

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

PROPUESTA DE UNA NORMATIVA NACIONAL PARA EL DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE MEDIO Y BAJO VOLTAJE EN DISPOSICIÓN AÉREA EN BASE AL ANÁLISIS DE LAS NORMAS EXISTENTES EN ECUADOR

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO

BRYAN MARCELO MUÑOZ ANDRADE.

JONATHAN FABRICIO FUENTES CHUNGANDRO.

DIRECTOR: MSC. Ing. MIGUEL ÁNGEL LUCIO CASTRO.

CODIRECTOR: Dra. Ing. XIMENA PATRICIA GAVELA GUAMÁN.

Quito, Junio 2022

AVAL

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Bryan Marcelo Muñoz Andrade y Jonathan Fabricio Fuentes Chungandro, bajo nuestra supervisión.

MSC. Ing. MIGUEL ÁNGEL LUCIO CASTRO
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Dra. Ing. XIMENA PATRICIA GAVELA GUAMÁN.
CODIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Bryan Marcelo Muñoz Andrade y Jonathan Fabricio Fuentes Chungandro, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejamos constancia de que la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.

Bryan Marcelo Muñoz Andrade

Jonathan Fabricio Fuentes Chungandro

DEDICATORIA

Jonathan Fuentes

El presente proyecto de titulación está dedicado a mis padres Hernán Fuentes y Patricia Chungandro por su apoyo constante, amor y confianza puesta en mi durante toda mi vida.

A mi hermano Alexander Fuentes por su apoyo y sus consejos que me ayudaron a culminar la carrera con éxito.

Bryan Muñoz

A ti mami Lucy, te amo.

AGRADECIMIENTO

Jonathan Fuentes

Agradezco a mis padres Hernán Fuentes y Patricia Chungandro y hermano Alexander Fuentes por su apoyo constante, amor durante toda mi vida.

Agradezco a la Escuela Politécnica Nacional y a todos sus docentes por todas sus enseñanzas a lo largo de toda la carrera.

Agradezco a todos mis amigos Alex, José Luis, Hans, Fausto, Bryan, Johan, Andrés por su apoyo y compañía durante toda la carrera

Agradezco a mi compañero de trabajo de titulación Bryan Muñoz por colaboración y dedicación en el presente proyecto ya que con su ayuda se logró terminar

Agradezco a mi director de tesis MSC. Ing. Miguel Ángel Lucio Castro y codirectora Dra. Ing. Ximena Patricia Gavela Guamán, por su apoyo y tiempo dedicado al momento de realizar el presente trabajo de titulación.

Bryan Muñoz

Agradezco a Dios por escuchar siempre mis oraciones y darme la motivación necesaria para cumplir mis metas.

A mi madre, Lucy, gracias por darme tu apoyo incondicional siempre, estar a mi lado en todo momento y ser la persona más importante de mi vida.

Agradezco a mi padre, Marcel, por su apoyo y estar siempre pendiente de mí, sin tu ayuda no hubiera sido posible finalizar mis estudios. A mi hermano, Christian por ser esa persona luchadora que me inspira cada día de mi vida.

A ti abuelita Maria y Tío Rodrigo, aunque ya no estén aquí a mí lado siempre están en mi mente y en mi corazón. Agradezco a toda mi familia, en especial a Amparito que me apoyaron siempre durante todo este tiempo de estudio.

A mis amigos Daya, Pato y Eve por ser ese apoyo en buenos y malos momentos, con ustedes conocí la verdadera amistad. Agradezco a mi compañero de tesis, Jonathan, gracias por permitirme realizar este proyecto junto a ti y por las buenas conversaciones donde nos conocimos mucho más.

Al Ing. Miguel Lucio por su ayuda, conocimientos, paciencia y sobre todo una amistad que será recordada por siempre. Agradezco a la Dra. Patricia Gavela por su ayuda en la realización de este proyecto.

Agradezco a todos mis compañeros de la carrera de ingeniería eléctrica por los momentos de felicidad y sufrimiento que pasamos en todo el tiempo de la carrera. A todos los profesores de la carrera de Ingeniería Eléctrica por impartir sus conocimientos, son unos grandes profesionales que hacen de la EPN la mejor universidad.

A Sammy que con su cariño y amor incondicional me da tantos momentos de felicidad, nuestros paseos los recordare por siempre.

¡Nunca dejes de soñar!

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	VI
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	1
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
1.2 ALCANCE	2
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	3
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA	5
2.2.1 INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS CARGAS SOBRE REDES DE DISTRIBUCIÓN.....	5
2.2.2 CARGA INSTALADA.....	5
2.2.3 DEMANDA	6
2.2.4 DEMANDA MÁXIMA.....	6
2.2.5 DEMANDA MÁXIMA COINCIDENTE	6
2.2.6 DENSIDAD DE CARGA.....	6
2.2.7 CAPACIDAD INSTALADA.....	6
2.2.8 FACTOR DE DEMANDA.....	6
2.2.9 FACTOR DE UTILIZACIÓN.....	7
2.2.10 FACTOR DE POTENCIA.....	7
2.2.11 FACTOR DE CARGA	7
2.2.12 FACTOR DE DIVERSIDAD DEL GRUPO	8
2.2.13 FACTOR DE COINCIDENCIA	8
2.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	8
2.3.1 REDES DE DISTRIBUCIÓN AÉREAS.....	9
2.3.2 COMPONENTES DE LAS REDES ELÉCTRICAS AÉREAS	9
2.3.3 EQUIPOS	12
2.4 SIMBOLOGÍA.....	14

2.5	NORMATIVA EXISTENTE EN ECUADOR	14
2.6	EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A	15
2.6.1	CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR	15
2.6.2	DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA.....	15
2.6.3	DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE DISEÑO.	15
2.6.4	VALORES DE REFERENCIA PARA LA CARGA INSTALADA Y LA DEMANDA MÁXIMA PARA UN USUARIO RESIDENCIAL.....	17
2.6.5	TIPO DE INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS CIRCUITOS.....	17
2.6.6	TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.....	18
2.6.7	CONDUCTORES Y CALIBRES NORMALIZADOS.....	18
2.6.8	CAÍDAS DE VOLTAJE.	18
2.6.9	CONEXIONES A TIERRA.	21
2.6.10	ALUMBRADO PÚBLICO.	22
2.6.11	SECCIONAMIENTO Y PROTECCIONES	23
2.6.12	LÍMITES DE ESFUERZOS MECÁNICOS.....	26
2.6.13	AISLAMIENTO BÁSICO EN ALIMENTADORES.	29
2.6.14	UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN	29
2.7	EMPRESA ELECTRICA AMBATO	29
2.7.1	CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR	29
2.7.2	DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA.....	30
2.7.3	DETERMINACIÓN DE CARGAS ESPECIALES.....	30
2.7.4	DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO.....	30
2.7.5	VALORES DE REFERENCIA PARA LA CARGA INSTALADA Y LA DEMANDA MÁXIMA PARA UN USUARIO RESIDENCIAL.....	31
2.7.6	TIPO DE INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS CIRCUITOS.....	31
2.7.7	TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.....	31
2.7.8	CONDUCTORES Y CALIBRES NORMALIZADOS.....	32
2.7.9	CAÍDA DE VOLTAJE.....	33
2.7.10	CONEXIONES A TIERRA.	35
2.7.11	ALUMBRADO PÚBLICO.	35
2.7.12	SECCIONAMIENTO Y PROTECCIONES	36
2.7.13	LÍMITES DE ESFUERZOS MECÁNICOS.....	39
2.7.14	AISLAMIENTO BÁSICO EN ALIMENTADORES.	40
2.7.15	UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN	40
2.8	EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A [6]	41
2.8.1	CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR	41
2.8.2	DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA.....	41

2.8.3	DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO.....	41
2.8.4	TIPO DE INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS CIRCUITOS.....	43
2.8.5	TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.....	43
2.8.6	CONDUCTORES Y CALIBRES NORMALIZADOS.....	45
2.8.7	CAÍDAS DE VOLTAJE.....	46
2.8.8	CONEXIONES A TIERRA.....	47
2.8.9	ALUMBRADO PÚBLICO.....	48
2.8.10	SECCIONAMIENTO Y PROTECCIONES.....	50
2.8.11	LÍMITES DE ESFUERZOS MECÁNICOS:.....	50
2.8.12	AISLAMIENTO BÁSICO EN ALIMENTADORES.....	52
2.8.13	UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN.....	52
2.9	MERNNR.....	52
2.9.1	NIVELES DE VOLTAJES NOMINALES.....	53
2.9.2	Postes.....	53
2.9.3	UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN.....	54
3.	METODOLOGÍA.....	54
3.1	EMPRESA ELÉCTRICA QUITO.....	54
3.1.1	CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR.....	54
3.1.2	COMPUTO DE LA CAÍDA DE VOLTAJE.....	55
3.1.3	DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA DMD.....	57
3.1.4	DETERMINACIÓN DE CARGAS ESPECIALES.....	58
3.1.5	DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO DD.....	58
3.1.6	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR.....	58
3.1.7	SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN.....	59
3.2	EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO.....	60
3.2.1	CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR.....	60
3.2.2	COMPUTO DE LA CAÍDA DE VOLTAJE.....	60
3.2.3	DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA DMD.....	63
3.2.4	DETERMINACIÓN DE CARGAS ESPECIALES.....	63
3.2.5	DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO DD.....	63
3.2.6	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR.....	64
3.2.7	SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN.....	64
3.3	EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR SA.....	65
3.3.1	CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR.....	65
3.3.2	COMPUTO DE LA CAÍDA DE VOLTAJE.....	66
3.3.3	DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA DMD.....	68
3.3.4	DETERMINACIÓN DE CARGAS ESPECIALES.....	69

3.3.5	DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO DD.....	69
3.3.6	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR	69
3.3.7	SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN	69
3.4	SIMULACIÓN	71
3.4.1	EEQ S.A.....	71
3.4.2	EEA S.A	73
3.4.3	EERS S.A.....	75
3.4.4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ENTRE SIMULACIÓN Y LO OBTENIDO SEGÚN CADA NORMATIVA.....	77
3.5	SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE CAÍDAS DE VOLTAJE EN CIRCUITOS SECUNDARIOS	78
3.5.1	INGRESO DE DATOS.....	79
3.5.2	FORMATO PARA EL CÁLCULO SEGÚN EEQ	81
3.5.3	ALMACENAMIENTO DE RESULTADOS	82
3.5.4	VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO	82
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	82
4.1	PROPUESTA DE NORMATIVA.....	83
4.1.1	CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR.....	83
4.1.2	DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA.....	84
4.1.3	DETERMINACIÓN DE CARGAS ESPECIALES.....	84
4.1.4	ALUMBRADO PÚBLICO.	84
4.1.5	DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO.....	85
4.1.6	CAÍDAS DE VOLTAJE.	86
4.1.7	TIPO DE INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS CIRCUITOS.....	88
4.1.8	TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.....	88
4.1.9	CONDUCTORES Y CALIBRES A UTILIZARSE	89
4.1.10	COMPUTO DE LA CAÍDA DE VOLTAJE.....	90
4.1.11	CONEXIONES A TIERRA.	92
4.1.12	SECCIONAMIENTO Y PROTECCIONES	93
4.1.13	LÍMITES DE ESFUERZOS MECÁNICOS.....	97
4.1.14	AISLAMIENTO BÁSICO EN ALIMENTADORES.	98
4.1.15	UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN	99
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	99
5.1	CONCLUSIONES	99
5.2	RECOMENDACIONES.....	100
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
	ANEXOS.....	103

ANEXO A.....	104
ANEXO B: Empresa Electrica Quito.....	108
DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA	108
Caída de voltaje	113
NIVELES DE ILUMINACIÓN Y FACTORES DE UNIFORMIDAD.....	118
Protecciones	120
LÍMITES DE ESFUERZOS MECÁNICOS	122
AISLAMIENTO BÁSICO EN ALIMENTADORES.....	123
ANEXO C: Empresa eléctrica Ambato	124
Demanda máxima diversificada.....	124
Computo de Caída de voltaje EEASA	131
Conexión a tierra	135
CRITERIOS GENERALES PARA APLICACIÓN: RED AÉREA.....	135
PROTECCIONES EN MEDIO Y BAJO VOLTAJE DE ACUERDO CON LA POTENCIA DEL TRANSFORMADOR	136
ANEXO D: Empresa eléctrica regional del sur s.a.	139
DEMANDAS MAXIMAS PROYECTADAS [DMP EN KVA]	139
Caída de voltaje	141
ALUMBRADO EN VÍAS	148
ANEXO E: UNIDADES DE PROPIEDAD.....	151
ANEXO F.....	153
ANEXO G	155
ANEXO H	160

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo emplear las normativas correspondientes a la Empresa Eléctrica Quito, Empresa Eléctrica Ambato y Empresa Eléctrica Regional del Sur, aplicadas a un estudio propuesto, con el fin de obtener los parámetros de diseño, caídas de voltaje y dimensionamiento de seccionadores y protecciones. De los resultados obtenidos de la aplicación de la normativa de cada empresa se implementa una herramienta en Matlab, desarrollada para el cálculo de la caída de voltaje en circuitos secundarios según la normativa de la EEQ.

La herramienta desarrollada en Matlab tiene el formato para caída de voltaje de la EEQ S.A, que según la aplicación de la normativa al estudio propuesto y la comparación con los resultados obtenidos en Cyndist para caídas de voltaje ofrece los resultados más aproximados debido a esto consideramos al software confiable. La herramienta computacional ofrece al proyectista la rapidez y facilidad en el cálculo de caídas de voltaje por tramos de circuito secundario.

Finalmente, se establecen las secciones principales de una normativa para el diseño de redes eléctricas de distribución, aplicable en todo el Ecuador a partir de las normativas existentes y en vigencia de las empresas eléctricas del país.

PALABRAS CLAVE: Normativas, Empresas eléctricas, caída de voltaje, Matlab, Cyndist.

ABSTRACT

The objective of this degree work is to use the regulations corresponding to Empresa Eléctrica Quito, Empresa Eléctrica Ambato and Empresa Eléctrica Regional del Sur, applied to a proposed study, in order to obtain the design parameters, voltage drops and sizing of disconnectors and protections. From the results obtained from the application of the regulations of each company, a tool is implemented in Matlab, developed for the calculation of the voltage drop in secondary circuits according to the EEQ regulations.

The tool developed in Matlab has the format for voltage drop of the EEQ S.A, which according to the application of the regulations to the proposed study and the comparison with the results obtained in Cymdist for voltage drops offers the most approximate results due to this we consider the reliable software. The computational tool offers the designer the speed and ease in the calculation of voltage drops by sections of secondary circuit.

Finally, the main sections of a regulation for the design of electricity distribution networks applicable throughout Ecuador are established based on the existing and current regulations of the country's electricity companies.

KEYWORDS: Regulation, voltage drops, Matlab, Cymdist.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, cada empresa de servicio de energía eléctrica cuenta con sus guías técnicas para el diseño de redes de distribución áreas urbanas y rurales, tanto aéreas como subterráneas. Para que un proyecto sea aprobado se debe contar con los lineamientos y reglas establecidas por cada una de estas empresas distribuidas, por lo cual es necesario tener en cuenta el área de servicio donde se encuentra ubicado el futuro proyecto; ante este requerimiento, se propone analizar las normas existentes en Ecuador que se encuentran en vigencia en las 9 empresas eléctricas y la Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP con sus 11 unidades de negocios y desarrollar una normativa la cual junte todas éstas abstrayendo lo mejor de cada una para la conformación de una sola.

En el período 2010 a 2014 el MEER (actual MERNNR), efectuó la homologación de los materiales a utilizarse en los sistemas de distribución, recogiendo la información escrita y verbal existente en todas las empresas, trabajo mediante el cual la designación de una estructura o de un material es la misma para todas las distribuidoras; de este modo, el presente trabajo pretende recoger todos los criterios técnicos existentes en el ámbito del diseño de redes de medio y bajo voltaje y plasmarlos en una sola normativa que facilite esta actividad y satisfaga la necesidad de los ingenieros eléctricos que se ocupan de la misma.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer una normativa única para el diseño de redes de distribución en disposición aérea en medio, bajo voltaje y centros de transformación para que pueda ser aplicada por todas las empresas distribuidoras de energía eléctrica del Ecuador.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar las normas de diseño que se encuentran vigentes de aplicación en las empresas eléctricas del país.

- Analizar los procedimientos de diseño de redes de distribución aéreas de cada una de las empresas de distribución de energía eléctrica con el uso de CYMDIST para determinar la metodología más apropiada para que pueda considerarse como única a nivel nacional.
- Establecer una normativa que cuente con técnicas y recomendaciones para orientar a estudiantes y profesionales, para el diseño de redes de distribución aéreas en medio y bajo voltaje.

1.2 ALCANCE

En el presente proyecto técnico se desarrollará una propuesta de normativa única para el diseño de redes eléctricas de distribución en modalidad aérea residenciales o comerciales tanto en medio como en bajo voltaje y sus centros de transformación, de tal manera que pueda ser aplicada por todas las empresas distribuidoras de energía eléctrica a nivel nacional.

Se realizará una normativa que contenga lo siguiente:

- SIMBOLOGÍA DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE REDES AÉREAS
- PARÁMETROS DE DISEÑO
 - Categorización del consumidor.
 - Demanda máxima diversificada.
 - Determinación de cargas especiales.
 - Determinación de demanda de diseño.
 - Caídas de voltaje.
 - Tipo de instalación y configuración de los circuitos.
 - Niveles de iluminación y factores de uniformidad.
- DIMENSIONAMIENTO
 - Transformadores de Distribución.
 - Conductores y Secciones Normales.
 - Computo de la caída de voltaje: redes primarias y circuitos secundarios.

- Conexiones a tierra.
- Alumbrado público.
- SECCIONAMIENTO Y PROTECCIONES
 - Dispositivos de seccionamiento y protección de sobrecorriente.
 - Dispositivos de protección de sobrevoltaje.
 - Criterios Generales para aplicación de elementos de protección y seccionamiento.
- ESTRUCTURAS DE SOPORTE
 - Límites de esfuerzos mecánicos: conductores, aisladores y accesorios.
 - Aislamiento básico en alimentadores.
- UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN

Mediante la comparación de los resultados de las distintas metodologías de diseño, se desarrollará un software en Matlab para establecer un procedimiento adecuado contrastado mediante simulación en el software CYMDIST y obtener una guía de diseño homologada.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Se consideran aquellos términos asociados a la red de distribución, y se basarán en las definiciones de algunas normativas que pertenecen a empresas nacionales e internacionales.

Acometida: “Es la instalación que conecta a un punto de la red secundaria hasta la carga que vendría a ser el consumidor [1].”

Alimentador: “Red de medio voltaje que inicia en las barras de salida de la subestación de distribución, constituye la parte principal de la red primaria [1].”

Caída de Voltaje: “Es la cantidad de voltaje perdido debido a la diferencia entre el voltaje de alimentación y el voltaje en la carga, el cual es producido por la resistencia y la reactancia, características de los conductores. Se puede calcular mediante la ecuación 2.1 [1].”

$$\% \text{Regulacion de Voltaje} = \frac{|V_a| - |V_c|}{|V_c|} \quad (2.1)$$

Donde:

V_a = voltaje del lado de la fuente.

V_c = Voltaje de lado de la carga.

Categorización del consumidor: “Consiste en establecer diferentes conjuntos a los cuales puede pertenecer un consumidor, se los puede clasificar de acuerdo con la ubicación del lote, área, etc., [1].”

Centro de Transformación Aéreo: Centro de transformación instalado sobre estructura de soporte o poste en redes aéreas.

Circuitos secundarios: “La sección de la red comprendida entre el centro de transformación y el punto más alejado de la misma que recibe alimentación del transformador de distribución correspondiente [1].”

Consumidor: “Toda persona natural o jurídica que tiene un contrato con la Empresa eléctrica correspondiente a su ciudad de residencia para el suministro de energía eléctrica [1].”

Demanda: “Es la cantidad de potencia que un consumidor utiliza en cualquier momento, se considera variable en el tiempo [1].”

Equipo eléctrico de uso general: “Equipos eléctricos utilizados por usuarios residenciales para realizar labores domésticas o de entretenimiento, como televisión, refrigerador luminarias, radio, computador, etc [1].”

Equipo eléctrico para cocción de alimentos: “Equipo eléctrico utilizado por los usuarios para la cocción de alimentos [1].”

Equipo eléctrico para calentamiento de agua: “Equipo eléctrico utilizado por usuarios residenciales, para calentamiento de agua [1].”

Punto de Seccionamiento: “Punto de una red primaria o secundaria donde se instala un elemento de corte que aísla eléctricamente dos secciones [1].”

Ramal: “red de medio voltaje que se deriva de un alimentador, para alcanzar un aérea de servicio [1].”

Red de Alumbrado Público: “Sección de la red secundaria de la se alimentan y controlan las luminarias de alumbrado público [1].”

Red de Distribución Aérea: “La red de distribución en la cual los elementos se instalan sobre estructuras de soporte o postes [1].”

Red Primaria: “Es la parte de la red de distribución que opera a medio voltaje (6,3 kV, 22,8kV, 13,8kV, 13,2kV, etc.) [1].”

Red Secundaria: “Es la parte de la red de distribución que opera a voltaje secundario o voltaje de utilización [1].”

Voltaje Nominal: Es el voltaje de referencia de una red eléctrica utilizado para caracterizar a que tipo de red pertenece.

Voltaje de Suministro: “Es el valor del voltaje suministrado en el punto de entrega al consumidor en un instante dado, por parte del distribuidor [1].”

Voltaje de Utilización: “Voltaje obtenido en los terminales de un dispositivo eléctrico o máquina [1].”

Puesta a tierra: “El conjunto de elementos destinados a proveer una conexión permanente entre un punto de la red, o entre los terminales de un equipo y tierra [1].”

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA

2.2.1 INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS CARGAS SOBRE REDES DE DISTRIBUCIÓN.

“Las características de las cargas expresan el comportamiento de los usuarios frente al sistema de distribución y, por lo tanto, imponen las condiciones. Las empresas pueden realizar el control sobre algunas cargas para evitar que el sistema colapse [2].”

2.2.2 CARGA INSTALADA

“Se define a la carga instalada como la suma de las potencias nominales de los aparatos, equipos y maquinas eléctricas conectadas a la red, se expresa en kW, MW, kVA, MVA y está terminada por la ecuación 2.2 [2].”

$$CI = \sum \text{Potencias nominales} \quad (2.2)$$

2.2.3 DEMANDA

“Se define como la cantidad de potencia que un consumidor utiliza en cualquier momento variable en el tiempo [2].” La demanda se puede expresar en kVA, kW, etc.

2.2.4 DEMANDA MÁXIMA

“Corresponde a la mayor carga que se presenta en un sistema en un periodo de tiempo, en esta demanda es donde se presenta la mayor caída de voltaje, perdidas de energía y potencia en el sistema [2].”

2.2.5 DEMANDA MÁXIMA COINCIDENTE

Es la demanda que tiene un usuario en el instante de tiempo en que sucede la Demanda máxima del grupo de usuarios.

2.2.6 DENSIDAD DE CARGA.

“El concepto se establece como la relación entre la carga instalada en kVA y el área de la zona del proyecto en km^2 [2].” Matemáticamente se expresa mediante la ecuación 2.3.

$$\text{Densidad de carga} = \frac{\text{carga instalada [kVA]}}{\text{area de la zona [km}^2\text{]}} \quad (2.3)$$

2.2.7 CAPACIDAD INSTALADA

“Corresponde a la suma de las potencias de equipos (transformadores, generadores) conectados a la red que suministran la potencia eléctrica a los usuarios [2].”

2.2.8 FACTOR DE DEMANDA.

“Indica el porcentaje de carga instalada que está siendo verdaderamente utilizada. En un intervalo de tiempo t , de una carga, es la razón entre la demanda máxima y la carga total instalada. Generalmente es menor a 1, siendo 1 solo cuando todos los aparatos están conectados a la red absorbiendo sus potencias nominales [2].” Matemáticamente se expresa por la ecuación 2.4.

$$F_D = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Carga Instalada}} = \frac{DM}{C_I} \quad (2.4)$$

2.2.9 FACTOR DE UTILIZACIÓN.

“Indica el porcentaje de la capacidad instalada de la red que verdaderamente está siendo utilizada, es decir indica la utilización máxima del equipo o instalación. En un intervalo de tiempo t, es la razón entre la demanda máxima y la capacidad nominal del sistema [2].” Matemáticamente se expresa mediante la ecuación 2.5

$$F_U = \frac{\text{Demanda máxima}}{\text{Capacidad Instalada}} = \frac{DM}{P_I} \quad (2.5)$$

2.2.10 FACTOR DE POTENCIA

“Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, se determina en el sistema o en sus componentes [2].” Se expresa mediante la ecuación 2.6.

$$fp = \cos \varphi = \frac{\text{Potencia Activa [W]}}{\text{Potencia Aparente [VA]}} \quad (2.6)$$

2.2.11 FACTOR DE CARGA

“Se establece como la relación entre la demanda promedio en un intervalo de tiempo dado y la demanda máxima observada en el mismo intervalo de tiempo. Este factor brinda una idea de la forma de consumo durante un período de tiempo [2].” Se expresa mediante la ecuación 2.7.

$$F_C = \frac{\text{Demanda promedio}}{\text{Demanda máxima}} = \frac{D_P}{D_M} \quad (2.7)$$

2.2.12 FACTOR DE DIVERSIDAD DEL GRUPO

Este factor indica que tan dispersos son las demandas máximas individuales en comparación con la demanda grupal. Se expresa mediante la ecuación 2.8

$$F_{div} = \frac{\sum_{i=1} D_{mi}}{D_{mgrupo}} \quad (2.8)$$

2.2.13 FACTOR DE COINCIDENCIA

“Es la relación entre la demanda máxima coincidente de un grupo de consumidores y la suma de las demandas de potencia máxima de consumidores individuales que conforman en el grupo. Este factor indica la similitud entre la demanda máxima individual y la demanda máxima grupal [2].” Matemáticamente viene dada por la ecuación 2.9.

$$F_{co} = \frac{D_{mgrupo}}{\sum_{i=1} D_{mi}} = \frac{1}{F_{div}} \quad (2.9)$$

2.3 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

“Un sistema de distribución es la parte del sistema eléctrico de potencia comprendida entre las barras de medio voltaje de la subestación de distribución y los puntos de suministro de energía a los consumidores. Está formado por elementos y equipos eléctricos [2].”

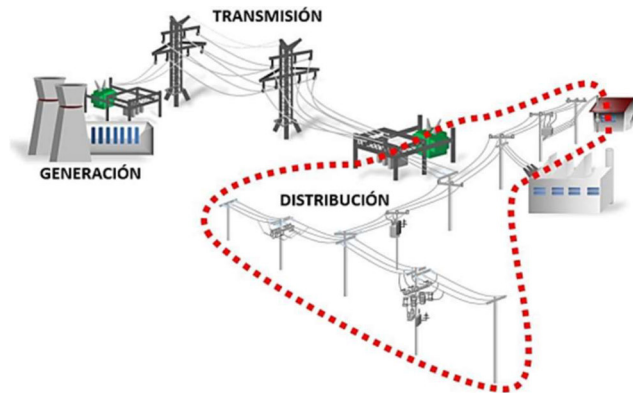


Figura 2.1. Esquema de un Sistema eléctrico de potencia (SEP) indicando el SD [3].

2.3.1 REDES DE DISTRIBUCIÓN AÉREAS.

El presente trabajo está enfocado en el diseño de redes aéreas, en las cuales el conductor que usualmente está desnudo va colocado en aisladores instalados en crucetas o estructuras específicas y a su vez soportado, en postes de concreto o fibra de vidrio reforzada.

Ventajas al comparar con sistemas subterráneos.

- Costos iniciales más bajos.
- Son los más frecuentes y materiales de fácil obtención.
- Fácil mantenimiento.
- Localización de fallas con mayor facilidad.
- Menores tiempos de construcción.

Desventajas:

- Mala apariencia estética
- Baja confiabilidad.
- Menor seguridad para los usuarios.
- “Son susceptibles de fallas y cortes de energía ya que están expuestas a: descargas atmosféricas, lluvia, granizo, polvo, temblores, gases contaminantes, brisa salina, vientos, contactos con cuerpos extraños, choques de vehículos y vandalismo [2].”

2.3.2 COMPONENTES DE LAS REDES ELÉCTRICAS AÉREAS

2.3.2.1 Postes

Es un soporte vertical que permite el paso de redes primarias y circuitos secundarios ya que sirve como apoyo de sus principales componentes. Pueden estar fabricados de concreto, metal y fibra de vidrio, tienen características de peso, longitud y resistencia a la rotura que se determinan de acuerdo con el tipo de circuito al cual va a aplicarse.

2.3.2.2 Conductores

Es aquel cuya principal función es la de transmitir energía eléctrica. Son utilizados principalmente en circuitos primarios el aluminio y el ACSR desnudos en calibres 4/0, 3/0, 2/0, 1/0, para circuitos de bajo voltaje en conductor desnudo o cable aislado en estos mismos calibres.

2.3.2.3 Aisladores

Los aisladores son componentes de una red eléctrica los cuales impiden el contacto de los conductores a tierra y además sirven para sujetar al conductor que pasa por el poste. Soportan la carga mecánica que el cable transmite al poste y aíslan el cable del contacto con el poste.

Tipos de aisladores utilizados en distribución:

- Suspensión (clase ANSI 52-1)

Se construyen de material caucho siliconado tipo polimérico o porcelana procesados en húmedo esmaltado al fuego, alta rigidez dieléctrica y alta resistencia mecánica. En la figura 2.2 se presenta un aislador tipo suspensión utilizado en redes aéreas de distribución.

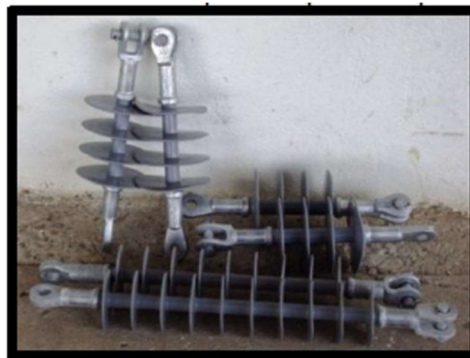


Figura 2.2. aisladores tipo suspensión [4].

- Espiga (clase ANSI 56-1)

Los aisladores tipo espiga, retenida y rollo se fabrican de material tipo porcelana procesados en húmedo esmaltado al fuego, alta rigidez dieléctrica y alta resistencia

mecánica [1]. En la figura 2.3 se presenta un aislador tipo espiga utilizado en redes aéreas de distribución.



Figura 2.3. aislador tipo espiga [4].

- Retenida (clase ANSI 54-3)

En la figura 2.4 se presenta un aislador tipo retenida utilizado en redes aéreas de distribución.



Figura 2.4. Aislador tipo retenida [4].

- Rollo (clase ANSI 53-2)

En la figura 2.5 se presenta un aislador tipo rollo utilizado en redes aéreas de distribución.



Figura 2.5. Aislador tipo rollo [4].

2.3.2.4 Herrajes

“Se consideran como herrajes a todas las partes metálicas que se encuentran en cada tipo de estructura cuya función es asegurar o fijar todos los componentes utilizados en cada poste [4].” Estos ayudan a la fijación de conductores, aisladores, transformadores, equipos de seccionamiento y protección. Se utilizan de material de acero galvanizado y acero inoxidable. En la figura 2.6 se presentan herrajes más comunes utilizados en redes aéreas de distribución.



Figura 2.6. Herrajes más comunes utilizados en SD [4].

2.3.3 EQUIPOS

A continuación, se detallan los equipos que complementan a los demás componentes de una red de distribución aérea:

2.3.3.1 Equipos de seccionamiento y protección

En redes de distribución se utilizan para establecer zonas de trabajo y proteger al sistema en caso de fallas.

Principales elementos de seccionamiento y protección utilizados en redes aéreas:

- Reconectador Automático
- Seccionalizador
- Reconectador
- Seccionador – Fusible Unipolar
- Seccionador – Fusible Unipolar para Operación con Carga

- Seccionador o Desconectador Unipolar

Los seccionadores son equipos que se usan para seccionar un circuito o red, no actúan automáticamente ante fallas, como si lo hacen los reconectores y fusibles, en otras palabras, son aquellos equipos de maniobra y no de protección.

2.3.3.2 Transformadores de distribución

“Los transformadores de distribución son los encargados de reducir los niveles de voltaje de los alimentadores primarios a voltajes de suministro, generalmente 120/240V para redes monofásicas y 127/220V en redes trifásicas, voltaje que es suministrado a los abonados por medio de las redes de BV [1].”

2.3.3.3 Alumbrado público

El alumbrado público tiene como finalidad principal asegurar una adecuada visibilidad durante el desarrollo del tránsito vehicular y peatonal en la vía pública, parques y otros espacios libres. Debe permitir a peatones y vehículos circular de noche con la misma seguridad, comodidad y rapidez que en el día.

La seguridad depende de la visualización del conductor cuando se trata de información visual sobre situaciones de conflicto enviada por entornos urbanos bien iluminados. Por otro lado, el confort visual favorece la concentración del conductor y ayuda a reducir la siniestralidad.

Hay tres usos principales para el alumbrado público:

- a) Dar seguridad a los usuarios de automóviles, motos, bicicletas y otros medios de transporte en la vía pública.
- b) Permitir que los peatones vean los peligros, guíelos, identifique a otros peatones y brindarles una sensación de seguridad.
- c) Mejorar la estética del ambiente por la noche.

La iluminación se la puede concebir como:

1. Iluminación vial, basada en el concepto de luminancia (cd/m^2);
2. La importancia de la luz para distinguir personas y objetos en parques, aceras, el concepto de iluminancia (lux) de la luz.
3. Par uso de decoración, basado en la iluminancia (lux).

Cuando un proyecto se ubica en un área contigua a otros lugares donde las instalaciones existentes funcionan permanentemente, los diseñadores deben mantener los mismos criterios y normas en las nuevas instalaciones para lograr la máxima uniformidad estética de los conjuntos, siempre que cumplan con los requisitos mínimos establecidos.

2.4 SIMBOLOGÍA

La simbología de los elementos del sistema de distribución se presenta en el Anexo A del presente trabajo.

2.5 NORMATIVA EXISTENTE EN ECUADOR

El presente trabajo ha contemplado la recopilación de información referida a diseño de redes de medio y bajo voltaje existentes en las empresas distribuidoras a nivel nacional, y realizando un recorrido por ellas se ha podido conseguir la siguiente información:

- Empresa Eléctrica del Norte (EMELNORTE). - Utiliza las normas de la EEQ S.A.
- Empresa Eléctrica Quito (EEQ S.A). - Tiene sus propias normas.
- Empresa Eléctrica de Cotopaxi (ELEPCO S.A). - Utiliza las normas de la EEA S.A y las de la EEQ S.A.
- Empresa Eléctrica Ambato (EEA S.A). - Tiene sus propias normas.
- Empresa Eléctrica Azogues (EEA). - Utiliza las normas de la EERS S.A y las de la EEQ S.A.
- Empresa Eléctrica Regional del Sur (EERS S.A). - Tiene sus propias normas.
- Empresa Eléctrica Riobamba (EER S.A). - Utiliza las normas de la EEA S.A y las de la EEQ S.A.
- Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (EERCS S.A). - Utiliza las normas de la EERS S.A y las de la EEQ S.A.
- CNEL con sus 11 unidades de negocios. - Utiliza las normas de la EEQ S.A. y Trabajo de homologación de estructuras y materiales.
- Ministerio de energía y recursos naturales no renovables (MERNNR). - Trabajo de homologación de estructuras y materiales.

Como se puede apreciar, únicamente se cuenta con normas propias en: EEQ S.A, EEA S.A y EERS S.A (ANEXOS B, C y D) con cuyos textos, en los siguientes párrafos de este capítulo, se procede a analizar la información referente al dimensionamiento de redes y transformadores, para su posterior aplicación en el capítulo siguiente.

2.6 EMPRESA ELÉCTRICA QUITO S.A

2.6.1 CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR.

Los clientes se encuentran clasificados en 6 categorías de consumo, para determinar la categoría de un proyecto se debe definir si está localizado en el área urbana o rural y estar georreferenciado.

En el caso que la categoría del proyecto no corresponda al lugar a ser ubicado el proyectista debe presentar un estudio de carga con la que se puede determinar la categoría del consumidor que se representan en la tabla B1 del Anexo B del presente trabajo, correspondiente a la tabla A-11-2 de la sección A-11 en normativa EEQ S.A.

2.6.2 DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA.

Una vez determinado el estrato y con el número de clientes se determina la demanda máxima diversificada de la tabla B2 del Anexo B del presente trabajo, que corresponde a la tabla A-11-3 de la sección A-11 en normativa EEQ S.A, se especifica la demanda máxima diversificada tomando en cuenta la utilización de equipos eléctricos ya sea en uso general, cocción y calentamiento de agua, se expresa en kW.

2.6.3 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE DISEÑO.

2.6.3.1 Clientes residenciales

La demanda de diseño está determinada por la ecuación 2.10.

$$DD = \frac{DMD + D_{AP} + D_{PT}}{FP} [kVA] \quad (2.10)$$

Donde:

DD : Demanda de diseño. [kVA]

DMD : Demanda máxima diversificada considerando cocción y calentamiento de agua [kW].

D_{AP} : Demanda de alumbrado público [kW].

D_{PT} : Demanda de pérdidas técnicas resistivas [kW].

FP : Factor de potencia (0.95).

Para calcular las perdidas técnicas resistivas se debe multiplicar la demanda máxima diversificada por 0.036.

2.6.3.2 Con cámaras de transformación

La demanda de diseño con cámaras de transformación está determinada por la ecuación 2.11.

$$DD = \frac{DMD + D_{PT}}{FP} \text{ [kVA]} \quad (2.11)$$

Donde:

DD : Demanda de diseño en [kVA].

DMD : Demanda máxima diversificada considerando cocción y calentamiento de agua en [kW].

D_{PT} : Demanda de pérdidas técnicas resistivas en [kW].

FP : Factor de potencia (0.95).

Para cámaras de transformación usados en edificios residenciales las perdidas técnicas en el alimentador del transformador se considerarán del 1%, se multiplicará por 0.01 la demanda máxima diversificada obtenida de la tabla

2.6.3.3 Clientes comerciales e industriales

La demanda de diseño de clientes comerciales e industriales está determinada por la ecuación 2.12.

$$DD = \frac{DMU * N}{FD} \text{ [kVA]} \quad (2.12)$$

Donde:

DD: Demanda de diseño en [kVA].

DMU: Demanda máxima unitaria del usuario comercial o industrial [kVA].

N: Número de abonados comerciales e industriales.

FD: Factor de diversidad que depende de *N*.

FDM: para usuarios comerciales representativo debe ser máximo 0.6.

2.6.4 VALORES DE REFERENCIA PARA LA CARGA INSTALADA Y LA DEMANDA MÁXIMA PARA UN USUARIO RESIDENCIAL

Las magnitudes de la demanda máxima unitaria y carga instalada clasificadas por estratos se transcribe en la tabla B3 del Anexo B del presente trabajo, correspondiente a la tabla A-11-4 de la sección A-11 en normativa EEQ S.A.

2.6.5 TIPO DE INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS CIRCUITOS.

El tipo de instalación se establece en conjunto con la Empresa Eléctrica Quito.

Las redes secundarias aéreas deben ser en su totalidad radiales simples, los circuitos a un centro de transformación serán eléctricamente independientes de los adyacentes.

En la tabla en la tabla B4 del Anexo B del presente trabajo, correspondiente a la tabla A-11-9 de la sección A-11 en normativa EEQ S.A.

La configuración y tipo de circuitos deben ser en base a la demanda de diseño. Generalmente en caso excepciones se mantiene la relación como se establece en la tabla B5 del Anexo B del presente trabajo, correspondiente a la tabla A-11-9 de la sección A-11.09 en normativa EEQ S.A.

2.6.6 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

Según la norma que se está analizando, para determinar la capacidad del transformador de distribución de cada centro de transformación se debe determinar la demanda de diseño (DD) y la capacidad del transformador se la puede determinar con la ecuación 2.13.

$$kVA(t) = DD + DMD_{CE} \quad [kVA] \quad (2.13)$$

Donde:

$kVA(t)$: Capacidad del transformador de distribución en $[kVA]$.

DD : Demanda de diseño en $[kVA]$.

DMD_{CE} : La demanda máxima diversificada correspondiente a cargas especiales, en caso de existir en $[kVA]$.

Debiendo tomarse muy en cuenta que los valores de DD y de DMD_{CE} deben estar en kVA o su suma deberá ser dividida por el factor de potencia, tal como se sugiere en la ecuación 4.4 de la normativa propuesta en el capítulo 4.

Los valores de potencia de los transformadores deben corresponder a los estandarizados, se encuentran en la tabla B6, B7, B8 del Anexo B del presente trabajo, correspondiente a las tablas A-12-1, A-12-2 y A-12-3 de la sección A-12 en normativa EEQ S.A.

2.6.7 CONDUCTORES Y CALIBRES NORMALIZADOS.

Se debe usar conductores desnudos de aluminio AAC, y de forma alternativa ACSR en redes primarias de medio voltaje cumplimiento con las especificaciones de la tabla B9 del Anexo B del presente trabajo, correspondiente a la tabla A-12-4 en normativa EEQ S.A.

El conductor del neutro debe tener una capacidad de conducción de corriente que debe ser más del 50% de la capacidad de conducción de corriente de las fases para redes primarias trifásicas, secundarias trifásicas y monofásicas de 3 hilos.

2.6.8 CAÍDAS DE VOLTAJE.

La caída de voltaje máxima aceptable, en el punto más alejado de la red, para las necesidades de diseño establecidas e indicada como porcentaje del voltaje nominal de fase

a tierra del sistema estos no deben exceder los límites que se presentan en las tablas B10, B11, B12 y B13 del Anexo B.

2.6.8.1 Red Secundaria

Para las redes radiales, se considera la longitud total del circuito hasta el transformador.

La caída de voltaje no debe superar los valores establecidos en las tablas B10, B11 del Anexo B del presente trabajo, correspondiente a las tablas A-11-7 y A-11-8 respectivamente en normativa EEQ S.A.

Cálculo de la caída de voltaje: circuitos secundarios

El valor total obtenido debe ser menor o igual a límite establecido por la EEQ, los valores deben ser determinados para cada tramo del circuito y por adición.

Se debe completar la plantilla establecida por la Empresa Eléctrica Quito la cual se puede encontrar en el Anexo B, se utilizará las tablas B14 y B15 del presente trabajo como se describe a continuación:

1. Anotar en la parte superior los datos del proyecto e identificar el lugar donde va a ser ubicado el transformador, así como el número del circuito considerado.
2. Realizar un gráfico del circuito, tomando en cuenta la configuración del proyecto, especificando la localización de los postes o puntos de derivación a los clientes y la separación entre estos, indicada en metros y tomando en cuenta las siguientes indicaciones:
 - Los postes o puntos de derivación deben estar numerados secuencialmente partiendo del transformador.
 - El número de usuarios alimentados desde cada uno de los postes o puntos de derivación.
 - El número de clientes total que incide sobre cada uno de los tramos, estimado como la sumatoria de los mismos partiendo de la fuente hasta el final del circuito en la sección correspondiente.
3. Escribir el nombre del circuito entre los postes en la columna 1, numerados según su extremo y empezando por el transformador; también tenga en cuenta las longitudes de las secciones en la columna dos.

4. Ingresar en la columna tres el número total de suscriptores correspondientes al segmento en consideración.
5. El número de usuarios (N) por segmento está determinado por la demanda de diseño (DD) o a su vez la demanda de diseño más las demandas máximas de diversificación de las cargas especiales en kVA, el valor de este se da en la columna cuatro.
6. Ingresar los datos específicos del cable seleccionado para cada sección.
7. Columna 5: Ingresar la sección transversal o calibre de los conductores de fase.
8. Columna 6: solo para red subterránea, la Potencia térmica máxima permitida tomada de la tabla del Apéndice A-12-C establecida por la EEQ S.A,
9. Columna 7: Coloca el momento eléctrico en kVA x m para la caída de voltaje de 1% los cuales se encuentran en las tablas B14 Y B15 del ANEXO B del presente trabajo.
10. Columna 8: colocar el producto entre la columna 4 y la columna 2.
11. Columna 9: calcular mediante la división entre la columna 8 y la columna 7.
12. Columna 10: colocar la sumatoria de las caídas parciales siguiendo el tramo de cada circuito.

2.6.8.2 Red primaria de Medio Voltaje

Se considera como todo el suministro principal desde la Subestación de Distribución, sus ramales y circuitos; los valores límite se presentan en las tablas B12 y B13 que corresponden a la sección A-11-5 y A-11-6 respectivamente de la normativa EEQ S.A.

Cálculo

de la caída de voltaje: redes primarias

Este valor debe ser igual o menor al límite permitido, se debe determinar el valor para cada tramo comprendido por la sección de la línea entre centros de transformación, la cual se puede encontrar en el Anexo B del presente trabajo, cuya aplicación se describe a continuación:

1. Columna 1: anotar el número correspondiente a la porción del transformador y la posición de los puntos de conexión empezando desde la alimentación de la red; en la columna 2, también tenga en cuenta la longitud de la sección.

2. Columna 3: ingresar el número (si existe) de transformador perteneciente al extremo aguas debajo de cada tramo.
3. Columna 4: escriba la potencia nominal del transformador en kVA.
4. Columna 5: colocar el valor de la de la potencia total hasta ese tramo.
5. Columna 6: colocar el número de fases, en la columna siete el calibre del conductor.
6. Columna 8: coloca el momento en kVA x m para la caída de voltaje de 1% los cuales se encuentran en las tablas B16 y B17 del ANEXO B y que corresponde al apéndice A-12-D de la normativa EEQ S.A.
7. Columna 9: colocar el valor del producto entre la columna cinco y la columna dos.
8. Columna 10: calcular mediante la división entre la columna nueve y la columna ocho.
9. Columna 11: la suma de las caídas parciales siguiendo el tramo de cada circuito.

2.6.8.3 Límite de caída de voltaje del Alumbrado Público

La máxima caída de voltaje en el conductor, que se considera que llega a la luminaria más lejana de la red, con el 125 % de corriente nominal de la lámpara, no debe exceder de 3% del voltaje nominal de línea.

2.6.9 CONEXIONES A TIERRA.

La red en diseño debe considerar la conexión a tierra del neutro en los siguientes puntos:

- En áreas urbanas se debe ubicar en los centros de transformación y en los 2 terminales del circuito en bajo voltaje más alejado.
- En áreas rurales se debe ubicar en los centros de transformación y en los 2 terminales del circuito en bajo voltaje más alejado y en puntos intermedios cada 200m para circuitos secundarios prolongados
- En sistemas de distribución de 22,8kV y en sistemas primarios con neutro continuo se deberá colocar cada 300m en toda su longitud, así como en puntos terminales.

2.6.10 ALUMBRADO PÚBLICO.

La demanda de alumbrado público es característica de cualquier edificio. Las lámparas de sodio de alta presión están disponibles en potencias nominales de 400 W, 250 W, 150 W y 100 W.

2.6.10.1 Niveles de iluminación y factores de uniformidad.

Los valores adoptados para el diseño del alumbrado público y de los espacios públicos dependen de la intensidad del tránsito vehicular y peatonal, los cuales a su vez depende del tamaño y particularidades de la calzada y pavimento. En Quito la Dirección Metropolitana de Territorio y Vivienda, en las Ordenanzas de gestión Urbana territorial N° 095 y 107, precisó detalles para el diseño de vías, las cuales se presentan en el Tabla B18 Y B19 del Anexo B del presente trabajo, que corresponde a la sección A-11 de la normativa EEQ S.A.

Se toma como referencia esta clasificación vial como se establece en la tabla B18 Y B19 del Anexo B del presente trabajo, se muestran los valores sugeridos para la luminancia promedio del pavimento, la uniformidad general de la luminancia del pavimento, los incrementos de umbral, la uniformidad longitudinal del pavimento, la relación de ambiente y la potencia de la luminaria.

Para especificaciones de las luminarias se establece las tablas B20 Y B21 del Anexo B del presente trabajo, que corresponde a la sección A-11 de la normativa EEQ S.A.

2.6.10.2 Fuentes de iluminación

Las lámparas de descarga de vapor de sodio de alta presión se aceptan en toda el área de cobertura de la EEQ S.A.

2.6.10.3 Esquemas de control

En el caso de luminarias con potencia nominal de 400 watts o de 250 watts, el control individual se realiza mediante un contactor accionado por fotocélula, que se incorpora a la luminaria como parte integral.

En el caso de luminarias con una potencia de salida inferior a 250 watts, los controles individuales se realizarán mediante contactores activados por fotocélulas incorporados a la

luminaria, como parte integral o el control múltiple paralelo dispuestos de acuerdo con el tipo de instalación, de la siguiente manera:

- En la red aérea: De cada transformador se debe tomar un cable adicional, hilo piloto, controlado por la fotocélula y el contactor unipolar debe estar conectado a una de las fases; las luminarias se conectarán en paralelo con el hilo de control, y el secundario entre ellas será el hilo de fase de la red, correspondiendo el hilo de fase a una fase distinta de la fase controlada. Los dispositivos de control no se instalarán en transformadores ubicados en un solo poste.
- Serán independientes los circuitos de control de los transformadores y tendrán una capacidad máxima de 60 amperios.

2.6.11 SECCIONAMIENTO Y PROTECCIONES

Para obtener un mayor índice de confiabilidad en las redes de distribución aéreas se define criterios y requisitos para su aplicación en los dispositivos de seccionamiento y protección que el diseñador debe considerar.

2.6.11.1 Dispositivos de seccionamiento y protección de sobrecorriente.

2.6.11.1.1 Redes Primarias

A continuación, se presentan los principales elementos de seccionamiento y protección en redes primarias aéreas:

- Reconnectador Automático
- Seccionalizador
- Seccionador tripolar Operado en grupo
- Seccionador – Fusible Unipolar
- Seccionador – Fusible Unipolar para Operación con Carga
- Seccionador o Desconectador Unipolar

Los interruptores automáticos son del tipo de distribución, pueden ser aislados con SF6 o sumergidos en aceite o en vacío, para instalación interior o exterior, debe ser acompañado de dispositivos en serie para proteger de sobrecarga o cortocircuito.

Los reconnectadores automáticos y seccionadores automáticos serán del tipo de distribución, con dispositivo extintor de arco en vacío y SF6 o vacío; debe estar provisto de dispositivos de fijación para montaje en poste

Los seccionadores tripolares que funcionan en grupo deben ser del tipo de apertura lateral, en interruptores instalados en el aire y apropiados para el montaje horizontal en cruceta, la longitud mínima será de 8m entre la varilla de acoplamiento y la palanca de accionamiento

2.6.11.1.2 *Redes Secundarias*

“Se utilizará fusibles unipolares acoplados sobre bases aisladoras de soporte o interruptores termomagnético tipo caja moldeada. El fusible asociado a un cuerpo de cerámica y a una cuchilla puede ser separado de su base, permitiendo el seccionamiento de la línea [1].”

2.6.11.2 Dispositivos de protección de sobrevoltaje

Se utiliza pararrayos tipo distribución poliméricos de óxido metálico con disparador, diseñados para operar a 3.000 metros sobre el nivel del mar, con soportes para montaje en crucetas cuando se instale en redes aéreas, o en barras aisladas cuando se instalan en cámaras.

En clientes comerciales e industriales donde exista una gran cantidad de equipos que tengan componentes electrónicos instalados o a instalarse se utiliza un supresor de transitorios categoría C en el caso de que ya se encuentre instalado supresores de transitorios categoría A y B no es necesario instalar tipo C.

2.6.11.3 Criterios generales para aplicación de elementos de protección y seccionamiento.

Los elementos de protección y seccionamiento deben ser seleccionados por el proyectista asegurando una adecuada protección de los equipos principales y además que permitan expansiones y modificaciones, así como dar mantenimiento en la instalación.

A continuación, se presenta una guía para la selección y aplicación de los diferentes dispositivos de protección y seccionamiento de los tramos o secciones de la red.

2.6.11.3.1 *Punto de alimentación de la red primaria*

Es el punto de conexión del sistema existente a la red proyectada establecida por la empresa en base al diseño realizado por el proyectista al emitir la factibilidad de servicio correspondiente.

Para la red primaria los elementos de protección y seccionamiento a ser instalados depende de la carga diseñada por el proyectista la cual debe cumplir las indicaciones de la tabla 2.1:

Tabla 2.1. Seccionamiento y protección [1].

Tipo de instalación	Voltaje nominal kV	Demanda máxima diversificada (1) kVA	Tipo de equipo de protección y seccionamiento (2)
Aérea	6,3	> 800	Reconectador automatico o Seccionalizador
	22,8	> 1000	
	6,3	300-800	Seccionador tripolar para operación bajo carga
	22,8	400-1000	
	6,3	< a 300	Seccionador – Fusibles
	22,8	< a 400	

2.6.11.3.2 Red primaria

Las redes primarias partiendo del punto de conexión serán radiales, se debe colocar elementos de seccionamiento y protección de forma escalonada permitiendo realizar seccionamiento y/o proteger secciones o tramos de línea, se instalará juegos de seccionadores fusibles de acuerdo con los siguientes parámetros:

- En el ramal principal los puntos que permiten el seccionamiento y protección de bloques de potencia de 300 y 400 kVA o conjuntamente de 5 a 6 transformadores de distribución.
- En los transformadores de distribución que se encuentren en todas las derivaciones del ramal principal
- En todas las derivaciones de redes aéreas a cable aislado en instalaciones subterráneas.

2.6.11.3.3 Coordinación de la protección

Se debe realizar un estudio básico de corrientes en estado estable y en falla en cada uno de los puntos en lo que se instalará los dispositivos de protección de sobrecorriente y se seleccionará las características de estos. Se debe realizar una apropiada coordinación en los tiempos de operación logrando que en el caso de salida de servicio este afecte a la menor cantidad de usuarios.

2.6.11.3.4 Centros de transformación

Para proteger el transformador de distribución contra sobrecorrientes se debe considerar:

- Lado primario: Para protecciones contra fallas de origen interno en transformadores convencionales se deberá usar un juego de seccionadores fusibles provistos de tira fusibles duales cuyas características de fusión tiempo corriente y su corriente nominal cumplan con lo establecido en las tablas B22, B23, B24, del Anexo B del presente trabajo, que corresponden a las tablas del apéndice A-13-A de la normativa EEQ S.A.
- En los terminales del lado secundario: Para proteger los transformadores tipo convencional de sobrecargas y en fallas que se originen en el circuito de bajo voltaje en las tablas B22 y B23 del Anexo B del presente trabajo se encuentra especificado la corriente nominal del tirafusible en función de la potencia del transformador en referencia al fusible NH, tipo 3NA1.

Para protecciones de sobrevoltaje de tipo atmosféricas se colocará en la conexión del transformador con la red primaria y en todos los casos de instalación aérea se colocará pararrayos tipo óxido de zinc, cuerpo polimérico, clase distribución, con disparador.

Se recomienda el uso de transformadores monofásicos (CSP) totalmente autoprotegidos en instalaciones aéreas, que incluyen todas las protecciones establecidas; excepto en troncales donde se debe utilizar transformadores convencionales ya que en caso de mantenimiento o reparación el corte de la línea debe ser visible y de esta manera se asegurará la desenergización del transformador.

Los cables de bajo voltaje que tengan su origen en las barras de la cámara del transformador estarán protegidos mediante fusibles, limitadores NH, contra corrientes que provoquen sobrecalentamientos que excedan los límites térmicos del aislamiento.

2.6.12 LÍMITES DE ESFUERZOS MECÁNICOS.

2.6.12.1 Conductores

En redes aéreas de distribución se debe emplear conductores fabricados de aluminio desnudo ya sea de tipo AAC o ACSR, en conexiones a tierra se debe emplear cable desnudo de cobre.

Las propiedades físicas y eléctricas del cable deben cumplir con los requisitos descritos en las especificaciones de la parte C de la normativa de la Empresa Eléctrica Quito S.A.

2.6.12.1.1 Conductores de aluminio desnudo, AAC:

El cable de aluminio 1350-H19 debe estar fabricado con alambre que cumpla con las normas ASTM B-230 y B-231 y debe cumplir con los requisitos de la NTE INEN 331 y 2545 antes del cableado.

2.6.12.1.2 Conductores de aluminio reforzado con acero, ACSR:

El conductor ACSR debe cumplir con las especificaciones ASTM B232, NTE INEN 335 y NTE INEN 2170.

Los conductores serán concéntricos clase AA, según las especificaciones del MERNNR se determinará el número de hilos y el calibre.

2.6.12.1.3 Conductores de cobre:

Previamente al cableado el alambre de cobre debe satisfacer con las normas: ASTM B 33, B 189 y B 246.

2.6.12.1.4 Cable preensamblado:

Se usará este tipo de cables en circuitos aéreos secundarios, el conductor debe satisfacer con las normas: NTE INEN 2572. IRAM 2212 -2263. ASTM B-230, B-231, B232, B-398, B-399, B-498, e ICEA T-27-581/NEMA WC 53

2.6.12.1.5 Cable dúplex:

Cable usado para el alumbrado público el conductor debe satisfacer con las normas: ASTM B230, ASTM B231, ASTM B398, ASTM B399 y ANSI/ICEA S-76-474 para red aérea, y ASTM B230, ASTM B231, ASTM B398, ASTM B399 y UL 854.

2.6.12.2 Aisladores

Las características eléctricas y mecánicas de los aisladores deben contemplar los requerimientos determinados por las Normas ANSI que se muestran a continuación en la tabla B25 el Anexo B del presente trabajo, correspondiente a la tabla A-20-1 en normativa EEQ S.A.

2.6.12.3 Accesorios

Los accesorios de empalme y terminaciones deben especificarse para el tamaño y tipo de cable apropiado, indicando el tipo de instalación prevista en la disposición adoptada.

Accesorios para conductores

Todos los accesorios utilizados para los cables de conexión y fijación deben ser tipo: ajuste con perno, del tipo preformado o de ajuste por compresión.

Las especificaciones de cada accesorio deben indicar el tipo de material, el tamaño y la forma del componente, por lo general, se complementan con una lista de referencias del diseñador y una lista de fabricantes conocidos o a su vez con la codificación de materiales del MERNNR (ex MEER) y de la Empresa Eléctrica Quito S.A. La siguiente es una descripción general de los accesorios recomendados y sus usos.

Conexiones: Todos los derivados de la línea principal, como ramales de circuitos principales, conexión a transformadores y accesorios se realizarán mediante grapas resistentes al calor, cuya posición se puede ajustar mediante las pértigas en la parte inferior.

Los terminales planos del tipo de fijación por soldadura se utilizarán para conectar cables de bajo voltaje a los fusibles; para otras conexiones como centros de transformación, puentes entre otros, utilizará conectores tipo “ranura paralela” con amplia superficie de contacto o compresión.

Fijación de Cables: Los cables utilizados en la red primaria se deben sujetar mediante grapas con pernos o elementos preformados, incluyendo medios para asegurar la curvatura del cable. Los conductores secundarios en los terminales están mejor asegurados por elementos preformados.

Preferiblemente todos los accesorios de fijación sometidos a tensión de tracción deben determinar un factor de seguridad de 3 para el esfuerzo de rotura al conductor.

En el punto de apoyo del aislador tipo espigas, el cable se debe asegurar con una cinta de aluminio instaladas en forma helicoidal sobre el aislador se sujetará con alambre sólido de aluminio de temple suave las ubicaciones y dimensiones de los componentes se muestran en los dibujos modelo correspondientes proporcionados en la Parte B de la guía de diseño de la EEQ S.A.

2.6.13 AISLAMIENTO BÁSICO EN ALIMENTADORES.

En la tabla B26 del Anexo B del presente trabajo, correspondiente a la sección A-20.04 en normativa EEQ S.A. se presenta el aislamiento que los transformadores de distribución deben satisfacer en condiciones normales definidas en la norma IEC, a nivel del mar, con una presión de 760 mm Hg, y una temperatura de 20°C el aislamiento de los equipos utilizados deberá cumplir los valores de ensayo, se debe aplicar un factor de corrección de 0.8 para corregir la altura de la ciudad de 3 000 metros sobre el nivel del mar.

En la tabla B27 del Anexo B del presente trabajo, correspondiente a la sección A-20.04 en normativa EEQ S.A. se presenta el aislamiento de los dispositivos de seccionamiento abiertos y de protección deberá cumplir los siguientes valores de ensayo en condiciones normales definidas en la norma IEE C37.42, es decir, al nivel del mar con una presión atmosférica de 760 mm Hg. y una temperatura de 20°C.

En la tabla B28 del Anexo B del presente trabajo, correspondiente a la sección A-20.04 en normativa EEQ S.A. se presenta el aislamiento de los equipos que funcionan con baterías deberá cumplir con los siguientes valores de prueba en condiciones normales como se define en la norma IEC, al nivel del mar con una presión de 760 mm Hg. y una temperatura de 20°C.

2.6.14 UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN

La Empresa Eléctrica Quito utiliza las estructuras homologadas establecidas en su propia normativa en la parte B y su codificación viene determinada en el ANEXO E del presente trabajo.

2.7 EMPRESA ELECTRICA AMBATO

2.7.1 CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR.

Esta institución realiza esta actividad usando un método de zonificación por polígonos dependiendo del tipo de cliente, y usando el software ArcGis, mediante la ubicación del nuevo usuario se determinará la categoría; de esa manera se tiene establecidas las categorías se presentan en la tabla en la tabla C1 del Anexo C del presente trabajo, correspondiente a la sección 3.1 de la normativa EEA S.A.

2.7.2 DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA.

Una vez asignado el estrato se debe considerar el número de clientes y así determinar la demanda máxima diversificada. La tabla de demandas diversificadas para redes aéreas se presenta en la tabla C2 del Anexo C del presente trabajo que corresponden a las tablas del anexo 3 de la normativa EEA S.A.

2.7.3 DETERMINACIÓN DE CARGAS ESPECIALES.

Se considera cargas especiales a locales usados para comercio como panaderías, frigoríficos, etc.; y a locales usados para la pequeña industria como soldadoras, mecánicas. Se debe realizar la suma de las potencias reales nominales de cada uno de los equipos como indica la fórmula 2.14.

$$D_{ES} = \sum P. \text{ esp } [W] \quad (2.14)$$

Donde:

D_{ES} : Demanda de cargas especiales [W].

P. esp (w): potencia especificada de los equipos [W].

2.7.4 DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO.

Mediante la ecuación 2.15 se puede determinar la demanda de diseño.

$$DD = \frac{1}{F_S} \left(\frac{DMD_{\text{cliente(A,B,C,D,E)}} + D_{AP} + D_{ES}}{FP} \right) + DMD_{CI} \text{ [kVA]} \quad (2.15)$$

Donde:

$DMD_{\text{cliente(A,B,C,D,E)}}$ = Demanda máxima diversificada tomando en cuenta las perdidas por clientes aguas abajo [kW].

DMD_{CI} = Demanda máxima diversificada de cocción [kW]

D_{AP} = Demanda de cargas de alumbrado público [kW]

D_{ES} = Demanda de cargas especiales [kW]

FP = Factor de potencia.

F_s = Factor de rango permitido de sobrecarga en transformadores con clientes residenciales sin pérdida de vida útil, valor de 1,3.

Para proyectos puros de vivienda en las cuales no existen cargas especiales, las cuales, dependiendo del tipo de cliente, se pueden obtener directamente del ANEXO C tabla C3 de este documento, que corresponde al Anexo 4 de la normativa EEA S.A

2.7.5 VALORES DE REFERENCIA PARA LA CARGA INSTALADA Y LA DEMANDA MÁXIMA PARA UN USUARIO RESIDENCIAL

Las magnitudes de la demanda máxima unitaria por estratos se establecen en la tabla C4 del Anexo C del presente trabajo, correspondiente a la sección 3.3 de la normativa EEA S.A.

2.7.6 TIPO DE INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS CIRCUITOS.

Para la EEA S.A se establece que generalmente las redes de distribución serán aéreas. En sus recorridos los alimentadores primarios serán trifásicos y monofásicos para ramales.

Según la categoría del cliente se define la configuración de los circuitos secundarios, en conexiones monofásicas, estas serán a 3 hilos.

El neutro de los circuitos secundarios debe ser radial multiaterrado y estará extendido en toda la red.

En la tabla C5 del Anexo C del presente trabajo, correspondiente a la sección 3.11 de la normativa EEA S.A se especifica la configuración de los circuitos secundarios dependiendo de la categoría del usuario.

2.7.7 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

La determinación de la capacidad de transformación de cada centro se la realiza en base de la demanda de diseño (DD) calculada mediante la ecuación 2.15.

La ecuación 2.16 establece un 30% de sobrecarga del transformador para cargas residenciales, establecido en la normativa.

$$kVA(t) = \frac{DD}{1,3} \text{ [kVA]} \quad (2.16)$$

Donde,

$kVA(t)$: Capacidad del transformador de distribución.

DD : Demanda de diseño.

Los valores de potencia de los transformadores deberán corresponder a los estandarizados en la tabla C6 del Anexo C del presente trabajo, correspondiente a la sección 4.2 de la normativa EEA S.A.

Con las siguientes condiciones de aplicación:

- Transformadores menores o igual a 75 kVA van en un solo poste.
- Transformadores superiores a 75 kVA hasta 125 kVA en pórtico.
- Transformadores superiores a 125 kVA en cámaras de transformación.
- Transformadores tipo Padmounted se usarán en casos especiales con autorización de EEA S.A.
- Transformadores con potencia nominal diferente a las especificadas en la tabla podrán ser usados previo a la autorización de la EEA S.A.

2.7.8 CONDUCTORES Y CALIBRES NORMALIZADOS.

Los conductores deben cumplir las siguientes condiciones de uso:

- Conductores desnudos de aleación de aluminio tipo ACSR serán usados en instalaciones aéreas.
- Conductores preensamblados serán usados en redes secundarios, serán de 3 o 2 fases aisladas cableadas con neutro portante.
- Conductores de tipo ACSR serán usados en redes primarias.

Los conductores para utilizarse se establecen en la tabla C7 del Anexo C del presente trabajo, correspondiente a la sección 4.2 de la normativa EEA S.A.

El neutro puede ser de un calibre igual o inferior en redes trifásicas como monofásicas a 3 hilos. En redes primarias o secundarias monofásicas a 2 conductores el calibre del neutro deberá ser igual a la del conductor de fase.

2.7.9 CAÍDA DE VOLTAJE.

Para la red primaria, los límites de caída de voltaje están sujetos a los establecidos por la Regulación 53/8 ARCONEL: CALIDAD DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA, tomando en consideración los voltajes alta, media y baja.

“El límite máximo para caída de voltaje en acometidas en ningún caso deberá exceder el 1% [5].”

2.7.9.1 Cálculo de la caída de voltaje: circuitos secundarios

El valor total obtenido debe ser menor o igual a límite establecido por la EEQ, los valores deben ser determinados para cada trama del circuito y por adición.

Se debe completar la plantilla establecida por la Empresa Eléctrica Ambato la cual se puede encontrar en el Anexo C del presente trabajo.

Procedimiento:

1. Colocar los datos solicitados del proyecto y definir las características del usuario, el centro de transformación y la red en los lugares apropiados ubicados en la parte superior del documento.
2. Representar la configuración de diseño, realizar un diagrama representativo del circuito, así como la ubicación de los postes y su separación expresados en metros y la distancia entre ellos.
3. Columna 1: Escribir el nombre del circuito que conecta los 2 nodos, numerados por su extremo, y partiendo con el centro de transformación.
4. Columna 2: Escribir la distancia expresada en metros.
5. Columna 3: Colocar el número de usuarios totales.
6. Columna 4: Colocar el valor de acuerdo con la tabla C2 del Anexo C del presente trabajo, se aumentará la demanda en kVA para alumbrado público y cargas especiales. Este valor es la demanda Máxima Diversificación (DMP) del segmento esperado.
7. Columna 5: Colocar la configuración de la red especificado el número de fases, así como de conductores: 3F4C, 1F3C, 1F2C.
8. Columna 6: Anotar el calibre del conductor.
9. Columna 7: Colocar el valor del FCV de acuerdo con el conductor escogido y su disposición cuyos valores se pueden encontrar en las tablas C8, C9 y C10 del Anexo

C del presente trabajo, que corresponden a las tablas del anexo 7 de la normativa EEA S.A.

10. Columna 8: Calcular el momento eléctrico que se obtiene del producto entre la columna 2 y 4.
11. Columna 9: Calcular la caída de voltaje del tramo que se la obtiene al realizar la división entre la columna 8 y 7.
12. Columna 10: calcular la caída de voltaje total que se obtiene sumando las caídas de voltaje parciales tomando en cuenta el tramo desde el transformador hasta el final de circuito.

2.7.9.2 Cálculo de la caída de voltaje: redes primarias

Este valor debe ser igual o menor al límite permitido, se deberá determinar el valor para cada tramo comprendido por la sección de la línea entre centros de transformación.

Se debe completar la plantilla establecida por la Empresa Eléctrica Ambato la cual se la puede encontrar en el Anexo C del presente trabajo, que corresponde al Anexo 6 de la normativa EEA S.A, cuya aplicación se describe a continuación:

- Anotar los datos solicitados y anexar el grafico de los tramos determinados entre los transformadores.
- Columna 1: colocar el nombre de la porción de red entre los transformadores de acuerdo con el número correspondiente a su punto final y comenzando desde el punto de entrada a la red.
- Columna 2: Escribir la distancia expresada en km.
- Columna 3: Colocar la referencia del centro de transformación correspondiente al final de cada tramo.
- Columna 4: Colocar la capacidad nominal del transformador en kVA.
- Columna 5: Colocar la demanda acumulada tomando en cuenta el final de la red a la fuente.
- Columna 6: Colocar el número de fases.
- Columna 7: Colocar el calibre del conductor.
- Columna 8: Anotar el valor del factor de caída de voltaje de acuerdo con el conductor escogido y su disposición cuyos valores podemos encontrar en las tablas C11, C12 y C13 del Anexo C del presente trabajo, que corresponden a las tablas del anexo 7 de la normativa EEA S.A.

- Columna 9: Calcular el momento eléctrico que se lo obtiene del producto entre la columna 2 y 5.
- Columna 10: Determinar la caída de voltaje del tramo que se la obtiene al realizar la división entre la columna 8 y 9.
- Columna 11: calcular la caída de voltaje total que se la obtiene sumando las caídas de voltaje parciales tomando en cuenta el tramo desde el transformador hasta el final de circuito.

2.7.10 CONEXIONES A TIERRA.

La norma recomienda utilizar conexiones entre la tierra y el neutro en los siguientes puntos.

- Centros de transformación.
- En el transformador en los terminales del circuito secundario.
- En los extremos finales de los circuitos secundarios.
- En intervalos de 500m en circuitos primarios y en los puntos terminales del circuito.

Se debe seleccionar una disposición para la conexión a tierra en función de la resistencia del suelo y en función de los valores especificados en la tabla C14 del Anexo C del presente trabajo, correspondiente a la sección 4.8 de la normativa EEA S.A.

La aplicación debe tomar en cuenta las siguientes indicaciones:

- Se debe realizar excavaciones en suelos duros y semi duros para colocar las varillas de puesta a tierra y no introducirlas mediante golpes.
- No se debe conectar el neutro con el tensor y considerarla como una puesta a tierra.

En el caso de que el suelo no cumpla con la resistencia requerida se realizara procedimientos para mejorar el suelo.

2.7.11 ALUMBRADO PÚBLICO.

El cálculo de la demanda de alumbrado público viene dado por la ecuación 2.17.

$$D_{AP} = \sum P. lum. nom (W) \quad (2.17)$$

D_{AP} : Demanda del alumbrado público [W]

P.lum. nom: Potencias reales nominales de las luminarias [W]

2.7.11.1 NIVELES DE ILUMINACIÓN Y FACTORES DE UNIFORMIDAD.

Los factores de uniformidad y niveles de iluminación se deben tener en cuenta al diseñar el alumbrado de calles y espacios públicos, que es esencialmente una función del tránsito de peatones y la velocidad de movimiento vehicular, por lo tanto, es función a la importancia del camino.

Para las zonas urbanas, la clasificación vial y el nivel de iluminación, así como el factor de uniformidad constante, se las obtiene de las normas vigentes emitidas por el MERNNR.

2.7.11.2 Fuentes de iluminación

En todos los casos, cuando corresponda, se debe asegurar de que las luminarias tipo cerradas de descarga vapor de sodio de alta presión o LED; que cumplan con las especificaciones y estándares aplicables establecidos por los reguladores de la industria energética. En casos especiales, se pueden utilizar otros tipos de fuentes de luz con la aprobación previa de EEA S.A.

2.7.11.3 Esquemas de control

El control individual de la luminaria se realizará por medio de células fotovoltaicas incorporadas en la luminaria, excepto cuando sea razonable utilizar varios controladores, se aplicarán un circuito que será independiente, constará de dos conductores; y cada circuito estará controlado por una fotocélula externa y un contactor.

2.7.12 SECCIONAMIENTO Y PROTECCIONES

Para obtener un mayor índice de confiabilidad en las redes de distribución aéreas se definen criterios y requisitos para su aplicación en los dispositivos de seccionamiento y protección que el diseñador debe considerar.

2.7.12.1 Dispositivos de seccionamiento y protección de sobre corriente.

Se clasifican en equipos utilizados en la red Primaria y equipos utilizados en red de bajo voltaje:

2.7.12.1.1 Redes Primarias

- Reconectado automático
- Seccionalizador
- Seccionador tipo cuchilla
- Seccionador – fusible

2.7.12.1.2 Redes secundarias

- Se usará dispositivos de protección tipo NH.

2.7.12.2 Dispositivos de protección de sobrevoltaje.

En vista de que las redes primarias de la EEA S.A son a 13.8 kV, se utiliza descargadores tipo autoválvula, clase distribución 9-10 kV en equipos ubicados en el exterior, cables aislados derivados de líneas y redes aéreas.

En zonas donde existe altos niveles de tormentas eléctricas con presencia de truenos (niveles isoceráunicos altos) especialmente en la zona oriental se debe instalar descargadores cada 400m de distancia como máximo.

2.7.12.3 Criterios Generales para aplicación de elementos de protección y seccionamiento.

Según las guías de la EEA S.A se establece que los elementos de protección deben ser seleccionados por el diseñador debiendo asegurar su correcto dimensionamiento y que permitan realizar un mantenimiento de las instalaciones.

2.7.12.3.1 Punto de alimentación de la red primaria

“Se refiere al punto de conexión del sistema existente a la red proyectada. En general, los dispositivos de protección y seccionamiento a prever para el punto de alimentación de la red primaria dependerán del valor máximo de la demanda proyectada a 15 años adoptado para el diseño; además, se deberán considerar como referencia los lineamientos

[5]", que se indican en la tabla C15 del Anexo C del presente trabajo, correspondiente a la sección 5.4 de la normativa EEA S.A.

2.7.12.3.2 Red primaria

"Las redes primarias deben ser radiales a partir del punto de alimentación, y con el propósito de disponer de elementos de seccionamiento y protección escalonados que permitan seccionar y/o proteger secciones o tramos de línea, deberán preverse juegos de seccionadores fusibles localizados en función de la configuración de la red y de acuerdo con los siguientes principios generales [5]":

1. No se puede colocar seccionadores fusibles en el troncal del alimentador.
2. En el ramal principal, se colocará en sitios intermedios que permita el seccionamiento y protección de bloques de potencia de 300 kVA y 400 kVA.
3. En cambios de circuitos aéreos a subterráneos.
4. En las derivaciones donde encontremos 2 o más transformadores que sean alimentados por el ramal principal.
5. En zonas urbanas se debe colocar seccionadores cada 2 km y en zonas rurales cada 5 km, en ramales con una longitud menor se coloca en el punto de derivación únicamente.

2.7.12.3.3 Coordinación de la Protección

Se debe ejecutar un estudio de corrientes en estado estable y corto circuito en cada uno de los puntos donde van a ser localizados los sistemas de protección con el fin de que cuando exista cortes de energía eléctrica afecte a la menor cantidad de usuarios.

2.7.12.3.4 Centros de transformación:

Para protecciones de sobrevoltaje de tipo atmosféricas se debe colocar en la conexión del transformador con la red primaria de descargadores tipo autoválvula.

Para proteger al transformador de sobrecorrientes se debe:

- Lado primario: Para protección fallas de tipo de origen interno en transformadores convencionales se debe usar un juego de seccionadores fusibles provistos de tira

fusibles cuyas características de fusión tiempo corriente y su corriente nominal cumplan con lo establecido en las tablas C16 y C17 las cuales se presentan en el Anexo C del presente trabajo, de acuerdo con la potencia del transformador. Las tablas corresponden al anexo 8 de la norma.

- En los terminales del lado secundario: Para proteger los transformadores tipo convencional de sobrecargas y en fallas que se originen en el circuito secundario se debe colocar fusibles tipo NH cumpliendo con las características establecidas en las tablas C16 y C17 del anexo C del presente trabajo. Alternativamente se puede usar interruptores termomagnéticos cuyas características se encuentran en las tablas C18 y C19 del anexo C del presente trabajo. Las tablas corresponden al anexo 8 de la norma.

2.7.13 LÍMITES DE ESFUERZOS MECÁNICOS

2.7.13.1 Conductores

No debe sobrepasar el 40% del esfuerzo mínimo de rotura del conductor para el cobre y aleaciones de aluminio los esfuerzos máximos estarán indicados en la tabla C20 del Anexo C del presente trabajo, correspondiente a la sección 7.2 de la normativa EEA S.A.

- En el caso que la línea prevea vibraciones de los conductores se debe comprobar el esfuerzo longitudinal para reducir la amplitud de la vibración en el caso de que atraviesen las zonas.
- Se debe determinar la flecha máxima teniendo en cuenta: el peso de los conductores con la temperatura máxima previsible, las condiciones climáticas y de servicio en la línea. Esta temperatura nunca bajará de los 40°C.

2.7.13.2 Aisladores

- Aisladores de suspensión y los de tipo espiga: deben ser suficientes para soportar la carga máxima transversal efecto del viento sobre el conductor y el aislador y el efecto de la componente transversal del tiro del conductor en ángulos de la línea y la carga vertical ocasionadas por el peso del cable, no debe superar el 33% de la carga de rotura.

- Los aisladores tipo espiga en los cruces de carreteras o vías férreas: deben ser suficientes para soportar el tiro longitudinal provocado por la rotura de un conductor adyacente el cual no debe exceder el 40% de su carga de rotura.
- Los aisladores de suspensión: debe tolerar la fuerza máxima de tracción del conductor, no debe exceder el 40% de su carga de rotura.

2.7.13.3 Accesorios

Los accesorios de la línea sometida a tensión mecánica de los conductores deben asegurar un factor de seguridad mecánica de al menos 3. Cuando el sistema de prueba confirma la carga de rotura mínima con ensayos, el número de seguridad puede menorarse a 2.5.

En accesorios especiales, como los que se pueden utilizar para limitar la fuerza transmitida a los postes, se demostrarán plenamente las propiedades y la resistencia, los cuales deben cumplir con el factor de seguridad establecidos en la tabla C21 del Anexo C del presente trabajo, correspondiente a la sección 7.2 de la normativa EEA S.A.

2.7.14 AISLAMIENTO BÁSICO EN ALIMENTADORES.

El aislamiento básico de los transformadores primarios de suministro de distribución 13,8/7,9 kV está determinado por el nivel de impulso base (BIL) 95 kV, en la tabla C22 del Anexo C del presente trabajo, correspondiente a la sección 7.3 de la normativa EEA S.A, presenta las clases de aislamiento según el equipo.

En caso de que la red supere los 3000 m sobre el nivel del mar, el BIL se puede aumentar según la coordinación de aislamiento.

2.7.15 UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN

La Empresa Eléctrica Ambato utilizará las estructuras homologadas a nivel nacional las cuales se presentan en la página www.unidadespropiedad.com y su codificación viene determinada en el ANEXO E del presente trabajo.

2.8 EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR S.A [6]

2.8.1 CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR.

La EERS S.A establece que la demanda máxima unitaria de usuarios residenciales debe tener en cuenta el tamaño de la parcela en la zona urbana y el tipo de usuario en la zona rural. El tipo de usuario se presenta en la tabla D1 para el sector urbano y en la tabla D2 para el sector rural.

Las tablas D1 y D2 corresponden al Anexo D del presente trabajo de titulación, que corresponde a la sección 3.2.2 de la normativa EERS S.A.

2.8.2 DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA.

Una vez asignado el tipo de usuario se debe considerar el número de clientes y así calcular la demanda máxima diversificada.

La tabla de demandas diversificadas para redes aéreas se especifica en la tabla D3 del Anexo D del presente trabajo de titulación, que corresponde al Anexo 3 de la normativa EERSSA.

2.8.3 DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO.

2.8.3.1 Demanda Máxima Proyectada, Urbanizaciones, Lotizaciones y proyectos rurales.

La demanda máxima proyectada viene dada por la ecuación (2.18).

$$DMP = DMU_p * N * FC \text{ [kVA]} \quad (2.18)$$

Donde:

DMP = Demanda máxima proyectada en el punto dado. [kVA]

DMUp = Demanda máxima unitaria proyectada. [kVA]

N = Número de Usuarios.

FC = Factor de coincidencia, dado por la ecuación (2.19)

$$FC = N^{-0.0944} \quad (2.19)$$

Se toma en cuenta la categoría del cliente y el número de usuarios. Este requisito solo corresponde a la población general de usuarios, además, también se deben considerar requisitos para cargas especiales como alumbrado público y otros requisitos de cálculo.

La demanda máxima de diseño viene dada por la ecuación 2.20.

$$DMD = DMP + AP + Ce \text{ [kVA]} \quad (2.20)$$

Donde:

DMD = Demanda Máxima de Diseño. [kVA]

AP = Carga de alumbrado público. [kVA]

Ce = Cargas Especiales (puntuales). [kVA]

2.8.3.2 Demanda Máxima Proyectada para edificaciones, centros comerciales, talleres y fábricas.

El ingeniero determina la demanda máxima de diseño (DMD) del edificio, centro comercial, fabrica o taller en base a la carga total instalada, aplicando factores de coincidencia y simultaneidad.

EERS S.A brinda energía eléctrica a edificaciones con una capacidad instalada no superior a 10 kW y ubicados en zonas donde se brinda el servicio (a 200 metros del transformador más cercano) directamente desde la red de distribución secundaria.

Las edificaciones que excedan la carga instalada de 10 kW deben considerar instalar el transformador en la red aérea o en la cabina del transformador situada en el interior del edificio, a menos que exista la capacidad en el transformador y en una red distribuida (comprobada) EERS S.A, de ser así, se debe ejecutar mejoras en la red de bajo voltaje para conseguir la capacidad solicitada.

2.8.4 TIPO DE INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS CIRCUITOS.

a) Alto Voltaje

La EERS S.A mantiene un nivel de voltaje de 69 kV en su área de concesión, especialmente para sistemas de subtransmisión.

b) Medio Voltaje

Se tiene dos zonas definidas:

- Región de Loja: incumbe a toda la provincia de Loja, donde el sistema de distribución opera a un voltaje de 13,8/7,97 kV.
- Región amazónica: correspondiente a la provincia de Zamora Chinchipe y a el cantón de Gualaquiza, en este lugar el voltaje en el sistema de distribución es de 22/12,7 kV.

c) Bajo voltaje

La red de distribución de EERSSA puede ser monofásica o trifásica con niveles de voltaje de:

- Sistema de distribución monofásico 240/120 V
- Sistema de distribución de energía trifásica 220/127V.
- Se pueden usar otros voltajes requeridos por los sistemas eléctricos industriales o comerciales a pedido y deben ser proporcionados por un transformador desde el secundario para la instalación.

2.8.5 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

Los transformadores deben satisfacer las condiciones de las normas NTE INEN 2114 y 2115 en cuanto a pérdidas máximas admisibles para transformadores monofásicos y trifásicos, los aceites de estos transformadores no deben contener PCB.

Los transformadores de autoprotección (CSP) cumplirán con los requisitos del servicio monofásico.

Para los requerimientos de servicio trifásico, el transformador a ser usado debe ser trifásico y la utilización de transformadores monofásicos en disposición de bancos se limita a situaciones de emergencia o temporales.

2.8.5.1 Transformadores para edificaciones, centros comerciales, talleres o fábricas

Para determinar la capacidad de un o unos transformadores se debe tener en cuenta un valor predeterminado de Demanda Máxima de Diseño (DMD), y el factor de sobrecarga apropiado será determinado por el diseñador.

Los transformadores, para ser instalados en redes aéreas de distribución, deberán ser autoprotegidos en sistemas monofásicos y los transformadores convencionales en sistemas trifásicos, estableciendo las medidas de protección adecuadas para la operación de estos.

2.8.5.2 Transformadores para Proyectos de Urbanizaciones, Lotizaciones y proyectos rurales.

Para calcular la capacidad del transformador se debe tener en cuenta el valor de Demanda Máxima de Diseño (DMD) y el factor de sobrecarga, se aplica la ecuación 2.21:

$$DMD_T = DMD * FS \text{ [kVA]} \quad (2.21)$$

Donde:

DMD_T = Demanda Máxima de Diseño del Transformador. [kVA]

DMD = Demanda Máxima de Diseño según ecuación (2.20). [kVA]

FS = Factor de Sobrecarga. [p.u.]

El factor de sobrecarga se especifica en la tabla D4 del Anexo D del presente trabajo de titulación, que corresponde a la sección 3.3.2 de la normativa EERSSA.

En una red de distribución aérea, se instalará un transformador monofásico del tipo autoprotegidos (CSP), excepto para situaciones de emergencia o temporales en las que se puedan usar bancos de transformadores.

Los transformadores convencionales en el montaje incluyen medidas de protección tales como pararrayos y seccionadores-fusibles de medio voltaje, que irán montados en crucetas bajo la estructura de MV y en bajo voltaje del interruptor termomagnético.

Los transformadores con capacidad menor a 75 kVA podrán instalarse en configuraciones de un solo poste, desde 75 kVA hasta 200 kVA en se instalarán en dos postes, y para capacidades superiores se instalarán transformadores en cabinas.

2.8.6 CONDUCTORES Y CALIBRES NORMALIZADOS.

2.8.6.1 Redes aéreas de medio voltaje

Los conductores de medio voltaje se identifican de acuerdo con su carga descriptiva y caída de voltaje permisible, y la EERS S.A proporciona al diseñador un valor de caída de voltaje y un valor de pérdida de potencia en el punto de inicio del diseño eléctrico en el que el diseñador realizará los cálculos correspondientes.

Los conductores utilizados serán de aluminio reforzado con acero ACSR o aleación de aluminio.

En las redes aéreas se puede utilizar cables de calibre: 4 (4), 2 (2), 1/0 (1/0), 2/0 (2/0), 4/0 (4/0) AWG, el neutro se colocará en paréntesis, no se puede usar cables más pequeños que el tamaño indicado.

2.8.6.2 Redes aéreas de bajo voltaje y acometidas

Red de distribución de B.V. tendrá una duración de 10 años y sus proyectos se basarán en lo establecido previamente.

- Los conductores utilizados para redes de distribución aérea serán: cable de aleación de aluminio (6201 o 5005), cable blindado de aluminio (ACSR) y cable preensamblado.
- En las redes aéreas se puede utilizar los tamaños de cable: 4 (4), 2 (2), 1/0 (1/0), 2/0 (2/0), 4/0 (4/0) AWG, el neutro se coloca en paréntesis, no se puede usar cables más pequeños que el tamaño indicado. La excepción es el cableado en alumbrado público, que puede llegar hasta 6 AWG.
- En cuanto a las acometidas, se puede utilizar cable de distribución multiplex ACSR, ACS o antirrobo de aluminio, la funda de aislamiento de fase de polietileno negro (PE) para el múltiplex y XLPE para el antirrobo, el tamaño mínimo usado es 6 AWG.
- El tamaño del cable se determina a partir del cálculo de la caída de voltaje.

2.8.7 CAÍDAS DE VOLTAJE.

2.8.7.1 Caída de voltaje admisible para Red Primaria.

El valor límite máximo de caída de voltaje considerado desde la salida de la subestación hasta el transformador más lejano del proyecto eléctricamente no debe superar los límites determinados en la tabla D5 del Anexo D del presente trabajo de titulación, que corresponde a la sección 3.4.1 de la normativa EERSSA.

Para efectos de cálculo, EERS S.A entrega el valor de la caída de voltaje al inicio del proyecto.

2.8.7.2 Caída de voltaje admisible para Red Secundaria.

La caída de voltaje máxima se determina eléctricamente desde el centro de transformación hasta la casa más distante (red de distribución secundaria más la cometida) y no debe superar los límites determinados en la tabla D6 del Anexo D del presente trabajo de titulación, que corresponde a la sección 3.4.2 de la normativa EERS S.A.

Para los edificios, el proyectista debe tener en cuenta el computo de la caída de voltaje del tablero de distribución general más lejano y también debe respetar los límites establecidos.

2.8.7.3 Caída de voltaje en Alumbrado Público.

Para determinar la caída de voltaje en cada punto, es necesario tener en cuenta los valores de potencia de las lámparas (lámpara y balasto), incluido su factor de potencia, que en todos los casos se determina en 0,85, la caída de voltaje admisible es del 2%.

2.8.7.4 Computo de la caída de voltaje: redes primarias y circuitos secundarios.

Para calcular la caída de voltaje se utiliza en cada conductor el método de momento de potencia aparente, para una caída de voltaje del 1%, donde se aplica para medio voltaje el valor de kVA x km (22 y 13,8 kV); y, kVA x metro para bajo voltaje.

El valor del factor de caída de voltaje (FDV) necesario para calcular la caída de voltaje en el circuito primario dependiendo del tipo de conductor se debe obtener de las tablas D7,

D8, D9 del Anexo D del presente trabajo, que corresponden a las tablas del anexo 4 de la norma.

El valor del factor de caída de voltaje (FDV) necesario para calcular la caída de voltaje en el circuito secundario dependiendo del tipo de conductor se debe obtener de las tablas D10, D11, D12, D13, D14, D15 del Anexo D del presente trabajo, que corresponden a las tablas del anexo 4 de la norma.

2.8.8 CONEXIONES A TIERRA.

La resistencia máxima de puesta a tierra es de 10 ohmios, en el caso de tener un valor superior se puede añadir más varillas cooperweld, mejorar el terreno o diseñar una rejilla de puesta a tierra.

La puesta a tierra se conecta al neutro cuando:

- Cada 500 o 600 metros en alimentadores primarios.
- En cualquier transformador.
- En cada pararrayos.
- Dentro de la cabina de transformación, su base será una cuadrícula de 6 grillas para la malla de puesta a tierra.
- En todos los terminales y divisiones de las redes de bajo voltaje urbanas.
- En las estructuras terminales de las redes de bajo voltaje a una distancia de más de 200 metros del transformador.
- En todas las lámparas (la carcasa irá conectada al neutro del sistema, que a su vez estará multiterrado).
- En los tableros y en dispositivos de medición.

La puesta a tierra se realiza con cables de cobre desnudo o cable de cobre recubierto con cobre, de diámetro mínimo 4 AWG, se conecta mediante un conector perno hendido Cu-Al de 6-2/0 AWG o Cu-Cu al neutro de las redes de distribución además se instala una varilla de cooperweld de diámetro de 16 x 1,80 mm.

El cable de puesta a tierra en la parte inferior del poste debe pasar por un conducto metálico tipo EMT de 12,5 x 3000 mm de diámetro, el cual se sujeta al poste mediante una cinta metálica. No está permitido sujetar los hijos de alambre.

Alternativamente, se puede fundir el conductor de cobre de la puesta a tierra al poste o se puede pasar una tubería de PVC de 12,7 mm de diámetro a través del cable de tierra.

Si no se cumplen estos requisitos, EERS S.A no energizará el proyecto.

2.8.9 ALUMBRADO PÚBLICO.

Las luminarias instaladas en áreas de la EERS S.A deben tener un alto índice fotométrico, según lo determine el conjunto óptico conformado por lámpara-proyector-protector y deben presentar una mínima pérdida de energía de la luminaria.

Las tablas D16, D17, D18, D19, D20, D21, D22 corresponden al numeral 7.3 de la normativa EERS S.A.

2.8.9.1 Alumbrado en vías

El proyecto debe incluir la determinación del nivel de iluminación los cuales deben cumplir con los factores de uniformidad, fuentes de luz y la selección de luminarias a través del plan de control, así como la distribución y disposición de los elementos de montaje.

La EERS S.A establece 5 tipos de iluminación, cuya elección depende de la función de la vía, volumen de tráfico, complejidad, separación de carriles y medidas de control del tráfico (semáforos, señales). Como se establece en las tablas D16 del anexo D del presente trabajo de titulación.

Para determinar la clase de vía se la puede realizar mediante la tabla D17 del anexo D del presente trabajo.

Los requisitos de iluminación para el tráfico vial, basados en el deslumbramiento y en la superficie de la carretera se pueden encontrar en la tabla D18 del anexo D del presente trabajo.

2.8.9.2 Alumbrado en áreas conflictivas

Son las zonas donde la calzada tiene cambios como: reducción o ampliación de carriles, entrada o salida de un redondel, etc.; lugares donde hay presencia de mayor riesgo de accidentes.

En estos lugares no se aplica el concepto de luminancia, sino que se utilizan estándares de iluminación, utilizándose la tabla D19 del anexo D para diseñar estos tramos viales.

2.8.9.3 Alumbrado en vías peatonales

Las tareas y necesidades de visualización de los transeúntes difieren de las de los conductores en varios aspectos, como la velocidad de desplazamiento, los objetos cercanos a los transeúntes son más importantes que la visualización a distancia, la diferencia permite sacar conclusiones sobre la importancia de la percepción de la luz por parte del ojo humano.

En la tabla D21 del anexo D presenta la clase de alumbrado dependiendo de las características de la vía con la cual se debe establecer la iluminación de la carretera utilizándose la tabla D22 del anexo D del presente trabajo.

2.8.9.4 ESQUEMAS DE CONTROL

La EERS S.A admite el uso de lámparas con fotocélulas incorporadas.

Las lámparas con 150 W o más en un área de concesión por EERSSA deben tener el doble de potencia.

Se debe tener en cuenta las siguientes pautas para utilizar hilo piloto:

- De cada centro de transformación saldrá un conductor denominado hilo piloto adicional controlado por el “control de alumbrado público” conformado por una fotocélula y un contactor, los cuales deben contar con protección termomagnética y debe estar conectada a una de las fases existentes; Las lámparas se conectan en paralelo entre el conductor y una de las fases de la red secundaria correspondiente a una fase distinta de la controlada.
- Los circuitos de control no tendrán dependencia entre los centros de transformación además tendrán una salida máxima de 30 amperios.
- En el caso de encender una o dos luminarias en una zona rural, se hará con lámparas autocontroladas en otras palabras con fotocélula integrada.
- El cableado de control de iluminación debe estar hecho de conductores aislados de Cu, tipo TW # 10 AWG, y debe conectarse a la red con terminales de Cu/Al apropiados.

2.8.10 SECCIONAMIENTO Y PROTECCIONES

Para obtener un mayor índice de confiabilidad en las redes de distribución aéreas se define criterios y requisitos para su aplicación en los dispositivos de seccionamiento y protección que el diseñador debe considerar.

2.8.10.1 Dispositivos de seccionamiento y protección de sobre corriente.

Se debe instalar seccionadores fusibles en todos los ramales trifásicos y monofásicos que estén derivados de un alimentador primario trifásico.

2.8.10.2 Dispositivos de protección de sobrevoltaje.

Se debe colocar pararrayos en la red de distribución o en alimentadores primarios cada 3 km, el dimensionamiento lo establecerá el proyectista.

2.8.10.3 Criterios generales para aplicación de elementos de protección y seccionamiento.

El seccionador fusible se debe instalar en derivaciones monofásicas de un alimentador monofásico el que esté por encima de 300 metros.

- Cada 3 km se instala seccionadores fusibles y pararrayos de la red de distribución o alimentador primario.
- La capacidad del fusible abierto es de 100 A.

Cuando en el diseño este destinado a colocarse elementos como seccionador de barra o seccionador-fusible en el recorrido principal de los alimentadores, se debe analizar su capacidad con la EERS S.A.

2.8.11 LÍMITES DE ESFUERZOS MECÁNICOS:

2.8.11.1 Tensores

Los soportes angulares y terminales en los cuales los esfuerzos longitudinales o transversales generados sobre los postes excedan la carga útil especificada se fijarán al suelo por medio de tensores.

La instalación de tensores y tensores simples o dobles está determinada por el tipo de estructura, longitud y ángulo del vano.

Evitar en lo posible el uso de tensores tipo farol, si se utilizan, el poste debe ser de tipo pesado.

El proyectista debe colocar el punto de anclaje en el suelo de forma que no obstruya el tráfico rodado y los peatones.

Para instalar tensores se debe usar una varilla de anclaje galvanizada de 16mm (5/8") x 2.4 metros de diámetro en el caso de un alimentador primario trifásico y de diámetro 16 mm (5/8") x 2 metros para alimentadores primarios monofásicos o redes de distribución.

La conexión al poste se debe realizar mediante cable de acero galvanizado con alta resistencia de diámetro 9,5 mm (3/8") (7 hilos) y se asegura con varillas de retención preformadas, asegurados al poste con amarre de esquina y al anclaje de la varilla mediante el uso de guardacabo de 3/8 de pulgada.

2.8.11.2 Postes

Esfuerzo de rotura: es el esfuerzo de trabajo máximo admisible que puede soportar la columna al aplicar una carga horizontal en kg, aplicada a más de 20 cm de la punta.

Se usa postes circulares de hormigón armado o de plástico reforzado con fibra de vidrio.

Los postes cotaran con alturas normalizadas de 10, 12, 13, 14 y 15 m, con una carga de rotura de 400, 500 y 1200 Kg su uso se establece mediante cálculo del mecánico, esfuerzo útil del poste y recomendaciones establecidas por EERS S.A para cada proyecto.

La profundidad de enterramiento de los postes se la determinara por la ecuación 2.22.

$$\text{Altura de enterramiento} = \frac{\text{altura de poste}}{10} + 0.5 \text{ [m]} \quad (2.22)$$

2.8.11.3 Misceláneos

- En caminos derivados, intersecciones, puentes, etc. El cableado requiere la utilización de conectores, será del tipo cuña impulsados por un cartucho acelerador de gas, por lo que se utiliza la herramienta apropiada.

- La conexión de las abrazaderas de conductores vivos se realiza a través de un soporte, para evitar y prevenir el contacto directo eléctrico con el conductor principal.
- Los conductores eléctricos aéreos de medio voltaje deben estar aislados 1,5 metros a cada lado de la estructura de suspensión o de contención, así como las conexiones de los transformadores, seccionadores y pararrayos, cuando se justifique
- Los herrajes para galvanizar deben cumplir con las normas internacionales estándares de calidad ASTM A153.
- Los brazos de luminarias se sujetan a los postes mediante dos pernos máquina del tamaño adecuado.
- Las bajantes del transformador a la red de bajo voltaje se realizan mediante conductores tipo TTU.

2.8.12 AISLAMIENTO BÁSICO EN ALIMENTADORES

Transformadores, seccionadores, pararrayos, condensadores entre otros. Los equipos instalados en el sistema de distribución eléctrica en un área de EERS S.A deben cumplir con las siguientes clases de aislamiento que se presentan en la tabla D23 del Anexo D del presente trabajo de titulación, que corresponde a la sección 3.1 de la normativa EERSSA.

2.8.13 UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN

La Empresa Eléctrica Regional del Sur utilizará las estructuras homologadas a nivel nacional las cuales se presentan en la página www.unidadespropiedad.com y su codificación viene determinada por el ANEXO E del presente trabajo.

2.9 MERNNR

En los documentos de “homologación y Estandarización de las Unidades de Propiedad y Unidades Constructivas del Sistema de Distribución Eléctrica” no se encuentran especificado los siguientes puntos:

- Categorización del consumidor.
- Demanda máxima diversificada.
- Determinación de cargas especiales.

- Determinación de demanda de diseño.
- Caídas de voltaje.
- Aislamiento básico en alimentadores.

Pues este trabajo de homologación no constituye una gestión de diseño sino solamente una compilación de materiales usados en las redes de distribución con la indicación de su aplicación.

2.9.1 NIVELES DE VOLTAJES NOMINALES

Para las redes de distribución ecuatorianas, el MERRNR en su trabajo de homologación considera estructuras, conductores, transformadores, equipos de alumbrado público y protecciones para los siguientes voltajes nominales.

Medio Voltaje:

- 34.500 GRDY / 19.918 [V]
- 22.800 GRDY / 13.163 [V]
- 13.800 GRDY / 7.967 [V]
- 6.300 GRDY / 3.637 [V]

Bajo voltaje

- En redes monofásicas 120 / 240 [V]
- En redes trifásicas 127 / 220 [V]

2.9.2 Postes

Normalmente, se usará postes circulares de hormigón armado, plástico reforzado con fibra de vidrio, o a su vez otro material que cumpla con los requisitos y funciones necesarios para usar redes de distribución eléctrica.

El poste estándar es de 10m de 400 kg y 12 m de 500 kg, con condiciones de operación especiales, se utilizar usar postes de 14, 16 y 18 m.

“Los postes auto soportables (carga horizontal de rotura de 2000 kg) serán usados para evitar el uso de tensores en casos de extrema necesidad. Para remplazar los tensores tipo A por postes autosoportantes se dará a estudios de esfuerzos mecánicos [7].”

2.9.3 UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN

Se utilizará las estructuras homologadas a nivel nacional las cuales se presentan en la página www.unidadespropiedad.com y su codificación viene determinada por el ANEXO E del presente trabajo.

3. METODOLOGÍA

La metodología propuesta es aplicada al proyecto establecido en el Anexo H, una urbanización con 57 usuarios cuyo diseño se realiza empleando las normativas pertenecientes a la EEQ S.A, EEA S.A y EERS S.A.

Los planos del proyecto se realizaron en medio voltaje y bajo voltaje con su respectiva simbología al igual que con el diagrama eléctrico de acuerdo con lo establecido en las normas revisadas.

La aplicación de la normativa permite obtener porcentajes de caída de voltaje que deberán ser verificados mediante la aplicación de la red de estudio en el software Cymdist.

Los resultados obtenidos de la comparación de los errores en porcentajes de caída de voltaje permitirán determinar que normativa da mejores resultados y se aplicará al desarrollo de una herramienta computacional que facilite la obtención de las caídas de voltaje parciales y totales de cualquier proyecto.

3.1 EMPRESA ELÉCTRICA QUITO

3.1.1 CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR.

Se categoriza al consumidor de acuerdo con las características de consumo energético, área de terreno que ocupará y ubicación geográfica. Según la normativa de la EEQ S.A el usuario pertenecerá a la categoría de consumidor tipo C, para que concuerde con la categorización de la EEA S.A donde correspondería a un usuario tipo B y con un usuario tipo B según la norma de la EERS S.A. En la tabla 3.1 se especifica la categoría del consumidor.

Tabla 3.1. Categorización del consumidor.

Empresa Eléctrica Quito	
Categoría de Estrato de Consumo	Escalas (kWh/mes/cliente)
C	151-250

3.1.2 COMPUTO DE LA CAÍDA DE VOLTAJE

3.1.2.1 Caída de voltaje en circuitos secundarios

A continuación, y en el formato de la normativa se presenta el cálculo de la caída de voltaje. En la parte central del mismo se dibuja el esquema del circuito a calcular, se lo presenta en la figura 3.1.

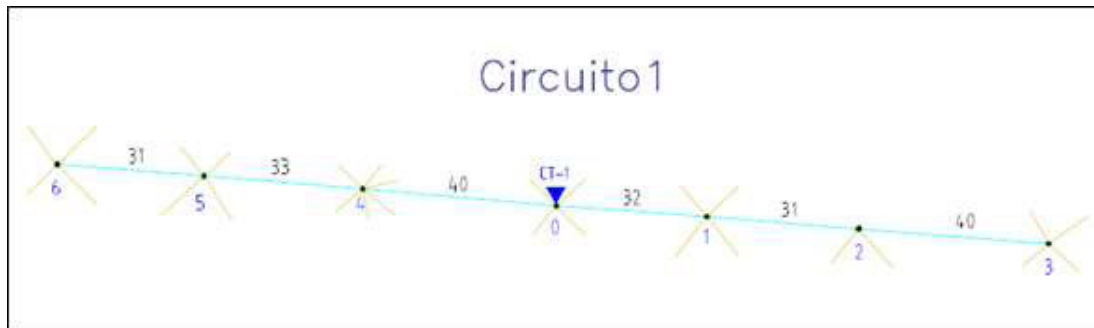


Figura 3.1. Esquema Circuito 1.

En la tabla 3.2 se presenta el formato de cálculo que se llena con las indicaciones dadas en el numeral 2.6.8.1 del capítulo anterior.

Tabla 3.2. Caída de voltaje en el circuito secundario C1.

Esquemas				Demanda	Conductor			Computo		
Tramo			N° de usuarios	kVA (d)	Calibre	kVA (LT)	KVA-m	KVA-m	ΔV%	
DESIGNACIÓN		LONG. (M)							Parcial	Total
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1	32	10	17,92	1/0	NA	664	573,31	0,86	0,86
1	2	31	6	12,02	1/0	NA	664	372,65	0,56	1,42
2	3	40	4	8,76	1/0	NA	664	350,32	0,53	1,95
0	4	40	14	23,82	1/0	NA	664	952,84	1,44	1,44
4	5	33	8	15,02	1/0	NA	664	495,69	0,75	2,18
5	6	31	4	8,76	1/0	NA	664	271,49	0,41	2,59

Estableciendo una caída de 2,59% en el tramo más largo.

De la misma manera se procede con el circuito 2 se presenta en la figura 3.2 y tabla 3.3, con una caída de 2,50 % en el tramo más largo.

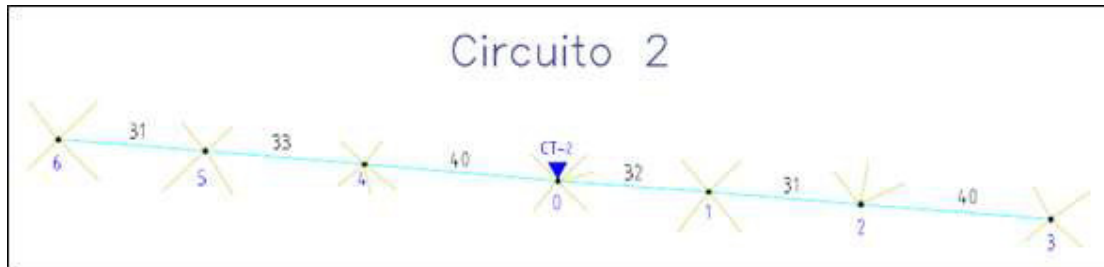


Figura 3.2. Esquema Circuito 2.

Tabla 3.3. Caída de voltaje en el circuito secundario C2.

Esquemas			Demanda	Conductor			Computo			
Tramo			Número de usuarios	kVA (d)	Calibre	kVA (lt)	kVA -m	Δv%		
Designación		Long. (m)						Parcial	Total	
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1	32	11	19,37	1/0	NA	664	619,79	0,93	0,93
1	2	31	7	13,46	1/0	NA	664	417,36	0,63	1,56
2	3	40	4	8,76	1/0	NA	664	350,32	0,53	2,09
0	4	40	13	22,37	1/0	NA	664	894,74	1,35	1,35
4	5	33	8	15,02	1/0	NA	664	495,69	0,75	2,09
5	6	31	4	8,76	1/0	NA	664	271,49	0,41	2,50

3.1.2.2 CAIDA DE VOLTAJE EN ALIMENTADORES PRIMARIOS

En la figura 3.3 se presenta el esquema del circuito primario que debe consignarse en el formato que en la guía se presenta en el Anexo B.

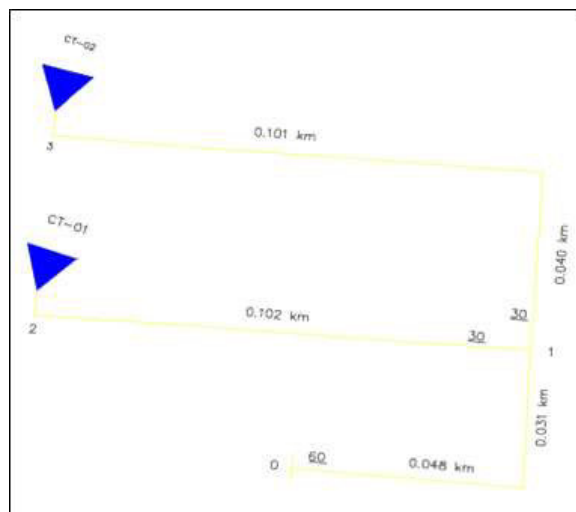


Figura 3.3. Esquema del Circuito de Medio Voltaje.

Se procede al cálculo, tal como se indica en numeral 2.6.8.2 del capítulo anterior. Los resultados se presentan en la tabla 3.4 donde se aprecia una caída de 0.00657 % en el tramo más largo.

Tabla 3.4. Caída de voltaje circuito primario.

Esquemas					Línea			Computo			
TRAMO		Centro de transformación		Carga	N° de Fases	Conductor		KVA-km	Δ v %		
Designación	Long. (km)	N° kVA	KVA	Total kVA		Calibre	KVA-km		Parcial	Total	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	1	0,079	NA	NA	100	3	1/0	2276	7,9	0,00347	0,00347
1	2	0,102	CT-1	50	50	3	1/0	2276	5,1	0,00224	0,00571
1	3	0,141	CT-2	50	50	3	1/0	2276	7,05	0,00310	0,00657

3.1.3 DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA DMD.

Aplicando el anexo B con la tabla B2 donde se encuentra los valores de DMD, dependiendo el tipo de consumidor y el número de usuarios se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 3.5. Demanda máxima diversificada.

Estrato C	
# Usuarios	DMD [kW]
28	41.13
29	41.76

3.1.4 DETERMINACIÓN DE CARGAS ESPECIALES.

Para el caso de estudio no se aplica debido a que se consideran únicamente usuarios residenciales.

3.1.5 DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO DD.

La demanda de diseño es calculada a partir de la ecuación (2.10). Los valores de DAP corresponden a 0,8 kW y los valores de DMD corresponden a 41,76 kW para 28 usuarios y 41,13 kW para 29 usuarios, los resultados se presentan en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Demanda de diseño

CT	# Usuarios	DMD [kW]	DAP [kW]	DPT [kW]	DD [kVA]
1	28	41,13	0,8	1,48	45,69
2	29	41,76	0,8	1,50	46,38

3.1.6 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR

De acuerdo con los estudios realizados en la red propuesta, aplicando la ecuación (2.13), se determinó el uso de dos transformadores trifásicos de 50 kVA, uno en cada circuito, capacidad normalizada por la EEQ S.A. En la tabla 3.7 se presenta con más detalle los resultados del cálculo de la capacidad del transformador tomando como factor de sobrecarga 0,8 establecido en la normativa.

Tabla 3.7. Determinación de la capacidad del transformador.

CT	# Usuarios	DMD [kW]	DAP [kW]	DPT [kW]	DD [kVA]	Factor de sobrecarga	kVA(t)	Capacidad del transformador en [kVA]
1	28	41,13	0,8	1,48	45,69	80%	36,55	50
2	29	41,76	0,8	1,50	46,38	80%	37,10	50

3.1.7 SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN

3.1.7.1 Sobrecorriente

Se instalará un seccionamiento trifásico con portafusibles unipolares: 3x15 kVA-100A con rompearcos y tirafusibles 3 x 8 tipo **k** en la entrada del circuito de medio voltaje como seccionador principal; esto se encuentra especificado en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Selección del fusible.

Capacidad kVA	Primario	
	In	Fusible
100	4.37	8k

3.1.7.2 Red primaria

Para protección de sobrevoltajes en equipos que se encuentren a la intemperie, la normativa recomienda el uso de pararrayos tipo polimérico de óxido de zinc. En el diseño propuesto se ubicaría 3 pararrayos de 10kV en el arranque del circuito primario y en el primario de cada uno de los transformadores.

En transformadores convencionales para protección de fallas de origen interno se dispondrá de seccionadores fusibles provistos de tirafusibles. De acuerdo con la normativa se establece las protecciones en medio voltaje correspondiente a la potencia nominal del transformador. Para ambos transformadores de 50 kVA, en la tabla 3.9 se establece el tipo de fusible a utilizar.

Tabla 3.9. Selección del fusible dual de acuerdo con el nivel de voltaje y potencia del transformador.

Capacidad kVA	Primario	
	In	Fusible dual
50	2,19	0,7

3.1.7.3 Circuito secundario

En los terminales del secundario del transformador convencional se preverá fusibles de tipo NH cuyas características se encuentran en la tabla B23 del anexo B del presente

documento. De acuerdo con la normativa se establece las protecciones en bajo voltaje correspondiente a la potencia nominal del transformador. Para ambos transformadores de 50 kVA se tiene el uso de fusibles del tipo NH montados sobre bases porta fusibles. A continuación, en la tabla 3.10 se especifica las características de los fusibles a utilizar.

Tabla 3.10. Selección del fusible NH de acuerdo con el nivel de voltaje y potencia del transformador.

Transformador kVA	Voltaje Secundario	
	13,8 kV	
	In	Fusible
50	131,22	80

3.2 EMPRESA ELÉCTRICA AMBATO

3.2.1 CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR.

Se categoriza al consumidor de acuerdo con las características de consumo energético, área de terreno que ocupará y ubicación geográfica. Según la normativa de la EEA S.A el usuario pertenecerá a la categoría de consumidor tipo B, para que concuerde con la categorización de la EEQ S.A donde correspondería a un usuario tipo C y con un usuario tipo B según la norma de la EERS S.A. En la tabla 3.11 se detalla la categoría del consumidor.

Tabla 3.11. Categorización del consumidor

Empresa Eléctrica Ambato		
Categoría	Valor mínimo de consumo del estrato (kWh)	Valor máximo de consumo del estrato (kWh)
B	>160	270

3.2.2 COMPUTO DE LA CAÍDA DE VOLTAJE

3.2.2.1 CAIDA EN CIRCUITOS SECUNDARIOS

A continuación, y en el formato de la normativa se presenta el cálculo de la caída de voltaje. En la parte central del mismo se dibuja el esquema del circuito a calcular, se lo presenta en la figura 3.4

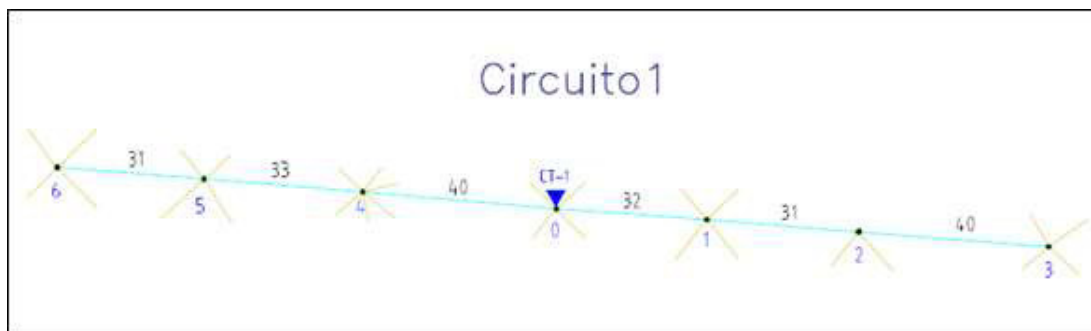


Figura 3.4. Esquema Circuito 1

En la tabla 3.12 se presenta el formato de cálculo que se llena con las indicaciones dadas en el numeral 2.7.9.1 del capítulo anterior.

Tabla 3.12. Caída de voltaje en el circuito secundario C1

Datos			Clientes	Dmup Kva	Circuito	Conductor		Kva-m	Computo	
Tramo		N° de conductores			Tamaño	FCV	%v			
REF.	Long. (m)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	1	32	10	15,83	3F4C	1/0	686	506,5	0,74	0,74
1	2	31	6	11,44	3F4C	1/0	686	354,58	0,52	1,26
2	3	40	4	8,33	3F4C	1/0	686	333,22	0,49	1,74
0	4	40	14	19,76	3F4C	1/0	686	790,22	1,15	1,15
4	5	33	8	13,73	3F4C	1/0	686	453,14	0,66	1,81
5	6	31	4	8,33	3F4C	1/0	686	258,24	0,38	2,19

Estableciendo una caída de 2.19% en el tramo más largo.

De la misma manera se procede con el circuito 2 se presenta en la figura 3.5 y tabla 3.13, con una caída de 2.13 % en el tramo más largo.

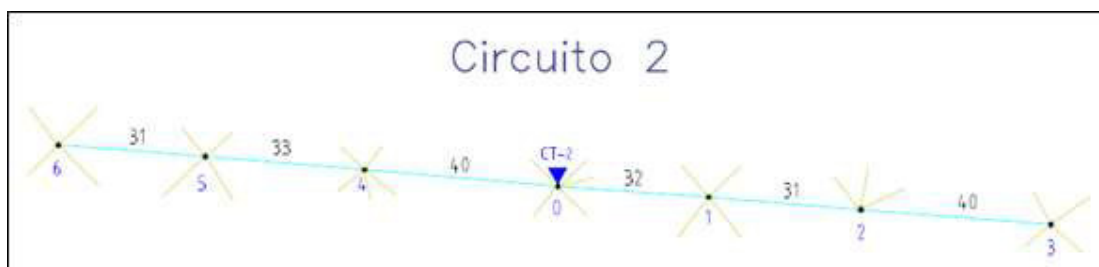


Figura 3.5. Esquema Circuito 2

Tabla 3.13 Caída de voltaje en el circuito secundario C2

DATOS	DMUp	CIRCUITO	CONDUCTOR	kVA-m	COMPUTO
-------	------	----------	-----------	-------	---------

TRAMO			Clientes	kVA	N° De CONDUCTORES	TAMAÑO	FCV	8	%V	
REF.	Long. [m]									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	1	32	11	16,83	3F4C	1/0	686	538,68	0,79	0,79
1	2	31	7	12,62	3F4C	1/0	686	391,17	0,57	1,36
2	3	40	4	8,33	3F4C	1/0	686	333,22	0,49	1,84
0	4	40	13	18,79	3F4C	1/0	686	751,74	1,10	1,10
4	5	33	8	13,73	3F4C	1/0	686	453,14	0,66	1,76
5	6	31	4	8,33	3F4C	1/0	686	258,24	0,38	2,13

3.2.2.2 Caída de voltaje en alimentadores primarios

En la figura 3.6 se presenta el esquema del circuito primario que debe consignarse en el formato que en la guía se presenta en el Anexo C.

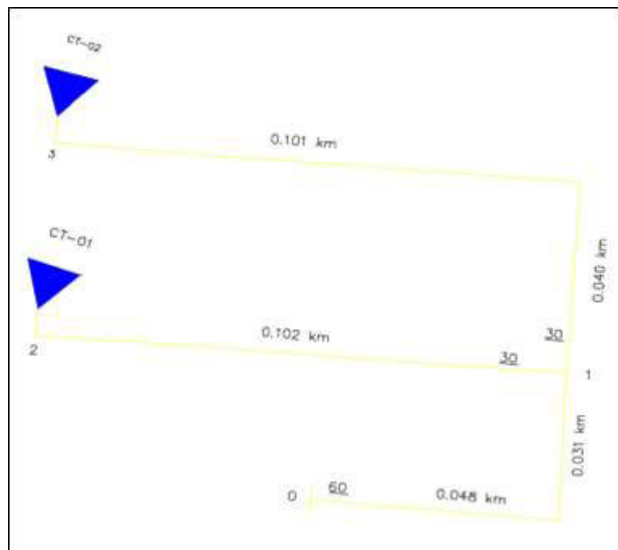


Figura 3.6. Esquema circuito Medio voltaje.

Se procede al cálculo, tal como se indica en numeral 2.7.9.2 del capítulo anterior. Los resultados se presentan en la tabla 3.14 donde se aprecia una caída de 0.00358 % para el tramo más largo.

Tabla 3.14. Caída de voltaje circuito primario.

DATOS				CARGA	LÍNEA	CONDUCTOR		COMPUTO			
TRAMO		Centros de transformación		DD	N°	CALIBRE	FCV	kVA-Km	ΔV%		
REF	LONG. [Km]	REF.	KVA						PARCIAL	TOTAL	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	1	0,079	NA	NA	60	3	1/0	2506	4,74	0,00189	0,00189
1	2	0,102	CT-1	30	30	3	1/0	2506	3,06	0,00122	0,00311
1	3	0,141	CT-2	30	30	3	1/0	2506	4,23	0,00169	0,00358

3.2.3 DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA DMD.

Aplicando el anexo C con la tabla C2 donde se encuentra los valores de DMD dependiendo el tipo de consumidor y el número de usuarios se obtiene lo siguiente:

Tabla 3.15. Demanda máxima diversificada.

# Usuarios	DMD [kW]
28	30,17
29	31,01

3.2.4 DETERMINACIÓN DE CARGAS ESPECIALES.

Para el caso de estudio no se aplica debido a que consideramos únicamente usuarios residenciales.

3.2.5 DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO DD.

La demanda de diseño es calculada a partir de la ecuación (2.15). Los valores de DAP corresponden a 0,8kW y los valores de DMD corresponden a 30,17 kW para 28 usuarios y 31,01 kW para 29 usuarios, los resultados se presentan en la tabla 3.16.

Tabla 3.16. Demanda de diseño.

CT	# Usuarios	DMD [kW]	DAP [kW]	DD [kVA]
1	28	30,17	0,8	25,89
2	29	31,01	0,8	26,60

3.2.6 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR

De acuerdo con los estudios realizados en la red propuesta, aplicando la ecuación (2.16), se determinó el uso de dos transformadores trifásicos de 30 kVA, uno en cada circuito, capacidad normalizada por la EEA S.A. En la tabla 3.17 se presenta con más detalle los resultados del cálculo de la capacidad del transformador tomando como factor de sobrecarga 1,3.

Tabla 3.17. Capacidad del transformador

CT	# Usuarios	DMD [kW]	DAP [kW]	DD [kVA]	Factor de sobrecarga	kVA(t)	Capacidad del transformador [kVA]
1	28	30,17	0,8	25,89	1,3	19,92	30
2	29	31,01	0,8	26,60	1,3	20,46	30

3.2.7 SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN

3.2.7.1 Sobrecorriente

Se instalará un seccionamiento trifásico con portafusibles unipolares: 3x15 kVA-100A con rompearcos y tirafusibles 3 x 8 tipo **k** en la entrada del circuito de medio voltaje como seccionador principal; esto se encuentra especificado en la tabla 3.18.

Tabla 3.18. selección del fusible para la conexión con la red existente.

Capacidad kVA	Primario	
	In	Fusible
60	2.51	8k

3.2.7.2 Red primaria

Para protección de sobrevoltajes en equipos que se encuentren a la intemperie la normativa recomienda el uso de pararrayos tipo polimérico de óxido de zinc. En el diseño propuesto se ubicaría 3 pararrayos de 10kV en el arranque del circuito secundario y en el primario de cada uno de los transformadores.

En transformadores convencionales para protección de fallas de origen interno se dispondrá de seccionadores fusibles provistos de tirafusibles. De acuerdo con la normativa se establece las protecciones en medio voltaje correspondiente a la potencia nominal del

transformador. Para ambos transformadores de 30 kVA, en la tabla 3.19 se establece el tipo de fusible a utilizar.

Se preverá fusibles cuyas características se muestran en la tabla C17 del anexo C del presente trabajo.

Tabla 3.19. Selección del fusible dual de acuerdo con el nivel de voltaje y potencia del transformador.

Capacidad kVA	Primario	
	In	Fusible
30	1,25	0,7

3.2.7.3 Circuito secundario

En los terminales del secundario del transformador convencional se preverá fusibles de tipo NH cuyas características se muestran en la tabla C17 del anexo C del presente trabajo. De acuerdo con la normativa se establece las protecciones en bajo voltaje correspondiente a la potencia nominal del transformador. Para ambos transformadores de 30 kVA se tiene el uso de fusibles del tipo NH montados sobre bases porta fusibles. A continuación, en la tabla 3.20 se especifica las características de los fusibles a utilizar.

Tabla 3.20. Selección del fusible NH de acuerdo con el nivel de voltaje y potencia del transformador.

Capacidad kVA	Secundario	
	In	Fusible
30	83,27	63

3.3 EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL DEL SUR SA

3.3.1 CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR.

Se categoriza al consumidor de acuerdo con las características de consumo energético, área de terreno que ocupará y ubicación geográfica. Según la normativa de la EERS S.A el usuario pertenecerá a la categoría de consumidor tipo B, para que concuerde con la categorización de la EEQ S.A donde correspondería a un usuario tipo C y con un usuario

tipo B según la norma de la EEA S.A. En la tabla 3.21 se especifica la categoría del consumidor.

Tabla 3.21. Categorización del consumidor

ÁREA PROMEDIO DE LOTES [m ²]	TIPO DE USUARIO	DMUp [kVA] [10 años]
300<A<400	B	2.35

3.3.2 COMPUTO DE LA CAÍDA DE VOLTAJE

3.3.2.1 Caída de voltaje en circuitos secundarios

A continuación, y en el formato de la normativa se presenta el cálculo de la caída de voltaje. En la parte central del mismo se dibuja el esquema del circuito a calcular, se lo presenta en la figura 3.7.

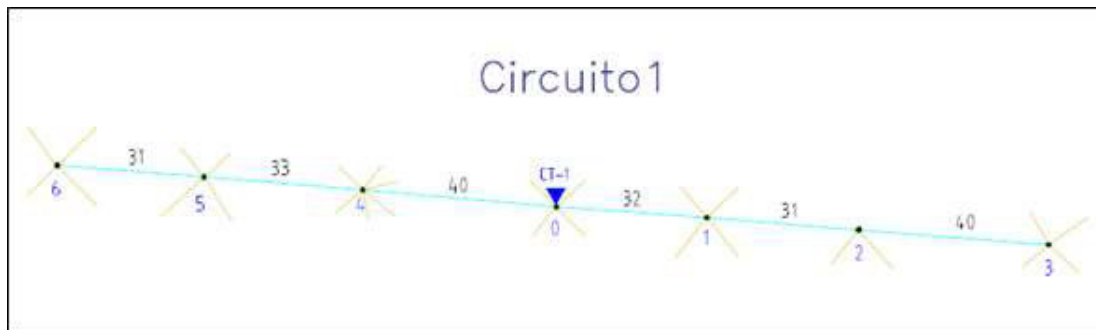


Figura 3.7. Esquema Circuito 1

En la tabla 3.22 se presenta el formato de cálculo que se llena con las indicaciones dadas en el numeral 2.8.7.4 del capítulo anterior.

Tabla 3.22. Resultados obtenidos para caída de voltaje en el circuito secundario C1.

TRAMOS		LONGITUD (KM)	CARGA KVA	Nº FASE/ Nº COND	CALIBRE AWG	FDV KVAxm	MP. KVAxm	DV% PARCIAL	DV % ACUMULADO
A		B	C	D	E	F	G=BxC	H=G/F	I
0	1	32	18,91	3F/4C	1/0	610	605,12	0,99	0,99
1	2	31	11,91	3F/4C	1/0	610	369,21	0,61	1,60
2	3	40	8,25	3F/4C	1/0	610	330	0,54	2,14
0	4	40	25,64	3F/4C	1/0	610	1025,6	1,68	1,68
4	5	33	15,45	3F/4C	1/0	610	509,85	0,84	2,52
5	6	31	8,25	3F/4C	1/0	610	255,75	0,42	2,94

Estableciéndose una caída de 2,94% en el tramo más largo.

De la misma manera se procede con el circuito 2 que se presenta en la figura 3.8 y tabla 3.23, con una caída de 2,83 % en el tramo más largo.

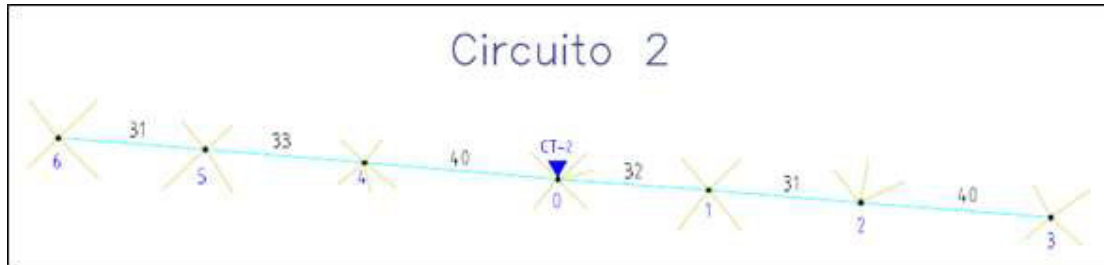


Figura 3.8. Esquema Circuito 2

Tabla 3.23. Caída de voltaje en el circuito secundario C2

TRAMOS		LONGITUD (KM)	CARGA KVA	Nº FASE/ Nº COND	CALIBRE AWG	FDV KVAxm	MP. KVAxm	DV% PARCIAL	DV % ACUMULADO
A		B	C	D	E	F	G=BxC	H=G/F	Í
0	1	32	20,61	3F/4C	1/0	610	659,52	1,08	1,08
1	2	31	13,69	3F/4C	1/0	610	424,39	0,70	1,78
2	3	40	8,25	3F/4C	1/0	610	330	0,54	2,32
0	4	40	23,98	3F/4C	1/0	610	959,2	1,57	1,57
4	5	33	15,45	3F/4C	1/0	610	509,85	0,84	2,41
5	6	31	8,25	3F/4C	1/0	610	255,75	0,42	2,83

3.3.2.2 Caída de voltaje en alimentadores primarios

En la figura 3.9 se muestra el esquema del circuito primario que debe consignarse en el formato que en la guía se presenta en Anexo D.

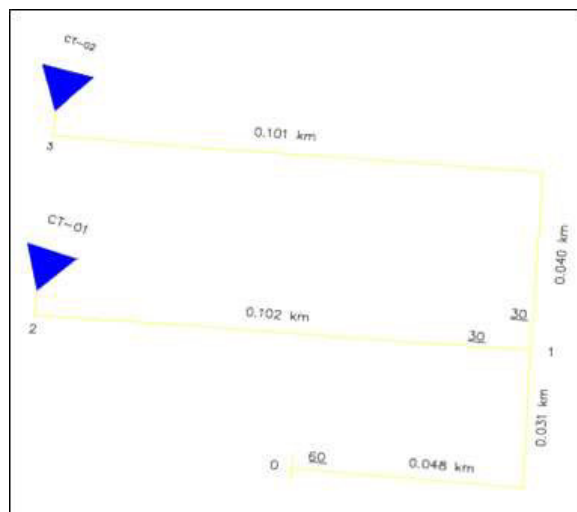


Figura 3.9. Esquema Circuito Medio Voltaje

Se procede al cálculo, tal como se indica en el numeral 2.8.7.4 del capítulo anterior. Los resultados se presentan en la tabla 3.24 donde se observa una caída de 0.00628 % en el tramo más largo.

Tabla 3.24. Caída de voltaje circuito primario.

Esquemas			Centros de transformación		Carga	Número de	Conductor		Computo		
Tramo			N	KVA	Total kva	# FASES	Calibre	KVA-Km	kVA-Km	ΔV%	
designación	Long. (km)	Parcial							Total		
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0	1	0,079			100	3	1/0	2379	7,9	0,00332072	0,00332072
1	2	0,102	CT-1	50	50	3	1/0	2379	5,1	0,00214376	0,00546448
1	3	0,141	CT-2	50	50	3	1/0	2379	7.05	0.00296343	0.00628415

3.3.3 DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA DMD.

Aplicando el anexo D con la tabla D2 donde se encuentra los valores de DMP dependiendo el tipo de consumidor y el número de usuarios se obtiene lo establecido en la tabla 3.25.

Tabla 3.25. Demanda máxima diversificada.

# Usuarios	DMP [kW]
28	48,04
29	49,59

3.3.4 DETERMINACIÓN DE CARGAS ESPECIALES.

Para el caso de estudio no se aplica debido a que se considera únicamente usuarios residenciales.

3.3.5 DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO DD.

La demanda de diseño es calculada a partir de la ecuación (2.20). Los valores de DAP corresponden a 0,8kW y los valores de DMD corresponden a 30,17 kW para 28 usuarios y 31,01 kW para 29 usuarios, los resultados se presentan en la tabla 3.26.

Tabla 3.26. Demanda de diseño

CT	# Usuarios	DMP [kW]	DAP [kW]	DD [kVA]
1	28	48,04	0,8	48,84
2	29	49,59	0,8	50,39

3.3.6 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR

De acuerdo con los estudios realizados en la red propuesta, aplicando la ecuación (2.21), se determinó el uso de dos transformadores trifásicos de 50 kVA, uno en cada circuito, capacidad normalizada por la EERSSA. En la tabla 3.27 se muestra con más detalle los resultados del cálculo de la capacidad del transformador tomando como factor de sobrecarga 0,8.

Tabla 3.27. Capacidad del transformador

CT	# Usuarios	DMD [kW]	DAP [kW]	DD [kVA]	Factor de sobrecarga	kVA(t)	Capacidad del transformador [kVA]
1	28	48,04	0,8	48,84	0,8	39,07	50
2	29	49,59	0,8	50,39	0,8	40,31	50

3.3.7 SECCIONAMIENTO Y PROTECCIÓN

3.3.7.1 Sobrecorriente

Se instalará un seccionamiento trifásico con portafusibles unipolares: 3x15 kVA-100A con rompearcos y tirafusibles 3 x 10 tipo **k** en la entrada del circuito de medio voltaje como seccionador principal; esto se encuentra especificado en la tabla 3.28.

Tabla 3.28. selección del fusible para la conexión con la red existente.

Capacidad kVA	Primario	
	In	Fusible
100	4,18	10k

3.3.7.2 Red Primaria

Para protección de sobrevoltajes en equipos que se encuentren a la intemperie la normativa recomienda el uso de pararrayos tipo polimérico de óxido de zinc. En el diseño propuesto se ubicaría 3 pararrayos de 10kV en el arranque del circuito secundario y en el primario de cada uno de los transformadores.

En transformadores convencionales para protección de fallas de origen interno se dispondrá de seccionadores fusibles provistos de tirafusibles. De acuerdo con la normativa se establece las protecciones en medio voltaje correspondiente a la potencia nominal del transformador. Para ambos transformadores de 50 kVA, en la tabla 3.29 se establece el tipo de fusible a utilizar.

Se colocará fusibles cuyas características se encuentran en la tabla B23 del anexo B del presente trabajo.

Tabla 3.29. Selección del fusible de acuerdo con el nivel de voltaje y potencia del transformador.

Transformador kVA	Voltaje Primario	
	13,8 kV	
	In	Fusible
50	2,19	5H

3.3.7.3 Circuito secundario

En los terminales del secundario del transformador convencional se preverá fusibles de tipo NH cuyas características se encuentran en la tabla B23 anexo B del presente trabajo. De acuerdo con la normativa se establece las protecciones en bajo voltaje correspondiente a la potencia nominal del transformador. Para ambos transformadores de 50 kVA se tiene el uso de fusibles del tipo NH montados sobre bases porta fusibles. A continuación, en la tabla 3.30 se especifica las características de los fusibles a utilizar.

Tabla 3.30. Selección del fusible NH de acuerdo con el nivel de voltaje y potencia del transformador.

Transformador kVA	Voltaje Secundario	
	13,8 kV	
	In	Fusible
50	131,22	125

3.4 SIMULACIÓN

Con la finalidad de validar los procesos ejecutados, se realizó la simulación de la red propuesta para el estudio utilizando las herramientas que contiene el software Cymdist, creándose la red de la figura 3.10.



Figura 3.10. Esquema de la red creada en Cymdist.

3.4.1 EEQ S.A

Para facilidad de la simulación y la obtención de las caídas de voltaje por tramo se establece en la red primaria y circuito secundario el uso de conductor desnudo ACSR y AAC respectivamente, ya que el software no permite la creación de cable preensamblado para circuito secundario.

Se colocaron las barras del sistema que corresponden a los postes del estudio propuesto que facilitan la obtención de los voltajes en cada punto del circuito, el software permite obtener el porcentaje de caída de voltaje directamente mostrándose por debajo de cada uno de los tramos del circuito secundario, tal como puede apreciarse en la figura 3.11 y cuyos resultados se muestran en las tablas 3.31 y 3.32.

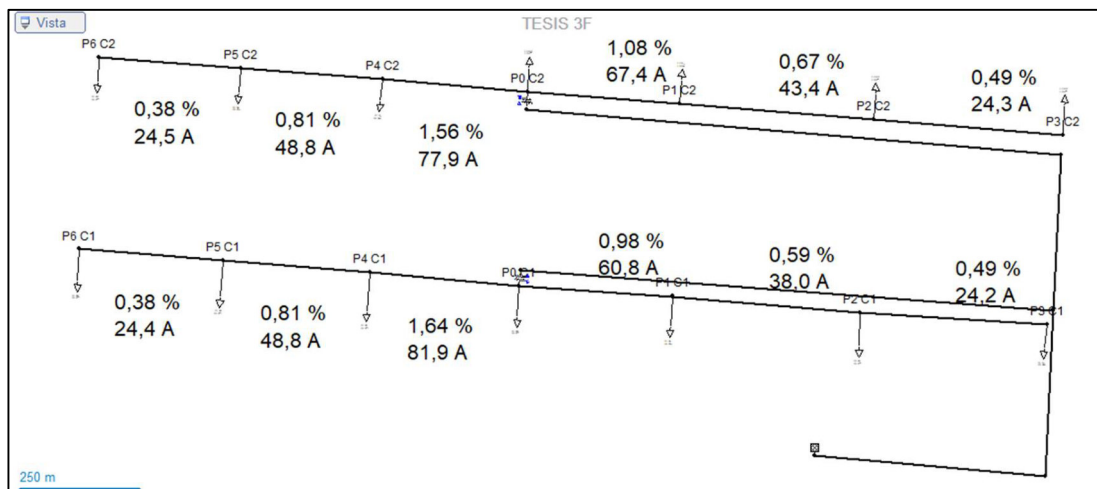


Figura 3.11. Diagrama de la red que muestra los errores por cada uno de los tramos del circuito secundario.

Se adjuntan los parámetros de los equipos utilizados para la simulación y resultados en el Anexo G del presente trabajo.

Tabla 3.31. Porcentaje de error de caída voltaje en el circuito secundario C1 EEQ.

CIRCUITO 1			SEGÚN CYME		NORMATIVA EEQ		ERROR %	
TRAMO			$\Delta V\%$		$\Delta V\%$		ΔV	
DESIGNACION		LONG. (M)						
INICIO	FIN		PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
0	1	32	0,98	0,98	0,86	0,86	11,90	11,90
1	2	31	0,59	1,57	0,56	1,42	4,88	9,26
2	3	40	0,49	2,06	0,53	1,95	7,67	5,23
0	4	40	1,64	1,64	1,44	1,44	12,50	12,50
4	5	33	0,81	2,45	0,75	2,18	7,84	10,96
5	6	31	0,38	2,83	0,41	2,59	7,60	8,47

Tabla 3.32. Porcentaje de error de caída voltaje en el circuito secundario C2 EEQ.

CIRCUITO 2			SEGÚN CYME		NORMATIVA EEQ		ERROR %	
TRAMO			$\Delta V\%$		$\Delta V\%$		ΔV	
DESIGNACION		LONG. (M)	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
INICIO	FIN							
0	1	32	1,08	1,08	0,93	0,93	13,57	13,57
1	2	31	0,67	1,75	0,63	1,56	6,19	10,74
2	3	40	0,49	2,24	0,53	2,09	7,67	6,72
0	4	40	1,56	1,56	1,35	1,35	13,62	13,62
4	5	33	0,81	2,37	0,75	2,09	7,84	11,64
5	6	31	0,38	2,75	0,41	2,50	7,60	8,99

Los resultados para la red primaria se presentan en la tabla 3.33.

Tabla 3.33. Porcentaje de error de caída voltaje en la Red Primaria EEQ.

EEQ			SEGÚN CYME		NORMATIVA EEQ		ERROR %	
TRAMO			$\Delta V\%$		$\Delta V\%$		ΔV	
DESIGNACION		LONG. (KM)	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
INICIO	FIN							
0	1	0,079	0,00436428	0,00436428	0,003471	0,003471002	20,47	20,47
1	2	0,102	0,00268216	0,00704644	0,00224077	0,005711775	16,46	18,94
1	3	0,141	0,00389623	0,00826051	0,00309754	0,006568541	20,50	20,48

3.4.2 EEA S.A

De igual manera que en la EEQ S.A para facilidad de la simulación y la obtención de las caídas de voltaje por tramo se establece en la red primaria y circuito secundario el uso de conductor desnudo ACSR y AAC respectivamente, ya que el software no permite la creación de cable preensamblado para circuito secundario.

Se colocaron las barras del sistema que corresponden a los postes del estudio propuesto que facilitan la obtención de los voltajes en cada punto del circuito, el software permite obtener el porcentaje de caída de voltaje directamente mostrándose por debajo de cada uno de los tramos del circuito secundario, tal como puede apreciarse en la figura 3.12 y cuyos resultados se presentan en las tablas 3.34 y 3.35.

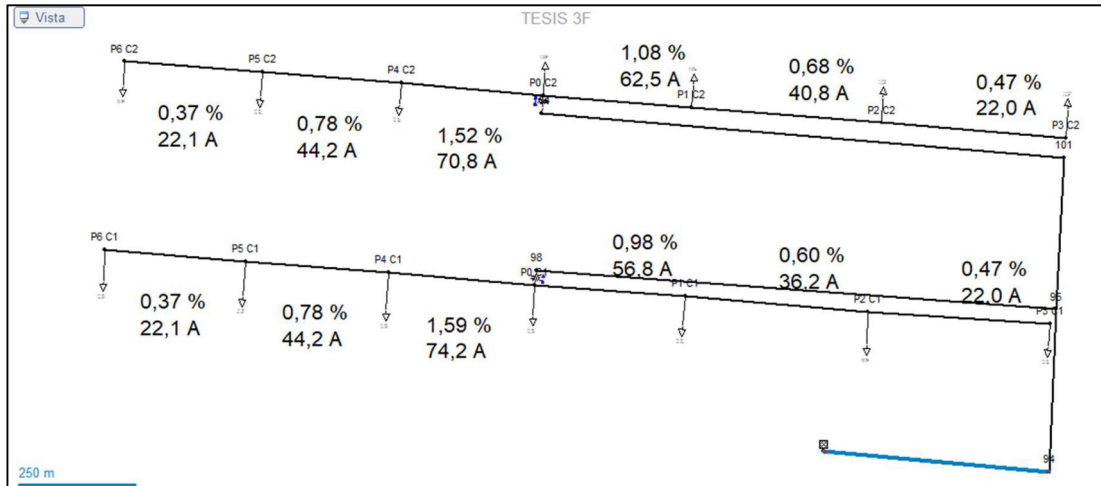


Figura 3.12. Diagrama de la red que muestra los errores por cada uno de los tramos del circuito secundario.

Dentro del software se crearon los equipos como transformadores, al igual que conductores y espaciadores de simple circuito en red primaria y circuito secundario, se adjuntan los parámetros de los equipos utilizados para la simulación y resultados en el Anexo G.

Tabla 3.34. Porcentaje de error de caída voltaje en el circuito secundario C1 EEASA.

CIRCUITO 1			SEGÚN CYME		NORMATIVA EEASA		ERROR %	
TRAMO			$\Delta V\%$		$\Delta V\%$		ΔV	
DESIGNACION		LONG. (M)	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
INICIO	FIN							
0	1	32	0,98	0,98	0,74	0,74	24,66	24,66
1	2	31	0,6	1,58	0,52	1,26	13,85	20,56
2	3	40	0,47	2,05	0,49	1,74	3,35	15,07
0	4	40	1,59	1,59	1,15	1,15	27,55	27,55
4	5	33	0,78	2,37	0,66	1,81	15,31	23,52
5	6	31	0,37	2,74	0,38	2,19	1,74	20,11

Tabla 3.35. Porcentaje de error de caída voltaje en el circuito secundario C2 EEASA.

CIRCUITO 2			SEGÚN CYME		NORMATIVA EEASA		ERROR %	
TRAMO			$\Delta V\%$		$\Delta V\%$		ΔV	
DESIGNACION		LONG. (M)	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
INICIO	FIN							
0	1	32	1,08	1,08	0,79	0,79	27,29	27,29
1	2	31	0,68	1,76	0,57	1,36	16,14	22,98
2	3	40	0,47	2,23	0,49	1,84	3,35	17,43
0	4	40	1,52	1,52	1,10	1,10	27,91	27,91

4	5	33	0,78	2,3	0,66	1,76	15,31	23,64
5	6	31	0,37	2,67	0,38	2,13	1,74	20,12

Los resultados para la red primaria se presentan en la tabla 3.36

Tabla 3.36. Porcentaje de error de caída voltaje en la Red Primaria EEASA

EEASA			SEGÚN CYME		NORMATIVA EEASA		ERROR %	
TRAMO			$\Delta V\%$		$\Delta V\%$		ΔV	
DESIGNACION		LONG. (km)	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
INICIO	FIN							
0	1	0,079	0,00353534	0,00353534	0,00189146	0,00189146	46,50	46,50
1	2	0,102	0,00223151	0,00576685	0,00122107	0,00311253	45,28	46,03
1	3	0,141	0,0032292	0,00676455	0,00168795	0,00357941	47,73	47,09

3.4.3 EERS S.A

De la misma manera se efectúa para EERS S.A, da facilidad a la simulación y la obtención de las caídas de voltaje por tramo establecer en la red primaria y circuito secundario el uso de conductor desnudo ACSR y AAC respectivamente, ya que el software no permite la creación de cable preensamblado para circuito secundario.

Cymdist permite obtener el porcentaje de caída de voltaje directamente mostrando por debajo de cada uno de los tramos del circuito secundario, tal como puede apreciarse en la figura 3.13 y cuyos resultados se presentan en las tablas 3.37 y 3.38.

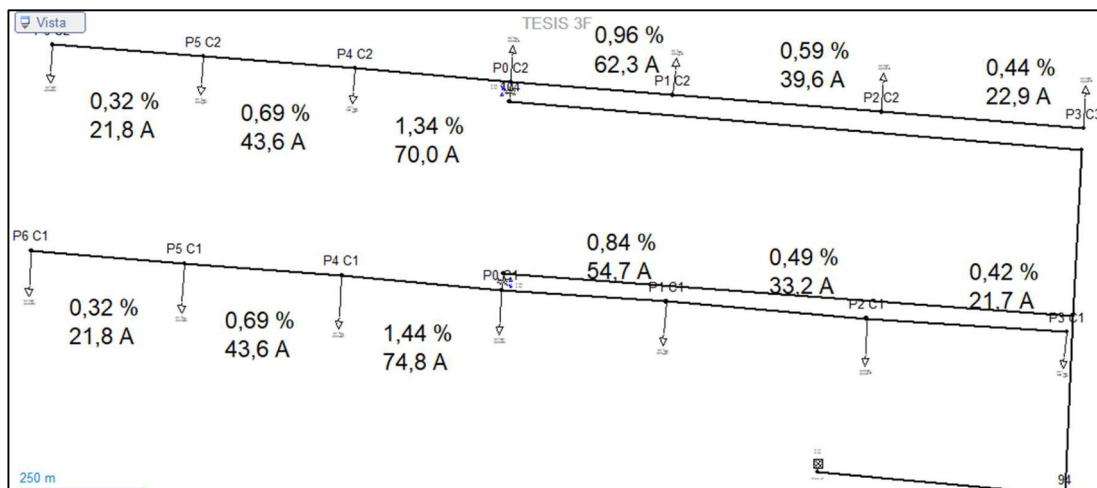


Figura 3.13. Diagrama de la red que muestra los errores por cada uno de los tramos del circuito secundario.

Se adjuntan los parámetros de los equipos utilizados para la simulación y resultados en el Anexo M.

Tabla 3.37. Porcentaje de error de caída voltaje en el circuito secundario C1 EERSSA

CIRCUITO 1			SEGÚN CYME		NORMATIVA EERSSA		ERROR %	
TRAMO			$\Delta V\%$		$\Delta V\%$		ΔV	
DESIGNACION		LONG. (M)	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
INICIO	FIN							
0	1	32	0,84	0,84	0,99	0,99	18,10	18,10
1	2	31	0,49	1,33	0,61	1,60	23,52	20,09
2	3	40	0,42	1,75	0,54	2,14	28,81	22,19
0	4	40	1,44	1,44	1,68	1,68	16,76	16,76
4	5	33	0,69	2,13	0,84	2,52	21,13	18,18
5	6	31	0,32	2,45	0,42	2,94	31,02	19,85

Tabla 3.38. Porcentaje de error de caída voltaje en el circuito secundario C2 EERSSA

CIRCUITO 2			SEGÚN CYME		NORMATIVA EERSSA		ERROR %	
TRAMO			$\Delta V\%$		$\Delta V\%$		ΔV	
DESIGNACION		LONG. (M)	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
INICIO	FIN							
0	1	32	0,96	0,96	1,08	1,08	12,62	12,62
1	2	31	0,59	1,55	0,70	1,78	17,92	14,64
2	3	40	0,44	1,99	0,54	2,32	22,95	16,48
0	4	40	1,34	1,34	1,57	1,57	17,35	17,35
4	5	33	0,69	2,03	0,84	2,41	21,13	18,63
5	6	31	0,32	2,35	0,42	2,83	31,02	20,32

Los resultados para la red primaria se presentan en la tabla 3.39

Tabla 3.39. Porcentaje de error de caída voltaje en la Red Primaria EERSSA

EERSSA			SEGÚN CYME		NORMATIVA EERSSA		ERROR %	
TRAMO			$\Delta V\%$		$\Delta V\%$		ΔV	
DESIGNACION		LONG. (KM)	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
INICIO	FIN							
0	1	0,079	0,00377348	0,00377348	0,00332072	0,00332072	12,00	12,00
1	2	0,102	0,00231775	0,00609123	0,00214376	0,00546448	7,51	10,29
1	3	0,141	0,00336865	0,00714212	0,00296343	0,00628415	12,03	12,01

3.4.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ENTRE SIMULACIÓN Y LO OBTENIDO SEGÚN CADA NORMATIVA.

La tabla 3.40 resume las caídas de voltaje y errores de la aplicación de cada una de las empresas que se presentaron en la metodología.

Tabla 3.40. Resumen de los errores obtenidos entre CYME y las normativas.

TRAMO			SEGÚN CYME		NORMATIVA		ERROR %	
			ΔV%		ΔV%		ΔV	
DESIGNACION		LONG. (M)	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
INICIO	FIN							
EEQ								
0	1	32	0,98	0,98	0,86	0,86	11,90	11,90
1	2	31	0,59	1,57	0,56	1,42	4,88	9,26
2	3	40	0,49	2,06	0,53	1,95	7,67	5,23
0	4	40	1,64	1,64	1,44	1,44	12,50	12,50
4	5	33	0,81	2,45	0,75	2,18	7,84	10,96
5	6	31	0,38	2,83	0,41	2,59	7,60	8,47
EEASA								
0	1	32	0,98	0,98	0,74	0,74	24,66	24,66
1	2	31	0,6	1,58	0,52	1,26	13,85	20,56
2	3	40	0,47	2,05	0,49	1,74	3,35	15,07
0	4	40	1,59	1,59	1,15	1,15	27,55	27,55
4	5	33	0,78	2,37	0,66	1,81	15,31	23,52
5	6	31	0,37	2,74	0,38	2,19	1,74	20,11
EERSSA								
0	1	32	0,84	0,84	0,99	0,99	18,10	18,10
1	2	31	0,49	1,33	0,61	1,60	23,52	20,09
2	3	40	0,42	1,75	0,54	2,14	28,81	22,19
0	4	40	1,44	1,44	1,68	1,68	16,76	16,76
4	5	33	0,69	2,13	0,84	2,52	21,13	18,18
5	6	31	0,32	2,45	0,42	2,94	31,02	19,85

De la tabla 3.40 se puede concluir que, si se considera al CYMDIST como un programa muy confiable, el proceso cuyos resultados son los más cercanos corresponden a aquellos obtenidos con la guía de EEQ S.A en bajo voltaje.

3.5 SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE CAÍDAS DE VOLTAJE EN CIRCUITOS SECUNDARIOS

La herramienta de software desarrollada utiliza App Designer de Matlab, que permite interactuar con una interfaz gráfica amigable con el usuario, se decide aplicar únicamente a circuitos secundarios debido a que representa una caída de voltaje representativa.

La aplicación se la realiza solo con el método de la EEQ que tiene la mayor cercanía en sus resultados de caída de voltaje a lo simulado mediante Cymdist.

Al realizar el cómputo de la caída de voltaje por tramos y aplicar el formato de la EEQ se encontró el problema de recurrir a la normativa en búsqueda de las tablas de DMD por número de usuarios y los factores de caída de voltaje. La herramienta computacional se desarrolla en base a solucionar este problema que ofrece al proyectista la garantía de realizar el procedimiento sin errores de datos.

En la figura 3.14 se puede visualizar la ventana principal de la interfaz diseñada, la misma que constituye las siguientes secciones principales:

- Ingreso de datos.
- Tabla de ingreso de datos según el formato de la EEQ S.A.
- Almacenamiento de resultaos.

HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA EL CÁLCULO DE CAÍDAS DE VOLTAJE EN CIRCUITOS SECUNDARIOS APLICANDO LA NORMATIVA DE LA EEQ

Usuario Tipo: Selecciona N° Fases: Selecciona Red Aerea: Selecciona

% de Caída de Voltaje: 0

Inicio	Fin	Longitud [m]	Número de Usuarios	kVA(d)	Calibre	kVA-m	kVA-m	ΔV% Parcial	ΔV% Total
1									

Añadir Fila Botón para ingresar filas a la tabla Agregar Tabla a Excel Botón para agregar tabla a Excel

Figura 3.14. Ventana principal de la herramienta computacional.

3.5.1 INGRESO DE DATOS

De analizar la normativa de la EEQ S.A se determina los datos necesarios para la obtención de las caídas de voltaje por tramos en circuitos secundarios.

3.5.1.1 USUARIO TIPO

La normativa de la EEQ clasifica al tipo de usuario en 6 estratos, en la interfaz de usuario se presenta las siguientes opciones desplegables, de acuerdo con lo establecido en la normativa, presentado en la figura 3.15.

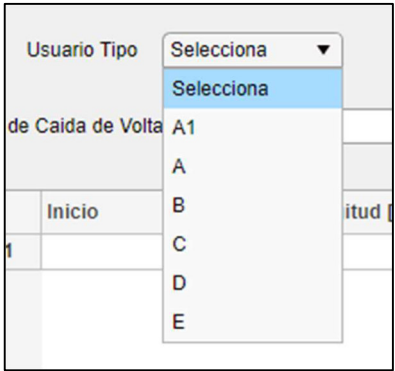


Figura 3.15. Opciones de tipo de usuario.

3.5.1.2 N° FASES

De acuerdo con lo establecido por la EEQ clasifica por número de fases a sus redes en trifásica y monofásica. Dentro de la aplicación realizada se establece opciones desplegables para la selección del número de fases presentado en la figura 3.16.



Figura 3.16. Opciones de N° de fases.

3.5.1.3 Red aérea

La normativa de la EEQ establece redes aéreas con conductor desnudo o cable preensamblado para circuitos secundarios, dentro de la interfaz de usuario se incluye esta opción con un menú desplegable presentado en la figura 3.17.

A screenshot of a software interface showing a dropdown menu for 'Red Aerea'. The menu is open, displaying three options: 'Selecciona' (highlighted in blue), 'Conductor desnudo', and 'Cable Preensamblado'. The dropdown is located on the left side of the interface.

3.5.1.4 Porcentaje de caída de voltaje

El ingreso del dato de porcentaje de caída de voltaje se opta porque el usuario ingrese el valor en el casillero indicado en la figura 3.18; pues, este parámetro depende dos factores como son: su ubicación en el sector rural o urbano y si es alimentado desde una subestación cuyo transformador tiene o no LTC.

% de Caída de Voltaje

Figura 3.18. Ingreso del dato de porcentaje de caída de voltaje.

3.5.2 FORMATO PARA EL CÁLCULO SEGÚN EEQ

La creación de la tabla de la figura 3.19, correspondiente al formato del apéndice A-12-B de las guías de diseño, los pasos a seguir son los mismos establecidos en la normativa de la EEQ S.A. La tabla se llena automáticamente en las columnas kVA(d), kVA-m, $\Delta V\%$ parcial y total. La opción de añadir filas permite agregar tramos al circuito secundario.

	Inicio	Fin	Longitud [m]	Número de Usuarios	kVA(d)	Calibre	kVA-m	kVA-m	$\Delta V\%$ Parcial	$\Delta V\%$ Total
1										

Añadir Fila

Agregar Tabla a Excel

Figura 3.19. Tabla para el ingreso de datos.

3.5.3 ALMACENAMIENTO DE RESULTADOS

Para facilitar el estudio de los datos obtenidos se añadió la opción de almacenar en un archivo de Excel dando al usuario la posibilidad de crear sobre este archivo el formato de cómputo establecido según la normativa perteneciente a la EEQ S.A.

3.5.4 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

Se tomó como ejemplo para verificar el funcionamiento de la interfaz desarrollada el cálculo de la caída de voltaje de la red propuesta en el presente trabajo. En la figura 3.20 se presentan los resultados obtenidos con los datos de la tabla 3.2 previamente realizada, coloreando en verde si el porcentaje no supera al límite establecido, en el caso de superar el límite, se alerta pintando de color rojo el valor.

	Inicio	Fin	Longitud [m]	Número de Usuarios	kVA(d)	Calibre	kVA-m	kVA-m	ΔV% Parcial	ΔV% Total
1	0	1	32	10	17.9158	1/0	664	573.3053	0.8634	0.8634
2	1	2	31	6	12.0211	1/0	664	372.6526	0.5612	1.4246
3	2	3	40	4	8.7579	1/0	664	350.3158	0.5276	1.9522
4	0	4	40	14	23.8211	1/0	664	952.8421	1.4350	1.4350
5	4	5	33	8	15.0211	1/0	664	495.6947	0.7465	2.1815
6	5	6	31	4	8.7579	1/0	664	271.4947	0.4089	2.5904

Figura 3.20. Ejemplo de demostración del funcionamiento de la interfaz de usuario.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el capítulo 3 correspondiente a metodología del presente trabajo se han comparado las normativas existentes de las empresas presentadas en el capítulo 2, mediante su

aplicación a un proyecto determinado, efectuando en el mismo el cálculo de la caída de voltaje en alimentador primario y circuito secundario, siendo comparados los valores obtenidos con una simulación desarrollada en el software Cymdist, con respecto a los cuales se validaron las diferencias obtenidas; y, en base a ellas se propone que en el proyecto de normativa para el diseño de redes aéreas de distribución se incluya las actividades que en los siguientes párrafos se describe.

Debe aclararse que esta propuesta está constituida por las partes más relevantes de las tres normas que se han podido conseguir; y que, a criterio de los autores podrían ser consideradas como base para la elaboración de una guía que oficialmente pueda ponerse en práctica a nivel nacional, como ocurrió con el trabajo de homologación de materiales y estructuras.

4.1 PROPUESTA DE NORMATIVA

Para el diseño de un sistema de distribución en las ED deberá considerarse las actividades que a continuación se detallan.

4.1.1 CATEGORIZACIÓN DEL CONSUMIDOR.

Los clientes se encontrarán clasificados en 6 categorías de consumo con el propósito de determinar la demanda máxima diversificada, para determinar la categoría de un proyecto se debe definir si está ubicado en el área urbana o rural y estar georreferenciado.

El diseñador del proyecto debe definir el estrato o categoría de consumidor al que pertenece el futuro usuario de la energía, presentando como justificativo el respectivo estudio de carga en base de cualquiera de los siguientes criterios:

- a) Si el futuro usuario se encuentra en el área de concesión de la EEQ S.A. o de la EEA S.A. o de la EERS S.A., deberá registrarse al estudio de zonificación energética con que cuenta la institución.
- b) En caso de que el futuro usuario pertenezca a otro lugar no contemplado en los anteriores, podrá acogerse a la metodología de la EEQ S.A. estableciendo el tipo de usuario en función de los valores proporcionados en la tabla 4.1, para lo cual el proyectista deberá efectuar un ligero estudio socioeconómico del futuro usuario.

Tabla 4.1. Categorización del consumidor

Categoría de Estrato de Consumo	Escalas (kWh/mes/cliente)
E	0 a100
D	101 a150
C	151 a 250
B	251 a 350
A	351 a 500
A1	501 a 900

4.1.2 DEMANDA MÁXIMA DIVERSIFICADA.

Para el procedimiento que se detalla en numeral correspondiente al cálculo de la caída de voltaje en redes secundarias, una vez asignado el estrato se debe considerar el número de clientes por tramo y así determinar la demanda máxima diversificada de la matriz indicada en la tabla B2 de DMD que se encuentra en el Anexo B del presente trabajo y que en caso de aceptarse esta propuesta, deberá solicitarse a la EEQ S.A su autorización para aplicación oficial a nivel nacional de esta tabla y las restantes que se mencionarán más adelante.

4.1.3 DETERMINACIÓN DE CARGAS ESPECIALES.

Se considera cargas especiales a locales usados para comercio como panaderías, frigoríficos, etc.; y a locales usados para la pequeña industria como soldadoras, mecánicas, etc. Se debe realizar la sumatoria de las potencias reales nominales de cada uno de los equipos a usar, la cual está determinado por la ecuación 4.1

$$D_{ES} = \sum P. \text{esp} [W] \quad (4.1)$$

Donde:

D_{ES} : Demanda de cargas especiales [W].

P. esp (w): potencia especificada de los equipos [W].

4.1.4 ALUMBRADO PÚBLICO.

Para la determinación de la demanda de alumbrado público se debe sumar cada una de las luminarias usadas en el proyecto y contemplarlas, al igual que el número de clientes, la

cantidad de ellas por tramo. El cálculo de la demanda del alumbrado público viene dado por la ecuación 4.2.

$$D_{AP} = \sum P. lum. nom [W] \quad (4.2)$$

Donde:

D_{AP} : Demanda de alumbrado público [W].

$P. lum. nom$: Potencia nominal de la luminaria [W].

Los valores utilizados en el dimensionamiento del alumbrado y los espacios públicos dependen de los flujos de tráfico y peatones, y por lo tanto están relacionados con el tamaño y las características de las vías y aceras.

Se tomará como referencia esta clasificación vial como se establece en la tabla B18 y B19 del Anexo B del presente trabajo.

Para seleccionar la potencia de la lámpara de vapor de sodio en función del tipo de vía se tomará como referencia las tablas B20 a B21 del Anexo B del presente trabajo.

En el caso de lámparas, el control individual se realiza mediante el uso de un contactor accionado por una fotocélula, que es parte integral de la luminaria eliminando la utilización de un hilo piloto.

Los factores de uniformidad y niveles de iluminación del alumbrado deben tenerse en cuenta al diseñar el alumbrado de calles y espacios públicos, que es esencialmente una función del tránsito de peatones y caminos y la velocidad del movimiento de vehículos, por lo tanto, en relación con la importancia del camino. Para las zonas urbanas, la clasificación vial y el nivel de iluminación, así como el factor de uniformidad constante, se utilizan en las normas vigentes emitidas por la autoridad competente.

4.1.5 DETERMINACIÓN DE DEMANDA DE DISEÑO

En el presente trabajo se desarrolla la metodología para el diseño de redes sólo para uso residencial, razón por la cual se utilizará la ecuación 4.3 para la determinación de la demanda DD , dejando el diseño de redes para suministro a cargas comerciales e industriales para un trabajo complementario al presente.

$$DD = \frac{DMD + D_{AP} + D_{PT}}{FP} [kVA] \quad (4.3)$$

Donde:

DD : Demanda de diseño [kVA].

DMD : Demanda máxima diversificada considerando cocción y calentamiento de agua [kW]
(Tabla B2 ANEXO B del presente trabajo)

D_{AP} : Demanda de alumbrado público [kW].

D_{PT} : Demanda de pérdidas técnicas resistivas [kW].

FP : Factor de potencia (0.95)

Para calcular las perdidas técnicas resistivas se debe multiplicar la demanda máxima diversificada por 0.036

4.1.6 CAÍDAS DE VOLTAJE.

Los valores de caída de voltaje admisibles no deberán superar los siguientes valores:

4.1.6.1 Para la EEQ S. A.

En las tablas 4.2 y 4.3 se presentan los limites admisibles establecidos por la EEQ SA.

Tabla 4.2. Caída máxima de voltaje en la Red Secundaria

S/E sin cambiador de Taps bajo carga		
Componentes del Sistema de Distribución	Alimentador	
	Urbano	Rural
	Caída de voltaje	Caída de voltaje
Secundario	2,5%	3,0%
S/E con cambiador de Taps bajo carga		
Componentes del Sistema de Distribución	Alimentador	
	Urbano	Rural
	Caída de voltaje	Caída de voltaje
Secundario	3,0%	3,5%

Tabla 4.3. Caída máxima de voltaje en la Red Primaria

S/E Sin cambiador de Taps bajo carga		
Componentes del Sistema de Distribución	Alimentador	
	Urbano	Rural
	Caída de voltaje	Caída de voltaje
Primario	3,0%	3,5%
S/E Con cambiador de Taps bajo carga		
Componentes del Sistema de Distribución	Alimentador	
	Urbano	Rural
	Caída de voltaje	Caída de voltaje
Primario	3,5%	4%

4.1.6.2 Para las otras EDs

Debería considerarse lo que indica la Regulación 53/8 ARCONEL: “CALIDAD DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA” en su numeral 8.2 del capítulo II Calidad del Producto, donde se indican los límites de la caída de voltaje tal como se puede apreciar en la tabla 4.4

Tabla 4.4. Límites para el índice de nivel de voltaje

Nivel de Voltaje	Rango admisible
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	$\pm 5,0 \%$
Medio Voltaje	$\pm 6,0 \%$
Bajo Voltaje	$\pm 8,0 \%$

Por tanto, se pudiera establecer los siguientes límites para caída de voltaje:

- Alimentadores primarios: 1 % desde el punto de acometida en MV.
- Circuitos secundarios: 2 % desde la salida del transformador de distribución.

4.1.7 TIPO DE INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DE LOS CIRCUITOS.

En redes secundarias aéreas serán en su totalidad radiales simples, los circuitos a un centro de transformación serán eléctricamente independientes de los adyacentes.

Tabla 4.4. Tipo de Instalación.

Tipo	Características
Aérea	Conductores desnudos, cubiertos o aislados centros de transformación sobre estructuras de soporte.

Tabla 4.5. Configuración de Circuitos

Usuario Tipo	Configuración de Circuitos	
	Medio Voltaje	Bajo Voltaje
A1	Trifásicos	Trifásicos
A	Trifásicos	Trifásicos
B	Trifásicos	Trifásicos
C Y D	Trifásicos o Monofásico	Trifásicos o Monofásico
E	Monofásico	Monofásico

4.1.8 TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN.

En función del trazado de la red el ingeniero diseñador debe establecer la ubicación de los centros de transformación y la disposición de los circuitos secundarios asociados, de manera que cada transformador quede ubicado en el centro de carga.

Para determinar la capacidad del transformador de distribución de cada centro de transformación se debe determinar la demanda de diseño (DD) y con ella, la capacidad del transformador vendrá dada por la ecuación 4.4.

$$kVA(t)=DD + DMD_{CE}[kVA] \quad (4.4)$$

Donde:

DD : Demanda de diseño [kVA]

DMD_{CE} : La demanda máxima diversificada correspondiente a cargas especiales [KVA].

Los valores de potencia de los transformadores deberán corresponder a los estandarizados en las tablas 4.6, 4.7 y 4.8:

Tabla 4.6 Potencia nominal de los transformadores tipo convencional y frente muerto

Transformadores Monofásicos			
Voltaje nominal		N de fases	Potencia Nominal (kVA)
MV (kV)	BV (V)		
6,3	240/120	2	10; 15; 25; 37,5; 50; 75
13,2(13,8) GrdY/7,62(7,9)	240/120	1	10; 15; 25; 37,5; 50; 75
22,86 GrdY/ 13,2	240/120	1	10; 15; 25; 37,5; 50; 75
Transformadores Trifásicos			
6,3	220/127	3	30; 50; 75; 100; 112,5; 125; 150; 200; 250; 300
13,2(13,8)	220/127	3	30; 50; 75; 100; 112,5; 125; 150; 200; 250; 300
22,8	220/127	3	30; 50; 75; 100; 112,5; 125; 150; 200; 250; 300

Tabla 4.7 Potencia nominal de los transformadores tipo pedestal

Transformadores Monofásicos			
Voltaje nominal		N de fases	Potencia Nominal (kVA)
MV (kV)	BV (V)		
6,3	240/120	2	10; 15; 25; 37,5; 50; 75
13,2(13,8)		1	
22,86		1	
Transformadores Trifásicos			
6,3	220/127	3	30; 50; 75; 100; 112,5; 125; 150; 200; 250; 300
13,2(13,8)			
22,86			

Tabla 4.8 Potencia nominal de los Transformadores Monofásicos.

Transformadores Monofásicos			
Voltaje nominal		N de fases	Potencia Nominal (kVA)
MV (kV)	BV (V)		
13,2(13,8) GrdY/7,62(7,9) y 22,86 GrdY/13,2	240/120	1	10; 15; 25; 37,5; 50; 75
Transformadores Trifásicos			
6,3 / 22,8	220 / 127	3	150; 200; 250; 300
13,2(13,8) / 22,86	220 / 127	3	30; 50; 75; 100; 125; 150

4.1.9 CONDUCTORES Y CALIBRES A UTILIZARSE

Al comparar las normativas ecuatorianas coinciden en el uso de conductores desnudos AAC, ASCR en redes primarias y cable preensamblado o conductor desnudo de aluminio AAC en circuitos secundarios para redes aéreas. El calibre del conductor a utilizar se

establecerá a partir del cómputo de la caída de voltaje con el cual se obtenga este índice dentro del límite previamente establecido.

A continuación, se detalla los calibres permitidos para redes de distribución de acuerdo con las normativas estudiadas.

Red primaria

Para red primaria se recomienda el uso de conductores de aluminio reforzados con acero ACSR o aleación de aluminio.

En redes aéreas se puede utilizar los siguientes calibres de conductores: 1/0 (1/0), 2/0 (2/0), 3/0 (3/0), 4/0 (4/0) AWG, el neutro está especificado en paréntesis, el conductor debe ser únicamente de los calibres especificados ni mayor ni menor.

Circuito Secundario

Para circuito secundario se recomienda el uso de cable preensamblado que mejora la apariencia estética de las redes y da seguridad, también conductor de aluminio desnudo AAC que ofrece economía.

En circuitos secundarios se debe utilizar los calibres: 1/0 (1/0), 2/0 (2/0), 3/0 (3/0), 4/0 (4/0) AWG, el neutro está especificado en paréntesis, el calibre del cable debe estar entre los valores especificados. Se recomienda el uso del mismo calibre para fase y neutro debido a la existencia de corriente en el neutro causado por el desequilibrio en las fases de la red secundaria.

4.1.10 COMPUTO DE LA CAÍDA DE VOLTAJE

Esta sección de la normativa se propone en base a la comparación de los errores obtenidos entre los cálculos de las caídas de voltaje en red primaria y circuito secundario con la simulación realizada en Cymdist. De los resultados se establece que la EEQ ofrece los menores errores; de acuerdo con este criterio y una vez definidos los parámetros necesarios para efectuar este cálculo, se establece lo siguiente:

4.1.10.1 Redes secundarias.

Se deberá llenar el ANEXO F con el formato para cálculo de caídas de voltaje en circuitos de bajo voltaje. Rellenar los datos del proyecto con su respectiva identificación de los clientes, red y número del centro de transformación.

Adjuntar un gráfico representando esquemáticamente el circuito a analizar, especificando la numeración, localización y separación de los postes(nodos); además deberá indicarse:

- El número total de clientes segmentados desde el punto final de la red hasta el transformador. Estará encerrado en un círculo.
- Número de clientes alimentados desde cada poste o punto de salida.

La hoja de datos se llenará de la siguiente forma:

- I. Columna 1: Escribir el nombre del circuito que conecta los 2 nodos, numerados por sus extremos, deberá empezarse por el transformador que llevará el número cero (nodo 0).
- II. Columna 2: Escribir la distancia indicada en metros
- III. Columna 3: Colocar el número de clientes por tramo
- IV. Columna 4: Colocar el valor obtenido de la aplicación de la ecuación 4.3 considerando los valores de DMD de la tabla B2 del Anexo B y las indicaciones proporcionadas en el numeral 4.5. Este procedimiento se efectuará para todos los tramos del circuito analizado.
- V. Columna 5: Colocar la disposición de la red especificando en primer lugar el número de fases seguidos por el número de conductores por ejemplo 3F4C, 1F3C, 1F2C.
- VI. Columna 6: Anotar el calibre del conductor.
- VII. Columna 7: Anotar el valor del momento eléctrico en kVA-m para 1% de caída de voltaje de acuerdo con el conductor cuyos valores se pueden encontrar en las tablas B14 y B15 del Anexo B del presente trabajo.
- VIII. Columna 8: Calcular el momento eléctrico que se determina del producto entre los valores de las columnas 2 y 4.
- IX. Columna 9: Calcular la caída de voltaje del tramo, que se la obtiene realizando la división entre los valores de las columnas 8 y 7.
- X. Columna 10: Determinar la caída de voltaje total o acumulada que se la obtiene sumando las caídas de voltaje parciales tomando en cuenta el tramo desde el transformador hasta el final de circuito

4.1.10.2 Redes primarias

En el formato indicado para cálculo de caída de voltaje en red primaria en el ANEXO F consignar los datos del proyecto con su respectiva identificación de los clientes, red y el transformador.

Adjuntar un gráfico representando esquemáticamente de los transformadores, tomando en cuenta:

- Representar esquemáticamente la red desde el punto de acometida del futuro suministro, la ubicación de los transformadores y la distancia de separación entre ellos en kilómetros, los transformadores estarán determinados por el número correspondiente y la potencia nominal (kVA)
- Especificar cada punto de conexión de línea, punto de salida del transformador y ramal de la red, enumerados progresivamente desde el punto de alimentación a la red aguas abajo

La hoja de datos se llenará de la siguiente forma:

- I. Columna 1: colocar el nombre de la porción de red entre los transformadores de acuerdo con el número correspondiente a su punto final y comenzando desde el punto de entrada a la red.
- II. Columna 2: Escribir la distancia expresada en km.
- III. Columna 3: Colocar la referencia del transformador correspondiente al final de cada tramo.
- IV. Columna 4: Colocar la capacidad nominal del transformador en kVA.
- V. Columna 5: colocar la demanda acumulada tomando en cuenta el extremo de la red a la fuente.
- VI. Columna 6: colocar el número de fases.
- VII. Columna 7: colocar el calibre del conductor.
- VIII. Columna 8: Anotar el valor del momento eléctrico en kVA-m para 1% de caída de voltaje de acuerdo con el conductor escogido y su disposición cuyos valores se pueden encontrar en las tablas B16 y B17 del Anexo B.
- IX. Columna 9: Calcular el momento eléctrico que nos da del producto entre las columnas 2 y 5.
- X. Columna 10: Determinar la caída de voltaje del tramo que se la obtiene realizando la división entre las columnas 9 y 8
- XI. Columna 11: calcular la caída de voltaje total que se la obtiene sumando las caídas de voltaje parciales tomando en cuenta el tramo desde el transformador hasta el final de circuito.

4.1.11 CONEXIONES A TIERRA.

De analizar las normativas propuestas y aplicarlas al proyecto de estudio se determina las siguientes consideraciones para la colocación de sistemas de puesta a tierra en los siguientes puntos de la red:

- Centros de transformación.
- En los terminales del circuito secundario del transformador.
- En puntos finales y en tramos cada 500 m de red primaria.
- En el extremo final de circuitos secundarios prolongados.
- En sistemas de distribución de 22.8kV y en sistemas primarios con neutro continuo se deberá colocar cada 300m en toda su longitud, así como en puntos terminales.

Se debe seleccionar una disposición para la conexión a tierra en función de la resistencia del suelo como se indican en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Configuración de acuerdo con la resistencia del suelo

Nivel de voltaje	Potencia del trafo kVA	Resistencia Máxima a tierra (Ohmios)
Secundario	Hasta 50	25
	De 51 a 500	15
	> de 500	10
Primario	25

- Para colocar las varillas de puesta a tierra es necesario realizar excavaciones en suelos duros y semiduros, no introducir mediante golpes las varillas.
- No considerar como puesta a tierra tensores ubicados en la red ni conectar con el neutro.

Si el suelo no llega con la resistencia de puesta a tierra requerida se realizará procedimientos para mejorar el suelo.

4.1.12 SECCIONAMIENTO Y PROTECCIONES

La metodología propuesta por las empresas eléctricas ecuatorianas en sus normativas para el dimensionamiento de equipos de protección y seccionamiento son similares por ello optamos por establecer al método de la EEQ como el apropiado.

4.1.12.1 Dispositivos de seccionamiento y protección de sobre corriente.

4.1.12.1.1 Redes Primarias

Principales dispositivos de seccionamiento y protección de redes eléctricas aéreas:

- Reconectador Automático
- Seccionalizador
- Seccionador tripolar Operado en grupo
- Seccionador – Fusible Unipolar
- Seccionador – Fusible Unipolar para Operación con Carga
- Seccionador o Desconectador Unipolar

4.1.12.1.2 *Redes Secundarias*

“Se utilizará fusibles unipolares acoplados sobre bases aisladoras de soporte o interruptores termomagnético tipo caja moldeada. El fusible asociado a un cuerpo de cerámica y a una cuchilla puede ser separado de su base, permitiendo el seccionamiento de la línea [1].”

4.1.12.2 Dispositivos de protección de sobrevoltaje.

Se sugiere colocar pararrayos en la red de distribución o en alimentadores primarios cada 3 km, el dimensionamiento lo establecerá el proyectista.

En zonas donde existe altos niveles de tormentas eléctricas con presencia de truenos (niveles isoceráunicos altos) especialmente en la zona oriental se sugiere instalar descargadores cada 400m de distancia como máximo.

4.1.12.3 Criterios Generales para aplicación de elementos de protección y seccionamiento.

a) Punto de alimentación de la red primaria

Es el punto de conexión del sistema existente a la red proyectada establecida por la empresa en base al diseño realizado por el ingeniero al emitir la factibilidad de servicio.

En el caso de la red principal, los elementos de protección y seccionamiento instalados dependerán de la carga de instalación diseñada por el proyectista y seguirán las instrucciones que se indican en la tabla 4.10:

Tabla 4.10. Seccionamiento y protección

Tipo de instalación	Voltaje nominal kV	Demanda máxima diversificada kVA	Tipo de equipo de protección y seccionamiento.
Aérea	6.3	> 800	Reconectador automático o Seccionalizador
	22.8	> 1000	
	6.3	300 a 800	Seccionador tripolar para operación bajo carga
	22.8	400 a 1000	
	6.3	< 300	Seccionador – Fusibles

b) Red primaria

La red primaria será radial desde el punto de conexión. Los elementos de seccionamiento y protección serán colocados de forma escalonada para permitir la segmentación y/o protección de secciones o tramos de línea, se instalará juegos de seccionadores fusibles de acuerdo con los siguientes criterios:

- En ramales en derivación de tal manera de permitir la segmentación y protección de unidades de potencia de 300 y 400 kVA o combinaciones de 5 a 6 transformadores de distribución.
- En los transformadores de distribución que se encuentren en todas las derivaciones del ramal principal
- En todas las derivaciones de redes aéreas a cable aislado para instalaciones subterráneas.

c) Coordinación de la protección

Se deberá realizar un estudio básico de corrientes en estado estable y en falla en cada uno de los puntos en los que se instalará los dispositivos de protección de sobrecorriente y se seleccionará las características de estos. Se deberá realizar una adecuada coordinación en los tiempos de operación logrando que, en el caso de salida de servicio, éste afecte a la menor cantidad de usuarios.

Se debe realizar un estudio básico de corrientes en estado estable y en falla en cada uno de los puntos en lo que se instalará los dispositivos de protección de sobrecorriente y se seleccionará las características de estos. Se debe realizar una apropiada coordinación en los tiempos de operación logrando que en el caso de salida de servicio este afecte a la menor cantidad de usuarios.

d) Centros de transformación

Para proteger el transformador de distribución contra sobre corrientes se deberá tener en cuenta los siguientes dispositivos:

- **Lado primario:** Para protección de fallas de origen interno en transformadores convencionales se deberá usar un juego de seccionadores fusibles provistos de tira fusibles duales cuyas características de fusión tiempo corriente y su corriente nominal cumplan con lo establecido en las tablas B22 Y B23 del Anexo B de acuerdo con la potencia del transformador
- **En los terminales del lado secundario:** Para proteger los transformadores tipo convencional de sobrecargas y en fallas que se originen en el circuito de bajo voltaje en las tablas B22 y B23 del Anexo B del presente trabajo se encuentra especificado la corriente nominal del tirafusible en función de la potencia del transformador en referencia al fusible NH, tipo 3NA1.

Para protecciones de sobrevoltaje de tipo atmosféricas se colocará en la conexión del transformador con la red primaria y en todos los casos de instalación aérea se colocará pararrayos tipo óxido de zinc, cuerpo polimérico, clase distribución, con disparador.

Se recomienda el uso de transformadores monofásicos (CSP) totalmente autoprotegidos en instalaciones aéreas, que incluyen todas las protecciones establecidas; excepto en troncales donde se debe utilizar transformadores convencionales ya que en caso de mantenimiento o reparación el corte de la línea debe ser visible y de esta manera se asegurará la desenergización del transformador.

Los cables de bajo voltaje que tengan su origen en las barras de la cámara del transformador estarán protegidos mediante fusibles, limitadores NH, contra corrientes que provoquen sobrecalentamientos que excedan los límites térmicos del aislamiento.

4.1.13 LÍMITES DE ESFUERZOS MECÁNICOS

4.1.13.1 Postes

Normalmente, se usa postes circulares de hormigón armado, plástico reforzado con fibra de vidrio, o a su vez cualquier otro elemento que cumpla con los requisitos y funciones necesarios para usar redes de distribución eléctrica.

El poste estándar es de 10m de 400 kg y 12 m de 500 kg, con condiciones de operación especiales, los postes a ser usados pueden ser de 14, 16 y 18 m de largo.

“Los postes auto soportables (carga horizontal de rotura de 2000 kg) serán usados para evitar el uso de tensores en casos de extrema necesidad. Para remplazar los tensores tipo A por postes autosoportantes se dará a estudios de esfuerzos mecánicos [7].”

4.1.13.2 Conductores

El esfuerzo máximo admisible en ninguno de los casos debe superar el 40% del esfuerzo mínimo de rotura del conductor. En la tabla 4.11 se presentan los esfuerzos máximos aceptables para el cobre y aleaciones de aluminio.

Tabla 4.11. Esfuerzos máximos admisibles

Material	Esfuerzo máximo admisible conductores cableados kg/mm ²
Cobre duro	16.8
Cobre semiduro	14
Aleación de aluminio	11.2

4.1.13.3 Aisladores

Aisladores de suspensión y los de tipo espiga: deben ser suficientes para soportar la carga máxima transversal efecto del viento sobre el conductor y el aislador y el efecto de la componente transversal del tiro del conductor en ángulos de la línea y la carga vertical ocasionadas por el peso del cable, no debe superar el 33% de la carga de rotura.

Aisladores tipo espiga: en los cruces de carreteras o vías férreas: deben ser suficientes para soportar el tiro longitudinal provocado por la rotura de un conductor adyacente el cual no debe exceder el 40% de su carga de rotura.

Aisladores de suspensión: deben soportar la fuerza máxima de tracción del conductor, no debe exceder el 40% de su carga de rotura.

4.1.13.4 Accesorios.

Los accesorios de la línea sometida a tensión mecánica de los conductores deben asegurar un factor de seguridad mecánica de al menos 3. Cuando el sistema de prueba confirma la carga de rotura mínima con ensayos, el número de seguridad puede menorarse a 2.5. En la tabla 4.12 se presentan los factores de seguridad aplicables a otros accesorios de la red.

Tabla 4.12. Factor de seguridad

Materiales	Factor de seguridad
Pernos Pin	3.0
Cable Tensor	1.2
Crucetas de madera	4.0
Materiales de hierro	2.0
estructural (límite de fluencia)	2.0
Postes de hormigón	

4.1.14 AISLAMIENTO BÁSICO EN ALIMENTADORES.

El aislamiento de los transformadores de distribución debe cumplir los valores de prueba de la tabla 4.13, en condiciones normales establecidas en la IEEE C57 12.00 es decir a nivel del mar, con una presión de 760 mm de Hg y una temperatura de 20°C, es importante recordar que para ciudades a los 3000 m sobre el nivel del mar se debe aplicar un factor de corrección de 0.8.

Tabla 4.13. Niveles de Aislamiento para transformadores de distribución.

Clase de aislamiento (kV)	25	15	1.2
Voltaje de prueba a impulso (BIL) (kV)	150	125	30

El aislamiento de los equipos de protección y seccionamiento, deben satisfacer los valores de prueba que se señalan en la tabla 4.14, en condiciones normales establecidas por las Normas IEEE C37.42, es decir, a nivel del mar, con presión atmosférica de 760 mm de Hg. y una temperatura de 20°C.

Tabla 4.14. Niveles de Aislamiento en equipos de seccionamiento y protección.

Clase de aislamiento (kV)	27	15	7.8
Voltaje de prueba a impulso (BIL) (kV)	150	125	95

En la tabla 4.15 se presenta el aislamiento de los equipos que funcionan con baterías deberá cumplir con los siguientes valores de prueba en condiciones normales como se define en la norma IEC, al nivel del mar con una presión de 760 mm Hg y una temperatura de 20°C.

Tabla 4.15 Nivel de aislamiento en equipos de Protección y Seccionamiento

Voltaje máximo de diseño (kV)	24 (1)	36 (2)	27(3)	36(2)
Voltaje de prueba a impulso (BIL) (kV)	125	170	125	250

Nota:

(1): “Para celdas, donde los barrajes y equipos de protección y seccionamiento, se encuentran aislados en SF6 [1].”

(2): “Celdas, donde los barrajes se encuentran aislados en aire y los equipos de protección y seccionamiento se encuentran en SF6 [1].”

(3) “Celdas con aislamiento sólido en barrajes y equipos de protección y seccionamiento [1].”

4.1.15 UNIDADES DE CONSTRUCCIÓN

Se utilizará las estructuras homologadas a nivel nacional en el catálogo de Unidades de propiedad o en la página web <http://www.unidadespropiedad.com/>.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Mediante el cálculo de la caída de voltaje por tramos, al aplicar cada una de las normativas revisadas en el presente proyecto se comprobó que sus métodos son adecuados ya que sus resultados se acercan a los valores obtenidos en Cymdist.

- Después de analizar la normativa establecida por la EEQ S.A del año 2021 resulta ser la más completa en comparación a las normas de las EEA S.A y EERS S.A ya que incluye apartados para construcción de redes semiaisladas, es ésta la que se toma como base para nuestra propuesta que forma parte del alcance de nuestro trabajo.
- Se toman en cuenta de la normativa de la EEA S.A las siguientes secciones: esfuerzos mecánicos por establecer directamente valores determinados por normas internacionales, y la sección de conexiones a tierra porque hace un análisis del valor de resistencia de puesta a tierra en centros de transformación dependiendo la capacidad en kVA que éste tenga.
- Se toman en cuenta de la normativa de la EERS S.A la sección de conductores y calibres ya que establece el uso del mismo calibre para fase y neutro en circuitos secundarios, al existir corriente en el neutro por el desbalance de voltaje en las fases.
- La EEQ realizó una actualización en su normativa en el año 2021, donde los valores de sus tablas para Demanda Máxima Diversificada y kVA-m para el 1% de caída de voltaje cambiaron con respecto a la versión del año 2015, al comparar con los resultados de ambos años en la simulación en Cymdist, la versión actual de la normativa tiene mejores resultados.
- Es importante el desarrollo de la herramienta computacional ya que permite obtener con facilidad la caída de voltaje por tramos y total; para proyectistas sin experiencia es una muy buena opción por su facilidad de uso y rapidez al momento de obtener los resultados
- La simulación en Cymdist de la red de distribución que se proyecte construir permitirá a las empresas eléctricas del Ecuador corregir y actualizar los datos de sus normativas, ya que permitirá obtener las caídas de voltaje reduciendo el error del valor calculado respecto a la simulación.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el estudio de las normativas correspondientes a las empresas eléctricas en su sección de redes subterráneas que representa una

opción importante para el futuro de la construcción de las redes de distribución, actualmente las empresas eléctricas priorizan este tipo de redes.

- Se recomienda realizar el estudio de normas internacionales respecto a redes semiaisladas, ya que las normativas ecuatorianas correspondiente al diseño de redes de distribución no incluyen información sobre este tipo de redes.
- Se recomienda un estudio para que las empresas eléctricas realicen actualizaciones de sus normativas y guías de diseño de redes de distribución debido al cambio de la matriz energética del país y a la incorporación en gran cantidad de aparatos eléctricos para cocción y calentamiento de agua dentro de los hogares.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Barroso, S. Abata, P. Asanza, M. Chimarro, «Normas para sistemas de distribución Parte A EEQ,» Quito, 2021.
- [2] S. Ramirez, Redes de Distribución de Energía, Tercera ed., Manizales, 2012.
- [3] M. Castellanos, «MANUAL PARA ELABORACIÓN DE ELECTRIFICACIÓN,» ESIME, CIUDAD DE MÉXICO, 2018.
- [4] Y. NARVAEZ, «DISEÑO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA DE MEDIA Y BAJA TENSION PARA LA NORMALIZACIÓN DEL BARRIO EL PIÑONCITO DE CAMPO DE LA CRUZ,» UNIVERSIDAD DE LA COSTA CUC, BARRANQUILLA, 2012.
- [5] E. E. A. S.A, «Guía de diseño parte III, Redes aéreas,» Ambato, 2021.
- [6] EERSA, «Normas Técnicas para el diseño de redes el diseño de redes eléctricas urbanas y rurales,» Loja, 2012.
- [7] I. D. C. ZALETA, MODELOS DE OPTIMIZACIÓN ENTERA MIXTA NO LINEAL EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL, Universidad Autónoma de Nuevo León, 2003.
- [8] MERNNR, «Catálogo Digital Redes de Distribución de Energía Eléctrica,» [En línea]. Available: <https://www.unidadespropiedad.com/>.
- [9] IEEE, «IEEE Standard for General Requirements for Liquid-Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers,» New York, 2015.
- [10] R. Vásquez, «Rediseño Óptimo de Redes Radiales de Distribución Eléctrica en Bajo Voltaje Considerando las Restricciones de la Infraestructura Eléctrica y Urbana Existente,» EPN, Quito, 2013.

ANEXOS

- Anexo A Simbología
- Anexo B Conjunto de tablas de la guía para diseño de redes para distribución parte A, Empresa Eléctrica Quito S.A.
- Anexo C Conjunto de tablas de la guía de diseño de redes aéreas parte 3, Empresa Eléctrica Ambato S.A.
- Anexo D Normas técnicas para el diseño de redes eléctricas urbanas y rurales, Empresa Eléctrica Regional Del Sur S.A.
- Anexo E Unidades de propiedad
- Anexo F Formato para el compute de caída de voltaje circuitos secundarios y primarios red aérea
- Anexo G Modelación y resultados del software CYME
- Anexo H Planos eléctricos de medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público

NOTA: Los anexos se encuentran adjuntos de forma digital en el cd del presente trabajo de titulación

ORDEN DE EMPASTADO