



Estudio de factibilidad de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos de la red subterránea existente de los alimentadores primarios 03GR010T12-GUARANDA-CDLA. 1º DE MAYO y 03GR010T13-GUARANDA-MALDONADO en el centro de la ciudad de Guaranda perteneciente a la Corporación Nacional de Electricidad, Unidad de Negocio Bolívar.

Rojas Llumiquinga, Mayra Mercedes

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electromecánica

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

16 de marzo del 2021

Latacunga



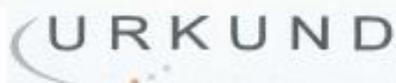
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA RED SUBTERRÁNEA EXISTENTE DE LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS 03GR010T12-GUARANDA-CDLA. 1º DE MAYO Y 03GR010T13-GUARANDA-MALDONADO EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE GUARANDA PERTENECIENTE A LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD, UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR.”*** fue realizado por la señorita Rojas Llumiquinga, Mayra Mercedes, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad, por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 16 de marzo de 2021

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo

C.C. 180191088 – 4



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS_ROJAS_MAYRA_urkund.pdf (D98209639)
 Submitted: 3/13/2021 12:39:00 PM
 Submitted By: mmrojas3@espe.edu.ec
 Significance: 9 %

Sources included in the report:

TESIS_ELY_FIN.pdf (D13013494)
 TESIS ROBERTH VITEZ-OK.docx (D13356479)
 Christian Chalen Rojas Tesis Electrico Mecanico.docx (D47842972)
https://www.eneldistribuido.com.br/ce/documentos/E-MT-023_R-03.pdf
https://www.loja.gob.ec/files/image/dependencias/RegeneraionUrbana/lico2/memoria_tecnica_redes_soterradas_en_el_centro_de_loja.pdf
<https://docplayer.es/92707736-Universidad-tecnica-de-ambato-facultad-de-Ingenieria-en-sistemas-electronica-e-industrial.html>
<http://docplayer.es/132962089-Escuela-superior-politecnica-de-chimborazo.html>
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21107/1/CD%2010624.pdf>
<https://docplayer.es/4090105-Universidad-tecnica-de-ambato-facultad-de-ingenieria-en-sistemas-electronica-e-industrial-carrera-de-ingenieria-en-electronica-y-comunicaciones.html>
<https://docplayer.es/76974265-Universidad-tecnica-de-ambato-facultad-de-ingenieria-en-sistemas-electronica-e-industrial-carrera-de-ingenieria-en-electronica-y-comunicaciones.html>
<https://docplayer.es/11783340-Escuela-politecnica-nacional.html>

Instances where selected sources appear:

58



Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo
 C.C.: 180191088-4



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Rojas Llumiquinga, Mayra Mercedes**, con cédula de ciudadanía N°. 0504378894, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: ***“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA RED SUBTERRÁNEA EXISTENTE DE LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS 03GR010T12-GUARANDA-CDLA. 1º DE MAYO Y 03GR010T13-GUARANDA-MALDONADO EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE GUARANDA PERTENECIENTE A LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD, UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR.”***, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 16 de marzo del 2021

Rojas Llumiquinga, Mayra Mercedes

C.C.: 050437889 – 4



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Rojas Llumiquinga, Mayra Mercedes**, con cédula de ciudadanía N° 050237889-4, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: ***“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS DE LA RED SUBTERRÁNEA EXISTENTE DE LOS ALIMENTADORES PRIMARIOS 03GR010T12-GUARANDA-CDLA. 1º DE MAYO Y 03GR010T13-GUARANDA-MALDONADO EN EL CENTRO DE LA CIUDAD DE GUARANDA PERTENECIENTE A LA CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD, UNIDAD DE NEGOCIO BOLÍVAR.”***, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 16 de marzo de 2021

Rojas Llumiquinga, Mayra Mercedes

C.C.: 050437889 – 4

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación quiero dedicar primeramente a Dios y a la Virgen de las Mercedes por darme la vida, salud y fortaleza para ser mejor persona y superarme día a día.

A mis padres Marcelo Rojas y María Lumiquinga por brindarme su amor incondicional y por apoyarme en mi formación académica, a mi Hada Madrina Celinda Rojas por estar siempre al pendiente de mi bienestar y apoyarme de todas las maneras posibles y a mis hermanos Alexis, Fernanda y Mauricio por todo el cariño, apoyo y cuidados que han tenido con su hermana mayor, todos ustedes siempre serán mi motivación, mi motor de vida que me impulsan a ser mejor cada día.

Finalmente, a mis abuelitos José Rojas y Esther Chasi que desde el cielo siempre me han cuidado y guiado mi camino, los llevaré siempre en mi corazón.

Mayrita

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mi Virgen de las Mercedes por brindarme la vida y la salud, por guiar mi camino y permitirme llegar hasta este momento especial para mí y mi familia.

Le agradezco a mi padre Marcelo por apoyarme en cada decisión tomada, por cada sacrificio que hizo por ayudarme a cumplir con mi meta profesional, papito gracias por todo, a mi mami María por su amor, comprensión y por apoyarme en los momentos que más lo necesite, por sus sabios consejos para no rendirme y seguir luchando, muchas gracias mami.

Agradezco a mi tía Celinda, más que una tía, ha sido como mi hada madrina, mi segunda madre, esta meta lograda también se lo debo a su esfuerzo y el amor que me ha brindado siempre, este logro también es suyo, muchas gracias.

A mis hermanos, Fernanda por ayudarme en los momentos que más los necesite, Alexis por apoyarme, cuidarme y consentir cada uno de los caprichos de tu hermana y Mauricio por llenar mi vida de alegría.

Agradezco a Javier, porque desde el momento que nos conocimos me diste tu apoyo y amor incondicional, hemos compartido lindos momentos y juntos hemos trabajado para culminar nuestra formación profesional.

Le agradezco a mi tutor Ing. Washington Freire por guiar mi trabajo de titulación y orientarme para que llegue a su término.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, a la carrera de Ingeniería en Electromecánica y a sus docentes por transmitirme sus conocimientos y por convertirme en una profesional.

Mayrita

Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Análisis de Urkund	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Tabla de Contenidos	8
Índice de Figuras	13
Índice de Tablas	15
Resumen	17
Abstract.....	18
Contenidos Generales	19
Planteamiento del Problema.....	19
Antecedentes.....	20
Justificación e Importancia	20
Objetivos.....	21
<i>Objetivo General.....</i>	<i>21</i>
<i>Objetivos Específicos</i>	<i>21</i>
Marco Teórico.....	23
Antecedentes Investigativos	23
Fundamentación Teórica	24
<i>Red de Distribución de Energía Eléctrica.....</i>	<i>24</i>
<i>Características de los Sistemas de Distribución</i>	<i>26</i>
<i>Redes de Distribución Subterráneas</i>	<i>26</i>

<i>Automatización de Redes Eléctricas</i>	27
<i>Objetivos de la Automatización de Redes Eléctrica</i>	27
<i>Sistema Automatizado de Distribución (SAD)</i>	28
<i>Sistemas SCADA</i>	28
Componentes de un Sistema SCADA.....	31
Arquitectura de un Sistema SCADA	32
<i>Monitoreo de Centros de Transformación de Media Tensión</i>	33
Conexión de Centros de Transformación.....	34
<i>Celdas de Distribución</i>	35
<i>Celdas de distribución secundarias en MT ORMAZABAL</i>	36
<i>Ekor.RPA Serie 100</i>	37
Partes de la unidad	40
Relé Electrónico	41
Transformadores de Intensidad	43
Sensores de Tensión	44
<i>Ekor.uct</i>	45
<i>Redes de Comunicación</i>	46
Medios Guiados.....	47
Medios no Guiado	47
<i>Fibra Óptica</i>	49
Componentes de la Fibra Optica.....	49
Tipos de Fibras Ópticas.....	49
Principio de Propagación	52
<i>Redes de Acceso Vía Fibra Óptica</i>	54
Tipo de Redes PON.....	54
<i>Tipos de Tecnología de Multiplexación por Fibra Óptica</i>	55
TDM (Multiplexación por División de Tiempo).	55

	10
WDM (Multiplexación por División de Onda).....	55
Variantes de la Tecnología WDM	55
<i>Topografía de la Red</i>	57
<i>Software Computacional CYMDIST</i>	58
<i>Método de Ardivinson</i>	58
<i>Fundamentación Conceptual</i>	59
<i>Fundamentación Legal</i>	61
<i>Hipótesis</i>	62
<i>Sistemas de Variables</i>	62
Variable Independiente	62
Variable Dependiente	62
<i>Cuadro de Operacionalización de Variables</i>	62
Metodología	64
Modalidad de Investigación.....	64
Método Bibliográfico Documental.....	64
Método Experimental	64
Método Deductivo	65
Tipo de Investigación.....	65
<i>Investigación Cuantitativa</i>	65
Diseño de la Investigación.....	65
Técnicas de Recolección de Datos	66
Validez y Confiabilidad.....	66
Técnica de Análisis de Datos	66
<i>Clasificación y Procesado de Datos</i>	66
Técnica de Comprobación de Hipótesis.....	67
Resultados de la Investigación	68
Modelamiento del Sistema Eléctrico Mediante CYMDIST.....	68

	11
Sistema de Subtransmisión de S/E Guaranda de 69KV - 13,8KV.....	68
<i>Equivalentes de Red</i>	<i>68</i>
<i>Línea de Subtransmisión.....</i>	<i>70</i>
<i>Característica de Transformadores</i>	<i>70</i>
<i>Demanda de los Alimentadores de la S/E Guaranda</i>	<i>70</i>
Descripción del Sistema de Distribución Subterránea.....	72
<i>Red Eléctrica Soterrada de Medio Voltaje en Guaranda.....</i>	<i>73</i>
<i>Instalación de Transformadores</i>	<i>74</i>
<i>Red Eléctrica Soterrada de Bajo Voltaje en Guaranda</i>	<i>76</i>
<i>Distribución de Carga de Cada Transformador</i>	<i>77</i>
Calculo de Demanda Utilizando el Método de Ardvinson	79
Proyección de Demanda Máxima Proyectada a 10 años	80
Modelamiento de Equivalentes de Red en los Puntos Frontera	81
Modelamiento de lar Subterránea de Distribución.....	81
<i>Datos de Flujos de Carga en las Líneas de Distribución.....</i>	<i>82</i>
<i>Datos de Flujo de Carga en Transformadores</i>	<i>83</i>
<i>Datos de Flujos de Carga en Líneas de Distribución Demanda</i>	
<i>Proyectada.....</i>	<i>84</i>
<i>Datos de Flujo de Carga en Transformadores Demanda Proyectada.....</i>	<i>85</i>
<i>Análisis de Cortocircuito</i>	<i>85</i>
Propuesta.....	87
Datos Informativos	87
Objetivos.....	87
<i>Objetivo General.....</i>	<i>87</i>
<i>Objetivos Específicos</i>	<i>88</i>
Fundamentación de la Propuesta	88
Diseño de la Propuesta.....	88

	12
<i>Selección de Equipos</i>	89
<i>Celdas Modulares de Línea Ormazabal</i>	90
<i>Unidad ekor.rpa 120 - P.....</i>	93
<i>Unidad Compacta de Telecontrol y Automatización Ekor.uct</i>	96
<i>Selección del Medio de Comunicación.....</i>	98
<i>Análisis de los Requerimientos para el Envío de Datos.....</i>	98
<i>Ubicación Geográfica.....</i>	99
<i>Enlace del Centro de Control - Red eléctrica Subterránea.....</i>	102
<i>Diseño del Diagrama Físico de la Red</i>	105
<i>Características Eléctricas de la Instalación</i>	106
<i>Esquema Eléctrico</i>	106
<i>Colocación de celdas tipo pedestal en los transformadores.....</i>	107
<i>Interconexión entre Elementos del Centro.....</i>	107
<i>Comunicaciones.....</i>	108
<i>Elaboración del Presupuesto del Proyecto.....</i>	108
Conclusiones.....	111
Recomendaciones.....	113
Bibliografía.....	114
Anexos	119

Índice de figuras

Figura 1 Red de distribución de energía eléctrica	25
Figura 2 Centro de transformación subterránea.....	27
Figura 3 Estructura de sistema SCADA	29
Figura 4 Estructura básica de un sistema de supervisión y mando.....	32
Figura 5 Diseño básico de un sistema SCADA	33
Figura 6 Conexión del centro de transformación.....	34
Figura 7 Conexión de Centros de Transformación.....	34
Figura 8 Celda de Distribución de Media Tensión.....	37
Figura 9 Ekor.rpa serie 100	38
Figura 10 Partes de la unidad.....	41
Figura 11 Partes del relé ekor.rpa serie 100	42
Figura 12 Transformadores de intensidad	43
Figura 13 Sensor de tensión ekor.evt-c	44
Figura 14 Ekor.utc	45
Figura 15 Componentes de la fibra óptica	49
Figura 16 Propagación de fibra monomodo.....	50
Figura 17 Propagación de fibra multimodo de índice gradual	51
Figura 18 Propagación de fibra multimodo de índice escalonado	51
Figura 19 Reflexión de la luz	52
Figura 20 Refracción de la luz: Ley de Snell.....	53
Figura 21 Zona soterrada del centro de Guaranda	72
Figura 22 Plano de red de medio voltaje.....	73
Figura 23 Diagrama Unifilar soterramiento de medio voltaje.....	74
Figura 24 Red eléctrica subterránea de bajo voltaje	76
Figura 25 Centro de transformación 1.....	77

Figura 26 Centro de Transformación 2	77
Figura 27 Centro de transformación 3.....	78
Figura 28 Centro de Transformación 4	78
Figura 29 Centro de transformación 5.....	79
Figura 30 Modelamiento de equivalente de red	81
Figura 31 Celdas en SF6 tipo pedestal	90
Figura 32 Celdas de accionamiento de líneas E/S.....	91
Figura 33 Unidad multifunción de protección, medida y control	93
Figura 34 Esquemas de funciones ekor.rpa - 120.....	95
Figura 35 Ubicación Geográfica.....	100
Figura 36 Diseño físico de la red de comunicación	106
Figura 37 Conexión de cámaras de transformación.....	106
Figura 38 Colocación de celdas tipo pedestal a los transformadores.....	107
Figura 39 Interconexión de la RTU con las celdas.....	108

Índice de tablas

Tabla 1 Celdas de Distribución.....	35
Tabla 2 Características técnicas de la unidad ekor.rpa – 110 y 120.....	39
Tabla 3 ekor.rpa serie 100-p/ekor.rpa serie 100-v.....	40
Tabla 4 Cuadro comparativo de los medios de comunicación.....	46
Tabla 5 Características de medios de comunicación.....	47
Tabla 6 Resumen de los medios de comunicación.....	48
Tabla 7 Cuadro comparativo entre los tipos de fibra óptica	51
Tabla 8 Tipos de redes PON.....	54
Tabla 9 Características comparativas de tecnología WDM	56
Tabla 10 Tipos de topología.....	57
Tabla 11 Operacionalización de las variables	62
Tabla 12 Impedancias equivalentes de fallas trifásicas a 69 kV	69
Tabla 13 Impedancias equivalentes de fallas monofásicas a 69 kV	69
Tabla 14 Parámetros técnicos de la línea de Subtransmisión	70
Tabla 15 Características de transformadores de la S/E Guaranda.....	70
Tabla 16 Demanda de los alimentadores de la S/E Guaranda	71
Tabla 17 Número de transformadores conectados a los alimentadores	71
Tabla 18. Datos técnicos de las cámaras de transformación.....	75
Tabla 19 Demanda estimada	80
Tabla 20 Demanda máxima proyectada a 10 años	80
Tabla 21 Modelamiento de la red eléctrica subterránea	82
Tabla 22 Datos de flujo de carga en líneas de distribución demanda máxima.....	83
Tabla 23 Datos de flujo de carga en transformadores demanda máxima	84
Tabla 24 Datos en líneas de distribución demanda proyectada	84
Tabla 25 Datos de flujo de carga transformadores demanda máxima	85

Tabla 26 Corriente de cortocircuito de cresta [I_p]	86
Tabla 27 Corriente de régimen permanente [I_k]	86
Tabla 28 Características eléctricas de la celda de línea Ormazabal	91
Tabla 29 Características eléctricas de la celda de protección con fusible	93
Tabla 30 Características de transformadores toroidales de intensidad de fase	95
Tabla 31 Características de los Sensores de tensión ekor.evt – c	96
Tabla 32 Características de ekor.uct	97
Tabla 33 Características técnicas de ekor.ccp	98
Tabla 34. Ubicación en UTM	101
Tabla 35. Distancias entre los diferentes enlaces	101
Tabla 36 Detalles de equipos	104
Tabla 37 Presupuesto del medio de comunicación	109
Tabla 38 Presupuesto de los equipos del control y medida	109
Tabla 39 Presupuesto Total del Proyecto	110

Resumen

El presente proyecto de titulación, abarca la realización del diseño de un sistema SCADA con el objetivo de optimizar la eficiencia operativa, mejorar la calidad de servicio, productividad y la continuidad del suministro eléctrico, este SCADA será implementado en el centro de operaciones Bolívar, y permita realizar la supervisión control y adquisición de datos en tiempo real del comportamiento eléctrico la red de distribución subterránea provenientes de los alimentadores 1 de Mayo y Maldonado pertenecientes a la Subestación Guaranda, por lo cual se realiza un análisis de comportamiento eléctrico de la red subterránea, para ello mediante la utilización del software CYMDIST se procede hacer un análisis del sistema haciendo uso de la herramienta flujos de potencia en condiciones actuales y también con una demanda proyectada a 10 años, obteniendo los parámetros necesarios para la selección de elementos de protección y medida de la red de medio voltaje, así también se realiza el estudio para la selección del medio de comunicación más óptimo, siendo este fibra óptica y de tecnología DWDM, además se define la ruta del tendido de fibra óptica aérea y subterránea y la selección del equipo de comunicación como la ONT y OLT que deben ser del mismo fabricante para comunicar la RTU del centro de transformación hasta el Centro de Control Bolívar, finalmente se realiza un presupuesto referencial de la implementación del sistema SCADA.

Palabras clave:

- **SISTEMA SCADA**
- **RED SUBTERRÁNEA**
- **FIBRA ÓPTICA**

Abstract

This degree project covers the design of a SCADA system with the objective of optimizing operational efficiency, improving the quality of service, productivity and continuity of electricity supply, this SCADA will be implemented in the Bolivar operations center, and allows the supervision, control and acquisition of real-time data on the electrical behavior of the subway distribution network from the feeders 1 de Mayo and Maldonado belonging to the Guaranda substation, for which an analysis of the electrical behavior of the subway network was performed, For this purpose, using CYMDIST software, an analysis of the system was made using the power flow tool under current conditions and also with a projected 10-year demand, obtaining the necessary parameters for the selection of protection and measurement elements of the medium voltage network, as well as the study for the selection of the most optimal means of communication, In addition, the route of the aerial and subway fiber optic laying is defined, as well as the selection of the communication equipment such as the ONT and OLT that must be of the same manufacturer to communicate the RTU from the transformation Center to the Bolivar Control center. Finally, a referential budget was made for the implementation of the SCADA system.

Key words:

- **SCADA SYSTEM**
- **SUBWAY NETWORK**
- **OPTICAL FIBER**

CAPÍTULO I

1. Contenidos Generales

1.1. Planteamiento del Problema

La Corporación Nacional de Electricidad Unidad de Negocio CNEL – EP Bolívar en una entidad que se dedica a la comercialización y distribución de energía eléctrica a sus usuarios.

En la actualidad se encuentra instalada una red de distribución de energía eléctrica subterránea de medio y bajo voltaje en el centro de la ciudad de Guaranda provenientes de los alimentadores 1° de Mayo y Maldonado con una distancia aproximada de 1,4 Km, la cual no cuenta con una debida supervisión y control de los parámetros eléctricos; partiendo del hecho de la dificultad de localizar las fallas, identificar sobrecargas, el difícil mantenimiento y además de estar expuesto a la humedad; la red de distribución subterránea, también tiene otros problemas propios, estos problemas provocan discontinuidad en el servicio de energía eléctrica los cuales provocan una serie de daños tanto en aparatos eléctricos residenciales como comerciales.

Por el mismo motivo se presentan problemas en los tiempos de identificación y reparación de fallas, para atender a usuarios que se quedaron sin servicio, ya que los usuarios se ven afectados cuando existe una falla en la red subterránea en la ciudad de Guaranda, quedándose sin servicio eléctrico durante un largo periodo hasta su reconexión, por ende, lo primordial es que el tiempo de duración sea corto con el fin de seguir ofreciendo un servicio de energía confiable.

Por lo que existe la necesidad de la Corporación Nacional de Electricidad Bolívar en tener un estudio técnico - económico factible para la implementación de un sistema SCADA con el fin de monitorear los parámetros eléctricos de la red subterránea del centro de Guaranda.

1.2. Antecedentes

El Ecuador ha visto una necesidad de modernizar la infraestructura eléctrica actual, pasando de las convencionales redes aéreas a redes eléctricas soterradas, teniendo como objetivo mejorar la imagen de las ciudades con la disminución de la contaminación visual a causa de las redes aéreas, optimizar espacios, a fin de mejorar la calidad de servicio a los clientes.

En el acuerdo Ministerial MEER N° 211, artículo 4, se encuentra dispuesto que cada empresa de distribución eléctrica del país, deben considerar cambiar las redes aéreas a soterradas en varios lugares como, por ejemplo: centros históricos y turísticos, patrimonios culturales, accesos a ciudades y puertos, aeropuertos, etc.

Por la misma razón, la ciudad de Guaranda perteneciente a la provincia de Bolívar, cambió su infraestructura eléctrica de redes aéreas a soterrar las redes eléctricas y de telecomunicaciones en el acceso principal y el centro histórico el cual comprende alrededor de 21 manzanas con el fin de mejorar la imagen de la ciudad y modernizar las redes eléctricas y de telecomunicaciones.

Este sector del área soterrada se encuentra conectada en anillo con operación radial, la energización proviene desde la subestación Guaranda a nivel de 13,8 kV a través de dos alimentadores: 1° de Mayo y Maldonado.

Al presente, la red subterránea no se conoce su actual funcionamiento además el acceso a las cámaras de transformación y los ductos es complicado por el mismo motivo se desea implementar equipos de medida y protección con monitoreo remoto desde el centro de operaciones Bolívar.

1.3. Justificación e Importancia

El presente proyecto de investigación se basa en el interés de obtener un sistema SCADA eléctrico con el fin de mantener confiable el suministro de energía a

los consumidores, permitiendo monitorear el proceso de distribución eléctrica en tiempo real de la red eléctrica subterránea perteneciente a CNEL EP Bolívar.

La Automatización en una red eléctrica subterránea, es esencial para la calidad de servicio de energía eléctrica, ya que disminuye los tiempos de respuesta, recolecta y entrega datos elementales para realizar la toma de decisiones o análisis, además de permitir la simulación de los escenarios, entre otras funcionalidades asimismo se puede obtener registros inmediatos de las causas o efectos de las fallas y sobrecargas en el sistema permitiendo generar soluciones adecuadas para disminuir posibles fallas futuras.

El estudio resulta factible ya que el personal de la CNEL EP Bolívar esta presto a brindar la información necesaria para el desarrollo del mismo, además se contará con el asesoramiento profesional, personal adecuado y capacitado para llevarlo a cabo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Estudiar el sistema eléctrico de la red subterránea de la parte céntrica de Guaranda mediante el análisis del comportamiento eléctrico con el fin de realizar una propuesta para la implementación de un sistema SCADA.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Realizar una investigación bibliográfica acerca del funcionamiento de un sistema SCADA para una red de distribución eléctrica en medio voltaje.
- Realizar el levantamiento de información de la red subterránea del centro de la ciudad de Guaranda.

- Modelar la red y realizar simulaciones utilizando un software computacional para definir distintos escenarios de operación de los alimentadores 1° de Mayo y Maldonado.
- Seleccionar los equipos de medición, interfaces y protocolos de comunicación requeridos para el sistema SCADA en el Centro de Control de Bolívar.
- Recolectar información referente a equipos de protección en base a los datos proporcionada por CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar.
- Proponer un diseño basado en el monitoreo, supervisión y adquisición de datos para la red eléctrica subterránea del centro de la ciudad de Guaranda.
- Establecer un presupuesto referencial de lo que implicaría implementar el diseño del sistema SCADA en el Centro de Control de Bolívar.

CAPÍTULO II

2. Marco Teórico

2.1. Antecedentes Investigativos

Los sistemas de monitoreo y adquisición de datos dentro de una subestación eléctrica actualmente se están manejando bajo los sistemas SCADA, que han evolucionado hasta integrar interfaces de hardware y software.

La automatización es considerada como una disciplina de la ingeniería, incluye todo lo relacionado con la instrumentación industrial, comprende sensores y transmisores de campo, sistema de transmisión y recolección de datos, sistemas de control y supervisión de los mismos y las aplicaciones de software en tiempo real para el monitorear las operaciones de plantas o procesos industriales

(Vite, 2015) realiza un estudio de la operación de los sistemas de monitoreo y supervisión vía remota, cuyo objetivo principal es describir la estructura y la arquitectura de un sistema SCADA y al final como resultados obtenidos, en base al análisis de dichos sistemas SCADAs, se logró plantear una propuesta metodológica para configurar por medio de un software utilizado en la empresa SEL, una subestación eléctrica de 69 kV, que bien puede ser instalada en alguna empresa o industria.

(Estefan, Pais, & Portas, 2013) mencionan en su proyecto lo importante de implementar automatismos en redes de distribución eléctrica con el fin de mejorar la calidad de servicio que se brinda a los clientes; el objetivo fundamental de implementar el automatismo en la red de distribución de UTE (Usinas y Transmisiones eléctricas) y en cuanto ocurra una falla, aislarla y reducir la zona o el número de clientes sin energía, así solucionando el problema mediante el automatismo realizando la regulación de tensión en cargas alimentadas de

estaciones que se encuentran en las zonas que presenten un consumo elevado de energía.

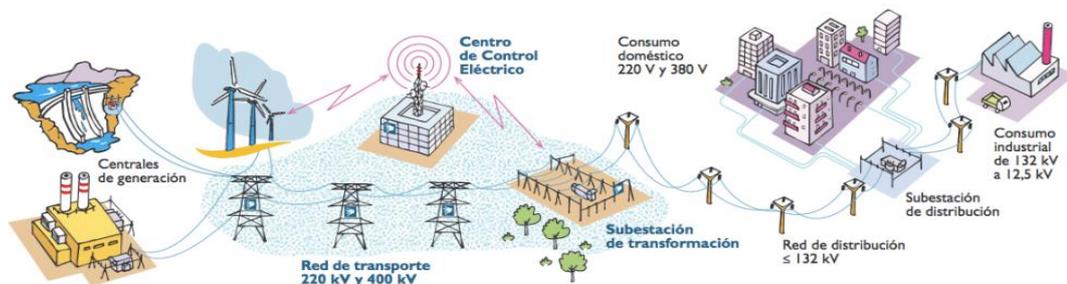
(Estefan, Pais, & Portas, 2013) realizaron un proyecto que tiene como propósito el diseño y la implementación de un sistema SCADA local mediante estándar IEC 61850 para las celdas de distribución eléctrica de las subestaciones de la Empresa Eléctrica Provincial Cotopaxi S.A. lo cual permite realizar la supervisión, control y monitoreo de los parámetros voltaje, corriente y potencia de las celdas de distribución eléctrica de las subestaciones de ELEPCO S.A., por lo cual diseñaron una interface gráfica HMI utilizando LabVIEW 2012, cuya interfaz permite observar las pantallas con los diagramas unifilares de cada subestación y sus parámetros eléctricos medidos en tiempo real.

(EERSSA, s.f.) Realizaron una memoria técnica sobre el proyecto técnico – económico para el soterramiento de redes eléctricas de media y baja tensión, alumbrado público y telecomunicaciones, del sector del centro de Loja, el cual utilizarán transformadores convencionales sumergibles colocados en cámaras subterráneas, en lo referente a los sistemas de operación y protección del proyecto se tiene previsto la utilización de celdas modulares con aislamiento en SF6 y tecnología de corte del arco en vacío o SF6, para una voltaje de operación de hasta 24kV, con accionamiento de cierre-apertura motorizada, con interconexión con el centro de control con RTU con sistema de comunicación fibra óptica- Ethernet.

2.2. Fundamentación Teórica

2.2.1. Red de Distribución de Energía Eléctrica

El sistema de distribución de energía eléctrica forma parte del sistema de suministro eléctrico cuya función principal es suministrar la energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales. (Dotres, s.f.)

Figura 1*Red de distribución de energía eléctrica*

Nota. La figura representa el esquema de una red de distribución eléctrica. Tomado de (Gonzalez, 2015)

La afectividad con que las redes de distribución realizan esta función se mide en términos de regulación de voltaje, continuidad del servicio, flexibilidad, eficiencia y costo. Así, las redes de distribución deben brindar servicio con un mínimo de variaciones del voltaje y un mínimo de interrupciones. Las interrupciones del servicio deben ser de corta duración y afectar al menor número posible de consumidores. El costo total, incluyendo construcción, operación y mantenimiento del sistema, debe ser lo más económico posible, en dependencia de la calidad del servicio requerido por la carga en cuestión. (Dotres, s.f.)

El sistema debe ser flexible para permitir exposiciones pequeñas y cambios en las condiciones de carga con un mínimo de modificaciones y gastos. El diseño, construcción, mantenimiento y operación de las redes de distribución son factores muy importantes a considerar para poder brindar un servicio eléctrico de calidad a un costo razonable. (Dotres, s.f.)

2.2.2. Características de los Sistemas de Distribución

Las redes de distribución presentan características muy particulares y que los diferencian de las de transmisión. Entre éstas se distinguen:

- Topologías radiales
- Múltiples conexiones (monofásicas, bifásicas, etc)
- Cargas de distinta naturaleza
- Líneas de resistencia comparables a la reactancia
- Líneas sin transposiciones (Muños Montecinos, 1989)

Los sistemas de distribución son típicamente radiales, el flujo de potencia surge sólo de un nudo. Este nudo principal se reconoce como la subestación que alimenta al resto de la red. En la subestación se reduce el voltaje del nivel de alta tensión “**A.T.**”, al de media tensión “**M.T.**”.

La distribución de energía eléctrica se realiza en media o baja tensión. Las cargas residenciales y comerciales se alimentan en la red de baja tensión, a diferencia de las cargas industriales que se alimentan en media o alta tensión dependiendo del tipo de carga. (Muños Montecinos, 1989)

2.2.3. Redes de Distribución Subterráneas

Son aquellas en las cuales los alimentadores primarios, ramales, transformadores, etc., se hallan bajo tierra. Los conductores pueden hallarse situados en conductos soterrados directamente en la tierra y los transformadores, interruptores, seccionalizadores, etc., se hallan en cámaras que pueden encontrarse en los edificios o comercios existentes o bien bajo tierra. (Dotres, s.f.)

Figura 2

Centro de transformación subterránea



Nota. En la imagen se muestra una cámara de transformación subterráneas y los equipos que lo conforman. Tomado de (Barroso, 2021)

2.2.4. Automatización de Redes Eléctricas

La automatización es la sustitución de la acción humana por mecanismos, independientes o no entre sí, movidos por una fuente de energía exterior, capaces de realizar ciclos completos de operaciones que se pueden repetir indefinidamente. (Sánchez, 2015)

Un sistema automático supone siempre la presencia de una fuente de energía, de unos órganos de mando, que son los que ordenan el ciclo a realizar, y de unos órganos de trabajo, que son los que los ejecutan. Podemos definir un sistema como un conjunto de componentes físicos, unidos o relacionados de tal manera que forman y/o actúan como una unidad completa (Sánchez, 2015)

2.2.5. Objetivos de la Automatización de Redes Eléctrica

La automatización tiene como objetivo principal el mejorar la calidad y continuidad del servicio eléctrico, con el fin de alcanzar las siguientes metas:

Minimizar el Impacto de las Fallas en el Sistema Eléctrico. Esto se puede alcanzar: optimizando la operación a través del funcionamiento selectivo y coordinado de las protecciones, separando adecuadamente cualquier subsistema existente e implantando nuevos esquemas de protección (sean fijos o adaptivos, si

se justifican); y coordinando los esquemas de separación de subsistemas con el control/protección de la generación propia que pueda existir. (Sánchez, 2015)

Minimizar el Tiempo de Restauración de la Interconexión con el Sistema externo. Para esto se debe contar con información suficiente para obtener un diagnóstico inmediato que agilice la toma de decisiones sobre ajustes o maniobras que deben realizarse secuencialmente; y automatizar las maniobras de sincronización y secuencias de conexión (Sánchez, 2015)

2.2.6. Sistema Automatizado de Distribución (SAD)

Un Sistema Automatizado de Distribución SAD, es una combinación de sistemas automatizados que le permite a una empresa de energía, planear, coordinar, operar y controlar algunos o todos los componentes de su sistema eléctrico, en tiempo real o fuera de línea. Los principales elementos que componen un Sistema Automático de Distribución pueden clasificarse así: (Sánchez, 2015)

- Smart Grids
- Sistema SCADA EMS/DMS
- Sistemas de comunicación
- Equipos de maniobra
- Sistemas de Desconexión Automática de Generación y Demanda. (Sánchez, 2015)

2.2.7. Sistemas SCADA

Un Sistema SCADA es un sistema basado en computadoras que permite supervisar y controlar a distancia una instalación. A diferencia de los Sistemas de Control Distribuido, capaces de realizar las acciones de control en forma automática, el lazo de control es generalmente cerrado por el operador. Hoy en día es fácil hallar un sistema SCADA realizando labores de control automático en cualquiera de sus

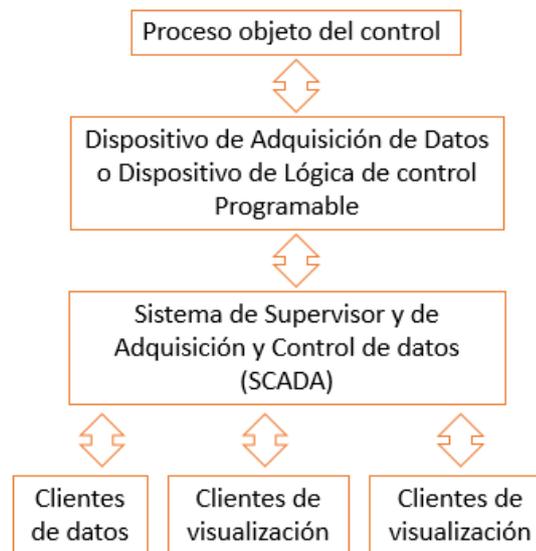
niveles, aunque su labor principal sea de supervisión y control por parte del operador. (Sánchez, 2015)

El flujo de la información en los sistemas SCADA es como se describe a continuación: El fenómeno físico lo constituye la variable que deseamos medir. Dependiendo del proceso, la naturaleza del fenómeno es muy diversa: presión, temperatura, flujo, potencia, intensidad de corriente, voltaje, etc. Este fenómeno debe traducirse a una variable que sea inteligible para el sistema SCADA, es decir, en una variable eléctrica. (Sánchez, 2015)

Esquemáticamente un sistema SCADA conectado a un proceso automatizado consta de las siguientes partes.

Figura 3

Estructura de sistema SCADA



Nota. En la imagen se identifica la estructura que tiene un sistema SCADA.

Proceso Objeto del Control. Es el proceso que se desea supervisar. En consecuencia, es el origen de los datos que se quieren coleccionar y distribuir.

Adquisición de Datos. Son un conjunto de instrumentos de medición dotados de alguna interface de comunicación que permita interconexión.

SCADA. Combinación de hardware y software que permita la colección y visualización de los datos proporcionados por los instrumentos.

Clientes. Conjunto de aplicaciones que utilizan los datos obtenidos por el sistema Scada.

En particular, como señala Christian Candela, Gerente de Energy Automation en Siemens, el principal objetivo de un sistema SCADA eléctrico es mantener confiable el suministro de energía a los consumidores, permitiendo monitorear, controlar y optimizar el proceso de transmisión y distribución eléctrica en tiempo real. “Si bien parece un rol simple, es un tema muy complejo que depende, entre otros factores, de la matriz de generación, las condiciones geográficas del país, los diferentes tipos de consumidores, y el nivel de automatización de las distintas redes”. (EMB, 2012).

Los beneficios de los sistemas Scada:

- Centralización de la información.
- Integración de diferentes equipos inteligentes de supervisión o análisis.
- Compatibilidad con múltiples restauradores.
- Mejoramiento de la calidad de servicio.
- Aumento de la confiabilidad de sus sistemas.
- Aumento de la disponibilidad de sus sistemas.
- Manejo eficiente de la energía.
- Accesibilidad de la información desde cualquier nivel de la empresa.
- Reducción de costos de supervisión, operación y mantenimiento.
- Generación de información para facturación.
- Apoyo al mantenimiento de las redes de distribución
- Mejora la información para las decisiones de ingeniería y planificación

- Detección de fallas y restablecimiento automático del servicio.

(Sánchez, 2015)

2.2.7.1. Componentes de un Sistema SCADA

Un sistema SCADA está conformada por los siguientes elementos básicos:

MTU (Master Terminal Unit). “Dentro de los sistemas SCADA la MTU se encarga de procesar la información proveniente de la red de automatización y presentarla de manera comprensible al operador, además de ser considerada el cerebro de la instalación de control y supervisión, se le admite acceso ilimitado a todos y cada uno de los componentes locales y remotos del sistema.” (Yacchirema, 2016)

RTU (Remote Terminal Unit). “La unidad terminal remota son todos los equipos encargados de la adquisición de datos y control de planta, así como de la comunicación con la MTU.” (Yacchirema, 2016)

IED (Intelligent Electronic Devices). “Equipos con capacidad de autogestión, poseen funciones de auto-chequeo, auto-diagnostico e incluso almacena datos históricos. Los IED permiten eliminar la redundancia en los equipos debido a la integración de múltiples funciones en un solo dispositivo y están ubicados en cada alimentador, transformadores y líneas de subestaciones.” (Yacchirema, 2016)

HMI (Human-Machine Interface). “La interfaz humano-máquina facilita la interacción entre el usuario y el sistema de control, ésta interfaz gráfica puede ser un panel táctil o una PC industrial conectada a un PLC.” (Yacchirema, 2016)

Enlace de Comunicación. “Es el nexo de unión entre la MTU y la RTU siendo los medios de comunicación más utilizados la radio, el satélite, las líneas telefónicas analógicas y digitales, conexiones vía cable o fibra óptica.” (Yacchirema, 2016)

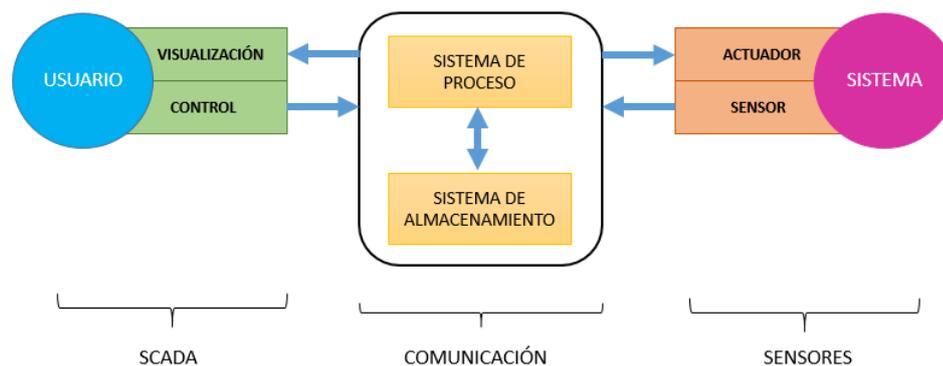
2.2.7.2. Arquitectura de un Sistema SCADA

Los primeros monitoreos realizados sobre industrias y corporaciones eran recibidas a un computador personal y se empezaban a distribuir los mandos de control, proceso que se muestra en la Figura 5. Por eso, un sistema estaría conformado por:

- Software de adquisición de datos (SCADA).
- Sistemas encargados de los mandos (sensores).
- Canales de interconexiones (comunicación). (Velasco Burbano, 2017)

Figura 4

Estructura básica de un sistema de supervisión y mando



Nota. En la imagen muestra la estructura básica del sistema de supervisión y mando.

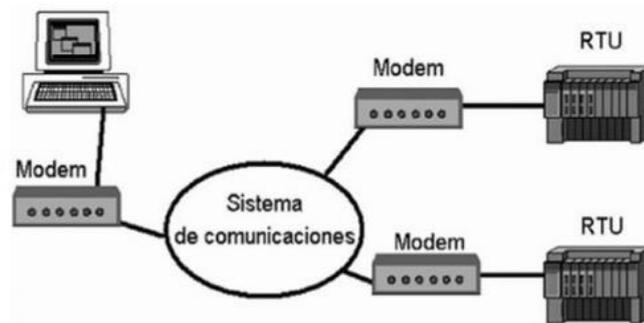
Un sistema SCADA está diseñado específicamente para operar sobre computadoras para el control y monitoreo de los dispositivos de campo que establecen las comunicaciones para este fin. Esos dispositivos de campo son también llamados Unidades Remotas, donde se encuentran controladores autónomos que procesan los comandos de control desde un monitor conectado con el centro de control. (Velasco Burbano, 2017)

Estos sistemas SCADA, como muestra la Figura 6 trabajan con un modo de **MAESTRO/ESCLAVO**. El maestro es la estación central, se establecen

comunicaciones con las estaciones (esclavos) para recolectar toda la información o datos necesarios, con el fin de generar acciones favorables al sistema. (Velasco Burbano, 2017)

Figura 5

Diseño básico de un sistema SCADA



Nota. En la figura el diseño básico del sistema SCADA. Tomado de (Penin, 2012)

La Unidad Terminal Remota (RTU) se conecta a un equipo físico. Típicamente, una RTU convierte las señales eléctricas desde el equipo a valores digitales tales como el estado abierto/cerrado de un interruptor o una válvula, o mediciones tales como la presión, flujo, tensión o corriente. Mediante la conversión y el envío de estas señales eléctricas a los equipos de la RTU puede controlar los equipos, tales como la apertura o el cierre de un interruptor o una válvula, o poner la velocidad de una bomba.

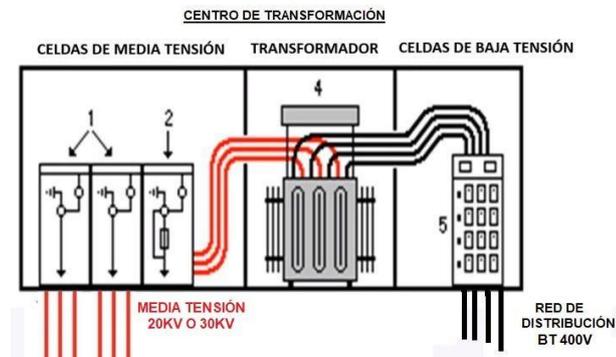
2.2.8. Monitoreo de Centros de Transformación de Media Tensión

La automatización control y monitoreo de la red de distribución de media tensión se ha demostrado como una clara gestión de avance de la calidad de suministro en gran parte de las empresas de distribución de energía eléctrica.

En lo referente a la red subterránea para la operación y protección se utiliza celdas modulares con aislamiento en SF6 de media tensión, existen varios tipos de celdas: celdas de línea, de protección, de medición, etc.

Figura 6

Conexión del centro de transformación



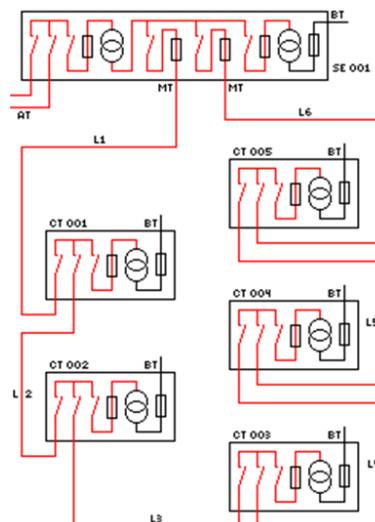
Nota. en la imagen se muestra la conexión de las celdas de media tensión al transformador. Tomado de (Anónimo, s.f.)

2.2.8.1. Conexión de Centros de Transformación

Generalmente de redes subterráneas de distribución de media tensión está conectada con configuración en anillo y cuenta con 2 o más fuentes de alimentación con operación radial con un punto normalmente abierto en el centro de carga.

Figura 7

Conexión de Centros de Transformación



Nota. En la imagen se muestra la conexión de las celdas secundarias de media tensión a los transformadores. Tomado de (Geocities, s.f.)

2.2.9. Celdas de Distribución

Se entiende por celda el conjunto de equipos eléctricos (seccionadores, interruptores, etc.) prefabricados bajo envolvente metálica, provista de una o varias unidades funcionales, ya sea de línea, de protección, de medición o una combinación de las anteriores. (chilectra; EDESUR; ampla; CODENSA; edelnor; coelce, 2013)

Tabla 1

Celdas de Distribución

	Primarias	Secundarias
Nivel de tensión	24 kV y 36 KV	
Corriente nominal en barras	≤ 4000 A	400A/600A (Eventualmente 1250A)
Corriente de cortocircuito	≤ 50 Ka	≤ 25kA
Corriente de arco	≤ 40 kA 1seg ≤50kA 0,5 seg	20 kA 1 seg
Tipo de equipamiento	Interruptor/Contactor Vacío o SF6 Extraíble	Seccionador bajo carga en SF6 Interruptor fijo en vacío o SF6
Aplicaciones		
Distribución Pública	Estaciones Transformadoras HV/MV MV/MV	Centros de distribución MV/LV
Distribución Privada	Industria pesada Grandes obras de infraestructura (puertos, aeropuertos, túneles, etc.)	Industria liviana/mediana Grandes edificios Infraestructuras (terciaria, hospitales, etc.)

Nota. En la tabla se muestra las especificaciones y las aplicaciones de las celdas de distribución. Tomado de (Melo, 2020)

2.2.10. Celdas de distribución secundarias en MT ORMAZABAL

Las celdas presentan soluciones para la red distribución (DNS) fiables y eficaces para todo tipo de instalación en media tensión, desde distribución pública hasta infraestructuras, desde instalaciones terciarias hasta instalaciones industriales y desde parques eólicos hasta plantas fotovoltaicas. (ECTRICOL, 2020)

Ventajas y beneficios

Seguridad

- Arco interno
- Estanqueidad hermética
- Enclavamientos mecánicos y eléctricos
- Indicadores (sinópticos, tensión, alarma) (ECTRICOL, 2020)

Fiabilidad

- Sostenibilidad ambiental
- Ensayo de inmersión durante 24h
- Ensayo de rutina al 100% (estanqueidad, frecuencia industrial)
(ECTRICOL, 2020)

Eficiencia

- Modularidad
- Extensibilidad y sustitución
- Preparado para redes inteligentes
- Ergonómicos (ECTRICOL, 2020)

Sostenibilidad e innovación continua

- Esfuerzos continuos para reducir emisiones de gas
- Ayuda a mantener la continuidad del suministro
- Integración de unidades en protección y automatización (ECTRICOL, 2020)

La normativa utilizada por parte de las Celdas de distribución secundarias en media tensión ORMAZABAL es IEC 62271 – Normativa internacional de Apararmenta de Distribución

Figura 8

Celda de Distribución de Media Tensión



Nota. En la imagen muestra las celdas de distribución secundaria en media tensión.

Tomado de (Ormazabal Velatia, 2020)

Unidades funcionales modulares

- Línea (L)
- Protección con fusible (P)
- Protección con interruptor automático (V)
- Interruptor pasante (S)
- Remonte de barras (RB)
- Remonte de cables (RC)
- Medida (M)

2.2.11. Ekor.RPA Serie 100

Las necesidades de automatización en las redes de distribución, como consecuencia de una mayor exigencia en la calidad de suministro, hacen que sea

cada vez más necesario y extendido el uso de equipos que permitan realizar funciones de supervisión de medida y control del interruptor en las celdas de distribución. (Ormazabal Velatia, 2020)

Todos los relés de la serie ekor.rpa serie 100 incorporan un microprocesador para el tratamiento de las señales de los sensores/transformadores de medida. Procesan las medidas de tensión e intensidad, eliminando la influencia de fenómenos transitorios, y calculan las magnitudes necesarias para realizar las funciones de protección de intensidad y tensión, automatismos, etc. Asimismo, determinan los valores eficaces de las medidas eléctricas, que informan del valor instantáneo de dichos parámetros en la instalación. (Ormazabal Velatia, 2020)

Figura 9

Ekor.rpa serie 100



Nota. En la imagen se muestra el modelo de la Unidad multifunción de protección, medida y control. Tomado de (Ormazabal Velatia, 2020)

En la siguiente tabla se muestra las características técnicas de la unidad ekor.rpa serie 100, que se divide en ekor.rpa-110 y ekor.rpa-120, cada una con especificaciones distintas.

Tabla 2

Características técnicas de la unidad ekor.rpa – 110 y 120

Características Técnicas			
Ekor.rpa		Ekor.rpa-110	Ekor.rpa-120
Características Generales			
24/48/125V _{cc}		●	●
Entradas analógicas de corriente		4 + I ₀ ¹	4 + I ₀ ¹
Entradas analógicas de tensión ²			3 + V ₀ ¹
Entradas/salidas digitales configurables		9/4	9/4
Grupos de ajustes		1	1
Funciones de Protección			
50-51[1]-51[2]	50-51[1]-51[2]	50Ns-51Ns	●
46	46BC		●
67	67N ³	67Ns ³	●
49			●
27	59	59N	●
Medidas			
Corriente		●	●
Tensión Potencia activa/reactiva/aparente			●
Energía P+, P-, Q1, ..., Q4 Angulo Phi (φ)			●
Control y Supervisión			
Funcionamiento y control de interruptor automático		Bloqueo 86	●
Supervisión de bobina de disparo (TCS)		Presencia/ausencia de tensión	●
Registro de eventos		4000	4000
Registro de fallas		10	10
LED/LED Configurable		4/0	4/0
Disparo bloqueado por 2° armónico		●	●
Reenganchador (79)		●	●
Configuración mediante software		●	●
Configuración vía web		●	●
Puertos de comunicación delanteros		● miniusb	● miniusb
Puertos de comunicación traseros		● RS-485	● RS-485
Comunicaciones: serie			
MODBUS – RTU	PROCOME	●	●
Comunicaciones: IP			
MODBUS – TCP	DNP3.TCP	○	○
CEI 60870-5-104	CEI 61850	○	○

Nota: 1 calculada

2 capacidades de detección dependiendo de características del modulo

3 angular y batimétrico

Configuración: ● Estándar ○ Opcional. Tomado de (Ormazabal, s.f.)

Las unidades también se subdividen en 2 tipos diferentes de protección, además incluyen esta función de telecontrol como muestra la siguiente tabla:

Tabla 3

ekor.rpa serie 100-p/ekor.rpa serie 100-v

Unidad	Tipo de celda
Ekor.rpa serie 100 tipo = p	Interruptor combinado con fusible
Ekor.rpa serie 100 tipo = v	Interruptor automático

Nota: En la imagen se muestra los tipos de modelos que existen de protección a transformar y de línea. Tomado de (Ormazabal Velatia, 2020)

“Las principales aplicaciones en las que se utilizan las unidades de tipo **v** (*interruptor automático*) son: protección general de líneas, instalaciones de cliente, transformadores, bancos de condensadores, etc. La unidad dispone de entradas y salidas para la supervisión y el control del interruptor”. (Ormazabal Velatia, 2020)

“En caso de las unidades de tipo **p** (*interruptor con fusibles*), todas las funciones de protección son realizadas por la unidad electrónica, salvo los cortocircuitos polifásicos de valor alto, que se producen en el primario del transformador. Dispone de entradas y salidas para la supervisión y el control del interruptor”. (Ormazabal Velatia, 2020)

Partes de la unidad

Las partes que integran la serie de unidades de protección, medida y control ekor.rpa-100 son el relé electrónico, los sensores de tensión y transformadores de intensidad, los circuitos auxiliares (bornero y cableado), el disparador biestable “Binox” y la bobina de disparo. (Ormazabal Velatia, 2020)

Figura 10*Partes de la unidad*

Nota. En la imagen se muestra las partes del montaje en celda de la unidad ekor.rpa serie 100. Tomado de (Ormazabal, s.f.)

I. Ekor.rpa – 100

1. Pantalla
2. Teclado de menú
3. Puertos de comunicaciones
4. LED estados

II. Aparamenta

5. Interruptor automático
6. Seccionador de puesta a tierra
7. Indicador de tensión (ekor.ivds)
8. Transformadores de corriente
9. Sensor de tensión del cable de MT (ekor.evt-c)
10. Sensor de tensión del juego de barras de MT (ekor.evt-c)

2.2.11.1. Relé Electrónico

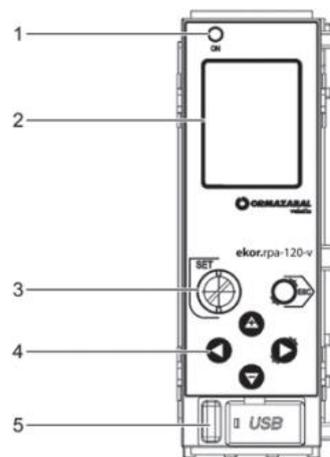
El relé electrónico dispone de teclas y display para visualizar y ajustar los parámetros de protección y control. El display proporciona información de las medidas del equipo, alarmas y señales de control en tiempo real. (Ormazabal Velatia, 2020)

El equipo dispone de 2 puertos Ethernet traseros para configuración, un puerto mini-USB frontal para mantenimiento, y un puerto trasero de comunicación RS-485 para telecontrol en un bus local. Los protocolos de comunicación estándar para todos los modelos son MODBUS y PROCOME esclavo. (Ormazabal Velatia, 2020)

El equipo dispone, en todas sus variantes, de 9 entradas y 4 salidas. Tanto entradas como salidas están protegidas contra activaciones/desactivaciones indeseadas. (Ormazabal Velatia, 2020)

Figura 11

Partes del relé ekor.rpa serie 100



Nota. En la imagen se muestra una identificación de los elementos disponibles en el frontal del relé ekor.rpa serie 100. Tomado de (Ormazabal Velatia, 2020)

1. LED de señalización "ON"
2. Display de visualización de medidas y parámetros de ajustes
3. Tecla SET
4. Tecla para desplazarse por pantallas
5. Puerto de mantenimiento mini-USB. (Ormazabal Velatia, 2020)

2.2.11.2. Transformadores de Intensidad

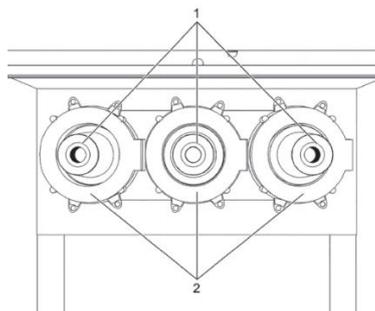
Los transformadores de intensidad son transformadores toroidales de relación 300/1 A, 1000/1 A o 2500/1 A. Con estos transformadores, se cubre todo el rango de funcionamiento de las celdas de Ormazabal, desde intensidades nominales de 5 A hasta 2500 A. (Ormazabal Velatia, 2020)

Los toroidales de fase van instalados desde fábrica en los pasatapas de las celdas, lo que simplifica notablemente el montaje y conexionado en campo. De este modo, una vez se conectan los cables de media tensión a la celda, quedaría operativa la protección de la instalación. Los errores de instalación de los transformadores, debido a las mallas de tierra, polaridades, etc., se eliminan al ir instalados y comprobados directamente desde fábrica. (Ormazabal Velatia, 2020)

Todos los transformadores de intensidad tienen una protección integrada contra apertura de los circuitos secundarios, que evita la aparición de sobretensiones. (Ormazabal Velatia, 2020)

Figura 12

Transformadores de intensidad



Nota. en la imagen se observa la ubicación de los transformadores de intensidad.

Tomado de (Ormazabal Velatia, 2020)

1. Pasatapas
2. Transformadores de intensidad

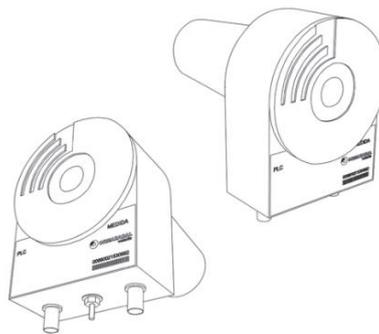
2.2.11.3. Sensores de Tensión

La medida de la tensión en la celda se realiza mediante un acoplo capacitivo incorporado en el propio pasatapas de la celda. No obstante, se pueden utilizar sensores capacitivos ekor.evt-c de Ormazabal si se desea precisión sin necesidad de calibrar. Se trata de sensores de tensión de tipo divisor capacitivo para celdas de aislamiento en gas. (Ormazabal Velatia, 2020)

Están diseñados para permitir su montaje tanto en conectores separables en T como en barras. Su funcionamiento es autónomo y pasivo (sin alimentación auxiliar externa), con salida analógica de baja tensión y baja potencia, aplicable directamente sin acondicionamiento previo a los sistemas de medida. Puede ser instalado en sistemas de Automatización y supervisión de media tensión en redes de hasta 36 kV. Además, puede medir descargas parciales y establecer una comunicación vía PLC. (Ormazabal Velatia, 2020)

Figura 13

Sensor de tensión ekor.evt-c



Nota. En la imagen se observa el sensor ekor.evt-c que se encuentra integrado en la celda. Tomado de (Ormazabal Velatia, 2020)

2.2.12. Ekor.uct

Unidad compacta de telecontrol desarrollada para la automatización y telemando de celdas equipadas con control integrado en Centros de Transformación y Centros de Reparto. Incluye las funciones de alimentación segura, terminal remota y comunicaciones. (Ormazabal, Automatización y Telecontrol, s.f.)

Diseñada principalmente para gobernar celdas equipadas con control integrado, la unidad ekor.uct es independiente del número de celdas del Centro y de su configuración, aportando un alto grado de normalización. (Ormazabal, 2016)

Se presenta en dos formatos: ekor.uct-s (sobre celda) que permite su utilización en centros en los que el espacio disponible está comprometido por accesos o pasillos de maniobra, y ekor.uct-m (mural) para instalación sobre pared. (Ormazabal, 2016)

Figura 14

Ekor.uct



Nota. En la imagen se muestra la RTU de marca Ormazabal. Tomado de (Ormazabal, 2016)

La unidad compacta de telemando dispone de todos los elementos necesarios para poder realizar el telemando y la automatización del centro de transformación y de reparto, se caracteriza porque incluye la unidad ekor.ccp, alimentación interrumpida y aislamiento de baja tensión en un mismo equipo. (Ormazabal, 2011)

También proporciona el espacio necesario para el dispositivo de comunicaciones que haría la comunicación real con el centro principal de telemando. (Ormazabal, 2011)

2.2.13. Redes de Comunicación

“En las redes de datos la información se transmite a través de señales eléctricas, ópticas o radiofrecuencia, a través de un medio de transmisión determinado. Una parte importante de los medios de comunicación son los medios de transmisión ya que interconectan diferentes equipos para compartir información, recursos y programas entre los usuarios, independientemente del lugar donde se localicen. Los medios de transmisión pueden ser guiados y no guiados.” (Núñez Velasteguí, 2015)

Tabla 4

Cuadro comparativo de los medios de comunicación

Características comparativas	Medio guiado	Medio no guiado
Ancho de banda	Alto	Bajo
Alcance	Largas distancias	Limitado
Seguridad	Bueno	Mala
Rendimiento de red	Elevado	Bajo
Estética	Mala	Buena
Interferencias	Escasas	Considerable
Costos	Alto	Bajo

Nota. En esta tabla muestra las características de cada medio de comunicación.

Tomado de (Yacchirema, 2016)

2.2.13.1. Medios Guiados

“Los medios guiados son aquellos en donde el canal por el que se transmite la información está confinado en un cable que se encarga de la conducción desde la fuente al destinatario, entre los medios guiados se tiene:” (Yacchirema, 2016)

- Par trenzado
- Cable coaxial
- Fibra Óptica

2.2.13.2. Medios no Guiado

Los medios no guiados son aquellos que no confinan la información en ningún tipo de cable, más bien las señales se propagan libremente a través del espacio. Toda señal de naturaleza electromagnética que se propagan a través del espacio libre se conocen como ondas de radio. Entre los medios no guiados se tiene: (Yacchirema, 2016)

- Radiotransmisión
- Transmisión por Microondas
- Sistemas por satélite

A continuación, en la Tabla 5 se presenta un cuadro comparativo de las características de algunos medios de comunicación.

Tabla 5

Características de medios de comunicación

Medio de transmisión	Ancho de banda	Velocidad de transmisión	Alcance	Sensibilidad interferencias
Par trenzado	3MHz	10 – 100Mbps	100m	Sensible
Cable coaxial	350 MHz	500 Mbps	1-10 km	Buena protección
Fibra óptica	Hasta el orden de los THz	2 Gbps	10 – 100 Km	Nula

Medio de transmisión	Ancho de banda	Velocidad de transmisión	Alcance	Sensibilidad interferencias
Radiotransmisión	3Hz – 300 GHz	Depende de los equipos que se empleen	Largas distancias	Sensible a condiciones atmosféricas
Microondas	30KHz –30 GHz		Cubre mayor distancias con antenas más altas	
Satélite	1-30 GHz		Amplia cobertura	Sensible a condiciones naturales

Nota. La presente figura muestra los diferentes medios de comunicación que existen y sus características. Tomado de (Núñez Velasteguí, 2015)

En la Tabla 6 se muestra un resumen sobre las ventajas y desventajas de cada medio de comunicación.

Tabla 6

Resumen de los medios de comunicación

	Medio	Ventaja	Desventaja
Medios Guiados	Par trenzado	<ul style="list-style-type: none"> Fácil de empalmar Bajo precio 	<ul style="list-style-type: none"> Interferencia
	Cable coaxial	<ul style="list-style-type: none"> Inmune a transferencias Velocidad de transmisión mayor 	<ul style="list-style-type: none"> Pesado y voluminoso Reforzar dependiendo la distancia
	Fibra óptica	<ul style="list-style-type: none"> Pequeña Liviana Gran velocidad de transmisión Inmune a interferencias 	<ul style="list-style-type: none"> Alto precio
Medios no Guiados	Radiotransmisión	<ul style="list-style-type: none"> Flexible Portátil 	<ul style="list-style-type: none"> Interferencias Velocidad de transmisión baja
	Microondas	<ul style="list-style-type: none"> Velocidad de la luz 	<ul style="list-style-type: none"> Necesita línea de vista Interferencia
	Satélite	<ul style="list-style-type: none"> Cobertura de zonas muy grandes 	<ul style="list-style-type: none"> Posicionamiento y descenso muy caros

Nota. En la siguiente tabla se muestran las ventajas y desventajas del uso de los medios guiados y no guiados. Tomado de (Núñez Velasteguí, 2015)

2.2.14. Fibra Óptica

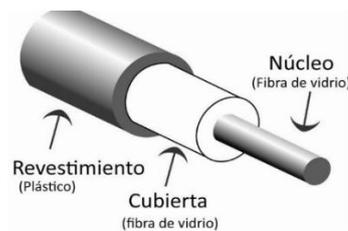
La fibra óptica es un medio de transmisión de ondas luminosas, utilizadas para la comunicación de datos, constituida por un hilo fino de material transparente (vidrio), por el que se envían los datos a transmitir como se muestra en la Figura 15. La fuente de luz puede ser láser o LED. (Núñez Velasteguí, 2015)

2.2.14.1. Componentes de la Fibra Optica

La fibra óptica está conformada por los siguientes componentes:

Figura 15

Componentes de la fibra óptica



Nota. En la figura muestra como está conformada la fibra óptica. Tomado de (Mendoza, 2016)

El Núcleo. Construido con materiales de sílice, cuarzo fundido o plástico, de forma cilíndrica, donde se propagan las ondas ópticas. (Núñez Velasteguí, 2015)

La Funda Óptica o cubierta. Compuesta por los mismos materiales que el núcleo, pero con aditivos que enclaustran las ondas ópticas en el núcleo. (Núñez Velasteguí, 2015)

El revestimiento de protección. “Generalmente está fabricado en plástico y asegura la protección mecánica de la fibra”. (Núñez Velasteguí, 2015)

2.2.14.2. Tipos de Fibras Ópticas

Un haz de luz puede propagarse a través de la fibra óptica por reflexión o refracción y, según el modo de propagación se clasifican en:

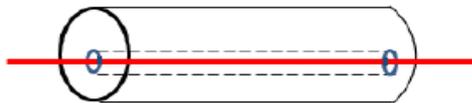
Fibras monomodo

“Permite que los rayos de luz se propaguen en una sola trayectoria, esto se consigue reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra. En este tipo de fibras la dispersión modal es nula por tal motivo tiene mayor capacidad para transmitir información sin repetidores.” (Yacchirema, 2016)

Este tipo de fibra solamente propaga un modo de luz, esto se debe al diámetro de núcleo que es infinitamente pequeño, como se observa en la Figura 16.

Figura 16

Propagación de fibra monomodo



Nota. En la figura se muestra gráficamente el modo de propagación de la fibra monomodo. Tomado de (Torres & Vásquez)

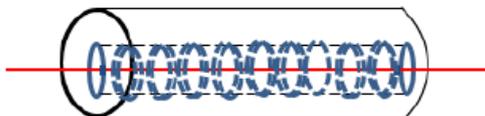
Fibras multimodo

“Fibra que través de ella se propaga varios modos, es decir, el rayo de luz que entra por un extremo de la fibra con diferentes ángulos se refracta un sin número de veces hasta llegar al otro extremo con diferentes fases. Los diferentes ángulos son los que dan lugar a los distintos modos, para que ocurra esta condición es necesario que el diámetro de la fibra óptica sea superior a la longitud de onda del rayo de luz” (Yacchirema, 2016). Se clasifican acorde del índice de refracción:

Multimodo de índice gradual. “El núcleo está compuesto de diferentes capas de materiales con distintos índices de refracción provocando que la luz se refracte como se observa a continuación en la Figura 17. Proporcionan gran ancho de banda, por lo que son más costosas. En este tipo de fibras el índice de refracción del núcleo no es uniforme y decrece de forma gradual mientras se desplaza desde el núcleo a la cubierta.” (Yacchirema, 2016)

Figura 17

Propagación de fibra multimodo de índice gradual

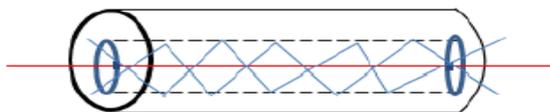


Nota. En la imagen muestra gráficamente la forma de propagación de la fibra multimodo de índice gradual. Tomado de (Torres & Vásquez)

Multimodo de índice escalonado. “Recorren diferentes distancias debido a que los rayos viajan simultáneamente y se reflejan en distintos ángulos en la pared del núcleo como muestra la Figura 18, son fibras con reducido ancho de banda y dispersión, además son de bajo costo ya que su fabricación es sencilla. En este tipo de fibra el núcleo está formado por un material uniforme cuyo índice de refracción es mayor a la cubierta que lo rodea.” (Yacchirema, 2016).

Figura 18

Propagación de fibra multimodo de índice escalonado



Nota. En la imagen muestra gráficamente la forma de propagación de la fibra multimodo de índice escalonado. Tomado de (Torres & Vásquez)

Tabla 7

Cuadro comparativo entre los tipos de fibra óptica

Características	Monomodo	Multimodo Índice Gradual	Multimodo Índice Escalonado
Emisión de luz	Laser	Led	Led
Empalme	Difícil	Difícil	Difícil
Atenuación	Bajo	Media	Alta
Costo	El más costoso	Costoso	Menos costosa
Ventana de trabajo	1310 o 1550 nm	850 o 1310 nm	850 o 1310 nm

Características	Monomodo	Multimodo Índice Gradual	Multimodo Índice Escalonado
Ancho de banda	Extremadamente amplio 100THz/Km	Muy amplio (0,15 a 4,7 GHz/km)	Amplio 50 MHz/km
Dimensiones	9/125 um	50/125 um 60/125 um	50/125 um 60/125 um
Atenuación	0.2 dB/km	0.5 dB/km	2 a 5 dB/km

Nota. La figura muestra las características de cada tipo de fibra con el fin de compararlas. Tomado de (Yacchirema, 2016)

2.2.14.3. Principio de Propagación

Durante la propagación de la luz por los filamentos de la fibra se presentan ciertas propiedades que se mencionan a continuación:

Reflexión

Figura 19

Reflexión de la luz



Ángulo de incidencia = Ángulo de reflexión

Los dos rayos están en el mismo plano que la normal

Nota. En la figura muestra uno de los principios de propagación por la fibra óptica conocida como la ley de la reflexión de la luz. Tomado de (CIFP Tartanga, s.f.)

La ley de la reflexión de la luz es el cambio de dirección de la onda, este fenómeno ocurre cuando una onda alcanza la frontera de dos medios distintos, así establece que todo rayo de luz que incide en una superficie reflectante, saldrá reflejado con un ángulo igual al ángulo de incidencia y de tal forma que tanto el rayo

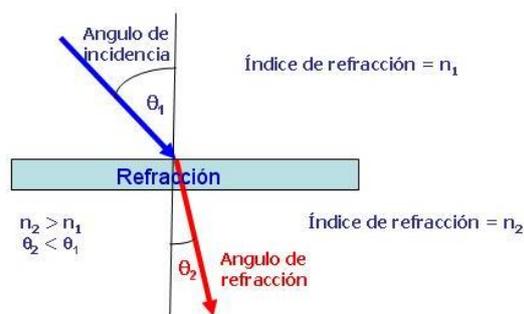
incidente como el reflejado y la perpendicular a la superficie reflectante en el punto de incidencia están en el mismo plano como se muestra en la Figura 19 y se expresa mediante la Ecuación 1. La fibra óptica utiliza este principio para mantener mayor cantidad de energía de transmisión dentro del núcleo. (CIFP Tartanga, s.f.)

$$\theta_i = \theta_r \quad [1]$$

Refracción

Figura 20

Refracción de la luz: Ley de Snell



Nota. En la figura muestra uno de los principios de propagación por la fibra óptica conocida como la ley de Snell para la refracción de la luz. Tomado de (CIFP Tartanga, s.f.)

Es el cambio de dirección que llevan las ondas cuando pasan de un medio a otro. La refracción se produce cuando el haz incidente que atraviesa de un medio a otro, cuyo índice de refracción es diferente, presenta una variación con respecto a la trayectoria original del haz de luz y se produce el denominado haz refractado como se muestra en la Figura 10. La refracción se rige a través de la Ley de Snell representada por la ecuación 2. (CIFP Tartanga, s.f.)

Ley de Snell.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad [2]$$

2.2.15. Redes de Acceso Vía Fibra Óptica

Existen redes de acceso de alta tecnología como es la fibra óptica, con tasas de transmisión que supera las de cobre. Estas se clasifican en redes HFC y PON.

Redes HFC. Esta red es de tipo híbrida, una combinación de coaxial y de fibra óptica, permite el despliegue de servicios como datos, telefonía e internet. (Torres & Vásquez)

Redes PON. Este tipo de redes permite eliminar los componentes activos existentes entre el servidor y el cliente, para colocar en su lugar componentes pasivos, conformada por tres elementos básicos. (Torres & Vásquez)

OLT (Optical Line Terminal). Es la terminal de la línea óptica, es el equipo concentrador, encargado de proveer enlaces de fibra óptica hacia la red de usuario. (Núñez Velasteguí, 2015)

Divisor Óptico (Splitter). Recibe cables de fibra óptica de entrada y salida y lo que hace es dividir la señal. (Torres & Vásquez)

ONU/ONT (Optical Network Unit). Recibe la información que llega desde el splitter, el equipo se encuentra en el terminal del usuario. (Torres & Vásquez)

2.2.15.1. Tipo de Redes PON

Las redes PON se clasifican de acuerdo al estándar y bajo que protocolo fue desarrollado, a continuación, se resumen los tipos de redes PON.

Tabla 8

Tipos de redes PON

Tipo	Estándar	Características adicionales
APON	ITU-TG.893	<ul style="list-style-type: none"> • Basa su transmisión en ATM. • Tasa máxima de 155 Mbps, repartidas entre ONU's. • Llega hasta velocidades de 622 Mbps.
BPON	ITU-TG.893	<ul style="list-style-type: none"> • Se basa en APON. • Da soportes a otros estándares de banda ancha.

Tipo	Estándar	Características adicionales
EPON	IEEE 802.3ah	<ul style="list-style-type: none"> • Se basa en tráfico de Ethernet. • Fue realizada específicamente para aprovechar el EFM. • Trabaja con velocidades hasta de 1.25 Gbps. • Se reducen los costos ya que no utiliza elementos ATM y SDH
GPON	ITU-TG.894	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado sobre ATM. • Se basa en la arquitectura BPON. • Ofrece cobertura hasta 20km. • Da soporte global multiservicio como voz, entre otros. • Soporta velocidades hasta 2.5 Gbps.
GEPON	IEEE 802.3ah	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado sobre Ethernet. • Tiene las mismas características que la GPON.
HGPON	ITU-TG.894	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollado sobre ATM. • Características similares a la GPON. • Tiene mayor capacidad de ancho de banda.

Nota. En la tabla se muestra los tipos de tecnología PON y las características de cada una. Tomado de (Torres & Vásquez)

2.2.16. Tipos de Tecnología de Multiplexación por Fibra Óptica

La multiplexación consiste en transmitir varias señales sobre un mismo canal de transmisión. Entre los principales tipos se puede mencionar los siguientes:

TDM (Multiplexación por División de Tiempo). La multiplexación por división en el tiempo, es utilizada en señales digitales, para transmitir diferentes tipos de datos, los mismos que viajan por el canal en distintos espacios de tiempo. (Núñez Velasteguí, 2015)

WDM (Multiplexación por División de Onda). La Multiplexación por división de longitud de onda consiste en adaptar múltiples señales de luz en un solo cable de fibra óptica, utilizando diferentes frecuencias. (Núñez Velasteguí, 2015)

2.2.16.1. Variantes de la Tecnología WDM

En base a la tecnología WDM se desarrollaron dos tipos de multiplexación de longitud de onda, CWDM y DWDM:

CWDM (Multiplexación por división en longitudes de onda ligeras). Es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica, utilizando los conductores de fibra multimodo, es una implementación de WDM para redes de cortas distancias.

DWDM (Multiplexación por división en longitudes de onda densas). Los sistemas DWDM pueden acoplar la salida de diferentes fuentes emisoras de luz a una longitud de onda diferente, sobre una misma fibra óptica. Por medio de un canal óptico son enviadas señales de multiplexación y demultiplexación, después de la transmisión a través de la fibra, cada una de estas señales o canales ópticos en distintas longitudes de onda, pueden ser separadas entre sí hacia diferentes detectores en su extremo final. (Núñez Velasteguí, 2015)

Tabla 9

Características comparativas de tecnología WDM

Características	CWDM	DWDM	DWDM
Uso	Redes LAN, MAN, FTCC, FTTB, FTTH.	Redes MAN, WAN.	Largo alcance
Banda utilizada	O, E, S, C y L.	C, L.	C, L, S.
Canales por fibra	4 – 16	12 – 40	80 – 160
Espaciamiento entre canales	20 nm (2500 GHz)	0.8 nm (100 GHz)	0.4 nm (50 GHz)
Capacidad por canal	2.5 Gbps	10 Gbps	10 – 40 Gbps
Capacidad de la fibra	20 – 40 Gbps	100 – 1000 Gbps	>1 Tbps
Tipo de laser	Uncooled DFB	Cooled DFB	Cooled DFB
Distancia alcanzada	80 km (max)	Cientos de km	Miles de km
Costo	Bajo	Medio	Alto
Amplificador de costo	No	EDFA	EDFA, Raman

Nota. En la tabla se muestra un cuadro comparativo entre las características de las diferentes tecnologías WDM. Tomado de (Yacchirema, 2016)

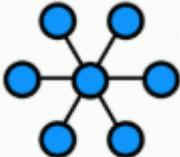
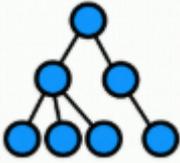
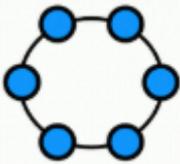
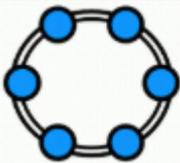
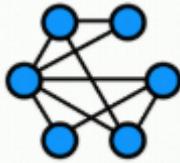
2.2.17. Topografía de la Red

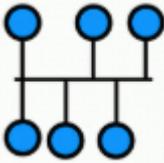
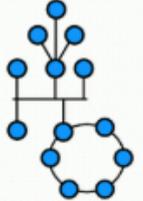
La topología o forma lógica de una red se define como la forma de tender el cable a estaciones de trabajo individuales; por muros, suelos y techos del edificio. Existe un número de factores a considerar para determinar cuál topología es la más apropiada para una situación dada. (Rivadeneira Cuzco, 2014)

Las redes de comunicaciones están formadas por nodos, enlaces y equipos terminales; dependiendo de sus características se identifican diferentes tipos de topologías de red como pueden ser:

Tabla 10

Tipos de topología

Topología	Descripción	Ventajas	Desventajas
	Estrella: Todas las estaciones eran conectadas a un solo nodo central	Si un terminal falla, no influye en el resto de la red. Mantenimiento económico.	Si el nodo central falla toda la red se desconecta.
	Árbol: Flujo de información de manera jerárquicas.	El cableado es de punto a punto para segmentos individuales Prioriza o aísla la comunicación de cierto equipo	Si un nodo falla deja a un grupo de terminales sin conexión.
	Anillo: se conecta uno con otro dando la forma de un anillo.	Simplicidad de arquitectura Facilidad de implementación	El canal usualmente degrada la red Si una terminal falla, la red no funciona.
	Anillo doble: Son dos anillos donde cada red está conectada aunque estos no estén conectados entre sí.	Simplicidad de arquitectura Facilidad de implementación y crecimiento	El canal usualmente degrada la red
	Malla: Cada nodo está conectado a todos los nodos, así es posible llevar los mensajes de un nodo a otro por diferentes caminos.	Ofrece redundancia y fiabilidad superior Son ruteables Tolerante a fallos	Alto costos de instalación.

Topología	Descripción	Ventajas	Desventajas
	Bus: Tiene un único canal llamado bus troncal o backbone se conecta en los diferentes dispositivos.	Facilidad de implementación Crecimiento y simplicidad de arquitectura	Longitudes de canal limitadas Un problema en el canal usualmente degrada la red
	Mixto: Es la combinación o interconexión de varias topologías.	Se dispone de distintos caminos de conexión	Alto costo Alta complejidad

Nota. En la tabla se muestran los diferentes tipos de topologías que se puede utilizar sus ventajas y desventajas.

2.2.18. Software Computacional CYMDIST

El software CYME es una herramienta enfocada y poderosa que se utiliza para modelar todo el sistema de distribución y abordar las necesidades de la simulación en cuanto a los análisis de capacidad, contingencia, calidad de energía y optimización. (Cyme, 2020)

CYMDIST es el paquete base para el análisis del sistema de distribución del software CYME. Agrupa todas las herramientas de modelado y análisis necesarias para realizar los diversos tipos de simulaciones involucradas en la planificación del sistema de distribución eléctrica. Los cálculos admiten modelos de distribución balanceados o desbalanceados que se construyen con cualquier combinación de fases y funcionan en configuraciones de tipo radial, anillado o mallado. (Cyme, 2020)

2.2.19. Método de Ardivinson

Este método se utiliza desde 1928 con éxito. En esencia se considera una distribución uniforme de la demanda por nodos de acuerdo a la capacidad instalada, un factor de potencia en los nodos igual al de la subestación y un factor de carga uniforme.

Para el cálculo de las demandas se utilizan las siguientes ecuaciones.

$$S_t = F_{cap} \times C_{api} \quad [3]$$

$$P_t = S_t \times Fp \quad [4]$$

$$Q_t = S_t \times \sin \varphi \quad [5]$$

Donde:

$$F_{cap} = \frac{Dem}{C_{api}} \quad [6]$$

$$Fp = \frac{P}{S} \quad [7]$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - Fp^2} \quad [8]$$

2.2.20. Fundamentación Conceptual

M.T. Media tensión

B.T. Baja Tension

Sistemas Sacada: Sistema de Supervisión, Control y Adquisición de Datos

RTU: Unidad de Telecontrol Remota o Remote Telecontrol Unit

WDMW: Dense Wavelength Division Multiplexing conocida también

Multiplexación por división en longitudes de onda densas.

GPON: Gigabit-capable PON o Red óptica pasiva para velocidad de transmisión de Gigabit.

OLT: Optical Line Terminal o Terminal de Línea Óptica.

ONT/ ONU: Optical Network Unit o Unidad de Red Óptica

Instantáneo de fase (50): Protección contra cortocircuitos entre fases en el circuito primario, o cortocircuitos de elevado valor entre fases en el lado secundario.

Sobrecarga de fase (51): Protege contra sobrecargas excesivas que pueden deteriorar el transformador, o cortocircuitos de varias espiras del devanado primario.

Sobrecarga de fase II (51 – 2): Escalón añadido para proteger contra sobrecargas excesivas que pueden deteriorar el transformador, o cortocircuitos de varias espiras del devanado primario.

Instantáneo de tierra (50N): Protege contra cortocircuitos de fase a tierra o al devanado secundario, desde los devanados e interconexiones en el primario.

Fuga a tierra (51N): Protege contra defectos altamente resistivos desde el primario a tierra o al secundario.

Fuga a tierra II (51 – 2 – N): Escalón añadido para proteger contra defectos altamente resistivos desde el primario a tierra o al secundario.

Instantáneo ultrasensible de tierra (50NS): Protege contra cortocircuitos de fase a tierra de muy bajo valor.

Ultrasensible de fuga a tierra (51NS): Protege contra defectos altamente resistivos entre fase y tierra, de muy bajo valor.

Ultrasensible de fuga a tierra II (51 – 2 – NS): Escalón añadido para proteger contra defectos altamente resistivos entre fase y tierra, de muy bajo valor.

Bloqueo por segundo armónico (2do Harm. Block): Bloquea unidades de sobreintensidad durante las magnetizaciones del transformador.

Bloqueo por lógica (Logic blocking): Bloquea unidades de sobreintensidad de fase, neutro y neutro sensible según la lógica implementada.

Direccional de fase, neutro y neutro sensible (67/67N y 67NS): Funciones direccionales de fase, neutro y neutro sensible que están asociados a sus correspondientes unidades de sobreintensidad, permitiendo en conjunto disponer de unidades de sobreintensidad direccionales.

Imagen térmica (49): Protege contra sobrecargas térmicas de los transformadores que no pueden ser detectadas por las unidades de sobreintensidad.

Fase abierta (46BC): Detecta líneas abiertas. Las fases abiertas son bastante difíciles de detectar mediante unidades de sobreintensidad.

Desequilibrio de intensidades (46T/46I): Protege contra desequilibrios de intensidades basándose en intensidades de secuencia negativa.

Sobretensión (59/59N): Protege contra sobretensiones de fase y neutro en las líneas con 2 unidades por cada fase y neutro, una temporizada y otra instantánea.

Subtensión (27): Protege contra subtensiones de fase en las líneas con 2 unidades por cada fase, una temporizada y otra instantánea.

Carga fría (Cold Load): Detecta situaciones de carga fría y conmuta de forma automática los ajustes de las unidades de sobreintensidad a los correspondientes a la carga fría.

2.2.21. Fundamentación Legal

La Regulación No. ARCONEL 003/16, tiene como objetivo establecer los requerimientos que debe cumplir los participantes del Sector Eléctrico Ecuatoriano – SEE, en aspectos relacionados con la supervisión y control en tiempo real de SNI, que realiza el Operador Nacional de Electricidad, CENACE. (ARCONEL, 2016)

La presente regulación establece los requerimientos técnicos que serán observados por los participantes del Sector Eléctrico, en lo que respecta a los equipos y sistemas para la entrega de información que requiere para la supervisión y control en tiempo real. (ARCONEL, 2016)

El presente trabajo de titulación se enfoca en analizar del sistema eléctrico de distribución soterrado de la zona céntrica de Guaranda perteneciente a la Corporación Nacional de Electricidad Unidad de Negocio Bolívar, que en base al análisis se procederá a la selección de los equipos de supervisión y control en tiempo real por lo cual se hace referencia a la regulación No. ARCONEL 003/16 ya que establece requerimientos que deben ser considerados para un sistema SCADA confiable.

2.2.22. Hipótesis

Si se analiza el sistema eléctrico de distribución de la red subterránea del Centro de Guaranda de la CNEL EP Bolívar se podrá establecer un estudio factible para implementación de un sistema SCADA para el Centro de Control.

2.2.23. Sistemas de Variables

Variable Independiente

Análisis el sistema eléctrico de distribución de la red subterránea del centro de la Ciudad de Guaranda

Variable Dependiente

Estudio factible para implementación de un sistema SCADA para el centro de Control

2.2.24. Cuadro de Operacionalización de Variables

Tabla 11

Operacionalización de las variables

Variables	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable independiente: Análisis el sistema eléctrico de distribución de la red subterránea del centro de la Ciudad de Guaranda.	Levantamiento de información eléctrica de los alimentadores de la subestación Guaranda y de la red subterránea Mediante la simulación en el programa cimdyst se permite determinar valores de voltajes y corrientes presentes en la red soterrada.	Parámetros eléctricos	Niveles de voltaje Corriente Flujos de potencia activa y reactiva	Tablas de datos Modelamiento

Variables	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
Variable dependiente: Estudio factible para implementación de un sistema SCADA para el centro de Control.	Proponer un diseño basado en la supervisión y control de datos seleccionando los equipos necesarios para el sistema SCADA .	Parámetros eléctricos	Catálogos eléctricos	Tabla de datos

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1. Modalidad de Investigación

El presente trabajo de titulación basa en el estudio factible de un sistema SCADA de los alimentadores primarios 03GR010T12-GUARANDA-CDLA. 1º DE MAYO y 03GR010T13-GUARANDA-MALDONADO que energizan el sector céntrico de la ciudad de Guaranda, se desarrolla a través de la recolección de datos sobre el comportamiento eléctrico de la red para un posterior modelamiento mediante el Software CYMDIST, cuyo fin es definir varios escenarios de operación y seleccionar la mejor ubicación de equipos de medición, se realiza un estudio comparativo técnico – económico de tres tipos de comunicación para la posterior selección del más factible para el SCADA.

3.2. Método Bibliográfico Documental

Mediante este método se procede a la recolección de los fundamentos teóricos en material bibliográfico, revistas de carácter científico, trabajos de investigación de repositorios institucionales, artículos académicos, libros de ingeniería, documentación legal como Regulaciones publicadas en portales oficiales y direcciones web con información fiable para el diseño del SCADA de una red subterránea.

3.3. Método Experimental

Este método es utilizado en la adquisición y recopilación de los datos eléctricos correspondientes a los alimentadores que energizan la red subterránea del centro de la ciudad de Guaranda, así también como datos de demanda de la carga,

número de transformadores conectados a cada alimentador con el fin de realizar el respectivo modelamiento en el software CYMDIST.

3.4. Método Deductivo

En la presente investigación del proyecto de titulación se realiza el modelamiento de la red eléctrica subterránea de Guaranda del cual se obtuvo diferentes escenarios de operación, así como también se realiza un estudio comparativo técnico – económico entre 3 tipos de comunicación tales como: Fibra óptica, radio transmisión y comunicación satelital con el fin de realizar la selección del equipo adecuado para la red.

3.5. Tipo de Investigación

3.5.1. Investigación Cuantitativa

Para el presente trabajo de titulación de este tipo de investigación se procede a la recopilación de información técnica y estadística utilizando variables eléctricas de magnitud medible, tales como valores de voltaje, corriente, potencia, demanda de cada alimentador, impedancias de las líneas y transformadores etc., mismos que serán analizados para establecer las conclusiones correspondientes.

3.6. Diseño de la Investigación

Mediante el respectivo análisis de la red a partir modelación del Sistema Eléctrico de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) Unidad de Negocio Bolívar, se podrá establecer un sistema SCADA factible para el monitoreo de los parámetros eléctricos de la red subterránea, así como también la selección de los equipos, medios de comunicación, etc. En base a un análisis técnico – económico se presentará finalmente un presupuesto del proyecto.

3.7. Técnicas de Recolección de Datos

La recopilación de información técnica como el diagrama unifilar del sistema eléctrico de CNEL EP Bolívar, impedancias de las líneas de Subtransmisión y distribución, parámetros técnicos de las cámaras de transformación, demandas actuales del servicio eléctrico, entre otros parámetros son proporcionados por la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) Unidad de Negocio Bolívar.

3.8. Validez y Confiabilidad

Para obtener resultados válidos y confiables, los datos utilizados han sido recolectados de estudios relacionados al tema y de datos proporcionados por la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) Unidad de Negocio Bolívar como fuente principal y fiable.

3.9. Técnica de Análisis de Datos

3.9.1. Clasificación y Procesado de Datos

Para desarrollar el tema se empieza utilizando la técnica de clasificación de datos otorgados por la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) Unidad de Negocio Bolívar, una vez clasificados se procede a procesar dichos parámetros mediante la modelación y la simulación en un software computacional de los alimentadores Cda 1° de Mayo y Maldonado.

Los criterios para el análisis se citan de la siguiente manera:

- Primero se procede a la recopilación de información por parte de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) Unidad de Negocio Bolívar y clasificación de los parámetros para el análisis de las operaciones eléctricas.

- Procesar y manejar los de datos a través de tablas, gráficos de curvas y el uso de software computacional de distribución eléctrica CYMDIST para definir varios escenarios de operación.
- Desarrollar e interpretar los resultados mediante el manejo correcto de la información proporcionada para la adecuada selección de los equipos de medición y control para el sistema SCADA.

3.10. Técnica de Comprobación de Hipótesis

Análisis de factibilidad para la implementación futura del sistema, Justificado con el diseño del sistema de supervisión, control y adquisición de datos de acuerdo a su aplicabilidad requerida.

Análisis futuro del mejoramiento en la confiabilidad del sistema eléctrico subterráneo mediante su monitoreo y automatización.

CAPÍTULO IV

4. Resultados de la Investigación

En este capítulo se muestra la recopilación y clasificación de los datos otorgados por parte de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) Unidad de Negocio Bolívar, además se presenta los los resultados del modelamiento del sistema eléctrico de la Subestación Guaranda.

4.1. Modelamiento del Sistema Eléctrico Mediante CYMDIST

En el presente capítulo se realizó el modelamiento eléctrico del sistema de Subtransmisión de la S/E Guaranda a nivel de 69 kV y sus salidas de distribución a nivel de 13,8 kV, haciendo énfasis en los alimentadores 1° de Mayo y Maldonado los cuales energizan a la red subterránea del centro de la ciudad de Guaranda; perteneciente a la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) Unidad de Negocio Bolívar la cual presenta las condiciones actuales de dicho sistema, con la alimentación por parte del Sistema Nacional Interconectado (SNI), desde la Subestación Riobamba – TRANSELECTRIC.

Una vez obtenido los equivalentes de red de los alimentadores 1° de Mayo y Maldonado a nivel de 13,8 KV, se realizó el modelamiento y la simulación en un software computacional de dichos alimentadores para definir varios escenarios de operación y seleccionar los equipos de medición y control.

4.2. Sistema de Subtransmisión de S/E Guaranda de 69KV - 13,8KV

4.2.1. *Equivalentes de Red*

Lo que compete al informe de cortocircuito e impedancias equivalentes de las barras de SNI, se toma la información de los parámetros a nivel de 69 kV.

Tabla 12

Impedancias equivalentes de fallas trifásicas a 69 kV

Condiciones	Nombre de la Barra	kV	Fallas Trifásicas					
			Ik"	Sk"	Ip	R	X	Z
			KA	MVA	KA	Ohm	Ohm	Ohm
Max Generación	Riobamba	69	10,12	1209,27	26,19	0,25	4,32	26,15
Min Generación	Riobamba	69	9,56	1142,20	24,75	0,26	4,58	4,59

Nota: El presente cuadro muestra las impedancias de fallas trifásicas de máxima y mínima generación a nivel de 69KV en la barra de Riobamba. Tomado de (CENACE, 2019)

Tabla 13

Impedancias equivalentes de fallas monofásicas a 69 kV

Condiciones	Nombre de la Barra	kV	Fallas Monofásicas											
			Ik"	Sk"	Ip	Rk0	Xk0	Zk0	Rk1	Xk1	Zk1	Rk2	Xk2	Zk2
			KA	MVA	KA	Ohm								
Max Generación	Riobamba	69	13,04	519,43	33,75	0,03	1,34	1,34	0,25	4,32	4,33	0,25	4,41	4,42
Min Generación	Riobamba	69	12,35	491,8	31,97	0,04	1,37	1,37	0,26	4,58	4,59	0,27	4,69	4,7

Nota. En la tabla se muestra las impedancias de fallas monofásicas de máxima y mínima generación a nivel de 69KV en la barra de Riobamba. Tomado de (CENACE, 2019)

4.2.2. Línea de Subtransmisión

Los parámetros técnicos de la línea de transmisión desde la S/E Riobamba a la S/E Guaranda se muestran en la tabla 14.

Tabla 14

Parámetros técnicos de la línea de Subtransmisión

Salida	Llegada	Voltaje	Longitud	Calibre del conductor	Z1	Z0
		[kV]	[km]		[Ohm]	[Ohm]
S/E RIOBAMBA	S/E GUARANDA	69	39	266 MCM ACSR	0,2184+j0,4536	0,5124+j1,686

Nota. Tomado de (CNEL EP BOLÍVAR, 2019)

4.2.3. Característica de Transformadores

La Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP) Unidad de Negocio Bolívar dispone de 6 subestaciones, la subestación Guaranda consta de 2 transformadores de potencia reductoras de voltaje de 69 kV a 13,2 kV. En la tabla 15 se detallan las características técnicas de los transformadores.

Tabla 15

Características de transformadores de la S/E Guaranda

Subestación	Potencia Nominal	Voltaje Primario	Voltaje Secundario	Conexión	TAP	Z%
	[MVA]	[KV]	[KV]			
Guaranda	5	69	13,2	Dyn1	±2x2.5%	6,68
Guaranda	10/12,5	69	13,2	Dyn1	±2x2.5%	7,57

Nota. Características técnicas de los transformadores. Tomado de (CNEL EP BOLÍVAR, 2019)

4.2.4. Demanda de los Alimentadores de la S/E Guaranda

En la tabla 16 se muestra de manera resumida las demandas máximas y mínimas del año 2019 de los alimentadores de la subestación Guaranda.

Tabla 16*Demanda de los alimentadores de la S/E Guaranda*

	ALIMENTADOR	CORRIENTE (A)			Potencias						Factor de Potencia Dmax
		A	B	C	MÁXIMA			MÍNIMA			
					MW	MVA	MVAR	MW	MVA	MVAR	
GUARANDA	VINCHOA	35,81	28,61	27,87	0,725	0,728	0,063	0,314	0,320	0,060	0,996
	1ro DE MAYO	58,86	65,87	62,07	1,415	1,421	0,131	0,653	0,660	0,099	0,995
	MALDONADO	47,54	75,58	41,62	1,285	1,299	0,189	0,479	0,498	0,137	0,989
	CHIMBO	87,32	63,69	87,53	1,845	1,859	0,225	0,673	0,679	0,090	0,993

Nota. En esta tabla se muestra la demanda máxima y mínima de los alimentadores de la S/E Guaranda. Tomado de (CNEL EP BOLÍVAR, 2019)

Tabla 17*Número de transformadores conectados a los alimentadores*

Descripción	Voltaje (kV)	Número Transformadores Monofásicos	Voltaje (kV)	Número Transformadores Trifásicos	Total Transformadores	Potencia Transformadores Monofásicos (MVA)	Potencia Transformadores Trifásicos (MVA)	Total Potencia (MVA)
Vinchoa	7.97	191	13.8	6	197	3,19	0,32	3,51
Cdla. 1° de Mayo	7.97	34	13.8	29	63	0,78	2,12	2,90
Maldonado	7.97	65	13.8	44	109	1,79	3,26	5,05
Chimbo	7.97	468	13.8	29	497	6,72	1,89	8,60

Nota. En esta tabla se muestra el número de transformadores conectados a los alimentadores. Tomado de (CNEL EP BOLÍVAR, 2019)

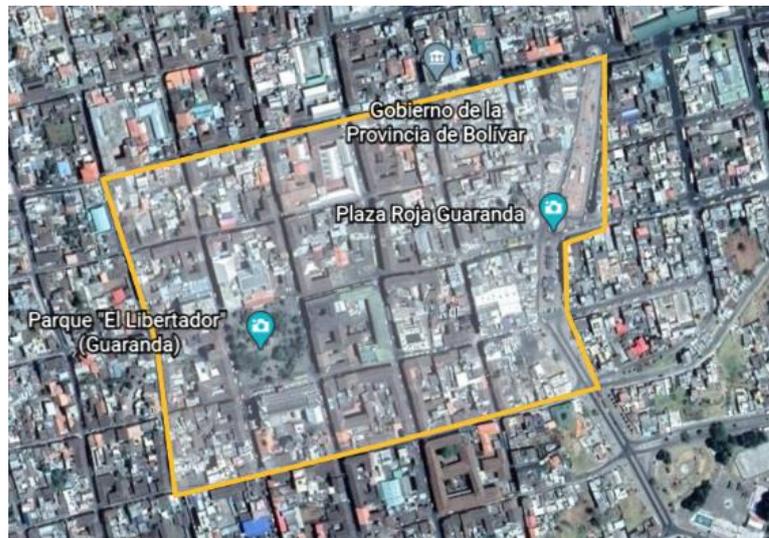
4.5. Descripción del Sistema de Distribución Subterránea

La ciudad de Guaranda actualmente cuenta con la remodelación de la red eléctrica de distribución de la zona céntrica, alrededor de 3,2 km de soterramiento de red de media y baja tensión, perteneciente a CNEL EP Bolívar dispone de dos puntos de alimentación por parte de la S/E Guaranda que son: 1° de Mayo y Maldonado. El sistema en media tensión arranca indistintamente por cualquiera de las 3 acometidas previstas a una tensión nominal de 13.8 kV.

El área soterrada está conformada por las calles: Manuela Cañizares, General Enríquez, Olmedo y Pichincha, el cual comprende alrededor de 21 manzanas, del centro histórico de Guaranda. El sistema de baja tensión corresponde a partir de los 5 cámaras de transformación instaladas, previstos de una tensión de 220/127 V.

Figura 21

Zona soterrada del centro de Guaranda



Nota: En la figura se muestra el área soterrada de media y baja tensión existente en el centro de la ciudad de Guaranda.

4.5.1. Red Eléctrica Soterrada de Medio Voltaje en Guaranda

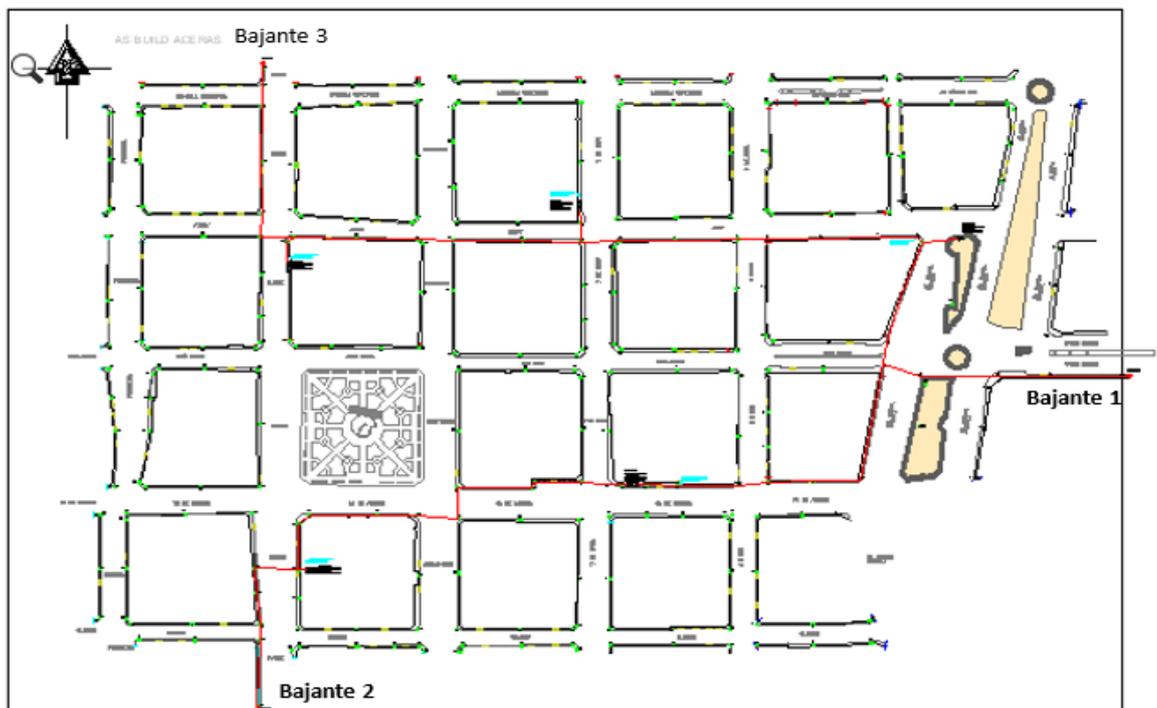
En el sistema implementado, cuenta con tres acometidas en media tensión, mismas que están distribuidas de la siguiente manera:

- Bajante 1, proveniente por la Calle García Moreno.
- Bajante 2, proveniente por la calle Sucre y Rocafuerte
- Bajante 3, proveniente por la calle Sucre y Manuela cañizares.

La bajante 1 proviene del alimentador 1° de Mayo mientras que las bajantes 2 y 3 provienen del alimentado Maldonado a un nivel nominal de 13.2 KV.

Figura 22

Plano de red de medio voltaje



Nota. En la figura se muestra la distribución de la red de media tensión soterrada existente. Tomado de (INESA, 2018)

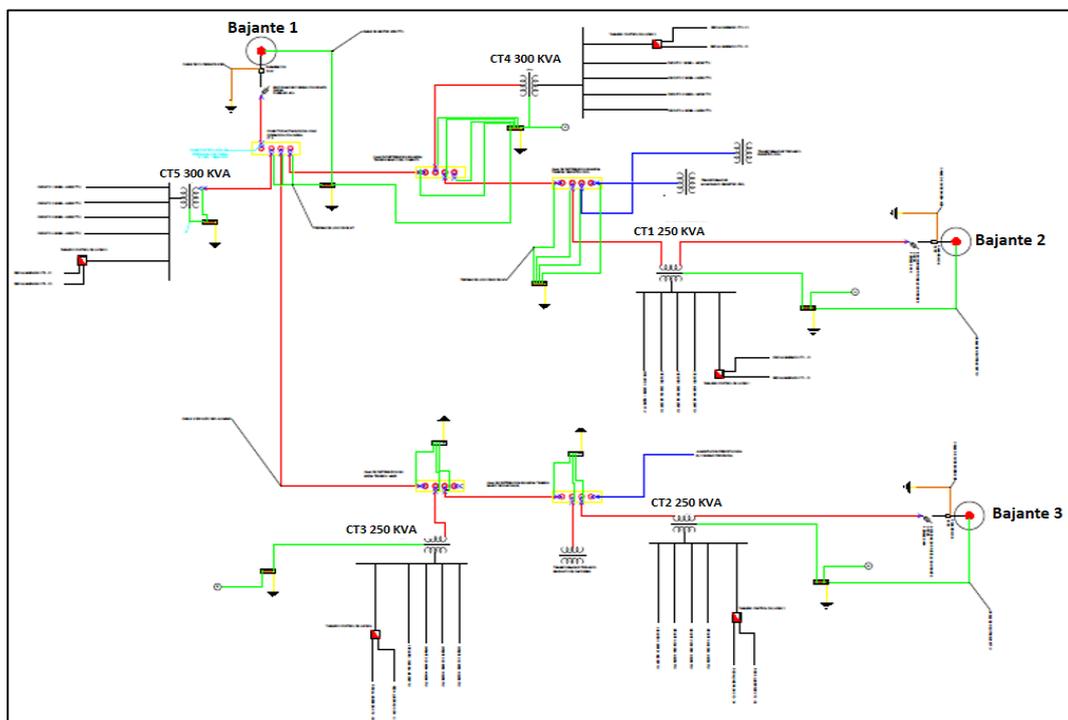
El sistema de Medio Voltaje opera a una tensión nominal de 13.8 KV y como se puede observar en el diagrama unifilar de la figura 3, trabaja como circuito en anillo con operación radial; de los alimentadores 1° de Mayo y Maldonado

pertenecientes a la subestación Guaranda, están conectados 3 bajantes donde se realiza el cambio de red eléctrica de tendido aéreo a red eléctrica subterránea de los cuales dos de las bajantes están en operación energizando la red de medio voltaje y manteniendo en reserva una bajante.

Actualmente está en operación la bajante 1 perteneciente a 1° de Mayo y la bajante 2 perteneciente al alimentador Maldonado.

Figura 23

Diagrama Unifilar soterramiento de medio voltaje



Nota. En la figura se muestra el diagrama de la red de medio voltaje de la zona céntrica de Guaranda tomado de (INESA, 2018)

4.5.2. *Instalación de Transformadores*

El soterramiento cuenta con 5 unidades de transformación ubicadas estratégicamente en el área céntrica de Guaranda, a continuación, en la Tabla 18 se detalla las características de cada uno de los transformadores instalados y su respectiva ubicación.

Tabla 18.

Datos técnicos de las cámaras de transformación

Número	Detalle	Ubicación	Gráfico
Cámara de Transformación 1 (CT1)	Transformador trifásico sumergible de 250KVA, 13.8KV / 220-127V, configuración delta – estrella, tipo anillo.	La calle Sucre, entre 10 de agosto y Olmedo (Registro Civil).	
Cámara de Transformación 2 (CT2)	Transformador trifásico sumergible de 250KVA, 13.8KV / 220-127V, configuración delta - estrella.	Calle Sucre, entre Azuay y García Moreno (Banco Guayaquil).	
Cámara de Transformación 3 (CT3)	Transformador trifásico sumergible de 300KVA, 13.8KV / 220-127V, configuración delta – estrella	Calle 7 de Mayo, Manuela Cañizares y Azuay (HAER).	
Cámara de Transformación 4 (CT4)	Transformador trifásico sumergible de 250KVA, 13.8KV / 220-127V, configuración delta - estrella.	Calle 10 de Agosto, entre 7 de Mayo y 9 de abril (Banco del Fomento).	

Número	Detalle	Ubicación	Gráfico
Cámara de Transformación 5 (CT5)	Transformador trifásico sumergible de 300KVA, 13.8KV / 220-127V, configuración delta - estrella.	Av. General Enríquez (Flota Bolívar).	

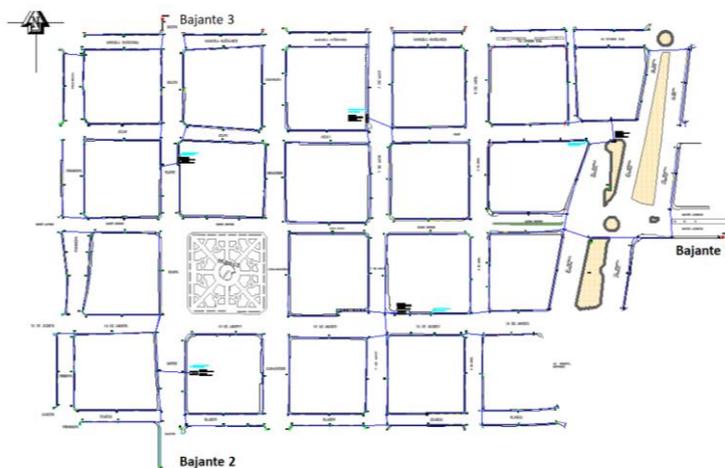
Nota. En la tabla se muestra las características técnicas de los transformadores y su ubicación.

4.5.3. Red Eléctrica Soterrada de Bajo Voltaje en Guaranda

La red de bajo voltaje está operando a un nivel de 220/127 V, la cual energiza a usuarios residenciales con sus correspondientes estratos, comerciales, etc. A partir de las salidas de bajo voltaje de los transformadores la red recorre 21 como se observa en la figura 24, distribuida estratégicamente la carga a cada uno de los transformadores.

Figura 24

Red eléctrica subterránea de bajo voltaje



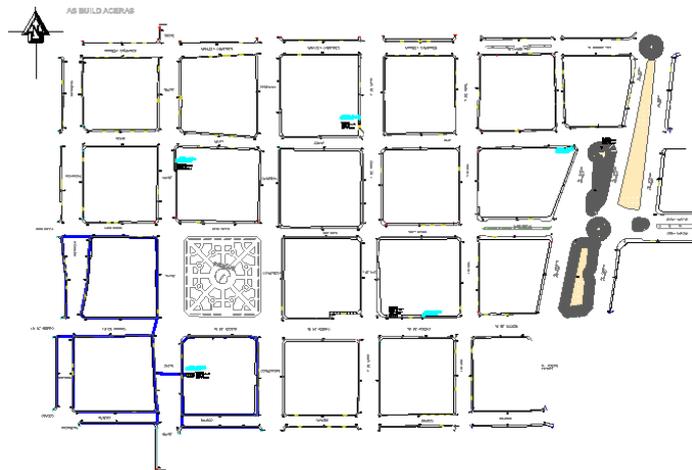
Nota. En la imagen se muestra la red de bajo voltaje distribuida en el Centro de Guaranda.

4.5.4. *Distribución de Carga de Cada Transformador*

Centro de transformación 1. Transformador 1 alimenta a 3 cuadras desde la calle García Moreno hasta la calle Olmedo, de norte a sur, y desde la calle Pichincha hasta la calle Convención, de este a oeste.

Figura 25

Centro de transformación 1



Nota. En la figura se muestra la distribución de carga del transformador 1.

Centro e transformación 2. Transformador 2 alimenta a 4 cuadras, de norte a sur, desde la calle Manuela Cañizares hasta la calle García Moreno y de este a oeste, desde la calle Pichincha hasta la calle Convención.

Figura 26

Centro de Transformación 2

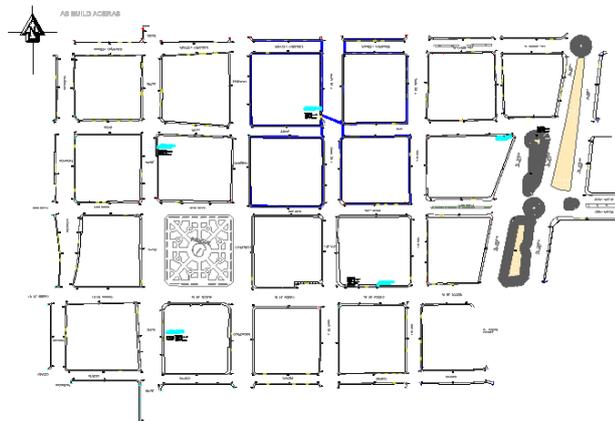


Nota: En la figura se muestra la distribución de carga del transformador 2.

Centro de Transformación 3. Transformador 3 alimenta a 4 cuadras, de norte a sur, desde la calle Manuela Cañizares hasta la calle García Moreno y de este a oeste, desde la calle Convención hasta la calle 9 de abril.

Figura 27

Centro de transformación 3



Nota. En la imagen se muestra la distribución de carga del transformador 3.

Centro de Transformación 4. Transformador 4 alimenta a 6 cuadras desde la calle García Moreno hasta la calle Olmedo, de norte a sur, y desde la calle Convención hasta la calle 9 de Abril, de este a oeste.

Figura 28

Centro de Transformación 4



Nota. En la imagen se muestra la distribución de carga del transformador 4.

Centro de Transformación 5. Transformador 5 alimenta a 5 cuadras, de norte a sur, desde la calle Manuela Cañizares hasta la calle García Moreno y de este a oeste, desde la calle 9 de abril hasta la Av. General Enríquez.

Figura 29

Centro de transformación 5



Nota. En la imagen se muestra la distribución de carga del transformador 3.

4.6. Cálculo de Demanda Utilizando el Método de Ardvinson

Este método se utiliza para estimar analíticamente las cargas de los transformadores de distribución en áreas residenciales a partir de las demandas diversificada. Utilizándolo datos de la tabla 16 y la tabla 17 se proceden a utilizar las

formulas antes descritas para calcular las capacidades mostradas en la siguiente tabla.

$$F_{cap} = \frac{Dem}{Capi} = \frac{1,299 \text{ MVA}}{5,05 \text{ MVA}} = 0,257$$

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - Fp^2} = \sqrt{1 - 0,989^2} = 0,147$$

Tabla 19

Demanda estimada

Transformadores	Capacidad instalada	S [KVA]	P [KW]	Q [KVAR]
CT1	250	64,29	63,59	9,51
CT2	250	64,29	63,59	9,51
CT3	300	77,15	76,30	11,41
CT4	250	64,29	63,59	9,51
CT5	300	77,15	76,30	11,41

Nota. En la imagen se ve la demanda estimada de los transformadores.

4.7. Proyección de Demanda Máxima Proyectada a 10 años

En la tabla se detalla la proyección de demanda máxima a 10 años de los transformadores de distribución subterráneos conectados a la red perteneciente a la Corporación Nacional de Electricidad Unidad de negocio Bolívar, para ello se utilizó los promedios estadísticos de crecimiento de la potencia establecido en el plan maestro de electrificación, el cual indica un crecimiento anual lineal del 5%.

Tabla 20

Demanda máxima proyectada a 10 años

Transformadores	Demanda Máxima		
	KW	KVA	KVAR
CT1	17,43	17,62	1,76
CT2	32,12	32,35	2,97
CT3	32,71	32,86	3,01
CT4	17,28	17,46	1,77
CT5	33,24	33,37	3,06

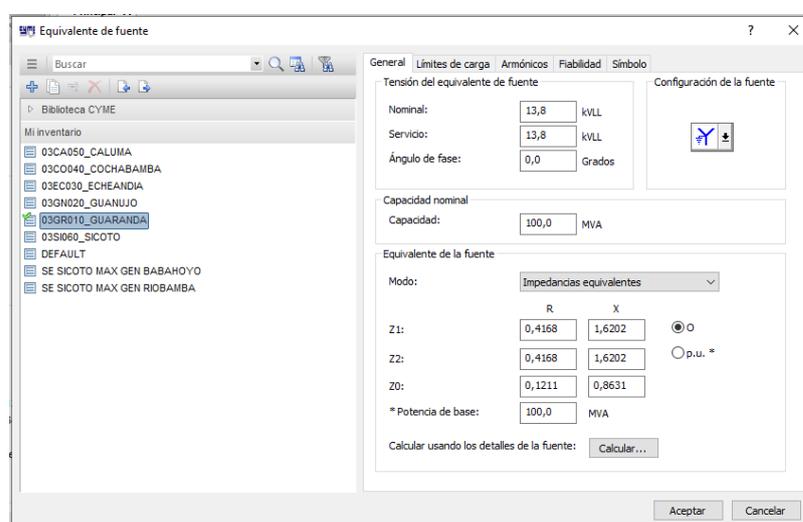
Nota. Demanda máxima proyectada a 10 años.

4.8. Modelamiento de Equivalentes de Red en los Puntos Frontera

En base a la información obtenida de equivalentes de red en los puntos de conexión con el S.N.T. o puntos frontera, se procede al respectivo modelamiento de la red utilizando los parámetros de líneas, transformadores, carga, etc., obteniendo así el equivalente de red de la subestación Guaranda, como se muestra en la figura.

Figura 30

Modelamiento de equivalente de red



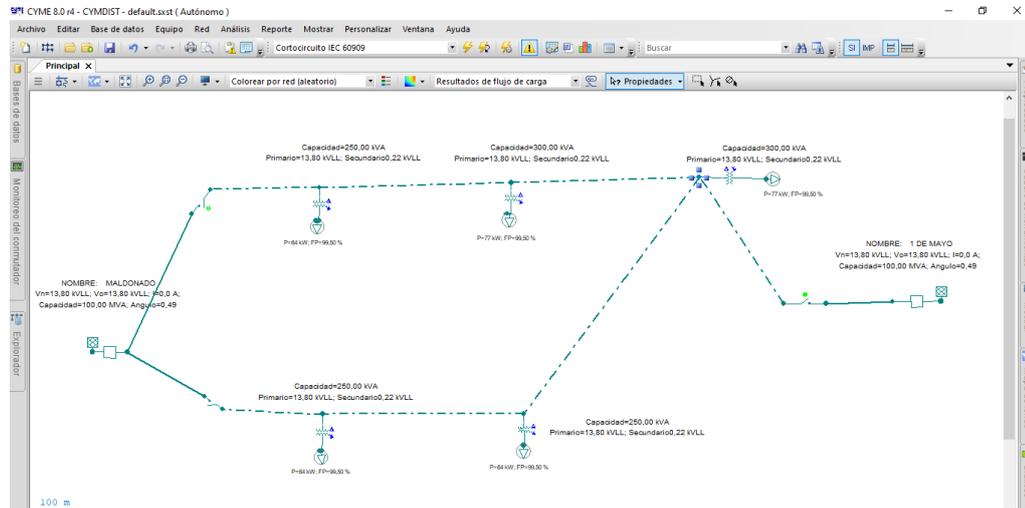
Nota. En la imagen se observa el equivalente de red obtenida del software Cymdist.

4.9. Modelamiento de la Subterránea de Distribución

Una vez obtenida el equivalente de red se procede a modelar y conectar los componentes del sistema de distribución subterránea. para así poder obtener los datos de flujo de carga, para ello se utiliza el software Cymdist, programa cual es utilizado por las empresas eléctricas del Ecuador, se ejecuta la herramienta *flujo de carga* y se escoge el método Newton Rapson balanceado utilizado para el análisis de redes subterráneas, obteniendo los resultados detallados a continuación que serán necesarios para seleccionar los equipos de maniobra y protección a implementar para el sistema SCADA.

Tabla 21

Modelamiento de la red eléctrica subterránea



Nota. En la imagen se muestra la conexión de la red subterránea.

La conexión de la red se encuentra conectada en anillo como se puede apreciar, arranca indistintamente por cualquiera de las 3 acometidas previstas a una tensión nominal de 13.8KV, este tipo de conexión es para mantener la energía constante en la red subterránea, aunque su operación es radial y por motivos de seguridad únicamente queda conectada una y las dos restantes servirán como alimentaciones provisionales, actualmente la bajante 1 se encuentran accionadas manteniendo en reserva la bajante 2 y 3. El flujo de carga se hará considerando las 3 bajantes.

4.9.1. Datos de Flujos de Carga en las Líneas de Distribución

En la tabla se muestra los resultados obtenidos al simular flujos de cargas en configuración radial de las líneas de distribución, en donde se observan los datos de voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva de cada línea, realizado con la activación de cada bajante en demanda máxima.

Tabla 22*Datos de flujo de carga en líneas de distribución demanda máxima*

	Líneas	Voltaje (kV)	Corriente nominal (A)	Corriente carga (A)	Potencia activa (kW)	Potencia reactiva (KVAR)	Cargabilidad (%)	Perdidas (KW)
B1	1 de Mayo – B1	13,8	325	15,08	359,03	32,56	4,54	0,35
	B 1 – CT5	13,8	382	15,09	358,68	34,04	15,09	0,12
	CT5 - CT3	13,8	382	6,14	145,96	13,74	1,61	0,01
	CT3 – CT2	13,8	382	2,79	66,23	5,88	0,73	0,01
	B 1 – CT4	13,8	382	5,58	132,54	12,23	1,46	0,01
	CT4- CT1	13,8	382	2,80	66,51	6,17	0,73	0,002
B2	Maldonado – B2	13,8	325	15,08	358,83	33,06	4,64	0,24
	B2 – CT1	13,8	382	15,08	358,60	34,04	3,95	0,01
	CT1 – CT4	13,8	382	12,28	292,08	27,07	3,22	0,03
	CT4 – CT5	13,8	382	9,51	226,03	20,76	2,49	0,02
	CT5 – CT3	13,8	382	6,14	145,95	13,74	1,61	0,007
	CT3 – CT2	13,8	382	2,78	66,23	5,88	0,73	0,001
B3	Maldonado – B3	13,8	325	15,08	359,10	32,09	4,64	0,47
	B3 – CT2	13,8	382	15,10	358,62	34,06	3,95	0,03
	CT2 – CT3	13,8	382	12,31	292,37	27,43	3,22	0,03
	CT3 – CT5	13,8	382	8,94	212,62	19,54	2,34	0,01
	CT5 – CT4	13,8	382	5,58	132,54	12,23	1,46	0,01
	CT4 – CT1	13,8	382	2,80	66,52	6,18	0,73	0,002

Nota. En la imagen se muestra el flujo de carga realizado en demanda máxima en las 3 bajantes.

4.9.2. Datos de Flujo de Carga en Transformadores

En la tabla se muestra los resultados obtenidos al simular flujos de carga correspondientes a los transformadores subterráneos de distribución. Al activar cada una de las bajantes el flujo de carga de en los transformadores sigue manteniendo los mismos resultados como se detalla a continuación.

Tabla 23*Datos de flujo de carga en transformadores demanda máxima*

Trasformador	Nivel de voltaje (KV/V)	Capacidad (MVA)	P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Cargabilidad (%)	Perdida (KW)
CT1	13,8/220-127	250	66,51	7,16	66,90	26,65	0,24
CT2	13,8/220-127	250	66,23	7,12	66,61	26,53	0,23
CT3	13,8/220-127	300	79,72	8,62	80,18	26,62	0,27
CT4	13,8/220-127	250	66,02	7,10	66,40	26,45	0,23
CT5	13,8/220-127	300	80,06	8,63	80,53	26,73	0,28

Nota. En la tabla se muestra los datos de los transformadores al realizar flujo de carga con su demanda máxima.

4.9.3. Datos de Flujos de Carga en Líneas de Distribución Demanda

Proyectada

Se realizó una proyección a 10 años del crecimiento de la demanda en donde se volvió a realizar el flujo de carga en configuración radial en las líneas de distribución cuyos resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 24*Datos en líneas de distribución demanda proyectada*

Líneas	Voltaje (kV)	Corriente nominal (A)	Corriente carga (A)	Potencia activa (kw)	Potencia reactiva (KVAR)	Cargabilidad (%)	Perdidas (KW)
1 de Mayo – B1	13,8	325	24,89	591,65	62,11	7,66	0,96
B1 B 1 – CT5	13,8	382	24,91	590,99	61,92	24,91	0,33
CT5 - CT3	13,8	382	10,13	240,12	25,07	2,65	0,02
CT3 – CT2	13,8	382	4,59	108,83	10,96	1,20	0,004
B 1 – CT4	13,8	382	9,20	218,29	22,48	2,41	0,02
CT4- CT1	13,8	382	4,62	109,64	11,34	1,21	0,004
Maldonado – B2	13,8	325	24,88	591,38	61,91	7,65	0,64
B2 B2 – CT1	13,8	382	24,88	590,74	61,92	6,51	0,03
CT1 – CT4	13,8	382	20,26	481,09	49,78	5,30	0,08
CT4 – CT5	13,8	382	15,69	372,40	38,37	4,11	0,06
CT5 – CT3	13,8	382	10,12	240,10	25,06	2,65	0,02
CT3 – CT2	13,8	382	4,58	108,82	10,96	1,20	0,004

Líneas	Voltaje (kV)	Corriente nominal (A)	Corriente carga (A)	Potencia activa (kw)	Potencia reactiva (KVAR)	Cargabilidad (%)	Perdidas (KW)
Maldonado – B3	13,8	325	24,91	592,15	61,96	7,66	1,29
B3 B3 – CT2	13,8	382	24,92	590,86	61,98	6,52	0,07
CT2 – CT3	13,8	382	20,33	481,96	50,24	5,32	0,07
CT3 – CT5	13,8	382	14,79	350,61	36,08	3,87	0,04
CT5 – CT4	13,8	382	9,21	218,31	22,49	2,41	0,02
CT4 – CT1	13,8	382	4,63	109,65	11,34	1,21	0,004

Nota. En la imagen se muestra el flujo de carga realizado en demanda máxima proyectada a 10 años.

4.9.4. Datos de Flujo de Carga en Transformadores Demanda Proyectada

En la tabla se muestra los resultados obtenidos al simular flujos de carga correspondientes a los transformadores subterráneos de distribución. Al activar cada una de las bajantes el flujo de carga de en los transformadores sigue manteniendo los mismos resultados como se detalla a continuación.

Tabla 25

Datos de flujo de carga transformadores demanda máxima

Transformador	Nivel de voltaje (KV/V)	Capacidad (KVA)	P (KW)	Q (KVAR)	S (KVA)	Cargabilidad (%)	Perdida (KW)
CT1	13,8/220-127	250	109,64	12,32	110,33	43,82	0,64
CT2	13,8/220-127	250	108,83	12,20	109,51	43,50	0,63
CT3	13,8/220-127	300	131,27	14,86	132,11	43,73	0,73
CT4	13,8/220-127	250	108,63	12,18	109,31	43,42	0,63
CT5	13,8/220-127	300	132,25	14,90	133,09	44,05	0,77

Nota. En la imagen se muestra los datos de flujo de carga del transformador.

4.9.5. Análisis de Cortocircuito

Se realiza el análisis de cortocircuito trifásico, fase - tierra, entre fases, bifásico – tierra; para el escenario de la demanda máxima actual de la Corporación Nacional de Electricidad Unidad de negocio Bolívar según la norma IEC 60909 que se detallara en la siguiente tabla.

Tabla 26

Corriente de cortocircuito de cresta [I_p]

	Nodos	Icc-LLL [KA]	Icc-LG [KA]	Icc-LL [KA]	Icc-LLG [KA]
Bajante 1	N-CT1	6,52	5,03	5,64	6,11
	N-CT2	6,56	5,14	5,67	6,16
	N-CT3	6,65	5,38	5,75	6,26
	N-CT4	6,62	5,28	5,72	6,22
	N-CT5	6,74	5,66	5,83	6,36
Bajante 2	N-CT1	3,58	3,05	3,06	3,39
	N-CT2	3,48	2,72	2,98	3,20
	N-CT3	3,50	2,79	3,00	3,24
	N-CT4	3,55	2,97	3,04	3,34
	N-CT5	3,52	2,86	3,02	3,28
Bajante 3	N-CT1	3,04	2,30	2,61	2,79
	N-CT2	3,12	2,53	2,67	2,91
	N-CT3	3,10	2,47	2,66	2,87
	N-CT4	3,06	2,35	2,62	2,81
	N-CT5	3,08	2,42	2,65	2,84

Nota. En la tabla se muestra el análisis de cortocircuito de cresta en demanda máxima

Tabla 27

Corriente de régimen permanente [I_k]

	Nodos	Icc-LLL [KA]	Icc-LG [KA]	Icc-LL [KA]	Icc-LLG [KA]
Bajante 1	N-CT1	2,64	2,04	2,28	2,48
	N-CT2	2,66	2,08	2,30	2,49
	N-CT3	2,69	2,18	2,33	2,53
	N-CT4	2,68	2,14	2,32	2,52
	N-CT5	2,73	2,29	2,36	2,58
Bajante 2	N-CT1	1,45	1,24	1,24	1,37
	N-CT2	1,41	1,10	1,21	1,29
	N-CT3	1,42	1,13	1,21	1,31
	N-CT4	1,44	1,20	1,23	1,35
	N-CT5	1,43	1,16	1,22	1,33
Bajante 3	N-CT1	1,23	0,93	1,06	1,13
	N-CT2	1,26	1,02	1,08	1,18
	N-CT3	1,26	1,00	1,08	1,16
	N-CT4	1,24	0,95	1,06	1,14
	N-CT5	1,25	0,98	1,07	1,15

Nota. En la tabla se muestra la corriente de régimen permanente en demanda máxima.

CAPÍTULO V

5. Propuesta

Estudio de factibilidad de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos de la red subterránea existente de los alimentadores primarios 03GR010T12-GUARANDA-CDLA. 1º DE MAYO y 03GR010T13-GUARANDA-MALDONADO en el centro de la ciudad de Guaranda perteneciente a la Corporación Nacional de Electricidad, Unidad de Negocio Bolívar.

5.1. Datos Informativos

Institución

Corporación Nacional de Electricidad – Unidad de Negocio Bolívar.

Dirección

Provincia de Bolívar, ciudad Guaranda.

Tipo de empresa

Corporación

Tamaño de la empresa

Grande

Beneficiario

Corporación Nacional de Electricidad – Unidad de Negocio Bolívar, Centro de Operaciones Guaranda.

5.2. Objetivos

5.2.1. *Objetivo General*

Estudiar el sistema eléctrico de la red subterránea de la parte céntrica de Guaranda mediante el análisis del comportamiento eléctrico con el fin de realizar una propuesta para la implementación de un sistema SCADA.

5.2.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar los equipos de medición, interfaces y protocolos de comunicación requeridos para el sistema SCADA en el Centro de Control de Bolívar.
- Recolectar información referente a equipos de protección en base a los datos proporcionada por CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar.
- Proponer un diseño basado en el monitoreo, supervisión y adquisición de datos para la red eléctrica subterránea del centro de la ciudad de Guaranda.
- Establecer un presupuesto referencial de lo que implicaría implementar el diseño del sistema SCADA en el Centro de Control de Bolívar.

5.3. Fundamentación de la Propuesta

El presente proyecto propone diseñar un Sistema SCADA de la red eléctrica subterránea de la zona céntrica de Guaranda para la Corporación Nacional de Electricidad Unidad de Negocio (CNEL EP) Bolívar utilizando como medio de comunicación fibra óptica con la técnica DWDM, para mejorar la calidad de transmisión de datos y optimizar los servicios a los usuarios.

5.4. Diseño de la Propuesta

Para la propuesta se deben seguir los siguientes pasos con el fin de diseñar el sistema SCADA para la red eléctrica subterránea de la zona céntrica de la ciudad de Guaranda.

- Selección de equipos
- Medio de comunicación
- Diseño del SCADA
- Presupuesto

5.4.1. Selección de Equipos

Por la información presentada por parte de Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP), Unidad de Negocios Bolívar sobre la remodelación de la red eléctrica de la zona céntrica de Guaranda se debe mencionar ciertas observaciones.

- Los pozos se encuentran diseñados con dimensiones específicas para la contención de los transformadores, no posee espacios para colocar otro tipo de dispositivos.
- Los ductos se encuentran distribuidas con los cables de media tensión, cables de baja tensión, cables de alumbrado público y de telecomunicaciones.
- El beneficio de remodelar y modernizar la red eléctrica pasándola de aérea a subterránea es notable ya que mejoro la imagen de la ciudad y se reduce la contaminación visual.

Por este motivo se decidió optar por los siguientes equipos:

Para la protección y operación de la red de medio voltaje se optó por la utilización de celdas modulares con aislamiento en SF6 de la marca Ormazabal, como la red de medio voltaje se encuentra un nivel de 13,8 KV, el voltaje de operación seleccionado de las celdas es de 24kV, estas celdas tienen un accionamiento de cierre-apertura motorizada, además de tener la facilidad de conectarse con el Centro de Operaciones de Guaranda a través de la utilización la RTU y con un sistema de comunicación mediante fibra óptica

Resulta más conveniente la utilización de celdas tipo pedestal en SF6 ya que el gabinete está diseñado con dimensiones reducidas convenientes para instalaciones en exteriores de la red de distribución pública, además de ser útil para la operación y protección del sistema ya que mejora las condiciones de operación y

mantenimiento de la red e incrementa la confiabilidad de sistema además de contar con un mayor número de puntos de control al ser integrados a un sistema SCADA.

Figura 31

Celdas en SF6 tipo pedestal



Nota. En la imagen se muestra el modelo de las celdas en SF6 tipo pedestal.

Tomado de (Alianza Electrica S.A. DE C.V., s.f.)

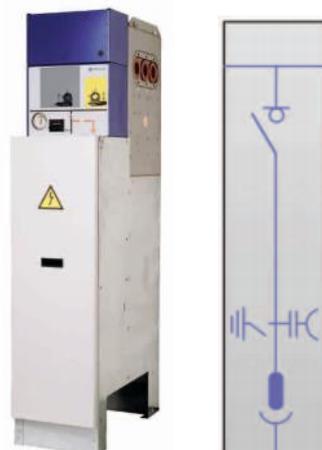
5.4.1.1. Celdas Modulares de Línea Ormazabal

Celdas modulares con función de línea de entrada o salida de los cables de medio voltaje, está conformado de un interruptor-seccionador de corte en carga de tres posiciones: conectado, seccionado y puesta a tierra. Para que pueda ser monitoreada remotamente viene incluido el relé ekor.rci

El sistema de medio voltaje de la red subterránea de Guaranda se encuentra a un nivel de 13.8 KV, con una frecuencia de 60Hz. En base a los datos de red otorgado por la simulación se selecciona el siguiente equipo

Figura 32

Celdas de accionamiento de líneas E/S



Nota. En la imagen se muestra física y gráficamente la celda modula de línea de marca Ormazabal. Tomado de (Ormazabal Especialistas en Media Tensión)

Tabla 28

Características eléctricas de la celda de línea Ormazabal

Celda de Línea				
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS				
Tensión asignada	U_r	[kV]	12	24
Frecuencia asignada	f_r	[Hz]	50/60	50/60
Corriente asignada				
Barras e interconexión de celdas	I_r	[A]	400/630	400/630
Acometidas	I_r	[A]	400/630	400/630
Tensión soportada asignada de corta duración o frecuencia industrial (1min)				
Fase-Tierra y entre fases	U_d	[kV]	28	50
Distancia de seccionamiento	U_d	[kV]	32	60
Tensión soportada asignada a impulso de tipo rayo				
Fase-Tierra y entre fases	U_p	[kV]	75	125
Distancia de seccionamiento	U_p	[kV]	85	145
Clasificación arco interno	IAC AFL		16kA 1s/ 20**kA 1s	
Grado de protección	IP		IP33 + IPX7	
Interruptor - Seccionador / IEC60265 -1 + IEC62271-102				
Corriente admisible asignada de corta duración (circuito principal)				
Valor $t_k = 1s$ o $3s$	I_k	[kA]	16/20**/25 [#]	16/20**
Valor de cresta	I_p	[kA]	40/52**/62,5 [#]	40/52**
Poder de corte asignada de corriente principalmente activa	I_1	[A]	400/630	
Poder de corte asignado de cables en vacío	I_{4a}	[A]	50/1,5	

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS				
Poder de corte asignado de bucle cerrado	I_{2a}	[A]	400/630	
Poder de corte asignado en caso de defecto en tierra	I_{6a}	[A]	300	
Poder de corte asignado de cables/líneas en vacío en caso de defecto a tierra	I_{6b}	[A]	100	
Poder de cierre del interruptor principal (valor de cresta)	I_{ma}	[kA]	40/52**/62,5 [#]	40/52**
Categoría del interruptor				
Endurancia mecánica			1000-M1 (manual) 5000-M2 (motor)	
Ciclos de maniobras (cierres cc) – clase			5 – E3	
Seccionador de puesta a tierra s/ IEC 62271 – 102				
Corriente admisible asignada de corta duración (circuito de tierras)				
Valor $t_k = 1s$ o $3s$	I_k	[kA]	16/20**/25 [#]	16/20**
Valor de cresta	I_p	[kA]	40/52**/62,5 [#]	40/52**
Poder de cierre de seccionador de puesta a tierra (valor de cresta)	I_{ma}	[kA]	40/52**/62,5 [#]	40/52**
Categoría del Seccionador de Puesta a Tierra				
Endurancia mecánica (manual)			1000 – M0	
Ciclos de maniobras (cierres – cc) clase			5 – E2	

Nota. * También disponible $U_r = 7,2kV$ bajo pedido.

** Ensayos realizados con corriente 21kA/52,5 kA.

Valor solo valido para $t_k = 1s$. Tomado de (Ormazabal Especialistas en Media Tensión)

Como se mencionó la red eléctrica de medio voltaje trabaja a un nivel de 13,8KV con una corriente nominal admisible de 382 A, revisando la información de la tabla se seleccionó la celda de un voltaje de 24kv ya que se debe seleccionar con valores iguales o mayores al voltaje de la red.

Para seleccionar los interruptores se toma en cuenta las corrientes I_k e I_p que se obtuvieron al hacer el ensayo de corto circuito, son admisibles para las celdas de línea a nivel de 24 KV

5.4.1.2. Unidad ekor.rpa 120 - P

La unidad de protección, medida y control se encuentra integrado por una celda de protección con fusible CGMC.3 – P y el relé ekor rpa serie 100, el cual puede ser telecontrolado e integrado a un sistema SCADA.

Figura 33

Unidad multifunción de protección, medida y control



Nota. En la imagen se muestra la Unidad multifuncional de protección y medida, sus componentes y partes. Tomado de (Castellano, Company, & Cantó, 2019)

a. CGM.3 – P.

La celda modular de protección con fusible es utilizada para la protección de transformadores provista de un interruptor seccionador de 3 posiciones, se utiliza para maniobras de conexión, desconexión y protección.

Tabla 29

Características eléctricas de la celda de protección con fusible

Celda de Protección con Fusible				
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS				
Tensión asignada	U_r	[kV]	12	24
Frecuencia asignada	f_r	[Hz]	50/60	50/60
Corriente asignada				
Barras e interconexión de celdas	I_r	[A]	400/630	400/630
Acometidas	I_r	[A]	400/630	400/630
Tensión soportada asignada de corta duración o frecuencia industrial (1min)				
Fase-Tierra y entre fases	U_d	[kV]	28	50

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS			
Distancia de seccionamiento	U_d [kV]	32	60
Tensión soportada asignada a impulso de tipo rayo			
Fase-Tierra y entre fases	U_p [kV]	75	125
Distancia de seccionamiento	U_p [kV]	85	145
Clasificación arco interno	IAC AFL	16kA 1s/ 20**kA 1s	
Grado de protección	IP	IP33 + IPX7	
Interruptor - Seccionador / IEC60265 -1 + IEC62271-102			
Corriente admisible asignada de corta duración (circuito principal)			
Valor $t_k = 1s$ o $3s$	I_k [kA]	16/20**/25#	16/20**
Valor de cresta	I_p [kA]	40/52**/62,5#	40/52**
Poder de corte asignada de corriente principalmente activa	I_1 [A]	200	
Poder de cierre del interruptor principal (valor de cresta)	I_{ma} [A]	40/52**/62,5#	40/52**
Categoría del Interruptor			
Endurancia mecánica		1000-M1 (manual) 5000-M2 (motor)	
Ciclos de maniobras (cierres cc) - clase		5 – E3	
Corriente de intersección combinado interruptor - rele (ekor.RPT - ekor.RPA)			
I_{max} de corte según TD IEC 62271	[A]	1700	1300
Corriente de transición combinado interruptor – fusible			
I_{max} de corte según TD IEC 62271	[A]	2300	1600
Categoría de Seccionador de puesta a tierra s/ IEC 62271 – 102			
Corriente admisible asignada de corta duración (circuito de tierras)			
Valor $t_k = 1s$ o $3s$	I_k [kA]	1 / 3	
Valor de cresta	I_p [kA]	2,5 / 7,5	
Poder de cierre de seccionador de puesta a tierra (valor de cresta)	I_{ma} [kA]	2,5 / 7,5	
Categoría del Seccionador de Puesta a Tierra			
Endurancia mecánica (manual)		1000 – M0	
Ciclos de maniobras (cierres – cc) clase		5 - E2	

Nota. * También disponible $U_r = 7,2kV$ bajo pedido.

** Ensayos realizados con corriente 21kA/52,5 kA.

Valor solo valido para $t_k = 1s$. Tomado de (Ormazabal Especialistas en Media Tensión)

De la misma manera se selecciona el equipo para el nivel de 24 KV, y los ensayos de cortocircuito de líneas y tierras se encuentran en las tablas 26 y 27, que son admisibles para los valores de esta celda.

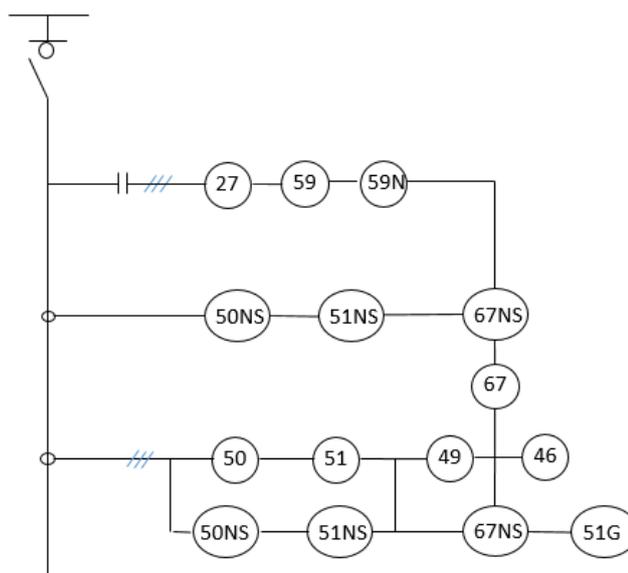
b. Relé ekor.rpa 120.

La unidad multifuncional ekor.pra – 120 cuenta con protecciones, control y maniobra mediante un sistema SCADA, realiza registro de faltas y eventos, además

de realizar medidas en MT en tiempo real de (I, V, P, Q, E), estar representado por el siguiente esquema de funciones:

Figura 34

Esquemas de funciones ekor.rpa - 120



Nota. En la figura se muestra el esquema de funciones de protección ekor.rpa – 120.

Los equipos de medida que conforman la unidad ekor.rpa son:

- Transformadores de intensidad
- Sensores de tensión

a. Transformadores Toroidales de Intensidad de Fase

Tabla 30

Características de transformadores toroidales de intensidad de fase

Transformadores toroidales de intensidad de fase			
Relación	300/1 ^a	1000/1 ^a	2500/1 ^a
Rango de medida	Extd 130%	Extd 130%	Extd 130%
Clase de medida	0,2	0,2	0,25
Clase medida rango bajo	Al 1% de $I_n \pm$ 0,4% de amplitud y \pm 0,85% min en fase	Al 0,5% de $I_n \pm$ 0,35% de amplitud y \pm 0,25% min en fase	Al 0,5% de $I_n \pm$ 0,3% de amplitud y \pm 0,20% min en fase
Clase de protección	5P20	5P20	5P13
Potencia de precisión	0,2 VA	0,2 VA	0,2 VA
Intensidad térmica	31,5 kA - 3s	31,5 kA - 3s	31,5 kA - 3s

Transformadores toroidales de intensidad de fase			
Intensidad dinámica	2,5 I _{th}	2,5 I _{th}	2,5 I _{th}
Frecuencia	50 – 60 Hz	50 – 60 Hz	50 – 60 Hz
Aislamiento	0,72 / 3 Kv	0,72 / 3 Kv	0,72 / 3 Kv
Diámetro exterior	139 mm	139 mm	139 mm
Diámetro interior	82 mm	82 mm	82 mm
Altura	38 mm	38 mm	38 mm
Peso	1,350 kg	1,650 kg	1,225 kg
Polaridad	S1, S2	S1, S2	S1, S2
Encapsulado	Poliuretano autoextinguible	Poliuretano autoextinguible	Poliuretano autoextinguible
Clase térmica	B (130°C)	B (130°C)	B (130°C)
Norma de referencia	IEC 61869 – 2	IEC 61869 – 2	IEC 61869 – 2

Nota. En la tabla se muestra las las características de los transformadores toroidales de intensidad. Tomado de (Ormazabal Velatia, 2020)

a. Sensores de tensión ekor.evt – c

Tabla 31

Características de los Sensores de tensión ekor.evt – c

Sensores de tensión ekor.evt – c		
Tensión máxima (compuesta)	24 kV	36 Kv
Tensión máxima (compuesta)	22 kV	33 Kv
Clase de medida	1	
Clase de protección	3P	
Frecuencia	50/60 Hz	
Redes (compuestas)	12,1 kV – 13,2 kV – 16,5 kV – 22 kV	25 kV – 27,5 kV – 33 Kv
Norma de referencia	IEC 61869 – 3	

Nota: En la tabla se muestra las características eléctricas del sensor de tensión integrado en la unidad multifuncional ekor.rpa 120 – P. Tomado de (Ormazabal Velatia, 2020)

La tensión del sensor será igual que la tensión utilizada 24KV con la que fue utilizada para seleccionar las celdas.

5.4.1.3. Unidad Compacta de Telecontrol y Automatización Ekor.uct

Es una unidad compacta que se encuentra orientada a la automatización y telecontrol de los centros de transformación, puede controlar cualquier número de

celdas que sean equipadas de control integrado, para este caso se utilizará el ekor.uct – m (mural). Esta unidad consta de dos compartimientos:

Compartimiento de distribución (RTU y batería). En este compartimiento encontramos los elementos de alimentación como la unidad de control remota ekor.ccp, la batería y cargador/rectificador y magnetotérmicos de protección para cada elemento.

Las celdas son conectadas al lado de baja del transformador para energizarse, pero al tener una batería integrada si llega a desenergizarse la línea estos seguirán trabajando ya que se conectará la batería.

Alojamiento de comunicaciones (COMMS). Utilizado para alojar equipo de comunicaciones. Este compartimiento será utilizado para para colocar la ONU, para la comunicación de cada RTU con el centro de control.

A continuación, se muestran las características de la unidad compacta ekor.uct y la unidad de control remota ekor.ccp

Tabla 32

Características de ekor.uct

Valores asignados de ekor. uct		
Alimentación		
C.A.	[V _{ca}]	230 ±15%
Aislamiento	[kV]	10
Consumo max.	[W]	100
Consumo celda	[W]	1,5 (seccionador en carga) 7 (interruptor automática)
Frecuencia	[Hz]	50/60 ± 1%
Tensión de alimentación de salida	[V _{cc}]	48 y 12
Temperatura		
Funcionamiento	[°C]	-10 ... + 60
Almacenamiento	[°C]	-25 ... + 70

Tabla 33

Características técnicas de ekor.ccp

Valores asignados de ekor.ccp		
Alimentación		
Rango de tensión	[V _{cc}]	30 – 80
Consumo		
Nominal	[W]	21
Con display encendido y con todas las salidas activas	[W]	30
Entradas digitales		
Por tarjeta		12 entradas
Máxima capacidad		48 entradas
Tensión polarización	[V _{cc}]	30 – 80
Salidas digitales		
Tipo tarjetas		Contactos libres de potencial 6 salidas
Máxima capacidad		24 salidas
Contactos	[V _{ca}]	5 a 250 / resistivo
Temperatura		
Funcionamiento	[°C]	-10 ... +60
Almacenamiento	[°C]	-25 ... +70
CPU		
Memoria RAM	[Mb]	16
Reloj de tiempo real		hh:mm:ss:dd
Registro eventos		1792
Capacidad grafica		Se muestran 6 celdas en el display

5.4.2. Selección del Medio de Comunicación

Lo siguiente para la propuesta será diseñar el sistema de comunicación para el SCADA, lo cual involucra las siguientes etapas:

5.4.2.1. Análisis de los Requerimientos para el Envío de Datos.

a. Selección del Medio

Se realizó un análisis comparativo entre los medios de comunicación guiados y no guiados, así como se muestra en la Tabla 4. (Capítulo 2). Por ende, al analizar las diferentes características de los medios se optó por seleccionar los medios guiados ya que presentan las siguientes ventajas:

- Grandes anchos de banda en el orden los GHz.
- Largas distancias entre repetidores.
- Alta velocidad de transmisión.
- Buena seguridad.
- Tiene un rendimiento de red elevado.
- Inmune a interferencias.
- Soporta diferentes tecnologías.
- Mayor flexibilidad.

b. Selección del Canal.

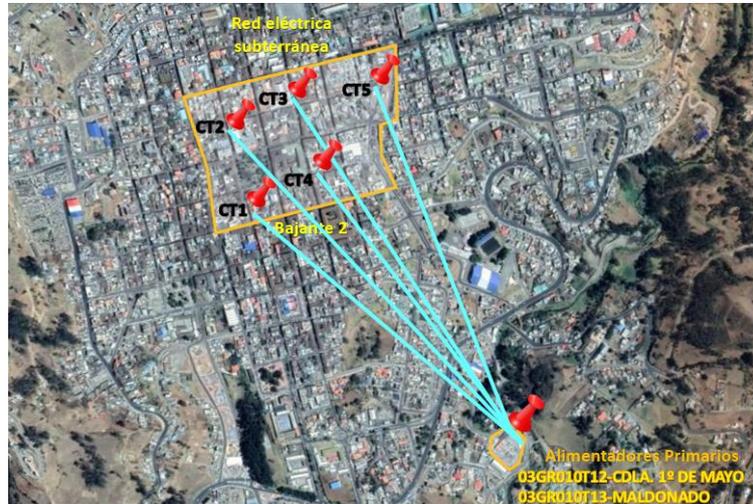
Para seleccionar el canal a utilizar se comparó las características de los 3 cables que se muestran en la Tabla 5 (Capítulo 2), además se comparó las ventajas y desventajas de los mismos mostrados en la Tabla 6 (Capítulo 2), por el cual se decidió utilizar como medio de comunicación la fibra óptica por las siguientes razones.

- El ancho de banda está en el orden de los THz
- Gran velocidad de transmisión (2 Gbps)
- Inmune a interferencias
- Alanza largas distancias entre (10 – 100 km)

Aunque el costo de implementación sea elevado las ventajas presentadas son grande para obtener un medio de comunicación viable y confiable.

5.4.2.2. Ubicación Geográfica.

- a. Determinación de la Ubicación Geográfica del Centro de Operaciones y los Transformadores de la Red Eléctrica Subterránea.**

Figura 35*Ubicación Geográfica*

El nodo principal está ubicado en la ciudad de Guaranda el Centro de Operaciones de Bolívar, y se enlazan a los transformadores a ser monitoreados ubicados en las siguientes calles:

Cámara de Transformación 1 (CT1): calle Sucre, entre 10 de agosto y Olmedo (Registro Civil).

Cámara de Transformación 2 (CT2): calle Sucre, entre Azuay y García Moreno (Banco Guayaquil).

Cámara de Transformación 3 (CT3): calle 7 de Mayo, Manuela Cañizares y Azuay (HAER).

Cámara de Transformación 4 (CT4): calle 10 de Agosto, entre 7 de Mayo y 9 de abril (Banco del Fomento).

Cámara de Transformación 5 (CT5): Av. General Enríquez (Flota Bolívar).

En la Tabla 34, se muestra la ubicación geográfica de cada uno de los transformadores en coordenadas UTM, con los siguientes parámetros:

Tabla 34.

Ubicación en UTM

Puntos de conexión	Coordenadas UTM		
	Zona	Este	Norte
Cámara de transformación 1	17	722369.8	9823827.1
Cámara de transformación 2		722274.5	9823983.4
Cámara de transformación 3		722428.7	9824060
Cámara de transformación 4		722508.4	9823911
Cámara de transformación 5		722611.2	9824096.8
Centro de operaciones Bolívar		722784.5	9823273.1

b. Selección de la Ruta

Para la selección de la ruta entre el centro de operaciones y los diferentes transformadores de la red soterrada de la zona céntrica de la ciudad de Guaranda, se toma en cuenta los siguientes aspectos.

Distancias entre Terminales

Tabla 35.

Distancias entre los diferentes enlaces

Enlace	Descripción	Distancia
D1	Centro de operaciones – CT5	2,55 km
D2	CT5 – CT3	206,81 m
D3	CT5 – CT2	379.8 m
D4	CT5 – CT4	299.3 m
D5	CT5 – CT1	522,1 m
Total		4,01 km

Al obtener la suma total de las distancias se le aumentará el 10% del resultado total, ya que el cálculo de distancias puede tener un margen de error mínimo, además se deberá tomar en cuenta los metros de fibra en reserva, considerando el 15% de la distancia total, sumando estos porcentajes se debería tomar en cuenta el 25% de la distancia total de toda la ruta.

$$DT_1 = DT + (DT \times 25\%)$$

$$DT_1 = 4,01 \text{ km} + (4,01 \text{ km} \times 25\%)$$

$$DT_1 = 5,01 \text{ km}$$

5.4.2.3. Enlace del Centro de Control - Red eléctrica Subterránea.

a. Selección de la Red Óptica.

Para el desarrollo del proyecto es empleada la red PON, este tipo de red tiene algunos tipos de tecnologías mostrado en la Tabla 8 (capítulo II), del análisis realizado la tecnología GPON es seleccionada debido a que cumplen los requerimientos necesarios como se demuestra en las siguientes características:

- Inmune a interferencia Electromagnética
- Disminuye degradación de las señales
- Incrementa la capacidad de banda ancha
- Cubre distancias hasta los 20 Km
- Soporta velocidades hasta 2.5 Gbps.

b. Análisis del Tipo de Tendido de Fibra Óptica.

En el presente proyecto se va a realizar el tendido de fibra óptica área y subterránea según la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T en la recomendación L 35 (Instalación de cables de fibra óptica en la red de acceso), provee información sobre los métodos para la instalación de cables de fibra óptica; para ello se propone utilizar las infraestructuras que actualmente existen en la ciudad de Guaranda.

Para el tendido de fibra óptica tanto aérea como subterránea se utilizará los postes de cemento instalados y los ductos dentro de las cámaras o pozos existentes por lo que implica un menor costo en la instalación, implementación del tendido de cable óptico en menor tiempo y facilidad de mantenimiento.

c. Selección del Tipo de Cable Óptico.

Los tipos de fibra óptica están clasificados en Monomodo y Multimodo, en la Tabla 7 (Capítulo II) se realiza una comparación entre ellas y del análisis realizado la

fibra monomodo trabaja en la ventana 1310 y 1550 nm, las atenuaciones que presenta son mínimas, además posee un ancho de banda muy amplio.

La recomendación IUT-G652.D (fibra de dispersión no desplazada) describe los atributos de una fibra monomodo con dispersión nula en la longitud de onda de la ventana 1310 nm. por lo que no existiría un problema funcional en sistemas DWDM ya que sus equipos de transmisión corrigen la dispersión cromática superando así esta dificultad, este tipo de fibra suele ser más comercializada.

Para el tendido aéreo se consideró el cable ADSS porque está diseñado para la instalación aérea entre postes, evitando la necesidad de cables guía además ofrecen la resistencia a la tracción necesaria en este tipo de instalaciones gracias a la aramida, un material que aporta excelentes propiedades mecánicas de tracción, manteniendo un peso muy ligero. (ANEXO B) datasheet cable

Para el tendido subterráneo se consideró el cable de fibra óptica armado utilizado para uso exterior, con una capa interior metálica corrugada, para uso en instalación aérea embobinado sobre guía de acero. Altamente recomendable en vía subterránea ya que posibilita su monitoreo y localización. (ANEXO A)

d. Selección de la Tecnología de Multiplexación.

La tecnología de multiplexación que se va a utilizar en el desarrollo del proyecto es WDM (multiplexación por división de longitud de onda) ya que proporciona mejores ventajas. En la Tabla 6 (capítulo II) se encuentran las características comparativas de las tecnologías WDW por lo cual analizándolas se optó por la tecnología DWDM LAN/MAN (Multiplexación por división en longitud de onda densa) por los siguientes motivos:

- Capacidad tanto por canal como por fibra de la red de comunicación es alta.

- Envía diversas señales ocupando una sola señal sin que interfieran entre sí, a altas tasas de transmisión.
- Transporta cualquier formato de transmisión en cada canal óptico.

e. Elección de la Topología de Red.

Para seleccionar el tipo de topología se debe tomar en cuenta la ubicación geográfica de los puntos a medir, postes y ductos o cámaras subterráneas por los cuales se trazarán la ruta de la red de fibra óptica. Para el desarrollo de este proyecto en la Tabla 10 (Capítulo II) se analiza las ventajas y desventajas de las diferentes topologías y para el desarrollo del diseño se utilizará la configuración en estrella para comunicarlo con el centro de operaciones.

f. Selección de Equipos

Para la selección de los equipos se debe tomar en cuenta la compatibilidad entre ellos por lo cual se mostrarán algunas características importantes para la futura construcción de la red de comunicación fibra óptica.

Tabla 36

Detalles de equipos

Detalle	Características
<p data-bbox="288 1391 783 1462">Cable de fibra óptica ADSS Prysmia</p> 	<p data-bbox="783 1391 1399 1424">Proveedor Ecuador: Enerpetrol</p> <p data-bbox="783 1429 1399 1462">Marca: Prysmian</p> <p data-bbox="783 1467 1399 1500">Tipo de fibra: SM G652.D</p> <p data-bbox="783 1505 1399 1538">Número de fibras: 6 hilos tipo ADSS</p> <p data-bbox="783 1543 1399 1576">Carga máxima de operación: 2,7 kN</p> <p data-bbox="783 1581 1399 1615">Peso neto: 81 kg/km $\pm 10\%$</p> <p data-bbox="783 1619 1399 1653">Longitud de onda: 1310 nm</p> <p data-bbox="783 1657 1399 1691">Atenuación: $\leq 0,25$ dB/Km</p> <p data-bbox="783 1695 1399 1729">Radio mínimo de curvatura:</p> <p data-bbox="783 1733 1399 1767">20 x \varnothing Cable (durante la instalación)</p> <p data-bbox="783 1771 1399 1805">10 x \varnothing Cable (después de la instalación)</p> <p data-bbox="783 1809 1399 1843">Bobina de madera con protección, longitud estándar 4Km $\pm 3\%$</p>

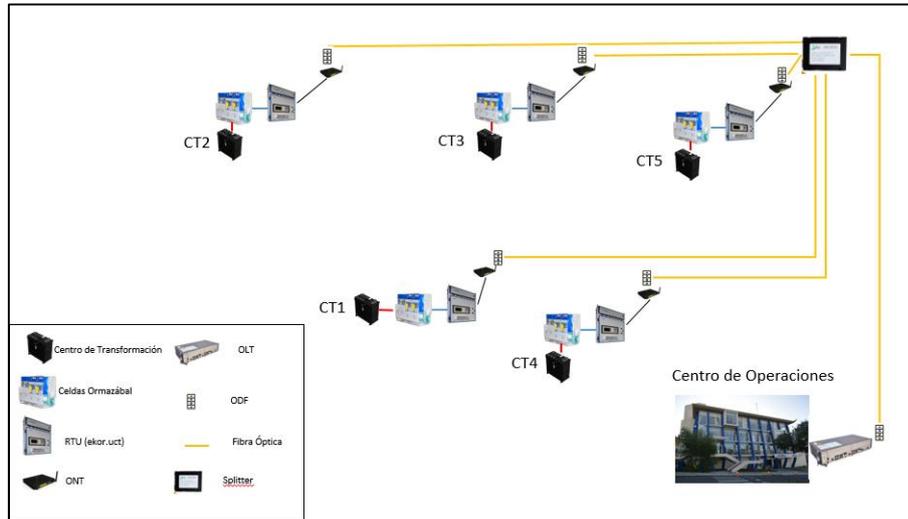
Detalle	Características
<p>Cable de fibra óptica canalizado</p> 	<p>Proveedor Ecuador: Enerpetrol Marca: Prysmian Tipo de fibra: SM G652.D Número de fibras: 6 hilos tipo ADSS Carga máxima de operación: 4,5 kN Peso neto: 145 kg/km \pm14% Longitud de onda: 1310 nm Atenuación: \leq0,36 dB/Km Radio mínimo de curvatura: 20 x \varnothing Cable (durante la instalación) 10 x \varnothing Cable (después de la instalación) Bobina de madera con protección, longitud estándar 4Km \pm3% (ANEXO B)</p>
<p>OLT Huawei Serie MA5608T</p> 	<p>Puertos GPON 20 km de alcance (60 Km de alcance lógico máximo) Estándar GPON ITU-T G.984 64 abonados por interfaz PON Puerto óptico Etehernet: Eth: 8 puertos Alimentación: 48 VDC, con fuente redundante adicional</p>
<p>ONT HUAWEI HG8245</p> 	<p>Alimentación: 11-14 VDC Interfaces: puertos Ethernet 2 puertos Pots 1 puerto USB 1 Wi-Fi Access Protocolo: GPON: ITU-T G.984</p>
<p>Conector SC</p> 	<p>Conector de Broche. Pérdidas de inserción momomodo: 0,3 dB Férula de 2.5mm. Simplex y Dúplex.</p>

5.4.3. Diseño del Diagrama Físico de la Red

Es esquema de conexión de la comunicación se lo realizara de punto a multipunto como se muestra en la figura, es la configuración óptima para la tecnología GPON.

Figura 36

Diseño físico de la red de comunicación



Nota. En la imagen se observa el diagrama de conexión de la red de comunicación.

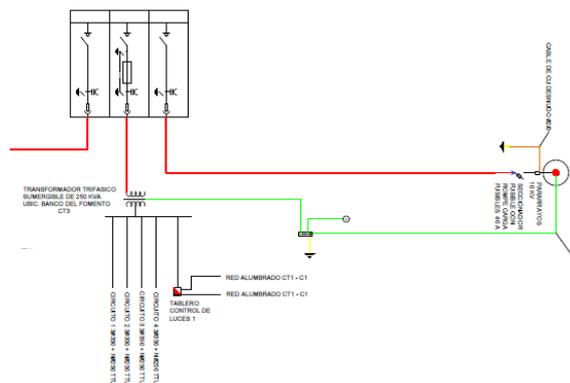
5.4.4. Características Eléctricas de la Instalación

Esquema Eléctrico

Cada cámara de transformación cuenta con una entrada y salida de línea telecontrolada, además de contar con una protección seccionador – fusible para el transformador el cual está integrado el rele ekor.rpa – 120. El diagrama completo se visualiza en el (ANEXO I).

Figura 37

Conexión de cámaras de transformación

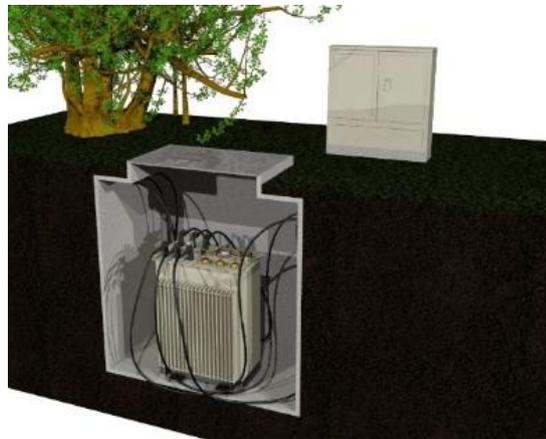


5.4.5. Colocación de celdas tipo pedestal en los transformadores

Las dimensiones de los pozos en donde se encuentran colocados los transformadores es reducido, por ende, no se puede colocar otro elemento, así que se optó por colocar las celdas modulares en SF6 tipo pedestal para el monitoreo y control de la red ya que son adecuadas para exteriores además de tener dimensiones reducidas con el fin de que no dañe la ornamenta de la ciudad.

Figura 38

Colocación de celdas tipo pedestal a los transformadores



Nota. En la imagen se muestra una forma óptima de colocar los seccionadores tipo pedestal a los transformadores. Tomado de (Promelsa, 2014)

5.4.6. Interconexión entre Elementos del Centro

La interconexión dentro del centro, entre el armario mural, y el conjunto de celdas, se lo realiza a través del conector que se encuentra ubicado a la derecha del armario hacia la celda más cercana y las celdas poseen un conector en la parte trasera los cuales se interconectan uno con otro.

Figura 39

Interconexión de la RTU con las celdas



Nota. En la imagen se muestra la interconexión de las celdas con la RTU. Tomado de (Ormazabal, 2016)

5.4.7. Comunicaciones

La remota de telecontrol o también llamada RTU o Remote Terminal Unit realiza las funciones de comunicación con el centro de control de Guaranda ya que realiza los reportes de los eventos e incidencias que ocurren en la instalación además del control realizado desde el centro de control a cada una de las posiciones.

La comunicación de la RTU el centro de control se realizará mediante fibra óptica, y mediante el protocolo de comunicación Modbus TPC/IP es la comunicación estándar. La implementación de redes LAN bajo estándar Ethernet en permite tener un alto grado de confiabilidad en la comunicación de las redes.

5.4.8. Elaboración del Presupuesto del Proyecto

A continuación, en este apartado se muestra el presupuesto referencial realizado para la implementación del diseño, donde se hace un desglose individual de cada equipo a emplear.

Tabla 37*Presupuesto del medio de comunicación*

Ítem	Materiales y Accesorios	Unidad	Cantidad	\$ P/U	\$ P/T
1	Cable Óptico G-652 de seis hilos	M	3070	\$2,25	\$6.907,50
2	Cable Óptico G-652 de seis hilos canalizado	M	1053	\$2,11	\$2.221,83
3	OLT Huawei Serie MA5608T	U	1	\$6.000,00	\$6.000,00
4	ONT Huawei HG8245	U	5	\$250,00	\$1.250,00
5	ODF de 12 puertos con accesorios de empalmes por fusión	U	6	\$200,00	\$1.200,00
6	Patch cord de Fibra Óptica SC/SC	U	6	\$35,00	\$210,00
7	manga de empalme	U	2	\$120,00	\$240,00
8	splitter 1:8	U	1	\$287,00	\$287,00
9	conectores SC	U	10	\$12,00	\$120,00
10	accesorios para bajantes	Jgo	1	\$12,55	\$12,55
11	Herrajes	U	57	\$40,00	\$2.280,00
Instalación de equipos					
12	Tendido de cable óptico	Km	6	\$850,00	\$5.100,00
13	instalación de equipos OLT	U	1	\$1.000,00	\$1.000,00
14	instalación de equipo ONT	U	5	\$25,00	\$125,00
15	Instalación de mangas de empalme	U	2	\$9,94	\$19,88
TOTAL					\$26.973,76

Tabla 38*Presupuesto de los equipos del control y medida*

Ítem	Materiales y Accesorios	Unidad	Cantidad	\$ P/U	\$ P/T
1	Celdas cgmcosmos-l entrada/salida	U	11	\$7.212,50	\$79.337,50
2	Celdas cgmcosmos-ekor.rpa-120 – p	U	5	\$4.500,00	\$22.500,00
3	gabinete tipo pedestal cgm.3	U	5	\$5.000,00	\$25.000,00
4	Equipo de Protección y Control: ekor.uct tipo m (RTU) unidad compacta de telemando	U	5	\$8.500,00	\$42.500,00

Ítem	Materiales y Accesorios	Unidad	Cantidad	\$ P/U	\$ P/T
Instalación de equipos					
1	Instalación de Celdas cgmcosmos-I entrada/salida	U	11	\$82,50	\$907,50
2	Instalación de Celdas cgmcosmos-ekor.rpa-120 – p	U	5	\$75,00	\$375,00
3	Instalación de gabinete tipo pedestal cgm.3	U	5	\$120,00	\$600,00
4	Instalación de equipo de Protección y Control: ekor.uct tipo m (RTU) unidad compacta de telemando	U	5	\$250,00	\$1250,00
TOTAL					\$172.470,50

Tabla 39*Presupuesto Total del Proyecto*

Detalle	Costo
Presupuesto de los equipos de control y medida e instalación	\$ 26.973,76
Presupuesto de los equipos e instalación del medio de comunicación	\$ 172.470,50
Total	\$ 199.444,26
IVA 12%	\$ 23.933,31
TOTAL	\$223.377,57

El costo total del proyecto es de \$ 223.377,57 el mismo que será incluido dentro del presupuesto anual de la empresa.

CONCLUSIONES

En la actualidad los sistemas SCADA son de gran uso para la supervisión y control a distancia de los parámetros eléctricos tanto en subestaciones como centros de operaciones, la utilización de esta tecnología para redes de distribución subterránea es un campo poco experimentado, pero de gran ayuda para automatizar y modernizar esta área. En el presente trabajo se propuso un diseño de automatización y control de datos mediante un sistema SCADA para una red eléctrica subterránea, por tanto, con los datos obtenidos a partir de este trabajo se puede pasar a la línea de construcción, implementación y pruebas.

La red subterránea de distribución de energía eléctrica instalada en el centro de la ciudad de Guaranda actualmente necesita una supervisión del comportamiento eléctrico ya que no posee elementos de medición, además el acceso a la red subterránea es complejo por ende la Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP Unidad de Negocio Bolívar desea cubrir esta necesidad, así que para esta problemática se decidió realizar el estudio para la implementación del sistema SCADA con el cual se podrá controlar y supervisar la red desde el Centro de Operaciones.

Utilizando el Software Cymdist se realizó el modelamiento de la red eléctrica subterránea del centro de Guaranda utilizando los datos obtenidos durante la investigación, en el cual se simuló flujos de carga para saber el funcionamiento actual de la red, además se realizó estudios de cortocircuito obteniendo parámetros para la selección de los equipos de seccionamiento y protección de líneas y transformadores.

Los equipos elegidos para la acción de control y medición de la red subterránea son de tecnología Ormazabal conocida por sus equipos para automatizar y controlar las redes de medio y bajo voltaje además de adecuarse a las

necesidades del usuario, con el fin de conservar la ornamenta del centro de la ciudad de Guaranda se seleccionó el tipo de celdas cgm.3 ya que posee tamaños reducidos y son colocados dentro de un gabinete metálico para el uso en exteriores.

El análisis de los diferentes medios de comunicación para sistema SCADA dio como resultado la utilización de la fibra óptica monomodo estándar G652,D ya que cumple con las necesidades de la empresa, aunque el costo de implementación de este sea elevado las ventajas presentadas son grande para obtener un medio de comunicación viable y confiable.

El presupuesto realizado para la implementación del proyecto tiene un costo total de \$ 223.377,57, mismo que será incluidos dentro del presupuesto anual de la Corporación Nacional de Electricidad Unidad de Negocio Bolívar.

RECOMENDACIONES

Para cubrir las necesidades de la empresa eléctrica CNEL EP Bolívar, se recomienda implementar este estudio realizado en el presente proyecto, con el fin de controlar y monitorear los parámetros eléctricos de la red de distribución subterránea en tiempo real y así otorgar una mayor eficiencia operativa.

El soterramiento de las redes eléctricas en la actualidad es lo más óptimo para modernizar la infraestructura eléctrica, por el mismo motivo se recomienda que debe ser implementado el estudio de automatización y control como propuesta a futuro, así se realiza los dimensionamientos de los pozos más adecuados donde se pueda integrar sin inconvenientes los equipos de medición y control de la red.

Se recomienda antes de realizar la selección de los equipos medición, control y de comunicaciones es muy importante identificar la adaptabilidad que tienen los equipos ante los diferentes fabricantes; además, de la disponibilidad de software y firmware necesario para su educada operación.

Bibliografía

Alianza Eléctrica S.A. DE C.V. (s.f.). *Seccionadores tipo pedestal SF6 para redes subterráneas*. México, D.F.: Velatia .

Anónimo. (s.f.). *TECNOLOGÍA*. Recuperado el 12 de Enero de 2021, de areatecnologia: <https://areatecnologia.com/electricidad/centro-de-transformacion.html>

ARCONEL. (2016). *Requerimiento para la supervisión y control en tiempo real del Sistema Nacional Interconectado*. Regulación No. ARCONEL 003/16.

Barroso, I. M. (24 de Enero de 2021). *YouTube*. Recuperado el 14 de Enero de 2021, de <https://www.youtube.com/watch?v=roVa1fEFCn8>

Castellano, P., Company, O., & Cantó, R. (2019). *aiesc*. Recuperado el 15 de Enero de 2021, de Ormazabal Velatia: <https://aiecs.es/data/files/presentacion-centros-transformacion-ormazabal-2019.pdf>

CENACE. (2019). *Informe de cortocircuito e impedancias equivalentes en las barras del SNI*.

chilectra; EDESUR; ampla; CODENSA; edelnor; coelce. (Agosto de 2013). *eneldistribuição*. Recuperado el 08 de Enero de 2021, de https://www.eneldistribuição.com.br/ce/documentos/E-MT-023_R-03.pdf

CIFP Tartanga. (s.f.). *CIFP Tartanga*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2020, de Fundamentos de las fibras ópticas: <http://fibraoptica.blog.tartanga.eus/fundamentos-de-las-fibras-opticas/>

CNEL EP BOLÍVAR. (2019). *Información de parámetros eléctricos de la Corporación Nacional de Electricidad Unidad de Negocio Bolívar*. Guaranda.

Cyme. (2020). *EATON Powering Business Worldwide*. Recuperado el 02 de marzo de 2021, de <http://www.cyme.com/es/software/cymdist/>

Dotres, S. D. (s.f.). *EcuRed*. Recuperado el 2021 de Noviembre de 10 , de Características de las Redes de Distribución:
https://www.ecured.cu/Características_Generales_de_las_Redde_de_Distribución#Importancia_de_las_redes_de_distribuci.C3.B3n

ELECTRICOL, i. (23 de Julio de 2020). *YouTube*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2021, de <https://www.youtube.com/watch?v=JxFB8SSy5Es>

EERSSA. (s.f.). *Memoria Técnica de redes soterradas en el centro de Loja*. Recuperado el 05 de Enero de 2021, de https://www.loja.gob.ec/files/image/dependencias/RegeneraionUrbana/lico2/memoria_tecnica_redes_soterradas_en_el_centro_de_loja.pdf

Enciclopedia de características. (21 de Abril de 2019). Recuperado el 15 de Noviembre de 2020, de 10 características de la fibra óptica:
<https://10caracteristicas.com/fibra-optica/>

Estefan, C., Pais, G., & Portas, G. (2013). *Automatización en redes de distribución*.

Geocities. (s.f.). *Geocities*. Recuperado el 23 de Diciembre de 2020, de http://www.geocities.ws/electrozona/mt/ej_mon.htm

Gonzalez, G. (15 de Noviembre de 2015). *Master en Energías Renovables y Mercado Energético*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2020, de MERME:
<https://www.eoi.es/blogs/merme/gestion-y-operacion-de-la-red-electrica-esquema-de-la-red-electrica-de-espana-asimetria-peninsular-generacion-y-consumo-conexiones-internacionales-3/>

INESA. (2018). *Remodelación de redes de medio y bajo voltaje, centro de la ciudad de Guaranda*. Guaranda.

Melo, I. J. (20 de Febrero de 2020). *SIGLEEC SAC*. Recuperado el 06 de Enero de 2021, de <https://www.youtube.com/watch?v=2qSlonWlaI0>

Mendoza, S. (5 de Abril de 2016). *REDES 2016 5CP2*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2020, de Fibra Óptica:
<http://2016redes5cp2g7.blogspot.com/2016/04/cables-compuestos-de-forma-optica.html>

Muños Montecinos, C. M. (1989). *Flujos de potencia trifásico para sistemas de distribución*. Trabajo de Titulación , Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.

Núñez Velasteguí, E. (2015). *Sistema alternativo de transmisión entre la central y las subestaciones de la Empresa Eléctrica Cotopaxi con tecnología DWDM*. Proyecto de trabajo de Graduación, Universidad Técnica de Ambato, Ambato.

Ormazabal. (s.f.). Recuperado el 19 de Enero de 2021, de Ormazabal Velatia:
<https://www.ormazabal.com/es/tu-negocio/productos/ekoruct?refer=1325&p=10230>

Ormazabal. (2007). *ekorRPS UNIDAD DE PROTECCIÓN MULTIFUNCIONAL*. Recuperado el 18 de Diciembre de 2020

Ormazabal. (05 de Julio de 2011). Recuperado el 26 de febrero de 2021, de <https://www.ormazabal.com/sites/default/files/descargas/IG-177-ES-02.pdf>

Ormazabal. (27 de Septiembre de 2016). *Ekot.uct Unidad compacta de telemando, instrucciones generales G-151-ES*. Recuperado el 15 de Enero de 2021, de <https://www.ormazabal.com/sites/default/files/descargas/ig-151-es-07.pdf>

Ormazabal Especialistas en Media Tensión. (s.f.). Recuperado el 25 de febrero de 2021, de <http://www.eeq.com.ec:8080/documents/10180/12731049/CATALOGO/1886053a-449c-45e3-9df2-33a391735e24>

Ormazabal. (s.f.). *Ormazabal*. Recuperado el 10 de Febrero de 2021, de https://www.ormazabal.com/sites/default/files/descargas/ca-220-es-1710_lr.pdf

Ormazabal Velatia. (28 de Julio de 2020). Recuperado el 10 de febrero de 2021, de https://www.ormazabal.com/sites/default/files/descargas/ig-267-es-04_lr.pdf

Penin, A. (2012). *Sistemas SCADA*. Marcombo.

Promelsa. (27 de Agosto de 2014). *Promelsa*. Recuperado el 21 de Febrero de 2021, de <http://promelsa.blogspot.com/2014/08/transformadores-de-distribucion-tipo.html#.YEb0ULrPzIU>

RAMARTINEZ. (2015 de Abril de 2015). *Redes de distribución eléctrica*. Recuperado el 25 de Noviembre de 2020, de <http://srde-12-martinez-toro.blogspot.com/2015/04/>

Rivadeneira Cuzco, F. E. (29 de Abril de 2014). *Tecnología*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2020, de Fibra óptica y topología de la red: <http://a1tecnologias.blogspot.com/2014/07/fibra-optica-loscircuitos-de-fibra.html>

- Sánchez, P. R. (2015). *Automatización del sistema de la red de distribución primaria de la ciudad de Cienfuegos*. Diploma, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas, Departamento de Electroenergética, Santa Clara, Cuba.
- Torres, J., & Vásquez, M. (s.f.). *Diseño de un anillo principal y redundante de fibra óptica utilizando tecnología 10gpon para optimizar el tráfico de la red en la Universidad Técnica del Norte*. Universidad Técnica Del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, Ibarra.
- Velasco Burbano, J. (2017). *Diseño de una red de respaldo de fibra óptica al sistema de monitoreo SCADA para las subestaciones eléctricas de CNEL EP en la ciudad de Babahoyo*. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil.
- Vite, A. (2015). *Estudio de los sistemas de control y monitoreo en una subestación eléctrica y propuesta de un diseño para un sistema SCADA*. Guayaquil.
- Yacchirema, G. (2016). *Sistema de comunicación de alta disponibilidad para la transmisión de datos entre la central y las subestaciones de la Corporación Nacional de Electricidad Empresa Pública Unidad de Negocio Bolívar*. Ambato.

Anexos