UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

TESIS

EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO (STATCOM) PARA MEJORAR LA CALIDAD DE TENSIÓN EN EL ALIMENTADOR PM-06, PUERTO MALDONADO – 2025

PRESENTADO POR:

Br. JOSE ALBERTO HANCCO NUÑEZ

Br. ALEXANDER MAMANI CRUZ

PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRICISTA

ASESOR:

Dr. DONATO MAMANI PARI

CUSCO-PERU

2026

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

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

El que suscribe, el **Asesor** .....DR. .....DONATO MAMANI PARI..... quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: .....EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO (STATCOM) PARA MEJORAR LA CALIDAD DE TENSIÓN EN EL ALIMENTADOR PM-06, PUERTO MALDONADO - 2025.....

Presentado por: .....JOSE ALBERTO HANCCO NUÑEZ..... DNI N° 75250989 ;
presentado por: .....ALEXANDER MAMANI CRUZ..... DNI N°: 72882565
Para optar el título Profesional/Grado Académico de .....INGENIERO ELECTRICISTA.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por .02... veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de .....3.....**%.**

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

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

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

Cusco, 29 de SETIEMBRE de 2026

.....
Firma

Post firma.....DONATO MAMANI PARI.....

Nro. de DNI....23876507.....

ORCID del Asesor....0000-0002-0998-3124.....

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid:** 27259:631561744.....

ALEXANDER-ALBERTO MAMANI-HANCCO

TESIS_STATCOM REPOSITORIO.pdf

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:631561744

Fecha de entrega
29 sep 2026, 5:20 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
29 sep 2026, 5:29 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
TESIS_STATCOM REPOSITORIO.pdf

Tamaño del archivo
10.2 MB

262 páginas

54.661 palabras

290.383 caracteres

3% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

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

Exclusiones

- N.º de fuentes excluidas
- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

1% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
3% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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



DR. DONATO MAMANI PARI
ASESOR DE TESIS

DEDICATORIA

Con profundo agradecimiento, dedico este logro a mis padres, ***GABINO MAMANI CONDORI*** *y* ***GENARA CRUZ NOA*** *(q.e.p.d), pilares fundamentales de mi vida, cuyo amor, sabiduría y confianza iluminaron cada paso de mi camino.*

A mis hermanos Percy, Alfredo; y mis hermanas Emperatriz, Yesica, Soledad y Ruth, por ser mi fortaleza y guía incondicional; les estimo mucho.

a mi familia, por su constante apoyo para alcanzar mis metas.

A mis docentes artífices de mi crecimiento profesional. Sin su presencia este momento no habría sido posible.

Alexander Mamani Cruz.

DEDICATORIA

A mis padres, ***Felicitas Nuñez Quispe*** *y* ***Max Willngton Holguino Borda****, cuyo amor, esfuerzo y sacrificio fueron la base de mi resiliencia y mi perseverancia para poder construir cada paso en mi vida. Su ejemplo y apoyo incondicional me han guiado para alcanzar este logro.*

A mis hermanos Urpi, Max y Jhonatan, quienes con su cariño y compañía me recordaron siempre la importancia de la unión familiar y fueron una fuente constante de inspiración y motivación.

A los docentes de mi preciada casa de estudios quienes me formaron en cada proceso de mi vida con su mentoría constante y sus valiosas enseñanzas, han dejado una huella significativa en mi vida profesional.

Jose Alberto Hancco Nuñez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, fuente de fortaleza y sabiduría, por guiar mis pasos y sostenerme en momentos de incertidumbre. A mi familia y amigos, cuyo aliento constante fue el cimiento que me permitió culminar este sueño. A la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, en especial a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica, por formar en mí, no solo competencias técnicas, sino también integridad profesional. Reconozco con profundo gratitud al Dr. Donato Mamani Pari, mi asesor, cuya paciencia, rigor académico y generosidad enriquecieron cada etapa de esta investigación. Finalmente, a todos quienes, de manera directa o indirecta, contribuyeron con sus conocimientos y apoyo para hacer posible este logro.

Alexander Mamani Cruz y Jose Alberto Hancco Nuñez

PRESENTACIÓN

Señor:

Decano de la facultad de ingeniería eléctrica, electrónica, informática y mecánica.

Y distinguidos miembros de la comisión de dictamen:

En cumplimiento de lo establecido en el reglamento de grados y títulos vigente de esta facultad, y con el fin de optar al título profesional de Ingeniero Electricista, someto a su consideración el presente trabajo de investigación titulado" EVALUACIÓN **DE LA INCORPORACIÓN DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO (STATCOM) PARA MEJORAR LA CALIDAD DE TENSIÓN EN EL ALIMENTADOR PM-06, PUERTO MALDONADO – 2025".** Este estudio propone una solución técnica basada en dispositivos FACT's, con el objetivo de optimizar la eficiencia y la calidad de la energía en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. Confió en que sus valiosas observaciones y recomendaciones enriquecerán este trabajo, contribuyendo así al ámbito académico y profesional de la Ingeniería Eléctrica.

Agradezco de antemano su tiempo y disposición.

Atentamente,

Br. Alexander Mamani Cruz.

Br. Jose Alberto Hancco Nuñez.

RESUMEN

El presente trabajo evalúa la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) para mejorar la calidad de la tensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado – 2025, en respuesta a la problemática recurrente de mala calidad de energía. Los registros históricos 2020–2024 muestran que el PM-06 concentró entre el 18.53 % y el 30.62 % del total de denuncias por mala calidad de energía en Puerto Maldonado, superando los límites de la NTCSER.

El objetivo es mejorar la calidad de la tensión mediante la evaluación de un STATCOM, a través del análisis del perfil de tensiones en las 115 SED, la identificación de puntos críticos y la evaluación de su impacto en pérdidas y cargabilidad. La metodología comprende el diagnóstico del alimentador, la modelación y simulación en DIgSILENT PowerFactory con y sin STATCOM, y la evaluación comparativa de resultados.

Los resultados evidencian que el STATCOM de 1.5 MVAr eliminó el 100 % de las transgresiones a la NTCSER en las 115 SED, elevó el perfil de tensión promedio del nodo crítico "ESE200NMT000757" en 5.87 %, redujo las pérdidas técnicas de 111.7265 kW a 87.1744 kW (−21.97 %), disminuyó la demanda reactiva de 1855.74 kVAR a 678.87 kVAR (−63.4 %) y mejoró el factor de potencia de 0.81 a 0.97, validando las hipótesis planteadas.

El aporte radica en proporcionar una solución técnica, factible y sustentada para mejorar la calidad del suministro eléctrico en zonas con cargas inductivas, contribuyendo a la optimización y confiabilidad del servicio eléctrico en Puerto Maldonado.

Palabras claves: Perfil de tensiones, Compensador estático síncrono, STATCOM, Alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

ABSTRACT

This study evaluates the implementation of a Static Synchronous Compensator (STATCOM) to improve voltage quality on the PM-06 feeder in Puerto Maldonado (projected for 2025), addressing recurring power quality issues. Historical records from 2020–2024 indicate that the PM-06 feeder accounted for 18.53% to 30.62% of all power quality complaints in Puerto Maldonado, exceeding NTCSER limits.

The objective is to improve voltage quality by evaluating a STATCOM through an analysis of voltage profiles across 115 distribution substations (SEDs), the identification of critical points, and an assessment of the device's impact on losses and loading levels. The methodology involves diagnosing the feeder, modeling and simulating the system in DIgSILENT PowerFactory (with and without the STATCOM), and conducting a comparative analysis of the results.

The results demonstrate that the 1.5 MVAr STATCOM eliminated 100% of NTCSER violations across the 115 SEDs, raised the average voltage profile at the critical node "ESE200NMT000757" by 5.87%, reduced technical losses from 111.7265 kW to 87.1744 kW (−21.97%), lowered reactive demand from 1855.74 kVAR to 678.87 kVAR (−63.4%), and improved the power factor from 0.81 to 0.97, thereby validating the proposed hypotheses.

The study's contribution lies in providing a feasible, technically sound solution to improve electricity supply quality in areas with inductive loads, thereby enhancing the optimization and reliability of the electrical service in Puerto Maldonado.

Keywords: Voltage profile, Static synchronous compensator, STATCOM, Puerto Maldonado PM-06 feeder.

GLOSARIO

COES: Comité de Operación Económica del Sistema.

DGE: Dirección General de Electricidad.

DOP: Dirección General de Electricidad.

ELSE: Electro Sur Este S.A.A.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

GDA: Generación Distribuida para el Autoconsumo.

GIS: Sistema de Información Geográfica.

GART: Gerencia Adjunta de Regulación Tarifaria.

LGSE: Ley General de Servicio Eléctrico.

LCE: Ley de Concesiones Eléctricas.

MINEM: Ministerio de Energía y Minas.

MECP: Mercado de Energía de Corto Plazo.

MEM: Mercado Eléctrico Mayorista.

NTCOTR: Norma Técnica para la Coordinación de la Operación en Tiempo Real.

NTCOTRSI: Norma Técnica para la Coordinación de la Operación en Tiempo Real de los Sistemas Interconectados.

OSINERGMIN: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería.

STATCOM: Static Synchronous Compensator.

SEIN: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

SIELSE: Sistema Informático de Electro Sur Este S.A.A.

SED: Subestación Eléctrica de Distribución.

SET: Subestación Eléctrica de Transformación.

SPT: Sistema Principal de Trasmisión.

SST: Sistema Secundario de Transmisión.

SGT: Sistema Garantizado de Transmisión.

SCT: Sistema Complementario de Transmisión.

SSR: Sub Synchronous Resonance.

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Potencia Instalada: Es la suma de las potencias nominales de las unidades de generación (Vasquez, 2014)

Eficiencia Energética: maximizar el uso de los recursos energéticos y reducir el impacto ambiental de la producción y consumo de energía (Li Loo, 2023).

Estatismo: Se define mediante una relación de régimen permanente entre el incremento de velocidad de giro y el incremento de potencia mecánica generada (Ledesma Larrea, 2022).

Inercia: Corresponde a la reacción inicial del sistema frente a perturbaciones asociados que existan en la inestabilidad del sistema. En sistemas de potencia la inercia es determinada por la inercia de los generadores. Mientras mayor sea la inercia del sistema, menor será la desviación de frecuencia en los primeros segundos posteriores a la contingencia (Arias Hernández, 2016).

CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA ..... **II**

DEDICATORIA ..... **III**

AGRADECIMIENTO ..... **IV**

PRESENTACIÓN ..... **V**

RESUMEN ..... **VI**

ABSTRACT ..... **VII**

GLOSARIO ..... **VIII**

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS ..... **X**

CONTENIDO ..... **XI**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **XVII**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **XIX**

CAPITULO I **25**

1. ASPECTOS GENERALES **25**

1.1. Ámbito geográfico. 25

1.2. El problema. 28

1.2.1. Planteamiento del problema. 28

1.3. Formulación del problema 32

1.3.1. Problema general 32

1.3.2. Problemas específicos. 32

1.4. Objetivos. 32
1.4.1. Objetivo general. 32
1.4.2. Objetivos específicos. 33
1.5. Justificación. 33
1.5.1. Justificación técnica. 33
1.5.2. Justificación social. 35
1.5.3. Justificación académica. 37
1.6. Alcances y limitaciones. 38
1.6.1. Alcances. 38
1.6.2. Limitaciones. 39
1.7. Hipótesis. 39
1.7.1. Hipótesis general. 39
1.7.2. Hipótesis específicas. 39
1.8. Variables e Indicadores. 40
1.8.1. Variables Independientes. 40
1.8.2. Variables Dependientes. 40
1.8.3. Operacionalización de Variables. 40
1.9. Metodología de la Investigación. 41
1.9.1. Tipo de investigación. 41
1.9.2. Enfoque de la investigación. 41
1.9.3. Nivel de la investigación. 41

1.9.4. Diseño de la investigación. 41
1.9.5. Población y muestra. 42
1.9.6. Periodo de análisis de datos. 43
1.9.7. Técnicas de recolección de datos. 44
1.9.8. Instrumentos y recolección de datos. 44
1.10. Matriz de Consistencia. 46
CAPITULO II 48
2. MARCO TEORICO. 48
2.1. Introducción. 48
2.2. Antecedentes de la Investigación. 48
2.2.1. Antecedentes nacionales. 48
2.2.2. Antecedentes internacionales. 49
2.3. Aspecto normativo. 52
2.3.1. Ley 25844 “Ley de Concesiones Eléctricas”. 52
2.3.2. D.S. N° 020-97-EM “Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos” 52
2.3.3. R.D. N° 016-2008-EM-DGE – NTCSER “Norma técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales”. 55
2.4. Bases Teóricas. 55
2.4.1. Sistema de distribución eléctrica: 55
2.4.2. Calidad de energía eléctrica. 60
2.4.3. Estabilidad de sistemas de potencia (Power System Stability). 64
2.4.4. Sistemas de compensación reactiva. 66

2.4.5. Flujo de potencia. 75

CAPITULO III 80

3. DIAGNOSTICO ACTUAL DE ALIMENTADOR PM-06 DE PUERTO MALDONADO. 80

3.1. Introducción. 80

3.2. Ubicación del sistema eléctrico. 80

3.3. Característica de técnicas de la SET de Puerto Maldonado. 82

3.3.1. Líneas de transmisión de llegada. 82

3.3.2. Subestación eléctrica de transformación. 83

3.3.3. Salidas en media tensión. 84

3.4. Características técnicas del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 87

3.4.1. Descripción de alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 87

3.4.2. Equipos de protección y maniobra del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 96

3.4.3. Potencia instalada del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 97

3.4.4. Análisis de los datos de medición. 98

3.4.5. Perdidas eléctricas en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 136

3.4.6. Identificación de problemas del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 148

3.4.7. Propuesta de las alternativas de la solución. 149

3.4.8. Identificación de puntos críticos y posibles puntos de conexión del compensador estático síncrono en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 150

3.4.9. Ubicación del compensador estático síncrono (STATCOM). 152

CAPITULO IV 155

4. APLICACIÓN DEL COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO (STATCOM) PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DE PRODUCTO SUMINISTRADO. 155

4.1. Introducción 155

4.2. Modelo del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 156

4.2.1. Validación del modelo de carga en DIgSILENT PowerFactory. 157

4.3. Dimensionamiento del compensador estático síncrono (STATCOM). 159

4.3.1. Cálculo de la potencia reactiva necesaria para aumentar el nivel de tensión del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 160

4.4. Características Técnicas la compensación síncrono estático (STATCOM). 163

4.4.1. Parámetros Generales del Equipo. 163

4.4.2. Convertidor de Potencia VSC. 164

4.4.3. Capacitor de Enlace DC. 164

4.4.4. Transformador de acoplamiento 165

4.4.5. Filtros. 165

4.5. Aplicación del STATCOM para la regulación de la tensión en tiempo real. 166

4.5.1. Casos de estudio. 168

4.5.2. Simulaciones dinámicas para la regulación de la tensión (RMS/EMT). 171

4.5.3. Comparación de la evolución de la tensión con y sin STATCOM. 174

CAPITULO V 177

5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN. 177

5.1. Análisis de perfil de tensiones. 178

5.1.1. Análisis del perfil de tensiones en nodos representativos de la línea troncal. 178

5.1.2. Análisis del perfil de tensiones en nodos representativos del Ramal 01. 191

5.1.3. Análisis de perfil de tensiones en el ramal 02. 196

5.1.4. Análisis del perfil de tensiones en nodos representativos del ramal 03. 198

5.1.5. Análisis del perfil de tensiones en nodos representativos del ramal 04. 202

5.2. Análisis de pérdidas y de factor de potencia....206

5.2.1. Comportamiento de flujo de potencia. 206

5.2.2. Análisis de pérdidas. 207

5.2.3. Análisis de factor de potencia. 216

5.3. Discusión de la aplicación del STATCOM en la regulación de la tensión del alimentador pm-06 de Puerto Maldonado. 218

5.3.1. Discusión de resultado. 221

5.3.2. Limitaciones del análisis. 222

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. 223

7. SUGERENCIAS. 226

8. BIBLIOGRÁFICA. 227

9. ANEXOS. 232

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Registro de reclamos electro sur este, registrados en sistema SIELSE del año 2024. 36

Tabla 1.2: Operacionalización de variables generales. 40

Tabla 1.3 Matriz de consistencia..... 46

Tabla 2.1: Valores del factor de proporcionalidad. 54

Tabla 2.2: Comparación de valores de constante de inercia. 65

Tabla 3.1: Vértices georreferenciados de la SET Puerto Maldonado. 81

Tabla 3.2: Características de la SET puerto Maldonado. 83

Tabla 3.3: Características de las barras en la SET Puerto Maldonado. 84

Tabla 3.4: Detalle de alimentadores Puerto Maldonado. 86

Tabla 3.5: Parámetros eléctricos de las SED que conforman la línea troncal. 90

Tabla 3.6 Parámetros eléctricos de las SED que conforman la línea ramal 01..... 92

Tabla 3.7: Parámetros eléctricos de las SED que conforman la línea ramal 02. 93

Tabla 3.8: Parámetros eléctricos de las SED que conforman la línea ramal 03. 94

Tabla 3.9: Parámetros eléctricos de las SED que conforman la línea ramal 04. 96

Tabla 3.10: Demanda eléctrica del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 97

Tabla 3.11: Nodos representativos del perfil de tensiones en el alimentador PM-06. 99

Tabla 4.1: Características técnicas del compensador estático síncrono..... 165

Tabla 4.2: Comparativo de los niveles de tensión registrados en el nodo “ESE200NMT000757.” 175

Tabla 5.1: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000113. 179

Tabla 5.2: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000104. ... 182

Tabla 5.3: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000115. ... 184

Tabla 5.4: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000148. ... 186

Tabla 5.5: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000109. ... 188

Tabla 5.6: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000110. ... 190

Tabla 5.7: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000347. ... 192

Tabla 5.8: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000349. ... 194

Tabla 5.9: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000122. ... 197

Tabla 5.10: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000398. . 199

Tabla 5.11: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000400. . 201

Tabla 5.12: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000404. . 203

Tabla 5.13: Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000173. . 205

Tabla 5.14: Comparativa de pérdidas técnicas por sección de línea en el alimentado PM-06. 207

Tabla 5.15: Comparativa de pérdidas técnicas por transformador en el alimentador PM-06. . 213

Tabla 5.16: Efectividad del STATCOM en la reducción de intervalos fuera del rango de ± 6.0 % en las SED del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 218

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de ubicación geográfica del departamento de Madre De Dios..... 25

Figura 1.2: Mapa del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado – Mazuko. 26

Figura 1.3: Perfil de tensiones en el lado de MT de la SED: 2000404. 29

Figura 1.4: Evaluación de la calidad de tensión en todas la SED del Alimentador PM-06. 30

Figura 2.1: Diagrama simplificado de un sistema de distribución eléctrica..... 56

Figura 2.2: Clasificación de la estabilidad en los sistemas eléctricos de potencia. 65

Figura 2.3: Clasificación de los dispositivos FACTs. 68

Figura 2.4: Curva de operación de un compensador síncrono estático (STATCOM). 69

Figura 3.1: SET de Puerto Maldonado. 81

Figura 3.2: Conexión de central hidroeléctrica San Gaban II, SET Mazuco y SET Puerto Maldonado. 82

Figura 3.3: Salida de los alimentadores de media tensión de la SET Puerto Maldonado. 85

Figura 3.4: Diagrama unifilar del sistema electico de Puerto Maldonado. 85

Figura 3.5: Topología del alimentado PM-06 de Puerto Maldonado. 88

Figura 3.6: Perfil de potencias en la barra de 22.9 kV del alimentador PM-06 98

Figura 3.7: Análisis de los datos de medición de acuerdo a la distribución topológica. 100

Figura 3.8: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000104. 101

Figura 3.9: Perfil de tensiones de la SED: 2000104. 102

Figura 3.10: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000109. 104

Figura 3.11: Perfil de tensiones de la SED: 2000109. 105

Figura 3.12: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000110. 106

Figura 3.13: Perfil de tensiones de la SED: 2000110. 107

Figura 3.14: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000113. 109

Figura 3.15: Perfil de tensiones de la SED: 2000113. 110

Figura 3.16: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000115. 111

Figura 3.17: Perfil de tensiones de la SED: 2000115. 112

Figura 3.18: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000148. 114

Figura 3.19: Perfil de tensiones de la SED: 2000148. 115

Figura 3.20: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000347. 117

Figura 3.21: Perfil de tensiones de la SED: 2000347. 118

Figura 3.22: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000349. 119

Figura 3.23: Perfil de tensiones de la SED: 2000349. 120

Figura 3.24: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000122. 122

Figura 3.25: Perfil de tensiones de la SED: 2000122. 123

Figura 3.26: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000398. 125

Figura 3.27: Perfil de tensiones de la SED: 2000398. 126

Figura 3.28: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000400. 128

Figura 3.29: Perfil de tensiones de la SED: 2000400. 129

Figura 3.30: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000173. 131

Figura 3.31: Perfil de tensiones de la SED: 2000173. 132

Figura 3.32: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000404. 134

Figura 3.33: Perfil de tensiones de la SED: 2000404. 135

Figura 3.34: Perdidas eléctricas en las líneas de distribución del ramal 01 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 138

Figura 3.35: Perdidas eléctricas en los transformadores del ramal 01 del alimentador PM-06. 139

Figura 3.36: Perdidas eléctricas en las líneas de distribución del ramal 02 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 140

Figura 3.37: Perdidas eléctricas en los transformadores del ramal 02 del alimentador PM-06. 141

Figura 3.38: Perdidas eléctricas en las líneas de distribución del ramal 03 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 142

Figura 3.39: Perdidas eléctricas en los transformadores del ramal 03 del alimentador PM-06. 143

Figura 3.40: Perdidas eléctricas en las líneas de distribución del ramal 04 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 144

Figura 3.41: Perdidas eléctricas en los transformadores del ramal 04 del alimentador PM-06. 145

Figura 3.42: Perdidas eléctricas en las líneas de distribución de la troncal del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. 146

Figura 3.43: Perdidas eléctricas en los transformadores de la troncal del alimentador PM-06. 147

Figura 3.44: Diagrama unifilar con posibles puntos de conexión del SATCOM..... 152

Figura 3.45: Punto óptimo para la incorporación del STATCOM. 154

Figura 4.1: Modelo dinámico de la carga que representa la demanda en tiempo real..... 157

Figura 4.2: Curva de comportamiento de la potencia en DIgSILENT PowerFactory. 158

Figura 4.3: Curva de comportamiento de la potencia obtenida del analizador de redes. 159

Figura 4.4: Barra de evaluación de la potencia reactiva requerida..... 161

Figura 4.5: Curva Q-V para la barra “ESE200NMT000757”. 162

Figura 4.6: Modelo del controlador del convertidor DC/AC. 167

Figura 4.7: Modelos de los controladores del STATCOM. 168

Figura 4.8: Alimentador PM-06 sin el STATCOM incorporado en el punto de acoplamiento óptimo. 169

Figura 4.9: Alimentador PM-06 con el STATCOM incorporado en el punto de acoplamiento óptimo. 170

Figura 4.10: Evolución de la tensión el nodo "ESE200NMT000757” sin STATCOM. 171

Figura 4.11: Evolución de la tensión el nodo "ESE200NMT000757” con STATCOM. 173

Figura 4.12: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado en el nodo "ESE200NMT000757”. 174

Figura 5.1: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000113..... 178

Figura 5.2: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000104..... 181

Figura 5.3: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000115..... 183

Figura 5.4: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000148..... 185

Figura 5.5: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000109..... 187

Figura 5.6: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000110..... 189

Figura 5.7: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000347..... 191

Figura 5.8: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la sed: 2000349..... 193

Figura 5.9: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000122..... 196

Figura 5.10: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000398..... 198

Figura 5.11: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la sed: 2000400..... 200

Figura 5.12: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000404..... 202

Figura 5.13: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000173..... 204

Figura 5.14: Análisis comparativo del flujo de potencia reactiva para los dos escenarios. 206

Figura 5.15: Triangulo de potencias para el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado..... 216

CAPITULO I

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. Ámbito geográfico.

El contexto Geográfico en el cual se lleva a cabo la presente investigación como tema de tesis, se desarrolla en el alimentador PM-06 el cual está ubicado en la ciudad de Puerto Maldonado, distrito y provincia de Tambopata, región de Madre de Dios, perteneciendo al sistema de distribución de la Sub Estación de Transformación de Puerto Maldonado, con coordenadas georreferenciadas en formato DMS(Grados, minutos y segundos) 12°35'21.1"S 69°13'18.4"W a 215 m. sobre el nivel del mar y una longitud aproximada del alimentador PM-06 de 148 km. abarcando los sectores de, Iberia, Tahuamanu, Las piedras, Tambopata, Laberinto e Inambari; como se aprecia en la Figura 1.1 y 1.2.

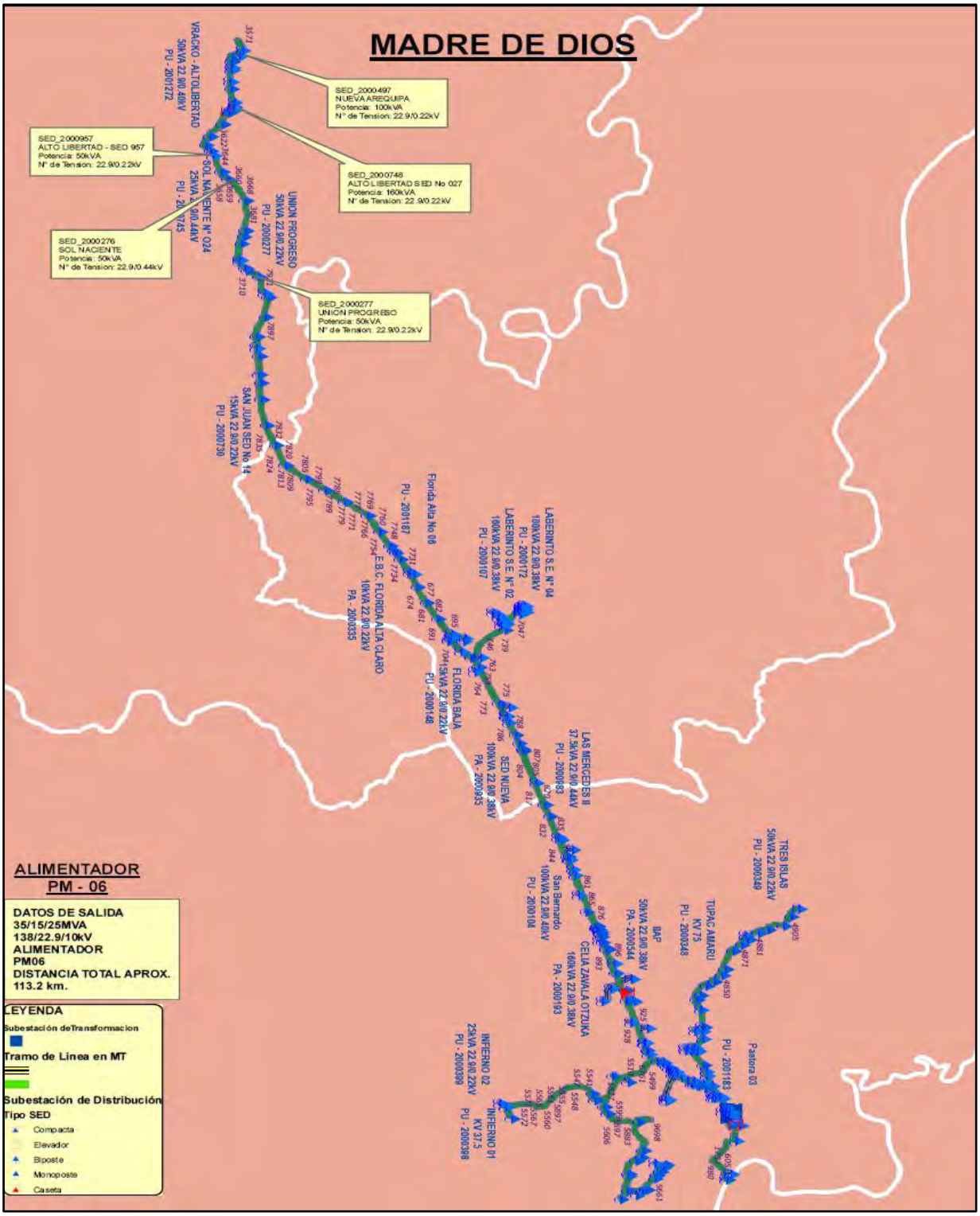
Figura 1.1 Mapa de ubicación geográfica del departamento de Madre De Dios.



MAPA DE UBICACIÓN GEOGRAFICA DEPARTAMENTO DE MADRE DE DIOS LINEA DE PUERTO MALDONADO A MAZUKO

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.2: Mapa del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado – Mazuko.



Fuente: Elaboración propia.

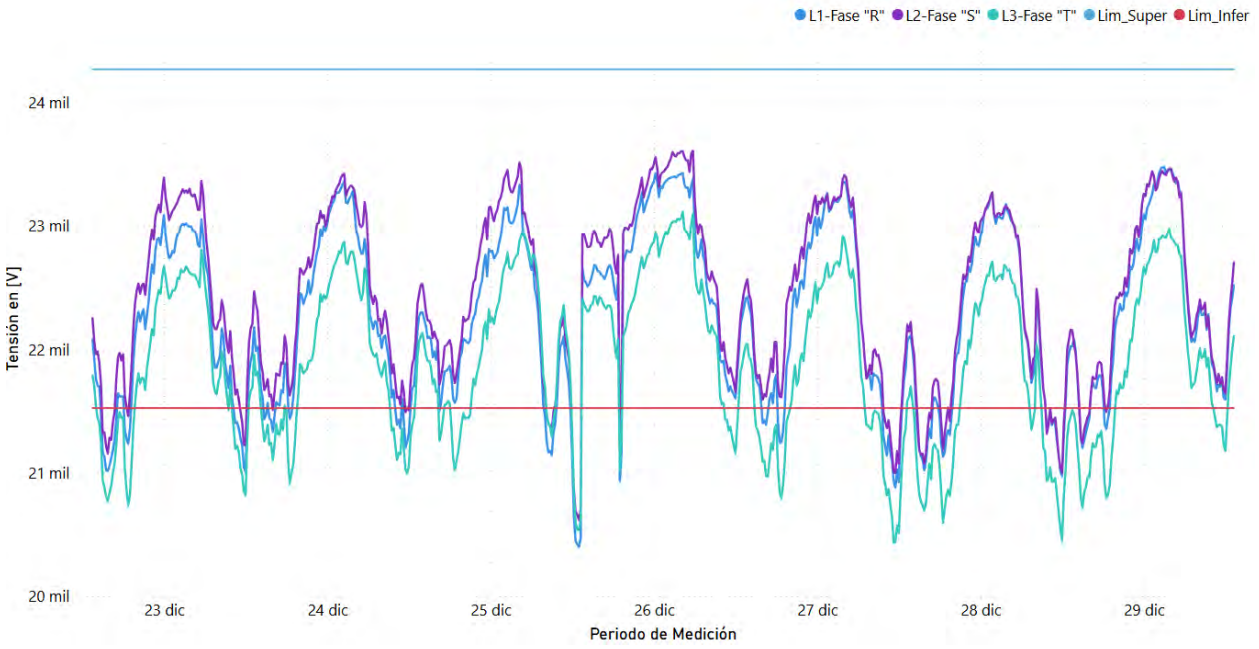
1.2. El problema.

1.2.1. Planteamiento del problema.

En los sistemas eléctricos de potencia es fundamental mantener la tensión del sistema dentro de un rango de tolerancias, por ejemplo en la unión europea se tiene la tolerancia de tensión según norma EN 50160 dentro del rango de ±10 %, por otro lado en Latinoamérica como por ejemplo en Colombia según la norma RETIE y GREG 024, se tiene una tolerancia de ±10 %, pues la mala calidad de la tensión puede causar diversos problemas en todos los sistemas eléctricos y en los dispositivos conectados a dichos sistemas. Según (Kundur, 1994), las fluctuaciones de tensión, caídas y sobretensiones pueden deteriorar los equipos eléctricos conectados a una red, por lo que el sistema eléctrico peruano no es ajeno a estos problemas de calidad de tensión y se evidencia en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, debido a fluctuaciones de tensión, caídas de tensión y sobretensiones, como se puede evidenciar en la **Figura 1.3**.

Según, (MINEM, 1997), en el Decreto Supremo N° 020-097-EM: Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) que establece las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las etapas y todos los niveles de tensión, es hasta el ± 5.0 % de las tensiones nominales de tales puntos de entrega. Además, la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales (NTCSER), aprobador por la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, establece un margen de ± 6.0 % para MT y ± 7.5 % para BT, de las tensiones nominales respectivamente, tratándose de una zona rural. Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la cantidad de intervalos de medición que resulten fuera del rango de tolerancias establecidas en el párrafo anterior es superior al 5.0 % del total de los intervalos de medición.

Figura 1.3: Perfil de tensiones en el lado de MT de la SED: 2000404.

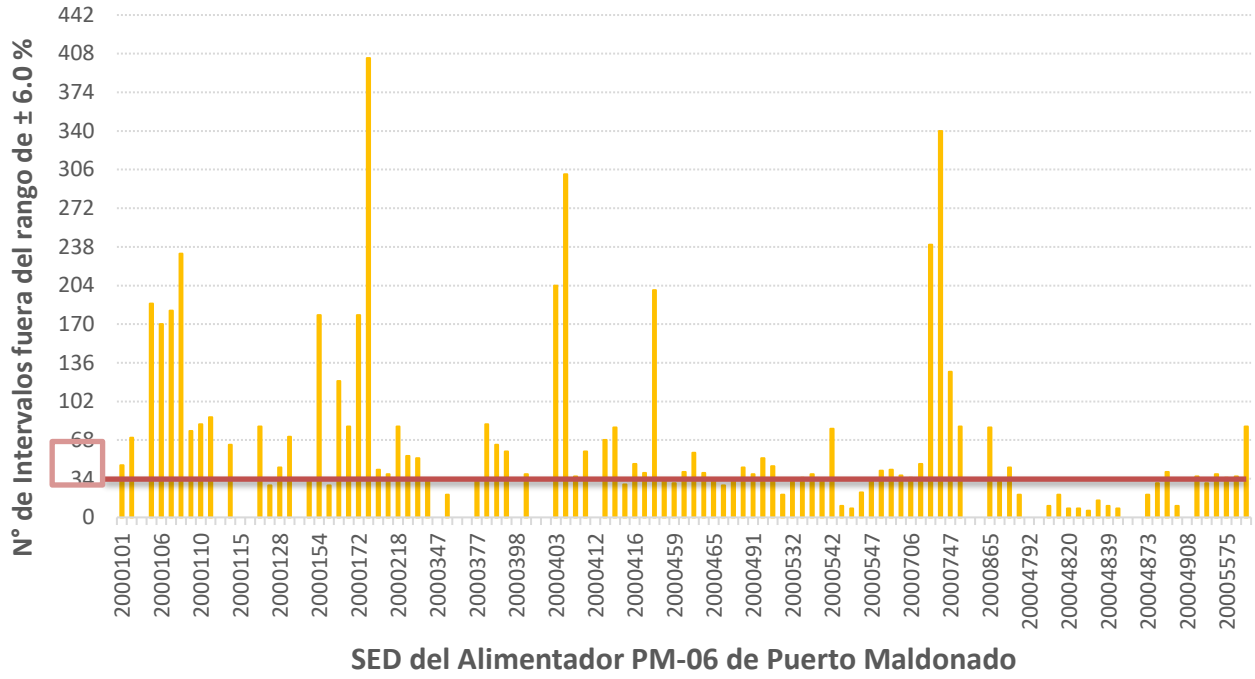


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de ELSE.

En la **Figura 1.3**, se tiene el análisis de un periodo de medición de 7 días continuas, con un total de 672 intervalos de medición de cada 15 minutos establecidos por la NTCSER. Donde existen desviaciones de intervalos de medición que incumplen la NTCSER reflejando que están fuera de la tolerancia de ± 6.0 %; donde se identificó las siguientes desviaciones de tensión, para la fase R se tiene 113, para la fase S se tiene 70 y para la fase T se tiene 235 desviaciones de tensión, que representan las mediciones fuera del rango de tolerancia en cada fase de la SED. Por lo cual tomando en consideración la NTCSER, la energía suministrada es de mala calidad al superar las 34 mediciones que representan al ± 5.0 % del periodo total de medición para la SED: 2000404.

Del mismo modo, se analizaron todas la SED del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, para verificar la calidad de tensión, establecido por la NTCSER.

Figura 1.4: Evaluación de la calidad de tensión en todas la SED del Alimentador PM-06.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos ELSE.

En la **Figura 1.4,** se presenta el diagnóstico de las 115 subestaciones de distribución trifásicas asociadas al alimentador PM-06. Del análisis se concluye que 63 subestaciones registran niveles de tensión fuera de los límites de tolerancia, superando los 34 intervalos establecidos por la NTCSER, lo que evidencia caídas severas de voltaje y confirma la mala calidad de la tensión suministrada en dichas SED del alimentador PM-06.

Esto debido a la alta concentración de cargas inductivas en el alimentador, así como también se conoce que el alimentador PM-06 suministra energía a varias pequeñas industrias del rubro minero y maderero. Además, se tiene otro factor como es la longitud de la línea ya que esta tiene una longitud total aproximada de 148 km, por otro lado, no se tienen reguladores de tensión en el alimentador PM-06.

Por otro lado, las pérdidas eléctricas constituyen un problema adicional en el alimentador PM-06. Debido a que el alimentador opera con niveles de tensión reducidos, las pérdidas por efecto Joule se incrementan en las líneas de distribución. Se ha identificado que las pérdidas técnicas actuales en las líneas de distribución alcanzan un valor total de 75.85 kW, mientras que las pérdidas en los transformadores de distribución ascienden a 35.88 kW, sumando un total de 111.73 kW en pérdidas técnicas para el alimentador PM-06. Este elevado valor constituye otro problema asociado a la mala calidad de la energía, lo que representa una operación ineficiente del sistema y mayores costos operativos para la empresa distribuidora.

Una onda de tensión estable optimiza el flujo de energía en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, disminuyendo las pérdidas por sobrecalentamiento o sobrecarga, además facilita la integración de la energía renovables, como la solar o la eólica ya que no generan inercia y pueden agravar los problemas de estabilidad de tensión, lo que la convierte en una componente crítica en la operación del sistema. Para lograr controlar la tensión se utilizan equipos FACTs, como los capacitores conectados en shunt y los SVC. Donde el presente trabajo de investigación propone el uso de compensadores estáticos síncronos (STATCOM), con el cual, se busca compensar en tiempo real, reactivos capacitivos o inductivos para poder controlar la tensión.

Los STATCOM contribuyen a mantener la tensión dentro de los límites establecidos en la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos. Además, el uso de estos equipos presenta beneficios técnicos y prácticos para abordar los desafíos asociados con la regulación de la tensión en el alimentador de media tensión PM-06 de Puerto Maldonado, previo un análisis técnico.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general.

¿Es posible mejorar la calidad de la tensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado - 2025, con la evaluación de la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM)?

1.3.2. Problemas específicos.

a) ¿De qué manera, la incorporación de un compensador estático síncrono (STATCOM) podrá reducir las pérdidas de potencia en el alimentador de PM-06, Puerto Maldonado - 2025?

b) ¿De qué manera, la incorporación de un compensador estático síncrono (STATCOM) podrá reducir los niveles de cargabilidad de los elementos de distribución del alimentador de PM-06, Puerto Maldonado - 2025?

c) ¿Será posible analizar la influencia de la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) en la mejora del perfil de tensiones del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado - 2025?

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general.

Mejorar la calidad de la tensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado – 2025, con la evaluación de la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM).

1.4.2. Objetivos específicos.

a) Reducir las pérdidas de potencia en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado mediante la incorporación del compensador estático síncrono (STATCOM).

b) Reducir los niveles de cargabilidad de los elementos de distribución del alimentador de PM-06 de Puerto Maldonado mediante la incorporación del compensador estático síncrono (STATCOM).

c) Analizar la influencia de la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) en la mejora del perfil de tensiones del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

1.5. Justificación.

1.5.1. Justificación técnica.

La presente tesis se justifica técnicamente debido a la necesidad de mejorar la calidad de tensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, el cual presenta fluctuaciones significativas que afectan la estabilidad y confiabilidad del sistema eléctrico. Según el análisis realizado, en la muestra inicial representada por la SED 2000404 se identificaron niveles de tensión por debajo de la tolerancia permitida por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales (NTCSER), que establece un rango admisible de ±6.0 %. Esta condición evidencia que el alimentador PM-06 no cumple con los requisitos normativos de calidad de tensión vigentes, lo cual genera impactos negativos en el funcionamiento de los equipos de los usuarios finales, incrementa pérdidas técnicas y compromete la continuidad del servicio.

Las soluciones convencionales que suelen aplicarse para corregir problemas de tensión como bancos de capacitores fijos o conmutados, reguladores de tensión o maniobras de reconfiguración del sistema presentan limitaciones importantes frente a variaciones dinámicas de carga. Estos métodos no ofrecen una respuesta suficientemente rápida, dependen en muchos casos de intervenciones manuales y proporcionan únicamente compensaciones escalonadas, lo que resulta insuficiente cuando se requiere un control continuo y de alta velocidad para estabilizar el perfil de tensión.

En contraste, las tecnologías modernas como los SVC y los STATCOM destacan por su capacidad de respuesta en escalas de microsegundos a milisegundos, su elevada precisión en la regulación del voltaje y su capacidad de operar como filtros armónicos. En particular, el Compensador Estático Síncrono (STATCOM) representa una alternativa superior gracias a que utiliza convertidores de fuente de voltaje (VSC) basados en transistores IGBT, permitiendo suministrar o absorber potencia reactiva en tiempo real. Según, (Alzate et al., 2017), STATCOM ofrece una respuesta dinámica y altamente eficiente frente a variaciones de tensión, superando ampliamente las capacidades de los dispositivos convencionales como capacitores o reactores.

En este contexto, la presente investigación se enfoca en realizar un análisis técnico orientado al modelamiento de un STATCOM para el alimentador PM-06. Su implementación permitirá corregir eficazmente las desviaciones de tensión, mejorar la estabilidad del sistema y garantizar que los niveles de tensión se mantengan dentro de los límites establecidos por la NTCSER. Este enfoque contribuye a una operación más estable, segura y confiable de la red de media tensión en la ciudad de Puerto Maldonado.

Asimismo, el desarrollo de este trabajo permitirá obtener beneficios técnicos que justifican plenamente su aplicación. Entre ellos destacan la mejora de la regulación de tensión, la reducción de pérdidas técnicas, el incremento de la confiabilidad operativa del sistema y la protección de los equipos de los usuarios frente a variaciones de tensión. Estos beneficios consolidan la pertinencia y relevancia técnica de esta investigación, posicionándola como una solución efectiva, moderna y sustentada en principios ingenieriles para optimizar las condiciones actuales del sistema eléctrico de Puerto Maldonado.

1.5.2. Justificación social.

El suministro eléctrico constituye un servicio esencial para el desarrollo social y económico de toda población. En el caso de los usuarios del alimentador de media tensión PM-06 de Puerto Maldonado, disponer de un suministro eléctrico estable y confiable es fundamental para garantizar la continuidad sus actividades económicas, sociales y proteger sus equipos eléctricos conectados a dicha red.

Según el presente reporte de la **tabla 1.1**, evidencia una problemática social creciente, vinculada a la calidad de tensión, reflejada en numerosos reclamos por parte de los usuarios, como bien se sabe los usuarios conectados al alimentador PM-06 reportan caídas de tensión en barrios completos o sectores de los distritos que abarca el alimentador, lo cual indica que son problemas de caída de tensión en Media Tensión. Sin embargo, se observa que muchos de estos reclamos no son atendidos de manera adecuada, primeramente, atendiendo como si estos fueran en Baja Tensión y sin haber identificado que la verificación técnica realizada durante las visitas se limita a mediciones puntuales o de momento, sin considerar lo estipulado a la norma NTCSER, que

establece el correcto procedimiento de medición para identificar si la tensión en el sector es de mala calidad. Esta situación genera malestar, desconfianza en la calidad del producto suministrado y afecta directamente al desarrollo social – económico de los usuarios del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Tabla 1.1:
Registro de reclamos electro sur este, registrados en sistema SIELSE del año 2024.

AMT	SED	Descripción de reclamo	Solución de reclamo
PM-06	0640	Cliente reclama por las constantes falta de servicio en el sector /zona (desde la fecha 21/02/2024, la luz de corta desde las 10 u 11 de la mañana por espacio de 1, 2 o 3 horas).	En atención al reclamo presentado por la administrada se procede a la verificación de la tensión, siendo la de 218 voltios, estando este resultado dentro del rango, según la NTCSE.
PM-06	0349	Caída de tensión en todo el sector	En atención al reclamo presentado por la administrada se procede a la verificación y se realiza mejoramiento de tap's de la sed 349 y se mide voltaje de siendo la de 223 voltios, estando este resultado dentro del rango, según la NTCSE.
PM-06	0125	usuario indica que existe sub tensión en el sector, sus equipos artefactos están siendo perjudicados.	En atención al reclamo presentado por la administrada se procede a la revisión técnica correspondiente y balanceo de carga de tensión, siendo la de 380 voltios, estando este resultado dentro del rango, según la NTCSE.
PM-06	0348	Usuario indica que existe un seccionador a la altura de piscina de chorrillos el cual se apertura cuando existe fuertes vientos y/o lluvia	En atención al reclamo presentado por el administrado se procede a la verificación de la tensión, y se realiza cambio de fusible de 8A. dejando con servicio normal.
PM-06	0348	Usuario indica que existe un seccionador a la altura de piscina de chorrillos el cual se apertura cuando existe fuertes vientos y/o lluvias	Sin atención o respuesta a reclamo.
PM-06	0679	Usuario indica variación de tensión en el sector / requiere mediciones e inspecciones correspondientes	En atención al reclamo presentado por la administrada se procede a la verificación de las tensiones y a realizar los mantenimientos respectivos de rees posteriormente se verifico tensiones siendo las correspondientes, estando este resultado dentro del rango, según la NTCSE.
PM-06	0295	Usuario indica que está teniendo constantes problemas de tensión los cuales están afectando sus electrodomésticos, el problema pasa en horas de la tarde un promediar de las 4 de la tarde, sus vecinos también tienen el mismo problema.	En atención al reclamo presentado por el administrado se procede a la verificación de la tensión, siendo la de 222 voltios, estando este resultado dentro del rango, según la NTCSE.
PM-06	0106	Usuaria de la municipalidad distrital de laberinto reporta interrupción del servicio eléctrico que afecta a toda la cuadra del local de la comuna de laberinto.	Sin atención o respuesta a reclamo.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ELSE.

Lo que se pretende con la incorporación del STATCOM, es brindar una solución técnica con evidente beneficio social, ya que permite mejorar los niveles de tensión, reducir las

fluctuaciones, estabilizar la tensión y prevenir frente a distorsiones armónicas que se puedan presentar de manera rápida, dinámica y eficiente.

La incorporación contribuirá en la disminución de los reclamos relacionados con mala calidad de tensión y permitirá que los usuarios del alimentador PM-06 experimenten una mejora escalonada en la calidad de producto suministrado y retomen la confianza en la empresa distribuidora como es ELSE. Por lo tanto, la presente tesis contribuye significativamente no solo a la problemática técnica, sino que además atiende una necesidad social evidente y permitirá un aporte directo al bienestar y desarrollo social.

1.5.3. Justificación académica.

La presente investigación tiene relevancia académica en el campo de la ingeniería eléctrica al abordar la problemática de la calidad de energía y la estabilidad de tensión en sistemas eléctricos de distribución, mediante el análisis y modelado de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) aplicado al alimentador de media tensión PM-06 de Puerto Maldonado. El estudio contribuye al desarrollo del conocimiento al evaluar el desempeño de tecnologías avanzadas de compensación reactiva, ampliando la comprensión sobre la aplicación de dispositivos FACTS en redes de media tensión y generando información técnica que puede servir como referencia para futuras investigaciones. Asimismo, fortalece la formación profesional del tesista al consolidar competencias en análisis de sistemas de potencia, modelado, simulación y aplicación de normas técnicas, aspectos fundamentales para el ejercicio profesional en el sector eléctrico. Desde el ámbito institucional, la investigación representa un aporte académico para la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), al constituirse como un antecedente de estudio

aplicado a una problemática real del sistema eléctrico peruano, útil para la comunidad universitaria. Además, el trabajo incorpora una actualización científica y tecnológica al emplear el STATCOM como alternativa moderna frente a métodos convencionales de regulación de tensión, alineándose con las tendencias actuales en sistemas eléctricos. Finalmente, la investigación se articula con las líneas de investigación en Sistemas Eléctricos de Potencia y Calidad de Energía, así como con asignaturas del plan curricular de Ingeniería Eléctrica, tales como Sistemas de Potencia, Electrónica de Potencia y Control Automático, integrando de manera coherente los conocimientos teóricos y prácticos.

1.6. Alcances y limitaciones.

1.6.1. Alcances.

- El presente estudio tiene como alcance el análisis del STATCOM como sistema de compensación de potencia reactiva mediante simulaciones en el software PowerFactory DIgSILENT, no se considera el modelamiento o diseño del STATCOM.
- Se utilizará datos de medición correspondientes al periodo 2024, del alimentador PM-06.
- Se tomará un modelo del alimentador PM-06 suministrado por la empresa ELSE del año 2018 con datos reales del año 2024, utilizando el software PowerFactory DIgSILENT y se analizará el perfil de tensiones, el efecto de la compensación reactiva con y sin la incorporación del STATCOM.
- Se evaluará que el STATCOM constituye una solución técnica viable para resolver problemas de regulación de tensión en redes de media tensión, optimizando la operación del sistema conforme a la norma NTCSER.

1.6.2. Limitaciones.

- No se considera el modelamiento o diseño del STATCOM, se evaluará un modelo genérico.
- Los resultados se obtienen exclusivamente a partir de simulaciones realizadas en el software PowerFactory DIgSILENT 2021 SP2, utilizando información correspondiente al año 2024.
- El estudio se restringe a la simulación de la configuración proporcionada por ELSE del año 2018 y solo se considera el alimentador PM-06, mas no de los otros alimentadores y no incluye el análisis de una implementación real del STATCOM.
- La compensación de potencia reactiva será mediante simulación RMS y RMT en software PowerFactory DIgSILENT 2021 SP2, tomando en cuenta la NTCSER.

1.7. Hipótesis.

1.7.1. Hipótesis general.

La incorporación de un compensador estático síncrono (STATCOM), podrá mejorar la calidad de tensión en el alimentador de PM-06, Puerto Maldonado -2025.

1.7.2. Hipótesis específicas.

a) Se redujo las pérdidas de potencia en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, mediante la incorporación de un compensador estático síncrono (STATCOM).

b) Se redujo los niveles de cargabilidad de los elementos de distribución del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, mediante la incorporación de un compensador estático síncrono (STATCOM).

c) Se analizó la influencia de la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) para la mejora del perfil de tensiones del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

1.8. Variables e Indicadores.

1.8.1. Variables Independientes.

Compensador estático síncrono (STATCOM)

1.8.2. Variables Dependientes.

Calidad de tensión.

1.8.3. Operacionalización de Variables.

Tabla 1.2:
Operacionalización de variables generales.

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	DEDICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL
Variable independiente				
Compensador estático síncrono	Control de potencia reactiva	Potencia Reactiva [VAR]	Dispositivo basado en electrónica de potencia que regula el intercambio de la potencia reactiva entre la red eléctrica y el dispositivo.	Gestionar la potencia reactiva según los requerimientos específicos del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.
Variable dependiente				
Calidad de tensión	Márgenes de tensión	Tensión [V]	Capacidad de un sistema para mantener el voltaje dentro de los límites establecidos en la NTCSE.	Indicador que garantiza el buen funcionamiento del servicio eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

1.9. Metodología de la Investigación.

1.9.1. Tipo de investigación.

Según (Hernández Sampieri et al., 2014), la investigación es de **tipo aplicada** porque utiliza conocimientos científicos y tecnológicos existentes para dar solución a un problema práctico en el alimentador PM-06, mediante la incorporación de un compensador estático síncrono (STATCOM) que regula la tensión en tiempo real.

1.9.2. Enfoque de la investigación.

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que se orienta a la medición de variables eléctricas, cálculos y análisis numéricos para dimensionar el sistema de compensación y evaluar su viabilidad técnica.

1.9.3. Nivel de la investigación.

Según (Hernández Sampieri et al., 2014), la presente tesis se sitúa en un **nivel descriptivo y explicativo**. Es descriptivo porque detalla la realidad, el contexto y las características actuales del problema. Es explicativo puesto que determina las razones y efectos de esa realidad, cuya validación se realiza mediante simulaciones computacionales y su posterior contrastación con las normativas vigentes.

1.9.4. Diseño de la investigación.

Según (Hernández Sampieri et al., 2014), el diseño es **Cuasi-experimental y longitudinal**. Se define como no experimental porque no implica la manipulación de variables, sino que se limita

a observar y simular el fenómeno en su estado natural. Además, es longitudinal ya que la observación y el análisis del fenómeno se efectúan a lo largo de un periodo de tiempo determinado.

1.9.5. Población y muestra.

La población del estudio está conformada por los sistemas de distribución de media tensión de Puerto Maldonado, que abarca un total de 236 SED conectadas a lo largo del alimentador, en vista que se tiene sistemas monofásicos, solo se trabaja con sistemas trifásicos estableciendo un total de 115 SED que cumplen con ese tipo de sistema. La muestra se define de manera no probabilística e intencional, y corresponde al alimentador de media tensión PM-06 de Puerto Maldonado, perteneciente a la empresa Electro Sur Este S.A.C., el cual ha sido seleccionado debido a los reportes recurrentes de desviaciones de tensión durante el periodo de medición del año 2024.

Se considera la fórmula para validación de datos, tomando en cuenta el total de SED del alimentador PM-06, representando nuestro universo de 236 SED a evaluar.

Reiterar que: Para el análisis de las SED se consideran solo los sistemas trifásicos mas no los monofásicos, para así tener un sistema equilibrado.

Se tomará en cuenta la presente formula, para así poder validar nuestros datos y poder reforzar nuestra hipótesis:

$$n = \frac{z^2 * p * q * N}{e^2 * (N-1) + z^2 * p * q} \qquad (. 1.)$$

N = Población muestra.

Z = Valor de probabilidad acumulada.

p = Probabilidad a favor de ocurrencia.

q = Probabilidad en contra.

e = Margen de error o tolerancia.

La presente ecuación, permite validad nuestros datos mediante la ecuación de Cochran que se adapta para poblaciones finitas donde buscamos validación de datos frente a una maxima variabilidad, para lo cual, al hacer el análisis para los 236 datos o SED, se obtiene un total de 95 datos a trabajar bajo un nivel de confianza del 80%, con un factor de ocurrencia de 0.5 y asumiendo un margen de error del 5%.

Para la evaluación técnica, se emplean datos históricos de operación y se modelan los componentes eléctricos del alimentador PM-06 en un entorno de simulación, analizando los parámetros eléctricos mencionados bajo escenarios representativos del año 2024. Si bien el análisis se centra en un único alimentador, la metodología y los resultados pueden ser aplicables a otros alimentadores de media tensión con características operativas similares.

1.9.6. Periodo de análisis de datos.

Los datos analizados corresponden a un periodo de medición continuo de 7 días, con registros cada 15 minutos en las SED pertenecientes al alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. La data fue obtenida mediante un analizador de redes, el cual registró las mediciones durante los 7 días conforme a lo establecido en la NTCSER, y fue solicitada a la empresa distribuidora Electro Sur Este mediante una solicitud simple de data.

1.9.7. Técnicas de recolección de datos.

Se realizó la revisión y selección de literatura especializada (artículos científicos, tesis, libros y manuales técnicos) mediante repositorios y revistas internacionales. Posteriormente, se procesaron las mediciones del analizador de redes mediante una etapa de depuración para identificar discontinuidades y eventos anómalos de corta duración (como sags y swells de tensión); la detección de estos datos atípicos permite evitar desviaciones o errores de convergencia durante el proceso de simulación.

También, se tendrá en cuenta la consulta a la empresa de distribución encargada de la administración y operación del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. La información debe incluir, el modelado del alimentador PM-06, librerías que contengan los parámetros de tipo de los conductores, transformadores, etc. Y también los parámetros de operación como el ajuste de taps de los trasformadores, los que serán complementados con información adicional contenida en estudios previos, como tesis, normas, papers, fichas técnicas del fabricante y artículos relacionados a nuestro tema propuesto.

1.9.8. Instrumentos y recolección de datos.

1.9.8.1. Instrumento de validación de datos.

Se utilizará el análisis documentario, mediante el cual se obtendrán los perfiles de tensión de la base de datos de Electro Sur Este, tales como las mediciones del analizador de redes ION en la barra del alimentador y en las subestaciones, así como los sistemas georreferenciados en ArcGIS.

1.9.8.2. Recolección de datos.

La recolección de datos se realizará mediante una ficha de procesamiento en Excel, en la cual se consolidarán los parámetros eléctricos y los datos de las mediciones obtenidas por el analizador de redes ION.

1.10. Matriz de Consistencia.

Tabla 1.3 Matriz de consistencia.

<table>
<tr><th colspan="4">TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE UN COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO (STATCOM) PARA MEJORAR LA CALIDAD DE TENSIÓN EN EL ALIMENTADOR PM-06, PUERTO MALDONADO - 2025</th></tr>
<tr><th>PROBLEMA GENERAL</th><th>OBJETIVOS GENERAL</th><th>HIPÓTESIS GENERAL</th><th>ALCANCES</th></tr>
<tr><td>¿Es posible mejorar la calidad de la tensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado - 2025, con la evaluación de la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM)?</td><td>Mejorar la calidad de la tensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado – 2025, con la evaluación de la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM).</td><td>La incorporación de un compensador estático síncrono (STATCOM), podrá mejorar la calidad de tensión en el alimentador de PM-06, Puerto Maldonado -2025.</td><td>✓ El presente estudio tiene como alcance el análisis del STATCOM como sistema de compensación de potencia reactiva mediante simulaciones en el software PowerFactory DIgSILENT, no se considera el modelamiento o diseño del STATCOM.
✓ Se utilizará datos de medición correspondientes al periodo 2024, del alimentador PM-06.
✓ Se tomará un modelo del alimentador PM-06 suministrado por la empresa ELSE del año 2018 con datos reales del año 2024, utilizando el software PowerFactory DIgSILENT y se analizará el perfil de tensiones, el efecto de la compensación reactiva con y sin la incorporación del STATCOM.
✓ Se evaluará que el STATCOM constituye una solución técnica viable para resolver problemas de regulación de tensión en redes de media tensión, optimizando la operación del sistema conforme a la norma NTCSER.</td></tr>
<tr><th>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</th><th>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</th><th>HIPÓTESIS ESPECIFICAS</th><th>LIMITACIONES</th></tr>
<tr><td>✓ ¿Sera posible diagnosticar la condición actual del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado para evaluar el margen de tensiones de ± 6.0 %, establecido en la NTCSER?
✓ ¿Será posible simular el comportamiento de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) de acuerdo a sus características técnicas (capacidad, ubicación y estrategias de control) para mejorar la calidad de la tensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado?
✓ ¿Será posible analizar la influencia de la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) en la mejora del perfil de tensiones del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado?</td><td>✓ Diagnosticar la condición actual del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado para evaluar el margen de tensiones de ± 6.0 %, establecido en la NTCSER.
✓ Simular el comportamiento de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) de acuerdo a sus características técnicas (capacidad, ubicación y estrategias de control) para mejorar la calidad de la tensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.
✓ Analizar la influencia de la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) en la mejora del perfil de tensiones del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.</td><td>✓ Se diagnosticó la condición actual del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado para evaluar el margen de tensiones de ± 6.0 %, establecido en la NTCSER.
✓ La simulación del comportamiento del Compensador Estático Síncrono (STATCOM) de acuerdo a sus características técnicas (capacidad, ubicación y estrategias de control) mejora la calidad de la tensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.
✓ Se analiza la influencia de la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) en la mejora del perfil de tensiones del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.</td><td>✓ No se considera el modelamiento o diseño del STATCOM, se evaluará un modelo genérico.
✓ Los resultados se obtienen exclusivamente a partir de simulaciones realizadas en el software PowerFactory DIgSILENT 2021 SP2, utilizando información correspondiente al año 2024.
✓ El estudio se restringe a la simulación de la configuración proporcionada por ELSE del año 2018 y solo se considera el alimentador PM-06, mas no de los otros alimentadores y no incluye el análisis de una implementación real del STATCOM.
✓ La compensación de potencia reactiva será mediante simulación RMS y RMT en software PowerFactory DIgSILENT 2021 SP2, tomando en cuenta la NTCSER.</td></tr>
<tr><th>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</th><th>JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO</th><th>METODOLOGÍA</th><th>ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN</th></tr>
<tr><td>La calidad de tensión es fundamental para garantizar una adecuada operación de los sistemas eléctricos. En el Perú, la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales (NTCSER) establece una tolerancia de ±6 % para media tensión. Las fluctuaciones, caídas y sobretensiones pueden afectar el funcionamiento y la vida útil de los equipos eléctricos.
Esta problemática se evidencia en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. En la SED 2000404, durante un periodo de medición de siete días, se registraron 113, 70 y 235 desviaciones de tensión en las fases R, S y T, respectivamente, superando los límites establecidos por la NTCSER. Asimismo, de las 115 SED trifásicas analizadas, 63 presentaron niveles de tensión fuera de los límites de tolerancia establecidos.
Estas deficiencias se relacionan principalmente con la presencia de cargas inductivas asociadas a las actividades mineras y madereras, la longitud aproximada de 148 km del alimentador y la ausencia de reguladores de</td><td>Justificación Técnica:
Esta tesis analiza el modelado de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) para el alimentador de media tensión PM-06 de Puerto Maldonado. El STATCOM responde de manera dinámica y rápida a variaciones de tensión en tiempo real, suministrando o absorbiendo potencia reactiva según las necesidades del sistema. Esto mejora la estabilidad y confiabilidad de la red, asegurando que los niveles de tensión cumplan con la norma NTCSE, aprobada mediante D.S. N° 020-97-E.M., y garantizando una operación estable en redes de media tensión.
Justificación Social:
Los usuarios del alimentador de media tensión PM-06 de Puerto Maldonado, requieren un suministro eléctrico estable y confiable para garantizar la continuidad sus actividades cotidianas y proteger sus equipos eléctricos conectados a dicha red. Ello mejora la calidad de vida de los clientes.</td><td>Tipo de Investigación
Según (Hernández Sampieri et al., 2014), la investigación es de tipo aplicada porque utiliza conocimientos científicos y tecnológicos existentes para dar solución a un problema práctico en el alimentador PM-06, mediante la incorporación de un compensador estático síncrono (STATCOM) que regula la tensión en tiempo real.
Enfoque de la investigación
La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que se orienta a la medición de variables eléctricas, cálculos y análisis numéricos para dimensionar el sistema de compensación y evaluar su viabilidad técnica.
Nivel de Investigación
Según (Hernández Sampieri et al., 2014), la presente tesis se sitúa en un nivel descriptivo y explicativo. Es descriptivo porque detalla la realidad, el contexto y las características actuales del problema. Es explicativo puesto que determina las razones y efectos de esa</td><td></td></tr>
</table>

tensión. Asimismo, se registraron pérdidas técnicas de 111.73 kW, lo que evidencia condiciones de operación ineficientes en el sistema.
Ante esta problemática, se propone evaluar la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM), debido a su capacidad para compensar dinámicamente la potencia reactiva y regular la tensión. Con ello, se busca mejorar la calidad de tensión y contribuir a una operación más eficiente del alimentador PM-06.

Justificación Académica:
El modelado de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM) para el alimentador de media tensión PM-06 de Puerto Maldonado aprovecha los avances tecnológicos para mejorar los niveles de tensión. Este tipo de investigación es esencial para abordar desafíos en redes eléctricas modernas, promoviendo la estabilidad y regulación de tensión, además de contribuir a la formación de estudiantes y profesionales en ingeniería eléctrica.

realidad, cuya validación se realiza mediante simulaciones computacionales y su posterior contrastación con las normativas vigentes.

Diseño de Investigación

Según (Hernández Sampieri et al., 2014), el **diseño es Cuasi-experimental y longitudinal**. Se define como no experimental porque no implica la manipulación de variables, sino que se limita a observar y simular el fenómeno en su estado natural. Además, es longitudinal ya que la observación y el análisis del fenómeno se efectúan a lo largo de un periodo de tiempo determinado.

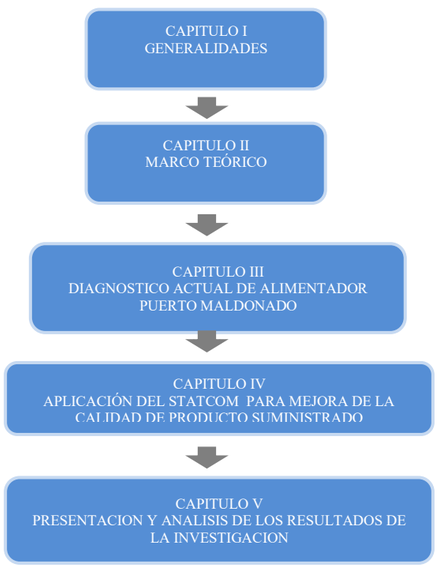
VARIABLES E INDICADORES

Variable Independiente
- ✓ Compensador estático síncrono (STATCOM)

Indicadores
- ✓ Potencia reactiva [VAR].

Variable Dependiente
- ✓ Calidad de tensión

Indicadores
- ✓ Tensión [V].



CAPITULO II

2. MARCO TEORICO.

2.1. Introducción.

En primer lugar, se presentan antecedentes de investigación a nivel nacional, latinoamericano e internacional sobre la aplicación de compensadores estáticos síncronos (STATCOM) y otras tecnologías FACT´s para la mitigación de problemas de regulación de la tensión y estabilidad en redes de distribución, con especial énfasis en aquellos casos vinculados a los alimentadores con alta concentración de cargas industriales perturbadoras, como las de la industria maderera. En segundo lugar, se detalla el marco normativo peruano, con especial énfasis a la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, que establece los limites permisibles de variación de tensión y define los criterios para calificar la calidad del producto. Finalmente, se desarrolla el marco teórico, el cual se inicia con los fundamentos de la calidad de la energía eléctrica y sus principales perturbaciones. Luego se aborda los sistemas de compensación reactiva, describiendo tanto los sistemas convencionales como aquellos basados en convertidores de fuente de tensión (VSC). Como culminación de este marco, se profundiza el compensador estático síncrono (STATCOM).

2.2. Antecedentes de la Investigación.

2.2.1. Antecedentes nacionales.

PERÚ

(Camasca Palomino, 2019), desarrolla un trabajo de investigación titulada **"Sistema de compensación dinámica y reactores de núcleo saturable en el sistema eléctrico de ENOSA",**

desarrollada en la ciudad de Piura en donde plantea lo siguiente; la implementación de sistemas FACTs como dispositivos SVC y SCSR juega un papel importante en la mejora de la calidad de la energía y la estabilidad de los sistemas eléctricos. Estos dispositivos no solo proporcionan la compensación reactiva necesaria para mantener el perfil de tensión dentro de los límites establecidos por la Norma Técnica de Calidad de Servicios Eléctricos (NTCSE), sino que también optimizan la respuesta del sistema ante perturbaciones reduciendo significativamente el tiempo de respuesta. En el caso de los sistemas evaluados, los equipos cumplen de manera notable con su objetivo, fortaleciendo la confiablidad operativa y garantizar que el sistema de energía funcione de manera efectiva de acuerdo con los requisitos actuales de calidad y estabilidad de la red eléctrica.

(Córdova Ruiz, 2023), presenta un trabajo de investigación titulada "**Modelamiento y simulación de un compensador estático de potencia reactiva de distribución trifásico, basado en un inversor SPWM**", desarrollada en la ciudad de Callao el cual nos muestra el modelo matemático y la simulación del comportamiento del D-STATCOM en un sistema trifásico, con la finalidad de mejorar la calidad de energía, el estudio además nos muestra la efectividad para estabilizar el voltaje y mitigar los efectos negativos frente a desbalances del factor de potencia.

2.2.2. Antecedentes internacionales.

ESPAÑA

(Morán Río, 2014)**,** desarrollo un trabajo de investigación titulada "**Incorporación de diferentes modos de control de un STATCOM en el análisis de flujo de carga de un sistema electico"** desarrollada en la ciudad de Valladolid donde menciona que; el STATCOM puede

considerarse como una carga cuyo valor varía en función de las necesidades del sistema. Su inclusión en la red eléctrica modifica los flujos de potencia existentes, lo que exige un control preciso para garantizar su funcionamiento optimo. Por esta razón, se han definido ocho modos de control, cada uno de ellos diseñado para que un parámetro específico de la red o del STATCOM alcance un valor predeterminado, basándose en la literatura existente y en los resultados esperados tras la implementación de este dispositivo, se han establecidos los siguientes modos de control: control de la tensión del nudo del STATCOM, control de la potencia reactiva inyectada, control de la corriente del STATCOM (control capacitivo), control de la corriente del STATCOM (control inductivo), control de la tensión equivalente del STATCOM, control de la tensión en un nudo remoto, control de la potencia reactiva por una línea, control de la potencia activa por una línea.

MEXICO

(Morfín Garduño et al., 2021)**, desarrolla un trabajo de investigación titulada "Compensación de potencia reactiva mediante el control robusto de un STATCOM en un sistema de potencia"**, desarrollada en la ciudad de México donde menciona que; en este estudio se diseñó e implemento experimentalmente un sistema de control STATCOM con el propósito de: regular la potencia reactiva que se entrega a un sistema eléctrico de potencia y el voltaje en forma robusta ante la presencia de perturbaciones externas. Las perturbaciones externas son cambiadas por cambios en el flujo de potencia activa que alimenta el motor de inducción de control de velocidad y cambios repentinos en el par de cargas. Adicionalmente, se plantea un procedimiento para la caracterización de los parámetros del filtro LCL que se utiliza para reducir el contenido de armónicos en las corrientes. En dicho proceso se ajustan los valores del capacitor y de la resistencia de amortiguamiento del filtro mediante un análisis paramétrico en frecuencia, logrando así una

respuesta suave y sin sobre impulso en la atenuación de las corrientes a altas frecuencias. Finalmente, los resultados experimentales demuestran la efectividad y confiabilidad del sistema de control de la potencia reactiva STATCOM en presencia de perturbaciones externas.

ECUADOR

(Stalyn Jimmy, 2020), **nos presenta un trabajo de investigación titulada "Mejoramiento de los perfiles de tensión en un sistema de distribución de una micro – red usando compensadores en serie D-STATCOM"**, desarrollada en la ciudad de Ecuador donde menciona lo siguiente; la herramienta clave para mejorar los perfiles de voltaje en sistemas de distribución de energía es el D – STATCOM, demostrando efectividad por medio de las simulaciones realizadas en plataformas como MATLAB y Simulink, mediante la inyección de energía reactiva, este dispositivo puede estabilizar el nivel de voltaje incluso cuando la carga fluctúa con el tiempo y produce una onda de voltaje y corriente sinusoidal perfecta, por lo que elimina posibles armónicos mejorando la calidad del suministro de energía. Esto es posible usando el método de acoplamiento del transformador, que proporciona ventajas significativas en la reducción de energía reactiva distribuyendo de manera eficiente, así optimiza los resultados de compensación para diversas situaciones, esto dio lugar a mejorar duraderas en los niveles de estrés en todas las pruebas realizadas. Además, los valores de capacitancia de D – STATCOM se analizan para garantizar un funcionamiento estable y garantizando la idoneidad del dispositivo en diversas condiciones de carga.

2.3. Aspecto normativo.

2.3.1. Ley 25844 “Ley de Concesiones Eléctricas”.

La ley 25844, define las bases de la industria eléctrica actual; entró en vigencia desde el año 1992, abolió el monopolio estatal en el sector eléctrico y dividió en tres actividades básicas: generación, transmisión y distribución, prohibiendo a cualquier empresa controlar directa o indirectamente estas actividades por completo. Promover la competencia en las actividades de generación eléctrica y segmentar mercados libres y regulados.

2.3.2. D.S. N° 020-97-EM “Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos”

Según (MINEM, 1997), mediante el D.S. N° 020-67-EM, la calidad de producto suministrado al cliente se evalúa mensualmente considerando niveles de tensión, frecuencia y perturbaciones, en periodos denominados “periodos de control”. Las mediciones se realizan durante al menos 7 días consecutivos, excepto la frecuencia, que se mide continuamente durante el periodo de control, los valores se promedian en intervalos de 15 min para tensión y frecuencia, 10 min para perturbaciones y 1 min para variaciones instantáneas de frecuencia. Si algún parámetro excede los limites tolerables, la energía entregada en ese intervalo se considera de mala calidad, registrándose los datos para calcular compensaciones basadas en la energía suministrada en condiciones deficientes. Las compensaciones se ajustan si las deficiencias persisten en etapas posteriores.

2.3.2.1. TENSIÓN

Es el indicador para evaluar la tensión de entrega, en un intervalo de medición (k) de 15 min de duración. Este indicador esta expresado como un porcentaje de la tensión nominal de dicho punto de entrega.

$$\Delta V_k(\%) = \frac{(V_k - V_N)}{V_N} * 100\% \quad [\%] \qquad (.2.)$$

Donde,

$\Delta V_k(\%)$: es la diferencia 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) del mismo punto.

De acuerdo al D.S. N° 020-97-EM (MINEM, 1997), establece las tolerancias permitidas para las variaciones de tensión en los puntos de suministro de energía, en todas las etapas y niveles de voltaje, no deben superar el ± 5.0 % de los valores nominales establecidos. Sin embargo, en redes secundarias clasificadas como urbano – rurales y/o rurales, esta tolerancia se amplía hasta ± 7.5 %. la energía eléctrica se considera de calidad deficiente si el voltaje permanece fuera de estos rangos durante más del 5 % del periodo de medición.

2.3.2.2. Compensaciones por mala calidad de tensión.

Los suministradores de energía están obligados a indemnizar a sus clientes cuando se demuestre que la calidad del servicio no cumple con los parámetros establecidos. Las compensaciones se determinan en base a la cantidad de energía suministrada fuera de los estándares de calidad, durante el periodo de medición. A través de la siguiente **Ecuación 2** y la **tabla 2.1**

$$Compensaciones\ por\ mala\ calidad\ de\ tensión = \sum_{P} a * A_P * E(P) \qquad (.3.)$$

Donde:

$P.$: Es un intervalo de medición en el que se violan las tolerancias en los niveles de tensión.

$a.$: Es la compensación unitaria por violación de tensiones:

Primera Etapa a = 0.00

Segunda Etapa a = 0.01 US$/kWh

Tercera Etapa a = 0.05 US$/kWh

$A_P.$: Es un factor de proporcionalidad que está definido en función de la magnitud del indicador $\Delta V_P(\%)$, medido en el intervalo P y se calcula con dos decimales aproximadamente. De acuerdo a la **tabla 2.1**.

Tabla 2.1:
Valores del factor de proporcionalidad.

Indicador $\Delta \boldsymbol{V_P}(\%)$	**Todo Servicio ($\boldsymbol{A_P}$)**	**Red Sec. Urbano – Rural / Rurales ($\boldsymbol{A_P}$)**
$5.0 < \lvert\Delta V_P\ (\%)\rvert \leq 7.5$	1	NA
$7.5 < \lvert\Delta V_P\ (\%)\rvert$	$2 + (\lvert\Delta V_P\ (\%)\rvert - 7.5)$	NA
$7.5 < \lvert\Delta V_P\ (\%)\rvert \leq 10$	NA	1
$10 < \lvert\Delta V_P\ (\%)\rvert \leq$	NA	$2 + (\lvert\Delta V_P\ (\%)\rvert - 10)$

Fuente: Recuperado del D.S. N° 040-2001-EM, que modifico el numeral 5.1.3. del D.S. N° 020-97-EM.

Donde:

NA: No Aplica.

2.3.3. R.D. N° 016-2008-EM-DGE – NTCSER "Norma técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales".

De acuerdo a la R.D. N° 016-2008-EM-DGE (MINEM, 2008), las tolerancias admitidas sobre las tensiones de los puntos de entrega de energía, para Media Tensión (MT), es de hasta el ± 6.0 % de las tensiones nominales de tales puntos y tratándose de Baja Tensión (BT) la tolerancia es de ± 7.5 % de su tensión nominal en su punto de entrega. Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la cantidad de intervalos de medición que resulten fuera del rango de tolerancias establecidas es superior al 5.0 % del total de los intervalos de medición dentro de un periodo de medición.

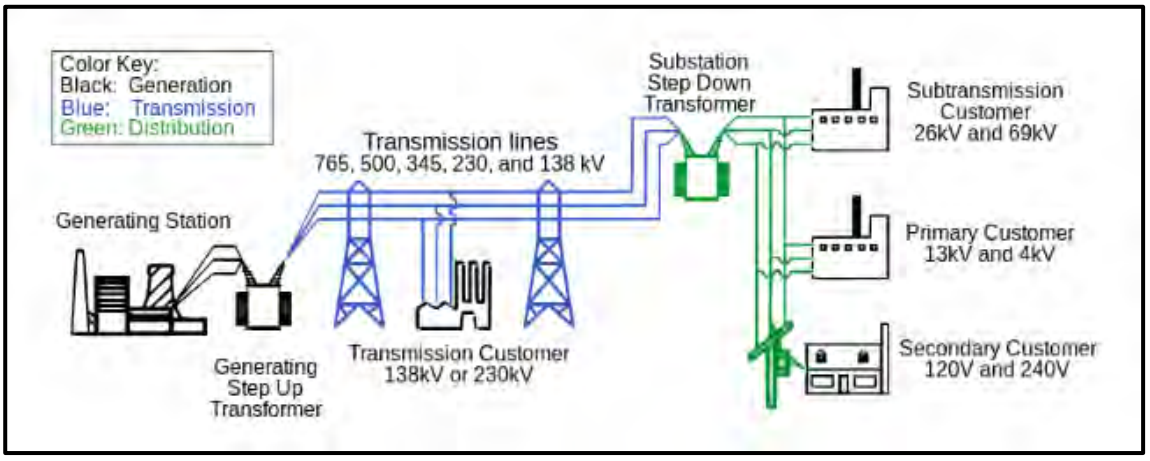
2.4. Bases Teóricas.

2.4.1. Sistema de distribución eléctrica:

Según el CNE – Suministro (MINEM/DGE, 2011), un sistema de distribución eléctrica es aquel que comprende el conjunto de las instalaciones eléctricas referentes a la entrega de energía eléctrica suministrada por los sistemas de generación para luego llegar a la transmisión y finalmente a la distribución, donde se tienen los clientes o usuarios finales, comprende los sistemas

de distribución primaria, secundaria, instalaciones de alumbrado público y los diferentes puntos de entrega, como se puede observar en la **figura 2.1**.

Figura 2.1: Diagrama simplificado de un sistema de distribución eléctrica.



Fuente: (Sector Electricidad, 2014).

2.4.1.1. Sub sistema de distribución primaria:

De acuerdo al CNE – Suministro (MINEM/DGE, 2011), conjunto de redes de distribución eléctricas primarias, que se encargan de transportar energía eléctrica desde las sub estaciones de potencia hasta las sub estaciones de distribución o a los transformadores de distribución.

2.4.1.2. Alimentador de media tensión:

De acuerdo a la R.D. N° 018-2002-EM-DGE (MINEM/DGE, 2002), conjuntos de líneas de distribución de media tensión, correspondientes a los Sub sistemas de distribución primaria, para tensiones de 1kV a 36 kV, el cual se refiere a los conductores que transportan energía eléctrica desde las sub estaciones de potencia hasta las sub estaciones de distribución o trasformadores de distribución, que pueden ser aéreos (sobre postes) o subterráneos (ductos o zanjas).

2.4.1.3. **Componentes de un alimentador:**

Los alimentadores de media tensión tienen los siguientes componentes, los cuales varían según su disposición, ya sea aérea o subterránea, y son los siguientes:

Conductores.

Según el CNE – Suministro (MINEM/DGE, 2011), componente principal de los alimentadores, siendo el material que permite el transporte de energía eléctrica de un punto a otro dependiendo del nivel de tensión, están conformador en su mayoría por cobre y también de aluminio lo cuales pueden ser desnudos o recubiertos. Estos conductores están conformador por alambres dispuestos en capas alternadas, enrollados en direcciones opuestas. Esta disposición garantiza eficiencia de transmisión de energía eléctrica, al considerar sus aspectos de diseño y rendimiento.

Postes o Estructuras.

Según la R.M. N° 091-2002-EM/VME (MINEM/VME, 2002), componente o soporte vertical simple, el cual los conductores son distribuidos, siendo excepcionalmente para el caso de conductores aéreos, estas estructuras son puntos de fijación de conductores, los cuales tienen ciertas características de soporte en cuanto a durabilidad y esfuerzo. Pueden presentar secciones circulares o rectangulares y son fabricados a partir de diversos materiales siendo en su mayoría el concreto, metal, madera y fibra de vidrio.

Aisladores.

Según la R.M. N° 091-2002-EM/VME (MINEM/VME, 2002), es un dispositivo encargado de aislar el sistema eléctrico y de la fijación mecánica de equipos y conductores que están sujetos a diferencias de potencial, cumplen con ciertos criterios de fabricación los cuales garantizan una óptima operatividad en el sistema.

Seccionadores.

Según el CNE – Suministro (MINEM/DGE, 2011), es un elemento de corte, es equipado para los bloqueos o cierre de sistemas eléctricos para prevenir maniobras en falso, pueden ser tripolares y de mando mecánico, deben ser dispuestos de tal manera que evite cualquier contacto con partes que tengan tensión, su instalación está comprendida en las redes primarias.

Según la R.M. N° 091-2002-EM/VME (MINEM/VME, 2002), un seccionador es un aparato de conexión mecánica que permite la apertura y cierre de un circuito, permite maniobras de conexiones y aislamiento de circuitos.

Recloser o Reconectador.

Según (NOJA Power, 2023), el recloser es un dispositivo de protección especial de apertura y cierre de sistemas eléctricos, está diseñado para poder operar en líneas con mayor eficacia, este dispositivo tiene la facilidad de restaurar rápidamente las interrupciones que se produzcan en el sistema eléctrico.

Pararrayos.

Según el CNE – Suministro (MINEM/DGE, 2011), el pararrayo es un dispositivo de protección de sistemas eléctricos que actúa frente a sobretensiones de origen fortuito, este dispositivo tiene la función de limitar la corriente de corco circuito en amplitud y duración, previniendo problemas y deterioros del sistema eléctrico.

Sub Estación de Distribución.

Según la R.M. N° 091-2002-EM/VM (MINEM/VME, 2002), es un sistema conformado por diversos equipos cuya función principal es adaptar y redirigir la energía eléctrica desde una red de mayor tensión hacia otra de menor tensión o hacia los consumidores finales. Este conjunto puede incluir dispositivos para controlar el flujo de electricidad, proteger la infraestructura ante fallas y permitir operaciones de mantenimiento. Además, puede contar con estructuras físicas destinadas a albergar estos componentes.

Sistema de Protección.

Según la R.M. N° 091-2002-EM/VME (MINEM/VME, 2002), es el conjunto de equipos de protección, y otros dispositivos diseñados para poder garantizar la protección requerida por el sistema y permitir su funcionamiento eficiente. Estos equipos de protección evitan los riesgos eléctricos permitiendo maniobras en vacío bajo carga.

2.4.2. Calidad de energía eléctrica.

2.4.2.1. Calidad de producto.

La calidad de la energía se refiere a la ausencia de interrupciones, sobretensiones, deformaciones producidas por armónicos y variaciones de voltaje en la red eléctrica, garantizando la estabilidad de voltaje, frecuencia y la continuidad del servicio eléctrico. Actualmente, la calidad de energía es el resultado de una atención continua y está vinculada a perturbaciones electromagnéticas o eléctricas que alteran el suministro (tensión/frecuencia), pudiendo dañar equipos o procesos industriales. Los dispositivos modernos son cada vez más sensibles a estos disturbios, mientras que el uso de tecnologías como variadores de velocidad o correctores de factor de potencia aumentan para mejorar la eficiencia, lo que a su vez exige mayor atención a la calidad energética.

2.4.2.2. Calidad de tensión.

La calidad de la tensión constituye uno de los indicadores fundamentales del desempeño en los sistemas eléctricos de potencia. Se define como el grado en que los valores de tensión suministrados a los usuarios se ajustan a los niveles establecidos por las normas técnicas vigentes. Una adecuada calidad de tensión asegura el correcto funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos; en cambio, las desviaciones que superen los límites permitidos pueden provocar fallos, acortar la vida útil de los equipos, generar interrupciones del servicio y ocasionar pérdidas económicas.

De acuerdo con el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), la calidad de la tensión abarca aquellas características del suministro eléctrico —tales como la magnitud, la

frecuencia, la forma de onda y la continuidad del servicio— que permiten el funcionamiento satisfactorio de los equipos conectados a la red.

2.4.2.3. Variaciones de Tensión.

Las variaciones de tensión corresponden a desviaciones del valor nominal de tensión suministrado a los usuarios. Estas pueden clasificarse en:

2.4.2.4. Depresión de voltaje (SAG).

Una caída de tensión es un evento cuya duración oscila desde medio ciclo hasta varios segundos, son provocados principalmente por la conexión de cargas de alta demanda, descargas atmosféricas o fallas en la red eléctrica. Entre estas cagas destacan los motores eléctricos y los hornos de arco. Los motores de inducción consumen corrientes de arranque que oscilan entre el 600% y el 800% de su corriente nominal a plena carga. La corriente comienza en un valor alto y disminuye gradualmente hasta alcanzar la corriente normal de funcionamiento en aproximadamente 2 a 8 segundos, según el diseño del motor y la inercia de la carga. Dependiendo del instante en que se aplique la tensión al motor, la corriente puede ser muy asimétrica.

2.4.2.5. Dilatación de voltaje.

Es un incremento momentáneo de la tensión, con una duración de varios ciclos, ocasionado principalmente por la desconexión de cargas grandes. A diferencia de un sobrevoltaje, esta perturbación conocida como swells, no alcanza magnitudes extremas y son menos frecuentes.

2.4.2.6. Parpadeo (Flicker).

El flicker es la molestia visual percibida por una persona debido a las variaciones en la luminosidad de un lampara, causadas por fluctuaciones de voltaje en la red eléctrica. Su intensidad depende principalmente de la magnitud (profundidad) y la frecuencia de estas oscilaciones de tensión.

2.4.2.7. Sobretensiones Transitorias.

Los picos de voltaje son transitorios eléctricos de corta duración que pueden oscilar entre microsegundos y milisegundos aparecen como impulsos superpuestos a la señal de alimentación, caracterizados por su naturaleza intermitente. Estos fenómenos tienen su origen en causas como descargas atmosféricas, maniobras de interruptores o la operación de bancos de capacitores para la corrección del factor de potencia. Representan una alteración abrupta del estado en la tensión generando una respuesta sub amortiguada.

2.4.2.8. Interrupciones de Energía.

Una interrupción de energía se define como la pérdida total de potencia, donde el voltaje cae por debajo del 10 %. Estas fallas pueden ser causadas por disturbios en el sistema eléctrico, como fallas en la red de distribución, accidentes, problemas en transformadores o generadores, o sobrecargas en la red de baja tensión. Su duración varia desde milisegundos hasta horas, dependiendo de la gravedad del problema.

2.4.2.9. Ruido Eléctrico.

Este fenómeno consiste en la distorsión no periódica de la forma de onda senoidal de la tensión, caracterizándose como una señal eléctrica parasita con un espectro armónico disperso cuya frecuencia generalmente no supera los 200 kHz. Estas perturbaciones, que se superponen a la tensión principal, presentan amplitudes típicamente inferiores al 1% del valor de la tensión fundamental. Su presencia puede generar interferencias significativas en equipos electrónicos sensibles, particularmente en sistemas computacionales, donde pueden ocasionar fallos en la ejecución de programas y operaciones.

2.4.2.10. Armónicas.

La distorsión armónica ocurre cuando la forma de onda de tensión o corriente pierde su pureza senoidal debido a la superposición de múltiples ondas armónicas que se sobreponen a la onda fundamental o de 60 Hz. Este fenómeno se ha intensificado notablemente con el incremento de cargas no lineales en los sistemas de distribución, como convertidores estáticos de potencia, controladores de motores con rectificadores controlados de silicio, hornos de arco y otros equipos industriales. Las consecuencias de esta contaminación armónica incluyen múltiples efectos adversos: aumento de pérdidas por efecto joule en los equipos, sobreesfuerzo en los aislamientos eléctricos, y perturbaciones en sistemas de control, protecciones y telecomunicaciones debido a interferencias electromagnéticas.

2.4.2.11. Regulación de tensión.

Desde el punto de vista técnico, la regulación de tensión implica el conjunto de acciones, equipos y estrategias de control destinados a corregir las desviaciones de tensión que puedan

ocurrir en los diferentes puntos de la red eléctrica, especialmente en los nodos de conexión de los usuarios finales. Estas desviaciones pueden ser debidas a caídas de tensión en las líneas de transmisión y distribución, variaciones en la generación, o cambios bruscos en el consumo.

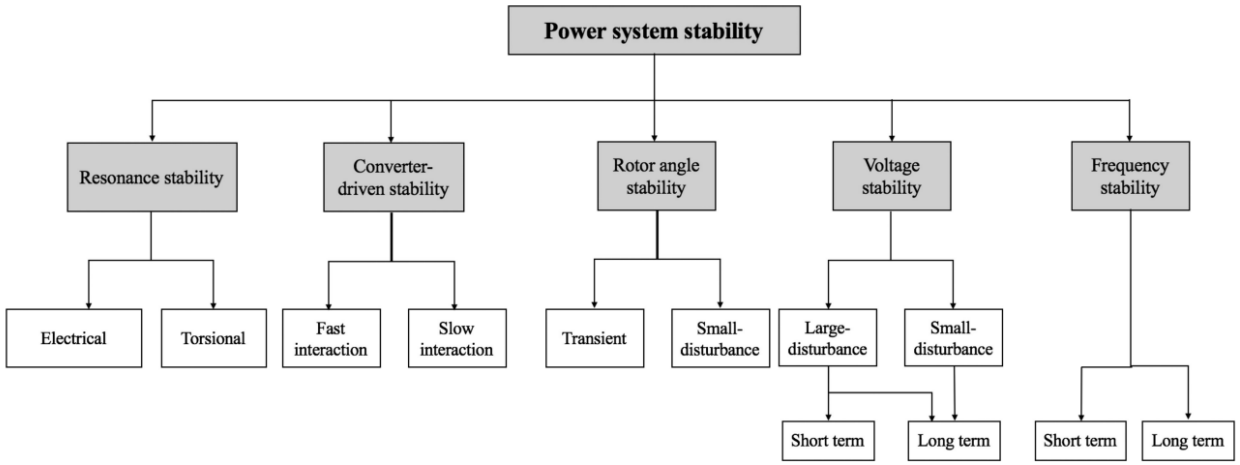
Según los estándares del IEEE, una adecuada regulación de tensión debe garantizar que la magnitud de la tensión se mantenga dentro de bandas específicas (por ejemplo, ±5 % o ±10 % del valor nominal, dependiendo del nivel de tensión y la aplicación). Para lograr esto, los sistemas eléctricos emplean diversos dispositivos como:

- Transformadores con cambiador de tomas bajo carga.
- Reguladores de tensión automáticos.
- Bancos de capacitores y reactores.
- Compensadores estáticos de potencia reactiva (STATCOM, SVC).
- Sistemas de control de generación y flujo de potencia.

2.4.3. Estabilidad de sistemas de potencia (Power System Stability).

Desde la perspectiva de (Muhamad, 2006), dice que un sistema es estable, en estado estacionario si es capaz de regresar esencialmente a la misma condición de operación en estado estacionario después de haber sido sometido a una pequeña perturbación, pero en muchos casos, especialmente bajo grandes perturbaciones, un sistema alcanza una nueva condición de estado estable aceptable que es diferente de la condición de estado estable original, dicho sistema se llama transitoriamente estable. En la **figura 2.2**, se presenta la clasificación de la estabilidad del SEP.

Figura 2.2: Clasificación de la estabilidad en los sistemas eléctricos de potencia.



Fuente: (Hatziargyriou et al., 2021).

2.4.3.1. Estabilidad de tensión (Frequency Stability).

- **Inercia.**

Según (Ledesma Larrea, 2022), es un caso sistemático inicial que presenta la maquina al cambiar su velocidad ante un evento de perdida de generación o incremento de demanda como se visualiza en la **tabla 2.2.**

Tabla 2.2:
Comparación de valores de constante de inercia.

Valor de la Constante de Inercia	Característica
Bajo	La respuesta tiende a ser más oscilante y varían rápidamente ante cambios de demanda
Alto	La respuesta del sistema será muy amortiguada y variará muy lentamente ante los cambios de la demanda.

Fuente: (Ledesma Larrea, 2022)

2.4.4. Sistemas de compensación reactiva.

2.4.4.1. Compensación de potencia reactiva.

La compensación de potencia reactiva es una técnica utilizada en los sistemas eléctricos de potencia para suministrar o absorber potencia reactiva cerca de los puntos de consumo, con el propósito de mejorar el factor de potencia, reducir las pérdidas eléctricas y mantener niveles adecuados de tensión en la red.

Las cargas inductivas, como motores, transformadores y equipos industriales, demandan potencia reactiva para su funcionamiento. Cuando esta demanda es elevada, aumenta la corriente que circula por las líneas y transformadores, generando mayores pérdidas y caídas de tensión. La compensación reactiva busca reducir estos efectos mediante la instalación de dispositivos capaces de aportar la potencia reactiva requerida localmente.

Los dispositivos más utilizados para la compensación de potencia reactiva son los bancos de capacitores, compensadores síncronos, reactores y equipos electrónicos de potencia pertenecientes a los sistemas FACTS (Flexible AC Transmission Systems), entre los que destaca el Compensador Estático Síncrono (STATCOM).

La potencia reactiva requerida para corregir el factor de potencia puede determinarse mediante:

$$Qc = P(tan\emptyset 1 - tan\emptyset 2) \qquad (.4.)$$

Donde:

Qc: Potencia reactiva de compensación (kVAR).

P: Potencia activa de la carga (kW).

Ø1: Ángulo correspondiente al factor de potencia inicial.

Ø2: Ángulo correspondiente al factor de potencia deseado.

La compensación de potencia reactiva constituye una estrategia fundamental para mejorar la calidad de tensión en los sistemas de distribución. Al suministrar potencia reactiva en puntos estratégicos de la red, se reducen las caídas de tensión y se optimiza el desempeño del sistema eléctrico.

2.4.4.2. Dispositivos convencionales.

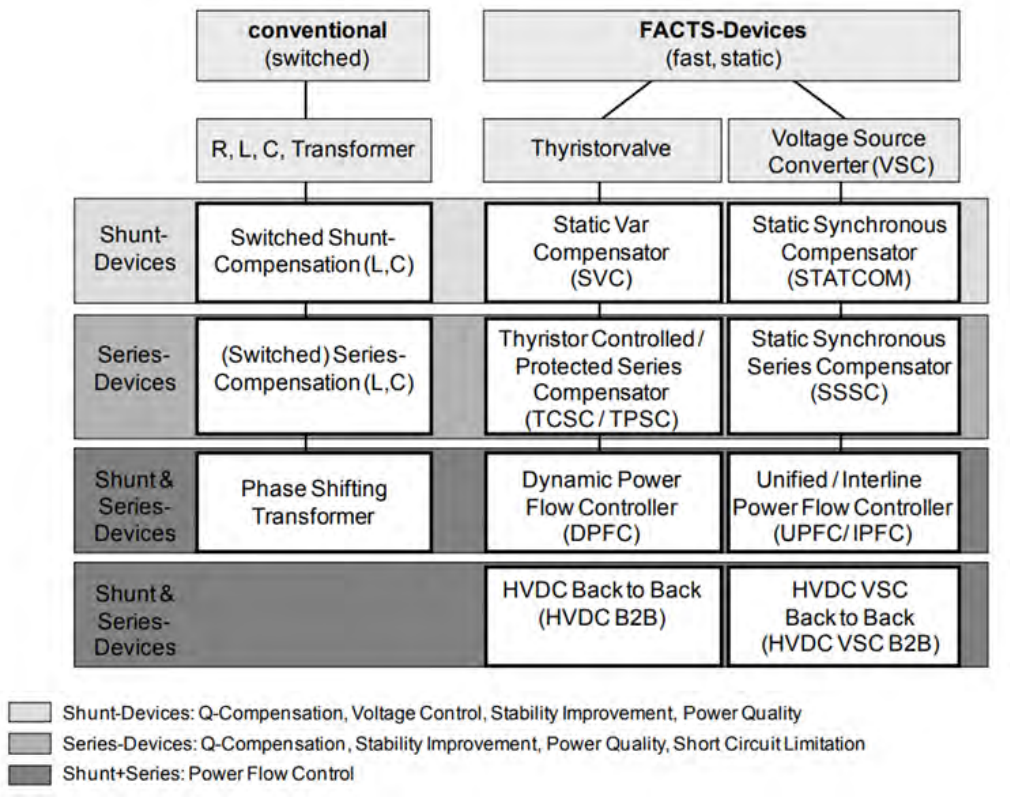
Los dispositivos convencionales de compensación reactiva se fundamentan en componentes pasivos de operación electromecánica como: resistencias, inductancias, capacitancias y transformadores; ya sea en configuraciones fijas o conmutables mediante interruptores mecánicos. A pesar de ser económicos y duraderos, estos dispositivos solo pueden ajustarse por pasos (no de forma continua) y su respuesta es lenta. Por esto, se usan principalmente en aplicaciones que no requieren compensación rápida ni extremadamente precisa.

2.4.4.3. Los dispositivos FACTs.

Desde la perspectiva de (Muni et al., 2014), los dispositivos FACTs (Flexible AC Transmission Systems o Sistemas Flexibles de Transmisión AC) pueden desempeñar funciones que, hasta ahora, eran realizadas por elementos convencionales del sistema eléctrico, pero de una manera más rápida, permitiendo un uso optimo del sistema de energía. Estos dispositivos utilizan conmutadores electrónicos de potencia para controlar el flujo de potencia en la red, proporcionando

mayor velocidad y precisión. Algunas de las tecnologías de conmutación utilizadas, con y sin control de apagado son: GTO (Gate Turn-Off Thyristor o Tiristor de Apagado de Puerta), IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor o Transistor Bipolar de Puerta Aislada), MTO (MOS-Controlled Thyristor o Tiristor Controlado por MOS) e IGCT (Integrated Gate Commutated Thyristor o Tiristor conmutado de Pueta Integrado). También existen una gran variedad de controladores FACTs según su conexión a la red y el tipo de compensación realizada estos dispositivos se clasifican en distintas categorías: controladores serie, controladores paralelos, controladores combinado serie – serie, controladores combinado serie – paralelo. Como se aprecia en la **figura 2.3**.

Figura 2.3: Clasificación de los dispositivos FACTs.

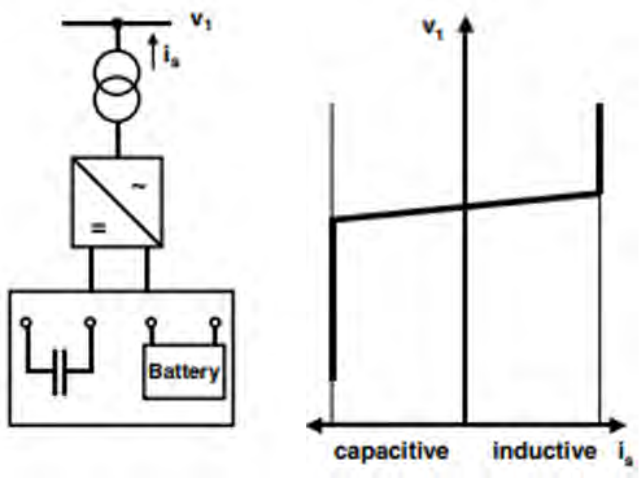


Fuente: (Muni et al., 2014).

2.4.4.4. Compensador estático síncrono (STATCOM).

(Morfín Garduño et al., 2021), el STATCOM se conecta en paralelo para intercambiar potencia reactiva con la red. La cantidad y dirección de la potencia reactiva intercambiada se pueden ajustar ajustando la amplitud y la fase del voltaje de salida del convertidor trifásico. Si la tensión de salida trifásica del inversor supera la tensión de la red trifásica, el STATCOM suministrara potencia reactiva a la red. Por el contrario, el STATCOM acumulará potencia reactiva de la red. Si ambos voltajes son iguales entonces no hay intercambio de potencia reactiva. En la **figura 2.4**, se aprecia la curva de operación de un STATCOM.

Figura 2.4: Curva de operación de un compensador síncrono estático (STATCOM).



Fuente: (Sundar et al., 2015)

En este contexto, el STATCOM representa una solución eficiente debido a su capacidad de inyectar o absorber potencia reactiva de manera rápida y continua, permitiendo mantener la

tensión dentro de los límites establecidos por la normativa y mejorando la calidad del servicio eléctrico.

2.4.4.5. Principio de funcionamiento del STATCOM.

El principio de operación del STATCOM consiste en comparar la magnitud de la tensión generada por el convertidor con la tensión del sistema en el punto de conexión común (PCC). Dependiendo de esta diferencia, el dispositivo puede intercambiar potencia reactiva con la red:

- Cuando la tensión generada por el STATCOM es mayor que la tensión del sistema, el equipo inyecta potencia reactiva a la red, contribuyendo a elevar los niveles de tensión.
- Cuando la tensión generada por el STATCOM es menor que la tensión del sistema, el equipo absorbe potencia reactiva, ayudando a reducir niveles excesivos de tensión.
- Cuando ambas tensiones son iguales, no existe intercambio significativo de potencia reactiva.

Este comportamiento puede representarse de forma simplificada mediante la relación:

$$Q = \frac{V(Vc - V)}{X} \qquad (.5.)$$

Donde:

Q: Potencia reactiva.

V: Tensión del sistema.

Vc: Tensión generada por el convertidor.

X: Reactancia de acoplamiento entre el STATCOM y la red.

El STATCOM es un dispositivo de compensación reactiva de respuesta rápida que permite regular dinámicamente la tensión del sistema. Su capacidad de operación en condiciones de baja tensión contribuye a mejorar el perfil de voltaje, reducir las caídas de tensión y fortalecer la estabilidad de la red. Por ello, constituye una solución eficaz para mejorar la calidad de tensión y la confiabilidad de los sistemas de distribución eléctrica.

2.4.4.6. Fórmulas de Diseño del STATCOM:

Potencia Reactiva requerida: La potencia reactiva (Q), expresada en var o Mvar, cumple la función de regular el sistema eléctrico mediante la inyección o absorción dinámica de energía, al mismo tiempo que suministra la potencia activa y reactiva necesaria para sostener la operación interna del equipo.

De donde la potencia reactiva requerida por el STATCOM se define mediante la siguiente formula:

$$Q_{STATCOM} = P(tan\emptyset_1 - tan\emptyset_2) \quad (.6.)$$

$$\emptyset_1 = \cos -1(FP1)$$

$$\emptyset_2 = \cos -1(FP2)$$

Donde:

$Q_{STATCOM}$: Potencia reactiva requerida por el STATCOM (MVar).

P: potencia activa de la carga (MW).

FP1: factor de potencia inicial.

FP2: factor de potencia deseado.

Potencia aparente del STATCOM: La potencia aparente del STATCOM, expresada en VA kVA o MVA, representa la capacidad nominal total de procesamiento energético de sus componentes de electrónica de potencia (principalmente las válvulas IGBT/IGCT y el transformador de acoplamiento)

Para el diseño del STATCOM para compensación reactiva, la potencia nominal se aproxima a la capacidad de potencia reactiva que pueda tener:

$$S_{STATCOM} \geq Q_{STATCOM} \quad (. 7.)$$

Corriente nominal del STATCOM: Expresada en IN o $I_{STATCOM}$, es la corriente eficaz (RMS) máxima que el Convertidor de Fuente de Tensión (VSC) y sus semiconductores de potencia (IGBTs/IGCTs) pueden conducir de forma continua en régimen permanente, sin superar sus límites térmicos y de conmutación.)

$$I_{STATCOM} = \frac{Q_{STATCOM}}{\sqrt{3}\,VLL} \quad (. 8.)$$

Donde:

$I_{STATCOM}$: Corriente nominal del STATCOM (A).

VLL: Tensión Línea a Línea (V).

$Q_{STATCOM}$: Potencia reactiva del STATCOM (Var).

Tensión del enlace de corriente continua: Expresada en V_{dc}, es el nivel de voltaje continuo que se mantiene a través del banco de condensadores situado en el lado de CC del Convertidor de Fuente de Tensión (VSC).

Es el parámetro fundamental que permite al STATCOM sintetizar una onda de tensión alterna (CA) trifásica regulable en magnitud y fase mediante técnicas de modulación por ancho de pulso (PWM).

$$V_{STATCOM} = km\, VDC \qquad (.9.)$$

Donde:

$V_{STATCOM}$: Tensión AC generada por el convertidor (V).

VDC: Tensión del enlace de corriente continua (V).

K: Constante de conversión.

Capacidad del capacitor del enlace DC: Expresada como C_{DC}, es el valor de capacitancia necesario en la barra de corriente continua de un STATCOM para almacenar la energía transitoria requerida, garantiza la estabilidad del sistema durante cambios bruscos de inyección o absorción de potencia reactiva

Es el parámetro fundamental que permite al STATCOM sintetizar una onda de tensión alterna (CA) trifásica regulable en magnitud y fase mediante técnicas de modulación por ancho de pulso (PWM).

$$C_{DC} = \frac{2W_{DC}}{V_{DC}^2} \quad (.10.)$$

Donde:

C_{DC}: Capacitancia del enlace DC (F).

VDC: Tensión del enlace DC (V).

W_{DC}: Energia almacenada (J).

2.4.4.7. Componentes del sistema STATCOM.

Como parte de los dispositivos FACT's, se menciona el sistema STATCOM el cual es una tecnología nueva para la compensación de potencia reactiva y filtrado de armónicas de manera dinámica, el cual nos ofrece mayor calidad de potencia y mayores soluciones mediante la electrónica de potencia para así garantizar la corrección de los sistemas de potencia.

El STATCOM nos ofrece soluciones rápidas para la compensación de potencia, así como una capacidad de filtrado de corriente armónica, una menor área requerida por Kvar este trabaja en paralelo, generando una forma de onda de voltaje sincronizada a la red, controlando la magnitud y la frecuencia de onda.

El principio de funcionamiento del STATCOM consiste en la absorción o generación de corriente reactiva, para la regulación del nivel de tensión a través de un control rápido en los

sistemas eléctricos. Utiliza la electrónica de potencia (Para niveles altos de tensión y potencia integra el tiristor GTO, mientras que para niveles bajos de tensión y potencia integra el transistor IGBT) por medio de los inversores de potencia basado en un voltage source converter (VSC), capas de trabajar como una carga o como generador de potencia reactiva, suministrando corrientes reactiva capacitiva o inductiva al sistema.

2.4.4.8. Modelamiento del STATCOM.

El transformador de acoplamiento es una parte esencial dentro del STATCOM, ya que nos permite relacionar el VSC con la red eléctrica. La función principal es de hacer de puente o conector entre el STATCOM y la red, también nos permite controlar el nivel de tensión y corriente que necesite el sistema de distribución, al utilizar la electrónica de potencia, lo niveles de tensión siempre necesitan ser regulados para así poder adaptarlo al nivel de tensión o corriente que se requiera, este también permite aislar el VSC, así como también ayuda a mitigar los armónicos que se produzcan así asegurando el correcto funcionamiento del sistema.

2.4.5. Flujo de potencia.

2.4.5.1. Potencia activa.

Es la potencia que realmente realiza trabajo útil en un sistema eléctrico, como mover un motor, calentar una resistencia o iluminar una lámpara. Se mide en kW y depende del voltaje, la corriente y el factor de potencia.

2.4.5.2. Potencia reactiva.

Es la energía que se suministra por los sistemas de distribución, entre la fuente de alimentación y los elementos reactivos del sistema eléctrico, como inductancias y capacitancias, sin convertirse en trabajo útil.

Se origina principalmente por cargas inductivas presentes en la red como son: motores de inducción, transformadores, reactores, hornos de inducción y equipos de soldadura.

2.4.5.3. Factor de potencia.

Es un indicador que mide la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica. Se define como la relación entre la potencia activa (kW) y la potencia aparente (kVA). Un factor de potencia cercano a 1 indica un uso eficiente de la energía, mientras que un valor bajo refleja un alto consumo de potencia reactiva, lo que incrementa pérdidas y caídas de tensión.

2.4.5.4. Efectos de la Potencia Reactiva en los Sistemas Eléctricos.

Un consumo elevado de potencia reactiva puede generar diversos efectos negativos en la operación de los sistemas eléctricos:

- Incremento de las pérdidas de potencia en conductores y transformadores.
- Aumento de las caídas de tensión.
- Reducción de la capacidad de transmisión de las líneas.
- Sobrecarga de equipos eléctricos.
- Disminución de la eficiencia energética.
- Deterioro de la calidad de tensión.

Es por tal motivo que, el control y compensación de la potencia reactiva constituyen aspectos fundamentales para garantizar una operación eficiente y confiable de los sistemas de distribución.

2.4.5.5. Flujo de potencia balanceado.

El flujo de potencia balanceado es una simplificación fundamental en el análisis de sistemas eléctricos trifásicos, basada en el supuesto de que las tres fases operan bajo condiciones perfectamente simétricas: tensiones de igual magnitud y desfasadas 120°, corrientes equilibradas y cargas distribuidas uniformemente. Bajo estas condiciones, el sistema trifásico puede representarse mediante un circuito equivalente monofásico, lo que reduce significativamente la complejidad computacional sin pérdida de precisión en los resultados.

Teóricamente, esta simplificación se sustenta en el método de componentes simétricas, donde la ausencia de componentes de secuencia negativa y cero permite analizar el sistema como una única fase equivalente. Su aplicación es válida en estudios de flujo de potencia en redes que operan en condiciones normales, y es ampliamente utilizada en software especializado como DIgSILENT PowerFactory para el modelado y simulación de sistemas eléctricos.

El cálculo del flujo de potencia balanceado se resuelve mediante el método de Newton-Raphson, que linealiza las ecuaciones de potencia nodal mediante una expansión en serie de Taylor. Las ecuaciones básicas que gobiernan el flujo de potencia en cada barra i son:

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^{n} V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij})$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^{n} V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij})$$

Donde P_i y Q_i son las potencias activas y reactivas inyectadas en barra i, V_i y V_j son las magnitudes de tensión, G_{ij} y B_{ij} son las conductancias y las susceptancias de la matriz de admitancia nodal, y θ_{ij} es la diferencia angular entre barras.

En el contexto de esta investigación, el flujo de potencia balanceado permite evaluar el perfil de tensiones del alimentador PM-06 bajo condiciones de operación típicas, sirviendo como base para el dimensionamiento y evaluación del STATCOM.

2.4.5.6. Flujo de potencia desbalanceado.

El flujo de potencia desbalanceado es un análisis más realista que considera que las tensiones, corrientes y cargas no son iguales en las tres fases. Este desbalance es común en sistemas de distribución debido a la presencia de cargas monofásicas, conexiones asimétricas y distribución desigual de la demanda.

A diferencia del análisis balanceado, este método requiere resolver el sistema trifásico completo, donde cada fase se representa por separado y se consideran las impedancias mutuas entre conductores. El cálculo se realiza mediante el método de inyección de corrientes o mediante la matriz de admitancia trifásica (3×3 por elemento), que relaciona tensiones y corrientes fase-neutro:

$$[I_{abc}] = [Y_{abc}] * [V_{abc}]$$

Donde $[I_{abc}]$ y $[V_{abc}]$ son los vectores de corrientes y tensiones trifásicas, y $[Y_{abc}]$ es la matriz de admitancias trifásica que incluye el acoplamiento mutuo entre fases.

Para el análisis dinámico, DIgSILENT PowerFactory utiliza los módulos de transitorios electromagnéticos (EMT) y electromecánicos (RMS), que permiten simular el comportamiento del sistema ante perturbaciones en el dominio del tiempo. Las simulaciones EMT resuelven las ecuaciones diferenciales de los elementos del sistema (incluyendo inductancias y capacitancias parásitas) con pasos de integración muy pequeños (típicamente microsegundos), lo que permite capturar fenómenos rápidos como transitorios de conmutación y armónicos. Por otro lado, las simulaciones RMS simplifican el sistema asumiendo condiciones cuasi-estacionarias, siendo adecuadas para estudios de estabilidad y respuesta dinámica de controladores como el STATCOM.

En esta investigación, el análisis desbalanceado y las simulaciones dinámicas en DIgSILENT PowerFactory permiten evaluar el desempeño del STATCOM en tiempo real, considerando las condiciones reales de desbalance del alimentador PM-06 y verificando su capacidad de respuesta ante variaciones de carga y perturbaciones.

CAPITULO III

3. DIAGNOSTICO ACTUAL DE ALIMENTADOR PM-06 DE PUERTO MALDONADO.

3.1. Introducción.

En este capítulo se presenta una descripción detallada del alimentador de media tensión PM-06 de Puerto Maldonado, propiedad de la empresa Electro Sur Este S.A.A, incluyendo sus componentes físicos, como las líneas eléctricas y las subestaciones de distribución, así como el recorrido de la red existente. Asimismo, evaluar su estado operativo actual, tomando como referencia criterios normativos como la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales (NTCSER), la cual exige que el sistema opere dentro de los rangos permitidos de variación de tensión, sin superar su capacidad máxima de transporte en condiciones normales y respetando los márgenes de sobrecarga ante diferentes escenarios de demanda.

3.2. Ubicación del sistema eléctrico.

La SET de Puerto Maldonado, se localiza a 6 km de la carretera interoceánica de Puerto Maldonado – Cusco, en el distrito y provincia de Tambopata, perteneciente a la región de Madre de Dios, la cual distribuye energía eléctrica a todo el distrito de Tambopata ver **figura 3.1**.

Figura 3.1: SET de Puerto Maldonado.



Fuente: Elaboración propia Google Earth

Presenta las siguientes coordenadas geográficas **tabla 3.1:**

Tabla 3.1:
Vértices georreferenciados de la SET Puerto Maldonado.

COORDENADAS GEOGRAFICAS SET PUERTO MALDONADO

VERTICES	*Latitud (Sur)*	*Longitud (Oeste)*
V1	12° 35' 21,0424"	69° 13' 19,5922"
V2	12° 35' 20,5877"	69° 13' 18,3804"
V3	12° 35' 18,9607"	69° 13' 20,4738"
V4	12° 35' 18,5093"	69° 13' 19,2832"

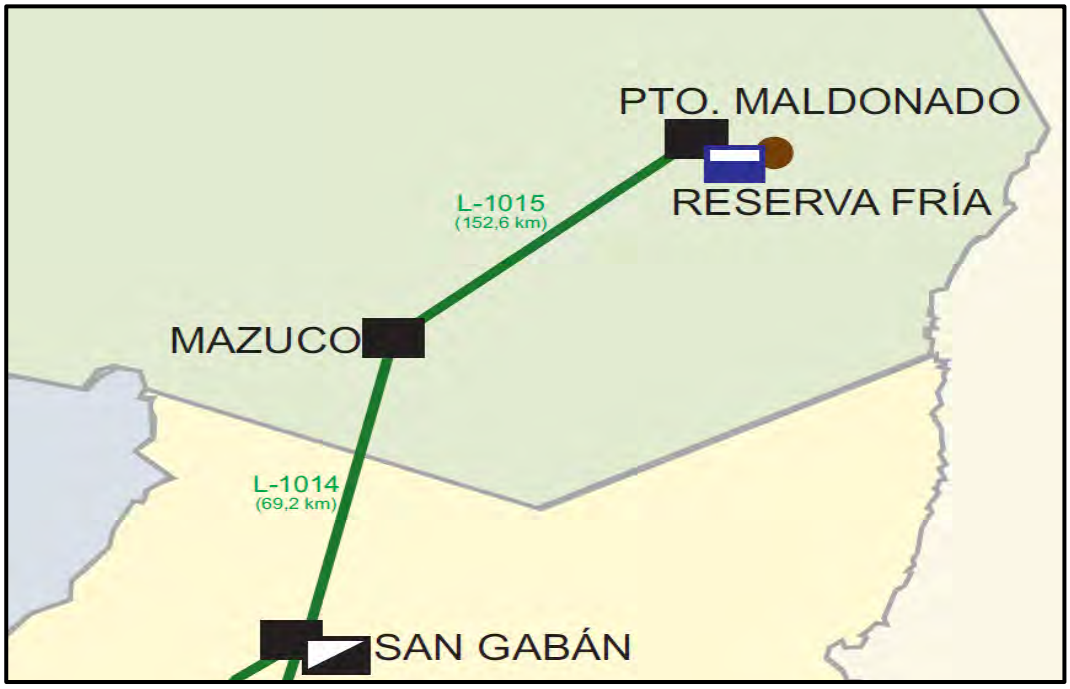
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de Google Earth.

3.3. Característica de técnicas de la SET de Puerto Maldonado.

3.3.1. Líneas de transmisión de llegada.

La SET Puerto Maldonado, está conectada por la línea de transmisión L-1015 con una longitud de 152.6 km proveniente de la SET Mazuco, la cual a su vez está conectada por la línea de transmisión L-1014 con una longitud de 69.2 km a un nivel de tensión de 138 kV perteneciente al sistema de transmisión de la Central Hidroeléctrica de San Gaban II con una Potencia Instalada de 110 MW y una potencia efectiva de 115.7 MW, la cual está conectada al SEIN ver **figura 3.2**.

Figura 3.2: Conexión de central hidroeléctrica San Gaban II, SET Mazuco y SET Puerto Maldonado.



Fuente: COES, Mapa SEIN marzo 2024.

3.3.2. Subestación eléctrica de transformación.

La SET de Puerto Maldonado esta concesionada por la empresa de distribución de energía eléctrica Electro Sur Este S.A.A., la cual tiene como concesión los departamentos de Cusco, Apurímac, Madre de dios. La SET de Puerto Maldonado, la cual presenta las siguientes características según detalla en la **tabla 3.2:**

Tabla 3.2:
Características de la SET puerto Maldonado.

SET PUERTO MALDONADO CARACTERISTICAS	
Transformador Puerto Maldonado	
Fabricante	ABB
Modelo	Trifásico
Año	2008
Potencia	35/15/25 MVA
Relación de Transformación	138/10/22.9 kV.
Intensidad	63.7/126.0/808.3 A.
Grupo de conexión	YNyn0 YNd5.
Refrigeración	ONAN - ONAF.
Tipo	SFSZ11-35000/138
N° Serie	S1-40733301
Tensión AT/MT/BT	(138±10X1.25%) / 22.9 / 10kV
Conmutador Automático Bajo Carga	SI (ABB)
Ubicación:	475890.00 m E 8608310.00 m N 19L
Tipo Aceite	Nynas Libra X
Peso de Aceite (Kg)	14600
Regulación de TAP	Automático
Altitud	1000 m.s.n.m
Frecuencia	60 Hz

Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de Electro Sur Este S.A.A

La SET de Puerto Maldonado, está conformada por 03 barras de Transformación, de 138kV perteneciente a la llegada de la línea L-1015 de SET Mazuco a SET Puerto Maldonado, 22.9 kV

perteneciente a la línea que alimenta las salidas PM-06, PM-07, PM-08 y por último la barra de 10 kV perteneciente a la línea que alimenta las salidas PM-04, PM-03, PM-02 y PM-01 y tiene las siguientes características descritas en la siguiente **tabla 3.3**

Tabla 3.3:
Características de las barras en la SET Puerto Maldonado.

BAHIAS DE LA SET PUERTO MALDONADO	
BARRA DE 138 kV (Celda de llegada SET Puerto Maldonado)	
Transformador	Trifásico
Relación de Transformación	138/10/22.9 kV.
Transformador de Tensión (03 und)	138/√3: 138/√3: 0.1/√3 kV.
Seccionador de barra	145kV a 800 A.
Interruptor de potencia mando tripolar	145 kV a 31.5 kA.
Pararrayos (03 und)	Ur= 120 kV
Grupo de conexión	YNyn0 YNd5.
Uc	132 kV
In	10 kA.
BARRA DE 22.9 kV Celda de salida PM-06, PM-07 y PM-08	
Transformador de Tensión (03 und)	22.9/√3: 0.1/√3: 0.1/√3 kV.
Seccionador de barra	36 kV a 800 A.
Interruptor de potencia mando tripolar	22.9 kV a 560 A.
Pararrayos (03 und)	21.3 kV a 40 kA.
Transformador de corriente (03 und)	50-100/1/1 A.
BARRA DE 10 kV Celda de salida PM-01, PM-02, PM-03 y PM-04	
Seccionador de barra	12 kV a 1250 A.
Interruptor de potencia mando tripolar	12 kV a 1250 A.
Transformador de Tensión (03 und)	10.0/√3: 0.1/√3: 0.1/√3 kV.
Un	12 kV

Fuente: Elaboración Propia a partir de datos de Electro Sur Este S.A.A

3.3.3. Salidas en media tensión.

La SET Puerto Maldonado, esta alimentado por una línea de 138 kV a través de la línea L-1015 proveniente de Mazuco, la cual tiene 07 alimentadores de Media tensión, PM-01, PM-02, PM-03, PM-04 los cuales distribuyen energía eléctrica a un nivel de tensión de 10kV y PM-06,

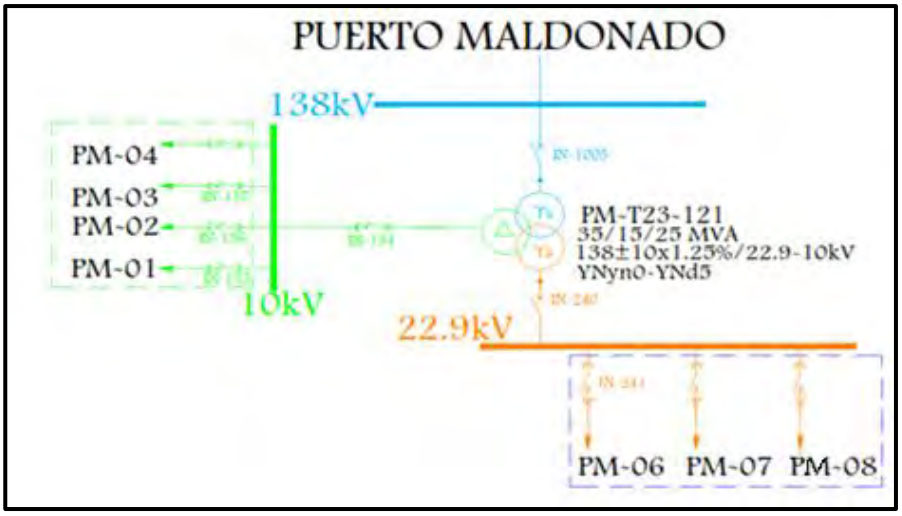
PM-07, PM-08 estos distribuyen energía eléctrica a un nivel de tensión de 22.9 kV como se puede visualizar en la siguiente **figura 3.3**.

Figura 3.3: Salida de los alimentadores de media tensión de la SET Puerto Maldonado.



Fuente: Elaboración propia Google Earth a partir de datos de Electro Sur Este S.A.A.

Figura 3.4: Diagrama unifilar del sistema electico de Puerto Maldonado.



Fuente: (OSINERGMIN, 2024)

En la **figura 3.4**, se observa la barra de 138 kV de llegada de Mazuco la L-1015 a la SET Puerto Maldonado, donde se puede identificar las salidas de MT en 10 kV y 22.9 kV, con una conexión YNyn0-YNd5 para las 07 salidas de MT como son los alimentadores, PM-01, PM-02, PM-03, PM-04, PM-06, PM-07 y PM-08.

Tabla 3.4:
Detalle de alimentadores Puerto Maldonado.

Alimentadores Puerto Maldonado	Nivel de Tensión	Tipo de conductor	Calibre del conductor	Longitud de línea	Cantidad de SED	N° de Usuarios
Alimentador PM-01	10 kV	N2XSY - AAAC	3x120 mm² - 3x120 mm²	17 km. aprox.	95	2081 aprox.
Alimentador PM-02	10 kV	AAAC	3x120 mm²	13.4 km. aprox.	66	8703 aprox.
Alimentador PM-03	10 kV	N2XSY - AAAC	3x150 mm² - 3x150 mm²	10.8 km. aprox.	66	4987 aprox.
Alimentador PM-04	10 kV	N2XSY - AAAC	3x120 mm² - 3x120 mm²	12.2 km. aprox.	78	8812 aprox.
Alimentador PM-06	22.9 kV	AAAC	3x120 mm²	148 km. aprox.	236	12104 aprox.
Alimentador PM-07	22.9 kV	AAAC	3x120 mm²	105 km. aprox.	208	1725 aprox.
Alimentador PM-08	22.9 kV	AAAC	3x120 mm²	246 km. Aprox.	137	5297 aprox.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Electro Sur Este S.A.A

En la presente **tabla 3.4,** se muestra las características de los alimentadores de Puerto Maldonado, así como también se evidencia que el alimentador con mayor cantidad de cargas o SED y mayor cantidad de usuarios es la PM-06, así como también se visualiza que varias salidas de los alimentadores de MT, son subterráneos y también aéreos, predominando los conductores AAAC y N2XSY.

3.4. Características técnicas del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

3.4.1. Descripción de alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

El alimentador PM-06 es una línea de media tensión que opera en 22.9 kV, encargada del suministro eléctrico en el distrito de Tambopata, abarcando los centros poblados de Puerto Rosario, Unión Progreso, Las Palmeras, Chota y la Pampa. Se trata de una red radial de sistema trifásico, cuya infraestructura de soporte consiste principalmente en postes de concreto armado centrifugado, seleccionados por su resistencia y durabilidad en diversas condiciones ambientales.

A lo largo de su recorrido el alimentador de media tensión PM-06 establece una interconexión con el alimentador de media tensión MZ-01 en el NMT: 10798 mediante un seccionador de línea tipo cut out de capacidad de (22.9 kV a 100 A. INAEL de AIRE INZP-2410). Este dispositivo permite realizar transferencias de carga entre ambos alimentadores, ya sea para atender situaciones de falla o durante trabajos de mantenimiento programado, garantizando así la continuidad del servicio eléctrico en la zona.

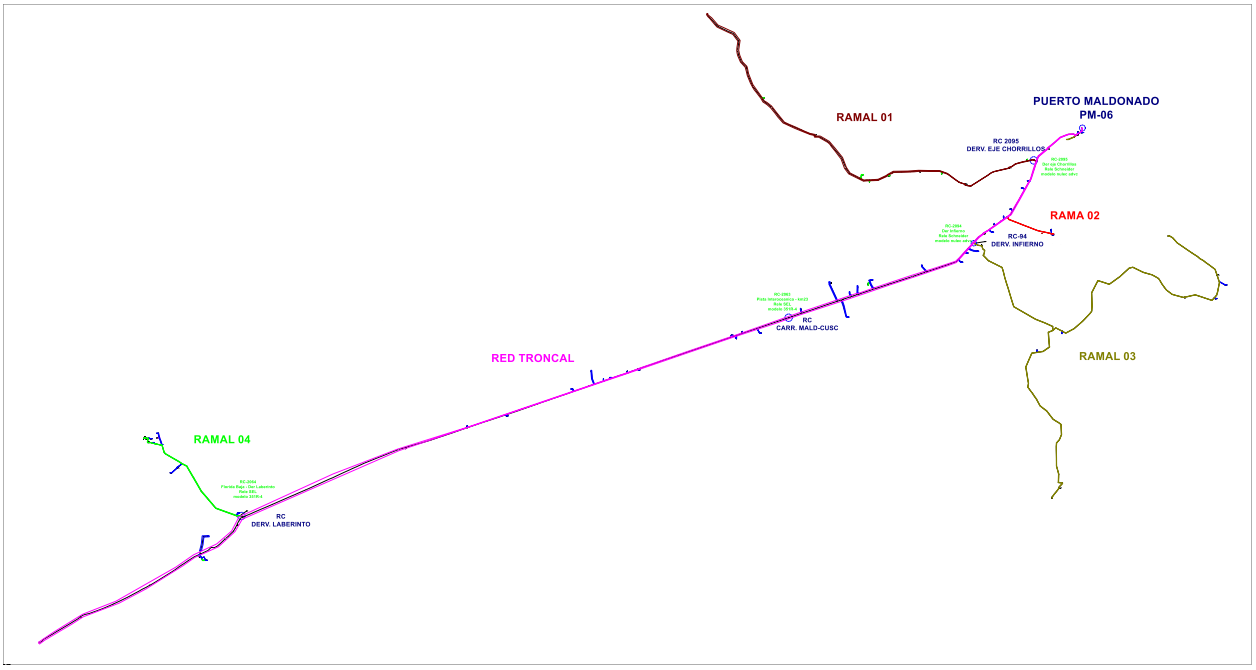
La red emplea conductores aéreos de tipo AAAC, dispuestos en una configuración horizontal, que transportan la energía desde la Subestación de Transformación de Puerto

Maldonado hasta los diferentes transformadores de distribución. Estos conductores destacan por su capacidad de transmisión y resistencia a las condiciones ambientales de la región.

En cuanto a los transformadores de distribución, el sistema presenta tres configuraciones principales según su ubicación y requerimientos técnicos. En las zonas urbanas predominan los transformadores trifásicos con conexión DYn5 y relación de transformación 22.9/0.38/0.23 kV. Para las áreas periféricas se utilizan transformadores monofásicos con relación de 22.9/0.44-0.23 kV, disponibles tanto en versión convencional como con retorno por tierra. Estos equipos tienen capacidades nominales de 50, 25 y 5 kVA respectivamente, adaptándose a las necesidades específicas de cada sector. La configuración en delta del alimentador PM-06 constituye un aspecto fundamental para el modelado de la red y los cálculos de flujo de potencia.

La **figura 3.5**, se muestra la topología del alimentador PM-06, en el cual se distingue la línea troncal, los ramales principales, las derivaciones y las sub derivaciones que componen su estructura. Por lo que, para nuestro análisis, se considera: Línea Troncal y las derivaciones que serán denominaras ramales como son: RAMAL 01, RAMAL 02, RAMAL 03 y RAMAL 04. Esta representación gráfica segmenta el alimentador PM-06 en 5 secciones de línea para realizar una descripción detallada de las características técnicas de dicho alimentador.

Figura 3.5: Topología del alimentado PM-06 de Puerto Maldonado.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Electro Sur Este S.A.A.

3.4.1.1. Descripción de la línea Troncal.

La línea troncal del alimentador PM-06 está compuesta por 108 segmentos de línea, los cuales suman una longitud total de 98.581 kilómetros. La cual cuenta con 150 barras que representan las estructuras de soporte de distribución y 59 transformadores interconectados a lo largo del tramo, con impedancias que promedian los 0.518 **Ω**, corrientes nominales promedio de 0.193 kA y reactancias promedio de 0.470 Ω/km., parámetros que se detallan en el **Anexo 15**.

En la **tabla 3.5.** Se presentan los parámetros eléctricos de los transformadores de distribución presentes en la línea troncal del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Tabla 3.5:
Parámetros eléctricos de las SED que conforman la línea troncal.

Código Técnico de SED	Nombre de SED	Tensión Nominal		Potencia Nominal	Potencia y Relación de Transformación (kVA) - (V)	Grupo de Conexión
		Primario (kV)	Secundario (V)	Capacidad (kVA)		
ESE200SED000101	CASTAÑAL	22.9	440	15	15kVA 22.9/0.44kV	Dyn5
ESE200SED000102	La Colina	22.9	220	25	25kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000104	San Bernardo	22.9	400	100	100kVA 22.9/0.40kV	Dyn5
ESE200SED000109	Santo Domingo	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000110	FLORIDA ALTA	22.9	380	25	25kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000112	PASTORA 01	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000113	PASTORA 02	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000115	LAS MERCEDES	22.9	220	50	50kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000148	FLORIDA BAJA	22.9	220	15	15kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000150	EDDIE PASTOR	22.9	380	25	25kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000151	ROCA CERAMICAS AMAZONICAS S.R.L.	22.9	220	250	250kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000159	LADRILLERA DEL SUR SRL	22.9	440	160	160kVA 22.9/0.44kV	Dyn5
ESE200SED000161	GRANJAS AMAZONICAS SAC	22.9	220	160	160kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000167	GRANJAS AMAZONICAS S.A.C.	22.9	220	50	50kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000193	CELIA ZAVALA OTZUKA	22.9	380	160	160kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000217	AMERICA MOVIL PERU SAC	13.2	220	15	15kVA 13.2/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000218	BASILIO FLORES GONZALES	13.2	220	15	15kVA 13.2/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000219	CASTAÑAL II	22.9	220	25	25kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000244	SAAVEDRA RAMIREZ, VIDALINA	22.9	380	160	160kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000275	ALTO LIBERTAD	22.9	440	50	50KVA 22.9/0.4-0.23kv	Dyn5
ESE200SED000276	SOL NACIENTE	22.9	440	50	50kVA 22.9/0.44kV	Dyn5
ESE200SED000277	UNION PROGRESO	22.9	220	50	50kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000335	E.B.C. FLORIDA ALTA CLARO	22.9	220	10	10kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000377	ACHAHUI QUISPE, RUTH MERY	22.9	380	50	50kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000385	SANTIAGO CONDORI RODRIGUEZ - ALTO LIBBERTAD	22.9	220	25	25kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000395	WOOD TROPICAL FOREST	22.9	440	400	400kVA 22.9/0.44kV	Dyn5
ESE200SED000396	AMAZON ECOLOGICAL INDUSTRY S.A.C	22.9	440	400	400kVA 22.9/0.44kV	Dyn5
ESE200SED000409	SAN JUAN S.C.R.L	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000413	TELEFONICA MOVILES EBEC SAN BERNARDO	22.9	220	5	5kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000414	SAAVEDRA RAMIREZ, VIDALINA	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000415	TORRES CHAVEZ SCHUHBUER, RAQUEL CECILIA	22.9	380	25	25kVA 22.9/0.38kV	Dyn5

ESE200SED000416	NATURAL PERU S.A.C.	22.9	380	160	160kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000417	LOBO LASTRA, ALEX MARVIN	22.9	220	15	15kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000462	CONDORI RODRIGUEZ, SANTIAGO	22.9	220	100	100kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000463	BENAVENTE PINTO, VICTORIANO DIONICIO	22.9	220	25	25kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000464	VICTOR RAUL HAYA DE LA TORRE	22.9	220	15	15kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000476	URB. SANTA APOLONIA	22.9	380	75	75kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000496	ACHULLI TAIPE, FROILAN PLACIDO	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000497	NUEVA AREQUIPA	22.9	220	100	100kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000529	SANTO DOMINGO 02	22.9	220	100	100kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000530	SANTO DOMINGO 03	22.9	220	75	75kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000540	AQUINO TTITO, LINO	22.9	380	160	160kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000542	CAHUATA TUNQUE ANDRES	22.9	380	25	25kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000544	IIAP	22.9	380	50	50kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000545	IIAP.	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000546	IIAP - MADRE DE DIOS	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000547	VARGAS CARDENAS, CIRILA	22.9	380	25	25kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000548	SERVICENTRO MAMI E.I.R.L	22.9	220	25	25kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000549	JASS AAHH SANTO DOMINGO DE GUZMAN	22.9	380	37.5	37.5kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000550	MOSCOSO DELGADO , MIGUEL GRIMALDO	22.9	380	75	75kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000565	URB. ARTURO Y OLGA	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000566	URB. ARTURO Y OLGA	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000569	RONAL LIVANO	22.9	220	460	460kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000577	UNION PROGRESO II	22.9	220	25	25kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000590	AA.VV. EL AMANECER	22.9	220	400	400kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000612	ESTACION BASE CELAULAR ENTEL PERU S.A. - SARAYACU/UNION PROGRESO	22.9	220	25	25kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000614	FIZTCARRALD	22.9	220	50	50kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000616	TAWANTISUYO	22.9	380	15	15kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000647	JUAN VELASCO ALVARADO	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Electro Sur Este S.A.A.

3.4.1.2. Descripción de la línea Ramal 01.

La línea denominada ramal 01 del alimentador PM-06 está compuesta por 46 segmentos de línea, los cuales suman una longitud total de 18.752 kilómetros. La cual cuenta con 58 barras

que representan las estructuras de soporte de distribución y 26 transformadores interconectados a lo largo del tramo, con parámetros como la corriente nominal promedio de 0.154 kA, una impedancia promedio de 0.442 Ω y una reactancia promedio de 0.404 Ω/km, parámetros que se detallan en el **Anexo 16.**

En la **tabla 3.6,** Se presentan los parámetros eléctricos de los transformadores de distribución presentes en la línea denominada RAMAL 01 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Tabla 3.6
Parámetros eléctricos de las SED que conforman la línea ramal 01.

Código Técnico de SED	Nombre de SED	Tensión Nominal		Potencia Nominal	Potencia y Relación de Transformación (kVA) - (V)	Grupo de Conexión
		Primario (kV)	Secundario (V)	Capacidad (kVA)		
ESE200SED000125	PASTORA CHORRILLOS	22.9	380	25	25kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000347	CHORRILLOS	22.9	440	50	50kVA 22.9/044kV	Dyn5
ESE200SED000348	TUPAC AMARU	22.9	440	75	75kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000349	TRES ISLAS	22.9	220	50	50kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000364	EBC CLARO CHORRILLOS	22.9	220	5	5kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000401	TRES ISLAS CASA CLUB	22.9	220	15	15kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000412	VILLENA PAREJA, GORKI	22.9	220	50	50kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000433	OSCAR VALDIVIA ESTEVES	22.9	220	25	25kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000465	BIO GAS S.A.C.	22.9	220	100	100kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000466	HUAINA AQUINO, GUMERCINDO OSWALDO	22.9	220	15	15kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000539	HEREDIA CALLPA, PERCY EUGENIO	13.2	220	25	25kVA 13.2/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000625	TRES ISLAS 02	22.9	220	10	10kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000626	TRES ISLAS 03	22.9	220	15	15kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000627	TRES ISLAS 04	22.9	220	15	15kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000628	TRES ISLAS 05	22.9	220	15	15kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000679	AA.VV. ECOL. CENTRO PASTORA 01	22.9	220	100	100kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000680	AA. VV. ECOL. CENTRO PASTORA 02	22.9	220	100	100kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000683	A.P.V. VALLE GRANDE	22.9	220	37.5	37.5kVA 22.9/0.22kV	Dyn5

ESE200SED000693	HIJOS DE ACOMAYO I	22.9	220	37.5	37.5kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000694	HIJOS DE ACOMAYO II	22.9	220	37.5	37.5kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000766	PUEBLO LIBRE	22.9	220	100	100kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000771	FANCY GUZMAN ARENAS	22.9	220	200	200kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000962	ODEBRECHT PERU OPERACIONES Y SERVICIOS S.A.C.	22.9	440	160	160kVA 22.9/0.44kV	Dyn5
ESE200SED001038	Ulises Barrenechea Olertegui	22.9	380	25	25kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED001119	CARRETERA CHORRILLOS	22.9	220	75	75kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED001130	PLANTA OXISEL SCRL PUERTO MALDONADO	22.9	380	200	200kVA 22.9/0.38kV	Dyn5

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Electro Sur Este S.A.A.

3.4.1.3. Descripción de la línea Ramal 02

La línea denominada ramal 02 del alimentador PM-06 está compuesta por 5 segmentos de línea, los cuales suman una longitud total de 2.352 kilómetros. La cual cuenta con 8 barras que representan las estructuras de soporte de distribución y 3 transformadores interconectados a lo largo del tramo, también cuenta con una corriente nominal promedio de 0.195 kA, una impedancia promedio de 0.447 Ω y una reactancia promedio de 0.469 Ω/km, parámetros que se detallan en el **Anexo 17.**

En la **tabla 3.7,** Se presentan los parámetros eléctricos de los transformadores de distribución presentes en la línea denominada RAMAL 02 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Tabla 3.7:
Parámetros eléctricos de las SED que conforman la línea ramal 02.

Código Técnico de SED	Nombre de SED	Tensión Nominal		Potencia Nominal	Potencia y Relación de Transformación (kVA) - (V)	Grupo de Conexión
		Primario (kV)	Secundario (V)	Capacidad (kVA)		
ESE200SED000122	BASE AEREA FAP - SUB-01	22.9	380	160	160kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000123	BASE AEREA FAP - SUB-02	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5

ESE200SED000128	BASE AEREA FAP - SUB-03	22.9	380	160	160kVA 22.9/0.38kV	Dyn5

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Electro Sur Este S.A.A.

3.4.1.4. Descripción de la línea ramal 03.

La línea denominada ramal 03 del alimentador PM-06 está compuesta por 23 segmentos de línea, los cuales suman una longitud total de 28.121 kilómetros. La cual cuenta con 34 barras que representan las estructuras de soporte de distribución y 20 transformadores interconectados a lo largo del tramo, también cuenta con una corriente nominal promedio de 0.131 kA, una impedancia promedio de 2.010 Ω y una reactancia promedio de 0.781 Ω/km, parámetros que se detallan en el **Anexo 18.**

En la **tabla 3.8,** se presentan los parámetros eléctricos de los transformadores de distribución presentes en la línea denominada RAMAL 03 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Tabla 3.8:
Parámetros eléctricos de las SED que conforman la línea ramal 03.

Código Técnico de SED	Nombre de SED	Tensión Nominal		Potencia Nominal Capacidad (kVA)	Potencia y Relación de Transformación (kVA) - (V)	Grupo de Conexión
		Primario (kV)	Secundario (V)			
ESE200SED000398	INFIERNO 01	22.9	220	37.5	37.5kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000399	INFIERNO 02	22.9	220	25	25kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000400	ISUYAMA	13.2	220	25	25kVA 13.2/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000406	CHONTA	13.2	220	37.5	37.5kVA 13.2/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000459	ISUYAMA 04	13.2	220	15	15kVA 13.2/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000490	ISUYAMA 05	13.2	220	10	10kVA 13.2/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000491	RIOS DE LOBON, ANA MARIA	13.2	220	10	10kVA 13.2/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000531	ABUID PEREYRA, ITALO OSWALDO	22.9	220	25	25kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000532	TORRES BEJAR ANIBAL HUMBERTO	13.2	220	5	5kVA 13.2/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000584	JOSE VILCA RAMIREZ	13.2	220	10	10kVA 13.2/0.22kV	Dyn5

ESE200SED000634	ISUYAMA 02	22.9	220	15	15kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000635	ISUYAMA 03	22.9	220	10	10kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000636	ISUYAMA 06	22.9	220	10	10kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000637	ISUYAMA 07	22.9	220	10	10kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000638	ISUYAMA 08	22.9	220	10	10kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000649	INFIERNO 03	22.9	380	10	10kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000704	PLAYA BOTAFOGO	13.2	220	25	25kVA 13.2/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000873	GUTIERREZ MEJIA, MARIA SALOME	22.9	380	50	50kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000945	CHONTA I	22.9	220	37.5	37.5kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED001025	CHONTA II	22.9	220	10	10kVA 22.9/0.22kV	Dyn5

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Electro Sur Este S.A.A.

3.4.1.5. Descripción de la línea ramal 04

La línea denominada ramal 04 del alimentador PM-06 está compuesta por 27 segmentos de línea, los cuales suman una longitud total de 8.443 kilómetros. La cual cuenta con 38 barras que representan las estructuras de soporte de distribución y 14 transformadores interconectados a lo largo del tramo. también cuenta con una corriente nominal promedio de 0.194 kA, una impedancia promedio de 0.261 Ω y una reactancia promedio de 0.466 Ω/km, parámetros que se detallan en el **Anexo 19.**

En la **tabla 3.9**, se presentan los parámetros eléctricos de los transformadores de distribución presentes en la línea denominada RAMAL 04 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Tabla 3.9:
Parámetros eléctricos de las SED que conforman la línea ramal 04.

Código Técnico de SED	Nombre de SED	Tensión Nominal		Potencia Nominal	Potencia y Relación de Transformación (kVA) - (V)	Grupo de Conexión
		Primario (kV)	Secundario (V)	Capacidad (kVA)		
ESE200SED000105	Maderera Lazo	22.9	440	200	200kVA 22.9/0.44kV	Dyn5
ESE200SED000106	LABERINTO S.E. N° 01	22.9	220	300	300kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000107	LABERINTO S.E. N° 02	22.9	380	160	160kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000108	LABERINTO S.E. N° 03	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000154	PLANTA DE BOMBEO - AGUA POTABLE	22.9	380	75	75kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000172	LABERINTO S.E. N° 04	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000173	PARQUE INDUSTRIAL LABERINTO 2	22.9	220	400	400kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000403	ALEJANDRO TOLEDO LABERINTO 01	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000404	ALEJANDRO TOLEDO LABERINTO 02	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000419	PARQUE LOS PASHACOS	22.9	380	160	160kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000640	PASHACOS - INANBARI	22.9	230	250	250kVA 22.9/0.23kV	Dyn5
ESE200SED000767	ALEJANDRO TOLEDO LABERINTO SED No 47	22.9	220	100	100kVA 22.9/0.22kV	Dyn5
ESE200SED000812	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE	22.9	380	100	100kVA 22.9/0.38kV	Dyn5
ESE200SED000937	CONCHA HUARHUA, JESUS MAMERTO	22.9	220	100	100kVA 22.9/0.22kV	Dyn5

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Electro Sur Este S.A.A.

3.4.2. Equipos de protección y maniobra del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

El alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, como todo sistema eléctrico de distribución, cuenta con diversos equipos de protección y maniobra, entre los que se incluyen seccionadores tipo cut-out, reclosers, seccionadores tripolares y seccionadores bajo carga (SBC).

De acuerdo con la información presentada en el **Anexo 20**, el alimentador dispone de un total de 117 equipos de protección y maniobra, distribuidos de la siguiente manera: 102 seccionadores tipo cut-out, 06 reclosers (REC), 06 seccionadores tripolares, 02 seccionadores bajo carga (SBC) y 01 interruptor de maniobra, todos operando a un nivel de tensión de 22,9 kV.

3.4.3. Potencia instalada del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

El alimentador PM-06, perteneciente al sistema de distribución en Puerto Maldonado, presenta una demanda total de 3155.53086 kVA. Esta carga se distribuye entre sus diferentes ramales y la troncal de la siguiente manera. Ver la **tabla 3.16**:

Tabla 3.10:
Demanda eléctrica del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

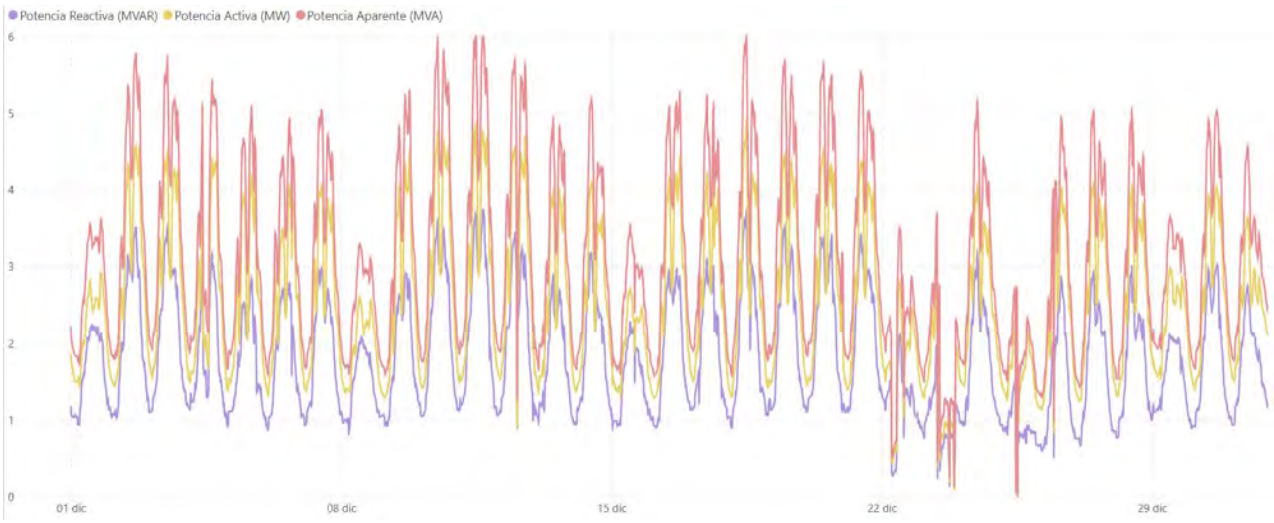
Líneas del Alimentador PM-06	Potencia (kVA)	Potencia (kW)	Potencia (kVAR)	FP
RAMAL 01	631.765432	511.73	368.67	0.81
RAMAL 02	85	70.55	48.1	0.83
RAMAL 03	518.433735	430.3	284.45	0.83
RAMAL 04	913.797468	721.9	550.88	0.79
TRONCAL	1019.43293	821.5	603.64	0.80584016
Demanda Total	**3155.53086**	**2555.98**	**1855.74**	**0.81**

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Electro Sur Este S.A.A.

Como se puede observar en la siguiente **tabla 3.16**, en la troncal es donde se concentra la mayor proporción de la demanda (51.9 % del total), seguida por el Ramal 04 (26.6 %). Los Ramales 01, 02 y 03 representan conjuntamente el 21.5 % de la carga total.

Adicionalmente, en la **Figura 3.6,** se presenta el perfil de potencias en la barra de 22.9 kV del alimentador PM-06, donde se evidencia que el sistema opera con una cantidad considerable de potencia reactiva.

Figura 3.6: Perfil de potencias en la barra de 22.9 kV del alimentador PM-06



Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de Electro Sur Este S.A.A.

En conclusión, la demanda del alimentador PM-06 se encuentra fuertemente concentrada en la troncal y en el Ramal 04, lo cual constituye un factor clave para la planificación.

3.4.4. Análisis de los datos de medición.

El análisis de la calidad de producto suministrado se desarrolló en concordancia con lo establecido por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales (NTCSER), que señala un margen de tolerancia de ± 6.0 % en las mediciones de media tensión (MT) en zonas rurales. Del mismo modo, dicha norma precisa que la energía eléctrica se considera de mala calidad cuando, del total de registros efectuados, un 5.0 % se encuentra fuera del rango de tolerancia.

En este análisis se consideró un periodo de medición de 7 días, que son un total de 672 registros en intervalos de 15 minutos, si las mediciones están por debajo de 5.0 % de los registros

(equivalente a 33.6 mediciones) se encuentran fuera del rango de tolerancia, la energía distribuida por el alimentador se clasifica como de mala calidad.

Para el análisis de caídas de tensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, se implementó una metodología de evaluación segmentada o evaluación por zonas, considerando tanto la línea troncal principal como sus cuatro ramales (Ramal 01, Ramal 02, Ramal 03, Ramal 04). El análisis del perfil de tensiones se realizó en la totalidad de las 115 subestaciones de distribución del alimentador; sin embargo, para el presente estudio se presentan los resultados correspondientes a 13 SED representativos, seleccionadas estratégicamente (al inicio, medio, y final de cada línea) para reflejar el comportamiento de cada zona del sistema. La distribución de estos nodos de monitoreo representativos se detalla en la **tabla 3.17:**

Tabla 3.11:
Nodos representativos del perfil de tensiones en el alimentador PM-06.

Puntos de Análisis de Medición de Tensión	Subestación Eléctrica de Distribución (SED)
Línea Troncal	2000113, 2000104, 2000148, 2000110, 2000109, 2000115
Ramal 01	2000349, 2000347
Ramal 02	2000122
Ramal 03	2000398, 2000400
Ramal 04	2000404, 2000173

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7: Análisis de los datos de medición de acuerdo a la distribución topológica.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.7,** se visualiza la distribución de las líneas del alimentador PM-06 para el estudio en el software Power Factori DIgSILENT. Como: Ramal 01, Ramal 02, Ramal 03, Ramal 04 y la Troncal.

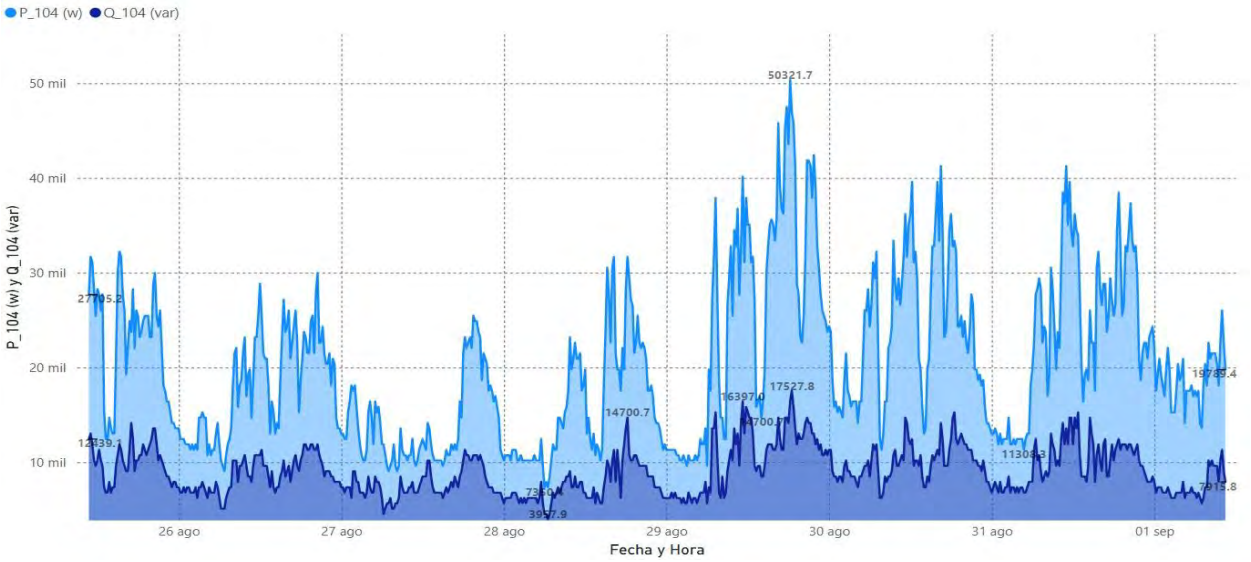
3.4.4.1. Nodos representativos en la línea Troncal.

La troncal se encuentra definida según la distribución topológica de nuestra red principal, la cual parte desde la salida del alimentador PM-06 y abarca los centros poblados de Tambopata, Las Palmeras, Florida Alta, Laberinto, Inambari y La Encañada. Se trata de una línea extensa con una longitud aproximada de 98,705 kilómetros.

En la presente sección, se presentan los resultados obtenidos del análisis de datos de medición correspondientes a los siguientes nodos de monitoreo representativos perteneciente a la línea troncal: 2000104, 2000109, 2000110, 2000113, 2000115 y 2000148.

- **En la SED con código: 2000104.**

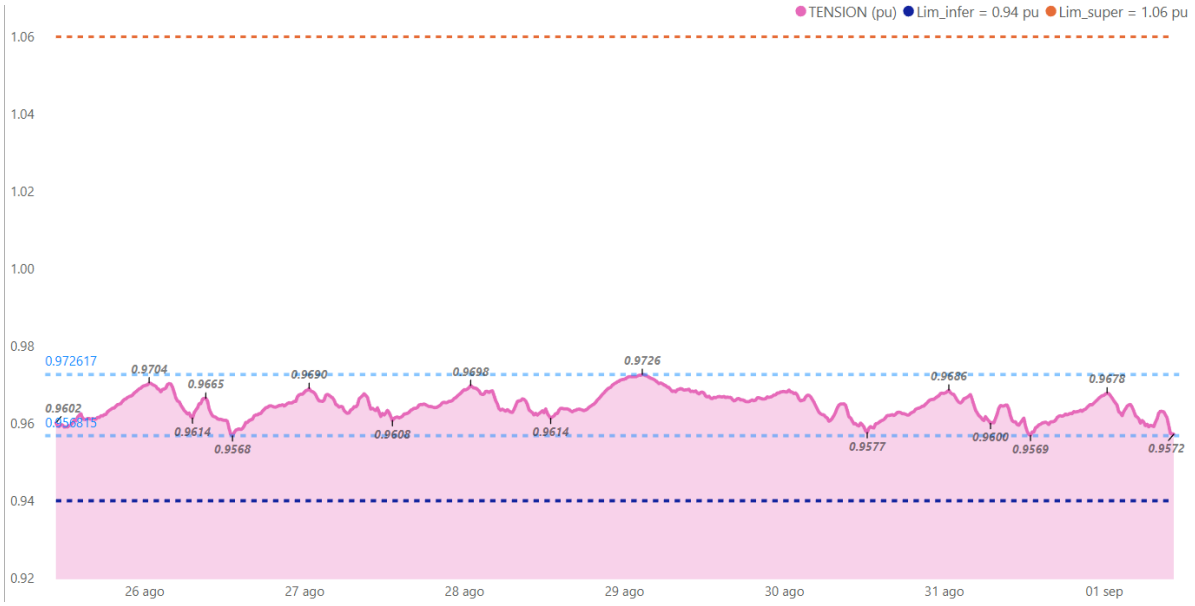
Figura 3.8: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000104.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.8**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 25 de agosto al 01 de septiembre de 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000104, equipada con un transformador de 100 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 53.14 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación adecuada, ya que el transformador trabaja a la mitad de su capacidad, garantizando un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda y evitando riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del producto suministrado.

Figura 3.9: Perfil de tensiones de la SED: 2000104.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.9**, se muestra el perfil de tensiones de la SED 2000104 en media tensión (MT), expresado en sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia de ± 6.0 %, correspondiente a un rango admisible entre 0.94 p.u. y 1.06 p.u., conforme a la NTCSER.

El análisis del perfil de tensión evidencia la presencia de caídas de tensión recurrentes, registrándose un mínimo valor de hasta 0.956815 p.u. y un valor máximo que alcanza un pico normal de 0.972617 p.u. Estas variaciones reflejan fluctuaciones sostenidas de la tensión a lo largo del tiempo, así como indicios de desbalance de tensiones entre fases, lo cual afecta la estabilidad del suministro eléctrico en este punto de la red.

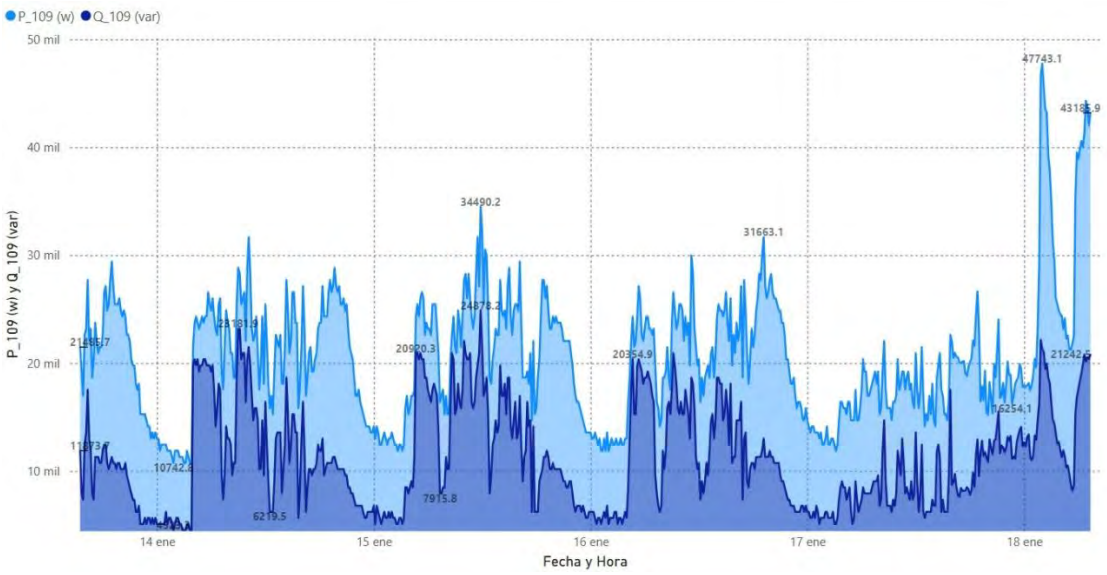
Desde el punto de vista operativo, el transformador de 100 kVA de la SED 2000104 trabaja al 53.14 % de su capacidad nominal, condición que descarta un estado de sobrecarga y garantiza un margen adecuado frente a incrementos de demanda. Sin embargo, pese a operar por debajo de

su capacidad máxima, el perfil de tensión presenta una tendencia persistente a caídas de tensión, lo que evidencia que la problemática no está asociada a la capacidad del transformador, sino a limitaciones propias de la red de distribución y al flujo de potencia reactiva en la línea troncal.

Si bien los niveles de tensión medidos cumplen formalmente con los límites establecidos por la NTCSER, el análisis conjunto del perfil de tensión, las caídas de tensión y el desbalance de tensiones permite concluir que la calidad de la tensión suministrada en la SED 2000104 es actualmente aceptable, al registrarse valores dentro del rango normativo. Sin embargo, esta condición indica que, ante un incremento de la demanda, podrían presentarse caídas de tensión más pronunciadas y de mayor duración, asociadas al aumento de la corriente y a las limitaciones del sistema de distribución, lo cual podría comprometer la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico para los usuarios conectados al alimentador PM-06. En este contexto, se justifica la implementación de soluciones de compensación reactiva dinámica, como un Compensador Estático Síncrono (STATCOM), orientadas a mejorar el perfil de tensión y fortalecer la calidad del servicio eléctrico, especialmente en la línea troncal del alimentador.

❖ **En la SED con código: 2000109.**

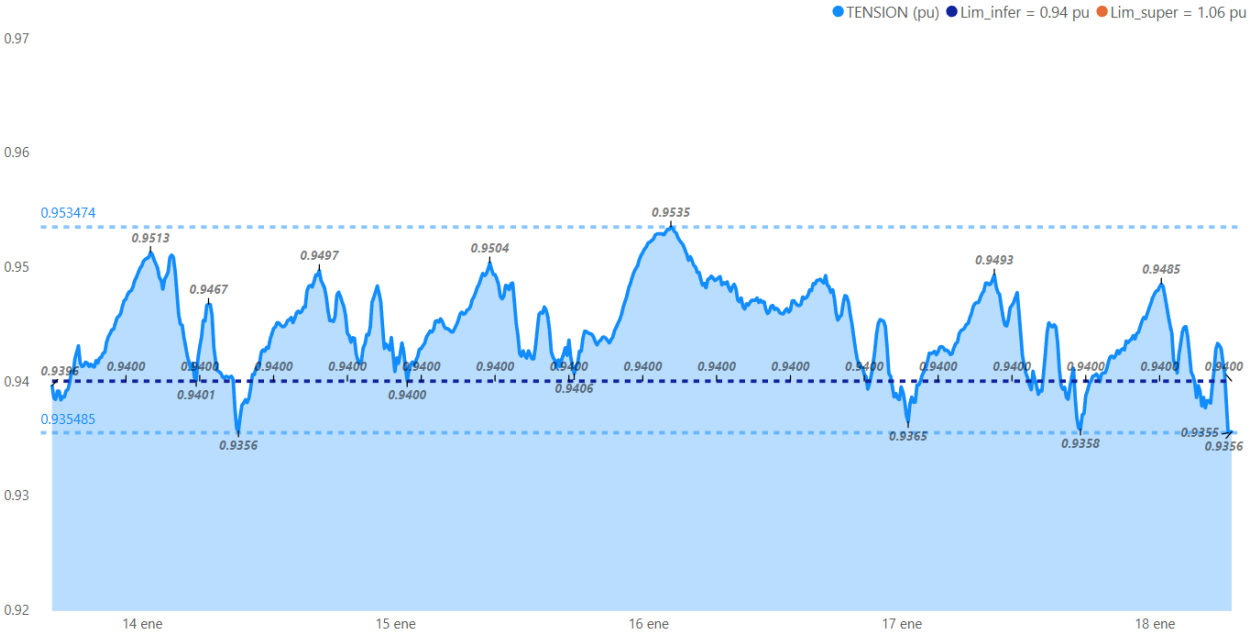
Figura 3.10: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000109.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.10**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 13 al 18 de enero de 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000109, equipada con un transformador de 100 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 42.68 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación adecuada, ya que el transformador trabaja a menos de la mitad de su capacidad, garantizando un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda y evitando riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del suministro eléctrico.

Figura 3.11: Perfil de tensiones de la SED: 2000109.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.11**, se muestra el perfil de tensiones de la SED 2000109 en media tensión (MT), expresado en el sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia de ± 6.0 %, correspondiente a un rango admisible entre 0.94 p.u. y 1.06 p.u., conforme a la NTCSER.

El análisis del perfil de tensión evidencia la presencia de caídas de tensión recurrentes, registrándose un total de 76 mediciones por debajo del límite inferior permitido. El valor mínimo alcanzado fue de 0.935485 p.u. y el valor máximo que alcanza un pico normal 0.953474 p.u., refleja fluctuaciones significativas de la tensión a lo largo del periodo de medición, así como indicios de desbalance de tensiones entre fases que afectan la estabilidad del suministro eléctrico en este punto de la red.

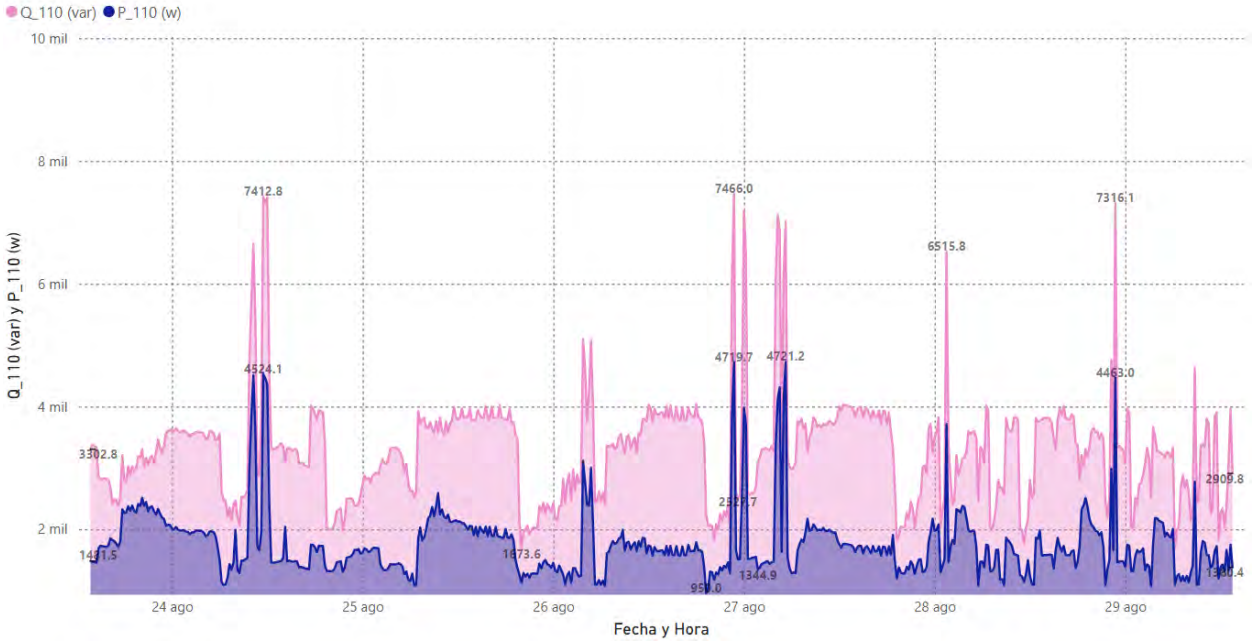
Desde el punto de vista operativo, el transformador de 100 kVA de la SED 2000109 opera al 42.68 % de su capacidad nominal, condición que descarta un estado de sobrecarga y garantiza

un margen adecuado frente a eventuales incrementos de demanda. Sin embargo, pese a operar por debajo de su capacidad máxima, el perfil de tensiones registrado no cumple con los parámetros de calidad establecidos en la NTCSER, al evidenciar valores de tensión anormalmente bajos y fluctuaciones persistentes durante el periodo de análisis.

Como se pudo ver del perfil de tensiones, presenta 76 mediciones por debajo del límite permitido y registra una cantidad de caídas de tensión significativas superando las 34 mediciones permitidas según NTCSER, del perfil de tensiones, las caídas de tensión y el desbalance de tensiones permite concluir que la calidad de la tensión suministrada en la SED 2000109 es deficiente. Esta condición compromete la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico para los usuarios conectados al alimentador PM-06, particularmente en la línea troncal.

- **En la SED con código: 2000110.**

Figura 3.12: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000110.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.12**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 23 al 29 de agosto de 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000110, equipada con un transformador de 50 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 17.66 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación adecuada, ya que el transformador trabaja a menos de la mitad de su capacidad, garantizando un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda y evitando riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del suministro eléctrico.

Figura 3.13: Perfil de tensiones de la SED: 2000110.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.13**, se muestra el perfil de tensiones de la SED 2000110 en media tensión (MT), expresado en el sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia de ± 6.0 %, correspondiente a un rango admisible entre 0.94 p.u. y 1.06 p.u., conforme a la NTCSER.

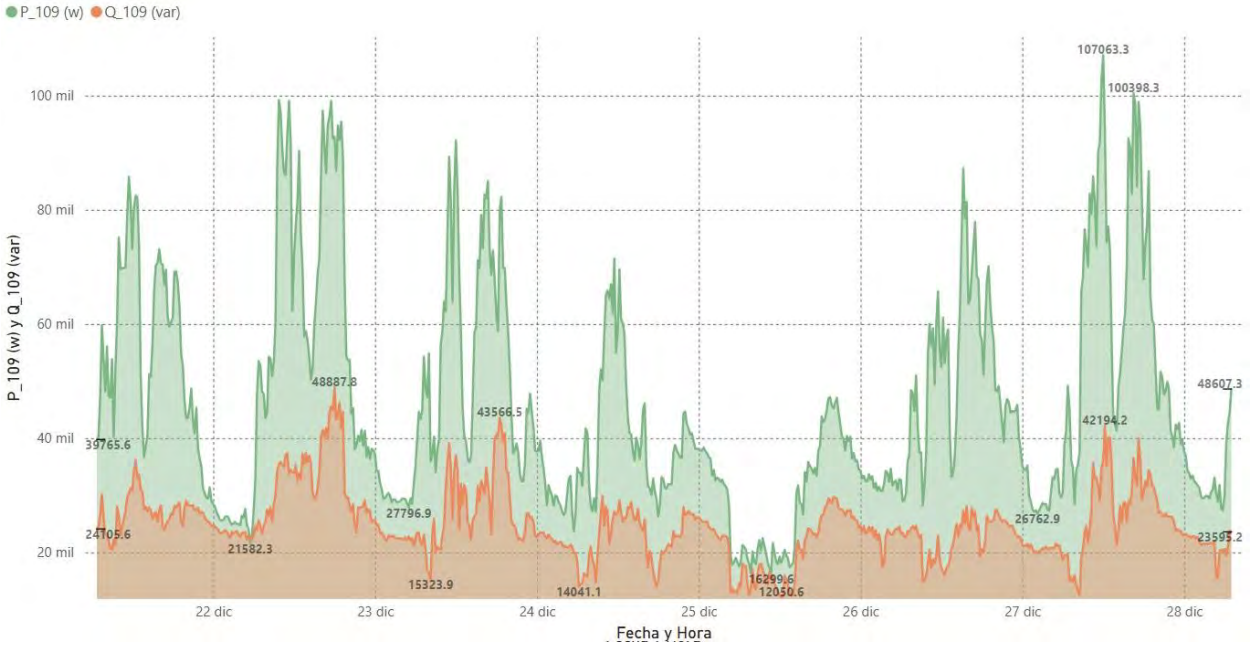
El análisis del perfil de tensión evidencia la presencia de caídas de tensión recurrentes, registrándose un total de 82 mediciones por debajo del límite inferior permitido. El valor mínimo alcanzado fue de 0.935301 p.u., mientras que los valores máximos dentro de este rango llegaron hasta 0.951072 p.u., lo que refleja fluctuaciones significativas de la tensión a lo largo del periodo de medición, así como indicios de desbalance de tensiones entre fases que afectan la estabilidad del suministro eléctrico en este punto de la red.

Desde el punto de vista operativo, el transformador de 50 kVA de la SED 2000110 opera al 17.66 % de su capacidad nominal, condición que descarta un estado de sobrecarga y garantiza un amplio margen de seguridad frente a eventuales incrementos de demanda. Sin embargo, pese a operar muy por debajo de su capacidad máxima, el perfil de tensiones registrado no cumple con los parámetros de calidad establecidos en la NTCSER, al evidenciar un número significativo de mediciones por debajo del límite inferior permitido.

Si bien los niveles de tensión medidos presentan un incumplimiento de los límites establecidos por la NTCSER, el análisis conjunto del perfil de tensión, las caídas de tensión y el desbalance de tensiones permite concluir que la calidad de la tensión suministrada en la SED 2000110 es deficiente. Esta condición compromete la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico para los usuarios conectados al alimentador PM-06, particularmente en la línea troncal.

❖ **En la SED con código: 2000113.**

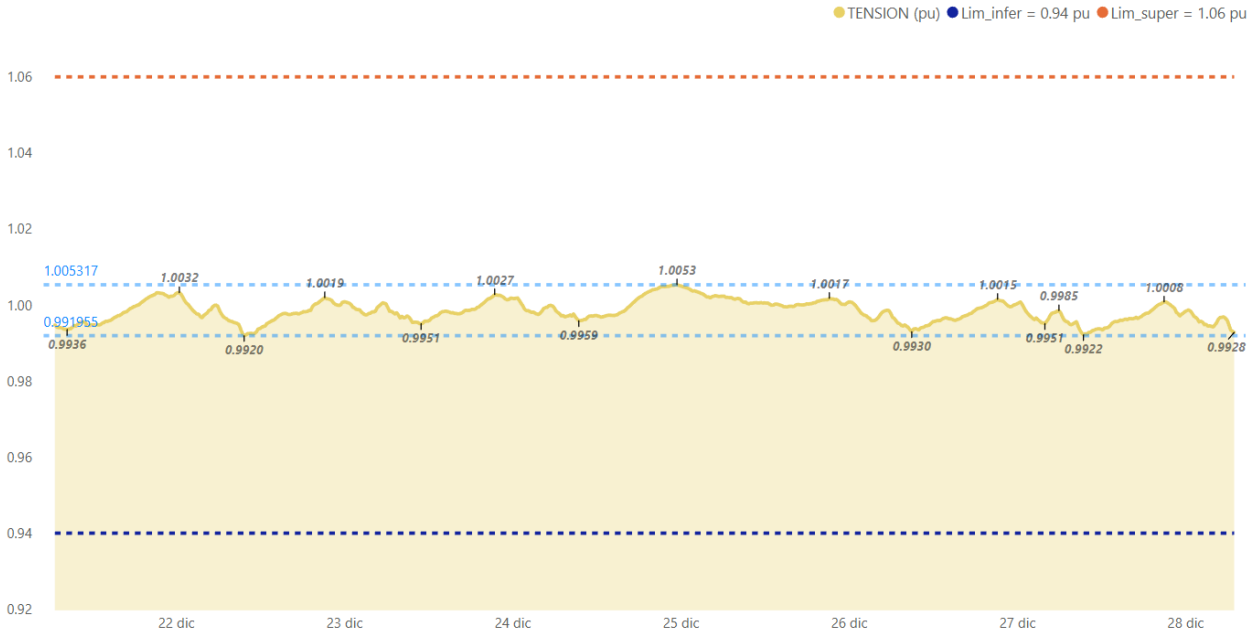
Figura 3.14: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000113.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

El análisis de la **figura 3.14**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 21 al 28 de diciembre de 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000113, equipada con un transformador de 160 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 73.13 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación relativamente alta, ya que el transformador trabaja a más de la mitad de su capacidad, por lo que no garantiza un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda, por lo que se sugiere repotenciar el transformador y evitar riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del suministro eléctrico.

Figura 3.15: Perfil de tensiones de la SED: 2000113.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.15**, se muestra el perfil de tensiones de la SED 2000113 en media tensión (MT), expresado en el sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia de ± 6.0 %, correspondiente a un rango admisible entre 0.94 p.u. y 1.06 p.u., conforme a la NTCSER.

El análisis del perfil de tensión evidencia la presencia de ligeras caídas de tensión, registrándose un valor mínimo de 0.991955 p.u. y un valor máximo de 1.005317 p.u. Estas variaciones reflejan fluctuaciones leves de la tensión a lo largo del tiempo. No obstante, no se identifican indicios de desbalance de tensiones entre fases, debido a que la SED se encuentra ubicada próxima a la salida del alimentador PM-06, condición que favorece un suministro eléctrico más estable y equilibrado.

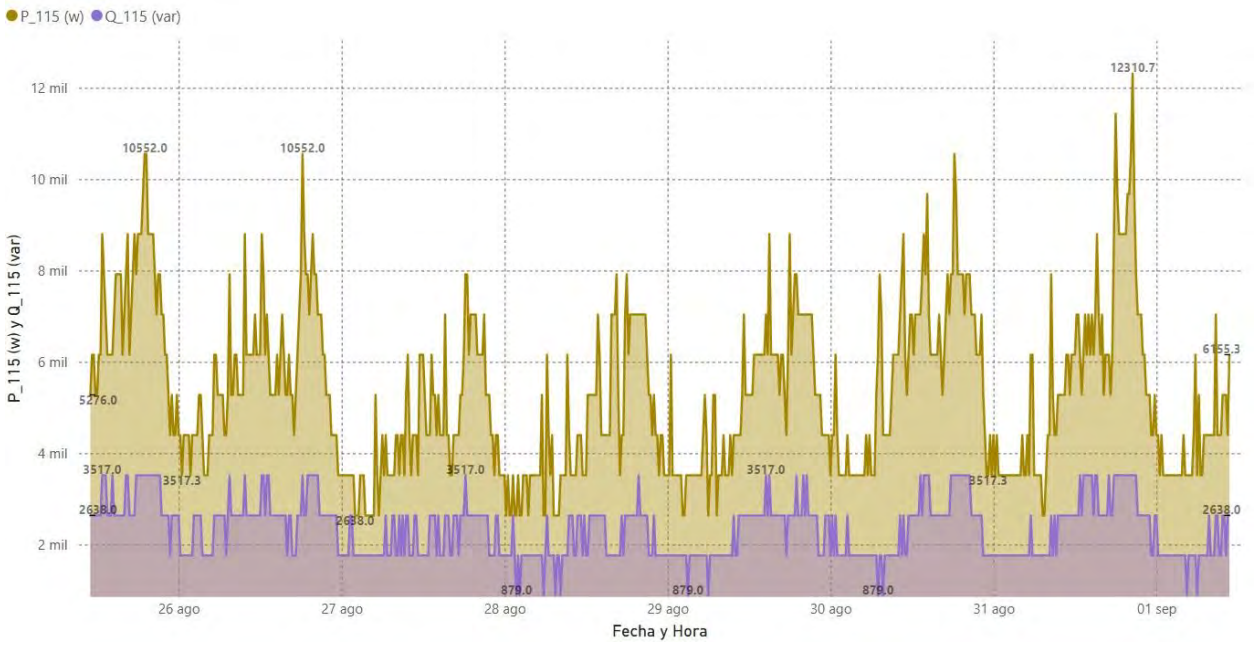
Desde el punto de vista operativo, el transformador de 160 kVA de la SED 2000113 opera al 73.13 % de su capacidad nominal, condición que, si bien no evidencia un estado de sobrecarga,

indica un nivel de utilización relativamente elevado. Este comportamiento mantiene un margen de seguridad frente a eventuales incrementos de demanda y contribuye a minimizar el riesgo de sobrecarga. Asimismo, el perfil de tensiones registrado se mantiene dentro de condiciones óptimas de suministro eléctrico.

En consecuencia, se concluye que la SED 2000113 cumple con los parámetros de calidad de tensión establecidos en la NTCSER. Al encontrarse próxima a la salida del alimentador PM-06, no presenta deficiencias significativas en la calidad de la tensión suministrada en este punto de la red troncal. Por tanto, los niveles de tensión se mantienen dentro de los rangos normativos permitidos, lo que garantiza condiciones adecuadas de confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico para los usuarios conectados a esta SED, particularmente en la línea troncal.

- **En la SED con código: 2000115.**

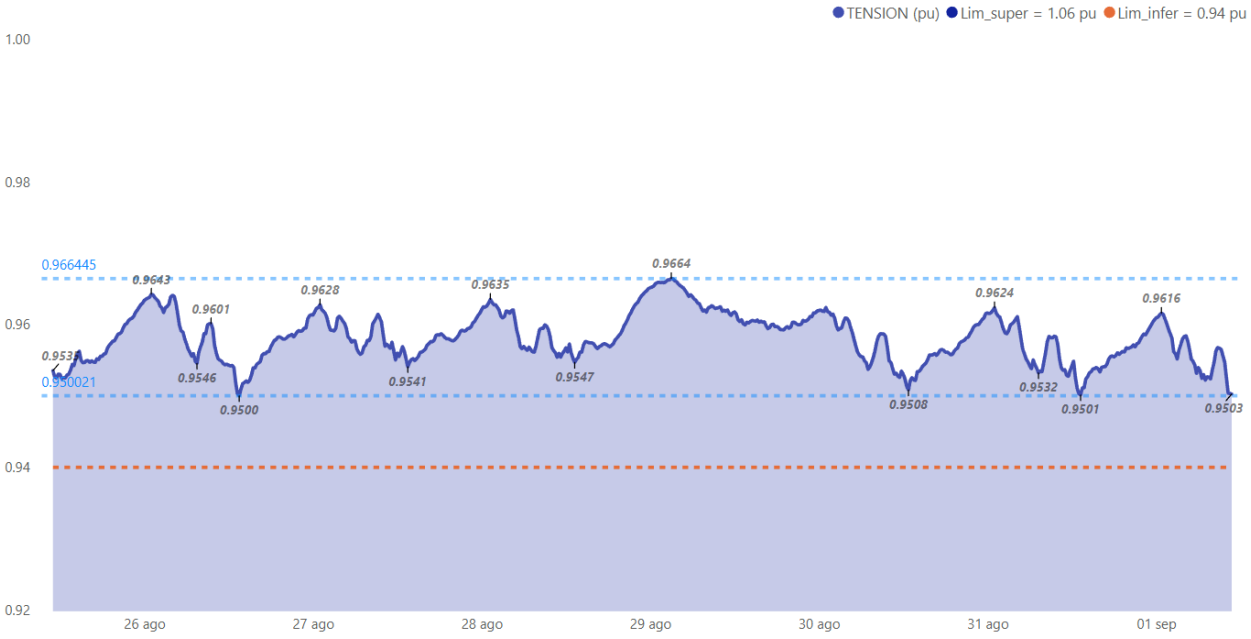
Figura 3.16: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000115.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

El análisis de la **figura 3.16**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 25 de agosto al 01 de setiembre de 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000115, equipada con un transformador de 25 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 52.76 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación adecuada, ya que el transformador trabaja a la mitad de su capacidad, garantizando un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda y evitando riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del suministro eléctrico.

Figura 3.17: Perfil de tensiones de la SED: 2000115.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.17**, se muestra el perfil de tensiones de la SED 2000115 en media tensión (MT), expresado en el sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia de ± 6.0 %, correspondiente a un rango admisible entre 0.94 p.u. y 1.06 p.u., conforme a la NTCSER.

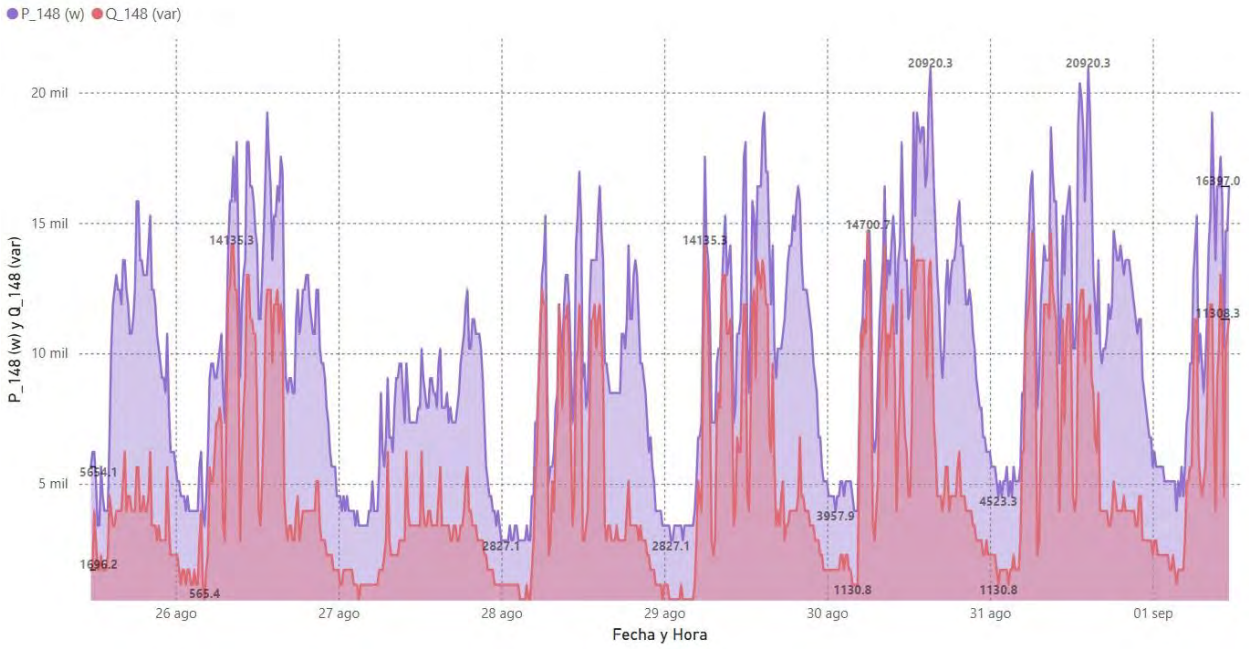
El análisis del perfil de tensión evidencia que no se registraron mediciones por debajo del límite inferior establecido. No obstante, se identificaron valores de tensión relativamente bajos, registrándose un valor mínimo de 0.950021 p.u. y un valor máximo de 0.966445 p.u. durante el periodo de medición. Estos resultados reflejan fluctuaciones de tensión a lo largo del tiempo, aunque dentro de los límites normativos permitidos.

Desde el punto de vista operativo, el transformador de 25 kVA de la SED 2000115 opera al 52.76 % de su capacidad nominal, condición que descarta un estado de sobrecarga y garantiza un margen adecuado frente a eventuales incrementos de demanda. Sin embargo, pese a operar en condiciones adecuadas de carga, el perfil de tensiones evidencia fluctuaciones y valores bajos de tensión, aunque sin incumplir los parámetros de calidad establecidos en la NTCSER, al no registrarse mediciones por debajo del límite inferior de 0.94 p.u.

En consecuencia, se concluye que la calidad de la tensión suministrada en la SED 2000115 cumple con los parámetros establecidos por la NTCSER. No obstante, la presencia de mediciones de tensión cercanas al límite inferior permitido indica condiciones de regular calidad de tensión en este punto de la red troncal, lo que podría afectar la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico para los usuarios conectados al alimentador PM-06, particularmente en la línea troncal.

❖ **En la SED con código: 2000148**

Figura 3.18: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000148.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

El análisis de la **figura 3.18**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 25 de agosto al 01 de setiembre de 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000148, equipada con un transformador de 25 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 104.00 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación critica, ya que el transformador trabaja a más de su capacidad, lo que no garantiza un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda y es más probable que se presenten riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del suministro eléctrico.

Figura 3.19: Perfil de tensiones de la SED: 2000148.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.19**, se muestra el perfil de tensiones de la SED 2000148 en media tensión (MT), expresado en el sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia de ± 6.0 %, correspondiente a un rango admisible entre 0.94 p.u. y 1.06 p.u., conforme a la NTCSER.

El análisis del perfil de tensión evidencia la presencia de caídas de tensión recurrentes, registrándose un total de 71 mediciones por debajo del límite inferior permitido. El valor mínimo alcanzado fue de 0.935849 p.u., mientras que los valores máximos dentro de este rango llegaron hasta 0.953787 p.u., lo que refleja fluctuaciones significativas de la tensión a lo largo del periodo de medición, así como indicios de desbalance de tensiones entre fases que afectan la estabilidad del suministro eléctrico en este punto de la red.

Desde el punto de vista operativo, el transformador de 25 kVA de la SED 2000148 opera en condiciones críticas, al registrar un nivel de carga aproximado del 104.00 % de su capacidad

nominal. Esta condición evidencia que el equipo trabaja por encima de sus límites operativos, sin disponer de margen de seguridad frente a incrementos de demanda, lo que incrementa el riesgo de sobrecarga y agrava las afectaciones en la calidad del suministro eléctrico. En concordancia con ello, el perfil de tensiones registrado no cumple con los parámetros de calidad establecidos por la NTCSER, al presentar un número significativo de mediciones por debajo del límite inferior permitido.

En consecuencia, se concluye que la energía suministrada en la SED 2000148 presenta condiciones de mala calidad de tensión en este punto de la red troncal, situación que compromete la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico para los usuarios conectados al alimentador PM-06, particularmente en la línea troncal.

De manera global, el análisis del comportamiento de la línea troncal del alimentador PM-06 permite concluir que las deficiencias en la calidad de la tensión se incrementan conforme aumenta la distancia desde la salida del alimentador, fenómeno directamente asociado a la longitud del conductor y a una gestión inadecuada de la potencia reactiva en la red de distribución. En este contexto, la SED 2000113, al encontrarse ubicada en el inicio del alimentador, no presenta desbalance de tensiones ni caídas significativas, debido a una mejor condición de soporte de potencia reactiva. Sin embargo, a medida que el alimentador se extiende, se evidencian mayores caídas de tensión y desbalances asociados al incremento de las pérdidas reactivas, como se observa en las SED 2000104 y 2000115, ubicadas en la zona intermedia de la troncal, y de forma más crítica en las SED 2000148, 2000109 y 2000110, situadas hacia el extremo final o cola del alimentador PM-06. Si bien el alimentador cuenta con un mayor número de SED a lo largo de su recorrido, el presente análisis se ha limitado a estas subestaciones representativas, las cuales

permiten evidenciar el deterioro progresivo del perfil de tensión como consecuencia de la insuficiente compensación de potencia reactiva a lo largo de la línea troncal.

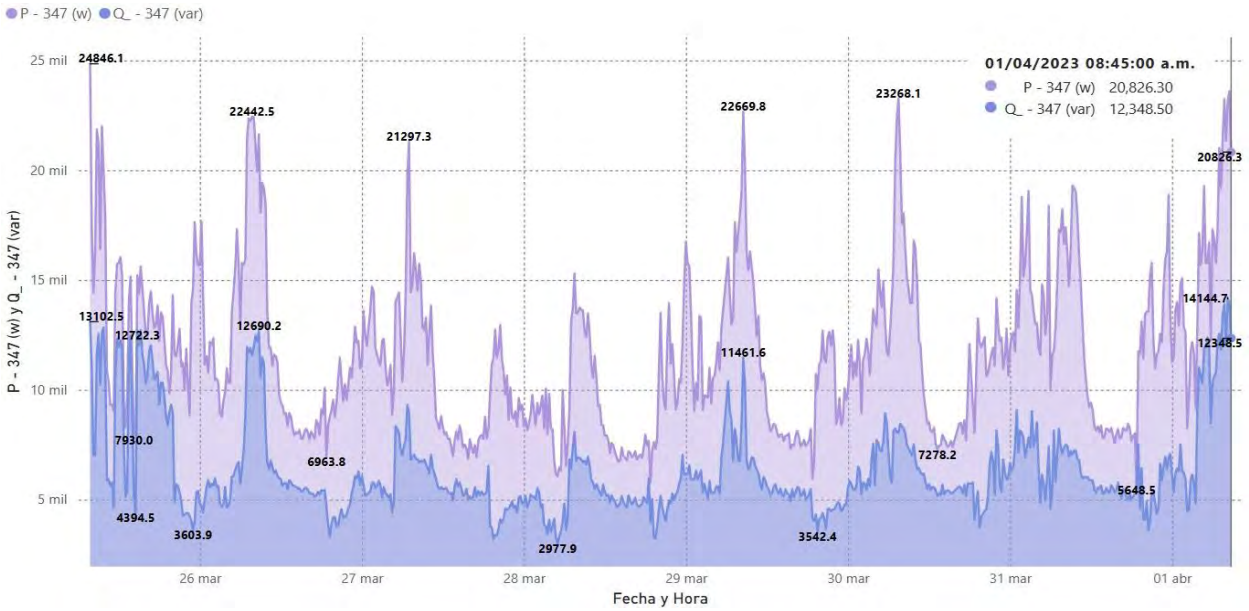
3.4.4.2. Nodos representativos en el ramal 01.

El Ramal 01 se encuentra definida según la distribución topológica de nuestra red principal, la cual parte desde el Nodo MT 200006716, abarca los centros poblados de Tres Islas y Chorrillos. Se trata de una línea extensa con una longitud aproximada de 18.752 kilómetros.

En la presente sección, se presentan los resultados obtenidos del análisis de datos de medición correspondientes a los siguientes nodos de monitoreo representativos perteneciente al Ramal 01: 2000347 y 2000349.

- **En la SED con código: 2000347.**

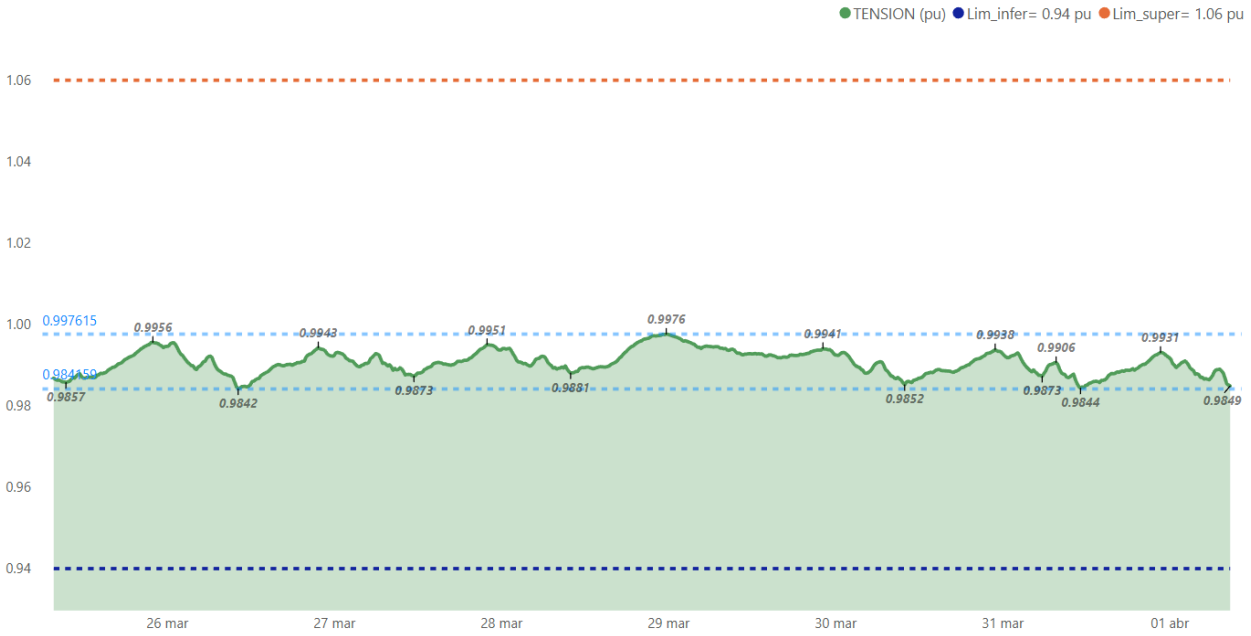
Figura 3.20: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000347.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.20**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 25 de marzo al 01 de abril del 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000347, equipada con un transformador de 50 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 54.06 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación adecuada, ya que el transformador trabaja a la mitad de su capacidad, garantizando un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda y evitando riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del suministro eléctrico.

Figura 3.21: Perfil de tensiones de la SED: 2000347.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

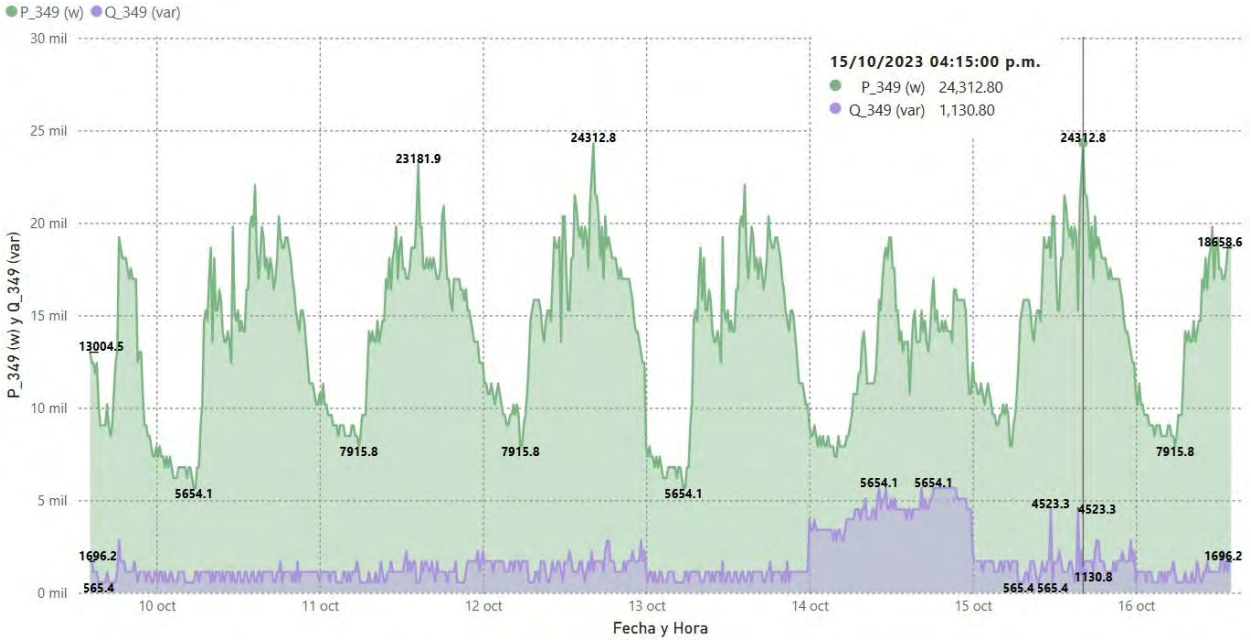
En la **figura 3.21**, se presenta el perfil de tensiones de la SED 2000347 en media tensión (MT). Las mediciones se expresan en sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia previamente descrita de ± 6.0 %, lo que equivale a un límite inferior de 0.94 p.u. y un límite superior de 1.06 p.u. Los resultados obtenidos muestran que no se registraron mediciones por

debajo del límite inferior, por lo que no se supera el umbral permitido. El valor mínimo registrado fue de 0.984151 p.u., mientras que el valor máximo alcanzó 0.997615 p.u.

El análisis de la SED 2000347 permite concluir que el transformador de 50 kVA opera en condiciones adecuadas, al mantener su nivel de carga en aproximadamente 54.06 % de su capacidad nominal. Esta condición garantiza un margen de seguridad frente a eventuales incrementos de demanda y evita riesgos de sobrecarga que puedan comprometer la calidad del suministro eléctrico. Asimismo, el perfil de tensiones registrado se mantiene dentro de los parámetros de calidad establecidos por la NTCSER, dado que no se presentaron mediciones por debajo del límite inferior de 0.94 p.u. En consecuencia, la energía suministrada en este punto del Ramal 01 cumple con las condiciones de calidad requeridas, asegurando niveles adecuados de confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico para los usuarios conectados a dicho ramal.

- **En la SED con código: 2000349.**

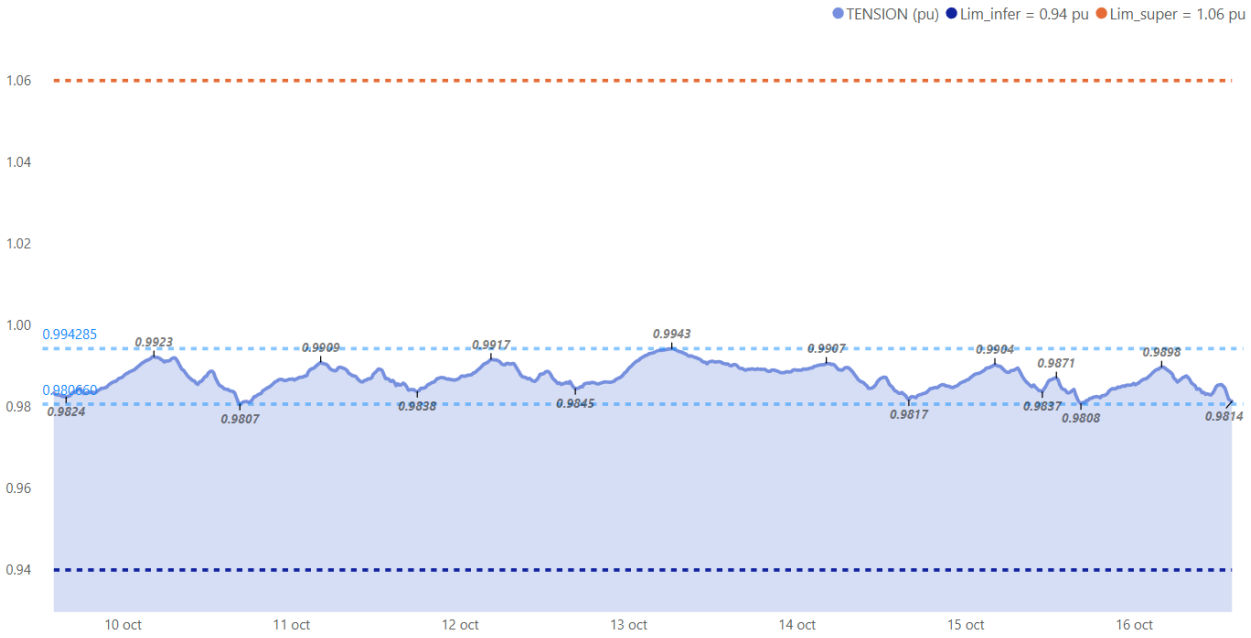
Figura 3.22: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000349.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.22**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 09 al 16 de setiembre del 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000349, equipada con un transformador de 50 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 52.00 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación adecuada, ya que el transformador trabaja a la mitad de su capacidad, garantizando un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda y evitando riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del suministro eléctrico.

Figura 3.23: Perfil de tensiones de la SED: 2000349.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.23**, se presenta el perfil de tensiones de la SED 2000349 en media tensión (MT). Las mediciones se expresan en sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia previamente descrita de ± 6.0 %, lo que equivale a un límite inferior de 0.94 p.u. y un límite

superior de 1.06 p.u. Los resultados obtenidos muestran que no se registraron mediciones por debajo del límite inferior, por lo que no se supera el umbral permitido. El valor mínimo registrado fue de 0.980660 p.u., mientras que el valor máximo alcanzó 0.994285 p.u.

El análisis de la SED 2000349 permite concluir que el transformador de 50 kVA opera en condiciones adecuadas, al mantener su carga en torno al 52.00 % de su capacidad nominal. Esta condición garantiza un margen de seguridad frente a eventuales incrementos de demanda y evita riesgos de sobrecarga que puedan comprometer la calidad del suministro eléctrico. Asimismo, el perfil de tensiones registrado se mantiene dentro de los parámetros de calidad establecidos por la NTCSER, dado que no se presentaron mediciones por debajo del límite inferior de 0.94 p.u. En consecuencia, la energía suministrada en este punto del Ramal 01 cumple con las condiciones de calidad requeridas para asegurar la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico a los usuarios conectados a dicho ramal.

El análisis integral del Ramal 01 permite concluir que las SED evaluadas operan bajo condiciones adecuadas de carga, manteniéndose por debajo de su capacidad máxima instalada, lo que garantiza un margen de seguridad frente a incrementos de demanda y reduce el riesgo de sobrecarga. En relación con el perfil de tensiones, las mediciones se encuentran dentro del rango permitido por la NTCSER (0.94 p.u. – 1.06 p.u.), sin registrarse valores por debajo del límite inferior. No obstante, se observa que los niveles de tensión tienden a aproximarse al umbral mínimo normativo, situación que, de mantenerse ante un incremento de carga o mayor demanda de potencia reactiva, podría derivar en condiciones de deterioro de la calidad de la tensión. Por ello, si bien el Ramal 01 cumple actualmente con los parámetros normativos, resulta recomendable

la implementación de medidas preventivas de regulación de tensión que permitan asegurar, a largo plazo, la confiabilidad y calidad del suministro eléctrico.

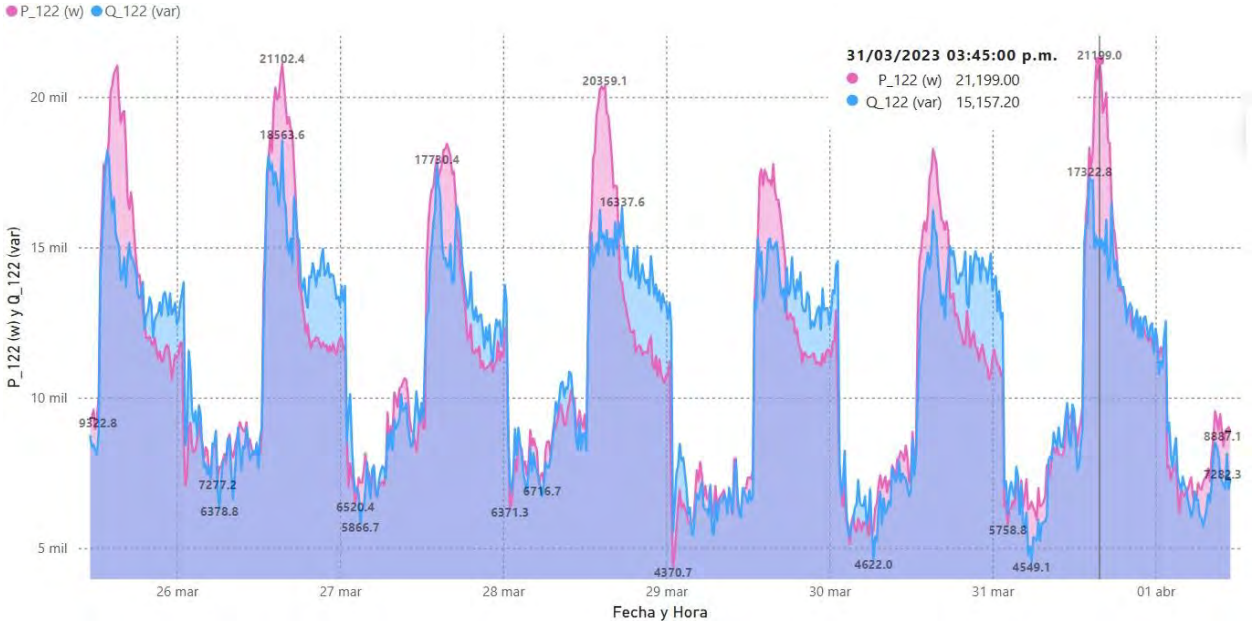
3.4.4.3. Nodos representativos en el ramal 02.

El Ramal 02 se encuentra definida según la distribución topológica de nuestra red principal, la cual parte desde el Nodo MT 200006740, abarca la base aérea FAP. Se trata de una línea extensa con una longitud aproximada de 2.352 kilómetros.

En la presente sección, se presentan los resultados obtenidos del análisis de datos de medición correspondientes a los siguientes nodos de monitoreo representativos perteneciente al Ramal 02: 2000122

- **En la SED con código: 2000122.**

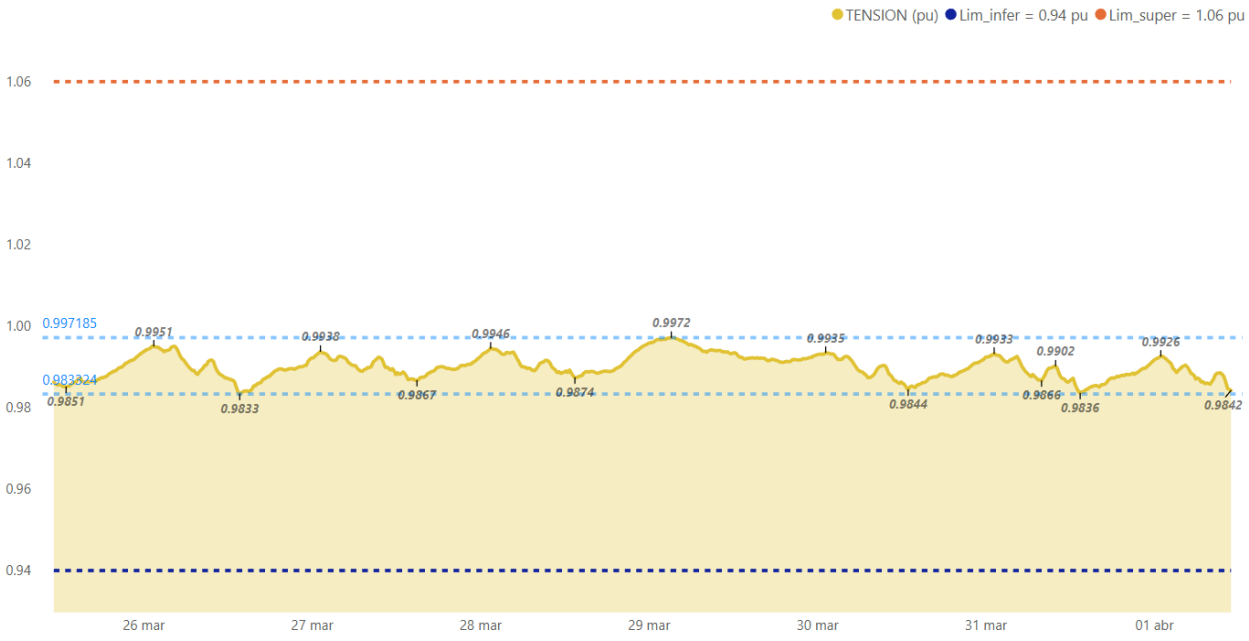
Figura 3.24: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000122.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.24**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 25 de marzo al 01 de abril del 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000122, equipada con un transformador de 160 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 32.16 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación adecuada, ya que el transformador trabaja a menos de la mitad de su capacidad, garantizando un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda y evitando riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del suministro eléctrico.

Figura 3.25: Perfil de tensiones de la SED: 2000122.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.25**, se presenta el perfil de tensiones de la SED 2000122 en media tensión (MT). Las mediciones se expresan en sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia previamente descrita de ± 6.0 %, lo que equivale a un límite inferior de 0.94 p.u. y un límite

superior de 1.06 p.u. Los resultados obtenidos muestran que no se registraron mediciones por debajo del límite inferior, por lo que no se supera el umbral permitido. El valor mínimo registrado fue de 0.983324 p.u., mientras que el valor máximo alcanzó 0.997185 p.u.

El análisis de la SED 2000122 permite concluir que el transformador de 160 kVA opera en condiciones adecuadas, al mantener su carga en torno al 32.16 % de su capacidad nominal. Esta condición garantiza un margen de seguridad frente a eventuales incrementos de demanda y evita riesgos de sobrecarga que puedan comprometer la calidad del suministro eléctrico. Asimismo, el perfil de tensiones registrado se mantiene dentro de los parámetros de calidad establecidos por la NTCSER, dado que no se presentaron mediciones por debajo del límite inferior de 0.94 p.u. En consecuencia, la energía suministrada en este punto del Ramal 02 cumple con las condiciones de calidad requeridas para asegurar la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico a los usuarios conectados a dicho ramal.

El análisis integral del Ramal 02 permite concluir que la SED evaluada opera bajo condiciones adecuadas de carga, manteniéndose por debajo de su capacidad máxima instalada, lo que garantiza un margen de seguridad frente a incrementos de demanda y reduce el riesgo de sobrecarga. En relación con el perfil de tensiones, las mediciones se encuentran dentro del rango permitido por la NTCSER (0.94 p.u. – 1.06 p.u.), sin registrarse valores por debajo del límite inferior. Esta condición confirma que la energía suministrada en el Ramal 02 cumple con los parámetros de calidad establecidos, asegurando la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico para los usuarios conectados a esta sección de la red.

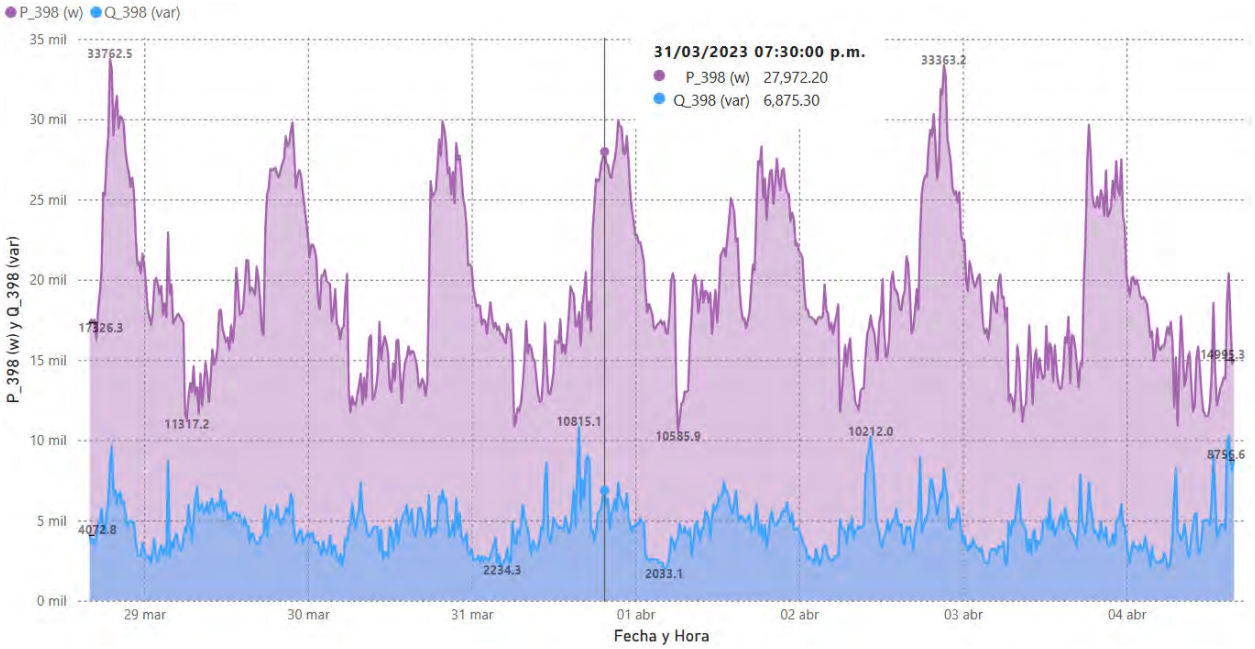
3.4.4.4. Nodos representativos en el ramal 03.

El Ramal 03 se encuentra definida según la distribución topológica de nuestra red principal, la cual parte desde el Nodo MT 200012275, abarca las zonas Fundo de Virgen del Chapi, Chonta, Infierno e Isuyama. Se trata de una línea extensa con una longitud aproximada de 28.121 kilómetros.

En la presente sección, se presentan los resultados obtenidos del análisis de datos de medición correspondientes a los siguientes nodos de monitoreo representativos perteneciente al Ramal 03: 2000398 y 2000400.

- **En la SED con código: 2000398.**

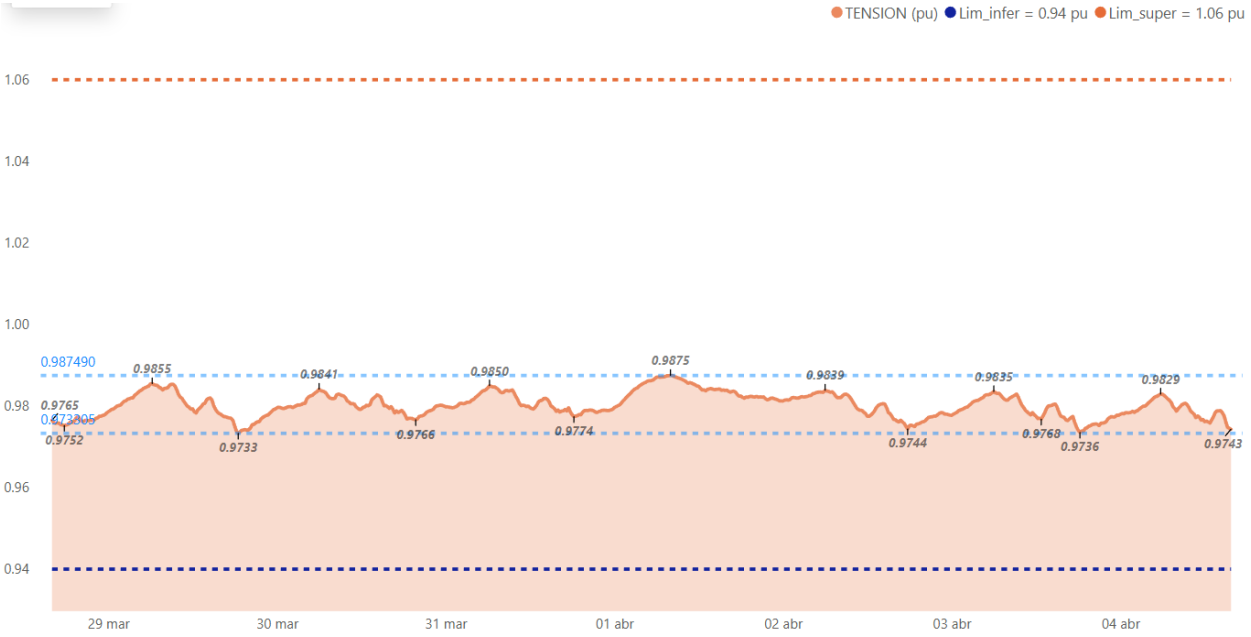
Figura 3.26: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000398.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

El análisis de la **figura 3.26**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 28 de marzo al 04 de abril del 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000398, equipada con un transformador de 37.50 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 92.88 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación relativamente alta, ya que el transformador trabaja a más de la mitad de su capacidad, por lo que no garantiza un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda, por lo que se sugiere repotenciar el transformador y evitar riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del suministro eléctrico.

Figura 3.27: Perfil de tensiones de la SED: 2000398.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

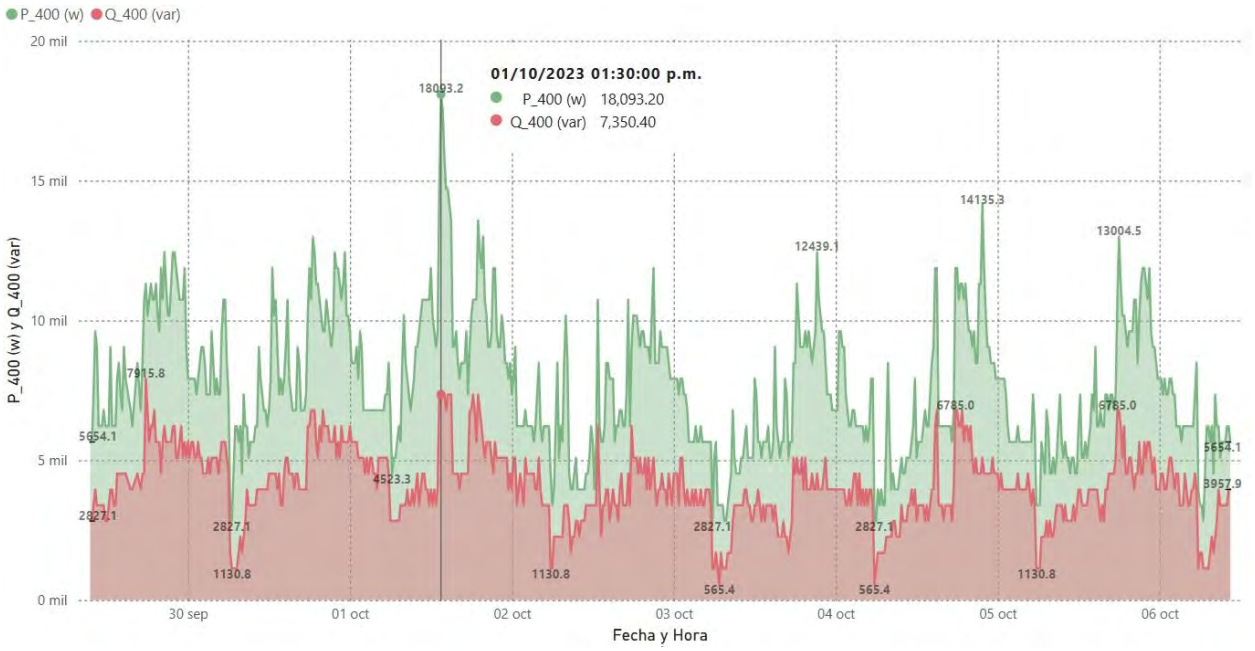
En la **figura 3.27**, se presenta el perfil de tensiones de la SED 2000398 en media tensión (MT). Las mediciones se expresan en sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia

previamente descrita de ± 6.0 %, lo que equivale a un límite inferior de 0.94 p.u. y un límite superior de 1.06 p.u. Los resultados obtenidos muestran que no se registraron mediciones por debajo del límite inferior, por lo que no se supera el umbral permitido. El valor mínimo registrado fue de 0.973305 p.u., mientras que el valor máximo alcanzó 0.987490 p.u.

El análisis de la SED 2000398 permite concluir que el transformador de 37.50 kVA opera bajo condiciones de carga relativamente elevadas, al mantener un nivel de utilización aproximado del 92.88 % de su capacidad nominal. Esta condición evidencia un margen de seguridad reducido frente a eventuales incrementos de demanda, incrementando la probabilidad de sobrecarga y potenciales afectaciones en la calidad del suministro eléctrico. No obstante, el perfil de tensiones registrado se mantiene dentro de los parámetros de calidad establecidos por la NTCSER, dado que no se presentaron mediciones por debajo del límite inferior de 0.94 p.u. En consecuencia, la energía suministrada en este punto del Ramal 03 cumple con las condiciones de calidad requeridas para asegurar la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico para los usuarios conectados al alimentador.

❖ **En la SED con código: 2000400.**

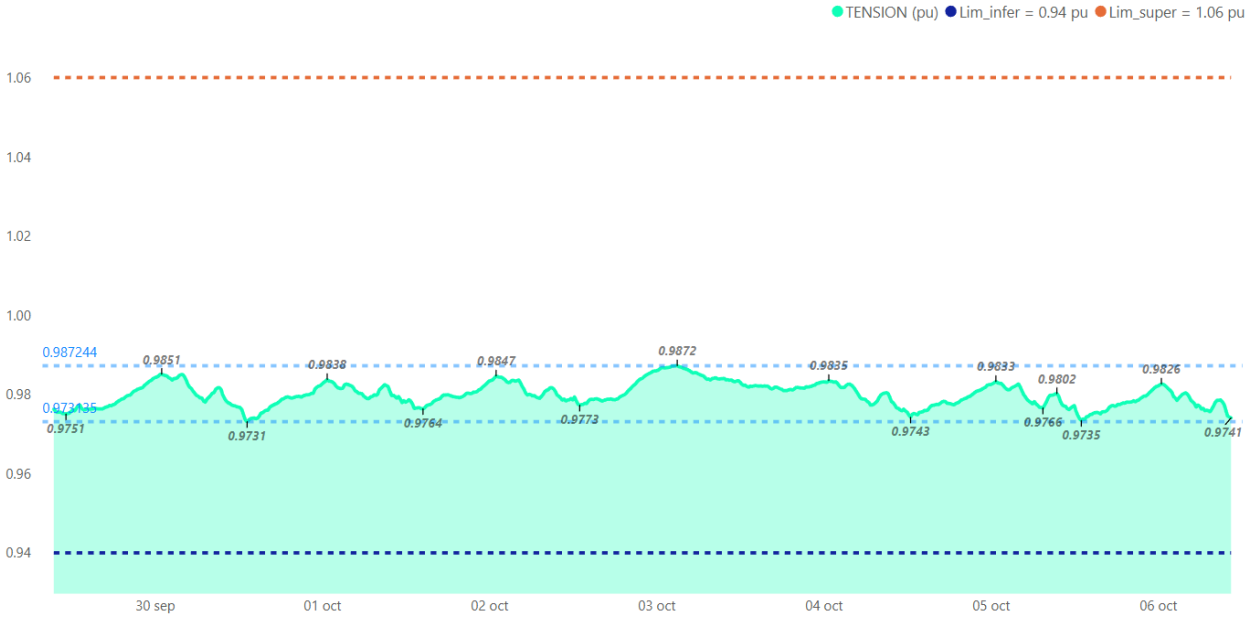
Figura 3.28: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000400.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.28**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 29 de setiembre al 06 de octubre del 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000400, equipada con un transformador de 37.50 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 53.52 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación relativamente alta, ya que el transformador trabaja a más de la mitad de su capacidad, por lo que no garantiza un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda, por lo que se sugiere repotenciar el transformador y evitar riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del suministro eléctrico.

Figura 3.29: Perfil de tensiones de la SED: 2000400.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.29**, se presenta el perfil de tensiones de la SED 2000400 en media tensión (MT). Las mediciones se expresan en sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia previamente descrita de ± 6.0 %, lo que equivale a un límite inferior de 0.94 p.u. y un límite superior de 1.06 p.u. Los resultados obtenidos muestran que no se registraron mediciones por debajo del límite inferior, por lo que no se supera el umbral permitido. El valor mínimo registrado fue de 0.973135 p.u., mientras que el valor máximo alcanzó 0.987244 p.u.

El análisis de la SED 2000400 permite concluir que el transformador de 37.50 kVA opera en condiciones adecuadas, al mantener un nivel de carga aproximado del 53.52 % de su capacidad nominal. Esta condición garantiza un margen de seguridad frente a eventuales incrementos de demanda y descarta riesgos inmediatos de sobrecarga que puedan afectar la calidad del suministro eléctrico. Asimismo, el perfil de tensiones registrado se mantiene dentro de los parámetros de

calidad establecidos por la NTCSER, dado que no se presentaron mediciones por debajo del límite inferior de 0.94 p.u. En consecuencia, la energía suministrada en este punto del Ramal 03 cumple con las condiciones de calidad requeridas para garantizar la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico para los usuarios conectados a dicho ramal.

El análisis integral del Ramal 03 permite concluir que las SED evaluadas presentan condiciones de operación heterogéneas, con niveles de carga relativamente elevados en algunos casos, alcanzando valores cercanos a su capacidad máxima instalada. Esta situación reduce el margen de seguridad frente a incrementos de demanda y aumenta el riesgo potencial de sobrecarga en determinados puntos de la red. No obstante, desde el punto de vista del perfil de tensiones, las mediciones se mantienen dentro del rango permitido por la NTCSER (0.94 p.u. – 1.06 p.u.), sin registrarse valores por debajo del límite inferior. En este contexto, si bien la calidad de la tensión en el Ramal 03 cumple con los parámetros normativos vigentes, resulta recomendable evaluar acciones preventivas, tales como la repotenciación de transformadores o la redistribución de la demanda, con el fin de garantizar la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico en el mediano y largo plazo.

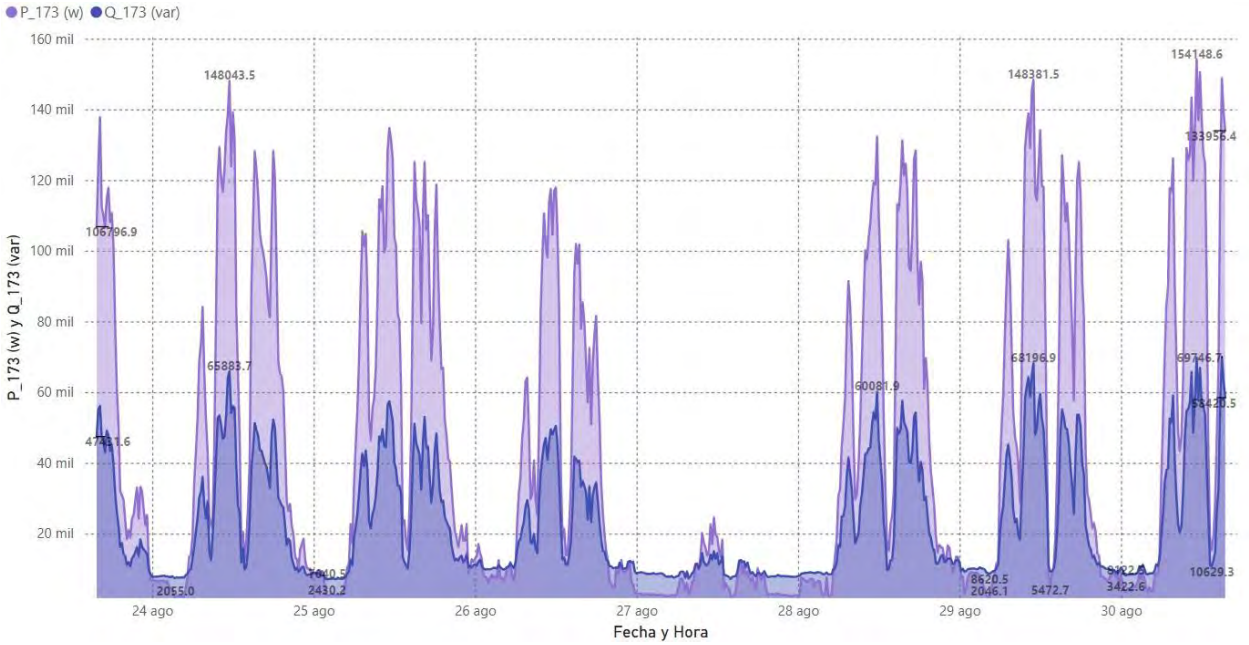
3.4.4.5. Nodos representativos en el ramal 04.

El Ramal 04 se encuentra definida según la distribución topológica de nuestra red principal, la cual parte desde el Nodo MT 200000757, abarca las zonas Alejandro Toledo y Laberinto. Se trata de una línea extensa con una longitud aproximada de 08.443 kilómetros.

En la presente sección, se presentan los resultados obtenidos del análisis de datos de medición correspondientes a los siguientes nodos de monitoreo representativos perteneciente al Ramal 04: 2000173 y 2000404.

- **En la SED: 2000173.**

Figura 3.30: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000173.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.30**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 23 al 30 de agosto del 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000173, equipada con un transformador de 400 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 42.30 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación adecuada, ya que el transformador trabaja a menos de la mitad de su capacidad, garantizando un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda y evitando riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del suministro eléctrico.

Figura 3.31: Perfil de tensiones de la SED: 2000173.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.31**, se presenta el perfil de tensiones de la SED 2000173 en media tensión (MT). Las mediciones se expresan en sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia previamente descrita de ± 6.0 %, lo que equivale a un límite inferior de 0.94 p.u. y un límite superior de 1.06 p.u. Los resultados evidencian la presencia de un número significativo de caídas de tensión, registrándose 404 mediciones por debajo del límite inferior, superando ampliamente el umbral permitido. El valor mínimo registrado fue de 0.928600 p.u., mientras que el valor máximo dentro de este rango alcanzó 0.947990 p.u.

Desde el punto de vista operativo, el análisis de la SED 2000173, equipada con un transformador de 400 kVA, muestra que la carga se mantiene en torno al 42.30 % de su capacidad nominal. Esta condición indica un estado de operación adecuado, con un margen de seguridad suficiente frente a eventuales incrementos de demanda y sin evidencia de sobrecarga. No obstante,

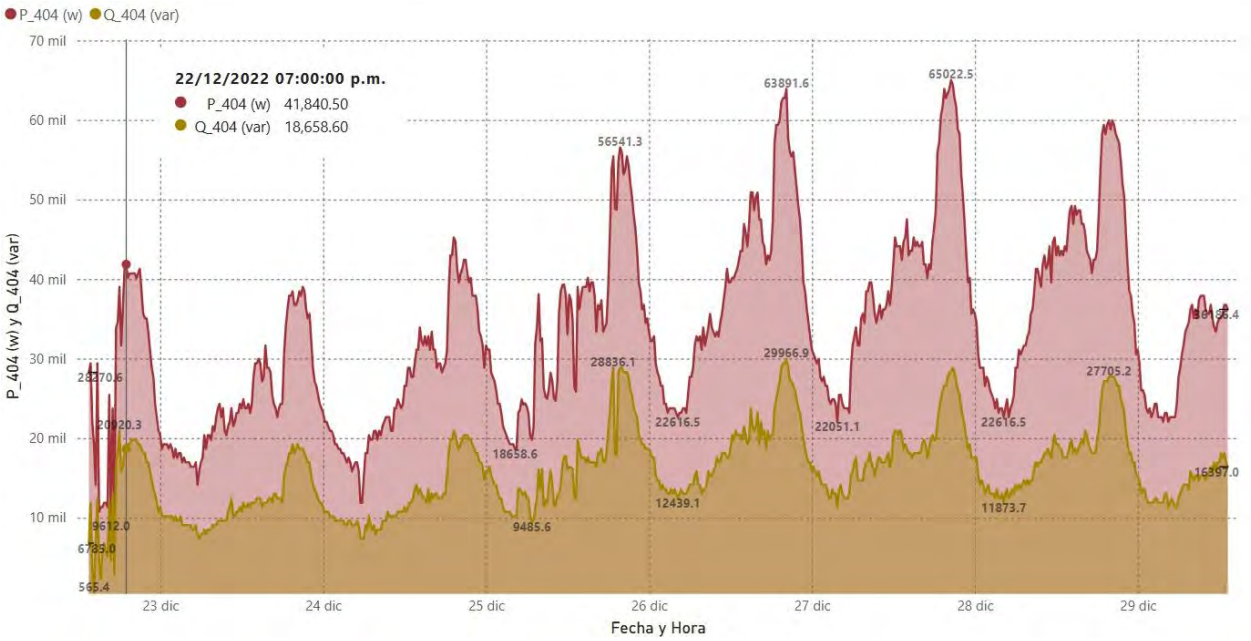
pese a operar con una utilización moderada del transformador, el perfil de tensiones presenta un comportamiento claramente deficiente.

El elevado número de registros por debajo del límite inferior de 0.94 p.u. evidencia un incumplimiento de los parámetros de calidad de tensión establecidos por la NTCSER, lo que confirma la existencia de problemas de regulación de tensión en este punto del ramal. Esta situación se asocia principalmente a las características eléctricas de la red de distribución, tales como la longitud del conductor y la demanda de potencia reactiva, más que a la capacidad del transformador instalado.

En consecuencia, la energía suministrada en la SED 2000173 presenta condiciones de mala calidad de tensión, lo que compromete la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico para los usuarios conectados a este ramal. Estos resultados justifican la necesidad de implementar medidas correctivas orientadas a la compensación de potencia reactiva y a la mejora del perfil de tensión, con el fin de garantizar el cumplimiento normativo y la adecuada calidad del suministro eléctrico.

❖ **En la SED: 2000404.**

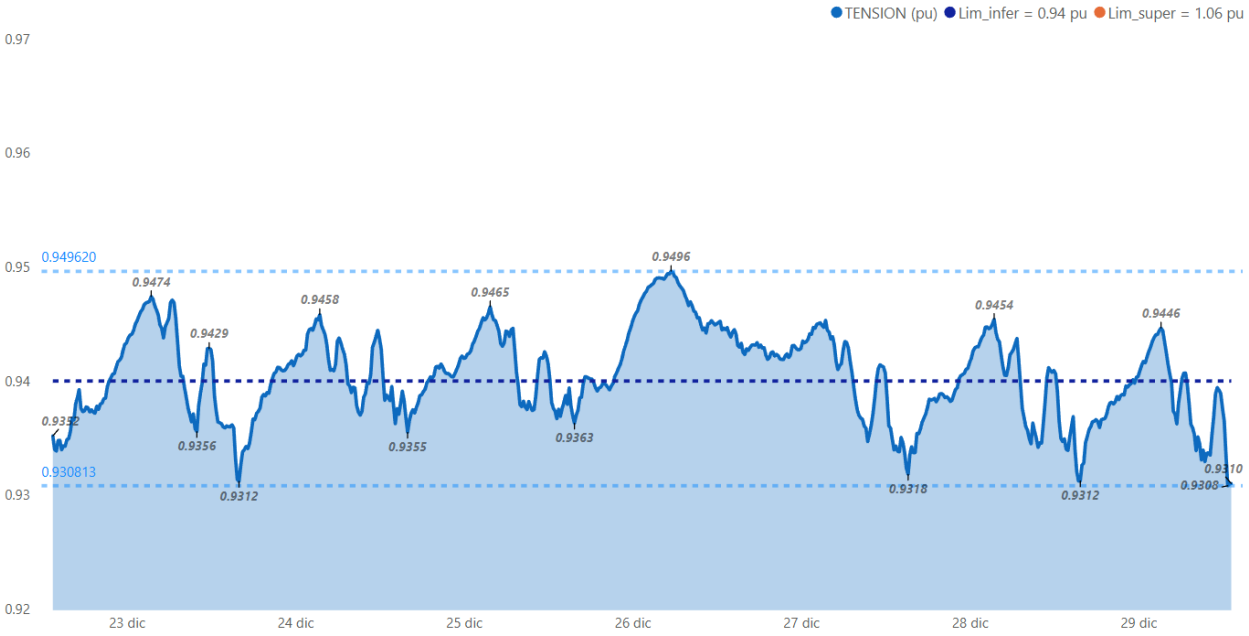
Figura 3.32: Medición de potencia activa y reactiva de la SED: 2000404.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.32**, se evidencia el comportamiento de la potencia activa y reactiva de la SED en el periodo comprendido entre el 22 y el 29 de diciembre del 2024, con un total de 672 registros obtenidos cada 15 minutos. Para la SED 2000404, equipada con un transformador de 100 kVA, se observa que la operación se mantiene en torno al 70.94 % de su capacidad máxima de carga. Este resultado revela una condición de operación adecuada, ya que el transformador trabaja a menos de la mitad de su capacidad, garantizando un margen de seguridad frente a posibles incrementos de demanda y evitando riesgos de sobrecarga o afectaciones en la calidad del suministro eléctrico.

Figura 3.33: Perfil de tensiones de la SED: 2000404.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 3.33**, se presenta el perfil de tensiones de la SED 2000404 en media tensión (MT). Las mediciones se expresan en sistema por unidad (p.u.), considerando la tolerancia previamente descrita de ± 6.0 %, lo que equivale a un límite inferior de 0.94 p.u. y un límite superior de 1.06 p.u. Los resultados evidencian la presencia de caídas de tensión significativas, registrándose un total de 302 mediciones por debajo del límite inferior, superando el umbral permitido. El valor mínimo registrado fue de 0.930813 p.u., mientras que el valor máximo dentro de este rango alcanzó 0.949620 p.u.

Desde el punto de vista operativo, el análisis de la SED 2000404, equipada con un transformador de 100 kVA, muestra que su nivel de carga se mantiene en torno al 70.94 % de su capacidad nominal. Esta condición representa un estado de operación aceptable, con un margen de seguridad moderado frente a eventuales incrementos de demanda y sin evidencia de sobrecarga

inmediata. No obstante, pese a que el transformador no opera en condiciones críticas de carga, el perfil de tensiones registrado evidencia un incumplimiento de los parámetros de calidad establecidos por la NTCSER.

El elevado número de registros por debajo del límite inferior de 0.94 p.u. confirma la existencia de deficiencias en la regulación de tensión en este punto del Ramal 04, asociadas principalmente a las características eléctricas de la red de distribución, como la longitud del conductor y la demanda de potencia reactiva. Esta condición refleja una situación de mala calidad de tensión, que compromete la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico para los usuarios conectados a este ramal.

El análisis integral del Ramal 04 permite concluir que, si bien las SED evaluadas operan en condiciones de carga adecuadas y no superan su capacidad máxima instalada, el perfil de tensiones presenta incumplimientos reiterados de los límites normativos establecidos por la NTCSER (0.94 p.u. – 1.06 p.u.). Esta situación confirma que la energía suministrada en el Ramal 04 presenta condiciones deficientes de calidad de tensión, lo que hace necesaria la implementación de medidas correctivas orientadas a la regulación de tensión y compensación de potencia reactiva, a fin de restablecer el cumplimiento normativo y garantizar la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico a largo plazo.

3.4.5. Perdidas eléctricas en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Las pérdidas eléctricas corresponden a la energía que se disipa en un sistema eléctrico durante las etapas de generación, transmisión y, principalmente, distribución, como consecuencia de la resistencia de los conductores y del funcionamiento de los equipos eléctricos,

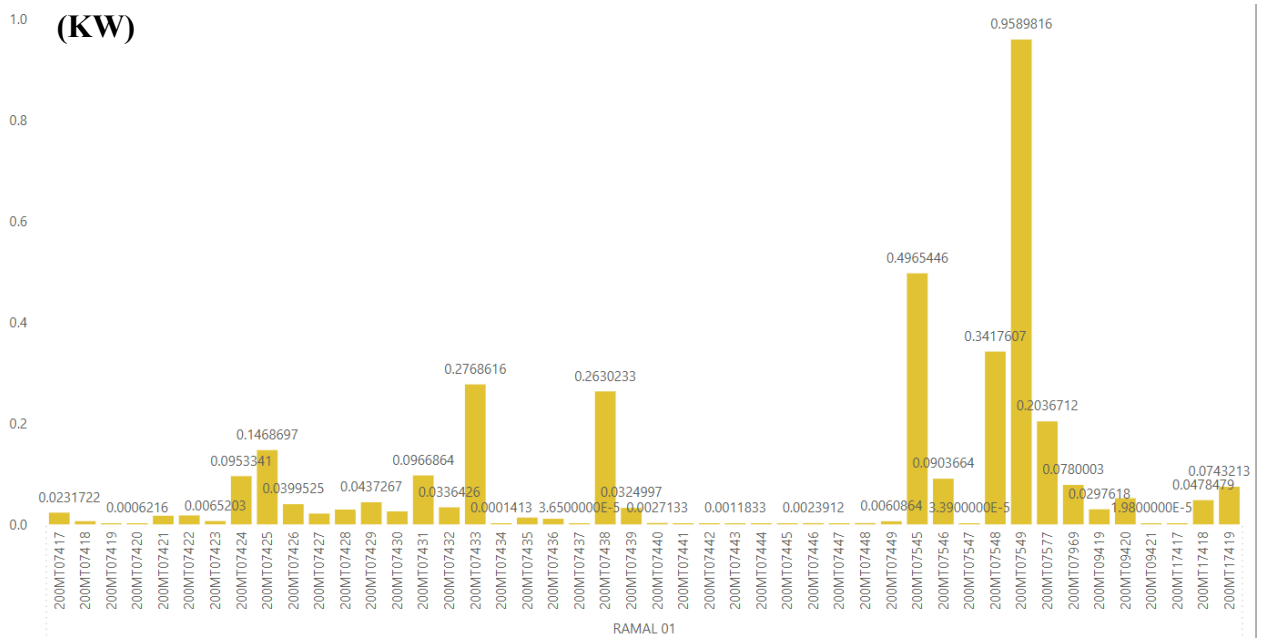
transformándose en calor y reduciendo la eficiencia global del sistema. Estas pérdidas se presentan de manera predominante en las líneas de distribución y en los transformadores de distribución.

En el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, se identifican pérdidas de origen técnico asociadas a las condiciones propias del sistema de distribución eléctrica. Para el presente análisis, se consideran las pérdidas en las líneas y en los transformadores de distribución a lo largo de todo el alimentador PM-06. Para nuestro análisis, se considera de igual manera las perdidas en la línea: Línea Troncal y las derivaciones (Ramal 01, Ramal 02, Ramal 03 y Ramal 04).

3.4.5.1. Perdidas eléctricas en el ramal 01 de alimentador PM-06.

El Ramal 01 presenta una longitud aproximada de 18.752 km, en el cual se evidencian pérdidas eléctricas en las líneas de distribución, registradas directamente en los distintos tramos de línea. Estas pérdidas se encuentran directamente relacionadas con el nivel de carga que circula por cada tramo del ramal, ya que un incremento de la corriente provoca un aumento proporcional de las pérdidas por efecto Joule. En este sentido, se registran una pérdida mínima de 0.000020 kW en el tramo 200MT09421, asociado a bajos niveles de carga, mientras que la pérdida máxima alcanza un valor de 0.958982 kW en el tramo 200MT07549, donde se concentra una mayor demanda. Estos resultados se presentan en la **figura 3.34**, evidenciando la influencia del comportamiento de carga en las pérdidas del ramal a lo largo del Ramal 01 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Figura 3.34: Perdidas eléctricas en las líneas de distribución del ramal 01 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

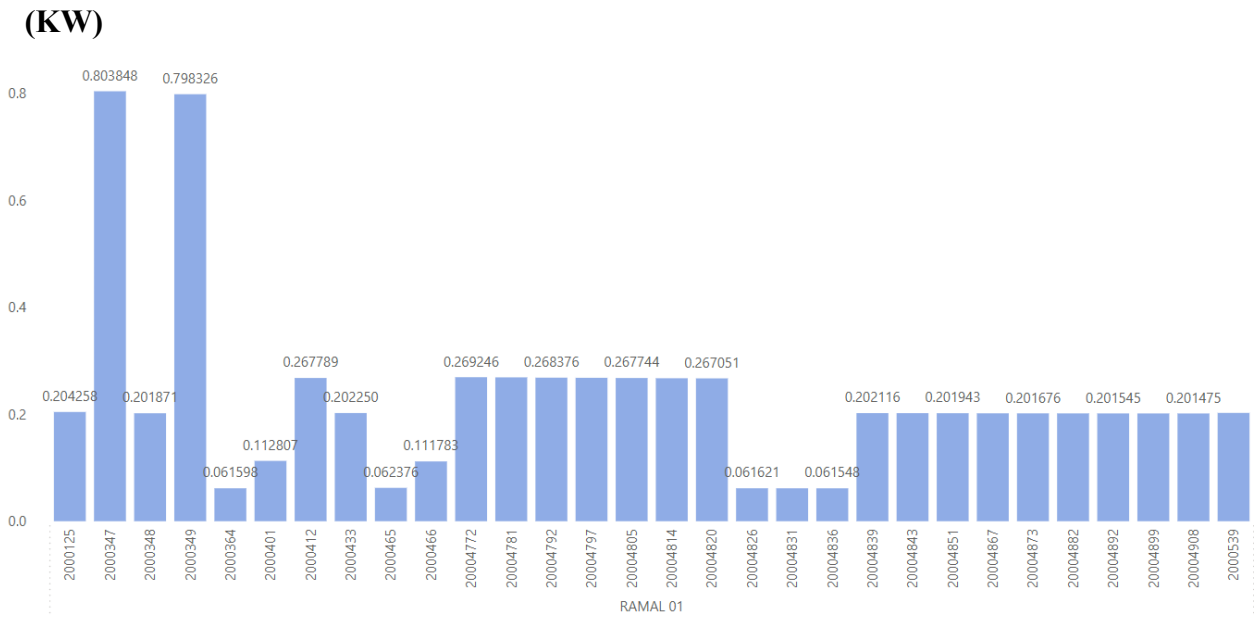


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

El Ramal 01 a lo largo del alimentador PM-06, cuenta con 58 barras que representan las estructuras de soporte de distribución y 26 transformadores de distribución, donde se evidencian pérdidas eléctricas asociadas a las subestaciones de distribución, originadas principalmente por el nivel de carga que atiende cada una de ellas. Estas pérdidas se encuentran directamente relacionadas con la demanda conectada, ya que un incremento de la carga implica un aumento de la corriente que circula por los transformadores de distribución, generando mayores pérdidas por efecto Joule. En este contexto, se registra una pérdida mínima de 0.059023 kW en la SED 200004836 que representa los bajos niveles de carga, mientras que la pérdida máxima alcanza un valor de 0.770945 kW en la SED 20000347 donde se concentra una mayor demanda. Estos resultados se presentan en la **figura 3.35**, se evidencia la influencia del comportamiento de carga en las pérdidas de las

subestaciones de distribución a lo largo del Ramal 01 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Figura 3.35: Perdidas eléctricas en los transformadores del ramal 01 del alimentador PM-06.



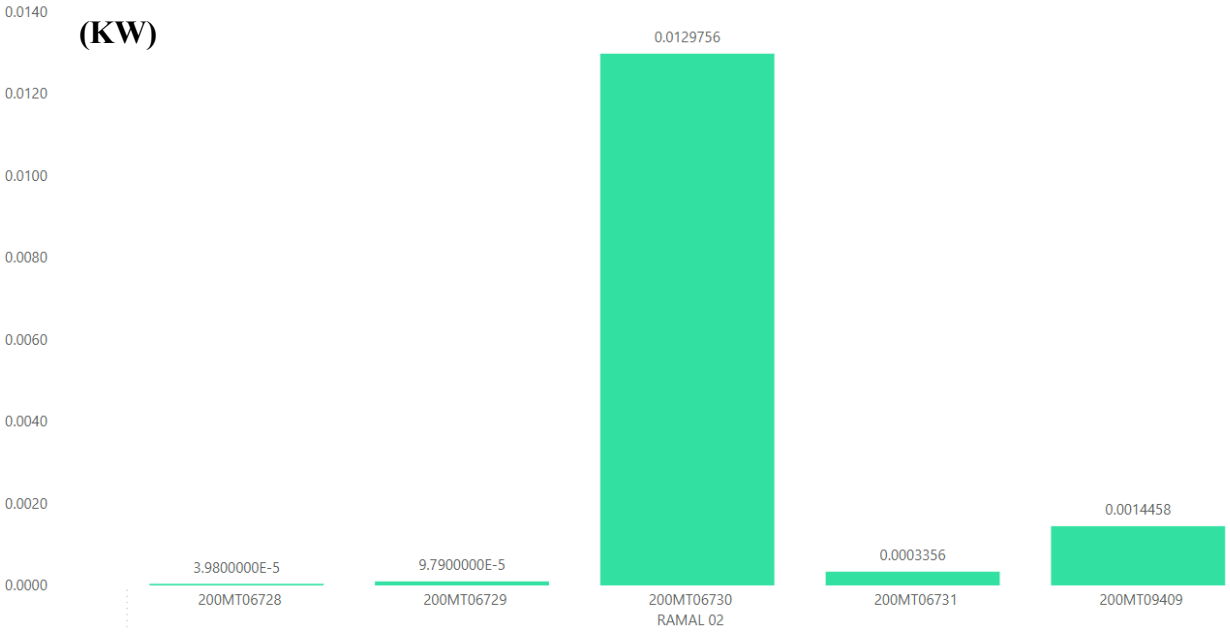
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

3.4.5.2. Perdidas eléctricas en el ramal 02 del alimentador PM-06.

El Ramal 02 presenta una longitud aproximada de 2.352 km, en el cual se evidencian pérdidas eléctricas en las líneas de distribución, registradas directamente en los distintos tramos de línea. Estas pérdidas se encuentran directamente relacionadas con el nivel de carga que circula por cada tramo del ramal, ya que un incremento de la corriente provoca un aumento proporcional de las pérdidas por efecto Joule. En este sentido, se registra una pérdida mínima de 0.0000398 kW en el tramo 200MT06728, asociado a bajos niveles de carga, mientras que la pérdida máxima alcanza un valor de 0.0129756 kW en el tramo 200MT06730, donde se concentra una mayor demanda. Estos resultados se presentan en la **figura 3.36**, evidenciando la influencia del

comportamiento de carga en las pérdidas del ramal a lo largo del Ramal 02 del alimentadorPM-06 de Puerto Maldonado.

Figura 3.36: Perdidas eléctricas en las líneas de distribución del ramal 02 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

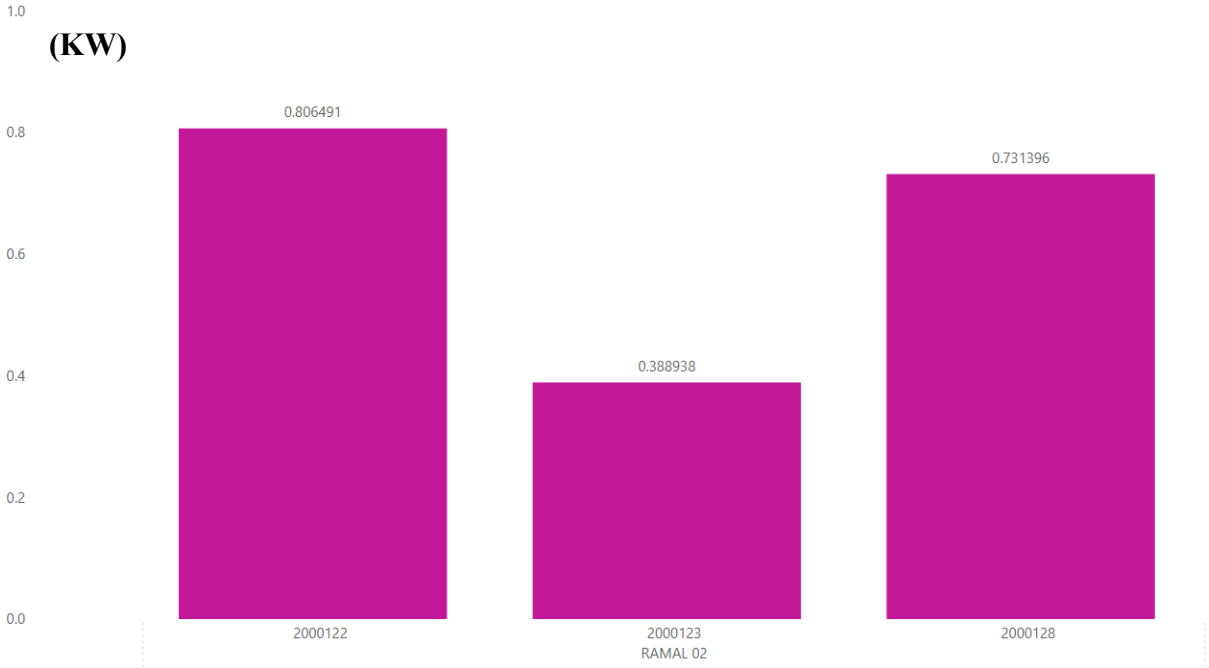


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

El Ramal 02 a lo largo del alimentador PM-06, cuenta con 8 barras que representan las estructuras de soporte de distribución y 3 transformadores de distribución, donde se evidencian pérdidas eléctricas asociadas a las subestaciones de distribución, originadas principalmente por el nivel de carga que atiende cada una de ellas. Estas pérdidas se encuentran directamente relacionadas con la demanda conectada, ya que un incremento de la carga implica un aumento de la corriente que circula por los transformadores de distribución, generando mayores pérdidas por efecto Joule. En este contexto, se registra una pérdida mínima de 0.3710265 kW en la SED 2000123 que representa los bajos niveles de carga, mientras que la pérdida máxima alcanza un valor de 0.7693287 kW en

la SED 20000122 donde se concentra una mayor demanda. Estos resultados se presentan en la **figura 3.37**, evidenciando la influencia del comportamiento de carga en las pérdidas de las subestaciones de distribución a lo largo del Ramal 02 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Figura 3.37: Perdidas eléctricas en los transformadores del ramal 02 del alimentador PM-06.



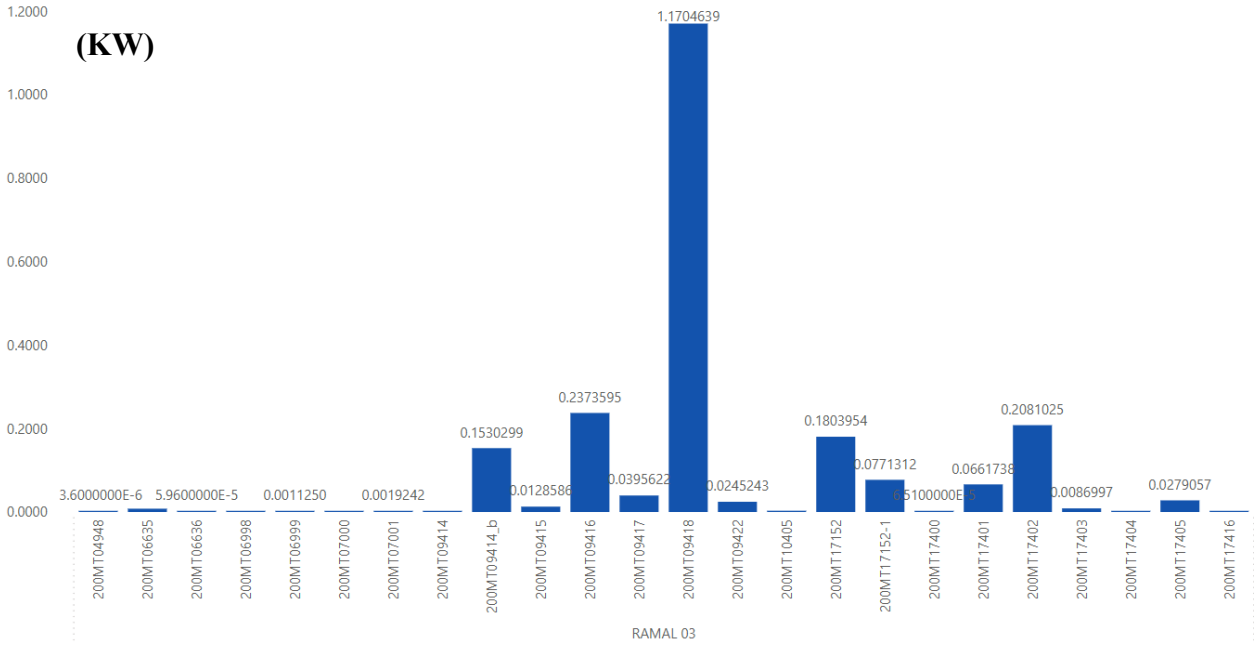
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

3.4.5.3. Perdidas eléctricas en el ramal 03 de PM-06 de Puerto Maldonado.

El Ramal 03 presenta una longitud aproximada de 28.121 km, en el cual se evidencian pérdidas eléctricas en las líneas de distribución, registradas directamente en los distintos tramos de línea. Estas pérdidas se encuentran directamente relacionadas con el nivel de carga que circula por cada tramo del ramal, ya que un incremento de la corriente provoca un aumento proporcional de las pérdidas por efecto Joule. En este sentido, se registra una pérdida mínima de 0.0000036 kW

en el tramo 200MT04948, asociado a bajos niveles de carga, mientras que la pérdida máxima alcanza un valor de 1.1704639 kW en el tramo 200MT09418, donde se concentra una mayor demanda. Estos resultados se presentan en la **figura 3.38**, evidenciando la influencia del comportamiento de carga en las pérdidas del ramal a lo largo del Ramal 03 del alimentadorPM-06 de Puerto Maldonado.

Figura 3.38: Perdidas eléctricas en las líneas de distribución del ramal 03 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

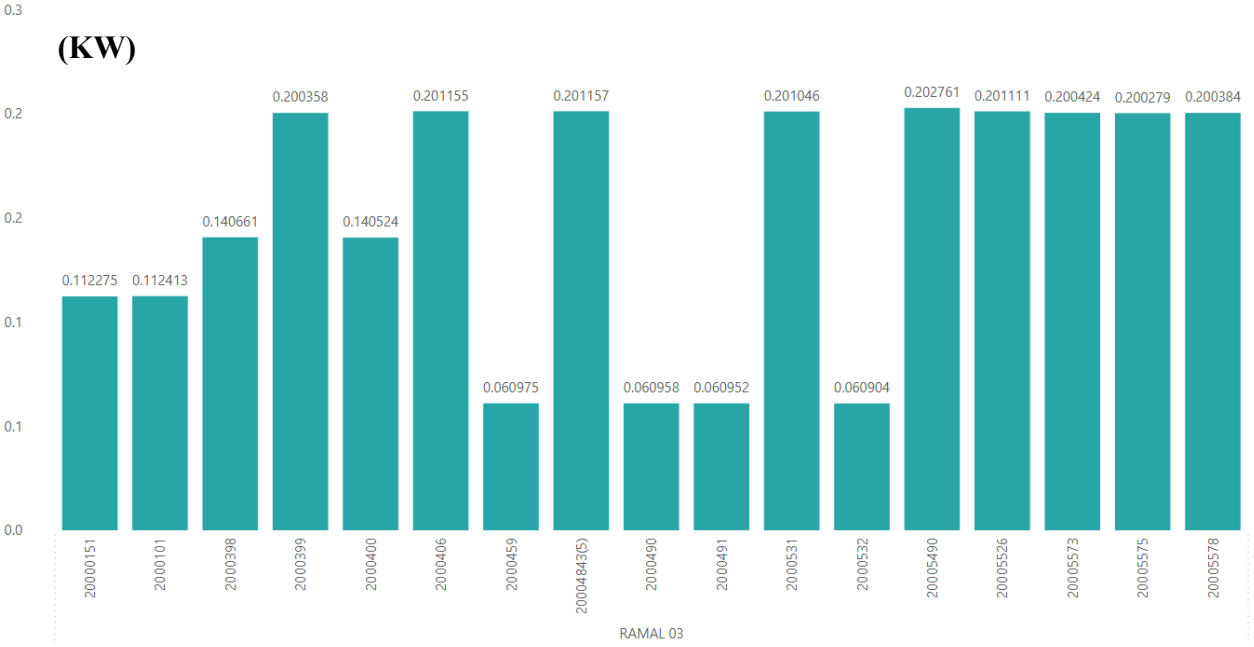


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

El Ramal 03 a lo largo del alimentador PM-06, cuenta con 8 barras que representan las estructuras de soporte de distribución y 20 transformadores de distribución, donde se evidencian pérdidas eléctricas asociadas a las subestaciones de distribución, originadas principalmente por el nivel de carga que atiende cada una de ellas. Estas pérdidas se encuentran directamente relacionadas con la demanda conectada, ya que un incremento de la carga implica un aumento de la corriente que

circula por los transformadores de distribución, generando mayores pérdidas por efecto Joule. En este contexto, se registra una pérdida mínima de 0.0578403 kW en la SED 2000532 que representa los bajos niveles de carga, mientras que las pérdidas alcanzan un valor máximo de 0.1926765 kW en la SED 20005490 donde se concentra una mayor demanda. Estos resultados se presentan en la **figura 3.39**, evidenciando la influencia del comportamiento de carga en las pérdidas de las subestaciones de distribución a lo largo del Ramal 03 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Figura 3.39: Perdidas eléctricas en los transformadores del ramal 03 del alimentador PM-06.



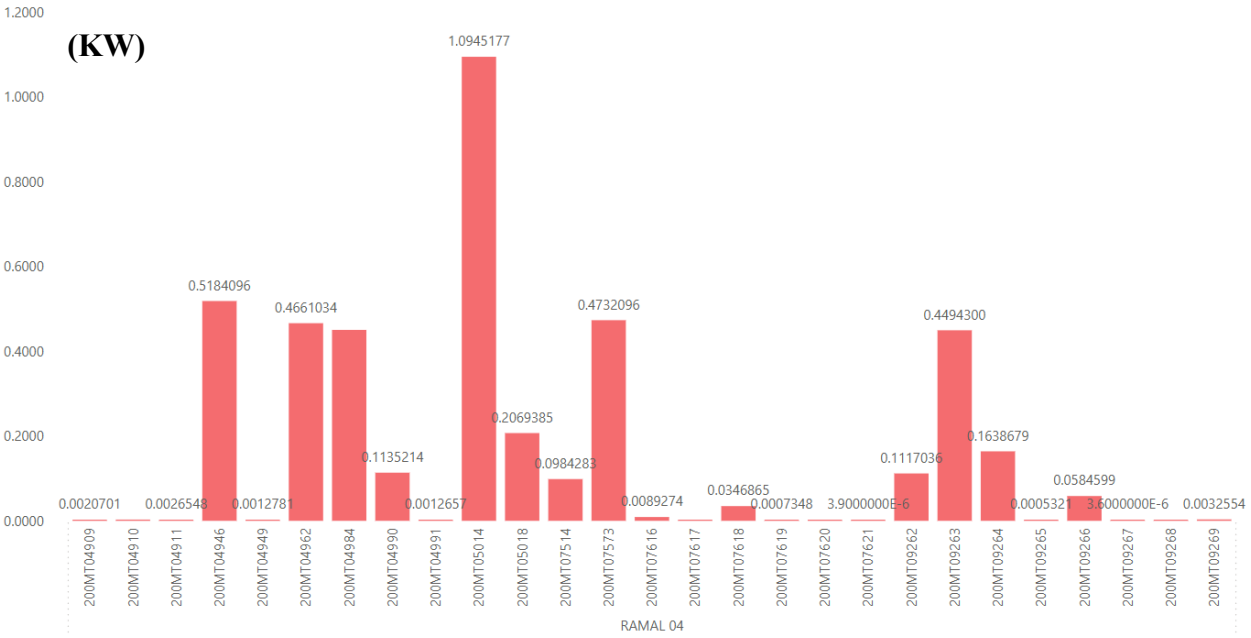
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

3.4.5.4. Perdidas eléctricas en el Ramal 04 de PM-06 de Puerto Maldonado.

El Ramal 04 presenta una longitud aproximada de 8.443 km, en el cual se evidencian pérdidas eléctricas en las líneas de distribución, registradas directamente en los distintos tramos de línea. Estas pérdidas se encuentran directamente relacionadas con el nivel de carga que circula

por cada tramo del ramal, ya que un incremento de la corriente provoca un aumento proporcional de las pérdidas por efecto Joule. En este sentido, se registran pérdidas mínimas de 0.0000036 kW en el tramo 200MT09267, asociado a bajos niveles de carga, mientras que la pérdida máxima alcanza un valor de 1.0945177 kW en el tramo 200MT05014, donde se concentra una mayor demanda. Estos resultados se presentan en la **figura 3.40**, evidenciando la influencia del comportamiento de carga en las pérdidas del ramal a lo largo del Ramal 04 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Figura 3.40: Perdidas eléctricas en las líneas de distribución del ramal 04 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

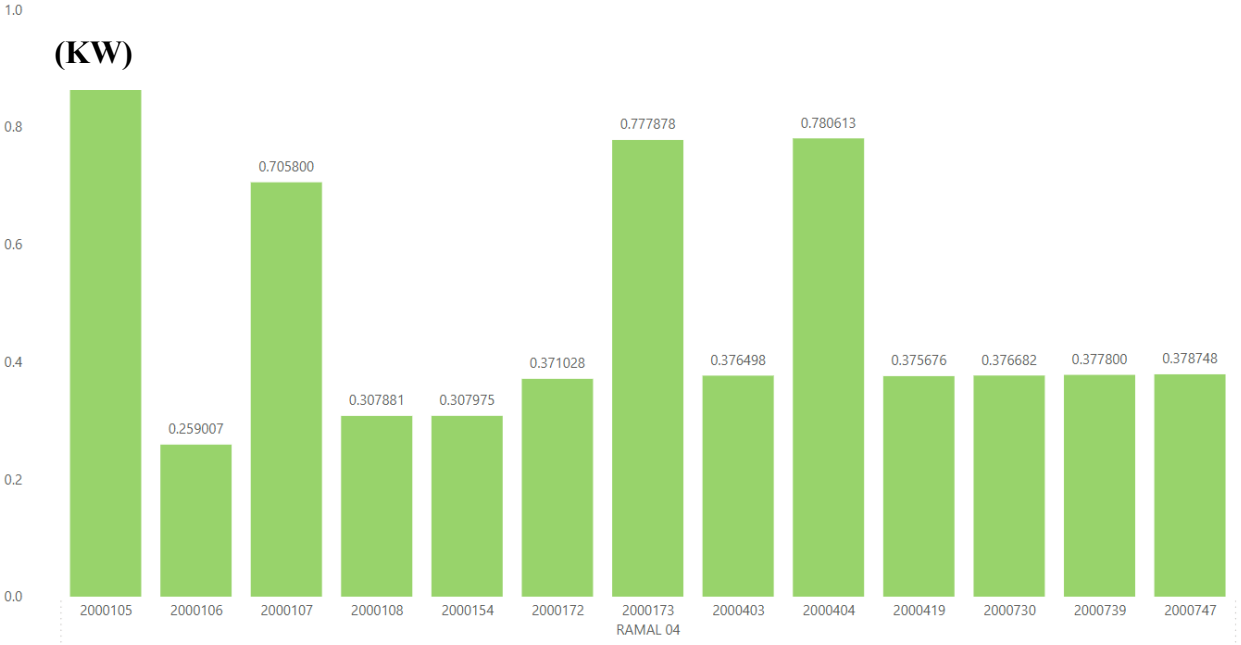


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

El Ramal 04 a lo largo del alimentador PM-06, cuenta con 38 barras que representan las estructuras de soporte de distribución y 14 transformadores de distribución, donde se evidencian pérdidas eléctricas asociadas a las subestaciones de distribución, originadas principalmente por el nivel de carga que atiende cada una de ellas. Estas pérdidas se encuentran directamente relacionadas con la

demanda conectada, ya que un incremento de la carga implica un aumento de la corriente que circula por los transformadores de distribución, generando mayores pérdidas por efecto Joule. En este contexto, se registran una pérdida mínima de 0.2289071 kW en la SED 2000106 que representa los bajos niveles de carga, mientras que la pérdida máxima alcanza un valor de 0.8282552 kW en la SED 2000105 donde se concentra una mayor demanda. Estos resultados se presentan en la **figura 3.41**, evidenciando la influencia del comportamiento de carga en las pérdidas de las subestaciones de distribución a lo largo del Ramal 04 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Figura 3.41: Perdidas eléctricas en los transformadores del ramal 04 del alimentador PM-06.



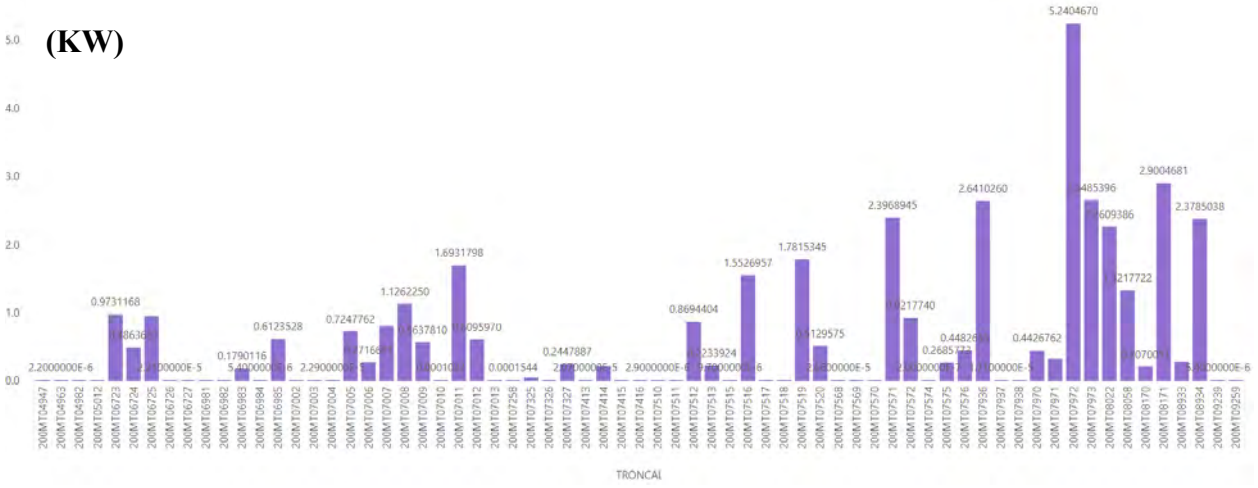
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

3.4.5.5. Perdidas eléctricas en la troncal de PM-06 de Puerto Maldonado.

El Troncal presenta una longitud aproximada de 98.705 km, en el cual se evidencian pérdidas eléctricas en las líneas de distribución, registradas directamente en los distintos tramos

de línea. Estas pérdidas se encuentran directamente relacionadas con el nivel de carga que circula por cada tramo del ramal, ya que un incremento de la corriente provoca un aumento proporcional de las pérdidas por efecto Joule. En este sentido, se registra una pérdida mínima de 0.0000002 kW en el tramo 200MT07574, asociado a bajos niveles de carga, mientras que la pérdida máxima alcanza un valor de 5.2404670 kW en el tramo 200MT07972, donde se concentra una mayor demanda. Estos resultados se presentan en la **figura 3.42**, evidenciando la influencia del comportamiento de carga en las pérdidas del ramal a lo largo de la Troncal del alimentadorPM-06 de Puerto Maldonado.

Figura 3.42: Perdidas eléctricas en las líneas de distribución de la troncal del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

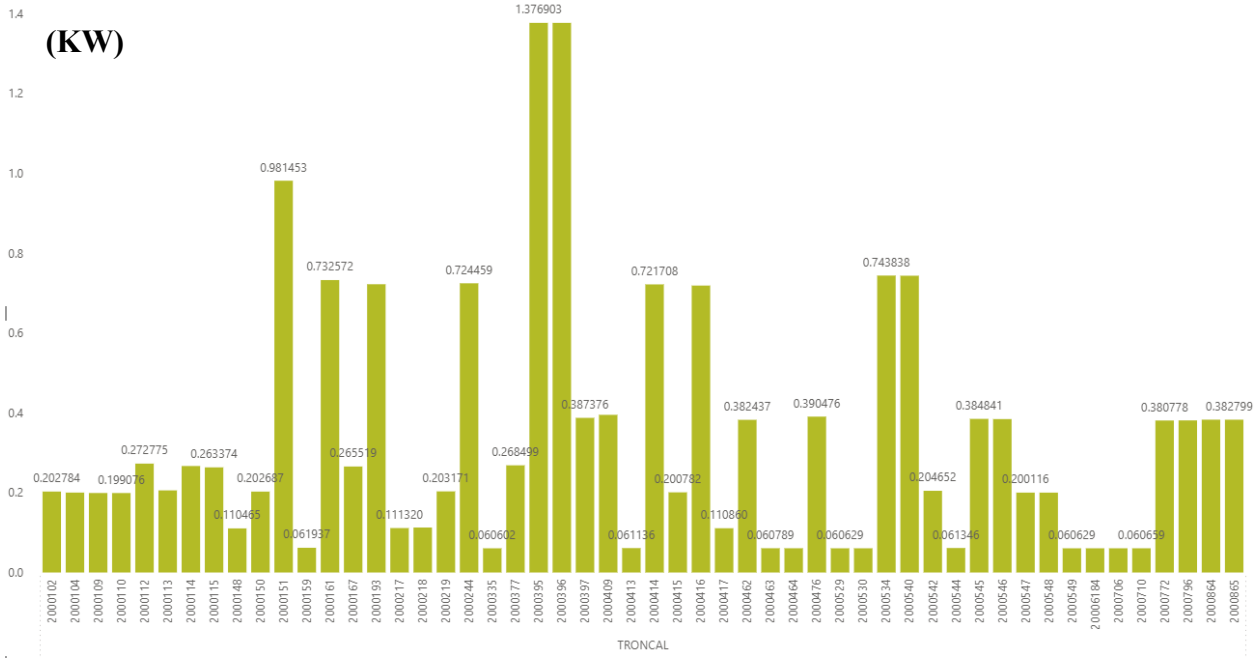


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La Troncal a lo largo del alimentador PM-06, cuenta con 150 barras que representan las estructuras de soporte de distribución y 59 transformadores de distribución, donde se evidencian pérdidas eléctricas asociadas a las subestaciones de distribución, originadas principalmente por el nivel de carga que atiende cada una de ellas. Estas pérdidas se encuentran directamente relacionadas con la demanda conectada, ya que un incremento de la carga implica un aumento de la corriente que

circula por los transformadores de distribución, generando mayores pérdidas por efecto Joule. En este contexto, se registra una pérdida mínima de 0.0536522 kW en la SED 2000335 que representa los bajos niveles de carga, mientras que la pérdida máxima alcanza un valor de 1.2953408 kW en la SED 2000395 donde se concentra una mayor demanda. Estos resultados se presentan en la **figura 3.43**, evidenciando la influencia del comportamiento de carga en las pérdidas de las subestaciones de distribución a lo largo de la Troncal del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Figura 3.43: Perdidas eléctricas en los transformadores de la troncal del alimentador PM-06.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

3.4.6. Identificación de problemas del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

El análisis integral del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, que comprende la línea troncal y los ramales evaluados, evidencia deficiencias en la calidad de producto suministrado asociadas principalmente a la regulación de tensión y a la gestión de la potencia reactiva.

En la línea troncal se observa un deterioro progresivo del perfil de tensión conforme aumenta la distancia desde la salida del alimentador. Mientras que las SED ubicadas en el inicio de la troncal presentan niveles de tensión aceptables, en los tramos finales o cola del alimentador se registran las mayores caídas de tensión, con múltiples mediciones por debajo del límite inferior de 0.94 p.u., incumpliendo los márgenes de tensión establecidos por la NTCSER. Este comportamiento está directamente relacionado con la longitud de las líneas, las pérdidas eléctricas y el incremento del flujo de potencia reactiva en dichos tramos.

De manera similar, el Ramal 04 presenta las condiciones más críticas entre los ramales analizados, evidenciando caídas de tensión significativas y un número elevado de registros fuera de los límites normativos. En contraste, otros ramales muestran perfiles de tensión dentro de los rangos permitidos, aunque operando al límite del umbral inferior, lo que los hace vulnerables ante incrementos de carga.

En términos generales, el alimentador PM-06 presenta bajo factor de potencia, alta variación de tensión ante cambios de carga y una limitada capacidad de compensación de potencia reactiva, siendo estas deficiencias más pronunciadas en el Ramal 04 y en la cola de la línea troncal. Estas condiciones comprometen la confiabilidad y continuidad del servicio eléctrico y justifican la implementación de soluciones de compensación reactiva dinámica, como un Compensador

Estático Síncrono (STATCOM), orientadas a mejorar el perfil de tensión y la calidad del producto suministrado eléctrico en los puntos más críticos del alimentador

3.4.7. Propuesta de las alternativas de la solución.

El alimentador PM-06 de Puerto Maldonado presenta caídas de tensión recurrentes causadas por la elevada concentración de cargas inductivas, principalmente motores industriales asociados a actividades económicas locales como la industria maderera, las cuales demandan corriente reactiva durante su operación, generando desviaciones de voltaje en el perfil de tensión de dicho alimentador.

Donde se tiene dos alternativas de solución:

STATCOM (Static Synchronous Compensator).

es un dispositivo de electrónica de potencia basado en inversores que genera o absorbe potencia reactiva de forma rápida y controlada. Este equipo regula activamente el voltaje, mejora la estabilidad del sistema y reduce las fluctuaciones de tensión, destacando por su respuesta en milisegundos, su diseño compacto y su eficiencia al momento de aporta reactivos en condiciones de bajo voltaje.

SVC (Static Var Compensator).

Es un dispositivo que utiliza componentes pasivos como reactores, capacitores y tiristores para inyectar o absorber potencia reactiva. Si bien este sistema permite controlar el nivel de tensión y compensar la potencia reactiva en redes de distribución, presenta limitaciones como una menor

velocidad de respuesta y una eficiencia reducida durante cuidas de tensión, ya que su capacidad de compensación disminuye cuadráticamente en estas condiciones.

Considerando las características técnicas del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, la solución óptima es la incorporación de un STATCOM. Este dispositivo no solo inyecta potencia reactiva en tiempo real para compensar la demanda inductiva de los motores, manteniendo el voltaje dentro de los límites de la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales aprobada mediante la R.D. N° 016-2008-EM-DGE(MINEM, 2008), donde se establecen las tolerancias admitidas sobre las tensiones de los puntos de entrega de energía, para Media Tensión (MT), es de hasta el ± 6.0 % de las tensiones nominales de tales puntos y tratándose de Baja Tensión (BT) la tolerancia es de 7.5 % de su tensión nominal en su punto de entrega, sino que también responde en milisegundos gracias a su tecnología de inversores multinivel (VSC). Además, a diferencia de los SVC, el STATCOM opera eficientemente incluso en condiciones de bajo voltaje, lo que lo convierte en la alternativa más efectiva para resolver el problema de las sub tensiones en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

3.4.8. Identificación de puntos críticos y posibles puntos de conexión del compensador estático síncrono en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

A partir del análisis del perfil de tensiones, el comportamiento de la potencia reactiva y las condiciones de operación del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, se identificaron problemas recurrentes de calidad de energía, tales como caídas de tensión excesivas, bajo factor de potencia, perdidas eléctricas y alta variación de tensión ante cambios de carga. Estas condiciones evidencian una limitada capacidad de compensación de potencia reactiva a lo largo del alimentador.

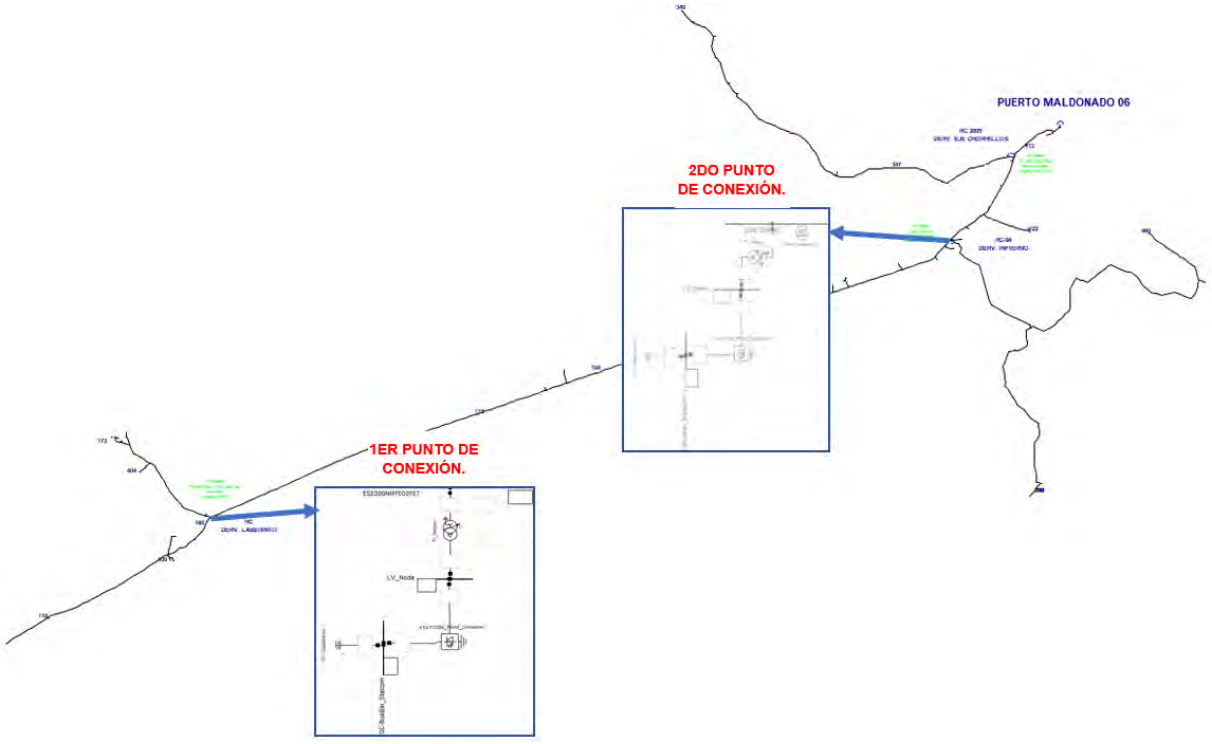
El estudio del perfil de tensiones muestra que los puntos más críticos del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. Donde la tensión cae por debajo del límite inferior de 0.94 p.u. establecido por la NTCSER, se concentran principalmente en el Ramal 04 y en la cola de la línea troncal, registrándose además una mayor sensibilidad de la tensión frente a variaciones de carga en estos tramos. En particular, el Ramal 04 presenta la mayor magnitud de caída de tensión y el mayor número de mediciones fuera de norma, lo que lo convierte en el sector más vulnerable del alimentador.

En este contexto, se identifican dos puntos técnicamente viables para la incorporación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM). Estas ubicaciones, situadas en la troncal agua arriba de las zonas críticas donde la tensión cae por debajo del límite interior, permitirán brindar soporte dinámico de potencia reactiva a los tramos posteriores del alimentador. El primer punto, ubicado en la intersección entre la línea troncal y el Ramal 04, como se ve en la **figura 3.44**, se considera prioritario debido a que permite mitigar de forma directa las mayores caídas de tensión, mejorar el factor de potencia y reducir la variación de tensión ante cambios de carga, es el tramo más crítico del alimentador. Asimismo, este punto presenta facilidad de conexión eléctrica, al encontrarse sobre la troncal principal del alimentador.

El segundo punto de conexión, localizado en la intersección entre la línea troncal y el Ramal 03, como se ve en la **figura 3.44**, constituye una alternativa complementaria que permite una mejora más distribuida del perfil de tensiones, beneficiando a varios ramales y a los tramos finales de la troncal. Aunque el impacto es menos localizado, esta ubicación contribuye a una regulación más uniforme de la tensión y al soporte global de potencia reactiva del alimentador.

En conclusión, el análisis técnico determina que los puntos óptimos para la instalación del STATCOM se encuentran en la línea troncal, inmediatamente antes de la derivación hacia los Ramales 03 y 04, siendo el punto asociado al Ramal 04 el de mayor prioridad, debido a la mayor caída de tensión, mayor variabilidad frente a cambios de carga y mayor incumplimiento de los límites de calidad establecidos por la NTCSER.

Figura 3.44: Diagrama unifilar con posibles puntos de conexión del SATCOM



Fuente: Elaboración propia, utilizando herramientas de PowerFactory DIgSILENT.

3.4.9. Ubicación del compensador estático síncrono (STATCOM).

El análisis integral de los perfiles de tensión de la línea troncal y de los ramales 01, 02, 03 y 04 del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado evidencia que las condiciones más críticas de calidad de tensión se concentran en los tramos finales de la troncal y en el Ramal 04. Estos sectores

presentan las mayores caídas de tensión, alta variabilidad ante cambios de carga y elevada demanda de potencia reactiva, lo que genera incumplimientos recurrentes de los límites establecidos por la NTCSER.

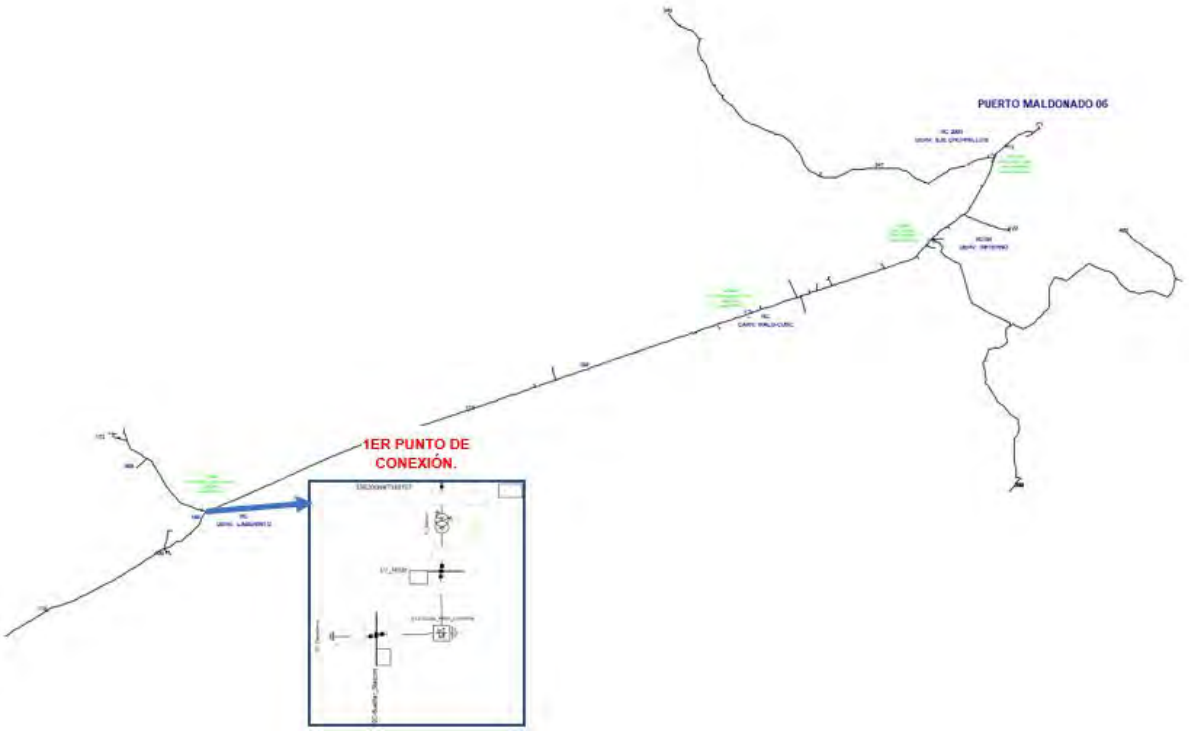
Específicamente, el Ramal 04, que deriva de la troncal en el Nodo “ESE200NMT000757”, presenta los niveles de tensión más bajos del alimentador. En las SED 2000173 y SED 2000404 se registraron múltiples mediciones por debajo del límite inferior de 0.94 p.u., con un valor mínimo de 0.928600 p.u. y 0.930813 p.u., respectivamente. Estas condiciones confirman que este sector es el más vulnerable a caídas de tensión, principalmente debido a su ubicación al final de la troncal, la longitud de la línea del Ramal 04 y la alta demanda de potencia reactiva aguas abajo.

Desde el punto de vista técnico, la intersección entre la línea troncal y el Ramal 04 constituye el punto más adecuado para la instalación de un Compensador Estático Síncrono (STATCOM), ya que permite proporcionar soporte dinámico de potencia reactiva aguas abajo, mitigando las caídas de tensión tanto en el Ramal 04 como en la cola de la troncal. Asimismo, esta ubicación permite una respuesta rápida ante variaciones de carga y contribuye a una mejora significativa del perfil de tensiones a lo largo del alimentador.

El Nodo “ESE200NMT000757”, propuesto como primer punto de conexión del STATCOM, se ubica geográficamente en las coordenadas 12.746884 S y 69.549867 W, en la zona correspondiente al Centro Poblado Laberinto. Esta localización estratégica facilita la conexión eléctrica del equipo y maximiza su impacto en la regulación de tensión del Ramal 04 y de los tramos finales de la troncal.

En consecuencia, considerando el análisis de perfil de tensiones, la cantidad y recurrencia de las caídas de tensión, la sensibilidad del sistema ante cambios de carga, la demanda de potencia reactiva y la ubicación geográfica del nodo, se concluye que la ubicación óptima del STATCOM en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado se encuentra en la intersección de la troncal con el Ramal 04, como se puede apreciar en la siguiente **figura 3.45**, específicamente en el Nodo de Media Tensión “ESE200NMT000757” del primer punto de conexión propuesto anteriormente, desde donde se logra una mejora efectiva de la calidad de tensión y de la confiabilidad del suministro eléctrico.

Figura 3.45: Punto óptimo para la incorporación del STATCOM.



Fuente: Elaboración propia, utilizando herramientas de PowerFactory DIgSILENT.

CAPITULO IV

4. APLICACIÓN DEL COMPENSADOR ESTÁTICO SÍNCRONO (STATCOM) PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD DE PRODUCTO SUMINISTRADO.

4.1. Introducción.

En este capítulo se procederá a realizar el modelado del Alimentador PM06 de Puerto Maldonado, asegurando que el modelo en PowerFactory DIgSILENT nos represente el comportamiento dinámico del sistema en la operación en tiempo real.

Posteriormente, se realizará el dimensionamiento del STATCOM en función de la potencia reactiva requerida, utilizando para ello las curvas Q – V (análisis de estabilidad de tensión) en el nodo de conexión propuesto. Este enfoque permitirá determinar la capacidad de compensación necesaria para garantizar un perfil de tensión adecuado en todo el Alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Con la capacidad del STATCOM definida, se llevará a cabo la selección técnica del equipo, considerando aspectos claves como:

- ✓ Condiciones ambientales del lugar (humedad, temperatura, altitud).
- ✓ Tecnología del inversor (IGBT's y IGCT's) y forma de onda (sinusoidal modificada y sinusoidal pura).
- ✓ Nivel de tensión de la barra de conexión y compatibilidad con la red existente.

Finalmente, se implementará el STATCOM en el punto más crítico del alimentador PM-06, evaluando su impacto en la regulación de tensión en tiempo real y verificando el cumplimiento de los límites establecidos en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales. En el caso de que persistan los problemas de sub tensión, se procederá a integrar un segundo STATCOM en otro nodo estratégico, siguiendo los criterios técnicos establecidos en las etapas previas.

Este proceso permitirá no solo corregir las caídas de tensión, sino también optimizar el desempeño del alimentador, reducir las pérdidas, asegurando un suministro eléctrico estable y eficiente para los usuarios del Alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

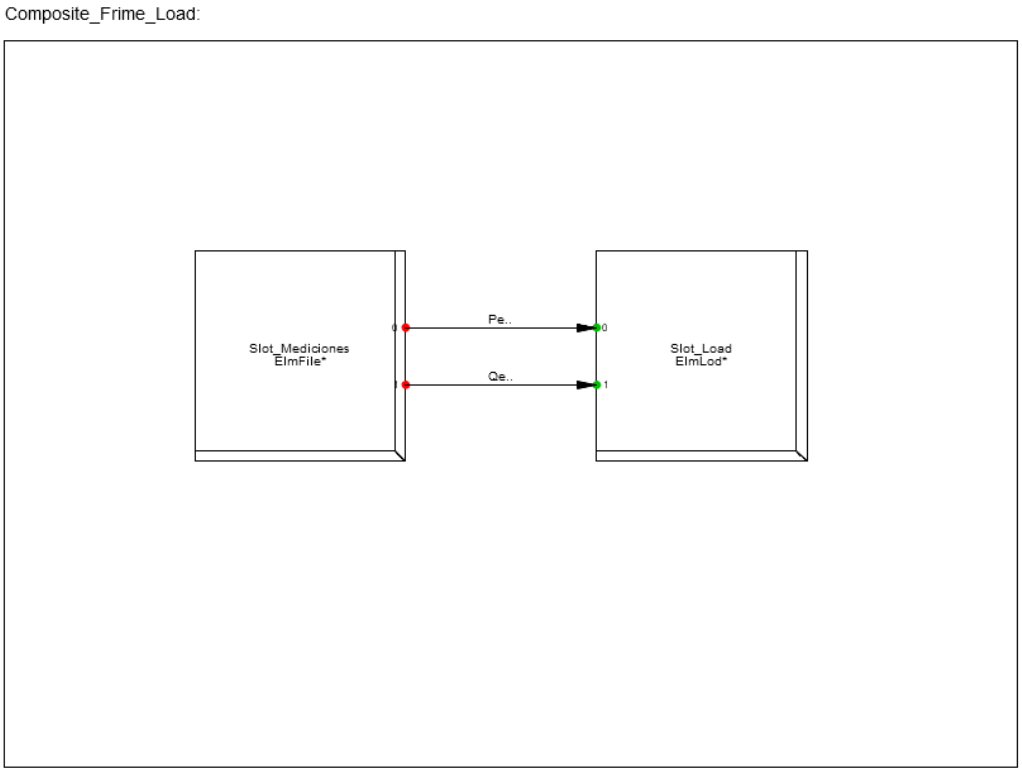
4.2. Modelo del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Para realizar los estudios eléctricos en DIgSILENT PowerFactory, es fundamental desarrollar un modelo dinámico del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado que represente fielmente su comportamiento en condiciones operativas reales. Este modelo se implementa utilizando el lenguaje de simulación DSL (DIgSILENT Simulation Language), orientado a la representación de sistemas dinámicos en redes eléctricas.

El proceso de modelado implica caracterizar todos los equipos que contribuyen a la dinamicidad de la red, tales como generadores, dispositivos FACTs (Flexible AC Transmission Systems) y la demanda eléctrica variable en tiempo real. Sin embargo, dado que el Alimentador PM-06 no cuenta con centrales de generación eléctrica, no se incluyen modelos de reguladores automáticos de voltaje (AVR), estabilizadores de sistema de potencia (PSS) y Reguladores de Velocidad (PCO).

En su lugar, el enfoque se centra en el modelado del comportamiento dinámico de las cargas, utilizando datos de medición reales obtenidos mediante analizadores de redes. Estos datos permiten configurar bloques de control en DSL que emulan la respuesta en tiempo real de las cargas ante variaciones de la demanda. En la **figura 4.1**, se ilustra un bloque de control, diseñado para replicar la dinámica de la demanda en el Alimentador.

Figura 4.1: Modelo dinámico de la carga que representa la demanda en tiempo real.



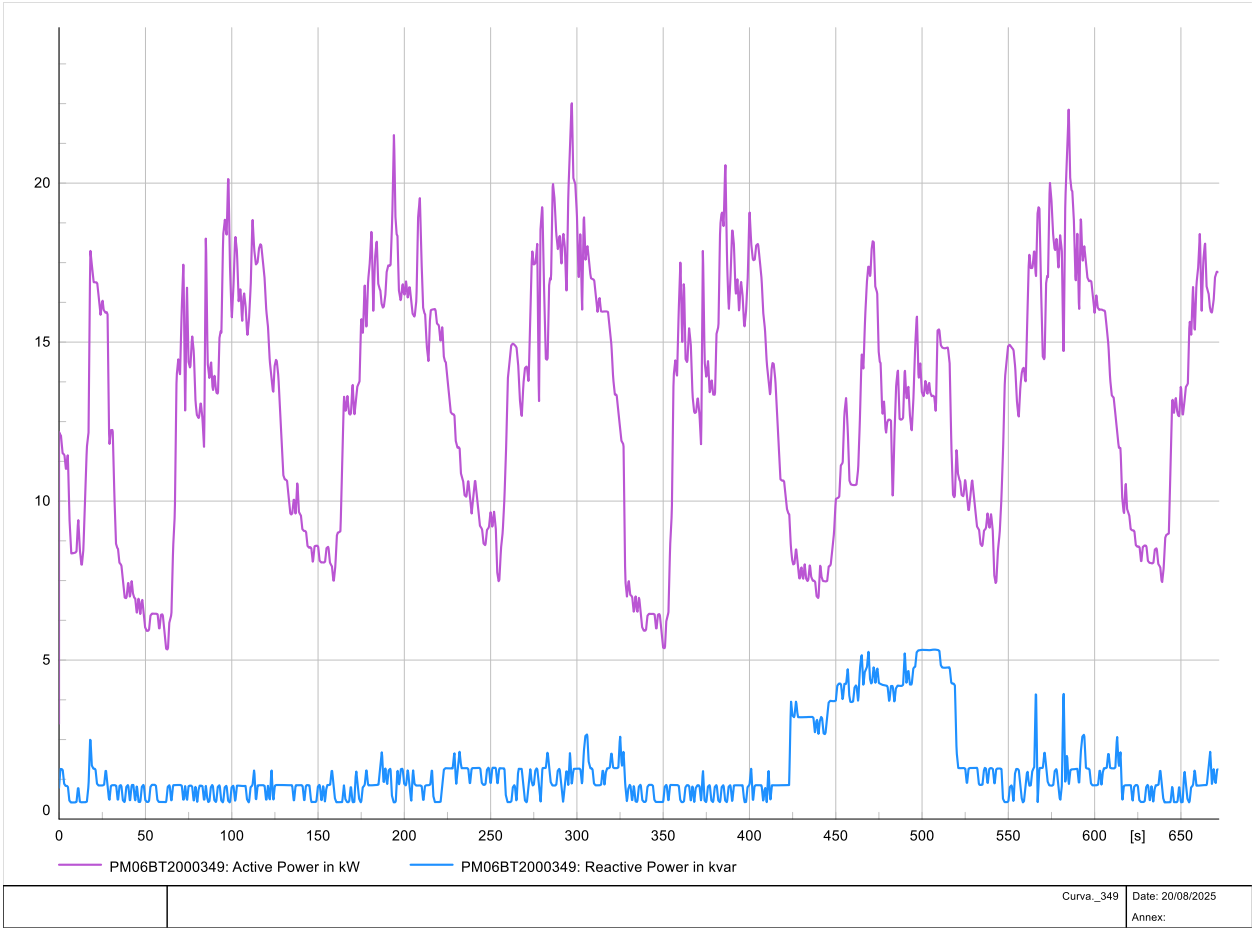
Fuente: Elaboración propia, utilizando herramientas de PowerFactory DIgSILENT.

4.2.1. Validación del modelo de carga en DIgSILENT PowerFactory.

La validación del modelo de carga implementado en DIgSILENT PowerFactory se realiza mediante la comparación de curvas de comportamiento, que es una metodología empleada para la

validación de controladores en centrales eléctricas. A través de simulaciones RMS/EMT, donde se observa el comportamiento dinámico de la carga, de acuerdo a la demanda en tiempo real. Los resultados de esta simulación, para la carga PM06BT2000349, se aprecia en la **figura 4.2.**

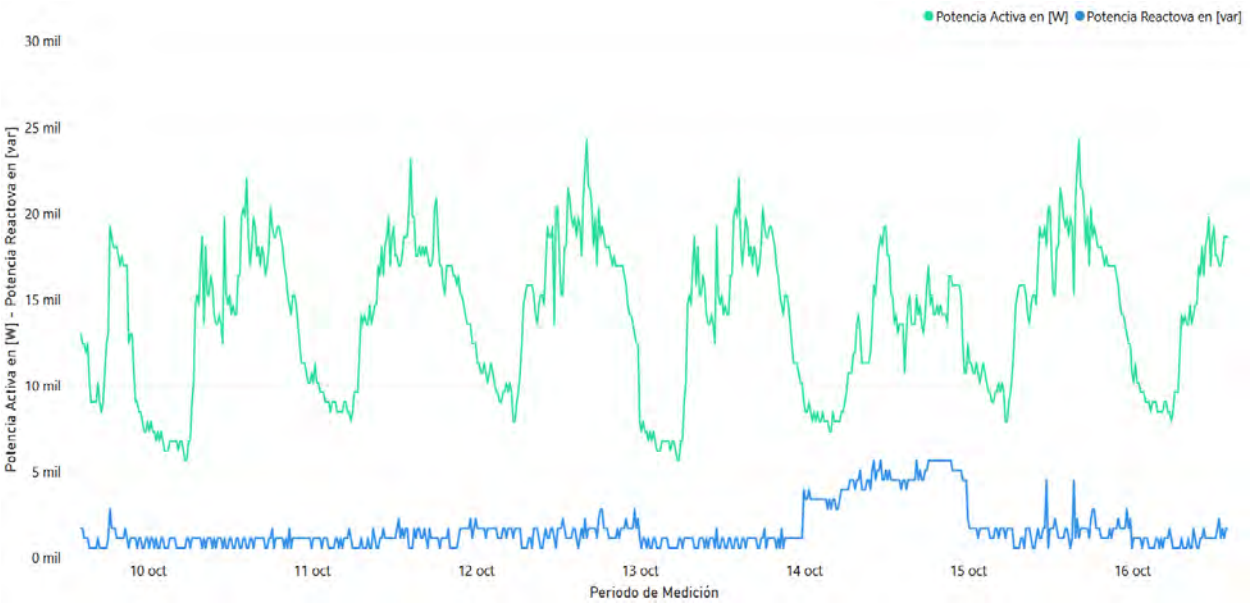
Figura 4.2: Curva de comportamiento de la potencia en DIgSILENT PowerFactory.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 4.2**, nos permite contrastar el desempeño del modelo de la carga, con los datos reales de la demanda, presentados en la **figura 4.3**, asegurando su precisión y representatividad frente a las condiciones dinámicas del Alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Figura 4.3: Curva de comportamiento de la potencia obtenida del analizador de redes.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Electro Sur Este S.A.A.

4.3. Dimensionamiento del compensador estático síncrono (STATCOM).

Para el dimensionamiento del compensador estático síncrono (STATCOM), se requiere cuantificar la potencia reactiva necesaria para elevar el perfil de tensión de la red a un nivel deseado, garantizando que los nuevos valores se encuentren dentro de los límites de tolerancia establecidos en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricas Rurales (NTCSER).

La metodología para determinar este requerimiento se basa en las conclusiones del análisis previo del numeral 3.4.10 de “Ubicación del Compensador Estático Síncrono (STATCOM)”. Dicho estudio, desarrollado a partir de la evaluación del perfil de tensión en la línea troncal y sus ramales, se identificó que el Ramal 04 presenta problemas de sub tensión más crítico. Asimismo, se determinó que la línea troncal también presenta dichos problemas a partir del 77 % hasta el 100 % de su longitud total.

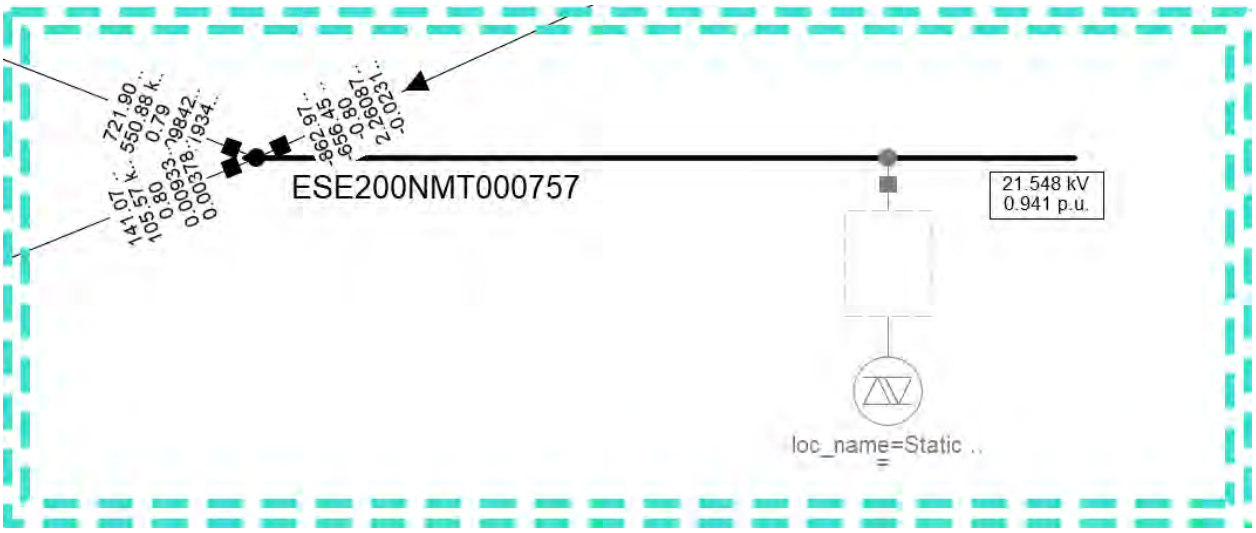
Para calcular la potencia reactiva que requiera inyectar o absorber el compensador estático síncrono (STATCOM) en estos puntos críticos determinados en los análisis previos y así corregir las desviaciones de tensión, se empleara el análisis de curvas Q-V. este método será implementado utilizando el software de análisis de sistemas de potencia PowerFactory DIgSILENT, el cual permite simular la relación entre la inyección de reactivos (Q) y el nivel de tensión (V) en una barra especifica, determinando el margen de estabilidad y la capacidad de compensación requerida.

4.3.1. Cálculo de la potencia reactiva necesaria para aumentar el nivel de tensión del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Para calcular la potencia reactiva necesaria, mediante las curvas Q-V, es necesario seleccionar previamente un nodo critico donde realizar la compensación con el propósito de mejorar la tensión. Se eligió para este caso la barra de media tensión "ESE200NMT000757", el cual presenta un valor de 0.941 p.u en el escenario base, como se visualiza en la **figura 4.4**. Este nivel de tensión se aproxima al límite inferior, establecido por la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales (NTCSER), y se consideró como un punto adecuado para la compensación.

Posteriormente, se asoció a esta barra un generador estático configurado en modo de control de potencia reactiva constate (Q constant), con un setpoint inicial de 0 MVAr. Esta configuración es fundamental para el análisis de curvas Q-V, ya que permite al software variar automáticamente la inyección o absorción de potencia reactiva en el nodo durante la simulación del flujo de carga continuada. De esta forma, es posible trazar la relación entre la potencia reactiva y la tensión en el nodo sin restricciones de control, obteniendo así las curvas Q-V necesaria para dimensionar el compensador.

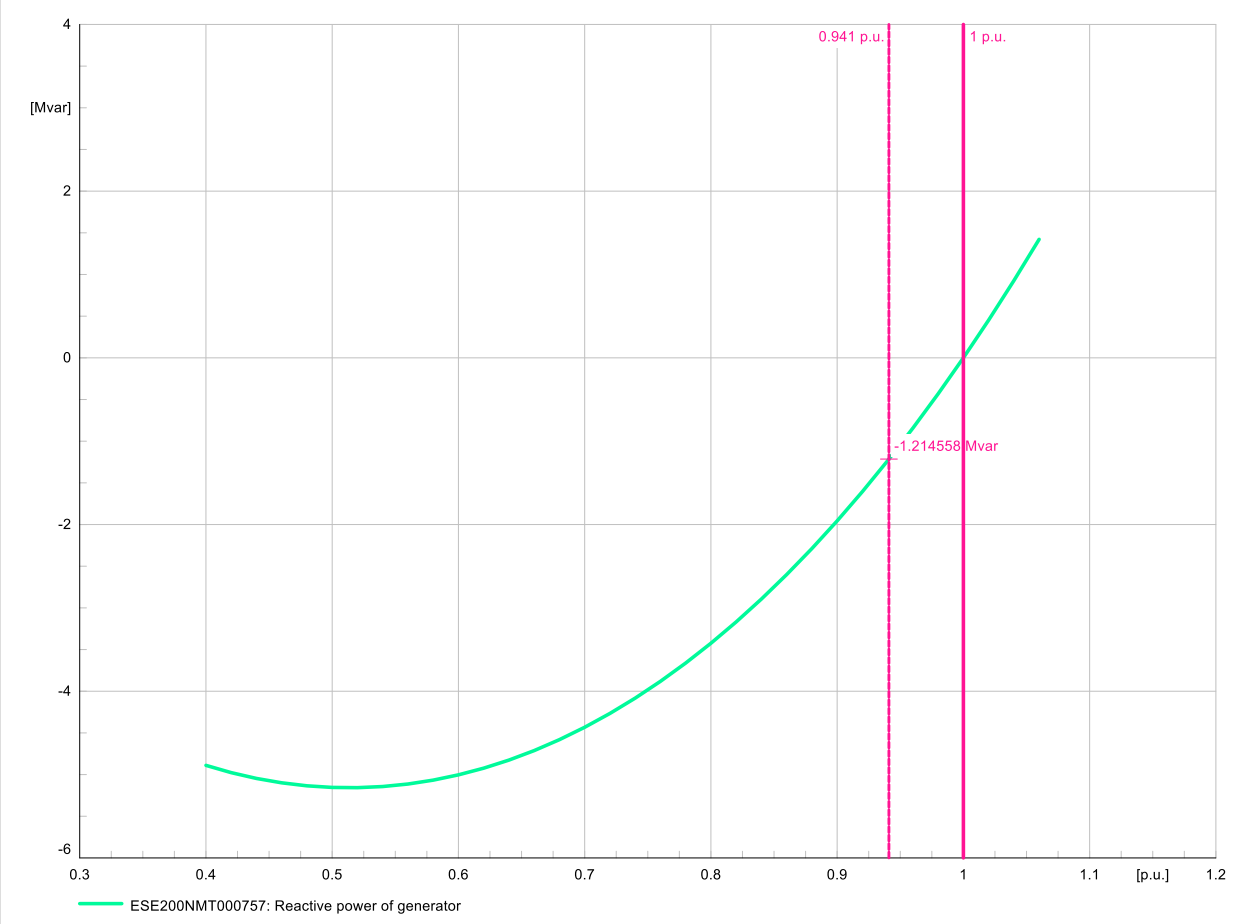
Figura 4.4: Barra de evaluación de la potencia reactiva requerida.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Electro Sur Este S.A.A.

Finalmente, se ejecuta el flujo de carga continuado (Continuation Power Flow) mediante el módulo “Transmission Network Tools” de PowerFactory DIgSILENT. Este proceso permite obtener resultados precisos del margen de estabilidad de tensión del sistema y cuantificar de manera rigurosa la potencia reactiva requerida para garantizar un perfil de tensión adecuado.

Figura 4.5: Curva Q-V para la barra “ESE200NMT000757”.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Electro Sur Este S.A.A.

El análisis de la curva Q-V presentada en la **figura 4.5**, determina que la barra “ESE200NMT000757”, requiere una inyección de potencia reactiva capacitiva de 1.21592 Mvar para elevar su tensión a 1.0 p.u. Teniendo en cuenta este requerimiento, se aplica un factor de crecimiento para contemplar la expansión demográfica futura y la evolución de la carga. Adicionalmente, se evalúa la capacidad del compensador estático síncrono (STATCOM) disponible en el mercado.

$$Capacidad_{STATCOM} = 1.2 * Q_{Requerido} \quad (.\ 6.)$$

$$Capacidad_{STATCOM} = 1.2 * 1.21592\ MVAR$$

$$Capacidad_{STATCOM} = 1.459\ MVAR\ \approx 1.5\ MVAR$$

Teniendo en cuenta estos criterios, se selecciona un compensador estático síncrono (STATCOM) de 1.5 MVAR de capacidad instalada, lo que proporciona un margen de operación adecuado y asegura la flexibilidad necesaria para la compensación bajo diferentes escenarios de carga.

4.4. Características Técnicas la compensación síncrono estático (STATCOM).

La selección técnica del compensador estático síncrono (STATCOM) constituye una etapa fundamental en el proceso de implementación, ya que define las especificaciones del equipo que garantizarán el cumplimiento de los requisitos operativos y normativos del alimentador PM-06.

4.4.1. Parámetros Generales del Equipo.

El STATCOM seleccionado presenta una potencia nominal de ±1.5 MVA (1500 kVAR), con capacidad de sobrecarga de 1.2 veces la corriente nominal (1.8 MVA), lo que le permite responder ante contingencias y variaciones bruscas de carga. El equipo opera en un rango de tensión de red de 10.5 kV, 22.9 kV y 33 kV, adaptándose a la tensión nominal del alimentador PM-06 (22.9 kV), y es compatible con frecuencias de 50/60 Hz.

En cuanto a su desempeño dinámico, el STATCOM presenta un tiempo de respuesta ≤ 5 ms, lo que garantiza una compensación casi instantánea ante perturbaciones. Las pérdidas

activas son inferiores al 0.8% de la potencia nominal, y la distorsión armónica total de corriente (THD) se mantiene por debajo del 3%, cumpliendo así con los estándares de calidad de energía.

4.4.2. Convertidor de Potencia VSC.

El convertidor de fuente de tensión (Voltage Source Converter, VSC) constituye el núcleo tecnológico del STATCOM. Está basado en una topología multinivel NPC (Neutral Point Clamped) o en cascada H-bridge, que permite generar una forma de onda de tensión de alta calidad con bajos niveles de armónicos.

La tecnología de semiconductores emplea IGBT de 1700 V o IGCT, los cuales ofrecen alta eficiencia de conmutación y robustez operativa. La tensión del enlace DC se encuentra en el rango de ±1100 V a ±1500 V, y la frecuencia de conmutación varía entre 1 y 5 kHz, dependiendo de la estrategia de control y la calidad de forma de onda requerida. El sistema de refrigeración puede ser forzada por aire o líquida, según las condiciones ambientales del lugar de instalación.

4.4.3. Capacitor de Enlace DC.

El capacitor de enlace DC almacena la energía necesaria para mantener la tensión en el bus de continua y permite la transferencia de potencia reactiva entre el convertidor y la red. Cuenta con una capacitancia total de 5000 a 15000 μF, una tensión nominal DC de 1500 a 2200 V y está compuesto por capacitores de película metálica, que ofrecen alta confiabilidad y larga vida útil. La energía almacenada en el banco de capacitores es del orden de 5 a 10 kJ.

4.4.4. Transformador de acoplamiento.

El transformador de aislamiento conecta el STATCOM con la red de media tensión, adaptando los niveles de tensión y proporcionando aislamiento galvánico entre el convertidor y el sistema eléctrico. Sus principales especificaciones son:

Potencia nominal: ≥ 1.8 MVA (considerando la sobrecarga del equipo).

Tensión primaria: 22.9 kV (según la red existente).

Tensión secundaria: 3.3 a 6.6 kV.

Grupo de conexión: Dyn11 o Ynd11.

Impedancia de cortocircuito: 6% a 8%.

Refrigeración: ONAN (natural) u ONAF (forzada por aire).

4.4.5. Filtros.

El sistema incorpora filtros pasivos que reducen los armónicos generados por la conmutación rápida de los IGBT del STATCOM, mejorando significativamente la calidad de energía inyectada a la red y permitiendo un control más preciso y rápido de la potencia reactiva, la tensión y la estabilidad del sistema.

Tabla 4.1:
Características técnicas del compensador estático síncrono.

COMPONENTE	PARÁMETRO	VALOR / ESPECIFICACIÓN
General	Potencia nominal	±1.5 MVA (1500 kVAR)
	Tensión de red	10.5 kV, 22.9 Kv, 33 kV
	Frecuencia	50/60 Hz
	Tiempo de respuesta	≤ 5 ms
	Sobrecarga	1.2 x In (1.8 MVA)
	Pérdidas activas	≤ 0.8% de la potencia nominal
	THD de corriente	≤ 3%
Convertidor VSC	Topología	Multinivel NPC o Cascada H-bridge

	Tecnología de semiconductores	IGBT de 1700V o IGCT
	Tensión de enlace DC	±1100V a ±1500V
	Frecuencia de conmutación	1 – 5 kHz
	Refrigeración	Forzada por aire o líquida
Reactor de Acoplamiento	Inductancia típica	0.1 – 0.2 pu (~3-8 mH a 10kV)
	Reactancia porcentual	10% – 15%
	Tensión de diseño	Nivel de aislamiento según tensión de red
	Pérdidas	< 0.5% de la potencia
Capacitor de DC	Capacitancia total	5000 – 15000 μF
	Tensión nominal DC	1500 – 2200 V
	Tecnología	Capacitores de película metálica
	Energía almacenada	5-10 kJ
Transformador de Acoplamiento	Potencia nominal	≥ 1.8 MVA
	Tensión primaria	22.9 kV (según red)
	Tensión secundaria	3.3 – 6.6 kV
	Grupo de conexión	Dyn11 o Ynd11
	Impedancia de cortocircuito	6% – 8%
	Refrigeración	ONAN (natural) o ONAF
Sistema de Control	Tipo de controlador	DSP + FPGA
	Modos de operación	FP constante, Voltaje constante, Q constante
	Interfaces de comunicación	Ethernet, Fibra óptica
	Protocolos	IEC 61850

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de

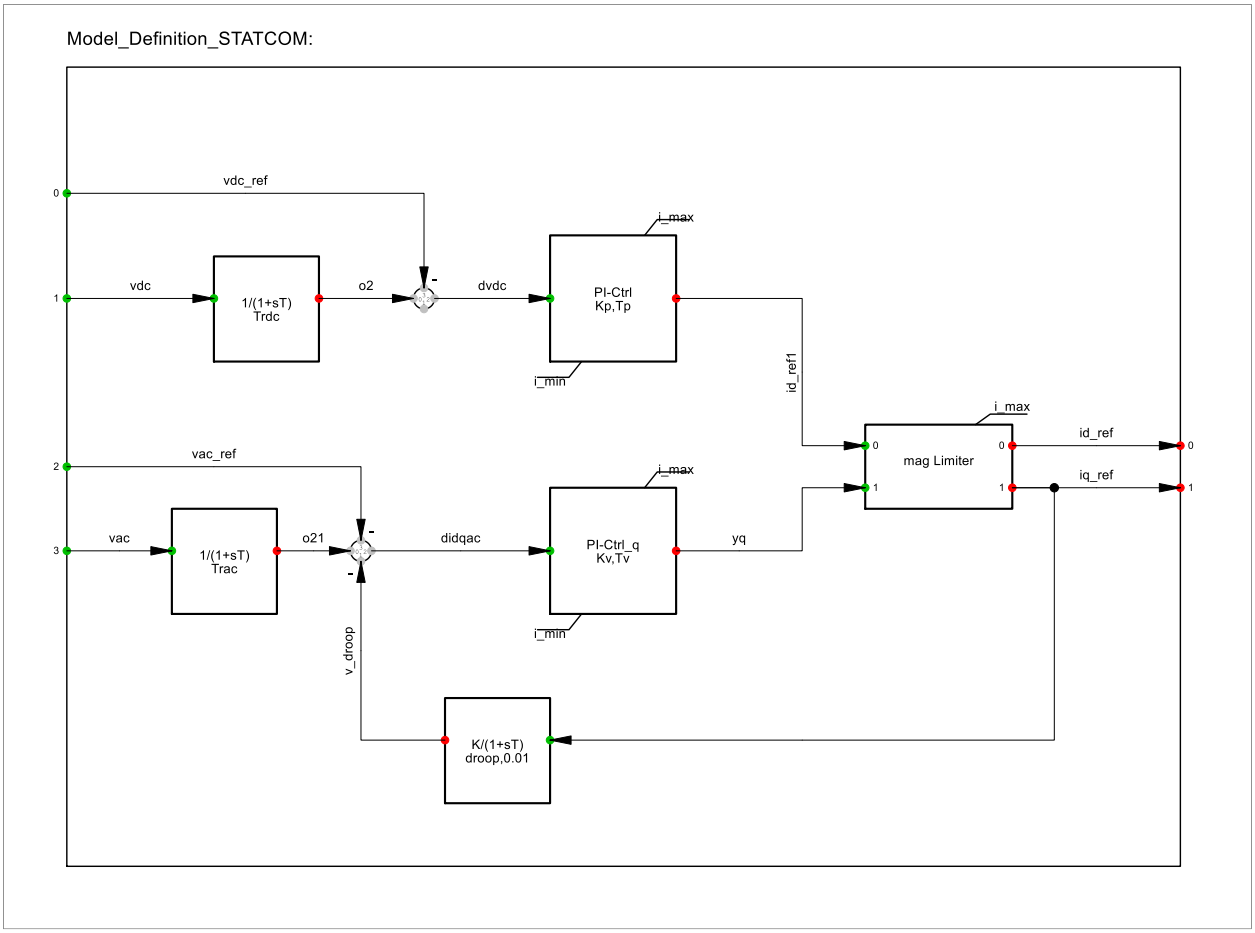
4.5. Aplicación del STATCOM para la regulación de la tensión en tiempo real.

La principal ventaja del compensador estático síncrono (STATCOM) frente a los métodos de compensación convencionales, como los bancos de capacitores, reside en su capacidad de respuesta dinámica y regulación en tiempo real. Esta capacidad es crítica en el alimentador PM-06, el cual soporta una carga netamente industrial, debido a la industria maderera que se desarrolla en el sector, caracterizada por la operación de motores (como aserraderos, ventiladores y bombas) que generan variaciones bruscas de carga y perturbaciones recurrentes.

Esta sección tiene como objetivo analizar específicamente el desempeño del compensador estático síncrono (STATCOM) ante estos eventos característicos, tales como el arranque intempestivo de motores o la desconexión repentina de máquinas. Para ello, se ha implementado

un lazo de control automático que comanda al convertidor para que inyecte o absorba potencia en la barra de acoplamiento en un valor de consigna predefinido, como se aprecia en la **figura 4.6**; lo que permite mitigar el flicher y asegurar la estabilidad de tensión del sistema ante las dinámicas propias del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

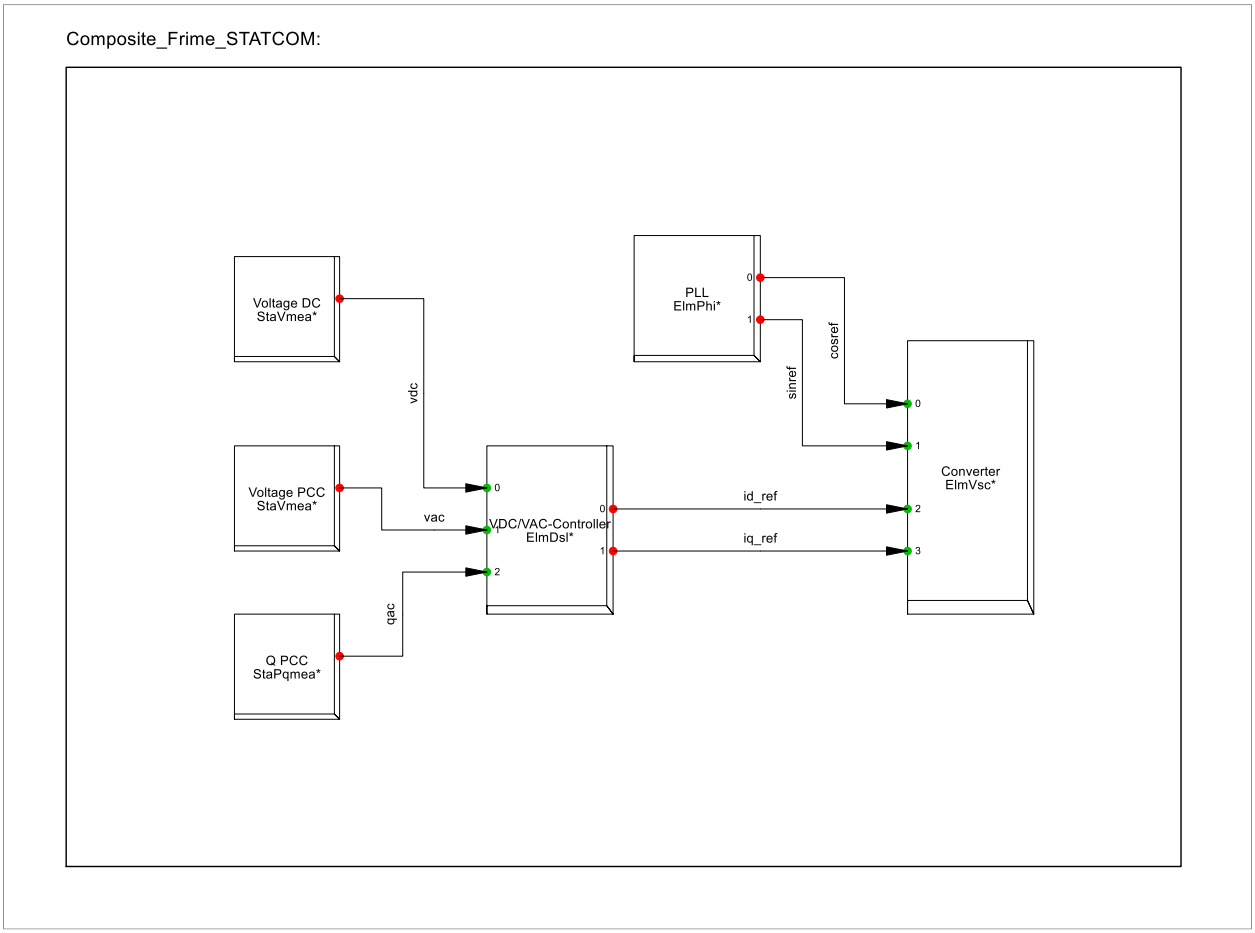
Figura 4.6: Modelo del controlador del convertidor DC/AC.



Fuente: Manual de (DIgSILENT, 2021).

Adicionalmente también se cuenta con un modelo de planta del compensador estático síncrono (STATCOM), ello se aprecia en la **figura 4.7**.

Figura 4.7: Modelos de los controladores del STATCOM.



Fuente: Manual de (DIgSILENT, 2021).

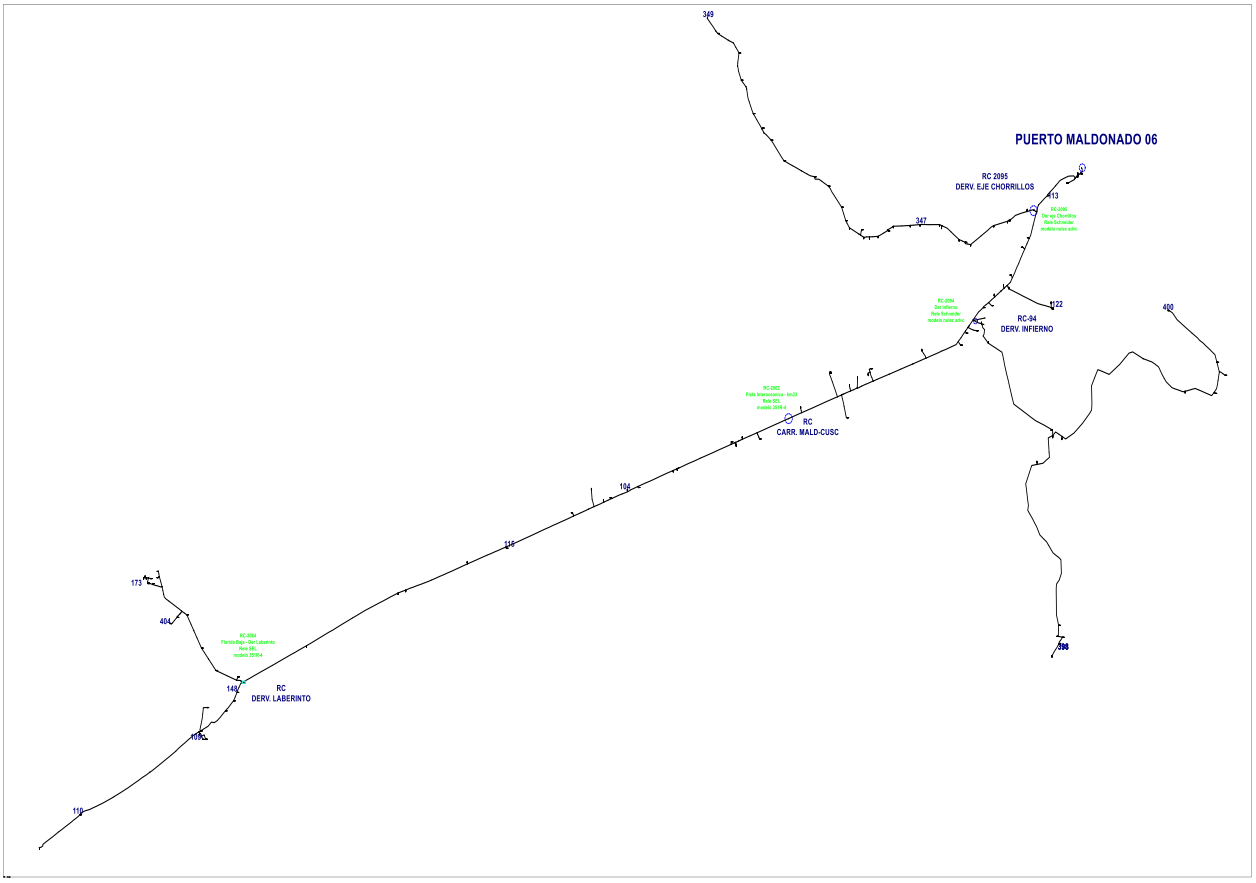
4.5.1. Casos de estudio.

El análisis se sustenta en la comparación directa del comportamiento del sistema ante una misma perturbación, en dos casos de estudio distintos:

4.5.1.1. Caso de estudio base.

La **figura 4.8**, presenta el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado original sin el compensador estático síncrono (STATCOM).

Figura 4.8: Alimentador PM-06 sin el STATCOM incorporado en el punto de acoplamiento óptimo.

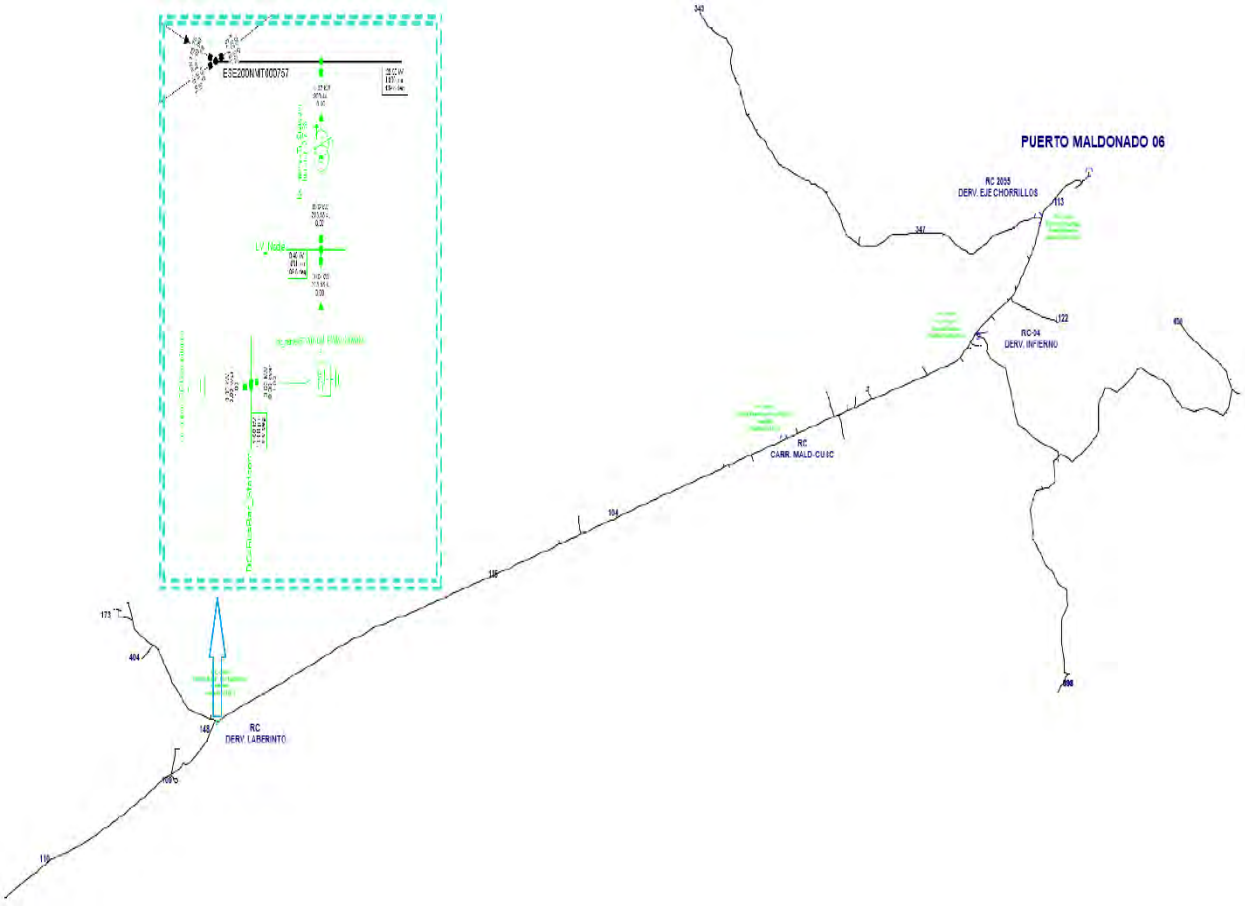


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

4.5.1.2. Caso de estudio compensado.

La **figura 4.9**, presenta el alimentado PM-06 de puerto Maldonado con el compensador estático síncrono (STATCOM), incorporado en el Nodo de Media Tensión ESE200NMT000757

Figura 4.9: Alimentador PM-06 con el STATCOM incorporado en el punto de acoplamiento óptimo.

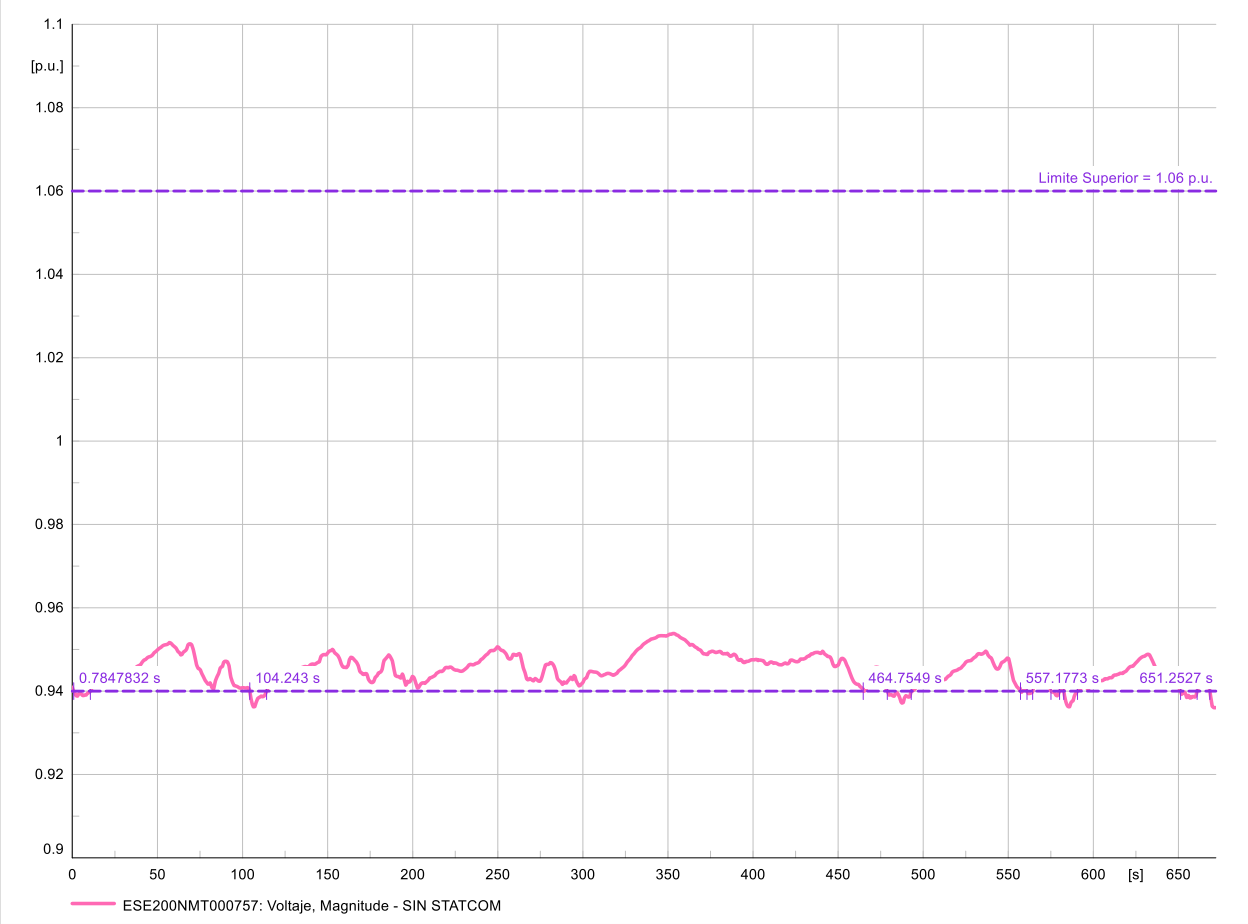


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

4.5.2. Simulaciones dinámicas para la regulación de la tensión (RMS/EMT).

4.5.2.1. Respuesta de la tensión en el caso de estudio base.

Figura 4.10: Evolución de la tensión el nodo "ESE200NMT000757" sin STATCOM.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

El análisis de 672 mediciones de tensión registradas en el nodo ESE200NMT000757 del alimentador de Media Tensión, expresadas en valores por unidad (p.u.) descritas en la **figura 4.10**, permite evaluar el cumplimiento de los niveles de calidad del servicio eléctrico establecidos en la R.D. N.° 016-2008-EM-DGE del Ministerio de Energía y Minas.

De acuerdo con dicha normativa, para sistemas de Media Tensión, la tolerancia admisible es de ± 6.0 % respecto a la tensión nominal, lo que define un rango operativo aceptable comprendido entre 0.94 p.u. y 1.06 p.u. Asimismo, se establece que la energía eléctrica es considerada de mala calidad cuando la cantidad de intervalos de medición fuera de este rango supera el 5 % del total de mediciones realizadas durante el periodo medición.

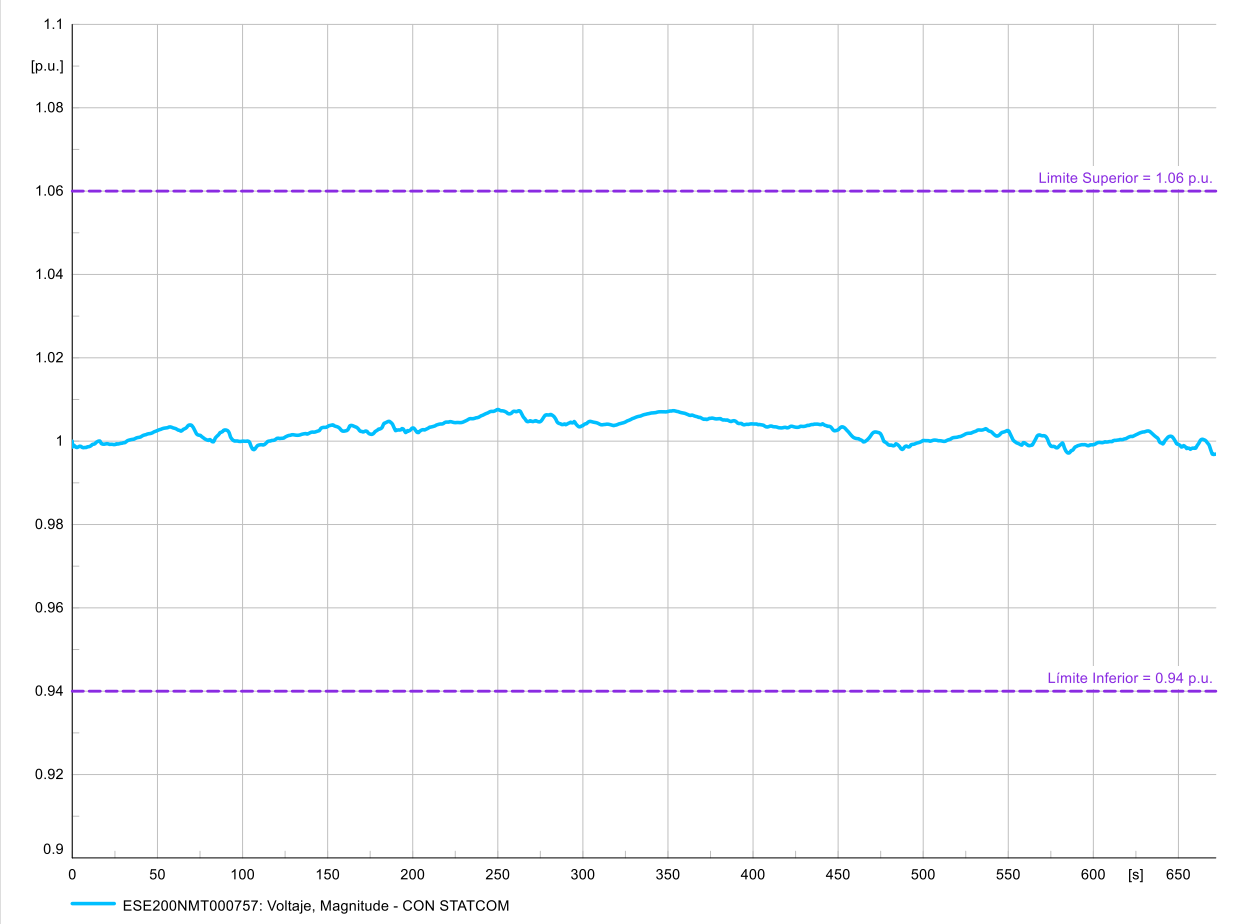
Se identificaron 63 intervalos en los cuales la tensión registrada se encuentra por debajo del límite inferior normativo de 0.94 p.u., lo que representa un 9.38 % del total de mediciones.

El valor mínimo de tensión registrado durante el periodo de evaluación fue de 0.935952 p.u., correspondiente al intervalo 670, evidenciando una condición clara de sub tensión en el sistema. Por otro lado, el valor máximo de tensión alcanzó 0.953872 p.u. en el intervalo 353, valor que, si bien se mantiene dentro del rango permitido por la norma, se encuentra próximo al límite inferior, reflejando un margen operativo reducido respecto a la tensión nominal.

Considerando que el porcentaje de intervalos con tensión fuera del rango permitido (9.38 %) supera el umbral máximo del 5 % establecido por la R.D. N.° 016-2008-EM-DGE, se concluye que el sistema no cumple con la normativa vigente para niveles de tensión en Media Tensión cuando opera sin STATCOM, por lo tanto, la energía eléctrica en el nodo ESE200NMT000757, es de mala calidad.

4.5.2.2. Respuesta de la tensión debido al sistema STATCOM.

Figura 4.11: Evolución de la tensión el nodo "ESE200NMT000757" con STATCOM.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

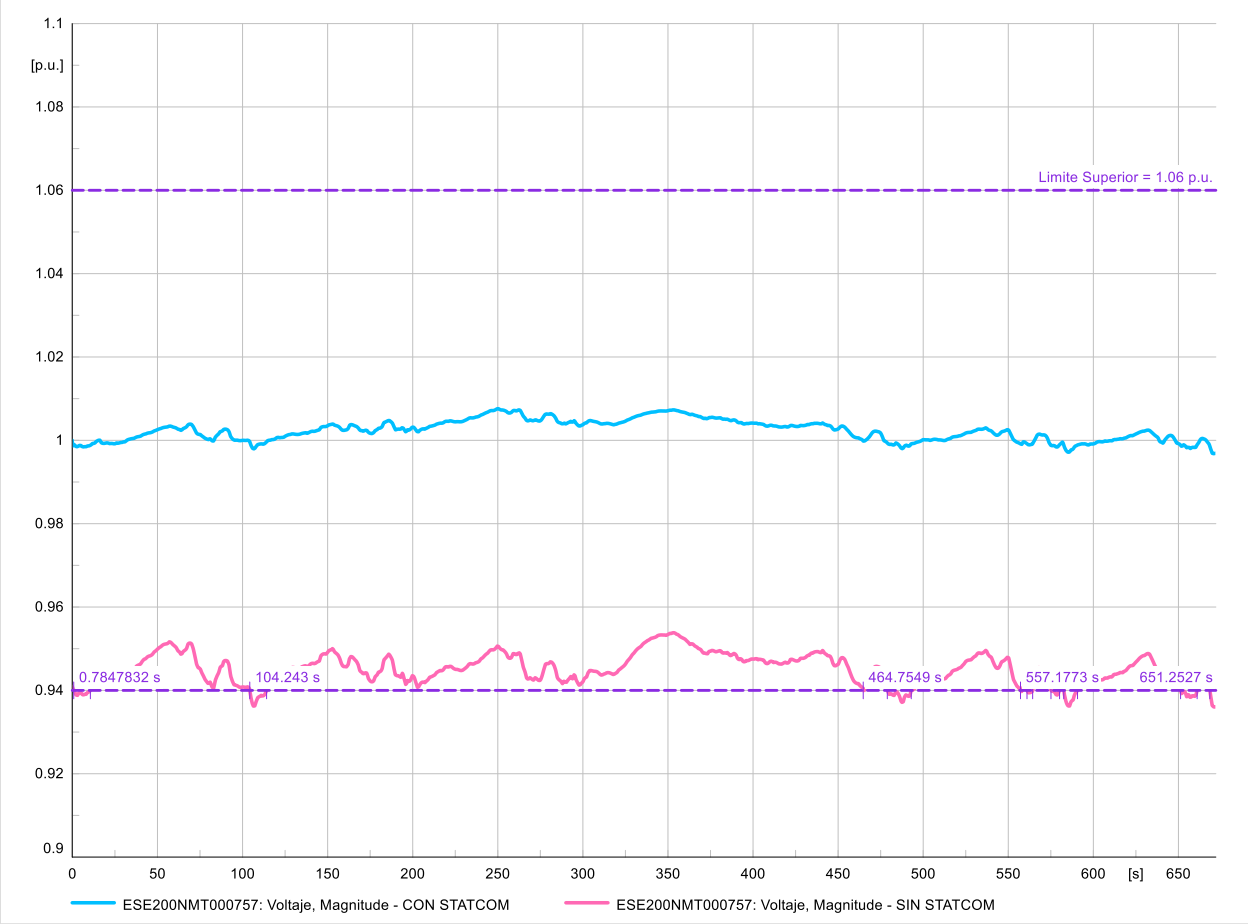
Como se aprecia en la **figura 4.11**, la incorporación del STATCOM en el alimentador PM-06 mejoro significativamente el perfil de tensión mediante la inyección dinámica de potencia reactiva. Esto compensa tonto las caídas por impedancia de la línea como las fluctuaciones generadas por cargas industriales variables de alta inercia, características de la industria maderera local. El dispositivo responde en milisegundos mediante IGBTs con control PWM, ajustando la inyección

o absorción de potencia reactiva durante transitorios de carga, como los arranques bruscos de motores.

Esta solución estabiliza el sistema, mitiga las oscilaciones de tensión causadas por la operación intermitente de maquinaria pesada y previene el flicker que afecta a los usuarios residenciales. Además, reduce las perdidas técnicas en 29.22 %, y mejora el factor de potencia de 0.81 a 0.97 del alimentador y aumenta la capacidad de transporte de la infraestructura existente.

4.5.3. Comparación de la evolución de la tensión con y sin STATCOM.

Figura 4.12: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado en el nodo "ESE200NMT000757".



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la f**igura 4.12**, se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). El análisis evidencia que el escenario base incumple evidentemente lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 63 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 9.38 % del total de intervalos de medición, superando el límite máximo del 5 % de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es deficiente.

Tabla 4.2:
Comparativo de los niveles de tensión registrados en el nodo "ESE200NMT000757."

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	670	0.935952	0.996722	0.06077	6.08
Máximo	353	0.953872	1.007323	0.053451	5.35
Promedio	1–672	0.944942	1.003624	0.058682	5.87

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **tabla 4.2.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en el nodo "ESE200NMT000757" para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.935952 p.u. (intervalo 670) y un máximo de 0.953872 p.u. (intervalo 353), con un valor promedio de 0.944942 p.u. Este comportamiento refleja una caída de tensión sostenida a lo largo del periodo analizado, situando el perfil por debajo del valor de referencia (1.0 p.u).

La integración del STATCOM, solucionó por completo la no conformidad, donde se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se elevó a 0.996722 p.u., lo que representa un incremento de 0.06077 p.u. (6.08 %) respecto al valor nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.007323 p.u., con un aumento de 0.053451 p.u. (5.35 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 1.003624 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.058682 p.u., (5.87 %). En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado deficiente a un estado óptimo.

CAPITULO V

5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

El presente capitulo tiene como objetivo analizar y evaluar de manera exhaustiva los resultados obtenidos de las simulaciones dinámicas, con el fin de determinar la efectividad real del STATCOM en la mejora de la calidad de tensión y validar su desempeño frente a los requisitos establecidos en la Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos Rurales (NTCSER), así como en relación con los objetivos planteados en la investigación.

Para ello, el capítulo se estructura en tres secciones principales. En la primera sección, se presentan y analizan los resultados del caso compensado (con STATCOM), contrastándolos directamente con los del caso base (sin compensación) presentado en el Capítulo 3. El análisis se centrará en el perfil de tensiones antes y después de la incorporación del compensador, cuantificando las desviaciones que excedan los rangos permitidos por la NTCSER (+-6), lo que permitirá determinar el grado de cumplimiento normativo de cada escenario de estudio.

En la segunda sección, se lleva a cabo el análisis de indicadores complementarios del sistema, que incluye: las perdidas eléctricas totales y por tramo, las direcciones y magnitudes del flujo de potencia reactiva, y la evolución del factor de potencia en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. Este análisis integral busca caracterizar como el STATCOM optimiza la operación global del alimentador más allá de la regulación de la tensión.

Finalmente, en la tercera sección se desarrolla la discusión integral de los resultados, donde se contratan los hallazgos con la hipótesis central de la investigación. Mediante una tabla resumen

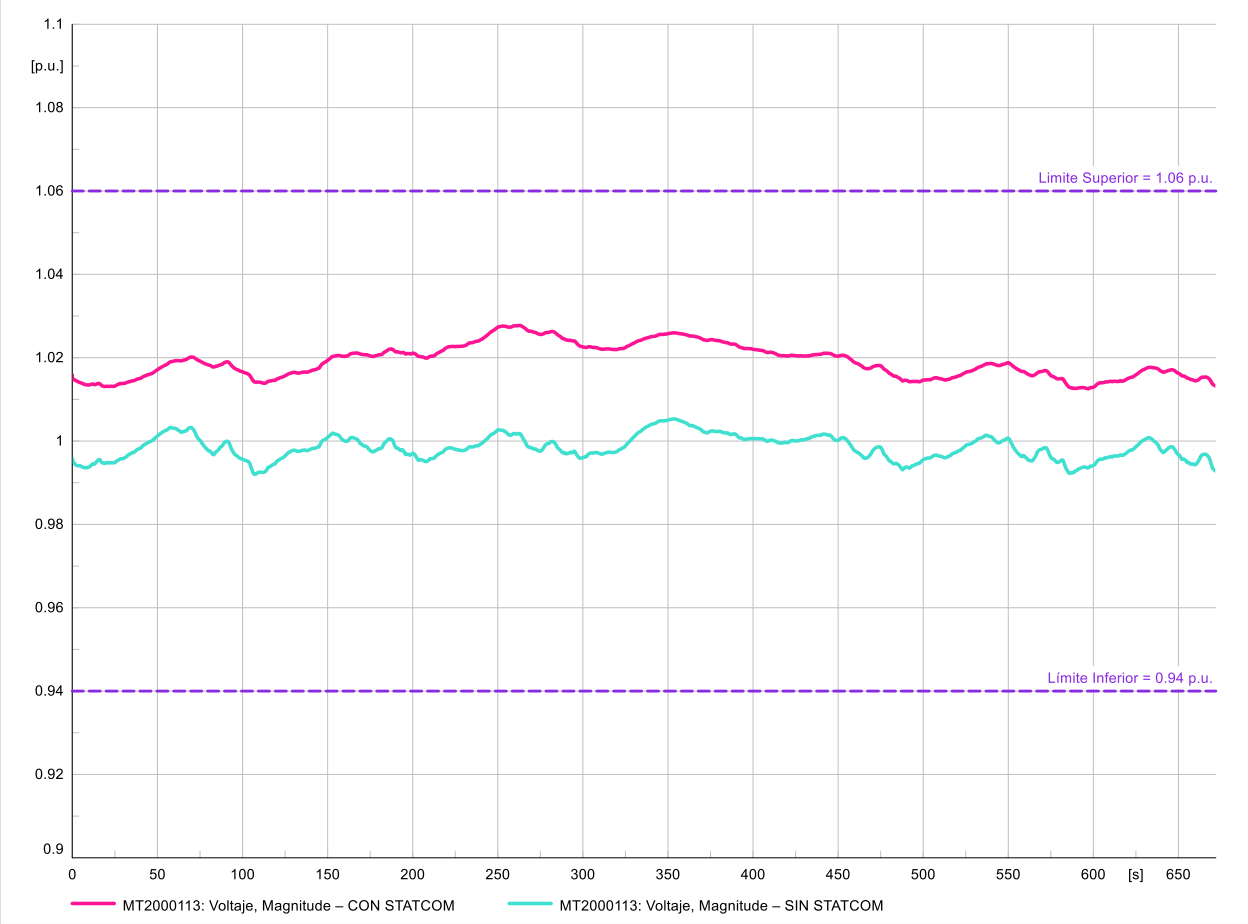
se consolida la evidencia para sustentar que la incorporación del STATCOM constituye una solución técnica, viable y efectiva para resolver el problema de sub tensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. Asimismo, se exponen las limitaciones inherentes al análisis realizado.

5.1. Análisis de perfil de tensiones.

5.1.1. Análisis del perfil de tensiones en nodos representativos de la línea troncal.

- **En la SED: 2000113.**

Figura 5.1: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000113.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

En la **figura 5.1, se c**ontrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). Donde se evidencia que el escenario base no incumple lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 0 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 0 % del total de intervalos de medición, quedando por debajo del 5 % del límite máximo de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es relativamente buena.

Tabla 5.1:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000113.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	107	0.991961	1.014154	0.022193	2.22
Máximo	354	1.005318	1.025979	0.020661	2.07
Promedio	1–672	0.996832	1.017625	0.020793	2.08

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

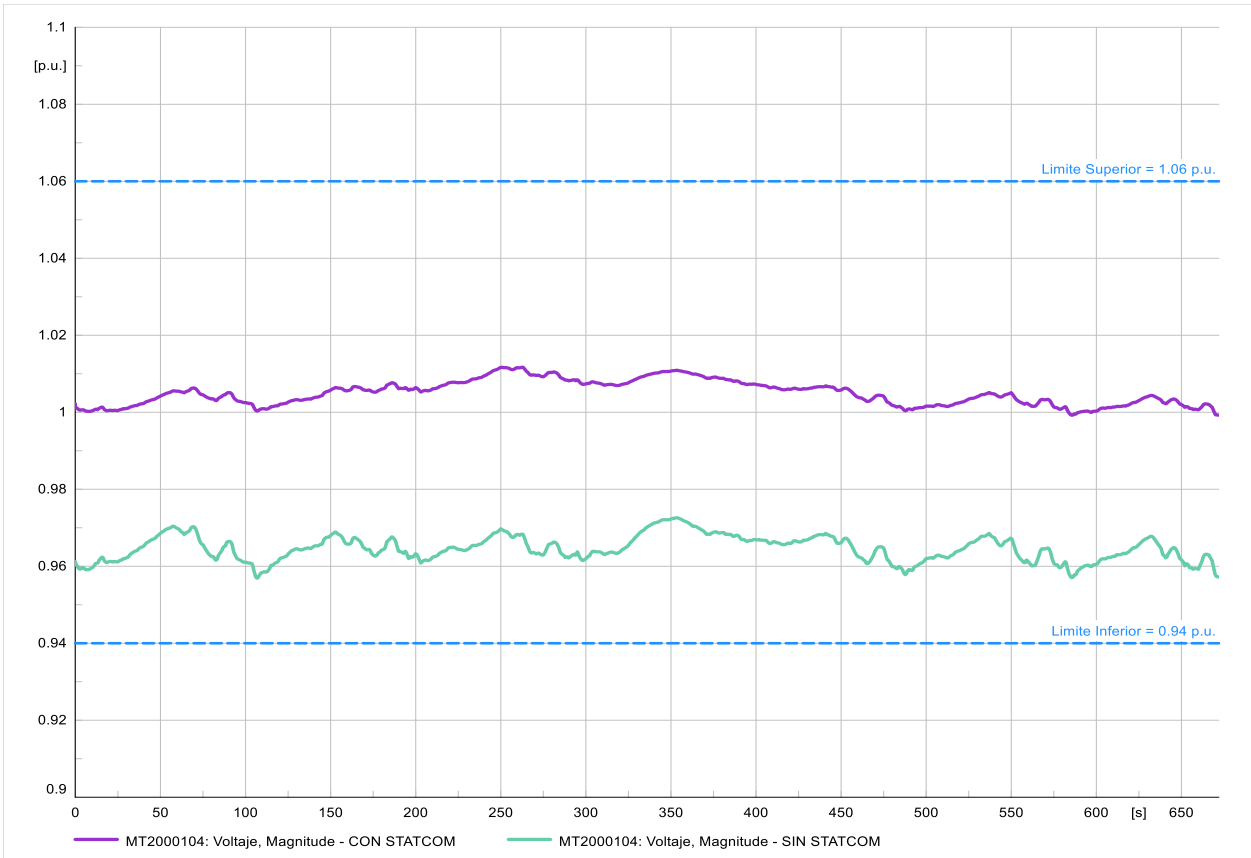
La **tabla 5.1**. Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000113 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.991961 p.u. (intervalo 107) y un máximo de 1.005318 p.u. (intervalo 354), con un valor promedio de 0.996832 p.u. Estos valores, aunque dentro de los limites normativos, reflejan un margen de operación reducido y una tendencia a valores por debajo de la referencia (1.0 p.u).

Con la incorporación del STATCOM, se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se elevó a 1.014154 p.u., lo que representa un incremento de 0.022193 p.u. (2.22 %) respecto al valor nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.025979 p.u., con un aumento de 0.020661 p.u. (2.07 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 1.017625 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.020793 p.u., (2.08 %), debido a que la subestación monitoreada se encuentra aproximadamente a 6 kilómetros a la salida del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado bueno a un estado óptimo.

❖ **En la SED: 2000104.**

Figura 5.2: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000104.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 5.2**, se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). Donde se evidencia que el escenario base no incumple lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 0 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 0 % del total de intervalos de medición, quedando por debajo del 5 % del límite máximo de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es relativamente buena.

Tabla 5.2:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000104.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	107	0.956819	1.000249	0.04343	4.34
Máximo	353	0.972616	1.010901	0.038285	3.83
Promedio	1–672	0.965003	1.005401	0.040398	4.04

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **tabla 5.2.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000104 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

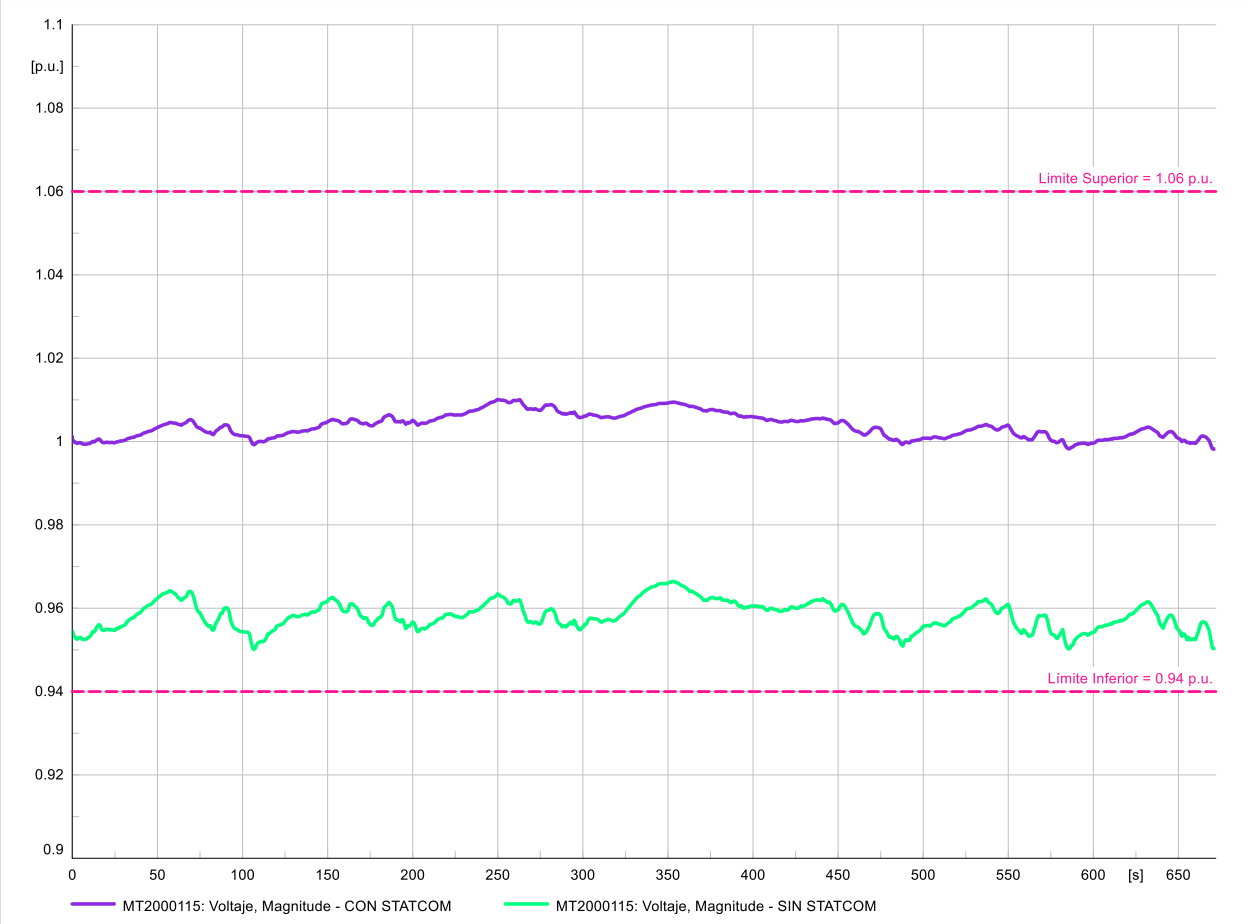
En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.956819 p.u. (intervalo 107) y un máximo de 0.972616 p.u. (intervalo 353), con un valor promedio de 0.965003 p.u. Estos valores, aunque dentro de los limites normativos, reflejan un margen de operación reducido y una tendencia a valores por debajo de la referencia (1.0 p.u).

Con la integración del STATCOM, se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se elevó a 1.000249 p.u., lo que representa un incremento de 0.04343 p.u. (4.34 %) respecto al valor nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.010901 p.u., con un aumento de 0.038285 p.u. (3.83 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 1.005401 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.040398 p.u., (4.04 %), debido a que la subestación monitoreada se encuentra aproximadamente a 32 kilómetros de la salida del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este

resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado aceptable a un estado óptimo.

En la SED: 2000115.

Figura 5.3: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000115.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 5.3**, se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). Donde se evidencia que el escenario base no incumple lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 0 intervalos de medición

con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 0 % del total de intervalos de medición, quedando por debajo del 5 % del límite máximo de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es relativamente buena.

Tabla 5.3:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000115.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	107	0.950024	0.99919	0.049166	4.92
Máximo	353	0.966444	1.009462	0.043018	4.30
Promedio	1–672	0.954569	1.002266	0.047697	4.77

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **tabla 5.3.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000115 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

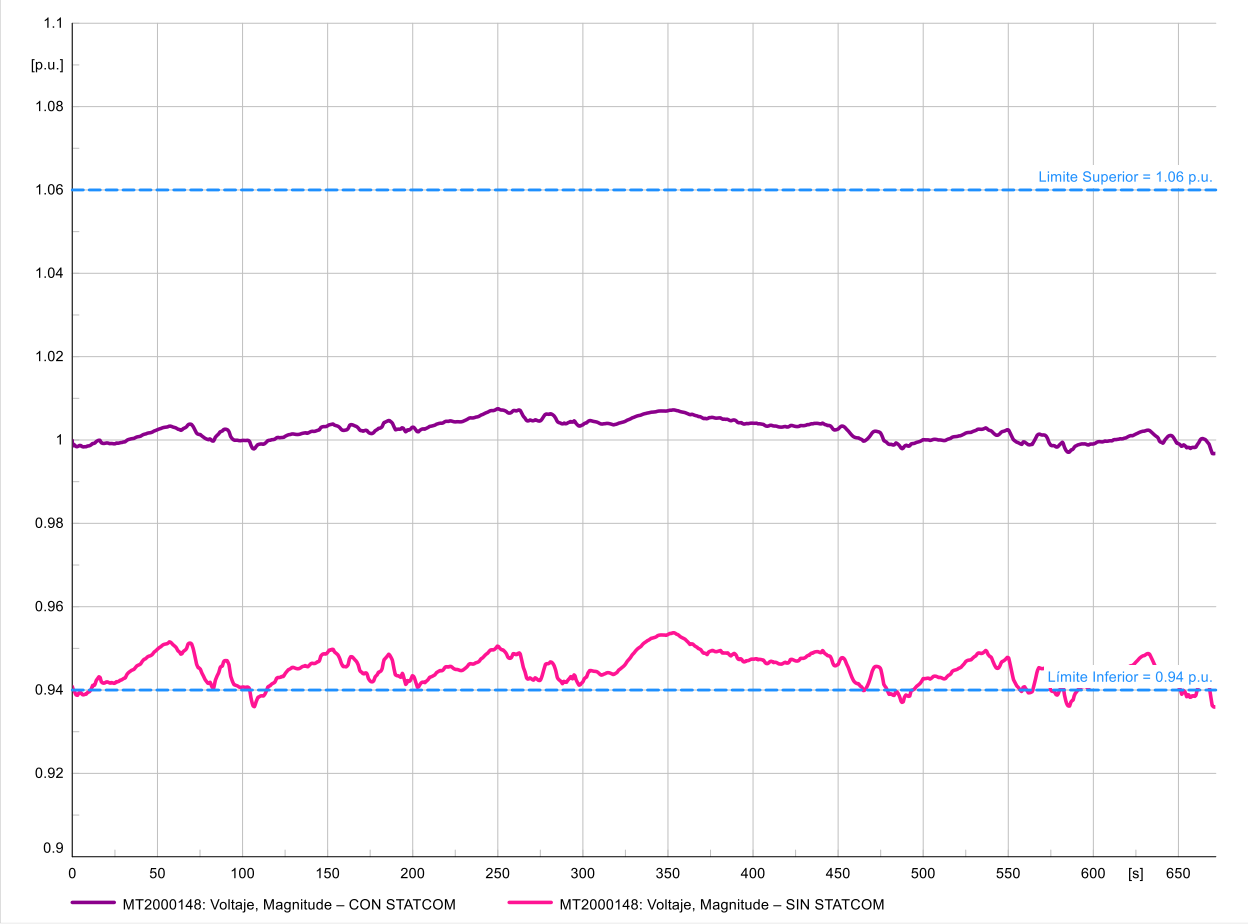
En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.950024 p.u. (intervalo 107) y un máximo de 0.966444 p.u. (intervalo 353), con un valor promedio de 0.954569 p.u. Estos valores, aunque dentro de los limites normativos, reflejan un margen de operación reducido y una tendencia a valores por debajo de la referencia (1.0 p.u).

Con la incorporación del STATCOM, se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se elevó a 0.99919 p.u., lo que representa un incremento de 0.049166 p.u. (4.92 %) respecto al valor nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.009462 p.u., con un aumento de 0.043018 p.u. (4.30 %). Y el valor promedio de la

tensión alcanzo 1.002266 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.047697 p.u., (4.77 %), debido a que la subestación monitoreada se encuentra aproximadamente a 42 kilómetros de la salida del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado aceptable a un estado óptimo.

- **En la SED: 2000148.**

Figura 5.4: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000148.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 5.4,** se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). El análisis evidencia que el escenario base incumple evidentemente lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 71 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 10.57 % del total de intervalos de medición, superando el límite máximo del 5 % de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es deficiente.

Tabla 5.4:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000148.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	670	0.93585	0.996618	0.060768	6.08
Máximo	353	0.953785	1.007237	0.053452	5.35
Promedio	1–672	0.944277	1.000724	0.056447	5.64

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **tabla 5.4.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000148 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

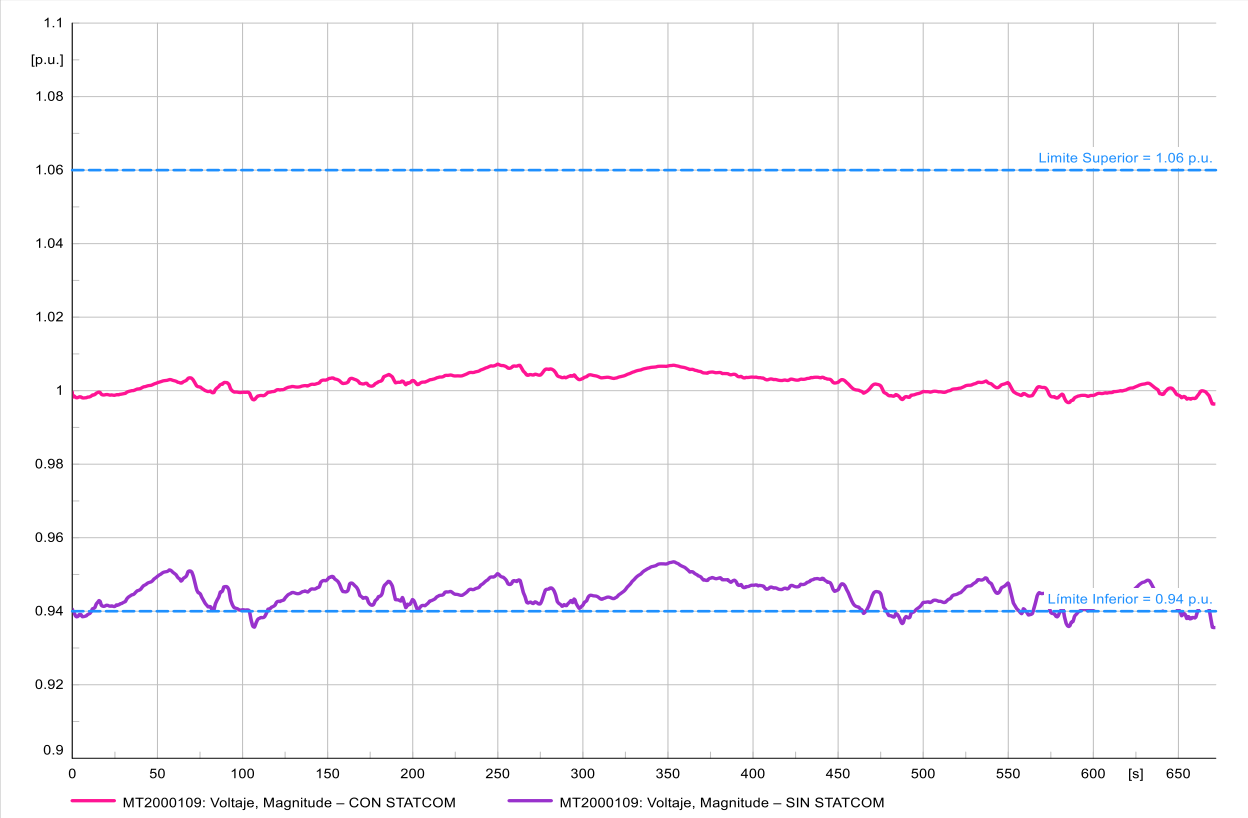
En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.93585 p.u. (intervalo 670) y un máximo de 0.953785 p.u. (intervalo 353), con un valor promedio de 0.944277 p.u. Este comportamiento refleja una caída de tensión sostenida a lo largo del periodo analizado, situando el perfil por debajo del valor de referencia (1.0 p.u).

La incorporación del STATCOM, solucionó por completo la no conformidad, donde se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se

elevó a 0.996618 p.u., lo que representa un incremento de 0.060768 p.u. (6.08 %) respecto al valor nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.007237 p.u., con un aumento de 0.053452 p.u. (5.35 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 1.000724 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.056447 p.u., (5.64 %). En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado deficiente a un estado óptimo.

- **En la SED: 2000109.**

Figura 5.5: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000109.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 5.5,** se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). El análisis evidencia que el escenario base incumple evidentemente lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 76 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 11.31 % del total de intervalos de medición, superando el límite máximo del 5 % de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es deficiente.

Tabla 5.5:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000109.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	670	0.935486	0.996249	0.060763	6.08
Máximo	353	0.953472	1.006925	0.053453	5.35
Promedio	1–672	0.944308	1.000755	0.056447	5.64

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **tabla 5.5.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000109 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

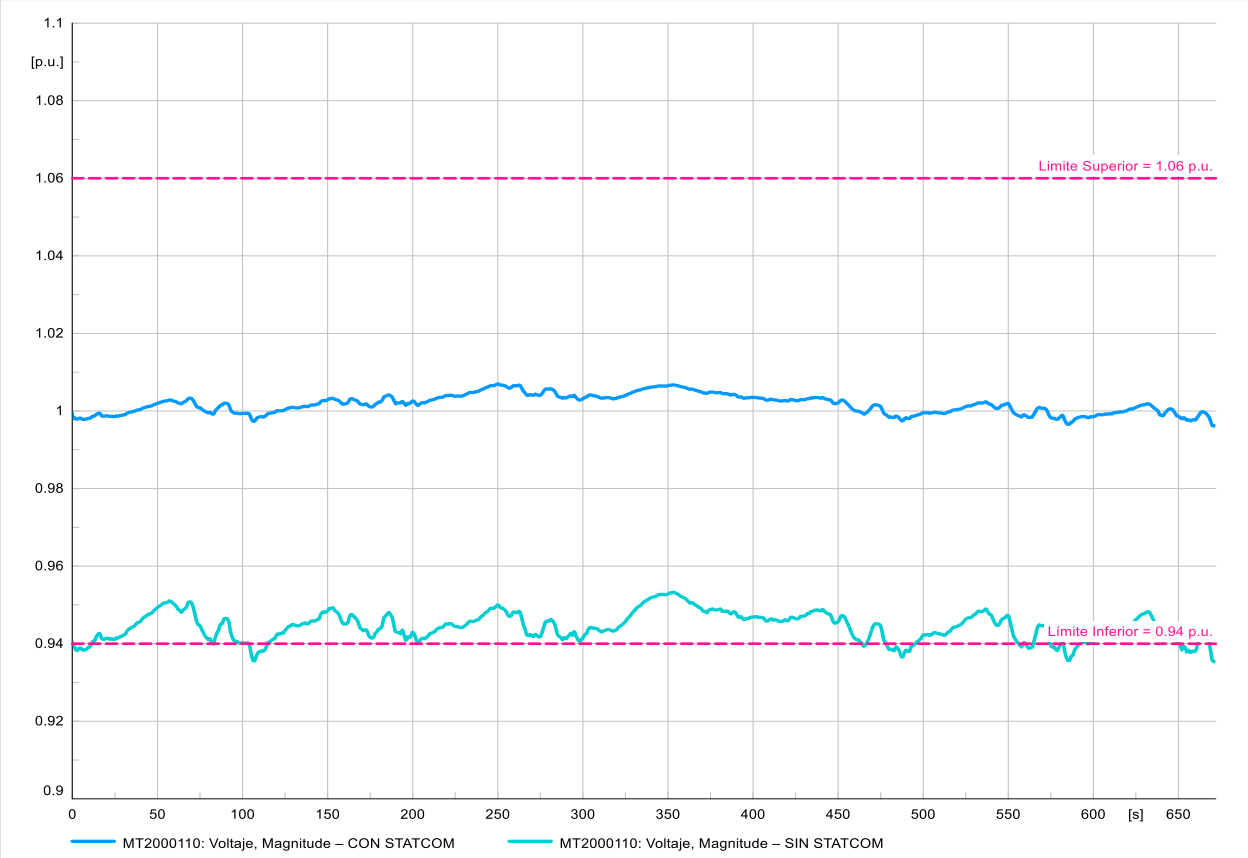
En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.935486 p.u. (intervalo 670) y un máximo de 0.953472 p.u. (intervalo 353), con un valor promedio de 0.944308 p.u. Este comportamiento refleja una caída de tensión sostenida a lo largo del periodo analizado, situando el perfil por debajo del valor de referencia (1.0 p.u).

La incorporación del STATCOM, solucionó por completo la no conformidad, donde se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se

elevó a 0.996249 p.u., lo que representa un incremento de 0.060763 p.u. (6.08 %) respecto al valor nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.006925 p.u., con un aumento de 0.053453 p.u. (5.35 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 1.000755 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.056447 p.u., (5.64 %). En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado aceptable a un estado óptimo.

- **En la SED: 2000110.**

Figura 5.6: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000110.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 5.6**, se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). El análisis evidencia que el escenario base incumple evidentemente lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 82 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 12.20 % del total de intervalos de medición, superando el límite máximo del 5 % de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es deficiente.

Tabla 5.6:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000110.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	670	0.935302	0.996062	0.06076	6.08
Máximo	353	0.953286	1.006737	0.053451	5.35
Promedio	1–672	0.944277	1.000724	0.056447	5.64

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **tabla 5.6.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000110 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.935302 p.u. (intervalo 670) y un máximo de 0.953286 p.u. (intervalo 353), con un valor promedio de 0.944277 p.u. Este comportamiento refleja una caída de tensión sostenida a lo largo del periodo analizado, situando el perfil por debajo del valor de referencia (1.0 p.u).

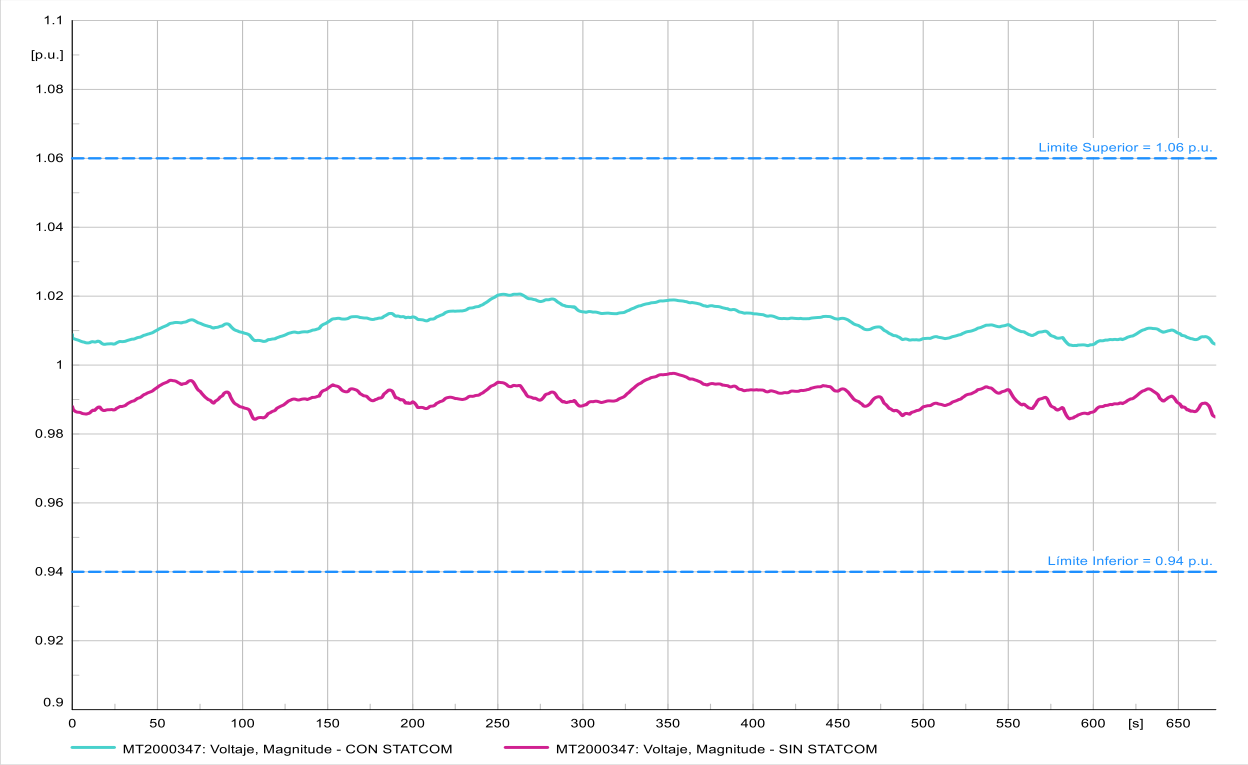
La integración del STATCOM, solucionó por completo la no conformidad, donde se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se

elevó a 0.996062 p.u., lo que representa un incremento de 0.06076 p.u. (6.08 %) respecto al valor nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.006737 p.u., con un aumento de 0.053451 p.u. (5.35 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 1.000724 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.056447 p.u., (5.64 %). En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado aceptable a un estado óptimo.

5.1.2. Análisis del perfil de tensiones en nodos representativos del Ramal 01.

- **En la SED: 2000347.**

Figura 5.7: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000347.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 5.7,** se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). Donde se evidencia que el escenario base no incumple lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 0 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 0 % del total de intervalos de medición, quedando por debajo del 5 % del límite máximo de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es relativamente buena.

Tabla 5.7:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000347.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	107	0.984165	1.00751	0.023345	2.33
Máximo	353	0.997614	1.018862	0.021248	2.12
Promedio	1–672	0.991023	1.010397	0.019374	1.94

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

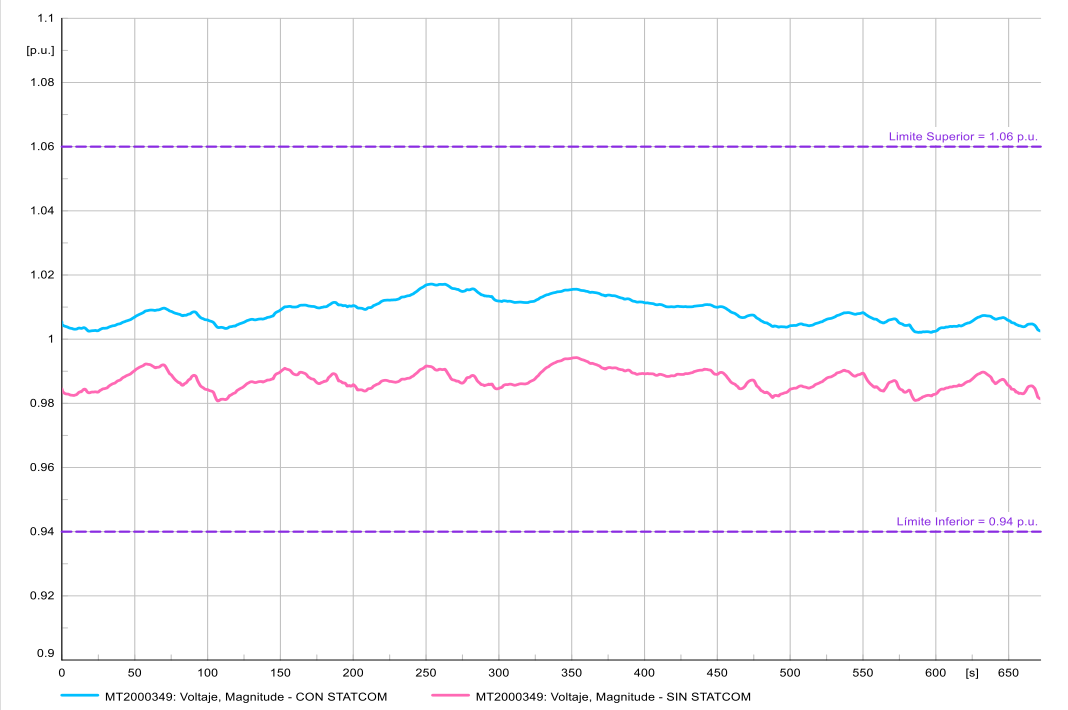
La tabla **5.7.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000347 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.984165 p.u. (intervalo 107) y un máximo de 0.997614 p.u. (intervalo 353), con un valor promedio de 0.991023 p.u. Estos valores, aunque dentro de los limites normativos, reflejan un margen de operación reducido y una tendencia a valores por debajo de la referencia (1.0 p.u).

Con la integración del STATCOM, se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se elevó a 1.00751 p.u., lo que representa un incremento de 0.023345 p.u. (2.33 %) respecto al valor nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.018862 p.u., con un aumento de 0.021248 p.u. (2.12 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 1.010397 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.019374 p.u., (1.94 %). En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado aceptable a un estado óptimo.

- **En la SED: 2000349.**

Figura 5.8: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la sed: 2000349.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 5.8,** se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). Donde se evidencia que el escenario base no incumple lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 0 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 0 % del total de intervalos de medición, quedando por debajo del 5 % del límite máximo de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es relativamente buena.

Tabla 5.8:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000349.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	107	0.980665	1.003614	0.022949	2.29
Máximo	353	0.994285	1.015592	0.021307	2.13
Promedio	1–672	0.988299	1.010481	0.022182	2.22

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **tabla 5.8.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000349 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

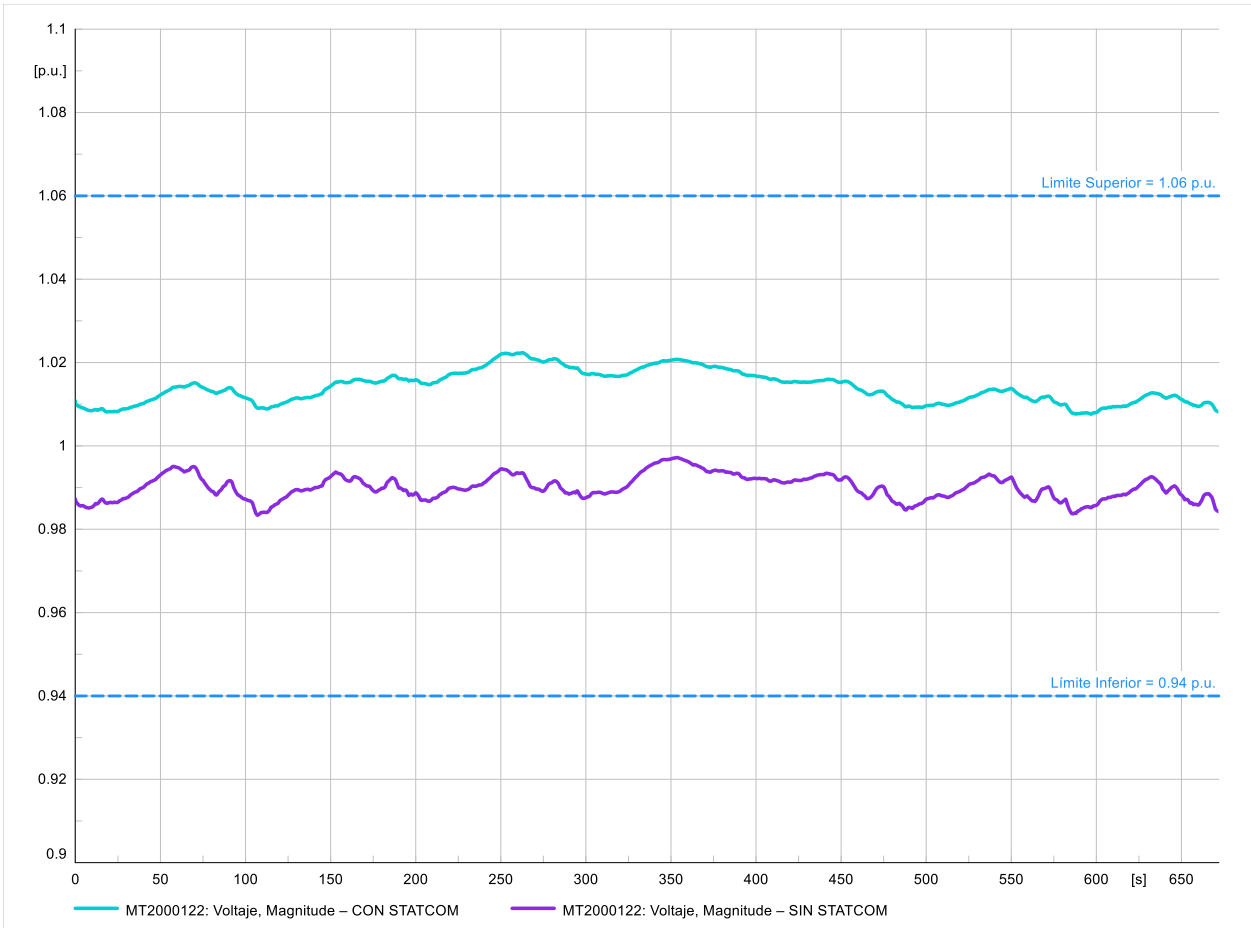
En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.980665 p.u. (intervalo 107) y un máximo de 0.994285 p.u. (intervalo 353), con un valor promedio de 0.988299 p.u. Estos valores, aunque dentro de los limites normativos, reflejan un margen de operación reducido y una tendencia a valores por debajo de la referencia nominal (1.0 p.u).

Con la integración del STATCOM, se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se elevó a 1.003614 p.u., lo que representa un incremento de 0.022949 p.u. (2.29 %) respecto al valor nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.015592 p.u., con un aumento de 0.021307 p.u. (2.13 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 1.010481 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.022182 p.u., (2.22 %). En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado aceptable a un estado óptimo.

5.1.3. Análisis de perfil de tensiones en el ramal 02.

❖ **En la SED: 2000122.**

Figura 5.9: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000122.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 5.9,** se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). Donde se evidencia que el escenario base no incumple lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 0 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 0 % del total de

intervalos de medición, quedando por debajo del 5 % del límite máximo de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es relativamente buena.

Tabla 5.9:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000122.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	107	0.98333	1.009019	0.025689	2.57
Máximo	353	0.997185	1.020753	0.023568	2.36
Promedio	1–672	0.989865	1.011979	0.022114	2.21

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **tabla 5.9.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000122 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.98333 p.u. (intervalo 107) y un máximo de 0.997185 p.u. (intervalo 353), con un valor promedio de 0.989865 p.u. Estos valores, aunque dentro de los limites normativos, reflejan un margen de operación reducido y una tendencia a valores por debajo de la referencia (1.0 p.u).

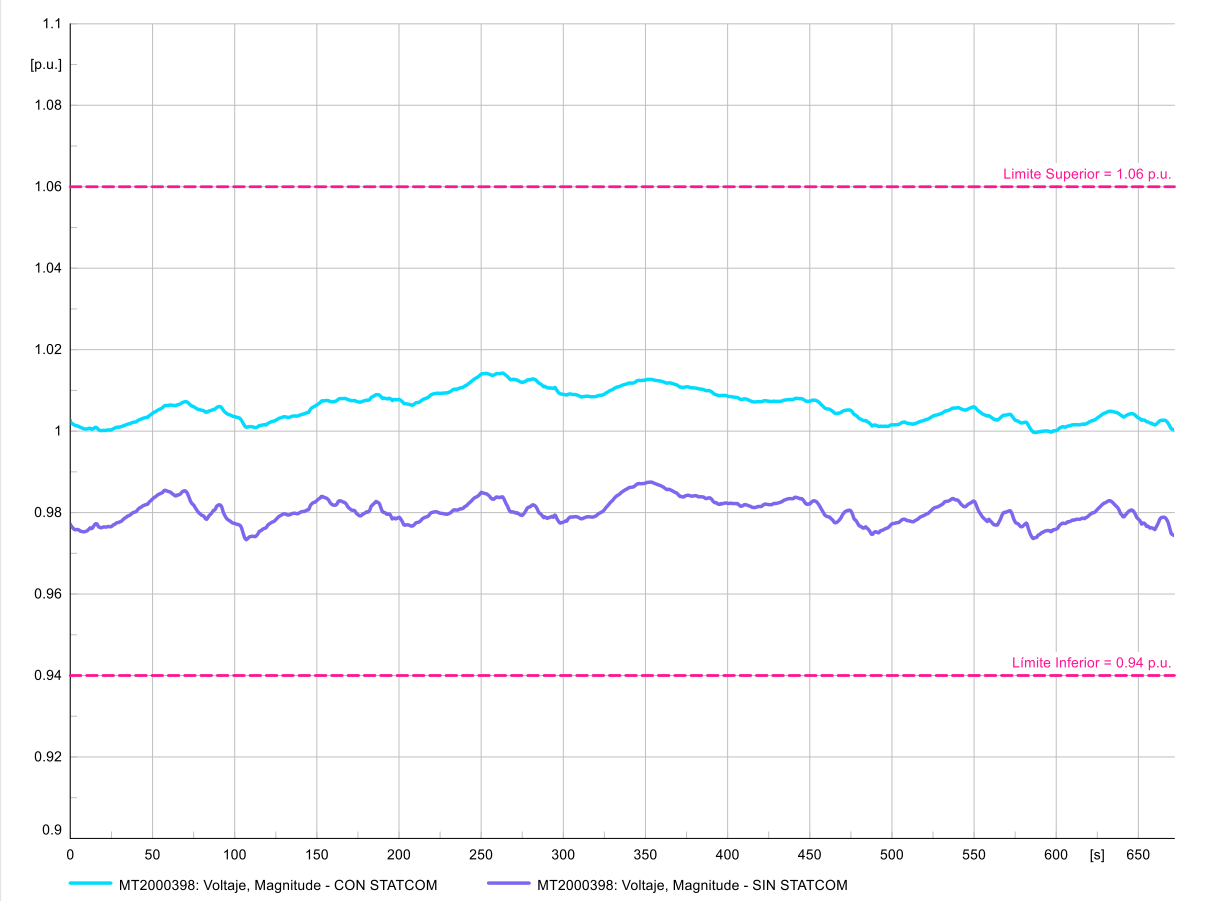
Con la integración del STATCOM, se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se elevó a 1.009019 p.u., lo que representa un incremento de 0.025689 p.u. (2.57 %) respecto al valor nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.020753 p.u., con un aumento de 0.023568 p.u. (2.36 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 1.011979 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.022114 p.u., (2.21 %). En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los

límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado aceptable a un estado óptimo.

5.1.4. Análisis del perfil de tensiones en nodos representativos del ramal 03.

- **En la SED: 2000398.**

Figura 5.10: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000398.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 5.10,** se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). Donde se evidencia que el escenario base no incumple lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 0 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 0 % del total de intervalos de medición, quedando por debajo del 5 % del límite máximo de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es relativamente buena.

Tabla 5.10:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000398.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	107	0.97331	1.000922	0.027612	2.76
Máximo	353	0.98749	1.012693	0.025203	2.52
Promedio	1–672	0.980862	1.003703	0.022841	2.28

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **tabla 5.10.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000398 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

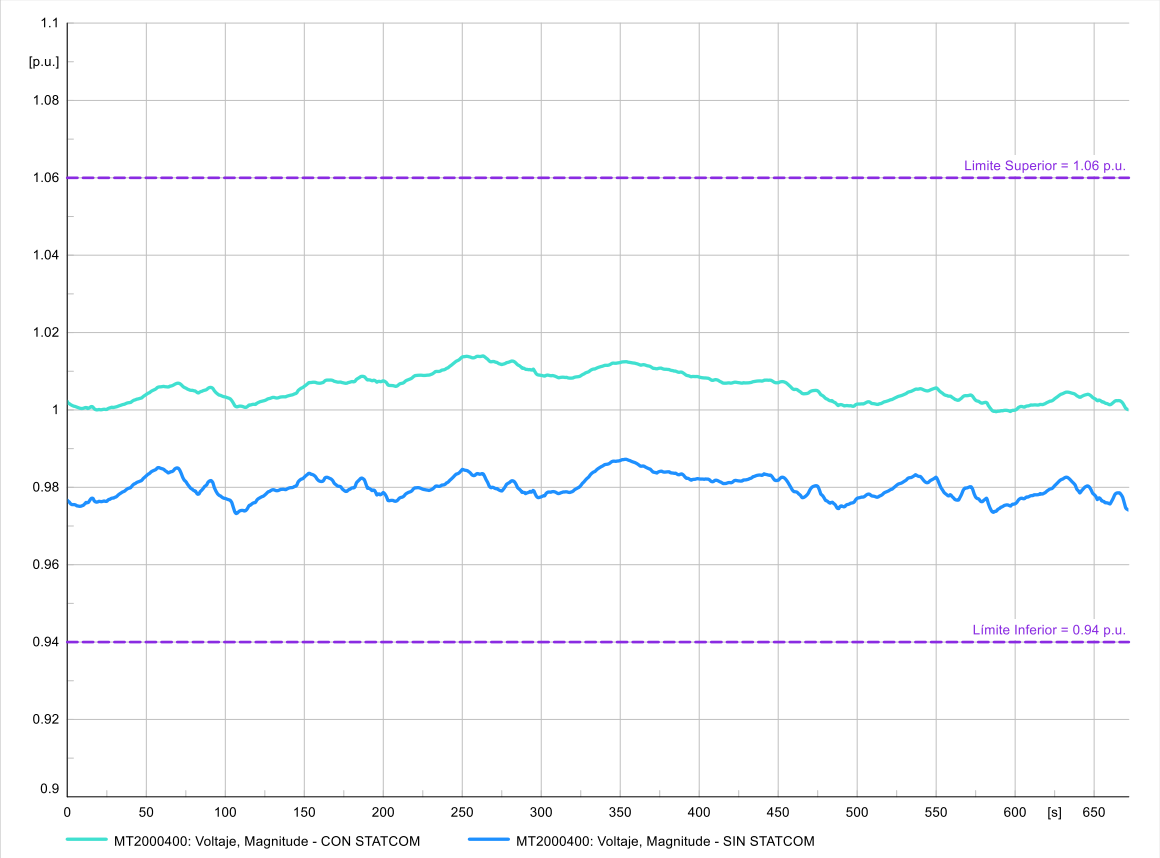
En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.97331 p.u. (intervalo 107) y un máximo de 0.98749 p.u. (intervalo 353), con un valor promedio de 0.980862 p.u. Estos valores, aunque dentro de los limites normativos, reflejan un margen de operación reducido y una tendencia a valores por debajo de la referencia nominal (1.0 p.u).

Con la integración del STATCOM, se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se elevó a 1.000922 p.u., lo que representa un

incremento de 0.027612 p.u. (2.76 %) respecto al valor nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.012693 p.u., con un aumento de 0.025203 p.u. (2.52 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 1.003703 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.022841 p.u., (2.28 %). En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado aceptable a un estado óptimo.

- **En la SED: 2000400.**

Figura 5.11: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la sed: 2000400.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 5.11,** se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). Donde se evidencia que el escenario base no incumple lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 0 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 0 % del total de intervalos de medición, quedando por debajo del 5 % del límite máximo de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es relativamente buena.

Tabla 5.11:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000400.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	107	0.97314	1.000764	0.027624	2.76
Máximo	354	0.987244	1.012476	0.025232	2.52
Promedio	1–672	0.980849	1.00372	0.022871	2.29

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **tabla 5.11.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000400 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.97314 p.u. (intervalo 107) y un máximo de 0.987244 p.u. (intervalo 354), con un valor promedio de 0.980849 p.u. Estos valores, aunque dentro de los limites normativos, reflejan un margen de operación reducido y una tendencia a valores por debajo de la referencia nominal (1.0 p.u).

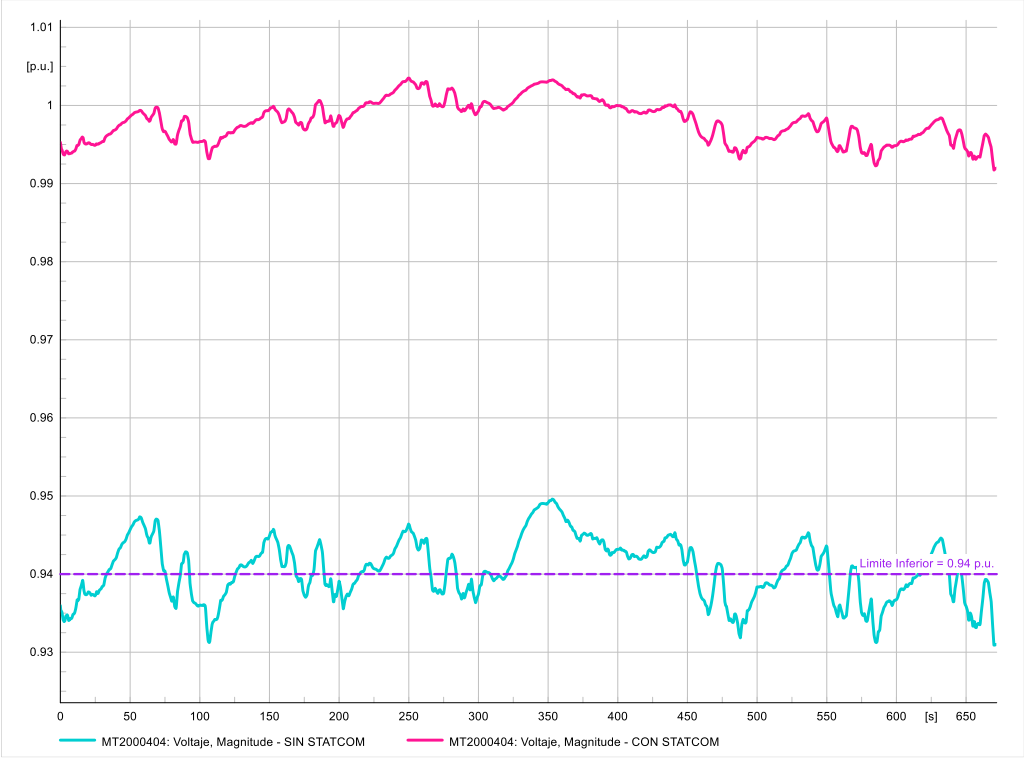
Con la integración del STATCOM, se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se elevó a 1.000764 p.u., lo que representa un

incremento de 0.027624 p.u. (2.76 %) respecto al valor nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.012476 p.u., con un aumento de 0.025232 p.u. (2.52 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 1.00372 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.022871 p.u., (2.29 %). En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado aceptable a un estado óptimo.

5.1.5. Análisis del perfil de tensiones en nodos representativos del ramal 04.

- **En la SED: 2000404.**

Figura 5.12: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000404.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 5.12,** se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). El análisis evidencia que el escenario base incumple evidentemente lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 302 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 44.94 % del total de intervalos de medición, superando el límite máximo del 5 % de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es deficiente.

Tabla 5.12:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000404.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	670	0.930813	0.991713	0.0609	6.09
Máximo	353	0.949618	1.003301	0.053683	5.37
Promedio	1–672	0.940151	0.99783	0.057679	5.77

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La tabla **5.12.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000404 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

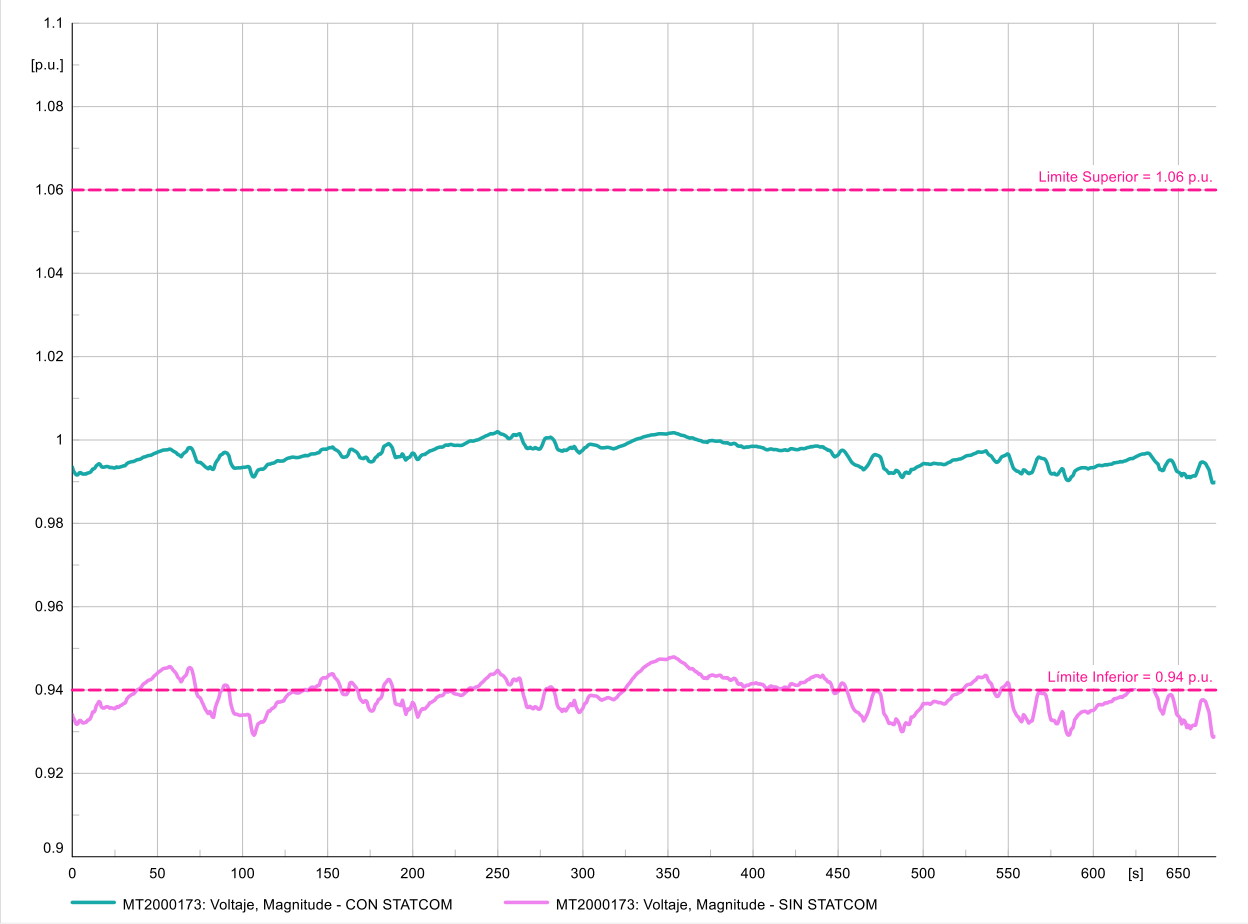
En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.930813 p.u. (intervalo 670) y un máximo de 0.949618 p.u. (intervalo 353), con un valor promedio de 0.940151 p.u. Este comportamiento refleja una caída de tensión sostenida a lo largo del periodo analizado, situando el perfil por debajo del valor de referencia (1.0 p.u).

La integración del STATCOM, solucionó por completo la no conformidad, donde se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se elevó a 0.991713 p.u., lo que representa un incremento de 0.0609 p.u. (6.09 %) respecto al valor

nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.003301 p.u., con un aumento de 0.053683 p.u. (5.37 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 0.99783 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.057679 p.u., (5.77 %). En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado deficiente a un estado óptimo.

- **En la SED: 2000173.**

Figura 5.13: Comparación del perfil de tensiones: caso de estudio base vs compensado de la SED: 2000173.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **figura 5.13,** se contrasta el perfil de tensiones del caso de estudio base (sin STATCOM) con el caso de estudio compensado (con STATACOM). El análisis evidencia que el escenario base incumple evidentemente lo estipulado en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE, al registrar 404 intervalos de medición con tensiones fuera del rango permitido de ± 6.0 %. Este valor representa el 60.12 % del total de intervalos de medición, superando el límite máximo del 5 % de intervalos fuera de tolerancia (equivalente a 34 intervalos de medición para el periodo analizado), por lo que la energía suministrada es deficiente.

Tabla 5.13:
Análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000173.

Casos	Intervalo	Sin STATCOM [p.u.]	Con STATCOM [p.u.]	Incremento [p.u.]	Incremento [%]
Mínimo	670	0.9286	0.989546	0.060946	6.09
Máximo	353	0.947988	1.001772	0.053784	5.38
Promedio	1–672	0.938699	0.996465	0.057766	5.78

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **tabla 5.13.** Presenta un análisis comparativo de los niveles de tensión registrados en la SED 2000173 para los casos sin y con la incorporación del STATCOM, considerando un periodo total de 672 intervalos de medición.

En el escenario base (sin STATCOM), el perfil de tensión presento una variación entre un valor mínimo de 0.9286 p.u. (intervalo 670) y un máximo de 0.947988 p.u. (intervalo 353), con un valor promedio de 0.938699 p.u. Este comportamiento refleja una caída de tensión sostenida a lo largo del periodo analizado, situando el perfil por debajo del valor de referencia (1.0 p.u).

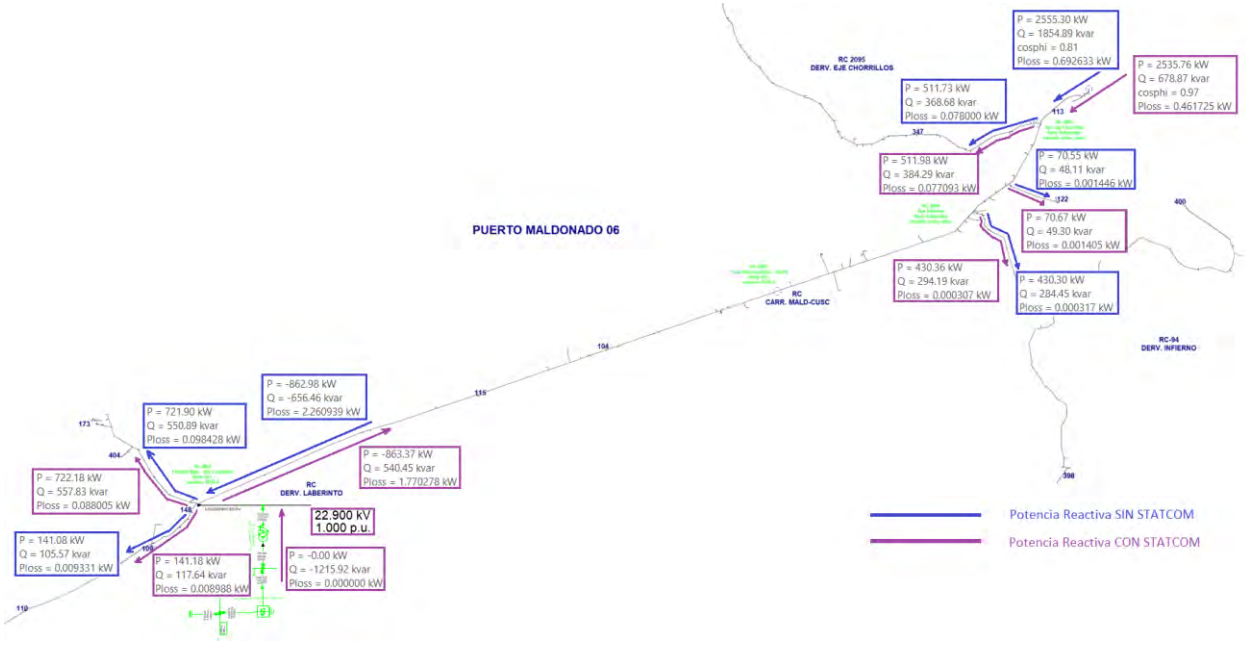
La integración del STATCOM, solucionó por completo la no conformidad, donde se observa una mejora significativa y uniforme en la regulación de la tensión. La tensión mínima se elevó a 0.989546 p.u., lo que representa un incremento de 0.060946 p.u. (6.09 %) respecto al valor

nominal. Asimismo, la tensión máxima alcanzo 1.001772 p.u., con un aumento de 0.053784 p.u. (5.38 %). Y el valor promedio de la tensión alcanzo 0.996465 p.u., evidenciando un incremento generalizado de 0.057766 p.u., (5.78 %). En el caso de estudio compensado, ningún intervalo de medición se encuentra fuera de los límites de tensión establecidos por la norma. Este resultado demuestra de manera concluyente que la incorporación del compensador logró mejorar la calidad de tensión desde un estado deficiente a un estado óptimo.

5.2. Análisis de pérdidas y de factor de potencia.

5.2.1. Comportamiento de flujo de potencia.

Figura 5.14: Análisis comparativo del flujo de potencia reactiva para los dos escenarios.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **Figura 5.14.** presenta el análisis comparativo del flujo de potencia reactiva para los dos escenarios considerados en este estudio: el escenario base (sin STATCOM) y el escenario

compensado (con STATCOM). En el escenario base el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, demanda una potencia reactiva inductiva de 1854.89 Kvar. Posteriormente con la incorporación del compensador estático síncrono (STATCOM), esta demanda se reduce significativamente a 678.87 Kvar, representando una disminución de 1176.02 Kvar, equivalente al 63.4 % de reducción. Esta mejora se atribuye directamente a la inyección de 1215.92 Kvar de potencia reactiva capacitiva proporcionada por el STATCOM, ubicado estratégicamente en el nodo identificado como ESE200NMT000757. El análisis cuantitativo revela que el compensador satisface el 65.5 % de los requerimientos de potencia reactiva totales del sistema, optimizando sustancialmente el perfil de potencia y mejorando el factor de potencia global del alimentador a 0.97. estos resultados validan técnicamente la efectividad del STATCOM como solución para la compensación reactiva en sistemas de distribución.

5.2.2. Análisis de pérdidas.

Tabla 5.14:
Comparativa de pérdidas técnicas por sección de línea en el alimentado PM-06.

Sección de Línea	Perdidas Sin STATCOM [KW]	Perdidas Con STATCOM [KW]
200MT07972	5.240467	3.468143
200MT10710	3.510139	2.20577
200MT17151	3.411595	2.642238
200MT17489	3.165707	1.998264
200MT08171	2.900468	1.944572
200MT17150	2.779792	2.019324
200MT07973	2.64854	1.752644
200MT07936	2.641026	1.751676
200MT07571	2.396895	1.535164
200MT08934	2.378504	1.790922
200MT08022	2.260939	1.770278
200MT17497	2.211797	1.42423
200MT07519	1.781535	1.204859
200MT09413	1.707666	1.074381
200MT07011	1.69318	1.096908

200MT07516	1.552696	1.152485
200MT17498	1.341715	0.864939
200MT17490	1.325064	0.835439
200MT08058	1.321772	0.876632
200MT09418	1.170464	1.133804
200MT09411	1.153999	0.725006
200MT07008	1.126225	0.729155
200MT05014	1.094518	0.97931
200MT06723	0.973117	0.606845
200MT07549	0.958982	0.948141
200MT06725	0.949224	0.594649
200MT07572	0.921774	0.597509
200MT07512	0.86944	0.564384
200MT09412	0.828611	0.521481
200MT07007	0.804576	0.515314
200MT17502	0.741593	0.511789
200MT07005	0.724776	0.45805
200MT17519	0.697524	0.463518
200MT17407_a	0.692633	0.461725
PM 06	0.692611	0.461717
200MT17498_b	0.67113	0.432369
200MT06985	0.612353	0.43923
200MT07012	0.609597	0.390389
200MT07009	0.563781	0.356486
200MT04946	0.51841	0.463375
200MT07520	0.512958	0.348728
200MT09410	0.499245	0.311765
200MT07545	0.496545	0.491388
200MT06724	0.486366	0.303325
200MT07573	0.47321	0.423192
200MT04962	0.466103	0.416663
200MT04984	0.450332	0.40276
200MT09263	0.44943	0.400562
200MT07576	0.448264	0.287482
200MT07970	0.442676	0.293807
200MT17505	0.438225	0.3129
200MT17504	0.357155	0.250523
200MT07548	0.341761	0.337791
200MT07971	0.321248	0.213212
200MT08933	0.282502	0.21626
200MT07433	0.276862	0.273925
200MT07006	0.27166	0.171673

200MT07575	0.268577	0.171973
200MT07438	0.263023	0.260733
200MT17494	0.253989	0.1627
200MT07327	0.244789	0.17568
200MT09416	0.23736	0.2301
200MT07513	0.223392	0.144998
200MT07414	0.211539	0.140296
200MT17402	0.208103	0.202032
200MT08170	0.207005	0.139328
200MT05018	0.206939	0.185027
200MT07577	0.203671	0.202048
200MT17152	0.180395	0.174378
200MT06983	0.179012	0.116176
200MT09264	0.163868	0.145868
200MT09414_b	0.15303	0.148534
200MT07425	0.14687	0.145968
200MT04990	0.113521	0.101408
200MT09262	0.111704	0.099571
200MT17486	0.111498	0.073855
200MT07514	0.098428	0.088005
200MT07431	0.096686	0.095736
200MT07424	0.095334	0.094718
200MT07546	0.090366	0.089551
200MT07969	0.078	0.077093
200MT17152-1	0.077131	0.074655
200MT17419	0.074321	0.073977
200MT17401	0.066174	0.064084
200MT09266	0.05846	0.05214
200MT09420	0.051721	0.051525
200MT17418	0.047848	0.047571
200MT07429	0.043727	0.043826
200MT07325	0.042603	0.027831
200MT07426	0.039953	0.039905
200MT09417	0.039562	0.038295
200MT07618	0.034687	0.031026
200MT07432	0.033643	0.033262
200MT07439	0.0325	0.032228
200MT09419	0.029762	0.029678
200MT07428	0.029213	0.029246
200MT17405	0.027906	0.026984
200MT07430	0.025632	0.025728
200MT09422	0.024524	0.023675

200MT07417	0.023172	0.023308
200MT07427	0.021346	0.021352
200MT07422	0.017656	0.017808
200MT07421	0.017059	0.017156
200MT07435	0.013389	0.013366
200MT17508	0.013017	0.012498
200MT06730	0.012976	0.012615
200MT09415	0.012859	0.01247
200MT07436	0.011105	0.011091
200MT07415	0.009331	0.008988
200MT07616	0.008927	0.007953
200MT17403	0.0087	0.008415
200MT06635	0.007942	0.007712
200MT06982	0.006669	0.006378
200MT07423	0.00652	0.006539
200MT07418	0.006288	0.00625
200MT07449	0.006086	0.006107
200MT07416	0.00574	0.005476
200MT09269	0.003255	0.002929
200MT10405	0.003032	0.002918
200MT04910	0.002863	0.002592
200MT07440	0.002713	0.002665
200MT04911	0.002655	0.002372
200MT07448	0.002527	0.002534
200MT07446	0.002391	0.00235
200MT07617	0.002257	0.002005
200MT07419	0.00218	0.002167
200MT09260	0.002123	0.002128
200MT04909	0.00207	0.001874
200MT07001	0.001924	0.001861
200MT17404	0.001503	0.001448
200MT17135	0.001466	0.001455
200MT09409	0.001446	0.001405
200MT04949	0.001278	0.001136
200MT04991	0.001266	0.001146
200MT07443	0.001183	0.001158
200MT06999	0.001125	0.001084
200MT07620	0.00111	0.001006
200MT17496	0.000999	0.000963
200MT07441	0.000922	0.000902
200MT07619	0.000735	0.000656
200MT09259	0.000666	0.000623

200MT09268	0.000654	0.000588
200MT07420	0.000622	0.000618
200MT07000	0.000568	0.000547
200MT07442	0.000565	0.000552
200MT17416	0.000553	0.000537
200MT09265	0.000532	0.000469
200MT05012	0.000358	0.000341
200MT06731	0.000336	0.000327
200MT17509	0.000329	0.000321
200MT09414	0.000317	0.000307
200MT17507	0.000302	0.000283
200MT07444	0.000275	0.000266
200MT17396	0.000194	0.000182
200MT07258	0.000154	0.000145
200MT07434	0.000141	0.00014
200MT07010	0.000109	0.000106
200MT17395	0.000098	0.000092
200MT06729	0.000098	0.000095
200MT09261	0.000097	0.000094
200MT07938	0.000077	0.000075
200MT17400	0.000065	0.000063
200MT07445	0.000061	0.000059
200MT06636	0.00006	0.000057
200MT06998	0.000058	0.000057
200MT17499	0.000044	0.000043
200MT17501	0.000044	0.000042
200MT06728	0.00004	0.000039
200MT07437	0.000037	0.000036
200MT17397	0.000036	0.000034
200MT06981	0.000034	0.000033
200MT07570	0.000034	0.000036
200MT07547	0.000034	0.000033
200MT07447	0.000032	0.000032
200MT17503	0.00003	0.000029
200MT10711	0.00003	0.000029
200MT04963	0.000029	0.000028
200MT07326	0.000027	0.000027
200MT07568	0.000027	0.000025
200MT07004	0.000023	0.000024
200MT17417	0.000022	0.000022
200MT06726	0.000022	0.000022
200MT07413	0.000021	0.00002

200MT07003	0.00002	0.000019
200MT09421	0.00002	0.000019
200MT07569	0.000019	0.000018
200MT07937	0.000017	0.000017
200MT04982	0.000014	0.000015
200MT17506	0.000014	0.000014
200MT07517	0.000013	0.000013
200MT17488	0.000013	0.000012
200MT07515	0.00001	0.000009
200MT06984	0.000005	0.000006
200MT09239	0.000005	0.000006
200MT06727	0.000004	0.000004
200MT17500	0.000004	0.000004
200MT07013	0.000004	0.000003
200MT07511	0.000004	0.000004
200MT17485	0.000003	0.000003
200MT07002	0.000003	0.000003
200MT07510	0.000003	0.000003
200MT04947	0.000002	0.000002
200MT07518	0.000002	0.000002
200MT17408	0.000001	0.000001
200MT09408	0.000001	0.000001
200MT17495	0.000001	0.000001
200MT07574	0.000002	0.000002
200MT04948	0.000001	0.000001
200MT07621	0.000001	0.000001
200MT09267	0.000001	0.000001
Total	**75.84569**	**53.6844**

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La **tabla 5.14,** nuestras las perdidas técnicas en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, comparando lo escenarios sin y con STATCOM. Las pérdidas totales se redujeron de 75.85 kW a 53.68 kW con la implementación del compensador, representando una disminución del 29.2% (22.16 kW menos). Esta reducción es sistemática en todas las secciones, siendo más significativa al inicio del alimentador. Por ejemplo, en la sección de línea 200MT07972 las perdidas disminuyeron de 5.24 3.47 kW (33.8 %), mientras que en 200MT10710 bajaron de 3.51

a 2.21 kW (37.1 %). El STATCOM, al elevar el perfil de tensión y compensar potencia reactiva, reduce la magnitud de corriente circulante, minimizando así las perdidas por efecto joule a lo largo de todo el alimentador y mejorando la eficiencia energética del sistema.

Tabla 5.15:
Comparativa de pérdidas técnicas por transformador en el alimentador PM-06.

Transformadores	Perdidas Sin STATCOM	Perdidas Con BASE
20000151	0.112275	0.106686
2000101	0.112413	0.106823
2000102	0.202784	0.192506
2000104	0.200188	0.184142
2000105	0.936314	0.828255
2000106	0.259007	0.228907
2000107	0.7058	0.623766
2000108	0.307881	0.271515
2000109	0.199144	0.17631
2000110	0.199076	0.176247
2000112	0.272775	0.262951
2000113	0.205689	0.197636
2000114	0.266766	0.252217
2000115	0.263374	0.239412
2000122	0.806491	0.769329
2000123	0.388938	0.371027
2000125	0.204258	0.195935
2000128	0.731396	0.697699
2000148	0.110465	0.097803
2000150	0.202687	0.192235
2000151	0.981453	0.921927
2000154	0.307975	0.271608
2000159	0.061937	0.059005
2000161	0.732572	0.699354
2000167	0.265519	0.249028
2000172	0.371028	0.327401
2000173	0.777878	0.687407
2000193	0.722098	0.672575
2000217	0.11132	0.103464
2000218	0.1127	0.107294
2000219	0.203171	0.193312
2000244	0.724459	0.680095

2000335	0.060602	0.053652
2000347	0.803848	0.770945
2000348	0.201871	0.193583
2000349	0.798326	0.765508
2000364	0.061598	0.059072
2000377	0.268499	0.256051
2000395	1.376903	1.295341
2000396	1.3769	1.295338
2000397	0.387376	0.367868
2000398	0.140661	0.133598
2000399	0.200358	0.190296
2000400	0.140524	0.133461
2000401	0.112807	0.108199
2000403	0.376498	0.332888
2000404	0.780613	0.690134
2000406	0.201155	0.191085
2000409	0.39496	0.380627
2000412	0.267789	0.256838
2000413	0.061136	0.056826
2000414	0.721708	0.671273
2000415	0.200782	0.186545
2000416	0.718766	0.659004
2000417	0.11086	0.101443
2000419	0.375676	0.332069
2000433	0.20225	0.193955
2000459	0.060975	0.057911
2000462	0.382437	0.35214
2000463	0.060789	0.05505
2000464	0.060746	0.054682
2000465	0.062376	0.059841
2000466	0.111783	0.107191
2000476	0.390476	0.373599
20004772	0.269246	0.258274
20004781	0.268943	0.257975
20004792	0.268376	0.257416
20004797	0.268145	0.257188
20004805	0.267744	0.256793
20004814	0.267292	0.256347
20004820	0.267051	0.256109
20004826	0.061621	0.059095
20004831	0.061584	0.059058
20004836	0.061548	0.059023

20004839	0.202116	0.193823
20004843	0.202051	0.19376
20004843(5)	0.201157	0.191087
20004851	0.201943	0.193653
20004867	0.201742	0.193456
20004873	0.201676	0.193391
20004882	0.201604	0.19332
20004892	0.201545	0.193262
20004899	0.201506	0.193224
2000490	0.060958	0.057895
20004908	0.201475	0.193193
2000491	0.060952	0.057888
2000529	0.060629	0.053677
2000530	0.060629	0.053677
2000531	0.201046	0.190978
2000532	0.060904	0.05784
2000534	0.743838	0.71726
2000539	0.202502	0.194204
2000540	0.743487	0.716739
2000542	0.204652	0.195967
2000544	0.061346	0.057517
2000545	0.384841	0.360822
2000546	0.384318	0.359107
2000547	0.200116	0.183795
2000548	0.200084	0.183626
2000549	0.060629	0.053677
20005490	0.202761	0.192677
20005526	0.201111	0.191041
20005573	0.200424	0.190362
20005575	0.200279	0.190217
20005578	0.200384	0.190323
20006184	0.060631	0.053679
2000649	0.73203	0.698331
2000706	0.060651	0.053698
2000710	0.060659	0.053706
2000730	0.376682	0.333071
2000739	0.3778	0.334184
2000747	0.378748	0.335128
2000772	0.380778	0.339321
2000796	0.381055	0.342757
2000864	0.382842	0.353852
2000865	0.382799	0.353676

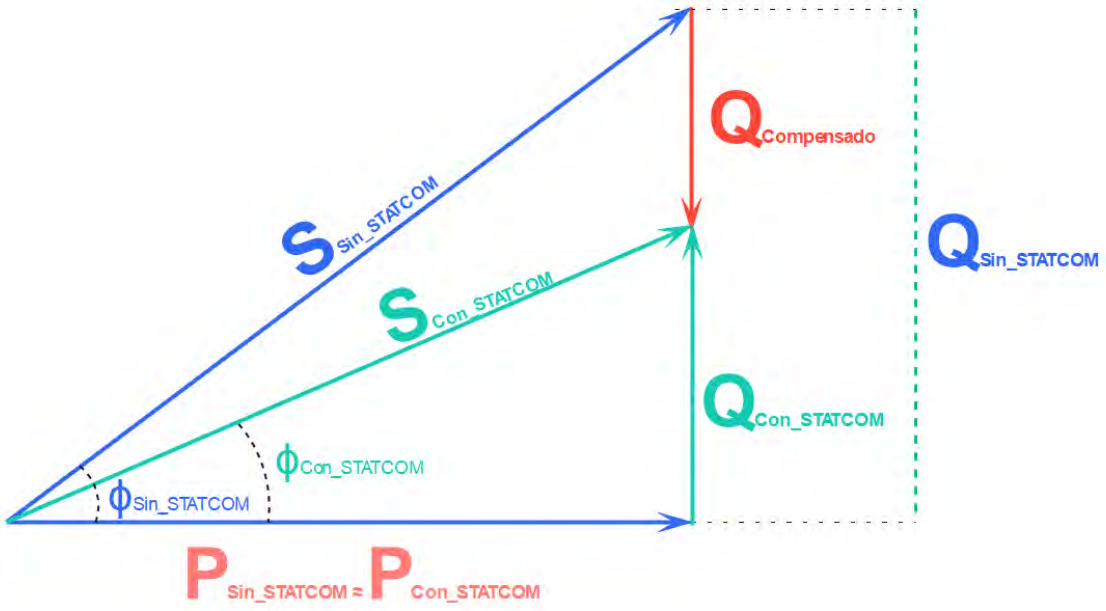
Total	**35.880809**	**33.490023**

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

La tabla **5.15,** resume las perdidas en transformadores del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. Las pérdidas totales disminuyeron de 35.88 kW a 33.49 kW con la implementación del STATCOM, logrando una reducción de 2.39 kW (6.66 %). Este resultado complementa la reducción de perdidas en líneas, evidenciando una mejora integral en la eficiencia energética del sistema gracias a la compensación proporcionada por el Compensador Estático Síncrono (STATCOM).

5.2.3. Análisis de factor de potencia.

Figura 5.15: Triangulo de potencias para el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.



Fuente: Elaboración propia.

$$Q_{Sin_STATCOM} = Q_{Compensado} + Q_{Con_STATCOM} \quad (.7.)$$

$$Q_{Sin_STATCOM} = Q_{Compensado} + Q_{Con_STATCOM}$$

$$Q_{Con_STATCOM} = Q_{Sin_STATCOM} - Q_{Compensado}$$

$$Q_{Con_STATCOM} = 1854.89\ Kvar - 1215.92\ Kvar$$

$$Q_{Con_STATCOM} = 638.97\ Kvar$$

$$\tan(\emptyset_{Con_STATCOM}) = \frac{Q_{Con_STATCOM}}{P_{Sin_STATCOM}}$$

$$\emptyset_{Con_STATCOM} = \tan^{-1}\left(\frac{Q_{Con_STATCOM}}{P_{Sin_STATCOM}}\right)$$

$$\emptyset_{Con_STATCOM} = \tan^{-1}\left(\frac{638.97\ Kvar}{2555.30\ Kvar}\right)$$

$$\emptyset_{Con_STATCOM} = 14.03°$$

Por consiguiente, el factor de potencia del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado es:

$$F.D.P_{alimentador_{PM-06}} = \cos(14.03°)$$

$$F.D.P_{alimentador_{PM-06}} = 0.97$$

5.3. Discusión de la aplicación del STATCOM en la regulación de la tensión del alimentador pm-06 de Puerto Maldonado.

La **tabla 5.16**, presenta un análisis comparativo del cumplimiento normativo de la calidad de tensión de en el alimentador PM-06, evaluando la cantidad de intervalos de medición fuera del rango permitido de ± 6.0 % para Media Tensión (MT), según lo establecido en la R.D. N° 016-2008-EM-DGE.

Tabla 5.16:
Efectividad del STATCOM en la reducción de intervalos fuera del rango de ± 6.0 % en las SED del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

Cantidad de Intervalos de Medición Fuera del Rango de ± 6.0 % para MT

N°	SED	Caso de Estudio (sin STATCOM)		Caso de Estudio (con STATCOM)	
		N° de Intervalos	N° de Intervalos [%]	N° de Intervalos	N° de Intervalos [%]
1	2000101	46	6.85%	0.00	0.00
2	2000102	70	10.42%	0.00	0.00
3	2000104	0	0.00%	0.00	0.00
4	2000105	188	27.98%	0.00	0.00
5	2000106	170	25.30%	0.00	0.00
6	2000107	182	27.08%	0.00	0.00
7	2000108	232	34.52%	0.00	0.00
8	2000109	76	11.31%	0.00	0.00
9	2000110	82	12.20%	0.00	0.00
10	2000112	88	13.10%	0.00	0.00
11	2000113	0	0.00%	0.00	0.00
12	2000114	64	9.52%	0.00	0.00
13	2000115	0	0.00%	0.00	0.00
14	2000122	0	0.00%	0.00	0.00
15	2000123	80	11.90%	0.00	0.00
16	2000125	28	4.17%	0.00	0.00
17	2000128	44	6.55%	0.00	0.00
18	2000148	71	10.57%	0.00	0.00
19	2000150	0	0.00%	0.00	0.00
20	2000151	34	5.06%	0.00	0.00
21	2000154	178	26.49%	0.00	0.00
22	2000159	28	4.17%	0.00	0.00
23	2000161	120	17.86%	0.00	0.00

24	2000167	80	11.90%	0.00	0.00
25	2000172	178	26.49%	0.00	0.00
26	2000173	404	60.12%	0.00	0.00
27	2000193	42	6.25%	0.00	0.00
28	2000217	38	5.65%	0.00	0.00
29	2000218	80	11.90%	0.00	0.00
30	2000219	54	8.04%	0.00	0.00
31	2000244	52	7.74%	0.00	0.00
32	2000335	34	5.06%	0.00	0.00
33	2000347	0	0.00%	0.00	0.00
34	2000348	20	2.98%	0.00	0.00
35	2000349	0	0.00%	0.00	0.00
36	2000364	0	0.00%	0.00	0.00
37	2000377	34	5.06%	0.00	0.00
38	2000395	82	12.20%	0.00	0.00
39	2000396	64	9.52%	0.00	0.00
40	2000397	58	8.63%	0.00	0.00
41	2000398	0	0.00%	0.00	0.00
42	2000399	38	5.65%	0.00	0.00
43	2000400	0	0.00%	0.00	0.00
44	2000401	0	0.00%	0.00	0.00
45	2000403	204	30.36%	0.00	0.00
46	2000404	302	44.94%	0.00	0.00
47	2000406	36	5.36%	0.00	0.00
48	2000409	58	8.63%	0.00	0.00
49	2000412	0	0.00%	0.00	0.00
50	2000413	68	10.12%	0.00	0.00
51	2000414	79	11.76%	0.00	0.00
52	2000415	29	4.32%	0.00	0.00
53	2000416	47	6.99%	0.00	0.00
54	2000417	39	5.80%	0.00	0.00
55	2000419	200	29.76%	0.00	0.00
56	2000433	34	5.06%	0.00	0.00
57	2000459	30	4.46%	0.00	0.00
58	2000462	40	5.95%	0.00	0.00
59	2000463	57	8.48%	0.00	0.00
60	2000464	39	5.80%	0.00	0.00
61	2000465	32	4.76%	0.00	0.00
62	2000466	28	4.17%	0.00	0.00
63	2000476	34	5.06%	0.00	0.00
64	2000490	44	6.55%	0.00	0.00
65	2000491	38	5.65%	0.00	0.00

66	2000529	52	7.74%	0.00	0.00
67	2000530	45	6.70%	0.00	0.00
68	2000531	20	2.98%	0.00	0.00
69	2000532	32	4.76%	0.00	0.00
70	2000534	35	5.21%	0.00	0.00
71	2000539	38	5.65%	0.00	0.00
72	2000540	34	5.06%	0.00	0.00
73	2000542	78	11.61%	0.00	0.00
74	2000544	10	1.49%	0.00	0.00
75	2000545	8	1.19%	0.00	0.00
76	2000546	22	3.27%	0.00	0.00
77	2000547	34	5.06%	0.00	0.00
78	2000548	41	6.10%	0.00	0.00
79	2000549	42	6.25%	0.00	0.00
80	2000649	37	5.51%	0.00	0.00
81	2000706	35	5.21%	0.00	0.00
82	2000710	47	6.99%	0.00	0.00
83	2000730	240	35.71%	0.00	0.00
84	2000739	340	50.60%	0.00	0.00
85	2000747	128	19.05%	0.00	0.00
86	2000772	80	11.90%	0.00	0.00
87	2000796	0	0.00%	0.00	0.00
88	2000864	0	0.00%	0.00	0.00
89	2000865	79	11.76%	0.00	0.00
90	20000151	34	5.06%	0.00	0.00
91	20004772	44	6.55%	0.00	0.00
92	20004781	20	2.98%	0.00	0.00
93	20004792	0	0.00%	0.00	0.00
94	20004797	0	0.00%	0.00	0.00
95	20004805	10	1.49%	0.00	0.00
96	20004814	20	2.98%	0.00	0.00
97	20004820	8	1.19%	0.00	0.00
98	20004826	8	1.19%	0.00	0.00
99	20004831	6	0.89%	0.00	0.00
100	20004836	15	2.23%	0.00	0.00
101	20004839	10	1.49%	0.00	0.00
102	20004843	8	1.19%	0.00	0.00
103	20004851	0	0.00%	0.00	0.00
104	20004867	0	0.00%	0.00	0.00
105	20004873	20	2.98%	0.00	0.00
106	20004882	30	4.46%	0.00	0.00
107	20004892	40	5.95%	0.00	0.00

108	20004899	10	1.49%	0.00	0.00
109	20004908	0	0.00%	0.00	0.00
110	20005490	36	5.36%	0.00	0.00
111	20005526	30	4.46%	0.00	0.00
112	20005573	38	5.65%	0.00	0.00
113	20005575	35	5.21%	0.00	0.00
114	20005578	36	5.36%	0.00	0.00
115	20006184	80	11.90%	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

5.3.1. Discusión de resultado.

Los resultados demuestran que la mejora obtenida con el STATCOM es técnicamente suficiente para el cumplimiento normativo integral. El compensador elimino el 100 % de las transgresiones a la NTCSER en todas las SED del alimentador, transformando puntos críticos como la SED 404 (que presentaba 44.94 % de mediciones fuera de norma) en nodos con perfiles de tensión completamente normalizados. Esta corrección sistemática valida que el STATCOM es técnicamente viable para el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, ya que su compensación dinámica se adapta eficazmente a la topología extensa y ramificada del alimentador y a las fluctuaciones características de la carga industrial maderera predominante en la zona.

Para la empresa distribuidora, la implementación representa beneficios operativos concretos: estabilización del sistema con reducción de riesgo de desconexiones por baja tensión, disminución del 21.97 % en perdidas técnicas totales y mejora del factor de potencia a 0.97. estas mejoras incrementan la capacidad de transferencia de potencia activa y la robustez de la red ante variaciones de carga. La solución presenta alto potencial de réplica en otros alimentadores con características similares, longitud considerable, alta concentración de cargas inductivas

industriales y problemas crónicos de regulación de voltaje; constituyendo una estrategia técnica estandarizable para la modernización de redes de distribución en zonas de desarrollo industrial como Puerto Maldonado.

5.3.2. Limitaciones del análisis.

El presente estudio presenta ciertas limitaciones metodológicas que delimitan su alcance. En primer lugar, el modelado del sistema asumió cargas estáticas con demanda promedio para todas las cargas no monitoreadas directamente, lo que implica una aproximación que no captura la variabilidad dinámica completa de la demanda real.

Adicionalmente, el análisis utilizo una simplificación temporal donde el valor promedio representativo de cada intervalo de medición de 15 minutos se asoció a cada segundo de simulación en DIgSILENT PowerFactory, simulando así 672 segundos en lugar de los 10080 minutos reales. Esta aproximación fue necesaria por limitaciones computacionales.

Finalmente, las simulaciones se realizaron exclusivamente en condiciones normales de operación, sin considerar eventos de contingencia que pudieran llevar al sistema a un estado operativo límite, lo que representa un escenario conservador para evaluar la resiliencia del STATCOM ante fallas.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La incorporación de un compensador estático síncrono (STATCOM) de 1.5 MVAr en la barra "ESE200NMT000757" mejoró de manera efectiva la calidad de la tensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado - 2025, validando la hipótesis general planteada. El diagnóstico inicial evidenció un incumplimiento crítico de la NTCSER, con 63 de las 115 SED trifásicas (54.78 %) operando fuera del rango de ± 6.0 % para MT, siendo las más críticas la SED 2000173 (60.12 %) y la SED 2000739 (50.60 %), debido a la extensa longitud del alimentador (148 km), la ausencia de reguladores de tensión y la alta concentración de cargas inductivas industriales, lo que generaba una demanda reactiva de 1855.74 kVAR y un factor de potencia de 0.81. La simulación del STATCOM, dimensionado mediante curvas Q-V y modelado en DIgSILENT PowerFactory con control automático de tensión (setpoint de 1 p.u.), eliminó el 100 % de las transgresiones a la NTCSER en las 115 SED, elevó el perfil de tensión promedio del nodo "ESE200NMT000757" en un 5.87 % y redujo a cero los intervalos fuera de rango en todas las subestaciones. Adicionalmente, se obtuvieron beneficios operativos integrales: las pérdidas técnicas totales se redujeron de 111.7265 kW a 87.1744 kW (-21.97 %), la demanda reactiva disminuyó de 1855.74 kVAR a 678.87 kVAR (-63.4 %) y el factor de potencia mejoró de 0.81 a 0.97, reduciendo los niveles de cargabilidad de los elementos de distribución. Estos resultados demuestran que la incorporación del STATCOM constituye una solución viable, efectiva y técnicamente robusta para resolver el problema de subtensión en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado, garantizando el cumplimiento normativo y optimizando la eficiencia y estabilidad operativa del sistema.

a. Se redujo las pérdidas de potencia en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado mediante la incorporación del compensador estático síncrono (STATCOM). El diagnóstico inicial evidenció que el alimentador, debido a su extensa longitud (148 km), la ausencia de reguladores de tensión y la alta concentración de cargas inductivas industriales de la actividad maderera, presentaba pérdidas técnicas totales de 111.7265 kW, distribuidas en 75.84569 kW en líneas de distribución y 35.8808 kW en transformadores. Con la incorporación del STATCOM de 1.5 MVAr en la barra "ESE200NMT000757", las pérdidas en líneas se redujeron a 53.68440 kW (una disminución del 29.22 %), mientras que las pérdidas en transformadores se redujeron a 33.4900 kW (una disminución del 6.66 %). En términos globales, las pérdidas técnicas totales del alimentador se redujeron a 87.1744 kW, alcanzando una reducción global del 21.97 %. Esta mejora se atribuye directamente a la inyección de potencia reactiva capacitiva proporcionada por el STATCOM, que elevó el perfil de tensión y redujo la corriente circulante por los conductores, minimizando las pérdidas por efecto Joule. En consecuencia, se valida la **hipótesis específica a**, confirmando que la incorporación del STATCOM reduce las pérdidas de potencia en el alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

b. Se redujo los niveles de cargabilidad de los elementos de distribución del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado mediante la incorporación del compensador estático síncrono (STATCOM). El análisis inicial evidenció que el alimentador operaba con un factor de potencia de 0.81 y una demanda de potencia reactiva de 1855.74 kVAR, lo que generaba una alta circulación de corriente por los conductores y transformadores, incrementando su nivel de cargabilidad. Con la incorporación del STATCOM de 1.5 MVAr, la demanda de potencia reactiva se redujo a 678.87 kVAR (una disminución de 1176.02 kVAR, equivalente al 63.4 %), y el factor de potencia del

alimentador mejoró a 0.97. Esta compensación reactiva redujo la corriente circulante por los elementos de distribución, disminuyendo su nivel de cargabilidad y liberando capacidad de transporte en la infraestructura existente. Como consecuencia, se incrementó la capacidad de transferencia de potencia activa y se mejoró la robustez de la red ante variaciones de carga. En consecuencia, se valida la **hipótesis específica b**, confirmando que la incorporación del STATCOM reduce los niveles de cargabilidad de los elementos de distribución del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

c. Se analizó la influencia del compensador estático síncrono (STATCOM), comprobándose su efectividad integral en toda la red. El compensador eliminó el 100 % de las transgresiones a la NTCSER en las 115 SED del alimentador y generó un aumento significativo del perfil de tensión en todas las subestaciones. Los mayores incrementos en los valores mínimos se registraron en los nodos que presentaban las peores condiciones iniciales (sin STATCOM), como las SED 2000173 y 2000404, donde la tensión aumentó 6.09 % (de 0.9286 p.u. a 0.9895 p.u. y de 0.9308 p.u. a 0.9917 p.u., respectivamente). De igual forma, el promedio del perfil de tensión en cada SED mostró una mejora que varía entre 1.94 % en la SED 2000347 y 5.78 % en la SED 2000173, lo que confirma un beneficio generalizado en todo el alimentador. Estos resultados demuestran de manera concluyente que la incorporación del STATCOM no solo resuelve el problema de calidad de tensión y garantiza el cumplimiento normativo en la totalidad del alimentador, sino que optimiza integralmente la estabilidad operativa del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado. En consecuencia, se valida la **hipótesis específica c**, confirmando que la incorporación del STATCOM influye positivamente en la mejora del perfil de tensiones del alimentador PM-06 de Puerto Maldonado.

7. SUGERENCIAS.

Se sugiere la incorporación del compensador estático síncrono (STATCOM) en el punto de conexión recomendado, ya que según los análisis realizados nos permitirá mejorar la calidad de tensión no solo en los puntos donde se presenta niveles de baja tensión si no que en todo el alimentador PM-06 y mejorar la calidad del producto ofertado a sus clientes por parte de la empresa distribuidora Electro Sur Este S.A.C.

Se sugiere a la empresa distribuidora que implemente un programa de monitoreo continuo de niveles de tensión en los alimentadores de Puerto Maldonado y en especial en la PM-06, de tal manera que registren las variaciones en distintos periodos de carga y se actualicen los diagnósticos periódicamente. Esto permitirá detectar oportunamente desviaciones fuera de norma y evaluar el desempeño posterior a la incorporación del compensador estático síncrono STATCOM y poder analizar su implementación en otros puntos del Sistema Eléctrico de Puerto Maldonado.

Se sugiere que, para poder validar las mediciones realizadas, se debe acompañar por la correcta visita técnica por parte del personal de la empresa distribuidora, así como realizar diagnósticos correctos, respetando las normativas de calidad de energía y dar una correcta atención para así poder tener una correcta base de datos del estado actual y periódico del sistema eléctrico de Puerto Maldonado.

8. **BIBLIOGRÁFICA.**

Alzate, A., Bedoya, A. Y., & Marulanda, J. (2017). *Aplicación del control inteligente en oscilaciones usando FACTS (STATCOM y SVC)*. *21*, 47–60.

Arias Hernández, A. (2016). *EFECTO DE LOS VOLANTES DE INERCIA EN LA ESTABILIDAD TRANSITORIA DE SISTEMAS ELÉCTRICOSEL´ELÉCTRICOS* (Primera Edición). Universidad Tecnológica de Pereira. https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/ab9f1030-6b2c-4b97-8a06-4c51c65d120e/content

Camasca Palomino, J. M. (2019). *Sistema de compensación dinámica y reactores de núcleo saturable en el sistema eléctrico de ENOSA* [Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7327/3/IV_FIN_109_TE_Camasca_Palomino_2019.pdf

Córdova Ruiz, R. (2023). *Modelamiento y simulación de un compensador estático de potencia reactiva de distribución trifásico, basado en un inversor SPWM* [Universidad Nacional del Callao]. https://hdl.handle.net/20.500.12952/8588

DIgSILENT. (2021). *Knowledge Base PowerFactory - DIgSILENT*. Https://Www.Digsilent.de/En/Faq-Reader-Powerfactory/Do-You-Have-a-Model-for-a-Statcom-2.Html. https://www.digsilent.de/en/faq-reader-powerfactory/do-you-have-a-model-for-a-statcom-2.html

Hatziargyriou, N., Milanovic, J., Rahmann, C., Ajjarapu, V., Canizares, C., Erlich, I., Hill, D., Hiskens, I., Kamwa, I., Pal, B., Pourbeik, P., Sanchez-Gasca, J., Stankovic, A., Van

Cutsem, T., Vittal, V., & Vournas, C. (2021). Definition and Classification of Power System Stability - Revisited & Extended. *IEEE Transactions on Power Systems*, *36*(4). https://doi.org/10.1109/TPWRS.2020.3041774

Hernández Sampieri, R., Ferández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Number 9).

Kundur, P. (1994). Power System Stability And Control by. In *McGraw-Hill, Inc*.

Ledesma Larrea, P. (2022). *Análisis dinámico y control de sistemas eléctricos* (Segunda edición). Universidad Carlos III de Madrid. https://hdl.handle.net/10016/31518

Li Loo, J. S. (2023). *Energías Renovables No Convencionales en el Perú: Análisis, Barreras y Oportunidades de Mejora* [PUCP]. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio//handle/20.500.12404/24283

MINEM. (1997, October 10). *Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (D.S. N° 020-97-EM)*. Https://Cdn.Www.Gob.Pe/Uploads/Document/File/898552/DS-020-97-EM.Pdf?V=1593532345. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898552/DS-020-97-EM.pdf?v=1593532345

MINEM. (2008, April 20). *Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos rurales (R.D. Nº 016-2008-EM-DGE)*. Https://Cdn.Www.Gob.Pe/Uploads/Document/File/898559/RD-016-2008-EM-DGE.Pdf?V=1593532600. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898559/RD-016-2008-EM-DGE.pdf?v=1593532600

MINEM/DGE. (2002, September 25). *Norma de Procedimientos para la Elaboración de Proyectos y Ejecución de Obras en Sistemas de Distribución y Sistemas de Utilización en Media Tensión en Zonas de Concesión de Distribución (R.D. Nº 018-2002-EM-DGE)*. Https://Cdn.Www.Gob.Pe/Uploads/Document/File/899475/RD-018-2002-EM-DGE.Pdf?V=1593548614. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/899475/RD-018-2002-EM-DGE.pdf?v=1593548614

MINEM/DGE. (2011, May). *Código Nacional de Electricidad*. https://spij.minjus.gob.pe/Graficos/Peru/2011/Mayo/05/RM-214-2011-MEM-DM.pdf

MINEM/VME. (2002, February 11). *Norma DGE-Terminología en Electricidad y Norma DGE-Símbolos Gráficos en Electricidad (R.M. N° 091-2002-EM/VME)*. Https://Cdn.Www.Gob.Pe/Uploads/Document/File/5332296/4778829-r-m-Nro-091-2002-Em-Vme.Pdf?V=1698333983. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5332296/4778829-r-m-nro-091-2002-em-vme.pdf?v=1698333983

Morán Río, D. P. (2014). *Incorporación de diferentes modos de control de un STATCOM en el análisis de flujos de carga de un Sistema Eléctrico* [UNIVERSIDAD DE VALLADOLID]. https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/12138/TFG-P-162.pdf;jsessionid=970353B56099D812C84B5FEB5779966E?sequence=1

Morfín Garduño, O. A., Zavala Rubio, L. A., Ornelas Téllez, F., Ramírez Betancour, R., Morfín-Garduño, O. A., Zavala-Rubio, L. A., Ornelas-Téllez, F., & Ramírez-Betancour, R. (2021). Compensación de potencia reactiva mediante el control robusto de un STATCOM en un

sistema de potencia. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, *22*(3), 1–13. https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2021.22.3.020

Muhamad, R. (2006). *Stability analysis of transmission systems with high penetration of distributed generation*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/81542600/download-libre.pdf?1646187931=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DStability_analysis_of_transmission_syste.pdf&Expires=1720415461&Signature=ZFv8KsbVW0dkPEXOnDndsFx8qnzOEt-tFLFQcqXkRS8~WN262QIvwmOCjQ1E0JWdBL9GTO9kicZlPrzvyk0YjJcUu42pUPU6MRW4hrjRNiQ3-Lsksa016QyUJS-9jb06BXTh5N42BkUoSinU1eZeR895OyqQPQTscfxY3VrIjuGiy0z4QvLFsYMRJ6FyE5Jhmq5R3QWbVFQobSoLF1zwpNdZl6z1prPFMHxpwOMQ157owY2ihBlV~AGgo4DsrH1QZEnkRS7-5O5ESPI2NO-jWB-YG21L87hkZneh-G54xgUTjOW0N-HEonMms~v0Zm79cH0H0vgtmk1WDGQpxR6b1w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Muni, T. V., Kishore, K. V., & Reddy, N. S. (2014). Voltage flicker mitigation by FACTS devices. *2014 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies, ICCPCT 2014*. https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2014.7054898

NOJA Power. (2023, March 1). *Recloser Fundamentals | NOJA Power - Recloser Switchgear Engineers*. Https://Www.Nojapower.Com/Expertise/2021/Recloser-Fundamentals. https://www.nojapower.com/expertise/2021/recloser-fundamentals

OSINERGMIN. (2024). Diagramas Unifilares de las Instalaciones de Transmisión y Generación. *Https://Www.Gob.Pe/Osinergmin*. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/electricidad/Documentos/Publicaciones/Catalogo-Diagramas-Unifilares-GT.pdf

Sector Electricidad. (2014, July 24). *Distribución de energía eléctrica - Sector Electricidad | Profesionales en Ingeniería Eléctrica*. Https://Www.Sectorelectricidad.Com/9602/Distribucion-de-Energia-Electrica/. https://www.sectorelectricidad.com/9602/distribucion-de-energia-electrica/

Stalyn Jimmy. (2020). *MEJORAMIENTO DE LOS PERFILES DE TENSIÓN EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE UNA MICRO-RED USANDO COMPENSADORES EN SERIE D-STATCOM*.

Sundar, G., Thirunavukkarasu, M., & Kumar, C. D. (2015). Ideal Site of Shunt FACTS Devices for Power Flow Control in Long Transmission Line. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, *9*, 850–855. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:110962930

Vasquez, L. (2014, December 28). *Diferencias entre potencia Firme, Instalada y Efectiva*. Https://Www.Sectorelectricidad.Com/10965/Potencia-Firme-Instalada-Efectiva/.

9. ANEXOS.

Anexo 01: Carta de solicitud de datos del sistema eléctrico puerto Maldonado



"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

Solicito: PARAMETROS ELECTRICOS DE ALIMENTADORES Y MODELO DE LINEA

Cusco, 03 de enero del 2025

Señores.
Electro Sur Este S.A.A.
A quien corresponda

TRAMITE DOCUMENTARIO
Electro Sur Este S.A.A.
03 ENE. 2025
16:34

Por medio de la presente yo, Jose Alberto Hancco Nuñez, identificado con DNI. N° 75250989, con domicilio en Urb. Independencia, del distrito de Cusco y provincia del Cusco.

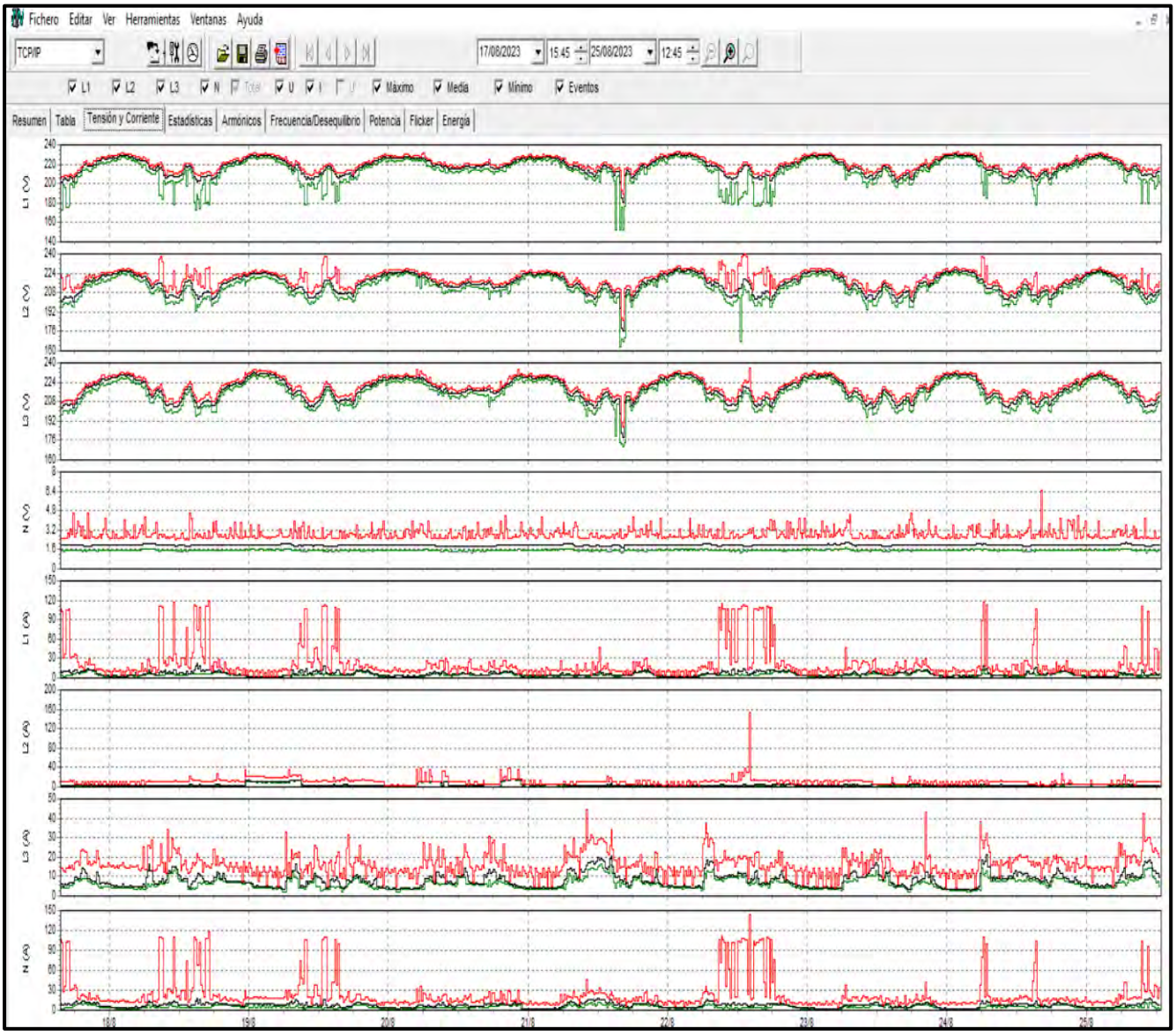
Solicito información sobre PARAMETROS ELECTRICOS Y MODELADO DE LINEA DE LOS ALIMENTADORES QUE SE MENCIONA A CONTINUACION: PM08, PM06, MZ01, con la finalidad de elaboración de tesis de grado académico respecto a la estabilidad de tensión en dichos alimentadores.

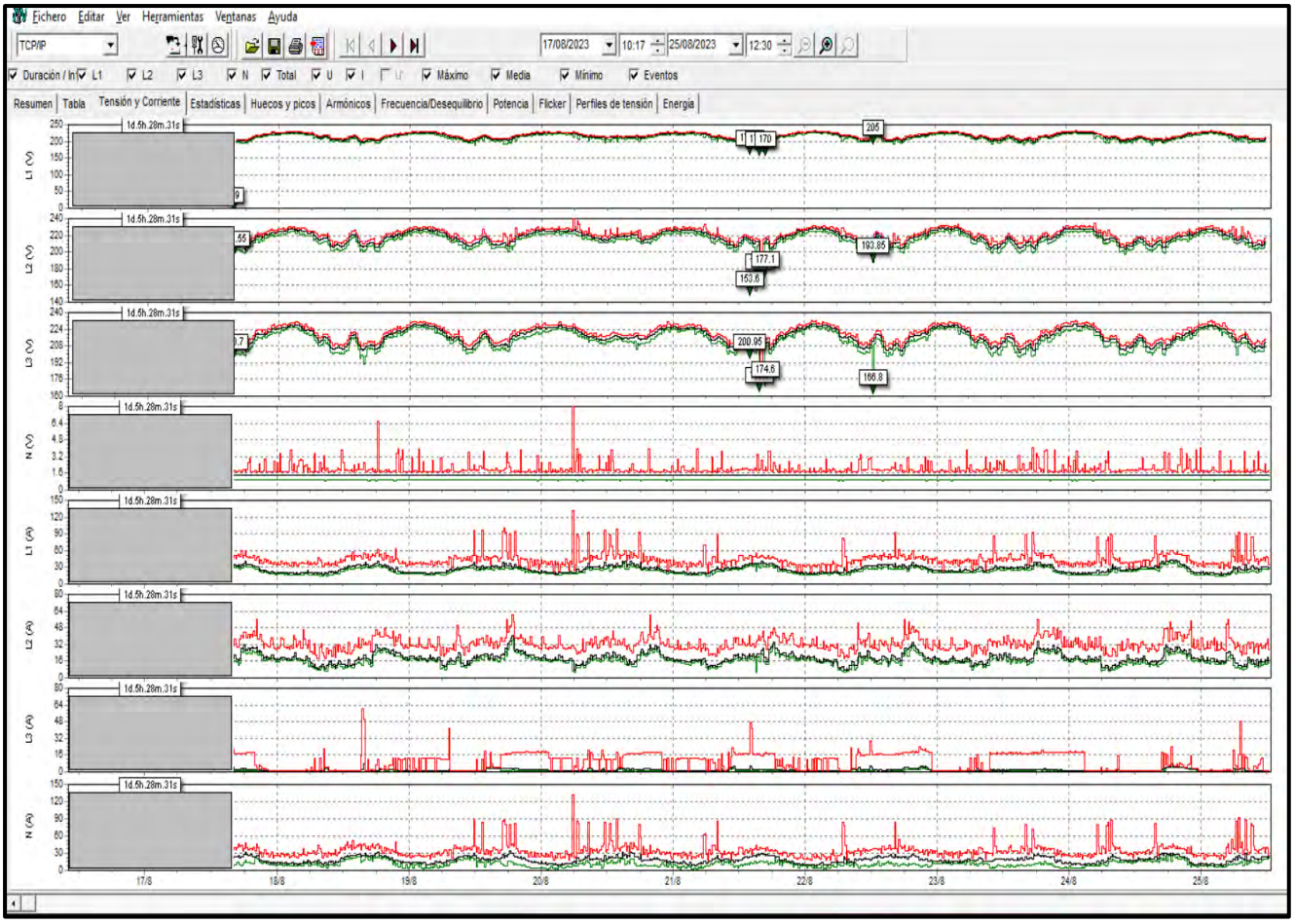
Agradezco de antemano su tiempo y consideración.

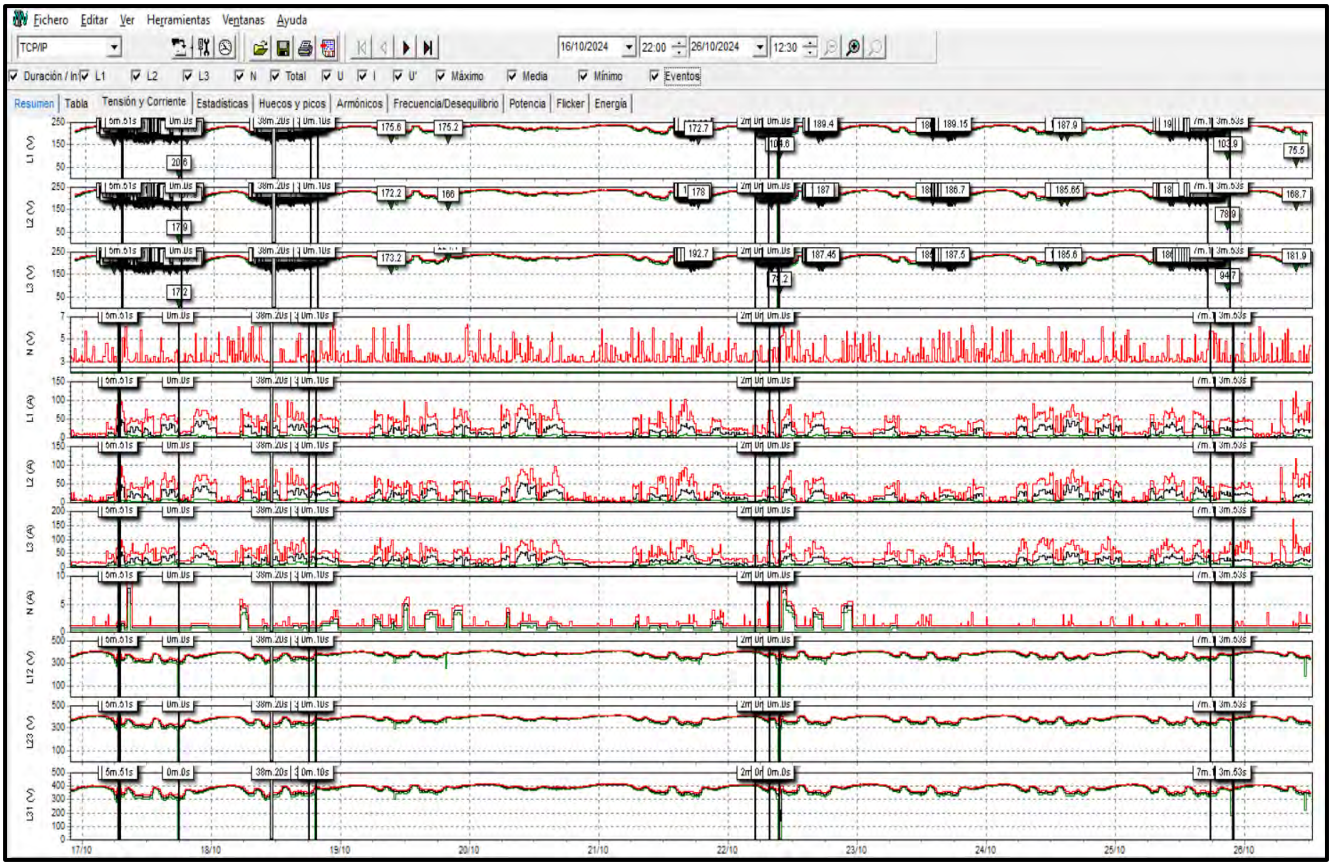
Atentamente.

Jose Alberto Hancco Nuñez
DNI: 75250989

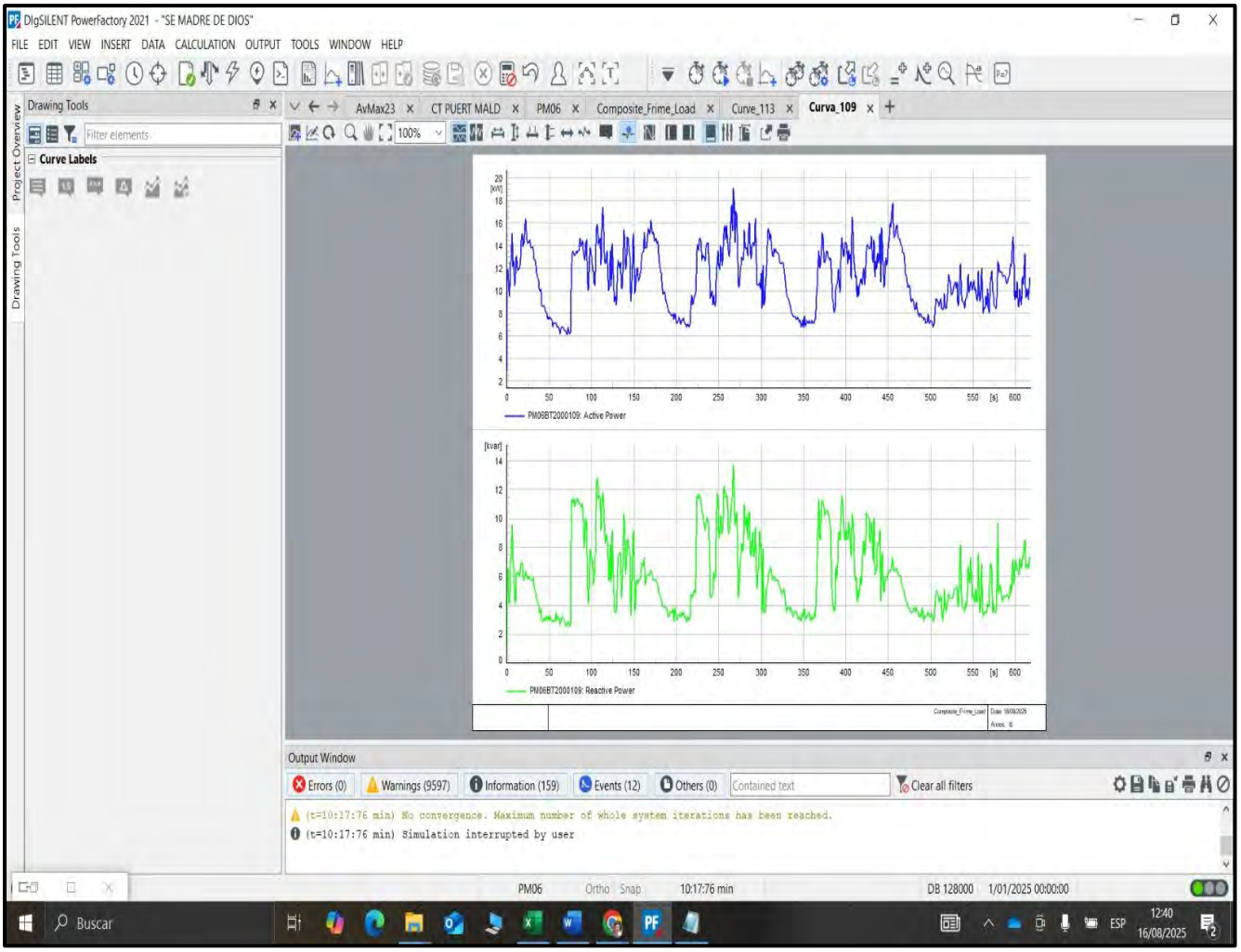
ANEXO 02: Datos de perfil de tensiones de sed del alimentador pm-06 en software MEDCALSCOPE 4.3.61.



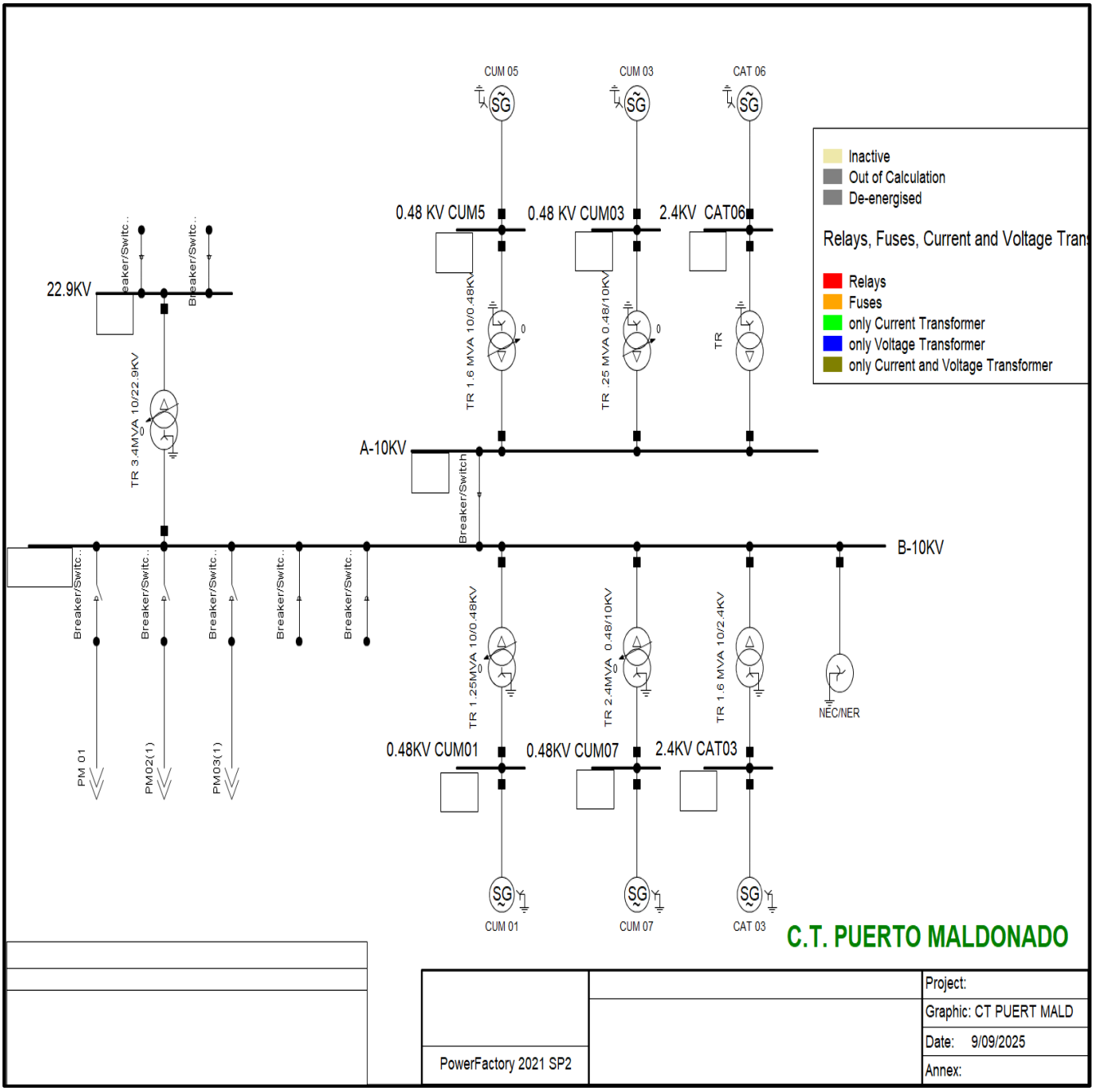

Fichero Editar Ver Herramientas Ventanas Ayuda
TCP/IP
17/08/2023 10:17 25/08/2023 12:30
Duración / In L1 L2 L3 N Total U I Máximo Media Mínimo Eventos
Resumen Tabla Tensión y Corriente Estadísticas Huecos y picos Armónicos Frecuencia/Desequilibrio Potencia Flicker Perfiles de tensión Energía
1d.5h.28m.31s
L1 (V)
L2 (V)
L3 (V)
N (V)
L1 (A)
L2 (A)
L3 (A)
N (A)
205
193.85
177.1
163.6
200.95
174.6
166.8
17/8
18/8
19/8
20/8
21/8
22/8
23/8
24/8
25/8


Fichero Editar Ver Herramientas Ventanas Ayuda
TCP/IP
16/10/2024 22:00 26/10/2024 12:30
Duración / In L1 L2 L3 N Total U I U' Máximo Media Mínimo Eventos
Resumen Tabla Tensión y Corriente Estadísticas Huecos y picos Armónicos Frecuencia/Desequilibrio Potencia Flicker Energía
L1 (V)
L2 (V)
L3 (V)
N (V)
L1 (A)
L2 (A)
L3 (A)
N (A)
L12 (V)
L23 (V)
L31 (V)
17/10
18/10
19/10
20/10
21/10
22/10
23/10
24/10
25/10
26/10

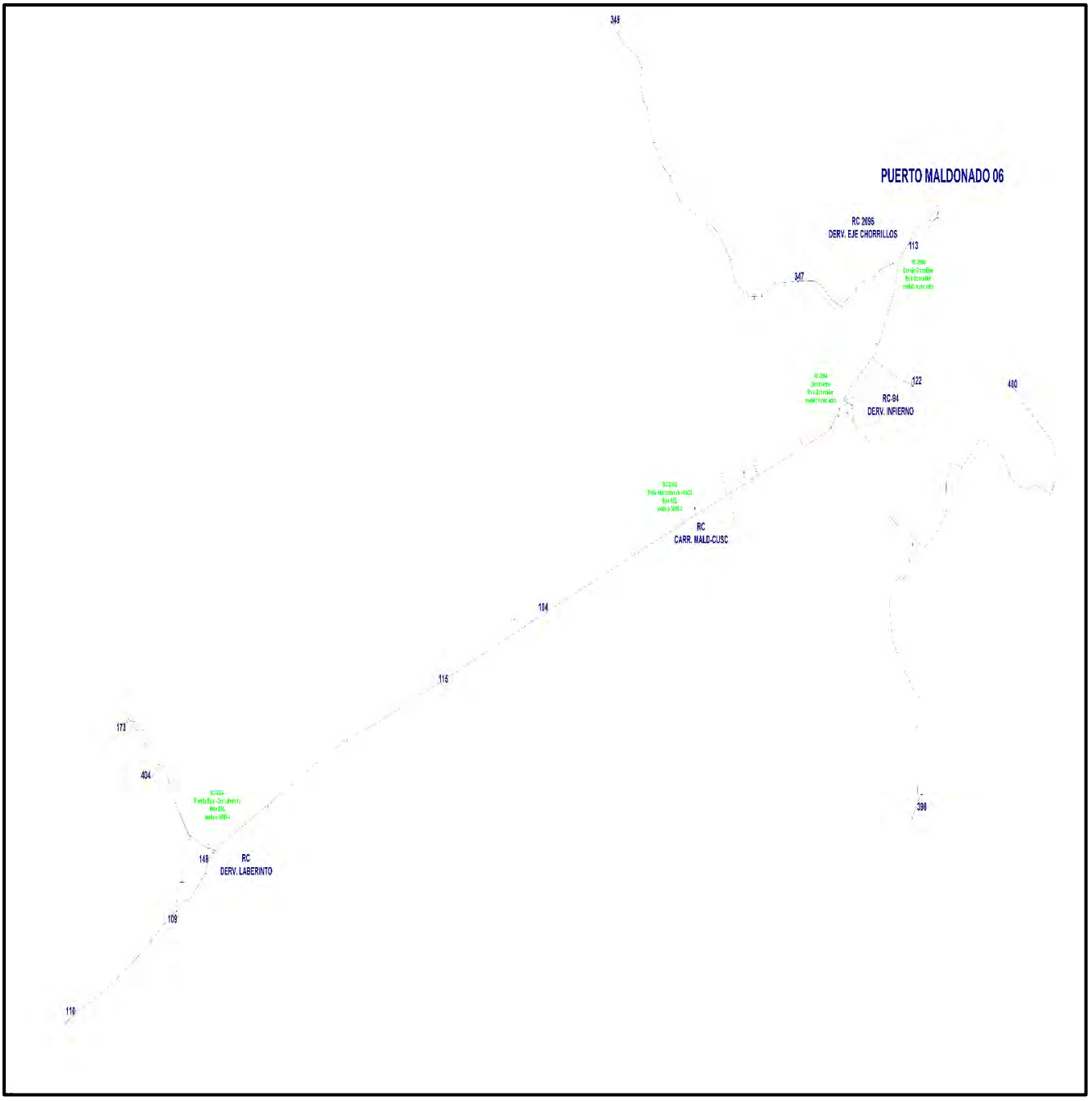
ANEXO 03: Comparativa potencia activa y reactiva en software DIgSILENT 2021 **SP2.**



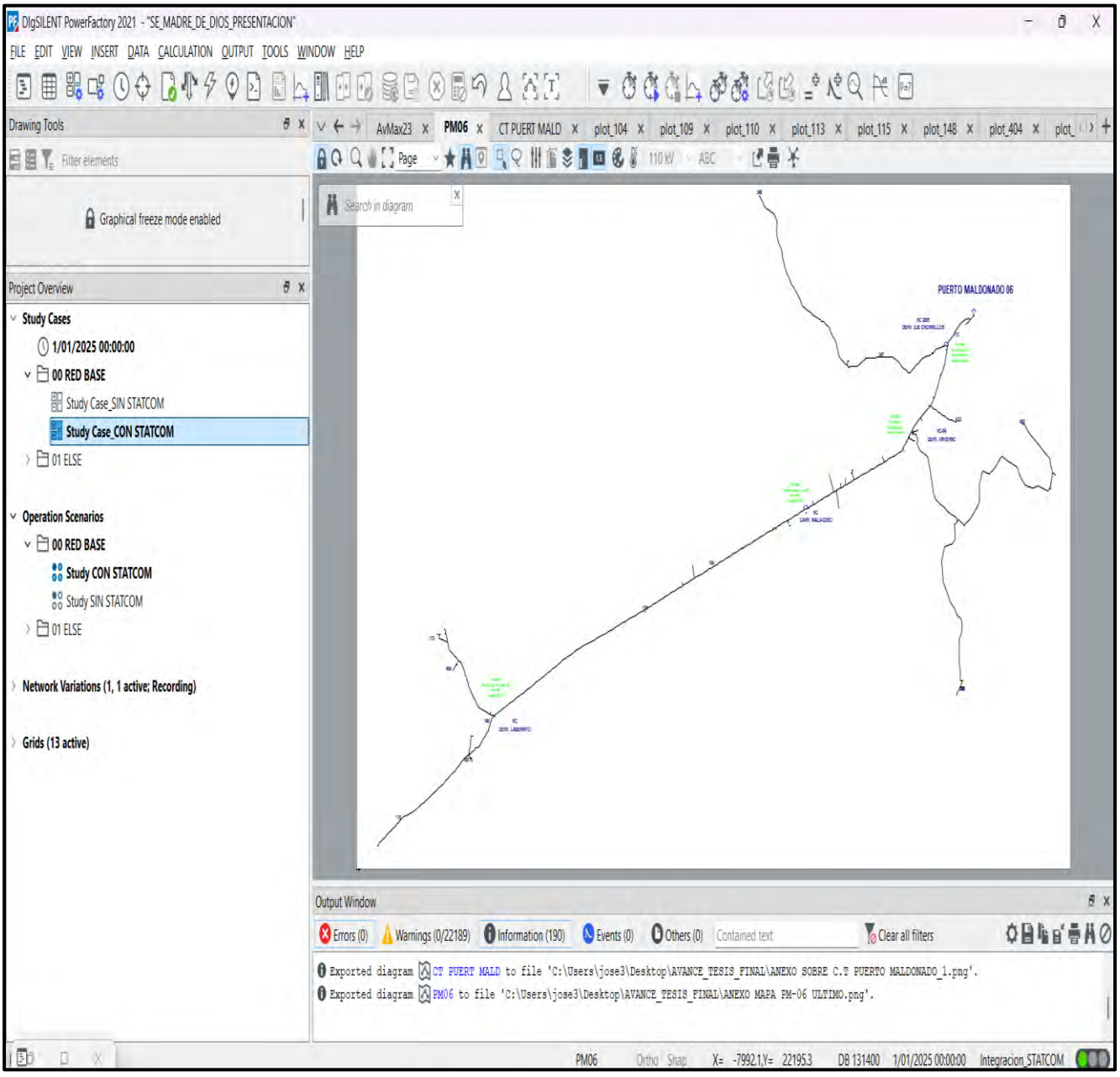
ANEXO 04: Sistema eléctrico puerto Maldonado en software DIgSILENT 2021 SP2.



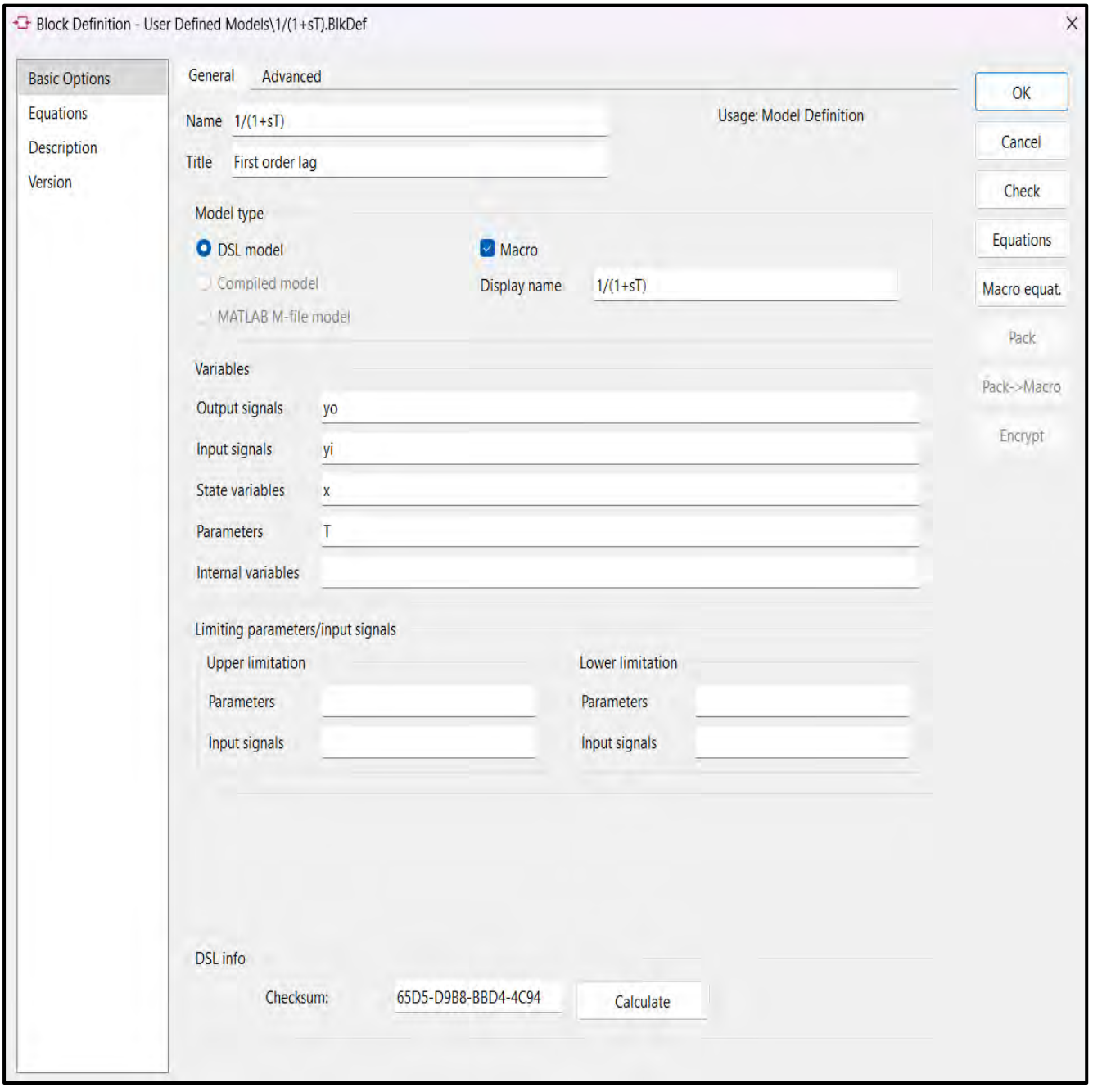
ANEXO 05: Alimentador pm-06 en software DIgSILENT 2021 SP2.



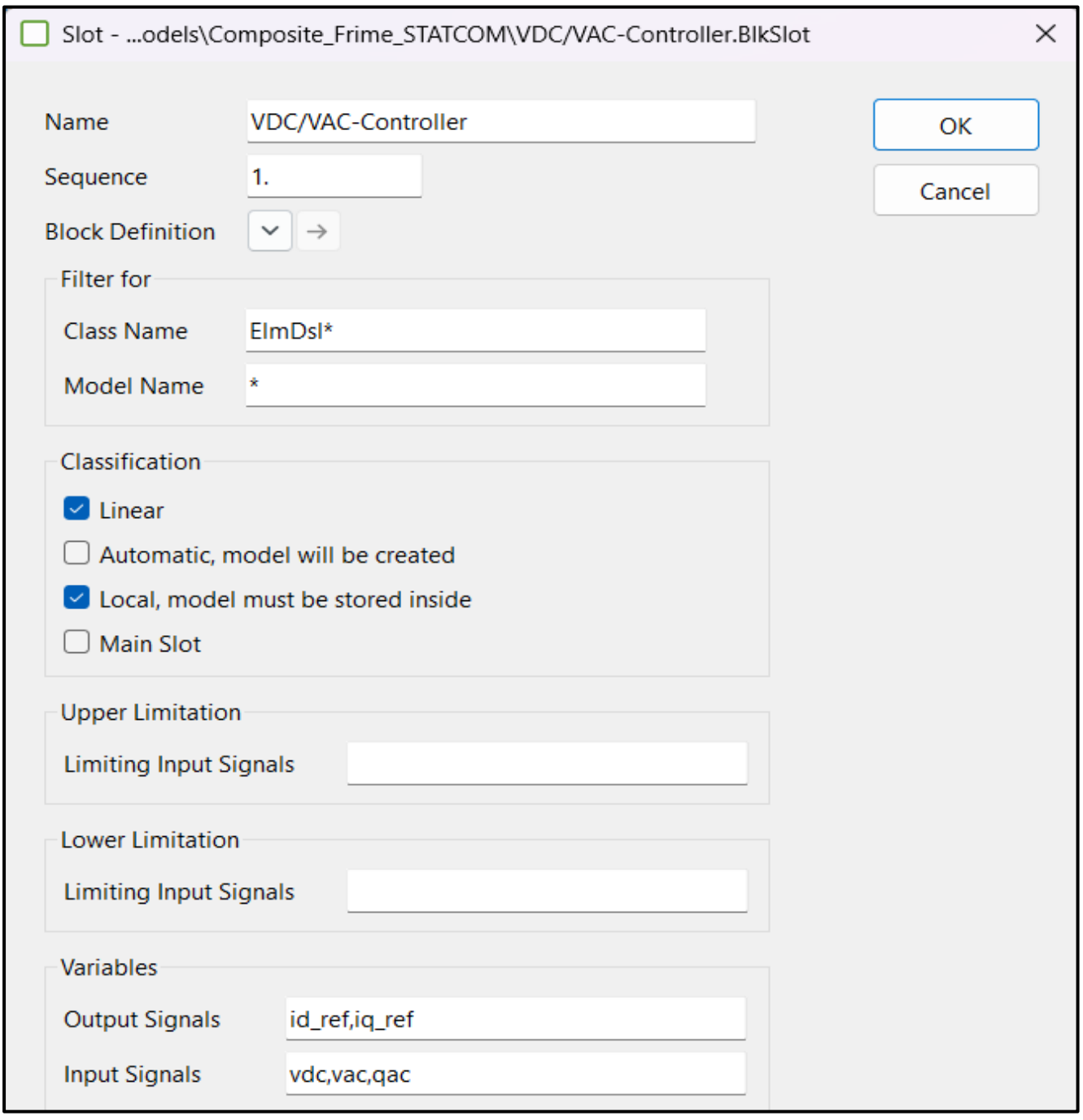
ANEXO 06: Creación de escenarios de operación sin STATCOM y con STATCOM en software DIgSILENT 2021 SP2.



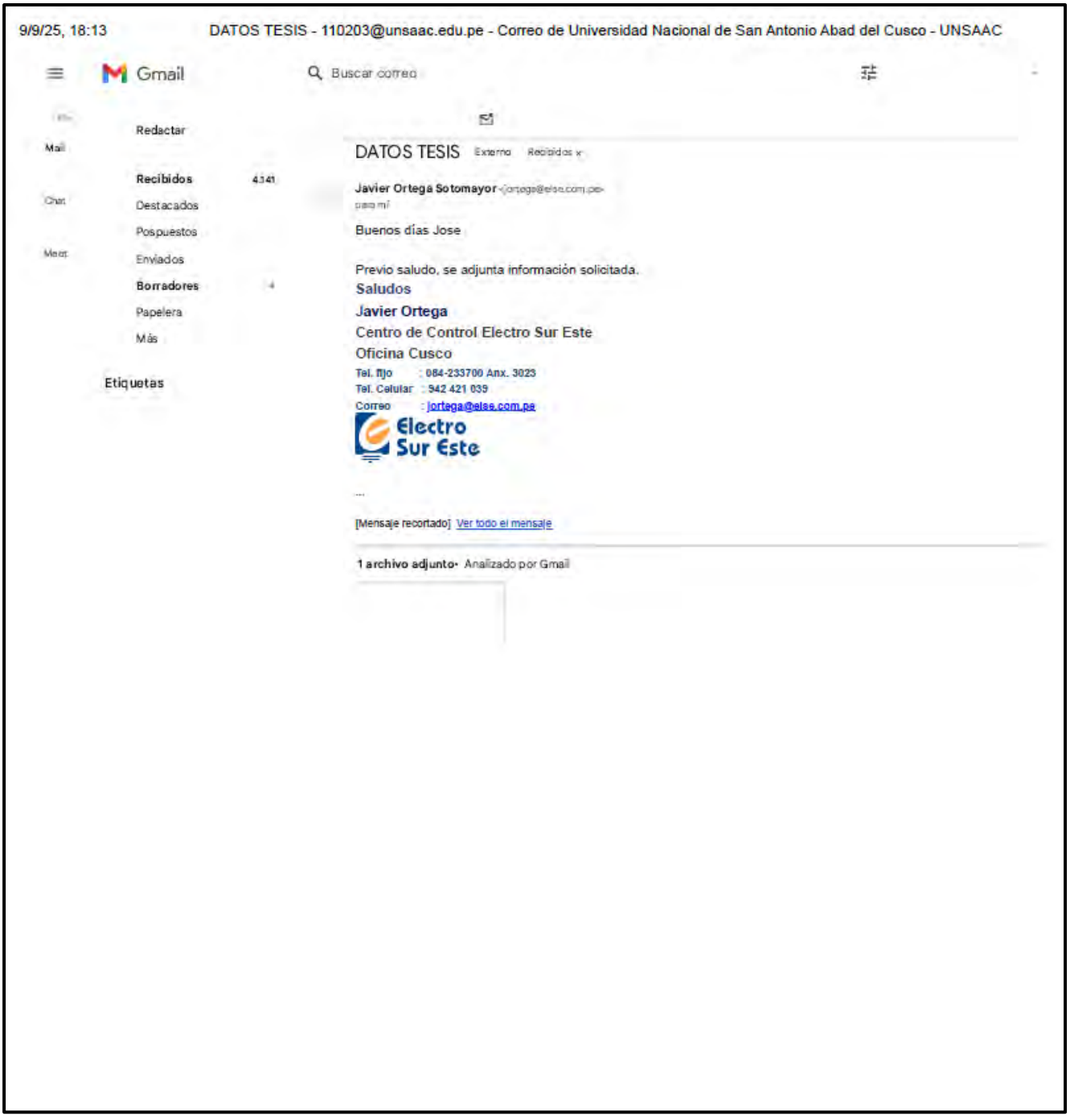
ANEXO 07: Creación de model definition para modelos dinámicos en software DIgSILENT 2021 SP2.



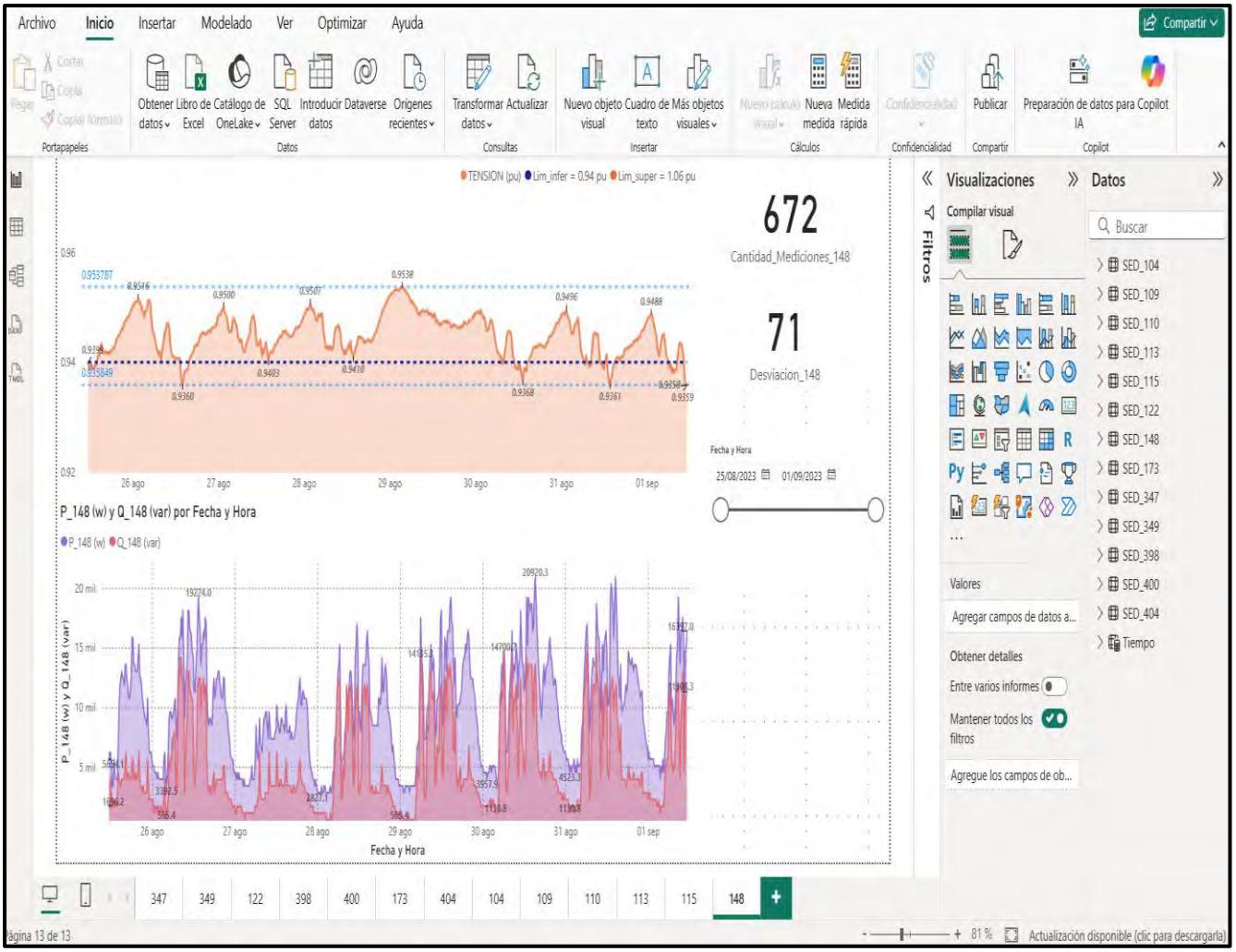
ANEXO 08: Creación de composite frame para modelos dinámicos en software DIgSILENT 2021 SP2



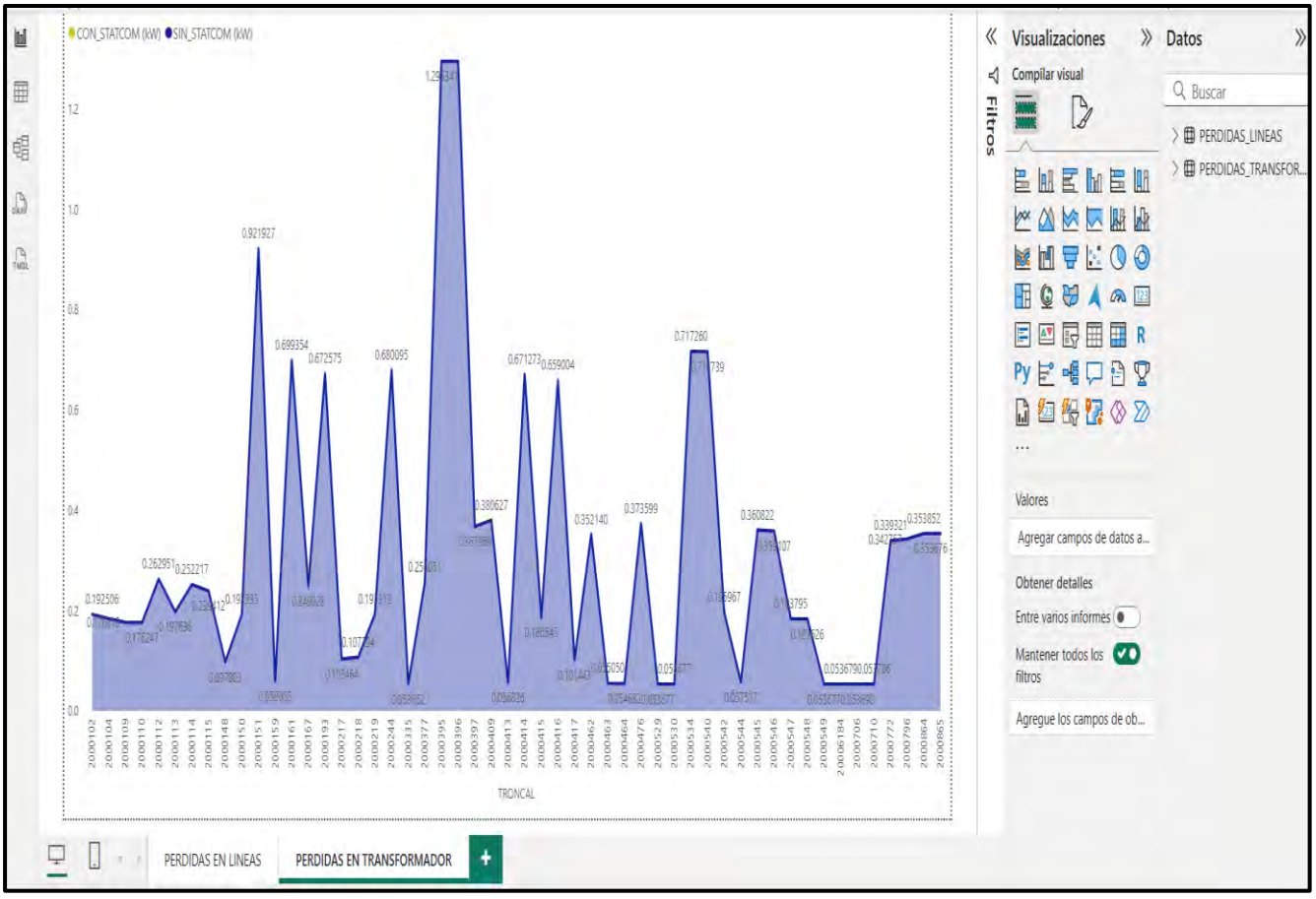
ANEXO 09: Respuesta por parte de ELSE.



ANEXO 10: Base de datos perfil de tensiones en POWER BI.

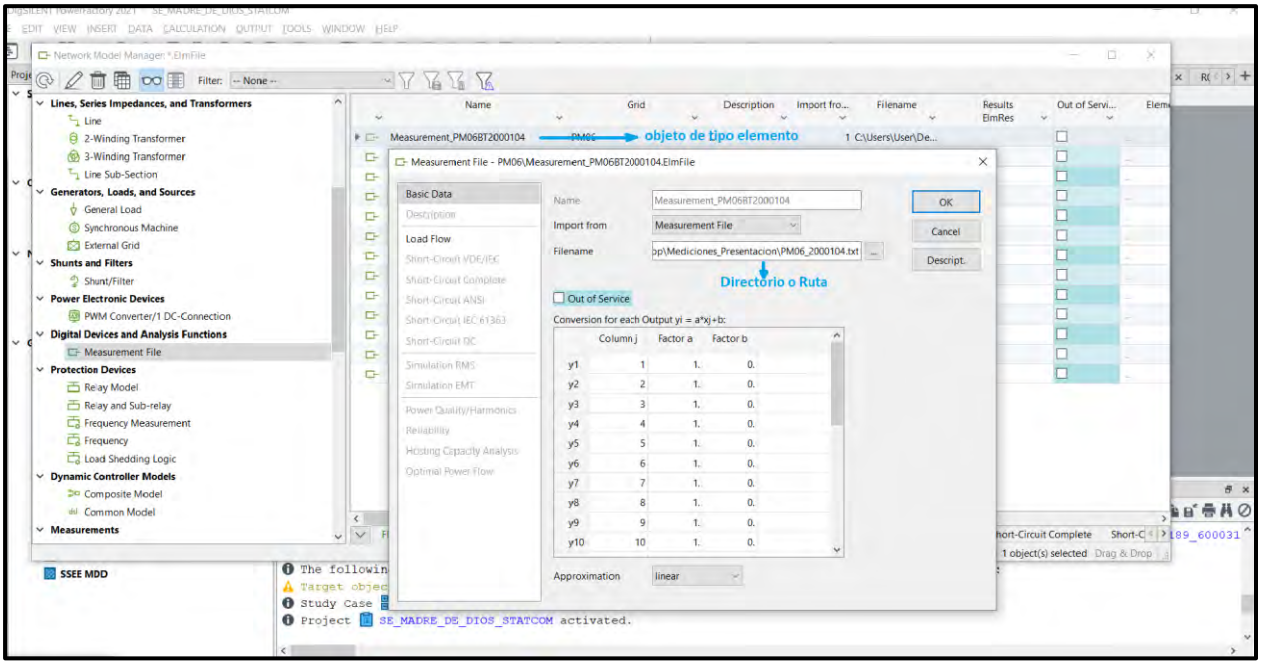


ANEXO 11: Base de datos perdidas alimentador PM-06 en POWER BI.



ANEXO 12: Procedimiento utilizado para el cargado de cargas por .text* dentro del Digsilent Power Factory.

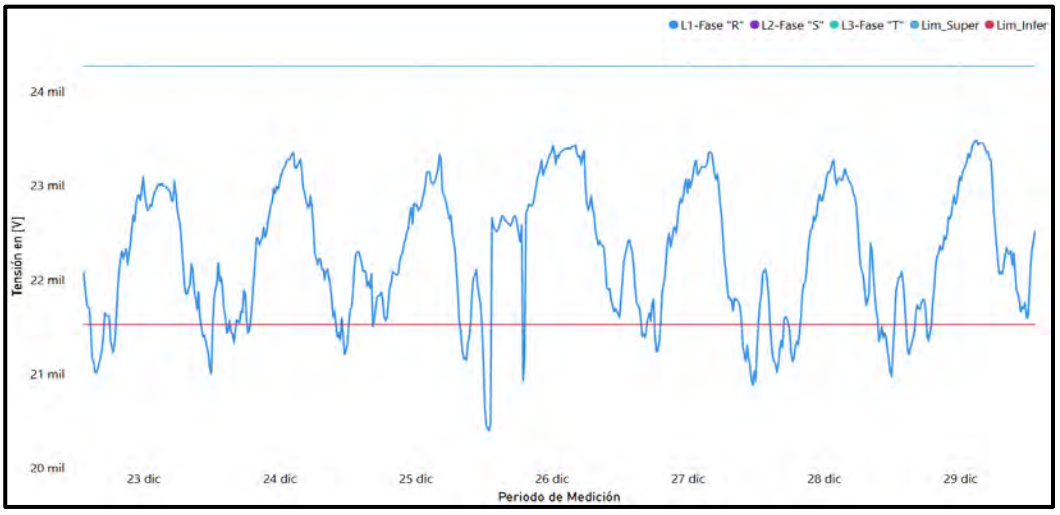
A cada objeto de tipo elemento llamado “Measurement File”, que pertenece la clase “ElmFile”, se le asocia un directorio o una ruta, donde se encuentra el archivo .txt.



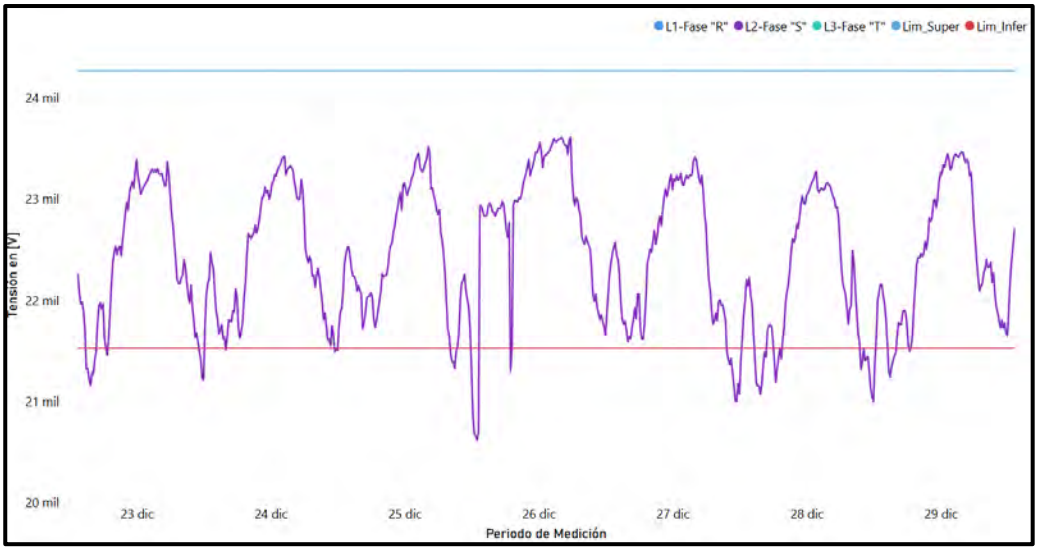
ANEXO 13: Indicadores para evaluar la calidad de tensión en la SED 2000404**.**

Fase	N° de intervalos fuera de tolerancia	Porcentaje de incumplimiento (%)	Límite normativo NTCSER (≤5.0%)	¿Cumple?
Fase R	113	16.80%	≤ 5.0 %	**No**
Fase S	70	10.40%	≤ 5.0 %	**No**
Fase T	235	35.00%	≤ 5.0 %	**No**

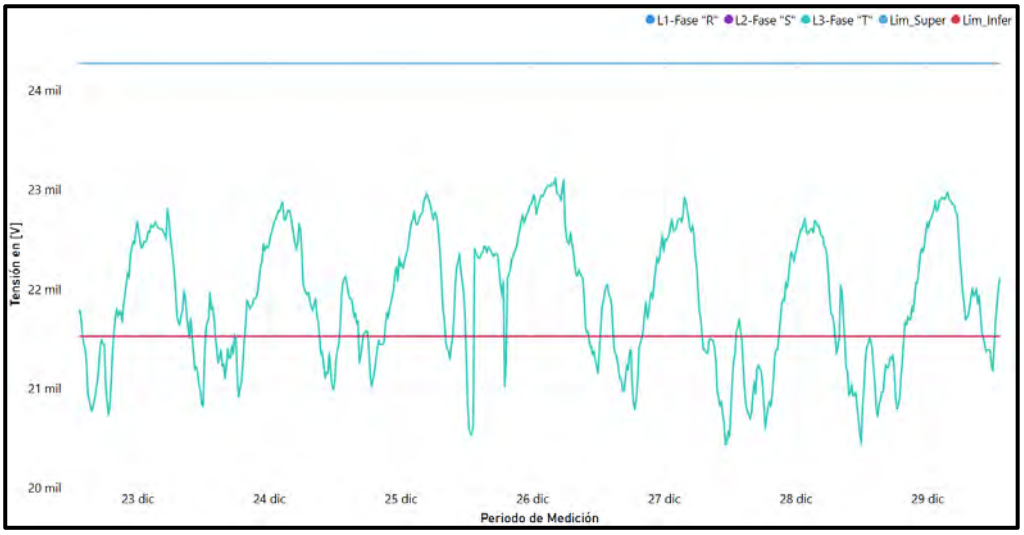
Perfil de tensiones de la fase "R"



Perfil de tensiones de la fase "S"



Perfil de tensiones de la fase "T"



ANEXO 14: Evaluación de la calidad de tensión en todas la SED del Alimentador PM-06**.**

N°	SED	Tensión mínima (p.u.)	Tensión máxima (p.u.)	N° de Intervalos fuera del rango de ± 6.0 %	Porcentaje de incumplimiento (%)	Cumple con la NTCSER
1	2000101	0.932828	0.978017	46	6.85%	No cumple con NTCSER
2	2000102	0.938246	0.984628	70	10.42%	No cumple con NTCSER
3	2000104	0.956815	0.972617	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
4	2000105	0.934842	0.970843	188	27.98%	No cumple con NTCSER
5	2000106	0.929423	0.984003	170	25.30%	No cumple con NTCSER
6	2000107	0.936824	0.997163	182	27.08%	No cumple con NTCSER
7	2000108	0.930802	0.981032	232	34.52%	No cumple con NTCSER
8	2000109	0.935485	0.985347	76	11.31%	No cumple con NTCSER
9	2000110	0.935301	0.970511	82	12.20%	No cumple con NTCSER
10	2000112	0.929365	0.980074	88	13.10%	No cumple con NTCSER
11	2000113	0.991955	1.005317	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
12	2000114	0.935023	1.010596	64	9.52%	No cumple con NTCSER
13	2000115	0.950021	0.990645	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
14	2000122	0.983324	0.997185	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
15	2000123	0.932824	0.994159	80	11.90%	No cumple con NTCSER
16	2000125	0.920702	0.980620	28	4.17%	Si cumple con NTCSER
17	2000128	0.939563	0.996232	44	6.55%	No cumple con NTCSER
18	2000148	0.935849	0.970538	71	10.57%	No cumple con NTCSER
19	2000150	0.954568	0.981274	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
20	2000151	0.937479	0.988911	34	5.06%	No cumple con NTCSER
21	2000154	0.921976	0.988911	178	26.49%	No cumple con NTCSER
22	2000159	0.939284	1.068277	28	4.17%	Si cumple con NTCSER
23	2000161	0.939289	0.986828	120	17.86%	No cumple con NTCSER
24	2000167	0.921976	0.947289	80	11.90%	No cumple con NTCSER
25	2000172	0.932839	0.980202	178	26.49%	No cumple con NTCSER
26	2000173	0.928672	0.980479	404	60.12%	No cumple con NTCSER
27	2000193	0.931175	0.980757	42	6.25%	No cumple con NTCSER
28	2000217	0.939231	0.981034	38	5.65%	No cumple con NTCSER
29	2000218	0.938399	0.981312	80	11.90%	No cumple con NTCSER
30	2000219	0.937566	0.981589	54	8.04%	No cumple con NTCSER
31	2000244	0.936734	0.981867	52	7.74%	No cumple con NTCSER
32	2000335	0.935902	0.982145	34	5.06%	No cumple con NTCSER
33	2000347	0.984151	0.997615	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
34	2000348	0.939679	0.980893	20	2.98%	Si cumple con NTCSER
35	2000349	0.980660	0.994285	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
36	2000364	0.972914	0.993659	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
37	2000377	0.936517	0.995629	34	5.06%	No cumple con NTCSER

38	2000395	0.937422	0.997599	82	12.20%	No cumple con NTCSER
39	2000396	0.939676	0.999569	64	9.52%	No cumple con NTCSER
40	2000397	0.931929	1.001539	58	8.63%	No cumple con NTCSER
41	2000398	0.973305	0.987490	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
42	2000399	0.936419	0.984120	38	5.65%	No cumple con NTCSER
43	2000400	0.973135	0.987244	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
44	2000401	0.960783	0.998535	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
45	2000403	0.930698	0.973910	204	30.36%	No cumple con NTCSER
46	2000404	0.930813	0.949620	302	44.94%	No cumple con NTCSER
47	2000406	0.931079	0.982511	36	5.36%	No cumple con NTCSER
48	2000409	0.935081	0.980649	58	8.63%	No cumple con NTCSER
49	2000412	0.980824	0.998762	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
50	2000413	0.939874	1.016875	68	10.12%	No cumple con NTCSER
51	2000414	0.938924	1.034988	79	11.76%	No cumple con NTCSER
52	2000415	0.938973	1.053101	29	4.32%	Si cumple con NTCSER
53	2000416	0.938356	1.003559	47	6.99%	No cumple con NTCSER
54	2000417	0.937906	1.011684	39	5.80%	No cumple con NTCSER
55	2000419	0.934455	1.019810	200	29.76%	No cumple con NTCSER
56	2000433	0.937805	0.990368	34	5.06%	No cumple con NTCSER
57	2000459	0.936554	0.993491	30	4.46%	Si cumple con NTCSER
58	2000462	0.936997	0.996615	40	5.95%	No cumple con NTCSER
59	2000463	0.936853	0.999738	57	8.48%	No cumple con NTCSER
60	2000464	0.938203	0.993402	39	5.80%	No cumple con NTCSER
61	2000465	0.934752	0.993372	32	4.76%	Si cumple con NTCSER
62	2000466	0.934302	0.991766	28	4.17%	Si cumple con NTCSER
63	2000476	0.938014	0.991211	34	5.06%	No cumple con NTCSER
64	2000490	0.938401	0.990393	44	6.55%	No cumple con NTCSER
65	2000491	0.937951	0.989575	38	5.65%	No cumple con NTCSER
66	2000529	0.932500	0.988757	52	7.74%	No cumple con NTCSER
67	2000530	0.939049	0.987939	45	6.70%	No cumple con NTCSER
68	2000531	0.938151	0.987121	20	2.98%	Si cumple con NTCSER
69	2000532	0.938149	0.986303	32	4.76%	Si cumple con NTCSER
70	2000534	0.938698	0.991066	35	5.21%	No cumple con NTCSER
71	2000539	0.939247	0.995829	38	5.65%	No cumple con NTCSER
72	2000540	0.939792	1.000593	34	5.06%	No cumple con NTCSER
73	2000542	0.939347	0.980308	78	11.61%	No cumple con NTCSER
74	2000544	0.939881	0.991062	10	1.49%	Si cumple con NTCSER
75	2000545	0.939806	1.001816	8	1.19%	Si cumple con NTCSER
76	2000546	0.939096	0.998062	22	3.27%	Si cumple con NTCSER
77	2000547	0.937545	0.994308	34	5.06%	No cumple con NTCSER
78	2000548	0.937095	0.990554	41	6.10%	No cumple con NTCSER

79	2000549	0.938644	0.996800	42	6.25%	No cumple con NTCSER
80	2000649	0.936194	1.003046	37	5.51%	No cumple con NTCSER
81	2000706	0.938084	1.009292	35	5.21%	No cumple con NTCSER
82	2000710	0.935293	0.990149	47	6.99%	No cumple con NTCSER
83	2000730	0.924842	0.988903	240	35.71%	No cumple con NTCSER
84	2000739	0.924392	0.987657	340	50.60%	No cumple con NTCSER
85	2000747	0.923942	0.994308	128	19.05%	No cumple con NTCSER
86	2000772	0.923491	0.990554	80	11.90%	No cumple con NTCSER
87	2000796	0.953041	0.998800	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
88	2000864	0.960590	0.990149	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
89	2000865	0.936814	0.981499	79	11.76%	No cumple con NTCSER
90	20000151	0.937561	0.982848	34	5.06%	No cumple con NTCSER
91	20004772	0.938324	0.994197	44	6.55%	No cumple con NTCSER
92	20004781	0.939070	0.990546	20	2.98%	Si cumple con NTCSER
93	20004792	0.941810	0.996895	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
94	20004797	0.942056	1.000204	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
95	20004805	0.939817	0.980334	10	1.49%	Si cumple con NTCSER
96	20004814	0.940563	1.000822	20	2.98%	Si cumple con NTCSER
97	20004820	0.939991	0.998180	8	1.19%	Si cumple con NTCSER
98	20004826	0.939281	0.998021	8	1.19%	Si cumple con NTCSER
99	20004831	0.938662	0.996207	6	0.89%	Si cumple con NTCSER
100	20004836	0.938021	0.989406	15	2.23%	Si cumple con NTCSER
101	20004839	0.939380	0.993400	10	1.49%	Si cumple con NTCSER
102	20004843	0.939738	0.990049	8	1.19%	Si cumple con NTCSER
103	20004851	0.941708	0.990477	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
104	20004867	0.941136	0.998586	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
105	20004873	0.938563	1.005843	20	2.98%	Si cumple con NTCSER
106	20004882	0.939901	1.001574	30	4.46%	Si cumple con NTCSER
107	20004892	0.939413	0.998306	40	5.95%	No cumple con NTCSER
108	20004899	0.938846	0.993087	10	1.49%	Si cumple con NTCSER
109	20004908	0.938274	0.998787	0	0.00%	Si cumple con NTCSER
110	20005490	0.937702	1.004486	36	5.36%	No cumple con NTCSER
111	20005526	0.937130	0.998082	30	4.46%	Si cumple con NTCSER
112	20005573	0.938957	0.991677	38	5.65%	No cumple con NTCSER
113	20005575	0.939849	0.995272	35	5.21%	No cumple con NTCSER
114	20005578	0.938013	0.998867	36	5.36%	No cumple con NTCSER
115	20006184	0.938040	0.982082	80	11.90%	No cumple con NTCSER

ANEXO 15: Características técnicas de cada tramo de línea MT que conforman la línea Troncal.

Tramo de Línea MT	Corriente Nominal	Longitud de Línea	Resistencia (R)	Reactancia (X)	Resistencia (R)	Reactancia (X)	Impedancia (Z)
TMT	[kA]	[km]	[Ω/km]	[Ω/km]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
200MT04947	0.16	0.057	0.967	0.384	0.055	0.022	0.055 + 0.022i
200MT04963	0.21	0.11	0.764	0.464	0.084	0.051	0.084 + 0.051i
200MT04982	0.125	0.161	1.419	0.813	0.228	0.13	0.228 + 0.13i
200MT05012	0.21	0.338	0.764	0.464	0.258	0.157	0.258 + 0.157i
200MT06723	0.21	0.326	0.764	0.464	0.249	0.151	0.249 + 0.151i
200MT06724	0.21	0.163	0.764	0.464	0.125	0.076	0.125 + 0.076i
200MT06725	0.21	0.321	0.764	0.464	0.245	0.149	0.245 + 0.149i
200MT06726	0.17	0.065	0.963	0.468	0.063	0.031	0.063 + 0.031i
200MT06727	0.195	0.045	0.672	0.373	0.03	0.017	0.03 + 0.017i
200MT06981	0.17	0.108	0.963	0.468	0.104	0.051	0.104 + 0.051i
200MT06982	0.21	0.48	0.764	0.464	0.367	0.223	0.367 + 0.223i
200MT06983	0.21	0.14	0.764	0.464	0.107	0.065	0.107 + 0.065i
200MT06984	0.16	0.061	1.015	0.802	0.062	0.049	0.062 + 0.049i
200MT06985	0.21	0.659	0.764	0.464	0.504	0.305	0.504 + 0.305i
200MT07002	0.17	0.279	0.963	0.468	0.269	0.131	0.269 + 0.131i
200MT07003	0.135	0.071	1.529	0.489	0.108	0.035	0.108 + 0.035i
200MT07004	0.17	0.165	0.963	0.468	0.158	0.077	0.158 + 0.077i
200MT07005	0.21	0.453	0.764	0.464	0.347	0.21	0.347 + 0.21i
200MT07006	0.21	0.166	0.764	0.464	0.127	0.077	0.127 + 0.077i
200MT07007	0.21	0.54	0.764	0.464	0.413	0.25	0.413 + 0.25i
200MT07008	0.21	0.721	0.764	0.464	0.551	0.334	0.551 + 0.334i
200MT07009	0.21	0.335	0.764	0.464	0.256	0.155	0.256 + 0.155i
200MT07010	0.135	0.386	1.529	0.489	0.59	0.189	0.59 + 0.189i
200MT07011	0.21	1.084	0.764	0.464	0.829	0.503	0.829 + 0.503i
200MT07012	0.21	0.422	0.764	0.464	0.323	0.196	0.323 + 0.196i
200MT07013	0.135	0.792	1.529	0.49	1.211	0.388	1.211 + 0.388i
200MT07258	0.21	0.552	0.764	0.464	0.422	0.256	0.422 + 0.256i
200MT07325	0.21	0.034	0.764	0.464	0.026	0.016	0.026 + 0.016i
200MT07326	0.16	0.087	0.967	0.384	0.085	0.034	0.085 + 0.034i
200MT07327	0.21	0.263	0.764	0.464	0.201	0.122	0.201 + 0.122i
200MT07413	0.17	0.057	0.963	0.468	0.054	0.027	0.054 + 0.027i
200MT07414	0.21	0.173	0.764	0.464	0.132	0.08	0.132 + 0.08i
200MT07415	0.21	0.462	0.764	0.464	0.353	0.214	0.353 + 0.214i
200MT07416	0.21	0.312	0.764	0.464	0.238	0.145	0.238 + 0.145i
200MT07510	0.255	0.074	0.481	0.442	0.036	0.033	0.036 + 0.033i

200MT07511	0.255	0.094	0.481	0.442	0.045	0.042	0.045 + 0.042i
200MT07512	0.21	0.663	0.764	0.464	0.507	0.307	0.507 + 0.307i
200MT07513	0.21	0.175	0.764	0.464	0.134	0.081	0.134 + 0.081i
200MT07515	0.105	0.03	2.436	0.507	0.074	0.015	0.074 + 0.015i
200MT07516	0.21	1.757	0.764	0.464	1.343	0.814	1.343 + 0.814i
200MT07517	0.21	0.036	0.764	0.464	0.028	0.017	0.028 + 0.017i
200MT07518	0.135	0.005	1.529	0.489	0.008	0.003	0.008 + 0.003i
200MT07519	0.21	1.606	0.764	0.464	1.228	0.745	1.228 + 0.745i
200MT07520	0.21	0.477	0.764	0.464	0.365	0.221	0.365 + 0.221i
200MT07568	0.21	0.1	0.764	0.464	0.077	0.046	0.077 + 0.046i
200MT07569	0.21	0.072	0.764	0.464	0.055	0.033	0.055 + 0.033i
200MT07570	0.17	0.3	0.963	0.468	0.289	0.141	0.289 + 0.141i
200MT07571	0.21	1.518	0.764	0.464	1.16	0.704	1.16 + 0.704i
200MT07572	0.21	0.59	0.764	0.464	0.451	0.274	0.451 + 0.274i
200MT07574	0.17	0.021	0.963	0.469	0.02	0.01	0.02 + 0.01i
200MT07575	0.21	0.18	0.764	0.464	0.138	0.084	0.138 + 0.084i
200MT07576	0.21	0.302	0.764	0.464	0.231	0.14	0.231 + 0.14i
200MT07936	0.21	0.487	0.764	0.464	0.372	0.226	0.372 + 0.226i
200MT07937	0.17	0.062	0.963	0.468	0.06	0.029	0.06 + 0.029i
200MT07938	0.17	0.277	0.963	0.469	0.266	0.13	0.266 + 0.13i
200MT07970	0.21	0.08	0.764	0.464	0.061	0.037	0.061 + 0.037i
200MT07971	0.21	0.058	0.764	0.464	0.044	0.027	0.044 + 0.027i
200MT07972	0.21	0.959	0.764	0.464	0.733	0.445	0.733 + 0.445i
200MT07973	0.21	0.485	0.764	0.464	0.371	0.225	0.371 + 0.225i
200MT08022	0.21	2.962	0.764	0.464	2.264	1.373	2.264 + 1.373i
200MT08058	0.21	0.244	0.764	0.464	0.186	0.113	0.186 + 0.113i
200MT08170	0.21	0.181	0.764	0.464	0.138	0.084	0.138 + 0.084i
200MT08171	0.21	2.459	0.764	0.464	1.879	1.14	1.879 + 1.14i
200MT08933	0.21	0.344	0.764	0.464	0.263	0.16	0.263 + 0.16i
200MT08934	0.21	2.792	0.764	0.464	2.134	1.294	2.134 + 1.294i
200MT09239	0.16	0.049	0.967	0.384	0.047	0.019	0.047 + 0.019i
200MT09259	0.125	2.119	1.37	0.395	2.904	0.838	2.904 + 0.838i
200MT09260	0.21	3.33	0.764	0.464	2.545	1.544	2.545 + 1.544i
200MT09261	0.17	0.057	0.963	0.468	0.055	0.027	0.055 + 0.027i
200MT09408	0.21	0.094	0.764	0.464	0.072	0.044	0.072 + 0.044i
200MT09410	0.21	0.164	0.764	0.464	0.125	0.076	0.125 + 0.076i
200MT09411	0.21	0.352	0.764	0.464	0.269	0.163	0.269 + 0.163i
200MT09412	0.21	0.282	0.764	0.464	0.216	0.131	0.216 + 0.131i
200MT09413	0.21	0.594	0.764	0.464	0.454	0.276	0.454 + 0.276i
200MT10710	0.21	1.068	0.764	0.464	0.816	0.495	0.816 + 0.495i
200MT10711	0.135	0.105	1.529	0.489	0.16	0.051	0.16 + 0.051i
200MT17135	0.21	2.504	0.764	0.464	1.914	1.161	1.914 + 1.161i

200MT17150	0.21	3.1	0.764	0.464	2.37	1.437	2.37 + 1.437i
200MT17151	0.21	4.311	0.764	0.464	3.296	1.999	3.296 + 1.999i
200MT17395	0.17	0.304	0.963	0.468	0.293	0.143	0.293 + 0.143i
200MT17396	0.17	0.151	0.963	0.468	0.145	0.071	0.145 + 0.071i
200MT17397	0.17	0.112	0.963	0.468	0.108	0.052	0.108 + 0.052i
200MT17407_a	0.21	0.121	0.764	0.464	0.092	0.056	0.092 + 0.056i
200MT17408	0.135	0.005	1.529	0.489	0.008	0.002	0.008 + 0.002i
200MT17485	0.17	0.013	0.963	0.468	0.013	0.006	0.013 + 0.006i
200MT17486	0.21	0.02	0.764	0.464	0.015	0.009	0.015 + 0.009i
200MT17488	0.135	0.035	1.529	0.489	0.053	0.017	0.053 + 0.017i
200MT17489	0.21	0.927	0.764	0.464	0.708	0.43	0.708 + 0.43i
200MT17490	0.21	0.396	0.764	0.464	0.303	0.184	0.303 + 0.184i
200MT17494	0.21	0.176	0.764	0.464	0.135	0.082	0.135 + 0.082i
200MT17495	0.17	0.002	0.963	0.468	0.002	0.001	0.002 + 0.001i
200MT17496	0.17	0.839	0.963	0.468	0.808	0.393	0.808 + 0.393i
200MT17497	0.21	1.627	0.764	0.464	1.244	0.754	1.244 + 0.754i
200MT17498	0.21	1.015	0.764	0.464	0.776	0.471	0.776 + 0.471i
200MT17498_b	0.21	0.508	0.764	0.464	0.388	0.235	0.388 + 0.235i
200MT17499	0.17	0.154	0.963	0.468	0.148	0.072	0.148 + 0.072i
200MT17500	0.17	0.014	0.963	0.468	0.013	0.007	0.013 + 0.007i
200MT17501	0.17	0.161	0.963	0.468	0.155	0.075	0.155 + 0.075i
200MT17502	0.21	0.716	0.764	0.464	0.547	0.332	0.547 + 0.332i
200MT17503	0.135	0.081	1.529	0.49	0.124	0.04	0.124 + 0.04i
200MT17504	0.21	0.358	0.764	0.464	0.274	0.166	0.274 + 0.166i
200MT17505	0.21	0.457	0.764	0.464	0.349	0.212	0.349 + 0.212i
200MT17506	0.135	0.038	1.529	0.489	0.058	0.019	0.058 + 0.019i
200MT17507	0.17	0.946	0.963	0.469	0.911	0.443	0.911 + 0.443i
200MT17508	0.21	1.297	0.764	0.464	0.991	0.601	0.991 + 0.601i
200MT17509	0.21	0.078	0.764	0.464	0.06	0.036	0.06 + 0.036i
200MT17519	0.21	0.123	0.764	0.464	0.094	0.057	0.094 + 0.057i
PM 06	0.21	0.121	0.764	0.464	0.092	0.056	0.092 + 0.056i

ANEXO 16: Características técnicas de cada tramo de línea MT que conforman la línea ramal 01.

Tramo de Línea MT	Corriente Nominal	Longitud de Línea	Resistencia (R)	Reactancia (X)	Resistencia (R)	Reactancia (X)	Impedancia (Z)
TMT	[kA]	[km]	[Ω/km]	[Ω/km]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
200MT07417	0.16	0.815	0.967	0.384	0.788	0.313	0.788 + 0.313i
200MT07418	0.16	0.855	0.967	0.384	0.826	0.329	0.826 + 0.329i
200MT07419	0.16	0.294	0.967	0.384	0.284	0.113	0.284 + 0.113i
200MT07420	0.16	0.084	0.967	0.384	0.081	0.032	0.081 + 0.032i
200MT07421	0.16	0.603	0.967	0.384	0.584	0.232	0.584 + 0.232i
200MT07422	0.16	0.872	0.967	0.384	0.843	0.335	0.843 + 0.335i
200MT07423	0.16	0.396	0.967	0.384	0.383	0.152	0.383 + 0.152i
200MT07424	0.16	0.425	0.967	0.384	0.411	0.163	0.411 + 0.163i
200MT07425	0.16	0.733	0.967	0.384	0.708	0.282	0.708 + 0.282i
200MT07426	0.16	0.447	0.967	0.384	0.432	0.172	0.432 + 0.172i
200MT07427	0.16	0.283	0.967	0.384	0.273	0.109	0.273 + 0.109i
200MT07428	0.16	0.475	0.967	0.384	0.46	0.183	0.46 + 0.183i
200MT07429	0.16	0.893	0.967	0.384	0.864	0.343	0.864 + 0.343i
200MT07430	0.16	0.676	0.967	0.384	0.654	0.26	0.654 + 0.26i
200MT07431	0.16	0.252	0.967	0.384	0.244	0.097	0.244 + 0.097i
200MT07432	0.125	0.066	1.37	0.395	0.091	0.026	0.091 + 0.026i
200MT07433	0.16	0.603	0.967	0.384	0.583	0.232	0.583 + 0.232i
200MT07434	0.16	0.191	0.967	0.384	0.185	0.074	0.185 + 0.074i
200MT07435	0.16	0.126	0.967	0.384	0.122	0.048	0.122 + 0.048i
200MT07436	0.16	0.124	0.967	0.384	0.12	0.048	0.12 + 0.048i
200MT07437	0.16	0.047	0.967	0.384	0.045	0.018	0.045 + 0.018i
200MT07438	0.16	0.873	0.967	0.384	0.844	0.336	0.844 + 0.336i
200MT07439	0.16	0.12	0.967	0.384	0.116	0.046	0.116 + 0.046i
200MT07440	0.16	0.489	0.967	0.384	0.473	0.188	0.473 + 0.188i
200MT07441	0.16	0.399	0.967	0.384	0.386	0.154	0.386 + 0.154i
200MT07442	0.16	0.243	0.967	0.384	0.235	0.094	0.235 + 0.094i
200MT07443	0.16	0.506	0.967	0.384	0.49	0.195	0.49 + 0.195i
200MT07444	0.16	0.543	0.967	0.384	0.525	0.209	0.525 + 0.209i
200MT07445	0.16	0.121	0.967	0.384	0.117	0.046	0.117 + 0.046i
200MT07446	0.16	0.429	0.967	0.384	0.414	0.165	0.414 + 0.165i
200MT07447	0.1	0.035	2.091	0.409	0.074	0.014	0.074 + 0.014i
200MT07448	0.16	0.153	0.967	0.384	0.148	0.059	0.148 + 0.059i
200MT07449	0.16	0.624	0.967	0.384	0.603	0.24	0.603 + 0.24i
200MT07545	0.16	1.175	0.967	0.384	1.136	0.452	1.136 + 0.452i
200MT07546	0.16	0.272	0.967	0.384	0.263	0.105	0.263 + 0.105i

200MT07547	0.135	0.024	1.529	0.489	0.037	0.012	0.037 + 0.012i
200MT07548	0.135	0.291	1.529	0.49	0.445	0.142	0.445 + 0.142i
200MT07549	0.135	0.875	1.529	0.489	1.338	0.428	1.338 + 0.428i
200MT07577	0.16	0.835	0.967	0.384	0.808	0.321	0.808 + 0.321i
200MT07969	0.135	0.066	1.529	0.489	0.102	0.033	0.102 + 0.033i
200MT09419	0.16	0.243	0.967	0.384	0.235	0.093	0.235 + 0.093i
200MT09420	0.16	0.369	0.967	0.384	0.356	0.142	0.356 + 0.142i
200MT09421	0.125	0.032	1.37	0.395	0.044	0.013	0.044 + 0.013i
200MT17417	0.125	0.039	1.419	0.813	0.056	0.032	0.056 + 0.032i
200MT17418	0.16	0.269	0.967	0.384	0.26	0.103	0.26 + 0.103i
200MT17419	0.16	0.467	0.967	0.384	0.451	0.179	0.451 + 0.179i

ANEXO 17: Características técnicas de cada tramo de línea MT que conforman la línea ramal 02.

Tramo de Línea MT	Corriente Nominal	Longitud de Línea	Resistencia (R)	Reactancia (X)	Resistencia (R)	Reactancia (X)	Impedancia (Z)
TMT	[kA]	[km]	[Ω/km]	[Ω/km]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
200MT06728	0.21	0.067	0.764	0.464	0.052	0.031	0.052 + 0.031i
200MT06729	0.21	0.035	0.764	0.464	0.027	0.016	0.027 + 0.016i
200MT06730	0.21	1.931	0.764	0.464	1.476	0.895	1.476 + 0.895i
200MT06731	0.135	0.186	1.529	0.489	0.284	0.091	0.284 + 0.091i
200MT09409	0.21	0.133	0.764	0.464	0.101	0.061	0.101 + 0.061i

ANEXO 18: Características técnicas de cada tramo de línea MT que conforman la línea ramal 03.

Tramo de Línea MT	Corriente Nominal	Longitud de Línea	Resistencia (R)	Reactancia (X)	Resistencia (R)	Reactancia (X)	Impedancia (Z)
TMT	[kA]	[km]	[Ω/km]	[Ω/km]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
200MT06635	0.125	0.36	1.419	0.813	0.511	0.293	0.511 + 0.293i
200MT06636	0.125	0.053	1.419	0.813	0.075	0.043	0.075 + 0.043i
200MT06998	0.1	0.049	2.139	0.826	0.104	0.04	0.104 + 0.04i
200MT06999	0.125	0.248	1.419	0.813	0.352	0.202	0.352 + 0.202i
200MT07000	0.125	0.506	1.419	0.813	0.718	0.411	0.718 + 0.411i
200MT07001	0.125	0.18	1.419	0.813	0.255	0.146	0.255 + 0.146i
200MT09414	0.21	0.002	0.764	0.464	0.002	0.001	0.002 + 0.001i
200MT09414_b	0.21	0.382	0.764	0.464	0.292	0.177	0.292 + 0.177i
200MT09415	0.125	0.036	1.419	0.813	0.052	0.03	0.052 + 0.03i
200MT09416	0.125	0.761	1.419	0.813	1.08	0.619	1.08 + 0.619i
200MT09417	0.125	0.174	1.419	0.813	0.247	0.142	0.247 + 0.142i
200MT09418	0.125	4.311	1.419	0.813	6.116	3.504	6.116 + 3.504i
200MT09422	0.125	0.523	1.419	0.813	0.742	0.425	0.742 + 0.425i
200MT10405	0.125	2.701	1.419	0.813	3.832	2.196	3.832 + 2.196i
200MT17152	0.125	5.278	1.419	0.813	7.488	4.29	7.488 + 4.29i
200MT17152-1	0.125	2.212	1.419	0.813	3.138	1.798	3.138 + 1.798i
200MT17400	0.125	0.058	1.419	0.813	0.082	0.047	0.082 + 0.047i
200MT17401	0.125	1.433	1.419	0.813	2.032	1.164	2.032 + 1.164i
200MT17402	0.125	6.184	1.419	0.813	8.773	5.026	8.773 + 5.026i
200MT17403	0.125	0.72	1.419	0.813	1.021	0.585	1.021 + 0.585i
200MT17404	0.125	0.33	1.419	0.813	0.468	0.268	0.468 + 0.268i
200MT17405	0.125	1.347	1.419	0.813	1.911	1.095	1.911 + 1.095i
200MT17416	0.125	0.274	1.419	0.813	0.388	0.223	0.388 + 0.223i

ANEXO 19: Características técnicas de cada tramo de línea MT que conforman la línea ramal 04.

Tramo de Línea MT	Corriente Nominal	Longitud de Línea	Resistencia (R)	Reactancia (X)	Resistencia (R)	Reactancia (X)	Impedancia (Z)
TMT	[kA]	[km]	[Ω/km]	[Ω/km]	[Ω]	[Ω]	[Ω]
200MT04909	0.21	0.108	0.764	0.464	0.082	0.05	0.082 + 0.05i
200MT04910	0.21	0.149	0.764	0.464	0.114	0.069	0.114 + 0.069i
200MT04911	0.21	0.305	0.764	0.464	0.233	0.141	0.233 + 0.141i
200MT04946	0.21	0.662	0.764	0.464	0.506	0.307	0.506 + 0.307i
200MT04949	0.17	0.122	0.963	0.468	0.117	0.057	0.117 + 0.057i
200MT04962	0.21	0.595	0.764	0.464	0.455	0.276	0.455 + 0.276i
200MT04984	0.21	0.469	0.764	0.464	0.358	0.217	0.358 + 0.217i
200MT04990	0.21	0.182	0.764	0.464	0.139	0.084	0.139 + 0.084i
200MT04991	0.21	0.066	0.764	0.464	0.05	0.031	0.05 + 0.031i
200MT05014	0.21	0.948	0.764	0.464	0.725	0.439	0.725 + 0.439i
200MT05018	0.21	0.152	0.764	0.464	0.117	0.071	0.117 + 0.071i
200MT07514	0.21	0.072	0.764	0.464	0.055	0.034	0.055 + 0.034i
200MT07573	0.21	0.493	0.764	0.464	0.377	0.229	0.377 + 0.229i
200MT07616	0.17	0.091	0.963	0.468	0.087	0.042	0.087 + 0.042i
200MT07617	0.17	0.052	0.963	0.468	0.05	0.024	0.05 + 0.024i
200MT07618	0.17	0.193	0.963	0.468	0.186	0.09	0.186 + 0.09i
200MT07619	0.17	0.067	0.963	0.469	0.064	0.031	0.064 + 0.031i
200MT07620	0.17	0.091	0.963	0.469	0.088	0.043	0.088 + 0.043i
200MT07621	0.21	0.065	0.764	0.464	0.05	0.03	0.05 + 0.03i
200MT09262	0.21	0.259	0.764	0.464	0.198	0.12	0.198 + 0.12i
200MT09263	0.21	1.042	0.764	0.464	0.796	0.483	0.796 + 0.483i
200MT09264	0.17	0.412	0.963	0.468	0.397	0.193	0.397 + 0.193i
200MT09265	0.17	0.05	0.963	0.469	0.048	0.023	0.048 + 0.023i
200MT09266	0.17	0.21	0.963	0.468	0.202	0.099	0.202 + 0.099i
200MT09267	0.21	0.175	0.764	0.464	0.134	0.081	0.134 + 0.081i
200MT09268	0.17	0.056	0.963	0.468	0.054	0.026	0.054 + 0.026i
200MT09269	0.21	0.355	0.764	0.464	0.272	0.165	0.272 + 0.165i

ANEXO 20: Equipos de protección y maniobra en el alimentador PM-06.

Equipo protección	Tipo	Marca	Modelo	Tensión nominal (kV)	Tensión max. (kV)	Corriente nominal (A)	Nodo MT instalado
ESE200EPM000485	SEC CUT OUT R	DELMAR	DHC-R2710012502	27	27	100	ESE200NMT004823
ESE200EPM000486	SEC CUT OUT R	DELMAR	DHC-R2710012502	27	27	100	ESE200NMT000649
ESE200EPM000319	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	27	100	ESE200NMT005486
ESE200EPM000420	SEC CUT OUT	WH	MOD1_WH	22.9	25	100	ESE200NMT002673
ESE200EPM000064	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	25	100	ESE200NMT000953
ESE200EPM000266	SEC CUT OUT	INAEL	MOD1_ABB	22.9	25	100	ESE200NMT004772
ESE200EPM000352	SEC CUT OUT	EMA	VEE36	22.9	25	100	ESE200NMT000908
ESE200EPM000329	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	25	100	ESE200NMT005688
ESE200EPM000356	SEC CUT OUT	EMA	VEE36	22.9	25	100	ESE200NMT001607
ESE200EPM000454	SEC CUT OUT	CAVANNA	BS27-100-8	22.9	27	100	ESE200NMT006501
ESE200EPM000310	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT003606
ESE200EPM000404	SEC CUT OUT	WH	MOD1_WH	22.9	27	100	ESE200NMT003573
ESE200EPM000417	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT005992
ESE200EPM000445	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	27	100	ESE200NMT003603
ESE200EPM000318	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	27	100	ESE200NMT005485
ESE200EPM000184	SEC CUT OUT	WH	MOD1_WH	22.9	25	100	ESE200NMT002674
ESE200EPM000032	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	25	100	ESE200NMT000927
ESE200EPM000066	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	25	100	ESE200NMT001472
ESE200EPM000354	SEC CUT OUT	EMA	VEE36	22.9	25	100	ESE200NMT000814
ESE200EPM000358	SEC CUT OUT	EMA	VEE36	22.9	25	100	ESE200NMT004877
ESE200EPM000359	SEC CUT OUT	EMA	VEE36	22.9	25	100	ESE200NMT004804
ESE200EPM000442	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	25	100	ESE200NMT000898
ESE200EPM000183	SEC CUT OUT	WH	MOD1_WH	22.9	27	100	ESE200NMT000910
ESE200EPM000109	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	25	100	ESE200NMT000880
ESE200EPM000118	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	25	100	ESE200NMT000845
ESE200EPM000331	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	25	100	ESE200NMT005692
ESE200EPM000332	SEC CUT OUT	EMA	VEE36	22.9	25	100	ESE200NMT005695
ESE200EPM000353	SEC CUT OUT	EMA	VEE36	22.9	25	100	ESE200NMT000915
ESE200EPM000357	SEC CUT OUT	EMA	VEE36	22.9	25	100	ESE200NMT000879
ESE200EPM000355	SEC CUT OUT	EMA	VEE36	22.9	25	100	ESE200NMT000855
ESE200EPM000360	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	25	100	ESE200NMT000561
ESE200EPM000441	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	25	100	ESE200NMT000907
ESE200EPM000444	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	25	100	ESE200NMT006797
ESE200EPM000254	REC RECLOSER	INAEL	INZP-2410	22.9	25	100	ESE200AMT000019
ESE200EPM000438	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	27	100	ESE200NMT006176
ESE200EPM000440	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	25	100	ESE200NMT006727

ESE200EPM000513	SEC CUT OUT R	DELMAR	DHC-R2710012502	22.9	27	100	ESE200NMT000713
ESE200EPM000683	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT007882
ESE200EPM000267	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	25	100	ESE200NMT008329
ESE200EPM000576	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT003094
ESE200EPM000501	REC RECLOSER	Scheneider Ele*	N38-ACR-NGREEN	22.9	38	800	ESE200NMT006758
ESE200EPM000543	REC RECLOSER	SCHNEIDER	NULEC	22.9	38	800	ESE200NMT011800
ESE200EPM000612	INT DM12	ENTEC	ECS-	22.9	38	800	ESE200NMT005703
ESE200EPM000338	SEC CUT OUT	MAURIZIO	MOD1_MAURIZIO	22.9	27	100	ESE200NMT004832
ESE200EPM000411	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT004829
ESE200EPM000610	REC RECLOSER	G y W Electric	VIPER-S	22.9	38	800	ESE200NMT000756
ESE200EPM000480	SEC CUT OUT	G&W	VIPER-S	22.9	38	100	ESE200NMT000755
ESE200EPM000623	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT008683
ESE200EPM000589	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT006747
ESE200EPM000762	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT006786
ESE200EPM000640	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT000785
ESE200EPM000641	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT000795
ESE200EPM000643	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT008572
ESE200EPM000766	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT007936
ESE200EPM000790	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT008331
ESE200EPM000063	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	25	100	ESE200NMT000958
ESE200EPM000330	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	25	100	ESE200NMT000882
ESE200EPM000579	SEC CUT OUT R	DELMAR	DHC-R2710012502	27	27	100	ESE200NMT005634
ESE200EPM000794	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT003585
ESE200EPM000693	SEC CUT OUT	ABB	NXA SECTOS	22.9	27	100	ESE200NMT003636
ESE200EPM000696	SEC CUT OUT R	INAEL	INZP-2410	22.9	29	100	ESE200NMT007085
ESE200EPM000773	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT007991
ESE200EPM000422	SEC CUT OUT	WH	MOD1_WH	22.9	27	100	ESE200NMT007067
ESE200EPM000778	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT008326
ESE200EPM000551	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT000881
ESE200EPM000552	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT009565
ESE200EPM000556	REC RECLOSER	DELMAR	PAR_DELMAR_27KV	22.9	38	800	ESE200NMT003102
ESE200EPM000557	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	25	100	ESE200NMT005671
ESE200EPM000663	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	25	100	ESE200NMT009047
ESE200EPM000649	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT008214
ESE200EPM000806	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	25	100	ESE200NMT004833
ESE200EPM000837	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT004869
ESE200EPM000443	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	25	100	ESE200NMT000851
ESE200EPM000771	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT000890
ESE200EPM000757	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT006482
ESE200EPM000553	SEC CUT OUT	SACE	MOD1_SACE	22.9	27	100	ESE200NMT009569
ESE200EPM000524	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT007705

ESE200EPM000888	SEC CUT OUT R	DELMAR	DHC-R2710012502	22.9	27	100	ESE200NMT007729
ESE200EPM000889	REC RECLOSER	VIPER-S		22.9	38	800	ESE200NMT008177
ESE200EPM000892	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT007672
ESE200EPM000912	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	25	100	ESE200NMT009783
ESE200EPM000559	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT000708
ESE200EPM000493	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	25	100	ESE200NMT007040
ESE200EPM000639	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT006743
ESE200EPM000403	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	25	100	ESE200NMT003568
ESE200EPM000964	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT011126
ESE200EPM000969	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	25	100	ESE200NMT005675
ESE200EPM000978	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT011150
ESE200EPM000930	SEC CUT OUT	ORMAZABAL	EKORRPG	22.9	27	100	ESE200NMT003582
ESE200EPM001003	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT007837
ESE200EPM001029	SEC CUT OUT	ABB T&D	T&D	22.9	27	100	ESE200NMT005509
ESE200EPM000994	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT004776
ESE200EPM000998	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT006794
ESE200EPM001041	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT000840
ESE200EPM000835	SEC CUT OUT	DELMAR	PAR_DELMAR_27KV	22.9	27	100	ESE200NMT000782
ESE200EPM001054	SEC CUT OUT	DELMAR	PAR_DELMAR_27KV	22.9	27	100	ESE200NMT011284
ESE200EPM001092	SEC CUT OUT	DELMAR	PAR_DELMAR_27KV	22.9	25	100	ESE200NMT004795
ESE200EPM000523	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT007575
ESE200EPM001093	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT004809
ESE200EPM001103	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT007877
ESE200EPM001115	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT010179
ESE200EPM001116	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT010182
ESE200EPM001119	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT005529
ESE200EPM001130	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT004783
ESE200EPM001134	SEC CUT OUT	ABB	MOD1_ABB	22.9	27	100	ESE200NMT006685
ESE200EPM001135	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT005685
ESE200EPM001137	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2411	22.9	27	100	ESE200NMT007086
ESE200EPM001138	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2412	22.9	27	100	ESE200NMT000830
ESE200EPM001163	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2413	22.9	27	100	ESE200NMT007742
ESE200EPM001164	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2414	22.9	27	100	ESE200NMT007776
ESE200EPM001168	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2415	22.9	27	100	ESE200NMT003593
ESE200EPM001196	SBC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT000760
ESE200EPM001198	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT012259
ESE200EPM001199	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT011817
ESE200EPM001201	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT011824
ESE200EPM001221	SBC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT011511
ESE200EPM001229	SEC CUT OUT	INAEL	INZP-2410	22.9	27	100	ESE200NMT011403