

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA,**

**INFORMÁTICA Y MECÁNICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**TESIS**

---

**“ESTUDIO DE CARGABILIDAD CON LA RECONFIGURACIÓN DE LA RED DE  
LOS ALIMENTADORES DE MEDIA TENSIÓN EN 10.5 kV DE LA SUBESTACIÓN  
ELÉCTRICA DE DOLORESPATA DE CUSCO”**

---

**PRESENTADO POR:**

- Br. JULIO CESAR BACA FLORES

- Br. HANS CHRISTIAN RAMOS GUTIÉRREZ

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

**ASESOR:**

Dr. JOSÉ WILFREDO CALLASI QUISPE

CUSCO – PERÚ

2024

# INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: ESTUDIO DE CARGABILIDAD CON LA RECONFIGURACION DE LA RED DE LOS ALIMENTADORES DE MEDIA TENSION EN 10.5KV DE LA SUBESTACION ELECTRICA DE DOLORESPATA DE CUSCO

presentado por: Julio Cesar Baca Flores con DNI Nro.: 41921102 presentado por: Hans Christian Ramos Gutierrez con DNI Nro.: 71804355 para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Electricista

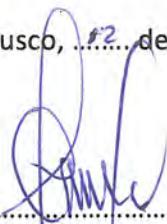
Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 4 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7%.

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 se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica 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 la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 12 de FEBRERO de 2024



Firma

Post firma DR. JOSE WILFREDO CALLASI QUISPE

Nro. de DNI 23812797

ORCID del Asesor 0000-0003-0714-4499

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259:328229206

<https://unsaac.furni.in.com/viewer/submissions/oid:27259:328229206?locale=es-MX>

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS\_Final 08-02-24\_\_\_\_.pdf**

AUTOR

**Baca y Ramos**

RECUENTO DE PALABRAS

**28586 Words**

RECUENTO DE CARACTERES

**147931 Characters**

RECUENTO DE PÁGINAS

**186 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**14.5MB**

FECHA DE ENTREGA

**Feb 10, 2024 12:12 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Feb 10, 2024 12:15 AM GMT-5**

### ● 7% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 2% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 8 palabras)

## DEDICATORIA

*Damos gracias a Dios por acompañarnos, supervisarnos y guiarnos a lo largo de nuestra formación académica, por ser nuestra fortaleza en nuestros momentos de debilidad y por darnos una vida llena de aprendizajes, experiencias y lo más importante felicidad.*

*Quisiera agradecer a mi mamita Florencia Florez R. por su apoyo infinito y siempre cuidando de mí y de mi formación académica porque sin su apoyo no podría lograr mis objetivos. A mi hermano J. Ángel Baca F. Gracias por su confianza y esfuerzo para guiarme por el camino correcto hacia la educación profesional., a mi esposa e hijos por estar siempre conmigo.*

***Julio Cesar Baca Flores.***

*Con mucho cariño para mi madre, que con su apoyo incondicional hace que me supere día a día, a mi padre que me oriento a ese camino de rectitud, a mi esposa e hijos que me dan esa motivación para seguir triunfando, para todos ustedes les dedico este trabajo de investigación.*

***Hans Christian Ramos Gutiérrez***

## **PRESENTACIÓN**

Señor.

Decano de la Facultad de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y Mecánica.

De acuerdo con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos, con el propósito de optar al Título Profesional de Ingeniero Electricista, Dejo esta tesis para su consideración bajo el título:

**“ESTUDIO DE CARGABILIDAD CON LA RECONFIGURACIÓN DE LA RED DE  
LOS ALIMENTADORES DE MEDIA TENSIÓN EN 10.5kV DE LA SUBESTACIÓN  
ELÉCTRICA DOLORESPATA DE CUSCO”**

Br. Julio Cesar Baca Flores  
Br. Hans Christian Ramos Gutiérrez

## RESUMEN

El principal objetivo de este trabajo de investigación es determinar el nivel de cargabilidad de los AMT en 10.5 kV de la SE Dolorespata con la reconfiguración de la red proyectada al año 2028, lo que permitirá reducir el nivel de cargabilidad de los alimentadores DO-03, DO-04 y DO-09.

Esta investigación es HIPOTÉTICO-DEDUCTIVA y realiza un análisis descriptivo de datos de mediciones realizadas por la empresa Electro Sur Este. Utilizar el software DigSilent-Power Factory como herramienta; Con ayuda de la simulación se determinaron los niveles de cargabilidad en las troncales de los AMT DO-03, DO-04 y DO-09, así como el análisis de flujo de potencia, además se hizo evaluaciones de las condiciones operativas del sistema cuando pueden ocurrir fallas en la red.

Finalmente, con la incorporación de los nuevos AMT DO-10, DO-11 y DO 12 en 10.5 kV, se reconfigura la red estudiada, resultando en una importante reducción de la cargabilidad hasta un 50% de los AMT en estudio, tanto para los valores actuales como para la proyección al año 2028.

## ABSTRACT

The main objective of this research work is to determine the chargeability of the 10.5 kV AMTs of SE Dolorespata with the reconfiguration of the network projected for the year 2028, which will allow reducing the chargeability level of the DO-03, DO- 04 and DO-09.

This study is of the HYPOTHETICAL-DEDUCTIVE type, with a descriptive level of data analysis of the measurements carried out by the company Electro Sur Este. The DigSilent-Power Factory software was used as an instrument, with the simulation the chargeability levels were determined in the trunks of the AMT DO-03, DO-04 and DO-09, as well as the power flow analysis, in addition evaluations of the operating conditions of the system in the face of possible network contingencies.

Finally, with the incorporation of the new AMT DO-10, DO-11 and DO-12 at 10.5 kV, a reconfiguration of the network under study was made, which allowed the chargeability to be considerably reduced by up to 50% of the AMT under study. both for current values and for a projection to the year 2028.

## CONTENIDO

DEDICATORIA.....	1
PRESENTACIÓN .....	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT .....	4
CONTENIDO.....	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS .....	8
ABREVIATURAS .....	13
1 Capítulo I: Generalidades.....	15
1.1 Introducción .....	15
1.2 Zona de Estudio .....	15
1.3 Planteamiento del Problema .....	16
1.4 Formulación del Problema.....	20
1.4.1 Problema General .....	20
1.4.2 Problemas Específicos .....	20
1.5 Objetivos.....	21
1.5.1 Objetivo General.....	21
1.5.2 Objetivos Específicos .....	21
1.6 Justificación del Estudio .....	21
1.6.1 Económico.....	21

	2
1.6.2 Social .....	22
1.6.3 Técnico .....	22
1.6.4 Académico .....	22
1.7 Variables e Indicadores .....	22
1.7.1 Variable Independiente .....	22
1.7.2 Variable Dependiente .....	23
1.8 Matriz de Operacionalización de Variables .....	24
1.9 Alcances y Limitaciones .....	25
1.9.1 Alcances .....	25
1.9.2 Limitaciones .....	25
1.10 Hipótesis .....	26
1.10.1 Hipótesis General .....	26
1.10.2 Hipótesis Específicas .....	26
1.11 Metodología .....	26
1.11.1 Población y Muestra .....	26
1.11.2 Metodología de la Investigación .....	27
1.11.3 Procesamiento de Datos .....	28
1.12 Matriz de Consistencia .....	29
2 Capítulo II: Marco Teórico y Conceptual .....	30
2.1 Introducción .....	30
2.2 Antecedentes de la Investigación .....	30

2.2.1	Antecedente Local .....	30
2.2.2	Antecedente Internacional. ....	33
2.3	Reconfiguración de la Red Eléctrica.....	35
2.4	Cargabilidad .....	35
2.4.1	Cargabilidad de conductores .....	36
2.5	Sistema de Distribución de Energía Eléctrica.....	36
2.5.1	Tipos de Diseño de Sistemas de Distribución .....	36
2.5.2	Parámetros de las Líneas de Media Tensión .....	37
2.5.3	Tipos de construcción de los Sistemas de Distribución .....	38
2.5.4	Clasificación de los Sistemas de Distribución.....	38
2.5.5	Componentes Básicos de un Sistema de Distribución.....	39
2.5.6	Conductores en Redes de MT.....	40
2.6	Análisis de la Carga Eléctrica .....	42
2.6.1	Carga de una Red.....	42
2.6.2	Densidad de Carga.....	42
2.6.3	Distribución de Carga .....	42
2.6.4	Características de la Carga Eléctrica .....	42
2.6.5	Crecimiento de la Demanda .....	46
2.6.6	Crecimiento Demográfico .....	46
2.7	Pronóstico de la Demanda de Energía Eléctrica .....	46
2.7.1	Importancia del Pronóstico de la Demanda de Energía Eléctrica .....	46

2.8	Métodos de Extrapolación para el Pronóstico de Demanda de Energía .....	47
2.8.1	Cambio Aritmético o lineal .....	47
2.8.2	Cambio Geométrico o Exponencial.....	48
2.9	Caída de voltaje.....	50
2.10	Flujo de Potencia.....	50
2.10.1	Fallas .....	51
2.10.2	Tipos de Fallas .....	51
2.10.3	Análisis de Contingencias.....	54
2.10.4	Equipos de Protección y Maniobra .....	54
2.11	Normatividad.....	57
3	Capítulo III: Evaluación de la Cargabilidad de los Alimentadores de Media en 10.5kV ..	58
3.1	Introducción .....	58
3.2	Descripción general de los AMT DO03, DO04 y DO09.....	58
3.2.1	Ubicación de la red eléctrica .....	58
3.2.2	Topología de los AMT DO03, DO04 y DO09 .....	61
3.2.3	Diagrama unifilar de los AMT DO03, DO04 y DO09.....	66
3.3	Cargabilidad de los AMT DO03, DO04 y DO09 .....	71
3.3.1	Evaluación de la cargabilidad.....	71
3.3.2	Panorama actual de la Cargabilidad de los AMT DO03, DO04 y DO09.....	72
3.3.3	Análisis de Caída de Tensión en los AMT .....	74
3.4	Problemas y limitaciones de los AMT DO03, DO04 y DO09 .....	76

3.4.1	Condiciones Operativas del Sistema Actual.....	77
3.5	Análisis de Resultados .....	94
4	Capítulo IV: Reconfiguración de la Red en Estudio .....	95
4.1	Introducción .....	95
4.2	Descripción de los Alimentadores Propuestos Incorporados a la Red en Estudio .....	95
4.2.1	Alimentador de Media Tensión DO10 .....	95
4.2.2	Alimentador de Media Tensión DO11 .....	97
4.2.3	Alimentador de Media Tensión DO12 .....	99
4.3	Reconfiguración de la Red en Estudio con la Incorporación de los AMT DO10, DO11 y DO12 .....	101
4.3.1	Análisis Máx. Demanda .....	101
4.3.2	Descripción Topológica de la Red en Estudio.....	102
4.3.3	Reconfiguración de los AMT DO03, DO04, DO09, DO10, DO11 y DO12.....	104
4.4	Análisis de Cargabilidad de la Reconfiguración de la Red Propuesta.....	113
4.5	Análisis de Caída Tensión en los AMT DO03, DO04, DO09, DO10, DO11 y DO12	117
4.6	Análisis de Resultados .....	120
5	Capítulo V: Evaluación de la Cargabilidad con la Reconfiguración de la Red al Año 2028	121
5.1	Introducción .....	121
5.2	Tasa de Crecimiento del Consumo de los Alimentadores en Estudio .....	121

5.2.1	Crecimiento de la Proyección de la Demanda al año 2028 .....	122
5.2.2	Cálculo del Factor de Escalamiento .....	123
5.3	Condiciones Operativas de la Reconfiguración de la Red Propuesta .....	124
5.3.1	Flujo de Carga de la Reconfiguración de la Red, Proyectado al año 2028 .....	124
5.3.2	Análisis de Contingencias ante Eventos/Fallas en la Red .....	129
5.4	Análisis de Resultados .....	139
6	Validación de Variables .....	140
6.1	Generalidades.....	140
6.2	Variable Independiente (Cargabilidad).....	140
6.2.1	Indicadores.....	140
6.3	Variable Dependiente (Reconfiguración de la Red) .....	141
6.3.1	Indicadores.....	142
	Conclusiones.....	143
	Recomendaciones .....	144
	Bibliografía.....	145
	ANEXOS:.....	148

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b>	Alimentadores de Media Tensión en 10.5kV de la SE Dolorespata .....	18
Tabla 1.2	Matriz de Operacionalización de Variables.....	24
Tabla 1.3	Matriz de Consistencia .....	29
<b>Tabla 3.1</b>	Relación de Cargas especiales de los AMT DO03, DO04 y DO09 .....	65
<b>Tabla 3.2.</b>	Interconexiones existentes de los AMT DO03, DO04 y DO09 con redes adyacentes .....	66
<b>Tabla 3.3.</b>	Toma de muestra de un día particular de los AMT DO03, DO04 y DO09.....	80
Tabla 3.4.	Cargabilidad Considerable ante una contingencia .....	93
<b>Tabla 4.1.</b>	Alimentador de Media Tensión DO10 en 10.5kV .....	96
<b>Tabla 4.2.</b>	Alimentador de Media Tensión DO11 en 10.5kV.....	97
<b>Tabla 4.3.</b>	Alimentador de Media Tensión DO12 en 10.5kV.....	99
Tabla 4.4.	Porcentaje de Cargabilidad de Máx. Demanda .....	101
Tabla 4.5.	Cargas Transferidas a los AMT DO11 y DO12 .....	111
Tabla 4.6.	Cargabilidad Actual VS Cargabilidad Propuesta .....	115
Tabla 5.1.	Proyección de la Demanda al año 2028 .....	122
Tabla 5.2.	Máx. Cargabilidad de los AMT en 10.5kV .....	128
Tabla 5.3.	Cargabilidad ante una Contingencia.....	138

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa geopolítico de la Región y Provincias del Cusco.....	15
Figura 1.2 Cargabilidad de los alimentadores de media tensión de la SE Dolorespata .....	16
Figura 1.3 Porcentajes de la Demanda Máx. de los AMT de la SE Dolorespata .....	17
Figura 1.4 Diagrama unifilar de los alimentadores de media tensión de la SE Dolorespata....	19
Figura 2.1. Niveles de Tensión.....	40
Figura 2.2 Partes de un Conductor .....	41
Figura 2.3 Curva de la Demanda .....	45
Figura 2.4 Crecimiento lineal .....	47
Figura 2.5 Crecimiento Exponencial .....	49
Figura 2.6 Representación de una falla línea – tierra .....	52
Figura 2.7 Circuitos de secuencia para fallas asimétricas fase - fase – tierra.....	54
Figura 2.8 Cortacircuitos Cut Out .....	56
Figura 3.1 Áreas operativas de la zona sur de SEIN .....	59
Figura 3.2 Área operativa Nro.13 del SEIN 2022 .....	60
Figura 3.3 Recorrido georreferenciado del AMT DO03 .....	62
Figura 3.4 Recorrido georreferenciado del AMT DO04 .....	63
Figura 3.5 Recorrido georreferenciado del AMT DO09 .....	64

Figura 3.6 Diagrama Unifilar de los Alimentadores de Media Tensión DO03 Actual .....	67
Figura 3.7 Diagrama Unifilar de los Alimentadores de Media Tensión DO04 Actual .....	68
Figura 3.8 Diagrama Unifilar de los Alimentadores de Media Tensión DO09 Actual .....	69
Figura 3.9 Diagrama Unifilar ELSE Cusco .....	70
Figura 3.10 Curva Característica HORAS PUNTA y HORAS FUERA PUNTA .....	72
Figura 3.11 Registro de Cargabilidad en Máx. Demanda, periodos 2016-2022 .....	73
Figura 3.12. Reporte: Análisis de Caída de Tensión en los extremos de la red .....	74
Figura 3.13. Caída de Tensión en el extremo del AMT DO03 .....	74
Figura 3.14. Caída de Tensión en el extremo del AMT DO04 .....	75
Figura 3.15 Caída de Tensión en el extremo del AMT DO09 .....	75
Figura 3.16 Flujo de Carga de los AMT en estudio .....	77
Figura 3.17 Reporte de Flujo de Carga .....	78
Figura 3.18 Curva Característica de un día particular: Real VS Simulación-DO03 .....	78
Figura 3.19 Curva Característica de un día particular: Real VS Simulación-DO04 .....	79
Figura 3.20 Curva Característica de un día particular: Real VS Simulación-DO09 .....	80
Figura 3.21 Falla en la Troncal DO03 .....	82
Figura 3.22 Contingencia ante la Falla/Respaldo AMT DO04 .....	83
Figura 3.23 Reporte emitido por el software .....	84

Figura 3.24 Falla en la Troncal DO04.....	85
Figura 3.25 Contingencia ante la Falla/Respaldo AMT DO03 .....	86
Figura 3.26 Reporte emitido por el software.....	87
Figura 3.27 Simulación de Falla en la Troncal de la DO09 .....	88
Figura 3.28 Contingencia ante la Falla/Respaldo AMT DO03 .....	89
Figura 3.29 Reporte emitido por el software.....	90
Figura 3.30 Simulación de Falla en la Troncal de la DO 03 .....	91
Figura 3.31 Contingencia ante la Falla/Respaldo AMT DO09 .....	92
Figura 3.32 Reporte emitido por el software.....	93
Figura 4.1 Recorrido del AMT DO10 en 10.5kV.....	96
Figura 4.2 Recorrido del AMT DO11 en 10.5kV.....	98
Figura 4.3 Recorrido del AMT DO12 en 10.5kV.....	100
Figura 4.4 Registro de Cargabilidad Máxima Demanda .....	102
Figura 4.5 Diagrama Unifilar de la Red en Estudio .....	103
Figura 4.6 Tramo Nro. 01 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta .....	104
Figura 4.7 Tramo Nro. 02 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta .....	105
Figura 4.8 Tramo Nro. 03 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta .....	106
Figura 4.9 Tramo Nro. 04 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta .....	106

Figura 4.10 Tramo Nro. 05 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta .....	107
Figura 4.11 AMT DO10, respaldo de los AMT DO03 y DO11- DU Red Propuesta .....	108
Figura 4.12 Tramo Nro. 01 y 03 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta .....	109
Figura 4.13 Tramo Nro. 02, 04 y 05 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta .....	110
Figura 4.14 Diagrama Unifilar de la Red Propuesta .....	112
Figura 4.15 Flujo de Carga de la Red en Estudio.....	113
Figura 4.16 Flujo de Carga de la Reconfiguración de la Red Propuesta.....	114
Figura 4.17 Diagrama Unifilar de la Reconfiguración de la Red Propuesta en 10.5kV .....	116
Figura 4.18. Reporte de los niveles de tensión con la reconfiguración de la red .....	117
Figura 4.19. Caída de Tensión en el extremo del AMT DO03 .....	117
Figura 4.20. Caída de Tensión en el extremo del AMT DO04 .....	118
Figura 4.21. Caída de Tensión en el extremo del AMT DO09 .....	118
Figura 4.22Figura 4.21. Caída de Tensión en el extremo del AMT DO11 .....	119
Figura 4.23. Caída de Tensión en el extremo del AMT DO12 .....	119
Figura 5.1 Reporte de la venta de Energía al año 2022.....	121
Figura 5.2 Tasa de Crecimiento al año 2028 .....	123
Figura 5.3 Flujo de Carga Proyectado al año 2028 .....	125
Figura 5.4 Caída de Tensión AMT DO11 .....	126

Figura 5.5 Caída de Tensión AMT DO12 .....	126
Figura 5.6 Curva característica de la Demanda-AMT D11 .....	127
Figura 5.7 Curva característica de la Demanda-AMT D12.....	127
Figura 5.8. Falla en el AMT DO03 .....	130
Figura 5.9 Transferencia de Carga hacia el AMT-DO04 .....	131
Figura 5.10 Maniobra-Transferencia de Carga hacia el AMT-DO04 .....	131
Figura 5.11 Reporte emitido por el Software .....	132
Figura 5.12 Falla en el AMT DO04 .....	133
Figura 5.13 Transferencia de Carga hacia el AMT-DO04 .....	134
Figura 5.14 Maniobra-Transferencia de Carga hacia el AMT-DO03 .....	134
Figura 5.15 Reporte emitido por el Software .....	135
Figura 5.16 Falla en el AMT DO09 .....	136
Figura 5.17 Transferencia de Carga hacia el AMT-DO12 .....	137
Figura 5.18 Maniobra-Transferencia de Carga hacia el AMT-DO12 .....	137
Figura 5.19 Reporte emitido por el Software .....	138

## ABREVIATURAS

A	: Amperio
AMT	: Alimentador de Media Tensión
DU	: Diagrama Unifilar
ANSI	: American National Standards Institute
COES	: Comité de Operación Económica del Sistema
ELSE	: Empresa distribuidora Electro Sur Este S.A.A.
IEC	: International Electrotechnical Commission
IEEE	: Institute of Electrical and Electronic Engineering
I >	: Sobrecorriente instantánea de fases. Notación estándar IEC (DigSilent)
Io >	: Sobrecorriente temporizado a tierra. Notación estándar IEC (DigSilent)
Ipick up	: Valor ajustado para la corriente de disparo (DigSilent)
kA	: Kilo Amperio
kV	: Kilo Voltio
kW	: Kilo Watt
MT	: Media tensión
NTCE	: Norma Técnica de Calidad de los Servicio Eléctricos
OC	: Over Current (DigSilent)
OSINERGMIN	: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería
SE	: Subestación Eléctrica
SED	: Subestación Eléctrica de Distribución
SEIN	: Sistema Eléctrico Interconectado Nacional

$T_{pset}$  : Dial de la curva de sobrecorriente de tiempo inverso (DigSilent)

$T_{set}$  : Tiempo de actuación de la protección instantánea (DigSilent)

## 1 Capítulo I: Generalidades

### 1.1 Introducción

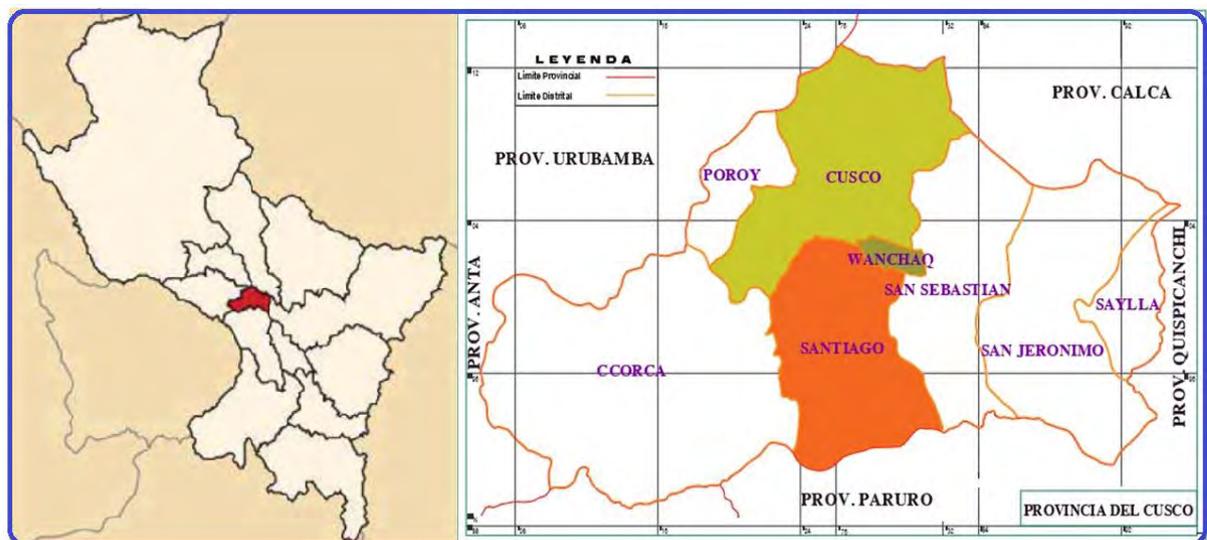
En este capítulo se describen las problemáticas existentes en referencia a la cargabilidad de los alimentadores de media tensión en 10.5kV de la subestación eléctrica Dolorespata de Cusco, operada por la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

### 1.2 Zona de Estudio

Este estudio se realizará a lo largo del recorrido de los alimentadores de media tensión en 10.5kV de la subestación eléctrica de Dolorespata que abastece energía eléctrica a los distritos de Santiago, Wánchaq y Cusco, área de concesión eléctrica de la Empresa Electro Sur Este S.A.A.

Figura 1.1

Mapa geopolítico de la Región y Provincias del Cusco



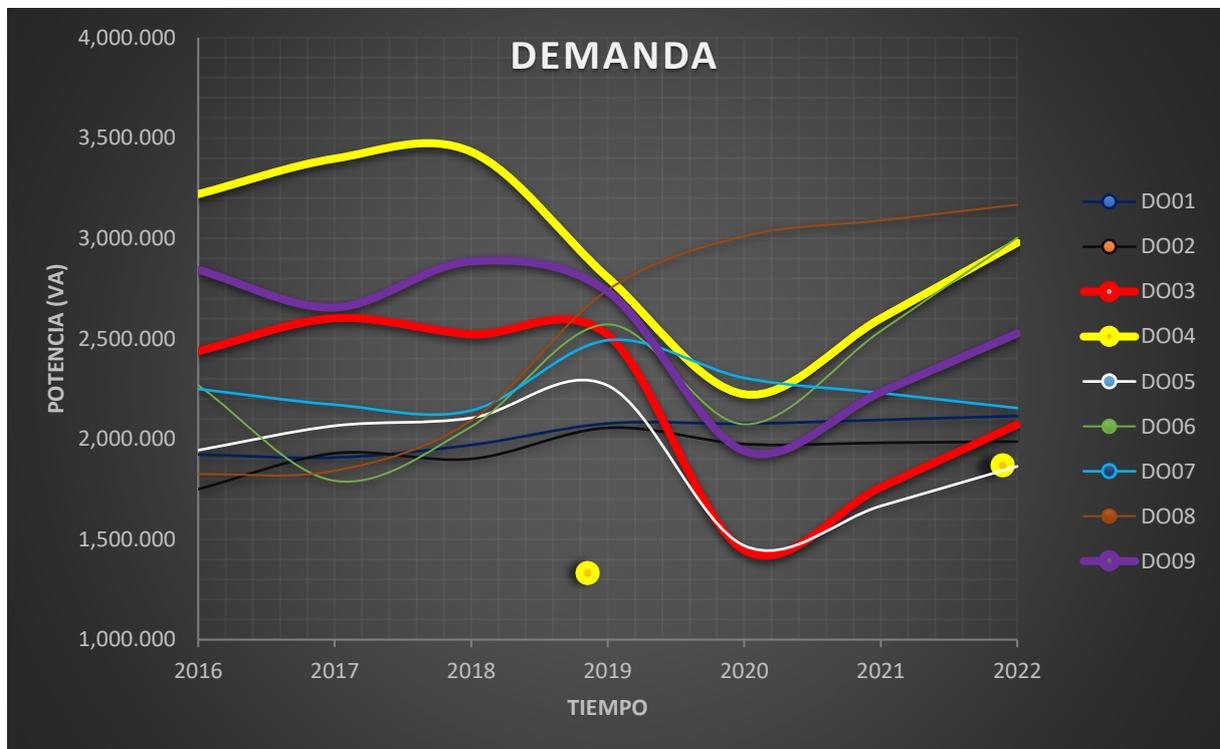
*Fuente:* Carta Nacional 2022

### 1.3 Planteamiento del Problema

El alimentador de media tensión en 10.5 kV de la SE Dolorespata de Cusco, ha mostrado un aumento exponencial en el consumo de electricidad a lo largo de los años, lo que dio lugar a diversos estudios; tomando en cuenta los reportes de medición entre los años 2016 al 2022 realizados por la empresa Electro Sur Este S.A.A.

Figura 1.2

Cargabilidad de los alimentadores de media tensión de la SE Dolorespata



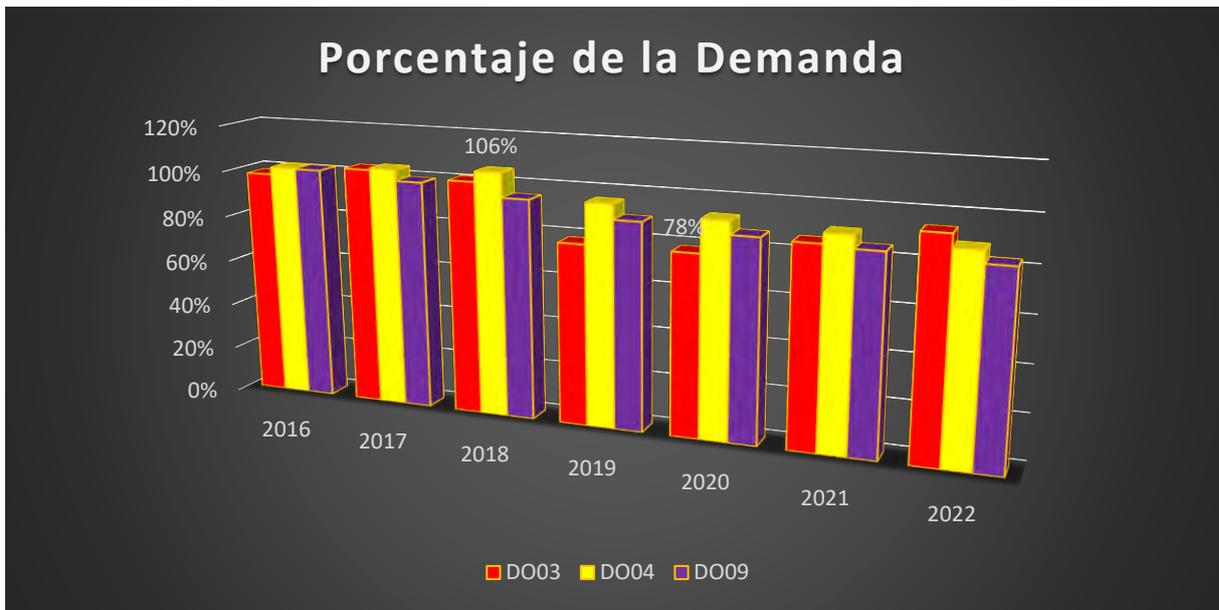
**Fuente:** Base de Datos del Centro de Control (Electro Sur Este S.A.A. 2022)

Por otro lado, existe una cargabilidad en los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV de la SE Dolorespata de Cusco, cuando se realiza transferencia de carga durante una interrupción (evento y/o falla), por lo que solo se puede dar respaldo y/o soluciones temporales en un determinado momento, ya que los alimentadores que dan respaldo sobrepasan

los niveles de cargabilidad, que opera en rangos del 78 al 106% lo que a su vez reduce la vida útil de los conductores de media tensión, figura 1.3.

Figura 1.3

Porcentajes de la Demanda Máx. de los AMT de la SE Dolorespata



**Fuente:** Base de Datos del Centro de Control (Electro Sur Este S.A.A. 2022)

Además, los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV de la SE Dolorespata, tienen más de 30 años de operación, lo que no garantiza el servicio continuo de energía que brinda la empresa Electro Sur Este S.A.A.

Finalmente, estos alimentadores se encuentran en una zona arqueológica por lo que su mantenimiento es especial, a su vez cuentan con cargas especiales tales como: Empresas turísticas, hoteles, museos, bancos, y entidades del estado (Sunat, Poder Judicial, entre otras cargas especiales, según tabla 1.1).

Tabla 1.1

Alimentadores de Media Tensión en 10.5kV de la SE Dolorespata

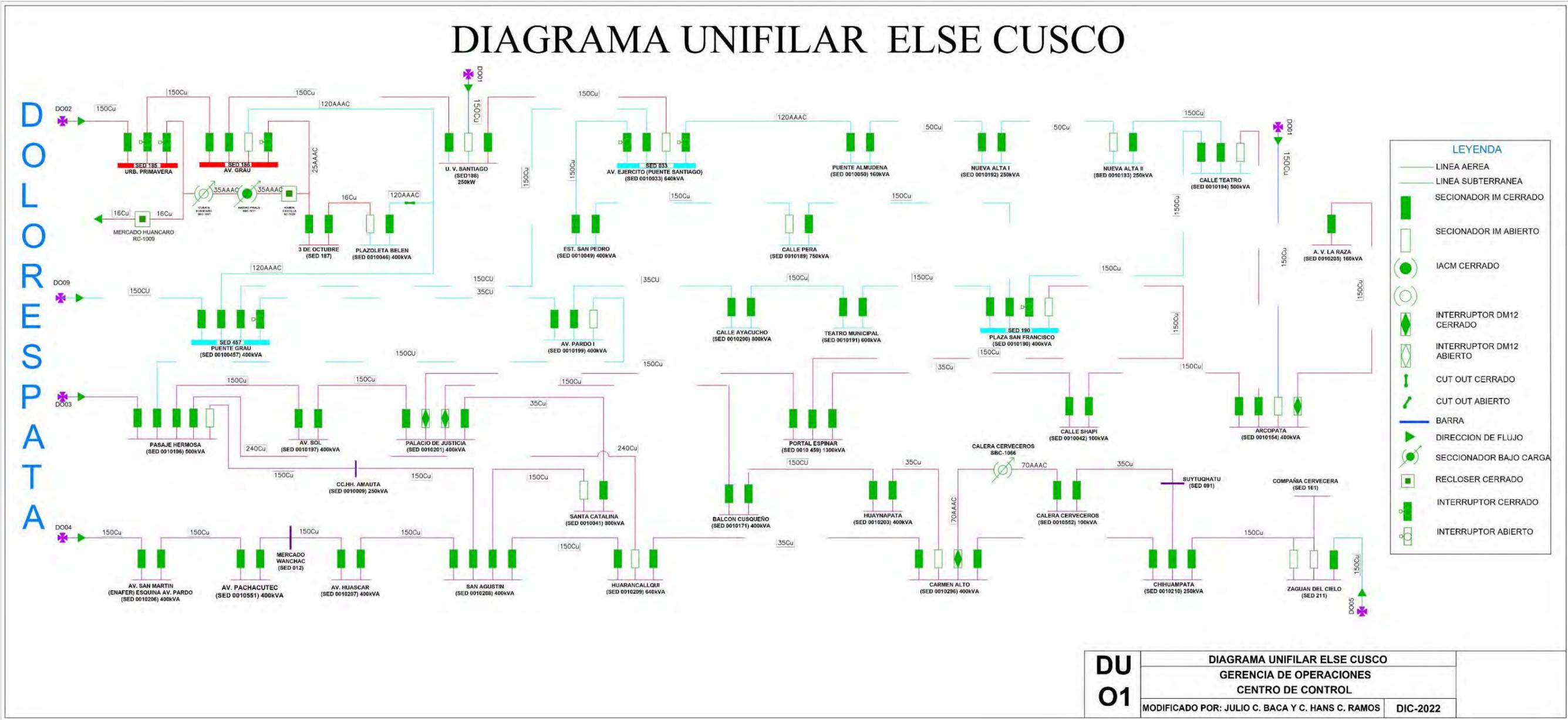
<b>ALIMENTADORES DE MEDIA TENSIÓN: DO03, DO04 y DO09 EN 10.5kV DE LA SE DOLORESPATA</b>						
<b>NOMBRE SED</b>	<b>CODIGO TIPO SED</b>	<b>CODIGO TECNICO AMT</b>	<b>POTENCIA INSTALADA</b>	<b>CANTIDAD CLIENTES</b>	<b>ETIQUETA</b>	<b>CODIGO TECNICO SED</b>
HOTEL SAVOY	CAS	DO03	250	1	250kVA 10.5/0.22kV	10006
BANCO DE LA NACION	CAS	DO03	630	242	630kVA 10.5/0.22kV	10010
MUSEO PRECOLOMBINO	CAS	DO03	50	1	50kVA 10.5/0.22kV	10172
AV. SOL	CAS	DO03	400	280	400kVA 10.5/0.22kV	10197
TELEFONICA DEL PERU	CAS	DO03	400	1	400kVA 10.5/0.22kV	10198
PALACIO DE JUSTICIA	CAS	DO03	400	492	400kVA 10.5/0.22kV	10201
SUNAT	CAS	DO03	160	1	160kVA 10.5/0.22kV	10204
MERCADO WANCHAQ II	BIP	DO04	250	84	250kVA 10.5/0.38kV	11090
CALERA CERVECEROS	CAS	DO04	100	173	100kVA 10.5/0.22kV	10552
COLEGIO LA SALLE	CAS	DO04	250	17	250kVA 10.5/0.22kV	10371
ZAGUAN DEL CIELO	CAS	DO04	250	461	250kVA 10.5/0.22kV	10211
CONJ. HAB. AMAUTA	BIP	DO04	250	359	250kVA 10.5/0.22kV	10009
PLA STA. CATALINA	CAS	DO04	400	336	400kVA 10.5/0.22kV	10041
RADIO CUSCO	BIP	DO04	25	1	25kVA 10.5/0.22kV	10052
AV. EJERCITO	CAS	DO09	400	786	400kVA 10.5/0.22kV	10033
PLAZA SAN FRANCISCO	CAS	DO09	400	124	400kVA 10.5/0.22kV	10190
TEATRO MUNICIPAL	CAS	DO09	400	156	400kVA 10.5/0.22kV	10191
NUEVA ALTA I	CAS	DO09	250	509	250kVA 10.5/0.22kV	10192
PRODEIN (SAN ANDRES)	CAS	DO09	100	1	100kVA 10.5/0.22kV	10341

*Fuente:* Elaboración propia- Base de Datos del Centro de Control (Electro Sur Este S.A.A.

2022)

Figura 1.4

Diagrama unifilar de los alimentadores de media tensión de la SE Dolorespata



Fuente: Electro Sur Este S.A.A. Julio 2022, modificado por los testistas: Julio C. Baca y C. Hans Ramos

Como se manifiesta en los párrafos anteriores podemos observar que la empresa Electro Sur Este S.A.A. cumple con brindar un buen servicio realizando diversas maniobras de operación, sin embargo, esto no es suficiente ante el aumento exponencial de la cargabilidad, en ese entendimiento para resolver esta problemática se plantea las siguientes alternativas de solución:

- Incorporación y reconfiguración de los alimentadores de DO10, DO11 y DO12 en 10.5kV de la SE Dolorespata.
- Análisis de las condiciones operativas ante un evento/falla en la red eléctrica de la SE Dolorespata de Cusco con diferentes escenarios proyectados al año 2028.

## **1.4 Formulación del Problema**

### **1.4.1 Problema General**

¿Cómo será la cargabilidad de los alimentadores de media tensión de la SE Dolorespata en 10.5kV con la reconfiguración de la red?

### **1.4.2 Problemas Específicos**

- a) ¿Como será la cargabilidad de los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 con la configuración de operación actual?
- b) ¿Como será la reconfiguración de la red con la incorporación de los alimentadores DO10, DO11 y DO12 en 10.5kV?
- c) ¿Como será la operatividad de los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 al año 2028, con la reconfiguración de la red?

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

Determinar la cargabilidad de los alimentadores de media tensión de la SE Dolorespata en 10.5kV con la reconfiguración de la red.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- a) Evaluar la cargabilidad de los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV con la configuración de operación actual.
- b) Establecer la reconfiguración de la red con la incorporación de los alimentadores DO10, DO11 y DO12 en 10.5kV.
- c) Evaluar la operatividad de los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 al año 2028, con la reconfiguración de la red.

## **1.6 Justificación del Estudio**

Este trabajo justifica su investigación debido al aumento de la cargabilidad en los alimentadores DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV de la SE Dolorespata de Cusco, registrados por la empresa Electro Sur Este S.A.A. para brindar un mejor servicio se propone la incorporación y reconfigurar nuevos alimentadores a la red, para reducir la cargabilidad en los alimentadores estudiados. Todo ello es la base de este estudio, que hará un aporte significativo en los siguientes aspectos:

### **1.6.1 Económico**

Este estudio se justifica porque al reducir la cargabilidad de los alimentadores de media tensión de la SE Dolorespata, se tendrá un sistema eléctrico confiable y por lo tanto se podrá vender energía de manera más segura sin interrumpir el suministro.

## **1.6.2 Social**

Porque la Empresa Electro Sur Este S.A.A., brindará mejores servicios que reflejarán una mayor satisfacción de los usuarios y una buena imagen institucional de la empresa.

## **1.6.3 Técnico**

Porque este estudio determinará la línea base del comportamiento eléctrico actual de los alimentadores (DO03, DO04 y DO09 en 10,5 kV) para luego predecir la situación del sistema eléctrico del Cusco en el año 2028.

## **1.6.4 Académico**

Este proyecto de tesis está dirigido hacia los estudiantes universitarios, futuros ingresantes a la Escuela Profesional de Ingeniería Eléctrica y/o lectores interesados, además, este proyecto es de conocimiento e investigación acerca del estudio de la cargabilidad en la red, condiciones operativas del sistema y así como el flujo de potencia en el sistema eléctrico, temas que serán útiles durante su formación académica.

## **1.7 Variables e Indicadores**

### **1.7.1 Variable Independiente**

Cargabilidad.

#### **Indicador:**

- ✓ Potencia (MVA)
- ✓ Corriente (A)
- ✓ Tensión (V)

### 1.7.2 Variable Dependiente

- ✓ Reconfiguración de la red.

#### Indicadores:

- ✓ Número de Alimentadores
- ✓ Número de Interconexiones

## 1.8 Matriz de Operacionalización de Variables

Tabla 1.2

Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS
Cargabilidad	Lo define a “La cargabilidad como la cantidad máxima de potencia eléctrica que se puede enviar a través de una o de un conjunto de líneas, manteniendo las condiciones operativas del sistema	Demanda de potencia	Potencia	kW	Software DigSilent, Reporte Sistemas de Medición – ELSE.
		Carga en la línea en MT	Corriente	A	Software DigSilent, Reporte Sistemas de Medición – ELSE, Especificaciones técnicas del conductor.
		Caída de tensión	Tensión	V	Normas de calidad de producto.
Reconfiguración de la red	La reconfiguración de las redes de distribución como una mejora que emplea las características de la topología de dichas redes, para modificarla, y así reducir las pérdidas eléctricas y reducir el número de clientes afectados por una falla.	Viabilidad de AMT	Numero de Interconexiones	-	Base de Datos - ELSE (Software ArcGis) Reporte de OSINERMING y Software DigSilent.
		Configuración de los AMT	Numero de Alimentadores	-	Base de Datos - ELSE (Software ArcGis) Reporte de OSINERMING y Software DigSilent.

*Fuente:* Elaboración propia

## **1.9 Alcances y Limitaciones**

### **1.9.1 Alcances**

El presente proyecto de tesis pretende investigar la cargabilidad de los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 de la SE Dolorespata, considerando su incremento del mismo y a su vez se evaluará la incorporación y reconfiguración de los alimentadores DO10, DO11 y DO12 en 10.5kV de la SE Dolorespata, esta evaluación se refleja en el cálculo del flujo de potencia en diferentes escenarios y en diferentes rangos de tiempo (Software DigSilent – Power Factory).

### **1.9.2 Limitaciones**

Se realizará el estudio de la cargabilidad del sistema eléctrico de Cusco con la incorporación y reconfiguración de los alimentadores DO10, DO11 y DO12 en 10.5 kV de la SE Dolorespata, ofreciendo una propuesta de solución que no toma en cuenta los siguientes estudios:

- Estudio de Coordinación de aislamiento.
- Estudio de Transitorios electromagnéticos.
- Estudio de Armónicos.
- Estudio de coordinación y protección.

## **1.10 Hipótesis**

### **1.10.1 Hipótesis General**

Con la reconfiguración de la red eléctrica se redistribuirá la cargabilidad, mejorando la operatividad de los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV.

### **1.10.2 Hipótesis Especificas**

- a) Con la configuración de operación actual de los alimentadores de los DO03, DO04 y DO09 en 10.5kW se logrará describir la cargabilidad en los alimentadores de media tensión con su configuración actual.
- b) Se logrará establecer la reconfiguración de la red con incorporación de los alimentadores DO10, DO11 y DO12 en 10.5kV, mejorando la cargabilidad de la red.
- c) Con la reconfiguración de la red, los niveles de cargabilidad al año 2028 de media tensión DO03, DO04 y DO09 al año 2028, estarán dentro del rango de operación permisible.

## **1.11 Metodología**

### **1.11.1 Población y Muestra**

Se define como población de estudio al sistema eléctrico de Cusco y se toma como muestras de investigación a los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV de la subestación eléctrica Dolorespata.

## **1.11.2 Metodología de la Investigación**

### ***1.11.2.1 Método de la Investigación.***

El método de investigación es HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO, porque se identifica la existencia de un problema; se formula la hipótesis, para luego realizar la deducción de posibles consecuencias, a partir de las hipótesis ya formuladas para proponer la solución del problema y finalmente se hace la contrastación de los resultados en un escenario real-actual de los alimentadores (DO03, DO04, DO09, DO10, DO11 y DO12).

### ***1.11.2.2 Tipo de Investigación.***

El tipo de investigación es CUANTITATIVA, ya que permite calcular y/o estimar la magnitud del fenómeno en estudio, además, este tipo de investigación se caracteriza por ser una investigación objetiva y orientada a resultados.

### ***1.11.2.3 Nivel de Investigación.***

El nivel de investigación es DESCRIPTIVO, porque el propósito de esta investigación es describir situaciones y eventos. Cuento cómo se ve un fenómeno y cómo se manifiesta en los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV de la subestación eléctrica Dolorespata de Cusco, donde se explicará el análisis estadístico de cada fenómeno en estudio.

Las técnicas utilizadas se basan en:

### ***1.11.2.4 Análisis Documental.***

Se realizarán búsquedas bibliográficas, informes, internet, normatividad vigente y todos los documentos emitidos por la empresa Electro Sur Este S.A.A., referente a los alimentadores de media tensión (DO03, DO04, DO09, DO10, DO11 y DO12).

#### ***1.11.2.5 Entrevistas.***

En coordinación con la empresa Electro Sur Este S.A.A, se realizaron diversas entrevistas, especialmente a los operadores del área del centro de control de Electro Sur Este S.A.A., quienes están inmersos en el día a día y en tiempo real del funcionamiento del sistema.

#### ***1.11.2.6 Observación Experimental.***

Durante las entrevistas en la oficina del centro de control de Electro Sur Este S.A.A, hemos sido testigos en tiempo real de las condiciones operativas de operaciones realizadas en los alimentadores de media tensión (DO03, DO04 y DO09) y la necesidad de realizar un estudio de su Cargabilidad y reconfiguración para dicha red, con base en su operatividad actual y proyectada hasta el 2028.

### **1.11.3 Procesamiento de Datos**

Los métodos de procesamiento de datos incluirán el aprovechamiento de las oportunidades brindadas por los avances tecnológicos utilizando diversos softwares como: ArcGis, Google Earth, DigSilent-Power Factory, AutoCad, Microsoft Office, etc.

## 1.12 Matriz de Consistencia

Tabla 1.3

Matriz de Consistencia

ESTUDIO DE CARGABILIDAD CON LA RECONFIGURACIÓN DE LA RED DE LOS ALIMENTADORES DE MEDIA TENSIÓN EN 10.5kV DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DOLORESPATA DE CUSCO					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	CONCLUSIONES
<p><b>PG.</b> ¿Cómo será la cargabilidad de los alimentadores de media tensión de la SE Dolorespata en 10.5kV con la reconfiguración de la red?</p> <p><b>PE1.</b> ¿Como será la cargabilidad de los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 con la configuración de operación actual?</p> <p><b>PE2.</b> ¿Como será la reconfiguración de la red con la incorporación de los alimentadores DO10, DO11 y DO12 en 10.5kV?</p> <p><b>PE3.</b> ¿Como será la operatividad de los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 al año 2028, con la reconfiguración de la red?</p>	<p><b>OG.</b> Determinar la cargabilidad de los alimentadores de media tensión de la SE Dolorespata en 10.5kV con la reconfiguración de la red.</p> <p><b>OE1.</b> Evaluar la cargabilidad de los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV con la configuración de operación actual.</p> <p><b>OE2.</b> Establecer la reconfiguración de la red con la incorporación de los alimentadores DO10, DO11 y DO12 en 10.5kV.</p> <p><b>OE3.</b> Evaluar la operatividad de los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 al año 2028, con la reconfiguración de la red</p>	<p><b>HG.</b> Con la reconfiguración de la red eléctrica se redistribuirá la cargabilidad, mejorando la operatividad de los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV.</p> <p><b>HE1.</b> Con la configuración de operación actual de los alimentadores de los DO03, DO04 y DO09 en 10.5kW se logrará describir la cargabilidad en los alimentadores de media tensión con su configuración actual.</p> <p><b>HE2.</b> Se logrará establecer la reconfiguración de la red con incorporación de los alimentadores DO10, DO11 y DO12 en 10.5kV, mejorando la cargabilidad de la red.</p> <p><b>HE3.</b> Con la reconfiguración de la red, los niveles de cargabilidad al año 2028 de media tensión DO03, DO04 y DO09 al año 2028, estarán dentro del rango de operación permisible.</p>	<p><b>Variable Independiente</b> Cargabilidad</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Potencia (MVA)</li> <li>➤ Corriente (A)</li> <li>➤ Tensión (V)</li> </ul> <p><b>Variable Dependiente</b> Reconfiguración de la red</p> <p><b>Indicadores:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Número de Alimentadores</li> <li>➤ Número de Interconexiones</li> </ul>	<p><b>Método de Investigación</b> El método de investigación es HIPOTÉTICO-DEDUCTIVO, porque se identifica la existencia de un problema; se formula la hipótesis, para luego realizar la deducción de posibles consecuencias, a partir de las hipótesis ya formuladas para proponer la solución del problema y finalmente se hace la contrastación de los resultados en un escenario real-actual de los alimentadores (DO03, DO04, DO09, DO10, DO11 y DO12).</p> <p><b>Tipo De Investigación</b> El tipo de investigación es CUANTITATIVA, ya que permite calcular y/o estimar la magnitud del fenómeno en estudio, además, este tipo de investigación se caracteriza por ser una investigación objetiva y orientada a resultados.</p> <p><b>Nivel de Investigación</b> El nivel de investigación es DESCRIPTIVO, porque el propósito de esta investigación es describir situaciones y eventos. Cuento cómo se ve un fenómeno y cómo se manifiesta en los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV de la subestación eléctrica Dolorespata de Cusco, donde se explicará el análisis estadístico de cada fenómeno en estudio.</p> <p><b>Población</b></p>	<p><b>CG.</b> Para mejorar la cargabilidad de los alimentadores de media tensión de la SE Dolorespata, se realizó una reconfiguración de la red eléctrica, incorporando nuevos alimentadores, obteniendo una reducción aproximada del 50% de la cargabilidad en los alimentadores DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV, siendo estos los que evidenciaron mayor cargabilidad en los registros obtenidos años anteriores de ELSE.</p> <p><b>CE1.</b> Al realizar la evaluación de la cargabilidad se determinó que los niveles de operatividad de los alimentadores DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV están con valores por encima del 78% y llegando hasta un 106%, en máxima demanda.</p> <p><b>CE2.</b> Habiendo realizado una evaluación de cargabilidad en los alimentadores en estudio, se logró la reconfiguración e incorporación de los alimentadores DO10, DO11 y DO12 en 10.5kV, obteniendo resultados positivos con una reducción del 50% de cargabilidad en los alimentadores DO03, DO04 y DO09. Además, se obtuvo un mayor respaldo de transferencia de carga ante una falla.</p> <p><b>CE3.</b> Se determinó que la tasa de crecimiento de la demanda respecto al año anterior fue de 5.89%. Con este dato se logró el factor de escalamiento para el modelamiento de la demanda al año 2028 (Factor de escalamiento 1.257224464). Con la reconfiguración de la red se realizó la evaluación de cargabilidad al año 2028, obteniendo valores de cargabilidad del 21.05 al 54.52%, estando dentro del rango de operación</p>

Fuente: Elaboración propia

## **2 Capítulo II: Marco Teórico y Conceptual**

### **2.1 Introducción**

Al evaluar la operación actual y propuesta de la red eléctrica en estudio, se tiene que tener en cuenta una cantidad razonable de conceptos y definiciones previas al desarrollo de los siguientes temas: Cargabilidad, demanda, reconfiguración de la red, flujo de carga y fallas. Para lo cual este capítulo presenta un marco conceptual y normativo, el ayudara al desarrollo de la presente tesis.

### **2.2 Antecedentes de la Investigación**

#### **2.2.1 Antecedente Local**

- Avalos Paul, Farfán Raúl (2019). Optimización del nivel de confiabilidad de los alimentadores de media tensión QU-02 y QU-03 en 10.5kV con su operación en anillo y propuesta de nuevos ajustes de protección. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

Resumen: El presente trabajo de investigación se desarrolla a raíz de la problemática actual del nivel de confiabilidad de los alimentadores de media tensión en 10.5kV QU-02 y QU-03 frente a interrupciones por falla suscitadas en las troncales de estos, ya que interrupciones de esta naturaleza influyen significativamente en el cálculo de los indicadores SAIDI y SAIFI. Según la configuración de operación actual de estas redes, la concesionaria encargada de administrarlas, Electro Sur Este S.A.A., cuenta con instalaciones y equipamiento que opera de forma correcta para su operación radial y permite disminuir el impacto de este tipo de interrupciones. Sin embargo, consideramos que esta no es la forma más óptima de utilizar todos los recursos

disponibles de estas redes, es por ello que planteamos la alternativa de operación en anillo de los alimentadores de media tensión en estudio, esto con la finalidad de aprovechar cada elemento disponible (puntos de interconexión, equipos de protección y maniobra, relés multifuncionales, etc.) y mejorar el nivel de confiabilidad. Este estudio contempla una evaluación completa de las redes en mención, desde aspectos de flujo de carga, cortocircuito, verificación de ajustes de protección y cálculo de los indicadores SAIDI y SAIFI para la configuración actual y la propuesta, esto con la finalidad de demostrar que la alternativa planteada representa una mejora significativa en el nivel de confiabilidad de los alimentadores de media tensión en 10.5kV QU-02 y QU-03.

- Sergio Torobeo Palomino, Saul Flores Turpo (2021). Análisis de cargabilidad en MT del alimentador DO04 de la ciudad del Cusco proyectado al año 2025. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

Resumen: El presente trabajo de tesis se centra en analizar la cargabilidad en las redes de Media Tensión con un horizonte al año 2025, realizar la predicción futura de la demanda en base a los perfiles de carga de los usuarios del área de estudio, para evaluar la mejor alternativa, y mediante el uso de software de flujo de potencia simular el alimentador DO 04 para obtener datos cercanos a la realidad y proponer una alternativa que permita el abastecimiento de energía para cubrir la Demanda eléctrica al año 2025 de forma confiable y sin interrupciones. El trabajo de tesis titulado “ANÁLISIS DE CARGABILIDAD EN MT DEL ALIMENTADOR DO04 DE LA CIUDAD DEL CUSCO PROYECTADO AL AÑO 2025”, está constituido por 5 capítulos de la siguiente manera:

**Capítulo I:** En este capítulo se da a conocer los aspectos generales del presente trabajo de tesis como el problema de la investigación, los objetivos, hipótesis, indicadores y la metodología de investigación. **Capítulo II:** En este capítulo se da a conocer el fundamento teórico, estableciendo definiciones utilizadas en el área de la Ingeniería Eléctrica y simbologías de acuerdo al CNE Terminología. Enfocados principalmente en el ámbito de Distribución eléctrica. **Capítulo III:** En este capítulo, se realiza el diagnóstico del Alimentador DO 04, identificando las características técnicas y condiciones de operación actual en el alimentador. **Capítulo IV:** En este capítulo se analizan las diferentes metodologías de proyección de la demanda con la finalidad de escoger la que mejor se adecúe a las características del Alimentador DO 04, y así elaborar un programa que permita acelerar el cálculo de las proyecciones de la demanda. El capítulo finaliza con la simulación del flujo de potencia para los periodos comprendidos hasta el año 2025. **Capítulo V:** En este capítulo se analizan los resultados obtenidos en la simulación de flujo de potencia y se propone una alternativa que solucione los problemas de cargabilidad, así también se analiza la viabilidad de esta alternativa tomando en consideración los indicadores del VAN y TIR.

- Vera Diego, Puma Glenhs (2019). Estudio de la cargabilidad en las redes del AMT QU04 con la incorporación de vehículos eléctricos en la ciudad del cusco proyectado desde el año 2018 al 2022. Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

Resumen: La presente tesis tiene por objetivo determinar el efecto que se manifestara sobre la condición operativa de cargabilidad en el alimentador de media tensión QU04 al incorporarse vehículos eléctricos como carga en la ciudad del Cusco, los cuales cuentan con una batería de Ion Litio que tiene una potencia aproximada de 7kW y 55kW respectivamente. Metodología, tiene el nivel descriptivo correlacional, ya que cuenta con uno de sus objetivos el de realizar un diagnóstico de las redes de distribución

del AMT QU04 proyectadas al 2022, también se describirán las variables y el efecto que crearán la incorporación de los vehículos eléctricos en la ciudad del Cusco. El estudio determina que es viable la incorporación de VE en la ciudad del Cusco obteniendo un total de 77 unidades para la zona de estudio y que la demanda de potencia de estos genera problemas de caídas de tensión, sobrecarga de líneas, sobrecarga de transformadores en forma significativa en el año 2022. Además, el presente estudio, determina la viabilidad y envergadura de incorporación de VE mediante encuestas y utilizando herramientas estadísticas, con tres escenarios de incorporación de VE y para tres tipos de potencia demandada en los que se analiza la condición operativa de cargabilidad mediante la simulación de flujo de potencia en el software de simulación DIGSILENT Power Factory. Como conclusión se tiene que la incorporación de vehículos eléctricos en la ciudad del Cusco causa un efecto significativo en la condición operativa de cargabilidad del AMT QU04 en el año 2022 porque la demanda de potencia ocasionada por la recarga de baterías en periodo de máxima demanda hará que algunas redes y subestaciones operen en estado de sobrecarga, además que la variación de tensión en puntos de conexión a la subestación vulnere el límite permitido por la NTCSE.

### **2.2.2 Antecedente Internacional.**

- Taco Cabrera, A. G. (2018). Implementación de una Herramienta de Software para la Evaluación de Confiabilidad de Sistemas Eléctricos de Distribución Utilizando un Método Simulativo. 162 hojas. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Resumen: Dicha tesis presenta la implementación de un modelo para el cálculo de la Confiabilidad en Sistemas Eléctricos de Distribución, aplicando el método

simulativo de Monte Carlo, en el software Matlab R2016a. La empresa de distribución CNEL-EP Unidad de Negocio Sucumbíos, a través de su departamento de Sistema de Información Georreferenciada ha brindado la base de datos con especificaciones de topología, datos indispensables para la realización del análisis. El software objeto del presente proyecto realiza el análisis de confiabilidad en dos alimentadores radiales de distribución y ante cada falla en el sistema brinda una opción de reconexión a través de un seccionador el cual reconfigura la topología del sistema utilizado. Además del cálculo de los índices de confiabilidad del sistema, se realiza un análisis técnico económico, análisis con el cual se puede comprar cual es la reconexión óptima para el sistema en función de parámetros como ENS, VAN, TIR. Con el presente estudio, se provee una base sólida de información para los estudiantes de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Politécnica Nacional, base que será de ayuda para los futuros funcionarios de las empresas eléctricas de distribución, específicamente a los departamentos de planificación.

- Gancino (2020), Análisis de Cargabilidad de Redes Eléctricas de Distribución Basado en la Modificación del Algoritmo de Gauss-Seidel. Universidad Politécnica Salesiana-Sede -Quito.

Resumen: En los sistemas alimentadores, una de las funciones principales es la distribución de energía, misma que se distribuye a través de conductores eléctricos con una topología radial. El mal funcionamiento de estos sistemas se produce por diferentes razones, una de las principales ocurre cuando la corriente supera el factor de sobrecarga en la línea, creando que el conductor supere su límite térmico, sin embargo, esto se puede evitar analizando el flujo de potencia de los sistemas de distribución, para que existan resultados confiables en sistemas radiales y de esta

manera determinar el punto de corriente crítica en el conductor antes de que ocurra una extensión térmica. Por lo mencionado, el siguiente análisis tiene como finalidad la adaptación del algoritmo de Gauss-Seidel en sistemas de distribución, y determinar un punto crítico de corriente en los conductores de los sistemas alimentadores de 13 y 34 nodos del IEEE. A través de los resultados obtenidos se podrá definir a que nivel de corriente empieza a existir una extensión térmica en los conductores y se verificarán los resultados del flujo de potencia con un simulador el cual afirmará los resultados obtenidos.

### **2.3 Reconfiguración de la Red Eléctrica**

Se define a “La reconfiguración de las redes de distribución como una mejora que emplea las características de la topología de dichas redes, para modificarla, y así reducir las pérdidas eléctricas y reducir el número de clientes afectados por una falla. Las redes de distribución se operan radiales y se construyen malladas, por lo tanto, es posible intercambiar carga entre un alimentador y otro, hasta obtener un punto de operación adecuado” (Lisan & González, 2012).

### **2.4 Cargabilidad**

Lo define a “La cargabilidad como la cantidad máxima de potencia eléctrica que se puede enviar a través de una o de un conjunto de líneas, manteniendo las condiciones operativas del sistema” (Taday Alvarez, 2016).

Además, se define como el límite o capacidad térmica del conductor, limitaciones para la transferencia de potencia real; la capacidad térmica está definida por la máxima temperatura que soporta el conductor sin perder sus características eléctricas mecánicas, el incremento de temperatura afecta a los conductores la pérdida de su resistencia mecánica, además, la

temperatura del conductor depende de la magnitud de la corriente de la duración de esta, así como el ambiente las condiciones físicas del conductor (Montoya Montoya, 2008, pág. 9).

$$(\%)de \textit{Cargabilidad} = \frac{\textit{Potencia Transportada por la Línea}}{\textit{Capacidad de Potencia de Transporte de la Línea}} \times 100\% \quad (2.1)$$

### **2.4.1 Cargabilidad de conductores**

La cargabilidad es la capacidad de conducción del conductor y usualmente se establece igual al límite térmico. La carga es el nivel de corriente que tiene en un momento dado. El conductor puede ser cargado hasta un límite en condiciones normales y otro superior para condiciones críticas o de emergencia (Vera Lopez & Puma Polanco, 2019, pág. 43).

## **2.5 Sistema de Distribución de Energía Eléctrica**

Se define como la “Transferencia de electricidad a los usuarios dentro de un área de consumo” (Norma DGE-091, 2002)

### **2.5.1 Tipos de Diseño de Sistemas de Distribución**

Existen varias formas para diseñar un sistema de distribución, las cuales difieren en como los alimentadores están dispuestos e interconectados

#### **2.5.1.1 Red Radial**

Red o parte de una red formada por alimentadores simples alimentados por una fuente común (Norma DGE-091, 2002)

### 2.5.1.2 *Red Mallada*

Red o parte de una red formada por múltiples mallas (Norma DGE-091, 2002).

### 2.5.1.3 *Funcionamiento en anillo*

Método de operación donde cada punto de una parte dada de una red es alimentado por una o dos fuentes a lo largo de dos rutas distintas (Norma DGE-091, 2002).

## 2.5.2 **Parámetros de las Líneas de Media Tensión**

### 2.5.2.1 *Parámetros Longitudinales*

#### *a) Resistividad*

Característica específica de la resistencia, usualmente resistencia por unidad de longitud y de área del conductor (volumétrica) (Norma DGE-091, 2002)

$$R_o \frac{\rho l}{A} \Omega \quad (2.2)$$

Donde:

$\rho$  : Resistividad del conductor

$l$  : longitud

$A$  : Área de sección transversal

#### *b) Inductancia*

Se define como la relación entre el flujo magnético y la intensidad de corriente eléctrica, modela el proceso de almacenamiento energético en forma de campo magnético que se

produce en la línea. Se representa como una sola bobina en serie “L” el cual se opone a la variación de corriente. (Gomez Carrion, 2010).

### **2.5.3 Tipos de construcción de los Sistemas de Distribución**

#### **2.5.3.1 Línea Aérea**

Línea eléctrica cuyos conductores están sobre el terreno, generalmente por medio de aisladores y soportes apropiados (Norma DGE-091, 2002).

#### **2.5.3.2 Red Subterránea**

Red formada principalmente por líneas subterráneas (Norma DGE-091, 2002)

### **2.5.4 Clasificación de los Sistemas de Distribución**

#### **2.5.4.1 Subsistema de Distribución Primaria**

Es aquel destinado a transportar la energía eléctrica producida por un sistema de generación, utilizando eventualmente un sistema de transmisión, y/o un subsistema de subtransmisión, a un subsistema de distribución secundaria, a las instalaciones de alumbrado público y/o a las conexiones para los usuarios, comprendiendo tanto las redes como las subestaciones intermediarias y/o finales de transformación (Norma DGE-091, 2002)

#### **2.5.4.2 Subsistema de Distribución Secundaria.**

Es aquel destinado a transportar la energía eléctrica suministrada normalmente a bajas tensiones, desde un sistema de generación, eventualmente a través de un sistema de transmisión y/o subsistema de distribución primaria, a las conexiones (Norma DGE-091, 2002)

## 2.5.5 Componentes Básicos de un Sistema de Distribución

### 2.5.5.1 Transformador de Potencia

Aparato estático con dos o más devanados que, mediante inducción electromagnética, transforma un sistema de tensión y corriente alterna en otro sistema de tensión y corriente generalmente de diferentes valores y a la misma frecuencia con el fin de transmitir la potencia eléctrica (Norma DGE-091, 2002)

### 2.5.5.2 Alimentadores

Generalmente son líneas aéreas de distribución de energía eléctrica montados en postes de concreto o madera; subterráneas, enterradas directamente en la tierra o colocados en tuberías debidamente protegidas (Ramírez Castaño, 2004).

### 2.5.5.3 Red de Distribución Eléctrica

Transferencia de electricidad a los usuarios dentro de un área de consumo (Norma DGE-091, 2002)

Según el nivel de tensión se clasifican en:

#### a) *Baja Tensión*

Conjunto de niveles de tensión utilizados para la distribución de la electricidad; Su límite superior generalmente es  $U \leq 1 \text{ kV}$  (Norma DGE-091, 2002)

#### b) *Media Tensión*

Cualquier conjunto de niveles de tensión comprendidos entre la alta tensión y la baja. Los límites son  $1 \text{ kV} < U < 30 \text{ kV}$ .

Figura 2.1.

## Niveles de Tensión

<b>Baja Tensión:</b> 380 / 220 V 440 / 220 V	<b>Alta Tensión:</b> 60 kV 138 kV 220 kV
<b>Media Tensión:</b> 20,0 kV (*) 22,9 kV 33 kV 22,9 / 13,2 kV 33 / 19 kV	<b>Muy Alta Tensión:</b> 500 kV

*Fuente:* CNE 2011- Suministro

#### **2.5.5.4 Subestación de Distribución**

Es Parte de una red eléctrica, limitada a un área dada, incluyendo principalmente terminales de las líneas de transmisión o distribución, a paramenta (equipos de maniobra y control), edificaciones y transformadores. Una estación generalmente incluye dispositivos de seguridad (Norma DGE-091, 2002)

#### **2.5.6 Conductores en Redes de MT**

##### **2.5.6.1 Conductor Eléctrico**

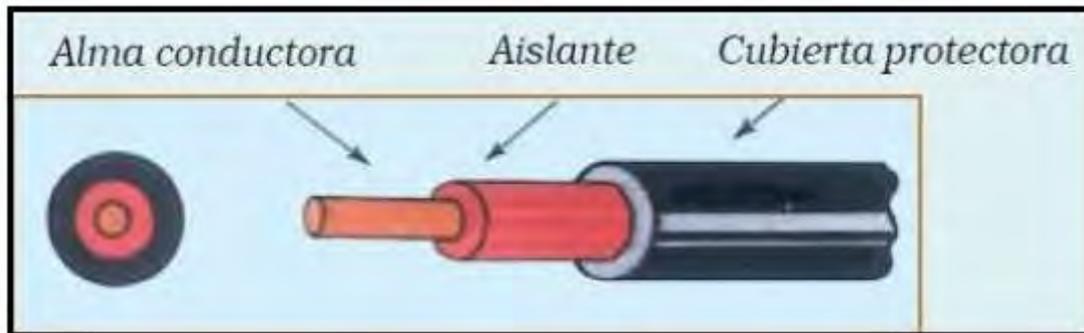
Un material, usualmente en forma de alambre, cable o barra capaz de conducir corriente eléctrica (Codigo Nacional de Eléctricación, 2011)

##### **2.5.6.2 Partes de los Conductores**

Las partes que generalmente componen un conductor son: El alma, el aislante y una cubierta protectora. Según la siguiente figura:

Figura 2.2

Partes de un Conductor

*Fuente:* Catalogo INDECO**a) El Alma o Elemento Conductor.**

Su función es transmitir la energía eléctrica desde los centros de generación a los centros de distribución u otras redes, con la finalidad de alimentar diferentes centros de consumo. Generalmente el alma es de aleación de Aluminio. El alma conductora puede ser: Alambre, si el conductor está formado por una sola pieza o Cable, si el conductor está formado por una serie de hilos conductores (INDECO & S.A., 2020)

**b) Aislante**

Su objetivo es evitar que la energía que circula por el conductor, entre en contacto con otros conductores, personas o circule por otros elementos que forman parte de la instalación. Entre los materiales usados para el aislamiento se tiene el PVC o cloruro de polivinilo, el polietileno expandido o PE, polietileno reticulado o XLPE, la goma, el caucho y el nylon (INDECO & S.A., 2020).

### **c) Cubierta Protectora**

Es una envoltura continua y ajustada, destinada a proteger el aislamiento del cable (Norma DGE-091, 2002)

## **2.6 Análisis de la Carga Eléctrica**

### **2.6.1 Carga de una Red**

La carga de un Potencia activa, reactiva o aparente generada, transmitida o distribuida dentro de un sistema (Norma DGE-091, 2002)

### **2.6.2 Densidad de Carga**

La densidad de carga se defina como el cociente entre carga y el área geográfica de una red de distribución eléctrica

### **2.6.3 Distribución de Carga**

Las cargas en un sistema de distribución eléctrica pueden estar concentradas en una determinada área del sistema o distribuidas sobre una parte particular (Ramírez Castaño, 2004)

### **2.6.4 Características de la Carga Eléctrica**

#### **2.6.4.1 Potencia Eléctrica**

Es la proporción por unidad de tiempo en el cual la energía es transferida.

#### **2.6.4.2 Potencia aparente**

Potencia aparente o llamada también potencia compleja de un circuito de corriente alterna, es la suma vectorial de la potencia que disipa la carga del circuito transformándose en calor o trabajo (conocida como Potencia Activa cuya unidad es el vatio (W)) y la potencia que se

utiliza para generar los campos eléctricos y magnéticos (conocida como Potencia Reactiva cuya unidad es el Volt-Amper reactivos (VAR) (Torobeo Palomino & Flores Turpo, 2021)

#### **2.6.4.3 Potencia instalada**

Se define como la sumatoria de todas las cargas continuas y no continuas de una instalación o instalaciones.

#### **2.6.4.4 Demanda Eléctrica**

La demanda eléctrica de un sistema de distribución es la intensidad de corriente o potencia eléctrica, relativa a un intervalo de tiempo específico, que absorbe su carga para funcionar. Ese lapso se denomina intervalo de demanda, y su indicación es obligatoria a efecto de interpretar un determinado valor de demanda (Torobeo Palomino & Flores Turpo, 2021).

#### **2.6.4.5 Demanda Máxima**

La demanda máxima o Potencia Máxima de un sistema, es la más grande de las demandas dada en un intervalo de tiempo. Está expresada en unidades del tipo carga tales como kW, kVA, como se puede ver en la Ecuación (2.1). Generalmente la Demanda Máxima es la de mayor importancia e interés debido a que condiciona la capacidad y diseño del sistema de distribución. (Torobeo Palomino & Flores Turpo, 2021).

$$D_{max} = \frac{E}{F_c \times t} \quad (2.3)$$

Donde:

$D_{max}$  : Demanda Máxima (kW)

$t$  : Tiempo en horas (h)

E : Energía consumida en (k.W.h.)

Fc : Factor de Carga

#### 2.6.4.6 Factor de Carga

El factor de carga se define como la relación entre demanda promedio en un determinado periodo de tiempo y la demanda máxima en el mismo intervalo de tiempo. Está expresada como valor numérico o como un porcentaje (Grainger & Stevenson, 2002)

$$FC = \frac{1}{P_{\max}} \int_0^t \frac{p(t)}{t} dt = \frac{\text{Demanda Promedio}}{D_{\max}} \quad (2.4)$$

Donde:

Fc : Factor de Carga.

Pmax : Potencia Máxima del Sistema (kW).

$$\int_0^t \frac{p(t)}{t} dt \text{ Demanda Promedio en un intervalo de tiempo } t \text{ (kW).}$$

#### 2.6.4.7 Factor de Demanda

Se define como la relación entre la demanda máxima de un sistema o parte del mismo, y la carga total conectada al sistema o a una parte del mismo. La carga conectada es la sumatoria de los consumos de carga por los aparatos conectados al sistema o cualquier otra parte (Grainger & Stevenson, 2002).

#### 2.6.4.8 Factor de Simultaneidad

Es el cociente entre la potencia máxima que se registra en una instalación, y la suma de todas las potencias máximas individuales de cada carga de dicha instalación.

$$Fs = \frac{P_{max}}{\sum_{i=1}^n P_{max(i)}} \quad (2.5)$$

Donde:

$F_s$  : Factor de Simultaneidad.

$P_{max}$  : Potencia Máxima de la instalación en (kW).

$P_{max(i)}$  : Potencia Máxima individual de cada carga en (kW).

#### 2.6.4.9 Curva de la Demanda

Es el ciclo de carga que muestra la variación de la demanda durante un periodo en el tiempo.

Figura 2.3

Curva de la Demanda



Fuente: Pagina web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Pot>

### **2.6.5 Crecimiento de la Demanda**

El crecimiento de la demanda juega un papel fundamental en la planificación del sistema de distribución porque regula el sistema eléctrico y determina su capacidad para satisfacer la demanda de energía. El aumento de la carga está directamente relacionado con el crecimiento demográfico descontrolado, el crecimiento industrial y el desarrollo tecnológico.

Al planear los sistemas de distribución es muy importante considerar la tasa de crecimiento anual, de modo que para los 10 años de estudio se pueda alimentar el crecimiento de la carga (Castañeda, 2006).

### **2.6.6 Crecimiento Demográfico**

El crecimiento demográfico o crecimiento poblacional es el cambio en la población en un determinado periodo de tiempo, y puede ser cuantitativo como el cambio en el número de individuos en una población para su medición (Wikipedia, 2022).

## **2.7 Pronóstico de la Demanda de Energía Eléctrica**

El pronóstico o proyección de la demanda es un procedimiento sistemático que permite básicamente predecir la demanda futura y es de vital importancia para la planificación en sistemas de distribución, por lo que el pronóstico debe ser lo más exacto posible sin olvidar la presencia de incertidumbres. De acuerdo al tiempo que se efectúe para el análisis, se podría considerar tres técnicas de predicción: de corto, mediano y largo plazo, todo depende del tipo de análisis y su complejidad (Torobeo Palomino & Flores Turpo, 2021).

### **2.7.1 Importancia del Pronóstico de la Demanda de Energía Eléctrica**

El objetivo principal del sistema de distribución es satisfacer la demanda de energía de manera segura, confiable y continua. Pero debido a la creciente demanda los sistemas de

distribución deben satisfacer dicha demanda, por lo cual es necesario tener un valor demandado para poder realizar modificaciones o incrementar la capacidad del sistema (Torobeo Palomino & Flores Turpo, 2021).

## 2.8 Métodos de Extrapolación para el Pronóstico de Demanda de Energía

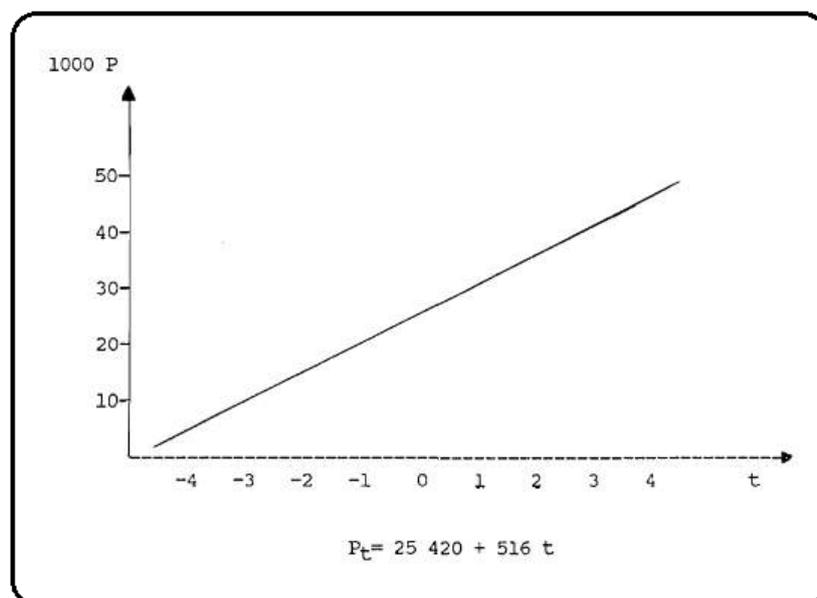
Utilice fórmulas matemáticas para predecir la demanda de energía, suponiendo que su desempeño histórico es relativamente regular. Entre las ecuaciones matemáticas en proyección, la ecuación más utilizada se describe a continuación

### 2.8.1 Cambio Aritmético o lineal

La más simple de las funciones matemáticas es la línea recta o polinomio de primer grado, la cual, se deriva de una progresión aritmética. El crecimiento aritmético supone que en cada periodo la población aumenta o disminuye en el mismo número de personas, tal como se muestra en la figura 2.5

Figura 2.4

Crecimiento lineal



**Fuente:** Pagina web: <https://prezi.com/duprzkw6g-lw/gradiente-aritmetico-o-lineal/>

Esta ecuación no debe ser muy utilizada debido a que es muy difícil encontrar una variación que presente estas características y sólo justifica que se utilice en el caso de disponer únicamente de dos puntos en el tiempo. (Granados Celade, 1997).

Matemáticamente el crecimiento lineal se puede expresar como la Ecuación (2.6):

$$D_F = D_A(1 + t) \quad (2.6)$$

Donde:

$D_F$  : Demanda Futura (kW).

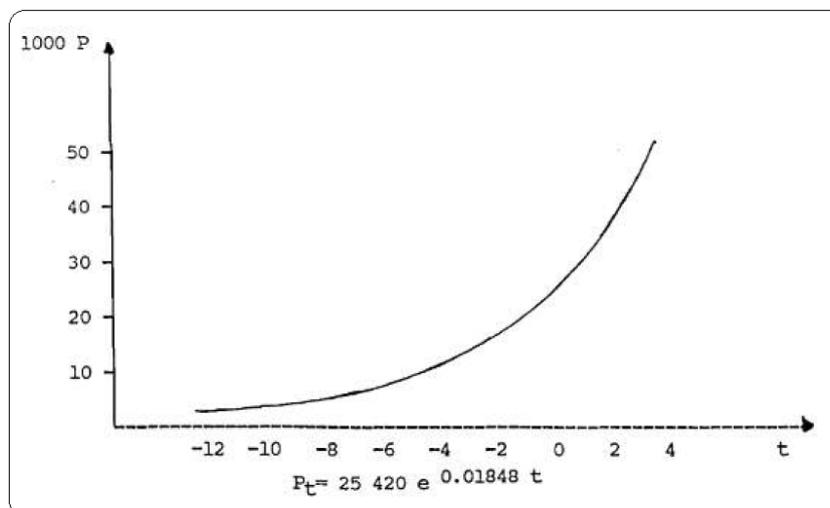
$D_A$  : Demanda Actual (kW).

$t$  : Tasa de crecimiento de la demanda.

### **2.8.2 Cambio Geométrico o Exponencial**

Desde finales del siglo XVII hasta el siglo XVIII, muchos autores, observaron cómo las poblaciones tienden a crecer en forma geométricamente, por lo que esta característica fue muy utilizada. Un crecimiento en forma geométrica o exponencial (figura 2.6), supone que crece a una tasa constante, lo que significa que aumenta proporcionalmente lo mismo en cada periodo de tiempo y en forma creciente. (Granados Celade, 1997).

Figura 2.5  
Crecimiento Exponencial



**Fuente:** Pagina web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>

Matemáticamente el crecimiento Exponencial se puede expresar como la Ecuación (2.7).

$$D_F = D_A (1 + t)^n \quad (2.7)$$

Donde:

$D_F$  : Demanda Futura (kW).

$D_A$  : Demanda Actual (kW).

$t$  : Tasa anual de Incremento de la Demanda (%).

$n$  : Cantidad de años considerados para la proyección.

## 2.9 Caída de voltaje

La limitación de caída de voltaje es de importancia sobre todo en sistemas eléctricos longitudinales, está íntimamente relacionada con la capacidad de suministro de reactivas en los extremos terminales de la línea. Con base en el modelo simplificado de la figura 6, la caída de voltaje se define entre el nodo de envío  $V_E$  y el de recepción  $V_R$ :

$$CV = \frac{V_E - V_R}{V_R} * 100 \quad (2.8)$$

Y en consecuencia el voltaje límite del extremo de recepción ( $V_{RL}$ ) en términos de CV:

$$V_{RL} = V_E \left[ 1 - \frac{CV}{100} \right] \quad (2.9)$$

El criterio usado es de permitir una caída de tensión del 5% la cual puede aparecer con muy estricta, sin embargo, es importante recordar que se está utilizando para estudios de planificación donde se tienen importantes incertidumbres en cuanto a la evolución de la oferta y las demandas futuras. Sin embargo, se pueden realizar estudios paramétricos para cuantificar el aumento de cargabilidad al degradar, por ejemplo, a un 7.5% la caída de voltaje permisible (Estudio estocástico de cargabilidad en líneas de transmisión, 2008, pág. 18).

## 2.10 Flujo de Potencia

El objetivo de un estudio de flujo de potencia es de analizar el desempeño de una red eléctrica en régimen permanente bajo diferentes condiciones de explotación. Se trata de la herramienta de análisis de base para el planeamiento, el diseño y la explotación de cualquier red de energía eléctrica, ya sea de transporte o de distribución de energía, pública o industrial. Para este caso se hace un análisis de Fallas (Grainger & Stevenson, 2002).

### 2.10.1 Fallas

Las fallas en la red eléctricas son anomalías que causan disminución del aislamiento entre conductores de fases por debajo de los valores (Grainger & Stevenson, 2002).

### 2.10.2 Tipos de Fallas

Se define el término falla como cualquier cambio no planeado en las variables de operación de un sistema de potencia, también es llamada perturbación.

Las tasas de fallas en sistemas de baja tensión son mayores que las que se presentan en sistemas de alta tensión por la cantidad de elementos y equipos involucrados (Ramírez Castaño, 2004, págs. 65 - 66)

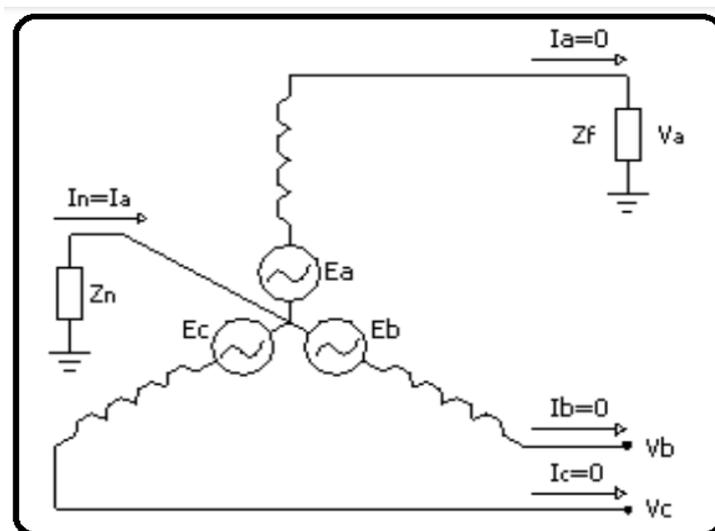
Fallas tipo derivación: Flameos

- El 72% de las fallas son monofásicas.
- El 22% de las fallas involucran dos fases.
- El 6% de las fallas son trifásicas. (Ramírez Castaño, 2004)

### 2.10.2.1 Falla Línea – Tierra:

Figura 2.6

Representación de una falla línea – tierra



*Fuente:* (Ramírez Castaño, 2004)

Las condiciones en los terminales del generador para una falla línea - tierra mediante una impedancia son representadas por (Ramírez Castaño, 2004, pág. 33):

$$I_b = 0, I_c = 0, V_a = 0, \text{ si } Z_f = 0 \text{ (falla sólida)} \quad (2.10)$$

Y como  $Z_0 = Z_{e0} + 3Z_n$ ; entonces:

$$I_a = \frac{3E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + 3Z_f} \quad (2.11)$$

### 2.10.2.2 Falla línea – línea

Las condiciones para una falla entre las líneas b y c son representadas por las ecuaciones (Ramírez Castaño, 2004, pág. 35):

$$I_a = 0; I_b = 0; V_b = I_b * Z_f + V_c \quad (2.12)$$

Igualmente puede demostrarse mediante un procedimiento similar que:

$$I_{a0} = 0; I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_f} = -I_{a2} \quad (2.13)$$

Si la falla es sólida, entonces  $Z_f = 0$  y  $V_b = V_c$ , por lo que:

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2} = -I_{a2} \quad (2.14)$$

### 2.10.2.3 Falla línea – línea – tierra

Las condiciones para una falla entre las líneas b y c y tierra son representadas por las ecuaciones (Ramírez Castaño, 2004, pág. 36).

$$I_a = 0 \text{ y } V_b = 0$$

Se deduce:

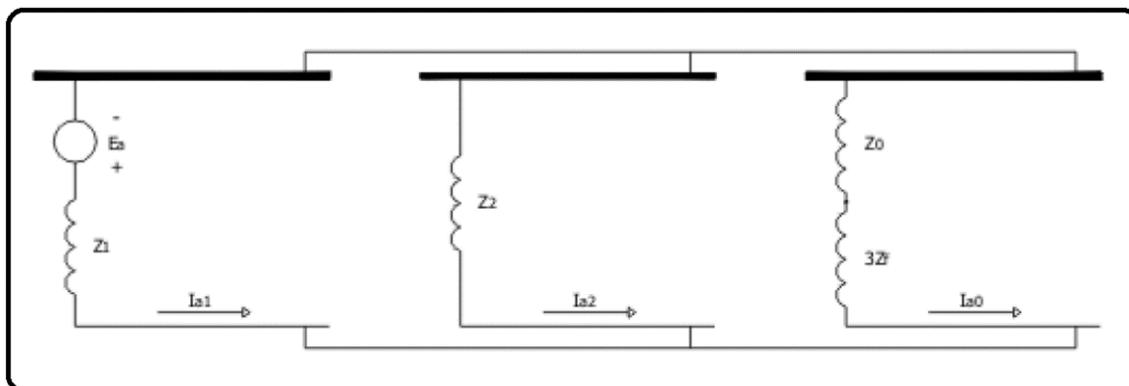
$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + \frac{(Z_0 + 3Z_f)Z_2}{Z_0 + 3Z_f + Z_2}} = \frac{E_a(Z_0 + Z_2 + 3Z_f)}{Z_1 * Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_f)} \quad (2.15)$$

Si la falla es sólida a tierra,  $Z_f = 0$  por lo que:

$$I_{a1} = \frac{3E_a (Z_0 + Z_2)}{Z_1 * Z_2 + Z_0 (Z_2 + Z_2)} \quad (2.16)$$

Figura 2.7

Circuitos de secuencia para fallas asimétricas fase - fase – tierra

*Fuente:* (Ramírez Castaño, 2004)

#### 2.10.2.4 Falla Trifásica

Para fallas trifásicas se puede demostrar que (Ramírez Castaño, 2004, pág. 37):

$$I = \frac{V_f}{Z_1 + Z_F} \quad (2.17)$$

### 2.10.3 Análisis de Contingencias

El análisis de la contingencia, representado por “N-1”, es el proceso mediante el cual se retira un elemento de la red y se verifica los efectos sobre la operación del sistema eléctrico y la capacidad de éste de permanecer de encontrar un nuevo punto de operación estable (Operación de Distribución, 2020)

### 2.10.4 Equipos de Protección y Maniobra

#### 2.10.4.1 Seccionador IM

Aparato mecánico de maniobra sin carga, que, por razones de seguridad, asegura, en posición de abierto, una distancia de aislamiento y que se emplea para aislar un elemento de una red eléctrica o una parte de la misma del resto de la red, con el fin de ponerlos fuera de

servicio, o para llevar a cabo trabajos de mantenimiento. Recuperado de <https://www.sectorelectricidad.com/20135/seccionadores/>

#### **2.10.4.2 IACM**

Los interruptores automáticos de media tensión para interno la serie HD4/R utilizan hexafluoruro de azufre (SF6) como medio de extinción del arco eléctrico y como medio aislante entre los contactos principales fijos y móviles. Se han realizado con una técnica de construcción con polos separados. Recuperado de [https://library.e.abb.com/public/fc6bddc84711ccffc1257b1300572d65/CA\\_HD4-R\(ES\)-1VCP000028.pdf](https://library.e.abb.com/public/fc6bddc84711ccffc1257b1300572d65/CA_HD4-R(ES)-1VCP000028.pdf)

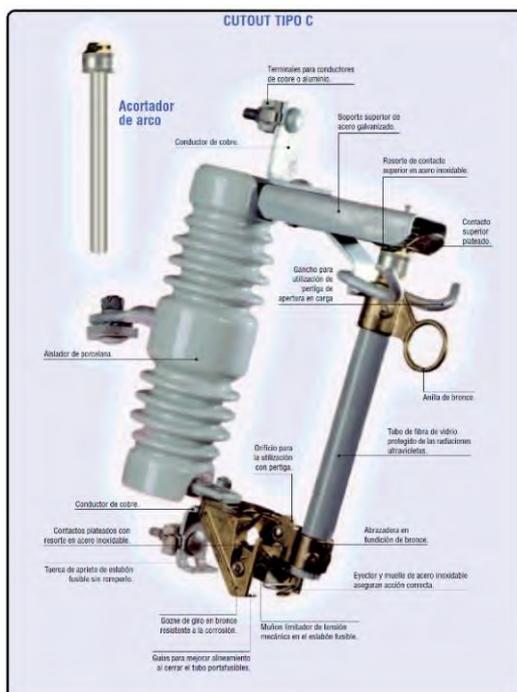
#### **2.10.4.3 Interruptor DM12**

Los interruptores eléctricos, son dispositivos que sirven para desviar u obstaculizar el flujo de corriente eléctrica. Van desde un simple interruptor que apaga o enciende un foco, hasta un complicado selector de transferencia automático de múltiples capas controlados por ordenadores. Recuperado de <https://bricos.com/2013/03/interruptores-electricos-clasificacion-y-componentes/>

#### **2.10.4.4 Cut Out**

Los cortacircuitos de expulsión CUT-OUT, son aparatos unipolares para montaje vertical, especialmente diseñados para ser utilizados en exterior, dando una amplia protección a los sistemas de distribución aéreos, de tensiones comprendidas entre 6 kV y 36 kV. Recuperado de <http://rafael-alvarezp.blogspot.com/2016/03/cortacircuitos-de-expulsion-cut-out.html>

Figura 2.8  
Cortacircuitos Cut Out



*Fuente.* Ibérica de Aparellajes

#### 2.10.4.5 Seccionador Bajo Carga

Es un equipo mecánico de maniobra que interrumpe y cierra circuitos eléctricos con carga, con distintos medios de extinción de arco eléctrico, por ejemplo: Hexafloruro de Azufre (SF<sub>6</sub>), aceite, vacío, etc. Sus funciones principales son de anillar alimentadores, transferencias de carga y aislar una sección de tramo de línea por falla o mantenimiento. Por lo general se ubica en los soportes eléctricos (Poste de media tensión) (Avalos Mesicano & Farfan Canahua, 2019, pág. 30).

#### 2.10.4.6 Celdas de Protección y Maniobra

Es un equipo mecánico de protección y maniobra que interrumpe y cierra circuitos eléctricos con carga, con distintos medios de extinción de arco eléctrico, por ejemplo:

Hexafluro de Azufre (SF6), aceite, vacío, etc. Sus funciones principales son de anillar alimentadores, transferencias de carga y aislar una sección de tramo de línea por falla o mantenimiento. Por lo general se ubica en subestaciones en Caseta o Compactas (Avalos Mesicano & Farfan Canahua, 2019, pág. 30).

## **2.11 Normatividad**

Se utilizó los siguientes documentos como marco normativo para desarrollar el presente trabajo de investigación de tesis referenciados como fuentes en los conceptos de este capítulo.

- ✓ Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos – NTCSE- aprobado con D.S. N° 020-97-EM
- ✓ Decreto Ley N° 25844. Ley de Concesiones Eléctricas (LCE)
- ✓ Código Nacional de Electricidad-Utilización, aprobado por Resolución Ministerial – Resolución Ministerial N.° 037-2006-MEM-DM
- ✓ Procedimiento para la Supervisión de la Operación de los Sistemas Eléctricos, aprobado por Resolución CD OSINERG N°074-2012-OS/CD.
- ✓ R.M. N°091--2002-EM/VME – Norma DGE
- ✓ Código Nacional de Electricidad-Suministro, aprobado por Resolución Ministerial – Resolución Ministerial N° 0214-2011-MEM-DM

### **3 Capítulo III: Evaluación de la Cargabilidad de los Alimentadores de Media en 10.5kV**

#### **3.1 Introducción**

La red estudiada en este capítulo se describe con gran detalle y revela las características más importantes como: ubicación, topología de la red y condiciones de operación del sistema. Esto permitirá determinar la cargabilidad de los alimentadores DO03, DO04 y DO09 de la SE Dolorespata, con el objetivo de evaluar el estado actual de la red investigada.

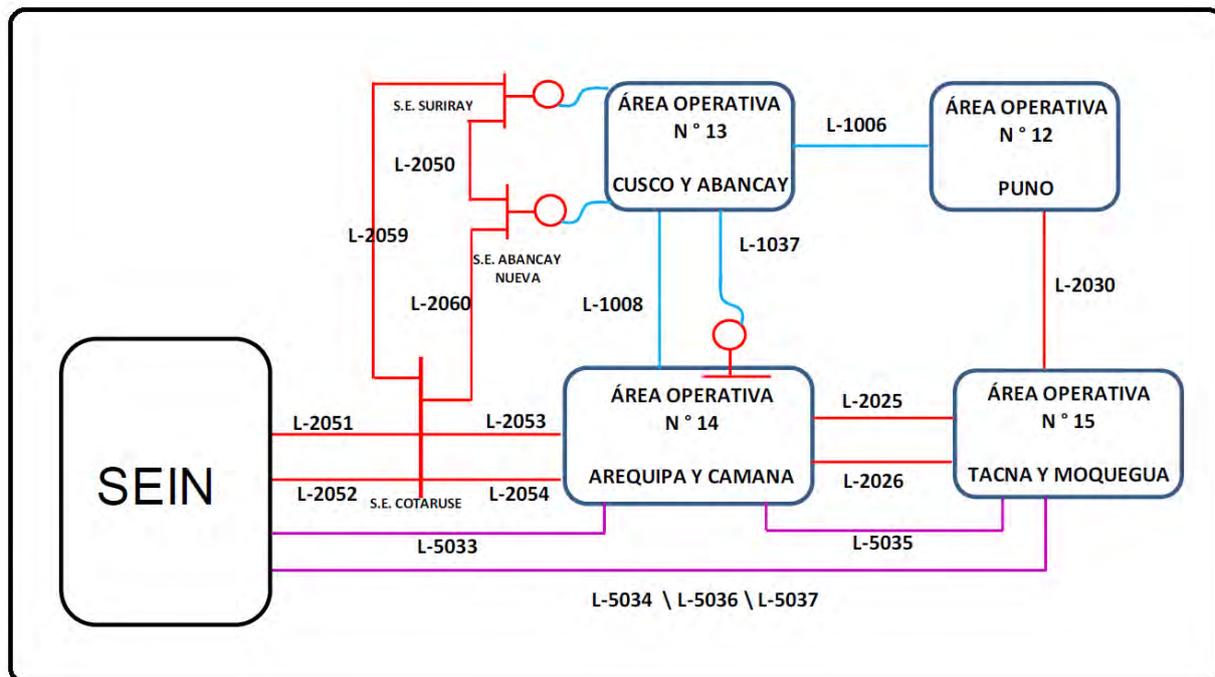
#### **3.2 Descripción general de los AMT DO03, DO04 y DO09**

##### **3.2.1 Ubicación de la red eléctrica**

Los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV se alimentan mediante la barra de la SE Dolorespata (138/10.5kV), y la zona de operación mencionada pertenece al Nro. 13 del ÁREA OPERATIVA SUR DEL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL (SEIN), la cual está conformada por la SE Machupicchu I y II, SE Tintaya, SE Combapata, SE Quencoro, SE Dolorespata, SE Cachimayo, SE Suriray, SE Abancay y la SE Nueva Abancay. Esta área operación provee de energía a Cusco y Apurímac (Plan de restablecimiento del SEIN, 2022, pág. 163).

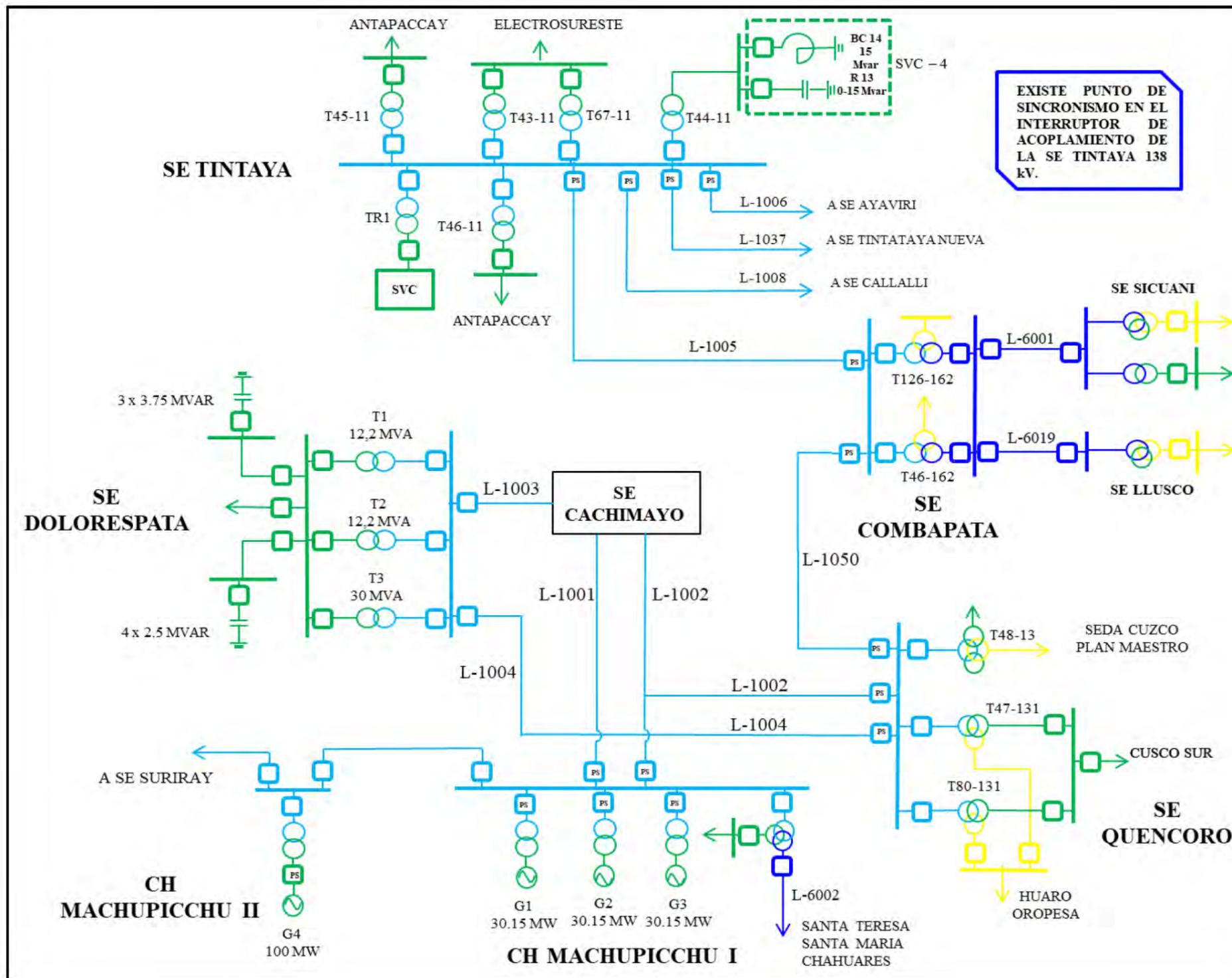
Figura 3.1

Áreas operativas de la zona sur de SEIN



*Fuente:* COES-SINAC (2022). Pla de restablecimiento del SEIN

Figura 3.2  
 Área operativa Nro.13 del SEIN 2022



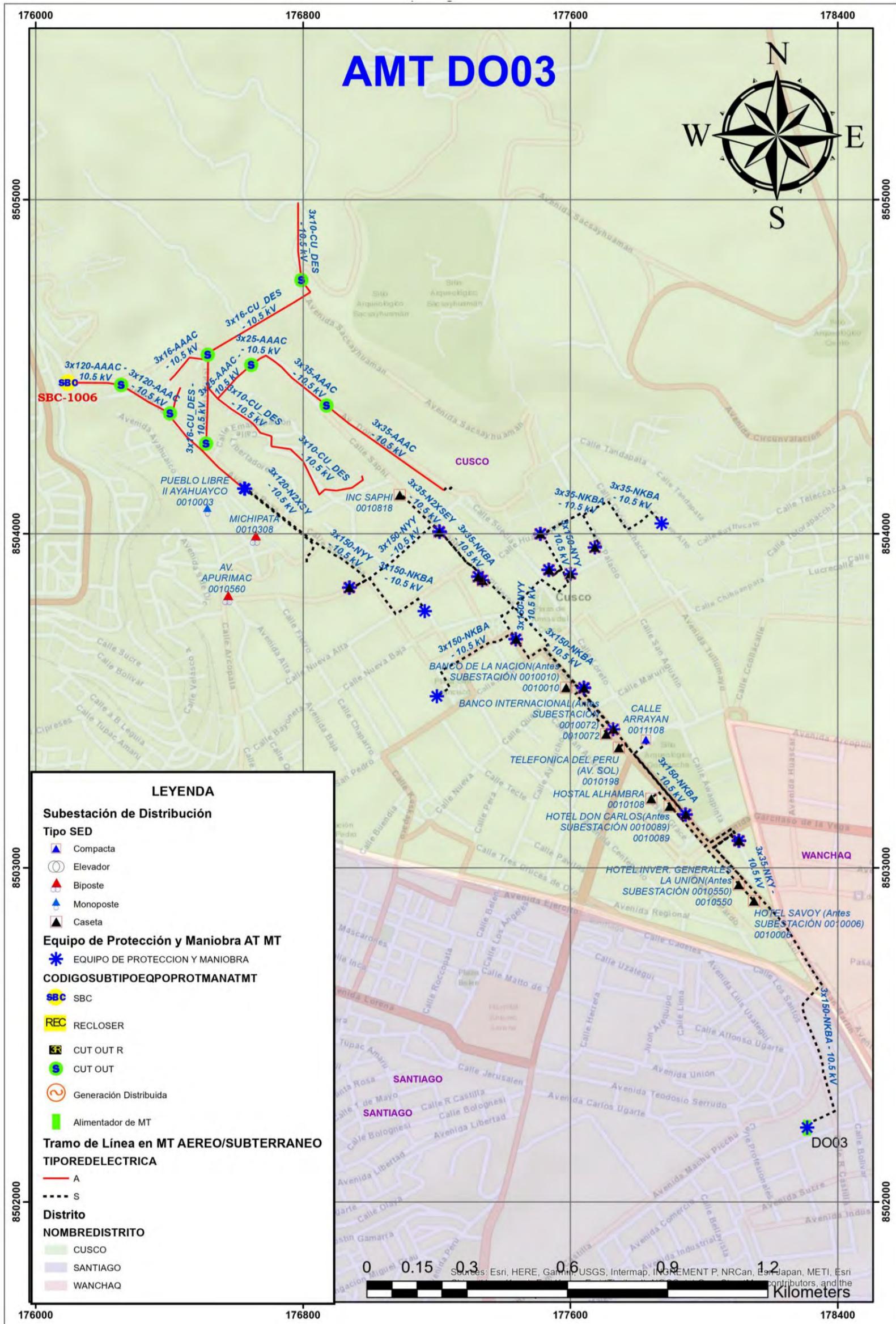
Fuente: COES-SINAC (2022). Pla de restablecimiento del SEIN

### **3.2.2 Topología de los AMT DO03, DO04 y DO09**

La información a continuación describe las características más relevantes de los alimentadores en estudio, proporcionada por la empresa Electro Sur Este S.A.A. de su base de datos. A continuación, se muestra las distribuciones de los alimentadores en estudio:

Figura 3.3

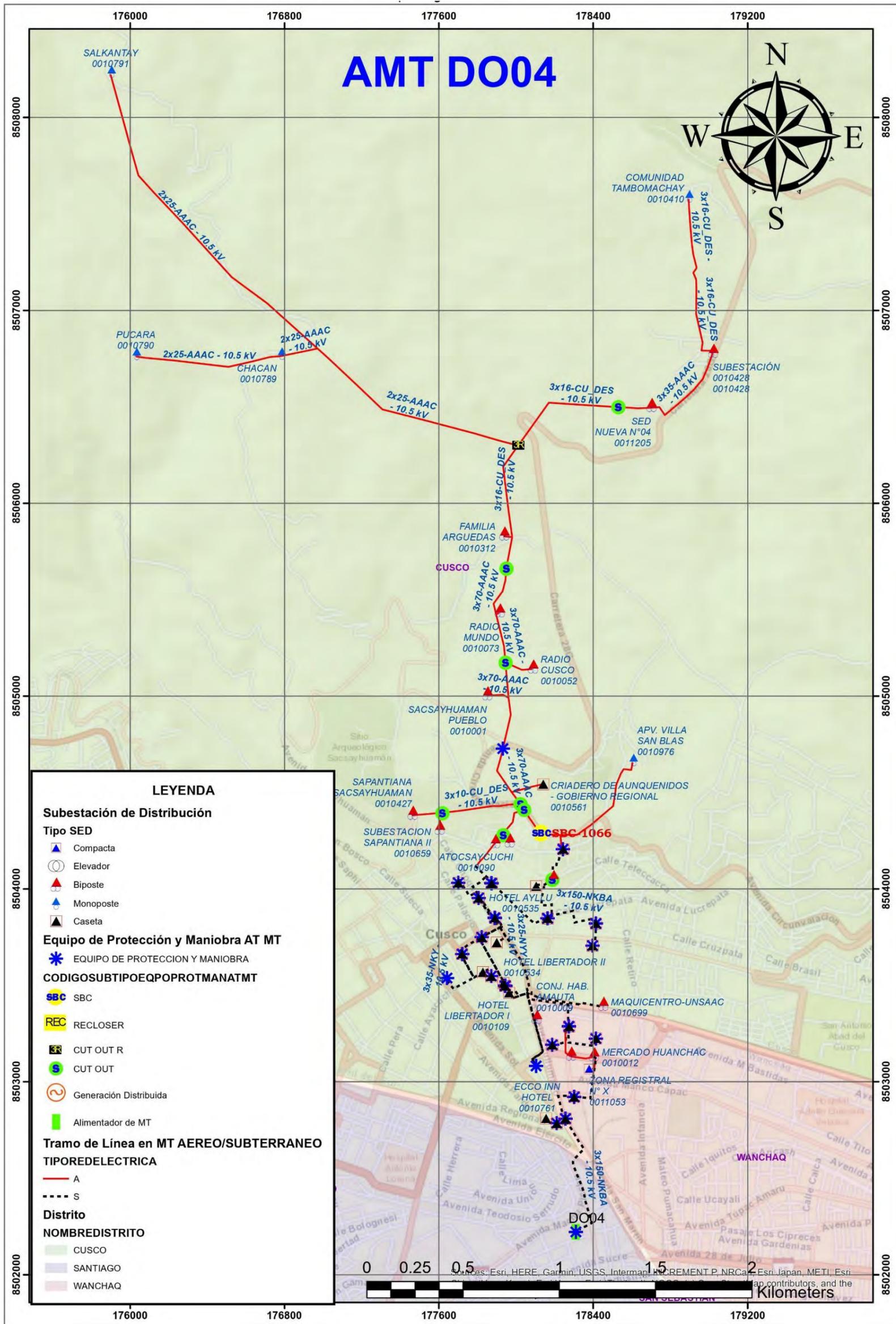
Recorrido georreferenciado del AMT DO03



Fuente: Base de datos del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A. 2022

Figura 3.4

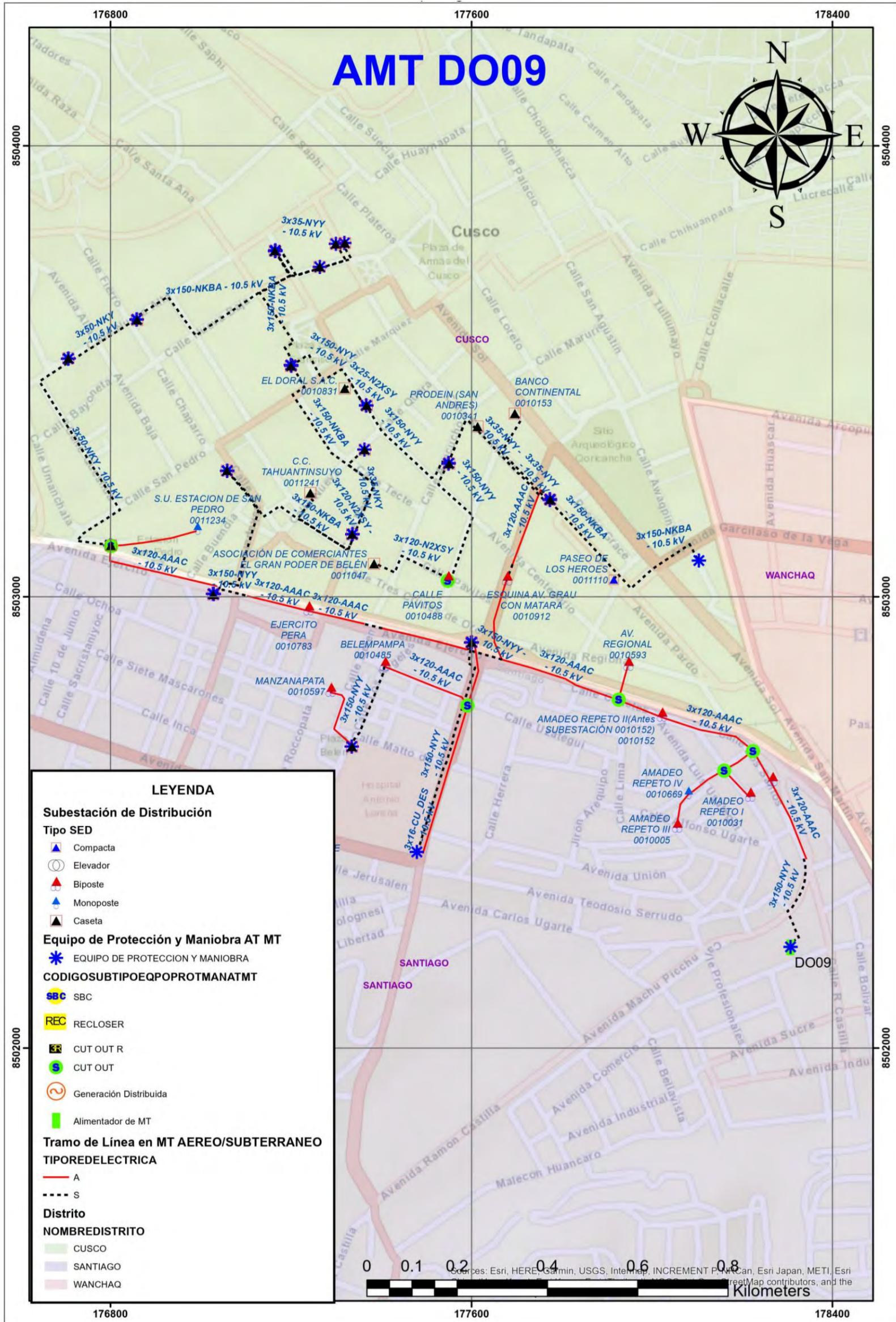
Recorrido georreferenciado del AMT DO04



Fuente: Base de datos del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A. 2022

Figura 3.5

Recorrido georreferenciado del AMT DO09



Fuente: Base de datos del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A. 2022

Las figuras muestran que aproximadamente el 60% de la red investigada es subterránea., abarcando los distritos de Santiago, Cusco y Wanchaq de la provincia y región del Cusco. En el Anexo A (3.2.2\_Relación de Subestaciones AMT\_ DO03, DO04 y DO09) se describe la lista de las 115 subestaciones pertenecientes a los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 de toda la red.

**Tabla 3.1**

Relación de Cargas especiales de los AMT DO03, DO04 y DO09

<b>NOMBRE SED</b>	<b>CODIGO TIPO SED</b>	<b>CODIGO TECNICO ALIM MT</b>	<b>POTENCIA INSTALADA (kW)</b>	<b>ETIQUETA</b>
CALLE SAPHI	CAS	DO03	500	500kVA 10.5/0.22kV
AV. ARCOPATA	CAS	DO03	400	400kVA 10.5/0.22kV
BALCON CUSQUEÑO	CAS	DO03	400	400kVA 10.5/0.22kV
PASAJE HERMOSA	CAS	DO03	500	500kVA 10.5/0.22kV
AV. SOL	CAS	DO03	400	400kVA 10.5/0.22kV
PALACIO DE JUSTICIA	CAS	DO03	400	400kVA 10.5/0.22kV
INC SAPHI	CAS	DO03	100	100kVA 10.5/0.22kV
CONJ. HAB. AMAUTA	BIP	DO04	250	250kVA 10.5/0.22kV
PLAZOLETA STA. CATALINA	CAS	DO04	400	400kVA 10.5/0.22kV
AV. SAN MARTIN (ENAFER)	CAS	DO04	400	400kVA 10.5/0.22kV
AV. HUASCAR	CAS	DO04	400	400kVA 10.5/0.22kV
SAN AGUSTIN	CAS	DO04	400	400kVA 10.5/0.22kV
HUARANCALLQUI	CAS	DO04	640	640kVA 10.5/0.22kV
CARMEN ALTO SAN BLAS	CAS	DO04	400	400kVA 10.5/0.22kV
AV. PACHACUTEC	CAS	DO04	400	400kVA 10.5/0.22kV
CALERA CERVECEROS	CAS	DO04	100	100kVA 10.5/0.22kV
PLAZA SAN FRANCISCO	CAS	DO09	400	400kVA 10.5/0.22kV
TEATRO MUNICIPAL	CAS	DO09	400	400kVA 10.5/0.22kV
NUEVA ALTA I	CAS	DO09	250	250kVA 10.5/0.22kV
CALLE TEATRO	CAS	DO09	500	500kVA 10.5/0.22kV
AV. PARDO I	CAS	DO09	400	400kVA 10.5/0.22kV
CALLE AYACUCHO	CAS	DO09	400	400kVA 10.5/0.22kV
PUENTE GRAU (AV. EJERCITO)	CAS	DO09	400	400kVA 10.5/0.22kV
S.U. ESTACION DE SAN PEDRO	MON	DO09	75	75kVA 22.9/0.22kV

*Fuente:* Base de datos del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A. 2022

### 3.2.3 Diagrama unifilar de los AMT DO03, DO04 y DO09

Los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV cuentan con los siguientes equipos de protección y maniobra (seccionadores bajo carga, celdas de maniobra con disyuntores, interruptores y reconectores), además, estos alimentadores cuentan con ramales e interconexiones importantes a lo largo de toda la red, esto se muestra en la tabla y diagrama a continuación.

**Tabla 3.2.**

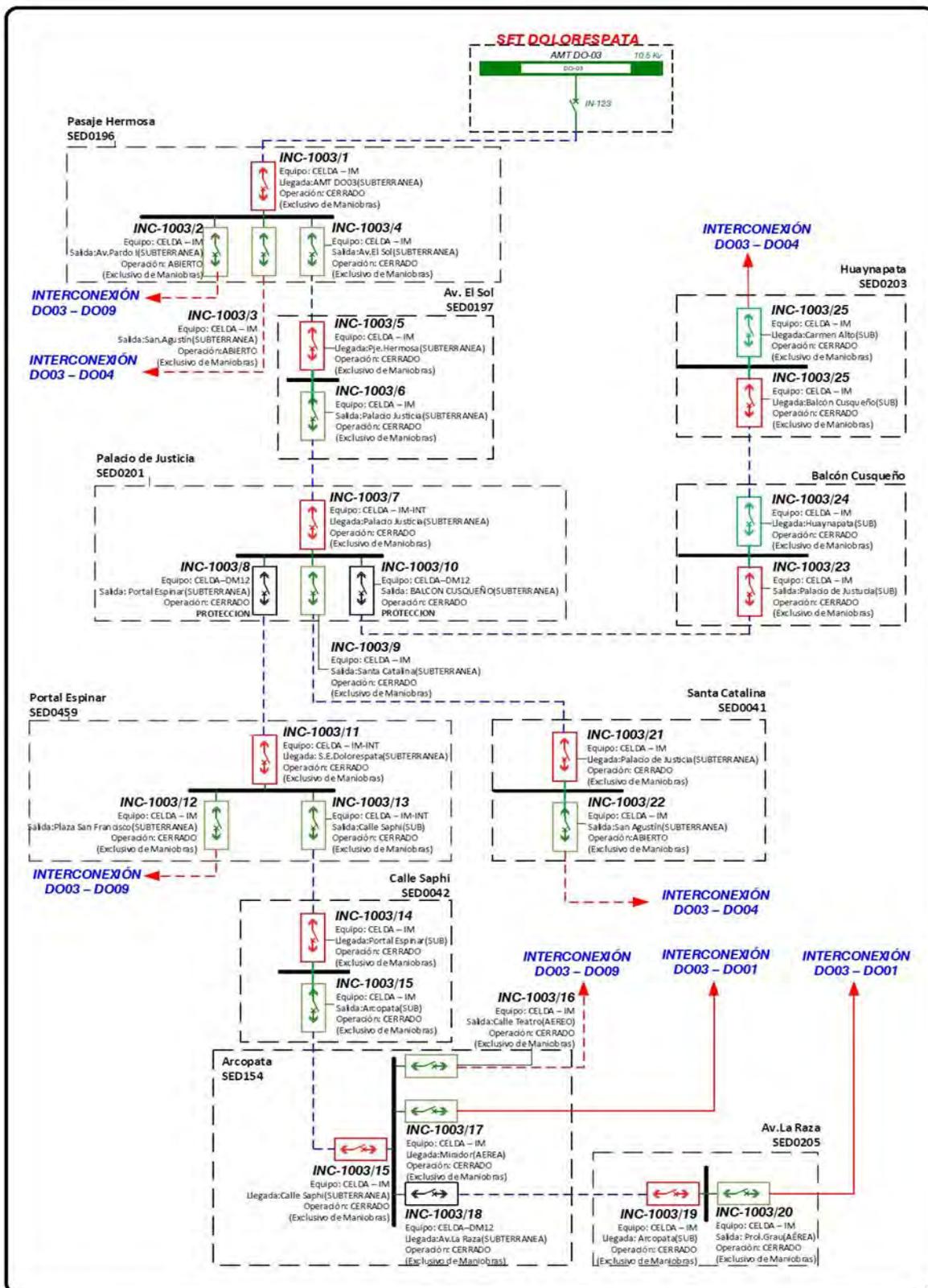
Interconexiones existentes de los AMT DO03, DO04 y DO09 con redes adyacentes

<b>INTERCONEXIONES EXISTENTES</b>		
<b>ALIMENTADORES</b>	<b>INTERCONEXIONES</b>	<b>SUBESTACIONES DE DISTRIBUCIÓN</b>
DO03	DO09	SED0196 (Pasaje Hermosa) SED0459 (Portal Espinar) SED0154 (Arcopata) SED0190 (Plaza San Francisco)
DO03	DO-01	SED0154 (Arcopata) SED0205 (Av. La Raza)
DO03	DO04	SED0196 (Pasaje Hermosa) SED0203 (Huaynapata) SED0041 (Santa Catalina) SED0296 (Carmen Alto) SED0208 (San Agustín)
DO04	DO-05	SED0210 (Chihuampata)
DO09	DO-01	SED0188 (U.V. Santiago) SED0194 (Calle Teatro)
	DO-02	SED0046 (Plazoleta Belén) SED0186 (Av. Grau)

**Fuente:** Base de datos del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A. 2022

Figura 3.6

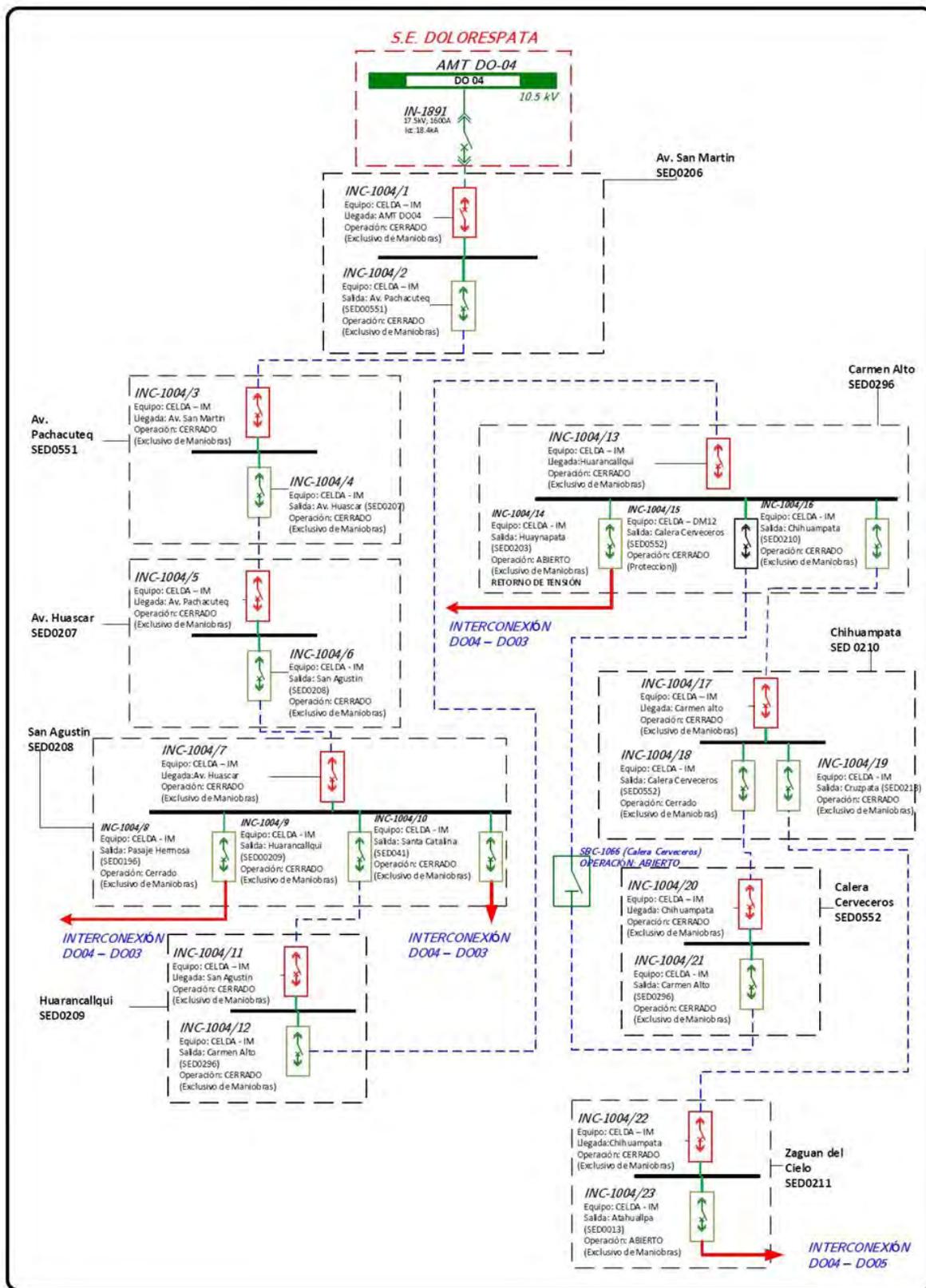
Diagrama Unifilar de los Alimentadores de Media Tensión DO03 Actual



Fuente: Base de datos del Centro del Control de Electro Sur Este S.A.A. 2022

Figura 3.7

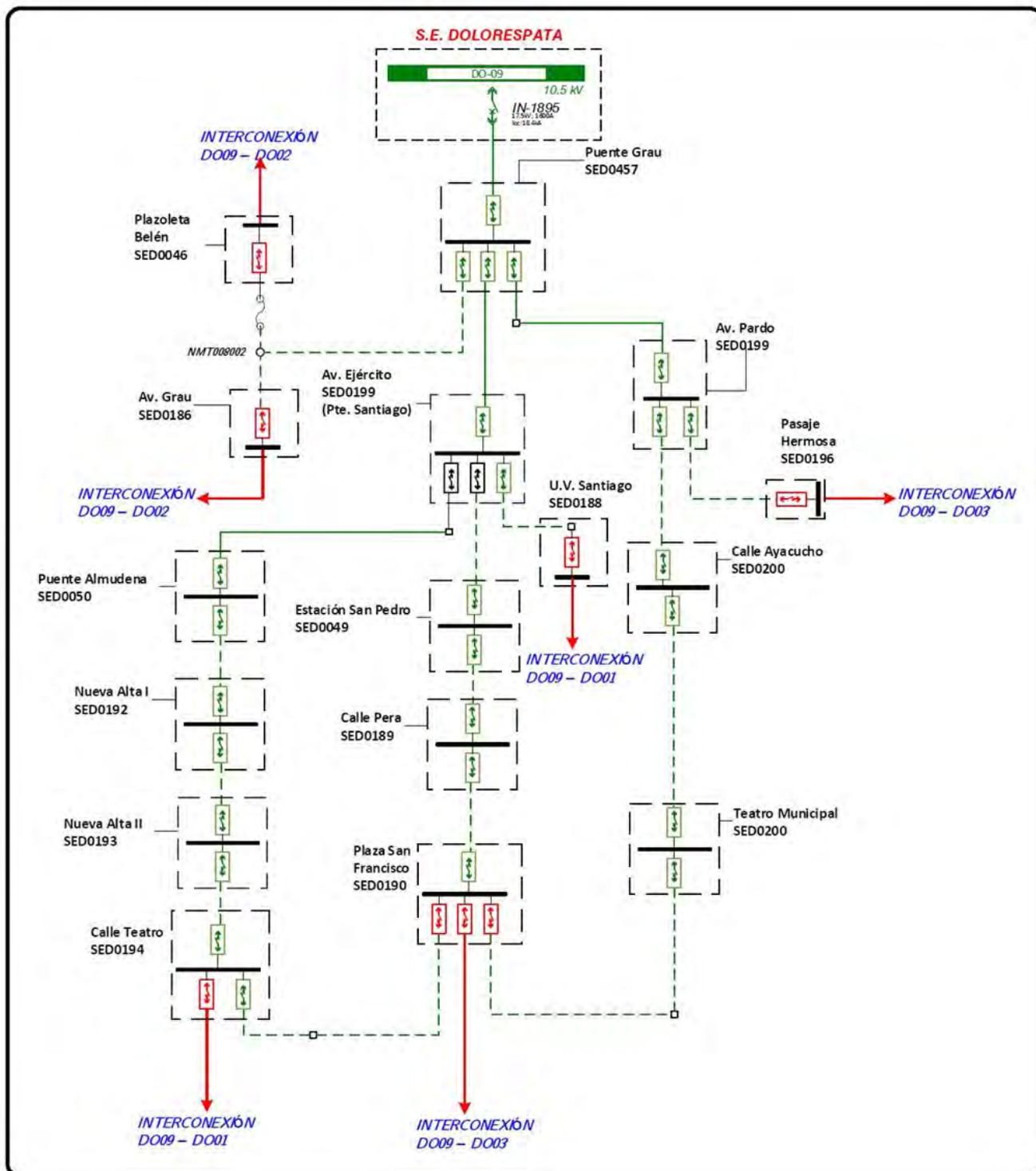
Diagrama Unifilar de los Alimentadores de Media Tensión DO04 Actual



Fuente: Base de datos del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A. 2022

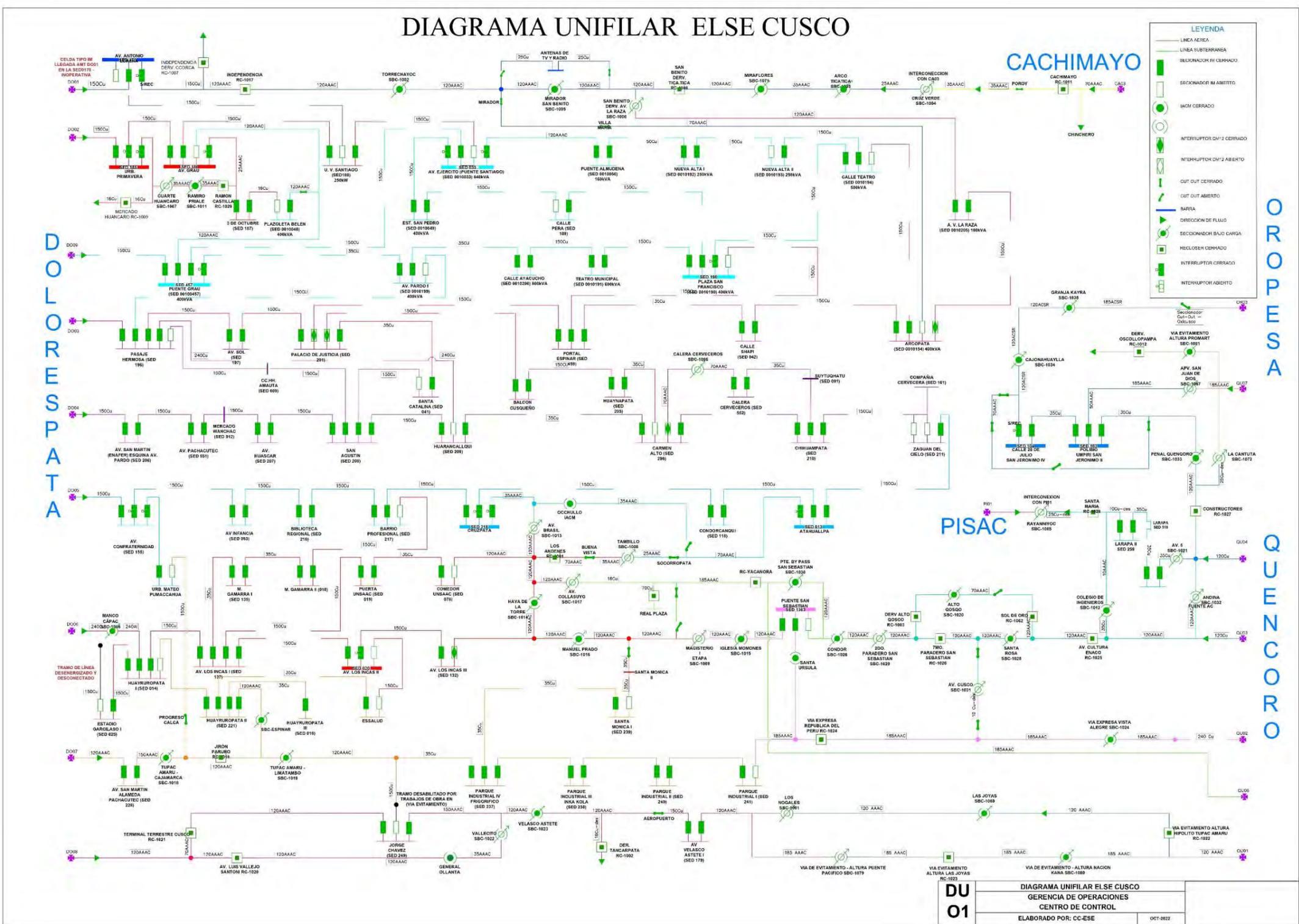
Figura 3.8

Diagrama Unifilar de los Alimentadores de Media Tensión DO09 Actual



**Fuente:** Base de datos del Centro del Control de Electro Sur Este S.A.A. 2022

Figura 3.9  
Diagrama Unifilar ELSE Cusco



Fuente: ELSE-Julio 2022, modificado por los testistas Julio C. Baca y C. Hans Ramos

### **3.3 Cargabilidad de los AMT DO03, DO04 y DO09**

La cargabilidad de los alimentadores de media tensión DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV, está determinada por indicadores de potencia, tensión y corriente (capacidad de operación del conductor), por lo que el análisis de la cargabilidad se realizará en base a diferentes escenarios.

#### **3.3.1 Evaluación de la cargabilidad**

Para la evaluación de la cargabilidad se han establecido los horarios de HORAS FUERA DE PUNTA y HORAS PUNTA, para así poder realizar un correcto análisis del comportamiento de la cargabilidad, las cuales serán mostradas párrafos abajo.

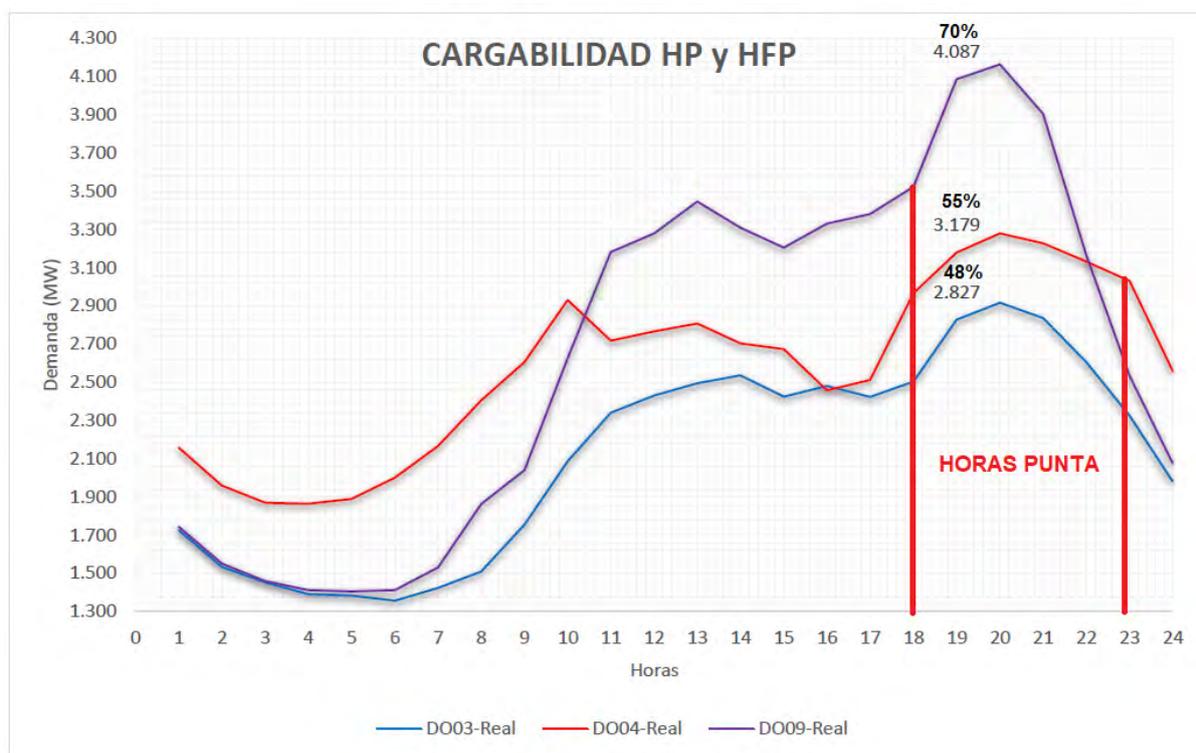
##### ***3.3.1.1 Cargabilidad HP y HFP***

Se establece como HORAS PUNTA los horarios de 18:00 hasta las 23:00 horas, y HORAS FUERA DE PUNTA, comprendidas en el resto de las HORAS PUNTA, según la directiva de OSINERGMIN (Anexo A, 3.3.1.1\_RESOLUCIÓN DE LA COMISIÓN DE TARIFAS ELÉCTRICAS No. 024-97 P/CTE).

Según los valores registrados en la base de datos del Sistema de Gestión de Energía (Electro Sur Este S.A.A., 2023). Podemos observar que la máxima demanda se registra en HORAS PUNTA; en un día determinado, la red muestra que el alimentador estudiado tiene una cargabilidad significativa. La cargabilidad del alimentador estudiado se muestra a continuación, figura 3.10

Figura 3.10

Curva Característica HORAS PUNTA y HORAS FUERA PUNTA



**Fuente:** Elaboración propia-Sistema de Gestión de Energía ELSE 2023

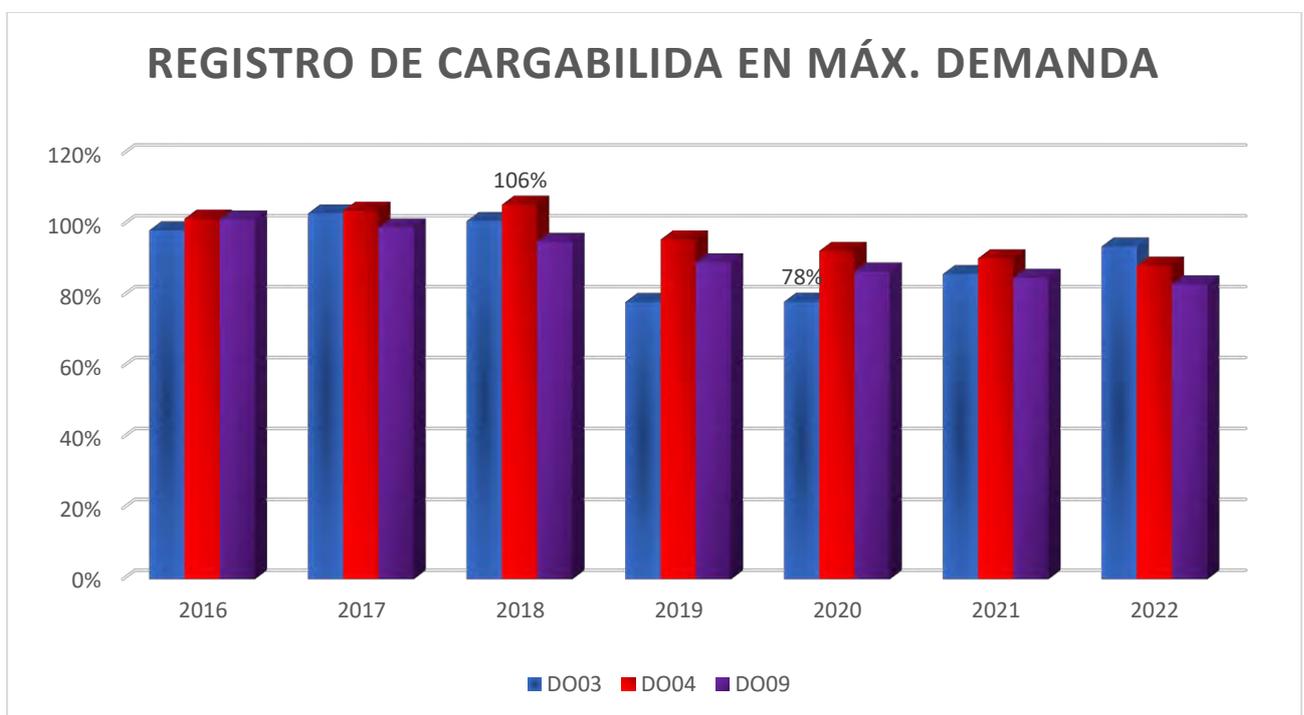
### 3.3.2 Panorama actual de la Cargabilidad de los AMT DO03, DO04 y DO09

Para obtener una descripción general de la red explorada hasta ahora, se toma como referencia la figura 3.10 de HP y HFP. Donde se observa la existencia de una cargabilidad significativa, la cual se encuentra en los rangos del 48% y 70% de su capacidad nominal, esto indica un estado de alarma y se deben tomar las medidas necesarias para eliminar el problema en el mediano plazo.

Además, considerando las máximas demandas de 2016 hasta el 2022, se han registrado valores de cargabilidad por encima del 78% y alcanzan hasta un 106%, lo que hace que la red investigada esté aún más en alerta, como se puede observar en la figura 3.11, los datos fueron proporcionados por el Centro de Control de ELSE (Anexo 3.3.2\_Solicitud de Acceso al Centro de Control).

Figura 3.11

Registro de Cargabilidad en Máx. Demanda, periodos 2016-2022



**Fuente:** Elaboración propia-Base de Datos del Centro de Control ELSE 2022

### 3.3.3 Análisis de Caída de Tensión en los AMT

Utilizando el software, se analizó la cargabilidad de los alimentadores de DO03, DO04 y DO09 y se obtuvieron los siguientes resultados de caída de tensión en los puntos extremos de la red de red., figura 3.12.

Figura 3.12.

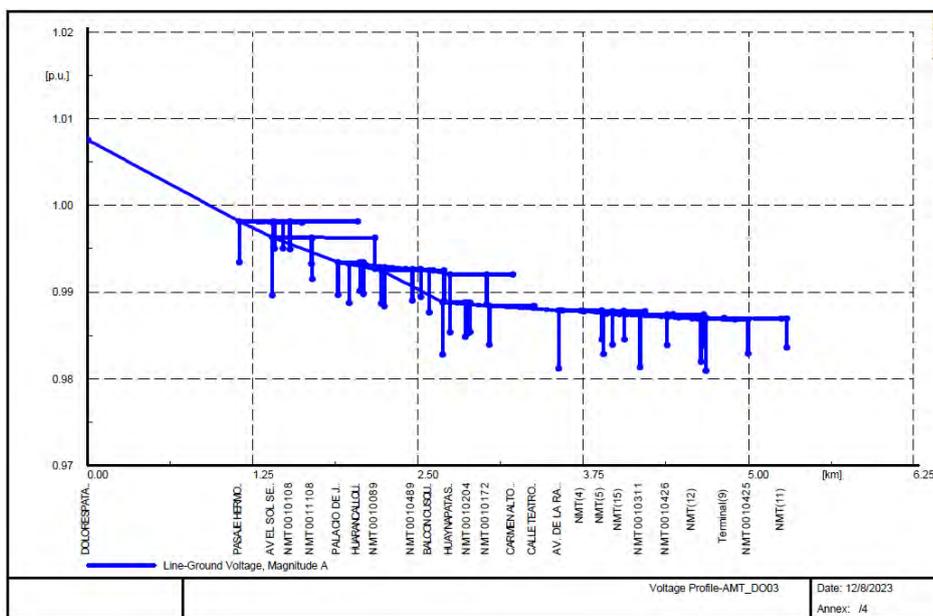
Reporte: Análisis de Caída de Tensión en los extremos de la red

Load Flow Calculation							Feeder	
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)			Automatic Model Adaptation for Convergence			No		
Automatic Tap Adjust of Transformers			Yes	Max. Acceptable Load Flow Error for				
Consider Reactive Power Limits			Yes	Nodes			0.10 kVA	
				Model Equations			0.10 %	
							DigSILENT	Project:
							PowerFactory	15.1.2
							Date:	11/30/2023
Study Case: 01_RED INICIAL 2022							Annex: / 1	
Name	First Branch	Input Current [A]	Total Load [MW]	Generation [MW]	Losses [MW]	Max.Loading [%]	Minimum Voltages L-L [p.u.]	L-E [p.u.]
AMT_DO03	DO03	158.657	2.775	0.000	0.069	81.64	0.980	0.981
AMT_DO04	DO04	209.291	3.557	0.000	0.119	92.27	0.960	0.965
AMT_DO09	DO09	221.015	3.893	0.000	0.093	87.14	0.982	0.982

Fuente: Elaboración propia-Software DigSilent Power Factory

Figura 3.13.

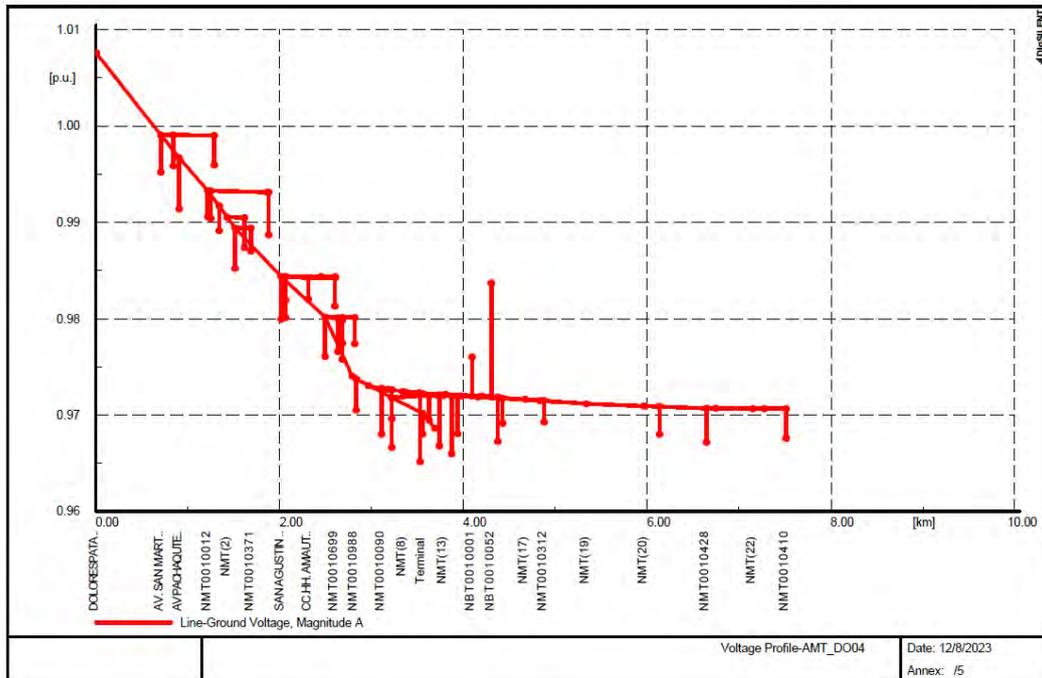
Caída de Tensión en el extremo del AMT DO03



**Fuente:** Elaboración propia-Software DigSilent Power Factory

Figura 3.14.

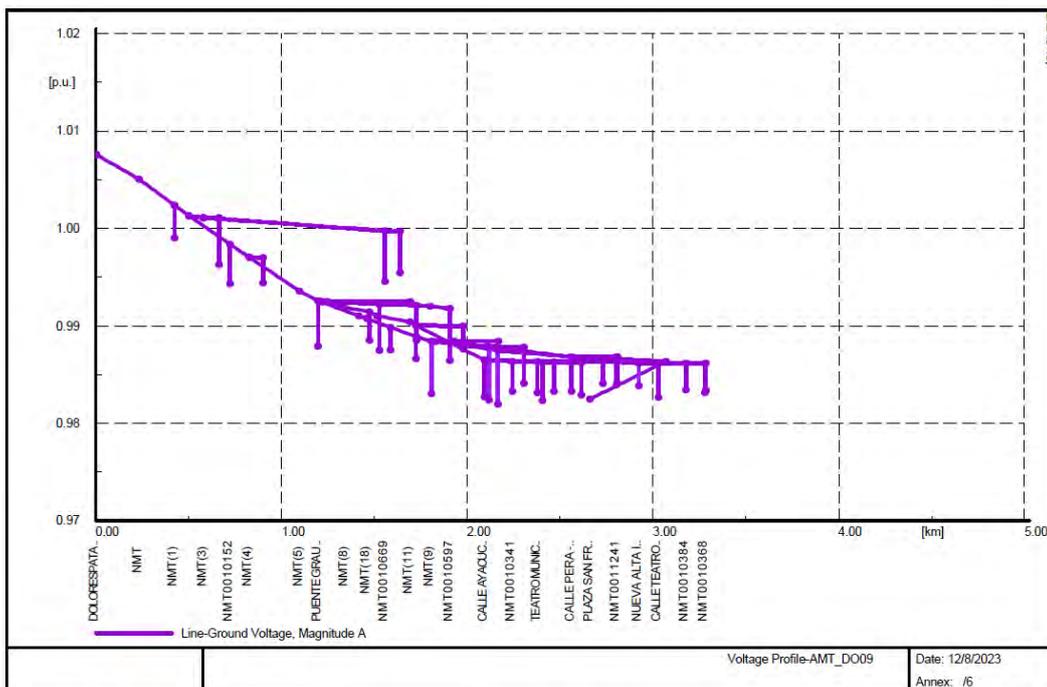
Caída de Tensión en el extremo del AMT DO04



**Fuente:** Elaboración propia-Software DigSilent Power Factory

Figura 3.15

Caída de Tensión en el extremo del AMT DO09



*Fuente:* Elaboración propia-Software DigSilent Power Factory

Según la norma técnica de calidad de producto indica que las tolerancias de los niveles de tensión deben ser  $\pm 5\%$ . De la gráfica se puede observar que los niveles de tensión están dentro de lo permisible según la norma, y en algunos casos están operando al límite de la tolerancia tal como se evidencia.

### 3.4 Problemas y limitaciones de los AMT DO03, DO04 y DO09

Cuando nos referimos a los problemas de red que estamos investigando, mencionamos específicamente un estado de advertencia de cargabilidad de la red que excedería los límites operativos del sistema, lo que nos obligaría a buscar soluciones alternativas.

En términos de limitaciones del sistema, el número de interconexiones está limitado debido a la topología de la red, además cuando ocurre un evento o falla se tiene una transferencia de carga momentánea y limitada, lo cual se debe a la importante cargabilidad de los AMT de la SE de Dolorespata, específicamente los alimentadores en estudio.

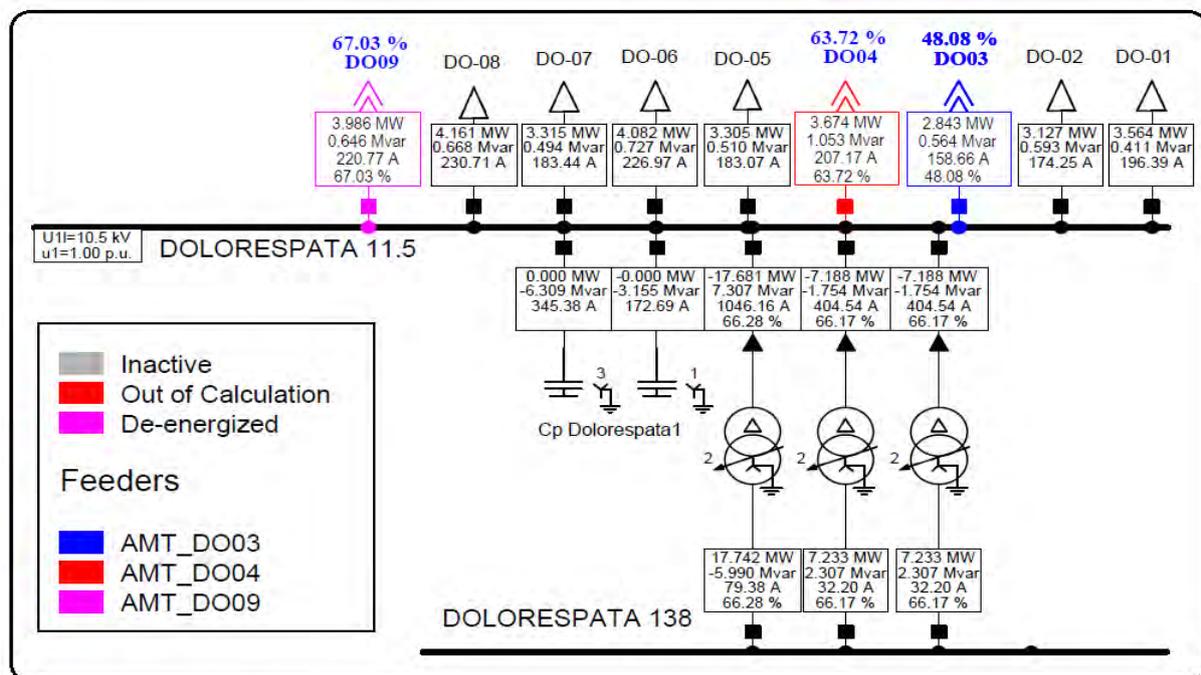
### 3.4.1 Condiciones Operativas del Sistema Actual

#### 3.4.1.1 Simulación de Flujo de Carga en Régimen Permanente

A continuación, se realiza la simulación de flujo de carga en régimen permanente de un día particular, utilizando del software DigSilent – Power Factory. Donde se muestra la cargabilidad de los alimentadores, figura 3.16.

Figura 3.16

Flujo de Carga de los AMT en estudio



Fuente: Elaboración propia-Software DigSilent Power Factory

De las simulaciones podemos que los niveles de cargabilidad de los alimentadores en estudio están operando en los rangos del 48.08% a 67.03%. Tal como se muestra el reporte emitido por el software DigSilent, figura 3.17

Figura 3.17  
Reporte de Flujo de Carga

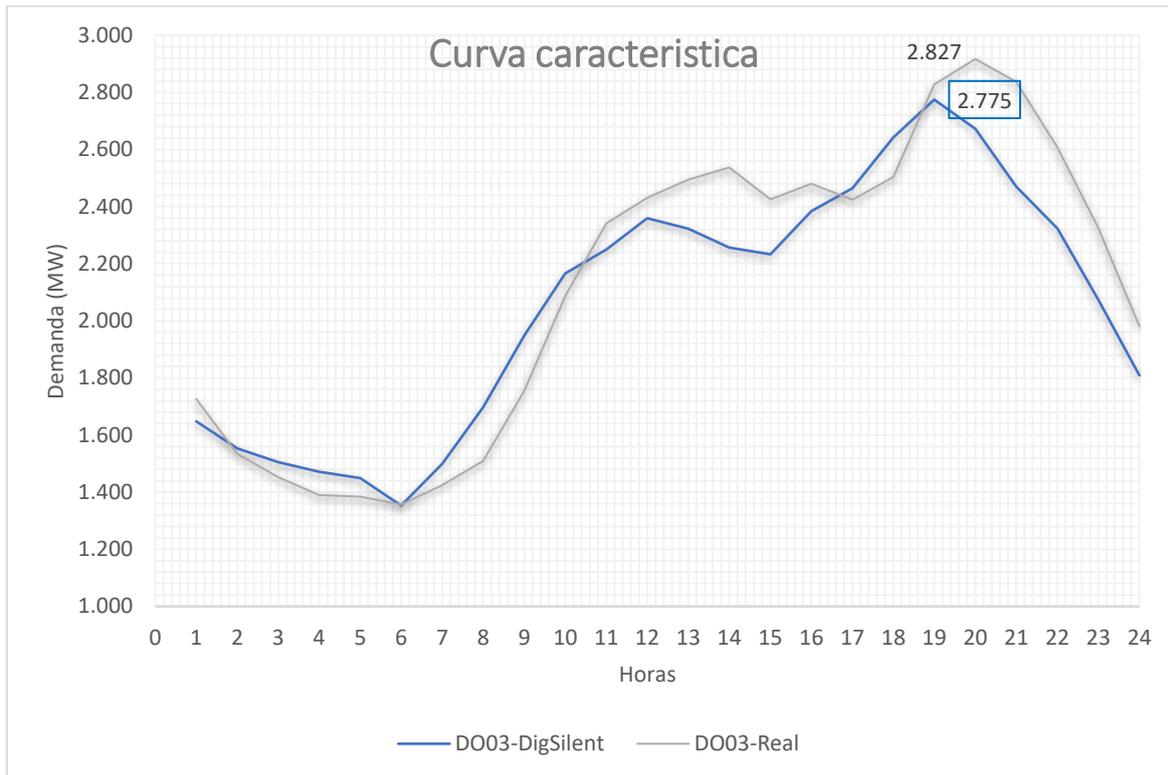
Load Flow Calculation							Feeder		
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)				Automatic Model Adaptation for Convergence	No				
Automatic Tap Adjust of Transformers	Yes			Max. Acceptable Load Flow Error for					
Consider Reactive Power Limits	Yes			Nodes	0.10 kVA				
				Model Equations	0.10 %				
							DigSILENT	Project:	
							PowerFactory	Date: 4/27/2023	
							15.1.2		
Study Case: 01_RED INICIAL 2022							Annex: / 1		
Name	First Branch	Input Current [A]	Total Load [MW]	Generation [MW]	Losses [MW]	Max.Loading [%]	Minimum Voltages L-L [p.u.] L-E [p.u.]		
AMT_D003	D003	158.658	2.775	0.000	0.069	48.08	0.981	0.981	
AMT_D004	D004	209.204	3.555	0.000	0.119	63.72	0.938	0.963	
AMT_D009	D009	221.016	3.893	0.000	0.093	67.03	0.982	0.982	

**Fuente:** Elaboración propia-Software DigSilent Power Factory

Para verificar esta, los resultados de la simulación se compararán con los resultados medidos de la base de datos del Centro de control de ELSE. Finalmente cuando mostramos la curva característica entre la simulación VS la medición (Real) para un día determinado, podemos ver que la simulación es similar a la realidad, como se muestra a continuación., figuras 3.18, 3.19 y 3.20.

Figura 3.18

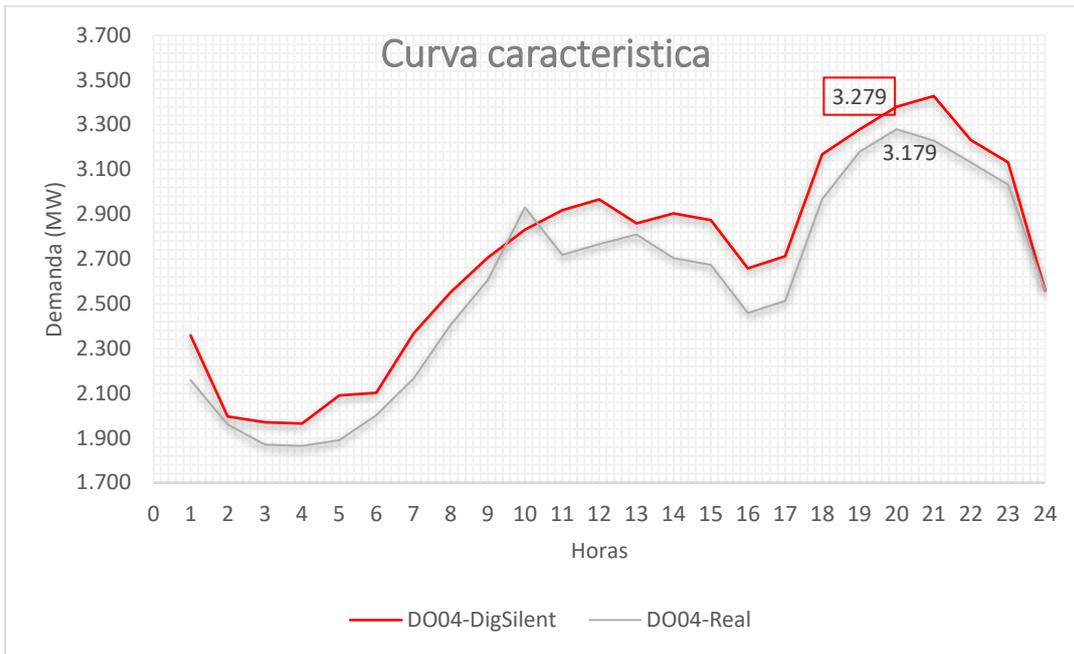
Curva Característica de un día particular: Real VS Simulación-DO03



**Fuente:** Elaboración propia-Sistema de Gestión de Energía ELSE 2023

Figura 3.19

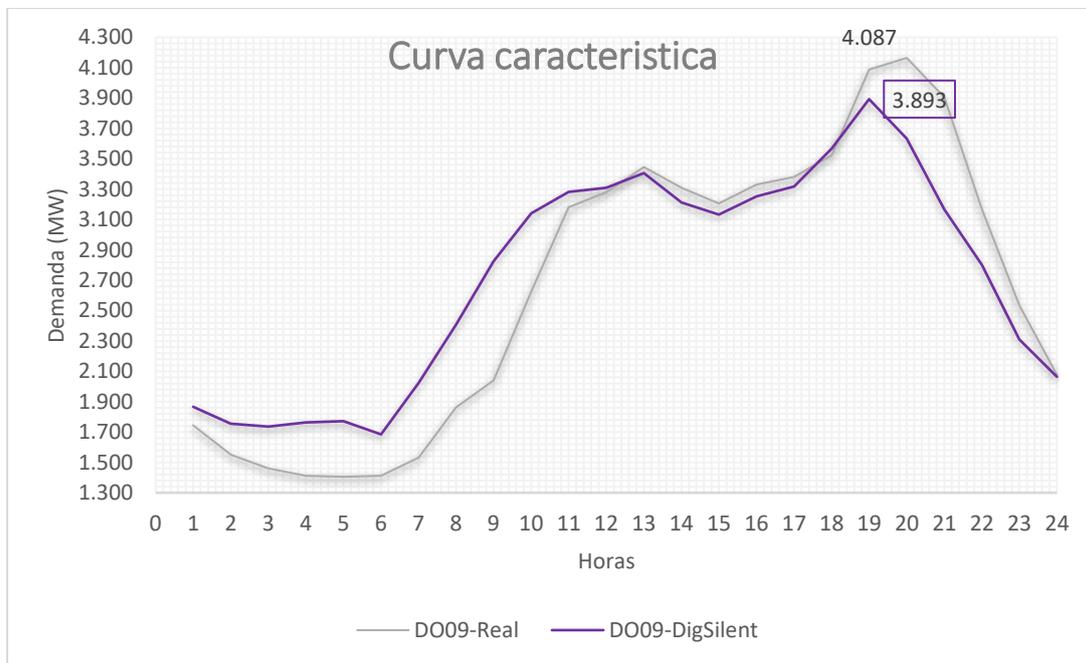
Curva Característica de un día particular: Real VS Simulación-DO04



**Fuente:** Elaboración propia-Sistema de Gestión de Energía ELSE 2023

Figura 3.20

Curva Característica de un día particular: Real VS Simulación-DO09



**Fuente:** Elaboración propia-Sistema de Gestión de Energía ELSE 2023

**Tabla 3.3.**

Toma de muestra de un día particular de los AMT DO03, DO04 y DO09

jueves, 27 de Abril de 2023						
Horas	DO03-Real	DO04-Real	DO09-Real	DO03-DigSilent	DO04-DigSilent	DO09-DigSilent
1	1.726	2.159	1.743	1.648	2.359	1.867
2	1.534	1.960	1.552	1.553	1.996	1.756
3	1.452	1.870	1.460	1.506	1.970	1.736
4	1.390	1.864	1.412	1.471	1.964	1.762
5	1.384	1.890	1.405	1.450	2.090	1.771
6	1.357	2.001	1.412	1.353	2.101	1.685
7	1.424	2.166	1.531	1.500	2.366	2.024
8	1.510	2.405	1.863	1.697	2.551	2.408
9	1.755	2.607	2.042	1.949	2.707	2.825
10	2.087	2.930	2.626	2.166	2.830	3.141
11	2.341	2.718	3.182	2.249	2.918	3.282
12	2.431	2.767	3.280	2.359	2.967	3.309
13	2.495	2.809	3.447	2.322	2.859	3.405
14	2.537	2.704	3.309	2.256	2.904	3.213
15	2.425	2.673	3.205	2.233	2.873	3.132
16	2.480	2.458	3.330	2.383	2.658	3.253
17	2.424	2.512	3.381	2.464	2.712	3.317
18	2.503	2.967	3.524	2.641	3.167	3.568
19	<b>2.827</b>	<b>3.179</b>	<b>4.087</b>	<b>2.775</b>	<b>3.279</b>	<b>3.893</b>
20	2.917	3.280	4.165	2.672	3.380	3.633
21	2.837	3.228	3.905	2.470	3.428	3.166
22	2.607	3.132	3.166	2.324	3.232	2.801
23	2.325	3.031	2.534	2.074	3.131	2.310
24	1.982	2.560	2.077	1.810	2.560	2.064

*Fuente:* Elaboración propia-Sistema de Gestión de Energía ELSE 2023

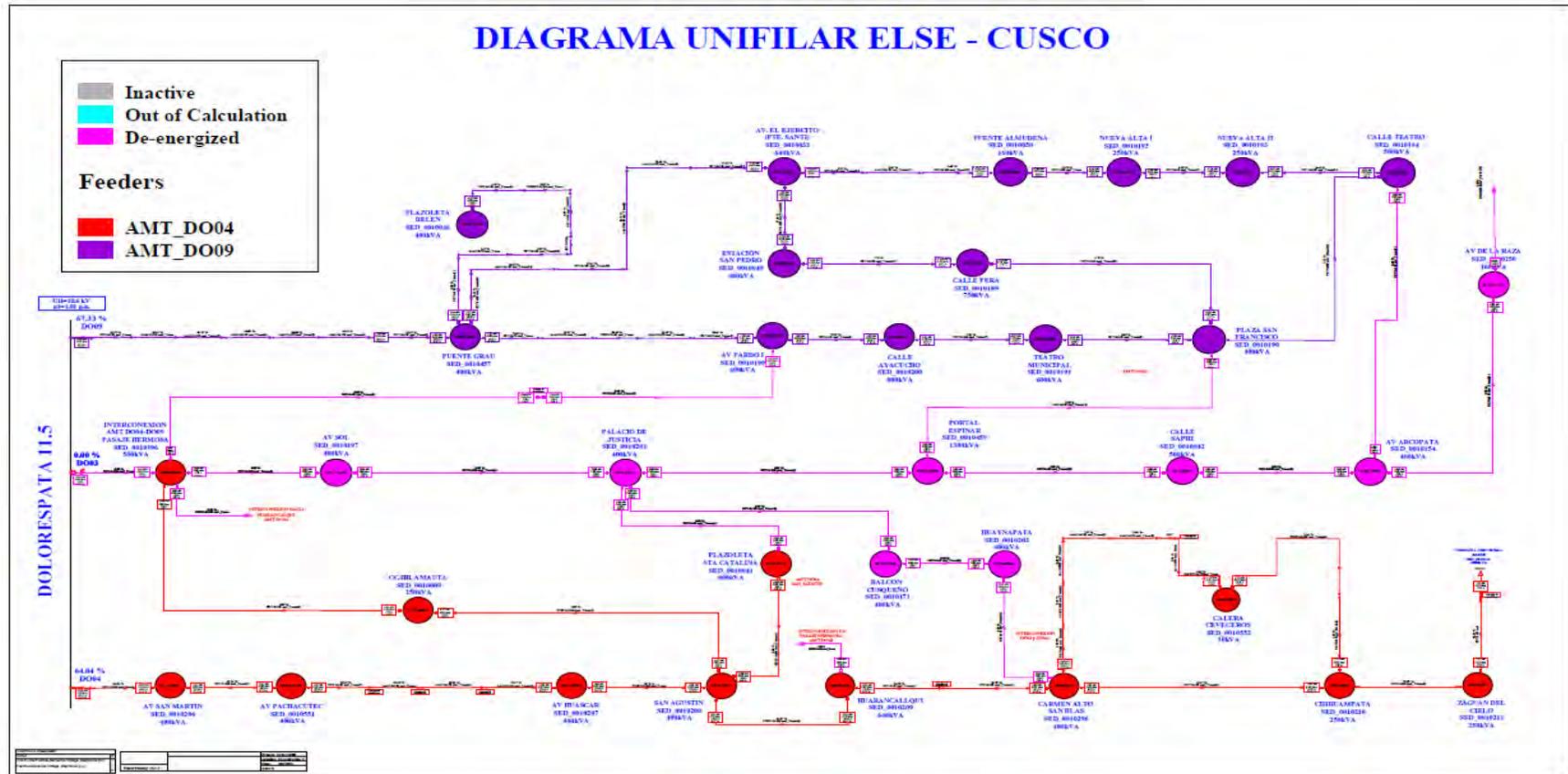
### ***3.4.1.2 Simulación de Fallas y Contingencias de los Alimentadores en Estudio***

Para simular de fallas y contingencias de los alimentadores en estudio, utilizaremos el software DigSilent-Power Factory, donde se realizarán diversos casos de estudio. Una vez programado el sistema, el software restaurara de forma automática el restablecimiento el sistema ante un evento, teniendo en cuenta las variables más fiables de la red en estudio. A continuación, se presentan varios casos de estudio:

CASO 1.- Para este caso se muestra la salida de la troncal del alimentador DO03, tal como se muestra en la figura siguiente

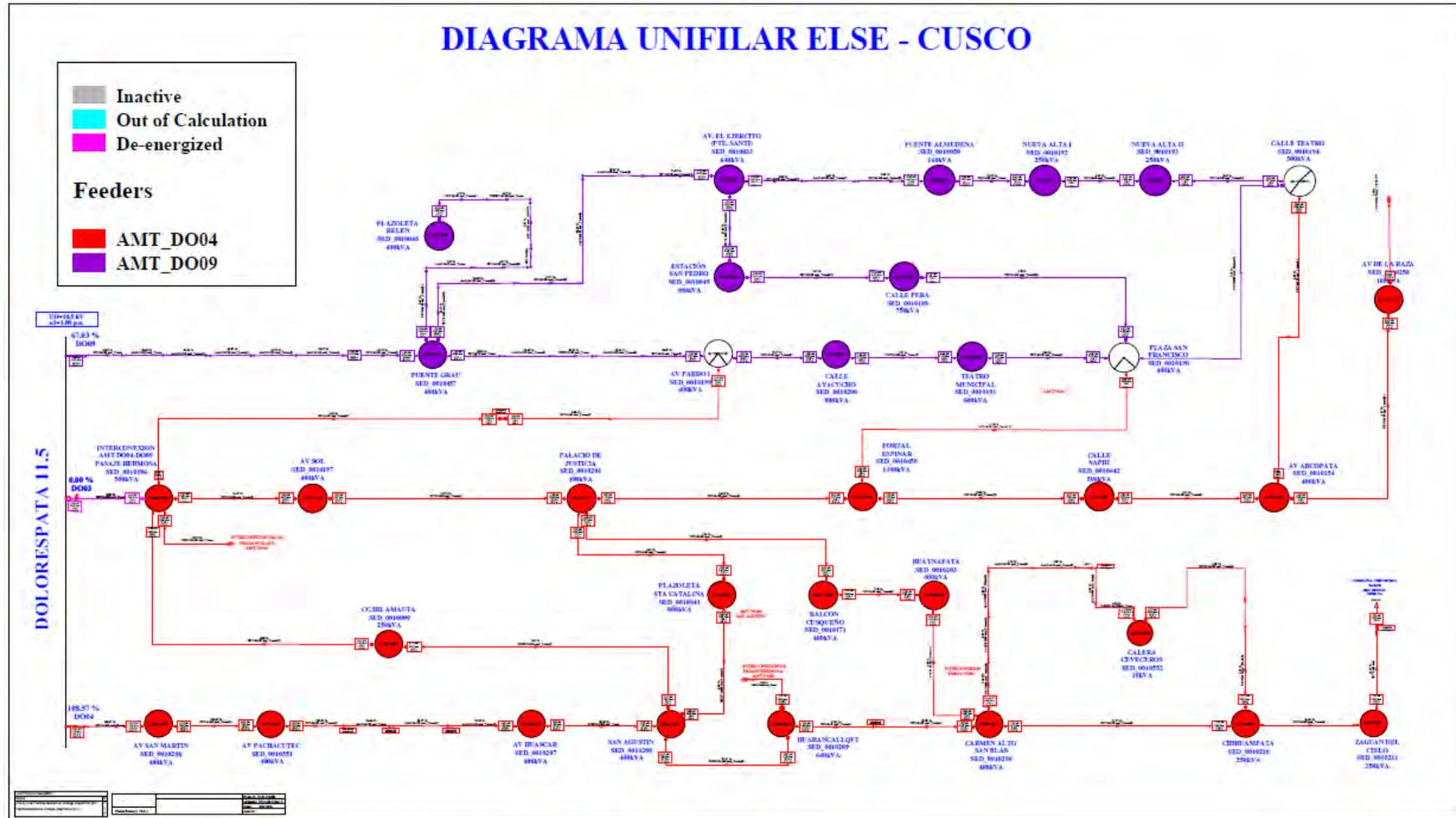
Figura 3.21

Falla en la Troncal DO03



Fuente: Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

Figura 3.22  
Contingencia ante la Falla/Respaldo AMT DO04



Fuente: Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

Para el caso 1, se realiza una transferencia de carga del alimentador DO04 al DO03, como resultado de esto se observa que el alimentador DO04 llega a un 108.57% de su capacidad de operación. A continuación, se observa el reporte del evento.

Figura 3.23

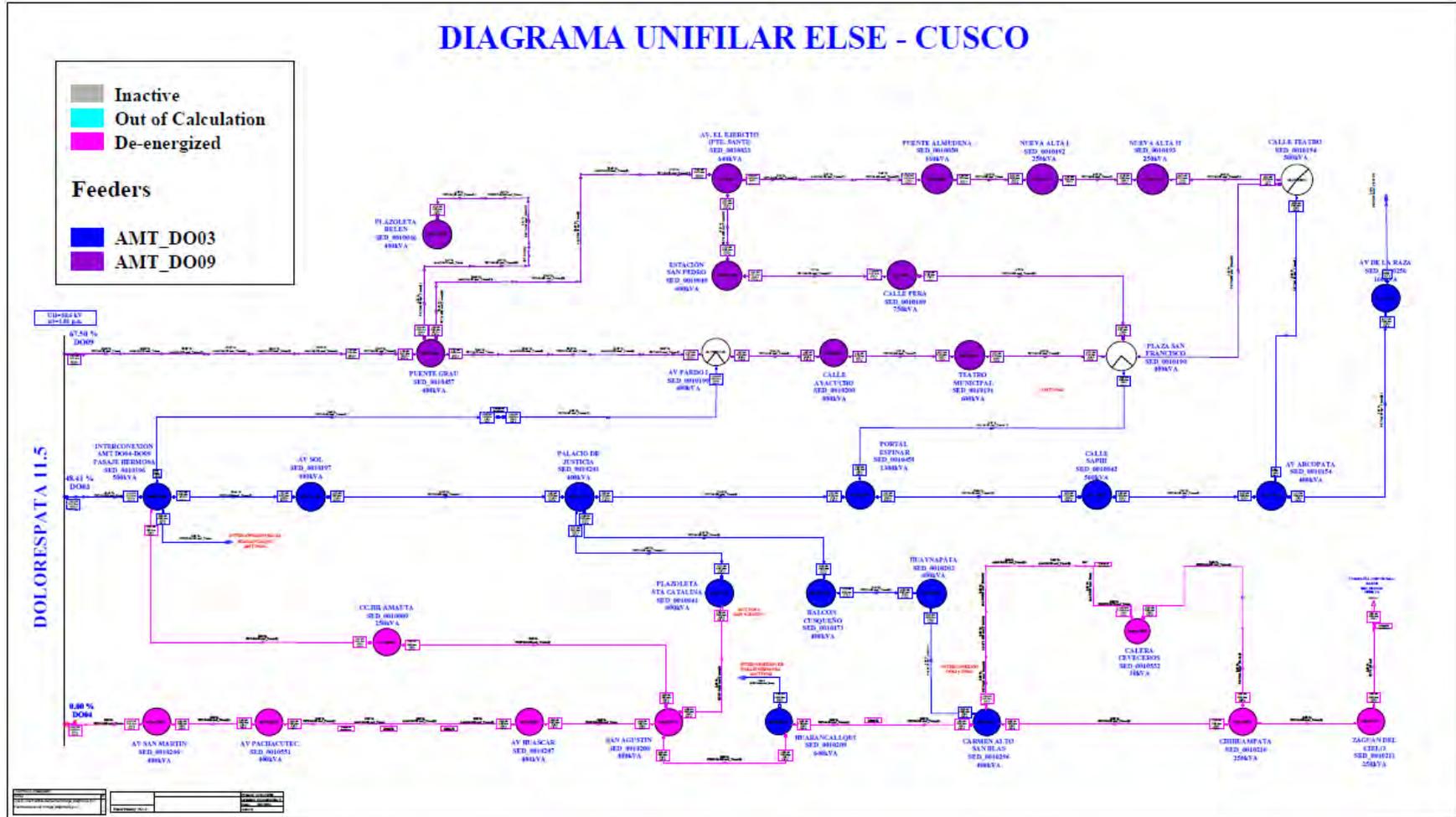
Reporte emitido por el software

Load Flow Calculation							Feeder	
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)				Automatic Model Adaptation for Convergence		No		
Automatic Tap Adjust of Transformers	Yes			Max. Acceptable Load Flow Error for			0.10 kVA	
Consider Reactive Power Limits	Yes			Nodes			0.10 %	
				Model Equations				
				DigSILENT	Project:			
				PowerFactory				
				15.1.2	Date: 4/27/2023			
Study Case: 01_RED INICIAL 2022					Annex:		/ 1	
Name	First Branch	Input Current [A ]	Total Load [MW]	Generation [MW]	Losses [MW]	Max.Loading [%]	Minimum Voltages L-L [p.u.] L-E [p.u.]	
AMT_DO03	DO03	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
AMT_DO04	DO04	357.230	5.972	0.000	0.310	108.57	0.939	0.939
AMT_DO09	DO09	221.017	3.893	0.000	0.093	67.03	0.982	0.982

Fuente: Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

**CASO 2.-** Para este caso se muestra la salida de la troncal del alimentador DO04, tal como se muestra en la figura siguiente.

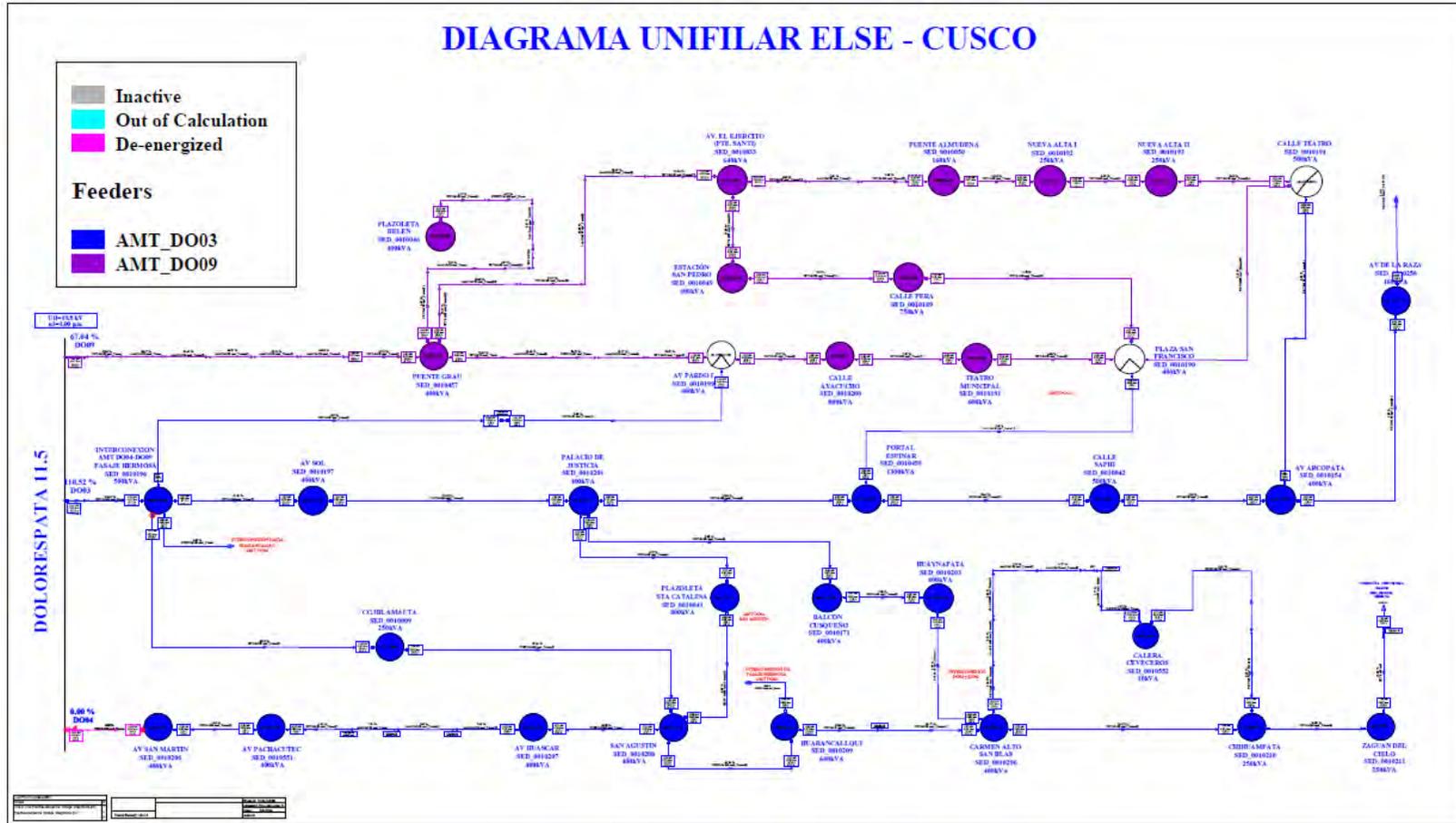
Figura 3.24  
Falla en la Troncal DO04



Fuente: Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

Figura 3.25

Contingencia ante la Falla/Respaldo AMT DO03



Fuente: Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

Para el caso 2, se realiza una transferencia de carga del alimentador DO03 al DO04, como resultado de esto se observa que el alimentador DO03 llega a un 110.52% de su capacidad de operación. A continuación, se observa el reporte del evento.

Figura 3.26

Reporte emitido por el software

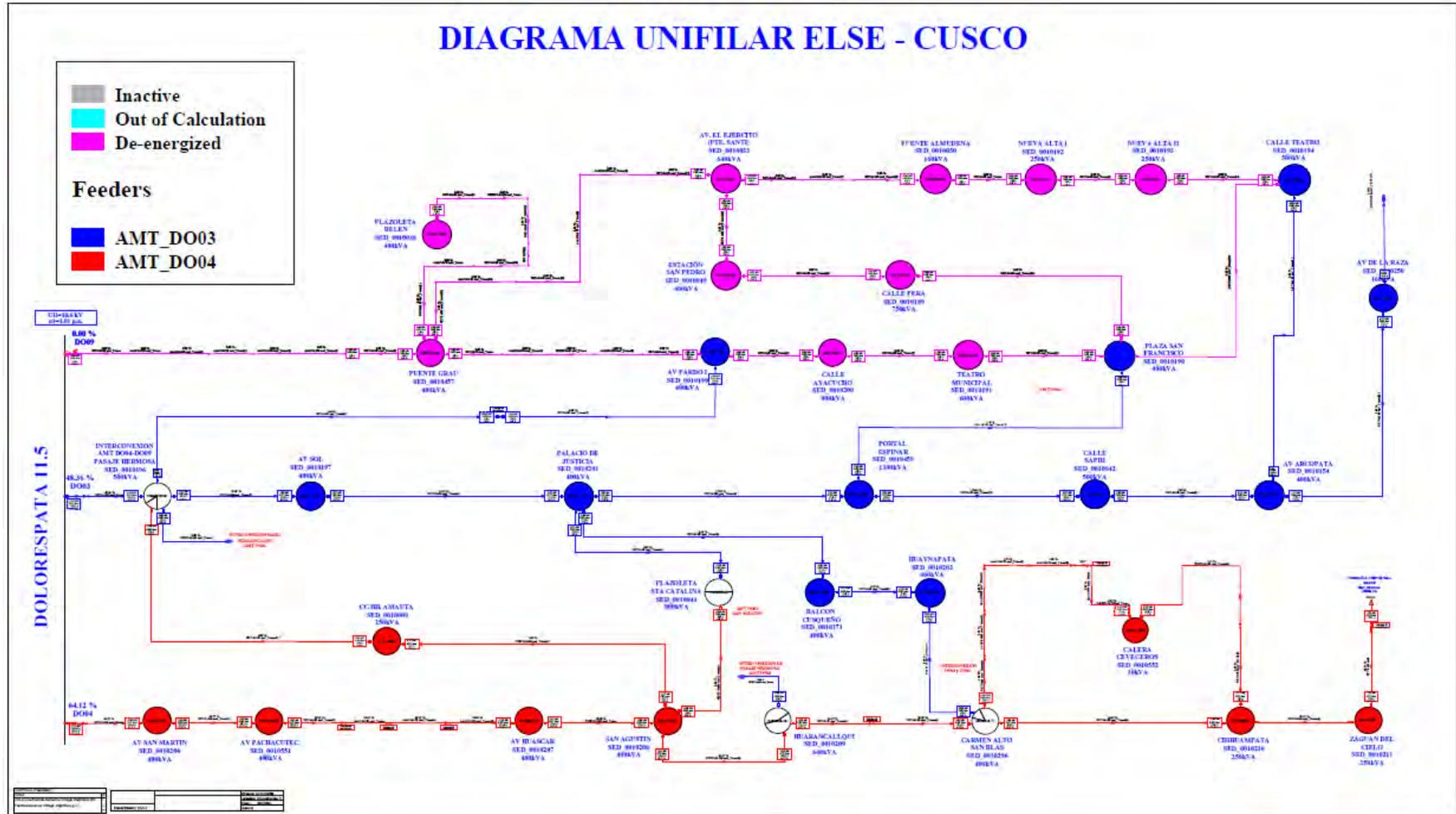
Load Flow Calculation							Feeder	
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)				Automatic Model Adaptation for Convergence		No		
Automatic Tap Adjust of Transformers	Yes			Max. Acceptable Load Flow Error for				
Consider Reactive Power Limits	Yes			Nodes		0.10 kVA		
				Model Equations		0.10 %		
				DigSILENT	Project:			
				PowerFactory				
				15.1.2	Date: 4/27/2023			
Study Case: 01_RED INICIAL 2022				Annex:		/ 1		
Name	First Branch	Input Current [A ]	Total Load [MW]	Generation [MW]	Losses [MW]	Max.Loading [%]	Minimum Voltages L-L [p.u.] L-E [p.u.]	
AMT_DO03	DO03	363.699	6.195	0.000	0.236	110.52	0.949	0.956
AMT_DO04	DO04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
AMT_DO09	DO09	221.057	3.894	0.000	0.093	67.04	0.982	0.982

*Fuente:* Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

**CASO 3.-** Para este caso se muestra la salida de la troncal del alimentador DO09, tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 3.27

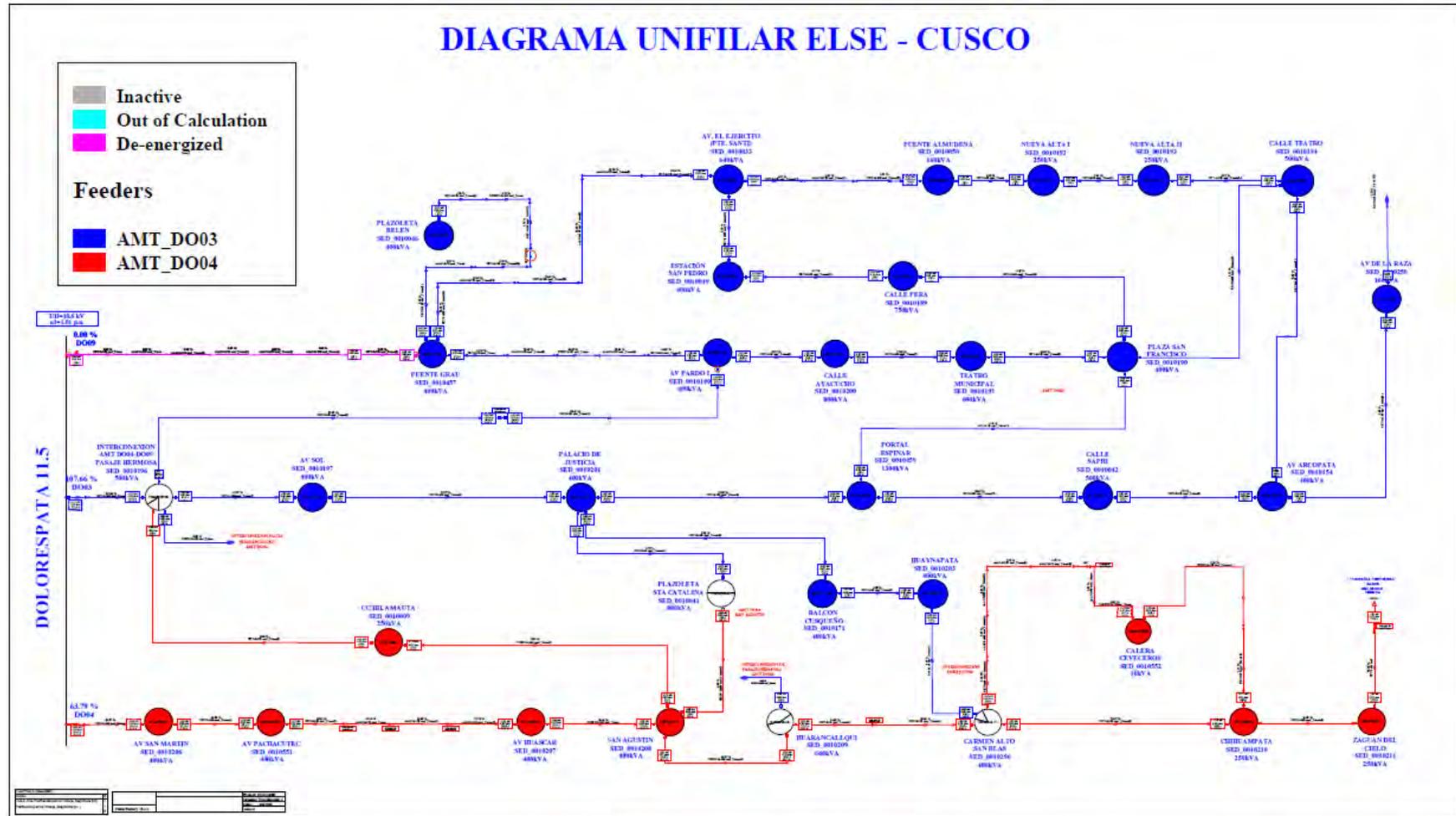
Simulación de Falla en la Troncal de la DO09



Fuente: Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

Figura 3.28

Contingencia ante la Falla/Respaldo AMT DO03



Fuente: Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

Para el caso 3, se realiza una transferencia de carga del alimentador DO03 al DO09, como resultado de esto se observa que el alimentador DO03 llega a un 107.66% de su capacidad de operación. A continuación, se observa el reporte del evento.

Figura 3.29

Reporte emitido por el software

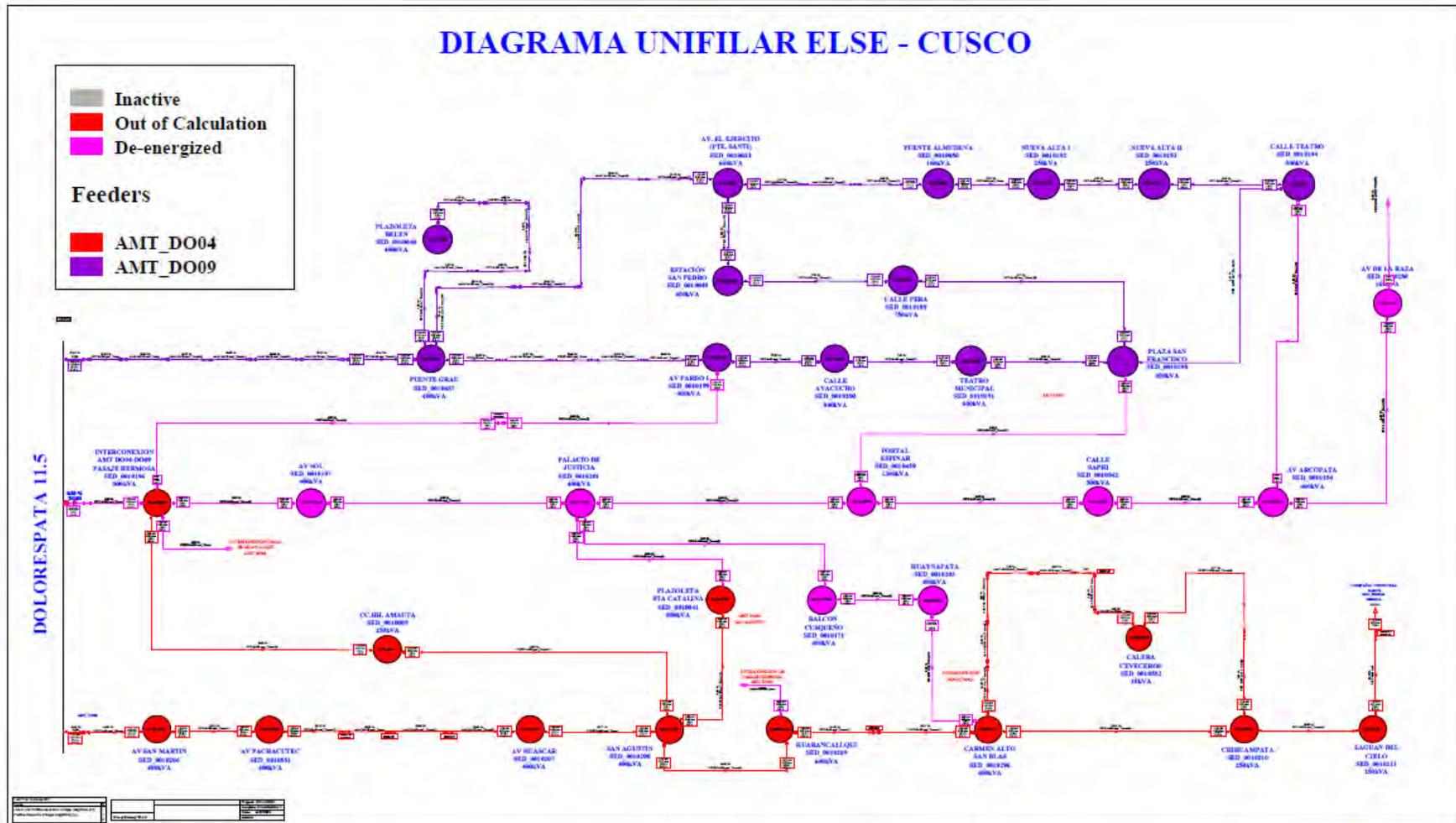
Load Flow Calculation							Feeder	
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)				Automatic Model Adaptation for Convergence		No		
Automatic Tap Adjust of Transformers	Yes			Max. Acceptable Load Flow Error for				
Consider Reactive Power Limits	Yes			Nodes		0.10 kVA		
				Model Equations		0.10 %		
				DigSILENT	Project:			
				PowerFactory	-----			
				15.1.2	Date: 4/27/2023			
Study Case: 01_RED INICIAL 2022				Annex:		/ 1		
Name	First Branch	Input Current [A ]	Total Load [MW]	Generation [MW]	Losses [MW]	Max.Loading [%]	Minimum Voltages L-L [p.u.] L-E [p.u.]	
AMT_DO03	DO03	355.248	6.120	0.000	0.257	107.66	0.958	0.958
AMT_DO04	DO04	209.433	3.561	0.000	0.119	63.79	0.953	0.964
AMT_DO09	DO09	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000

Fuente: Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

**CASO 4.-** Para este caso se muestra la salida de la troncal del alimentador DO03, tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 3.30

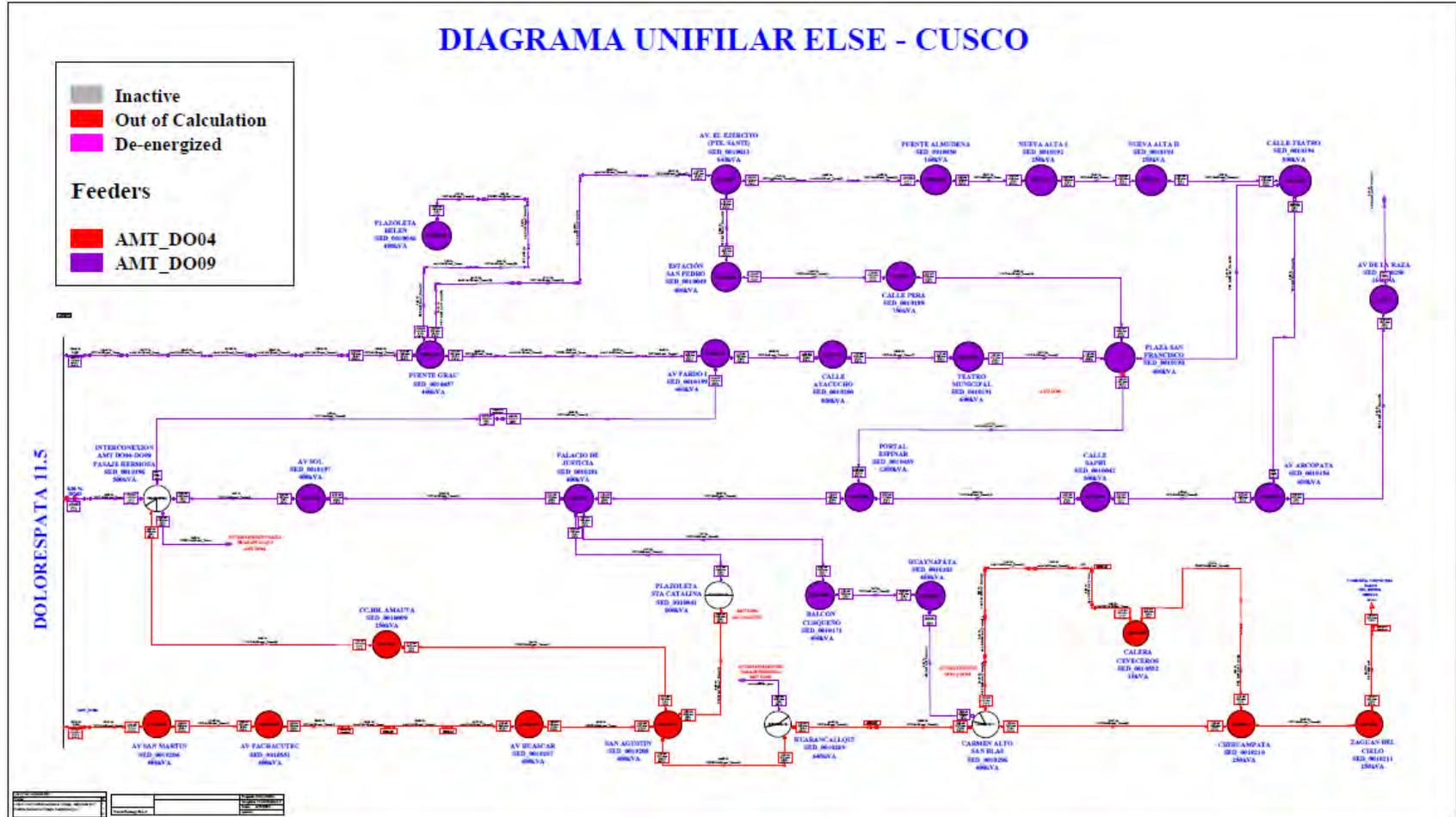
Simulación de Falla en la Troncal de la DO 03



Fuente: Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

Figura 3.31

Contingencia ante la Falla/Respaldo AMT DO09



Fuente: Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

Para el caso 4, se realiza una transferencia de carga del alimentador DO09 al DO03, como resultado de esto se observa que el alimentador DO09 llega a un 110.44% de su capacidad de operación. A continuación, se observa el reporte del evento.

Figura 3.32

Reporte emitido por el software

Load Flow Calculation							Feeder	
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)			Automatic Model Adaptation for Convergence			No		
Automatic Tap Adjust of Transformers			Max. Acceptable Load Flow Error for			0.10 kVA		
Consider Reactive Power Limits			Model Equations			0.10 %		
DigSILENT							Project:	
PowerFactory							15.1.2	
Date: 4/27/2023								
Study Case: 01_RED INICIAL 2022							Annex: / 1	
Name	First Branch	Input Current [A]	Total Load [MW]	Generation [MW]	Losses [MW]	Max.Loading [%]	Minimum Voltages L-L [p.u.] L-E [p.u.]	
AMT_DO03	DO03	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
AMT_DO04	DO04	209.275	3.558	0.000	0.119	63.74	0.937	0.963
AMT_DO09	DO09	363.929	6.274	0.000	0.253	110.44	0.956	0.956

*Fuente:* Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

Finalmente se observa que, al realizar las transferencias de carga de un alimentador a otro, nos evidencia una cargabilidad considerable, superando el 100% de su capacidad nominal de operación de los alimentadores en estudio, tabla Nro. 3.4

Tabla 3.4.

Cargabilidad Considerable ante una contingencia

Cargabilidad de los AMT ante una Contingencia							
Caso de estudio: Día particular							Fecha: 27/04/2023
Casos de Estudio	Nombre	AMT	Corriente (A)	Demanda (MW)	Perdidas (MW)	Máx. Cargabilidad (%)	Voltaje (p.u.)
Caso 1	AMT_DO03	DO03	363.699	6.195	0.236	110.52	0.949
Caso 2	AMT_DO04	DO04	357.231	5.972	0.31	108.57	0.939
Caso 4	AMT_DO09	DO09	363.886	6.272	0.257	110.44	0.949

*Fuente:* Elaboración Propia-Base de Datos del Centro de Control ELSE 2022

### 3.5 Análisis de Resultados

Se logró evaluar la cargabilidad de los AMT DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV, describiendo los siguientes resultados:

- a) Cuando hay un incidente/falla en la red eléctrica, se encontró que el nivel de operación de la red está por encima del 78% y puede llegar hasta el 106% como se muestra en la figura 3.11.
- b) Por otro lado, el número de interconexiones está limitado debido a la topología de la red. Además, si se produce una avería, la transferencia de carga es inmediata y limitada.
- c) Finalmente, para darle credibilidad al estudio, se realizó una comparación entre las curvas de demanda real y simulada, lo que nos permitió realizar diferentes simulaciones de contingencias donde la carga se transfiere de un alimentador a otro, obteniendo una cargabilidad superior al 100% de su capacidad nominal de operación, tabla Nro. 3.4

## **4 Capítulo IV: Reconfiguración de la Red en Estudio**

### **4.1 Introducción**

En este capítulo, se realizará la incorporación, interconexión y reconfiguración de los alimentadores de media tensión DO10, DO11 y DO12 en 10.5kV de la subestación eléctrica de Dolorespata de Cusco, para ello se utilizan varios criterios de análisis respecto a la distribución de la cargabilidad, por lo que se utilizara del software DigSilent-Power Factory para obtener posibles soluciones para la distribución de carga de la red estudiada.

### **4.2 Descripción de los Alimentadores Propuestos Incorporados a la Red en Estudio**

Se sabe de la existencia de 03 alimentadores de media tensión en 10.5kV, los cuales se encuentran instalados en su totalidad de forma radial y sin derivaciones. De hecho, estos alimentadores de media tensión se instalaron hace unos años para reducir cargabilidad en la red. En estos alimentadores no se ha instalado carga, ya que el uso eficiente de estos alimentadores aún está siendo evaluado por la concesionaria Electro Sur Este S.A.A.

A continuación, se hará una descripción de los alimentadores de media tensión propuestos:

#### **4.2.1 Alimentador de Media Tensión DO10**

Este alimentador tiene su origen en la subestación Dolorespata y finaliza en Pasaje Hermosa y tiene una longitud de 1,57 km. Este alimentador está ubicado dentro de una caseta de distribución, donde existen barras de interconexión, celdas, seccionadores, además dichos tramos tienen las siguientes características como se muestra en la tabla y figura siguiente.

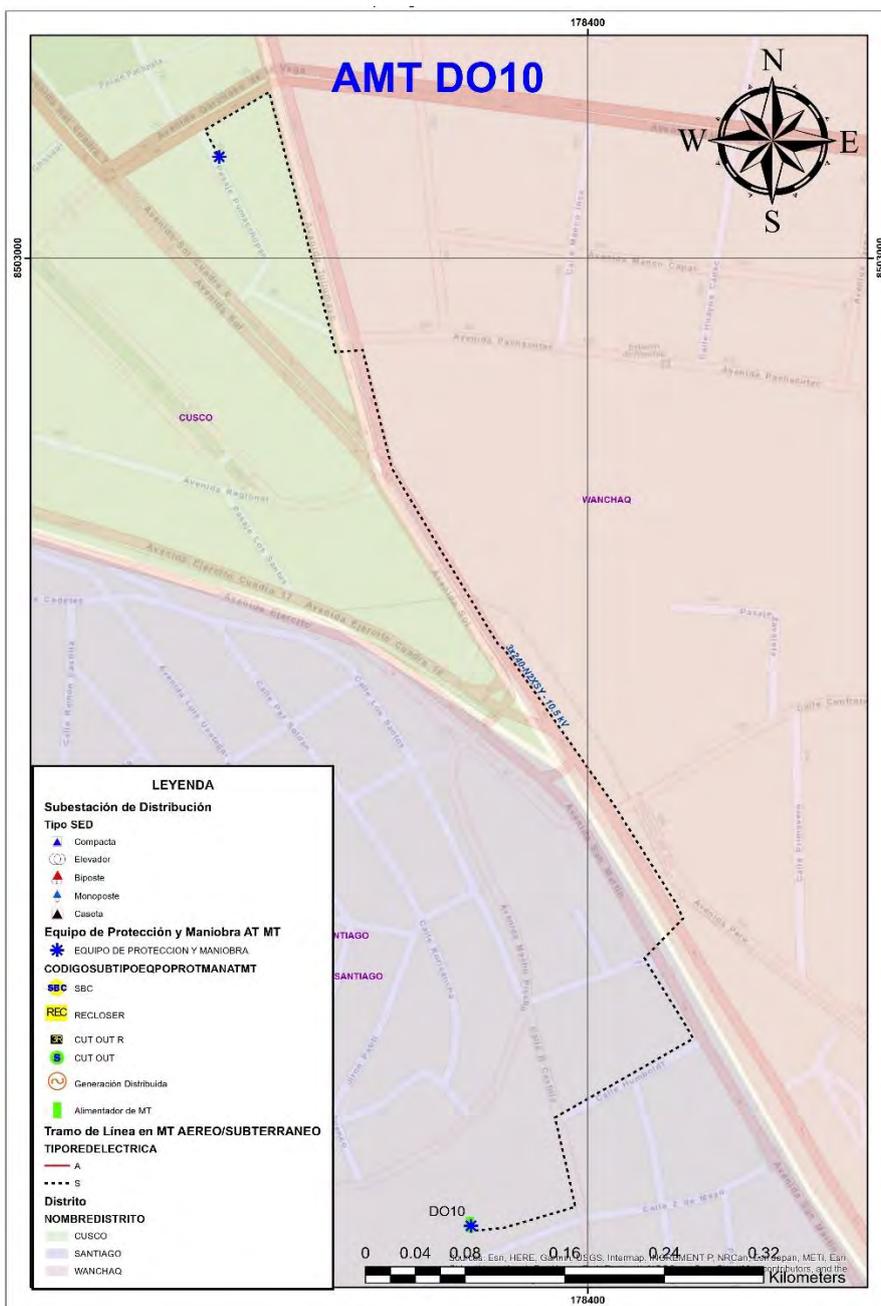
**Tabla 4.1.**  
Alimentador de Media Tensión DO10 en 10.5kV

AMT	NUMERO CONDUCTORES	TIPO MATERIAL	SECCION DEL CONDUCTOR (mm <sup>2</sup> )	FASES	LONGITUD REAL (m)	ETIQUETA	TENSION NOMINAL (kV)
DO10	3	COBRE	240	RST	1.760455 1570.204578	N2XSy-3x240 mm <sup>2</sup> N2XSy-3x240 mm <sup>2</sup>	10.5

*Fuente:* Base de datos del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A. 2022

Figura 4.1

Recorrido del AMT DO10 en 10.5kV



*Fuente:* Base de Datos del Centro de Control ELSE 2022

#### 4.2.2 Alimentador de Media Tensión DO11

Este alimentador tiene su origen en la subestación Dolorespata y finaliza en Pasaje Hermosa y tiene una longitud de 1,27 km. Este alimentador está ubicado dentro de una caseta de distribución, donde existen barras de interconexión, dichos tramos tienen las siguientes características como se muestra en la tabla y figura siguiente.

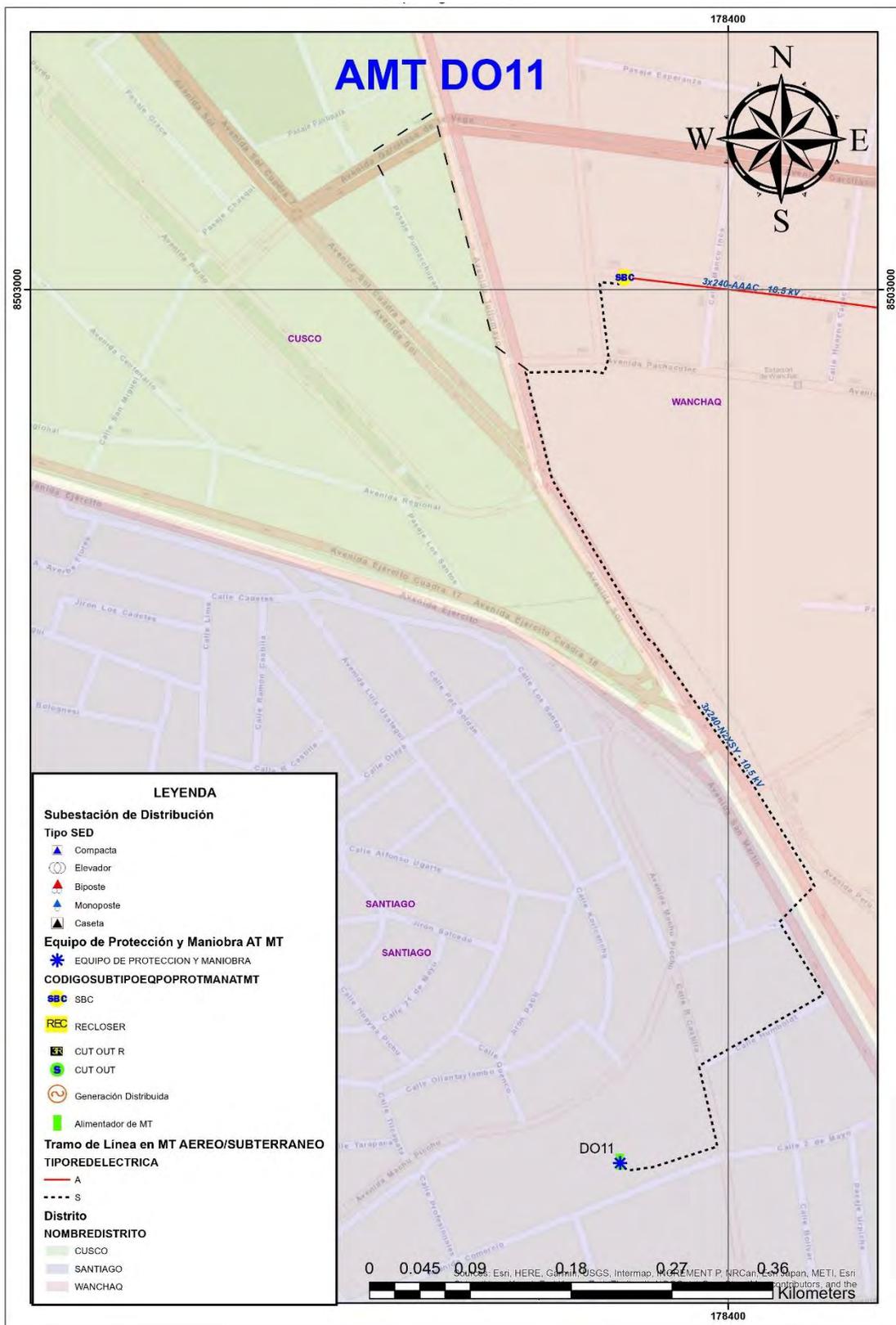
**Tabla 4.2.**

Alimentador de Media Tensión DO11 en 10.5kV

AMT	NUMERO CONDUCTORES	TIPO MATERIAL	SECCION DEL CONDUCTOR (mm <sup>2</sup> )	FASES	LONGITUD REAL (m)	ETIQUETA	TENSION NOMINAL (kV)
DO11	3	COBRE	240	RST	1.199982 1270.702493	N2XSY-3x240 mm <sup>2</sup> N2XSY-3x240 mm <sup>2</sup>	10.5

*Fuente:* Base de datos del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A. 2022

Figura 4.2  
Recorrido del AMT DO11 en 10.5kV



Fuente: Base de Datos del Centro de Control ELSE 2022

### 4.2.3 Alimentador de Media Tensión DO12

Este alimentador inicia en la subestación Dolorespata y finaliza en la plaza San Francisco, con una longitud total de 2,22 km, ubicado en una caseta de distribución, donde existen barras de interconexión, estos tramos tienen las siguientes características como se muestra en la siguiente.

**Tabla 4.3.**

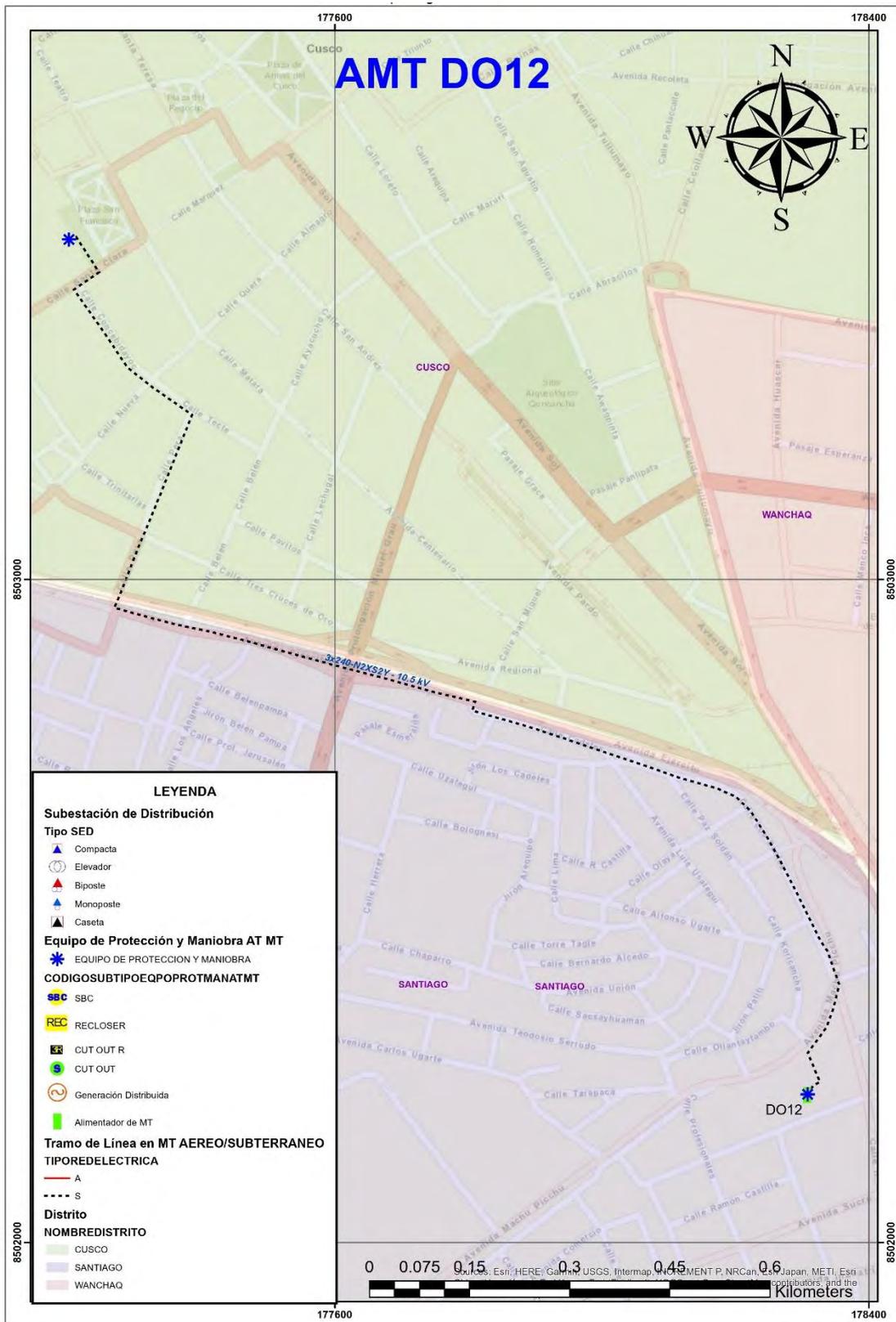
Alimentador de Media Tensión DO12 en 10.5kV

AMT	NUMERO CONDUCTORES	TIPO MATERIAL	SECCION DEL CONDUCTOR (mm <sup>2</sup> )	FASES	LONGITUD REAL (m)	ETIQUETA	TENSION NOMINAL (kV)
DO12	3	COBRE	240	RST	1.199938	N2XSY-3x240 mm <sup>2</sup>	10.5
					2221.38531	N2XSY-3x240 mm <sup>2</sup>	

*Fuente:* Base de datos del Centro de Control de Electro Sur Este S.A.A. 2022

Figura 4.3

Recorrido del AMT DO12 en 10.5kV



Fuente: Base de Datos del Centro de Control ELSE 2022

### 4.3 Reconfiguración de la Red en Estudio con la Incorporación de los AMT DO10, DO11 y DO12

Para analizar la reconfiguración de la red se deben identificar los puntos de las interconexiones del AMT DO10, DO11 y DO12. Luego se realiza la evaluación de cargas de los AMT DO03, DO04 y DO09.

#### 4.3.1 Análisis Máx. Demanda

Este análisis tomara en cuenta las Máximas Demandas registradas entre 2016 al 2022, en base a esta información brindada por la empresa Electro Sur Este S.A.A., se elaboró una tabla resumen de porcentajes de cargabilidad de las Máximas Demandas registradas en los periodos ya mencionados, tabla Nro. 4.4, encontrando una sobre carga en los alimentadores en estudio, los cuales superan su capacidad de operación nominal del conductor, ocasionando un desgaste en la vida útil del conductor y posible falla y/o evento en el sistema eléctrico (Anexo A: 3.3.2\_ Máxima Demanda 2016-2022-Base de Datos del Centro de Control-ELSE 2022).

Tabla 4.4.

Porcentaje de Cargabilidad de Máx. Demanda

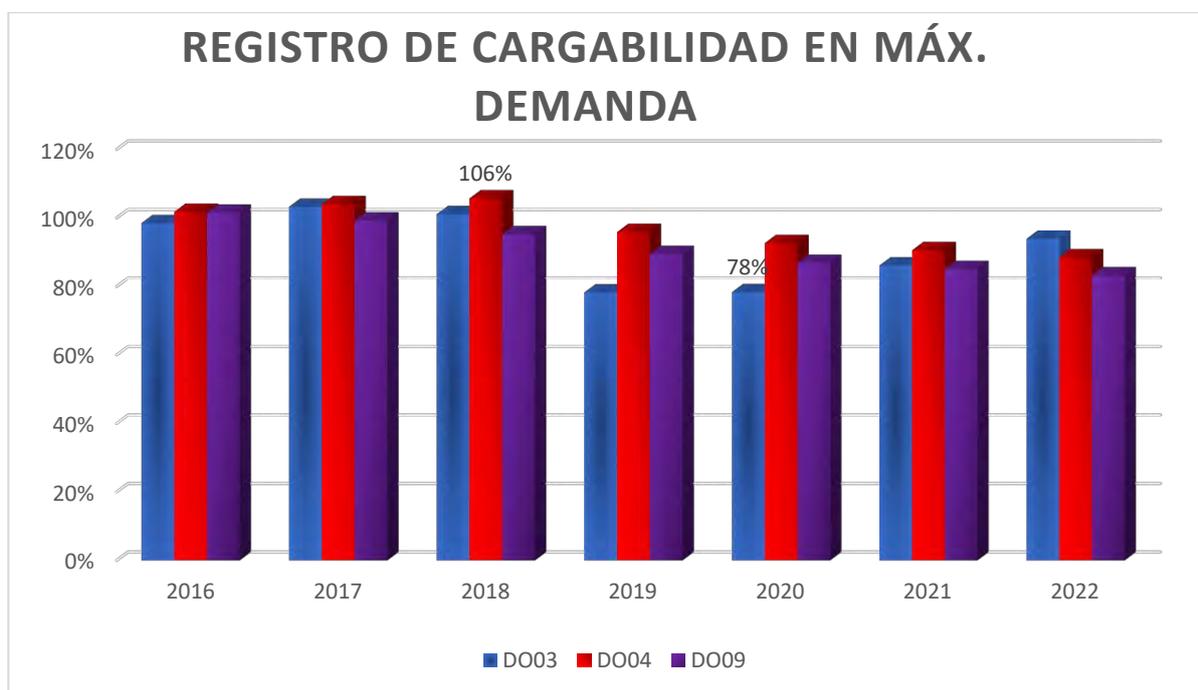
<b>AÑOS</b>	<b>DO01</b>	<b>DO02</b>	<b>DO03</b>	<b>DO04</b>	<b>DO05</b>	<b>DO06</b>	<b>DO07</b>	<b>DO08</b>	<b>DO09</b>
2016	87%	82%	<b>98%</b>	<b>102%</b>	86%	74%	89%	87%	<b>102%</b>
2017	89%	98%	<b>103%</b>	<b>104%</b>	110%	81%	89%	78%	<b>99%</b>
2018	80%	64%	<b>101%</b>	<b>106%</b>	95%	73%	81%	83%	<b>95%</b>
2019	74%	94%	<b>78%</b>	<b>96%</b>	86%	72%	85%	93%	<b>89%</b>
2020	77%	104%	<b>78%</b>	<b>93%</b>	59%	68%	81%	91%	<b>87%</b>
2021	79%	99%	<b>86%</b>	<b>91%</b>	76%	78%	91%	99%	<b>85%</b>
2022	81%	94%	<b>94%</b>	<b>88%</b>	93%	88%	101%	108%	<b>83%</b>

*Fuente:* Elaboración propia-Base de Datos del Centro de Control ELSE 2022

A continuación, se muestra un diagrama de barras del porcentaje de Cargabilidad de la Máxima Demanda.

Figura 4.4

## Registro de Cargabilidad Máxima Demanda

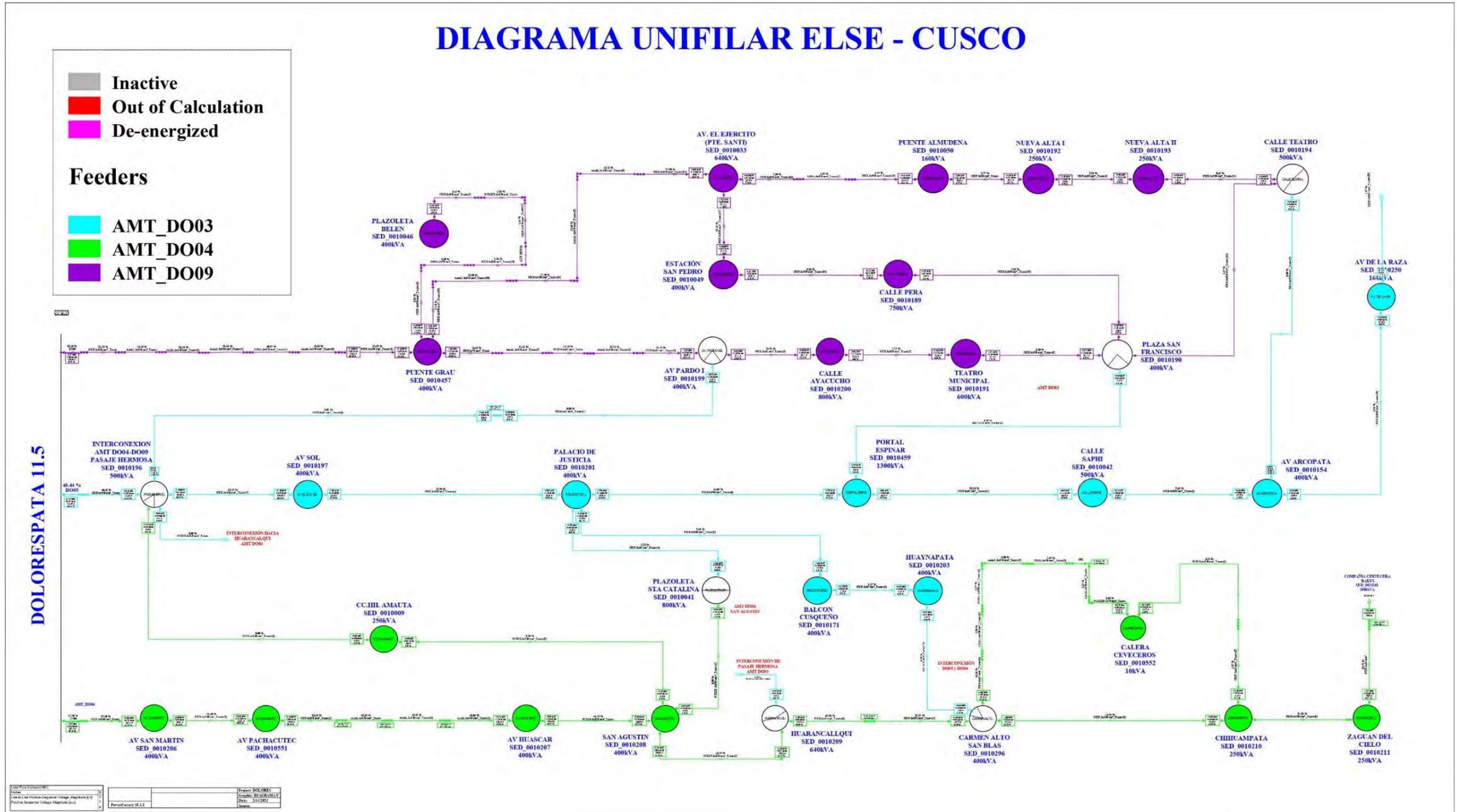


**Fuente:** Elaboración propia-Base de Datos del Centro de Control ELSE 2022

### 4.3.2 Descripción Topológica de la Red en Estudio

Con base en el diagrama unifilar y la topológica de la red, se describen las distintas partes y sus respectivas interconexiones, las cuales pueden ser transferidas a otros alimentadores, teniendo en cuenta los alimentadores a incorporarse, a continuación, se muestra el Diagrama Unifilar objeto de estudio, figura 4.5

Figura 4.5  
Diagrama Unifilar de la Red en Estudio



Fuente: Elaboración propia-DigSilent Power Factory

A continuación, presentaremos detalladamente los cambios que se han producido en la red eléctrica en estudio, tras un análisis con los softwares respectivos (DigSilent, AutoCad, ArcGis, entre otros más).

### 4.3.3 Reconfiguración de los AMT DO03, DO04, DO09, DO10, DO11 y DO12

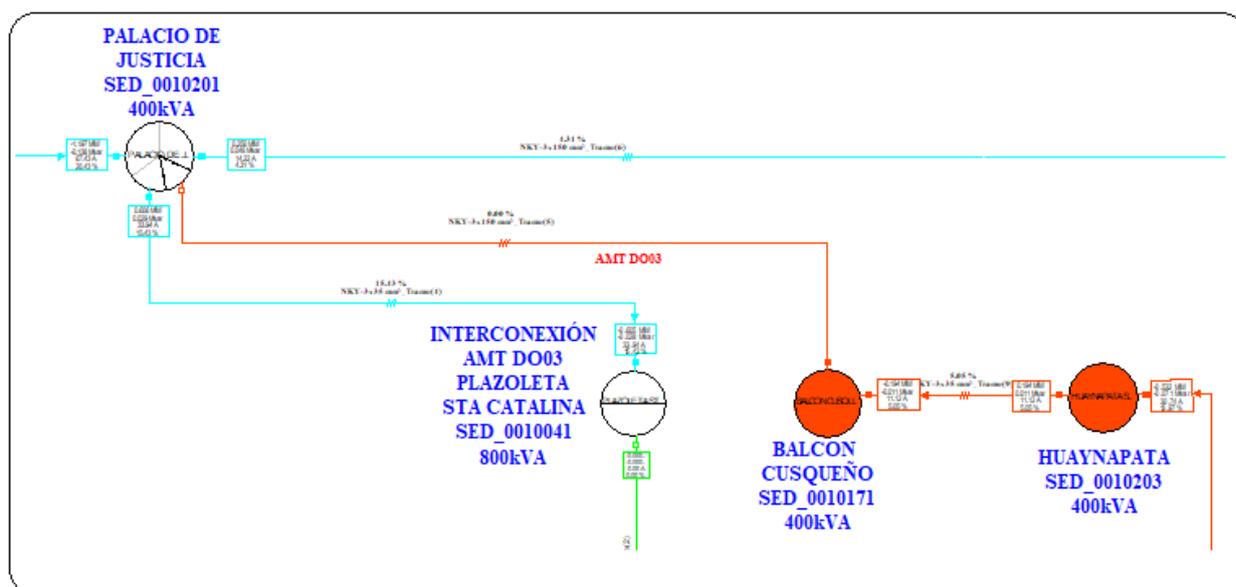
#### 4.3.3.1 DO03

Dada la topología del alimentador DO03, se realizó las siguientes reconfiguraciones (Anexo A: 4.3.2.1 Diagrama Unifilar DO03-reconfiguración):

- 1) **Tramo Nro. 01**, transferido hacia el alimentador DO11, que comprende desde la SED Palacio de Justicia hasta Balcón cusqueño y Huynapata, como se muestra en la figura 4.6

Figura 4.6

Tramo Nro. 01 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta

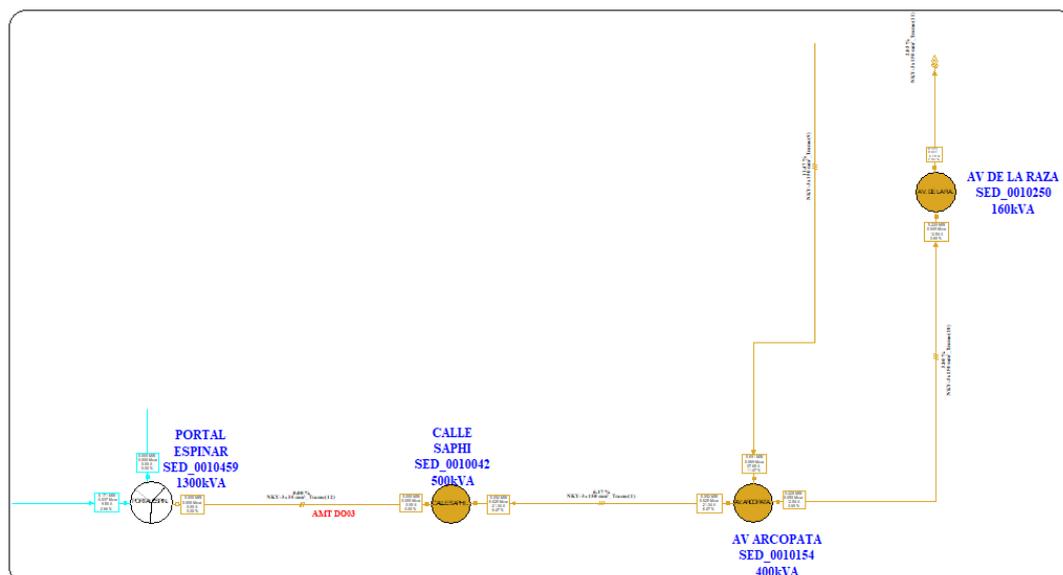


**Fuente:** Elaboración Propia – DigSilent Power Factory

- 2) **Tramo Nro. 02**, transferido hacia el alimentador DO12, que comprende desde: La SED Portal Espinar hasta Av. De la Raza, siendo una troncal<sup>1</sup> importante, según muestra la figura 4.7

Figura 4.7

Tramo Nro. 02 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta



*Fuente:* Elaboración Propia – DigSilent Power Factory

#### 4.3.3.2 DO04

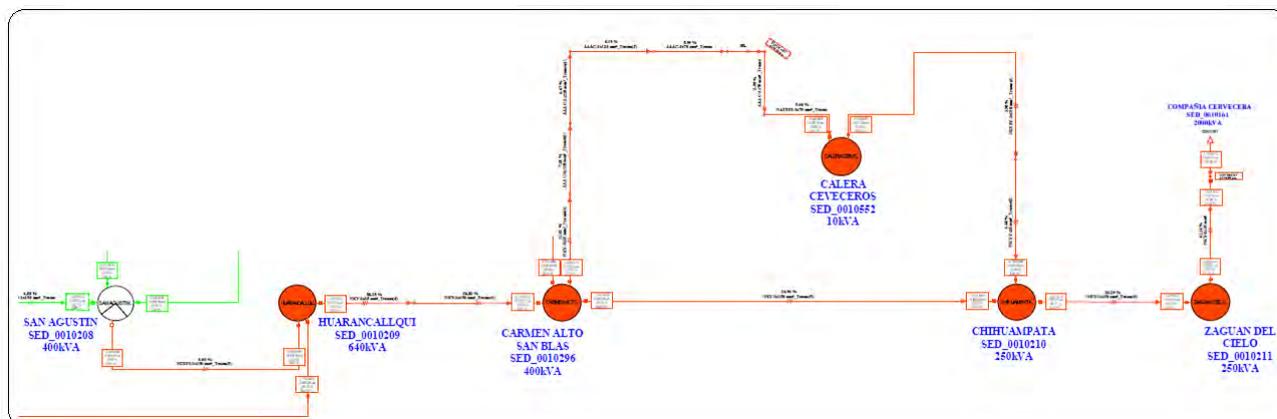
Dada la topología del alimentador DO04, se realizó la reconfiguración de la siguiente. (Anexo A: 4.3.2.2 Diagrama Unifilar DO04-reconfiguración):

- 1) **Tramo Nro. 03**, transferido hacia el alimentador DO11, que comprende desde La SED San Agustín hasta Zaguán del Cielo y alrededores, como se muestra la en la figura 4.8

<sup>1</sup> Tramo principal de una Red

Figura 4.8

Tramo Nro. 03 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta



*Fuente:* Elaboración Propia – DigSilent Power Factory

#### 4.3.3.3 DO09

Dada la topología del alimentador DO09, se realizaron las siguientes reconfiguraciones (Anexo A: 4.3.2.3 Diagrama Unifilar DO09-reconfiguración):

- 1) **Tramo Nro. 04**, transferido hacia el alimentador DO12, que comprende desde La SED Plaza San Francisco hasta Av. Pardo I, según muestra la figura 4.9

Figura 4.9

Tramo Nro. 04 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta

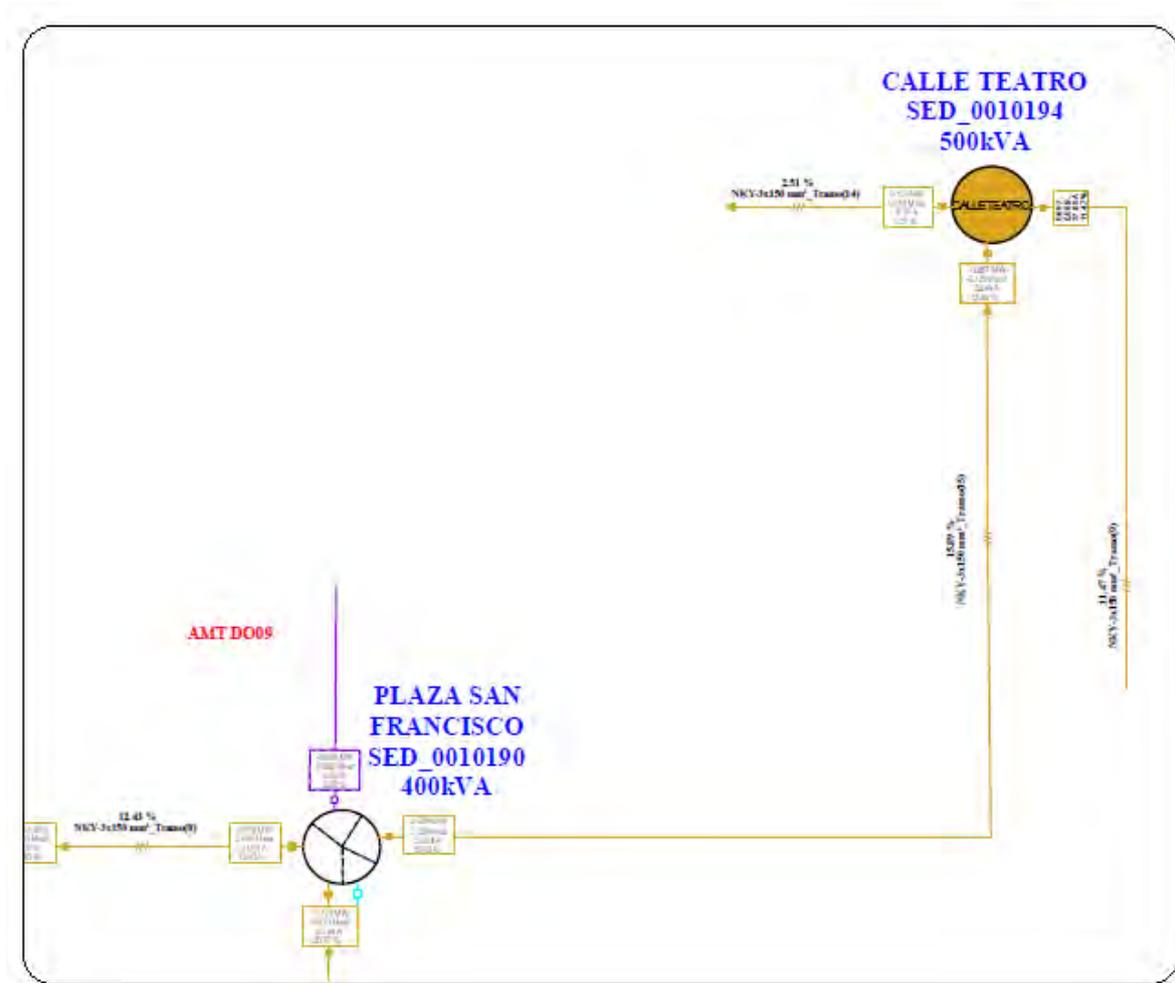


*Fuente:* Elaboración Propia – DigSilent Power Factory

- 2) **Tramo Nro. 05**, transferido hacia el alimentador DO12, que comprende desde:  
La SED Plaza San Francisco hasta Calle Teatro, según muestra la figura 4.10

Figura 4.10

Tramo Nro. 05 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta



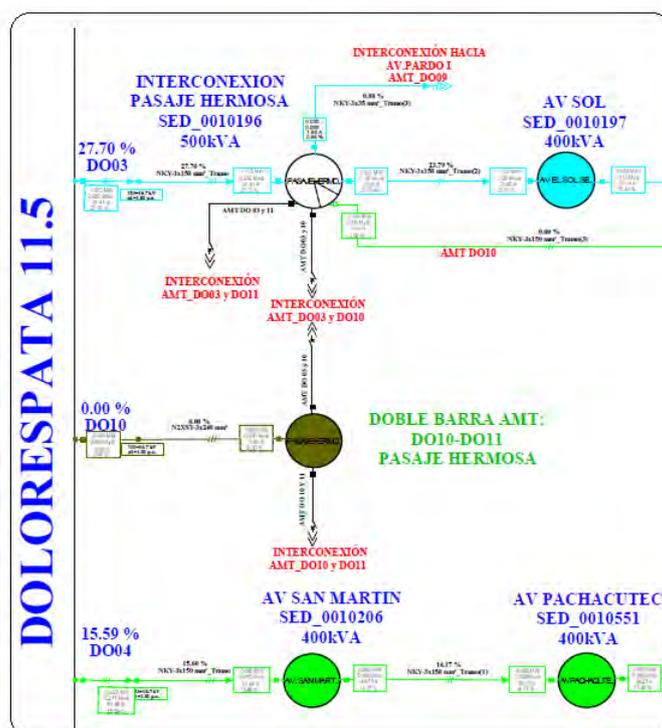
**Fuente:** Elaboración Propia – DigSilent Power Factory

#### 4.3.3.4 DO10

Como una medida de contingencia a este alimentador se le considera como un respaldo de los alimentadores DO03 y DO11 en troncal (Anexo A: 4.3.2.4 Diagrama Unifilar DO10-reconfiguración).

Figura 4.11

AMT DO10, respaldo de los AMT DO03 y DO11- DU Red Propuesta



Fuente: Elaboración Propia – DigSilent Power Factory

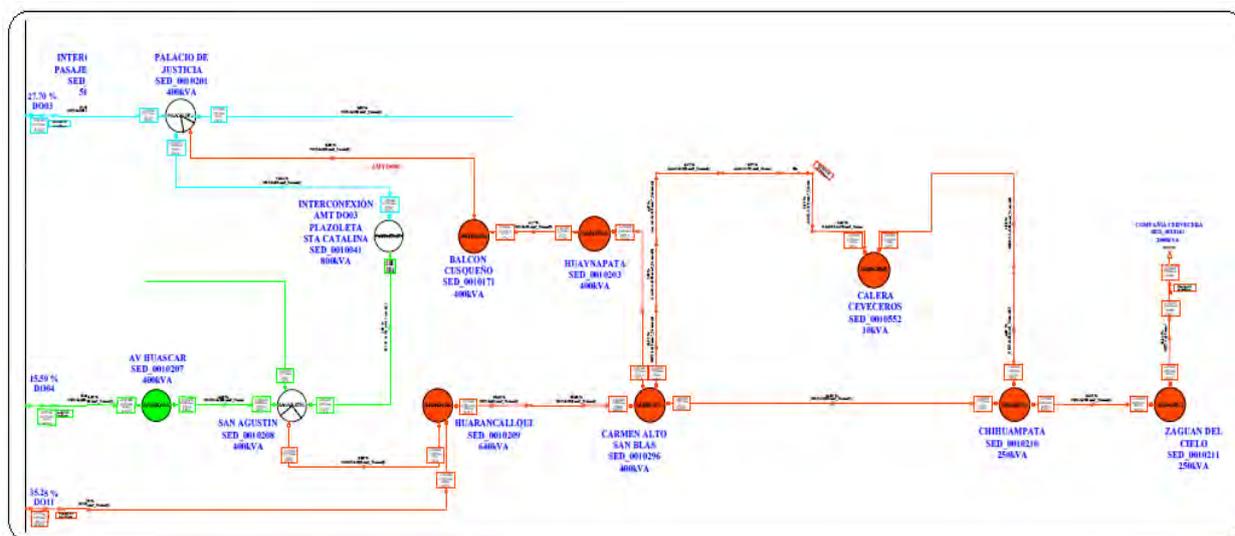
#### 4.3.3.5 DO11

Considerando la topología del alimentador DO11, se realizaron las siguientes transferencias de carga a este alimentador, como se describió a continuación (Anexo A: 4.3.2.5 Diagrama Unifilar DO11-reconfiguración).

**Tramo Nro. 01 y 03**, de los alimentadores DO03 y DO04, que comprenden: Balcón Cusqueño, Huaynapata, Huarancalqui Carmen Alto, Calera Cerveceros, Chihuampata y Zaguán del Cielo, como se muestra la figura 4.12

Figura 4.12

Tramo Nro. 01 y 03 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta



*Fuente:* Elaboración Propia – DigSilent Power Factory

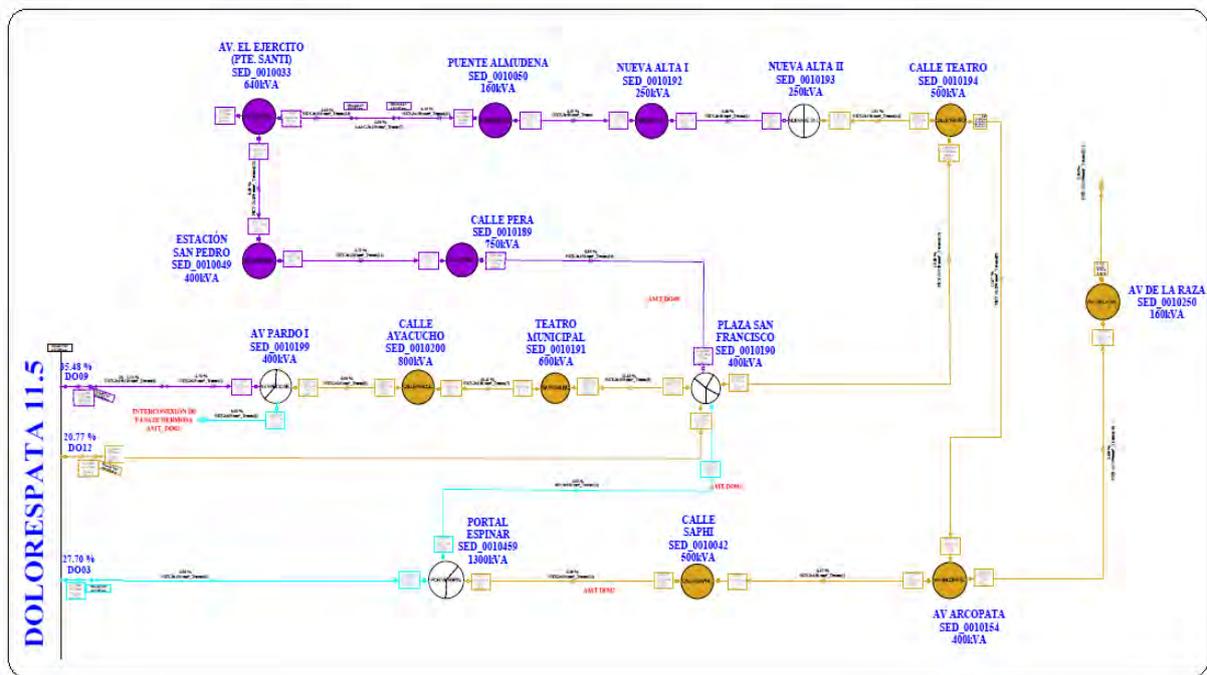
#### 4.3.3.6 DO12

Considerando la topología del alimentador DO12, se realizaron las siguientes transferencias de carga a este alimentador, las cuales son descritos a continuación (Anexo A: 4.3.2.1 Diagrama Unifilar DO12-reconfiguración).

- 1) **Tramo Nro. 02, 04 y 05**, de los alimentadores DO03 y DO09, que comprenden: La SED Av. Pardo, Calle Ayacucho, Teatro Municipal, Plaza San Francisco, Calle Teatro, Portal Espinar, Calle Saphi, Av. Arcopata y Av. De la Raza, según muestra la figura 4.13

Figura 4.13

Tramo Nro. 02, 04 y 05 - Diagrama Unifilar de la Red Propuesta



**Fuente:** Elaboración Propia – DigSilent Power Factory

A continuación, se detalla las cargas transferidas a los alimentadores DO11 y DO12 se detallan a continuación respectivamente, según tabla 4.5.

Tabla 4.5.

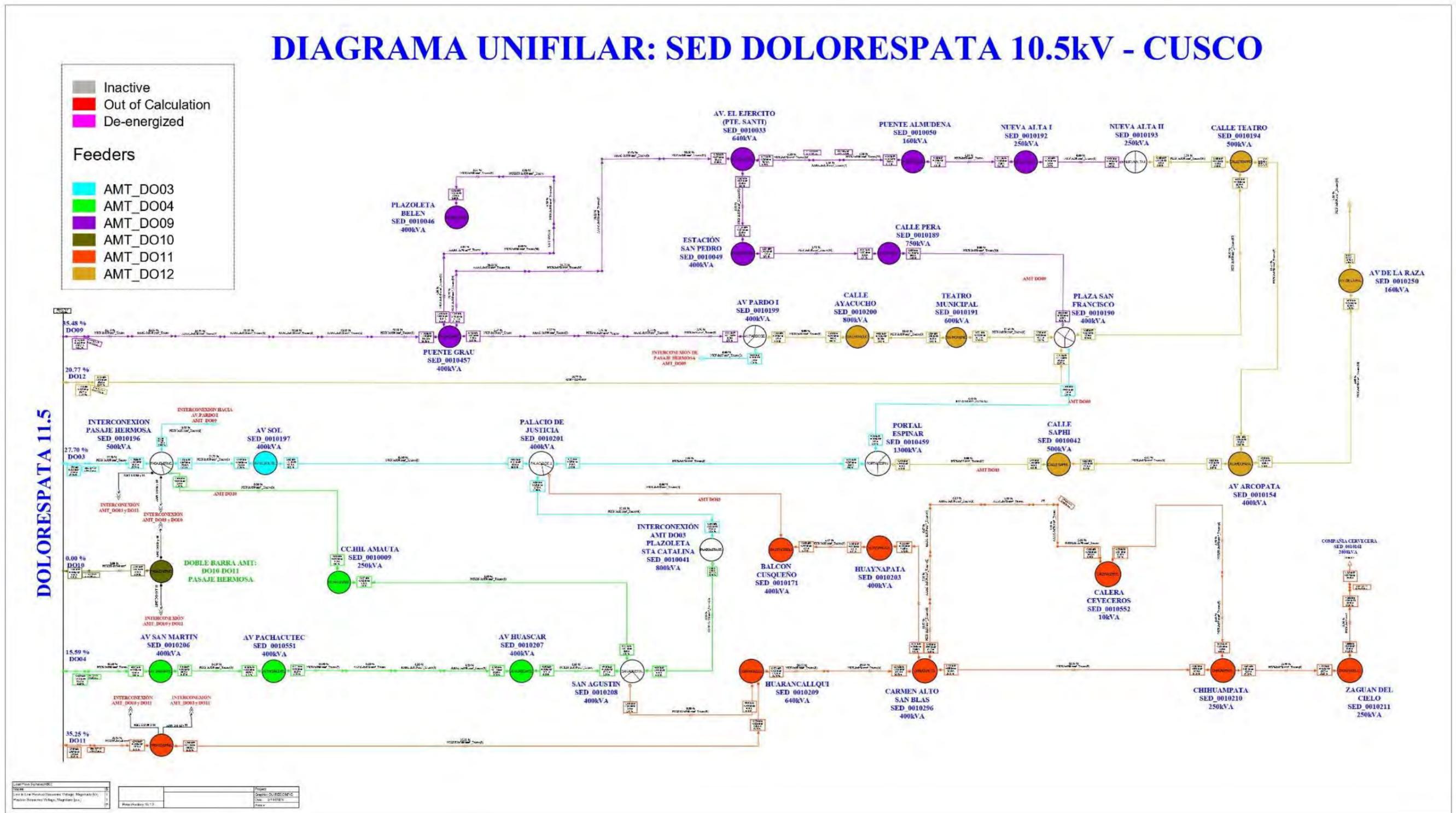
Cargas Transferidas a los AMT DO11 y DO12

<b>CODIGO TECNICO ALIM MT</b>	<b>CARGAS TRANSFERIDAS</b>	<b>CODIGO TIPO SED</b>	<b>ALIMENTADOR MT - CARGAS TRANSFERIDAS</b>	<b>POTENCIA INSTALADA (kW)</b>	<b>ETIQUETA</b>	<b>CODIGO TECNICO SED</b>
DO03	BALCON CUSQUEÑO	CAS	DO11	400	400kVA 10.5/0.22kV	10171
DO03	HUAYNAPATA	CAS	DO11	400	400kVA 10.5/0.22kV	10203
DO03	PORTAL ESPINAR " A "	CAS	DO12	650	650kVA 10.5/0.22kV	10459
DO03	CALLE SAPHI	CAS	DO12	500	500kVA 10.5/0.22kV	10042
DO03	AV. ARCOPATA	CAS	DO12	400	400kVA 10.5/0.22kV	10154
DO04	HUARANCALLQUI	CAS	DO11	640	640kVA 10.5/0.22kV	10209
DO04	CARMEN ALTO SAN BLAS	CAS	DO11	400	400kVA 10.5/0.22kV	10296
DO04	CALERA CERVECEROS	CAS	DO11	100	100kVA 10.5/0.22kV	10552
DO04	CHIHUAMPATA	CAS	DO11	250	250kVA 10.5/0.22kV	10210
DO04	ZAGUAN DEL CIELO	CAS	DO11	250	250kVA 10.5/0.22kV	10211
DO09	PLAZA SAN FRANCISCO	CAS	DO12	400	400kVA 10.5/0.22kV	10190
DO09	TEATRO MUNICIPAL	CAS	DO12	400	400kVA 10.5/0.22kV	10191
DO09	CALLE AYACUCHO	CAS	DO12	400	400kVA 10.5/0.22kV	10200
DO09	AV. PARDO I	CAS	DO12	400	400kVA 10.5/0.22kV	10199
DO09	CALLE TEATRO	CAS	DO12	500	500kVA 10.5/0.22kV	10194

*Fuente:* Elaboración Propia – Base de Datos del Centro de Control ELSE 2022

Finalmente, se evidencian los cambios realizados en los AMT de la Subestación Eléctrica de DOLORESPATA en 10.5kV, tal como se muestra en el diagrama unifilar, figura 4.14

Figura 4.14  
Diagrama Unifilar de la Red Propuesta



Fuente: Elaboración Propia – DigSilent Power Factory

#### 4.4 Análisis de Cargabilidad de la Reconfiguración de la Red Propuesta

Para analizar la red propuesta, se muestra el diagrama unifilar de la reconfiguración de la red, figura 4.14

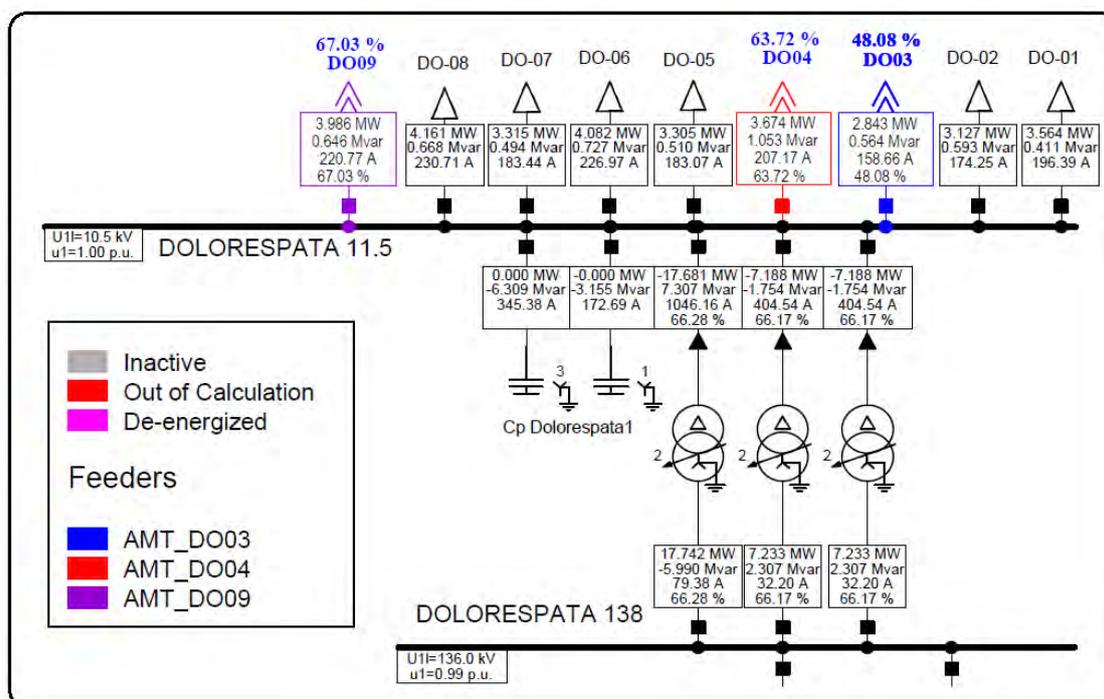
Tomando en cuenta las consideraciones siguientes:

- *Se identifico las interconexiones de los alimentadores.*
- *Se identifico las SED con sus celdas de protección y maniobra.*
- *Se identifico las cargas de la SED.*

Con base en las consideraciones anteriores se procede a realizar el análisis de cargabilidad mediante flujo de carga con ayuda del software DigSilent Power Factory.

Figura 4.15

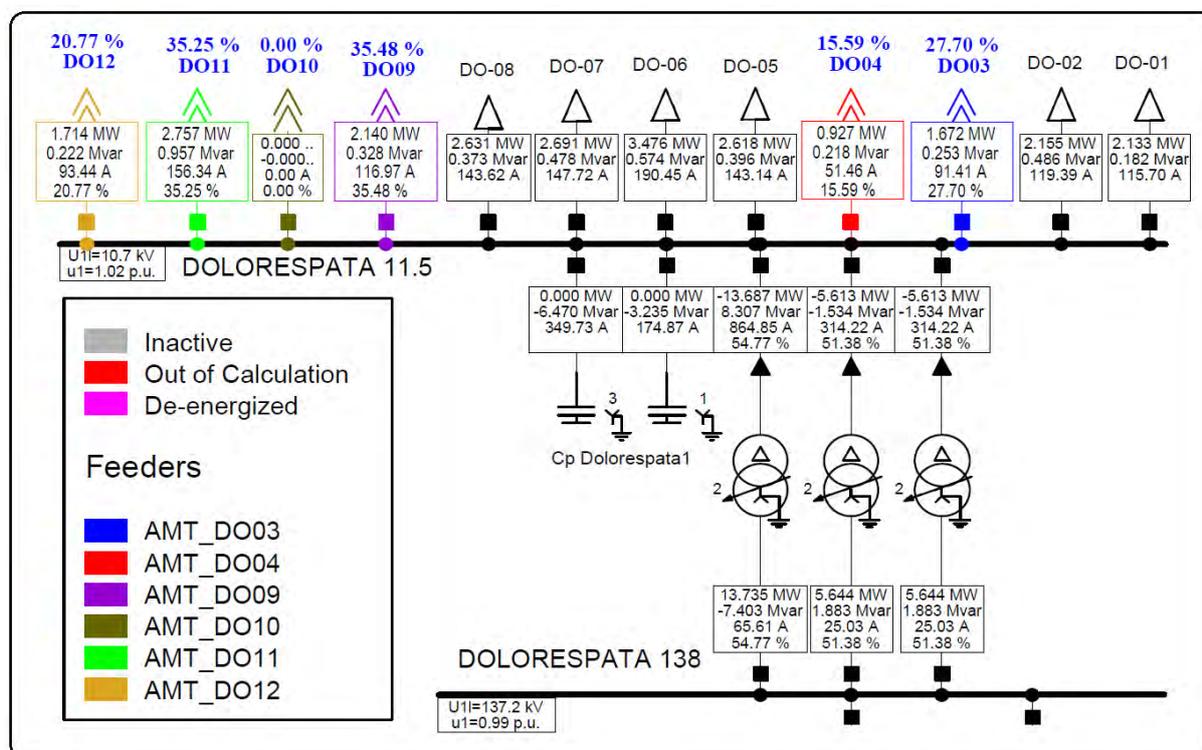
Flujo de Carga de la Red en Estudio



Fuente: Elaboración Propia – DigSilent Power Factor

Figura 4.16

## Flujo de Carga de la Reconfiguración de la Red Propuesta



*Fuente:* Elaboración Propia – DigSilent Power Factor

De las figuras 4.15 y 4.16, se puede describir el siguiente análisis:

- Por tanto, podemos afirmar que la reconfiguración de red propuesta nos da resultados positivos de aplicación. Después de la reconfiguración de la red propuesta, la cargabilidad de los alimentadores se redujo en un 50% en comparación con la cargabilidad actual. Todo lo mencionado anteriormente es corroborado con las simulaciones del software DigSilent-Power Factory, según tabla Nro. 4.6.
- Entonces podemos citar que la reconfiguración de la red propuesta nos da resultados positivos de aplicación.

Se muestra una tabla resumen de la Cargabilidad de los alimentadores en estudio en comparación con los alimentadores propuestas, donde podemos observar una mejora significativa de los alimentadores en cuanto a cargabilidad.

Tabla 4.6.  
Cargabilidad Actual VS Cargabilidad Propuesta

<b>CODIGO TECNICO AMT</b>	<b>CARGABILIDAD ACTUAL (%)</b>	<b>CODIGO TECNICO AMT PROPUESTO</b>	<b>CARGA TRANSFERIDA (%)</b>	<b>CARGABILIDAD PROPUESTO (%)</b>
DO03	48.08%	DO11 y DO12	20.38%	27.70%
DO04	63.72%	DO11	48.13%	15.59%
DO09	67.03%	DO12	31.55%	35.48%
DO10	0.00%	---		0.00%
DO11	0.00%	---		35.25%
DO12	0.00%	---		20.77%

**Fuente:** Elaboración Propia-Base de Datos del Centro de Control ELSE 2022

A continuación, se muestra el Diagrama Unifilar de la Reconfiguración de la Red Propuesta a detalle, figura 4.17



### 4.5 Análisis de Caída Tensión en los AMT DO03, DO04, DO09, DO10, DO11 y DO12

Después de reconfigurar la red se logró disminuir las caídas de tensión en los puntos extremos de los AMT, mejorando un 2% los niveles de tensión tal como se evidencia en la figura siguiente.

Figura 4.18.

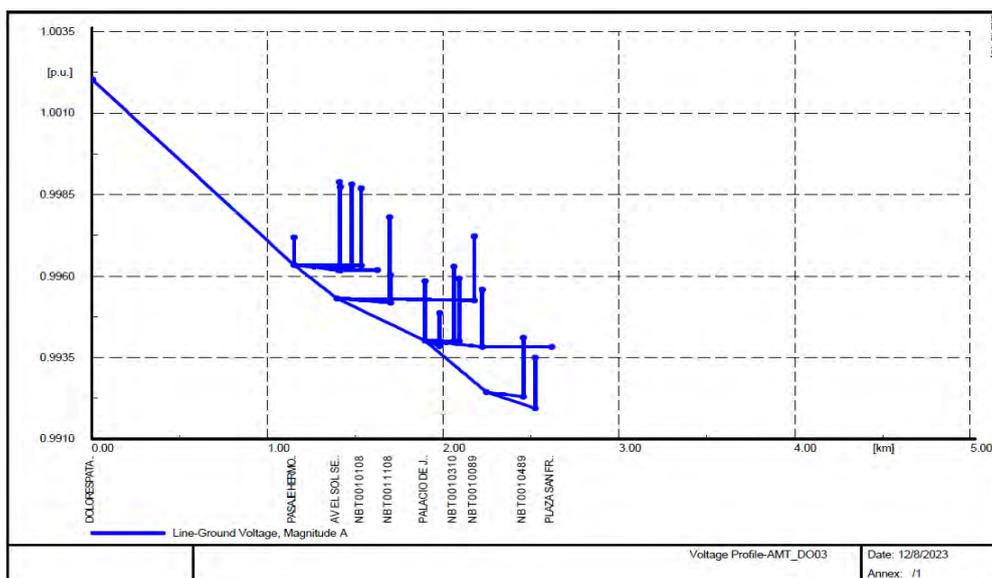
Reporte de los niveles de tensión con la reconfiguración de la red

Load Flow Calculation							Feeder	
AC Load Flow, unbalanced, 3-phase (ABC)			Automatic Model Adaptation for Convergence			No		
Automatic Tap Adjust of Transformers			Yes			Max. Acceptable Load Flow Error for		
Consider Reactive Power Limits			No			Nodes		
			Model Equations			0.10 kVA		
						0.10 %		
					DigSILENT	Project:		
					PowerFactory	Date: 11/30/2023		
					15.1.2			
Study Case: 03_RECONFIGURACIÓN 2022						Annex: / 1		
Name	First Branch	Input Current [A]	Total Load [MW]	Generation [MW]	Losses [MW]	Max.Loading [%]	Minimum Voltages L-L [p.u.]	Minimum Voltages L-E [p.u.]
AMT_DO03	DO03	100.820	1.789	0.000	0.031	124.71	0.992	0.993
AMT_DO04	DO04	59.126	1.029	0.000	0.024	61.30	0.997	0.997
AMT_DO12	DO12	113.329	2.018	0.000	0.034	82.79	0.994	0.994
AMT_DO10	DO10	0.005	0.000	0.000	0.000	0.00	1.002	1.004
AMT_DO11	DO11	176.702	2.998	0.000	0.063	79.91	0.982	0.999
AMT_DO09	DO09	145.651	2.585	0.000	0.045	87.64	0.988	0.988

Fuente: Elaboración propia-Software DigSilent Power Factory

Figura 4.19.

Caída de Tensión en el extremo del AMT DO03

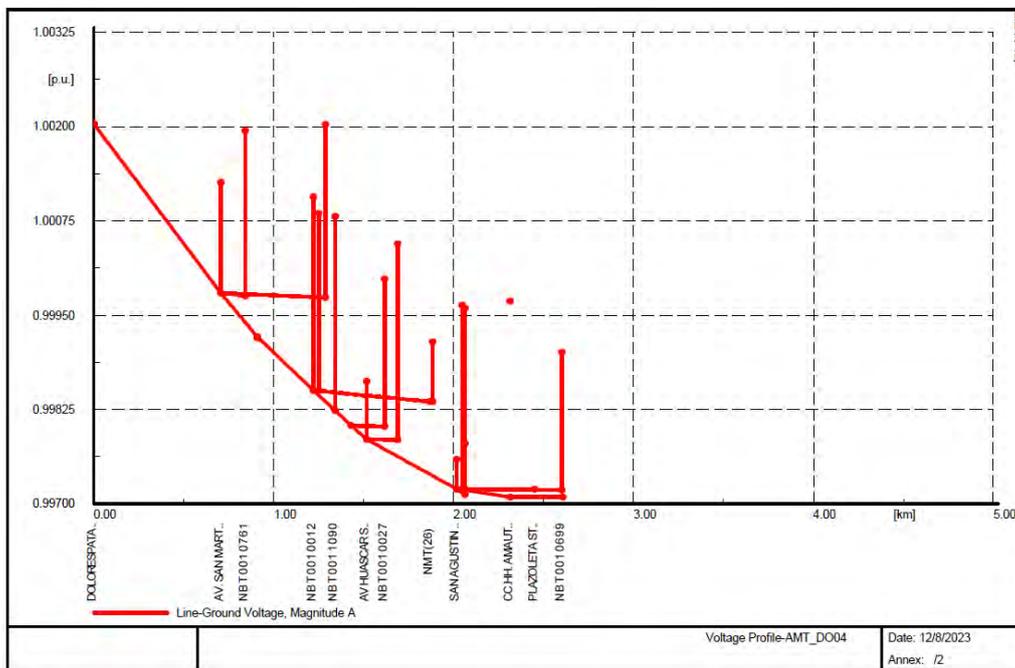


Voltage Profile-AMT\_DO03 Date: 12/8/2023 Annex: /1

Fuente: Elaboración propia-Software DigSilent Power Factory

Figura 4.20.

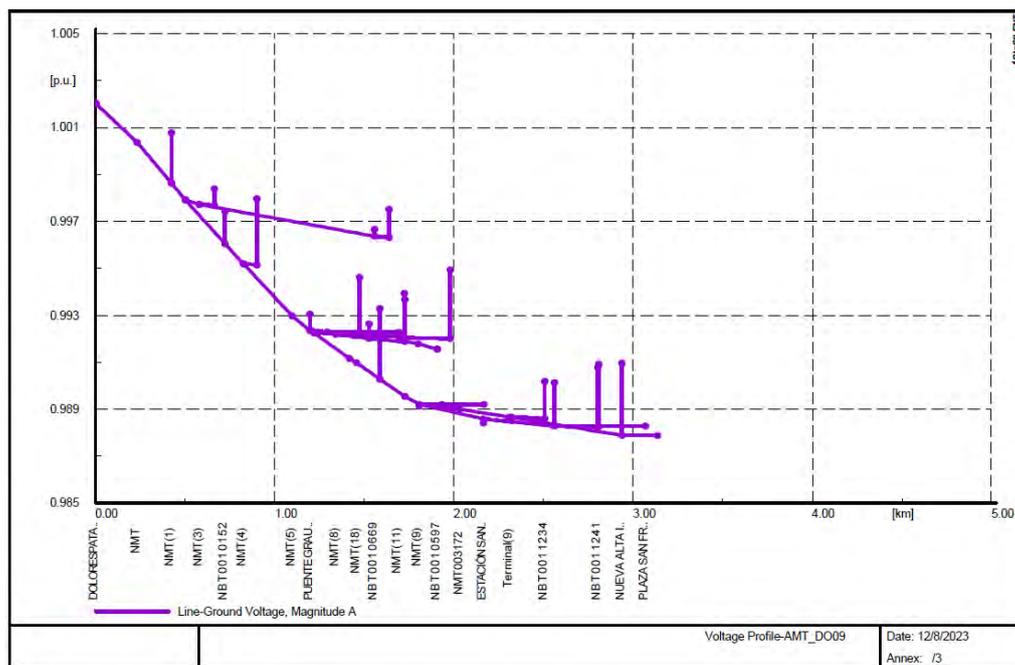
Caída de Tensión en el extremo del AMT DO04



Fuente: Elaboración propia-Software DigSilent Power Factory

Figura 4.21.

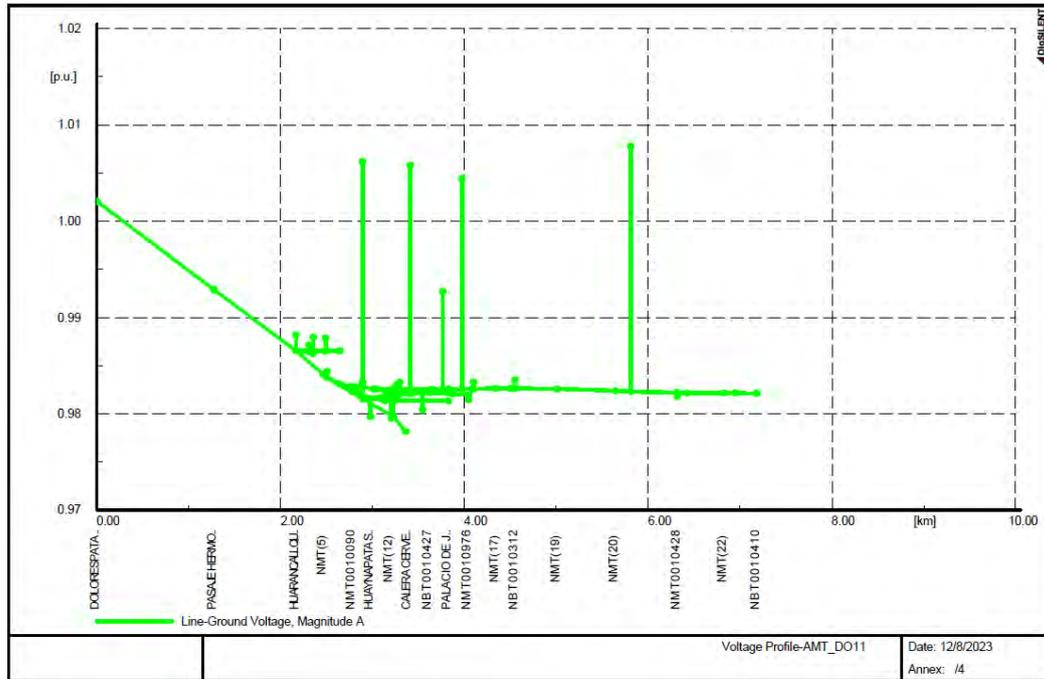
Caída de Tensión en el extremo del AMT DO09



*Fuente:* Elaboración propia-Software DigSilent Power Factory

Figura 4.22Figura 4.21.

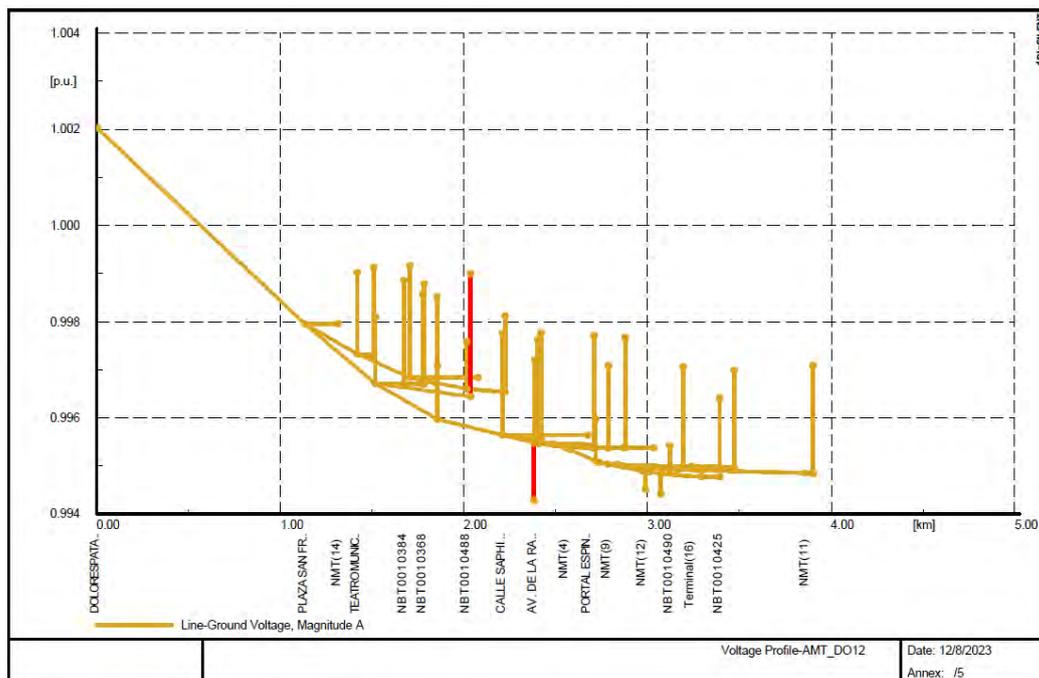
Caída de Tensión en el extremo del AMT DO11



*Fuente:* Elaboración propia-Software DigSilent Power Factory

Figura 4.23.

Caída de Tensión en el extremo del AMT DO12



*Fuente:* Elaboración propia-Software DigSilent Power Factory

#### 4.6 Análisis de Resultados

Se logró realizar la reconfiguración de la red propuesta con la disminución de la cargabilidad, los cuales se detallan a continuación:

- a) Se identificó los puntos de interconexiones de los AMT DO10, DO11 y DO12 en 10.5kV, los cuales tienen interconexiones con los AMT DO03, DO04 y DO09.
- b) Se realizó la evaluación de cargas de los AMT DO03, DO04 y DO09, como se muestra en el Anexo A (3.2.2\_Relación de Subestaciones AMT\_ DO03, DO04 y DO09); Tomando en cuenta las Máximas Demandas registradas en el periodo 2016 al 2022. Para poder identificar los tramos que se modificarán en la reconfiguración de la red.
- c) Finalmente, se procedió a realizar la reconfiguración de la red, logrando resultados positivos, donde se obtuvo una reducción del 50% de cargabilidad en los alimentadores respecto a la cargabilidad actual, según tabla Nro. 4.6.

## 5 Capítulo V: Evaluación de la Cargabilidad con la Reconfiguración de la Red al Año 2028

### 5.1 Introducción

En este capítulo, se analizará la evaluación de la cargabilidad con la reconfiguración de la red al año 2028, donde será necesario determinar la tasa de crecimiento de la demanda y el cálculo del factor de escalamiento, para poder realizar una proyección de la demanda al año 2028. Por otra parte se realizarán evaluaciones de las condiciones operativas de la red con un análisis de contingencias ante eventos/fallas en el sistema, para finalmente hacer un análisis de los resultados obtenidos con ayuda del software DigSilent-Power Factory.

### 5.2 Tasa de Crecimiento del Consumo de los Alimentadores en Estudio

De la memoria anual emitida por la empresa Electro Sur Este S.A.A. en el año 2022, se reportó un crecimiento del consumo anual de energía de 5.89% (Electro Sur Este, 2022, pág. 26) en referencia del año anterior registrado en la Ciudad del Cusco.

Figura 5.1

Reporte de la venta de Energía al año 2022



Venta de Energía Total (MW.h)							
Región	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Cusco	424,241	431,014	451,075	476,992	438,869	459,060	486,119
Apurímac	83,771	90,791	84,334	85,854	87,415	99,408	98,429
Madre de Dios	78,334	86,658	95,357	101,789	98,741	112,209	124,555
<b>Total</b>	<b>586,346</b>	<b>608,462</b>	<b>630,766</b>	<b>664,634</b>	<b>625,025</b>	<b>670,678</b>	<b>709,103</b>

**Fuente:** Memoria Anual 2022, Electro Sur Este S.A.A.

### 5.2.1 Crecimiento de la Proyección de la Demanda al año 2028

Para el cálculo de la proyección de la demanda de los alimentadores en estudio, se realizó el cálculo mediante la ecuación (2.7), la cual fue citada en el capítulo II de la tesis, la ecuación es la siguiente:

$$D_F = D_A (1 + t)^n$$

Donde:

$D_F$  : Demanda Futura (kW).

$D_A$  : Demanda Actual (kW).

$t$  : Tasa anual de Incremento de la Demanda (%).

$n$  : Cantidad de años considerados para la proyección.

Mediante este método se determinará la proyección de la demanda. A continuación, se muestra la siguiente tabla con las proyecciones de la demanda al año 2028. Donde se determina que la demanda es de carácter exponencial, figura 5.2.

Tabla 5.1.

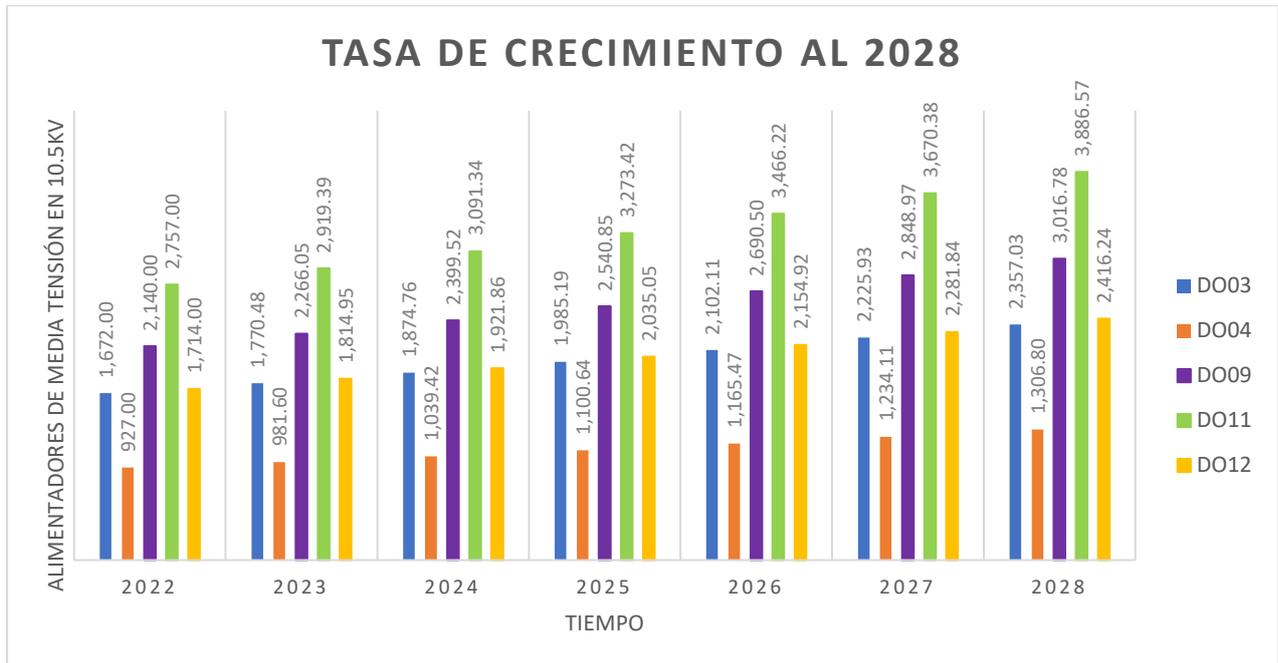
Proyección de la Demanda al año 2028

AMT	DEMANDA ANUAL 2022 (kW)	DEMANDA MÁX. PROYECTADA POR AÑO EN (kW)					
		DEMANDA ANUAL 2023	DEMANDA ANUAL 2024	DEMANDA ANUAL 2025	DEMANDA ANUAL 2026	DEMANDA ANUAL 2027	DEMANDA ANUAL 2028
DO03	1,672.00	1,770.48	1,874.76	1,985.19	2,102.11	2,225.93	2,357.03
DO04	927.00	981.60	1,039.42	1,100.64	1,165.47	1,234.11	1,306.80
DO09	2,140.00	2,266.05	2,399.52	2,540.85	2,690.50	2,848.97	3,016.78
DO11	2,757.00	2,919.39	3,091.34	3,273.42	3,466.22	3,670.38	3,886.57
DO12	1,714.00	1,814.95	1,921.86	2,035.05	2,154.92	2,281.84	2,416.24

**Fuente:** Elaboración propia-Base de Datos del Centro de Control ELSE 2022

Figura 5.2

Tasa de Crecimiento al año 2028



**Fuente:** Elaboración propia-Base de Datos del Centro de Control de ELSE

### 5.2.2 Cálculo del Factor de Escalamiento

Para el cálculo del factor de escalamiento nos apoyaremos en el manual del Software DigSilent Power Factory, donde indica la fórmula para poder hallar el factor de escalamiento, a continuación, se muestra la ecuación del manual del software ya mencionado:

$$P = Scale \times P_0 \quad (2.18)$$

$$Scale = \frac{P}{P_0} \quad (2.19)$$

Donde:

P : Potencia Proyectada (kW).

P<sub>0</sub> : Potencia Inicial (kW).

Scale : Factor de Escalamiento

Habiéndose obtenido el factor de escalamiento de **1.25724464** se procede a ingresar este dato al software DigSilent Power Factory, para poder realizar las diferentes evaluaciones de un análisis de contingencias en diferentes escenarios propuestos para dicho fin.

### **5.3 Condiciones Operativas de la Reconfiguración de la Red Propuesta**

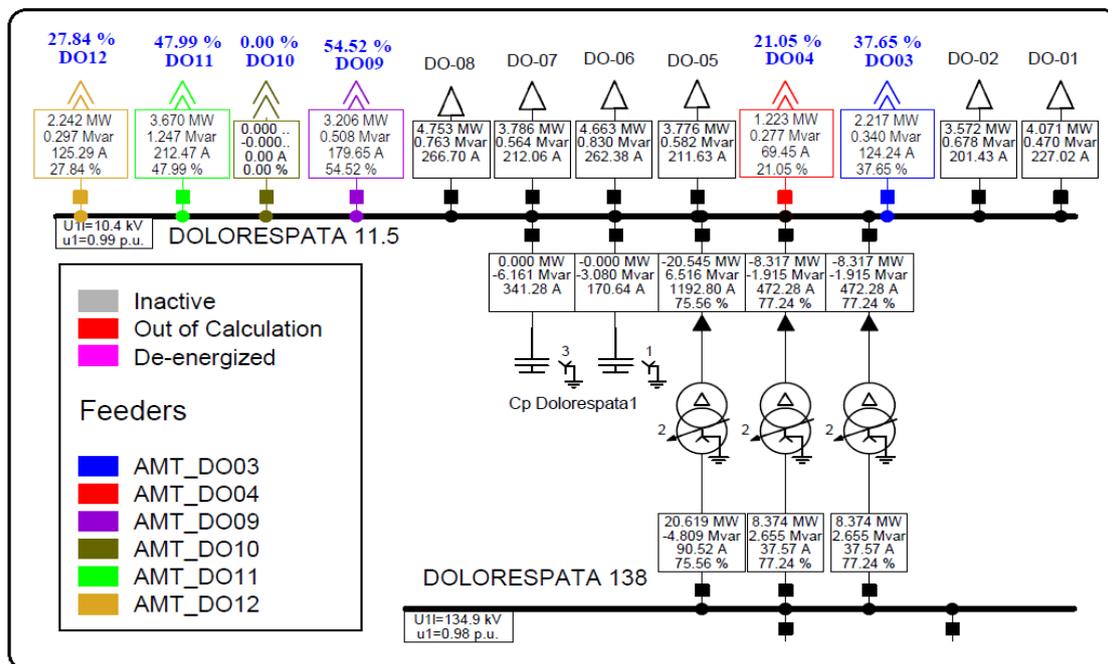
Para la evaluación de las condiciones operativas, es necesario realizar un análisis del flujo de carga y las contingencias del sistema eléctrico proyectado al 2026, para ello es necesario conocer la tasa de crecimiento de la demanda, para poder realizar la evaluación correspondiente y validar la estabilidad del sistema.

#### **5.3.1 Flujo de Carga de la Reconfiguración de la Red, Proyectado al año 2028**

Mediante el software se realiza un análisis de flujo de carga en régimen permanente, con una tasa de crecimiento del **5.89%** anual con su proyección al año 2028, donde se obtuvo los siguientes resultados, la que se muestra a continuación, figura 5.3.

Figura 5.3

Flujo de Carga Proyectado al año 2028

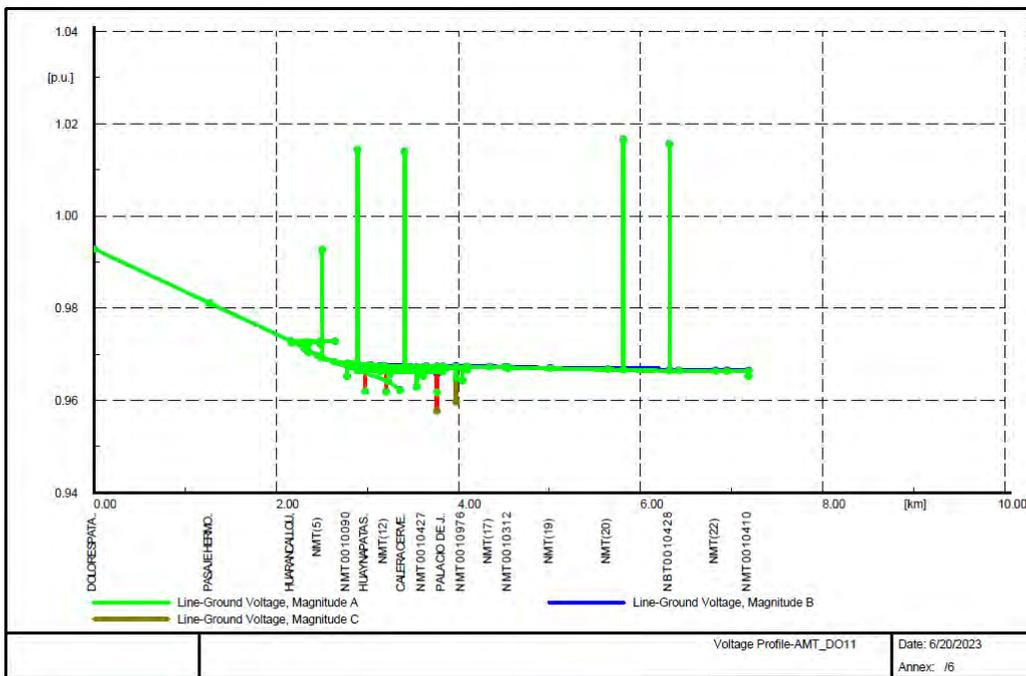


Fuente: Elaboración propia – DigSilent Power Factory

De la simulación mostrada se puede apreciar el rango de la cargabilidad de los alimentadores están por debajo del 55%, con estos resultados podemos validar la reconfiguración de la red propuesta proyectado al 2028, además, se hace un análisis de los niveles de tensión en los AMT DO11 y DO12 en 10.5kV por ser los alimentadores de mayor longitud y propensos a las caídas de tensión, tal como se muestran en las figuras 5.4 y 5.5 respectivamente, los cuales están dentro de los niveles permisibles de operación.

Figura 5.4

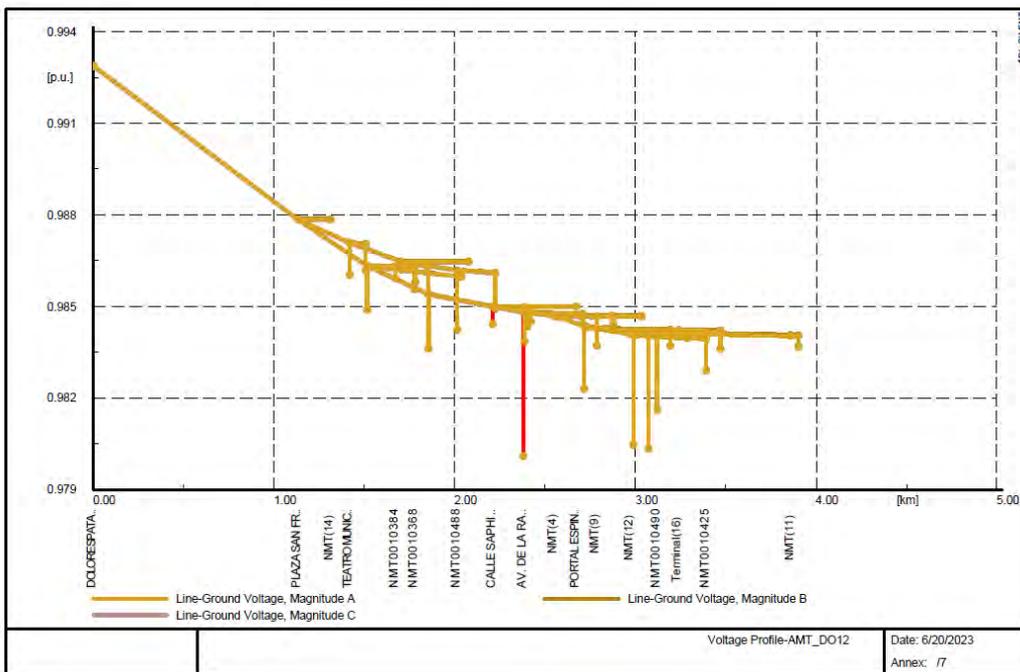
Caída de Tensión AMT DO11



Fuente: Elaboración propia – DigSilent Power Factory

Figura 5.5

Caída de Tensión AMT DO12

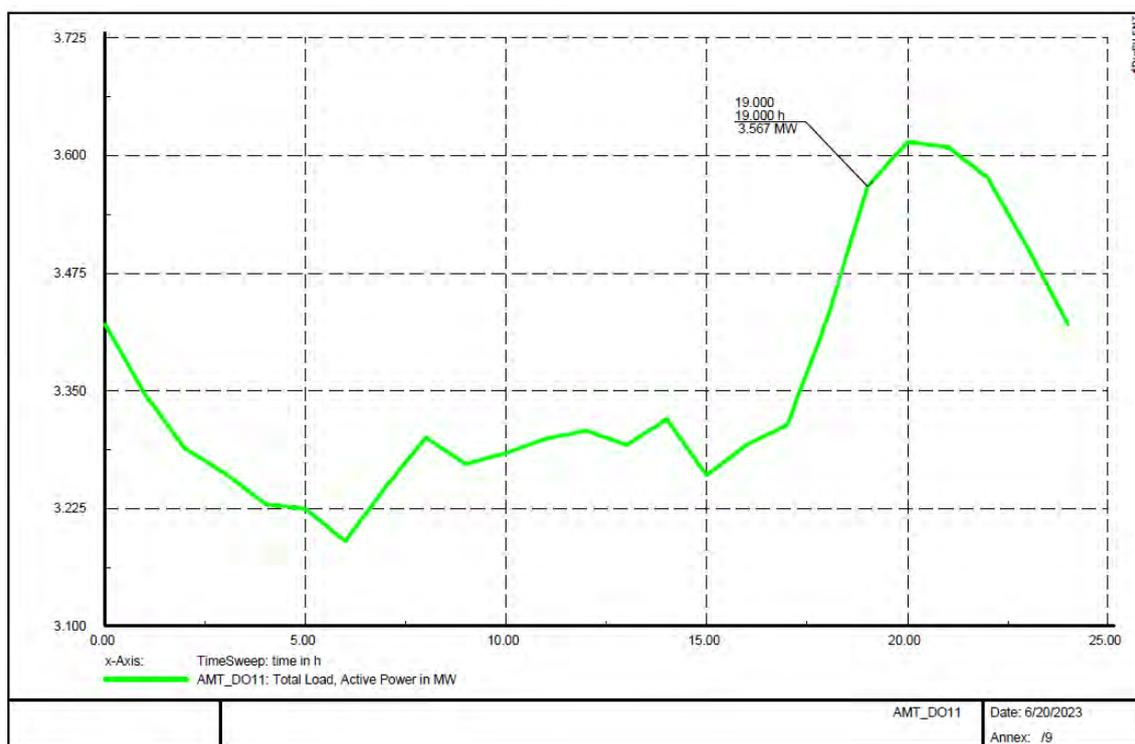


Fuente: Elaboración propia – DigSilent Power Factory

A continuación, se muestra la curva característica del comportamiento de la demanda del sistema eléctrico de un día particular (27 de abril del 2028), figura 5.6

Figura 5.6

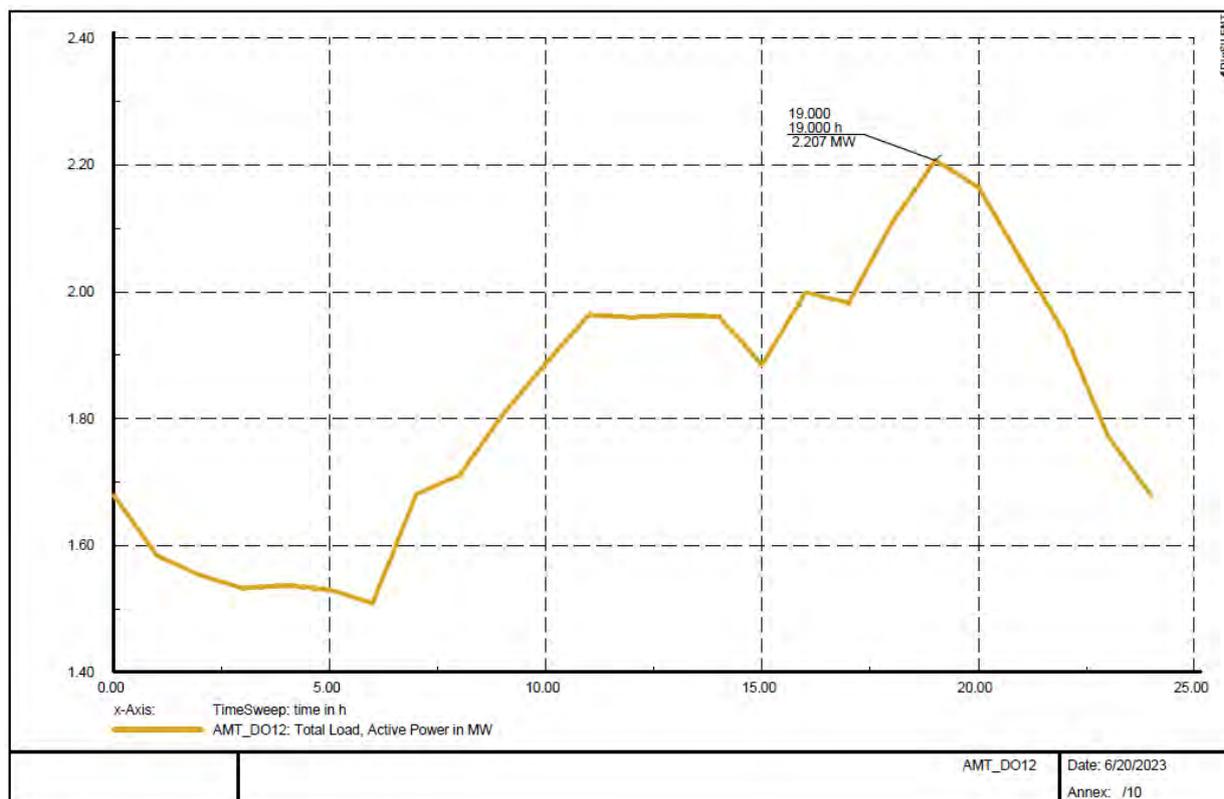
Curva característica de la Demanda-AMT D11



**Fuente:** Elaboración propia – DigSilent Power Factory

Figura 5.7

Curva característica de la Demanda-AMT D12



**Fuente:** Elaboración propia – DigSilent Power Factory

De los resultados obtenidos con la simulación, se puede apreciar que la cargabilidad no supera el 55% de su capacidad nominal del conductor.

Tabla 5.2.

Máx. Cargabilidad de los AMT en 10.5kV

Red	AMT	Max. Cargabilidad %	Corriente Nominal (A)
DO09_Troncal	DO09	54.52	338
DO11_Troncal	DO11	47.99	450
DO03_Troncal	DO03	37.65	338
DO12_Troncal	DO12	27.84	450
DO04_Troncal	DO04	21.05	338

**Fuente:** Elaboración propia-Base de Datos del Centro de Control ELSE 202

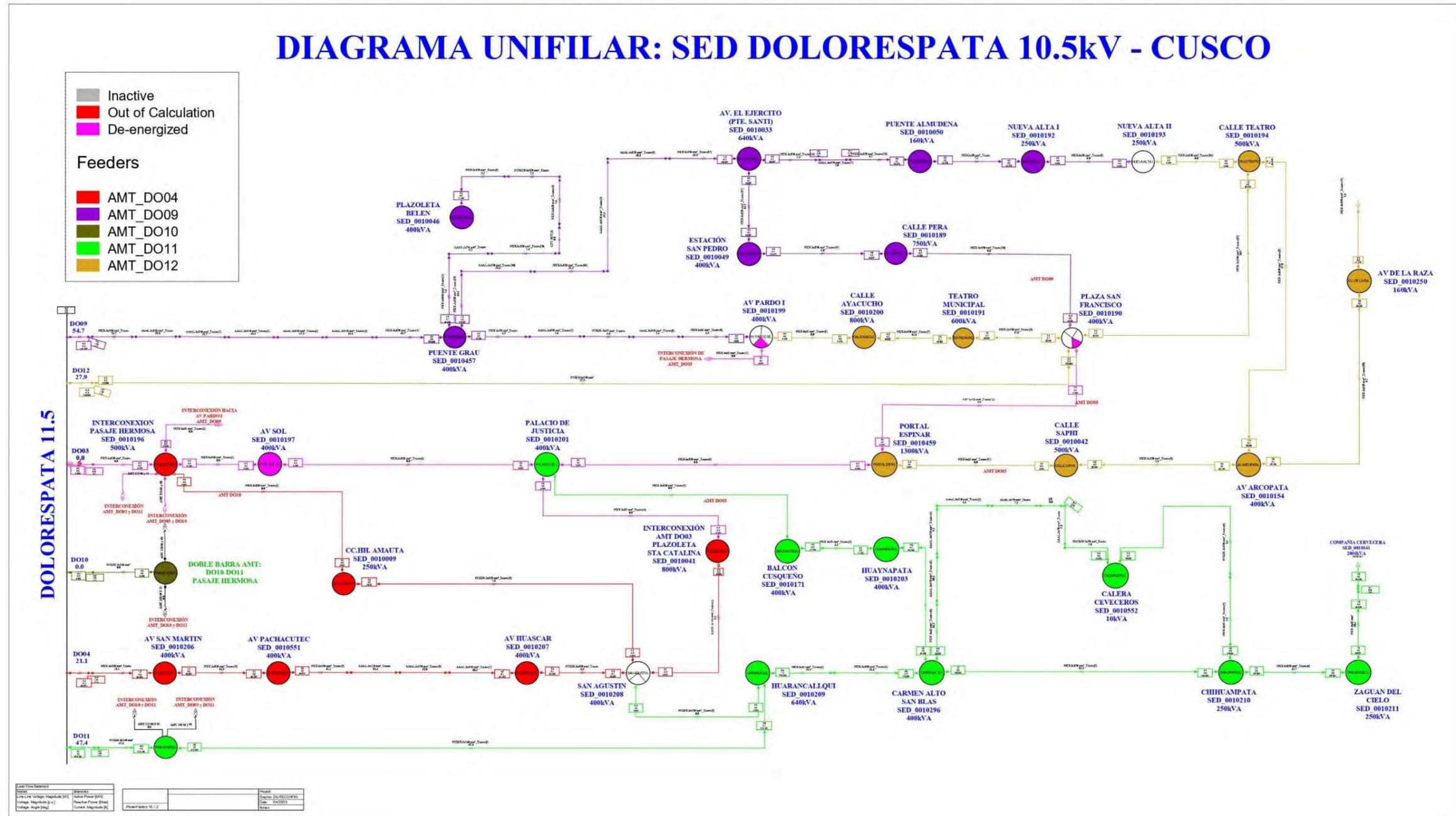
### **5.3.2 Análisis de Contingencias ante Eventos/Fallas en la Red**

Después de un análisis de la cargabilidad en el Capítulo V, subíndice 5.3.1. con el software DigSilent Power Factory, se realizaron los siguientes escenarios de contingencias:

#### ***5.3.2.1 Escenario Nro. 01: Salida del AMT DO03\_Troncal***

Se produce una Falla en la troncal del AMT DO03, dejando sin servicio a todo el alimentador de media tensión en 10.5kV, figura 5.8

Figura 5.8.  
Falla en el AMT DO03

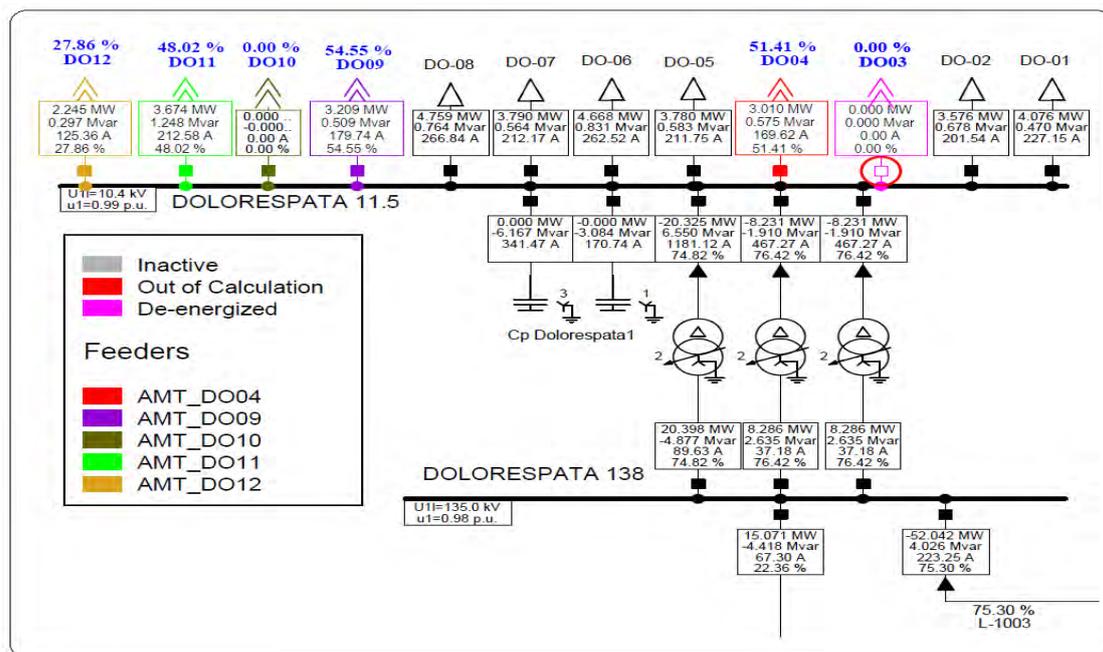


Fuente: Elaboración propia – DigSilent Power Factory

En este escenario se hace una transferencia de carga del alimentador DO03 al DO04 por tener una interconexión en la subestación CC.HH. Amauta, figura 5.8, además, se aprecia que el alimentador DO04 tiene una cargabilidad del 51.41%, figura 5.9

Figura 5.9

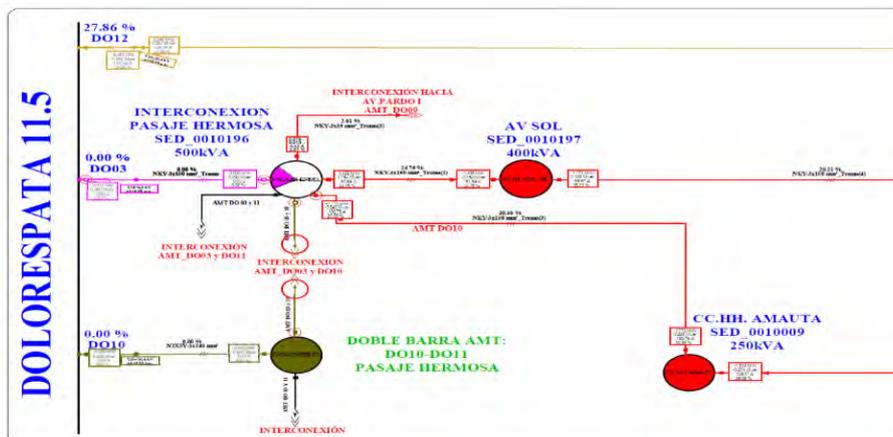
Transferencia de Carga hacia el AMT-DO04



Fuente: Elaboración propia – DigSilent Power Factory

Figura 5.10

Maniobra-Transferencia de Carga hacia el AMT-DO04



Fuente: Elaboración propia – DigSilent Power Factory

Finalmente se aprecia el reporte emitido por el software, figura 5.11, donde se detallan los parámetros del sistema eléctrico proyectado.

Figura 5.11

Reporte emitido por el Software

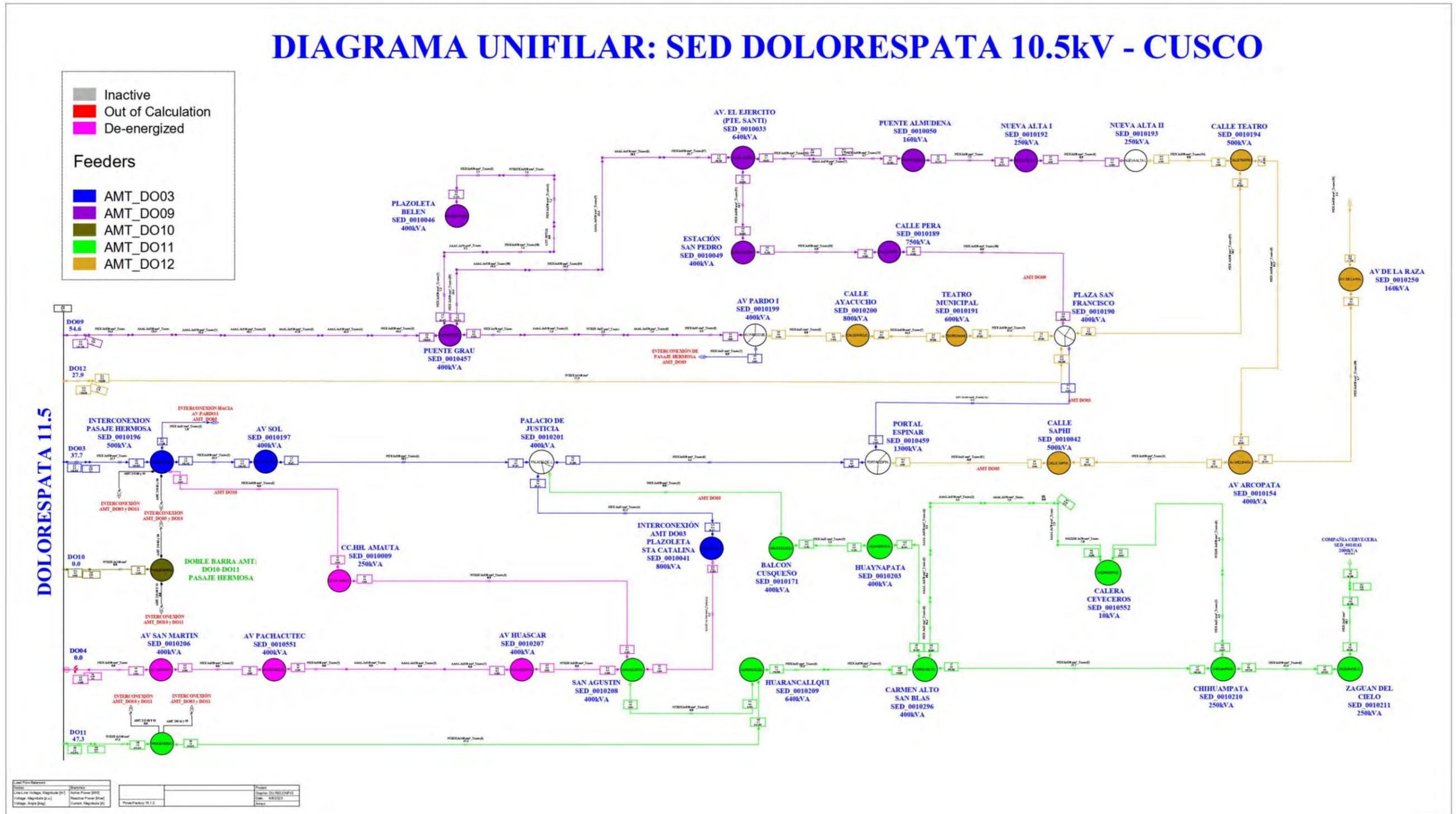
Load Flow Calculation							Feeder
AC Load Flow, balanced, positive sequence			Automatic Model Adaptation for Convergence	No			
Automatic Tap Adjust of Transformers	Yes		Max. Acceptable Load Flow Error for				
Consider Reactive Power Limits	Yes		Nodes	0.10 kVA			
			Model Equations	0.10 %			
			DigSILENT	Project:			
			PowerFactory				
			15.1.2	Date: 6/4/2023			
Study Case: 04_RECONFIG-PROYEC 2026				Annex:	/ 1		
Name	First Branch	Input Current [A ]	Total Load [MW]	Generation [MW]	Losses [MW]	Max.Loading [%]	Minimum Voltage [p.u.]
AMT_DO03	DO03	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	-1.000
AMT_DO04	DO04	169.654	2.930	0.000	0.080	51.41	0.000
AMT_DO12	DO12	125.365	2.210	0.000	0.035	54.55	0.938
AMT_DO10	DO10	0.005	0.000	0.000	0.000	0.00	0.000
AMT_DO11	DO11	212.595	3.534	0.000	0.101	48.22	0.000
AMT_DO09	DO09	179.917	3.154	0.000	0.056	27.86	0.974

**Fuente:** Elaboración propia – DigSilent Power Factory

### 5.3.2.2 Escenario de Contingencia Nro. 02: Salida del AMT DO04\_Troncal

Se produce una Falla en la troncal del AMT DO04, dejando sin servicio a todo el alimentador de media tensión en 10.5kV, figura 5.12

Figura 5.12  
Falla en el AMT DO04

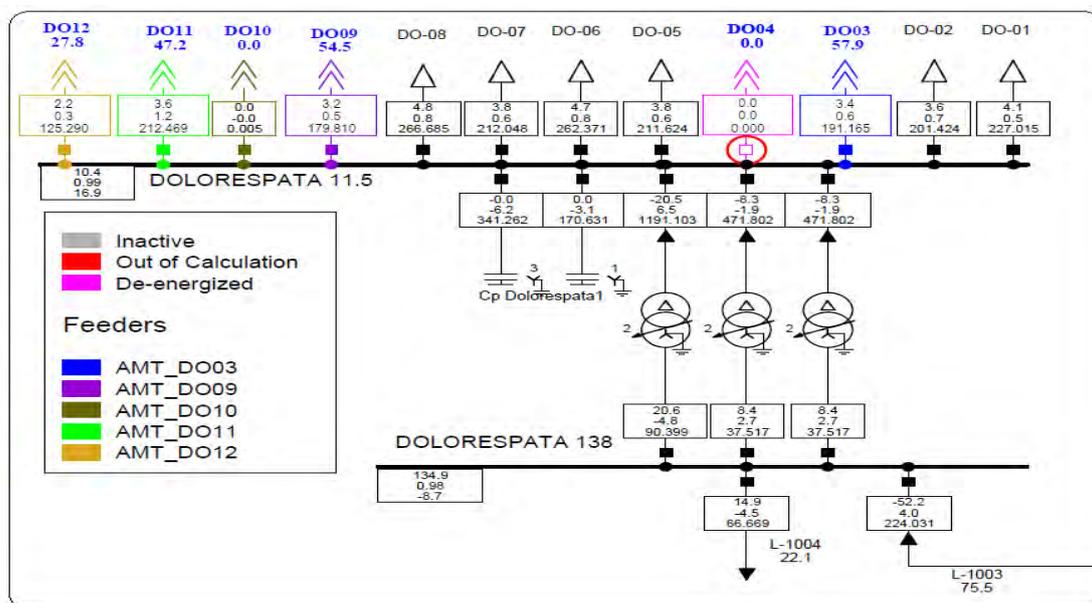


Fuente: Elaboración propia – DigSilent Power Factory

En este escenario se hace una transferencia de carga del AMT DO04 al DO03 por tener una interconexión en la subestación PLAZOLETA SANTA CATALINA SED\_0010041, figura 5.14, además, se aprecia que el alimentador DO03 tiene una cargabilidad del 57.9%, figura 5.13

Figura 5.13

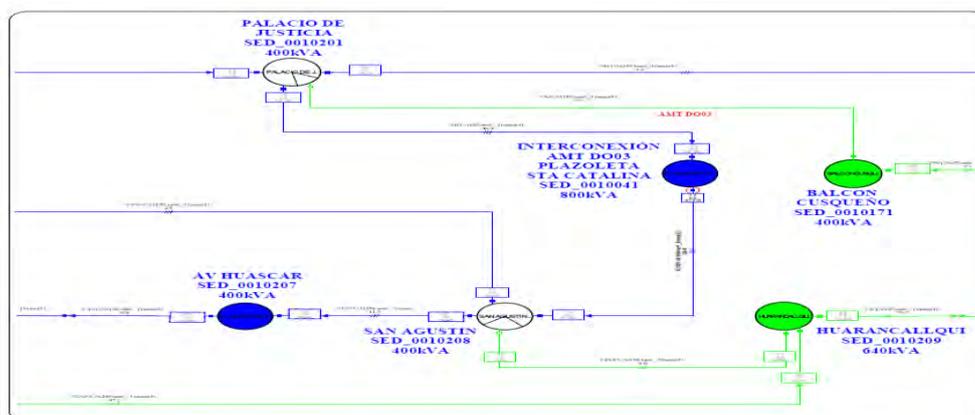
Transferencia de Carga hacia el AMT-DO04



Fuente: Elaboración propia – DigSilent Power Factory

Figura 5.14

Maniobra-Transferencia de Carga hacia el AMT-DO03



Fuente: Elaboración propia – DigSilent Power Factory

Se puede apreciar el reporte emitido por el software figura 5.15, donde se detallan los parámetros del sistema eléctrico proyectado.

Figura 5.15

Reporte emitido por el Software

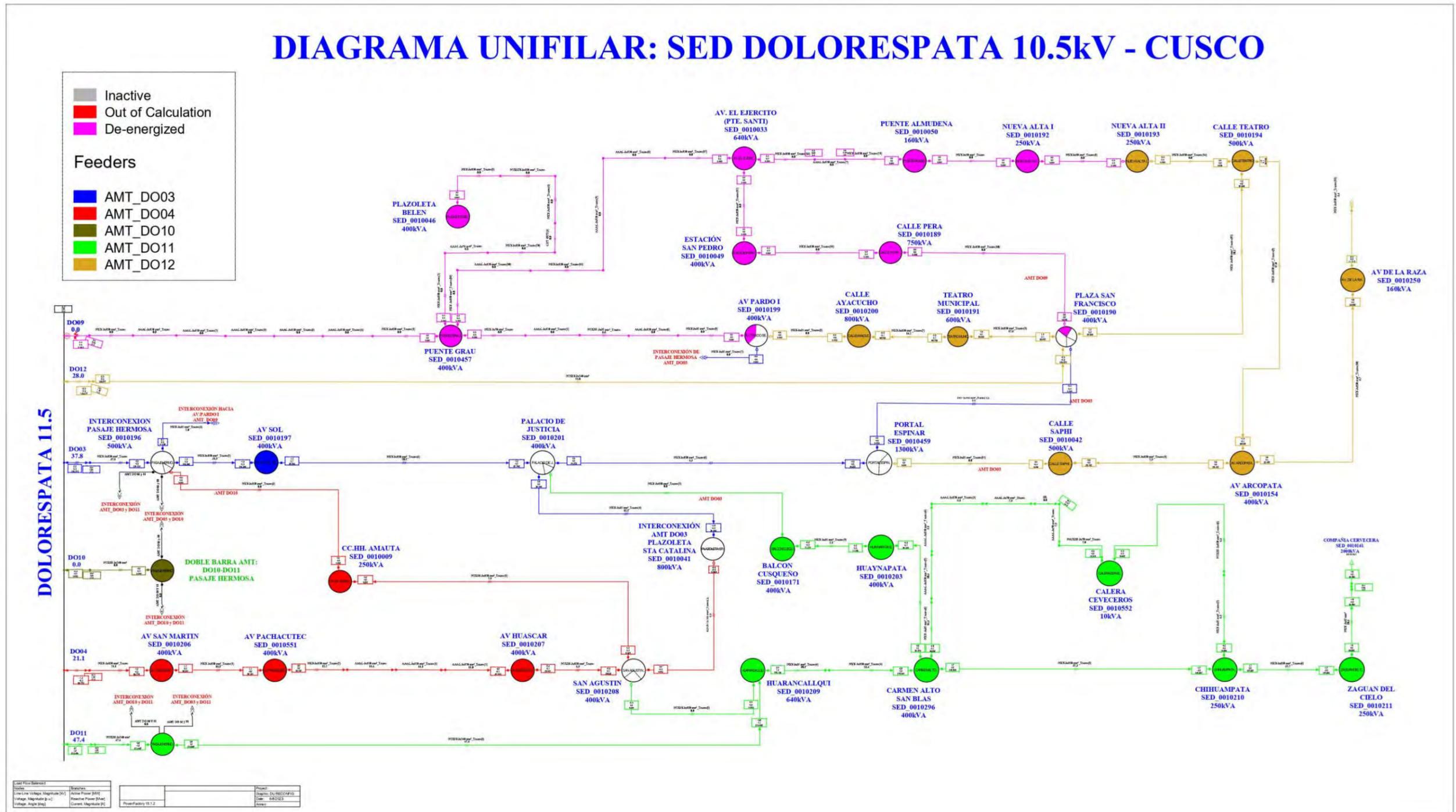
Load Flow Calculation							Feeder
AC Load Flow, balanced, positive sequence			Automatic Model Adaptation for Convergence			No	
Automatic Tap Adjust of Transformers			Yes	Max. Acceptable Load Flow Error for			
Consider Reactive Power Limits			Yes	Nodes	0.10 kVA		
				Model Equations	0.10 %		
				DigSILENT	Project:		
				PowerFactory	Date: 6/6/2023		
				15.1.2			
Study Case: 04_RECONFIG-PROYEC 2026					Annex: / 1		
Name	First Branch	Input Current [A]	Total Load [MW]	Generation [MW]	Losses [MW]	Max.Loading [%]	Minimum Voltage [p.u.]
AMT_DO03	DO03	191.165	3.297	0.000	0.093	57.90	0.963
AMT_DO04	DO04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	-1.000
AMT_DO12	DO12	125.290	2.207	0.000	0.035	54.50	0.937
AMT_DO10	DO10	0.005	0.000	0.000	0.000	0.00	0.993
AMT_DO11	DO11	212.469	3.530	0.000	0.101	47.20	0.000
AMT_DO09	DO09	179.810	3.150	0.000	0.056	27.80	0.973

**Fuente:** Elaboración propia – DigSilent Power Factory

### 5.3.2.3 Escenario de Contingencia Nro. 03: Salida del AMT DO09\_Troncal

Se produce una Falla en la troncal del AMT DO09, dejando sin servicio a todo el alimentador de media tensión en 10.5kV, figura 5.16

Figura 5.16  
Falla en el AMT DO09

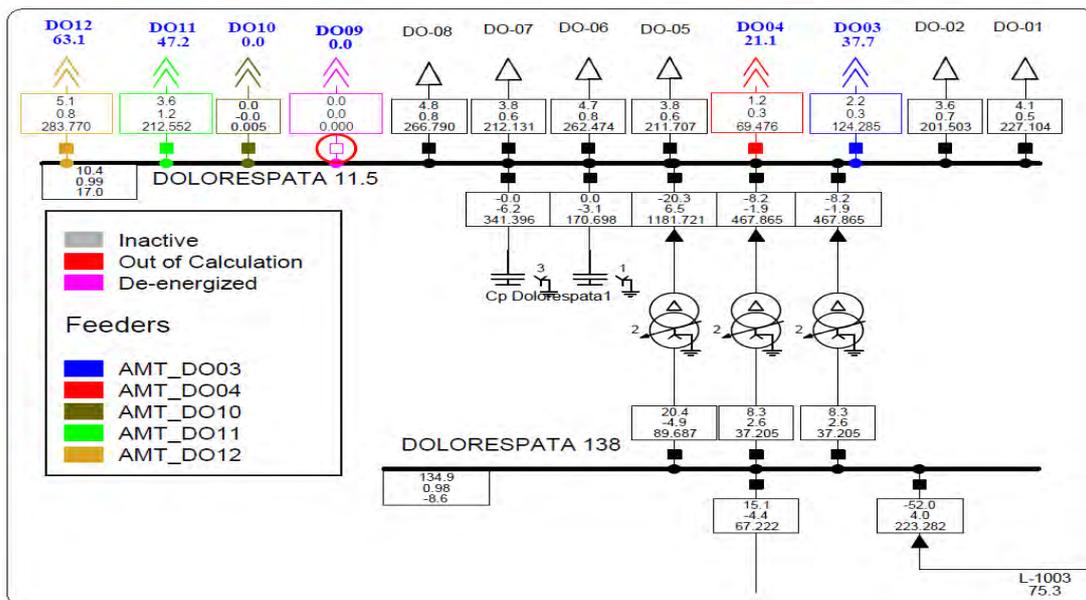


Fuente: Elaboración propia – DigSilent Power Factory

En este escenario se hace una transferencia de carga del AMT DO09 al DO12 por tener una interconexión en la subestación AV. PARDO I, SED\_0010199, figura 5.16, además, se aprecia que el alimentador DO12 tiene una cargabilidad del 63.1%, figura 5.17

Figura 5.17

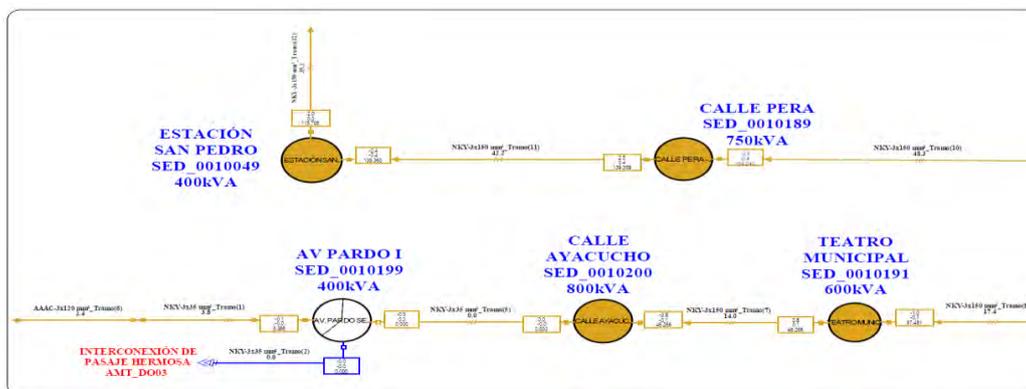
Transferencia de Carga hacia el AMT-DO12



Fuente: Elaboración propia – DigSilent Power Factory

Figura 5.18

Maniobra-Transferencia de Carga hacia el AMT-DO12



Fuente: Elaboración propia – DigSilent Power Factory

Se puede apreciar el reporte emitido por el software figura 5.19, donde se detallan los parámetros del sistema eléctrico proyectado.

Figura 5.19

Reporte emitido por el Software

Load Flow Calculation							Feeder
AC Load Flow, balanced, positive sequence				Automatic Model Adaptation for Convergence		No	
Automatic Tap Adjust of Transformers	Yes			Max. Acceptable Load Flow Error for			
Consider Reactive Power Limits	Yes			Nodes		0.10 kVA	
				Model Equations		0.10 %	
				DigSILENT	Project:		
				PowerFactory			
				15.1.2	Date: 6/6/2023		
Study Case: 04_RECONFIG-PROYEC 2026						Annex:	/ 1
Name	First Branch	Input Current [A]	Total Load [MW]	Generation [MW]	Losses [MW]	Max. Loading [%]	Minimum Voltage [p.u.]
AMT_DO03	DO03	124.285	2.182	0.000	0.037	37.70	0.979
AMT_DO04	DO04	69.476	1.199	0.000	0.024	21.10	0.985
AMT_DO12	DO12	283.770	4.956	0.000	0.104	63.10	0.932
AMT_DO10	DO10	0.005	0.000	0.000	0.000	0.00	0.993
AMT_DO11	DO11	212.552	3.532	0.000	0.101	47.20	0.000
AMT_DO09	DO09	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	-1.000

**Fuente:** Elaboración propia – DigSilent Power Factory

Finalmente se observa que, al realizar las transferencias de carga de un alimentador a otro, nos evidencia una cargabilidad considerable, la cual está por debajo del 65% de su capacidad nominal de operación de los alimentadores en estudio, tabla 5.3.

Tabla 5.3.

Cargabilidad ante una Contingencia

Cargabilidad de los AMT en Estudio ante una Contingencia								
Caso de estudio: Día particular							Fecha:	27/04/2028
Casos de Estudio	Nombre	AMT	Corriente (A)	Demanda (MW)	Perdidas (MW)	Máx. Cargabilidad (%)	Voltaje (p.u.)	
Escenario Nro. 01	AMT_DO03	DO03	191.17	3.30	0.09	57.91	0.949	
Escenario Nro. 02	AMT_DO04	DO04	169.62	3.01	0.08	51.41	0.939	
Escenario Nro. 03	AMT_DO12	DO09	283.77	4.96	0.10	63.10	0.949	

**Fuente:** Elaboración propia-DigSilent Power Factory

#### 5.4 Análisis de Resultados

Con la reconfiguración de la red propuesta, se logró evaluar las condiciones operativas proyectadas al año 2028, a continuación, evidenciamos los más importantes:

- a) De acuerdo a la memoria anual, indica que la tasa de crecimiento de la demanda es 5.89%, respecto al año anterior, además, con el uso de la ecuación matemática (2.7) se determinó la proyección de la demanda al año 2028, tabla Nro. 5.1.
- b) Para poder realizar la evaluación de la cargabilidad proyectadas al año 2028, fue necesario el cálculo del Factor de Escalamiento (1.25724464), con este dato se pudo realizar el modelamiento de la demanda proyectada. Además, del resultado de contingencias se obtuvo resultados adecuados de cargabilidad los cuales están dentro de los rangos permisibles de operación, como se muestra en la tabla Nro. 5.3.

## 6 Validación de Variables

### 6.1 Generalidades

En el presente capítulo, se describe la validación de los indicadores de cada variable establecidas en el desarrollo de la tesis.

### 6.2 Variable Independiente (Cargabilidad)

Se define a la cargabilidad “como la cantidad máxima de potencia eléctrica que se puede enviar a través de una o de un conjunto de líneas, manteniendo las condiciones operativas del sistema” (Taday Alvarez, 2016).

#### 6.2.1 Indicadores

Para poder medir los indicadores de la variable independiente se obtuvo la *recolección datos* de la oficina del Centro de Control de la empresa concesionaria ELSE.

##### 6.2.1.1 Potencia (VA)

###### a) Análisis de Datos

Del análisis de datos se logró identificar un crecimiento exponencial de la potencia (cargabilidad), identificando los AMT en estudio DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV, tal como se evidencio en la figura 1.2.

###### b) Resultados

Se logro disminuir la potencia (cargabilidad) de los AMT a través de la reconfiguración de la red en estudio, según tabla 4.6, validando el indicador Nro. 01

### **6.2.1.2 Corriente (A)**

#### *a) Análisis de Datos*

Del análisis de datos se logró identificar la capacidad máxima del conductor, evaluando los rangos de operación de la red, tal como se evidencio en la figura 4.15

#### *b) Resultados*

Con la reconfiguración propuesta se logró disminuir la corriente en las troncales de los AMT, según la figura 4.16, validando el indicador Nro. 02

### **6.2.1.3 Tensión (V)**

#### *a) A.1 Análisis de Datos*

Según la norma estipula que la tolerancia de los niveles de tensión debe estar en un rango de  $\pm 5\%$  de operación.

#### *b) Resultados*

Con la reconfiguración propuesta se logró mejorar los niveles de tensión en los extremos de la red, mejorando un 2% los niveles de tensión según las figura 4.18, validando el indicador Nro. 03

## **6.3 Variable Dependiente (Reconfiguración de la Red)**

Se define a “La reconfiguración de las redes de distribución como una mejora que emplea las características de la topología de dichas redes, para modificarla, y así reducir las pérdidas eléctricas y reducir el número de clientes afectados por una falla. Las redes de distribución se operan radiales y se construyen malladas, por lo tanto, es posible intercambiar carga entre un alimentador y otro, hasta obtener un punto de operación adecuado (Lisan & González, 2012).

### **6.3.1 Indicadores**

Para poder medir los indicadores de la variable dependiente se tuvo que analizar y evaluar los planos eléctricos y diagramas unifilares de la topología de la red, obtenidos de la oficina del Centro de Control de la empresa concesionaria ELSE

#### **6.3.1.1 *Numero de Interconexiones***

##### *a) Análisis de Datos*

Según la topología de la red, se verifica el número de interconexiones de cada alimentador de media tensión, para poder realizar la reconfiguración de la red eléctrica.

##### *b) Resultados*

Se logró identificar el número de interconexiones, para realizar la reconfiguración de la red en cada alimentador, que mejore la operatividad del sistema, según la figura 4.5, validando este indicador

#### **6.3.1.2 *Numero de Alimentadores***

##### *a) Análisis de Datos*

Según los diagramas unifilares de la red, se identifica la cantidad de alimentadores dentro y fuera de operación.

##### *b) Resultados*

Se logró incorporar nuevos alimentadores a la red (DO10, DO11 y DO12), reconfigurando la red en estudio, mejorando la operatividad del sistema, según la figura

## Conclusiones

**CG.** Para mejorar la cargabilidad de los alimentadores de media tensión de la SE Dolorespata, se realizó una reconfiguración de la red eléctrica, incorporando nuevos alimentadores, obteniendo una reducción aproximada del 50% de la cargabilidad en los alimentadores DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV, siendo estos los que evidenciaron mayor cargabilidad en los registros obtenidos años anteriores de ELSE.

**CE1.** Al realizar la evaluación de la cargabilidad se determinó que los niveles de operatividad de los alimentadores DO03, DO04 y DO09 en 10.5kV están con valores por encima del 78% y llegando hasta un 106%, en máxima demanda.

**CE2.** Habiendo realizado una evaluación de cargabilidad en los alimentadores en estudio, se realizó la reconfiguración e incorporación de los alimentadores DO10, DO11 y DO12 en 10.5kV, obteniendo resultados positivos con una reducción del 50% de cargabilidad en los alimentadores DO03, DO04 y DO09.

**CE3.** Se determinó que la tasa de crecimiento de la demanda respecto al año anterior fue de 5.89%. Con este dato se logró el factor de escalamiento para el modelamiento de la demanda al año 2028 (Factor de escalamiento 1.257224464). Con la reconfiguración de la red se realizó la evaluación de cargabilidad al año 2028, obteniendo valores de cargabilidad del 21.05 al 54.52%, estando dentro del rango de operación.

## **Recomendaciones**

1. Se recomienda a ELSE el cambio de los conductores de media tensión de los alimentadores DO03, DO04 y DO9, específicamente a los circuitos subterráneos los cuales tiene una antigüedad mayor a los 30 años de operación.
2. Se recomienda a ELSE desarrollar estudios de cargabilidad para el resto de alimentadores comprendidos en la SE Dolorespata, para garantizar el suministro de energía por el crecimiento de la Demanda en la Ciudad del Cusco.
3. Se recomienda a ELSE la incorporación y reconfiguración de los AMT DO10, DO11 y DO12, para equilibrar la cargabilidad del sistema eléctrico.

## Bibliografía

- Avalos Mesicano, P., & Farfan Canahua, R. (2019). *Optimización del Nivel de Confiabilidad de los Alimentadores de Media Tensión QU-02 y Qu-03 en 10.5kV con su Operación en Anillo y Propuesta de Nuevos Ajustes de Protección*. Cusco.
- Castañeda, C. (2006). *Análisis y planeamiento del sistema eléctrico de distribución a 34.5 KV del sistema de transmisión regional de la zona centro y norte del departamento de Casanare*. Bogotá: Manizales.
- (2019). *Catálogo: Instalaciones de Transmisión en Alerta Tercer Trimestre*.
- Código Nacional de Eléctricación. (2011). *CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD (SUMINISTRO 2011)*.
- Conite de operación económica del sistema interconectado nacional COES. (2022). *Plan de restablecimiento del SEIN*.
- Diario Oficial el Peruano. (2018). *NORMA TÉCNICA DE CALIDAD DE LOS SERVICIOS ELÉCTRICOS RURALES*. Diario Oficial el Peruano.
- Electro Sur Este S.A.A. (2023). *SISTEMA DE GESTIÓN DE ENERGÍA*. <https://ion.else.com.pe/ion/>
- Electro Sur Este, S. (2022). *Memoria Anual 2022*. Cusco.
- Gancino b, & Gancino Bustillos, H. (11 de 2020). *ANÁLISIS DE CARGABILIDAD DE REDES ELÉCTRICAS*. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19417/1/UPS%20-%20TTS208.pdf>

- Gomez Carrion, J. (2010). Parámetros de la Línea de Transmisión. <https://prezi.com/bvse4jjwxsr2/parametros-de-la-linea-de-transmision/>
- Grainger, J., & Stevenson, W. (2002). *Ánàlisis de Sistemas de Potencia*. México: LITOGRAFICA INGRAMEX.
- Granada, J. (2021). *Redes radiales y en anillo*. <https://automatismoindustrial.com/curso-carnet-instalador-baja-tension/e-redes-aereas/generalidades-en-redes-aereas/redes-radiales-y-en-anillo/>
- INDECO, & S.A. (2020). *CATALOGO DE SECCIONES DE ALAMBRE DE COBRE*.
- Lisan, J., & González, E. (Setiembre de 2012). *Algoritmo heurístico para la reconfiguración de sistemas de distribución mediante intercambio de ramas*.
- Montoya Montoya, E. (2008). *Estudio estocástico de cargabilidad en líneas de transmisión*. México.
- Montoya, E. (2008). *Estudio estocastico de cargabilidad en líneas de transmisión*.
- Narvaez Pérez, C., & Garcia Cornejo, D. (2008). Sistema de cálculo de cargabilidad de líneas de transmisión en sistemas eléctricos de potencia. *CIINDET*, 10.
- Norma DGE-091. (2002). *Norma DGE/091 - Terminologia en electricidad*.
- Operación de Distribución. (2020). Operación de Distribución Eléctrica. [https://es.wikipedia.org/wiki/Ca%C3%ADda\\_de\\_tensi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Ca%C3%ADda_de_tensi%C3%B3n)
- Ramírez Castaño, S. (2004). *Protección de Sistemas Eléctricos*.
- Salazar Fonseca, I., & Torres Guerrero, G. (04 de 12 de 2015). *Reconfiguración multiobjetivo en sistemas de distribución primaria de energía*. Revista Chilena de

ingenieria: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v25n2/0718-3305-ingeniare-25-02-00196.pdf

- Soto Vasquez, A., & Mora Gutierrez, W. (2021). *Cargabilidad en líneas de transmisión PREZI*. [https://prezi.com/vi0o7vdl\\_moz/cargabilidad-en-lineas-de-transmision/](https://prezi.com/vi0o7vdl_moz/cargabilidad-en-lineas-de-transmision/)
- Taday Alvarez, C. A. (2016). *Análisis de la demanda eléctrica del sistema de distribución de bajo voltaje para determinar la cargabilidad del sistema eléctrico*.
- Torobeo Palomino, S., & Flores Turpo, S. (2021). *ANÁLISIS DE CARGABILIDAD EN MT DEL ALIMENTADOR DO-04 DE LA CIUDAD DEL CUSCO PROYECTADO AL AÑO 2025*. Cusco: UNSAAC.
- Vera Lopez, D., & Puma Polanco, G. (2019). *Estudio de la Cargabilidad en las Redes del AMT QU04 con la Incorporación de Vehículos Eléctricos en la Ciudad del Cusco Proyectado desde el año 2018 al 2022*. Cusco.

## ANEXOS:

- 3.2.2\_Relación de Subestaciones AMT\_ DO03, DO04 y DO09
- 3.1.1\_ Resolución de la Comisión de Tarifas Eléctricas Nro. 024-97 P-CTE
- 3.2.2\_ Máxima Demanda 2016-2022 Base de Datos Centro de Control
- 4.3.2.1\_ DU DO03-reconfiguración
- 4.3.2.2\_ DU DO04\_ reconfiguración
- 4.3.2.4\_ DU DO10-reconfiguración
- 4.3.1.5\_ DU DO11\_ reconfiguración
- 4.3.1.6\_ DU DO12\_ reconfiguración
- 5.3.1\_ Perfil de Voltaje-AMT\_ DO03, DO04, DO09
- 3.4.1.1\_ Curva Característica de un día particular-DO03, DO04 y DO09
- 3.3.2\_ SOLICITUD DE ACCESO AL CENTRO DE CONTROL-ELSE
- 3.3.2\_ Oficio\_ Centro de Control 001-2023-FD
- 3.2.3\_ Diagrama unifilar ELSE-Cusco
- 4.4\_ DU Reconfiguración de la Red Propuesta-ELSE 2022
- Catálogo de conductor AAAC
- Catálogo de conductor COBRE DESNUDO
- Catálogo de conductor N2XSY
- Catálogo de conductor NYY
- Catalogo NKY

**ALIMENTADORES DE MEDIA TENSIÓN: DO03, DO04 y DO09 EN 10.5kV DE LA S.E. DOLORESPATA**

NOMBRE SED	CODIGO TIPO SED	CODIGO TECNICO ALIM MT	TENSION PRIMARIO (kV)	TENSION SECUNDARIO (V)	POTENCIA INSTALADA (kW)	ETIQUETA	CODIGO TECNICO SED
PUEBLO LIBRE II AYAHUAYCO	MON	DO03	10.5	220	50	50kVA 10.5/0.22kV	10003
HOTEL SAVOY (Antes SUBESTACIÓN 0010006)	CAS	DO03	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	10006
BANCO DE LA NACION(Antes SUBESTACIÓN 0010010)	CAS	DO03	10.5	220	630	630kVA 10.5/0.22kV	10010
CALLE SAPHI	CAS	DO03	10.5	220	500	500kVA 10.5/0.22kV	10042
BANCO INTERNACIONAL(Antes SUBESTACIÓN 0010072)	CAS	DO03	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10072
HOTEL DON CARLOS(Antes SUBESTACIÓN 0010089)	CAS	DO03	10.5	220	75	75kVA 10.5/0.22kV	10089
HOSTAL ALHAMBRA	CAS	DO03	10.5	220	125	125kVA 10.5/0.22kV	10108
HOTEL PICOAGA	CAS	DO03	10.5	220	320	320kVA 10.5/0.22kV	10117
AV. ARCOPATA	CAS	DO03	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10154
BALCON CUSQUEÑO	CAS	DO03	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10171
MUSEO PRECOLOMBINO	CAS	DO03	10.5	220	50	50kVA 10.5/0.22kV	10172
PASAJE HERMOSA	CAS	DO03	10.5	220	500	500kVA 10.5/0.22kV	10196
AV. SOL	CAS	DO03	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10197
TELEFONICA DEL PERU (AV. SOL)	CAS	DO03	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10198
PALACIO DE JUSTICIA " A "(Antes SUBESTACIÓN 0010201)	CAS	DO03	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10201
HUAYNAPATA	CAS	DO03	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10203
SUNAT	CAS	DO03	10.5	220	160	160kVA 10.5/0.22kV	10204
MICHIPATA	BIP	DO03	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10308
HOTEL DORADO 0010310	CAS	DO03	10.5	220	200	200kVA 10.5/0.22kV	10310
PORTAL ESPINAR " A "	CAS	DO03	10.5	220	650	650kVA 10.5/0.22kV	10459
MUSEO INCA	CAS	DO03	10.5	380	100	100kVA 10.5/0.38kV	10472
HOTEL INVER. GENERALES LA UNION(Antes SUBESTACIÓN 0010550)	CAS	DO03	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	10550
AV. APURIMAC	BIP	DO03	10.5	220	50	50kVA 10.5/0.22kV	10560
INC SAPHI	CAS	DO03	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10818
CALLE ARRAYAN	COM	DO03	10.5	380	250	250kVA 10.5/0.38kV	11108
SACSAYHUAMAN PUEBLO	BIP	DO04	10.5	220	25	25kVA 10.5/0.22kV	10001
CONJ. HAB. AMAUTA	BIP	DO04	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	10009
MERCADO HUANCHAC	BIP	DO04	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	10012
FESTIVAL DE LA CERVEZA	CAS	DO04	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10027
PLAZOLETA STA. CATALINA	CAS	DO04	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10041
RADIO CUSCO	BIP	DO04	10.5	220	25	25kVA 10.5/0.22kV	10052
RADIO MUNDO	BIP	DO04	10.5	220	18	18kVA 10.5/0.22kV	10073
ATOCSAYCUCHI	BIP	DO04	10.5	220	160	160kVA 10.5/0.22kV	10090
SUYTUCCATU	BIP	DO04	10.5	220	80	80kVA 10.5/0.22kV	10091
HOTEL LIBERTADOR I	CAS	DO04	10.5	220	500	500kVA 10.5/0.22kV	10109
COMPAÑIA CERVECERA	CAS	DO04	10.5	220	2000	2000kVA 10.5/0.22kV	10161
AV. SAN MARTIN (ENAFER)	CAS	DO04	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10206
AV. HUASCAR	CAS	DO04	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10207
SAN AGUSTIN	CAS	DO04	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10208
HUARANCALLQUI	CAS	DO04	10.5	220	640	640kVA 10.5/0.22kV	10209
CHIHUAMPATA	CAS	DO04	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	10210
ZAGUAN DEL CIELO	CAS	DO04	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	10211
CARMEN ALTO SAN BLAS	CAS	DO04	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10296
FAMILIA ARGUEDAS	BIP	DO04	10.5	220	50	50kVA 10.5/0.22kV	10312
SAN MARCOS	BIP	DO04	10.5	220	75	75kVA 10.5/0.22kV	10342
HOTEL SAN AGUSTIN	CAS	DO04	10.5	220	160	160kVA 10.5/0.22kV	10370

### 3.2.2\_Relación de Subestaciones de los AMT D003, D004 y D009

COLEGIO LA SALLE	CAS	D004	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	10371
PERU HOTEL	CAS	D004	10.5	220	300	300kVA 10.5/0.22kV	10372
COMUNIDAD TAMBOMACHAY	MON	D004	10.5	220	50	50kVA 10.5/0.22kV	10410
SAPANTIANA SACSAYHUAMAN	BIP	D004	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10427
SUBESTACIÓN 0010428	BIP	D004	10.5	220	25	25kVA 10.5/0.22kV	10428
BANCO WIESE	CAS	D004	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10489
HOTEL LIBERTADOR II	CAS	D004	10.5	220	640	640kVA 10.5/0.22kV	10534
HOTEL AYLLU	CAS	D004	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10535
AV. PACHACUTEC	CAS	D004	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10551
CALERA CERVECEROS	CAS	D004	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10552
CRIADERO DE AUNQUENIDOS - GOBIERNO REGIONAL	CAS	D004	10.5	220	25	25kVA 10.5/0.22kV	10561
COORPORACION HOTELERA CUSCO S.	CAS	D004	10.5	220	300	300kVA 10.5/0.22kV	10602
SUBESTACION SAPANTIANA II	BIP	D004	10.5	220	50	50kVA 10.5/0.22kV	10659
HOTEL JOSE ANTONIO	CAS	D004	10.5	220	300	300kVA 10.5/0.22kV	10672
MAQUICENTRO-UNSAAC	BIP	D004	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10699
ECCO INN HOTEL	CAS	D004	10.5	220	640	640kVA 10.5/0.22kV	10761
CHACAN	MON	D004	10.5	220	10	10kVA 10.5/0.22kV	10789
PUCARA	MON	D004	10.5	220	10	10kVA 10.5/0.22kV	10790
SALKANTAY	MON	D004	10.5	220	25	25kVA 10.5/0.22kV	10791
APV. VILLA SAN BLAS	MON	D004	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10976
HOTEL MARRIOT	CAS	D004	10.5	220	800	800kVA 10.5/0.22kV	10987
HOTEL MONASTERIO	CAS	D004	10.5	220	500	500kVA 10.5/0.22kV	10988
ZONA REGISTRAL N° X	COM	D004	10.5	220	75	75kVA 10.5/0.22kV	11053
MERCADO WANCHAQ II	BIP	D004	10.5	380	250	250kVA 10.5/0.38kV	11090
SED NUEVA N°04	BIP	D004	22.9	220	37.5	37.5kVA 22.9/0.22kV	11205
AMADEO REPETO III	BIP	D009	10.5	220	160	160kVA 10.5/0.22kV	10005
AMADEO REPETO I	BIP	D009	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10031
AV. EJERCITO (PTE.SANTIAGO)	CAS	D009	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10033
PLAZOLETA BELEN	CAS	D009	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10046
ESTACION SAN PEDRO	CAS	D009	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10049
PUENTE ALMUDENA	CAS	D009	10.5	220	160	160kVA 10.5/0.22kV	10050
AMADEO REPETO II(Antes SUBESTACIÓN 0010152)	BIP	D009	10.5	220	160	160kVA 10.5/0.22kV	10152
BANCO CONTINENTAL	CAS	D009	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	10153
3 DE OCTUBRE	CAS	D009	10.5	220	80	80kVA 10.5/0.22kV	10187
CALLE PERA	CAS	D009	10.5	220	500	500kVA 10.5/0.22kV	10189
PLAZA SAN FRANCISCO	CAS	D009	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10190
TEATRO MUNICIPAL	CAS	D009	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10191
NUEVA ALTA I	CAS	D009	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	10192
NUEVA ALTA II	CAS	D009	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	10193
CALLE TEATRO	CAS	D009	10.5	220	500	500kVA 10.5/0.22kV	10194
AV. PARDO I	CAS	D009	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10199
CALLE AYACUCHO	CAS	D009	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10200
EDIFICIO EL CARMEN	CAS	D009	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10337
PRODEIN (SAN ANDRES)	CAS	D009	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10341
HOTEL ROYAL INCA	CAS	D009	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10368
SIERVOS DEL TERCER MUNDO(Antes SUBESTACIÓN 0010384)	CAS	D009	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10384
PUENTE GRAU (AV. EJERCITO)	CAS	D009	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10457
BELEMPAMPA	BIP	D009	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10485
CALLE PAVITOS	BIP	D009	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	10488
TELEFONICA MOVILES S.A(Antes SUBESTACIÓN 0010559)	BIP	D009	10.5	220	75	75kVA 10.5/0.22kV	10559
AV. REGIONAL	BIP	D009	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	10593
MANZANAPATA	BIP	D009	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10597

Fuente: Base de Datos GIS-ELSE 2022

### 3.2.2\_Relación de Subestaciones de los AMT DO03, DO04 y DO09

AMADEO REPETO IV	MON	DO09	10.5	220	50	50kVA 10.5/0.22kV	10669
CENTRO DE CONVENCIONES CUSCO	CAS	DO09	10.5	220	100	100kVA 10.5/0.22kV	10700
EJERCITO PERA	BIP	DO09	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	10783
EL DORAL S.A.C.	CAS	DO09	10.5	220	160	160kVA 10.5/0.22kV	10831
ESQUINA AV. GRAU CON MATARA	BIP	DO09	10.5	220	160	160kVA 10.5/0.22kV	10912
ASOCIACIÓN DE COMERCIANTES EL GRAN PODER DE BELÉN	CAS	DO09	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	11047
PASEO DE LOS HEROES	COM	DO09	10.5	220	250	250kVA 10.5/0.22kV	11110
S.U. ESTACION DE SAN PEDRO	MON	DO09	22.9	220	75	75kVA 22.9/0.22kV	11234
C.C. TAHUANTINSUYO	CAS	DO09	10.5	220	400	400kVA 10.5/0.22kV	11241

Fuente: Base de Datos GIS-ELSE 2022

**RESOLUCIÓN DE LA COMISIÓN DE TARIFAS ELÉCTRICAS No. 024-97 P/CTE**

Lima, 14 de octubre de 1997

**LA COMISIÓN DE TARIFAS ELÉCTRICAS**

De conformidad con lo establecido en el Decreto Ley N° 25844, Ley de Concesiones Eléctricas y su Reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 009-93-EM y sus modificatorias; y

Estando a lo acordado por su Consejo Directivo en su Sesión 026-97 de fecha 14 de octubre de 1997;

**RESUELVE :**

**Artículo Primero:** Fijase **LAS OPCIONES TARIFARIAS Y LAS CONDICIONES DE APLICACIÓN** de las tarifas a clientes finales a que se refiere la Resolución No 023-97 P/CTE.

**A) DEFINICIONES**

Las definiciones señaladas en la presente Resolución son utilizables únicamente para los fines de aplicación de la misma.

**1) Clientes en Media (MT) y Baja Tensión (BT)**

Son clientes en media tensión (MT) aquellos que están conectados con su empalme a redes cuya tensión de suministro es superior a 1 kV (kV = kilo-voltio) y menor a 30 KV.

Son clientes en baja tensión (BT) aquellos que están conectados a redes cuya tensión de suministro es igual o inferior a 1 kV.

Los consumos de clientes en media tensión (MT) podrán ser medidos tanto en media como en baja tensión. En este último caso, se considerará un recargo por pérdidas de transformación, equivalente a un 2% para el sector típico 1 y de 2,5% para los otros sectores, en el monto total consumido en unidades de potencia y energía.

**2) Clientes con Tensiones de Suministro superiores a Media Tensión (MT)**

Las tarifas para aquellos clientes de servicio público de electricidad, cuyos suministros se efectúen en tensiones iguales o superiores a 30 kV, se obtendrán con la metodología y criterios regulados para los precios en barra según la resolución vigente de la Comisión de Tarifas Eléctricas.

**3) Horas de Punta (HP) y Fuera de Punta (HFP)**

Se entenderá por horas de punta (HP) el período comprendido entre las 18:00 y 23:00 horas de cada día de todos los meses del año, exceptuándose a solicitud del cliente, los días domingo, días de descanso que correspondan a feriados y feriados que coincidan con días de descanso, siempre y cuando el cliente asuma los costos de inversión para la medición adicional.

Se entenderá por horas fuera de punta (HFP) al resto de horas del mes no comprendidas en las horas de punta (HP).

**4) Demanda Máxima**

Se entenderá por demanda máxima al más alto valor de las demandas integradas en períodos sucesivos de 15 minutos, en el periodo de un mes. La demanda máxima anual es el mayor valor de las demandas máximas mensuales en el periodo de 12 meses consecutivos.

**5) Período de Facturación**

En general, el período de facturación es mensual y no podrá ser inferior a 28 días ni exceder los 33 días calendario.

**B) OPCIONES TARIFARIAS**

**1) Definición de las Opciones Tarifarias**

Las opciones tarifarias para clientes en media (MT) y baja tensión (BT) son las siguientes:

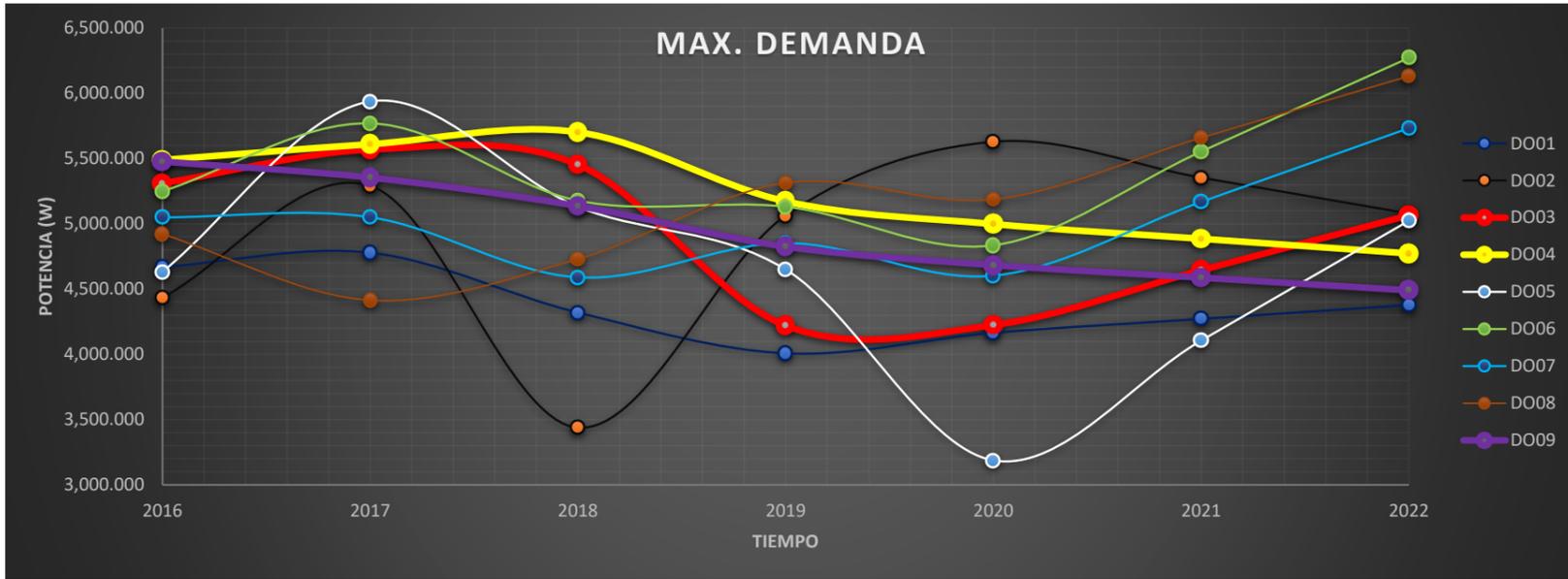
<b>MEDIA TENSIÓN</b>		
<b>OPCIÓN</b>	<b>MEDICION DEL SUMINISTRO</b>	<b>CARGOS DE FACTURACION</b>
<b>MT2</b>	<p>Medición de dos energías activas y dos potencias activas. 2E2P</p> <p>Energía : Punta y Fuera de Punta Potencia: Punta y Fuera de Punta</p>	<p>a) Cargo fijo mensual. b) Cargo por energía activa en horas de punta. c) Cargo por energía activa en horas fuera de punta. d) Cargo por potencia en horas de punta. e) Cargo por exceso de potencia en horas fuera de punta. f) Cargo por energía reactiva.</p>
<b>MT3</b>	<p>Medición de dos energías activas y una potencia activa. 2E1P</p> <p>Energía : Punta y Fuera de Punta Potencia: Máxima del mes</p> <p>Calificación de Potencia: P : Cliente presente en punta FP: Cliente presente en fuera de punta</p>	<p>a) Cargo fijo mensual. b) Cargo por energía activa en horas de punta. c) Cargo por energía activa en horas fuera de punta. d) Cargo por potencia. e) Cargo por energía reactiva.</p>
<b>MT4</b>	<p>Medición de una energía activa y una potencia activa. 1E1P</p> <p>Energía: Total del mes Potencia: Máxima del mes</p> <p>Calificación de Potencia: P : Cliente presente en punta. FP: Cliente presente en fuera de punta.</p>	<p>a) Cargo fijo mensual. b) Cargo por energía activa. c) Cargo por potencia. d) Cargo por energía reactiva.</p>

BAJA TENSIÓN		
OPCIÓN	MEDICION DEL SUMINISTRO	CARGOS DE FACTURACION
<b>BT2</b>	<p>Medición de dos energías activas y dos potencias activas. 2E2P</p> <p>Energía : Punta y Fuera de Punta Potencia: Punta y Fuera de Punta</p>	<p>a) Cargo fijo mensual</p> <p>b) Cargo por energía activa en horas de punta.</p> <p>c) Cargo por energía activa en horas fuera de punta.</p> <p>d) Cargo por potencia en horas de punta.</p> <p>e) Cargo por exceso de potencia en horas fuera de punta.</p> <p>f) Cargo por energía reactiva.</p>
<b>BT3</b>	<p>Medición de dos energías activas y una potencia activa. 2E1P</p> <p>Energía : Punta y Fuera de Punta Potencia: Máxima del mes</p> <p>Calificación de Potencia: P : Cliente presente en punta FP: Cliente presente en fuera de punta</p>	<p>a) Cargo fijo mensual.</p> <p>b) Cargo por energía activa en horas de punta.</p> <p>c) Cargo por energía activa en horas fuera de punta.</p> <p>d) Cargo por potencia.</p> <p>e) Cargo por energía reactiva.</p>
<b>BT4</b>	<p>Medición de una energía activa y una potencia activa. 1E1P</p> <p>Energía: Total del mes Potencia: Máxima del mes</p> <p>Calificación de Potencia: P : Cliente presente en punta. FP: Cliente presente en fuera de punta.</p>	<p>a) Cargo fijo mensual.</p> <p>b) Cargo por energía activa.</p> <p>c) Cargo por potencia.</p> <p>d) Cargo por energía reactiva.</p>
<b>BT5</b>	<p>Medición de energía activa total. 1E</p>	<p>a) Cargo fijo mensual.</p> <p>b) Cargo por energía activa.</p>
<b>BT6</b>	<p>Exclusivamente para casos especiales. 1P</p>	<p>a) Cargo fijo mensual.</p> <p>b) Cargo por potencia activa.</p>

3.3.2\_Máxima Demanda de los Alimentadores en Estudio Periodo 2016-2022

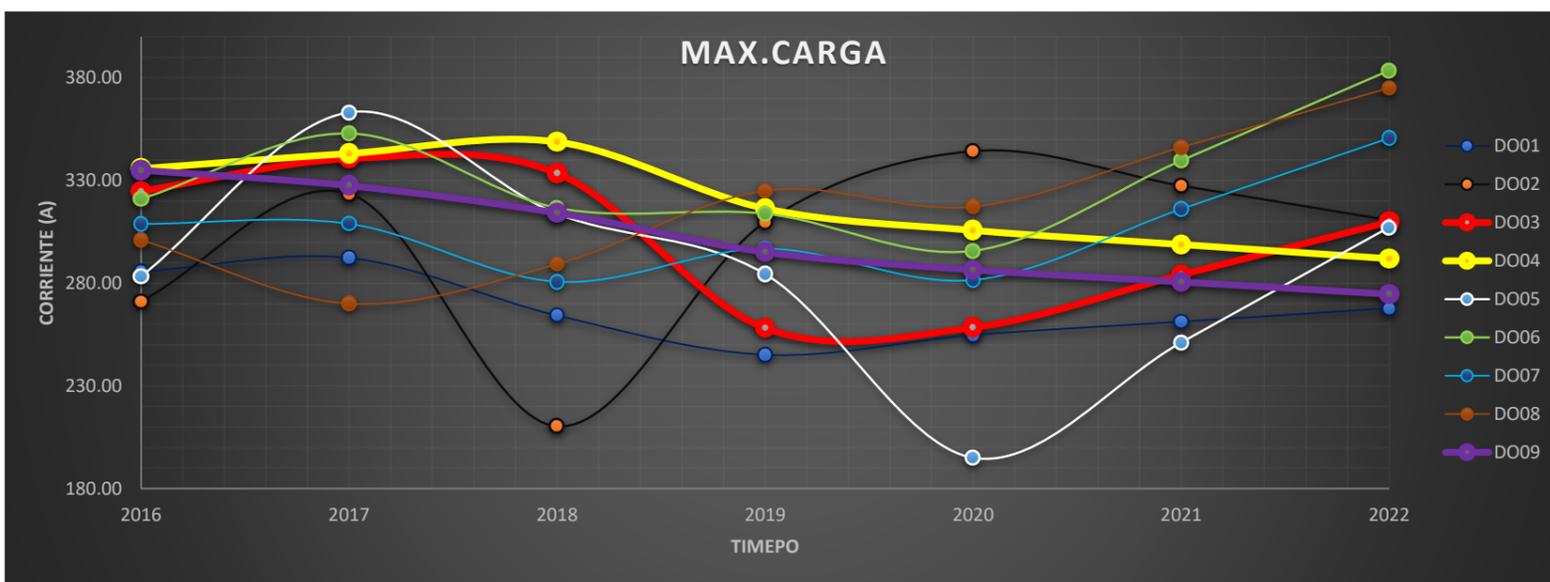
**DEMANDA MÁXIMA DE LA SE DOLORESPATA EN 10.5kV**

AÑOS	DO01	DO02	DO03	DO04	DO05	DO06	DO07	DO08	DO09
2016	4,669.933	4,433.882	<b>5,310.748</b>	<b>5,489.069</b>	4,632.252	5,248.553	5,049.354	4,921.574	<b>5,476.660</b>
2017	4,778.573	5,290.350	<b>5,568.461</b>	<b>5,609.929</b>	5,937.860	5,769.870	5,050.427	4,415.151	<b>5,354.130</b>
2018	4,320.191	3,438.054	<b>5,453.159</b>	<b>5,702.016</b>	5,130.635	5,177.359	4,589.789	4,730.324	<b>5,136.270</b>
2019	4,007.667	5,063.068	<b>4,219.915</b>	<b>5,172.013</b>	4,650.062	5,131.242	4,852.482	5,314.099	<b>4,824.906</b>
2020	4,164.902	5,628.771	<b>4,224.148</b>	<b>4,998.153</b>	3,187.724	4,835.297	4,602.517	5,187.885	<b>4,684.105</b>
2021	4,271.452	5,353.805	<b>4,644.610</b>	<b>4,885.559</b>	4,105.584	5,553.502	5,167.858	5,659.883	<b>4,587.209</b>
2022	4,378.002	5,078.838	<b>5,065.072</b>	<b>4,772.965</b>	5,023.444	6,271.707	5,733.199	6,131.881	<b>4,490.313</b>



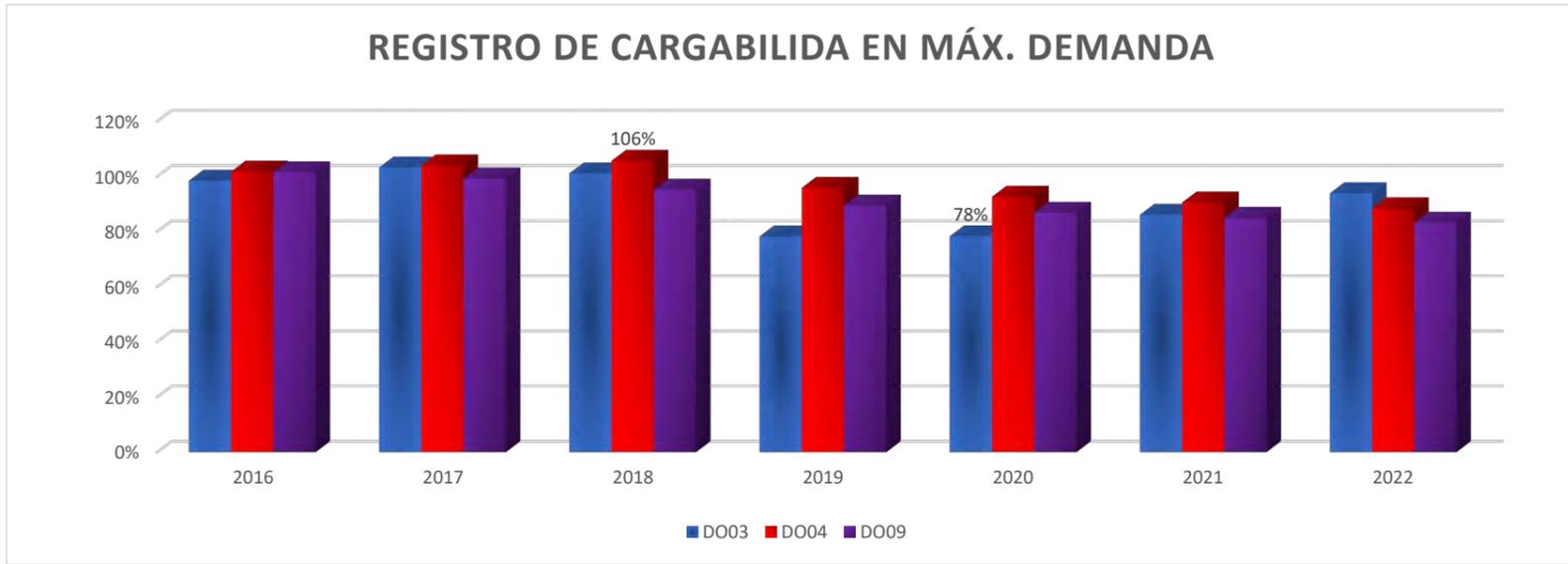
**MÁXIMA CORRIENTE**

Conductor	Cu_3x150mm <sup>2</sup>	Cu_3x240mm <sup>2</sup>	AAA_3x120mm <sup>2</sup>	AAA_3x120mm <sup>2</sup>	Cu_3x150mm <sup>2</sup>				
Corriente	330	330	330	330	330	435	348	348	330
AÑOS	DO01	DO02	DO03	DO04	DO05	DO06	DO07	DO08	DO09
2016	285.65	271.21	<b>324.85</b>	<b>335.75</b>	283.34	321.04	308.86	301.04	<b>334.99</b>
2017	292.29	323.60	<b>340.61</b>	<b>343.15</b>	363.21	352.93	308.92	270.06	<b>327.50</b>
2018	264.26	210.30	<b>333.56</b>	<b>348.78</b>	313.83	316.69	280.75	289.34	<b>314.17</b>
2019	245.14	309.70	<b>258.12</b>	<b>316.36</b>	284.43	313.87	296.82	325.05	<b>295.13</b>
2020	254.76	344.30	<b>258.38</b>	<b>305.73</b>	194.99	295.76	281.53	317.33	<b>286.52</b>
2021	261.27	327.48	<b>284.10</b>	<b>298.84</b>	251.13	339.69	316.11	346.20	<b>280.59</b>
2022	267.79	310.66	<b>309.82</b>	<b>291.95</b>	307.27	383.63	350.69	375.07	<b>274.66</b>

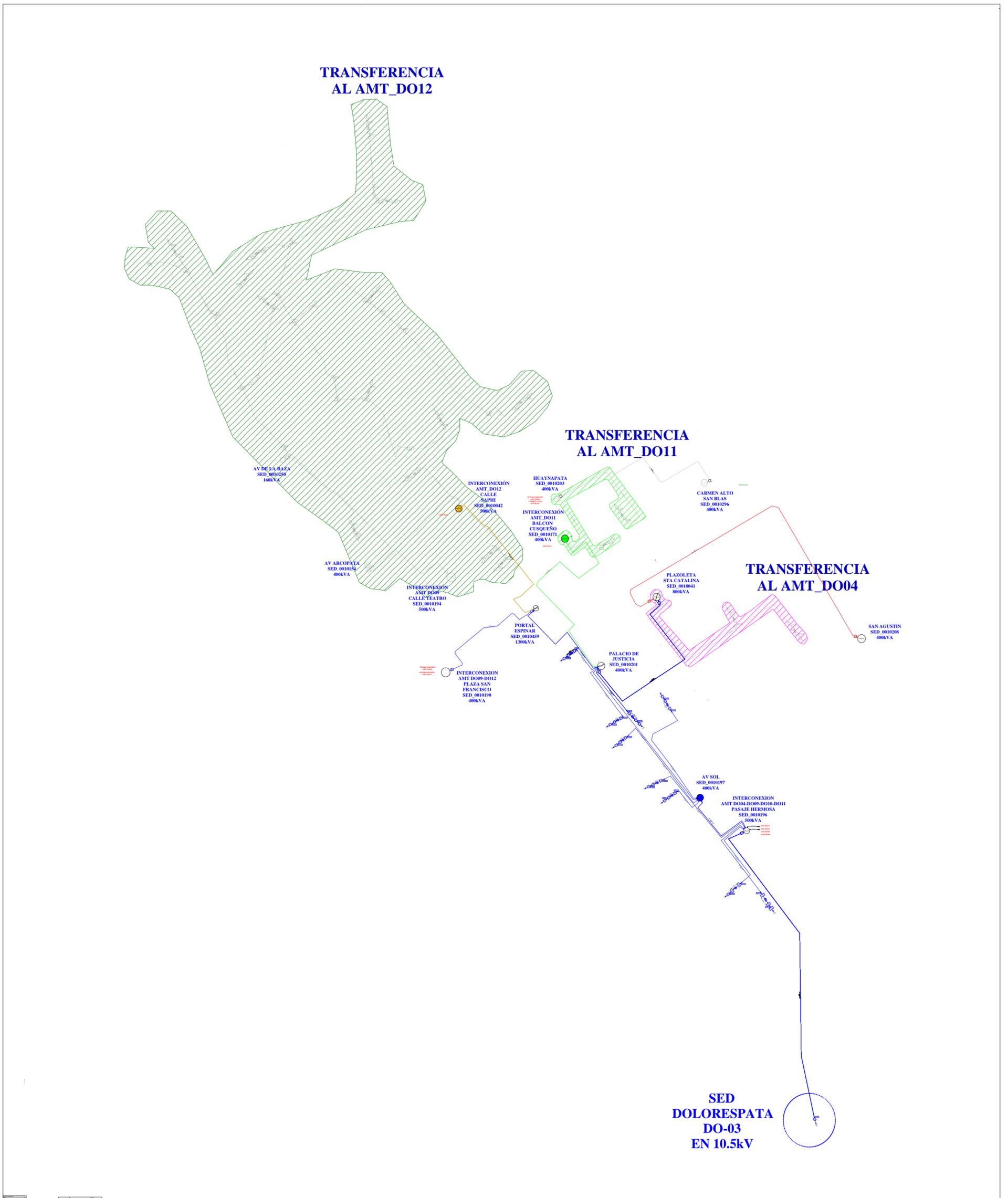


**REGISTRO DE CARGABILIDAD EN MÁX DEMANDA EN (%)**

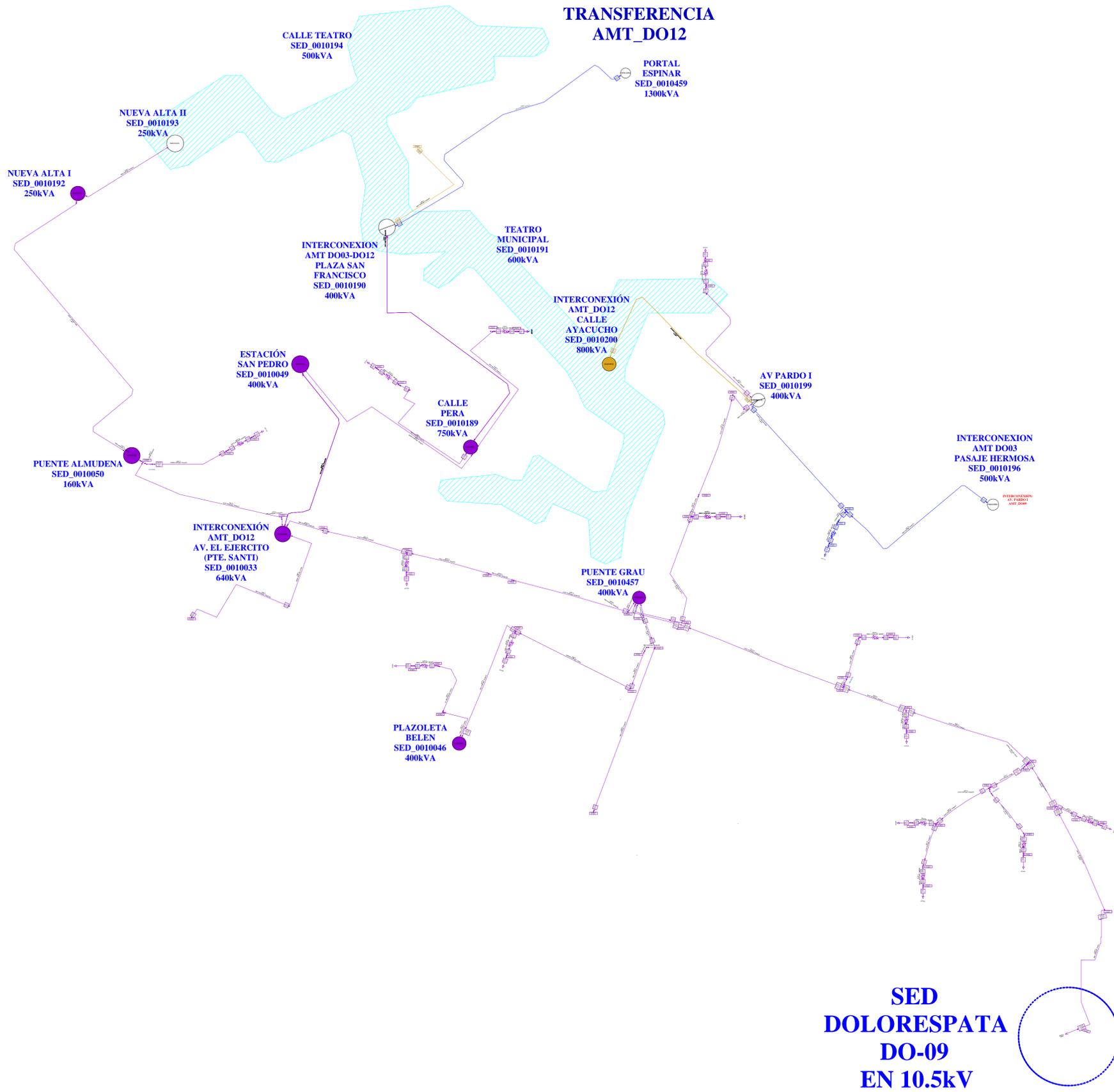
AÑOS	DO01	DO02	DO03	DO04	DO05	DO06	DO07	DO08	DO09
2016	87%	82%	98%	102%	86%	74%	89%	87%	102%
2017	89%	98%	103%	104%	110%	81%	89%	78%	99%
2018	80%	64%	101%	106%	95%	73%	81%	83%	95%
2019	74%	94%	78%	96%	86%	72%	85%	93%	89%
2020	77%	104%	78%	93%	59%	68%	81%	91%	87%
2021	79%	99%	86%	91%	76%	78%	91%	99%	85%
2022	81%	94%	94%	88%	93%	88%	101%	108%	83%



Fuente: Base de Datos del Centro de Control - ELSE 2022

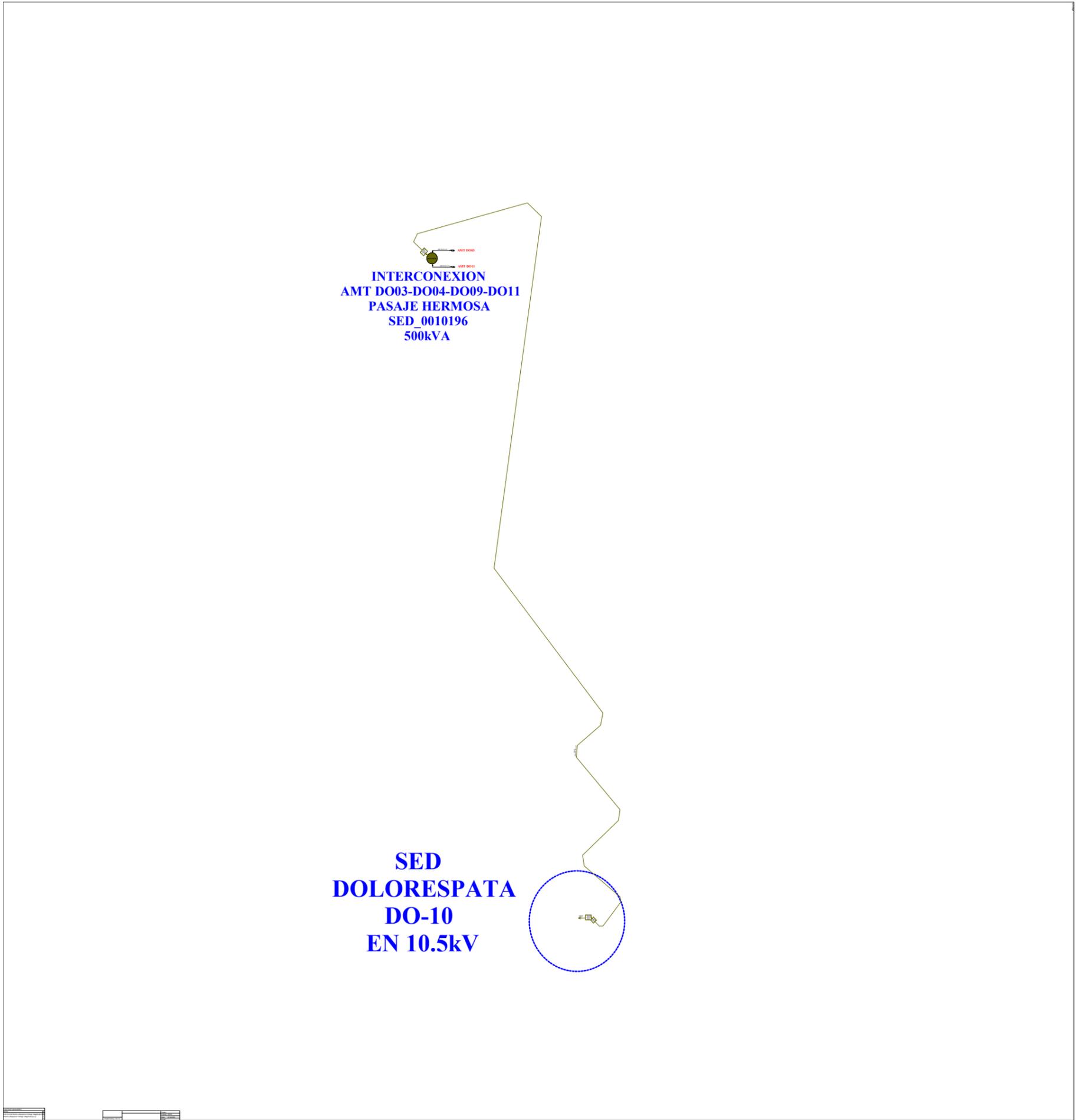




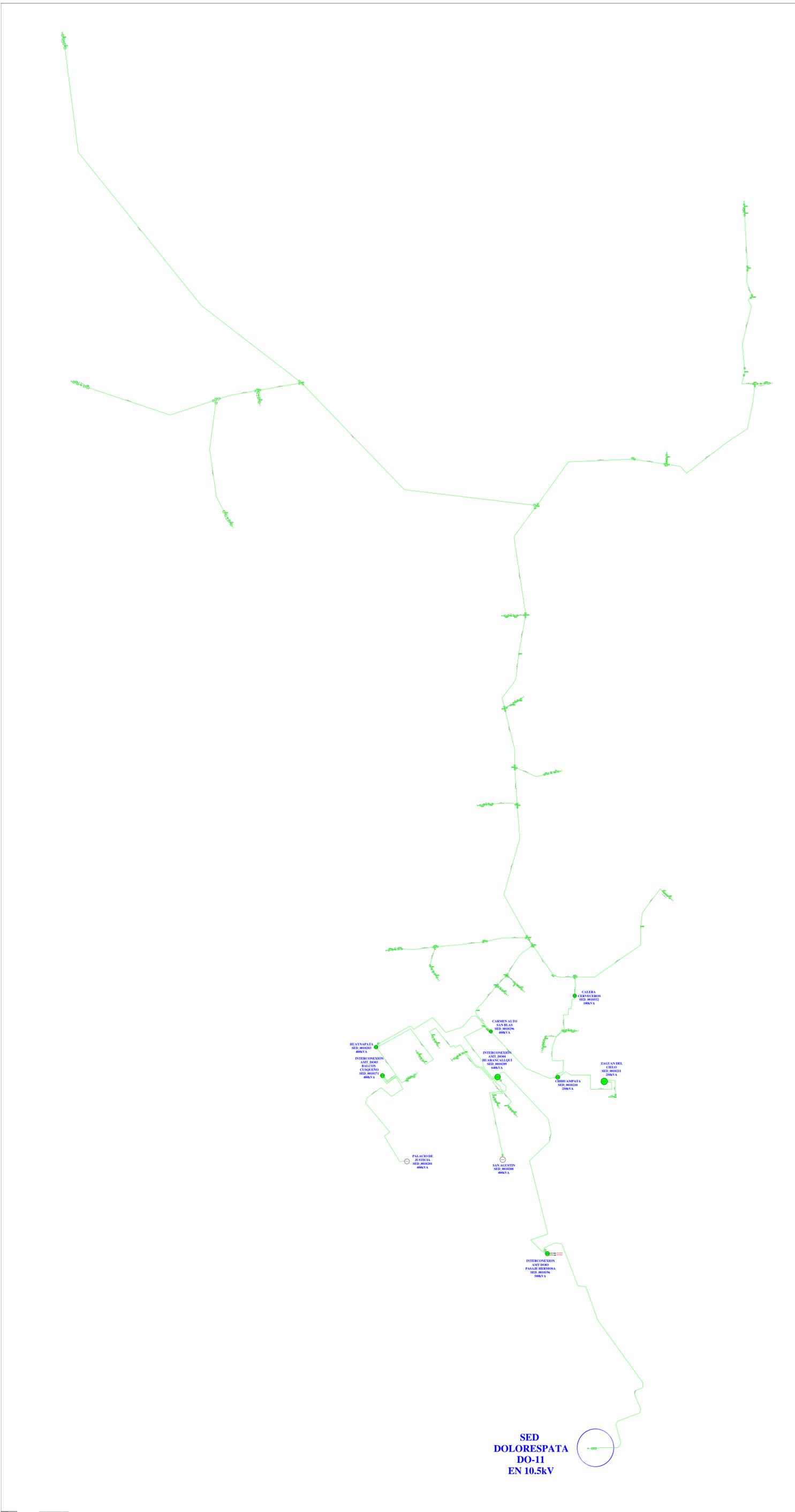


**SED  
DOLORESPATA  
DO-09  
EN 10.5kV**

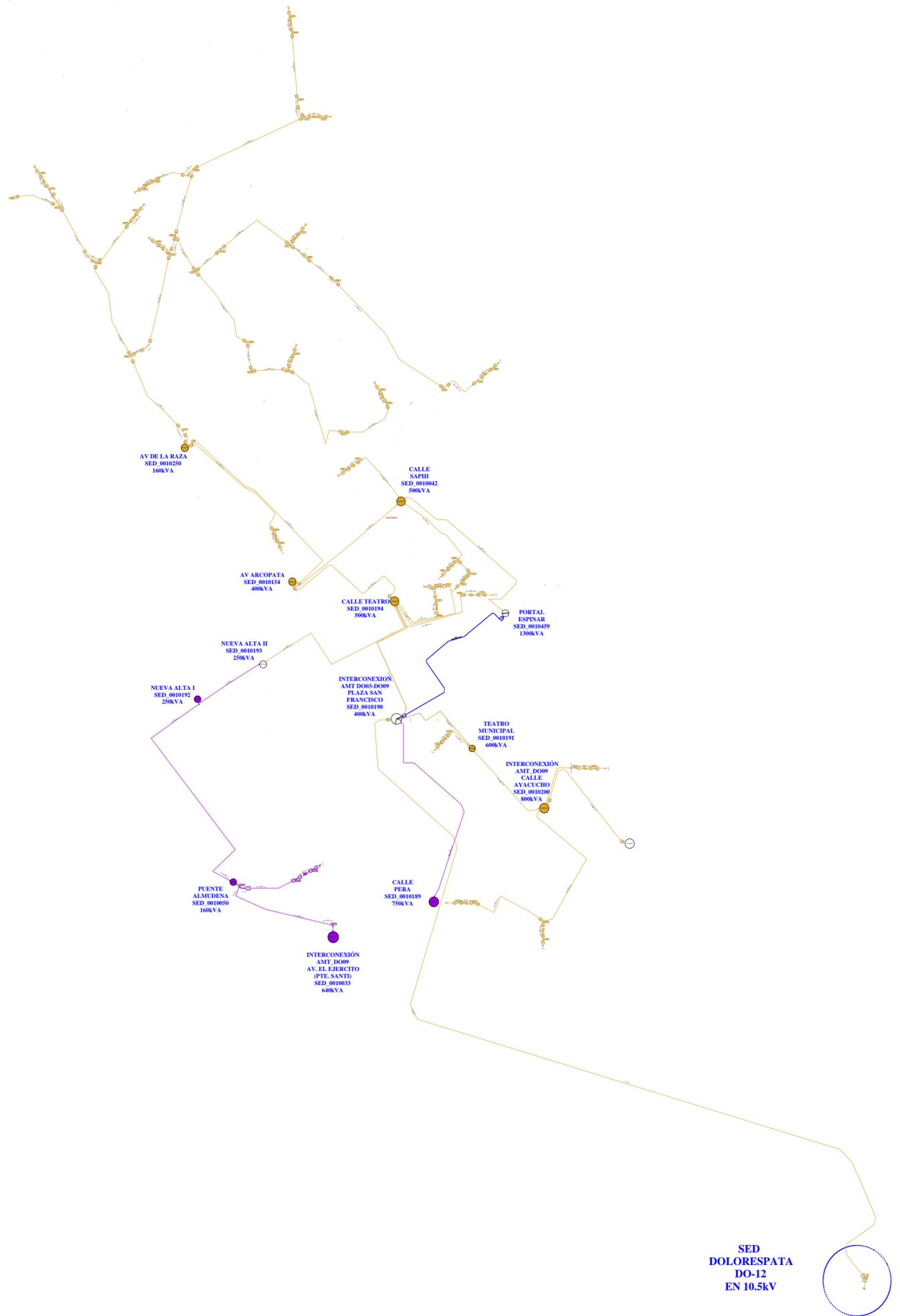
13\_4.3.2.4\_DU DO10-reconfiguración



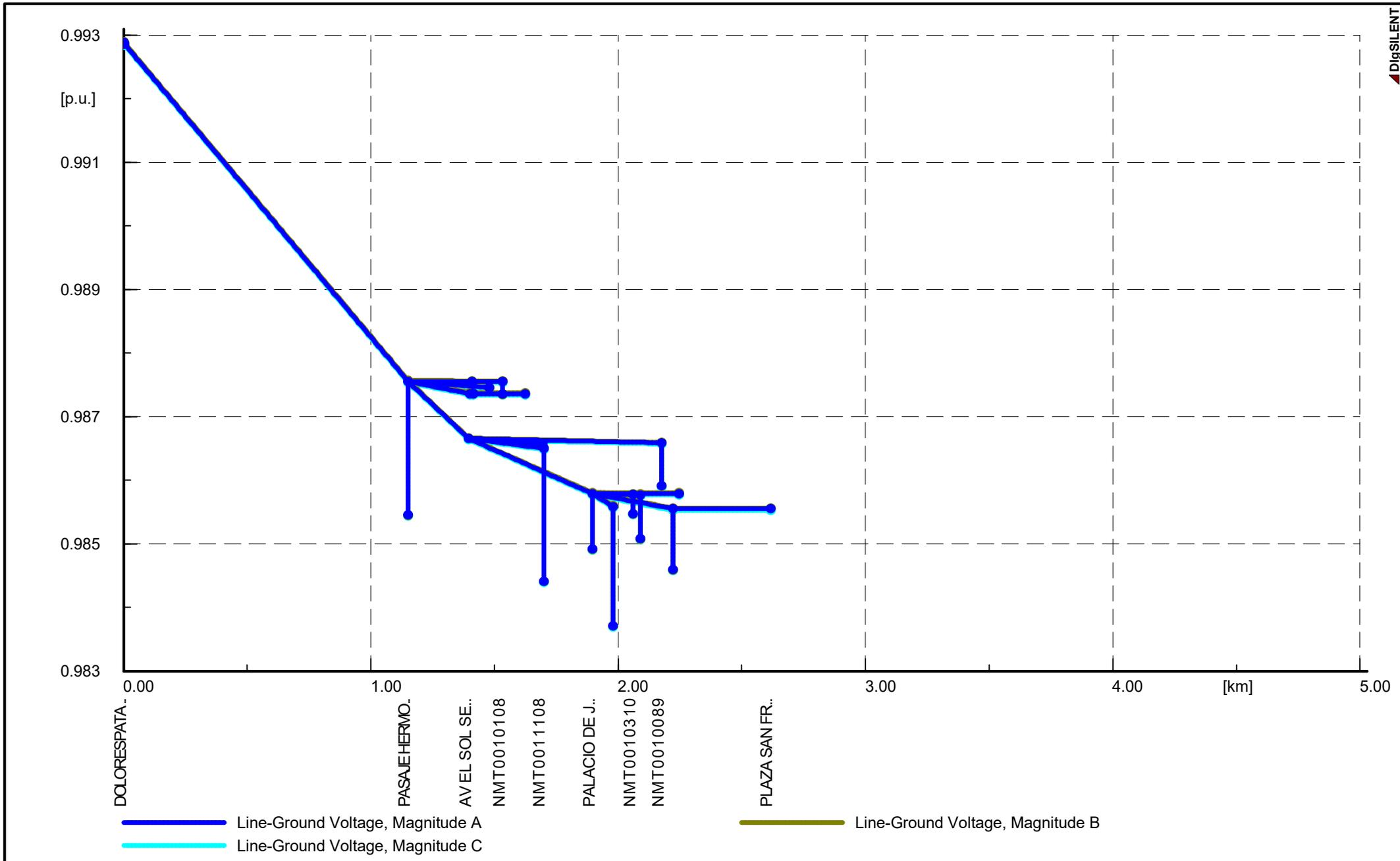
Fuente: Elaboración Propia-DigSilent Power Factory



15\_4.3.1.6\_DU DO12\_reconfiguración

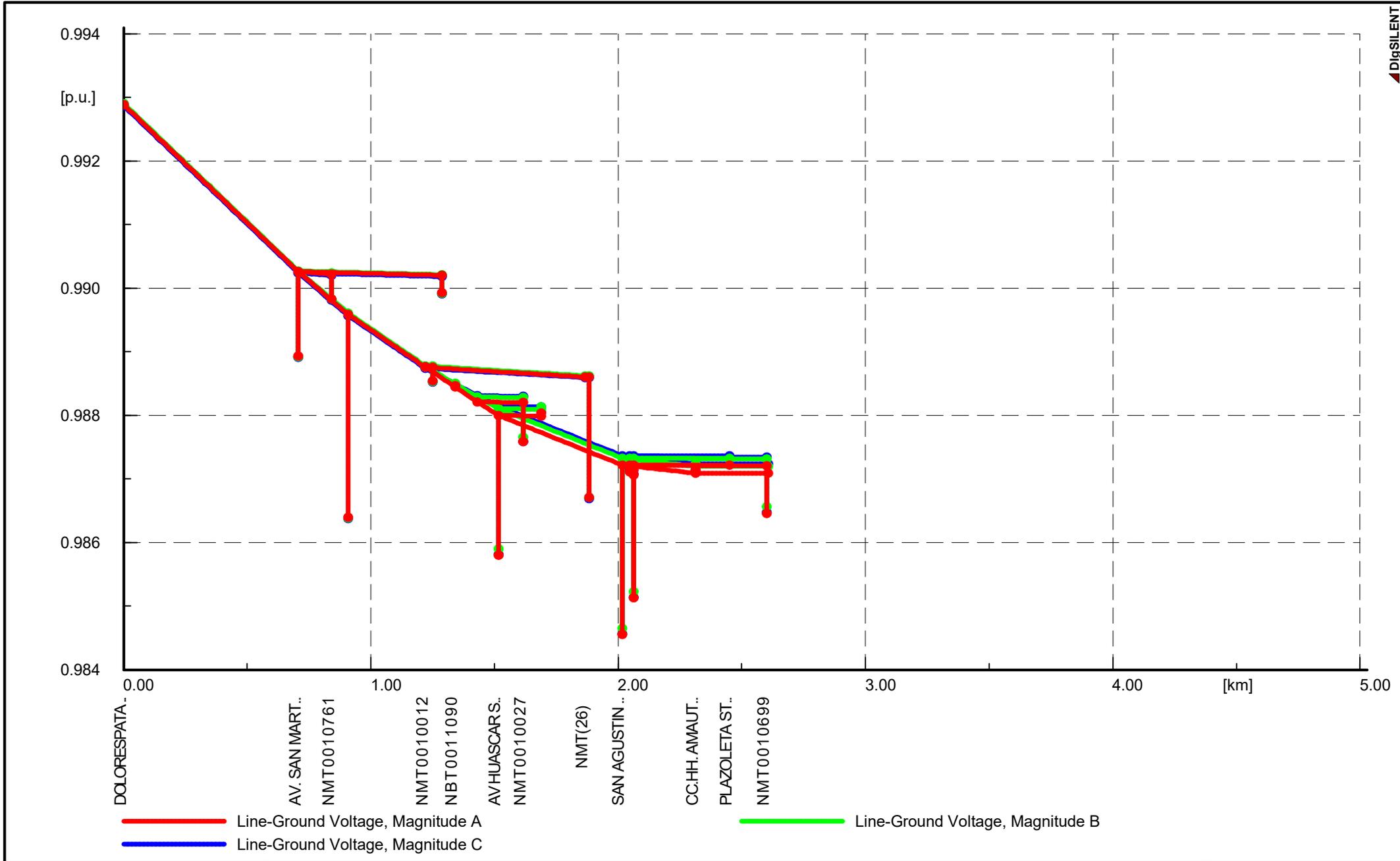


### 19\_5.3.1\_Perfil de Voltaje-AMT\_DO03



DigSILENT

# 20\_5.3.1\_Perfil de Voltaje-AMT\_DO04



DigSILENT

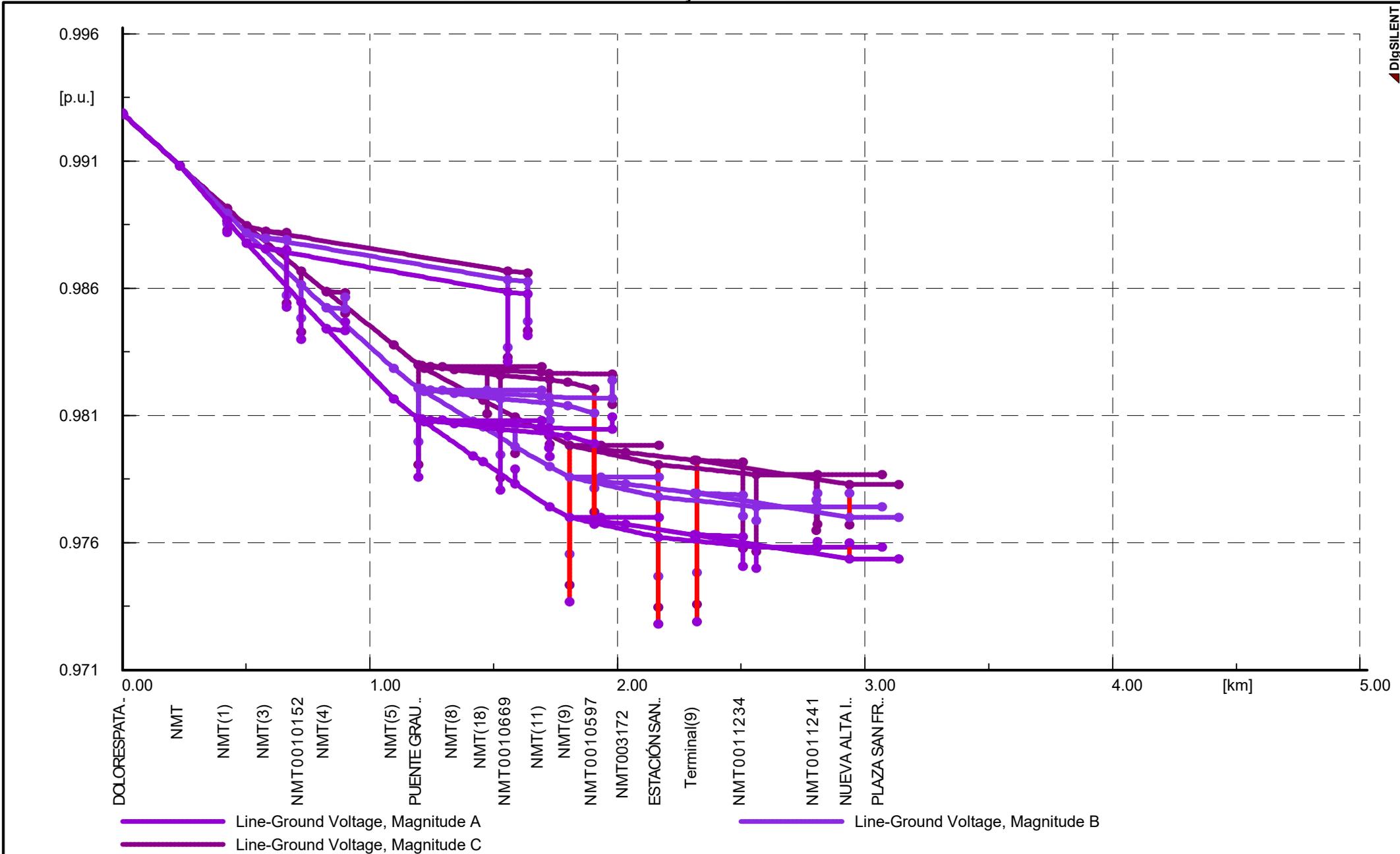
Fuente: Elaboración Propia-DigSilent Power Factory

Voltage Profile-AMT\_DO04

Date: 6/20/2023

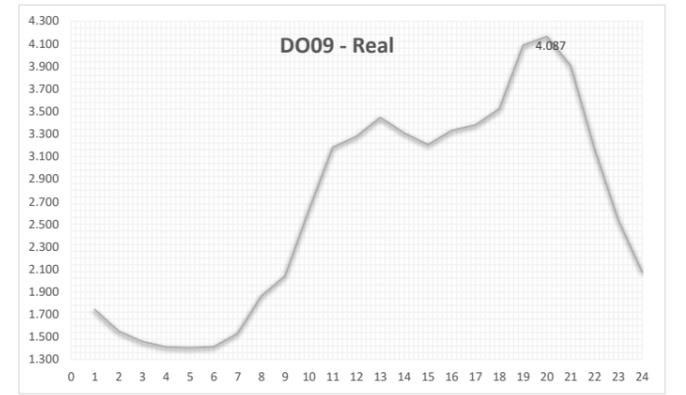
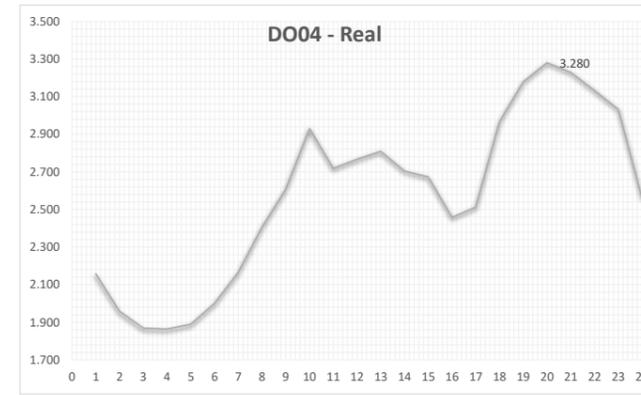
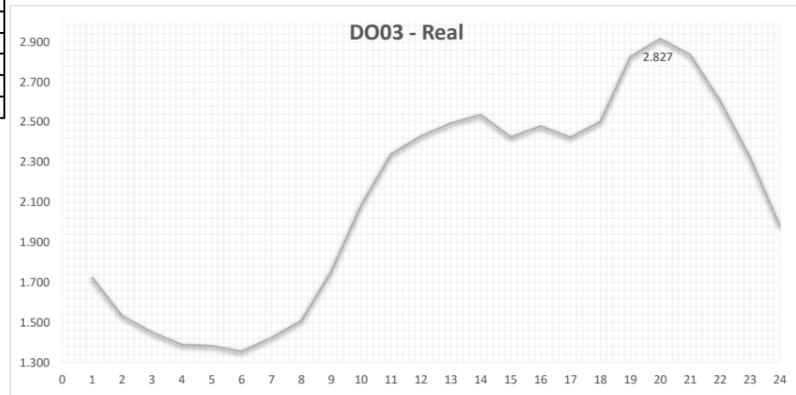
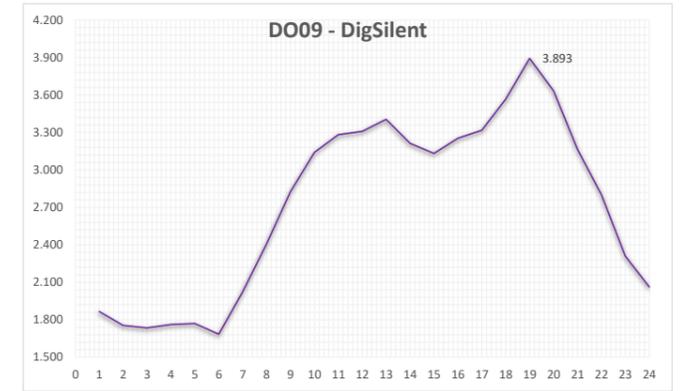
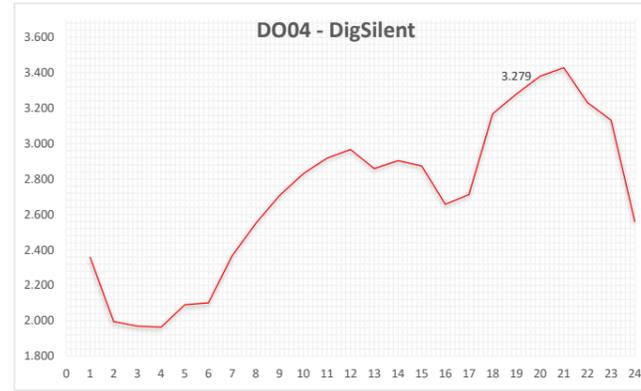
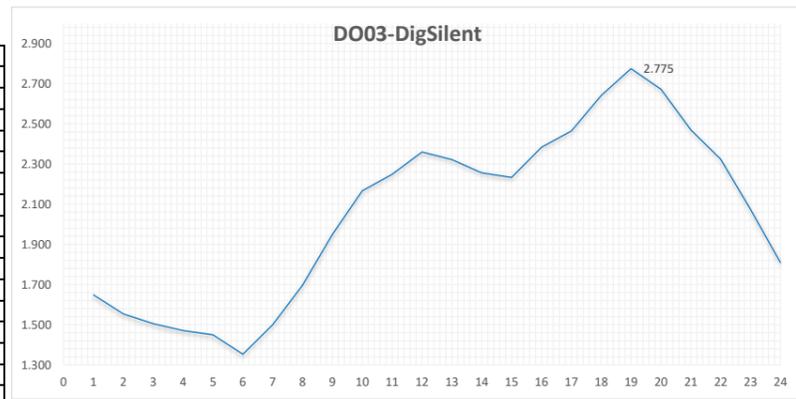
Annex: /4

# 21\_5.3.1\_Perfil de Voltaje-AMT\_DO09



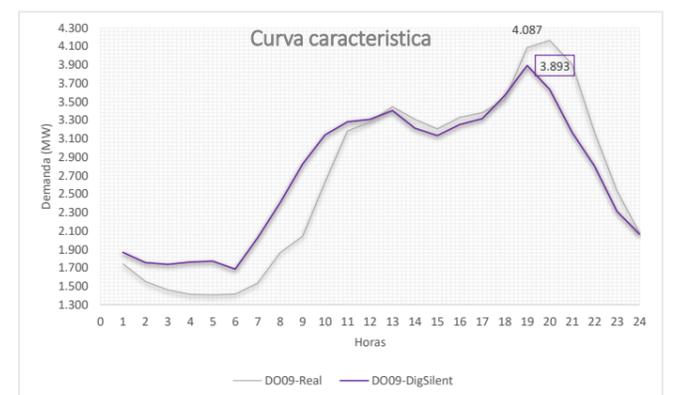
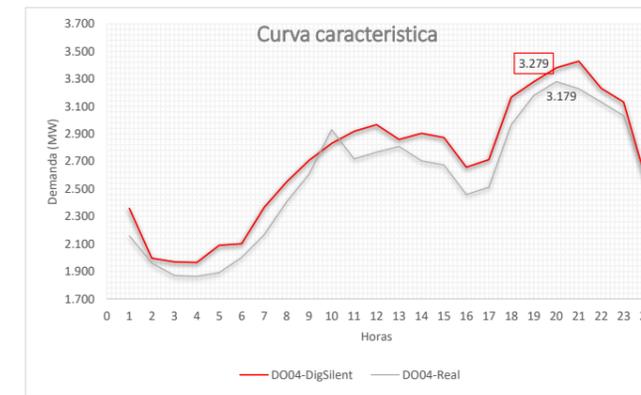
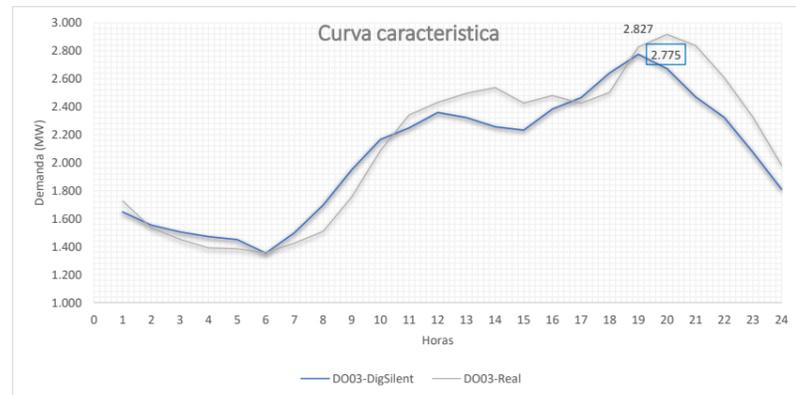
27/04/2023

Horas	DO03-DigSilent	DO04-DigSilent	DO09-DigSilent	
1	1.648	2.359	1.867	2.927
2	1.553	1.996	1.756	2.879
3	1.506	1.970	1.736	2.839
4	1.471	1.964	1.762	2.821
5	1.450	2.090	1.771	2.835
6	1.353	2.101	1.685	2.788
7	1.500	2.366	2.024	2.901
8	1.697	2.551	2.408	3.056
9	1.949	2.707	2.825	3.183
10	2.166	2.830	3.141	3.230
11	2.249	2.918	3.282	3.268
12	2.359	2.967	3.309	3.270
13	2.322	2.859	3.405	3.257
14	2.256	2.904	3.213	3.211
15	2.233	2.873	3.132	3.189
16	2.383	2.658	3.253	3.255
17	2.464	2.712	3.317	3.283
18	2.641	3.167	3.568	3.392
19	<b>2.775</b>	<b>3.279</b>	<b>3.893</b>	<b>3.555</b>
20	2.672	3.380	3.633	3.466
21	2.470	3.428	3.166	3.464
22	2.324	3.232	2.801	3.231
23	2.074	3.131	2.310	3.149
24	1.810	2.560	2.064	3.017



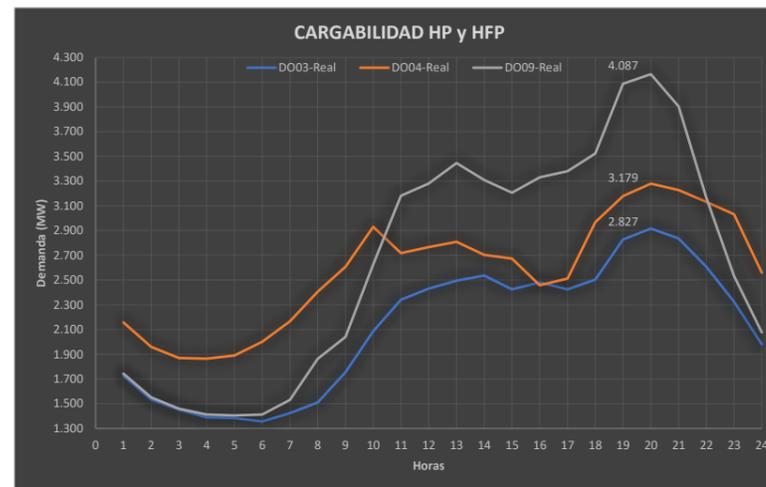
27/04/2023

Horas	DO03-Real	DO04-Real	DO09-Real
1	1.726	2.159	1.743
2	1.534	1.960	1.552
3	1.452	1.870	1.460
4	1.390	1.864	1.412
5	1.384	1.890	1.405
6	1.357	2.001	1.412
7	1.424	2.166	1.531
8	1.510	2.405	1.863
9	1.755	2.607	2.042
10	2.087	2.930	2.626
11	2.341	2.718	3.182
12	2.431	2.767	3.280
13	2.495	2.809	3.447
14	2.537	2.704	3.309
15	2.425	2.673	3.205
16	2.480	2.458	3.330
17	2.424	2.512	3.381
18	2.503	2.967	3.524
19	2.827	3.179	4.087
20	2.917	3.280	4.165
21	2.837	3.228	3.905
22	2.607	3.132	3.166
23	2.325	3.031	2.534
24	1.982	2.560	2.077



jueves, 27 de Abril de 2023

Horas	DO03-Real	DO04-Real	DO09-Real	DO03-DigSilent	DO04-DigSilent	DO09-DigSilent
1	1.726	2.159	1.743	1.648	2.359	1.867
2	1.534	1.960	1.552	1.553	1.996	1.756
3	1.452	1.870	1.460	1.506	1.970	1.736
4	1.390	1.864	1.412	1.471	1.964	1.762
5	1.384	1.890	1.405	1.450	2.090	1.771
6	1.357	2.001	1.412	1.353	2.101	1.685
7	1.424	2.166	1.531	1.500	2.366	2.024
8	1.510	2.405	1.863	1.697	2.551	2.408
9	1.755	2.607	2.042	1.949	2.707	2.825
10	2.087	2.930	2.626	2.166	2.830	3.141
11	2.341	2.718	3.182	2.249	2.918	3.282
12	2.431	2.767	3.280	2.359	2.967	3.309
13	2.495	2.809	3.447	2.322	2.859	3.405
14	2.537	2.704	3.309	2.256	2.904	3.213
15	2.425	2.673	3.205	2.233	2.873	3.132
16	2.480	2.458	3.330	2.383	2.658	3.253
17	2.424	2.512	3.381	2.464	2.712	3.317
18	2.503	2.967	3.524	2.641	3.167	3.568
19	<b>2.827</b>	<b>3.179</b>	<b>4.087</b>	<b>2.775</b>	<b>3.279</b>	<b>3.893</b>
20	2.917	3.280	4.165	2.672	3.380	3.633
21	2.837	3.228	3.905	2.470	3.428	3.166
22	2.607	3.132	3.166	2.324	3.232	2.801
23	2.325	3.031	2.534	2.074	3.131	2.310
24	1.982	2.560	2.077	1.810	2.560	2.064



27/04/2023  
 Conductor de Cobre de 150mm<sup>2</sup> Corriente Nominal 338 A

Tiempo	DO03-Real	DO04-Real	DO09-Real	DO03-DigSilent	DO04-DigSilent	DO09-DigSilent
1	100.024	125.089	101.028	95.507	136.679	108.169
2	88.919	113.568	89.911	90.009	115.664	101.744
3	84.167	108.338	84.604	87.242	114.133	100.592
4	80.569	108.033	81.825	85.249	113.828	102.131
5	80.200	109.531	81.435	83.998	121.121	102.636
6	78.616	115.951	81.846	78.411	121.746	97.631
7	82.540	125.530	88.739	86.912	137.119	117.282
8	87.483	139.394	107.951	98.337	147.800	139.530
9	101.713	151.079	118.304	112.966	156.873	163.687
10	120.919	169.801	152.193	125.515	164.006	181.987
11	135.659	157.488	184.374	130.336	169.078	190.180
12	140.883	160.323	190.052	136.725	171.913	191.776
13	144.575	162.757	199.727	134.560	165.654	197.303
14	147.021	156.683	191.762	130.750	168.273	186.197
15	140.540	154.918	185.753	129.394	166.508	181.490
16	143.737	142.425	192.979	138.103	154.015	188.521
17	140.489	145.593	195.905	142.806	157.182	192.206
18	145.046	171.940	204.196	153.066	183.529	206.765
19	<b>163.845</b>	<b>184.213</b>	<b>236.829</b>	<b>160.779</b>	<b>190.007</b>	<b>225.591</b>
20	169.017	190.051	241.328	154.829	195.846	210.522
21	164.386	187.061	226.265	143.127	198.650	183.479
22	151.078	181.471	183.476	134.666	187.266	162.306
23	134.752	175.656	146.847	120.178	181.451	133.888
24	114.831	148.329	120.343	104.862	148.329	119.597

27/04/2023  
 Conductor de Cobre de 150mm<sup>2</sup> Corriente en porcentaje (%)

Tiempo	DO03-Real	DO04-Real	DO09-Real	DO03-DigSilent	DO04-DigSilent	DO09-DigSilent
1	30%	37%	30%	28%	40%	32%
2	26%	34%	27%	27%	34%	30%
3	25%	32%	25%	26%	34%	30%
4	24%	32%	24%	25%	34%	30%
5	24%	32%	24%	25%	36%	30%
6	23%	34%	24%	23%	36%	29%
7	24%	37%	26%	26%	41%	35%
8	26%	41%	32%	29%	44%	41%
9	30%	45%	35%	33%	46%	48%
10	36%	50%	45%	37%	49%	54%
11	40%	47%	55%	39%	50%	56%
12	42%	47%	56%	40%	51%	57%
13	43%	48%	59%	40%	49%	58%
14	43%	46%	57%	39%	50%	55%
15	42%	46%	55%	38%	49%	54%
16	43%	42%	57%	41%	46%	56%
17	42%	43%	58%	42%	47%	57%
18	43%	51%	60%	45%	54%	61%
19	<b>48%</b>	<b>55%</b>	<b>70%</b>	<b>48%</b>	<b>56%</b>	<b>67%</b>
20	<b>50%</b>	<b>56%</b>	<b>71%</b>	46%	58%	62%
21	49%	55%	67%	42%	59%	54%
22	45%	54%	54%	40%	55%	48%
23	40%	52%	43%	36%	54%	40%
24	34%	44%	36%	31%	44%	35%

Cargabilidad de los AMT ante una Contingencia							
Caso de estudio: Día particular							Fecha:
							27/04/2023
Casos de Estudio	Nombre	Alimentador	Corriente (A)	Demanda (MW)	Perdidas (MW)	Máx. Cargabilidad (%)	Voltaje (p.u.)
Caso 1	AMT_DO03	DO03	363.699	6.195	0.236	110.52	0.949
Caso 2	AMT_DO04	DO04	357.231	5.972	0.31	108.57	0.939
Caso 4	AMT_DO09	DO09	363.886	6.272	0.257	110.44	0.949

Cargabilidad de los AMT en Estudio Ante una Contingencia							
Caso de estudio: Día particular							Fecha:
							27/04/2028
Casos de Estudio	Nombre	Alimentador	Corriente (A)	Demanda (MW)	Perdidas (MW)	Máx. Cargabilidad (%)	Voltaje (p.u.)
Escenario Nro. 01	AMT_DO03	DO03	191.17	3.30	0.09	57.91	0.949
Escenario Nro. 02	AMT_DO04	DO04	169.62	3.01	0.08	51.41	0.939
Escenario Nro. 03	AMT_DO12	DO09	283.77	4.96	0.10	63.10	0.949

CODIGO TECNICO	CARGABILIDAD ACTUAL	CARGABILIDAD AD
DO03	48%	28%
DO04	64%	16%
DO09	67%	35%
DO10	0%	0%
DO11	0%	35%
DO12	0%	21%
	179%	135%

Red	AMT	Imax. Cargabilidad	Corriente Nominal (A)
DO09_Troncal	DO09	54.52	338
DO11_Troncal	DO11	47.99	450
DO03_Troncal	DO03	37.65	338
DO12_Troncal	DO12	27.84	450
DO04_Troncal	DO04	21.05	338

AÑO DEL BICENTENARIO: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA.

SEÑOR (ES) ELECTRO SUR ESTE S.A.A

GERENTE DE OPERACIONES

ING. OSWALDO BEJAR ALAGON.

ASUNTO: SOLICITO ACCESO AL CENTRO DE CONTROL DE ELECTRO SUR S.A.A



Yo, JULIO CESAR BACA FLORES, bachiller de la carrera profesional de Ing. Eléctrica, identificado con DNI N°41921102, con Código Universitario N° 101982 de nuestra primera casa de estudios UNSAAC, domiciliado en Urb. Sauces de la pradera B-12, del Distrito de San Sebastián, ante Ud. Expongo.

Que, habiendo culminado mis estudios en la carrera antes mencionada y preparando mi TESIS de estudio, con la cual espero alcanzar mi grado de INGENIERO, con el tema denominado "ESTUDIO DE CARGABILIDAD CON LA RECONFIGURACIÓN DE LA RED DE LOS ALIMENTADORES DE MEDIA TENSIÓN EN 10.5 KV LA SUBESTACION ELÉCTRICA DE DOLORES PATA DE CUSCO". Para lo cual solicito el permiso correspondiente, para poder tener acceso a la oficina al centro de control de ELECTRO SUR ESTE S.A.A. empresa la cual gerencia, con el fin de poder entrevistar a los señores operadores, conocer el funcionamiento de dicha área, el manejo de la red de la S.E. Dolorespata y así como también obtener información de la base de datos del GIS, DIGSILENT, EXEL, entrevistas, fotografías, etc. todo lo que me pueda ayudar a realizar un buen trabajo de investigación.

POR LO EXPUESTO:

Ruego a Usted acceder a mi solicitud, esperando una pronta respuesta

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Julio Cesar Baca Flores'.

JULIO CESAR BACA FLORES

DNI: 41921102



“Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo”

Cusco, 5 de julio de 2023

**Señor:**

**Ing. David Reynaldo Berríos Barcena**  
**Decano De La Facultad De Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Informática y**  
**Mecánica - UNSAAC**

**Asunto : VALIDACION DE DATOS TESIS**

De mi mayor consideración:

Me dirijo a Ud. de conformidad a la petición recibida por los interesados para el empleo de la recolección de datos en la elaboración del proyecto de investigación, se me solicito información y validación de contenido de los instrumentos de recolección de datos históricos de la demanda energética de los AMT's DO01, DO02, DO03, DO04, DO05, DO06, DO07, DO08 y DO09 en 10.5kV de la SE Dolorespata, de la elaboración de la tesis para Optar al Título Profesional de Ingeniería Eléctrica denominada: **“ESTUDIO DE CARGABILIDAD CON LA RECONFIGURACIÓN DE LA RED DE LOS ALIMENTADORES DE MEDIA TENSIÓN EN 10.5kV DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA DOLORESPATA DE CUSCO”**, presentado por los bachilleres: **JULIO CESAR BACA FLORES y HANS CHRISTIAN RAMOS GUTIERREZ.**

Mediante este documento doy fe que la información entregada a los interesados es fiel a la que se tiene en la **Base de Datos de la Oficina del Centro de Control de la Gerencia de Operaciones de Electro Sur Este S.A.A.**, por lo que se puede aplicar para la conclusión del trabajo de investigación antes mencionado.

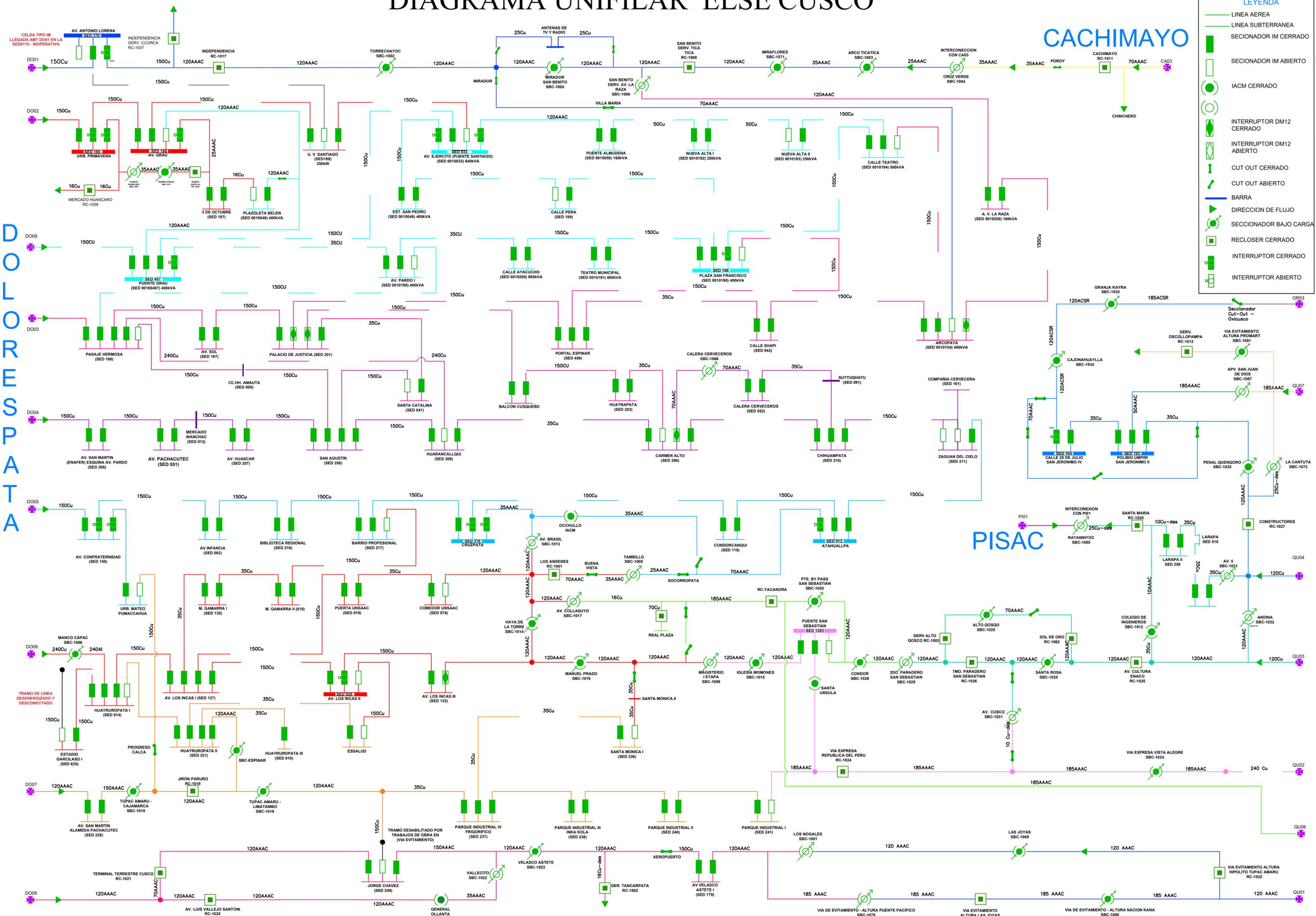
Sin otro particular hago uso de la oportunidad para reiterarle mis consideraciones más distinguidas.

Atentamente

# DIAGRAMA UNIFILAR ELSE CUSCO

DOLOR SPATA

OROPESA

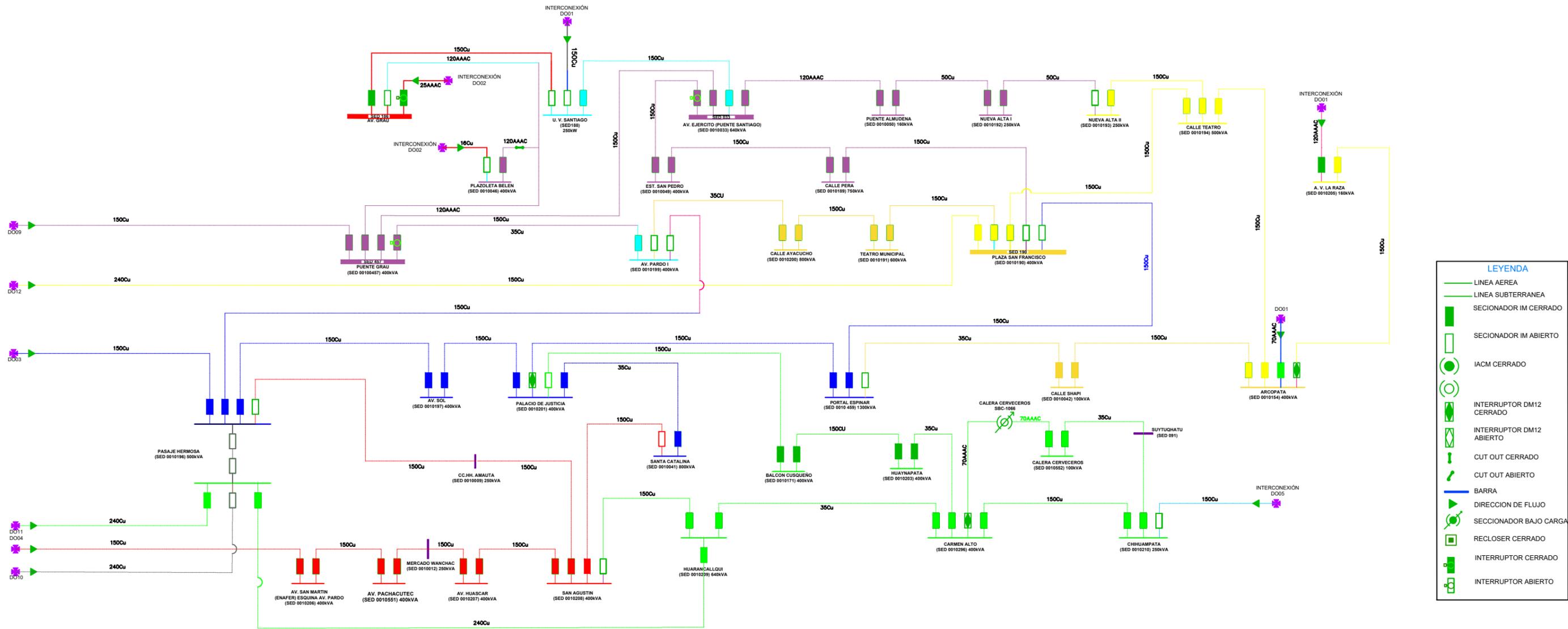


- LEYENDA**
- LINEA AEREA
  - LINEA SUBTERRANEA
  - SECCIONADOR IM CERRADO
  - SECCIONADOR IM ABIERTO
  - IACM CERRADO
  - IACM ABIERTO
  - INTERRUPTOR DM12 CERRADO
  - INTERRUPTOR DM12 ABIERTO
  - CUT OUT CERRADO
  - CUT OUT ABIERTO
  - BARRA
  - DIRECCION DE FLUJO
  - SECCIONADOR BAJO CARGA
  - RECLOSER CERRADO
  - INTERRUPTOR CERRADO
  - INTERRUPTOR ABIERTO

<b>DU 01</b>	<b>DIAGRAMA UNIFILAR ELSE CUSCO</b>	
	GERENCIA DE OPERACIONES CENTRO DE CONTROL	
	ELABORADO POR: CC-ESE	OCT-2022

# DIAGRAMA UNIFILAR RECONFIGURACIÓN DE LA RED EN ESTUDIO

DOLOR ESPATA



Fuente: ELSE-Julio 2022, modificado por los testistas Julio C. Baca y C. Hans Ramos

# AAAC 6201; mm<sup>2</sup>

Contacto  
Venta Local  
ventas.peru@nexans.com

Conductores de aleación de aluminio 6201.

## DESCRIPCIÓN

### Aplicación:

Para soporte de cables autoportantes y líneas de distribución desnudas de baja y media tensión.

### Construcción:

Conductor: Aleación de aluminio 6201, clase 2.

### Principales características:

Resistencia a la tracción y menor peso.

### Sección:

Desde 16 mm<sup>2</sup> hasta 1000 mm<sup>2</sup>.

### Embalaje:

En carretes de madera no retornables.

### Normas nacionales

**NTP 370.258:** Conductores con alambres de aluminio redondos concéntricamente cableados para líneas aéreas.

### Normas internacionales aplicables

**ASTM B398/B 398M:** Especificación estándar para alambre de aluminio 6201-T81 alambre para fines eléctricos.



## NORMAS

Nacional ASTM B 398;  
NTP 370.258

## CARACTERÍSTICAS

### Características de construcción

Material del conductor

Aleación Al 6201

## DATOS DIMENSIONALES

Sección [mm <sup>2</sup> ]	Nº alambres Aluminio	Diam. Conductor [mm]	Peso aprox. [kg/km]
16	7	5.19	44
25	7	6.45	68
35	7	7.62	96
50	7	7.89	137
70	7	10.8	192

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.

Generado 21/06/23 www.nexans.pe Página 1 / 3

Sección [mm <sup>2</sup> ]	N° alambres Aluminio	Diam. Conductor [mm]	Peso aprox. [kg/km]
70	19	10.96	193
95	19	12.71	260
120	19	14.31	329
150	19	15.95	411
185	37	17.5	506
240	61	20.3	660
300	61	22.5	822
400	61	26.0	1098
500	61	29.1	1371
630	91	32.6	1730
800	91	36.9	2200
1000	91	41.1	2743

## DATOS MECÁNICOS Y ELÉCTRICOS

Sección [mm <sup>2</sup> ]	Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km]	Carga de rotura mínima [kN]	Amperaje aire 40°C [A]
16	2.1111	4.94	100
25	1.3511	7.72	125
35	0.9651	10.81	160
50	0.6755	15.44	195
70	0.4825	20.95	235
70	0.4825	21.61	235
95	0.3573	29.33	300
120	0.2828	37.05	340
150	0.2263	46.31	395
185	0.181	55.4	455
240	0.139	71.39	545
300	0.111	88.93	625
400	0.0837	115	755
500	0.067	143	857
630	0.0532	181	987
800	0.0419	227.32	1155
1000	0.0335	283.31	1331

## CONDICIONES DE CÁLCULO DE CORRIENTE AAAC

### CONDICIONES DE CALCULO DE CORRIENTE

Temperatura máxima del conductor: 80°C.

Temperatura ambiente: 40°C.

Velocidad del viento: 2 km/h.

## CONDUCTORES COBRE DESNUDO

### Usos

Alambres duros:	Circuitos aéreos de comunicación telegráficas y otros usos.
Alambres recocidos:	En sistemas de puesta a tierra.
Cables duros:	En líneas aéreas de transmisión y redes de distribución aérea.
Cables recocidos:	En sistemas de puesta a tierra, protección de equipos y aplicaciones de uso general.

### Descripción

Conductores de cobre electrolítico de 99.99% de pureza mínima, recocido, semiduro y duro. Sólidos (alambres) y cableados concéntricamente.

### Características

Alta resistencia a la corrosión en zonas con atmósfera salina y en zonas industriales con humos y vapores corrosivos.

### Calibres

Alambres: 1.5 mm<sup>2</sup> - 16 mm<sup>2</sup>.  
Cables: 6 mm<sup>2</sup> - 240 mm<sup>2</sup>.

### Embalaje

En carretes de madera; en longitudes requeridas.



**Norma(s) de Fabricación**  
NTP 370.251

### TABLA DE DATOS TECNICOS Cu DESNUDO

CALIBRE	N° HILOS	DIAMETRO HILO	DIAMETRO CONDUCTOR	PESO	BLANDO	DURO		CAPACIDAD CORRIENTE (?)
					R.ELÉCTRICA	R. TRACCION	R. ELÉCTRICA	
mm <sup>2</sup>		mm	mm	Kg/Km	Ohm/Km	KN	Ohm/Km	A
6	7	1.04	3.1	53	3.02	2.4	3.14	77
10	7	1.35	4	90	1.79	4	1.87	106
16	7	1.69	5.1	143	1.13	6.3	1.17	141
25	7	2.13	6.4	226	0.713	9.9	0.741	188
35	7	2.51	7.5	314	0.514	13.6	0.534	229
50	19	1.77	8.9	424	0.380	18.8	0.395	277
70	19	2.13	10.6	613	0.263	26.9	0.273	348
95	19	2.51	12.5	851	0.189	36.9	0.197	425
120 <sup>(1)</sup>	37 / 19	2.02 / 2.82	14.1	1074	0.150	46.7	0.156	495
150	37	2.24	15.7	1320	0.122	58	0.126	558
185	37	2.51	17.6	1657	0.0972	71.9	0.101	642
240	61	2.24	20.1	2176	0.074	95.6	0.0769	760

(<sup>1</sup>) TEMPLE BLANDO / TEMPLE DURO

(<sup>2</sup>) TEMPERATURA EN EL CONDUCTOR: 75°C

TEMPERATURA AMBIENTE: 30°C

VELOCIDAD DEL VIENTO: 2 Km/H

## N2XSY IEC 60502-2

Contacto  
Venta Local  
ventas.peru@nexans.com

### DATOS ELÉCTRICOS I - 6/10 KV

Nombre	Capacitancia Nominal [pF/m]	Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km]	Resistencia del conductor en CA a 90° C - formación plana [Ohm/km]	Resist. Conduct. CA 90° C - form. triang. [Ohm/km]	React. Induct. 60 Hz - formac. plana [Ohm/km]	React. Induct. 60 Hz - formac. triang. [Ohm/km]
N2XSY 6/10 kV 25 mm <sup>2</sup>	217.0	0.727	0.9271	0.9272	0.2214	0.1517
N2XSY 6/10 kV 35 mm <sup>2</sup>	240.0	0.524	0.6683	0.6684	0.2146	0.1449
N2XSY 6/10 kV 50 mm <sup>2</sup>	265.0	0.387	0.4937	0.4939	0.2077	0.138
N2XSY 6/10 kV 70 mm <sup>2</sup>	302.0	0.268	0.3421	0.3424	0.2002	0.1305
N2XSY 6/10 kV 95 mm <sup>2</sup>	340.0	0.193	0.2467	0.2471	0.194	0.1244
N2XSY 6/10 kV 185 mm <sup>2</sup>	442.0	0.0991	0.1275	0.1286	0.1826	0.1129
N2XSY 6/10 kV 400 mm <sup>2</sup>	611.0	0.047	0.0624	0.0652	0.1723	0.1026

### DATOS ELÉCTRICOS II - 6/10 KV

Nombre	Capac. Corriente enter. 20°C - formac. plana [A]	Capac. Corriente enter. 20°C - formac. triang. [A]	Capac. Corriente aire 30°C - formac. plana [A]	Capac. Corriente aire 30°C - formac. triang. [A]
N2XSY 6/10 kV 25 mm <sup>2</sup>	144	140	196	163
N2XSY 6/10 kV 35 mm <sup>2</sup>	172	166	238	198
N2XSY 6/10 kV 50 mm <sup>2</sup>	203	196	286	238
N2XSY 6/10 kV 70 mm <sup>2</sup>	246	239	356	296
N2XSY 6/10 kV 95 mm <sup>2</sup>	293	285	434	361



Libre de plomo  
Si



Flexibilidad del cable  
Clase 2 IEC 60228



Resist. Radiación UV  
UL 2556 - Resistencia a los  
rayos solares



No propagación de la  
llama  
IEC 60332-1-2; FT1



Resistencia a aceites  
ICEA S-93-639



Temperatura máxima  
operación  
90 °C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.

Generado 21/06/23 www.nexans.pe Página 7 / 16

Nombre	Capac. Corriente enter. 20°C - formac. plana [A]	Capac. Corriente enter. 20°C - formac. triang. [A]	Capac. Corriente aire 30°C - formac. plana [A]	Capac. Corriente aire 30°C - formac. triang. [A]
N2XSY 6/10 kV 185 mm <sup>2</sup>	410	406	637	543
N2XSY 6/10 kV 400 mm <sup>2</sup>	572	590	938	845

## DATOS DIMENSIONALES 8,7/15 KV

Nombre	Nº total alambres	Diam. Conductor [mm]	Diám. sobre aislam. [mm]	Diám. sobre pantalla [mm]	Diám. sobre cubierta [mm]	Peso aprox. [kg/km]
N2XSY 8,7/15 kV 25 mm <sup>2</sup>	7	5.8	15.1	16.8	19.1	545
N2XSY 8,7/15 kV 35 mm <sup>2</sup>	7	6.8	16.1	17.8	20.1	652
N2XSY 8,7/15 kV 50 mm <sup>2</sup>	19	7.9	17.2	18.9	21.4	794
N2XSY 8,7/15 kV 70 mm <sup>2</sup>	19	9.5	18.8	20.6	23.1	1019
N2XSY 8,7/15 kV 95 mm <sup>2</sup>	19	11.2	20.5	22.2	24.7	1288
N2XSY 8,7/15 kV 120 mm <sup>2</sup>	37	12.8	22.1	23.8	26.3	1543
N2XSY 8,7/15 kV 150 mm <sup>2</sup>	37	14.2	23.5	25.2	27.9	1827
N2XSY 8,7/15 kV 185 mm <sup>2</sup>	37	15.8	25.0	26.8	29.5	2196
N2XSY 8,7/15 kV 240 mm <sup>2</sup>	37	18.0	27.3	29.0	31.9	2764
N2XSY 8,7/15 kV 300 mm <sup>2</sup>	37	20.1	29.4	31.1	34.2	3364
N2XSY 8,7/15 kV 400 mm <sup>2</sup>	61	23.3	32.5	34.3	37.7	4289
N2XSY 8,7/15 kV 500 mm <sup>2</sup>	61	26.2	35.5	37.2	40.6	5304
N2XSY 8,7/15 kV 630 mm <sup>2</sup>	61	30.0	39.2	41.0	44.6	6764



Libre de plomo  
Si



Flexibilidad del cable  
Clase 2 IEC 60228



Resist. Radiación UV  
UL 2556 - Resistencia a los  
rayos solares



No propagación de la  
llama  
IEC 60332-1-2; FT1



Resistencia a aceites  
ICEA S-93-639



Temperatura máxima  
operación  
90 °C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.

Generado 21/06/23 www.nexans.pe Página 8 / 16

## NYY DUPLEX / TRIPLE

### Usos

Aplicación general como cable de energía. En redes de distribución en baja tensión, instalaciones industriales, en edificios y estaciones de maniobra. En instalaciones fijas, en ambientes interiores (en bandejas, canaletas, etc.), directamente enterrado en lugares secos y húmedos.

### Descripción

Conductores de cobre electrolítico recocido, sólido o cableado (comprimido, compactado), aislamiento y cubierta individual de PVC. En la conformación duplex los dos conductores son trenzados entre si. En la conformación triple, los tres conductores son ensamblados en forma paralela mediante una cinta de sujeción.

### Características

Buenas propiedades eléctricas y mecánicas. La cubierta exterior de PVC le otorga una adecuada resistencia a los ácidos, grasas, aceites y a la abrasión. Facilita empalmes, derivaciones y terminaciones. Menor peso que los cables NYY convencionales y mejor disipación de calor permitiendo obtener una mayor intensidad de corriente admisible. Retardante a la llama.

### Marcación

INDECO S.A. NYY(80°) 0.6/1 kV 3-1x<Sección> <Año> <Metrado Secuencial>

### Calibre

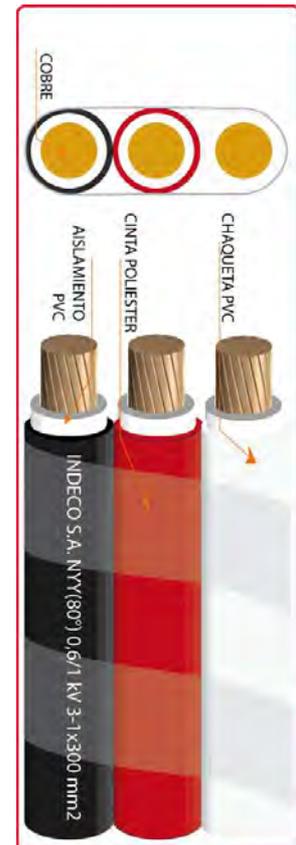
6 mm<sup>2</sup> – 500 mm<sup>2</sup>

### Embalaje

En carretes de madera, en longitudes requeridas.

### Colores

Aislamiento: Blanco  
 Cubierta: Duplex : Blanco, negro.  
 Triple : Blanco, negro, rojo.



### Norma(s) de Fabricación

NTP-IEC 60502-1

### Tensión de servicio

0.6/1 kV

### Temperatura de operación

80 °C

### TABLA DE DATOS TECNICOS NYD DUPLEX

CALIBRE	Nº HILOS	ESPEORES		DIÁMETRO EXTERIOR	PESO	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO	CUBIERTA			ENTERRADO	AIRE	DUCTO
Nº x mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	(Kg/Km)	A	A	A
2x1x6	1	1	1.4	15.4	218	77	58	62
2x1x10	1	1	1.4	17	307	105	80	85
2x1x16	7	1	1.4	19.3	454	136	108	112
2x1x25	7	1.2	1.4	22.5	672	170	140	140
2x1x35	7	1.2	1.4	24.6	880	205	175	170

### TABLA DE DATOS TECNICOS NYD TRIPLE

CALIBRE	Nº HILOS	ESPEORES		DIMENCIONES		PESO	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO	CUBIERTA	ALTO	ANCHO		ENTERRADO	AIRE	DUCTO
Nº x mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	(Kg/Km)	A	A	A
3 - 1 x 6	1	1	1.4	7.8	23.2	324	72	54	58
3 - 1 x 10	1	1	1.4	8.6	25.7	455	95	74	77
3 - 1 x 16	7	1	1.4	9.8	29.1	672	127	100	102
3 - 1 x 25	7	1.2	1.4	11.4	33.9	992	163	131	132
3 - 1 x 35	7	1.2	1.4	12.4	37.1	1298	195	161	157
3 - 1 x 50	19	1.4	1.4	14.1	42	1707	230	196	186
3 - 1 x 70	19	1.4	1.4	15.7	46.8	2339	282	250	222
3 - 1 x 95	19	1.6	1.5	18.2	54.3	3209	336	306	265
3 - 1 x 120	37	1.6	1.5	19.9	59.5	3975	382	356	301
3 - 1 x 150	37	1.8	1.6	21.7	64.9	4836	428	408	338
3 - 1 x 185	37	2	1.7	24.1	72	6027	483	470	367
3 - 1 x 240	37	2.2	1.8	27	80.8	7825	561	562	426
3 - 1 x 300	37	2.4	1.9	29.8	89.3	9736	632	646	480
3 - 1 x 400	61	2.6	2	33.2	99.4	12336	730	790	555
3 - 1 x 500	61	2.8	2.1	36.9	110.4	15590	823	895	567

(\*) Temperatura del suelo: 20°C  
 Temperatura ambiente: 30°C  
 Temperatura en el conductor: 80°C  
 Resistividad del suelo: 1 k.m/W

### ESPECIFICACIONES CONDUCTORES TIPO NKY 8,7/10 Kv

CALIBRE CABLE	N $\diamond$ HILOS	ESPEORES				DIAMETRO	PESO
		AISLAMIENTO		PLOMO	CUBIERTA	EXTERIOR	
		COND.COND	COND.PLOMO				
N $\diamond$ x mm $\diamond$		mm	mm	mm	mm	Kg/Km	
3 x 16	7	6,1	4,6	1,5	1,9	35	3130
3 x 25	7	6,1	4,6	1,6	2	39	3525
3x35	7	6,1	4,6	1,6	2,1	40	3950
3 x 50	19	6,1	4,6	1,6	2,2	41	4530
3 x 70	19	6,1	4,6	1,7	2,3	45	5640
3 x 95	19	6,1	4,6	1,8	2,5	49	6950
3 x 120	37	6,1	4,6	1,9	2,6	51	8010
3 x 150	37	6,1	4,6	2	2,7	55	9410
3 x 185	37	6,1	4,6	2,1	2,8	57	10890
3 x 240	61	6,1	4,6	2,3	3	63	13550
3 x 300	61	6,1	4,6	2,4	3,2	67	16100
CARACTERISTICAS ELECTRICAS							
CALIBRE CABLE	RESISTENCIA ELECTRICA		REACTIVA INDUCTIVA COND. PLOMO	CAPACIDAD COND./PLOMO	CAPACIDAD CORRIENTE (*)		
	D.C. a 20 $\diamond$	A.C a 70 $\diamond$			ENTERRADO	AIRE	DUCTO
		(EFICAZ)					
N $\diamond$ x mm $\diamond$		Ohm/Km	Ohm/Km	Uf/Km	A	A	A
3 x 16	1,15	1,361	0,136	0,202	90	75	70
3 x 25	0,727	0,8701	0,1277	0,227	120	100	95
3 x 35	0,524	0,6273	0,1278	0,246	140	120	115
3 x 50	0,387	0,4635	0,1201	0,272	170	145	135
3 x 70	0,268	0,3213	0,1128	0,296	210	180	170
3 x 95	0,193	0,2319	0,1084	0,323	250	220	205
3 x 120	0,153	0,1843	0,1065	0,345	290	255	230
3 x 150	0,124	0,1499	0,1026	0,367	330	290	265
3 x 185	0,0991	0,1206	0,1002	0,387	375	335	290
3 x 240	0,0754	0,0929	0,097	0,412	435	395	335
3 x 300	0,0601	0,0753	0,0947	0,438	490	445	385

- (\*) -TEMPERATURA DEL SUELO 20  $\diamond$   
 -TEMPERATURA AMBIENTE 30  $\diamond$   
 -TEMPERATURA EN EL CONDUCTOR 70  $\diamond$   
 - RESISTIVIDAD DEL SUELO 1  $\diamond$ k.m/W