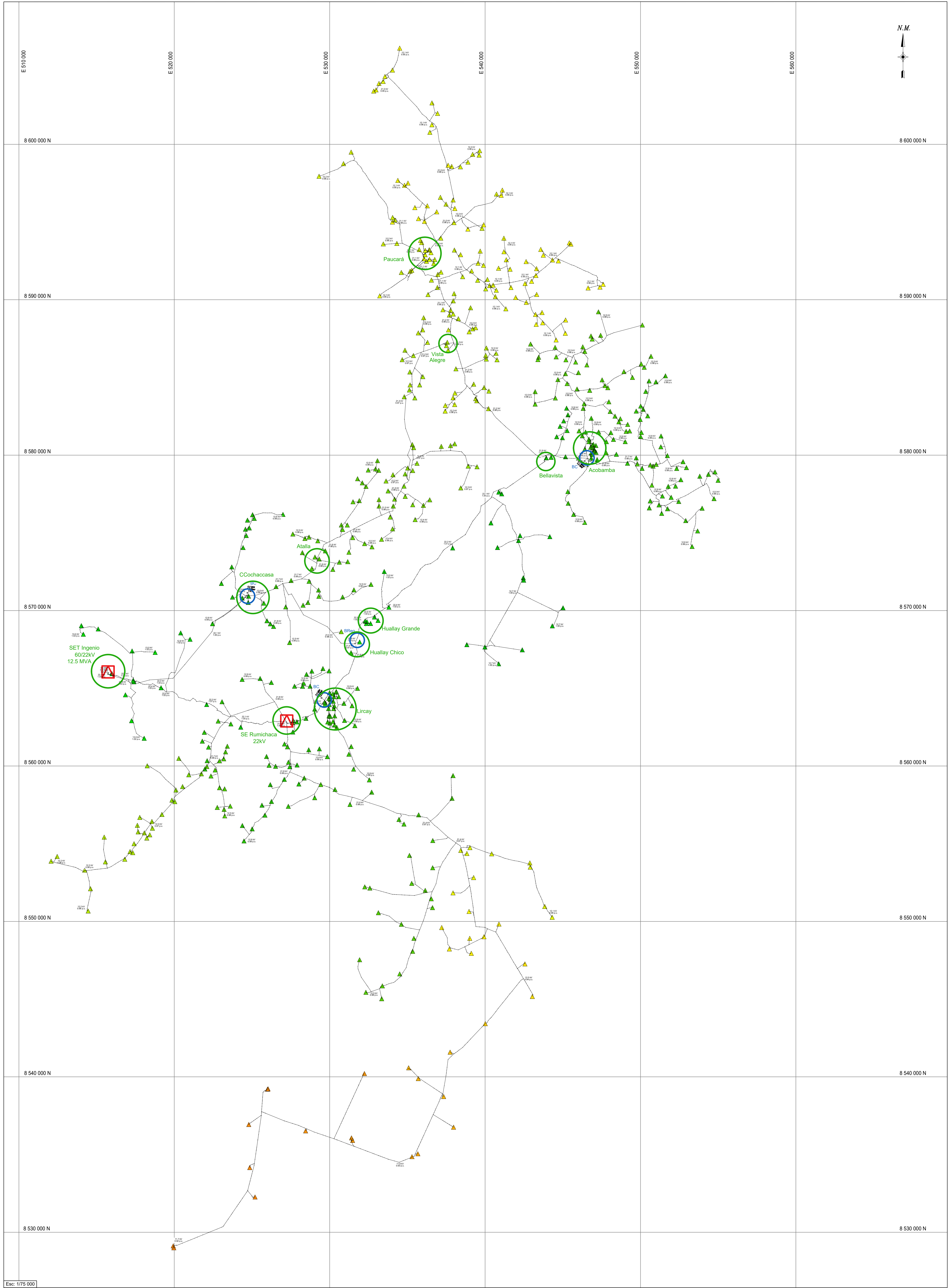
DIBUJO	C.J.C.D.	ESCALA	DIAGRAMA UNIFILAR
DISEÑO	C.J.C.D.	1:75 000	GEOREFERENCIADO-ANÁLISIS DE REGULACIÓN
APROBO	C.J.C.D.	FECHA	DE TENSION DE TENSION(NAV) AÑO 1
NORMA	C.J.C.D.	17/03/2024	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA			PLANO N°
FACULTAD DE INGENIERÍA			SUSTITUYE A
MECÁNICA			SUSTITUIDO POR
DPTO. ACAD. DE ING. MECÁNICA			N°
			3



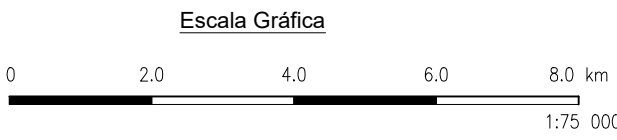
Esc. 1/75 000



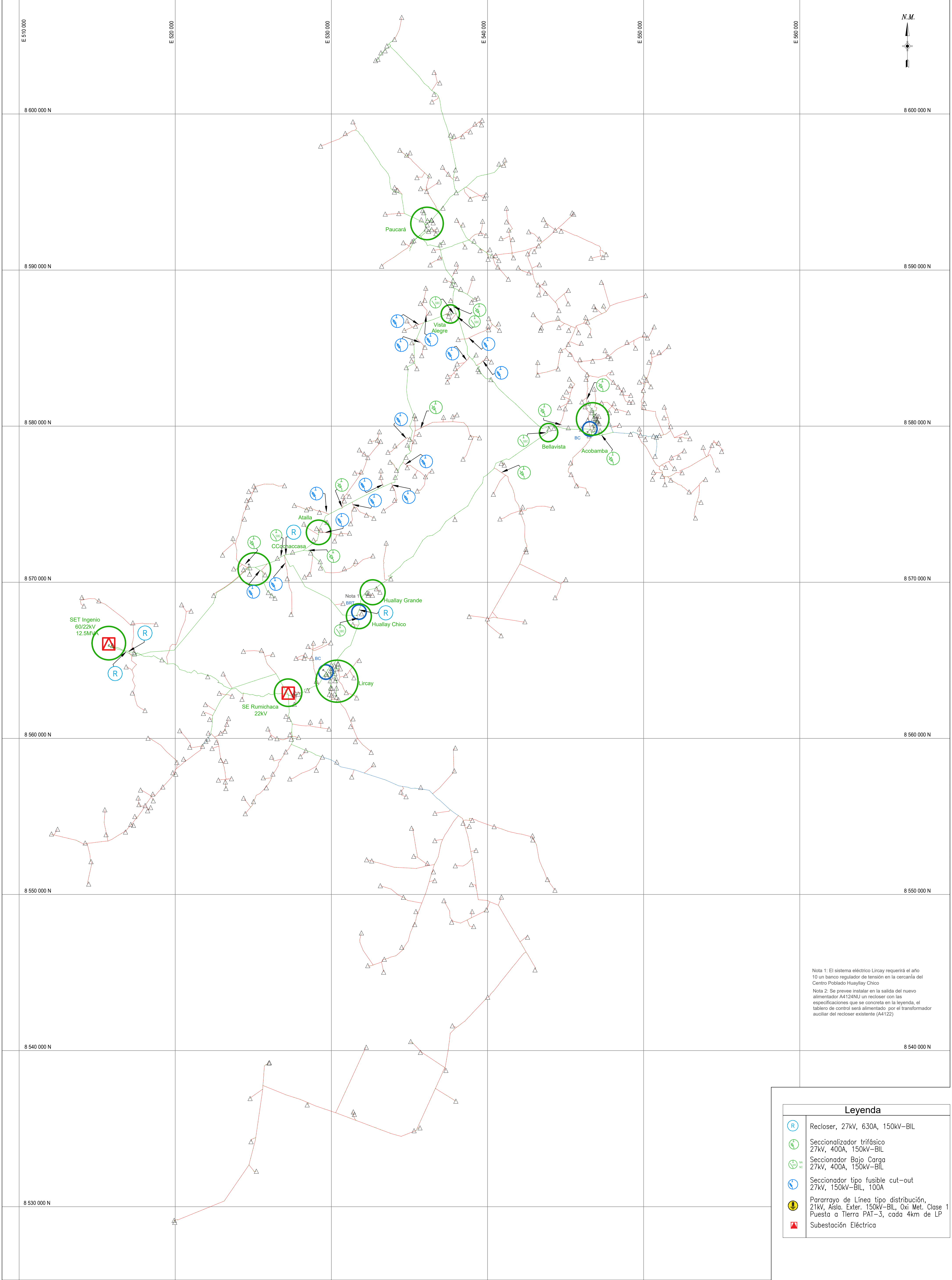
DIBUJO	C.J.C.D.	ESCALA	DIAGRAMA UNIFILAR
DISEÑO	C.J.C.D.	1:75 000	GEOREFERENCIADO-ANÁLISIS DE REGULACIÓN
APROBO	C.J.C.D.	FECHA	DE TENSIÓN DE TENSÓN(%)AÑO 10
NORMA	C.J.C.D.	17/03/2024	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA			PLANO N°
FACULTAD DE INGENIERÍA			SUSTITUYE A
DPTO. ACAD. DE ING. MECÁNICA			SUSTITUIDO POR
			N°
			4



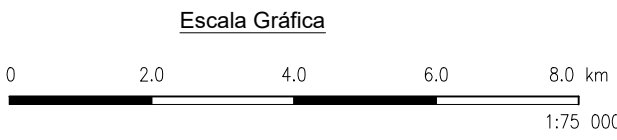
Esc. 1/75 000



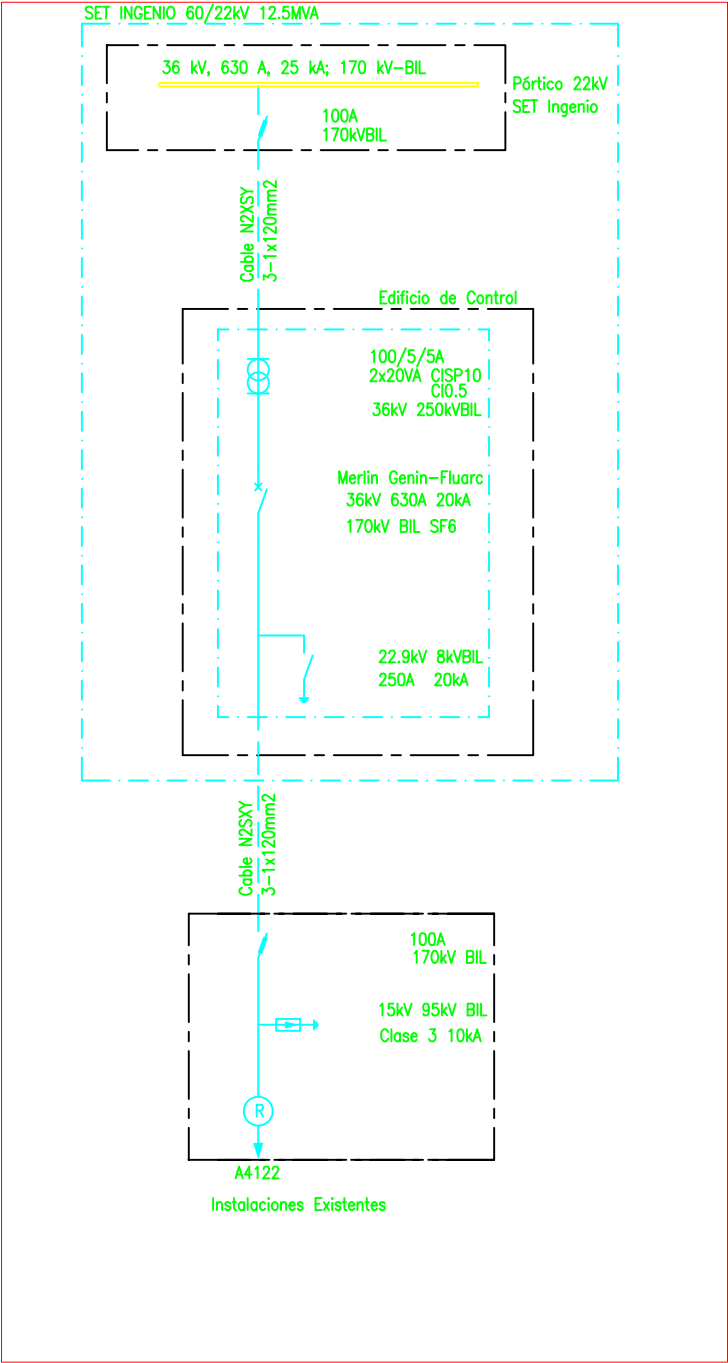
DIBUJO	C.J.C.D.	ESCALA	DIAGRAMA UNIFILAR
DISEÑO	C.J.C.D.	1:75 000	GEOREFERENCIADO-ANÁLISIS DE REGULACIÓN
APROBO	C.J.C.D.	FECHA	DE TENSION DE TENSION (%AV) AÑO 20
NORMA	C.J.C.D.	17/03/2024	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA			PLANO N°
FACULTAD DE INGENIERÍA			SUSTITUYE A
DPTO. ACAD. DE ING. MECÁNICA			SUSTITUIDO POR
			N°
			5



Esc: 1/75 000



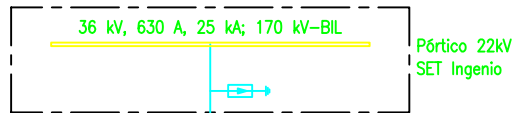
DIBUJO	C.J.C.D.	ESCALA	PROTECCIONES	
DISEÑO	C.J.C.D.	1:150 000		
APPROBO	C.J.C.D.	FECHA		
NORMA	C.J.C.D.	17/03/2024		
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA			PLANO N°	N°
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			SUSTITUYE A	6
DPTO. ACAD. DE ING. MECÁNICA			SUSTITUIDO POR	



Leyenda	
Símbolo	Nombre
	Seccionador cut out tipo fusible
	Transformador de Corriente
	Interruptor
	Seccionamiento a tierra
	Pararrayos
	Recloser

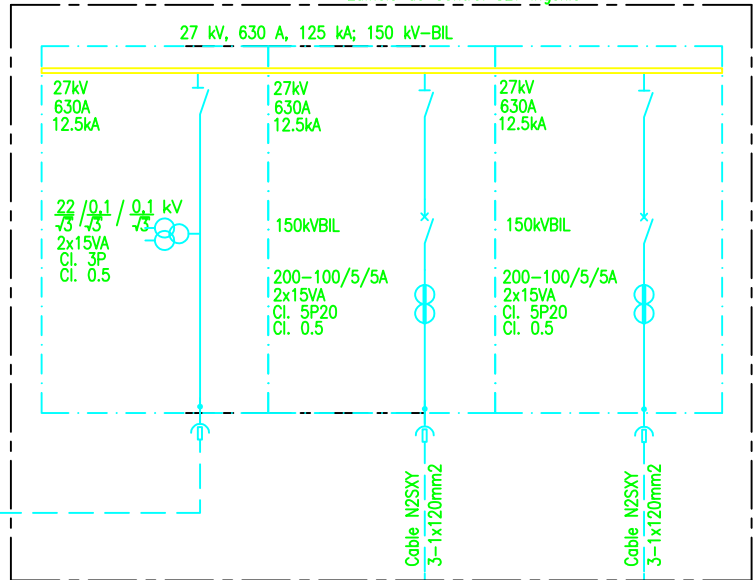
			TOL. GRAL.	ESCALA: S/E	MATERIAL:
			ACAB. GRAL.	FECHA: 17/03/2024	DIMENSIONES:
				DENOMINACIÓN	
				EQUIPAMIENTO EXISTENTE SET INGENIO	
TOL. ISO	COTA MAX	COTA MÍN	UNI	DIBUJO: CARLOS JESÚS CELIS DÁVILA	N° 07
					REVISO C.J.C.D

SET INGENIO 60/22kV 12.5MVA



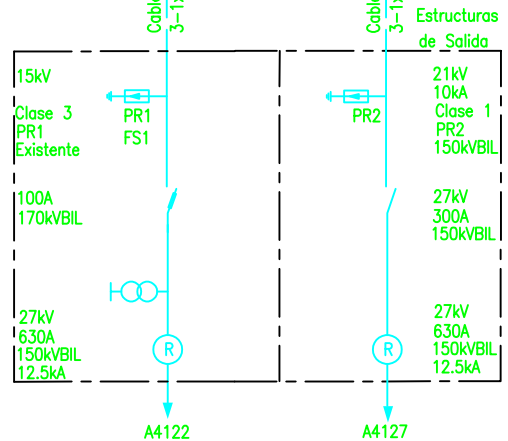
Cable N2SXY
3-1x120mm2

Edificio de Control SET Ingenio



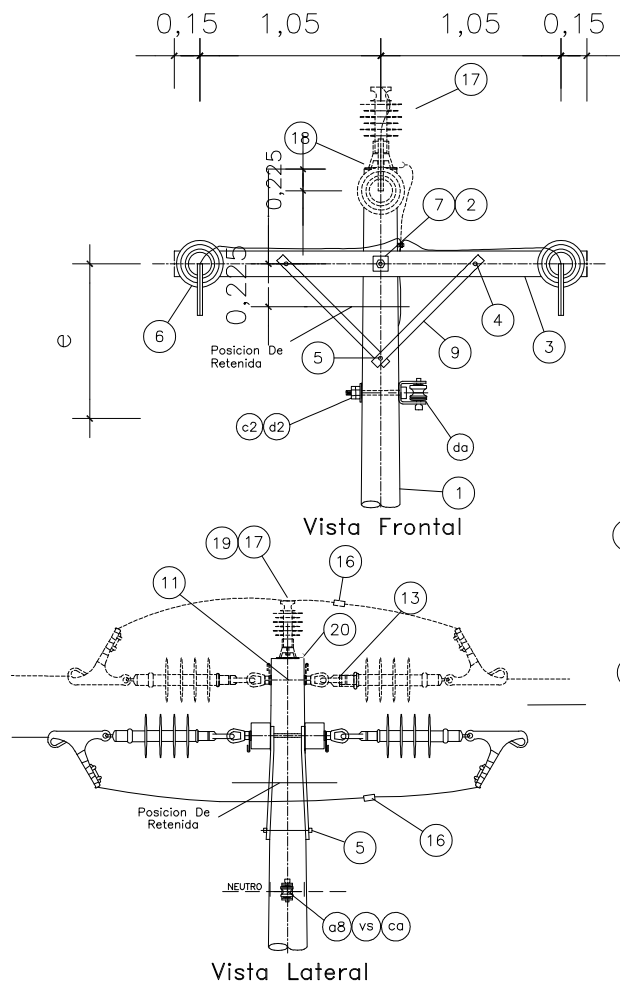
Leyenda

Símbolo	Descripción
	Seccionador
	Interruptor
	Transformador de corriente
	Transformador de tensión
	Pararrayos de Óxido metálico
	Seccionador cut-out tipo fusible (existente)
	Seccionador cut-out tipo cuchilla
	Recloser

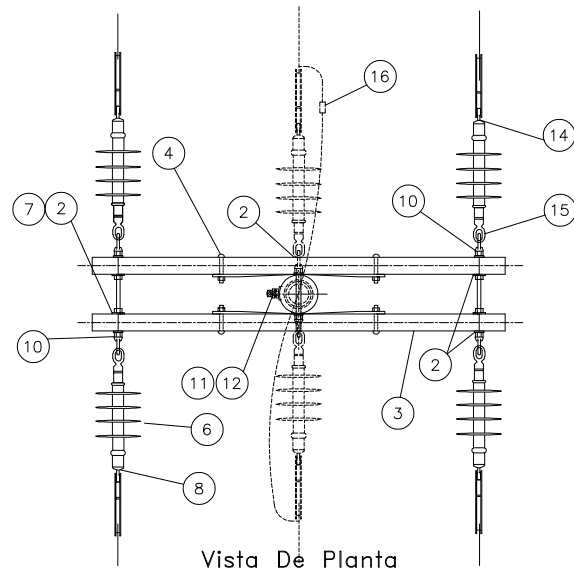


Nota: El equipamiento del Tablero de Control del Recloser proyectado será alimentado por el transformador auxiliar, la cual se encuentra montado en la estructura del Recloser Existente.

			TOL. GRAL.	ESCALA: S/E	MATERIAL:
			ACAB. GRAL.	FECHA: 17/03/2024	DIMENSIONES:
				DENOMINACIÓN EQUIPAMIENTO PROYECTADO SET INGENIO	N° 08
TOL. ISO	COTA MAX	COTA MÍN	UNI	DIBUJO: CARLOS JESÚS CELIS DÁVILA	REVISO C.J.C.D



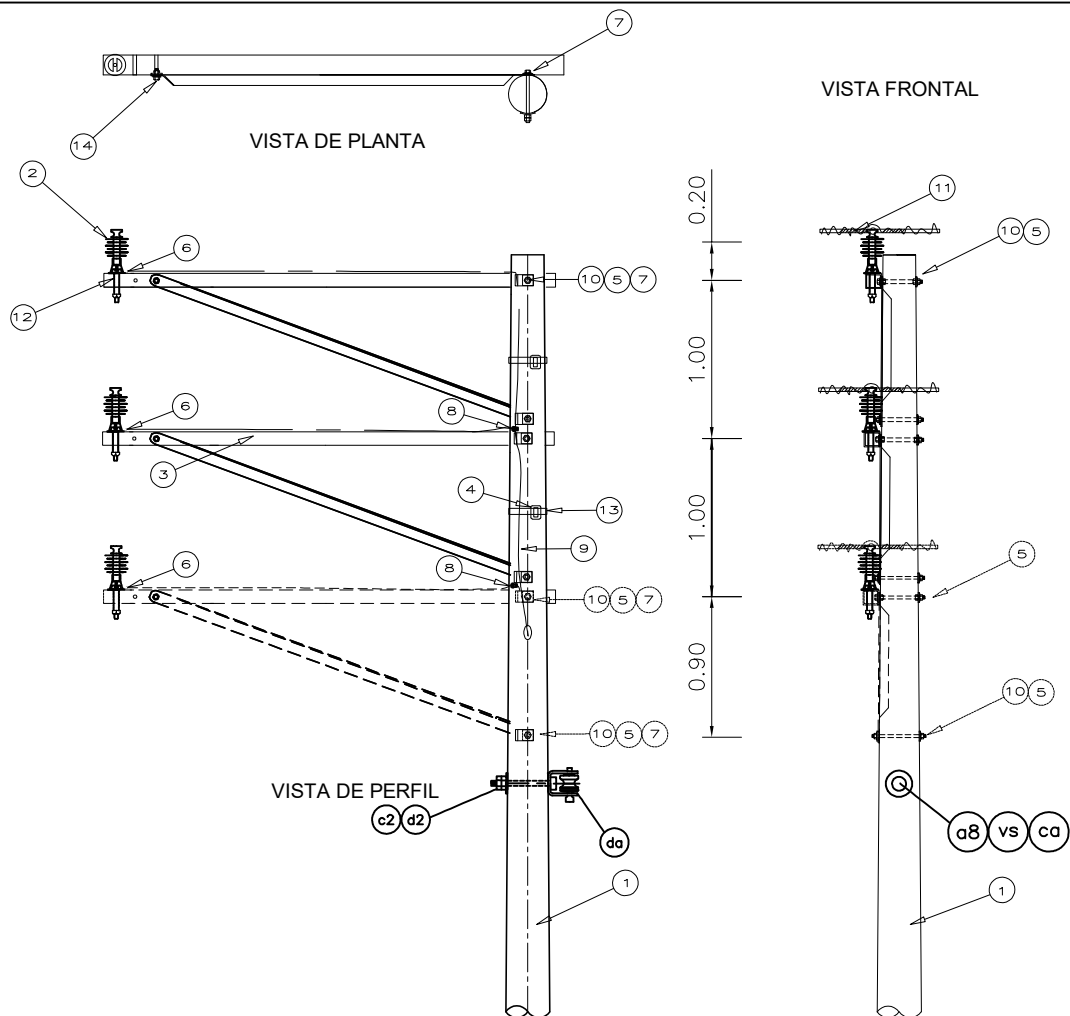
Armado	D(m)	E
Pr3-3	0,60	-
Pr3-3I	1,20	-



Nota: Los componentes en líneas discontinuas corresponden para los armados trifásicos

Item	Descripción	Cant.
1	Poste de Concreto, segun requerimiento	PR3-3 1
2	Arandela Cuadrada Plana 2"x2"x1/8", 11/16"Ø	10
3	Cruceta de Madera Tratada de 90x115mm seccion, 2,40m Long.	2
4	Perno Coche de A'G' de 1/2" Ø X 7" con Tuerca	4
5	Perno Maquinado de A'G', 1/2" X 10" Long., con Tuerca y Contratuerca	1
6	Aislador Polimerico Suspensión 27kv 600mm BIL 170kv	6
7	Perno Doble Armado de A'G' de 5/8" Ø X 18", Provisto de 4 Tuercas y 4 Contratuercas	3
8	Grapa de Anclaje Tipo Pistola	6
9	Riostra A'G' Tipo "L" de 2" X 2" X 3/16" X 1m	4
10	Tuerca Ojo de A'G' de 5/8" Ø	6
11	Perno Maquinado A'G' 5/8"Ø X 14" con Tuerca y Contratuerca	2
12	Arandela Cuadrada Curva de A'G', 2 1/4"X2 1/4"X3/16", 13/16"Ø de Agujero	4
13	Adaptador Anillo-bola	6
14	Adaptador Casquillo-ojo Alargado	6
15	Grillete Tipo Lira F'G', 5/8"Ø, 30000 Lb	6
16	Grapa de Vías Paralelas de A'G', 3 Pernos Ø 4.8-16mm	3
17	Aislador Polimérico Pin 24kv 744mm 170kv	1
18	Braquete de Acero Galvanizado para cabeza de Poste	1
19	Alambre de amarre, segun requerimiento	2,5m
20	Plancha Doblada de Cobre Tipo "J"	4
c2	Perno maquinado de A'G', 16mm Ø X 254mm LONG.; 152mm maquinado con tuerca y contratuerca	2
da	Portallinea Unipolar de A'G', 149 X 85mm, Platina 38 X 5mm seccion, PIN 16mmØ	1
d2	Arandela cuadrada curva de A'G', 57 X 57 X5mm, 18mm Ø DE AGUJERO	2
a8	Aislador Porcelana de Tipo CARRETE, clase ANSI 53-2	1
vs	Varilla de armar performada simple , segun requerimiento	1
ca	Alambre de amarre segun requerimiento	7,5m

TOL.			TOL.	ESCALA: S/E	MATERIAL:
ISO			GRAL.	FECHA: 17/03/2024	DIMENSIONES:
			ACAB.	DENOMINACIÓN	Nº
			GRAL.	ARMADO DE RETENCIÓN O ANCLAJE	09
				DIBUJO:	REVISO
				CARLOS JESÚS CELIS DÁVILA	C.J.C.D



Nota: Los componentes en líneas discontinuas corresponden para los armados trifásicos

Pos.	Descripcion	PSVU-3
1	Poste de Concreto Armado Centrifugado según requerimiento	1
2	Aislador Polimérico Pin 27kV 744mm LF, BIL 170kV	3
3	Bastidor Tipo "L" de 75x75x6x2690mm. y Riostra de apoyo (tipo Iii)	3
4	Hebilla para Fleje de Acero 3/4"	2
5	Arandela Cuadrada Curva de A'G, 2 1/4 X 2 1/4 X 3/16", agujero de 18mmø	6
6	Plancha Doblada de Cobre tipo "J"	6
7	Arandela Cuadrada Plana de A'G, 2 1/4 X 2 1/4 X 3/16", agujero de 18mmø	6
8	Conector de Cobre tipo Perno Partido para Conductor de 25mm	2
9	Conductor de Cobre Temple Blando, 25mm ²	16m
10	Perno Maquinado de A'G de 5/8"x20", C/t y Ct	6
11	Varilla de Armar Simple Al, según requerimiento	3
12	Perno Maquinado de A'G de 5/8"x18", C/t y Ct	3
13	Fleje de Acero Inoxidable 19mm (rollo)	2.4m
c2	Perno maquinado de A'G, 16mm Ø X 254mm LONG.; 152mm maquinado con tuerca y contratuerca	2
da	Portalineal Unipolar de A'G, 149 X 85mm, Platina 38 X 5mm seccion, PIN 16mmØ	1
d2	Arandela cuadrada curva de A'G, 57 X 57 X5mm, 18mm Ø DE AGUJERO	2
a8	Aislador Porcelana de Tipo CARRETE, clase ANSI 53-2	1
vs	Varilla de armar performada simple , según requerimiento	1
ca	Alambre de amarre según requerimiento	7.5m

			TOL. GRAL.	ESCALA: S/E	MATERIAL:
			ACAB. GRAL.	FECHA: 17/03/2024	DIMENSIONES:
				DENOMINACIÓN	N°
				ARMADO DE ALINEAMIENTO 0°-10°	10
TOL. ISO	COTA MAX	COTA MÍN	UNI	DIBUJO: CARLOS JESÚS CELIS DÁVILA	REVISO C.J.C.D

ANEXO N°03

CAPACIDAD TÉRMICA DE CONDUCTORES

1. Condiciones climáticas y ambientales

La zona del proyecto tiene las siguientes características climatológicas:

- Altitud (mínima / máxima) : 4500msnm
- Temperatura mínima / máxima : -5°C / 25°C
- Velocidad máxima del viento : 113km/h (Según CNE-Suministro)
- Contaminación : 16 mm/kV (Según IEC)

2. Información del conductor seleccionado

Las características del conductor de fase seleccionado son las siguientes:

Características	Und	AAAC-70mm2
Material		AAAC
Sección	mm2	70
Nº de hilos	Und	19
Diámetro externo	mm	10.7
Masa unitaria total	kg/m	0.18
Tiro de rotura	kg	2139
Módulo de elasticidad	kg/mm2	6206
Coeficiente de dilatación térmica	1/°C	2.30E-05
Coeficiente de resistividad	1/°C	0.0036
Resistencia a 20 °C	ohm/km	0.4902
Resistencia a 75 °C	ohm/km	0.5105
Constantes de Emisividad y Absorción Solar		
Constante de emisividad		0.5
Constante de absorción solar		0.5

3. Determinación de la Capacidad Térmica

Se verificó la capacidad de transporte de la línea de transmisión mediante el Software PLS-CADD el cual toma como referencia el método IEEE Std 738-2006 "IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature-Relationship of Bare Overhead

Conductors". De acuerdo al "Aluminum Electrical Conductor Handbook" la corriente de límite térmica de los conductores definidos como la temperatura máxima permanente sin que se genere deformación en las características mecánicas del conductor es 90°C para el aluminio, obteniéndose los resultados siguientes:

70 mm² AAAC Día

PLS-CADD Version 12.10x64 10:00:00 a.m. Viernes, 30 de febrero de 2024
Prieto Ingenieros Consultores SA - Peru
Project Name:
'c:\users\public\documents\pls\pls_cadd\examples\projects\demo.DON'
Line Title: 'ORIGINAL'
IEEE Std. 738-2006 method of calculation

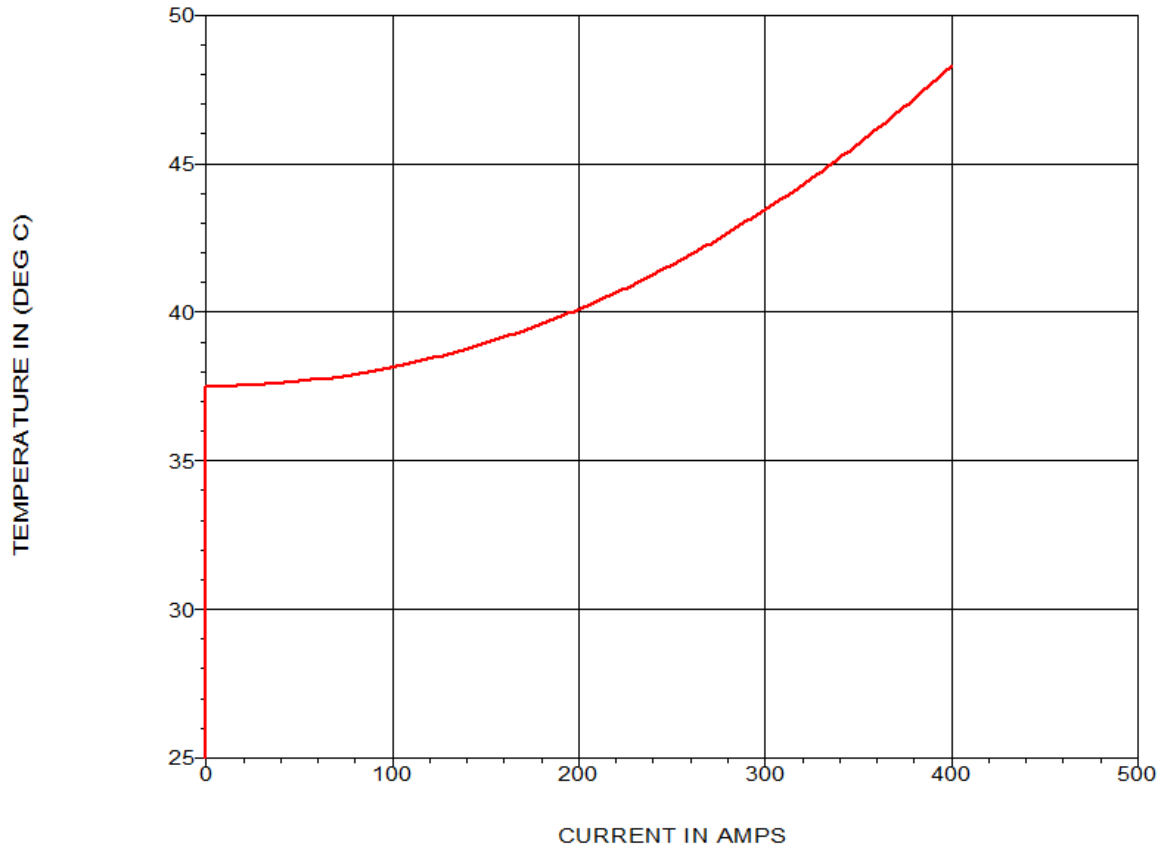
IEEE Std. 738-2006 method of calculation

Air temperature is 25.00 (deg C)
Wind speed is 2.80 (m/s)
Angle between wind and conductor is 90 (deg)
Conductor elevation above sea level is 4500 (m)
Conductor bearing is 90 (deg) (user specified bearing, may not be value producing maximum solar heating)
Sun time is 12 hours (solar altitude is 90 deg. and solar azimuth is 180 deg.)
Conductor latitude is 12.0 (deg)
Atmosphere is CLEAR
Day of year is 112 (corresponds to abril 22 in year 2022) (day of the year with most solar heating)

Conductor description: 70 mm² AAAC 19 hilos
Conductor diameter is 14.075 (cm)
Conductor resistance is 0.4430 (Ohm/km) at 20.0 (deg C)
and 0.5850 (Ohm/km) at 75.0 (deg C)
Emissivity is 0.5 and solar absorptivity is 0.5

Solar heat input is 94.367 (Watt/m) (corresponds to Global Solar Radiation of 1340.922 (Watt/m²) - which was calculated)
Radiation cooling is 34.738 (Watt/m)
Convective cooling is 142.213 (Watt/m)

Given a constant ac current of 400.0 amperes,
The conductor temperature is 48.3 (deg C)



70 mm2 AAAC Noche

PLS-CADD Version 12.10x64 03:49:24 p.m. viernes, 30 de Febrero de 2024

Prieto Ingenieros Consultores SA - Peru

Project Name:

'c:\users\public\documents\pls\pls_cadd\examples\projects\demo.DON'

Line Title: 'ORIGINAL'

IEEE Std. 738-2006 method of calculation

Air temperature is 25.00 (deg C)

Wind speed is 0.83 (m/s)

Angle between wind and conductor is 90 (deg)

Conductor elevation above sea level is 3000 (m)

Conductor bearing is 90 (deg) (user specified bearing, may not be value producing maximum solar heating)

Sun time is 17 hours (solar altitude is 18 deg. and solar azimuth is -111 deg.)

Conductor latitude is -12.0 (deg)

Atmosphere is CLEAR

Day of year is 355 (corresponds to diciembre 21 in year 2022) (day of the year with most solar heating)

Conductor description: 70 mm2 AAAC 19 hilos

Conductor diameter is 14.075 (cm)

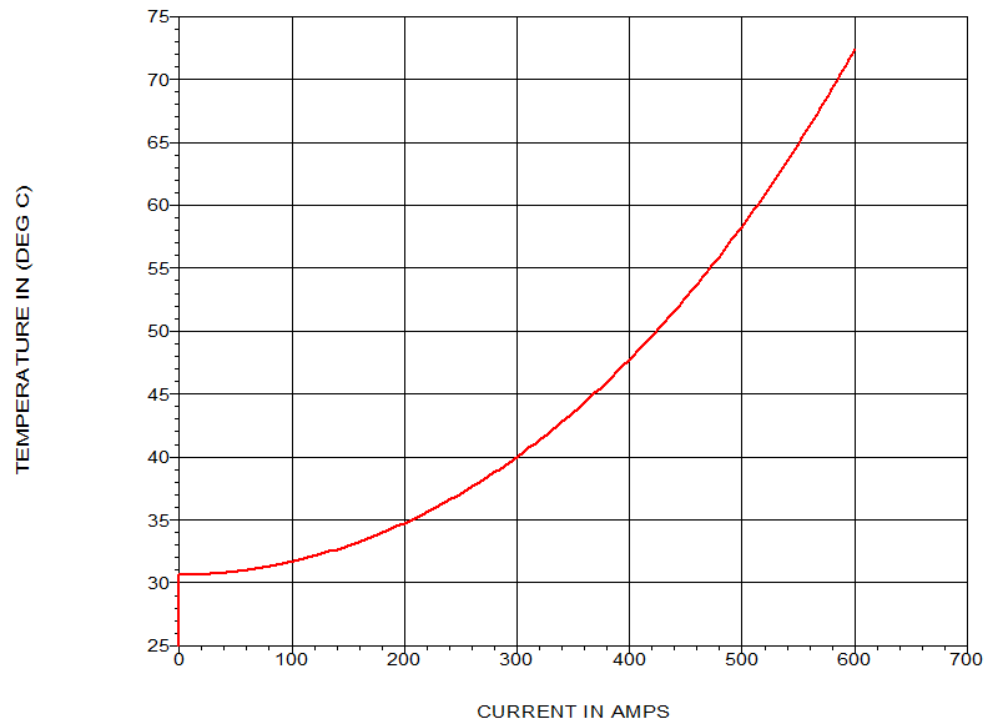
Conductor resistance is 0.4430 (Ohm/km) at 20.0 (deg C)

and 0.5850 (Ohm/km) at 75.0 (deg C)

Emissivity is 0.5 and solar absorptivity is 0.5

Solar heat input is 26.752 (Watt/m) (corresponds to Global Solar
Radiation of 380.141 (Watt/m²) - which was calculated)
Radiation cooling is 79.514 (Watt/m)
Convective cooling is 155.380 (Watt/m)

Given a constant ac current of 600.0 amperes,
The conductor temperature is 72.4 (deg C)



Anexo N° 4

Cálculo Mecánico del Conductor de 70 mm² AAAC - EDS: 15% y 12%

Los datos de los conductores a utilizar en el cálculo se muestra en la siguiente tabla

Parámetros del Conductor 70 mm²

Parámetros del Conductor 70 mm ²						
Sección	Diam. Exterior	Nro. de Hilos	Peso Unit.	Tiro de Rot.	M.E. Final	Coef. Dilat.
(mm ²)	(mm)	-	(Kg/m)	(Kg)	(Kg/mm ²)	(1/°C)
70	10,85	19	0,1915	2136,31	6 000	0,000023

Hipótesis de Cálculo

Según lo estipulado por el Código Nacional de Suministro- 2011, las condiciones ambientales de las zona, se definieron las hipótesis de cálculo mecánico de los conductores, según la siguiente tabla

Hipótesis de Cálculo

Descripción	Hip. 1	Hip. 2	Hip. 3	Hip. 4	Hip. 5
Nombre	EDS	Max viento	Min. Temp	Max. Temp	Viento y Hielo
Temp(°C)	15	5	0	55	0
V.Viento(km/h)	0	104	0	0	52
M.Hielo(mm)	0	0	6	0	3
%TIRO ADM	60	60	60	60	60

A continuación se muestra las tensiones y la flecha del conductor para diferentes longitudes de vano, si no existiera desnivel entre

Resultados del Cálculo mecánico de conductores (EDS=15%)

Vano	Desnivel	Hip.1			Hip.2			Hip.3			Hip.4			Hip.5		
(m)	(m)	H (kg-f)	T (kg-f)	F (m)	H (kg-f)	T (kg-f)	F (m)	H (kg-f)	T (kg-f)	F (m)	H (kg-f)	T (kg-f)	F (m)	H (kg-f)	T (kg-f)	F (m)
10	0,00	294,75	294,75	0,01	396,33	396,34	0,01	22,57	22,59	0,11	445,97	445,98	0,01	444,99	444,99	0,01
20	0,00	294,75	294,76	0,03	401,09	401,12	0,06	41,79	41,83	0,23	449,87	449,90	0,05	446,05	446,07	0,04
30	0,00	294,75	294,76	0,07	408,37	408,43	0,13	58,74	58,81	0,36	455,94	455,99	0,12	447,76	447,79	0,09
40	0,00	294,75	294,77	0,13	417,47	417,57	0,22	74,00	74,10	0,51	463,67	463,77	0,21	450,03	450,08	0,16
50	0,00	294,75	294,79	0,20	427,71	427,87	0,33	87,87	88,00	0,68	472,57	472,72	0,32	452,74	452,82	0,24
60	0,00	294,75	294,81	0,29	438,59	438,81	0,47	100,58	100,74	0,85	482,20	482,41	0,45	455,79	455,91	0,34
70	0,00	294,75	294,83	0,39	449,73	450,02	0,62	112,27	112,47	1,04	492,22	492,51	0,60	459,07	459,24	0,47
80	0,00	294,75	294,85	0,52	460,86	461,22	0,79	123,07	123,31	1,24	502,37	502,74	0,76	462,51	462,72	0,60
90	0,00	294,75	294,87	0,65	471,80	472,25	0,98	133,07	133,35	1,45	512,48	512,93	0,95	466,00	466,27	0,76
100	0,00	294,75	294,90	0,81	482,45	483,00	1,19	142,35	142,67	1,67	522,41	522,96	1,15	469,51	469,83	0,93
110	0,00	294,75	294,94	0,98	492,74	493,38	1,41	150,98	151,34	1,90	532,07	532,73	1,37	472,97	473,36	1,12
120	0,00	294,75	294,97	1,16	502,62	503,37	1,64	159,00	159,41	2,15	541,42	542,19	1,60	476,35	476,81	1,32
130	0,00	294,75	294,99	1,36	512,08	512,94	1,89	166,47	166,93	2,41	550,42	551,31	1,84	479,62	480,15	1,54
140	0,00	294,75	295,05	1,58	521,10	522,08	2,15	173,44	173,95	2,69	559,05	560,06	2,11	482,76	483,38	1,77
150	0,00	294,75	295,09	1,81	529,69	530,80	2,43	179,94	180,51	2,97	567,30	568,44	2,38	485,77	486,48	2,02
160	0,00	294,75	295,14	2,06	537,86	539,10	2,72	186,01	186,63	3,27	575,17	576,46	2,67	488,64	489,44	2,29
170	0,00	294,75	295,19	2,33	545,61	547,00	3,03	191,68	192,36	3,58	582,67	584,10	2,98	491,36	492,26	2,57
180	0,00	294,75	295,25	2,61	552,97	554,51	3,35	196,99	197,73	3,91	589,80	591,39	3,30	493,94	494,94	2,86
190	0,00	294,75	295,30	2,91	559,95	561,64	3,69	201,95	202,76	4,25	596,59	598,33	3,63	496,38	497,49	3,18
200	0,00	294,75	295,36	3,22	566,57	568,42	4,04	206,60	207,47	4,60	603,03	604,94	3,98	498,67	499,90	3,50
210	0,00	294,75	295,43	3,55	572,84	574,85	4,41	210,95	211,89	4,97	609,14	611,23	4,35	500,84	502,18	3,84
220	0,00	294,75	295,49	3,90	578,78	580,97	4,79	215,03	216,04	5,35	614,95	617,22	4,73	502,88	504,34	4,20
230	0,00	294,75	295,56	4,26	584,41	586,78	5,18	218,85	219,94	5,75	620,46	622,92	5,12	504,79	506,39	4,58
240	0,00	294,75	295,63	4,64	589,74	592,30	5,59	222,44	223,61	6,16	625,68	628,34	5,53	506,59	508,33	4,96
250	0,00	294,75	295,71	5,04	594,79	597,55	6,02	225,82	227,07	6,58	630,64	633,50	5,95	508,29	510,16	5,37
260	0,00	294,75	295,79	5,45	599,58	602,54	6,46	228,99	230,32	7,02	635,35	638,42	6,39	509,88	511,90	5,79
270	0,00	294,75	295,87	5,88	604,12	607,29	6,91	231,97	233,39	7,47	639,81	643,10	6,85	511,38	513,55	6,23
280	0,00	294,75	295,95	6,32	608,43	611,81	7,38	234,77	236,28	7,94	644,05	647,56	7,31	512,79	515,12	6,68
290	0,00	294,75	296,04	6,78	612,51	616,11	7,87	237,41	239,01	8,42	648,07	651,81	7,80	514,11	516,60	7,14
300	0,00	294,75	296,13	7,26	616,39	620,22	8,36	239,90	241,59	8,92	651,89	655,87	8,30	515,36	518,02	7,63
310	0,00	294,75	296,22	7,75	620,06	624,13	8,88	242,24	244,03	9,43	655,51	659,74	8,81	516,53	519,37	8,13
320	0,00	294,75	296,32	8,26	623,55	627,86	9,41	244,45	246,35	9,96	658,96	663,44	9,34	517,63	520,65	8,64
330	0,00	294,75	296,42	8,78	626,87	631,43	9,95	246,54	248,54	10,50	662,23	666,98	9,88	518,67	521,88	9,17
340	0,00	294,75	296,52	9,32	630,02	634,83	10,51	248,51	250,62	11,06	665,34	670,36	10,44	519,65	523,05	9,72
350	0,00	294,75	296,63	9,88	633,01	638,09	11,09	250,38	252,59	11,64	668,30	673,60	11,02	520,58	524,17	10,28
360	0,00	294,75	296,74	10,45	635,86	641,21	11,68	252,14	254,46	12,23	671,12	676,69	11,61	521,45	525,24	10,86
370	0,00	294,75	296,85	11,04	638,57	644,19	12,29	253,81	256,25	12,83	673,80	679,67	12,22	522,27	526,27	11,45
380	0,00	294,75	296,96	11,65	641,15	647,06	12,91	255,39	257,94	13,45	676,35	682,52	12,84	523,05	527,27	12,06
390	0,00	294,75	297,08	12,27	643,60	649,80	13,55	256,89	259,56	14,09	678,78	685,25	13,47	523,79	528,22	12,69
400	0,00	294,75	297,20	12,91	645,94	652,44	14,20	258,31	261,11	14,74	681,10	687,88	14,13	524,49	529,14	13,33
410	0,00	294,75	297,33	13,56	648,16	654,97	14,87	259,65	262,58	15,40	683,30	690,41	14,79	525,14	530,03	13,99
420	0,00	294,75	297,45	14,24	650,29	657,41	15,55	260,93	263,99	16,09	685,41	692,84	15,48	525,77	530,89	14,67
430	0,00	294,75	297,59	14,92	652,31	659,75	16,25	262,15	265,34	16,79	687,42	695,19	16,18	526,36	531,72	15,36
440	0,00	294,75	297,72	15,63	654,25	662,02	16,97	263,30	266,63	17,50	689,33	697,45	16,89	526,92	532,53	16,06
450	0,00	294,75	297,86	16,35	656,09	664,20	17,70	264,40	267,86	18,23	691,16	699,63	17,63	527,45	533,32	16,79
460	0,00	294,75	298,00	17,08	657,86	666,30	18,45	265,44	269,05	18,98	692,91	701,74	18,37	527,96	534,08	17,53
470	0,00	294,75	298,14	17,83	659,54	668,33	19,21	266,44	270,19	19,74	694,59	703,78	19,14	528,44	534,82	18,28
480	0,00	294,75	298,28	18,60	661,15	670,30	19,99	267,39	271,29	20,51	696,18	705,75	19,91	528,90	535,55	19,05
490	0,00	294,75	298,43	19,39	662,69	672,21	20,78	268,29	272,34	21,31	697,71	707,66	20,71	529,33	536,26	19,84
500	0,00	294,75	298,59	20,19	664,16	674,05	21,59	269,16	273,36	22,12	699,18	709,51	21,52	529,75	536,96	20,64

510	0,00	294,75	298,74	21,01	665,57	675,84	22,42	269,98	274,34	22,94	700,58	711,31	22,35	530,14	537,64	21,46
520	0,00	294,75	298,90	21,84	666,92	677,58	23,26	270,76	275,28	23,78	701,92	713,06	23,19	530,52	538,30	22,30
530	0,00	294,75	299,06	22,69	668,22	679,26	24,12	271,52	276,20	24,64	703,21	714,76	24,05	530,88	538,96	23,15
540	0,00	294,75	299,23	23,56	669,46	680,90	25,00	272,23	277,08	25,51	704,44	716,41	24,92	531,22	539,61	24,02
550	0,00	294,75	299,39	24,44	670,65	682,50	25,89	272,92	277,94	26,40	705,62	718,02	25,81	531,55	540,24	24,90
560	0,00	294,75	299,56	25,34	671,79	684,06	26,80	273,58	278,77	27,31	706,76	719,59	26,72	531,86	540,87	25,81
570	0,00	294,75	299,74	26,25	672,89	685,58	27,72	274,21	279,57	28,23	707,85	721,12	27,64	532,16	541,49	26,72
580	0,00	294,75	299,92	27,19	673,94	687,06	28,66	274,81	280,35	29,17	708,89	722,62	28,58	532,44	542,10	27,66
590	0,00	294,75	300,10	28,13	674,95	688,51	29,61	275,39	281,11	30,12	709,90	724,08	29,54	532,72	542,70	28,61
600	0,00	294,75	300,28	29,10	675,92	689,92	30,59	275,94	281,85	31,10	710,86	725,52	30,51	532,98	543,30	29,57

Resultados del Cálculo mecánico de conductores (EDS=12%)

Resultados del Cálculo Inicial de Generadores (ED = 12.7%)																
Vano	Desnivel	Hip.1			Hip.2			Hip.3			Hip.4			Hip. 5		
(m)	(m)	H (kg-f)	T (kg-f)	F (m)	H (kg-f)	T (kg-f)	F (m)	H (kg-f)	T (kg-f)	F (m)	H (kg-f)	T (kg-f)	F (m)	H (kg-f)	T (kg-f)	F (m)
10	0,00	235,80	235,80	0,01	337,87	337,87	0,02	18,85	18,88	0,13	387,29	387,29	0,02	385,98	385,99	0,01
20	0,00	235,80	235,81	0,04	343,85	343,88	0,07	35,77	35,82	0,27	391,85	391,88	0,06	386,87	386,89	0,05
30	0,00	235,80	235,82	0,09	352,61	352,67	0,15	51,07	51,15	0,42	398,74	398,80	0,14	388,27	388,31	0,10
40	0,00	235,80	235,83	0,16	362,99	363,10	0,25	64,98	65,09	0,58	407,17	407,28	0,24	390,08	390,14	0,18
50	0,00	235,80	235,85	0,25	374,11	374,28	0,38	77,66	77,80	0,76	416,48	416,65	0,36	392,16	392,26	0,28
60	0,00	235,80	235,87	0,36	385,38	385,62	0,53	89,24	89,42	0,96	426,14	426,39	0,51	394,43	394,57	0,40
70	0,00	235,80	235,89	0,49	396,43	396,75	0,71	99,83	100,06	1,17	435,81	436,13	0,68	396,77	396,96	0,54
80	0,00	235,80	235,92	0,64	407,05	407,46	0,90	109,53	109,80	1,39	445,25	445,67	0,86	399,11	399,36	0,70
90	0,00	235,80	235,96	0,82	417,14	417,65	1,11	118,42	118,73	1,63	454,33	454,84	1,07	401,41	401,71	0,88
100	0,00	235,80	235,99	1,01	426,64	427,25	1,34	126,56	126,92	1,88	462,96	463,58	1,30	403,61	403,98	1,08
110	0,00	235,80	236,03	1,22	435,53	436,26	1,59	134,04	134,45	2,15	471,11	471,85	1,54	405,69	406,14	1,30
120	0,00	235,80	236,08	1,45	443,83	444,68	1,86	140,90	141,36	2,43	478,76	479,62	1,81	407,65	408,18	1,54
130	0,00	235,80	236,12	1,70	451,56	452,54	2,14	147,20	147,72	2,73	485,91	486,92	2,09	409,47	410,10	1,80
140	0,00	235,80	236,18	1,97	458,73	459,85	2,45	152,99	153,57	3,04	492,59	493,74	2,39	411,15	411,88	2,08
150	0,00	235,80	236,23	2,27	465,40	466,67	2,77	158,31	158,96	3,38	498,81	500,11	2,71	412,71	413,54	2,38
160	0,00	235,80	236,29	2,58	471,58	473,01	3,11	163,21	163,92	3,73	504,60	506,06	3,05	414,14	415,09	2,70
170	0,00	235,80	236,35	2,91	477,32	478,90	3,47	167,73	168,51	4,10	509,98	511,61	3,40	415,46	416,52	3,04
180	0,00	235,80	236,42	3,26	482,64	484,40	3,84	171,89	172,74	4,48	514,98	516,79	3,78	416,67	417,86	3,40
190	0,00	235,80	236,49	3,64	487,57	489,51	4,24	175,73	176,65	4,88	519,62	521,63	4,17	417,78	419,10	3,77
200	0,00	235,80	236,57	4,03	492,15	494,28	4,65	179,27	180,28	5,30	523,94	526,14	4,59	418,79	420,25	4,17
210	0,00	235,80	236,64	4,44	496,40	498,73	5,09	182,55	183,64	5,74	527,95	530,36	5,02	419,73	421,33	4,59
220	0,00	235,80	236,73	4,88	500,35	502,88	5,54	185,58	186,75	6,20	531,68	534,31	5,47	420,58	422,34	5,03
230	0,00	235,80	236,81	5,33	504,02	506,77	6,01	188,38	189,65	6,68	535,16	538,01	5,94	421,37	423,28	5,48
240	0,00	235,80	236,90	5,81	507,43	510,41	6,50	190,98	192,35	7,17	538,39	541,47	6,43	422,09	424,17	5,96
250	0,00	235,80	237,00	6,30	510,61	513,82	7,01	193,40	194,86	7,68	541,39	544,73	6,94	422,75	425,01	6,46
260	0,00	235,80	237,09	6,81	513,57	517,02	7,54	195,64	197,20	8,22	544,20	547,78	7,47	423,37	425,80	6,98
270	0,00	235,80	237,20	7,35	516,33	520,03	8,09	197,72	199,39	8,77	546,82	550,66	8,01	423,93	426,55	7,51
280	0,00	235,80	237,30	7,90	518,91	522,87	8,66	199,66	201,43	9,34	549,26	553,38	8,58	424,45	427,27	8,07
290	0,00	235,80	237,41	8,48	521,31	525,54	9,24	201,47	203,35	9,93	551,54	555,94	9,17	424,94	427,95	8,65
300	0,00	235,80	237,52	9,08	523,56	528,07	9,85	203,15	205,15	10,54	553,67	558,36	9,77	425,38	428,61	9,25
310	0,00	235,80	237,64	9,69	525,66	530,46	10,48	204,72	206,85	11,17	555,67	560,66	10,40	425,80	429,24	9,86
320	0,00	235,80	237,76	10,33	527,63	532,73	11,12	206,20	208,44	11,82	557,54	562,84	11,04	426,18	429,85	10,50
330	0,00	235,80	237,89	10,98	529,48	534,88	11,79	207,57	209,94	12,48	559,29	564,91	11,71	426,54	430,43	11,16
340	0,00	235,80	238,02	11,66	531,21	536,92	12,48	208,86	211,36	13,17	560,93	566,89	12,39	426,87	431,00	11,84
350	0,00	235,80	238,15	12,36	532,84	538,87	13,18	210,07	212,70	13,88	562,48	568,77	13,10	427,18	431,56	12,54
360	0,00	235,80	238,28	13,08	534,37	540,73	13,91	211,20	213,97	14,61	563,93	570,57	13,82	427,47	432,10	13,26
370	0,00	235,80	238,42	13,81	535,80	542,51	14,65	212,26	215,18	15,35	565,29	572,29	14,57	427,74	432,62	13,99
380	0,00	235,80	238,57	14,57	537,16	544,22	15,42	213,26	216,33	16,12	566,58	573,94	15,33	427,99	433,14	14,75
390	0,00	235,80	238,72	15,35	538,43	545,85	16,20	214,20	217,42	16,91	567,79	575,53	16,12	428,23	433,65	15,53
400	0,00	235,80	238,87	16,15	539,63	547,42	17,01	215,09	218,46	17,71	568,93	577,06	16,92	428,45	434,15	16,33
410	0,00	235,80	239,02	16,97	540,77	548,93	17,83	215,93	219,45	18,54	570,01	578,54	17,75	428,65	434,64	17,15
420	0,00	235,80	239,18	17,81	541,84	550,39	18,68	216,72	220,40	19,39	571,03	579,96	18,59	428,85	435,13	18,00
430	0,00	235,80	239,35	18,67	542,86	551,80	19,55	217,46	221,31	20,25	571,99	581,34	19,46	429,03	435,62	18,86
440	0,00	235,80	239,51	19,55	543,81	553,17	20,43	218,16	222,18	21,14	572,91	582,68	20,35	429,21	436,10	19,74
450	0,00	235,80	239,69	20,45	544,72	554,49	21,34	218,83	223,02	22,05	573,77	583,97	21,25	429,37	436,57	20,64
460	0,00	235,80	239,86	21,37	545,58	555,78	22,26	219,46	223,82	22,98	574,59	585,24	22,18	429,52	437,05	21,56
470	0,00	235,80	240,04	22,32	546,40	557,03	23,21	220,06	224,60	23,92	575,36	586,47	23,12	429,67	437,52	22,51
480	0,00	235,80	240,22	23,28	547,17	558,24	24,18	220,62	225,35	24,89	576,10	587,67	24,09	429,80	438,00	23,47
490	0,00	235,80	240,41	24,26	547,91	559,43	25,17	221,16	226,08	25,88	576,80	588,84	25,08	429,93	438,47	24,45
500	0,00	235,80	240,60	25,27	548,61	560,59	26,17	221,67	226,78	26,89	577,46	589,99	26,08	430,06	438,94	25,46
510	0,00	235,80	240,80	26,29	549,27	561,73	27,20	222,16	227,46	27,92	578,09	591,11	27,11	430,17	439,42	26,48
520	0,00	235,80	240,99	27,33	549,91	562,84	28,25	222,62	228,12	28,97	578,69	592,22	28,16	430,28	439,89	27,53
530	0,00	235,80	241,20	28,40	550,51	563,93	29,32	223,06	228,76	30,04	579,27	593,30	29,23	430,39	440,37	28,59
540	0,00	235,80	241,40	29,49	551,08	565,01	30,41	223,47	229,39	31,13	579,81	594,37	30,32	430,49	440,85	29,68
550	0,00	235,80	241,61	30,59	551,63	566,06	31,52	223,87	230,00	32,24	580,33	595,43	31,43	430,58	441,33	30,79
560	0,00	235,80	241,83	31,72	552,15	567,10	32,65	224,25	230,59	33,37	580,83	596,47	32,56	430,67	441,81	31,92
570	0,00	235,80	242,04	32,87	552,65	568,13	33,80	224,62	231,17	34,52	581,30	597,49	33,71	430,76	442,30	33,06
580	0,00	235,80	242,27	34,04	553,13	569,14	34,97	224,96	231,74	35,69	581,75	598,51	34,88	430,84	442,79	34,23
590	0,00	235,80	242,49	35,23	553,58	570,14	36,16	225,29	232,30	36,89	582,19	599,51	36,07	430,92	443,28	35,42
600	0,00	235,80	242,72	36,44	554,02	571,13	37,38	225,61	232,85	38,10	582,60	600,51	37,29	430,99	443,78	36,66

Anexo 5

Cálculo Mecánico de Estructuras Proyectadas (Cargas Mayoradas) - Postes de MT

I Tipos y prestaciones de estructuras	0°	10°
Conductor	70 mm ²	
Angulo de desv. Línea - grados	0	14
Vano viento - (m)	100	100
Vano Gravante - (m)	120	120
Vano maximo lateral - (m)	144	50
II Parámetros ambientales y criterios de cálculo		
Velocidad del viento (km/h)	70	70
Presión del viento (kg/m ²)	17.4	17.4
Diametro del conductor - (mm)	10.7	10.7
Peso del conductor (kg/m)	0.2	0.19
Tiro de Rotura del conductor (kg)	2,199	2,199
Tiro EDS (%)	15	15
Tiro del conductor - EDS - (kg)	330	330
Tiro máximo conductor - (kg)	528	528
FS-transversal-viento - Regla 250C -Grado C	2.20	2.20
FS-transversal-conductor - Grado C	1.30	1.30
FS- Longitudinal/falla Conductor	1.30	1.30
FS-vertical	1.90	1.90
III Datos de Estructuras		
Altura del poste - (m)	13	13
N° de postes	1	1
Carga de Trabajo - Poste de Concreto (kg)	300	300
Factor de Seguridad - Poste de Concreto	2	2
Factor de Resistencia	1	0.85
Diam-Base poste - (mm)	360	360
Diam-Punta poste - (mm)	165	165
Superficie del poste (m ²)	3	3.0
Altura de aplicación de la fuerza-viento - (m)	5	5
Altura Conductor 1 R - (m)	11.3	11.3
Altura Conductor 2 S - (m)	10.1	10
Altura Conductor 3 T - (m)	8.9	8.9
Profundidad de cimentación - (m)	2	2
Altura útil del poste - (m)	12	12
Peso de aislador-susp -c/accesorios - (kg)	15	15
Longitud Cruceta - (m)	1.20	1.20
N° de Retenidas	-	-
Altura retenida 1 - (m)	-	-
Altura retenida 2 - (m)	-	-
Altura retenida 3 opuesta - (m)	-	-
Angulo máximo del cable de retenida (°)	-	-
Máxima Carga aplicada a la retenida - normal (kg)	-	-
Máxima Carga vertical x retenida sobre poste (kg)	-	-
Máxima Carga horizontal x retenida sobre poste (kg)	-	-
Momento Absorbido x retenidas 1 y 2 (kg-m)	-	-
Momento Absorbido x retenida 3 (kg-m)	-	-
IV Cargas Mayoradas Apicadas en kg		
Carga T - del viento sobre el conductor - Hnormal	41	41
Carga T - conductor sobre estructura - Hnormal	0	167
Carga T - del viento - superficie poste	53	53
Carga L - conductor sobre estructura - Hanclaje		
Carga V - Conductor+aisladores - Hnormal	59	59
Carga V - de operación - HNormal	100.0	100.0

Análisis Mecánico de la Estructura Alineamiento 13/300 (Tipo 2)

Las hipótesis de cálculo son:

- 1) normal ángulo 0°
- 2) normal ángulo 10°

H-R	H-R	H-R
11.3	10.1	8.9
5.0	5.0	5.0

Hipótesis de Cálculo		0	10
C1	T	41	208
	L	0	0
	V	159	159
Viento - estructura		Tv	53

Las cargas están expresadas en kg y las alturas H en metros. Las cargas son mayoradas H es la altura de aplicación de las cargas

Cálculos aproximados de Cargas equivalentes en punta:

Momentos totales	kg-m	1699	6762
Cargas Aplicadas Mayoradas equiv a 0.1m punta poste	kg	150	598

Cálculo de la Carga de Trabajo del Poste de Concreto

Carga de Trabajo nominal (CTn)	300	kg
Factor de Seguridad (fs)	2	
Factor de Resistencia (fr)	1.00	
Carga de Trabajo Nominal (CTnn=CTn*fs*fr)	600.00	kg
Carga de Rotura Aplicada al poste	598	kg

Determinación de cargas aplicadas a Elementos:

Carga - arranque máx. aplicada a aislador / cruceta	kg	208
Carga - Cantilever máx cruceta - normal	kg	159
Carga - Cantilever máx cruceta - falla	kg	0
Carga - flexión máxima a ferretería suj. Aisladores-normal	kg	159
Carga - flexión máxima a ferretería suj. Aisladores-falla	kg	0
MCDL - carga máxima de diseño de aisladores	kg	0

Cálculo de la Carga de Trabajo de la Cruceta de Fierro Galvanizado:

Carga de Rotura Transversal (CRT)	kg	208
Carga de Rotura Vertical (CRV)	kg	159
Carga de Rotura Longitudinal (CRL)	kg	0

Cálculo Mecánico de Estructuras Proyectadas (Cargas Mayoradas) - Postes de MT

I Tipos y prestaciones de estructuras		Angular - Anclaje 13/400				
		Angular	Angular	Angular	Angular	Anclaje
Tipo de estructura		5	30	60	90	90
Angulo de desv. Línea - grados		90	90	90	90	90
Vano viento - (m)		50	50	50	50	50
Vano máximo lateral - (m)		50	50	50	50	50
II Parámetros ambientales y criterios de cálculo						
Velocidad del viento (km/h)		70	70	70	70	70
Presión del viento (kg/m ²)		17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
Diametro del conductor - (mm)		10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
Peso del conductor (kg/m)		0.192	0.192	0.192	0.192	0.192
Tiro de Rotura del conductor (kg)		2199	2199	2199	2199	2199
Tiro EDS (%)		15	15	15	15	15
Tiro del conductor - EDS - (kg)		330	330	330	330	330
Tiro máximo conductor - (kg)		528	528	528	528	528
FS-transversal-viento - Regla 250C -Grado C		2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
FS-transversal-conductor - Grado C		1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
FS- Longitudinal/falla Conductor		1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
FS-vertical		1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
III Datos de Estructuras						
Altura del poste - (m)		13	13	13	13	13
N° de postes		1	1	1	1	1
Carga de Trabajo - Poste de Concreto (kg)		400	400	400	400	400
Factor de Seguridad - Poste de Concreto		2	2	2	2	2
Factor de Resistencia		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Diam-Base poste - (mm)		210	210	210	210	210
Diam-Punta poste - (mm)		405	405	405	405	405
Superficie del poste (m ²)		3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
Altura de aplicación de la fuerza-viento - (m)		6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
Altura Conductor 1 R - (m)		11.3	11.3	11.3	11.3	11.3
Altura Conductor 2 S - (m)		10.1	10.1	10.1	10.1	10
Altura Conductor 3 T - (m)		8.9	8.9	8.9	8.9	9
Profundidad de cimentación - (m)		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Altura útil del poste - (m)		11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
Peso de aislador-susp -c/accesorios - (kg)		5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Longitud Cruceta - (m)		1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
N° de Retenidas		1	1	1	1	1
Altura retenida 1 - (m)		11.1	11.1	11.1	11.1	11.1
Altura retenida 2 - (m)		-	-	-	-	-
Altura retenida 3 opuesta - (m)		-	-	-	-	-
Angulo máximo del cable de retenida (°)		37	37	37	37	37
Máxima Carga aplicada a la retenida - normal (kg)		100	591	1,141	1,614	951
Máxima Carga vertical x retenida sobre poste (kg)		80	472	911	1,289	760
Máxima Carga horizontal x retenida sobre poste (l)		60	355	687	971	573
Momento Absorbido x retenidas 1 y 2 (kg-m)		665	3,946	7,623	10,781	6,355
Momento Absorbido x retenida 3 (kg-m)		-	-	-	-	-
IV Cargas Mayoradas Apicadas en kg						
Carga T - del viento sobre el conductor - Hnormal		19	18	16	13	0
Carga T - conductor sobre estructura - Hnormal		30	178	343	486	324
Carga T - del viento - superficie poste		62	62	62	62	62
Carga L - conductor sobre estructura - Hnclaje		0	0	0	0	202
Carga V - Conductor+aisladores - Hnormal		25	25	25	25	25
Carga V - de operación - HNormal		100	100	100	100	100

Análisis Mecánico de la Estructura Angular - Anclaje 13/400 (Tipo 4)

Las hipótesis de cálculo son:

- 1) Angular 5°
- 2) Angular 30°
- 3) Angular 60°
- 4) Angular 90°
- 5) Anclaje 90°

		Anclaje				H-R-S-T
		5°	30°	60°	90°	
Hipótesis de Cálculo		1	2	3	4	5
C1	T	19	18	16	13	0
	L	30	178	343	486	324
	V	125	125	125	125	125
C2	T	19	18	16	13	0
	L	30	178	343	486	324
	V	25	25	25	25	25
C2	T	19	18	16	13	0
	L	30	178	343	486	324
	V	25	25	25	25	25
Viento - estructura		Tv	62	62	62	62

Las cargas están expresadas en kg y las alturas H en metros. Las cargas son mayoradas de acuerdo

Cálculos aproximados de Cargas equivalentes en punta:

Momentos totales	kg-m	1885	6747	12344	17159	11665
Momento absorbido x retenidas	kg-m	665	3946	7623	10781	6355
Cargas Aplicadas Mayoradas equiv a 0.1m punta	kg	108	248	418	564	470

Cálculo de la Carga de Trabajo del Poste de Concreto

Carga de Trabajo nominal (CTn)	400	kg
Factor de Seguridad (fs)	2	
Factor de Resistencia (fr)	1.00	
Carga de Trabajo Nominal (CTnn=CTn*fs*fr)	800.00	kg
Carga de Rotura (CR = MR/H')	564	kg

Cálculo de la Carga de Trabajo de la Cruceta de Fierro Galvanizado:

Carga de Rotura Transversal (CRT)	kg	37
Carga de Rotura Vertical (CRV)	kg	249
Carga de Rotura Longitudinal (CRL)	kg	303