



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE ELECTRICIDAD

DISEÑO DE UN ALIMENTADOR DE 13.8 KV PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LOS SECTORES CERCANOS A LA CIUDAD DE BABAHOYO.

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTORES: Josue Daniel Ruiz Villalba

Brando David Cumbe Gonzalez

TUTOR: Ing. Otto Washington Astudillo Astudillo, MSc

Guayaquil – Ecuador

2024-2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Josue Daniel Ruiz Villalba con documento de identificación N° 1208289908 y Brando David Cumbe Gonzalez con documento de identificación N° 0350336186 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo y autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 27 de enero del año 2025

Atentamente,



Josue Daniel Ruiz Villalba
1208289908



Brando David Cumbe Gonzales
0350336186

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL
TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Josue Daniel Ruiz Villalba con documento de identificación N° 1208289908 y Brando David Cumbe Gonzalez con documento de identificación N° 0350336186, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de lo que somos autores del Proyecto Técnico: **“DISEÑO DE UN ALIMENTADOR DE 13.8 KV PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LOS SECTORES CERCANOS A LA CIUDAD DE BABAHOYO”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electricidad, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en el formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de enero del año 2025

Atentamente;



Josue Daniel Ruiz Villalba
1208289908



Brando David Cumbe Gonzales
0350336186

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Otto Washinton Astudillo Astudillo con documento de identificación N° 0102054871 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO DE UN ALIMENTADOR DE 13.8 KV PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO DE LOS SECTORES CERCANOS A LA CIUDAD DE BABAHOYO”, realizado por Josue Daniel Ruiz Villalba con documento de identificación N° 1208289908 y Brando David Cumbe Gonzalez con documento de identificación N° 0350336186, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de enero del año 2025

Atentamente;



Ing. Otto Washinton Astudillo Astudillo, Msc
0102054871

DEDICATORIA

Dedico este logro en primer lugar a Dios por nunca haberme dejado solo durante este largo camino llenándome de fuerza hasta el final, a mis padres Omar Ruiz y Blanca Villalba, además de mi hermano Jhonatan Ruiz ya que siempre estuvieron a mi lado cuando los necesite brindándome su apoyo volviéndose un pilar fundamental para que pudiera lograr este objetivo.

Josue Daniel Ruiz Villalba

A mis queridos padres, María Inés de la Nube González Arévalo y Manuel Tarquino Cumbe González, Con todo mi corazón, dedico este logro a ustedes, quienes han sido mi mayor apoyo y fortaleza en este camino. Gracias por su esfuerzo incansable, por sus consejos sabios y por brindarme la oportunidad de estudiar en la universidad. Su amor y sacrificio han sido fundamentales para que hoy pueda alcanzar esta meta.

Cada paso que doy es el reflejo de su dedicación y confianza en mí. Este logro es tan suyo como mío.

Brando David Cumbe Gonzalez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haber estado a mi lado durante todo este proceso, a mis padres Omar Ruiz y Blanca Villalba que desde muy pequeño inculcaron en mi la importancia del estudio, además de valores que a lo largo de mi vida me han transformado en la persona que soy. También agradezco a mis tutores y docentes, no solo de mi etapa en la Universidad Politécnica Salesiana sino durante toda mi vida estudiantil, quienes con su paciencia y conocimiento lograron llenarme de conocimientos que me serán útiles durante toda mi vida.

Josue Daniel Ruiz Villalba

A mis queridos padres, María Inés de la Nube González Arévalo y Manuel Tarquino Cumbe Sabedra, Quiero expresar mi más profundo agradecimiento por haberme dado la oportunidad de estudiar en la Universidad Politécnica Salesiana, un sueño que no habría sido posible sin su esfuerzo, apoyo y amor incondicional. Gracias por creer en mí y por hacer sacrificios para que pudiera alcanzar esta meta. Su ejemplo y dedicación son mi mayor inspiración y mi motivo para esforzarme cada día.

Este logro también es de ustedes, quienes siempre me han acompañado en cada paso de este camino.

Brando David Cumbe Gonzalez

RESUMEN

Esta tesis propone el diseño de un alimentador de 13.8 kV que trabajará en paralelo con el alimentador existente "La Reforma" para mejorar el servicio eléctrico en los sectores cercanos a la ciudad de Babahoyo. La iniciativa responde a la necesidad de atender la creciente demanda de energía, garantizando un suministro más confiable y eficiente, cumpliendo con las normativas vigentes y criterios de seguridad.

El trabajo comenzó con la recopilación y análisis de información sobre la capacidad y eficiencia del alimentador actual, lo que permitió identificar sus limitaciones. Con base en estos datos, se definieron los parámetros técnicos para el nuevo alimentador, priorizando una mayor estabilidad y capacidad en la red eléctrica. Las simulaciones realizadas en la herramienta CYMDIST ayudaron a validar el diseño, destacándose la selección del conductor ACSR 266.8 y el aislamiento ANSI 56-2, elementos clave para minimizar caídas de tensión y prevenir sobrecargas.

Los resultados muestran que el diseño propuesto mejora notablemente la calidad del suministro eléctrico, eliminando problemas de sobrecarga y reduciendo pérdidas en el sistema. Se recomienda aprovechar los resultados obtenidos en las simulaciones para futuras expansiones de la red eléctrica y fomentar la capacitación en herramientas como CYMDIST para optimizar el diseño de infraestructuras eléctricas.

ABSTRACT

This thesis proposes the design of a 13.8 kV feeder operating in parallel with the existing "La Reforma" feeder to enhance the electric service quality in areas near the city of Babahoyo. The project addresses the need to meet the growing energy demand, ensuring a more reliable and efficient power supply in compliance with current regulations and safety standards.

The study began with the collection and analysis of information on the capacity and efficiency of the existing feeder, which allowed for the identification of its limitations. Based on this analysis, technical parameters for the new feeder were defined, prioritizing greater stability and load capacity in the electrical network. Simulations performed using CYMDIST validated the design, highlighting the selection of the ACSR 266.8 conductor and ANSI 56-2 insulator as key elements to minimize voltage drops and prevent overloading.

The results demonstrate that the proposed design significantly improves power supply quality, eliminating overload issues and reducing system losses. It is recommended to leverage the simulation results for future network expansions and promote training in tools such as CYMDIST to optimize the design of electrical infrastructures.

Índice de Contenido

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT	VIII
CAPITULO I.....	1
1.1. Título	1
1.2. Introducción	1
1.3. Planteamiento del problema	1
1.4. Justificación.....	2
1.5. Delimitación del problema	2
1.6. Beneficiarios de la propuesta	3
1.7. Objetivos:	3
1.7.1. Objetivo General:.....	3
1.7.2. Objetivos Específicos:.....	3
1.7.3. Metodología y Medios	4
CAPÍTULO II.....	5
2.1. Conceptos Básicos de Redes de Distribución Eléctrica	5
2.1.1. Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica	5
2.1.1.1. Estructura general de los sistemas de distribución.....	6
2.1.1.2. Clasificación de los sistemas de distribución: media tensión y baja tensión	7
2.1.1.2.1. Sistema de media tensión:	8
2.1.1.2.2. Sistema de baja tensión:	8
2.2. Alimentadores eléctricos:.....	8
2.2.1. Tipos de alimentadores:.....	8
2.2.1.1 Alimentadores radiales:	8
2.2.1.2. Alimentadores en anillo:.....	9
2.2.1.3. Alimentadores Mallados:.....	10
2.2.2. Criterios de diseño para alimentadores:	11
2.3. Diseño de Alimentadores en Media Tensión	12
2.3.1. Características técnicas de los alimentadores de 13.8 kV.	12
2.3.2. Normativas aplicables al diseño de alimentadores	13

2.4. Elementos Principales de un Alimentador de Media Tensión	13
2.4.1. Conductores	14
2.4.1.1. Clasificación de Conductores	14
2.4.1.2. Criterios de Selección de Conductores	16
2.4.1.3. Normativas Aplicables	17
2.4.1.4. Importancia en el Desempeño del Alimentador	17
2.4.2. Postes y Estructuras de Soporte	17
2.4.2.1. Clasificación de los postes.....	18
2.4.2.2. Estructuras de soporte	18
2.4.2.3. Diseño y selección de poste.....	19
2.4.2.4. Normas Aplicables	20
2.4.2.5. Importancia de los Postes y Estructuras de Soporte.....	20
2.4.3. Aisladores	20
2.4.3.1. Funciones Principales de los Aisladores	20
2.4.3.2. Clasificación de los Aisladores	21
2.4.3.3. Criterios de Selección de Aisladores.....	22
2.4.3.4. Normativas Aplicables	23
2.4.3.5. Importancia de los Aisladores en un Alimentador	23
2.4.4. Transformadores de Distribución	23
2.4.4.1. Funciones Principales de los Transformadores de Distribución	24
2.4.4.2. Clasificación de los Transformadores de Distribución.....	24
2.4.4.3. Componentes Principales de un Transformador de Distribución.....	25
2.4.4.4. Criterios de Selección de un Transformador de Distribución	25
2.4.4.5. Normas Aplicables	26
2.4.4.6. Importancia de los Transformadores en un Alimentador	26
2.4.5. Interruptores de Media Tensión	26
2.4.5.1. Funciones Principales de los Interruptores de Media Tensión	27
2.4.5.2. Tipos de interruptores de media tensión	27
2.4.5.3. Componentes Principales de los Interruptores de Media Tensión	28
2.4.5.4. Criterios de Selección de Interruptores de Media Tensión	28
2.4.6. Seccionadores y Cuchillas de Maniobra	29
2.4.6.1. Funciones principales	29
2.4.6.2. Tipos de Seccionadores	29
2.4.6.3. Cuchillas de maniobra.....	30
2.4.6.4. Componentes Principales de los Seccionadores y Cuchillas	30
2.4.6.5. Criterios de selección.....	31

2.4.7. Reconectador Automático	31
2.4.7.1. Funciones Principales del Reconectador Automático	32
2.4.7.2. Tipos de Reconectador Automático	32
2.4.7.3. Componentes principales	33
2.4.7.4. Ciclo de Operación	33
2.4.7.5. Criterios de selección.....	33
2.4.8. Fusibles	34
2.4.8.1. Funciones principales	34
2.4.8.2. Tipos de fusibles.....	35
2.4.8.3. Componentes principales	35
2.4.8.4. Criterios de selección.....	36
2.4.9. Reguladores de voltaje	36
2.4.9.1. Funciones principales	37
2.4.9.2. Tipos de reguladores de voltaje	37
2.4.9.3. Componentes principales	38
2.4.9.4. Criterios de selección.....	38
2.4.10. Bancos de Capacitores y Reactores	39
2.4.10.1. Bancos de Capacitores	39
2.4.10.1.1. Funciones Principales	39
2.4.10.1.2. Componentes Principales de un Banco de Capacitores	40
2.4.10.2. Reactores	40
2.4.10.2.1. Funciones Principales	40
2.4.10.2.2. Componentes Principales de un Reactor	40
2.4.10.3. Criterios de Selección	41
2.4.11. Sistema de Puesta a Tierra	41
2.4.11.1. Funciones Principales	42
2.4.11.2. Componentes del Sistema de Puesta a Tierra.....	42
2.4.11.3. Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra	43
2.4.11.4. Criterios de Diseño	43
2.4.12. Pararrayos	44
2.4.12.1. Funciones Principales	44
2.4.12.2. Componentes Principales de un Pararrayos	45
2.4.12.3. Tipos de Pararrayos	45
2.4.12.4. Criterios de Selección	46
2.4.13. Dispositivos de Protección contra Sobretensiones (DPS)	46
2.4.13.1. Funciones Principales	47

2.4.13.2. Componentes Principales de un DPS.....	47
2.4.13.3. Tipos de DPS	48
2.4.13.4. Criterios de Selección	49
2.4.14. Cables de Guarda y OPGW.....	49
2.4.14.1. Cables de Guarda.....	50
2.4.14.1.1. Funciones Principales:	50
2.4.14.1.2. Tipos de Cables de Guarda:	50
2.4.14.2. OPGW (Optical Ground Wire)	51
2.4.14.2.1. Funciones Principales del OPGW:	51
2.4.14.2.2. Tipos de OPGW:	51
2.4.14.3. Criterios de Selección:	52
2.4.15. Dispositivos de Reconfiguración Automática (FLISR).....	52
2.4.15.1. Funciones Principales	52
2.4.15.2. Componentes Principales de un Sistema FLISR	53
2.4.15.4. Aplicaciones de FLISR.....	53
2.4.15.5. Consideraciones y Desafíos.....	54
2.4.16. Cámaras y Gabinetes de Distribución.....	55
2.4.16.1. Funciones Principales	55
2.4.16.2. Componentes Comunes de Cámaras y Gabinetes de Distribución	56
2.4.16.3. Tipos de Cámaras y Gabinetes de Distribución.....	56
2.4.16.5. Consideraciones Técnicas	57
2.4.17. Señalización y Señalética.....	57
2.4.17.1. Funciones Principales de la Señalización y Señalética	57
2.4.17.2. Tipos de Señales Utilizadas en un Alimentador de Media Tensión.....	58
2.4.17.3. Materiales y Características de las Señales.....	59
2.4.17.4. Consideraciones Técnicas en la Implementación de Señalización.....	59
2.4.18. Dispositivos de Control de Armónicos	60
2.4.18.1. Origen de los Armónicos	61
2.4.18.2. Efectos de los Armónicos en el Sistema Eléctrico	61
2.4.18.3. Dispositivos de Control de Armónicos	61
2.4.18.4. Normativas y Requisitos para el Control de Armónicos	62
2.4.18.5. Importancia del Control de Armónicos en Alimentadores de Media Tensión.....	63
2.4.19. Dispositivos de Almacenamiento de Energía (Opcional)	63
2.4.19.1. Tipos de Dispositivos de Almacenamiento de Energía	64
2.4.19.2. Beneficios del Almacenamiento de Energía	65
2.4.19.3. Desafíos en el Uso de Dispositivos de Almacenamiento de Energía.....	65

2.4.19.4. Aplicaciones del Almacenamiento de Energía en Alimentadores de Media Tensión	66
2.5. Herramientas para el Diseño y Simulación del Alimentador	66
2.5.1. CYMDIST	66
2.6. Normativas y Estándares Aplicables	67
2.6.1. IEEE Std 142-2017: "Libro Verde: Conexión a Tierra de Sistemas de Energía Industriales y Comerciales"	68
2.6.2. IEEE Std 80-2017: "Guía IEEE para la Seguridad en la Conexión a Tierra de Subestaciones de CA"	68
2.6.3. IEC 61936-1:2016: "Instalaciones Eléctricas - Parte 1: Reglas Generales"	68
2.6.4. IEC 60364-5-54:2016: "Instalaciones Eléctricas de Edificios - Parte 5-54: Sistemas de Puesta a Tierra"	68
2.6.5. Normativas Locales y Nacionales en Ecuador.....	69
2.6.5.1. Reglamento a la Ley de Electricidad.....	69
2.6.5.2. Cuerpo Normativo de la Agencia Nacional de Regulación, Control y Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR).....	69
2.6.5.3. Código de Redes de Distribución Eléctrica (CRE)	70
CAPITULO III.....	71
3.1. Recopilación de datos del alimentador La Reforma	71
3.1.1. Descripción de La subestación Centro Industrial	71
3.1.1.1. Patio 13.8 KV	71
3.1.1.1.1. Estructuras:.....	71
3.1.1.1.2. Aisladores y herrajes	72
3.1.1.1.3. Interruptor de aire principal:	72
3.1.1.1.4. Interruptores de las alimentadoras:	72
3.1.1.1.5. Controles de las alimentadoras:	73
3.1.1.1.6. Cuchillas seccionadoras de las alimentadoras:.....	73
3.1.1.1.7. Conductores:.....	73
3.1.1.1.8. Transformadores de corriente:.....	74
3.1.1.1.9. Transformadores de potencial:	74
3.1.1.1.10. Transformador de auxiliares:.....	74
3.1.1.2. Cuarto de Control.....	74
3.1.1.2.1. Medición:.....	75
3.1.1.2.2. Dispositivos de protección y control:	76
3.1.1.2.3. Cables de control:	76
3.1.1.3. Protección de Sobrevoltaje en la Subestación Centro Industrial	76
3.1.1.4. Malla de tierra.....	77

3.1.2. Alimentador La Reforma	77
3.1.2.1. Área de influencia del alimentador La Reforma.....	77
3.1.2.2. Diagramas del alimentador La Reforma	78
3.1.2.3. Transformadores	79
3.1.2.4. Cargas	79
3.1.2.4.1. Curva de Demanda Promedio de la alimentadora La Reforma	79
3.1.2.4.2. Máxima Carga.....	80
3.1.2.4.3. Perfil de Voltaje para máxima Carga.....	80
3.1.2.5. Corrientes por fases	81
3.1.2.6. Factor de Utilización.....	81
3.1.2.7. Fusibles	82
3.2. Cálculos	83
3.2.1. Corriente nominal del alimentador	83
3.2.2. Selección del conductor adecuado	83
3.2.2.1. Conductores ACSR más comunes:.....	84
3.2.3. Selección del aislador.....	85
3.2.4. Cálculo de cortocircuitos.....	87
3.2.5. Dimensionamiento de protecciones	88
3.2.6. Estudio de caída de tensión en condiciones de carga máxima	90
3.2.7. Cálculo de pérdidas técnicas	92
Capitulo IV	94
4.1. Construcción del alimentador La Reforma Nuevo.....	94
4.1.1. Alimentador La Reforma Nuevo	94
4.1.2. Simulación del flujo de carga	120
4.2. Estructuras	123
4.2.1. Estructura 1CA	123
4.2.2. Estructura 1CP	124
4.2.3. Estructura 1CR	125
4.2.4. Estructura 1CD	126
4.2.5. Estructura 3CA	127
4.2.6. Estructura 3CP	128
4.2.7. Estructura 3CR	129
4.2.8. Estructura 3CD	130
4.2.9. Estructura 1EP.....	131
4.2.10. Estructura 1ER.....	132
4.2.11. Estructura 1ED	133

4.2.12. Estructura OTS	134
4.3. Recuento de Material	136
Capitulo V	138
5.1. Conclusiones.....	138
5.2. Recomendaciones	138
Capitulo VI	139
6.1. Referencias Bibliográficas	139
ANEXOS	144

Índice de Figuras

Figura 1: Estructura de un sistema de energía eléctrica. AT: alta tensión, MT: media tensión, BT: baja tensión [39].	5
Figura 2: Estructura general de un sistema de distribución [40].	6
Figura 3: Subestación de distribución [40].	6
Figura 4: Estructura general de un sistema de distribución [41].	7
Figura 5: Diagrama de una topología radial en una red de distribución eléctrica.	9
Figura 6: Diagrama de una red de distribución en bucle abierto o anillo.	10
Figura 7: Diagrama de una topología en malla.	11
Figura 8: ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforced)	14
Figura 9: AAC (All Aluminum Conductor).....	15
Figura 10: AAAC (All Aluminum Alloy Conductor).....	15
Figura 11: Cables con aislamiento XLPE	16
Figura 12: Cables con aislamiento EPR.....	16
Figura 13: Poste	18
Figura 14: Cruceta	19
Figura 15: Aisladores.....	19
Figura 16: Aisladores de Pin	21
Figura 17: Aisladores de Suspensión	21
Figura 18: Aisladores de Poste.....	22
Figura 19: Transformador de Distribución Tipo Poste.....	24
Figura 20: Interruptor Intemperie Tanque Vivo De Media Tension “Vee” E Interruptor Interior “Ve” (Hasta 38 Kv).....	27
Figura 21: Seccionador	29
Figura 22: Reconectador Automático.....	32
Figura 23: Fusible Limitador De Corriente Driwisa, 13.8 Kv, 100a, Drs13/100-B2	34
Figura 24: Regulador de Voltaje Eléctrico 13.8kv	37

Figura 25: Bancos De Capacitores Con Reactores De Rechazo En Media Y Alta Tensión .	39
Figura 26: Sistema de puesta a tierra	42
Figura 27: Pararrayos Polimérico Clase Distribución Norma ICE.....	44
Figura 28: Dispositivo de protección contra sobretensiones SPD - LSP	47
Figura 29: OPGW (Optical Ground Wire)	50
Figura 30: Protector de armónicos xchpd99-3 xchpd99-1 dispositivo de absorción de armónicos protector de armónicos multifuncional	60
Figura 31: Sistema de almacenamiento de energía	63
Figura 32: Ventana principal de CYMDIST	67
Figura 33: Salida de los Alimentadores de la Subestación Centro Industrial	71
Figura 34: Diagrama del alimentador La Reforma	78
Figura 35: Demanda promedio del alimentador La Reforma	79
Figura 36: Perfil de voltaje de la Troncal del alimentador La Reforma	80
Figura 37: Pantalla de inicio de CYMDIST	94
Figura 38: Menú de modelos de red CYME 9.2	94
Figura 39: Asistente de la base de datos CYME	95
Figura 40: Asistente de la base de datos CYME	95
Figura 41: base de datos Microsoft Access (Base de datos de equipos)	95
Figura 42: Asistente de la base de datos CYME	96
Figura 43: base de datos Microsoft Access (Base de datos de red).....	96
Figura 44: Tipo de base de datos (Base de datos de proyecto).....	96
Figura 45: Asistente de base de datos en CYMDIST	97
Figura 46: configuración de la base de datos.....	97
Figura 47: Pantalla de inicio de CYMDIST	97
Figura 48: Nuevo estudio / proyecto.....	98
Figura 49: menú preferencias	98
Figura51: vista satelital de la subestación centro industrial.....	99
Figura 52: mapa del Ecuador en CYMDIST.....	99
Figura 53: pasos para abrir la caja de herramientas.....	100
Figura 54: caja de herramientas	100
Figura 56: menú fuente de la fuente.....	101
Figura 57: Caja de herramientas	101
Figura 58: menú de propiedades del reconectador.....	102
Figura 59: Ajustes del reconectador en CYMDIST	102
Figura 60: Ajustes generales del reconectador en CYMDIST.....	102
Figura 61: Configuración TCC del reconectador en CYMDIST.....	103

Figura 62: Ajustes de disparo por sobrecorriente del reconectador en CYMDIST	103
Figura 63: Ajustes de falla a tierra sensible del reconectador en CYMDIST	103
Figura 64: Ajustes de secuencia del reconectador en CYMDIST	104
Figura 65: Ajustes de corte del reconectador en CYMDIST	104
Figura 66: Ajustes de corriente de cortocircuito del reconectador en CYMDIST	104
Figura 67: Mostrar curva del reconectador en CYMDIST	105
Figura 68: Curva del reconectador en CYMDIST	105
Figura 69: Caja de herramientas	106
Figura 70: Caja de herramientas	106
Figura 71: menú general del relé de sobrecorriente	107
Figura 72: Ajuste del relé de sobrecorriente en CYMDIST	107
Figura 73: Ajustes generales del relé de sobrecorriente en CYMDIST.....	108
Figura 74: Ajustes de tiempo corto del relé de sobrecorriente en CYMDIST	108
Figura 75: Ajustes instantáneos del relé de sobrecorriente en CYMDIST.....	108
Figura 76: Ajustes de sobrecarrera del relé de sobrecorriente en CYMDIST	109
Figura 77: Ajustes de puntos de prueba del relé de sobrecorriente en CYMDIST	109
Figura 78: Ajustes de corte del relé de sobrecorriente en CYMDIST	109
Figura 79: Ajustes de corrientes de cortocircuito del relé de sobrecorriente en CYMDIST	110
Figura 80: Mostrar curva del relé de sobrecorriente en CYMDIST.....	110
Figura 81: Curva del relé de sobrecorriente en CYMDIST	111
Figura 82: Propiedades del tramo subterráneo.....	112
Figura 83: Curva del conductor del tramo subterráneo	112
Figura 84: Propiedades de uno de los tramos de la red del alimentador La Reforma Nuevo	113
Figura 85: Curva del conductor ACSR 266.8 en CYMDIST.....	113
Figura 86: Datos generales del fusible en CYMDIST	114
Figura 87: Ajustes del fusible en CYMDIST	114
Figura 88: Ajustes generales del fusible en CYMDIST	115
Figura 89: Ajustes del control de sobrecorriente del fusible en CYMDIST.....	115
Figura 90: Ajustes de corte del fusible en CYMDIST	116
Figura 91: Ajustes de corriente de cortocircuito del fusible en CYMDIST	116
Figura 92: Mostrar curva del fusible en CYMDIST.....	117
Figura 93: Curva del fusible en CYMDIST.....	117
Figura 94: coordinación de los dispositivos del ramal.....	118

Figura 95: Coordinación de curvas de los elementos principales del alimentador La Reforma Nuevo.....	119
Figura 96: Flujo de carga en CYMDIST	120
Figura 97: Flujo de carga del alimentador La Reforma	120
Figura 98: Flujo de carga de alimentador La Reforma Nuevo	121
Figura 99: Cuadro de flujo de carga de un tramo del alimentador La Reforma Nuevo	121
Figura 100: Cuadro de flujo de carga de un tramo del alimentador La Reforma Nuevo ..	122
Figura 101: Cuadro de flujo de carga de un tramo del alimentador La Reforma Nuevo ..	122

Índice de Tablas

Tabla 1: Descripción de aisladores y herrajes a nivel de 13.8 kV [88]	72
Tabla 2: Descripción del interruptor de aire principal [88]	72
Tabla 3: Descripción de los interruptores de las alimentadoras [88].....	72
Tabla 4: Descripción de los controles de las alimentadoras [88]	73
Tabla 5: Descripción de las cuchillas seccionadoras de las alimentadoras [88]	73
Tabla 6: Descripción de los conductores a nivel de 13.8 KV [88].....	73
Tabla 7: Descripción de los transformadores de corriente a nivel de 13.8 KV [88]	74
Tabla 8: Descripción de los transformadores de potencial a nivel de 13.8 KV [88].....	74
Tabla 9: Descripción del transformador auxiliar [88].....	74
Tabla 10: Descripción del cargador de baterías del cuarto de control [88]	74
Tabla 11: Descripción del banco de baterías del cuarto de control [88]	75
Tabla 12: Descripción de los medidores de los alimentadores [88]	75
Tabla 13: Descripción de los Dispositivos de Protección y Control [88]	76
Tabla 14: Descripción de los Cables de Control [88].....	76
Tabla 15: Área de Influencia del alimentador La Reforma	77
Tabla 16: Características Básicas de Líneas de Distribución Alimentador La Reforma [88]	78
Tabla 17: Numero de Transformadores del alimentador La Reforma [88]	79
Tabla 18: Potencia Máxima y Mínima del alimentador La Reforma	80
Tabla 19: Voltaje en porcentaje para Máxima carga alimentador La Reforma [88]	80
Tabla 20: Corrientes por fase del alimentador La Reforma.....	81
Tabla 21: Cálculo de Factor de utilización por fase en el alimentador La Reforma	81
Tabla 22: Numero de Fusibles del alimentador La Reforma [88].....	82
Tabla 23: Coordinación de fisibles alimentador La Reforma [88].....	82
Tabla 24: Factor de contaminación ambiental	85
Tabla 25: Nivel de aislamiento estándar para 13.8 kV	86

Tabla 26: Aisladores de porcelana tipo pin - Clase ANSI	86
Tabla 27: Estructuras usadas en el alimentador La Reforma Nuevo	123
Tabla 28: Lista De Materiales Estandar Para Estructura 1ca Según Manual De Las Unidades De Construcción [90].....	123
Tabla 29: Lista De Materiales Estandar Para Estructura 1cp Según Manual De Las Unidades De Construcción [90].....	124
Tabla 30: Lista De Materiales Estandar Para Estructura 1cr Según Manual De Las Unidades De Construcción [90].....	125
Tabla 31: Lista De Materiales Estandar Para Estructura 1cd Según Manual De Las Unidades De Construcción [90].....	126
Tabla 32: Lista De Materiales Estandar Para Estructura 3ca Según Manual De Las Unidades De Construcción [90].....	127
Tabla 33: Lista De Materiales Estandar Para Estructura 3cp Según Manual De Las Unidades De Construcción [90].....	128
Tabla 34: Lista De Materiales Estandar Para Estructura 3cr Según Manual De Las Unidades De Construcción [90].....	129
Tabla 35: Lista De Materiales Estandar Para Estructura 3cd Según Manual De Las Unidades De Construcción [90].....	130
Tabla 36: Lista De Materiales Estandar Para Estructura 1ep Según Manual De Las Unidades De Construcción [91].....	131
Tabla 37: Lista De Materiales Estandar Para Estructura 1er Según Manual De Las Unidades De Construcción [91].....	132
Tabla 38: Lista De Materiales Estandar Para Estructura 1ed Según Manual De Las Unidades De Construcción [91].....	133
Tabla 39: Lista De Materiales Estandar Para Estructura 0ts Según Manual De Las Unidades De Construcción [89].....	134
Tabla 40: Recuento de materiales	137

CAPITULO I

1.1. Título

DISEÑO DE UN ALIMENTADOR DE 13.8 KV PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL SUMINISTRO ELECTRICO DE LOS SECTORES CERCANOS A LA CIUDAD DE BABAHOYO.

1.2. Introducción

La electricidad es una forma de energía esencial para el desarrollo social, económico y tecnológico de cualquier región. Su correcto suministro, desde la generación hasta el consumo final, es posible gracias a una infraestructura compleja que integra procesos de transmisión y distribución [1]. Sin embargo, en los sectores cercanos a la ciudad de Babahoyo, la calidad del suministro eléctrico enfrenta desafíos significativos, como fluctuaciones de voltaje, interrupciones recurrentes y pérdidas técnicas elevadas. Estas deficiencias afectan tanto a los usuarios residenciales como a las actividades comerciales e industriales, limitando el potencial de desarrollo de la zona [2].

El diseño de un alimentador de 13.8 kV en paralelo con el alimentador existente "La Reforma" surge como una solución técnica viable para abordar estas problemáticas. Este proyecto se orienta a garantizar un suministro eléctrico más confiable, reduciendo las pérdidas técnicas y mejorando los niveles de voltaje. La propuesta incluye la utilización de herramientas avanzadas de simulación y diseño, como CYMDIST, que permitirá optimizar el diseño de la nueva infraestructura eléctrica [3], [4].

La implementación de este alimentador no solo contribuirá a satisfacer la demanda energética actual, sino que también establecerá las bases para un sistema eléctrico más robusto y eficiente en el futuro. Este diseño considera tanto los aspectos técnicos como los económicos, priorizando la calidad del servicio y el impacto positivo en la calidad de vida de los habitantes de los sectores beneficiados [5].

1.3. Planteamiento del problema

Durante los últimos años, en la provincia de Los Ríos, el aumento de habitantes a las afueras de la ciudad de Babahoyo ha sido exponencial [6], resultando en un incremento en el consumo de energía eléctrica. Actualmente la infraestructura de distribución eléctrica de la ciudad presenta deficiencias que provocan cortes de energía frecuentes y pérdidas técnicas elevadas lo cual se ha convertido en un problema que debe ser solucionado lo antes posible. El alimentador "La Reforma"

que brinda servicio a los sectores Las Ximenas, Tolas, Inpaecsa, María Rosa, Puentes Gemelos, parte de El Pireo y sectores aledaños, actualmente no asegura un servicio continuo y seguro, por lo cual es necesario diseñar e implementar un nuevo alimentador para solucionar estos problemas y mejorar la calidad del suministro eléctrico.

1.4. Justificación

La implementación de un nuevo alimentador de 13.8 kV para los sectores aledaños a Babahoyo responde a la creciente demanda eléctrica impulsada por el aumento de la población en esta región. La infraestructura actual, en especial el alimentador “La Reforma”, no es suficiente para garantizar un servicio continuo y seguro, lo que afecta la calidad de vida de los habitantes y la operatividad de actividades económicas locales. Las deficiencias en el sistema actual, reflejadas en cortes frecuentes y elevadas pérdidas técnicas, generan un impacto negativo en la estabilidad del suministro y comprometen la seguridad de los usuarios, lo cual evidencia la necesidad de una solución estructural que optimice la capacidad de distribución en la zona.

Este proyecto tiene como finalidad mejorar la confiabilidad y continuidad del suministro eléctrico mediante el diseño de un nuevo alimentador que funcione en paralelo lo cual también contribuirá a reducir la carga en el alimentador existente y, en consecuencia, a minimizar las interrupciones y pérdidas energéticas. El diseño de este alimentador no solo atenderá las normativas vigentes y estándares de seguridad, sino que garantizará un suministro más robusto y eficiente, beneficiando tanto a la población residencial como a los sectores industriales.

1.5. Delimitación del problema

El presente trabajo de investigación se desarrollará durante el período 2024-2025, enfocándose en los sectores cercanos a la ciudad de Babahoyo que se encuentran bajo la jurisdicción de la Unidad de Negocios CNEL EP Los Ríos. El objetivo principal del proyecto será realizar el diseño técnico de un alimentador eléctrico de 13.8 kV, sin incluir la etapa de construcción, con el propósito de mejorar la calidad del suministro eléctrico en las áreas seleccionadas.

Este proyecto se delimitará estrictamente a la etapa de diseño, considerando las normativas técnicas vigentes, tales como las establecidas por la CNEL EP, los estándares IEEE y las normativas internacionales aplicables al diseño de sistemas eléctricos de distribución. Asimismo, se utilizarán herramientas de simulación y diseño especializadas como CYMDIST, para garantizar un análisis detallado y un diseño eficiente.

El alcance del proyecto también estará condicionado por la disponibilidad de datos técnicos del sistema eléctrico actual y por la accesibilidad a las normativas y regulaciones necesarias. De igual forma, se excluyen actividades relacionadas con la implementación física del alimentador, como la adquisición de materiales, la contratación de personal para obras civiles o la ejecución de trabajos de construcción.

1.6. Beneficiarios de la propuesta

Los principales beneficiarios del proyecto serán:

- Los habitantes y empresas de los sectores aledaños a Babahoyo, quienes experimentarán una mejora en la calidad del suministro eléctrico, reflejada en mayor estabilidad de voltaje, reducción de interrupciones y disminución de pérdidas técnicas.
- Los sectores industriales y comerciales verán fortalecida su capacidad operativa, lo que favorecerá el desarrollo económico local.
- Los autores ya que fortalecerán sus conocimientos y posteriormente recibirán el título de Ingeniero en electricidad.

1.7. Objetivos:

1.7.1. Objetivo General:

Diseñar un alimentador de 13.8KV que funcione en paralelo al alimentador “La Reforma” ya existente, cumpliendo los estándares de seguridad y normativas vigentes, para mejorar la calidad del suministro eléctrico de los sectores cercanos a la ciudad de Babahoyo.

1.7.2. Objetivos Específicos:

- Recopilar datos sobre la capacidad, estado y eficiencia del alimentador “La Reforma” mediante información ya existente, para identificar áreas de mejora y determinar los requisitos específicos del nuevo alimentador.
- Diseñar el nuevo alimentador en paralelo conforme a estándares de seguridad y normativas vigentes para mejorar la fiabilidad del suministro eléctrico en los sectores cercanos a la ciudad de Babahoyo.
- Demostrar el funcionamiento del nuevo alimentador siguiendo las especificaciones técnicas establecidas, realizando pruebas de funcionamiento y asegurando que cumpla con los estándares de seguridad y normativas vigentes mediante el uso de distintos simuladores, revisando su desempeño inicial y realizando ajustes según sea necesario para mejorar la calidad del suministro eléctrico.

1.7.3. Metodología y Medios

Para desarrollar el proyecto, se iniciará con la recopilación de datos detallados sobre el alimentador "La Reforma", analizando su capacidad, estado operativo y eficiencia mediante informes técnicos, registros históricos y consultas con expertos. Este análisis permitirá comprender las limitaciones actuales del sistema y establecer los parámetros necesarios para el diseño del nuevo alimentador, garantizando un enfoque técnico preciso y alineado con las normativas vigentes.

El diseño del nuevo alimentador en paralelo simula la distribución de carga en los sectores cercanos a Babahoyo, asegurando redundancia y capacidad adecuada. Para ello, se empleará la herramienta CYMDIST, permitiendo modelar y simular escenarios operativos que optimicen el desempeño del sistema eléctrico. Además, se evaluará la compatibilidad del diseño con el sistema existente, priorizando la seguridad y confiabilidad en el suministro eléctrico.

Finalmente, se revisarán los resultados obtenidos de las simulaciones para realizar ajustes que garanticen un diseño eficiente y robusto. Las modificaciones estarán fundamentadas en análisis comparativos, documentando cada cambio con detalle técnico. Este enfoque metodológico integral asegura que el alimentador diseñado cumpla con las necesidades específicas de la comunidad, mejorando significativamente la calidad del suministro eléctrico.

CAPÍTULO II

2.1. Conceptos Básicos de Redes de Distribución Eléctrica

2.1.1. Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica

Los sistemas de distribución de energía eléctrica son fundamentales para garantizar el suministro seguro, confiable y eficiente de electricidad a los consumidores finales. Estos sistemas convierten la energía eléctrica de alta tensión en niveles adecuados para el uso residencial, comercial e industrial. La calidad y confiabilidad de la energía proporcionada dependen en gran medida del diseño y operación del sistema de distribución.

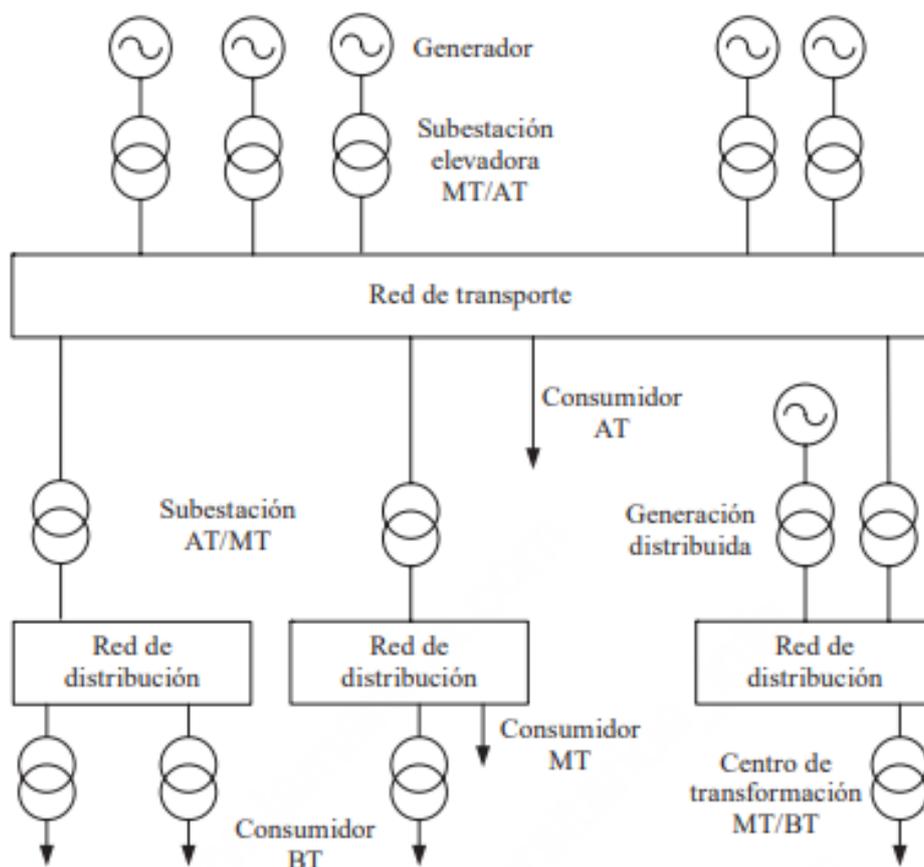


Figura 1: Estructura de un sistema de energía eléctrica. AT: alta tensión, MT: media tensión, BT: baja tensión [39].

2.1.1.1. Estructura general de los sistemas de distribución.

Un sistema de distribución de energía eléctrica está compuesto por diversos elementos interrelacionados que trabajan en conjunto para asegurar que la energía eléctrica llegue de manera confiable a los usuarios.

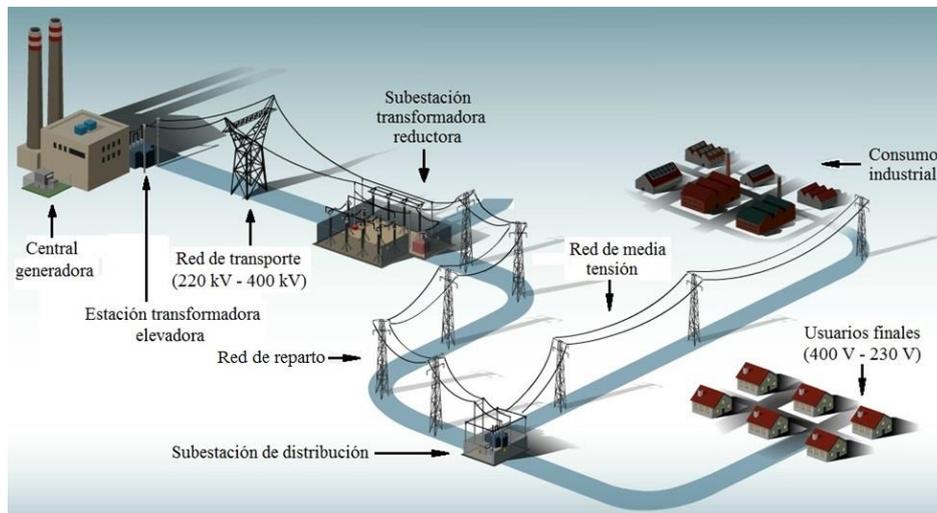


Figura 2: Estructura general de un sistema de distribución [40].

Subestaciones de distribución: Estas instalaciones son clave en el proceso de reducción de la tensión de la energía proveniente de las líneas de transmisión. Los transformadores en estas subestaciones disminuyen la tensión de niveles de alta a media tensión (por ejemplo, 69 kV a 13.8 kV). Además, las subestaciones incluyen interruptores y sistemas de protección que protegen la red de posibles fallas y sobrecargas.

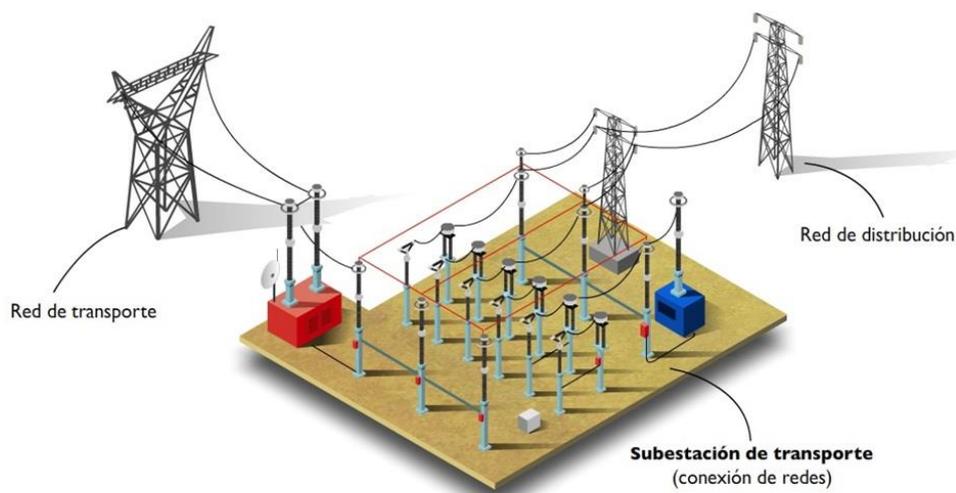


Figura 3: Subestación de distribución [40].

Alimentadores: Son las líneas que transportan la energía desde las subestaciones hacia las áreas residenciales, comerciales e industriales. Los alimentadores operan generalmente a media tensión y pueden tener topologías como la radial, en anillo o mallada, dependiendo de la confiabilidad y los costos del sistema.

Transformadores de distribución: Estos dispositivos transforman la energía de media tensión a baja tensión (por ejemplo, de 13.8 kV a 120/240 V), adecuada para el consumo de los usuarios finales. Pueden instalarse de forma aérea o subterránea, dependiendo de las características del área a servir.

Redes de distribución secundaria: Son las conexiones que transportan la energía transformada a baja tensión hasta los puntos de conexión en las viviendas, comercios e industrias. Estas redes se componen de cables subterráneos o aéreos, según el tipo de instalación y las condiciones geográficas.

Sistemas de protección y control: Estos incluyen dispositivos como fusibles, relés y reconectores automáticos que protegen a los equipos de distribución y a los usuarios de daños causados por sobrecargas, cortocircuitos y otras fallas.

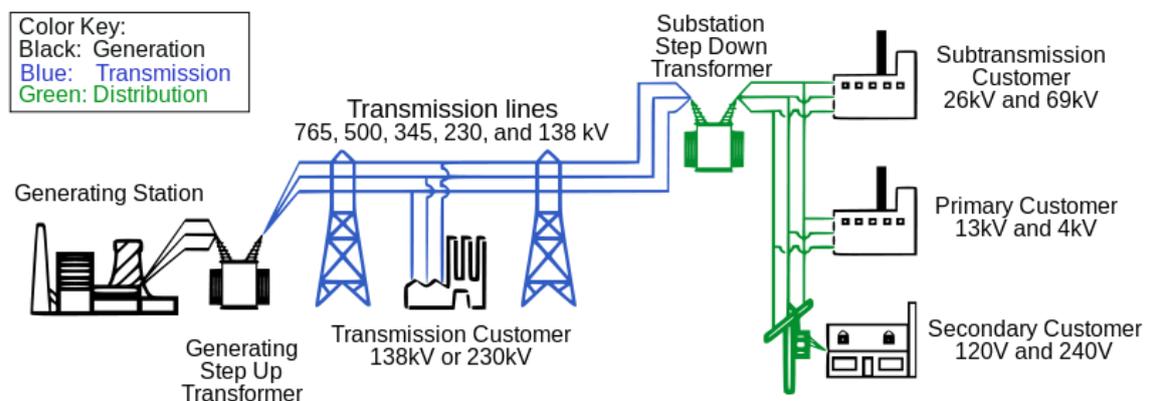


Figura 4: Estructura general de un sistema de distribución [41].

La estructura debe ser diseñada para cumplir con los requisitos de confiabilidad, eficiencia y seguridad, minimizando las pérdidas de energía y las interrupciones del servicio [10], [11].

2.1.1.2. Clasificación de los sistemas de distribución: media tensión y baja tensión

Los sistemas de distribución se clasifican principalmente según el nivel de tensión en el que operan: media tensión y baja tensión. Cada tipo tiene características específicas que afectan su aplicación y funcionamiento.

2.1.1.2.1. Sistema de media tensión:

La red de media tensión transporta la energía desde las subestaciones de distribución hasta los transformadores de distribución. Generalmente opera en un rango de 1 kV a 69 kV. Su función principal es la de proporcionar energía a grandes áreas, como barrios, sectores industriales y comerciales. Los alimentadores de media tensión pueden ser de diversas topologías como radial, en anillo o mallada, dependiendo de la necesidad de confiabilidad y la topografía del área.

2.1.1.2.2. Sistema de baja tensión:

La red de baja tensión conecta los transformadores de distribución con los consumidores finales. Esta red opera a tensiones de 120 V, 220 V o 380 V, dependiendo de la región. Su función es suministrar la energía necesaria para el consumo doméstico, comercial e industrial a pequeña escala. Las acometidas domiciliarias y los puntos de conexión en las instalaciones de los usuarios son parte integral de este sistema. Además, la red de baja tensión es la que experimenta mayor interacción con el usuario final, por lo que la calidad del servicio en esta etapa es crucial.

La clasificación en estos dos niveles de tensión asegura que cada parte del sistema de distribución sea adecuada para el tipo de carga que maneja, optimizando la eficiencia y minimizando las pérdidas de energía [12], [13].

2.2. Alimentadores eléctricos:

Los alimentadores son las líneas principales en un sistema de distribución de media y baja tensión que transportan la energía desde las subestaciones hasta los centros de consumo. Su función principal es distribuir la electricidad de forma segura y eficiente hacia diferentes áreas o sectores, y también actuar como nodos de conexión para ramales o circuitos secundarios que abastecen a usuarios residenciales, comerciales e industriales.

2.2.1. Tipos de alimentadores:

2.2.1.1 Alimentadores radiales:

Este tipo es sencillo y económico, en el cual la energía fluye en una sola dirección, desde la subestación hacia los puntos de consumo. Sin embargo, son más vulnerables a fallas, ya que un solo punto de falla puede interrumpir el suministro a toda la línea.

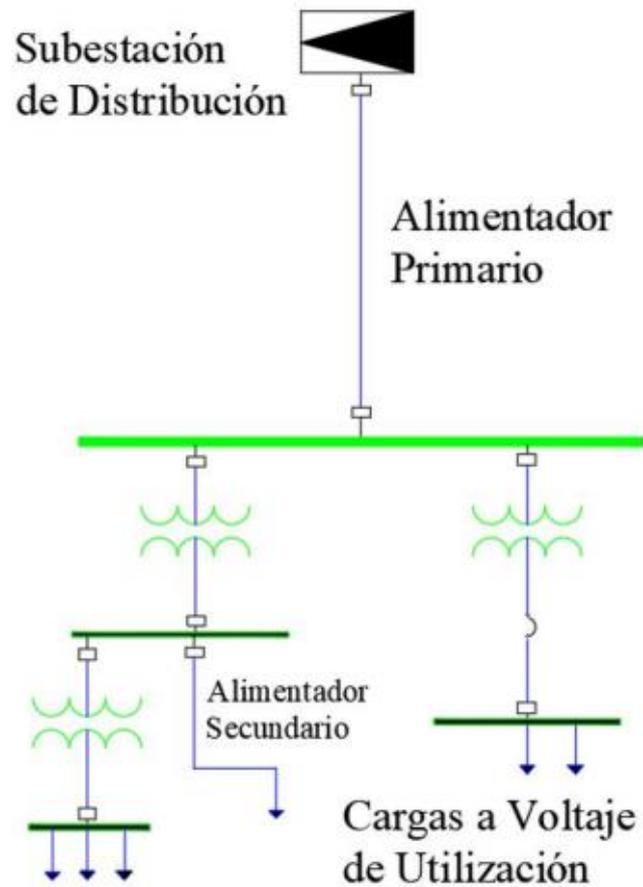


Figura 5: Diagrama de una topología radial en una red de distribución eléctrica.

2.2.1.2. Alimentadores en anillo:

Configurados en un circuito cerrado, permiten que la energía llegue desde dos direcciones, lo que aumenta la confiabilidad. A pesar de ser más costosos debido a los equipos de protección necesarios, son adecuados para áreas con alta demanda, ya que permiten mantener el suministro en caso de falla en una de las secciones [7].

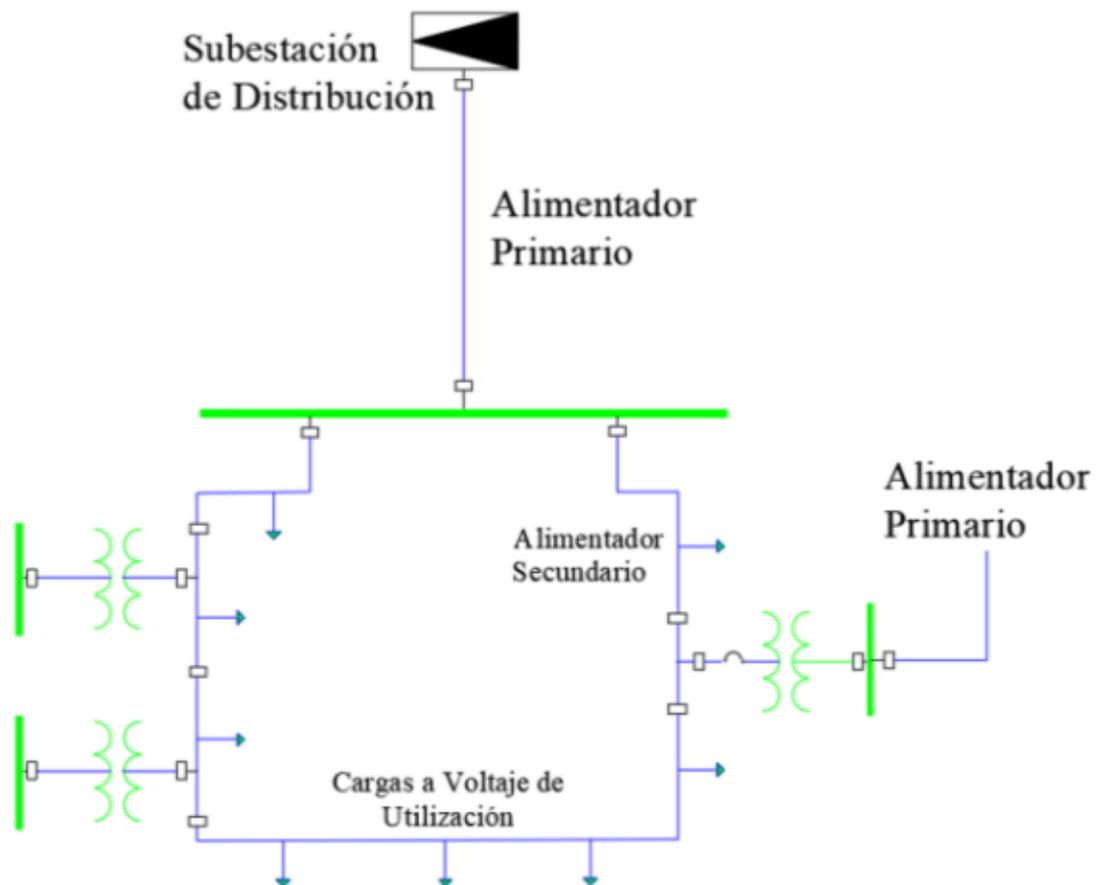


Figura 6: Diagrama de una red de distribución en bucle abierto o anillo.

2.2.1.3. Alimentadores Mallados:

Estos sistemas conectan múltiples alimentadores en una configuración de malla, proporcionando la mayor confiabilidad al ofrecer rutas alternativas de flujo de energía. Son comunes en áreas urbanas e industriales de alta demanda, aunque requieren sistemas avanzados de control y protección debido a su complejidad [8].

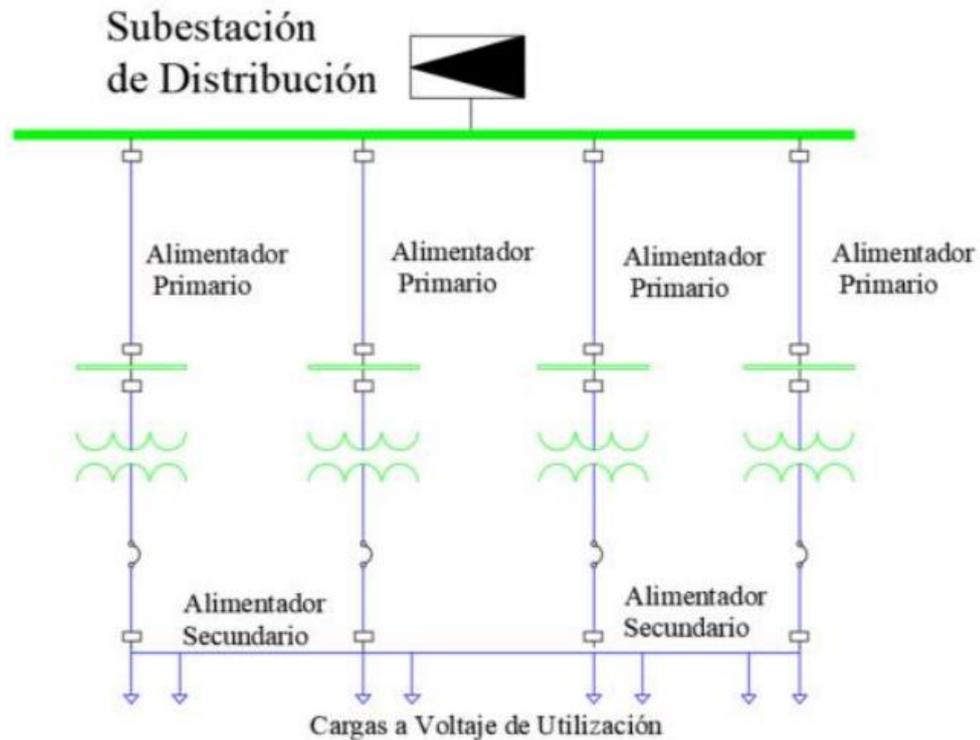


Figura 7: Diagrama de una topología en malla.

2.2.2. Criterios de diseño para alimentadores:

Al diseñar alimentadores, es fundamental seguir criterios específicos para garantizar eficiencia, confiabilidad y seguridad en la distribución de energía. Algunos de los criterios más importantes son:

- Capacidad de carga y demanda
- Pérdidas de energía y eficiencia
- Caída de voltaje
- Protección y seccionamiento
- Ubicación y tipo de conductores
- Flexibilidad y expansión
- Factores ambientales

Estos criterios permiten diseñar alimentadores que optimicen el costo de construcción y operación, aseguren un servicio confiable y puedan adaptarse al crecimiento de la demanda futura en el área de servicio [9].

2.3. Diseño de Alimentadores en Media Tensión

El diseño adecuado de los alimentadores en media tensión es esencial para garantizar un suministro de energía eficiente, seguro y confiable. Los alimentadores son las líneas que transportan la energía desde las subestaciones de distribución hacia los consumidores, operando generalmente a media tensión. Un diseño eficiente de alimentadores no solo asegura la calidad del suministro eléctrico, sino que también contribuye a la reducción de costos operativos y al aumento de la confiabilidad del sistema.

2.3.1. Características técnicas de los alimentadores de 13.8 kV.

Los alimentadores de 13.8 kV son una parte fundamental de las redes de distribución de media tensión. Operan en un rango de voltaje que es adecuado para transportar energía desde las subestaciones hacia los transformadores de distribución que la convierten en una baja tensión para el consumo final. Las características técnicas de estos alimentadores incluyen:

Tensión nominal: El sistema de alimentación opera a una tensión de 13.8 kV, una de las más comunes en redes de distribución de media tensión. Este nivel de voltaje permite un transporte eficiente de la energía, minimizando las pérdidas de transmisión.

Capacidad de corriente: Los alimentadores de 13.8 kV están diseñados para transportar grandes cantidades de energía con una corriente que puede oscilar según la demanda de los usuarios conectados. Estos alimentadores deben soportar cargas máximas sin que se presenten sobrecalentamientos o fallas.

Tipo de cable: Se utilizan cables de media tensión con aislamiento adecuado para resistir condiciones ambientales adversas, tales como la humedad, el calor y las interferencias externas. Estos cables pueden ser subterráneos o aéreos, dependiendo del diseño del sistema.

Protección: Los alimentadores de 13.8 kV deben contar con sistemas de protección avanzados, como fusibles y relés de sobrecorriente, para evitar daños en caso de fallas. Además, se implementan dispositivos automáticos de desconexión para minimizar el tiempo de interrupción del servicio.

Longitud y caída de tensión: La longitud del alimentador y la caída de tensión a lo largo del recorrido son factores críticos que deben ser cuidadosamente calculados en el diseño. A mayor longitud, mayor es la caída de tensión, lo que puede afectar

la calidad del suministro eléctrico. Para compensar, se utilizan transformadores de distribución y reguladores de voltaje.

Estas características garantizan que los alimentadores de 13.8 kV puedan suministrar energía de manera eficiente y segura a las zonas urbanas e industriales [11], [12].

2.3.2. Normativas aplicables al diseño de alimentadores

El diseño de alimentadores debe cumplir con una serie de normativas y estándares internacionales que garantizan la seguridad, eficiencia y confiabilidad del sistema. Una de las normas más relevantes en el contexto de la distribución eléctrica es la IEEE Std 142-2017 [4], que establece directrices para el diseño y la operación de sistemas de puesta a tierra de redes eléctricas, fundamentales para la protección de los usuarios y la infraestructura.

Algunas de las claves normativas que aplican al diseño de alimentadores incluyen:

- **IEEE Std 142-2017 (Green Book):** Proporciona directrices para el diseño de sistemas de puesta a tierra, lo cual es esencial para asegurar la seguridad de los usuarios y proteger el equipo de daños derivados de fallas a tierra [4].
- **IEC 60287:** Establece el método para el cálculo de la capacidad de los cables y su disipación de calor, importante para seleccionar los cables adecuados para los alimentadores de media tensión [15].
- **IEC 61936-1:2010:** Normativa que regula los requisitos para la instalación de sistemas eléctricos de baja y media tensión, incluyendo los alimentadores, y garantiza que se cumplan con los estándares internacionales de seguridad y eficiencia [16].
- **IEEE Std 80-2017:** Proporciona una guía para la conexión a tierra en subestaciones y sistemas de distribución, crucial para evitar peligros de electrocución y daños a equipos debido a descargas eléctricas [3].

El cumplimiento de estas normativas asegura que el diseño de los alimentadores sea seguro, eficiente y conforme a los estándares internacionales debido a que ayudan a mejorar la confiabilidad del sistema y reducir los riesgos asociados con fallas eléctricas.

2.4. Elementos Principales de un Alimentador de Media Tensión

Un alimentador de media tensión (MT) es un sistema esencial en la red de distribución eléctrica, encargado de transportar energía desde las subestaciones

hasta los puntos de consumo o redes de distribución secundarias. Su diseño incluye diversos elementos cuya correcta selección y dimensionamiento aseguran la confiabilidad, eficiencia y seguridad del sistema [1].

2.4.1. Conductores

Los conductores son los elementos esenciales de un alimentador de media tensión (MT), ya que transportan la energía eléctrica desde las subestaciones hasta los puntos de consumo o redes secundarias. Su diseño, selección y disposición afectan directamente la eficiencia, confiabilidad y seguridad del sistema [1].

2.4.1.1. Clasificación de Conductores

Conductores Aéreos:

ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforced): Este tipo de conductor consta de hilos de aluminio dispuestos alrededor de un núcleo de acero galvanizado. El aluminio proporciona una alta conductividad, mientras que el núcleo de acero añade resistencia mecánica, lo que lo hace adecuado para largas distancias y tensiones mecánicas elevadas [22].

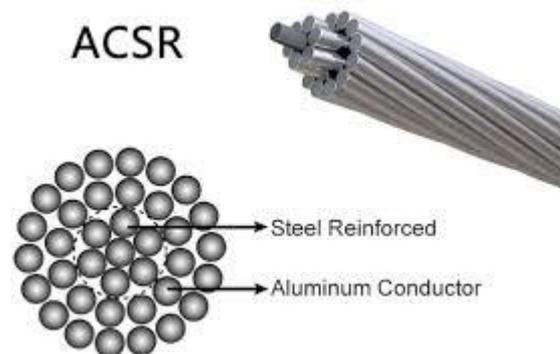


Figura 8: ACSR (Aluminum Conductor Steel Reinforced)

AAC (All Aluminum Conductor): Compuesto exclusivamente de hilos de aluminio, ofrece excelente conductividad eléctrica y resistencia a la corrosión. Es más ligero que el ACSR, pero tiene menor resistencia mecánica, por lo que se utiliza principalmente en tramos cortos [22].

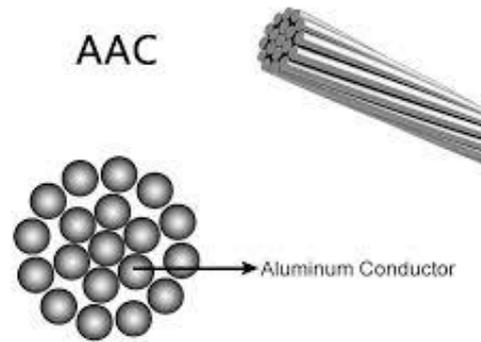


Figura 9: AAC (All Aluminum Conductor)

AAAC (All Aluminum Alloy Conductor): Está fabricado con una aleación de aluminio que proporciona una mayor resistencia mecánica que el AAC y mejor resistencia a la corrosión que el ACSR. Es adecuado para aplicaciones en ambientes salinos o industriales [22].

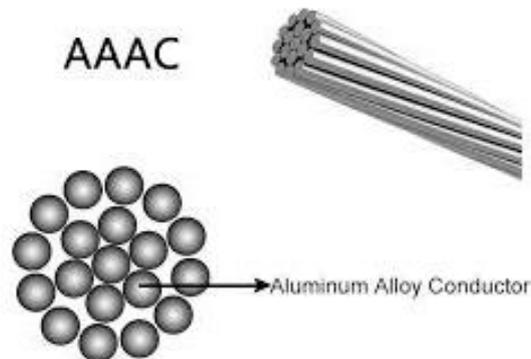


Figura 10: AAAC (All Aluminum Alloy Conductor)

Conductores Subterráneos:

Cables con aislamiento XLPE (Cross-Linked Polyethylene): Utilizados ampliamente en sistemas subterráneos debido a su capacidad para operar a altas temperaturas (90 °C en operación continua y hasta 250 °C en cortocircuito). Ofrecen excelente resistencia mecánica y química [22].



Figura 11: Cables con aislamiento XLPE

Cables con aislamiento EPR (Ethylene Propylene Rubber): Estos cables son ideales para aplicaciones en ambientes húmedos y corrosivos, ya que el EPR ofrece excelente resistencia al agua y a los agentes químicos [22].



Figura 12: Cables con aislamiento EPR

2.4.1.2. Criterios de Selección de Conductores

La elección del conductor adecuado para un alimentador depende de varios factores, entre los que destacan:

Capacidad de corriente (ampacidad): Los conductores deben ser capaces de transportar la corriente máxima esperada sin superar sus límites térmicos.

Distancia de transmisión: Conductores con menor resistencia eléctrica son preferidos para minimizar las pérdidas por efecto Joule.

Condiciones ambientales:

- En zonas costeras o industriales, es esencial elegir conductores con alta resistencia a la corrosión, como los AAAC.
- En regiones con altas cargas mecánicas (viento, hielo), los ACSR son ideales.

Costo:

Aunque los conductores como el AAC son más económicos, su uso se limita por su baja resistencia mecánica.

2.4.1.3. Normativas Aplicables

El diseño y selección de conductores en sistemas de media tensión están regulados por estándares internacionales como:

- **IEEE Std 242-2001 (Buff Book):** Guía para sistemas eléctricos industriales y comerciales [22].
- **IEC 60228:** Clasificación de conductores eléctricos [17].
- **NEMA WC-70:** Especificaciones para cables de media y alta tensión [43].

2.4.1.4. Importancia en el Desempeño del Alimentador

La correcta selección y dimensionamiento de los conductores es fundamental para:

- Reducir pérdidas eléctricas y costos operativos.
- Garantizar una operación segura y confiable.
- Asegurar la estabilidad del sistema frente a contingencias.

2.4.2. Postes y Estructuras de Soporte

Los postes y las estructuras de soporte son componentes fundamentales en un alimentador de media tensión, ya que proporcionan el soporte físico para los conductores, equipos eléctricos y accesorios. Su diseño, material y disposición influyen significativamente en la confiabilidad, seguridad y mantenimiento del sistema eléctrico [1], [2].

2.4.2.1. Clasificación de los postes



Figura 13: Poste

Postes de Concreto: Los postes de concreto son ampliamente utilizados en sistemas de distribución debido a su durabilidad y resistencia. Suelen fabricarse con armado concreto y pueden soportar cargas mecánicas considerables [18].

Puestos de Madera Tratada: Aunque están en desuso en muchas regiones, siguen siendo una opción económica en zonas rurales. La madera se trata químicamente para aumentar su resistencia al deterioro biológico y ambiental [18].

Postes Metálicos: Fabricados generalmente de acero galvanizado, los postes metálicos son ideales para zonas urbanas o donde se requieren diseños personalizados [18].

Postes Compuestos (Fibra de Vidrio o Polímeros): Estos postes son relativamente nuevos en el sector de distribución y combinan ligereza con alta resistencia mecánica y química [18].

2.4.2.2. Estructuras de soporte

Crucetas: Son elementos horizontales que se fijan a los postes para sostener y separar los conductores. Pueden ser de madera tratada, acero galvanizado o polímeros.



Figura 14: Cruceta

Aisladores: Los aisladores se montan en las crucetas para sostener los conductores y evitar descargas a tierra, suelen ser de porcelana debido a su alta resistencia mecánica y técnica o de poliméricos por su ligereza y resistencia a la contaminación.



Figura 15: Aisladores

Anclajes y Tirantes:

- **Anclajes:** Utilizados para sujetar los postes al suelo en puntos de alta tensión mecánica, como curvas o finales de línea.
- **Tirantes:** Cables de acero que estabilizan los postes frente a esfuerzos laterales.

2.4.2.3. Diseño y selección de poste

El diseño y selección de postes depende de diversos factores:

Altura del poste: Determinada por la distancia entre conductores y la altura mínima requerida sobre el terreno (según normas locales e internacionales).

Carga mecánica: Considere el peso de los conductores, equipos instalados y esfuerzos adicionales como viento, hielo o tensión mecánica en curvas.

Condiciones ambientales:

- Postes metálicos o compuestos son preferidos en ambientes corrosivos.
- En zonas sísmicas, los postes deben cumplir normas específicas para soportar vibraciones.

Vida Útil y Costo: Se busca un equilibrio entre durabilidad, costo inicial y mantenimiento.

2.4.2.4. Normas Aplicables

- **IEEE Std 977-2017:** Requisitos para postes y soportes en sistemas de transmisión y distribución [31].
- **IEC 60826:** Criterios de diseño estructural para postes y torres de líneas eléctricas [32].
- **Manual ASCE 72:** Guía para diseño de postes y estructuras de soporte [33].

2.4.2.5. Importancia de los Postes y Estructuras de Soporte

Seguridad: Garantizan distancias adecuadas entre conductores, minimizando riesgos para personas y propiedades cercanas.

Confiabilidad: Soportes robustos evitan fallas mecánicas que podrían interrumpir el suministro eléctrico.

Estética y Espacio: En zonas urbanas, los postes y estructuras compactas ayudan a reducir el impacto visual y la ocupación de espacio.

2.4.3. Aisladores

Los **aisladores** son elementos esenciales en los sistemas de media tensión, ya que permiten soportar mecánicamente los conductores y mantenerlos separados de las estructuras de soporte, mientras evitan el paso de corriente eléctrica hacia tierra. Su desempeño influye directamente en la seguridad, confiabilidad y eficiencia de un alimentador de media tensión [1].

2.4.3.1. Funciones Principales de los Aisladores

Aislamiento eléctrico: Evitan que la corriente eléctrica fluya hacia el poste o estructura de soporte, protegiendo el sistema de descargas no deseadas.

Soporte mecánico: Sostienen los conductores, resistiendo fuerzas como la tracción, el viento y el peso de los propios conductores.

Separación de conductores: Mantienen la distancia mínima requerida entre fases y entre conductores y estructuras, evitando arcos eléctricos o cortocircuitos.

2.4.3.2. Clasificación de los Aisladores

Según su Forma:

- **Aisladores de Pin:** Se montan sobre crucetas y son comunes en sistemas de distribución. Su forma permite soportar esfuerzos verticales y laterales.



Figura 16: Aisladores de Pin

- **Aisladores de Suspensión:** Cuelgan de las estructuras y se utilizan para líneas de mayor tensión o en tramos largos. Permiten absorber tensiones mecánicas elevadas.



Figura 17: Aisladores de Suspensión

- **Aisladores de Poste:** Diseñados para soportar tensiones mecánicas altas en subestaciones o sistemas compactos.



Figura 18: Aisladores de Poste

- **Aisladores de Paso:** Usados en transformadores o equipos eléctricos para aislar un conductor que atraviesa una carcasa metálica.

Según su Material:

- **Porcelana:** Fabricados con cerámica vitrificada, ofrecen alta resistencia mecánica y térmica.
- **Vidrio Templado:** Estos aisladores tienen una capa externa endurecida que los hace resistentes a fracturas superficiales.
- **Poliméricos (Silicona o Resina Epóxica):** Son más ligeros y modernos, ideales para ambientes contaminados.

Según su Uso:

- **Aisladores de Línea:** Utilizados en líneas aéreas para sostener los conductores.
- **Aisladores de Subestación:** Soportan equipos eléctricos, como barras colectoras o interruptores.
- **Aisladores de Equipo:** Presentes en transformadores, interruptores y otros dispositivos.

2.4.3.3. Criterios de Selección de Aisladores

La selección de un aislador adecuado depende de varios factores:

Nivel de Tensión: Los aisladores deben ser capaces de soportar la tensión nominal y sobretensiones transitorias del sistema.

Condiciones Ambientales:

- En zonas costeras o industriales, se prefieren aisladores poliméricos debido a su resistencia a la corrosión y contaminación.
- En ambientes secos o de baja contaminación, los de porcelana son más comunes.

Carga Mecánica: Los aisladores deben soportar el peso de los conductores y las fuerzas adicionales, como las producidas por el viento o el hielo.

Contaminación Superficial: En zonas con alta contaminación, se prefieren aisladores con diseños que minimicen la acumulación de suciedad, como los poliméricos o de vidrio templado.

Costo y Mantenimiento: Aunque los aisladores de porcelana tienen menor costo inicial, los poliméricos pueden requerir menos mantenimiento en ciertas aplicaciones.

2.4.3.4. Normativas Aplicables

- **IEEE Std C29.1:** Especificaciones estándar para aisladores de porcelana y vidrio en sistemas eléctricos [44].
- **IEC 61109:** Aisladores compuestos para sistemas de tensión nominal superior a 1 kV [45].
- **ANSI C29.13:** Requisitos de rendimiento para aisladores poliméricos [46].

2.4.3.5. Importancia de los Aisladores en un Alimentador

Prevención de fallas: Aisladores defectuosos pueden provocar arcos eléctricos, cortocircuitos o interrupciones en el suministro.

Confiabilidad del sistema: La correcta selección e instalación de aisladores garantiza una operación segura y sin interrupciones.

Reducción de costos operativos: Aisladores adecuados disminuyen la necesidad de mantenimientos frecuentes y reducen el riesgo de fallas costosas.

2.4.4. Transformadores de Distribución

Los **transformadores de distribución** son componentes esenciales en los alimentadores de media tensión, encargados de reducir los niveles de voltaje desde el alimentador primario de media tensión (13.8 kV, por ejemplo) a niveles

adecuados para el consumo final en baja tensión, como 220/127. V. Su correcto diseño, ubicación y mantenimiento son claves para garantizar un suministro eficiente y de calidad [1].



Figura 19: Transformador de Distribución Tipo Poste

2.4.4.1. Funciones Principales de los Transformadores de Distribución

Reducción de voltaje: Adaptan el nivel de tensión a valores seguros para el uso doméstico, comercial o industrial.

Regulación de Tensión: Mantienen un nivel de voltaje estable, incluso ante variaciones en la carga del sistema.

Aislamiento Eléctrico: Proporcionan aislamiento entre el sistema de media tensión y el de baja tensión, protegiendo los equipos de los usuarios.

2.4.4.2. Clasificación de los Transformadores de Distribución

Según el Medio de Enfriamiento:

- **De Aceite Mineral:** Utilizan aceite dieléctrico para enfriamiento y aislamiento. Son los más comunes en áreas urbanas e industriales.
- **Secos:** Utilizan aire como medio de enfriamiento. Son ideales para interiores o zonas con restricciones ambientales.

Según el tipo de instalación:

- **Montados en Poste:** Instalados en postes de distribución para alimentar pequeñas cargas en áreas residenciales o rurales.

- **Pad-mounted (montados en plataforma):** Ubicados a nivel del suelo en gabinetes cerrados, adecuados para zonas urbanas o industriales.
- **Subestaciones de Distribución:** Instalados en subestaciones secundarias, circuitos alimentarios de baja tensión en áreas de alta demanda.

Según su conexión:

- **Monofásicos:** Usados en sistemas pequeños, como áreas rurales o cargas específicas.
- **Trifásicos:** Comunes en áreas urbanas o industriales con cargas significativas.

Según la Relación de Transformación:

- **Relación Fija:** Diseñados para operar a un nivel de voltaje constante.
- **Con Tap Changer (Reguladores de Tensión):** Incluyen derivaciones para ajustar el nivel de tensión y mejorar la regulación.

2.4.4.3. Componentes Principales de un Transformador de Distribución

Núcleo Magnético: Fabricado con laminaciones de acero al silicio, minimiza pérdidas por histéresis y corrientes parásitas.

Bobinas:

- **Primaria:** Conectada a la línea de media tensión.
- **Secundaria:** Entrega la tensión reducida a los usuarios finales. Materiales comunes: Cobre o aluminio.

Aisladores: Garantizan la separación eléctrica entre las bobinas y la carcasa metálica.

Tanque o Envolvente: Contiene el núcleo y las bobinas, proporcionando protección mecánica y, en el caso de transformadores de aceite, un medio para disipar el calor.

Reguladores de voltaje: Ajustan la tensión para mantener un suministro estable.

2.4.4.4. Criterios de Selección de un Transformador de Distribución

Capacidad nominal: Determinada por la demanda de carga en kVA.

Tensión de operación: Relación adecuada entre tensiones primarias y secundarias.

Tipo de instalación: Interior o exterior, considerando las condiciones ambientales.

Eficiencia: Transformadores de alta eficiencia minimizan pérdidas en vacío y bajo carga.

Resistencia a Sobrecargas: Capacidad para soportar picos de demanda momentáneos sin comprometer su funcionamiento.

2.4.4.5. Normas Aplicables

- **IEEE Std C57.12.00:** Requisitos generales para transformadores de distribución y potencia [47].
- **IEC 60076:** Normas para diseño, pruebas y operación de transformadores [20].
- **ANSI C57.12.20:** Especificaciones para transformadores montados en poste y pedestal [48].

2.4.4.6. Importancia de los Transformadores en un Alimentador

Reducción de Pérdidas: Transformadores bien dimensionados disminuyen las pérdidas de energía y mejoran la eficiencia del sistema.

Estabilidad del Sistema: Ayudan a mantener niveles adecuados de tensión en redes extensas.

Flexibilidad Operativa: Transformadores con reguladores de tensión permiten adaptarse a variaciones en la carga.

Seguridad Eléctrica: Proporcionan aislamiento entre sistemas de media y baja tensión, protegiendo equipos sensibles.

2.4.5. Interruptores de Media Tensión

Los **interruptores de media tensión** son dispositivos fundamentales en los alimentadores eléctricos, diseñados para proteger el sistema y los equipos conectados al mismo frente a fallas como sobrecargas, cortocircuitos y otros eventos anómalos. También permiten la desconexión y reconexión de secciones de la red para realizar mantenimientos o reparaciones [1], [5].



Figura 20: Interruptor Intemperie Tanque Vivo De Media Tension “Vee” E Interruptor Interior “Ve” (Hasta 38 Kv)

2.4.5.1. Funciones Principales de los Interruptores de Media Tensión

Protección contra fallas: Detectan y desconectan rápidamente secciones del sistema afectadas por sobrecorrientes o cortocircuitos, limitando daños en equipos y minimizando interrupciones del servicio.

Conmutación: Permiten operar y aislar secciones específicas del sistema de manera manual o automática.

Seguridad: Garantizan la seguridad de las personas y equipos al desconectar circuitos en condiciones peligrosas.

2.4.5.2. Tipos de interruptores de media tensión

Según el Medio de Extinción del Arco Eléctrico:

- **Interruptores de Aire:** Utilice aire comprimido para extinguir el arco eléctrico.
- **Interruptores de Vacío:** El arco se extingue en una cámara sellada al vacío.
- **Interruptores de Hexafluoruro de Azufre (SF₆):** Utilizan gas SF₆, que tiene excelentes propiedades dieléctricas y de extinción de arco.

Según su Forma de Operación:

- **Automáticos:** Operan automáticamente al detectar fallas.

- **Manuales:** Requieren intervención humana para operar.

Según su Ubicación en la Red:

- **Interruptores de Alimentador Primario:** Protegen el alimentador principal y desconectan grandes secciones en caso de falla.
- **Interruptores de Circuito de Distribución:** Localizados en ramas de la red, permiten desconectar segmentos específicos.

2.4.5.3. Componentes Principales de los Interruptores de Media Tensión

Cámara de Interrupción: Donde se abre el circuito y se extingue el arco eléctrico.

Contactos Eléctricos: Diseñados para soportar altas corrientes y tensiones, conectar y desconectar el circuito.

Mecanismo de Operación: Sistema que mueve los contactos, operado manual, eléctrica o neumáticamente.

Unidad de Control: Supervisa parámetros eléctricos (corriente, tensión) y activa el mecanismo de interrupción ante condiciones anómalas.

Sistema de Enfriamiento: En interruptores de gas o vacío, facilita la disipación de calor generado durante la interrupción.

2.4.5.4. Criterios de Selección de Interruptores de Media Tensión

Capacidad de Corriente Nominal (A): Determinada por la carga máxima que deberá soportar.

Capacidad de Interrupción (kA): Máxima corriente de falla que puede interrumpir sin daños.

Tensión Nominal (kV): Nivel de tensión del sistema al que será conectado.

Medio Extintor: Según las características ambientales y de la red.

Ubicación: Considere si será instalado en interiores (subestaciones) o exteriores.

Normas Técnicas: Cumplimiento con normativas internacionales como:

- **IEEE Std C37.04:** Requisitos generales para interruptores de media tensión [49].
- **IEC 62271-100:** Normativa para interruptores de alta y media tensión [21].

2.4.6. Seccionadores y Cuchillas de Maniobra

Los **seccionadores** y las **cuchillas de maniobra** son dispositivos esenciales en los sistemas eléctricos de media tensión, utilizados para desconectar circuitos eléctricos de forma segura y realizar maniobras operativas sin corriente de carga. Su principal función es aislar equipos o líneas durante trabajos de mantenimiento o reparación, proporcionando una desconexión visible para garantizar la seguridad [1], [3].



Figura 21: Seccionador

2.4.6.1. Funciones principales

Aislamiento Eléctrico: Garantizan la desconexión segura de una sección del sistema para labores de mantenimiento.

Maniobra Operativa: Permite redirigir el flujo de energía eléctrica al conectar o desconectar secciones específicas de la red.

Seguridad Visual: Ofrecen una separación física visible que confirma el aislamiento de la línea o equipo.

2.4.6.2. Tipos de Seccionadores

Según su operación:

- **Manuales:** Operados directamente por personal en campo.

- **Motorizados:** Equipados con mecanismos eléctricos o hidráulicos para operación remota.

Según su ubicación:

- **Exteriores:** Diseñados para resistir condiciones climáticas extremas.
- **Interiores:** Usados en subestaciones o gabinetes protegidos.

Según su configuración:

- **Seccionadores Horizontales:** La apertura y cierre de los contactos ocurre en un plano horizontal.
- **Seccionadores Verticales:** La maniobra se realiza en un plano vertical.
- **Seccionadores de Rotación Central:** Utilizan un mecanismo giratorio para abrir o cerrar el circuito.

2.4.6.3. Cuchillas de maniobra

Las **cuchillas de maniobra** son un tipo especial de seccionador diseñado para abrir o cerrar circuitos en presencia de corrientes bajas, como las de magnetización en transformadores o líneas sin carga.

Características principales:

- Capaces de realizar maniobras limitadas en circuitos energizados bajo condiciones específicas.
- Incluyen sistemas de extinción de arco para evitar daños durante la apertura.

Aplicaciones:

- Reconexión de circuitos de distribución.
- Aislamiento de pequeños transformadores o cargas.

2.4.6.4. Componentes Principales de los Seccionadores y Cuchillas

Cuchillas de Contacto: Elementos móviles que establecieron o interrumpen la conexión eléctrica.

Aisladores de Soporte: Soportan las cuchillas y aseguran el aislamiento del circuito energizado.

Mecanismo de Operación: Puede ser manual (palancas) o motorizado para operación remota.

Barra de Conexión: Permite la conexión del seccionador con otras partes del sistema eléctrico.

Sistema de Extinción de Arco (en cuchillas de maniobra): Utiliza cámaras o materiales dieléctricos para controlar el arco durante la apertura.

2.4.6.5. Criterios de selección

Tensión Nominal (kV): Determina la capacidad de aislamiento del dispositivo.

Capacidad de Corriente Nominal (A): Debe soportar las corrientes máximas de operación.

Ubicación: Considere si será instalado en exteriores o interiores.

Normas y Regulaciones: Asegurarse de que cumpla con estándares internacionales como:

- **IEEE Std C37.30:** Guía para seccionadores de media tensión [50].
- **IEC 62271-102:** Especificaciones para seccionadores y cuchillas de maniobra en alta y media tensión [51].

2.4.7. Reconectador Automático

El **reconectador automático** es un dispositivo clave en los sistemas de distribución de media tensión que mejoran la continuidad del suministro eléctrico al permitir la desconexión temporal y la posterior reconexión automática de una línea eléctrica tras la detección de una falla pasajera. Estos equipos son fundamentales para reducir interrupciones prolongadas, especialmente en sistemas con alta probabilidad de fallas transitorias, como aquellas provocadas por ramas, aves o condiciones meteorológicas [2].

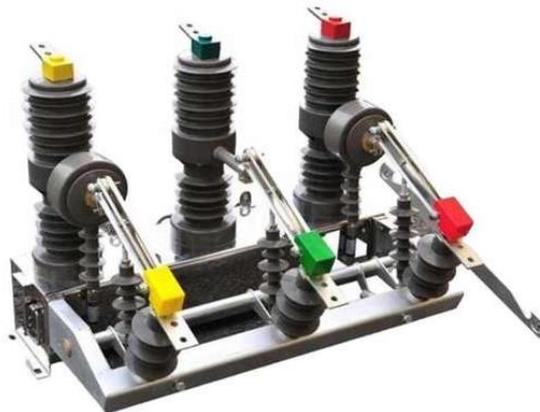


Figura 22: Reconectador Automático

2.4.7.1. Funciones Principales del Reconectador Automático

Detección de Fallas Transitorias: Identificar sobrecorrientes provocadas por fallas temporales, como arcos eléctricos o contacto accidental con objetos.

Interrupción Temporal del Suministro: Desconectan automáticamente la línea afectada para proteger el sistema y los usuarios.

Reconexión Automática: Restaurar el servicio eléctrico tras confirmar que la falla ha desaparecido, evitando la necesidad de intervención manual.

Protección Selectiva: Colaboran con otros dispositivos de protección (fusibles, interruptores) para garantizar una operación eficiente.

2.4.7.2. Tipos de Reconectador Automático

Según el Medio de Extinción del Arco Eléctrico:

- **De Vacío:** Utilizan cámaras selladas al vacío para extinguir el arco eléctrico de manera eficiente y limpia.
- **De SF₆:** Emplean gas SF₆ por sus excelentes propiedades dieléctricas y de extinción de arco.
- **De Estado Sólido:** Basados en electrónica de potencia, ofrecen alta velocidad y precisión en la reconexión.

Según su operación:

- **Unipolares:** Actúan en una sola fase a la vez, típicos en sistemas con cargas equilibradas.
- **Tripolares:** Operan simultáneamente en las tres fases, comunes en sistemas trifásicos críticos.

2.4.7.3. Componentes principales

Cámara de Interrupción: Contiene el medio extintor del arco eléctrico.

Unidad de Control Electrónico: Supervisa parámetros eléctricos como corriente, tensión y tiempo; y ejecuta la operación automática.

Mecanismo de Operación: Sistema que acciona la apertura y cierre de los contactos.

Aisladores de soporte: Mantenga el equipo aislado de la estructura metálica y de las fases adyacentes.

Sistema de Comunicación (en reconectores inteligentes): Permite la integración en redes inteligentes mediante protocolos como IEC 61850.

2.4.7.4. Ciclo de Operación

Detección: El reconector identifica un aumento repentino de corriente que excede los límites normales.

Interrupción: Se abre la línea para extinguir la falla.

Pausa: Espere un intervalo de tiempo definido antes de intentar la reconexión.

Reconexión: Restaurar el suministro eléctrico. Si la falla persiste, puede realizar varios intentos antes de bloquearse.

2.4.7.5. Criterios de selección

Capacidad de Corriente Nominal (A): Debe ser adecuada para la carga máxima de la línea.

Capacidad de Interrupción (kA): Determina la magnitud de corriente que puede interrumpir sin daños.

Número de operaciones de reconexión: Cantidad de intentos automáticos antes de bloquearse.

Compatibilidad con Sistemas de Protección Existentes: Debe coordinarse con fusibles, interruptores y otros equipos.

Soporte para Comunicación: Necesario para integración en sistemas SCADA o redes inteligentes.

Normas y Regulaciones:

- **IEEE Std C37.60:** Especificaciones para reconectores automáticos de corriente alterna [52].
- **IEC 62271-111:** Requisitos para reconectores automáticos en sistemas eléctricos de media tensión [53].

2.4.8. Fusibles

Los **fusibles** son dispositivos de protección esenciales en los sistemas eléctricos de media tensión. Su función principal es proteger los equipos y las líneas frente a sobrecorrientes o cortocircuitos, desconectando automáticamente la sección afectada al fundirse su elemento conductor interno. Este proceso evita daños mayores en los componentes del sistema y garantiza la seguridad operativa [1].



Figura 23: Fusible Limitador De Corriente Driwisa, 13.8 Kv, 100a, Drs13/100-B2

2.4.8.1. Funciones principales

Protección Contra Sobrecargas: Actúan ante corrientes que exceden el valor nominal permitido durante un tiempo prolongado.

Protección Contra Cortocircuitos: Limitan los efectos de las fallas severas que pueden dañar equipos críticos.

Aislamiento Localizado: Desconectan únicamente la sección afectada, minimizando interrupciones en el resto del sistema.

Coordinación con Otros Dispositivos: Trabajan en conjunto con interruptores y reconectores para garantizar una protección selectiva.

2.4.8.2. Tipos de fusibles

Según su Funcionamiento:

- **Fusibles de Tiempo Inverso:** Operan más rápido ante corrientes más altas, siguiendo una curva de tiempo-corriente.
- **Fusibles Limitadores de Corriente:** Reducen rápidamente la corriente de falla, protegiendo equipos sensibles.
- **Fusibles de Expulsión:** Utilizan gases generados durante el arco eléctrico para extinguirlo.

Según su ubicación:

- **Exteriores:** Diseñados para operar bajo condiciones climáticas adversas, como los fusibles tipo "cut-out".
- **Interiores:** Utilizados en tableros de distribución o subestaciones protegidas.

Según su Uso Específico:

- **Fusibles para Transformadores:** Protegen transformadores de distribución y potencia.
- **Fusibles para Líneas de Distribución:** Aseguran la desconexión de secciones afectadas en alimentadores.
- **Fusibles de Baja Potencia:** Usados en protecciones internas de equipos electrónicos o controles.

2.4.8.3. Componentes principales

Elemento Fusible: El componente conductor diseñado para fundirse bajo condiciones de sobrecorriente. Puede estar hecho de materiales como plata, cobre o estaño.

Soporte del Fusible: Estructura que aloja el elemento fusible y permite su conexión en el circuito.

Cuerpo o Carcasa: Fabricado en materiales aislantes, como porcelana o fibra de vidrio, protegido contra factores externos.

Tapas Terminales: Permiten la conexión segura del fusible al sistema eléctrico.

2.4.8.4. Criterios de selección

Corriente Nominal: El valor máximo de corriente continua que puede soportar sin fundirse.

Corriente de Ruptura: Capacidad máxima de corriente que puede interrumpir sin fallar.

Tensión Nominal: Nivel máximo de voltaje al cual puede operar de forma segura.

Curva Tiempo-Corriente: Define el comportamiento del fusible frente a diferentes niveles de corriente.

Condiciones Ambientales: Considerar exposición a temperaturas extremas, humedad o contaminantes.

Normas y Regulaciones:

- **IEEE Std C37.40:** Guía para fusibles en aplicaciones de media tensión [54].
- **IEC 60282-1:** Fusibles de alta tensión, requisitos generales [55].

2.4.9. Reguladores de voltaje

Los **reguladores de voltaje** son dispositivos fundamentales en los sistemas de distribución eléctrica, diseñados para mantener niveles de voltaje dentro de rangos aceptables a lo largo de la red, asegurando una entrega de energía confiable y eficiente a los usuarios finales. Operan ajustando dinámicamente la tensión en respuesta a fluctuaciones debidas a variaciones en la carga o condiciones de la red [1], [5].



Figura 24: Regulador de Voltaje Eléctrico 13.8kv

2.4.9.1. Funciones principales

Compensación de Caídas de Voltaje: Mantienen el nivel de voltaje en los puntos críticos de la red dentro de los márgenes permitidos.

Estabilidad del Suministro Eléctrico: Garantizan que el voltaje suministrado cumple con los estándares de calidad eléctrica.

Protección del Sistema: Previenen daños en equipos eléctricos sensibles debido a sobrevoltajes o subvoltajes prolongados.

Optimización de la Eficiencia Energética: Reducir pérdidas en la red al mantener el voltaje en niveles óptimos.

2.4.9.2. Tipos de reguladores de voltaje

Reguladores en Línea: Se instalan directamente en la línea de distribución para ajustar el voltaje entregado a los consumidores.

Reguladores de Transformador de Tap Cambiante (OLTC/ULTC): Cambian automáticamente los taps del transformador para ajustar el voltaje secundario.

Reguladores Electrónicos: Usan electrónica de potencia para un control rápido y preciso del voltaje.

Reguladores estáticos: Utilizan compensación reactiva mediante dispositivos como condensadores y reactores controlados.

2.4.9.3. Componentes principales

Transformador de Regulación: Elemento clave que ajusta el nivel de voltaje mediante cambios en su relación de transformación.

Cambiador de Taps: Permite modificar la relación de transformación del regulador para ajustar el voltaje. Puede ser en carga (OLTC) o fuera de carga (ULTC).

Controlador Electrónico: Supervisa el voltaje y ejecuta los cambios necesarios en los grifos.

Dispositivos de Medición: Mida el nivel de voltaje en la red para proporcionar retroalimentación al controlador.

Aisladores y Protección: Garantizan el aislamiento eléctrico y la seguridad del dispositivo en la red.

2.4.9.4. Criterios de selección

Capacidad Nominal (kVA): Debe ser adecuada para la carga máxima prevista en la red.

Rango de Regulación: Nivel de ajuste de voltaje que el regulador puede proporcionar, aproximadamente $\pm 10\%$.

Velocidad de Respuesta: Capacidad para ajustar el voltaje en tiempo real ante fluctuaciones rápidas.

Compatibilidad: Debe integrarse con otros equipos de protección y control en la red.

Condiciones ambientales: Deben ser adecuados para operar en entornos extremos o zonas específicas.

Normas y Regulaciones:

- **IEEE Std C57.15:** Requisitos para reguladores de voltaje y transformadores [56].
- **IEC 60076-21:** Especificaciones para transformadores reguladores de voltaje [57].

2.4.10. Bancos de Capacitores y Reactores

Los **bancos de capacitores** y **reactores** son componentes esenciales en los sistemas eléctricos de media tensión, diseñados para el control del flujo de potencia reactiva y la regulación del voltaje. Su implementación mejora la eficiencia del sistema al optimizar el factor de potencia, reducir pérdidas y mantener la estabilidad de la red [1].



Figura 25: Bancos De Capacitores Con Reactores De Rechazo En Media Y Alta Tensión

2.4.10.1. Bancos de Capacitores

Los bancos de capacitores son conjuntos de condensadores conectados en serie o paralelo que se utilizan principalmente para generar potencia reactiva capacitiva en la red. Su función es compensar las cargas inductivas, como motores o transformadores, que consumen potencia reactiva, lo que ayuda a mantener niveles adecuados de voltaje y reducir pérdidas en las líneas de transmisión [1].

2.4.10.1.1. Funciones Principales

Compensación del Factor de Potencia: Mejoran el factor de potencia al proporcionar potencia reactiva localmente, disminuyendo el consumo desde la fuente.

Reducción de Pérdidas: Al compensar la potencia reactiva cerca de las cargas, se reduce la corriente en las líneas, disminuyendo las pérdidas por calentamiento.

Estabilización del Voltaje: Ayudan a mantener el voltaje dentro de límites aceptables, especialmente en condiciones de alta demanda.

Aumento de la Capacidad de Transmisión: Al liberar capacidad de los generadores y líneas, permiten transportar más potencia activa.

2.4.10.1.2. Componentes Principales de un Banco de Capacitores

Condensadores: Elementos principales que almacenan y liberan energía reactiva.

Interruptores o Contactoras: Permiten conectar o desconectar el banco según las necesidades del sistema.

Fusibles: Protegen los condensadores contra sobrecorrientes o cortocircuitos.

Reactores en Serie: Reducen el impacto de armónicos y limitan las corrientes de entrada.

Sistema de Control: Automatiza la conexión o desconexión del banco en función de las mediciones de factor de potencia o voltaje.

2.4.10.2. Reactores

Los reactores son dispositivos diseñados para generar potencia reactiva inductiva. Se emplean en situaciones donde es necesario contrarrestar el efecto de la potencia reactiva capacitiva generada por largas líneas de transmisión o bancos de capacitores sobredimensionados [1].

2.4.10.2.1. Funciones Principales

Control de Sobretensiones: Limitan los efectos de sobretensiones causadas por fenómenos como el efecto Ferranti o descargas de líneas.

Filtrado de Armónicos: Reducen los armónicos en sistemas eléctricos, mejorando la calidad de la energía.

Ajuste de Potencia Reactiva: Compensan potencia reactiva capacitiva en líneas de transmisión largas o en bancos de capacitores.

2.4.10.2.2. Componentes Principales de un Reactor

Bobinas: Elemento principal que genera potencia reactiva inductiva.

Aisladores: Garantizan el aislamiento eléctrico entre los elementos del reactor y la estructura de soporte.

Base o Estructura de Montaje: Proporciona estabilidad mecánica y soporte al equipo.

2.4.10.3. Criterios de Selección

Capacidad Nominal: Valor de potencia reactiva (kVAr) que el banco o reactor debe manejar.

Tensión Nominal: Nivel de voltaje del sistema donde se instalará el equipo.

Condiciones Ambientales: Considerar temperatura, humedad y posibles contaminantes.

Compatibilidad: Nivel de integración con otros equipos y la red existente.

Mitigación de Armónicos: Incorporar reactores en serie en bancos de capacitores si se espera una alta distorsión armónica.

Normas y Regulaciones:

- **IEEE Std 18:** Requisitos para condensadores en sistemas de potencia [58].
- **IEC 60831:** Condensadores de potencia en instalaciones eléctricas [59].
- **IEEE Std C57.16:** Requisitos para reactores de potencia [60].

2.4.11. Sistema de Puesta a Tierra

El **sistema de puesta a tierra (SPT)** es un componente fundamental en los alimentadores de media tensión, diseñado para garantizar la seguridad de las personas, proteger los equipos eléctricos y mejorar la confiabilidad de la red. Este sistema se encarga de proporcionar un camino de baja impedancia para las corrientes de falla, disipándolas de manera segura hacia la tierra y reduciendo el riesgo de daños o accidentes [35], [42].

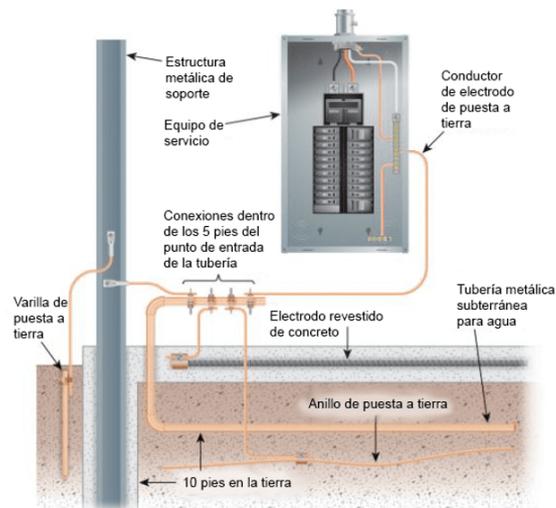


Figura 26: Sistema de puesta a tierra

2.4.11.1. Funciones Principales

Seguridad de las Personas: Evita descargas eléctricas peligrosas al limitar los potenciales de toque y paso en condiciones de falla.

Protección de Equipos: Previene daños a transformadores, interruptores y otros equipos al disipar corrientes de falla.

Estabilidad Operativa: Facilita el correcto funcionamiento de los sistemas de protección, como interruptores automáticos y relés.

Mitigación de Sobretensiones: Reduce las sobretensiones transitorias causadas por rayos o fallas eléctricas.

2.4.11.2. Componentes del Sistema de Puesta a Tierra

Electrodo de Puesta a Tierra:

- **Varillas:** Generalmente de acero recubierto de cobre, con alta conductividad y resistencia a la corrosión.
- **Placas:** Laminas de cobre o acero galvanizado enterradas, utilizadas en áreas con alta resistividad del suelo.

- **Mallas o Redes:** Conjuntos de conductores enterrados en forma de cuadrícula, comunes en subestaciones.

Conductores de Tierra: Cables o barras de cobre que conectan los equipos eléctricos al electrodo de tierra.

Conexiones Equipotenciales: Vinculan diferentes partes del sistema para mantener el mismo potencial eléctrico, evitando diferencias peligrosas.

Sistema de Protección Contra Sobretensiones (DPS): Dispositivos que descargan transitorios de alto voltaje hacia el sistema de tierra, protegiendo los equipos.

Pozos de Medición: Permiten medir la resistividad del sistema de puesta a tierra para garantizar su efectividad.

2.4.11.3. Tipos de Sistemas de Puesta a Tierra

Puesta a Tierra Funcional: Diseñada para garantizar el correcto funcionamiento de equipos y sistemas eléctricos.

Puesta a Tierra de Protección: Proporciona seguridad física al personal y protege equipos contra fallas o sobretensiones.

Puesta a Tierra Combinada: Combina las funciones funcionales y de protección en un solo sistema.

2.4.11.4. Criterios de Diseño

Resistencia de Tierra: Según la **IEEE Std 80 [3]**, se recomienda una resistencia menor a 5 ohmios en sistemas de distribución.

Características del Suelo: La resistividad del terreno afecta directamente el diseño; suelos de alta resistividad requieren sistemas más complejos.

Corriente de Falla: Determina el tamaño y capacidad de los conductores y electrodos.

Normas y Regulaciones:

- **IEEE Std 80-2017:** Guía para seguridad en conexión a tierra en subestaciones de CA [3].
- **IEEE Std 142-2017:** Libro verde IEEE sobre sistemas de puesta a tierra industriales y comerciales [61].
- **IEC 60364-5-54:2016:** Instalaciones eléctricas de edificios - sistemas de puesta a tierra [62].

2.4.12. Pararrayos

Los **pararrayos** son dispositivos de protección que se instalan en sistemas eléctricos de media tensión para proteger las instalaciones de los efectos destructivos de las descargas atmosféricas, conocidas como rayos. Su función principal es desviar la corriente del rayo hacia el suelo de manera controlada, evitando daños a los equipos eléctricos, a las personas y reduciendo los riesgos de incendio [1].



Figura 27: Pararrayos Polimérico Clase Distribución Norma ICE

2.4.12.1. Funciones Principales

Protección contra Sobretensiones Transitorias: Desvían las corrientes de rayo hacia el suelo, evitando que estas lleguen a los equipos eléctricos y causen daños.

Reducción de Riesgos de Incendio: Al canalizar la corriente del rayo a tierra de manera segura, previenen incendios que podrían originarse debido a la alta temperatura generada por la descarga.

Protección de Equipos Sensibles: Protegen transformadores, interruptores, cables y otros equipos sensibles a sobretensiones.

Seguridad Humana: Evitan la descarga de rayos directamente sobre personas, reduciendo el riesgo de electrocución.

2.4.12.2. Componentes Principales de un Pararrayos

Punta o Electrodo Atrapadores: El componente superior que recibe la descarga del rayo. Se encuentra generalmente en la parte más alta del edificio o estructura a proteger. Pueden ser de metal conductor (generalmente cobre o aluminio) y tienen una forma puntiaguda para atraer el rayo.

Conductor de Descarga: Un cable de baja resistencia que conecta la punta del pararrayos con el sistema de puesta a tierra. Este conductor debe tener la capacidad de soportar las corrientes elevadas producidas por un rayo sin sufrir daños.

Dispositivo de Descarga o Conductores de Tierra: Los conductores conectan el sistema de protección del pararrayos con el sistema de puesta a tierra, asegurando que la corriente se canalice de manera segura hacia el suelo.

Sistema de Puesta a Tierra: El sistema de puesta a tierra es crucial para disipar la energía del rayo hacia el suelo, garantizando que no se genere una sobretensión peligrosa en las partes del sistema eléctrico protegidas.

Dispositivo de Protección contra Sobretensiones (DPS): Se utiliza para proteger los equipos conectados a la red eléctrica de las sobretensiones transitorias que pueden no ser captadas completamente por el pararrayos.

2.4.12.3. Tipos de Pararrayos

Pararrayos de Punta (Convencionales): Son los más comunes, consisten en un conductor vertical conectado a un sistema de puesta a tierra. Estos sistemas, aunque efectivos, tienen un área de protección limitada.

Pararrayos de Dispositivo de Captura (Sistema Franklin): Estos sistemas utilizan una serie de electrodos para atraer los rayos de manera más eficiente y se conectan a un sistema de puesta a tierra robusto.

Pararrayos de Barra de Captura (Sistema de Malla): En lugar de usar una única punta, este sistema utiliza una malla de conductores a lo largo de una estructura. Ofrece una mayor área de cobertura, ideal para proteger grandes instalaciones industriales o edificaciones de gran altura.

Pararrayos de Autoprotección (Ionización): Utilizan un mecanismo de ionización en el aire para crear una zona de baja resistencia que facilita la descarga del rayo. Este tipo de pararrayo es más moderno y se utiliza en instalaciones muy sensibles a las sobrecargas.

2.4.12.4. Criterios de Selección

Altura y Ubicación del Edificio o Instalación: Los pararrayos deben instalarse en la parte más alta de la estructura para maximizar su eficacia en la captura de rayos.

Resistencia de los Materiales: Los materiales utilizados en el pararrayos deben ser conductores, resistentes a la corrosión y a las altas temperaturas.

Áreas de Protección Necesarias: El diseño debe considerar la cobertura de la zona que requiere protección, considerando la ubicación y el tipo de instalación a proteger (edificaciones altas, subestaciones, etc.).

Normativas Aplicables:

- **IEC 62305:** Protección de estructuras y personas contra los efectos de los rayos [63].
- **NFPA 780:** Código Nacional de Protección Contra Rayos de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA) [64].
- **IEEE Std 81-2012:** Guía para la puesta a tierra de sistemas eléctricos en subestaciones [65].

2.4.13. Dispositivos de Protección contra Sobretensiones (DPS)

Los **Dispositivos de Protección contra Sobretensiones (DPS)** son componentes esenciales en los sistemas eléctricos de media tensión, diseñados para proteger los equipos y la infraestructura frente a los efectos dañinos de sobretensiones transitorias, como las que pueden ocurrir por rayos, maniobras en la red o fallas en el sistema. Estos dispositivos permiten la desviación o supresión de la corriente excesiva, asegurando que los equipos y sistemas eléctricos no sufran daños.



Figura 28: Dispositivo de protección contra sobretensiones SPD - LSP

2.4.13.1. Funciones Principales

Protección contra Sobretensiones Transitorias: Los DPS desvían las sobretensiones transitorias hacia tierra, evitando que estas lleguen a los equipos sensibles, como transformadores, interruptores, y sistemas de control.

Reducción de Daños en Equipos: Protegen los dispositivos eléctricos de daños por sobretensiones, como quemaduras de componentes, fallos en los sistemas de control, o daños a la aislación.

Mejora de la Confiabilidad del Sistema: Ayudan a mantener la estabilidad operativa del sistema eléctrico al prevenir fallas o interrupciones causadas por picos de voltaje.

Reducción de Riesgo de Incendio: Al reducir el riesgo de daño a los equipos y la instalación, también minimizan la probabilidad de incendios originados por cortocircuitos o fallas debido a sobretensiones.

2.4.13.2. Componentes Principales de un DPS

Dispositivo de Descarga (Varistor o Diodo): El componente esencial de un DPS es el varistor (generalmente de óxido de zinc) o el diodo, que tiene la capacidad de limitar la sobretensión cuando esta alcanza un umbral específico. Este componente entra en acción durante la sobretensión y conduce la corriente hacia tierra.

Conectores y Terminales: Los conectores y terminales permiten la correcta instalación y conexión del DPS al sistema eléctrico, garantizando una baja resistencia de contacto y una correcta disipación de la corriente.

Aisladores: En algunos sistemas, se utilizan aisladores para separar los DPS de las partes vivas del sistema, manteniendo una distancia de seguridad adecuada.

Sistema de Puesta a Tierra: Los DPS están conectados a un sistema de puesta a tierra eficiente para asegurar que las corrientes transitorias sean disipadas adecuadamente hacia el suelo, evitando daños a los equipos y protegiendo la integridad del sistema.

Indicadores de Estado: Algunos DPS incluyen indicadores visuales (luces LED) que muestran el estado de operación del dispositivo, alertando sobre la necesidad de mantenimiento o reemplazo en caso de daño.

2.4.13.3. Tipos de DPS

DPS de Tipo 1 (de Alta Capacidad): Son diseñados para aplicaciones en sistemas de distribución de media tensión, donde se pueden esperar corrientes de rayo. Son capaces de desviar grandes cantidades de energía y proteger las instalaciones contra descargas atmosféricas directas.

DPS de Tipo 2 (de Protección contra Sobretensiones Locales): Se emplean para proteger equipos sensibles como transformadores, paneles de control y sistemas de comunicación dentro de la instalación. Estos dispositivos protegen contra sobretensiones menores, como las originadas por maniobras en la red o descargas indirectas de rayos.

DPS de Tipo 3 (de Protección Fina o Final): Estos dispositivos se utilizan para proteger dispositivos electrónicos y equipos sensibles, como equipos de telecomunicaciones, computadoras, y sistemas de control industrial. Su acción es más rápida y tiene un umbral de protección más bajo.

DPS Combinados (Tipo 1 + 2): Ofrecen una protección combinada para todo el sistema, tanto contra descargas directas de rayos (tipo 1) como contra sobretensiones transitorias menores (tipo 2). Son comúnmente utilizados en instalaciones industriales y subestaciones de media tensión.

2.4.13.4. Criterios de Selección

Capacidad de Energía: El DPS debe tener la capacidad de manejar las sobretensiones transitorias previstas en la red. Esto incluye la evaluación de la energía de la sobretensión máxima que el dispositivo puede desviar sin dañarse.

Tiempo de Respuesta: Un buen DPS debe ser rápido en su acción para evitar que la sobretensión llegue a los equipos protegidos. El tiempo de respuesta debe ser lo suficientemente corto como para minimizar el riesgo de daños.

Nivel de Protección: Se debe seleccionar un DPS que proporcione el nivel de protección adecuado, considerando la sensibilidad de los equipos y las características de la red eléctrica (tipos de fallas, presencia de rayos, etc.).

Voltaje de Trabajo: Es fundamental que el DPS esté diseñado para el rango de voltaje de operación del sistema eléctrico. El dispositivo debe ser capaz de soportar las tensiones normales de la red sin entrar en acción, pero debe activar la protección si se producen picos de voltaje peligrosos.

Compatibilidad con el Sistema de Puesta a Tierra: El DPS debe estar correctamente conectado al sistema de puesta a tierra para garantizar una eficiente disipación de la energía.

Normativas Aplicables:

- **IEC 61643:** Protección de sistemas eléctricos contra sobretensiones transitorias [66].
- **IEEE Std C62.1-2002:** Guía para la instalación y el uso de DPS en sistemas eléctricos [67].
- **NFPA 70 (NEC):** Código eléctrico nacional para la protección contra sobretensiones [68].

2.4.14. Cables de Guarda y OPGW

Los **cables de guarda** y **OPGW (Optical Ground Wire)** son elementos fundamentales en las líneas de transmisión y distribución de media y alta tensión. Se utilizan principalmente para proporcionar protección contra descargas atmosféricas (rayos) y, en el caso del OPGW, también sirven como medio de comunicación para el monitoreo y control de la red eléctrica [2].

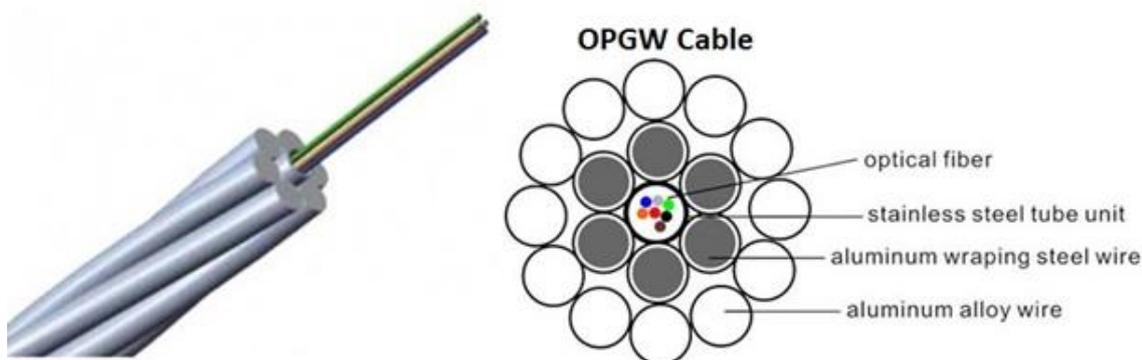


Figura 29: OPGW (Optical Ground Wire)

2.4.14.1. Cables de Guarda

Los cables de guarda son conductores metálicos ubicados generalmente en la parte superior de las líneas de transmisión. Su principal función es proteger los conductores de la línea de transmisión contra el impacto directo de rayos. Estos cables se instalan en estructuras como torres o postes y están conectados a tierra para facilitar la disipación de la energía de las descargas eléctricas.

2.4.14.1.1. Funciones Principales:

Protección contra rayos: Los cables de guarda sirven como un "pararrayos" para las líneas de transmisión, proporcionando una ruta de baja impedancia para que la corriente de rayo fluya hacia tierra, sin que afecte las líneas conductoras de energía.

Reducción de daños en la infraestructura: Al evitar que los rayos golpeen directamente los conductores de energía, los cables de guarda protegen no solo a los cables de transmisión, sino también a los equipos y componentes asociados, como transformadores y conmutadores.

Estabilidad estructural: Los cables de guarda también ayudan a mejorar la estabilidad estructural de las torres de transmisión, especialmente en áreas donde las tormentas eléctricas son frecuentes.

2.4.14.1.2. Tipos de Cables de Guarda:

Cable de Guarda Simple: Un conductor metálico que generalmente se instala en líneas de transmisión de media y alta tensión. Está conectado a tierra y diseñado para absorber las descargas de rayos y desviarlas hacia el suelo.

Cable de Guarda Reforzado: Es un cable de guarda que se refuerza con material adicional para soportar mayores tensiones y resistir condiciones meteorológicas extremas. Se utiliza en líneas de transmisión en áreas más propensas a tormentas severas.

2.4.14.2. OPGW (Optical Ground Wire)

El OPGW es una evolución del cable de guarda, incorporando fibras ópticas dentro del conductor. Aparte de su función tradicional de protección contra rayos, el OPGW proporciona una plataforma para transmitir datos a alta velocidad a través de las fibras ópticas integradas, lo que lo convierte en una solución versátil para sistemas de telecomunicaciones en redes eléctricas.

2.4.14.2.1. Funciones Principales del OPGW:

Protección contra rayos: Al igual que los cables de guarda convencionales, el OPGW también sirve para proteger los conductores de las líneas de transmisión de las descargas eléctricas producidas por rayos.

Comunicaciones ópticas: La inclusión de fibras ópticas permite que el OPGW sirva como un medio de transmisión de datos para la supervisión y control de las líneas de transmisión. Esta función es crucial para el monitoreo de la red eléctrica y la detección temprana de fallas, ya que permite la comunicación en tiempo real.

Monitoreo de la red eléctrica: Los cables OPGW permiten la transmisión de información sobre el estado de la línea, como la temperatura del conductor y la corriente, proporcionando información valiosa para la gestión de la red eléctrica.

2.4.14.2.2. Tipos de OPGW:

OPGW con fibras ópticas en el interior del conductor: Este tipo de OPGW es el más común y consiste en un conductor metálico que rodea las fibras ópticas, proporcionando simultáneamente protección contra rayos y capacidad de transmisión de datos.

OPGW con fibras ópticas en la capa exterior: En este diseño, las fibras ópticas están ubicadas en la capa exterior del cable, lo que facilita su acceso para mantenimiento y mejora la resistencia mecánica.

2.4.14.3. Criterios de Selección:

Capacidad de transmisión de datos: Dependiendo de los requisitos de comunicación de la red, se seleccionará un OPGW con un número adecuado de fibras ópticas para garantizar la capacidad de transmisión de datos necesaria.

Resistencia mecánica: El OPGW debe tener la capacidad de soportar tensiones mecánicas derivadas de condiciones meteorológicas adversas, como vientos fuertes y tormentas.

Condiciones de instalación: El tipo de OPGW seleccionado dependerá de la infraestructura existente y las condiciones específicas de instalación, como la distancia entre torres y la exposición a descargas de rayos.

Compatibilidad con equipos de telecomunicaciones: El OPGW debe ser compatible con los equipos de telecomunicaciones utilizados en la red eléctrica, como los sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Normativas Aplicables:

- **IEC 60794-1:** Cables de fibras ópticas. Parte 1: Especificaciones generales [69].
- **IEEE Std 1138:** Estándar para cables de guarda y OPGW para aplicaciones de transmisión [70].
- **IEC 62305:** Protección contra rayos para instalaciones eléctricas y de telecomunicaciones [71].

2.4.15. Dispositivos de Reconfiguración Automática (FLISR)

Los Dispositivos de Reconfiguración Automática (también conocidos como FLISR, por sus siglas en inglés Fault Location, Isolation, and Service Restoration) son sistemas avanzados utilizados en las redes de distribución eléctrica para mejorar la confiabilidad y disponibilidad del servicio. Estos sistemas permiten la localización de fallas, el aislamiento de las secciones afectadas y la restauración del servicio eléctrico a los clientes de manera rápida y automática, sin la necesidad de intervención manual.

2.4.15.1. Funciones Principales

Ubicación de Fallas (Fault Location): FLISR puede identificar rápidamente el punto donde se ha producido una falla en la red, utilizando la información proporcionada por los dispositivos de protección y sensores de corriente en la

línea. Esto permite localizar con precisión la sección dañada, lo que reduce el tiempo necesario para realizar reparaciones.

Aislamiento de la Falla (Fault Isolation): Una vez localizada la falla, FLISR aísla automáticamente la sección afectada, utilizando interruptores, seccionadores o reconectores automáticos. Esto evita que la falla se propague a otras partes de la red, limitando el impacto en los clientes.

Restauración del Servicio (Service Restoration): FLISR restaura el servicio eléctrico a los clientes que no están afectados por la falla, mediante el restablecimiento automático de la alimentación en las secciones no comprometidas de la red. Esto permite que los clientes experimenten interrupciones mínimas.

2.4.15.2. Componentes Principales de un Sistema FLISR

Sensores y Medidores: Se instalan en puntos clave de la red para proporcionar datos sobre la corriente, la tensión y otros parámetros. Estos sensores envían información a los controladores del sistema FLISR, permitiendo la localización precisa de las fallas.

Interruptores y Seccionadores Automáticos: Son dispositivos que permiten aislar automáticamente las secciones de la red afectadas por una falla. Los interruptores pueden abrir y cerrar circuitos sin intervención humana, mientras que los seccionadores realizan cortes en puntos específicos de la red.

Controladores y Unidades de Supervisión: Son responsables de procesar la información recopilada por los sensores y controlar los dispositivos de aislamiento y restauración. Estos controladores pueden estar ubicados en centros de control centralizados o en unidades locales de la red.

Comunicación y Sistemas de Supervisión: FLISR utiliza tecnologías de comunicación avanzadas para transmitir datos en tiempo real desde los sensores a los controladores. También se utilizan sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) para supervisar y gestionar la red de manera remota.

2.4.15.4. Aplicaciones de FLISR

Redes de Distribución Inteligentes (Smart Grids): FLISR es una parte clave de las redes de distribución inteligentes, donde se implementan tecnologías avanzadas

de monitoreo y control para mejorar la eficiencia, la fiabilidad y la sostenibilidad de la red eléctrica.

Redes en Zonas Urbanas y Rurales: FLISR es particularmente útil en redes de distribución en áreas tanto urbanas como rurales, donde la demanda es más variable y los tiempos de restauración del servicio deben ser lo más cortos posible para mantener la continuidad del suministro.

Sistemas de Energías Renovables: En sistemas que integran fuentes de energía renovable, como la energía solar o eólica, FLISR ayuda a mantener la estabilidad de la red, gestionando las fluctuaciones de generación y asegurando un suministro constante a los consumidores.

2.4.15.5. Consideraciones y Desafíos

Comunicación y Conectividad: La efectividad del sistema FLISR depende de una infraestructura de comunicación confiable y en tiempo real, lo que puede ser un desafío en áreas con cobertura limitada o redes de comunicación inestables.

Integración con la Infraestructura Existente: La integración de FLISR en redes de distribución existentes puede ser compleja y costosa. Se requiere una planificación adecuada para asegurar que los dispositivos y sistemas sean compatibles con la infraestructura de la red.

Capacitación del Personal: Aunque los sistemas FLISR están diseñados para funcionar automáticamente, el personal debe estar capacitado para supervisar su funcionamiento, realizar mantenimientos preventivos y tomar decisiones cuando sea necesario.

Interoperabilidad: A medida que se adoptan diferentes tecnologías de FLISR, es importante garantizar que estos sistemas sean interoperables con otros sistemas de automatización y protección en la red.

Normativas Aplicables:

- **IEEE 1547:** Estándar de interconexión de sistemas de generación distribuida [72].
- **IEC 61850:** Norma internacional para la automatización de subestaciones y sistemas de control [73].

- **IEEE Std 2030:** Guía para la interoperabilidad de los sistemas de redes inteligentes [74].

2.4.16. Cámaras y Gabinetes de Distribución

Las **Cámaras y Gabinetes de Distribución** son elementos fundamentales en el diseño y operación de las redes de distribución eléctrica, especialmente en alimentadores de media tensión. Estos dispositivos proporcionan un espacio seguro y organizado para la instalación de equipos eléctricos como interruptores, seccionadores, fusibles y otros dispositivos de protección y control. Además, protegen los componentes de la red contra condiciones ambientales adversas, como la humedad, el polvo o el contacto accidental, y facilitan el mantenimiento de los equipos.

2.4.16.1. Funciones Principales

Protección Física: Las cámaras y gabinetes proporcionan un entorno cerrado que protege los equipos eléctricos de daños físicos, intemperie y manipulaciones no autorizadas. Esto es esencial para garantizar la seguridad tanto de los trabajadores como de los equipos.

Distribución y Organización: Estos elementos permiten una distribución ordenada de los componentes eléctricos. Los equipos están dispuestos de manera que se pueda realizar una fácil identificación, operación y mantenimiento, optimizando el uso del espacio y mejorando la accesibilidad.

Aislamiento Eléctrico: Además de la protección física, las cámaras y gabinetes están diseñados para aislar eléctricamente los equipos de la red, minimizando el riesgo de cortocircuitos, choques eléctricos o fallas causadas por cortocircuitos externos.

Condiciones Ambientales Controladas: Estas estructuras proporcionan un control adecuado de la temperatura y la humedad, evitando que los equipos sufran daños debido a condiciones ambientales extremas. Algunas cámaras están equipadas con sistemas de ventilación o climatización para mantener condiciones óptimas de operación.

Facilidad de Mantenimiento: El diseño de las cámaras y gabinetes facilita el acceso a los equipos para su inspección, mantenimiento y reemplazo. Esto permite realizar operaciones rápidas y eficientes, sin exponer al personal a riesgos innecesarios.

2.4.16.2. Componentes Comunes de Cámaras y Gabinetes de Distribución

Estructura Metálica: Generalmente, las cámaras y gabinetes están hechos de acero galvanizado o materiales metálicos resistentes a la corrosión, lo que garantiza una larga vida útil y resistencia a condiciones climáticas adversas.

Puertas de Acceso: Las puertas permiten el acceso a los componentes internos para tareas de operación y mantenimiento. Estas puertas suelen estar equipadas con cerraduras de seguridad para prevenir accesos no autorizados.

Paneles de Control: Dentro de los gabinetes se encuentran los paneles de control y distribución, que incluyen interruptores, fusibles, seccionadores y otros dispositivos de protección y control. Los paneles están diseñados para facilitar la operación segura y eficiente de los sistemas eléctricos.

Sistemas de Protección: Los gabinetes a menudo incluyen protecciones contra sobrecarga, cortocircuito, y protección térmica, los cuales son esenciales para evitar fallas en los equipos y garantizar su funcionamiento adecuado.

Sistemas de Enfriamiento y Ventilación: En algunos casos, se incorporan sistemas de ventilación o climatización para mantener una temperatura óptima dentro del gabinete, especialmente cuando los equipos internos generan calor significativo durante su operación.

2.4.16.3. Tipos de Cámaras y Gabinetes de Distribución

Cámaras de Distribución de Media Tensión (MT): Estas cámaras están diseñadas para albergar equipos que operan a tensiones de media tensión, entre 1 kV y 36 kV. Están equipadas con interruptores de media tensión, seccionadores y otros dispositivos de protección, y son comunes en subestaciones y puntos de distribución.

Gabinetes de Protección: Son estructuras más pequeñas que se utilizan para instalar equipos de protección, como fusibles, disyuntores y otros dispositivos de seguridad. Son más compactos y están diseñados para su instalación en ubicaciones más accesibles o cercanas a los puntos de consumo.

Cámaras de Transformación: Estas cámaras están específicamente diseñadas para albergar transformadores de distribución y equipos relacionados, asegurando un entorno seguro y aislado para la operación de estos dispositivos, que convierten la electricidad de media tensión a baja tensión.

Gabinetes Modulares: Algunos gabinetes son modulares, lo que significa que se pueden ampliar o reconfigurar según las necesidades de la red eléctrica. Esto permite una mayor flexibilidad en el diseño de la red y en su futura expansión.

2.4.16.5. Consideraciones Técnicas

Normas de Diseño: Las cámaras y gabinetes deben cumplir con una serie de normas técnicas para garantizar su calidad y seguridad. Algunas de las normas más comunes son:

- **IEC 62271-200:** Especificaciones para interruptores de media tensión encapsulados [75].
- **IEEE C57.12.28:** Normas para transformadores de distribución de media tensión [76].
- **IEC 60529:** Estándar para el grado de protección IP (Ingress Protection) de equipos eléctricos [77].

Espacio y Capacidad: El diseño debe tener en cuenta el espacio necesario para cada componente, así como las posibles futuras ampliaciones. Es importante realizar un cálculo adecuado de la capacidad de carga y de la cantidad de equipos que se instalarán.

Materiales de Construcción: Los materiales utilizados deben ser resistentes a la corrosión, al fuego y a otros factores ambientales que puedan afectar su integridad. El acero galvanizado, el aluminio y los compuestos plásticos son materiales comúnmente utilizados en la construcción de estas estructuras.

2.4.17. Señalización y Señalética

La **señalización y señalética** son componentes fundamentales en la seguridad, operación y mantenimiento de un alimentador de media tensión. Estas señales sirven para informar, advertir, y orientar tanto al personal de operación como a los usuarios en las instalaciones eléctricas, garantizando que se sigan procedimientos correctos y se eviten accidentes.

2.4.17.1. Funciones Principales de la Señalización y Señalética

Prevención de Accidentes: La señalización de advertencia, como las señales de "peligro", "alto voltaje", "riesgo de electrocución", entre otras, son cruciales para evitar que el personal no autorizado o que no cuente con la capacitación adecuada

acceda a áreas peligrosas. Estas señales alertan a los trabajadores sobre posibles riesgos, como equipos energizados o condiciones de operación peligrosas.

Orientación y Ubicación: La señalética también ayuda a la ubicación rápida y precisa de los equipos o áreas específicas, como seccionadores, interruptores, y gabinetes. Esto es especialmente importante en situaciones de emergencia, donde el personal necesita encontrar rápidamente los dispositivos de protección o reconfiguración de la red.

Indicación de Procedimientos de Seguridad: Además de las señales de advertencia, las señales instructivas indican los procedimientos de seguridad a seguir, tales como la secuencia de operación de interruptores o el uso de equipos de protección personal (EPP). Esto contribuye a la estandarización de las operaciones y facilita la capacitación de los operadores.

Comunicación de Estado de Equipos: La señalización permite indicar el estado de los equipos, como "fuera de servicio", "en operación", o "en mantenimiento". Estas señales facilitan la comunicación visual entre el personal, ayudando a coordinar las actividades y a garantizar que los equipos se operen de manera segura.

2.4.17.2. Tipos de Señales Utilizadas en un Alimentador de Media Tensión

Señales de Advertencia: Las señales de advertencia, que son generalmente de color amarillo o naranja con símbolos de peligro, se utilizan para indicar la presencia de condiciones peligrosas, como alta tensión o riesgo de contacto eléctrico. Estas señales son especialmente importantes para alertar al personal que se aproxima a áreas o equipos energizados.

Señales de Prohibición: Las señales de prohibición, normalmente de color rojo, se utilizan para indicar acciones que están prohibidas, como "no tocar", "no abrir" o "no operar sin permiso". Estas señales son esenciales para mantener la seguridad del sistema y prevenir manipulaciones inapropiadas de equipos.

Señales de Información: Las señales informativas proporcionan detalles útiles sobre los equipos o procedimientos. Pueden indicar el nombre de los dispositivos, las instrucciones de operación o el estado actual de los equipos, como "seccionador en posición abierta" o "transformador operativo".

Señales de Obligación: Las señales de obligación, en su mayoría de color azul, indican las acciones que el personal debe realizar, como el uso obligatorio de

equipos de protección personal (EPP) o el procedimiento correcto para operar un dispositivo de protección.

Señales de Emergencia: Estas señales, que suelen ser de color verde o con iconos específicos, indican las salidas de emergencia, equipos de primeros auxilios o sistemas de extinción de incendios, contribuyendo a una respuesta rápida en caso de emergencias.

2.4.17.3. Materiales y Características de las Señales

Las señales y etiquetas utilizadas en los alimentadores de media tensión deben cumplir con ciertas normativas internacionales que aseguran su visibilidad, durabilidad y eficacia. Estas señales deben ser resistentes a las condiciones externas, como la humedad, las variaciones de temperatura y la exposición al sol.

Resistencia a Condiciones Climáticas: Las señales deben estar fabricadas con materiales resistentes a la corrosión y condiciones ambientales adversas, tales como plásticos reforzados, aluminio o acero inoxidable.

Reflexividad: Las señales deben ser lo suficientemente reflectantes para garantizar su visibilidad tanto de día como de noche. Esto es especialmente importante para señales de advertencia que deben ser visibles en todo momento, independientemente de las condiciones de luz.

Normas Internacionales de Señalización: La señalización debe cumplir con normas internacionales que estandaricen su uso, como:

- **ISO 7010:** Norma internacional que establece los pictogramas de seguridad para señales de seguridad [78].
- **IEC 60445:** Estándares para la identificación de los terminales, conductores y otros componentes en equipos eléctricos [79].
- **ANSI Z535:** Conjunto de normas de señalización para la seguridad en los Estados Unidos, que regula el diseño, el color y el contenido de las señales de advertencia [80].

2.4.17.4. Consideraciones Técnicas en la Implementación de Señalización

Ubicación Estratégica: Las señales deben colocarse en ubicaciones visibles y accesibles. Esto incluye la colocación de señales de advertencia cerca de equipos energizados o áreas de acceso restringido, así como en las rutas de evacuación y puntos de primeros auxilios.

Tamaño y Visibilidad: El tamaño de las señales debe ser adecuado para su visibilidad desde una distancia segura. Las señales más críticas, como las de advertencia de alto voltaje, deben ser lo suficientemente grandes y visibles desde diferentes ángulos.

Compatibilidad con el Entorno: La señalización debe ser compatible con el entorno del alimentador, teniendo en cuenta factores como la visibilidad en condiciones de poca luz, la durabilidad en entornos húmedos o polvorientos, y la resistencia a temperaturas extremas.

Mantenimiento de la Señalización: La señalización debe mantenerse en condiciones óptimas para garantizar su eficacia. Esto incluye la inspección periódica de las señales para asegurar que no estén dañadas, sucias o cubiertas por objetos que puedan obstruir la visibilidad.

2.4.18. Dispositivos de Control de Armónicos

Los **dispositivos de control de armónicos** son elementos cruciales en los sistemas de distribución eléctrica, especialmente en alimentadores de media tensión. Los armónicos son distorsiones en la forma de onda de la corriente o el voltaje que pueden generar efectos adversos sobre los equipos eléctricos, reduciendo su eficiencia, aumentando las pérdidas y acelerando el desgaste de los componentes. Para mitigar estos efectos, se implementan dispositivos diseñados para filtrar, controlar o reducir los armónicos en el sistema eléctrico.



Figura 30: Protector de armónicos xchpd99-3 xchpd99-1 dispositivo de absorción de armónicos protector de armónicos multifuncional

2.4.18.1. Origen de los Armónicos

Los armónicos en los sistemas eléctricos generalmente se originan a partir de cargas no lineales, como los variadores de frecuencia, rectificadores, fuentes de alimentación conmutadas y equipos electrónicos en general. Estas cargas no lineales inducen corrientes que no siguen una forma de onda senoidal, generando múltiplos de la frecuencia fundamental (50 Hz o 60 Hz dependiendo de la región). Los armónicos más comunes son los de baja frecuencia, pero en algunos casos, pueden presentarse armónicos de orden más alto.

2.4.18.2. Efectos de los Armónicos en el Sistema Eléctrico

Calentamiento de Equipos: Los armónicos pueden causar un aumento en las corrientes de los transformadores, motores, cables y otros equipos, generando calor adicional. Este calentamiento excesivo reduce la vida útil de los componentes y aumenta las pérdidas de energía.

Mal Funcionamiento de Equipos Electrónicos: Los armónicos pueden interferir con el funcionamiento de equipos electrónicos sensibles, como computadoras, sistemas de comunicación y equipos de medición. Esto puede provocar fallos en el sistema o comportamientos erráticos de los dispositivos.

Resonancia: Los armónicos pueden inducir condiciones de resonancia en el sistema eléctrico, lo que puede amplificar las distorsiones y llevar a daños en los equipos, especialmente en sistemas de distribución que incluyen condensadores y equipos inductivos.

Distorsión de la Forma de Onda: Los armónicos distorsionan la forma de onda de la corriente o el voltaje, lo que puede afectar negativamente la calidad del suministro eléctrico, causando fluctuaciones o inestabilidad en los equipos conectados al sistema.

2.4.18.3. Dispositivos de Control de Armónicos

Existen diferentes dispositivos y técnicas para controlar y reducir los armónicos en los sistemas de distribución eléctrica. Estos dispositivos incluyen:

Filtros de Armónicos: Los **filtros de armónicos** son circuitos diseñados para bloquear las frecuencias armónicas específicas y permitir el paso de la frecuencia fundamental. Los filtros pueden ser pasivos o activos:

- **Filtros pasivos:** Están compuestos por una combinación de inductores, capacitores y resistores, diseñados para sintonizarse con los armónicos específicos y atenuarlos.
- **Filtros activos:** Utilizan tecnologías más avanzadas para generar corrientes de fase opuesta a los armónicos, cancelándolos de manera más efectiva.

Transformadores de Armónicos: Los **transformadores de armónicos** están diseñados para reducir la propagación de armónicos en el sistema eléctrico. Un transformador de armónicos suele incorporar un diseño especial que ayuda a filtrar o atenuar las frecuencias no deseadas.

Reactores en Serie: Los **reactores en serie** son inductores que se colocan en serie con las cargas no lineales. Estos inductores ayudan a bloquear la corriente armónica, limitando su circulación por el sistema.

Compensadores Estáticos de Reactivos (SVC): Los **SVC** pueden ser utilizados para compensar la distorsión armónica, mediante el ajuste de la impedancia reactiva en el sistema. Aunque su función principal es la regulación de voltaje, algunos modelos avanzados pueden ayudar a mitigar los efectos de los armónicos.

Sistemas de Filtrado Activo de Alta Frecuencia: Los **sistemas de filtrado activo** pueden operar a través de convertidores que inyectan corriente de fase opuesta a las armónicas, lo que permite cancelar las distorsiones armónicas generadas por las cargas no lineales.

Atenuadores de Armónicos: Los **atenuadores de armónicos** son dispositivos adicionales que se utilizan para reducir la amplitud de los armónicos antes de que lleguen a los equipos sensibles. Estos dispositivos pueden integrarse a sistemas existentes de control de armónicos.

2.4.18.4. Normativas y Requisitos para el Control de Armónicos

El control de armónicos en los sistemas eléctricos está regulado por diversas normativas y estándares internacionales que definen los límites aceptables para los armónicos en el suministro eléctrico. Entre los más importantes se encuentran:

- **IEEE 519-2014:** Este estándar establece los límites de distorsión armónica total (THD) para corrientes y voltajes en los sistemas de distribución eléctrica. El estándar define los límites máximos permitidos según el tipo de sistema y la clasificación de la carga [81].

- **IEC 61000-4-7:** Regula las pruebas de inmunidad de los equipos frente a armónicos y fluctuaciones de frecuencia [82].
- **IEC 61000-4-30:** Este estándar se refiere a los métodos de medición de la calidad de la energía, incluyendo la medición de armónicos y otras perturbaciones [83].

2.4.18.5. Importancia del Control de Armónicos en Alimentadores de Media Tensión

El control adecuado de los armónicos es fundamental para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de los alimentadores de media tensión. La presencia de armónicos no solo afecta la eficiencia de la red, sino que también puede incrementar los costos operativos y de mantenimiento debido a los efectos perjudiciales sobre los equipos. Un sistema bien diseñado para el control de armónicos puede extender la vida útil de los equipos, reducir las pérdidas energéticas y mejorar la calidad del suministro eléctrico.

2.4.19. Dispositivos de Almacenamiento de Energía (Opcional)

Los **dispositivos de almacenamiento de energía** son elementos clave en la gestión eficiente de la energía en los sistemas de distribución, especialmente en aplicaciones de energías renovables o cuando se busca optimizar la estabilidad y la fiabilidad de la red eléctrica. Estos dispositivos permiten almacenar energía durante períodos de baja demanda y liberarla durante períodos de alta demanda, contribuyendo a la mejora de la calidad de suministro, la eficiencia operativa y la reducción de costos asociados a la generación y distribución [84].



Figura 31: Sistema de almacenamiento de energía

2.4.19.1. Tipos de Dispositivos de Almacenamiento de Energía

Baterías: Las baterías son el tipo de almacenamiento más común, utilizadas ampliamente en sistemas eléctricos tanto de pequeña como de gran escala. Existen diferentes tecnologías de baterías, entre ellas:

- **Baterías de plomo-ácido:** Son las más tradicionales y económicas, aunque tienen limitaciones en términos de eficiencia y vida útil.
- **Baterías de iones de litio (Li-ion):** Son más eficientes y tienen una vida útil más larga, pero son más costosas. Son ampliamente usadas en aplicaciones de energía renovable.
- **Baterías de flujo:** Utilizan un fluido electrolítico para almacenar y liberar energía, lo que les permite ofrecer una mayor durabilidad y capacidad de almacenamiento.

Almacenamiento en Aire Comprimido (CAES): El almacenamiento en aire comprimido implica el uso de energía excedente para comprimir aire y almacenarlo en cavernas subterráneas o grandes depósitos a alta presión. Cuando es necesario, el aire comprimido se libera, se calienta y se utiliza para generar electricidad mediante turbinas. Esta tecnología es más adecuada para almacenamiento a gran escala.

Almacenamiento en Supercondensadores: Los supercondensadores almacenan energía en un campo eléctrico generado por la separación de cargas en un material conductor. A pesar de que no tienen una capacidad de almacenamiento tan grande como las baterías, son ideales para aplicaciones que requieren rápidas cargas y descargas de energía, como en sistemas de compensación de potencia reactiva o estabilización de frecuencia.

Almacenamiento Térmico: El almacenamiento térmico utiliza materiales que almacenan calor (por ejemplo, sales fundidas o agua) durante los períodos de baja demanda y liberan este calor cuando es necesario para generar electricidad. Esta tecnología se utiliza principalmente en plantas de energía solar termoeléctrica.

Almacenamiento por Gravedad: El almacenamiento por gravedad utiliza la energía excedente para levantar un peso a una altura considerable y, cuando se necesita energía, el peso se baja para generar electricidad mediante un generador. Aunque esta tecnología es menos común, se está explorando como una opción viable para almacenamiento a gran escala.

2.4.19.2. Beneficios del Almacenamiento de Energía

Estabilidad de la Red Eléctrica: Los dispositivos de almacenamiento de energía pueden mejorar la estabilidad de la red eléctrica al equilibrar la oferta y la demanda de energía. Esto es particularmente importante cuando se integran fuentes de energía renovables intermitentes, como la energía solar y eólica, que dependen de las condiciones climáticas.

Mejora de la Calidad de la Energía: El almacenamiento de energía ayuda a reducir las fluctuaciones de voltaje y frecuencia en la red, lo que contribuye a una mejor calidad de suministro eléctrico. Esto es esencial para proteger equipos sensibles de posibles daños causados por irregularidades en el suministro.

Reducción de Costos Operativos: Almacenar energía durante períodos de baja demanda (cuando los precios de la electricidad son bajos) y liberarla durante los picos de demanda (cuando los precios son altos) puede reducir los costos operativos de las redes eléctricas, especialmente en sistemas de distribución donde la gestión de picos de demanda es crucial.

Respaldo en Casos de Emergencia: Los dispositivos de almacenamiento de energía proporcionan una fuente de energía de respaldo durante cortes de energía o eventos imprevistos. Esto puede ser crucial en aplicaciones críticas como hospitales, instalaciones industriales y redes de telecomunicaciones.

2.4.19.3. Desafíos en el Uso de Dispositivos de Almacenamiento de Energía

Costo Inicial: Aunque el costo de las tecnologías de almacenamiento de energía ha disminuido en los últimos años, el costo inicial sigue siendo relativamente alto, lo que puede limitar la implementación a gran escala.

Vida Útil: La vida útil de algunos dispositivos de almacenamiento, como las baterías, puede ser limitada, lo que implica que se deben reemplazar con el tiempo. Esto genera costos adicionales de mantenimiento y sustitución.

Eficiencia: La eficiencia de almacenamiento de energía varía según la tecnología utilizada. Algunos dispositivos, como las baterías de iones de litio, son más eficientes en términos de la cantidad de energía almacenada y liberada, mientras que otras tecnologías pueden tener una eficiencia relativamente baja.

Espacio Requerido: Algunos dispositivos, como los sistemas de almacenamiento térmico o por aire comprimido, pueden requerir grandes cantidades de espacio

para su instalación, lo que puede ser un desafío en áreas urbanas o en instalaciones con espacio limitado.

2.4.19.4. Aplicaciones del Almacenamiento de Energía en Alimentadores de Media Tensión

En los alimentadores de media tensión, los dispositivos de almacenamiento de energía pueden desempeñar un papel esencial en:

- **Mejorar la fiabilidad:** Almacenar energía para asegurar un suministro constante, incluso en condiciones de fluctuaciones o fallos temporales.
- **Optimizar la gestión de la demanda:** Ayudar a reducir las inversiones necesarias para infraestructura adicional al almacenar energía y utilizarla durante los picos de demanda.
- **Integración de energías renovables:** Facilitar la integración de fuentes de energía renovables intermitentes, proporcionando almacenamiento para la energía generada durante períodos de alta producción y liberándola cuando la generación es baja.

2.5. Herramientas para el Diseño y Simulación del Alimentador

El diseño y análisis de alimentadores de media tensión requieren el uso de herramientas especializadas que permiten modelar, simular y analizar el comportamiento de las redes eléctricas bajo diferentes condiciones operativas. Estas herramientas proporcionan una visión detallada del funcionamiento de los sistemas, identificando posibles fallos, sobrecargas y optimizando el diseño de la red.

2.5.1. CYMDIST

CYMDIST es una de las herramientas más utilizadas en la industria para el modelado y análisis de redes de distribución. Esta plataforma permite realizar simulaciones necesarias de redes eléctricas en media tensión, evaluando su comportamiento frente a diversas condiciones operativas, como fallos, variaciones de carga, y configuración de la red [30]. CYMDIST se utiliza principalmente para:

Modelado de Redes: Permite crear representaciones gráficas de redes de distribución eléctrica, donde se pueden incluir alimentadores, transformadores y

dispositivos de protección. La precisión en la representación de los elementos es crucial para realizar simulaciones realistas.

Análisis de Carga: La herramienta facilita el análisis de la distribución de carga a lo largo de la red, ayudando a identificar puntos críticos de sobrecarga o subutilización de los conductores.

Estudios de Cortocircuito y Fallas: CYMDIST permite simular fallas en la red, lo que es esencial para dimensionar correctamente los equipos de protección, como interruptores y fusibles. Además, puede determinar la corriente de falla en puntos específicos de la red.

Optimización de Red: A través de su simulación, se pueden identificar las mejores configuraciones para minimizar pérdidas y mejorar la eficiencia de la red de distribución.

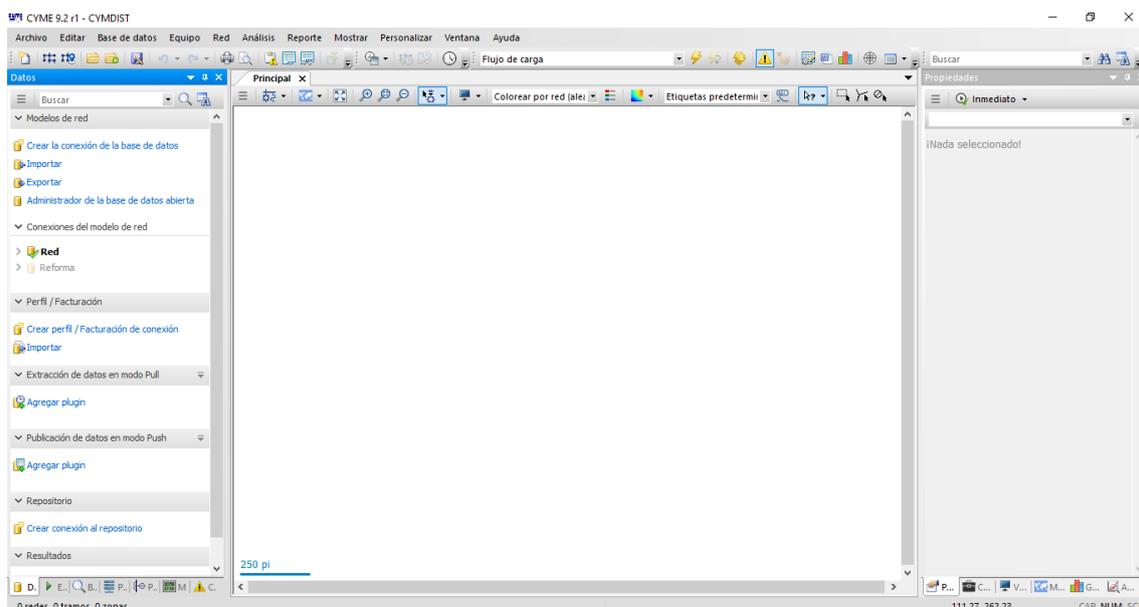


Figura 32: Ventana principal de CYMDIST

2.6. Normativas y Estándares Aplicables

El diseño y la implementación de alimentadores eléctricos de media tensión deben cumplir con una serie de normativas y estándares internacionales que aseguren la seguridad, confiabilidad y eficiencia del sistema eléctrico. A continuación, se presentan las normativas aplicables a los alimentadores de 13.8 kV, tanto internacionales como locales, con un enfoque específico en las normativas ecuatorianas.

2.6.1. IEEE Std 142-2017: "Libro Verde: Conexión a Tierra de Sistemas de Energía Industriales y Comerciales"

El IEEE Std 142-2017 [4], conocido como el "Libro Verde", proporciona directrices sobre el diseño y la implementación de sistemas de puesta a tierra para instalaciones eléctricas. Esta norma es esencial en la construcción de alimentadores de media tensión, ya que establece los requisitos para garantizar que las corrientes de falla se dirijan de manera segura al suelo, protegiendo tanto al personal como a los equipos eléctricos. Además, la correcta conexión a tierra es crucial para la estabilidad del sistema, ya que ayuda a mantener las tensiones de fase dentro de rangos aceptables, lo que es vital para el funcionamiento de los equipos conectados a la red de distribución.

2.6.2. IEEE Std 80-2017: "Guía IEEE para la Seguridad en la Conexión a Tierra de Subestaciones de CA"

El IEEE Std 80-2017 [3] se enfoca en la seguridad en la conexión a tierra de subestaciones de corriente alterna (CA), pero sus principios también se aplican al diseño de alimentadores de media tensión. Esta normativa proporciona directrices sobre la protección de equipos y personal, el cálculo de la resistencia de puesta a tierra y la distribución de las corrientes de falla. La implementación de una correcta puesta a tierra es esencial para evitar riesgos eléctricos y asegurar la continuidad del servicio.

2.6.3. IEC 61936-1:2016: "Instalaciones Eléctricas - Parte 1: Reglas Generales"

La IEC 61936-1:2016 [34] regula la construcción y operación de instalaciones eléctricas en sistemas de distribución, incluidos los alimentadores de media tensión. Esta norma establece criterios para la disposición de los conductores, la protección contra sobrecargas y cortocircuitos, y la instalación de transformadores y otros equipos eléctricos. También cubre la instalación de sistemas de protección para garantizar que las fallas sean detectadas y gestionadas de manera eficiente, lo que mejora la seguridad y confiabilidad del alimentador.

2.6.4. IEC 60364-5-54:2016: "Instalaciones Eléctricas de Edificios - Parte 5-54: Sistemas de Puesta a Tierra"

La IEC 60364-5-54:2016 [35] está orientada a la instalación de sistemas de puesta a tierra en edificios, lo cual es relevante para los alimentadores que alimentan áreas residenciales o comerciales. La norma proporciona las directrices para garantizar la seguridad de los sistemas de distribución eléctrica, especialmente en lo que

respetar a la protección de las personas contra descargas eléctricas. En el diseño de alimentadores, esta normativa establece criterios para la selección y dimensionamiento de los conductores de tierra, protegiendo tanto las instalaciones como a los usuarios.

2.6.5. Normativas Locales y Nacionales en Ecuador

En Ecuador, el diseño y la operación de los sistemas eléctricos, incluidos los alimentadores de media tensión, deben cumplir con varias normativas nacionales que regulan la calidad y seguridad del servicio eléctrico [36]. A continuación, se detallan algunas de las normativas locales más relevantes:

2.6.5.1. Reglamento a la Ley de Electricidad

El Reglamento a la Ley de Electricidad establece los principios y requisitos para la planificación, diseño, operación y mantenimiento de las redes de distribución eléctrica en Ecuador [36]. Este reglamento aborda aspectos fundamentales como:

Seguridad eléctrica: Defina los requisitos de seguridad para las instalaciones eléctricas, incluida la protección de personas y equipos, y establezca los criterios para el uso adecuado de materiales y equipos.

Calidad del suministro eléctrico: Regula los parámetros de calidad que deben ser garantizados por los operadores del sistema de distribución, incluidos los niveles de tensión, frecuencia y continuidad del servicio.

Protección y control: Establece requisitos para los sistemas de protección, como interruptores automáticos, fusibles y otros dispositivos de corte, para garantizar que las fallas sean detectadas y gestionadas de manera eficiente.

2.6.5.2. Cuerpo Normativo de la Agencia Nacional de Regulación, Control y Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR)

La ARCERNNR [37] es la entidad encargada de regular, controlar y supervisar el sector eléctrico en Ecuador. Las normativas emitidas por la ARCERNNR incluyen especificaciones técnicas que deben cumplirse en el diseño de las redes de distribución, como los alimentadores de media tensión. Estas incluyen:

Cálculo de pérdidas y eficiencia energética: Establece normas para minimizar las pérdidas técnicas y no técnicas en las redes de distribución, con énfasis en el uso de tecnologías eficientes y la reducción de pérdidas de energía.

Conexión y calidad de servicio: Regula las condiciones bajo las cuales los alimentadores deben operar para garantizar la continuidad del servicio eléctrico y la calidad del suministro, alineándose con los estándares internacionales de calidad.

Normas para equipos y materiales: La ARCERNNR especifica los requisitos técnicos y de calidad para los equipos utilizados en los alimentadores, como transformadores, conductores y sistemas de protección.

2.6.5.3. Código de Redes de Distribución Eléctrica (CRE)

El Código de Redes de Distribución Eléctrica de Ecuador [38] establece las condiciones técnicas que deben cumplir los sistemas de distribución, incluidas las redes de media tensión, para asegurar la confiabilidad y calidad del servicio. Algunos de los aspectos regulados por este código son:

Estándares de operación y mantenimiento: Definir los procedimientos para la operación, monitoreo y mantenimiento de las redes de distribución para garantizar su confiabilidad y minimizar tiempos de inactividad.

Condiciones para el diseño de redes: Establece los parámetros técnicos que deben ser considerados al diseño alimentadores de media tensión, incluyendo las características de los conductores, equipos de protección y sistemas de puesta a tierra.

Normas de conexión a la red: Regula las condiciones para conectar nuevos usuarios o nuevas instalaciones a la red de distribución, asegurando que no se comprometa la calidad del suministro eléctrico.

CAPITULO III

3.1. Recopilación de datos del alimentador La Reforma

3.1.1. Descripción de La subestación Centro Industrial

La subestación Centro Industrial fue construida en el año 1989 está ubicada en el catón Babahoyo, específicamente a 3,5 Km de la vía Babahoyo-Jujan, en un terreno de $1155 m^2$ propiedad de CNEL.

3.1.1.1. Patio 13.8 KV

3.1.1.1.1. Estructuras:

3 pórticos de 12m de altura de poste de hormigón armado de diámetro unidos entre sí, empotrados sobre base de hormigón armado de $6,55 m^3$, 1 seccionador principal tipo encapsulado, 4 salidas de alimentadoras [88].

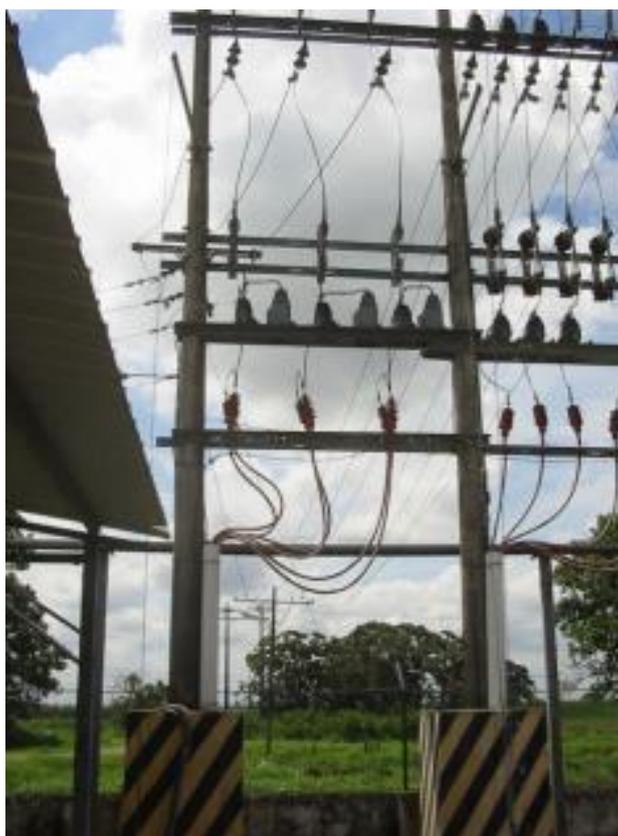


Figura 33: Salida de los Alimentadores de la Subestación Centro Industrial

3.1.1.1.2. Aisladores y herrajes

DESCRIPCION	CANTIDAD
Aislador de suspensión 15 KV	18
Perno de ojo 5/8"	36
Perno de ojo 3/4"	-
Puntas terminales 2/0 AWG	12
Grapa pistola 2/0	9

Tabla 1: Descripción de aisladores y herrajes a nivel de 13.8 kV [88]

3.1.1.1.3. Interruptor de aire principal:

MARCA	TIPO	KV max	BIL (KV)	I continua (A)	I inst (KA)
SIEMENS	3AF	15	110	1200	25

Tabla 2: Descripción del interruptor de aire principal [88]

3.1.1.1.4. Interruptores de las alimentadoras:

ALIMENTADORA	MEDIO AISLANTE	MARCA	TIPO	KV max	I continua (A)	I inter Max (KA)
La Reforma	VACIO	SIEMENS	AT-630-20DTF	17.5	630	16
Juján			AT-630-20DTF	17.5	630	16
Pueblo Nuevo			AT-630-20DTF	17.5	630	16
Juján Nuevo			AT-630-20DTF	17.5	630	16

Tabla 3: Descripción de los interruptores de las alimentadoras [88]

3.1.1.1.5. Controles de las alimentadoras:

ALIMENTADORA	MARCA	FORMA	SERIE
La Reforma	COOPER	4C	239019
Juján	COOPER	4C	238975
Pueblo Nuevo	COOPER	4C	233886
Juján Nuevo	COOPER	4C	240016

Tabla 4: Descripción de los controles de las alimentadoras [88]

3.1.1.1.6. Cuchillas seccionadoras de las alimentadoras:

ALIMENTADORA	BIL (KV)	Icontinua (A)	KV max	MARCA/TIPO					
				ENTRADA DE ALIMENTADORA			SALIDA DE ALIMENTADORA		
				FASE A	FASE B	FASE C	FASE A	FASE B	FASE C
La Reforma	110	200	15	Encapsuladas			ABB	ABB	ABB
Juján	110	200	15				ABB	ABB	ABB
Pueblo Nuevo	110	200	15				ABB	ABB	ABB
Juján Nuevo	110	200	15				ABB	ABB	ABB

Tabla 5: Descripción de las cuchillas seccionadoras de las alimentadoras [88]

3.1.1.1.7. Conductores:

USADO PARA	BARRA PRINCIPAL	ATERRIZAMIENTO
TIPO DE CABLE	2/0 Cu TW	0
LONGITUD (METROS)	72	20

Tabla 6: Descripción de los conductores a nivel de 13.8 KV [88]

3.1.1.1.8. Transformadores de corriente:

FASE	MARCA	TIPO	RELACION	BIL (KV)	SERIE	BURDEN	PRECISION
A	ABB	KOT-11	300/5	110	29317015	B-1.8	C-200
B	ABB	KOT-11	300/5	110	29317013	B-1.8	C-200
C	ABB	KOT-11	300/5	110	29317014	B-1.8	C-200

Tabla 7: Descripción de los transformadores de corriente a nivel de 13.8 KV [88]

3.1.1.1.9. Transformadores de potencial:

FASE	MARCA	TIPO	RELACION (70:1)	BIL (KV)	SERIE	BURDEN	PRECISION
A	G.E		8400/120	110	177557004	1200	
B	G.E	VOG-11	8400/120	110	10319613	1200	
C	Westinghouse		8400/120	110	177557049	1200	

Tabla 8: Descripción de los transformadores de potencial a nivel de 13.8 KV [88]

3.1.1.1.10. Transformador de auxiliares:

MARCA	TIPO	CAPACIDAD (KVA)	RELACION	BIL (KV)
ABB	CSP	15	7620/240 V	110

Tabla 9: Descripción del transformador auxiliar [88]

3.1.1.2. Cuarto de Control

La subestación también cuenta con un cuarto de control el cual cuenta con banco de baterías:

CARGADOR DE BATERIAS								
MARCA	MODELO	SERIE	ENTRADA A.C.			SALIDA D.C.		
			VOLTAJE	AMPERAJE	HZ	VOLTAJE	AMPERAJE	RIZADO
Siemens		95PS775	130	30	60	48	30	

Tabla 10: Descripción del cargador de baterías del cuarto de control [88]

BATERIAS						
#	1	2	3	...	19	20
VOLTAJE	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
AH	100	100	100	100	100	100
MARCA	VARTA	VARTA	VARTA	VARTA	VARTA	VARTA

Tabla 11: Descripción del banco de baterías del cuarto de control [88]

Además de contar con un tablero metálico con paneles de Breakers AC y DC donde se encuentran montados los dispositivos de medición, protección y control.

3.1.1.2.1. Medición:

MEDIDOR	SERVICIO	MARCA	SERIE	VOLTAJE	CLASE	ELEM.
FULCRUM	Totalizador	SCHLUMBERGER	84609407	120	10	2 1/2
FULCRUM	Juján	SCHLUMBERGER	18609025	120	20	2 1/2
FULCRUM	La Reforma	SCHLUMBERGER	2729965	120	20	2 1/2
FULCRUM	Pueblo Nuevo	SCHLUMBERGER	97016034	120	20	2 1/2
FULCRUM	Juján Nuevo	SCHLUMBERGER	97017049	120	20	2 1/2

Tabla 12: Descripción de los medidores de los alimentadores [88]

Cada medidor está instalado con una base socket clase 20 trifásica de 13 terminales y un Switch de prueba de 9 terminales [88].

3.1.1.2.2. Dispositivos de protección y control:

DESCRIPCION	MARCA	TIPO	CANTIDAD
Relé de baja frecuencia	SIEMENS	7RP72	1
Panel de alarmas	PANALARM	910DC48T	1
Relé para protección Sobrecorriente	SIEMENS	7SJ50	8
Switch apertura - cierre	G.E.		1
Lámparas indicadoras	G.E.		3
Rele lockout aux. protec. TPU	G.E.	HEA61	1
Regletas con cortocircuito 6 puntos	G.E.	EB27B065	2
Regletas de 12 puntos	G.E.	EB25L12	4
Breakers 1P-20	G.E.	THQC	8
Breakers 2P-20	G.E.	THQC	9
Breakers 2P-40	G.E.	THQC	1
Breakers 2P-50	G.E.	THQC	2

Tabla 13: Descripción de los Dispositivos de Protección y Control [88]

3.1.1.2.3. Cables de control:

DESCRIPCION	TIPO AISLAM.	CANTIDAD (METRO)
Cable concéntrico Cu 4 #12 AWG	TW	107
Cable Cu #16 AWG	TW	48
Cable Cu #12 AWG	TW	394
Cable Cu #8 AWG	TW	210

Tabla 14: Descripción de los Cables de Control [88]

3.1.1.3. Protección de Sobrevoltaje en la Subestación Centro Industrial

La Subestación Centro Industrial cuenta con pararrayos de 10 y 12 KV tipo MOV (metal oxide varistor). La Empresa eléctrica ubica a los pararrayos en cada uno de

los transformadores, capacitores, acometidas en alta y a lo largo de la línea de distribución. La protección contra sobrevoltajes y descargas atmosféricas están debidamente coordinadas [88].

3.1.1.4. Malla de tierra

Centro Industrial dispone de un sistema de aterrizamiento que consta de:

- 20 varillas COPPERWELD 3*4” x 2.5m para puesta a tierra
- 120m de cable de cobre desnudo #4/0 AWG

3.1.2. Alimentador La Reforma

El alimentador “La Reforma” es uno de los 4 alimentadores de la Subestación Centro Industrial el cual maneja carga residencial, comercial e industrial siendo su carga máxima 4,8 MW. El recorrido de este alimentador va desde la vía de acceso a ECUAPEL a 3,5 Km de la vía Babahoyo-Juján, hasta la calle Eloy Alfaro y Juan X Marcos abarcando 19km aproximadamente [88].

3.1.2.1. Área de influencia del alimentador La Reforma

SECTORES
Puentes Gemelos
Inpaecsa
Las Tolas 1 y 2
Ximena 4 y 5
Fabrica Coca-Cola
La Isla
El Pireo
Laurita
Cdla. Emelrio
Barrio Lindo
Sindicato de Choferes 1 y 2
Carlos Alvarado
Otto Arosemena
El Salto

Tabla 15: Área de Influencia del alimentador La Reforma

CARACTERISTICAS BASICAS DE LINEAS DE DISTRIBUCION					
ALIMENTADOR TRIFASICO: LA REFORMA (S/E CENTRO INDUSTRIAL)					
Sección de alimentador	Descripción	Longitud (m)	Conductor de fase	Conductor de neutro	Tipo de línea (U/R)
	1	2	3	4	5
Tramo trifásico 01	Troncal Babahoyo – Las Peñas	2536	ACSR.4/0	ACSR.2	U
Tramo trifásico 02	Troncal Juján – Las Peñas	740.44	ACSR.4/0	ACSR.2	U
Tramo trifásico 03	Troncal Las Peñas – Babahoyo	2031	ACSR.4/0	ACSR.2	R
Tramo trifásico 04	Resto Trifásico	11965.01	ACSR.4/0	ACSR.2	U

Ramal bifásico 01	Calle García Moreno – Roldós	240	ACSR.2/0	ACSR.2	U

Ramal monofásico 01	Todos los ramales	1354.95	ACSR.2/0	ACSR.2	R

Tabla 16: Características Básicas de Líneas de Distribución Alimentador La Reforma [88]

3.1.2.2. Diagramas del alimentador La Reforma

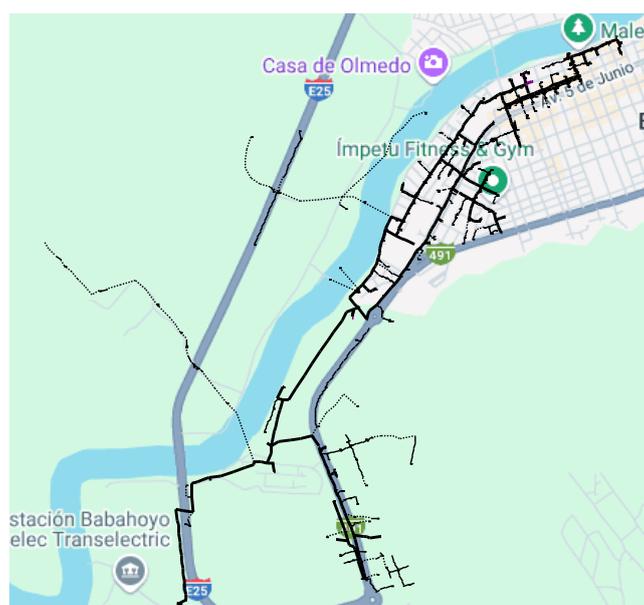


Figura 34: Diagrama del alimentador La Reforma

3.1.2.3. Transformadores

	Monofásico	Trifásico	Total
Numero	293	8	301
MVA	11.163	1.35	12.513

Tabla 17: Numero de Transformadores del alimentador La Reforma [88]

3.1.2.4. Cargas

3.1.2.4.1. Curva de Demanda Promedio de la alimentadora La Reforma

A partir de datos ya recopilados se puede denotar que el alimentador “La Reforma” comienza el día con una demanda de aproximadamente 2.5 MW, presentando un aumento de 1 MW hasta el mediodía, momento en el que empieza a disminuir hasta aproximadamente las 06:00 pm, hora en la cual el consumo aumenta a un valor promedio de 4.5 MW hasta las 11:00 pm donde empieza a disminuir llegando a los 2.5 MW, repitiendo el ciclo día con día, aunque hay secciones como días festivos en los que suelen variar los valores [88].

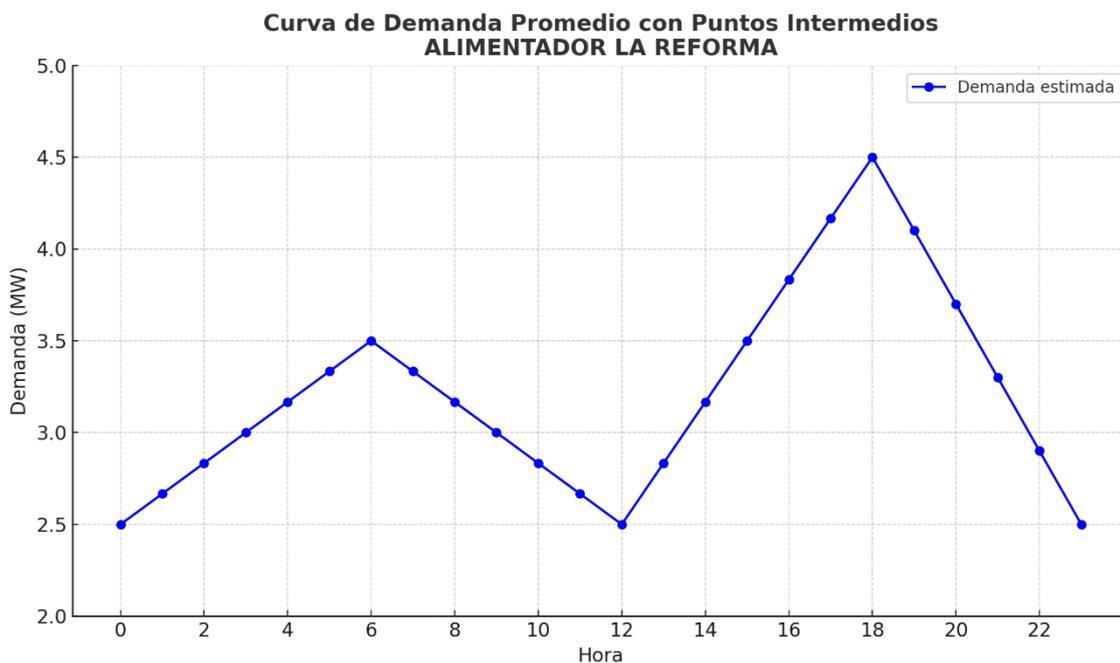


Figura 35: Demanda promedio del alimentador La Reforma

Para identificar de mejor manera los valores máximos y mínimos del alimentador se realiza un análisis durante los años 2020, 2021, 2022 y 2023.

POTENCIA (MW) / AÑO	2020	2021	2022	2023
MAXIMA	4.64	3.58	4.12	4.65
MINIMA	2.53	2.61	2.70	2.79

Tabla 18: Potencia Máxima y Mínima del alimentador La Reforma

3.1.2.4.2. Máxima Carga

	%Va	%Vb	%Vc	Va [V]	Vb [V]	Vc [V]
Máximo	104.2%	104.07%	104.2%	7938.44	7930.77	7940.76
Mínimo	99.99%	98.36%	100.7%	7619.13	7494.78	7675.5
CV	4.21%	5.71%	3.5%	319.31	435.22	265.26

Tabla 19: Voltaje en porcentaje para Máxima carga alimentador La Reforma [88]

En la Tabla 19 se puede apreciar que la mayor caída de tensión bajo condiciones de carga máxima alcanza un 5,71%, lo que equivale a 435,22 V. Esta variación indica una buena regulación de voltaje, ya que las caídas se mantienen dentro de un rango aceptable

3.1.2.4.3. Perfil de Voltaje para máxima Carga

A continuación, se presenta el perfil de voltaje de la troncal principal de la alimentadora “La Reforma”, para una carga máxima, que corresponde al 67,4% en la fase A, 52,7% en la fase B y 66,3% en la fase C de la capacidad total instalada en cada fase, con un factor de potencia de 0,957 en cada una de ellas [88].

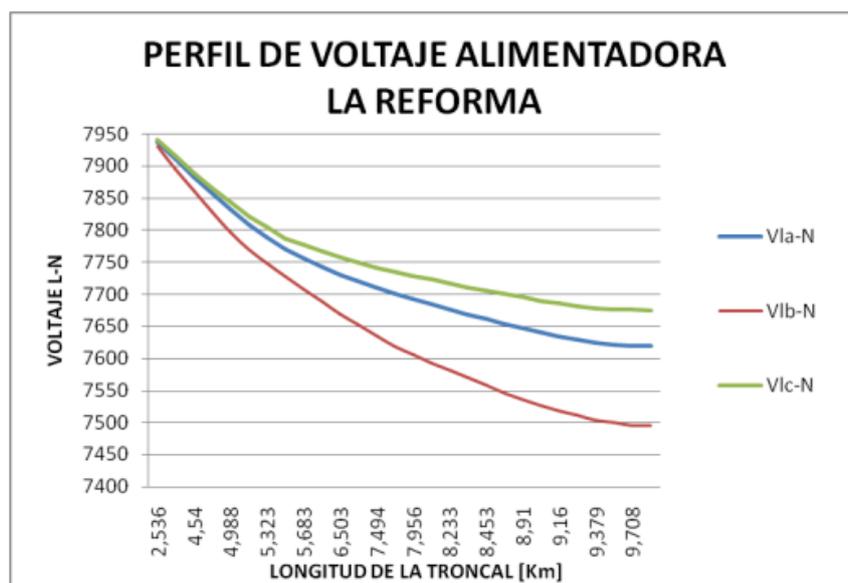


Figura 36: Perfil de voltaje de la Troncal del alimentador La Reforma

En la Figura 36 se puede observar que las cargas no están balanceadas desde el inicio de la alimentadora; si lo estuvieran, deberían converger en un único punto. Como se mencionó anteriormente, el porcentaje máximo de caída de voltaje entre el arranque de la alimentadora y el punto más alejado, que generalmente corresponde al final de un ramal, es del 5,71% para carga máxima. Por lo tanto, en la troncal, este porcentaje debería ser inferior [88].

3.1.2.5. Corrientes por fases

Fase	La Reforma
A	204.42 A
B	244.38 A
C	189.3 A
Promedio	212.7 A

Tabla 20: Corrientes por fase del alimentador La Reforma

3.1.2.6. Factor de Utilización

El factor de utilización de un sistema establece que porcentaje de la capacidad del sistema está siendo utilizado durante el pico de carga, este factor es la relación entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema.

La Empresa Eléctrica CNEL S.A. calcula la demanda máxima de todo el sistema, pero en la Tabla 21 vemos que otra forma de calcular el factor de utilización es multiplicando el voltaje (KV), por el valor de la corriente (A); así obtendríamos un valor aproximado de los KVA promedios demandados en el periodo de máxima carga [88].

	La Reforma		
	FASE A	FASE B	FASE C
V prom. (KV)	7.43568	7.53683	7.46081
I prom. (A)	204.42	244.38	189.3
Cap. Nom. (KVA)	2064	3209	1951
f. Utilización (%)	73.64	57.4	72.39

Tabla 21: Cálculo de Factor de utilización por fase en el alimentador La Reforma

3.1.2.7. Fusibles

Fusible	UBICACIÓN DEL FUSIBLE	TIPO
1	1	65K
2	5, 1	80K
3	5, 4	30K
4	6a	40K
5	6b	65K
6	7	65K
7	8 ^a	100K
8	8b	100K
9	8, 1	30K
10	8, 4	40K
11	9	25K
12	16	25K
13	19	30K
14	20	65K
15	20, 1	25K
16	22, 3	65K
17	23	65K
18	24	100K
19	27, 1a	6K
20	27, 1b	10K
21	28	20K

Tabla 22: Numero de Fusibles del alimentador La Reforma [88]

FUSIBLE				MAXIMA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO		COORDINACION
PROTECTOR		RESPALDO		PARA COORDINACION	EN EL PUNTO DE ESTUDIO	
CODIGO	TIPO K	CODIGO	TIPO K			
3	30	2	80	2800	2475	SI
9	30	7	100	3900	2417	SI
10	40	8	100	3900	2249	SI
15	25	14	65	2200	1694	SI

Tabla 23: Coordinación de fusibles alimentador La Reforma [88]

3.2. Cálculos

3.2.1. Corriente nominal del alimentador

$$I_{nom} = \frac{P}{\sqrt{3} * V_{L-L} * fp} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- P es la carga activa
- fp es el factor de potencia
- V_{L-L} es el voltaje línea línea

Para el caso de nuestro alimentado la I_{nom} sería:

$$P = 4.8MW$$

$$V_{L-L} = 13.8KV$$

$$fp = 0.9$$

$$I_{nom} = \frac{4.800}{\sqrt{3} * 13.8 * 0.9} = 223.4 A$$

3.2.2. Selección del conductor adecuado

Para seleccionar el conductor adecuado para el alimentador podemos partir de la siguiente formula

$$\Delta V_{Linea} = \frac{4 * L * I_{nom}}{V_{fase} * S} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- ΔV_{Linea} es la caída de tensión en la línea.
- L es la longitud de la línea (en metros).
- I_{nom} es la corriente nominal de la línea (en amperios).
- V_{fase} es la tensión de fase de la línea (en voltios).
- S es la sección del conductor (en milímetros cuadrados, mm^2).

Ya que al necesitar la sección S la podemos despejar obteniendo la siguiente formula

$$S = \frac{4 * L * I_{nom}}{V_{fase} * \Delta V_{Perm}}$$

Ecuación 3

$$L = 7.71 km$$

$$I_{nom} = 223.4 A$$

$$V_{fase} = \frac{13.8}{\sqrt{3}} kV = 7.96 kV$$

Supongamos que se permite una caída de tensión del 3%, entonces:

$$\Delta V_{Perm} = 0.03 * V_{fase} = 0.03 * 7.96 kV = 238.8 V$$

$$S = \frac{4 * 7710 * 223.4}{7960 * 238.8} = 36.23 mm^2$$

Gracias a los cálculos podemos determinar que necesitamos un conductor de $36.23 mm^2$ aproximadamente.

3.2.2.1. Conductores ACSR más comunes:

ACSR 4/0 (63.6 mm²)

- Ampacidad: ~260 A (dependiendo de las condiciones).
- Resistencia: Baja.
- Uso: Líneas de distribución primaria.

ACSR 266.8 (85 mm²)

- Ampacidad: ~300-350 A.
- Resistencia: Muy baja, ideal para líneas de mayor carga.
- Uso: Líneas de distribución de media tensión.

ACSR 336.4 (107 mm²)

- Ampacidad: ~400 A.
- Resistencia: Muy baja.
- Uso: Líneas de alta demanda.

ACSR 477 (152 mm²)

- Ampacidad: ~550 A.

- Resistencia: Excelente para transmisión y distribución.

Como podemos notar en el listado el conductor ACSR 4/0 cumplen con los requisitos para nuestro alimentador, no obstante, al tener en cuenta que se desea minimizar caídas de tensión y sobrecalentamientos, optaremos por el ACSR 266.8 para mayor margen.

3.2.3. Selección del aislador

Para seleccionar de manera correcta el aislador que se desea utilizar es necesario conocer los siguientes parámetros:

- Nivel de contaminación ambiental K_c
- Densidad relativa del aire K_a

El valor de K_c puede variar dependiendo de la normativa aplicada (IEC o IEEE), no obstante, en los cálculos los valores son iguales tal y como se muestra en la Tabla 24.

K_c=mm/kV: Factor de contaminación ambiental			
Nivel	IEC	IEEE	Relación entre IEEE-IEC
Ligero	16	27.7	$27.7/16 = 1.73 = \sqrt{3}$
Medio	20	34.6	$34.6/20 = 1.73 = \sqrt{3}$
Fuerte	25	43.3	$43.3/25 = 1.73 = \sqrt{3}$
Muy Fuerte	31	53.7	$53.7/31 = 1.73 = \sqrt{3}$
K_c (IEEE) = $\sqrt{3}$ * K_c(IEC)			

Tabla 24: Factor de contaminación ambiental

Donde

- K_c (IEC) = K_{cft} = factor de contaminación fase – tierra
- K_c (IEEE) = K_{cff} = factor de contaminación fase – fase

El valor de K_a según la norma IEC 61869-1 se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$K_a = (1.02) * e^{-m*(h-1000)/8150} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

- e = Numero de Euler = 2.7183
- h = Altura sobre el nivel del mar (msnm)

- m = 1: Para impulsos tipo rayo
- m = 0.75: Para impulsos tipo maniobra

Para h menor o igual a 1000 msnm $K_a = 1$

Una vez obtenidos los valores de K_c y K_a se puede obtener la distancia de fuga para determinar el tamaño y número de aisladores que se necesitarán.

VLL.nom (kV). rms	IEC 60071-1 Estándar			IEEE 1313-1 Estándar		
	VLL.max (kV). rms	BSL (kV). cresta fase-tierra	BIL (kV). cresta fase-tierra	VLL.max (kV). rms	BSL (kV). cresta fase-tierra	BIL (kV). cresta fase-tierra
13.8	17.5	38	75/95	15	34	95/110

Tabla 25: Nivel de aislamiento estándar para 13.8 kV

Según la normativa IEEE la distancia de fuga se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$D_{fuga\ total} = \frac{K_{c_{ff}} * VLL_{max}(IEEE)}{\sqrt{K_a} * \sqrt{3}} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$D_{fuga\ total} = \frac{43.3 * 15}{\sqrt{1} * \sqrt{3}} = 374.98\ mm$$

Según la normativa IEC la distancia de fuga se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$D_{fuga\ total} = \frac{K_{c_{fT}} * VLL_{max}(IEEE)}{\sqrt{K_a}} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$D_{fuga\ total} = \frac{25 * 15}{\sqrt{1}} = 375\ mm$$

Con los cálculos podemos determinar que la distancia de fuga es de 375 mm aproximadamente. En la Tabla 26 encontramos aisladores que cumplen con los requerimientos.

Clase		Unidad	ANSI 56-2	ANSI 56-3	ANSI 56-4
Altura		mm	146	155	170
Diámetro		mm	152	178	203
Distancia de fuga		mm	305	394	440
Baja frecuencia	Seco	kV	80	90	110
	Húmedo	kV	65	70	85
Alta frecuencia	Positivo	kV	110	120	150
	Negativo	kV	100	120	150

Tabla 26: Aisladores de porcelana tipo pin - Clase ANSI

Tanto el aislador ANSI 56-3 y ANSI 56-4 cumplen con una distancia de fuga de 374.98 mm. Sin embargo, el ANSI 56-4 tiene una distancia de fuga mayor y proporciona un margen de seguridad adicional para áreas con contaminación más severa.

3.2.4. Cálculo de cortocircuitos

Para calcular las corrientes de cortocircuito considerando el conductor ACSR 266.8, es necesario conocer las impedancias características de este conductor. Según las especificaciones del conductor ACSR 266.8:

Resistencia en corriente alterna (AC): $R_{AC} = 0.274 \Omega/km$ a 75°

Reactancia inductiva: $X_L = 0.326 \Omega/km$

Longitud de la línea

La longitud del alimentador es de $L = 7.71 km$

Cálculo de las impedancias de la línea

$$Z_{linea} = (R_{AC} + jX_L) * L \quad \text{Ecuación 7}$$

$$Z_{linea} = (0.274 + j0.326) * 7.71$$

$$Z_{linea} = 2.112 + j2.515 \Omega$$

Impedancia total del sistema

$$Z_{total} = Z_{fuente} + Z_{linea} \quad \text{Ecuación 8}$$

Usando $Z_{fuente} = 0.1 + j0.5 \Omega$

$$Z_{total} = (0.1 + 2.112) + j(0.5 + 2.515) = 2.212 + j3.015 \Omega$$

Magnitud de la impedancia total

$$|Z_{total}| = \sqrt{(2.212)^2 + (3.015)^2}$$

$$|Z_{total}| = \sqrt{4.893 + 9.090} = \sqrt{13.983} = 3.74 \Omega$$

Corriente de falla trifásica $I_{3\phi}$

$$I_{3\phi} = \frac{V_{fase}}{Z_{total}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde

Z_{total} es la suma de las impedancias de la fuente y del alimentador.

$$V_{fase} = \frac{13.8}{\sqrt{3}} = 7.97 \text{ kV}$$

$$I_{3\phi} = \frac{7.97 \text{ kV}}{3.74 \Omega} = 2.13 \text{ kA}$$

Corriente de falla monofásica a tierra $I_{1\phi}$

$$I_{1\phi} = \frac{3 * V_{fase}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde

Z_1 , Z_2 y Z_0 son las impedancias de secuencia positiva, negativa y cero del sistema.

Para este cálculo asumiremos que Z_1 , Z_2 y Z_0 son iguales a Z_{total}

$$I_{1\phi} = \frac{3 * 7.97}{3 * 3.74} = \frac{23.91}{11.22} = 2.13 \text{ kA}$$

Corriente de falla bifásica $I_{2\phi}$

$$I_{2\phi} = \frac{V_{fase}}{\sqrt{3} * Z_1} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde

Z_1 es la impedancia de secuencia positiva.

$$I_{2\phi} = \frac{7.97}{\sqrt{3} * 3.74} = \frac{7.97}{6.48} = 1.23 \text{ kA}$$

3.2.5. Dimensionamiento de protecciones

Ajuste de relés (tiempo y corriente)

Los ajustes de los relés se realizan para detectar las fallas con rapidez y minimizar el impacto en el sistema, utilizando las curvas de tiempo inverso y asegurando que cumplan con la norma ANSI/IEEE C37.112.

Ajuste de corriente de arranque (I_{pickup})

Suele fijarse entre 1.1 y 1.5 veces la corriente nominal para evitar disparos por sobrecargas transitorias.

$$I_{pickup} = 1.25 * I_{nom} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$I_{pickup} = 1.25 * 223.4 = 279.25 A$$

Curvas de tiempo inverso

La ecuación de tiempo inverso es:

$$t = \frac{TMS}{\left(\frac{I_{falla}}{I_{pickup}}\right)^{\rho} - 1} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde

- t : tiempo de operación del relé
- TMS : ajuste de tiempo (Time Multiplier Setting)
- I_{falla} : corriente de falla
- I_{pickup} : corriente de arranque del relé
- ρ : constante según la curva

Tiempo de falla trifásico

Para $I_{falla} = I_{3\phi} = 2.13kA$, seleccionamos una curva extremadamente inversa y asumimos $TMS=0.1$:

$$t = \frac{0.1}{\left(\frac{2130}{279.25}\right)^{0.02} - 1}$$

$$t = \frac{0.1}{(7.63)^{0.02} - 1} = \frac{0.1}{1.15 - 1} = \frac{0.1}{0.15} = 0.67 s$$

Tiempo de falla monofásico

Para $I_{falla} = I_{1\phi} = 2.13kA$, usando el mismo TMS:

$$t = \frac{0.1}{\left(\frac{2130}{279.25}\right)^{0.02} - 1} = 0.67s$$

Coordinación entre fusibles y relés

La coordinación entre fusibles y relés asegura que el fusible opere antes que el relé para fallas en los extremos del alimentador. Esto requiere verificar las curvas características de ambos dispositivos.

Selección del fusible

Usamos fusibles tipo K o T, adecuados para redes de media tensión. Consideramos la corriente nominal del conductor y el margen de seguridad:

$$I_{fusible} = 1.5 * I_{nom} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$I_{fusible} = 1.5 * 223.4 = 335.1 \text{ A}$$

Seleccionamos un fusible estándar cercano a 335A, como un fusible de 350 A.

Validación de la capacidad interruptiva

Verificamos que los equipos puedan interrumpir las corrientes máximas de falla ($I_{3\phi} = 2.13kA$):

- **Interruptor:** La capacidad interruptiva típica de un interruptor de media tensión es 25kA, lo que es suficiente.
- **Fusibles:** Los fusibles tipo K tienen capacidad de interrupción de hasta 50kA, también suficiente.

Resultados finales

- **Relés:**

$$I_{pickup} = 279.25A$$

Tiempo de operación para $I_{3\phi}$: $t = 0.67s$

- **Fusibles:**

Fusible seleccionado: 350A.

- **Capacidad interruptiva:**

Interruptor y fusibles cumplen con los niveles de cortocircuito del sistema.

3.2.6. Estudio de caída de tensión en condiciones de carga máxima

La caída de tensión total en un alimentador trifásico se calcula mediante la siguiente formula:

$$\Delta V = \sqrt{3} * I * (R * \cos\phi + X * \sen\phi) * L \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde

- I es la corriente nominal
- R es la resistencia del conductor
- X la reactancia del conductor
- L la longitud del conductor

Factor de potencia:

$$\sen\phi = \sqrt{1 - \cos^2\phi} \quad \text{Ecuación 16}$$

Determinar la impedancia del conductor

Resistencia y reactancia del conductor ACSR 266.8 (por fase):

- R=0.135Ω/km
- X=0.118Ω/km

Determinar la impedancia por unidad de longitud

$$R_{total} = R * L = 0.135 * 7.71 = 1.041\Omega$$

$$X_{total} = X * L = 0.118 * 7.71 = 0.911\Omega$$

Cálculo de $\sen\phi$:

$$\sen\phi = \sqrt{1 - (0.9)^2} = 0.435$$

Caída de tensión:

$$\Delta V = \sqrt{3} * I_{nom} * (R_{total} * \cos\phi + X_{total} * \sen\phi) \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\Delta V = \sqrt{3} * 223.4 * (1.041 * 0.9 + 0.911 * 0.435)$$

$$\Delta V = 387.1 * (0.937 + 0.396)$$

$$\Delta = 387.1 * 1.333 = 516.02 V$$

Porcentaje de caída de tensión:

Convertimos $V_{nominal}$ a fase – fase ($V_{fase} = 13.8kV/\sqrt{3}$):

$$V_{fase} = \frac{13.8}{\sqrt{3}} = 7.97 \text{ kV} = 7970 \text{ V}$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{fase}} * 100 = \frac{516.02}{7970} * 100 = 6.47\%$$

La caída de tensión calculada (6.47%) excede el límite normativo de $\pm 5\%$, no obstante, cuando trabajas con líneas de transmisión de largo alcance, la caída de tensión puede ser mayor que el límite estándar del 5%. Las normas internacionales y los códigos de seguridad permiten una mayor flexibilidad en situaciones de distancias largas, siempre que se mantengan medidas para garantizar la calidad del suministro eléctrico [24], [85],[86].

3.2.7. Cálculo de pérdidas técnicas

Pérdidas en Conductores

Cálculo de Pérdidas Resistivas (I^2R):

La fórmula básica para las pérdidas resistivas en un conductor es:

$$P_{perdida} = I^2 * R \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

I es la corriente que circula por el conductor (en amperios, A).

R es la resistencia total del conductor (en ohmios, Ω).

Resistencia por kilómetro para ACSR 266.8 (aproximadamente): $R \approx 0.115 \Omega/\text{km}$

$$R_{total} = 0.115 \frac{\Omega}{\text{km}} * 7.71 \text{ km} = 0.885 \Omega$$

Las perdidas resistivas serian:

$$P_{perdida} = (223.4)^2 * 0.885 \approx 44.6 \text{ W}$$

Este cálculo es solo para las perdidas resistivas del conductor.

Pérdidas en Transformadores

Cálculo de Pérdidas en el Transformador:

Las pérdidas del transformador dependen de la potencia nominal y la carga en el momento de la medición.

Pérdidas en el núcleo (P): Estas son aproximadamente constantes independientemente de la carga. Se especifican por el fabricante, pero generalmente son un porcentaje de la potencia nominal del transformador (por ejemplo, un 1-2%).

Pérdidas en los devanados (P): Dependen de la corriente que circula por los devanados. Se calculan utilizando la fórmula:

$$P_{devanados} = I^2 * R_{devanados} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

$R_{devanado}$ es la resistencia de los devanados, que también depende de la temperatura y el material del bobinado.

En nuestro caso al tratarse de una simulación omitimos este cálculo.

Capítulo IV

4.1. Construcción del alimentador La Reforma Nuevo

4.1.1. Alimentador La Reforma Nuevo

Paso 1: abrir el simulador CYMDIST.

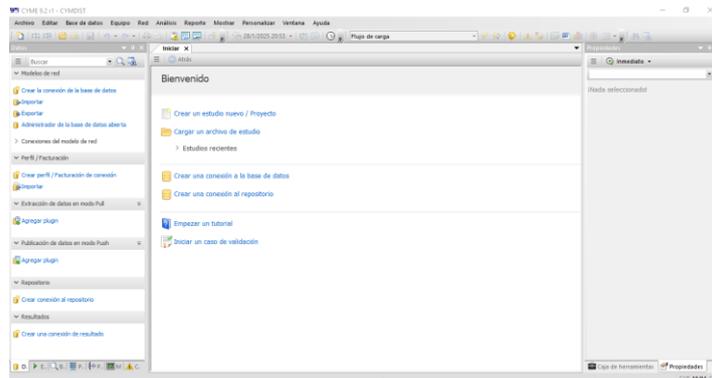


Figura 37: Pantalla de inicio de CYMDIST

Paso 2: seleccionar crear la conexión de la base de datos.

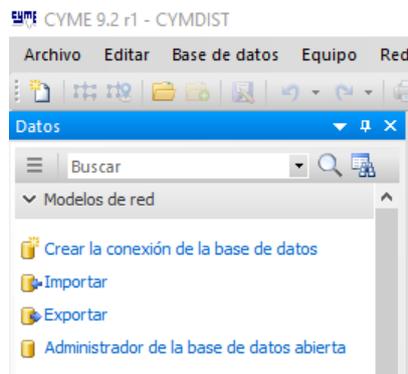


Figura 38: Menú de modelos de red CYME 9.2

Paso 3: seleccionar bases de datos distintas.

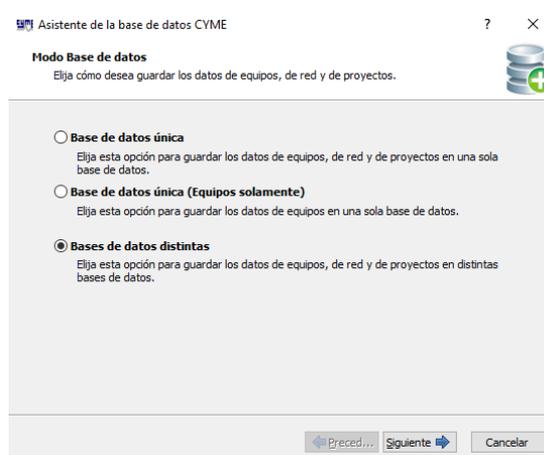


Figura 39: Asistente de la base de datos CYME

Paso 4: seleccionar el tipo de archivo de la base de datos de equipos, en este caso en formato Microsoft Access.

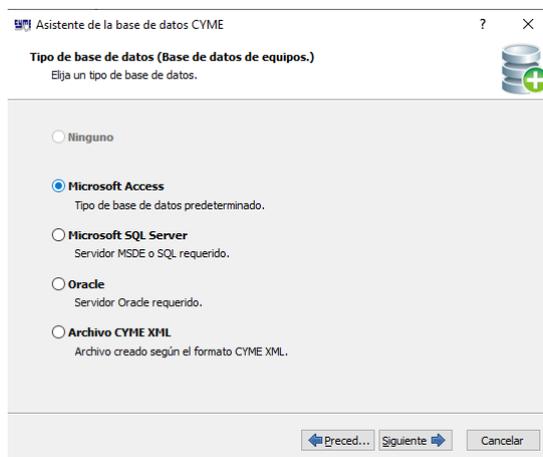


Figura 40: Asistente de la base de datos CYME

Paso 5: seleccionar la ruta del archivo de base de datos (*.mdb).

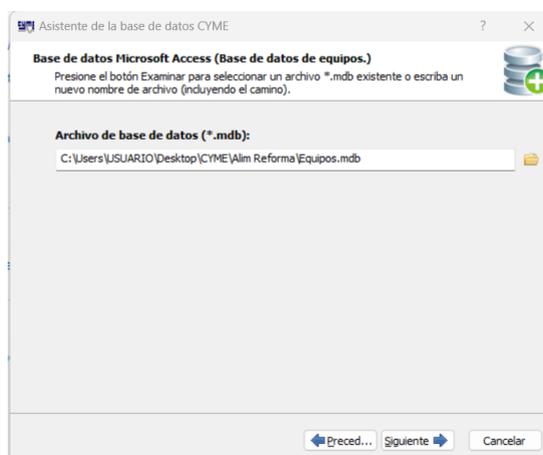


Figura 41: base de datos Microsoft Access (Base de datos de equipos)

Paso 6: seleccionar el tipo de archivo de la base de datos de la red.

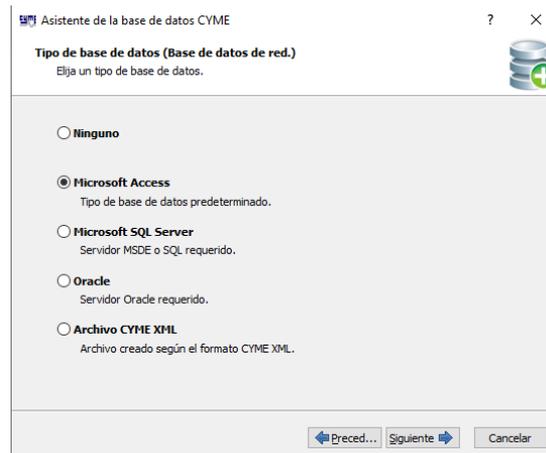


Figura 42: Asistente de la base de datos CYME
Paso 7: seleccionar la ruta del archivo de base de datos (*.mdb).

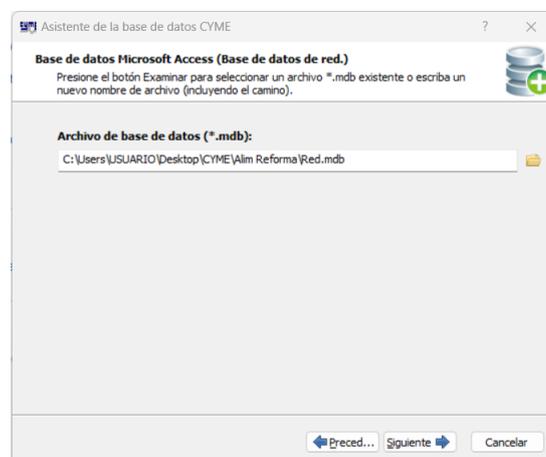


Figura 43: base de datos Microsoft Access (Base de datos de red)
Paso 8: base de datos de proyecto.

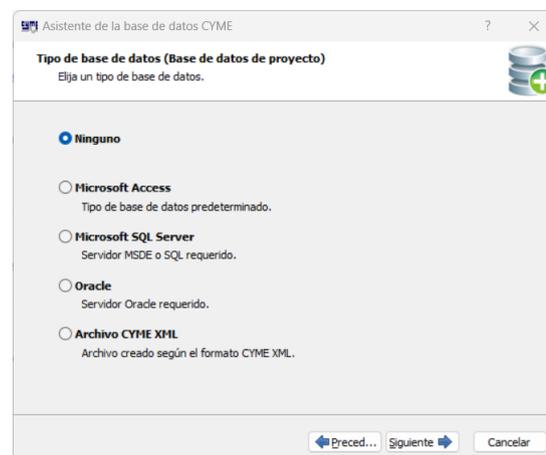


Figura 44: Tipo de base de datos (Base de datos de proyecto)

Paso 9: listo para crear la configuración de la base de datos.

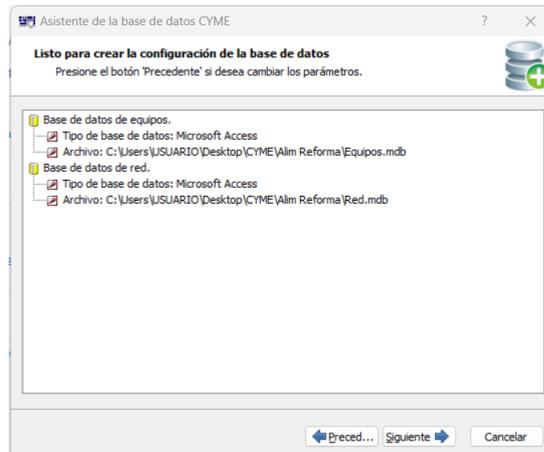


Figura 45: Asistente de base de datos en CYMDIST

Paso 10: dar terminación en el menú configuración de base de datos.

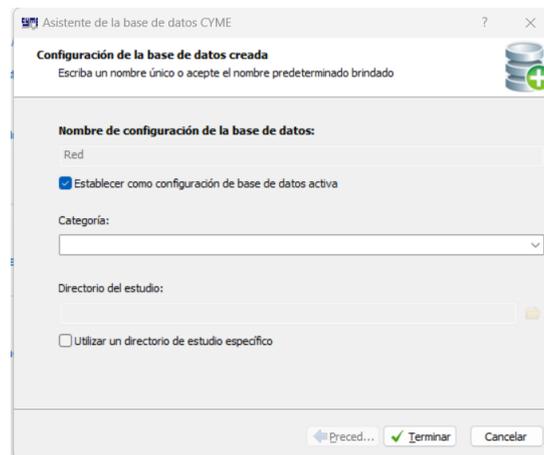


Figura 46: configuración de la base de datos

Paso 11: se vuelve a la ventana principal de CYMDIST.

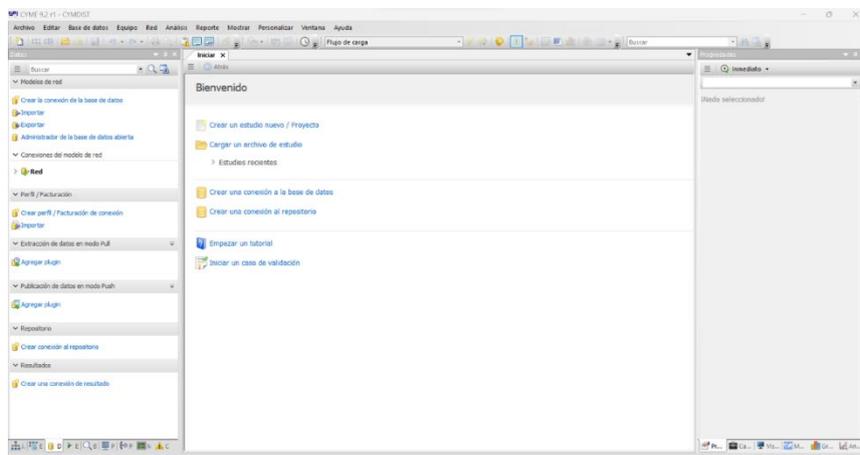


Figura 47: Pantalla de inicio de CYMDIST

Paso 12: clic en crear un nuevo Estudio / Proyecto y se coloca un nombre en el proyecto.

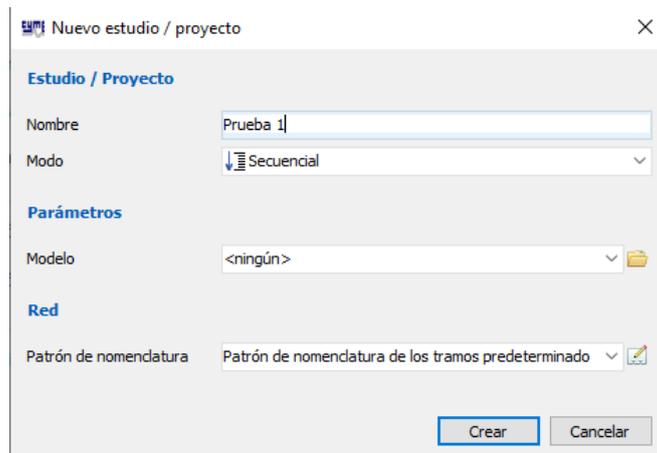


Figura 48: Nuevo estudio / proyecto

Paso 13: una vez creado el estudio se carga el mapa del ecuador en CYMDIST, para esto se accede a la barra archivo, preferencias y se selecciona el sistema de coordenadas deseado.

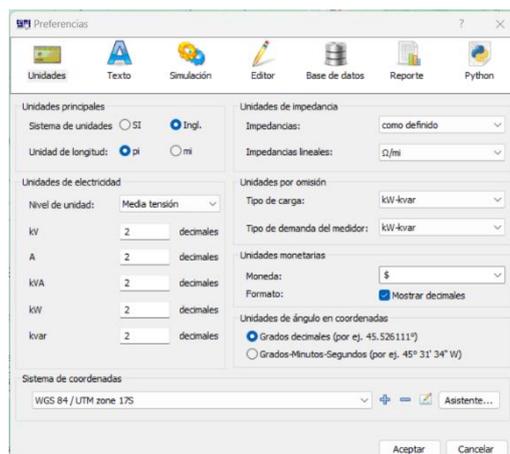


Figura 49: menú preferencias

Paso 14: para ubicarnos en la Subestación Centro Industrial que es de donde inicia nuestro alimentador damos clic en localizar e ingresamos las coordenadas de la subestación.

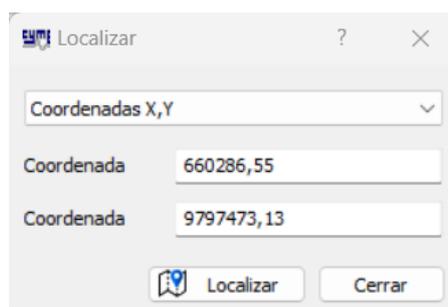


Figura 50: menú localizar

Paso 15: aparece la ubicación de la subestación Centro Industrial.



Figura51: vista satelital de la subestación centro industrial

Desde la Figura 51 se puede ir hacia cualquier punto del Ecuador.

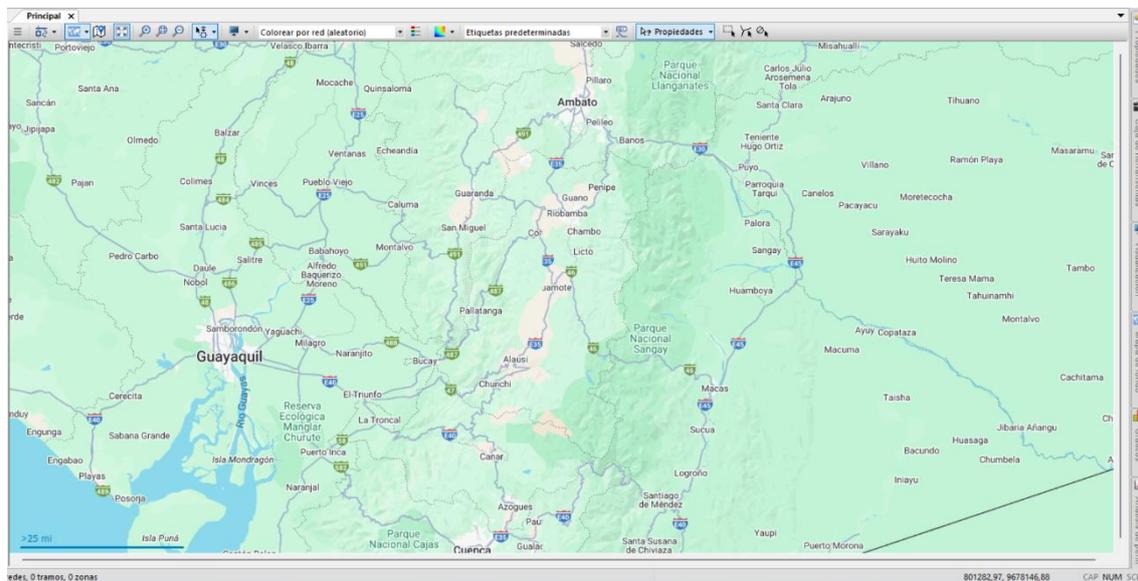


Figura 52: mapa del Ecuador en CYMDIST

A partir de aquí ya se puede comenzar con la construcción del alimentador La Reforma Nuevo

Paso 16: abrir la caja de herramientas para poder seleccionar los elementos.

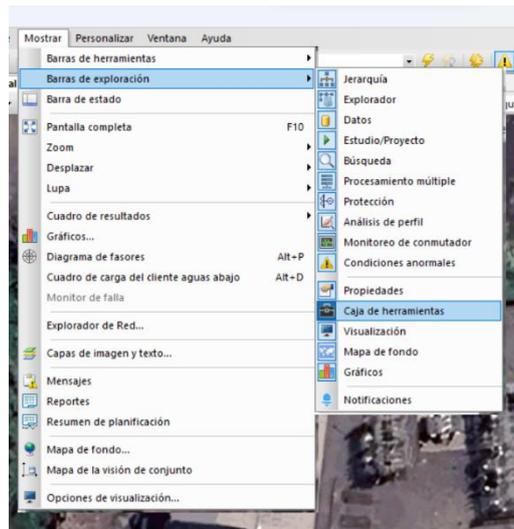


Figura 53: pasos para abrir la caja de herramientas

Paso 17: se abre la caja de herramientas y buscamos los elementos deseados.

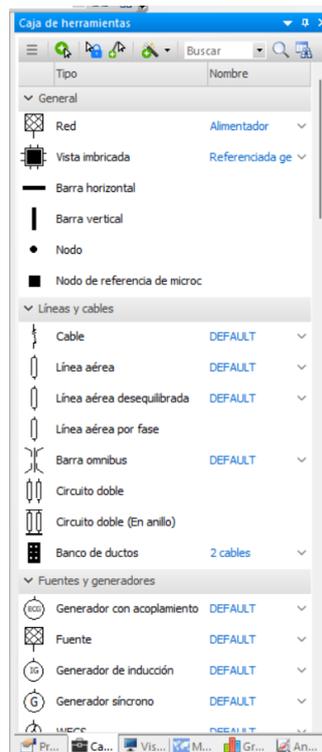


Figura 54: caja de herramientas

Paso 18: se selecciona fuente, y se arrastra hasta la subestación, al hacer esto se abre el menú de la fuente donde se ingresan datos como el nombre deseado.

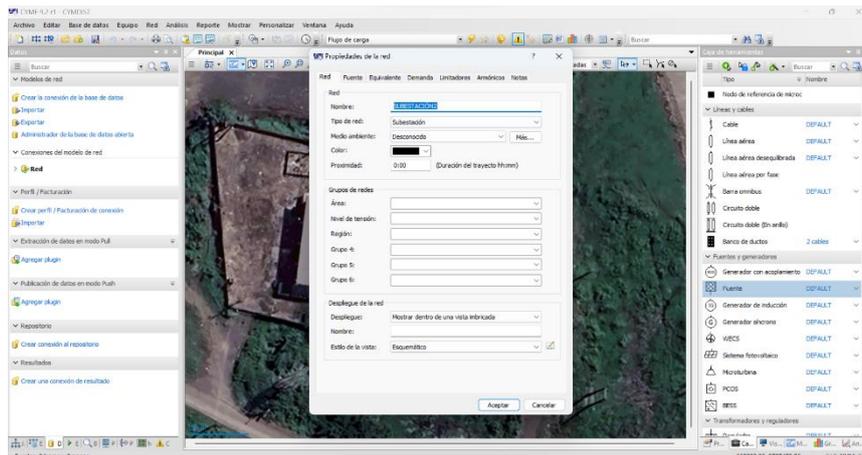


Figura 55: menú red de la fuente

Paso 19: se ajustan los datos en el menú fuente, los parámetros de latitud y longitud se rellenan solos al estar georeferenciado.

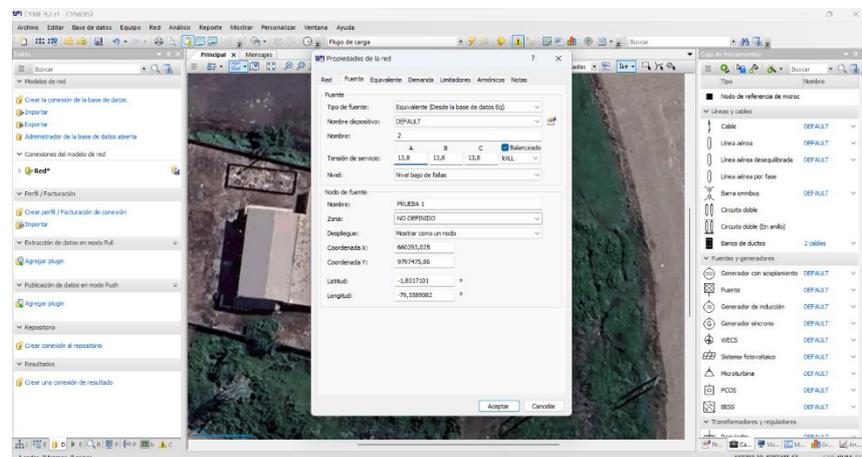


Figura 56: menú fuente de la fuente

En el resto de los apartados no se modifica nada.

Paso 20: arrastramos el reconectador desde la caja de herramientas hacia la fuente.

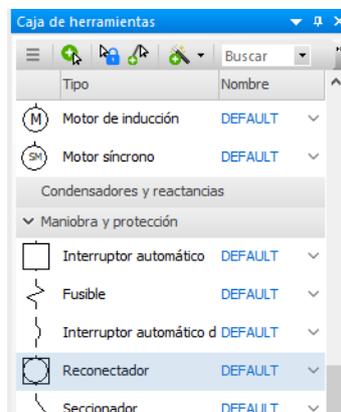


Figura 57: Caja de herramientas

Paso 21: al colocar el reconectador se abre el menú propiedad de tramo donde podemos seleccionar el reconectador deseado en la base de datos de equipos que subimos previamente.

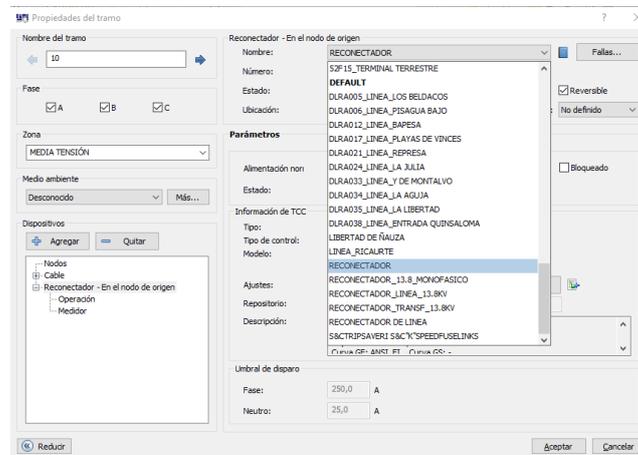


Figura 58: menú de propiedades del reconectador

Paso 22: Para ingresar los valores obtenidos a partir de los cálculos ingresamos al menú ajustar la configuración del dispositivo.

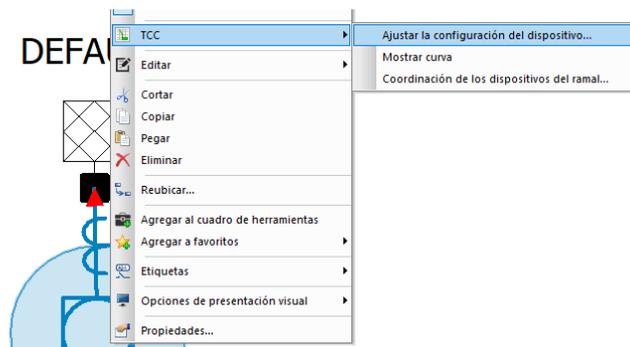


Figura 59: Ajustes del reconectador en CYMDIST

Paso 23: Se ingresa los valores de umbral de disparo fase y neutro.

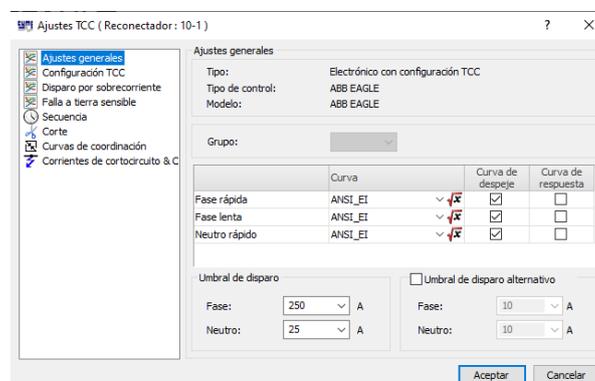


Figura 60: Ajustes generales del reconectador en CYMDIST

Paso 24: En el menú configuración TCC se selecciona fase rápida.

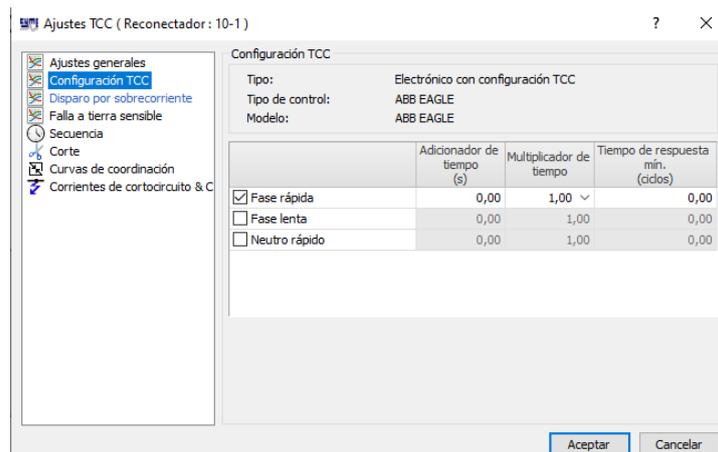


Figura 61: Configuración TCC del reconector en CYMDIST

Paso 25: En el menú de disparo por sobrecorriente se ingresan los datos de múltiple de umbral y su retardo de disparo.

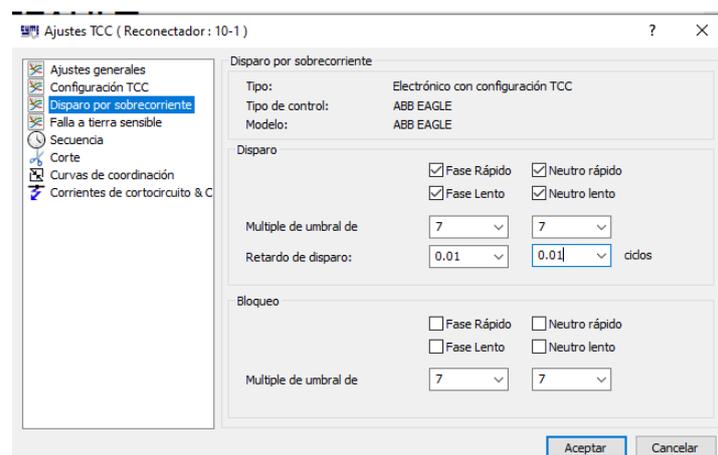


Figura 62: Ajustes de disparo por sobrecorriente del reconector en CYMDIST

Paso 26: En el menú de falla a tierra sensible se mantienen los datos ya establecidos por CYMDIST.

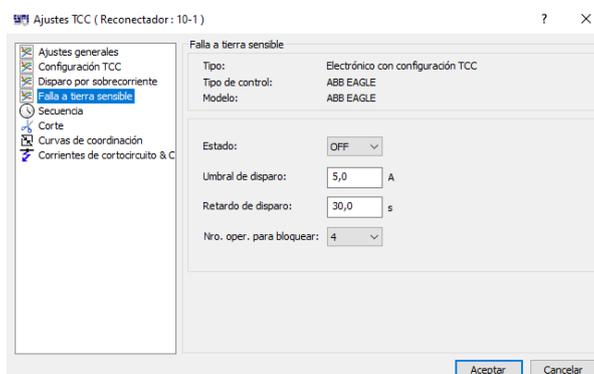


Figura 63: Ajustes de falla a tierra sensible del reconector en CYMDIST

Paso 27: En el menú de secuencia se mantienen los valores establecidos por CYMDIST.

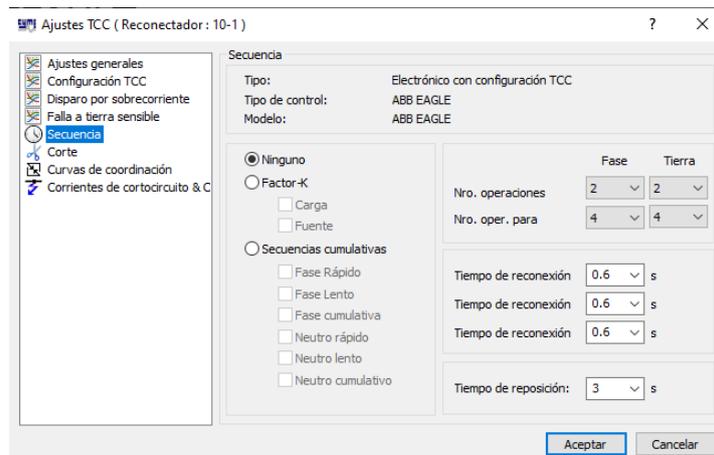


Figura 64: Ajustes de secuencia del reconectador en CYMDIST

Paso 28: Al igual que con el relé de sobrecorriente en el menú de corte del reconectador se selecciona cortocircuito y máximo.

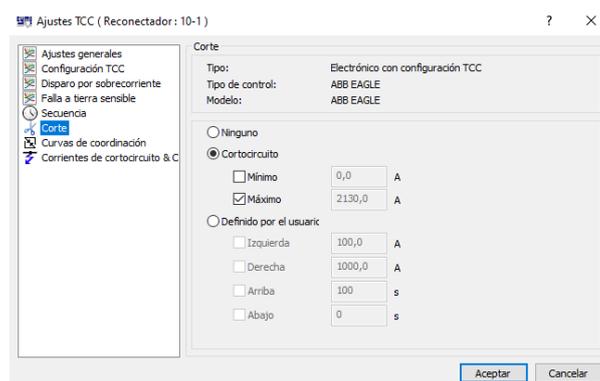


Figura 65: Ajustes de corte del reconectador en CYMDIST

Paso 29: En el menú de corrientes de cortocircuito se ingresa el valor de corriente de falla trifásica.

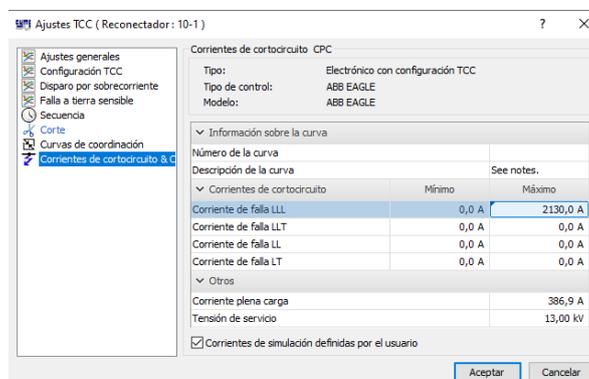


Figura 66: Ajustes de corriente de cortocircuito del reconectador en CYMDIST

Paso 30: Para finalizar se procede a mostrar la curva del reconector.

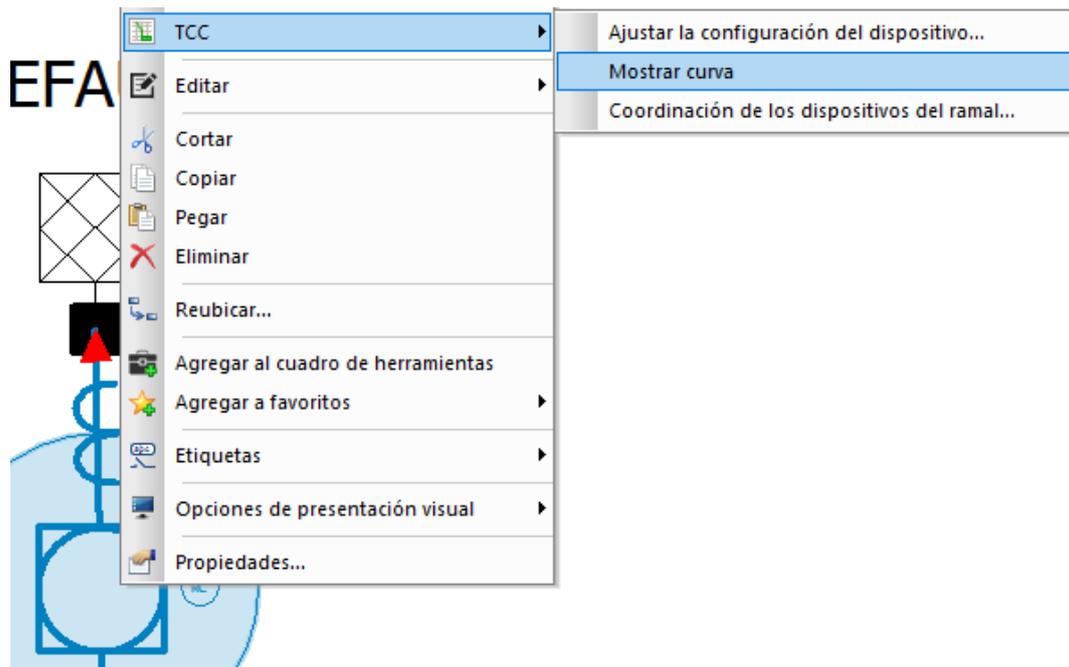


Figura 67: Mostrar curva del reconector en CYMDIST

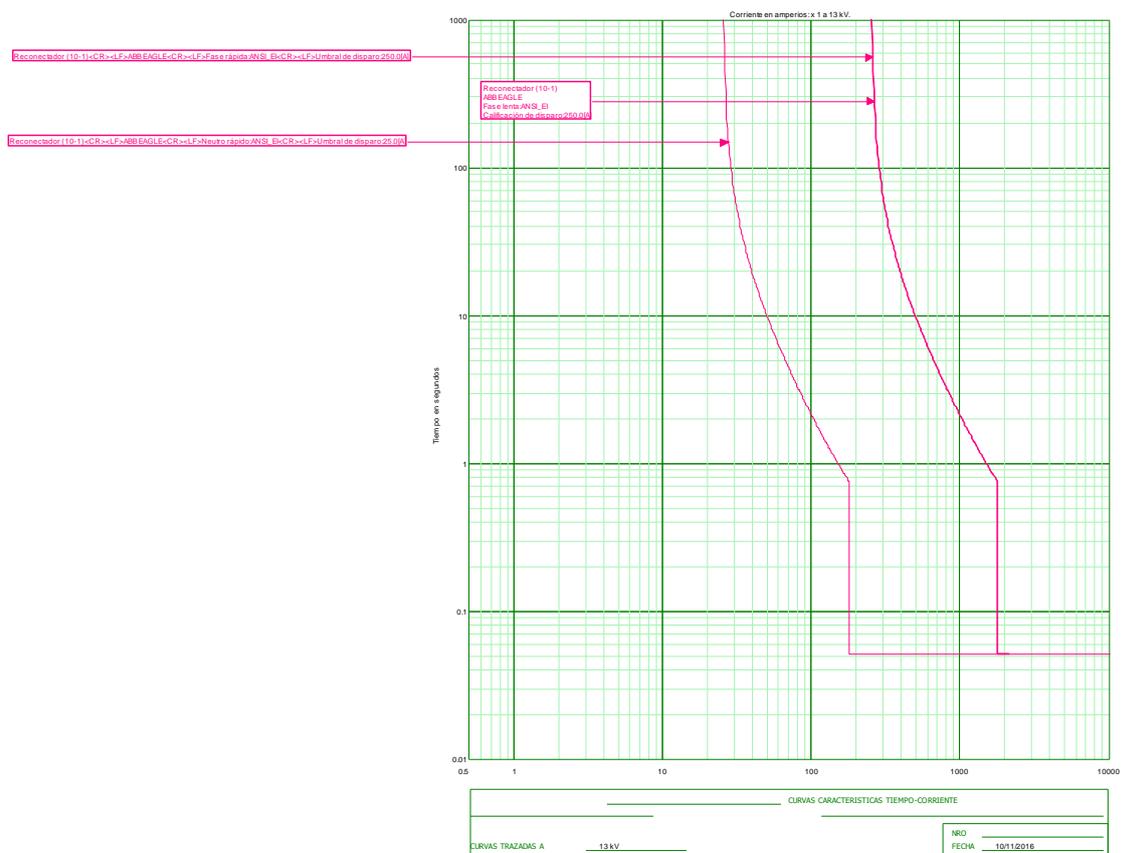


Figura 68: Curva del reconector en CYMDIST

Paso 31: abrir el menú caja de herramientas y se arrastra el transformador de corriente hacia el circuito ya creado.

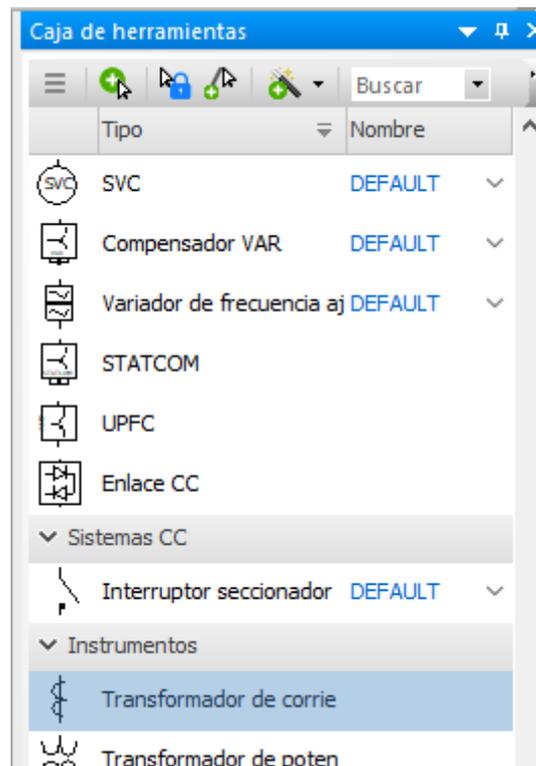


Figura 69: Caja de herramientas

Paso 32: se arrastra el relé de sobrecorriente y se conecta con el transformador de corriente

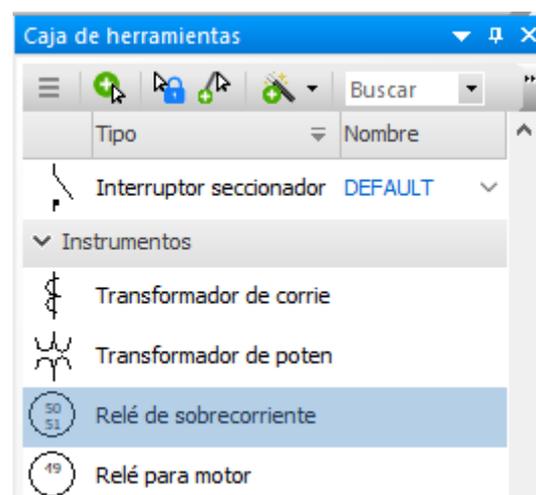


Figura 70: Caja de herramientas

Paso 33: luego de agregarlo se da doble clic en el relé y se abre su menú general en el cual se ingresan los datos de tipo, fabricante y modelo.

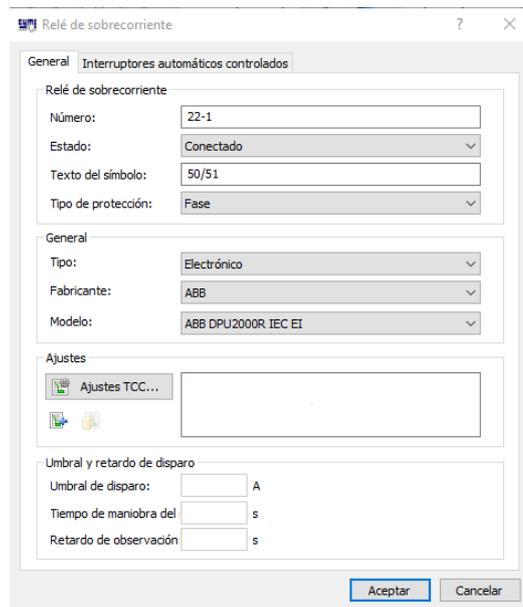


Figura 71: menú general del relé de sobrecorriente

Paso 34: Para ingresar los valores obtenidos a partir de los cálculos ingresamos al menú ajustar los ajustes del relé.

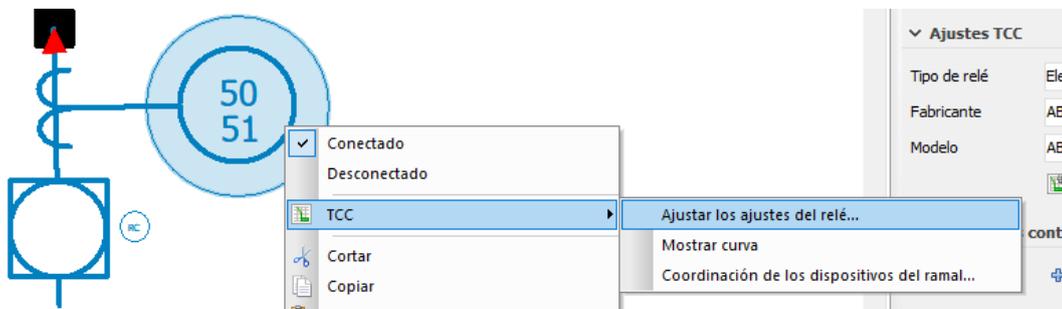


Figura 72: Ajuste del relé de sobrecorriente en CYMDIST

Paso 35: Ingresamos el valor del umbral de disparo.

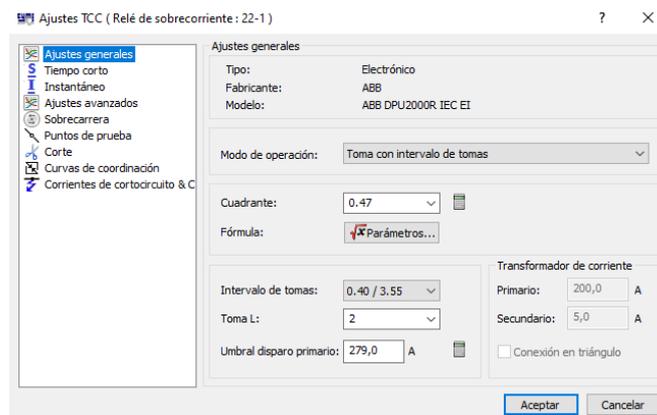


Figura 73: Ajustes generales del relé de sobrecorriente en CYMDIST

Paso 36: En el menú de tiempo corto no modificamos ningún dato.

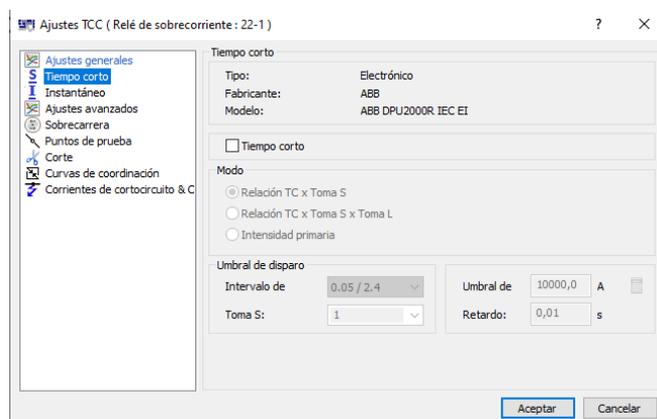


Figura 74: Ajustes de tiempo corto del relé de sobrecorriente en CYMDIST

Paso 37: En el menú de instantáneo seleccionamos su casilla además de ingresar el valor de umbral de disparo y tiempo de retraso.

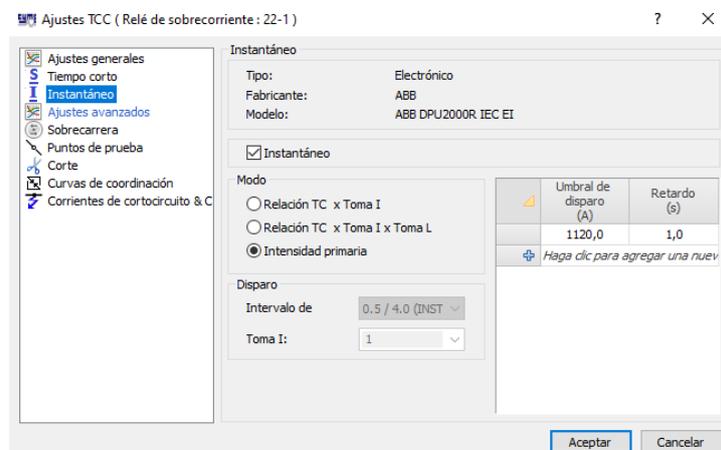


Figura 75: Ajustes instantáneos del relé de sobrecorriente en CYMDIST

Paso 38: En el menú de sobre corriente se selecciona un tiempo de reposición muy inverso y se mantienen los datos ya establecidos por CYMDIST.

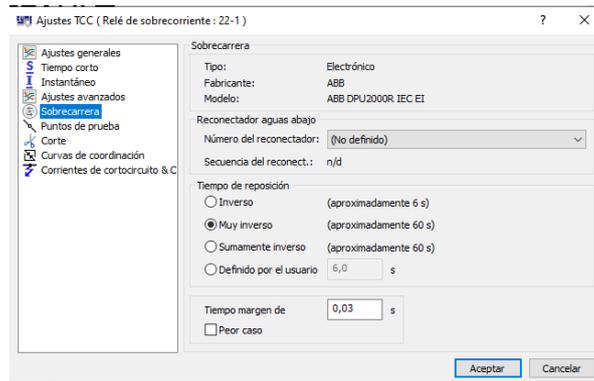


Figura 76: Ajustes de sobrecarrera del relé de sobrecorriente en CYMDIST

Paso 39: En puntos de prueba se selecciona el punto de prueba 3 y se mantiene el dato del multiplicador ya establecido por CYMDIST.

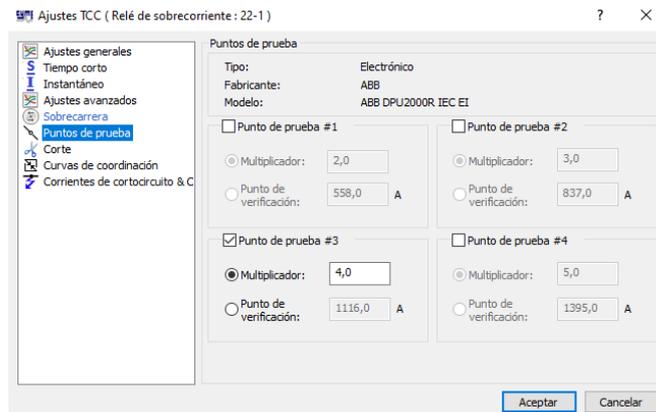


Figura 77: Ajustes de puntos de prueba del relé de sobrecorriente en CYMDIST

Paso 40: En el menú de corte se selecciona cortocircuito y máximo, teniendo en cuenta que el valor se establece en el menú de corrientes de cortocircuito.

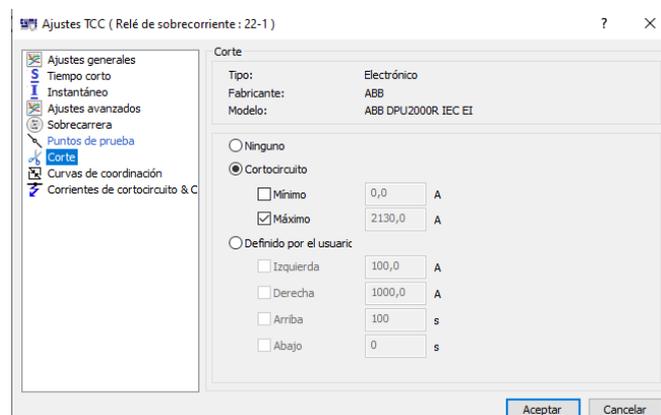


Figura 78: Ajustes de corte del relé de sobrecorriente en CYMDIST

Paso 41: En el menú de corriente de cortocircuito se agrega la corriente de falla trifásica.

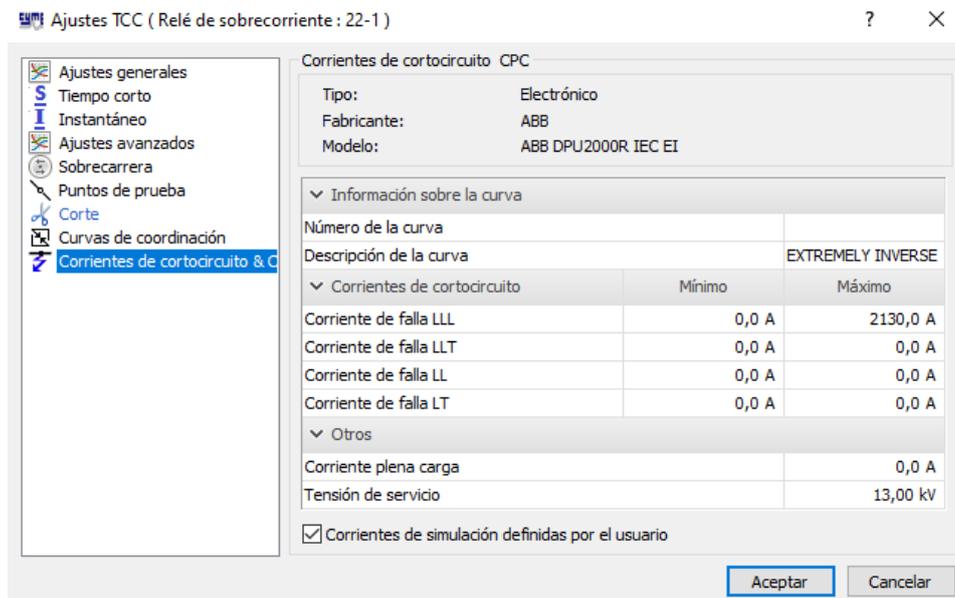


Figura 79: Ajustes de corrientes de cortocircuito del relé de sobrecorriente en CYMDIST

Paso 42: Para finalizar se procede a mostrar la curva del relé de sobrecorriente.

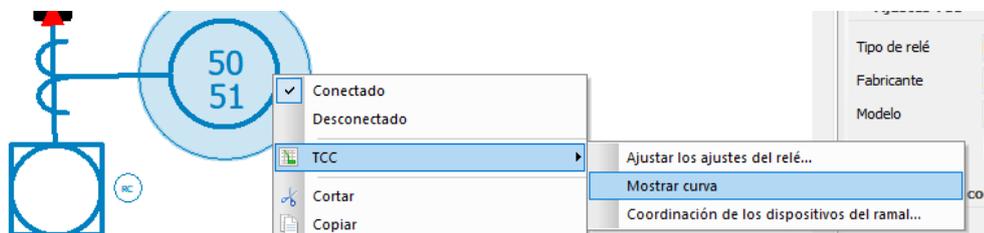


Figura 80: Mostrar curva del relé de sobrecorriente en CYMDIST

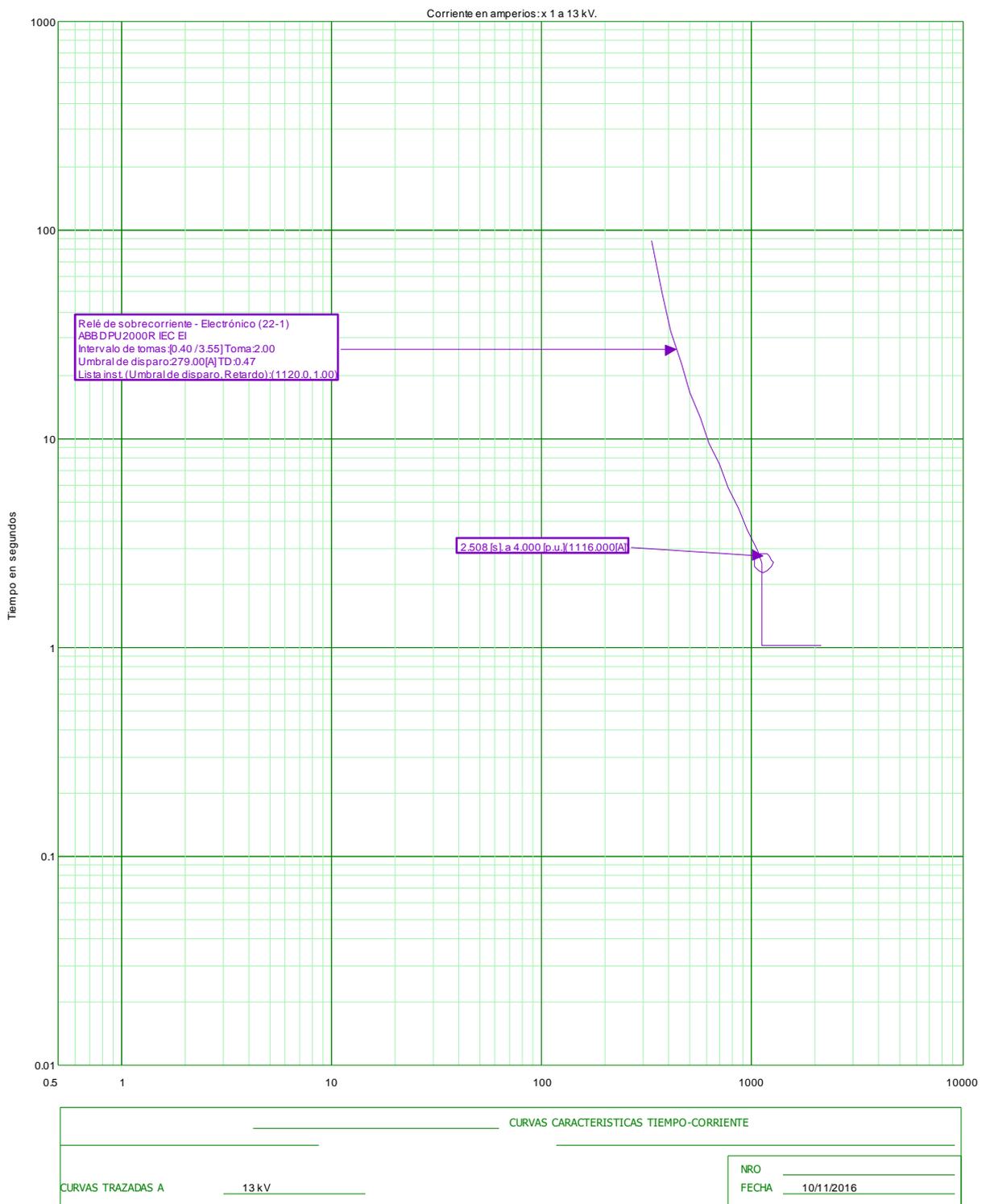


Figura 81: Curva del relé de sobrecorriente en CYMDIST

Paso 43: Para el inicio del alimentador usaremos el mismo conductor subterráneo que utiliza la subestación Centro Industrial para todos sus alimentadores.

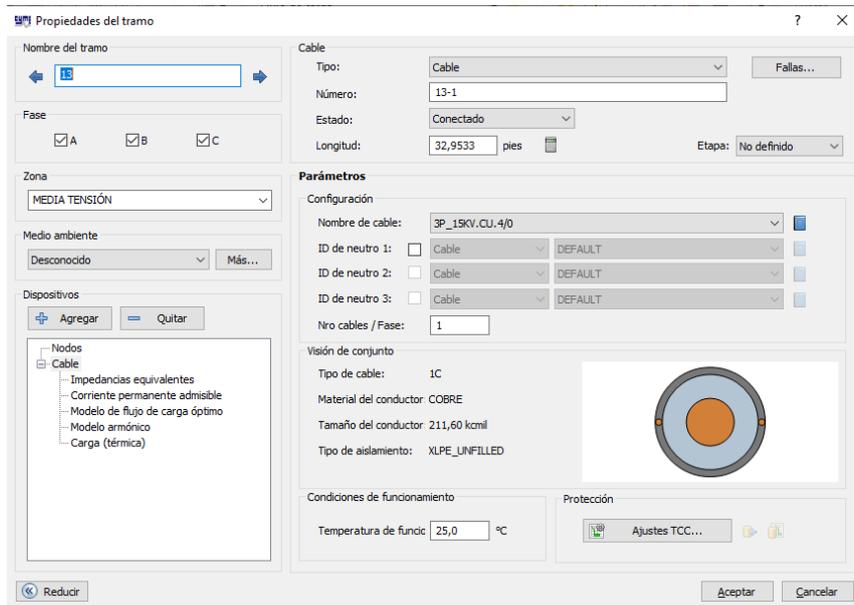


Figura 82: Propiedades del tramo subterráneo

Al igual que todos los demás elementos mostramos su curva.

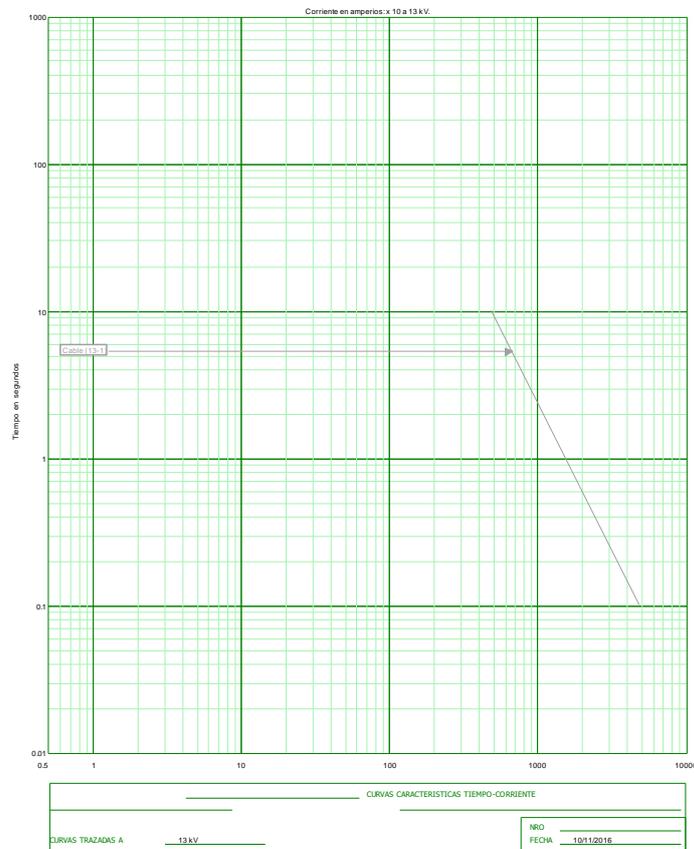


Figura 83: Curva del conductor del tramo subterráneo

Paso 44: Como se decidió en el apartado de cálculos se usará el conductor ACSR 266.8 para las líneas trifásicas y un conductor ACSR. 2/0 para el neutro, además de que al darle clic en calcular CYMDIST automáticamente muestra la longitud del conductor.

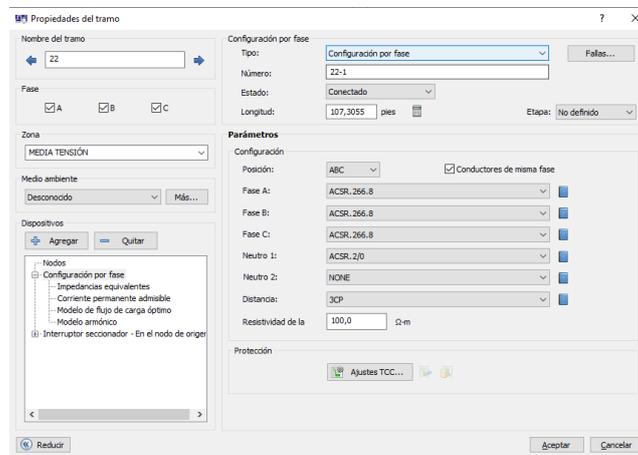


Figura 84: Propiedades de uno de los tramos de la red del alimentador La Reforma Nuevo

De la misma manera que con el conductor subterráneo, se obtiene la curva del conductor ACSR 266.8 en CYMDIST.

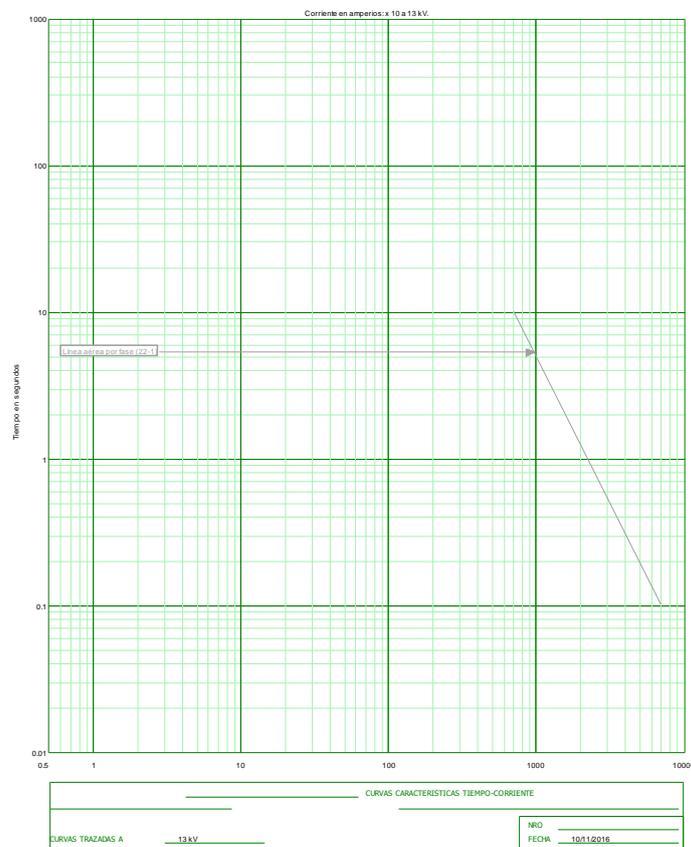


Figura 85: Curva del conductor ACSR 266.8 en CYMDIST

Paso 45: Para el seccionador o fusible se crea un perfil en CYMDIST en el cual seleccionamos fabricante, modelo, capacidad y tensión nominal.

The screenshot shows the 'General' tab of a configuration window in CYMDIST. The window has several tabs: 'General', 'Límites de carga', 'Fiabilidad', 'Costos', and 'Símbolo'. The 'General' tab is active and contains the following fields:

- Información:**
 - Fabricante: EATON (dropdown)
 - Modelo: EATON RBA-RDB-400 STD (dropdown)
 - Capacidad: 400E (dropdown)
 - Tensión nominal: 15,5 kV (dropdown)
 - Clasificación: Alta tensión (text field)
 - Estándar: ANSI (text field)
 - Clase: Ninguno (text field)
- Capacidad nominal:**
 - Corriente continua nominal: 350,0 A (warning icon)
 - Tensión nominal: 15,5 kV
 - Valor de interrupción máx. admisible: 29400,0 A
 - Factor de potencia del circuito de prueba: 20,0 %
- Modo de operación:**
 - Reversible

Figura 86: Datos generales del fusible en CYMDIST

Paso 46: Para ingresar los valores obtenidos a partir de los cálculos ingresamos al menú ajustar la configuración del dispositivo.

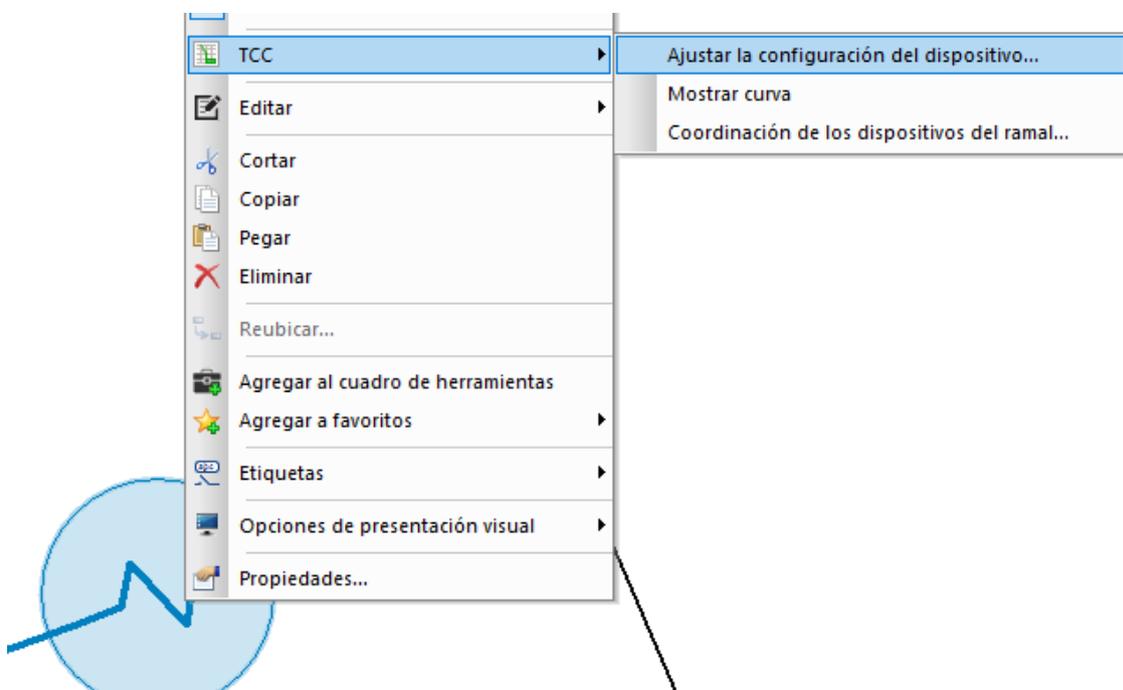


Figura 87: Ajustes del fusible en CYMDIST

Paso 47: En el menú de ajustes generales mantenemos los datos preestablecidos en CYMDIST.

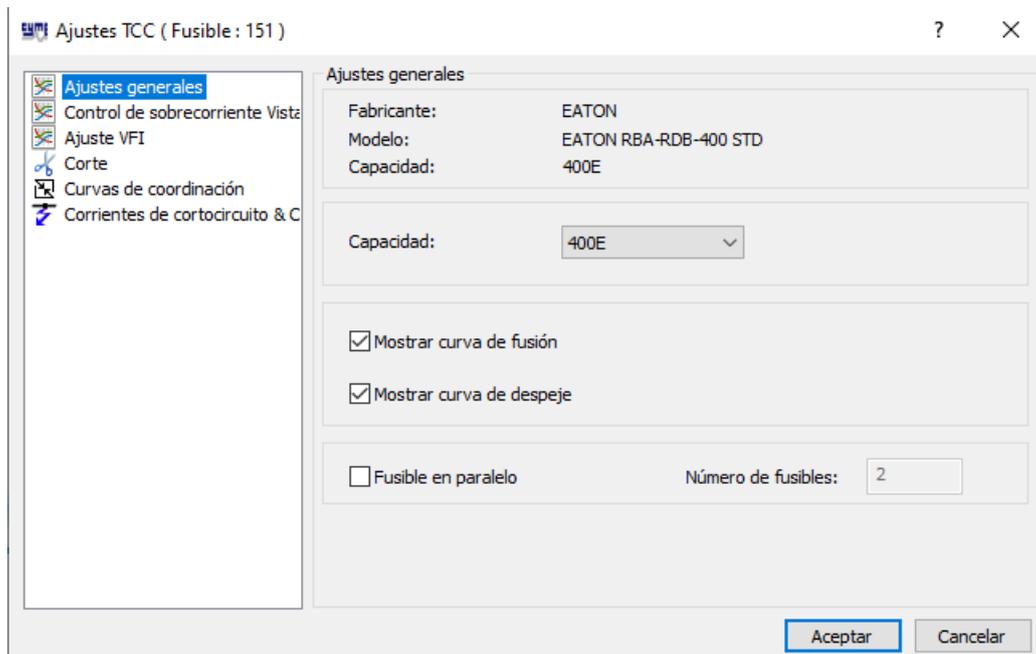


Figura 88: Ajustes generales del fusible en CYMDIST

Paso 48: En el menú control de sobrecorriente se mantienen los datos ya establecidos en el simulador CYMDIST.

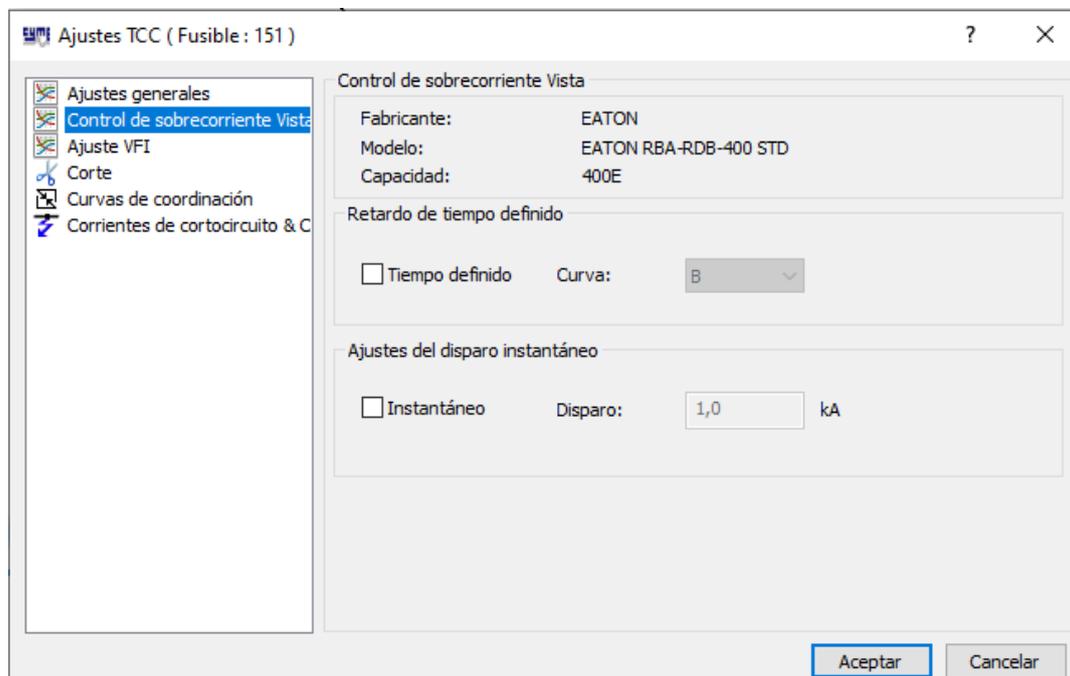


Figura 89: Ajustes del control de sobrecorriente del fusible en CYMDIST

Paso 49: En el menú de corte se selecciona cortocircuito y la opción máxima, teniendo en cuenta que el valor de la corriente en ese apartado se ingresa en el menú de corrientes de cortocircuito.

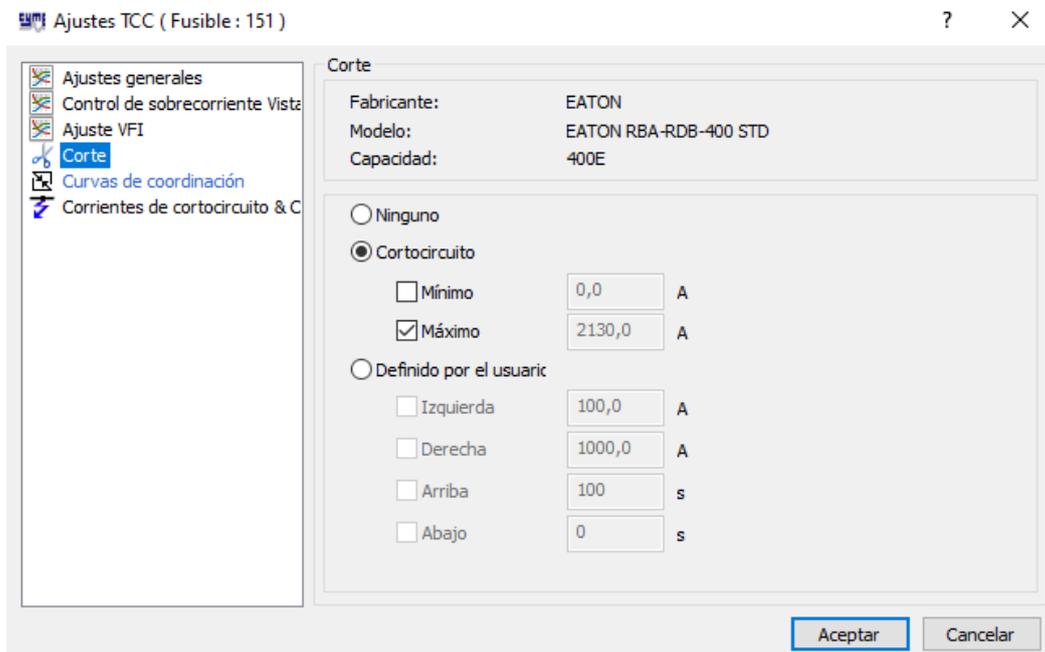


Figura 90: Ajustes de corte del fusible en CYMDIST

Paso 50: En el menú de corrientes de cortocircuito se ingresa el valor de corriente de falla trifásica.

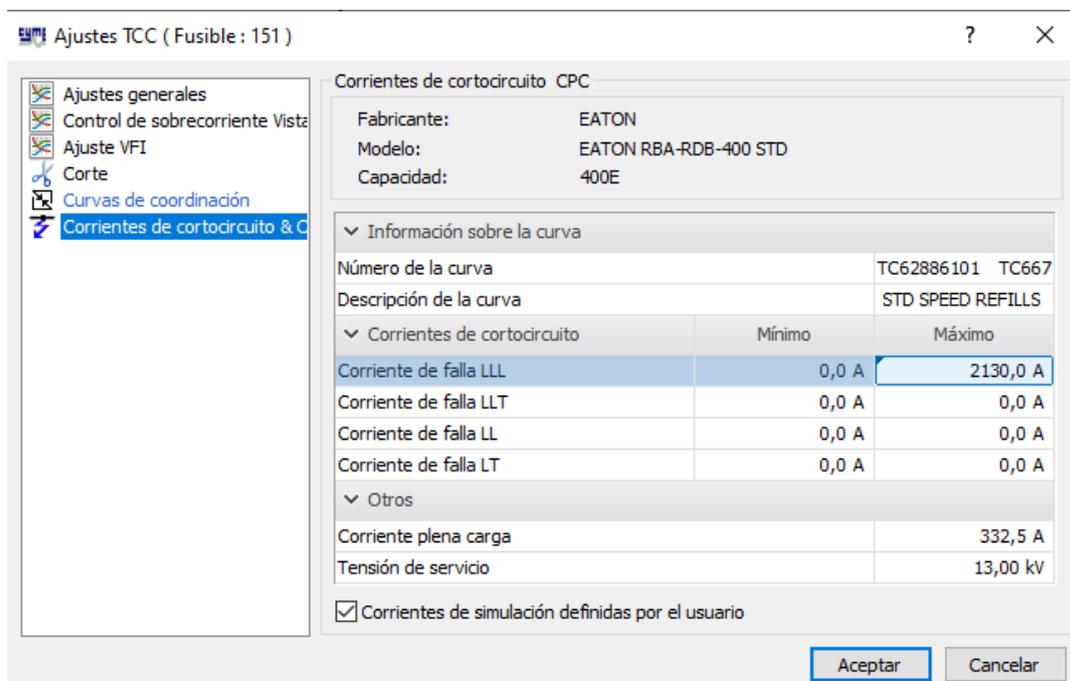


Figura 91: Ajustes de corriente de cortocircuito del fusible en CYMDIST

Paso 51: Para finalizar se muestra la curva del fusible.

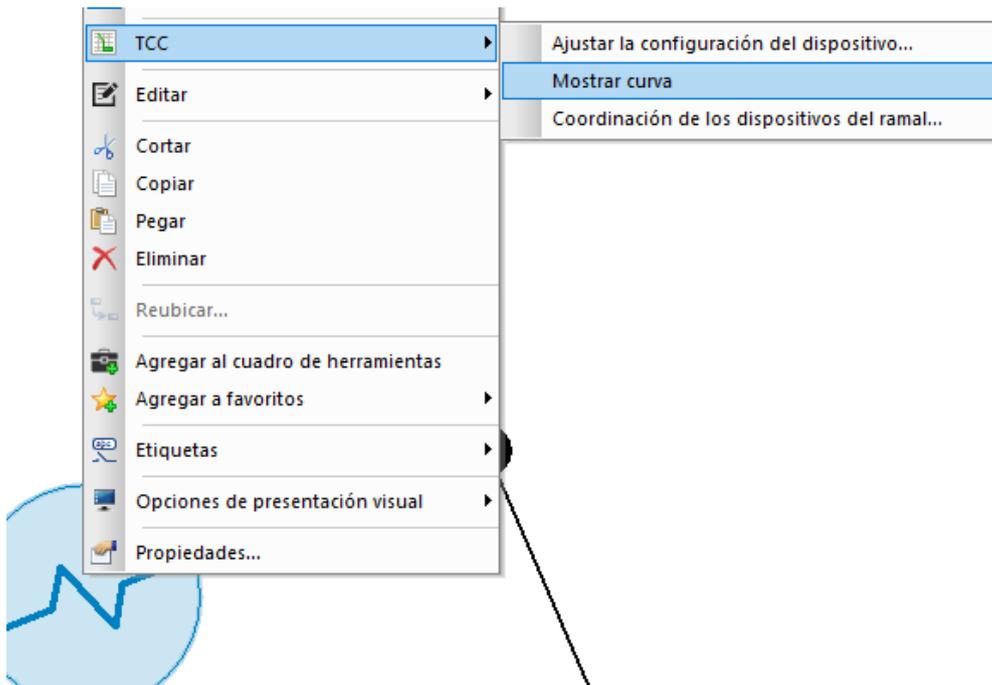


Figura 92: Mostrar curva del fusible en CYMDIST

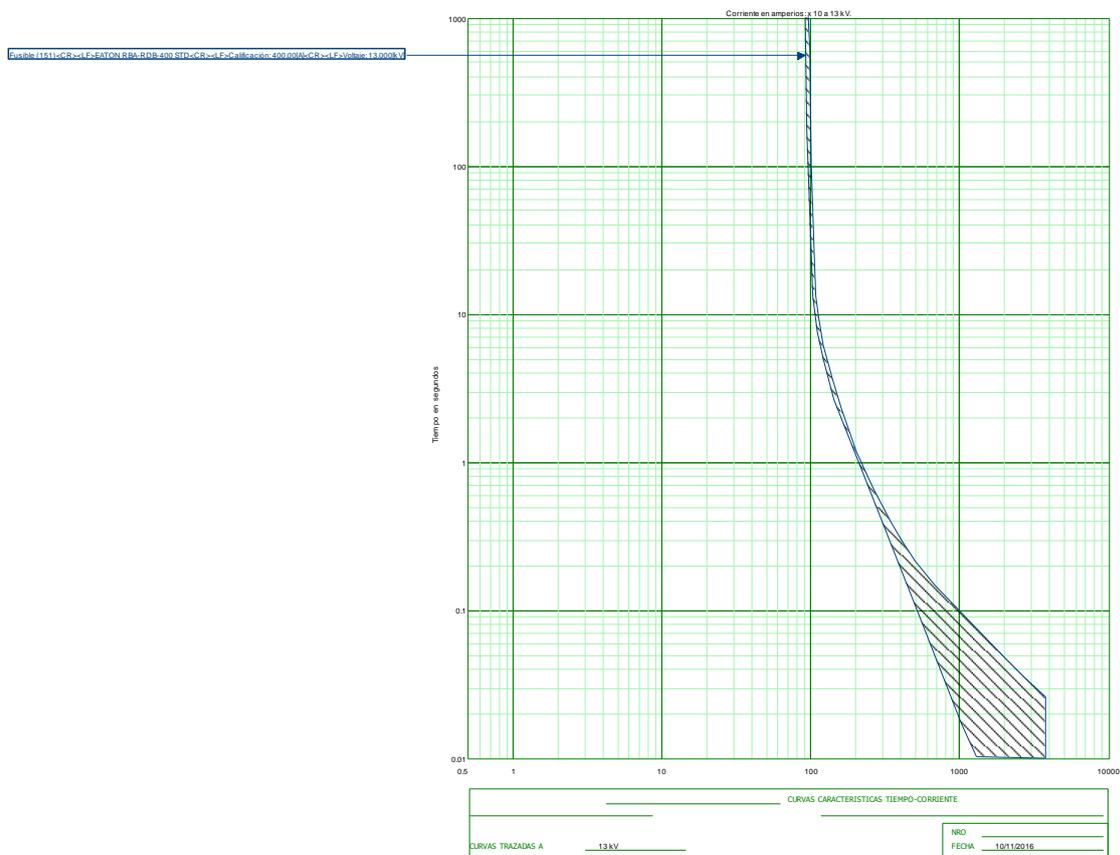


Figura 93: Curva del fusible en CYMDIST

Paso 52: Para finalizar se coordinan las curvas para ser visualizadas en una misma grafica.

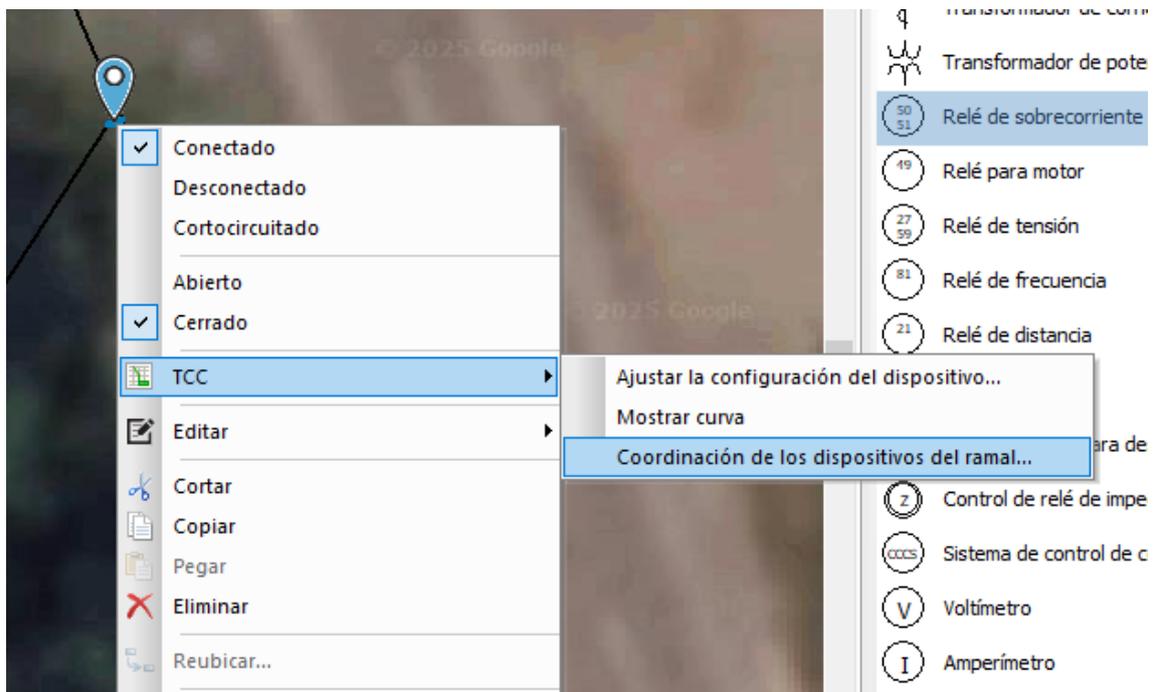


Figura 94: coordinación de los dispositivos del ramal

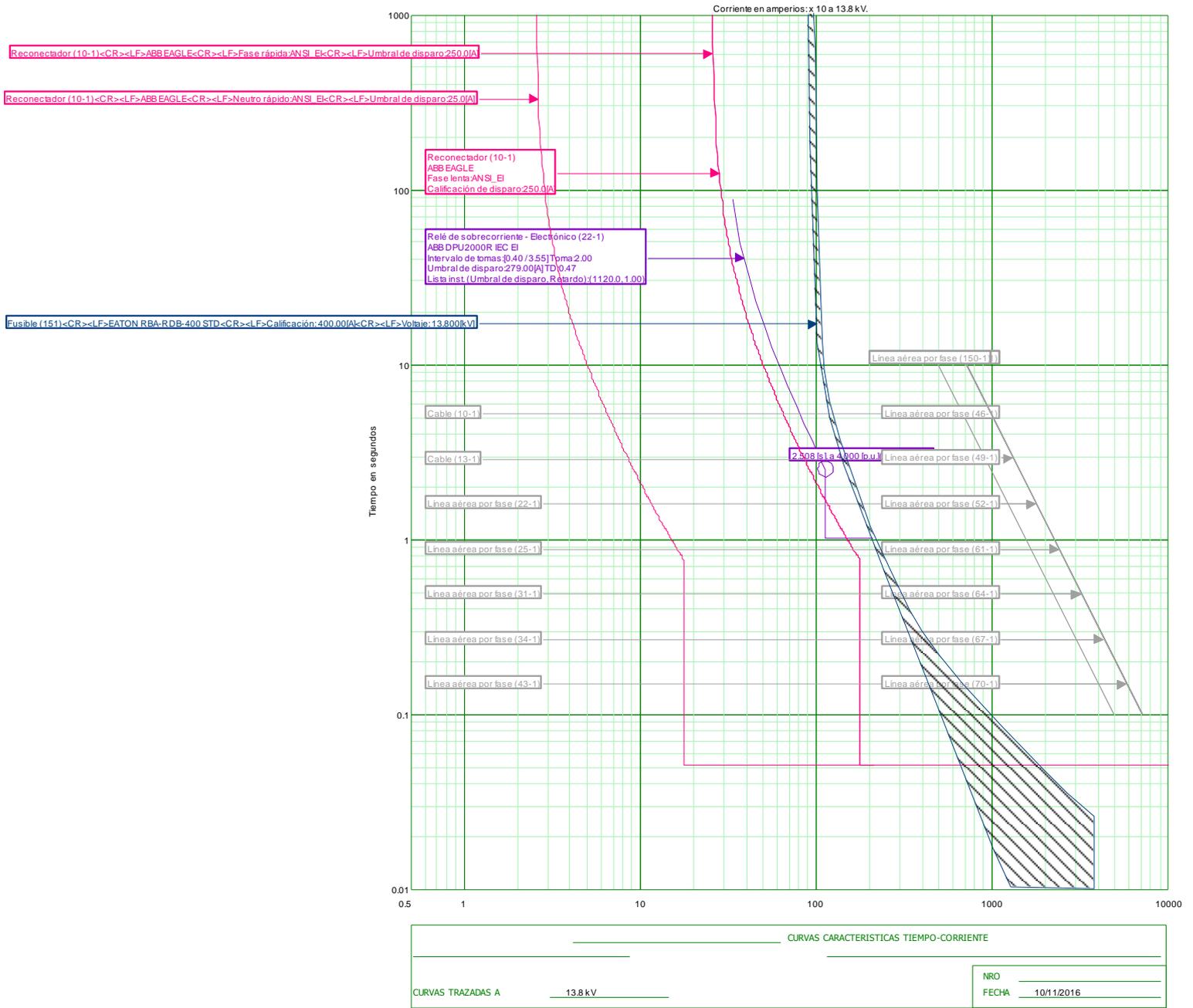


Figura 95: Coordinación de curvas de los elementos principales del alimentador La Reforma Nuevo

4.1.2. Simulación del flujo de carga

Para simular el flujo de potencia debemos tener la red ya abierta en CYMDIST y dirigirnos al apartado de simulación teniendo seleccionado la opción de flujo de carga.

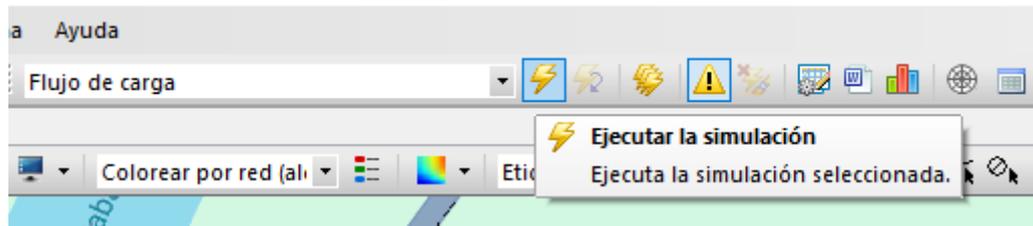


Figura 96: Flujo de carga en CYMDIST

En la simulación del flujo de carga del alimentador La Reforma podemos notar que existen zonas con sobrecarga (zonas amarillas) y zonas con sobretensión (zonas verdes).

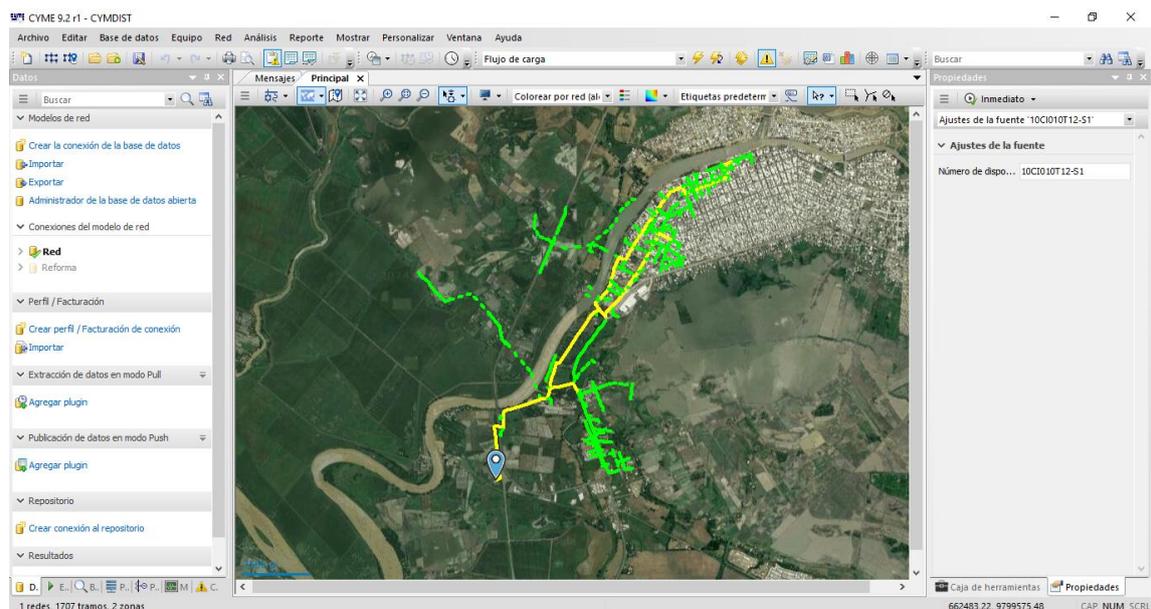


Figura 97: Flujo de carga del alimentador La Reforma

Por otro lado, el alimentador La Reforma Nuevo no posee zonas ni con sobretensión, ni con sobrecargas.

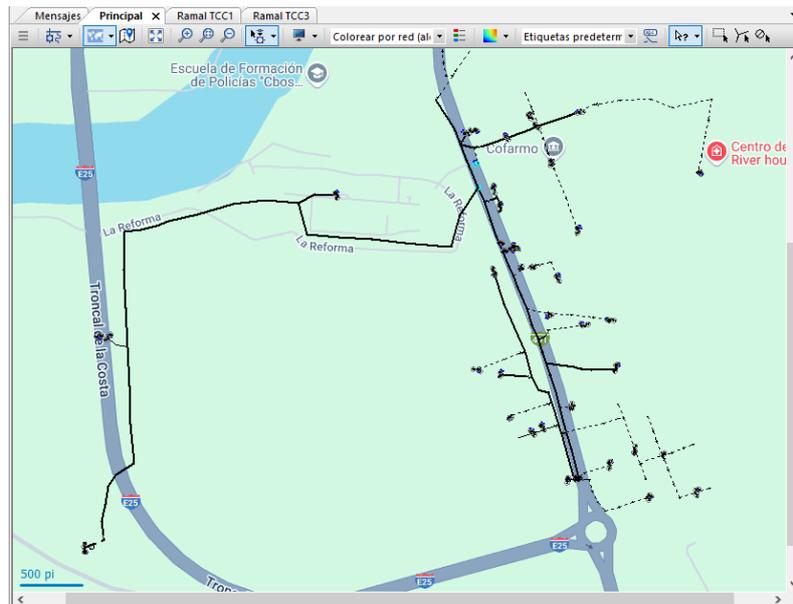


Figura 98: Flujo de carga de alimentador La Reforma Nuevo

Presionando Ctrl+V en CYMDIST se puede visualizar el flujo de cargas de un tramo específico.

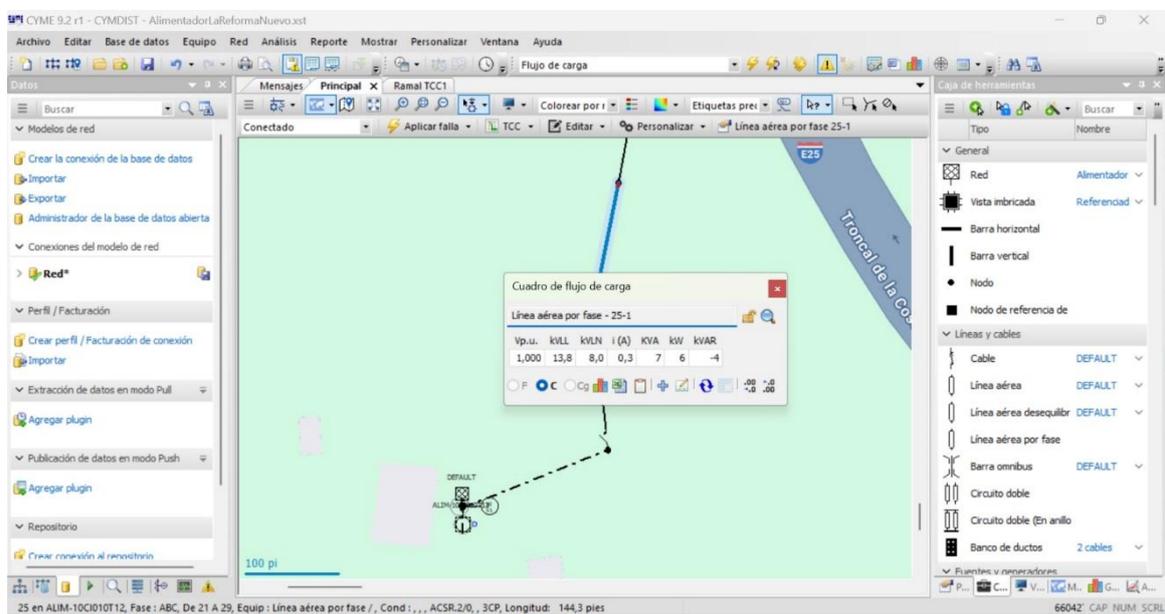


Figura 99: Cuadro de flujo de carga de un tramo del alimentador La Reforma Nuevo

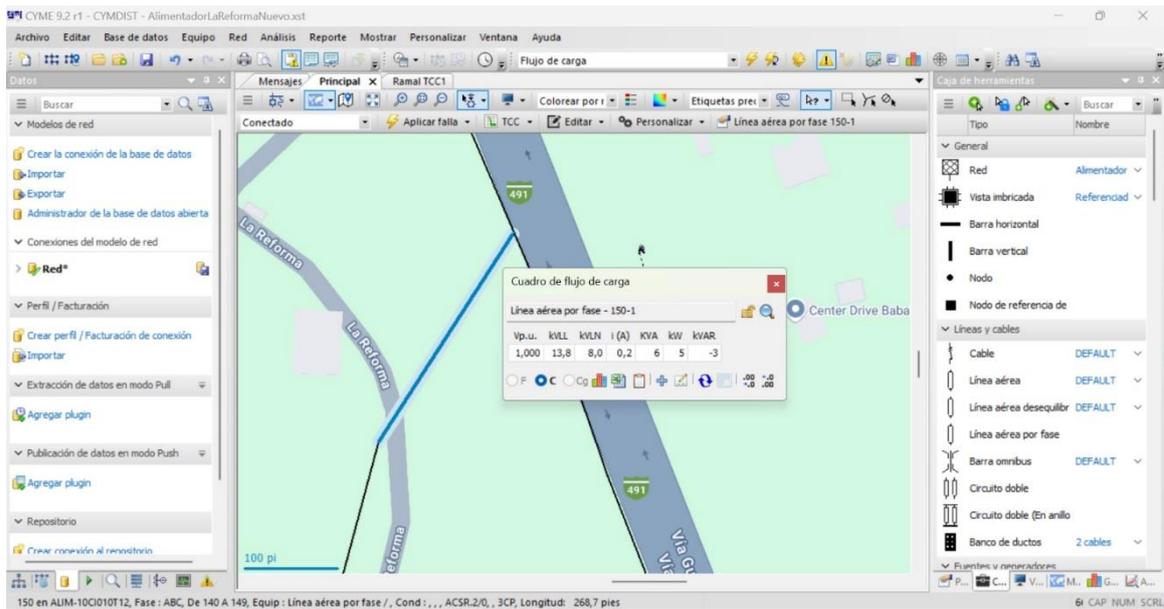


Figura 100: Cuadro de flujo de carga de un tramo del alimentador La Reforma Nuevo

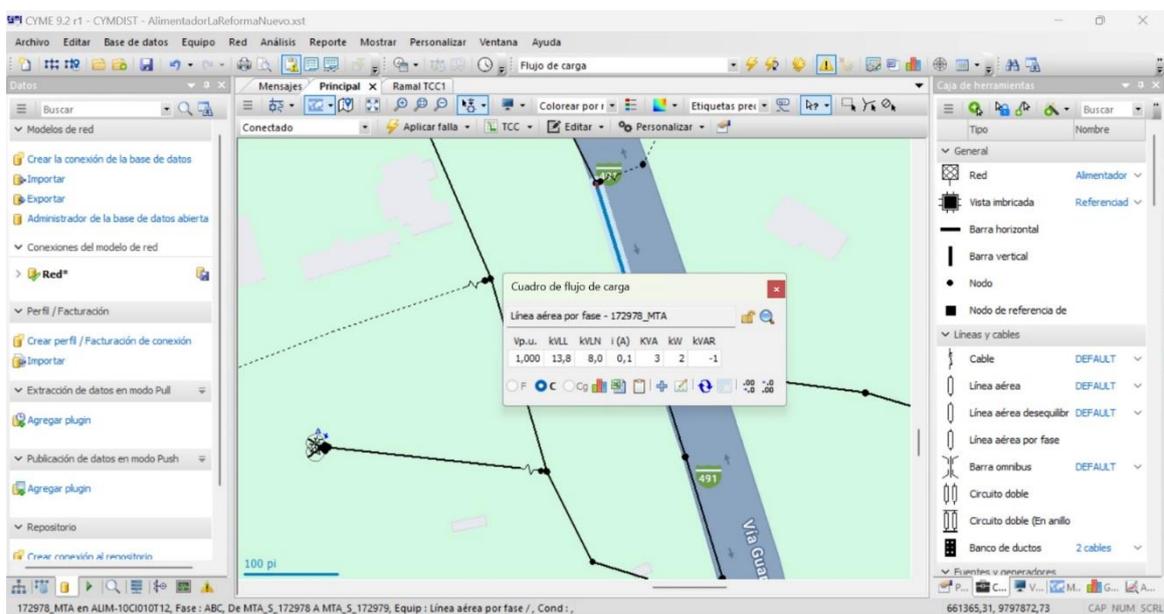


Figura 101: Cuadro de flujo de carga de un tramo del alimentador La Reforma Nuevo

4.2. Estructuras

Usando el manual de las unidades de construcción para estructuras de líneas de distribución de 13.8KV y la red ya creada para el alimentador La Reforma Nuevo se decidió usar las siguientes:

Estructura	Cantidad
1CA	7
1CP	69
1CR	44
1CD	3
3CA	9
3CP	61
3CR	20
3CD	5
1EP	146
1ER	64
1ED	8
0TS	88

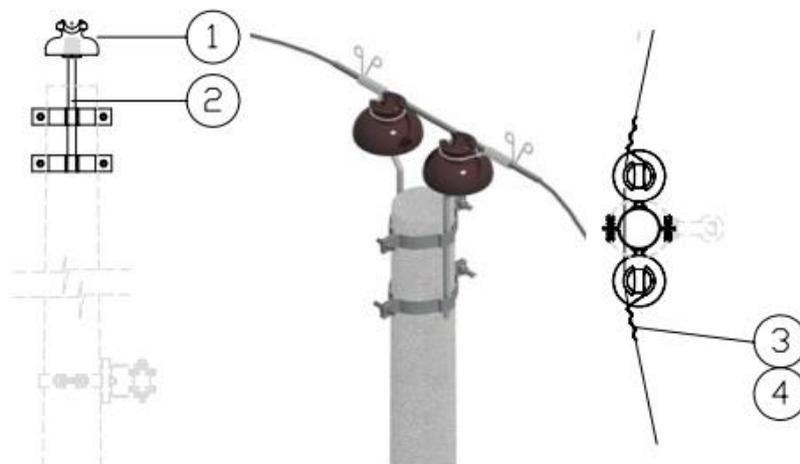
Tabla 27: Estructuras usadas en el alimentador La Reforma Nuevo

4.2.1. Estructura 1CA

MONOFÁSICA - CENTRADA – ANGULAR

LISTA DE MATERIALES			
REF	UNID	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	c/u	Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV	2
2	c/u	Perno espiga (pin) tope de poste doble de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám. x 450 mm (18") de long., con accesorios de sujeción	1
3	M	Conductor desnudo sólido de Al, para ataduras, No. 4 AWG	4
4	c/u	Varilla de armar preformada para conductor de Al	1

Tabla 28: Lista De Materiales Estándar Para Estructura 1ca Según Manual De Las Unidades De Construcción [90]

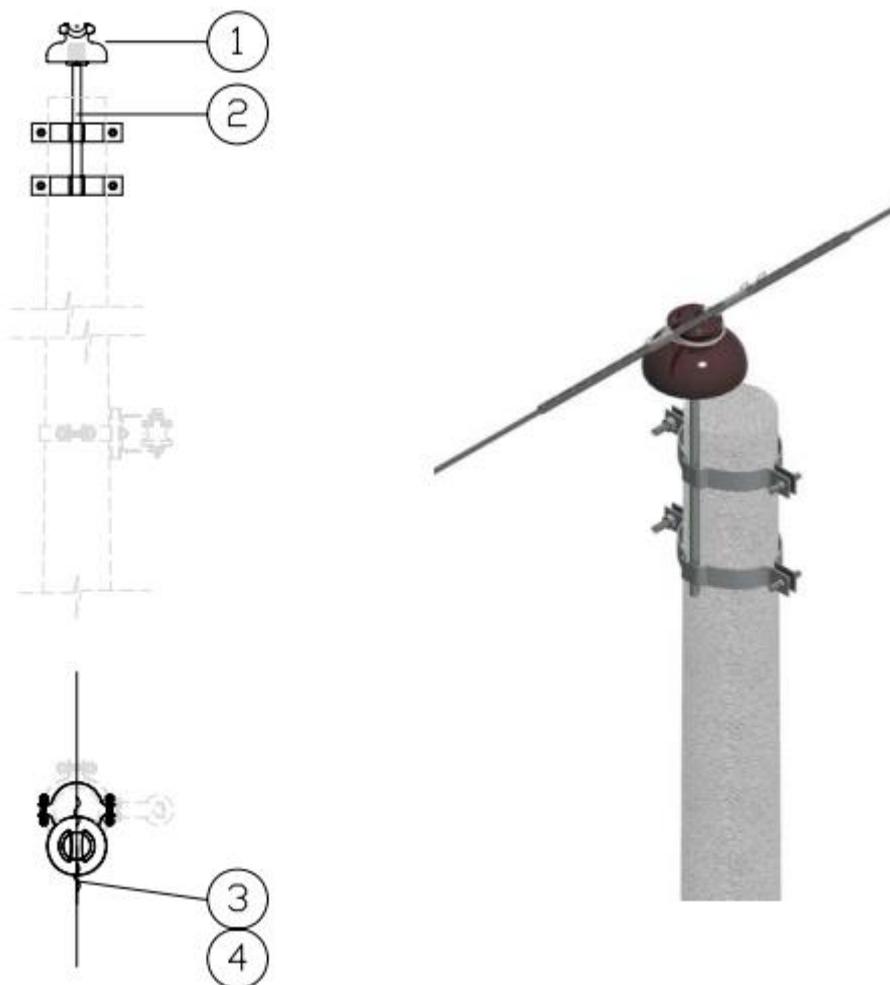


4.2.2. Estructura 1CP

MONOFÁSICA - CENTRADA - PASANTE O TANGENTE

LISTA DE MATERIALES			CANTIDAD
REF	UNID	DESCRIPCION	
1	c/u	Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV	1
2	c/u	Perno espiga (pin) tope de poste doble de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám. x 450 mm (18") de long., con accesorios de sujeción	1
3	m	Conductor desnudo sólido de Al, para ataduras, No. 4 AWG	2
4	c/u	Varilla de armar preformada para conductor de Al	1

Tabla 29: Lista De Materiales Estándar Para Estructura 1cp Según Manual De Las Unidades De Construcción [90]

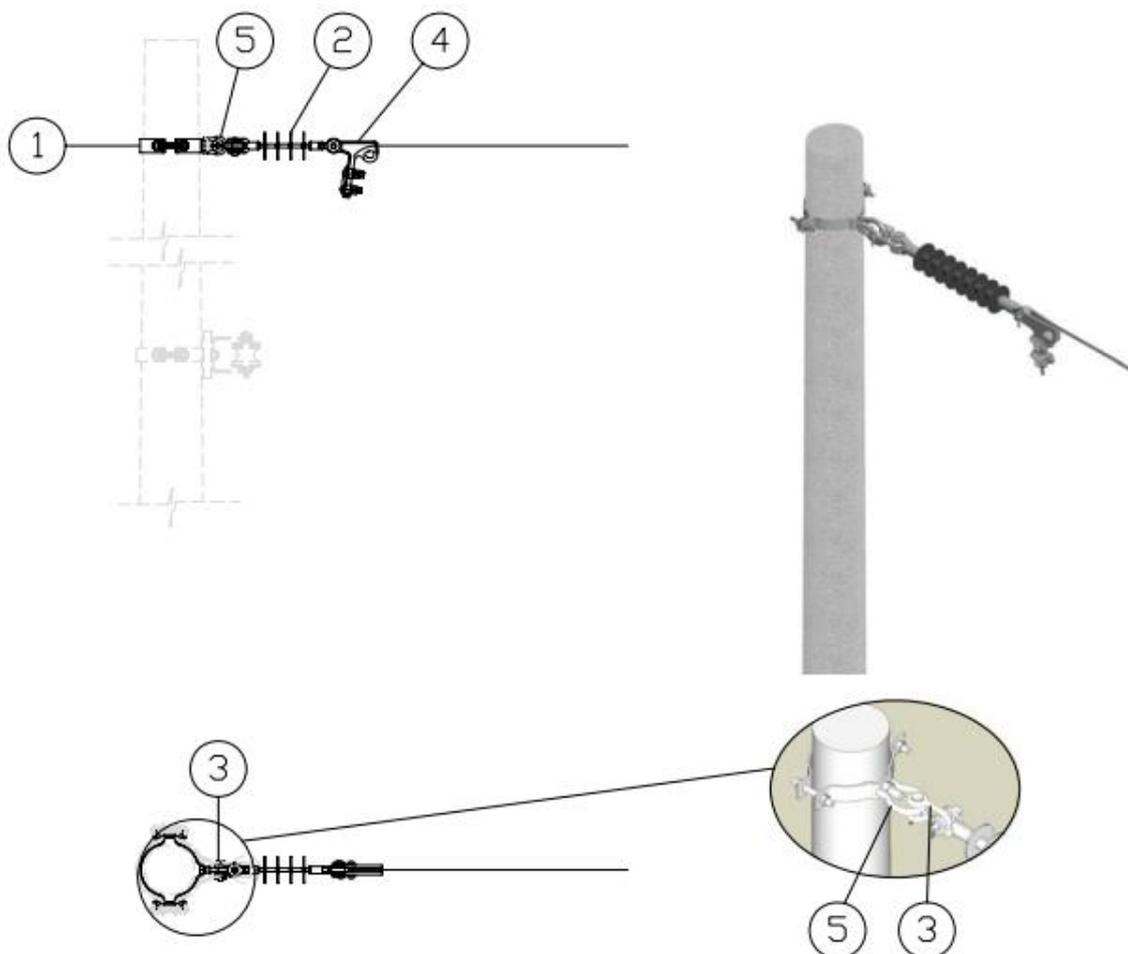


4.2.3. Estructura 1CR

MONOFÁSICA - CENTRADA - RETENCIÓN O TERMINAL

LISTA DE MATERIALES			CANTIDAD
REF	UNID	DESCRIPCION	
1	c/u	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, simple (3 pernos), 38 x 4 x 140 - 160 mm (1 1/2 x 11/64 x 5 1/2 - 6 1/2")	1
2	c/u	Aislador tipo suspensión, de caucho siliconado, clase ANSI DS-15, 15 kV	1
3	c/u	Horquilla anclaje de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 75 mm (3") de long. (Eslabon "U" para sujeción)	1
4	c/u	Grapa terminal apernada tipo pistola, de aleación de Al	1
5	c/u	Tuerca de ojo ovalado de acero galvanizado, para perno de 16 mm (5/8") de diám	1

Tabla 30: Lista De Materiales Estándar Para Estructura 1cr Según Manual De Las Unidades De Construcción [90]

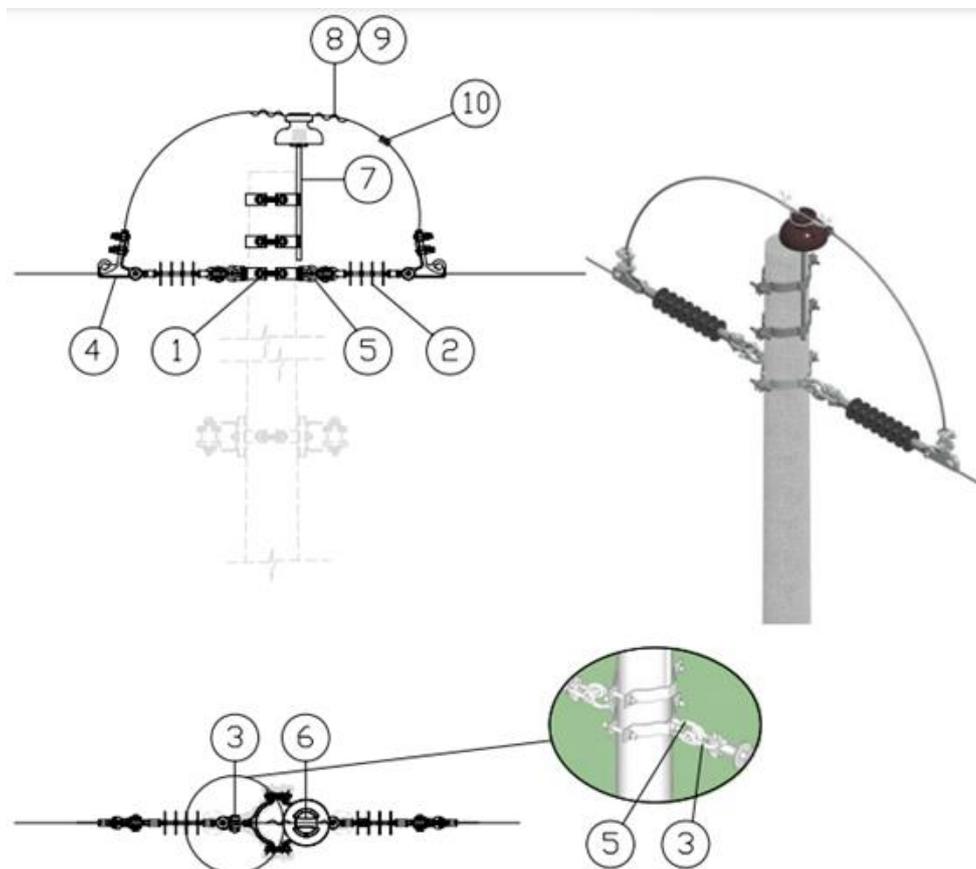


4.2.4. Estructura 1CD

MONOFÁSICA - CENTRADA - DOBLE RETENCIÓN O DOBLE TERMINAL

LISTA DE MATERIALES			CANTIDAD
REF	UNID	DESCRIPCION	
1	c/u	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, doble (4 pernos), 38 x 4 x 140 - 160 mm (1 1/2 x 11/64 x 5 1/2 - 6 1/2")	1
2	c/u	Aislador tipo suspensión, de caucho siliconado, clase ANSI DS-15, 15 kV	2
3	c/u	Horquilla anclaje de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 75 mm (3") de long. (Eslabon "U" para sujeción)	2
4	c/u	Grapa terminal apernada tipo pistola, de aleación de Al	2
5	c/u	Tuerca de ojo ovalado de acero galvanizado, para perno de 16 mm (5/8") de diám.	2
6	c/u	Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV	1
7	c/u	Perno espiga (pin) tope de poste simple de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám. x 450 mm (18") de long., con accesorios de sujeción	1
8	m	Conductor desnudo sólido de Al, para ataduras, No. 4 AWG	2
9	c/u	Varilla de armar preformada para conductor de Al	1
10	c/u	Conector de compresión, aleación de Al.	1

Tabla 31: Lista De Materiales Estándar Para Estructura 1cd Según Manual De Las Unidades De Construcción [90]

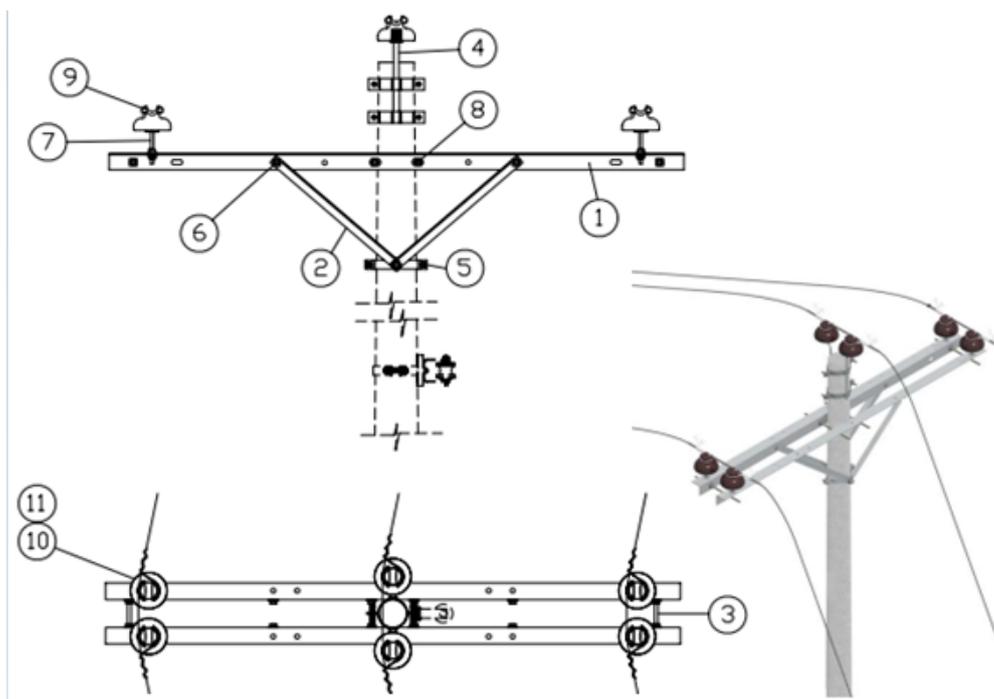


4.2.5. Estructura 3CA

TRIFÁSICA - CENTRADA – ANGULAR

LISTA DE MATERIALES			CANTIDAD
REF	UNID	DESCRIPCION	
1	c/u	Cruceta de acero galvanizado, universal, perfil "L" 75 x 75 x 6 mm (2 61/64 x 2 61/64 x 1/4")	2
2	c/u	Pie amigo de acero galvanizado, perfil "L" 38 x 38 x 6 x 700 mm (1 1/2 x 1 1/2 x 1/4 x 28")	4
3	c/u	Perno espárrago o de rosca corrida de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 300 mm (12") de long., con 4 tuercas, 2 arandelas planas y 2 de presión	2
4	c/u	Perno espiga (pin) tope de poste doble de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám x 450 mm (18") de long., con accesorios de sujeción	1
5	c/u	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, doble (4 pernos), 38 x 4 x 140 - 160 mm (1 1/2 x 11/64 x 5 1/2 - 6 1/2")	1
6	c/u	Perno máquina de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 51 mm (2") de long., con tuerca, arandela plana y de presión	4
7	c/u	Perno espiga (pin) corto de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám x 300 mm (12") de long.	4
8	c/u	Perno espárrago o de rosca corrida de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 300 mm (12") de long., con 4 tuercas, 2 arandelas planas y 2 de presión	2
9	c/u	Aislador espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV	6
10	m	Conductor desnudo sólido de Al para ataduras, No. 4 AWG	12
11	c/u	Varilla de armar preformada para conductor de Al	6

Tabla 32: Lista De Materiales Estándar Para Estructura 3ca Según Manual De Las Unidades De Construcción [90]

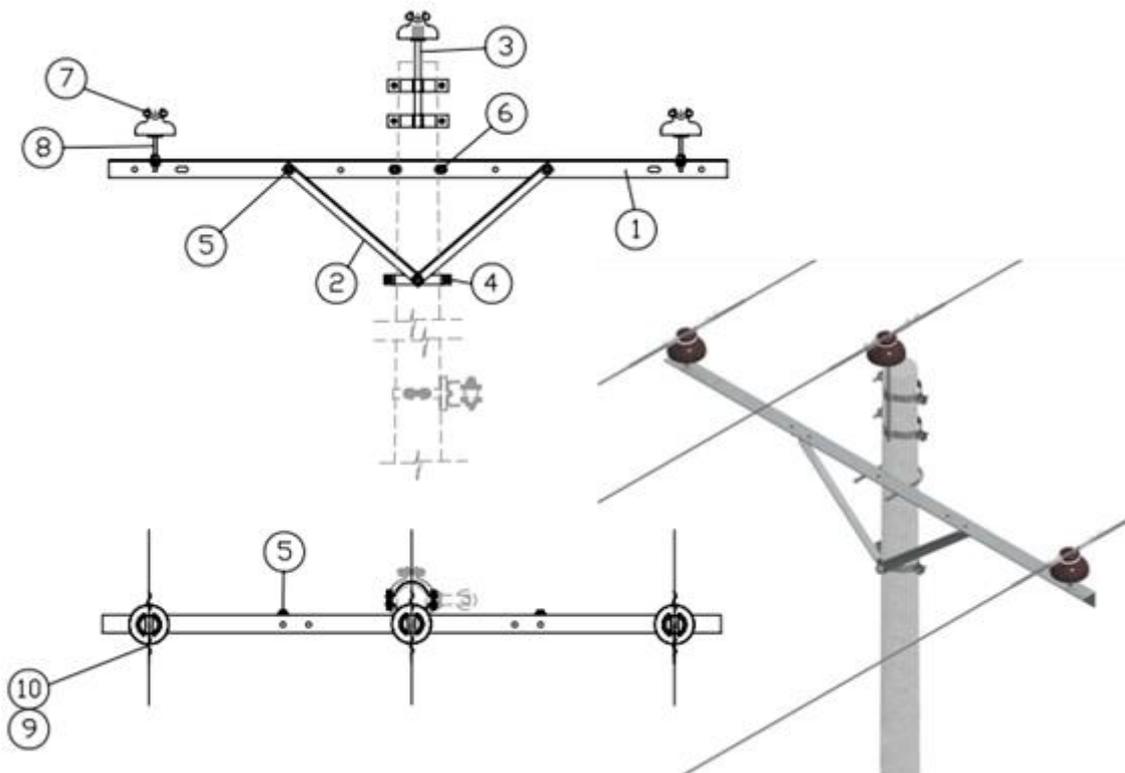


4.2.6. Estructura 3CP

TRIFÁSICA - CENTRADA - PASANTE O TANGENTE

LISTA DE MATERIALES			CANTIDAD
REF	UNID	DESCRIPCION	
1	c/u	Cruceta de acero galvanizado, universal, perfil "L" 75 x 75 x 6 mm (2 61/64 x 2 61/64 x 1/4")	1
2	c/u	Pie amigo de acero galvanizado, perfil "L" 38 x 38 x 6 x 700 mm (1 1/2 x 1 1/2 x 1/4 x 28")	2
3	c/u	Perno espiga (pin) tope de poste simple de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám. x 450 mm (18") de long., con accesorios de sujeción	1
4	c/u	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, simple (3 pernos), 38 x 4 x 140 - 160 mm (1 1/2 x 11/64 x 5 1/2 - 6 1/2")	1
5	c/u	Perno máquina de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 51 mm (2") de long., con tuerca, arandela plana y de presión	2
6	c/u	Perno U de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 150 mm (6") de ancho dentro de la U, con 2 tuercas, 2 arandelas planas y 2 de presión	1
7	c/u	Aislador espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV	3
8	c/u	Perno espiga (pin) corto de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám x 300 mm (12") de long.	2
9	m	Conductor desnudo sólido de Al para ataduras, No. 4 AWG	6
10	c/u	Varilla de armar preformada para conductor de Al	3

Tabla 33: Lista De Materiales Estándar Para Estructura 3cp Según Manual De Las Unidades De Construcción [90]

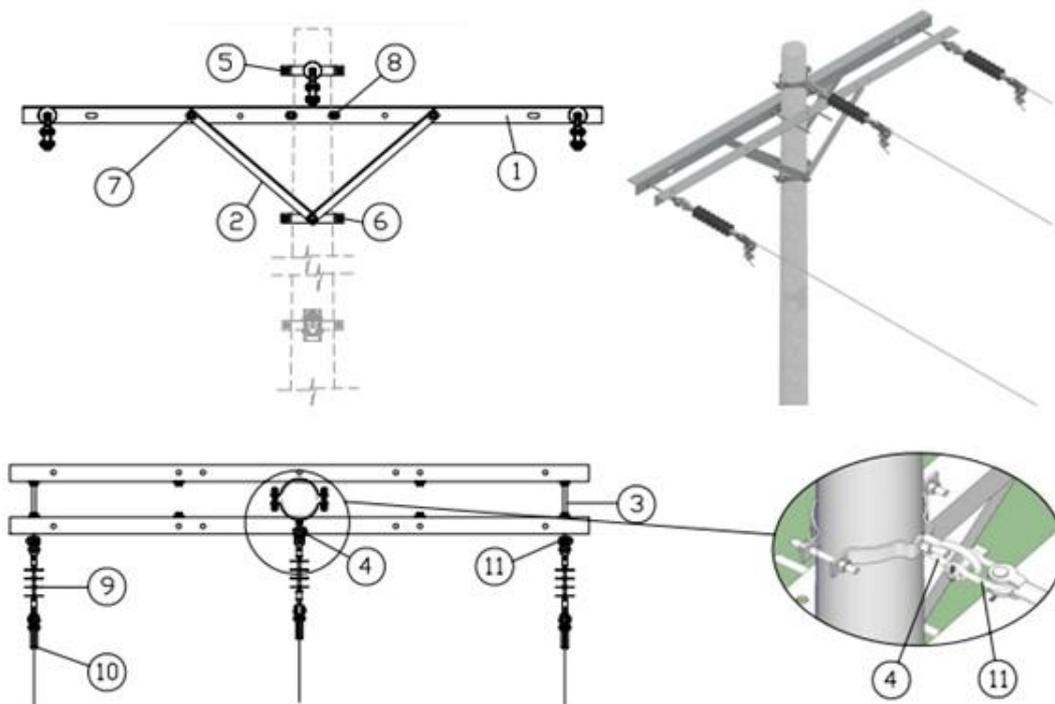


4.2.7. Estructura 3CR

TRIFÁSICA - CENTRADA - RETENCIÓN O TERMINAL

LISTA DE MATERIALES			CANTIDAD
REF	UNID	DESCRIPCION	
1	c/u	Cruceta de acero galvanizado, universal, perfil "L" 75 x 75 x 6 mm (2 61/64 x 2 61/64 x 1/4")	2
2	c/u	Pie amigo de acero galvanizado, perfil "L" 38 x 38 x 6 x 700 mm (1 1/2 x 1 1/2 x 1/4 x 28")	4
3	c/u	Perno de ojo de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 254 mm (10") de long., con 4 tuercas. 2 arandelas planas y 2 de presión	2
4	c/u	Tuerca de ojo ovalado de acero galvanizado, para perno de 16 mm (5/8") de diám.	1
5	c/u	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, simple (3 pernos), 38 x 4 x 140 - 160 mm (1 1/2 x 11/64 x 5 1/2 - 6 1/2")	2
6	c/u	Perno máquina de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 51 mm (2") de long., con tuerca, arandela plana y de presión	4
7	c/u	Perno espárrago o de rosca corrida de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 300 mm (12") de long., con 4 tuercas, 2 arandelas planas y 2 de presión	2
8	c/u	Aislador tipo suspensión, de caucho siliconado, clase ANSI DS-15, 15 kV	3
9	c/u	Grapa terminal apernada tipo pistola, de aleación de AL	3
10	c/u	Horquilla anclaje de acero galvanizado, 16mm (5/8") de diám. x 75 mm (3") de long. (Eslabón "U" para sujeción)	4

Tabla 34: Lista De Materiales Estándar Para Estructura 3cr Según Manual De Las Unidades De Construcción [90]

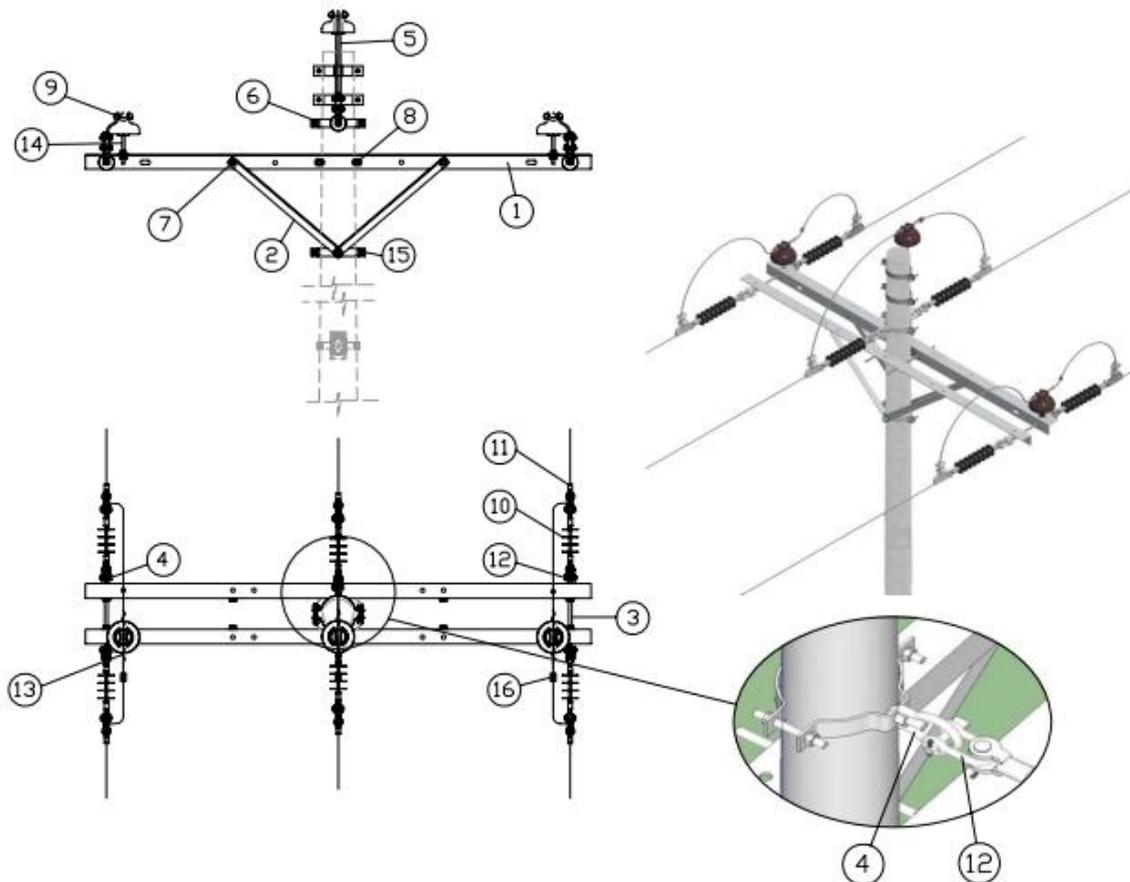


4.2.8. Estructura 3CD

TRIFÁSICA - CENTRADA - DOBLE RETENCIÓN O DOBLE TERMINAL

LISTA DE MATERIALES			CANTIDAD
REF	UNID	DESCRIPCION	
1	c/u	Cruceta de acero galvanizado, universal, perfil "L" 75 x 75 x 6 mm (2 61/64 x 2 61/64 x 1/4")	2
2	c/u	Pie amigo de acero galvanizado, perfil "L" 38 x 38 x 6 x 700 mm (1 1/2 x 1 1/2 x 1/4 x 28")	4
3	c/u	Perno de ojo de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 254 mm (10") de long., con 4 tuercas. 2 arandelas planas y 2 de presión	2
4	c/u	Tuerca de ojo ovalado de acero galvanizado, para perno de 16 mm (5/8") de diám.	4
5	c/u	Perno espiga (pin) tope de poste simple de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám. x 450 mm (18") de long., con accesorios de sujeción	1
6	c/u	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, doble (4 pernos), 38 x 4 x 140 - 160 mm (1 1/2 x 11/64 x 5 1/2 - 6 1/2")	1
7	c/u	Perno máquina de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 51 mm (2") de long., con tuerca, arandela plana y de presión	4
8	c/u	Perno espárrago o de rosca corrida de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 300 mm (12") de long., con 4 tuercas, 2 arandelas planas y 2 de presión	2
9	c/u	Aislador espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 55-5, 15 kV	3
10	c/u	Aislador tipo suspensión, de caucho siliconado, clase ANSI DS-15, 15 kV	6
11	c/u	Grapa terminal apernada tipo pistola, de aleación de Al	6
12	c/u	Horquilla anclaje de acero galvanizado, 16mm (5/8") de diám. x 75 mm (3") de long. (Eslabón "U" para sujeción)	4
13	m	Conductor desnudo sólido de Al para ataduras, No. 4 AWG	6
14	c/u	Perno espiga (pin) corto de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám x 300 mm (12") de long.	2
15	c/u	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, doble (4 pernos), 38 x 4 x 140 - 160 mm (1 1/2 x 11/64 x 5 1/2 - 6 1/2")	1
16	c/u	Conector de compresión, aleación de Al	3
17	c/u	Horquilla anclaje de acero galvanizado, 16mm (5/8") de diám. x 75 mm (3") de long. (Eslabón "U" para sujeción)	2

Tabla 35: Lista De Materiales Estándar Para Estructura 3cd Según Manual De Las Unidades De Construcción [90]

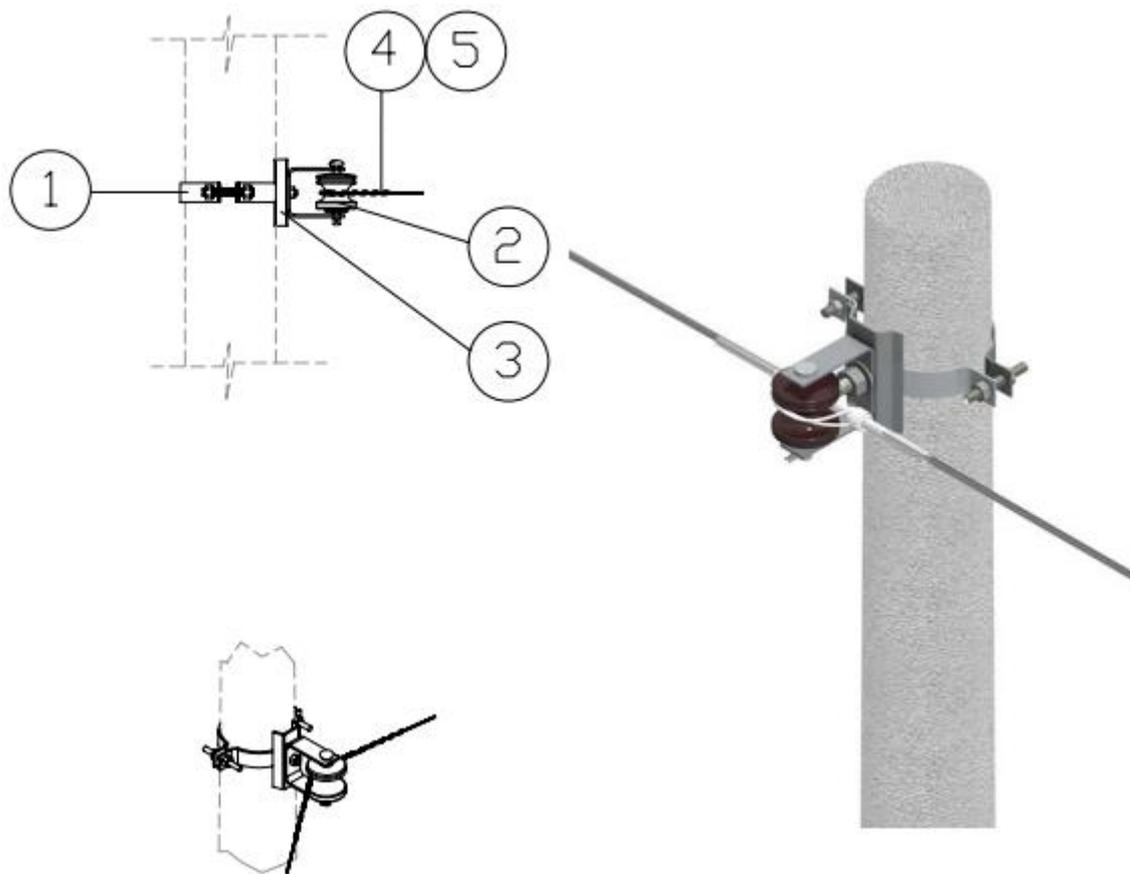


4.2.9. Estructura 1EP

UNA VÍA - VERTICAL - PASANTE O TANGENTE, ANGULAR

LISTA DE MATERIALES			CANTIDAD
REF	UNID	DESCRIPCION	
1	c/u	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, simple (3 pernos), 38 x 4 x 160 - 190 mm (1 1/2 x 11/4 x 6 1/2 - 7 1/2")	1
2	c/u	Aislador tipo rollo, de porcelana, clase ANSI 53-2, 0,25 kV	1
3	c/u	Bastidor (rack) de acero galvanizado, 1 vía, 38 x 4 mm (1 1/2 x 11/64")	1
4	m	Conductor desnudo sólido de Al, para ataduras, No. 4 AWG	2
5	c/u	Varilla de armar preformada para conductor de Al.	1

Tabla 36: Lista De Materiales Estándar Para Estructura 1ep Según Manual De Las Unidades De Construcción [91]

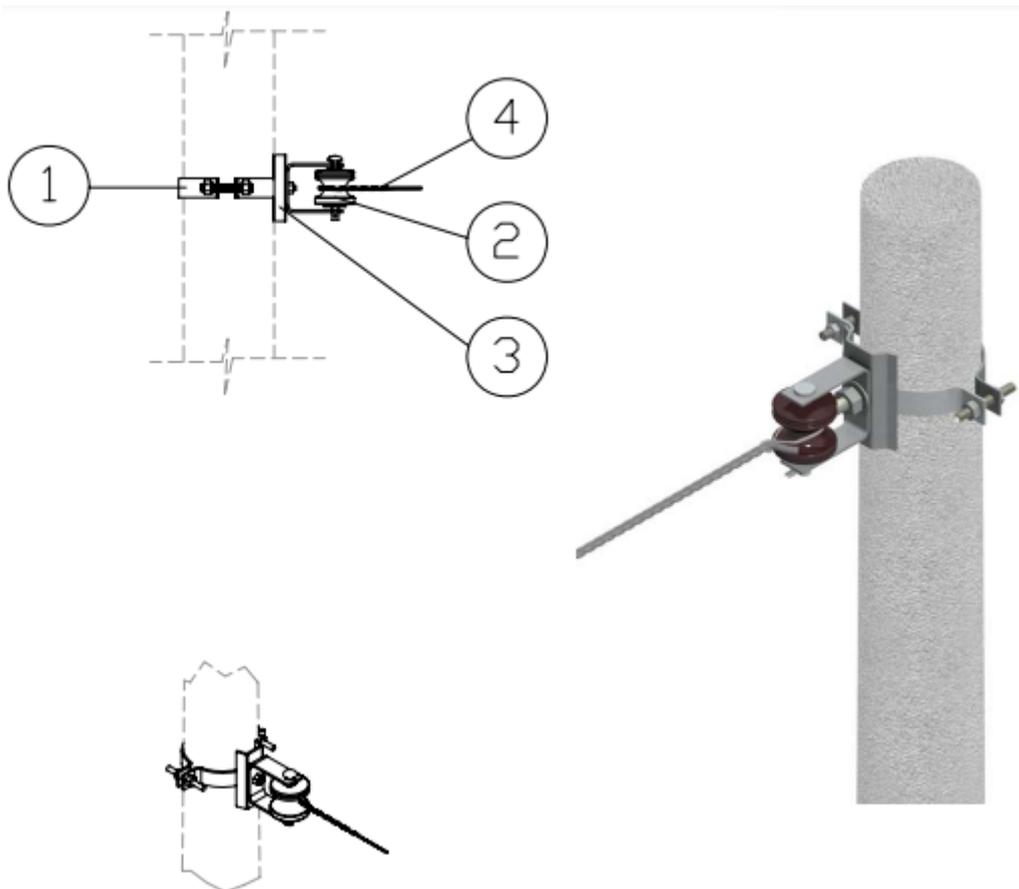


4.2.10. Estructura 1ER

UNA VÍA - VERTICAL - RETENCIÓN O TERMINAL

LISTA DE MATERIALES			CANTIDAD
REF	UNID	DESCRIPCION	
1	c/u	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, simple (3 pernos), 38 x 4 x 160 - 190 mm (1 1/2 x 11/4 x 6 1/2 - 7 1/2")	1
2	c/u	Aislador tipo rollo, de porcelana, clase ANSI 53-2, 0,25 kV	1
3	c/u	Bastidor (rack) de acero galvanizado, 1 vía, 38 x 4 mm (1 1/2 x 11/64")	1
4	c/u	Retención preformada para conductor de Al.	1

Tabla 37: Lista De Materiales Estándar Para Estructura 1er Según Manual De Las Unidades De Construcción [91]

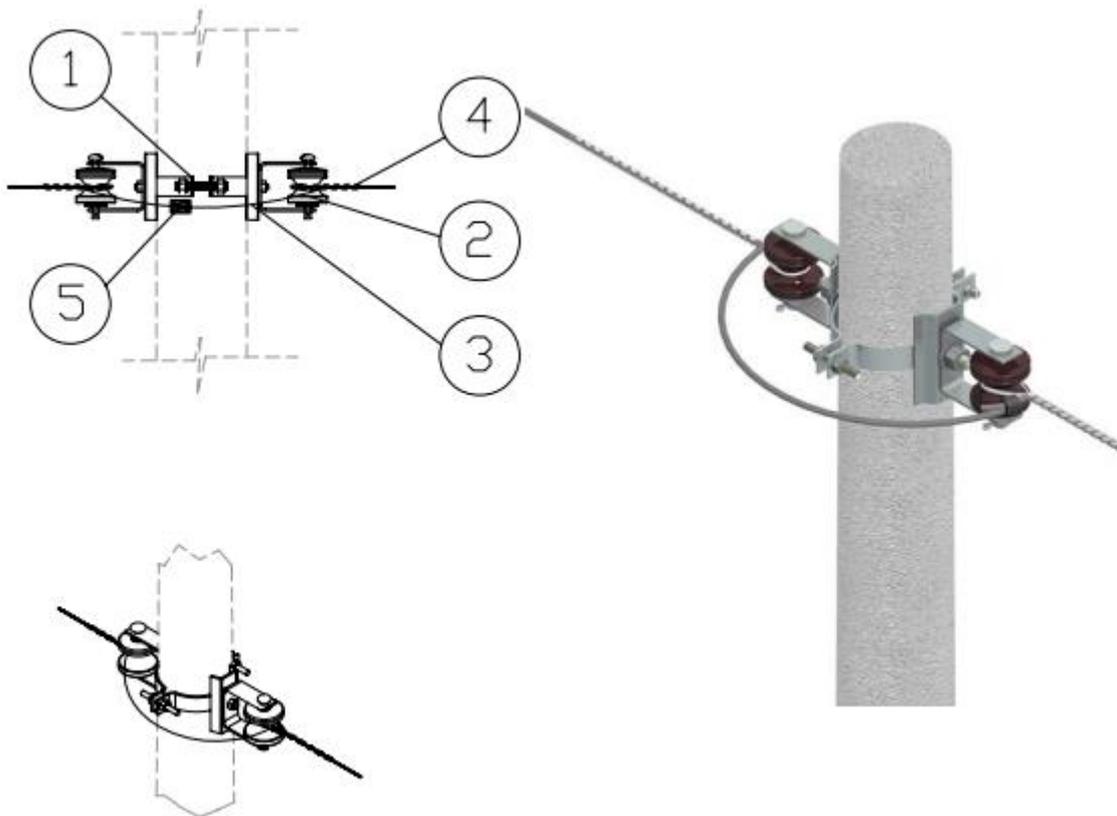


4.2.11. Estructura 1ED

UNA VÍA- VERTICAL - DOBLE RETENCIÓN O DOBLE TERMINAL

LISTA DE MATERIALES			CANTIDAD
REF	UNID	DESCRIPCION	
1	c/u	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, doble (4 pernos), 38 x 4 x 160 - 190 mm (1 1/2 x 11/64 x 6 1/2 - 7 1/2")	1
2	c/u	Aislador tipo rollo, de porcelana, clase ANSI 53-2, 0,25 kV	2
3	c/u	Bastidor (rack) de acero galvanizado, 1 vía, 38 x 4 mm (1 1/2 x 11/64")	2
4	c/u	Retención preformada para conductor de Al.	2
5	c/u	Conector de compresión, aleación de Al.	1

Tabla 38: Lista De Materiales Estándar Para Estructura 1ed Según Manual De Las Unidades De Construcción [91]

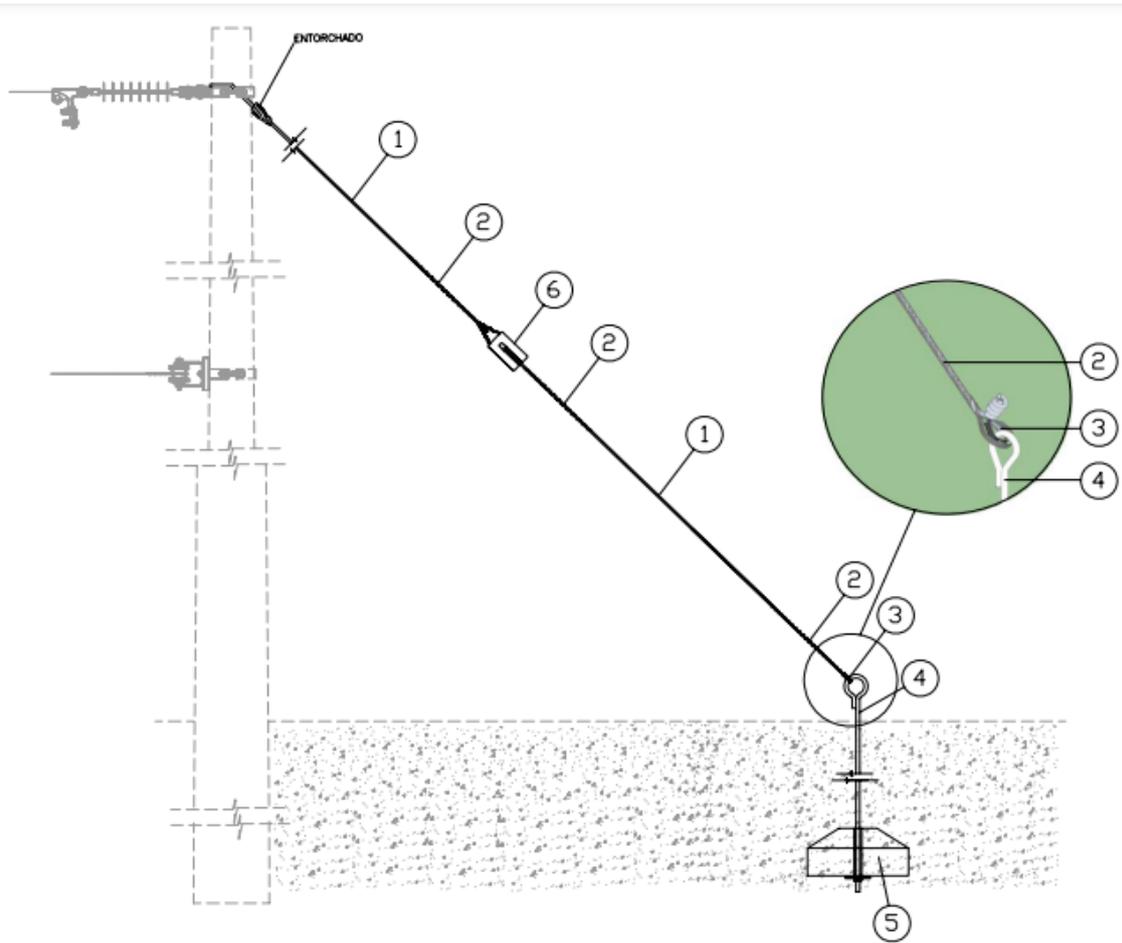


4.2.12. Estructura OTS

A TIERRA - SIMPLE

LISTA DE MATERIALES			CANTIDAD
REF	UNID	DESCRIPCION	
1	m	Cable de acero galvanizado, grado Siemens Martin, 7 hilos, 9,51 mm (3/8") de diám.	14
2	c/u	Retención preformada para cable de acero galvanizado de 9,51 mm (3/8") de diám.	3
3	c/u	Guardacabo para cable de acero de 9,51 mm (3/8") de diám.	1
4	c/u	Varilla de anclaje de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. y 1800 mm (71") de long., con tuerca y arandela	1
5	c/u	Bloque cónico de hormigón armado, base inferior 400 mm de diám., base superior 150 mm de diám., 200 mm de altura total, orificio 20 mm de diám.	1
6	c/u	Aislador de retenida, de porcelana, clase ANSI 54-2	1

Tabla 39: Lista De Materiales Estándar Para Estructura Ots Según Manual De Las Unidades De Construcción [89]



4.3. Recuento de Material

	Elemento	Cantidad	Precio por c/u o m	Precio total
1	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, doble (4 pernos), 38 x 4 x 140 - 160 mm (1 1/2 x 5/32 x 5 1/2 - 6 1/2")	13	\$7.65	\$99.45
2	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, doble (4 pernos), 38 x 4 x 160 - 190 mm (1 1/2 x 11/64 x 6 1/2 - 7 1/2")	37	\$7.60	\$281.2
3	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, simple (3 pernos), 38 x 4 x 140 - 160 mm (1 1/2 x 11/64 x 5 1/2 - 6 1/2")	64	\$5.50	\$352
4	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, simple (3 pernos), 38 x 4 x 160 - 190 mm (1 1/2 x 11/64 x 6 1/2 - 7 1/2")	271	\$7.18	\$1945.78
5	Aislador de retenida, de porcelana, clase ANSI 54-2	88	\$4.89	\$430.32
6	Aislador tipo espiga (pin), de porcelana, clase ANSI 56-4, 25 kV	338	\$10.2	\$3447.6
7	Aislador tipo rollo, de porcelana, clase ANSI 53-2, 0,25 kV	226	\$14.56	\$3290.56
8	Aislador tipo suspensión, polímero ANSI DS - 28 (550 mm)	140	\$16.83	\$2356.2
9	Horquilla anclaje de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 75 mm (3") de long. (Eslabón "U" para sujeción)	140	\$4.68	\$655.2
10	Grapa terminal apernada tipo pistola, de aleación de Al 2/0 - 336,4 (26/7) Conductor ACSR	90	\$22.37	\$2013.3
11	Grapa terminal apernada tipo pistola, de aleación de Al 4 - 3/0 Conductor ACSR	50	\$13.17	\$658.5
12	Tuerca de ojo ovalado de acero galvanizado, para perno de 16 mm (5/8") de diám.	90	\$2.6	\$234
13	Bastidor (rack) de acero galvanizado, 1 vía, 38 x 4 mm (1 1/2 x 11/64") con Base	226	\$38.96	\$8804.96
14	BLOQUE DE HORMIGON PARA ANCLA, CON AGUJERO DE 20MM, diámetro de la base 400mm, altura de la parte cilíndrica 100mm, altura de la parte troncocónica 100mm, diámetro de la base superior 150mm	88	\$22.37	\$1968.56
15	Guardacabo de acero galvanizado, para cable de acero 9,51mm (3/8")	88	\$0.92	\$80.96
16	Retención preformada para cable de acero galvanizado de 9,5mm (3/8")	264	\$5.14	\$1356.96
17	Varilla de ancla de acero galvanizada, tuerca y arandela 16x1800 mm (5/8"x71")	88	\$8.25	\$726
18	Cable de acero galvanizado, 7 hilos, 9,51 mm (3/8"), 3155 kgf	1232	\$0.90	\$1108.8
19	Conductor desnudo sólido de Al, para ataduras, No. 4 AWG	968	\$0.52	\$503.36
20	Cruceta de acero galvanizado, perfil "L", universal, 75 x 75 x 6 x 1200 mm (2 61/64 x 2 61/64 x 1/4)	10	\$22.37	\$223.7
21	Cruceta de acero galvanizado, universal, perfil "L" 75 x 75 x 6 x 2400 mm (2 61/64 x 2 61/64 x 1/4")	119	\$69.38	\$8256.22

22	Conector de compresión tipo H 4/0-4/0, aleación de AL	23	\$1.50	\$34.5
23	Conector de ranuras paralelas, aleación de Cu, 3-2/0: 6-2/0 AWG	3	\$6.15	\$18.45
24	Perno de ojo de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 254 mm (10") de long., con 4 tuercas, 2 arandelas planas y 2 de presión	50	\$5.58	\$279
25	Perno espárrago o de rosca corrida de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. X 300 mm (12") de long., con 4 tuercas, 2 arandelas planas y 2 de presión	86	\$5.43	\$434.4
26	Perno espiga (pin) corto de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám. x 300 mm (12") de long. (35mm Diámetro de la rosca para enroscar el aislador pin)	168	\$3.00	\$504
27	Perno espiga (pin) tope de poste doble de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám. x 450 mm (18") de long., con accesorios de sujeción	16	\$13.78	\$220.48
28	Perno espiga (pin) tope de poste simple de acero galvanizado, 19 mm (3/4") de diám. x 450 mm (18") de long., con accesorios de sujeción	138	\$13.78	\$1901.64
29	Perno máquina de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 51 mm (2") de long., con tuerca, arandela plana y de presión	258	\$1.30	\$335.4
30	Perno U de acero galvanizado, 16 mm (5/8") de diám. x 150 mm (6") de ancho dentro de la U, con 2 tuercas, 2 arandelas planas y 2 de presión	61	\$1.30	\$79.3
31	Pie de amigo de acero, perfil "L" de 38x38x6x700mm	258	\$5.86	\$1511.88
32	Poste circular de hormigón armado de 12 m, 500 kg	192	\$274.87	\$52775.04
33	Retención preformada para conductor de Al. No. 1/0 AWG	64	\$7.37	\$471.68
34	Retención preformada para conductor de Al. No. 4/0 AWG	16	\$17.4	\$278.4
35	VARILLA PREFORMADA PARA COND ACSR # 1/0 AWG	146	\$16.8	\$2452.8
36	VARILLA PREFORMADA PARA COND ACSR # 2 AWG	76	\$4.75	\$361
37	VARILLA PREFORMADA PARA COND ACSR # 4/0 AWG	210	\$7.50	\$1575
38	Conductor ACSR 266.8	25344	\$5.78	\$146488.32
39	Conductor ACSR 2/0	8448	\$4.59	\$38776.32
			Total	\$287291.24

Tabla 40: Recuento de materiales

Capítulo V

5.1. Conclusiones

A partir de la recopilación de datos sobre la capacidad, estado y eficiencia del alimentador "La Reforma", se concluye que este alimentador presenta limitaciones en su capacidad de suministro para cubrir la creciente demanda eléctrica de los sectores cercanos a la ciudad de Babahoyo. Esto confirma la necesidad de implementar un alimentador en paralelo que alivie su carga y mejore la fiabilidad del sistema.

El diseño del nuevo alimentador de 13.8 kV, realizado conforme a las normativas vigentes y estándares de seguridad, garantiza una distribución más eficiente y estable del suministro eléctrico en las áreas beneficiadas, además de la selección adecuada del conductor (ACSR 266.8) y el aislamiento (ANSI 56-2) asegura un rendimiento técnico óptimo, minimizando las caídas de tensión y las sobrecargas.

Mediante las simulaciones realizadas en CYMDIST, se demostró que el nuevo alimentador cumple con los requisitos técnicos establecidos, mejorando la calidad del suministro eléctrico en términos de estabilidad de voltaje, eliminando zonas con sobrecargas y reduciendo pérdidas. Por otro lado, el análisis de las condiciones actuales y las proyecciones futuras del sistema eléctrico validan que la implementación del alimentador "La Reforma Nuevo" propuesto contribuirá significativamente a la sostenibilidad del sistema eléctrico en Babahoyo, mejorando tanto la calidad del suministro eléctrico como la satisfacción de los usuarios finales.

5.2. Recomendaciones

Utilizar los resultados de las simulaciones realizadas en CYMDIST como base técnica para la planificación futura de la red eléctrica en los sectores cercanos a Babahoyo, asegurando que el diseño propuesto cumpla con las normativas y responda a las necesidades proyectadas de la demanda eléctrica.

Promover la capacitación en herramientas de simulación eléctrica, como CYMDIST, para estudiantes e ingenieros, fortaleciendo las competencias necesarias para realizar diseños optimizados y alineados con las normas.

Recomendar a las autoridades pertinentes considerar el diseño simulado como una solución técnica factible para futuras inversiones, destacando su capacidad para mejorar la calidad del suministro eléctrico y garantizar la sostenibilidad del sí.

Capítulo VI

6.1. Referencias Bibliográficas

- [1] E. Hughes, *Sistemas de energía eléctrica: una introducción conceptual*, 6ª ed. Wiley, 2016.
- [2] A. Nicolás y M. Pérez, "Fundamentos de la Distribución Eléctrica: Variaciones de Frecuencia y su Impacto", *Revista de Ingeniería Eléctrica*, vol. 29, núm. 2, págs. 53-64, 2019.
- [3] IEEE Std 80-2017, "Guía IEEE para la seguridad en la conexión a tierra de subestaciones de CA", IEEE, 2017.
- [4] IEEE Std 142-2017, "Libro verde IEEE: Conexión a tierra de sistemas de energía industriales y comerciales", IEEE, 2017.
- [5] BK Bose, *Electrónica de potencia moderna y variadores de CA*. Prentice Hall, 2018.
- [6] Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2023). Resultados del censo de población y vivienda de Ecuador 2022. INEC. Recuperado el 12 de noviembre de 2024, de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- [7] IEEE, *IEEE Standard 141-1993: Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*, IEEE, 1993.
- [8] J. J. Grainger y W. D. Stevenson, *Power System Analysis*, McGraw-Hill, 1994.
- [9] Comisión Federal de Electricidad (CFE), *Manual para Redes de Distribución Eléctrica Subterránea 13.8; 24.9 y 34.5 kV*, CFE, 2015
- [10] MHJ Bollen, *Signal Processing of Power Quality Disturbances*, Wiley, 2000.
- [11] LF Ochoa, *Evaluación de la confiabilidad en redes de distribución eléctrica*, 2da ed., Editorial Universidad Nacional Autónoma de México, 2012.
- [12] TA Short, *Electric Power Distribution Handbook*, 2ª ed., CRC Prensa, 2018.
- [13] Pérez, "Clasificación de sistemas de distribución eléctrica: Media y baja tensión", *Revista Mexicana de Ingeniería Eléctrica*, vol. 28, núm. 3, págs. 189-198, 2016.
- [14] JM González, "Diseño de sistemas de distribución eléctrica en áreas urbanas", *Revista de Ingeniería Eléctrica*, vol. 34, núm. 2, págs. 97-105, 2019.
- [15] IEC 60287, *Cálculo de la corriente nominal continua de cables*, Comisión Electrotécnica Internacional, 2011.
- [16] IEC 61936 -1:2010, *Instalaciones eléctricas – Parte 1: Reglas generales*, Comisión Electrotécnica Internacional, 2010.
- [17] IEC 60228, *Conductores de cables para energía eléctrica*. Comisión Electrotécnica Internacional, 2004.
- [18] IEEE 525-2016, *Guía para la instalación de cables de energía*. IEEE, 2016.
- [19] IEEE Std 825-2014, *Transformadores de distribución*. IEEE, 2014.
- [20] IEC 60076, *Transformadores de potencia*. Comisión Electrotécnica Internacional, 2011.
- [21] IEC 62271-100, *Interruptores de media tensión*. Comisión Electrotécnica Internacional, 2016.
- [22] IEEE Std 242-2001, *Protección de sistemas eléctricos*. IEEE, 2001.

- [23] IEC 60364, Instalaciones eléctricas de edificios. Comisión Electrotécnica Internacional, 2016.
- [24] IEC 60038, Tensiones nominales para los sistemas eléctricos. Comisión Electrotécnica Internacional, 2011.
- [25] A. Chakrabarti, S. Halder, y P. K. Chanda, Power System Analysis: Operation and Control, New Age International, 2012.
- [26] IEEE, IEEE Standard 1159-2013: Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, IEEE, 2013.
- [27] Jenkins, N., Allan, R., & Crossley, P. (2014). Embedded Generation. The Institution of Engineering and Technology.
- [28] W. A. Olivier, G. T. Heydt, y A. A. Chowdhury, "Optimized Feeder Design for Power Distribution Efficiency," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 30, no. 3, pp. 1374-1382, 2015.
- [29] Duan, M., Xu, Z., & Zhang, L. (2019). Sustainable Energy Systems and Applications. Wiley-Blackwell.
- [30] CYME International, Guía del usuario de CYMDIST, CYME International, 2017.
- [31] IEEE Std 977-2017, Guía IEEE para la aplicación de cables de alimentación con un voltaje nominal de 5 kV y superior, 2017.
- [32] IEC 60826: Diseño de líneas aéreas de transmisión, 2003.
- [33] Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles, Manual ASCE 72: Pautas para la carga estructural de líneas de transmisión, 2000. [34] IEC 61936-1:2016, Instalaciones Eléctricas - Parte 1: Reglas Generales, Internacional Comisión Electrotécnica, 2016.
- [35] IEC 60364-5-54:2016, Instalaciones eléctricas de edificios - Parte 5-54: Sistemas de puesta a tierra, Comisión Electrotécnica Internacional, 2016.
- [36] Reglamento a la Ley de Electricidad, Reglamento General a la Ley Orgánica del Servicio Público de Electricidad, Ecuador.
- [37] ARCERNNR, Cuerpo Normativo para la Regulación del Sector Eléctrico en Ecuador, Agencia Nacional de Regulación, Control y Energía, Ecuador.
- [38] Código de Redes de Distribución Eléctrica, Reglamento de la Ley de Electricidad para la Distribución Eléctrica, Ecuador.
- [39] AJ Conejo Navarro, JM Arroyo Sánchez, F. Milano, N. Alguacil Conde, JL Polo Sanz, R. García Bertrand, J. Contreras Sanz, A. Clamagirand Sánchez, y L. López García, Instalaciones Eléctricas. España: McGraw Hill, 2007.
- [40] "Constitución de los sistemas eléctricos", Global Electricity, 31-oct-2013. [En línea]. Disponible: <https://globalelectricity.wordpress.com/2013/10/31/constitucion-de-los-sistemas-electricos/>. [Accedido: 7-dic-2024].
- [41] "Distribución de energía eléctrica", Sector Electricidad, [En línea]. Disponible: <https://www.sectorelectricidad.com/9602/distribucion-de-energia-electrica/>. [Accedido: 7-dic-2024].
- [42] IEC 61643-11, Dispositivos de protección contra sobretensiones conectados a sistemas de energía de baja tensión - Requisitos y métodos de prueba, IEC, 2011.

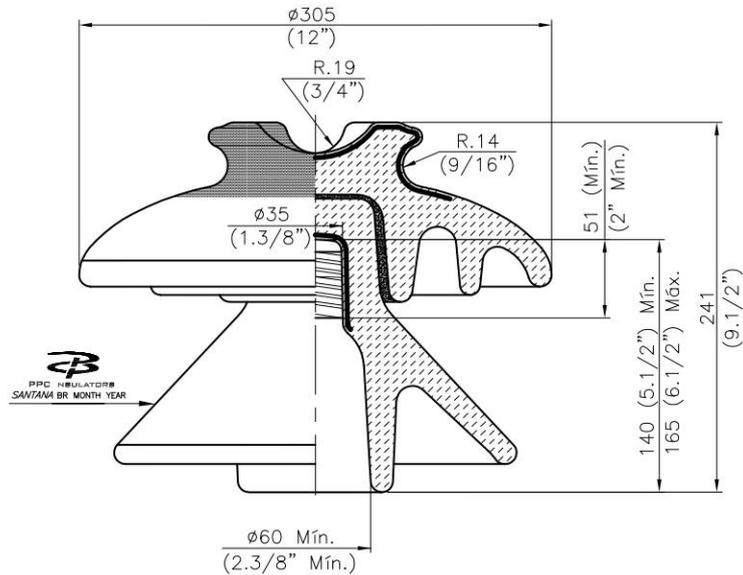
- [43] Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, NEMA WC-70: Cables de alimentación con capacidad nominal de 2000 voltios o menos para la distribución de energía eléctrica, 2008
- [44] IEEE Std C29.1-2018, Estándar para la aplicación de pruebas de intemperismo a aisladores compuestos, 2018.
- [45] IEC 61109, Aisladores compuestos para líneas eléctricas de CA - Métodos para la determinación del rendimiento mecánico de las varillas aisladoras, 2008.
- [46] ANSI C29.13-2004, Norma nacional estadounidense para especificaciones de aisladores – Aisladores de suspensión para uso en sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica de CA, 2004.
- [47] IEEE Std C57.12.00-2015, Norma para requisitos generales para transformadores de distribución, potencia y regulación sumergidos en líquido, 2015.
- [48] ANSI C57.12.20-2010, Norma nacional estadounidense para transformadores de distribución sumergidos en líquido con bujes de alto voltaje, clases 1, 2 y 3, 2010.
- [49] IEEE Std C37.04-2018, Estándar para la estructura de clasificación de disyuntores de alto voltaje de CA, 2018.
- [50] IEEE Std C37.30-2017, Estándar para la integridad del gabinete para disyuntores de alto voltaje, 2017
- [51] IEC 62271-102, Aparatos de distribución y control de alta tensión - Parte 102: Seccionadores de corriente alterna e interruptores de puesta a tierra, 2002.
- [52] IEEE Std C37.60-2016, Estándar para la guía de aplicación para disyuntores de alto voltaje de CA, 2016.
- [53] IEC 62271-111, Aparatos de distribución y control de alta tensión - Parte 111: Interruptores de alta tensión de corriente alterna, 2017.
- [54] IEEE Std C37.40-2015, Estándar para la guía de aplicación para disyuntores de alto voltaje, 2015.
- [55] IEC 60282-1, Fusibles de alta tensión – Parte 1: Fusibles limitadores de corriente, 2013.
- [56] IEEE Std C57.15-2017, Requisitos estándar, terminología y código de prueba para reguladores de voltaje escalonado, 2017.
- [57] IEC 60076-21, Transformadores de potencia – Parte 21: Requisitos estándar para reguladores de tensión escalonada, 2018.
- [58] IEEE Std 18-2012, Estándar para condensadores de potencia en derivación, 2012.
- [59] IEC 60831-1, Condensadores de potencia en derivación del tipo autorreparador para sistemas de CA con una tensión nominal de hasta 1000 V inclusive – Parte 1: General – Rendimiento, pruebas y clasificación – Requisitos de seguridad – Guía para instalación y funcionamiento, 2014.
- [60] IEEE Std C57.16-2011, Requisitos estándar, terminología y código de prueba para reactores conectados en serie con núcleo de aire de tipo seco, 2011.
- [61] IEEE Std 142-2017, Práctica recomendada por IEEE para la conexión a tierra de sistemas de energía industriales y comerciales (Libro Verde), 2017.
- [62] IEC 60364-5-54, Instalaciones eléctricas de baja tensión – Parte 5-54: Disposiciones de puesta a tierra y conductores de protección, 2016.
- [63] IEC 62305, Protección contra rayos – Partes 1-4, 2010.

- [64] NFPA 780, Norma para la instalación de sistemas de protección contra rayos, 2020.
- [65] IEEE Std 81-2012, Guía para medir la resistividad de la tierra, la impedancia de tierra y los potenciales de la superficie de la tierra de un sistema de puesta a tierra, 2012.
- [66] IEC 61643: Comisión Electrotécnica Internacional, IEC 61643: Dispositivos de protección contra sobretensiones de baja tensión – Partes 11 y 21, 2013.
- [67] Norma IEEE C62.1-2002: IEEE, IEEE Std C62.1-2002: Norma para pararrayos de carburo de silicio con huecos para circuitos de alimentación de CA, 20
- [68] NFPA 70 (NEC): Asociación Nacional de Protección contra Incendios, NFPA 70: Código Eléctrico Nacional (NEC), 2
- [69] IEC 60794-1: Comisión Electrotécnica Internacional, IEC 60794-1: Cables de fibra óptica – Especificación genérica – Procedimientos básicos de prueba de cables ópticos, 2017.
- [70] IEEE Std 1138: IEEE, IEEE Std 1138-2009: Estándar para pruebas y desempeño de cables de tierra ópticos (OPGW) para uso en líneas eléctricas de servicios públicos, 2009.
- [71] IEC 62305: Comisión Electrotécnica Internacional, IEC 62305: Protección contra rayos – Partes 1-4, 2010.
- [72] IEEE 1547: IEEE, IEEE Std 1547-2018: Estándar para interconexión e interoperabilidad de recursos de energía distribuida con interfaces de sistemas de energía eléctrica asociados, 2018.
- [73] IEC 61850: Comisión Electrotécnica Internacional, IEC 61850: Redes y sistemas de comunicación para la automatización de servicios públicos de energía – Partes 1-10, 2020.
- [74] IEEE Std 2030: IEEE, IEEE Std 2030-2011: Guía para la interoperabilidad de la red inteligente de la tecnología energética y la operación de la tecnología de la información con el sistema de energía eléctrica (EPS), aplicaciones de uso final y cargas, 2011.
- [75] IEC 62271-200: High-voltage switchgear and controlgear - Part 200: Distribution switchgear and controlgear. International Electrotechnical Commission, 2003.
- [76] IEEE C57.12.28-2014: Standard for Pad-Mounted, Compartmental-Type, Self-Cooled, Three-Phase Distribution Transformers. IEEE, 2014.
- [77] IEC 60529: Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). International Electrotechnical Commission, 1989.
- [78] ISO 7010: Graphical symbols — Safety colours and safety signs — Registered safety signs. International Organization for Standardization, 2011.
- [79] IEC 60445: Basic and safety principles for man-machine interface, marking and identification — Identification of conductors by colours or alphanumeric codes. International Electrotechnical Commission, 2000.
- [80] ANSI Z535.1-2017: Safety Signs and Tags. American National Standards Institute, 2017.
- [81] IEEE Std 519-2014, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems," IEEE, 2014.

- [82] International Electrotechnical Commission, IEC 61000-4-7: General guide on harmonics measurement and disturbance evaluation, IEC, 2002.
- [83] International Electrotechnical Commission, IEC 61000-4-30: Testing and measurement techniques — Power quality measurement methods, IEC, 2017.
- [84] Energy Storage Association, Energy Storage: The Path to a Clean, Reliable, and Affordable Energy Future, ESA, 2020.
- [85] CIGRÉ. (2010). Guide for the Design of Transmission Lines. CIGRÉ Technical Paper.
- [86] National Electrical Safety Code (NESC). (2017). National Electrical Safety Code. IEEE.
- [87] FD Naranjo Pilalo, Diseño de una subestación eléctrica AIS de 69/13,8 kV a 16/24 MVA mediante el Software SAP 2000, Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador, 2022. [En línea]. Disponible: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22817>
- [88] J. Gómez Morales, T. Nagua Durán, y J. Quiroga Pico, "Análisis y rediseño del sistema de distribución de la subestación centro industrial CNEL Los Ríos, basado en la calidad del servicio," Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Guayaquil, Ecuador, 2009. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10355>
- [89] Comisión de Homologación de las Unidades de Propiedad, "Tensores y Anclajes en Redes de Distribución 13,8 kV GRDy / 7,96 kV – 13,2 kV GRDy / 7,62 kV", Manual de las Unidades de Construcción, Revisión 03, 26 de mayo de 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.unidadespropiedad.com/pdf/2d/pdf%20secc%202/UC%20TA%2013%20kV.pdf>. [Accedido: 27-ene-2025].
- [90] Comisión de Homologación de las Unidades de Propiedad, "Estructuras de Soporte en Redes de Distribución 13,8 kV GRDy / 7,96 kV – 13,2 kV GRDy / 7,62 kV", Manual de las Unidades de Construcción, Revisión 02, 15 de julio de 2013. [En línea]. Disponible en: <https://www.unidadespropiedad.com/pdf/2d/pdf%20secc%202/UC%20ES%20MV%2013%20kV.pdf>. [Accedido: 27-ene-2025].
- [91] Comisión de Homologación de las Unidades de Propiedad, "Estructuras Básicas de Vivienda para Redes de Distribución", Manual de las Unidades de Construcción, Revisión 01, 10 de septiembre de 2010. [En línea]. Disponible en: <https://unidadespropiedad.com/pdf/2d/pdf%20secc%202/UC%20ES%20BV.pdf>. [Accedido: 27-ene-2025].

ANEXOS

N.º	1	REVISION	DATE	AUT.
	REDRAWN		15/12/15	RICARDO



DIMENSIONS

Leakage distance	mm	686	(27 in)
Dry arcing distance	mm	286	(11.1/4 in)
Minimum pin height	mm	254	(10 in)

MECHANICAL VALUES

Cantilever strength	kN	13	(3000 lb)
---------------------	----	----	-----------

ELECTRICAL VALUES

Low frequency puncture voltage	kV	185
Critical impulse flashover (1.2x50 μs)		
– Positive	kV	225
– Negative	kV	310
Low frequency flashover Dry	kV	140
Low frequency flashover Wet	kV	95

RADIO INFLUENCE VOLTAGE DATA

– Teste voltage	kV	30
– Max R.I.V. free at 1000 kHz	μV	200

PACKAGE

Net weight (unit.)	Kg	11	(24 lb)
--------------------	----	----	---------

NOTES:

- 1– Glaze color : Brown or Gray.
- 2– General tolerances: ±4% +1,5mm , except where otherwise indicated.
- 3– Dimensions in millimeters (inches).
- 4– Semi-conductive glazed
- 5– Top-wire groove shall seat a mandrel with a diameter of 1-7/16 inches.
- 6– Site-wire groove shall seat a mandrel with a diameter of 1-1/16 inches.

*We reserve the right to intellectual property of this document and attachments. The total or partial reproduction, as well as sending to third parties, is not permitted without written permission under penalty of reply, in accordance with law civil and criminal.

DENOMINATION: PIN TYPE INSULATORS MULT-PART REF.: PI43444-RT				IDENTIFICATION REFERENCE PI43444-RT	
	ELAB./DATE RICARDO 15/12/15	VER./DATE LUIS 15/12/15	APPROV./DATE MARCELO 15/12/15	REVISION 1	
ORIGIN: SANTANA DESIGN (ANSI C29.6/C29.1-CLASS 56-4)	CODE. CAD:G:PROJ\UNI-01\CALIBR\PI\P053			SHEET -	SCALE -
	CODE. -	TYPE-CAID			

The reproduction of this document turns the copy "NO CONTROLLED" except when the same receives stamp of "CONTROLLED COPY"