

**DESARROLLO DE ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN  
ELÉCTRICA PARA EL MACROPROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN  
EL MUNICIPIO DE MORALES CON LA EMPRESA ELECTROENERGIZAR  
INGENIERIA LTDA**



**DANIEL ALBERTO FERNÁNDEZ SABOGAL**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
POPAYÁN – CAUCA**

**2020**

**DESARROLLO DE ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN  
ELÉCTRICA PARA EL MACROPROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN  
EL MUNICIPIO DE MORALES CON LA EMPRESA ELECTROENERGIZAR  
INGENIERIA LTDA**



**DANIEL ALBERTO FERNÁNDEZ SABOGAL**

**Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electrónico**

**Director institucional**

**ING. JUAN PABLO DIAGO RODRÍGUEZ**

**Director organizacional**

**ING. JONY LEÓNIDAS MONTAÑO RODRÍGUEZ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

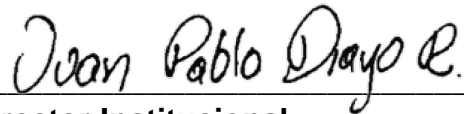
**PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**POPAYÁN – CAUCA**

**2020**

## NOTA DE ACEPTACION

Aprobado por el comité de grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca para optar al título de Ingeniero Electrónico.



Director Institucional

Juan Pablo Diago Rodríguez



Director Organizacional

Jony Leónidas Montaña Rodríguez



Jurado 1



Jurado 2

Popayán, Agosto de 2020

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo está dedicado principalmente a Dios, por haberme guiado por el camino correcto y permitido tener apoyo familiar, salud, sabiduría e inteligencia para lograr esta meta.*

*A mis padres Guido Alberto Fernández y Clara Neila Sabogal Díaz, que con su incansable trabajo lograron ofrecerme todo lo necesario para afrontar este camino, además de haberme inculcado valores y principios esenciales para la vida.*

*A mis hermanos que estuvieron siempre dispuestos a colaborar en lo necesario para cumplir esta meta.*

**Daniel Alberto Fernández Sabogal**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios por haberme permitido cumplir esta meta y abrirme los caminos para seguir alcanzando logros.*

*A mis padres Guido Alberto Fernández y Clara Neila Sabogal, solo tengo palabras de amor y gratitud para ellos.*

*A mi director institucional Juan Pablo Diago, por su compromiso y dedicación como docente, además de ser una excelente persona y amigo.*

*A mi director organizacional Jony Montaña, por haberme dado la oportunidad de trabajar en conjunto y brindarme su conocimiento, además de ser una persona excepcional y amigo.*

*A la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca por haberme dado las herramientas para lograr una meta más.*

*A Electroenergizar Ingeniería Ltda. por haberme abierto las puertas para realizar mi trabajo y haberme permitido continuar siendo parte de la familia.*

*A mis compañeros, amigos y todas aquellas personas que estuvieron allí durante mi proceso de formación.*

*Gracias.*

**Daniel Alberto Fernández Sabogal**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>11</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPITULO I. CONTEXTO GENERAL .....</b>	<b>14</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	16
1.3 OBJETIVOS .....	17
1.3.1 Objetivo General.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos .....	17
1.4 ENFOQUE METODOLÓGICO.....	18
1.4.1 Pasos del enfoque metodológico: .....	18
1.4.2 Fases del marco lógico.....	18
1.4.3 Fases aplicadas a la pasantía .....	19
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO.....</b>	<b>20</b>
2.1 Entidades y fondos para la presentación de proyectos eléctricos.....	20
2.1.1 Ministerio de Minas y Energía Colombia .....	20
2.1.2 Unidad de planeación Minero Energética (UPME).....	20
2.1.3 Fondos de apoyo financiero para los sectores de energía eléctrica y gas combustible .	20
2.2 Normatividad aplicada a diseños eléctricos.....	21
2.2.1 Norma técnica colombiana NTC 2050.....	22
2.2.2 Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP .....	22
2.2.3 Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE .....	22
2.2.4 Criterios para el diseño de redes de media y baja tensión, compañía energética de occidente .....	22
2.3 Redes de distribución de energía eléctrica.....	23
2.3.1 Redes eléctricas de Media y Baja tensión (MT, BT) .....	23
2.3.2 Redes eléctricas de acuerdo a la ubicación geográfica .....	23
2.3.2.1 Redes eléctricas urbanas.....	24
2.3.2.2 Redes eléctricas rurales.....	24
2.4 Redes eléctricas de acuerdo al tipo de construcción .....	24
2.4.1 Redes eléctricas aéreas .....	25
2.4.2 Redes eléctricas de acuerdo al voltaje nominal .....	25
2.4.2.1 Redes eléctricas primarias .....	25
2.4.2.2 Redes eléctricas secundarias .....	26
2.5 Clasificación de las redes eléctricas de acuerdo al tipo de carga .....	26

2.5.1 Cargas residenciales .....	26
2.5.2 Cargas comerciales .....	27
2.5.3 Cargas industriales .....	28
2.6 Estructuras para el montaje de redes aéreas de distribución eléctrica .....	28
2.7 Armado de estructuras.....	33
2.7.1 Armado de estructuras en media tensión.....	33
2.7.1 Armado de estructuras en baja tensión.....	34
2.8 Distancias mínimas de seguridad establecidas en el RETIE. ....	35
2.9 Equipos para la adquisición de información geográfica .....	37
2.10 Software de adquisición y procesamiento de información para el diseño de redes.....	39
<b>CAPITULO III: DESARROLLO DE ESTUDIOS PARA EL DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE MORALES. ....</b>	<b>41</b>
3.1 DATOS BÁSICOS DEL PROYECTO .....	41
3.1.1 Localización .....	42
3.1.2 Levantamiento topográfico .....	43
3.1.3 Veredas a intervenir.....	43
3.1.4 Características generales de diseño .....	44
3.1.5 Características climáticas .....	45
3.1.6 Rangos de altura para cálculos mecánicos y perfiles longitudinales de terreno .....	46
3.2 CRITERIOS DE PROYECCION Y DISEÑO .....	47
3.2.1 Tipo de red eléctrica .....	47
3.2.2 Caracterización de la carga.....	47
3.2.3 Configuración de la red eléctrica .....	49
3.2.3.1 Red de Media Tensión a 13,2 KV .....	50
3.2.3.1.1 Tipo de conductor para red 13,2 KV .....	50
3.2.3.2 Red de Baja Tensión 240/120 V .....	51
3.2.3.2.1 Tipo de conductor para red 240/120 V .....	51
3.2.4 Cálculos eléctricos.....	53
3.2.4.1 Cálculos eléctricos en media tensión (MT) .....	53
3.2.4.1.1 Corriente nominal.....	53
3.2.4.1.2 Regulación de tensión .....	54
3.2.4.1.3 Calculo de la potencia del transformador .....	54
3.2.4.2 Cálculos eléctricos en baja tensión (BT) .....	55
3.2.4.2.1 Factor de potencia de diseño .....	56
3.2.4.2.2 Corriente nominal.....	56
3.2.4.2.3 Regulación de Tensión .....	56
3.2.4.2.4 Calculo de pérdidas de potencia en la red .....	57

<b>CAPITULO IV: DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCION ELECTRICA PARA LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE MORALES .....</b>	<b>59</b>
4.1 DIGITALIZACION DE REDES DE BAJA TENSION.....	59
4.1.1 Procesamiento inicial de la información geográfica .....	59
4.1.1.1 Equipos GPS Trimble y Garmin .....	59
4.1.1.2 Convenciones.....	61
4.1.1.3 Norma Técnica de estructuras para redes de media y baja tensión .....	62
4.1.1.3.1 Norma Técnica de estructuras para media tensión .....	62
4.1.1.3.2 Norma Técnica de estructuras para baja tensión .....	63
4.2 DISEÑO DE REDES EN BAJA TENSION (BT).....	64
4.2.1 Cálculos eléctricos para redes de baja tensión .....	68
4.2.1.1 Cálculos de Corriente Nominal .....	68
4.2.1.2 Cálculo del momento eléctrico .....	70
4.2.1.3 Cálculos de Regulación de Tensión.....	71
4.2.1.3.1 Regulación parcial .....	71
4.2.1.3.2 Regulación total .....	73
4.2.1.4 Cálculo de pérdidas de potencia en la red de baja tensión .....	78
4.2.1.5 Cálculo de la potencia del transformador .....	80
4.2.2 Estructuración y diseño final de la red BT .....	80
4.3 DISEÑO DE REDES DE MEDIA TENSION (MT).....	82
4.3.1 Cálculos eléctricos para redes de media tensión (MT) .....	83
4.3.1.1 Cálculos de corriente nominal .....	83
4.3.1.2 Cálculos de regulación de tensión .....	84
4.3.2 Estructuración y diseño final de la red de media tensión .....	84
4.5 CURVAS DE NIVEL Y PERFILES LONGITUDINALES DE TERRENO .....	86
<b>CAPITULO V: RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>89</b>
5.2 DESARROLLO DEL ESTUDIO .....	89
5.3 DESARROLLO DEL DISEÑO.....	89
5.3 INTEGRACION DEL DISEÑO .....	91
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES .....</b>	<b>91</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>92</b>



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones. Fuente [1].	35
Tabla 2: Guía distancias mínimas de seguridad en zona con construcciones. Fuente [1].	36
Tabla 3: Distancias mínimas de seguridad para diferentes situaciones. Fuente [1].	37
Tabla 4: Información básica del proyecto. Fuente propia.	41
Tabla 5: Ubicación veredas y número de viviendas proyectadas. Fuente propia	44
Tabla 6: Características climáticas por zonas. Fuente [3].	44
Tabla 7: Cabeceras municipales asociadas a cada zona. Fuente [3].	45
Tabla 8: Características climáticas Morales. Fuente Propia.	45
Tabla 9: Categoría de terreno según nivel de exposición al viento. Fuente [3].	46
Tabla 10: A.S.N.M veredas a intervenir. Fuente Propia.	46
Tabla 11: Demanda máxima diversificada KVA. Fuente [30].	48
Tabla 12: Aplicabilidad de cable tipo ACSR. Fuente [3].	50
Tabla 13: Características cable tipo ACSR. Fuente [3].	51
Tabla 14: Características tipo de conductor AAC BT. Fuente [3].	52
Tabla 15: Características eléctricas, dimensionales y mecánicas conductor tipo AAC. Fuente [3].	52
Tabla 16: Constantes de regulación red 13,2 KV. Fuente [32].	54
Tabla 17: Tensiones nominales para BT. Fuente [3].	55
Tabla 18 : Límites de caída de tensión BT. Fuente [3].	57
Tabla 19: Constantes de Regulación de tensión. Fuente [33].	57
Tabla 20: Codificación N.T de estructuras MT. Fuente basado en [34].	63
Tabla 21: Codificación N.T de estructuras BT. Fuente basado en [34].	64
Tabla 22: Corriente nominal para T1. Fuente Propia.	70
Tabla 23: Cálculos del momento eléctrico T1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.	71
Tabla 24: % de regulación parcial T1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.	72
Tabla 25: % de regulación total T1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.	74
Tabla 26: Resumen regulación de tensión y conductor a utilizar transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.	77
Tabla 27: Resumen % pérdidas en tramos de red del Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.	79
Tabla 28: Resumen diseño 7 Veredas. Fuente propia.	90
Tabla 29: Ítems obtenidos del diseño. Fuente Propia.	90

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fases del marco lógico. Fuente [6].	18
Figura 2: Tipos de Fondos para la ampliación de servicios públicos, Fuente [8]	21
Figura 3: Diagrama de procedimientos fondo FAER, Fuente [8]	21
Figura 4: Configuración para sistemas eléctricos secundarios, Fuente [14]	27
Figura 5: Conductor ACSR. Fuente [15]	29
Figura 6: Conductor trenzado Tríplex. Fuente [16]	30
Figura 7: Crucetas metálicas para armado de postes. Fuente [17].	30
Figura 8: Tipos de aisladores eléctricos. Fuente [18]	31
Figura 9: Herrajes metálicos eléctricos. Fuente [19]	32
Figura 10: Cortacircuitos. Fuente [20]	32
Figura 11: Transformador monofásico convencional. Fuente [21]	33
Figura 12: Estructuras media tensión con conductor desnudo. Fuente propia.	34
Figura 13: Estructuras baja tensión con conductor desnudo. Fuente propia.	35
Figura 14: Equipo GPS Trimble Juno 3D. Fuente [23]	38
Figura 15: Equipo GPS Garmin 64sc. Fuente [24]	39
Figura 16: Mapa ubicación del proyecto. Fuente Sedagram Morales.	42
Figura 17: Forma simple de un sistema radial. Fuente [31]	49
Figura 18: Información geográfica descargada de equipo TRIMBLE. Fuente Electroenergizar ing.	60
Figura 19: Información geográfica descargada de equipo GARMIN. Fuente Electroenergizar ing.	60
Figura 20: Cuadro de convenciones redes MT, BT existentes. Fuente Electroenergizar ing.	61
Figura 21: Cuadro de convenciones redes MT, BT Proyectadas. Fuente Electroenergizar ing.	61
Figura 22: Cuadro de convenciones Postes MT, BT existentes. Fuente Electroenergizar ing.	61
Figura 23: Cuadro de convenciones Postes MT, BT proyectados. Fuente Electroenergizar ing.	61
Figura 24: Cuadro de convenciones Transformadores proyectados, existentes. Fuente Electroenergizar ing.	62
Figura 25: Información inicial transformador 1 y 2 Vda. Agua negra. Fuente Propia.	65
Figura 26: Identificación de postes y transformadores. Fuente Propia.	66
Figura 27: Red existente en todo el circuito. Fuente Propia.	67
Figura 28: Zoom parte de Red existente transformador 1. Fuente Propia.	67
Figura 29: Circuito Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.	68
Figura 30: Triangulo de potencias [35].	70
Figura 31: Tramo 0-1 Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.	74
Figura 32: Tramo 1-12 Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.	75
Figura 33: Tramo 0-22, 0-18 Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.	76
Figura 34: Diseño final Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.	81
Figura 35: Cálculos redes BT, Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Electroenergizar ing.	82
Figura 36: Digitalización Red MT Transformador 2 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.	83
Figura 37: Diseño Final Red MT Transformador 2 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.	85
Figura 38: Cálculos redes MT, Transformador 1 y 2 Vda. Agua Negra. Fuente Electroenergizar ing.	86
Figura 39: Plano Vda. Agua Negra con Curvas de Nivel. Fuente Propia.	87
Figura 40: Zoom Plano Vda. Agua Negra con Curvas de Nivel. Fuente Propia.	87
Figura 41: Perfil Longitudinal de terreno Vda. Agua Negra. Fuente Electroenergizar ing.	88

## RESUMEN

Este proyecto tiene como objetivo realizar el estudio y diseño de las redes de distribución eléctrica para el macroproyecto de electrificación rural en el municipio de Morales, el cual comprende siete veredas en las que se busca beneficiar comunidades indígenas, afros y campesinas de la zona, aportando al desarrollo de las actividades económicas, sociales y humanas en la región, el trabajo es realizado en modalidad pasantía en la empresa Electroenergizar Ingeniería Ltda.

El proyecto se compone de dos fases, fase de estudio y fase de diseño, en la primera fase se realiza el estudio previo de la zona a intervenir para determinar el tipo de terreno, población, factibilidad, tipo de red a instalar, etc. adicionalmente, se evalúan las normatividades nacionales como el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y los criterios para el diseño de redes de media y baja tensión de la compañía energética de occidente, para así, establecer los requisitos de diseño y correcto funcionamiento de las redes eléctricas.

En la segunda fase se utiliza el estudio realizado previamente para iniciar con el diseño de las redes de distribución eléctrica, en esta, el diseño se segmenta por veredas para tener un control sobre los datos de cada una de ellas, se utilizan programas como AutoCAD, Google Earth, Global Mapper, para el diseño estructural, proyección de redes en terreno y procesamiento de la información geográfica.

Una vez culminadas las primeras fases, se procede a evaluar e integrar los diseños propuestos en la estructuración y formulación del macroproyecto en cuestión.

Palabras clave: Macroproyecto, Redes eléctricas de Media Tensión (MT) y Baja Tensión (BT), Cálculos eléctricos.

## **ABSTRACT**

This project aims to carry out the study and design of the electrical distribution networks for the rural electrification macroproject in the Municipality of Morales, which includes seven sidewalks in which it seeks to benefit indigenous, Afro and peasant communities in the area, providing to the development of economic, social and human activities in the region, the work is carried out as an internship at the company Electroenergizar Ingenieria Ltda.

The project is made up of two phases, study phase and design phase, in the first phase the preliminary study of the area to be intervened is carried out to determine the type of land, the population, the feasibility, the type of network to be installed, etc. Additionally, national regulations such as the technical regulation of electrical installations (RETIE) and the criteria for the design of medium and low voltage networks of the western energy company are evaluated, in order to establish the design requirements and correct operation of the electrical networks.

In the second phase, the study carried out previously is used to start with the design of the electrical distribution networks, in this phase the design is segmented by sidewalks to have control over the data of each one of them, programs such as AutoCAD are used, Google Earth, Global Mapper, for structural design, field network projection and geographic information processing.

Once the first phases have been completed, the proposed designs are evaluated and integrated into the structuring and formulation of the macro project in question.

Key words: Macro project, Medium Voltage (MV) and Low Voltage (LV) electrical networks, Electrical calculations.

## INTRODUCCION

Este documento presenta el desarrollo del trabajo de grado en modalidad pasantía titulado **“DESARROLLO DE ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA EL MACROPROYECTO DE ELECTRIFICACIÓN RURAL EN EL MUNICIPIO DE MORALES CON LA EMPRESA ELECTROENERGIZAR INGENIERIA LTDA”** con el fin de dar a conocer los resultados obtenidos durante la etapa de práctica y el desarrollo de cada uno de los objetivos planteados para este trabajo.

El macroproyecto de electrificación está proyectado para la zona rural del municipio de Morales, tiene un alcance de 968 viviendas que aún no cuentan con el servicio de energía eléctrica, estas viviendas están distribuidas en siete veredas que se encuentran ubicadas en gran parte sobre la cordillera occidental, las comunidades que habitan esta región son es su mayoría campesinos, indígenas y afros.

En la primera fase se realiza un estudio previo para lograr determinar los criterios de diseño para el correcto funcionamiento de las redes eléctricas, algunos de estos criterios son: tipo de red, caracterización de la carga eléctrica, configuración de la red, selección del conductor eléctrico, cálculos eléctricos en media y baja tensión para las redes de 13,200 V y 240/120 V respectivamente.

En la segunda fase y una vez establecidos los criterios de diseño en el estudio previo, se procede a iniciar con el diseño detallado de las redes eléctricas, el cual comprende el procesamiento de la información, cálculos eléctricos y producto final. Partiendo de la información inicial tomada en campo por el personal técnico de la empresa, se inicia el proceso de evaluación y proyección de las redes, en este trabajo se utilizan programas como Base Camp y ArcGIS a fin de obtener la información de los equipos GPS, AutoCAD en el proceso de diseño y estructuración de las redes, Google Earth para la proyección y evaluación del terreno y Global Mapper en la obtención de curvas de nivel y perfiles de la zona a intervenir, además del paquete de Office para la documentación de la información, cabe resaltar que este proceso está realizado teniendo en cuenta el reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE) y los criterios de diseño de redes de media y baja tensión de la compañía energética de occidente

Finalmente, los diseños propuestos se someten a evaluación para así poder ser integrados en la formulación y estructuración del macroproyecto.

## CAPITULO I. CONTEXTO GENERAL

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa Caucana ELECTROENERGIZAR INGENIERÍA LTDA, basada en sus más de 20 años de experiencia en el diseño, desarrollo de proyectos eléctricos, telecomunicaciones; construcción y mantenimiento de redes eléctricas, además de trabajar en obras civiles asociadas, tiene como uno de sus objetivos principales beneficiar a poblaciones que se encuentran sin el servicio de energía eléctrica, generalmente azotadas por el conflicto armado, zonas de difícil acceso y con alta incidencia en la presencia de cultivos ilícitos, razón por la cual y en convenio con la alcaldía municipal de Morales, se dio inicio al desarrollo del proyecto: Elaboración de estudios y diseños para el macroproyecto de electrificación rural denominado, “Construcción, ampliación y mejoramiento de redes eléctricas de media y baja tensión, y montaje de subestaciones de distribución tipo poste para habitantes de diferentes veredas del municipio de Morales en el departamento del Cauca”.

Dentro de la estructuración y formulación del macroproyecto, es necesario desarrollar los estudios y diseños pertinentes de las redes de distribución eléctrica, las cuales beneficiarán la comunidad en donde serán instaladas. Estas redes se dividen en dos tipos, red de media tensión y red de baja tensión (MT y BT respectivamente), estos tipos de redes alcanzan tensiones entre 1.000 y 57.500 voltios para las MT y entre 25 y 1.000 voltios para las BT [1], de tal forma que se deben tratar con criterios responsables y que permitan ajustarse a la problemática que viven las personas de las zonas en la cual se pretende ejecutar el proyecto, sin afectar la integridad de estos.

Para llevar a cabo estos diseños es necesario cumplir las normatividades nacionales para establecer los requisitos del correcto funcionamiento de las redes, por esta razón, en Colombia existe el anexo general del reglamento técnico de instalaciones eléctricas (RETIE), resolución 09 0708 de agosto 30 de 2013 actualizado a 2015, el cual se debe aplicar de carácter obligatorio en cualquier proyecto de utilización de la energía eléctrica para lograr “garantizar que no representen alto riesgo para la salud o la vida de las personas y animales, o atenten en contra del medio ambiente” [1] [2].

Adicionalmente, el estudio y diseño en cuestión, debe acogerse a los criterios para el diseño de redes de media y baja tensión del operador de red, en este caso la compañía energética de occidente (CEO), empresa encargada de operar la infraestructura eléctrica a nivel departamental y la responsable de revisar y validar los diseños eléctricos propuestos [3].

De acuerdo a la información anterior, se plantea la siguiente pregunta:

¿Qué características de diseño deben cumplir las redes de distribución eléctricas para que permitan ajustarse a la norma RETIE y criterios de diseño del operador de red, para beneficiar diferentes comunidades del municipio de Morales?

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El acceso a los servicios básicos como energía eléctrica, gas natural, acueducto, alcantarillado y salud están contemplados por la ley 142 de 1994 ( Diario Oficial No. 41.433 de 11 de julio de 1994.), en la cual el estado interviene para garantizar la calidad de los servicios y asegurar el mejoramiento de la calidad de vida de los usuarios, es por ello que la energía eléctrica se considera uno de los pilares fundamentales para las actividades económicas, comerciales y de desarrollo humano en las comunidades [4] [5].

Tomando en cuenta que la energía eléctrica representa un riesgo para la vida de las personas debido a que el contacto o mal manejo de esta fuente puede generar incendios, explosiones, electrización y/o electrocución, es indispensable realizar estudios previos sobre el diseño de las redes de distribución eléctricas, a fin de evitar daños que puedan afectar la integridad de las personas o bienes que se encuentren en contacto con las redes. Una vez culminados los estudios, es preciso iniciar el diseño con los parámetros de calidad y seguridad para así lograr ajustarse a las normatividades nacionales, además de cumplir con los criterios de diseño del operador de red.

El reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE, es una norma expedida por el ministerio de minas y energía de Colombia la cual permite establecer las medidas necesarias para el buen desarrollo de las instalaciones, construcciones y mejoramiento de las redes de distribución eléctricas en base a su funcionamiento, calidad, confiabilidad y buen uso de los equipos [1].

Por este motivo, los estudios y diseños de las redes de electrificación del macroproyecto se llevarán a cabo cumpliendo las normatividades necesarias y requerimientos del RETIE, así como las del operador de red para los diseños de siete veredas de las 72 del municipio de Morales, esto con capacidad de ampliación a las 65 restantes para el año 2020. Las siete veredas anteriormente mencionadas son: La Concordia, La Floresta, La Liberia, Santa Bárbara, Samaria, Resguardo Indígena Aguas Negras y Resguardo Indígena Chimborazo, con un número aproximado de 1.000 viviendas sin servicio, según el estudio topográfico de la empresa, beneficiando a más personas de este municipio y contribuyendo al mejoramiento de la calidad de vida de los campesinos, comunidades afros e indígenas que habitan esta región.

Finalmente, mediante este trabajo de pasantía, se busca utilizar y afianzar los conocimientos de ingeniería obtenidos durante la etapa de aprendizaje en la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, por esta razón se elige una empresa en la que se desarrollan proyectos a fines con la Ingeniería Electrónica, adicionalmente se busca obtener un importante acercamiento con el ámbito laboral y lograr proyectar una vida profesional.



## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Desarrollo de estudios y diseños de las redes de distribución eléctrica para el macroproyecto de electrificación rural del municipio de Morales con la empresa Electroenergizar Ingeniería Ltda.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar estudios para el diseño de las redes de distribución eléctrica que aporten a la construcción del macroproyecto.
- Proponer diseños eléctricos que cumplan con la normatividad RETIE y criterios de diseño de la compañía energética de occidente.
- Integrar los diseños propuestos para que cumplan con los requerimientos en la estructuración y formulación del macroproyecto

## 1.4 ENFOQUE METODOLÓGICO

Este trabajo se aborda con un enfoque metodológico basado en el marco lógico, de manera que permite el desarrollo en fases las cuales están relacionadas directamente con los objetivos planteados y que permite planificar, seguir y evaluar el proyecto.

### 1.4.1 Pasos del enfoque metodológico:

- Identificar la problemática.
- Analizar y definir las alternativas de solución.
- Definir objetivos claros para lograr abordar la problemática y brindar solución.
- Definir las estrategias de trabajo para cumplir los objetivos.
- Evaluación y realimentación del trabajo culminado [6].

### 1.4.2 Fases del marco lógico

En la Figura 1 se muestran las fases que componen la metodología de marco lógico.

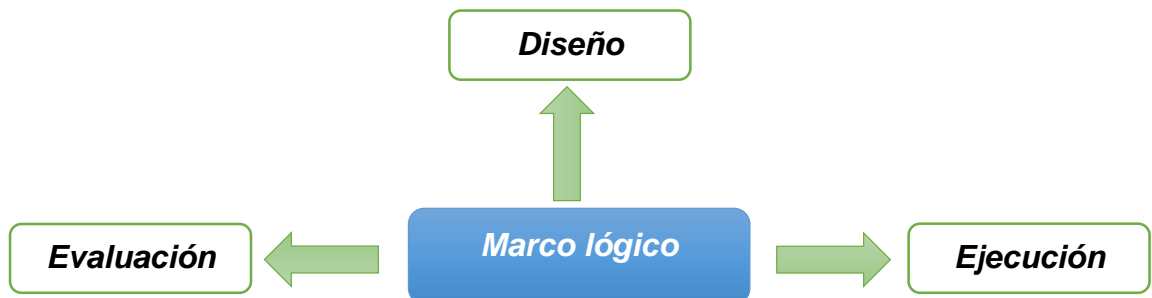


Figura 1: Fases del marco lógico. Fuente [6].

### 1.4.3 Fases aplicadas a la pasantía

- **Fase de ejecución**

Para la ejecución del proyecto de pasantía se hace necesaria una etapa de conceptualización a fin de tener un conocimiento a fondo sobre la temática a tratar, se estudiarán temas como el diseño de redes eléctricas en zonas rurales, fondos de financiación para proyectos eléctricos en zonas interconectadas, estructuración y formulación de proyectos y normatividades nacionales como el RETIE, RETILAP, NTC 2050, además de criterios para el diseño de redes del operador de red.

- **Fase de diseño**

Una vez terminada la primera fase, con la información obtenida en ella y una visión más amplia sobre la temática del proyecto, se procederá a realizar el diseño de las redes de distribución eléctrica, se tendrán en cuenta las normatividades y criterios aplicables al proyecto para así lograr cumplir los objetivos específicos, además el proceso de diseño estará en constante revisión por parte del director organizacional para garantizar el cumplimiento de cada una de los requerimientos en la estructuración y formulación del macroproyecto.

- **Fase de evaluación**

En esta última fase, la división de ingeniería y proyectos de la empresa, en cabeza del director, iniciará la revisión y evaluación del trabajo realizado en el diseño, en base a su experiencia y verificando el cumplimiento de los requerimientos propuestos por las normas y criterios para el diseño de las redes, se dará un concepto de aprobación o en su defecto corrección. Finalmente, se realizará un proceso de realimentación del trabajo culminado y lecciones aprendidas para proceder a la integración de los diseños en el macroproyecto.

## **CAPITULO II: MARCO TEORICO**

Para el desarrollo de este trabajo es necesario tener conocimiento en la estructuración y formulación de proyectos a fondos nacionales de apoyo financiero, también en temas eléctricos como la ingeniería eléctrica que es a fin con la electrónica.

### **2.1 Entidades y fondos para la presentación de proyectos eléctricos**

En Colombia existen unas entidades gubernamentales que son las encargadas de proveer fondos para el desarrollo energético del país, estas entidades evalúan proyectos presentados a financiación por diferentes entidades de carácter público o privado, en caso de ser viable, disponen el valor total del proyecto para iniciar el proceso de ejecución, a continuación, se explica en detalle.

#### **2.1.1 Ministerio de Minas y Energía Colombia**

El Ministerio de Minas y Energía es una entidad gubernamental del país cuya tarea principal es “administrar los recursos naturales no renovables del país asegurando su mejor y mayor utilización; la orientación en el uso y regulación de los mismos, garantizando su abastecimiento y velando por la protección de los recursos naturales del medio ambiente con el fin de garantizar su conservación, restauración y el desarrollo sostenible, de conformidad con los criterios de evaluación, seguimiento y manejo ambiental, señalados por la autoridad ambiental competente” [7].

#### **2.1.2 Unidad de planeación Minero Energética (UPME)**

Es una unidad administrativa especial de orden Nacional, adscrita al ministerio de minas y energía la cual tiene como misión planear el desarrollo Minero Energético del País, así también, apoyar la formulación e implementación de la política pública y generar conocimiento e información para un futuro sostenible.

Mediante la resolución número 204 del 9 julio de 2013, se establecen funciones a la UPME de evaluar la viabilidad técnica y financiera de los proyectos para: “ser financiados a través de los fondos administrados por el Ministerio de Minas y Energía. Así como, revisar la formulación de los proyectos a ser financiados por el Gobierno en materia de minas y energía, de acuerdo con los requerimientos del Ministerio de Minas y Energía” [8] [9].

#### **2.1.3 Fondos de apoyo financiero para los sectores de energía eléctrica y gas combustible**

El estado colombiano cuenta con una serie de fondos de apoyo financiero para la ampliación de los servicios públicos tales como, Energía Eléctrica y Gas Combustible. Estos Fondos se describen en la Figura 2.

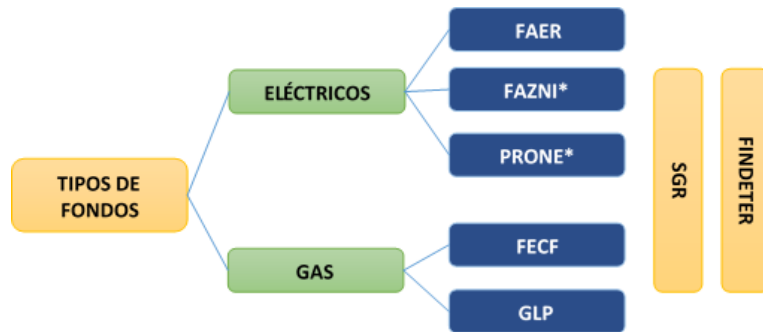


Figura 2: Tipos de Fondos para la ampliación de servicios públicos, Fuente [8]

Los fondos de financiación energéticos son:

- **FAER:** Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas.
- **FAZNI:** Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas.
- **PRONE:** Programa de Normalización de Redes Eléctricas

En la Figura 3 Se describe el diagrama de procedimientos para el fondo de interés de este proyecto, **FAER** [8].

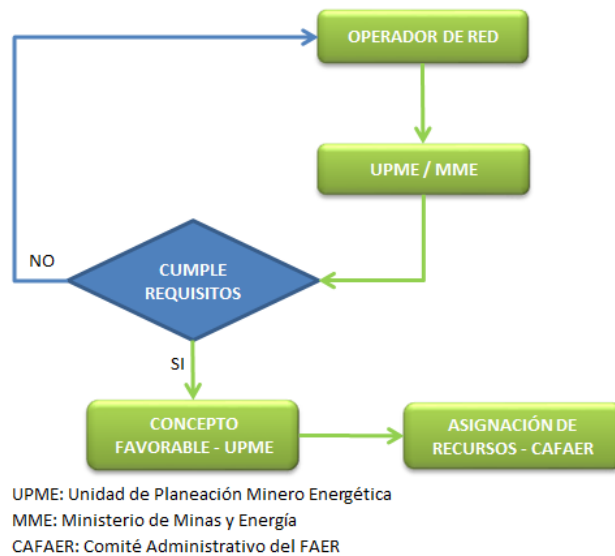


Figura 3: Diagrama de procedimientos fondo FAER, Fuente [8]

## 2.2 Normatividad aplicada a diseños eléctricos

En Colombia existen diferentes normatividades que se deben aplicar a la hora de realizar trabajos en infraestructura eléctrica, a continuación, se nombran las más relevantes.

### **2.2.1 Norma técnica colombiana NTC 2050**

Esta norma también llamada Código Eléctrico Colombiano es la encargada de, “dar a conocer la materialización de las necesidades nacionales en aspectos de seguridad para las instalaciones eléctricas en construcciones, basadas en parámetros aplicados y validados mundialmente, los cuales garantizan al usuario una utilización segura y confiable de las instalaciones eléctricas. Por otro lado, propenden por la racionalización de la energía, obedeciendo a la necesidad imperiosa de preservar sus fuentes, como uno de los objetivos medioambientales que se deben lograr para evitar su agotamiento” [10].

### **2.2.2 Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP**

El objeto fundamental de este reglamento técnico es, “establecer los requisitos y medidas que deben cumplir los sistemas de iluminación y alumbrado público, tendientes a garantizar: Los niveles y calidades de la energía lumínica requerida en la actividad visual. El reglamento establece las reglas generales que se deben tener en cuenta en los sistemas de iluminación interior y exterior, en el territorio colombiano, inculcando el uso racional y eficiente de energía (URE) en iluminación” [11].

### **2.2.3 Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE**

Este es el reglamento técnico de instalaciones eléctricas el cual fue creado por el Decreto 18039 de 2004, del Ministerio de Minas y Energía. El objetivo de este reglamento es establecer medidas que garanticen la seguridad de las personas, vida animal y vegetal y la preservación del medio ambiente, previniendo, minimizando o eliminado los riesgos de origen eléctrico [1].

### **2.2.4 Criterios para el diseño de redes de media y baja tensión, compañía energética de occidente**

Para el departamento del Cauca, el operador de red es la compañía energética de occidente, razón por la cual posee un detallado documento en donde expone los criterios para el diseño de las redes en media tensión y baja tensión (MT y BT) que se realicen bajo su administración, esta información comprende 24 anexos los cuales se nombran a continuación.

- **Documento general:** Criterios para el diseño de redes de media y baja tensión
- **Anexo A:** Tablas de regulación de tensión para red de media tensión aérea 34,5 KV.
- **Anexo B:** Tablas y gráficos de máxima potencia a transportar y perdidas de potencia para redes aéreas.
- **Anexo C:** Tablas de cálculo mecánico de conductores red aérea de 34,5 KV.

- **Anexo D:** Tablas de tendido red aérea de 34,5 KV.
- **Anexo E:** Constantes de regulación para red aérea 13,2 KV.
- **Anexo F:** Tablas de tracciones y flechas red aérea 13,2 KV.
- **Anexo G:** Tablas de tendido red aérea 13,2 KV.
- **Anexo H:** Vano máximo admisible para postes auto soportados red aérea urbana 13,2 KV.
- **Anexo I:** Tablas de cálculo mecánico de postes red aérea urbana 13,2 KV.
- **Anexo J:** Tablas de cimentaciones red aérea 13,2 KV.
- **Anexo K:** Tablas de utilización de retenidas para red aérea de 13,2 KV.
- **Anexo L:** Demanda máxima diversificada red baja tensión.
- **Anexo M:** Constantes de regulación red aérea baja tensión.
- **Anexo N:** Tablas de tracciones y flechas red aérea baja tensión.
- **Anexo O:** Tablas de tendido red aérea baja tensión.
- **Anexo P:** Tabla de cálculo mecánico de postes red baja tensión.
- **Anexo Q:** Tablas de cimentaciones para postes de baja tensión.
- **Anexo R:** Tabla de utilización de retenidas para red aérea de baja tensión.
- **Anexo S:** Guía para presentación de proyectos.
- **Anexo T:** Proyecto típico para redes de baja tensión.
- **Anexo U:** Proyecto típico de redes de media tensión.
- **Anexo V:** Guía para el trazado de líneas.
- **Anexo W:** Formato de actualización base de datos [3].

## **2.3 Redes de distribución de energía eléctrica**

Una red de distribución de energía eléctrica es la encargada de suministrar la electricidad desde la subestación hasta los usuarios finales. Estas redes se dividen en redes de media tensión y redes de baja tensión, siendo las primeras las que comunican las subestaciones de alta tensión con las subestaciones de baja tensión y las segundas las redes de suministro a usuarios finales [12].

### **2.3.1 Redes eléctricas de Media y Baja tensión (MT, BT)**

Se consideran redes eléctricas de baja tensión a toda red que posea una tensión entre 25 y 1000 voltios, para el caso de media tensión, se consideran voltajes entre 1.000 y 57.500 voltios, dependiendo de las características del punto de conexión [13].

### **2.3.2 Redes eléctricas de acuerdo a la ubicación geográfica**

Las redes de distribución eléctricas tienen variantes de acuerdo a su ubicación geográfica, es por ello que existen las siguientes localizaciones para atender la demanda eléctrica de los usuarios.

### **2.3.2.1 Redes eléctricas urbanas**

Las redes eléctricas de la zona urbana se diferencian de las demás debido a sus características de diseño y construcción, que están enfocadas a zonas con alta capacidad de usuarios y beneficios gracias a su ubicación geográfica, a continuación, se describen algunas de las principales características de este tipo de redes [14].

- Concentración de usuarios.
- Facilidad de acceso.
- Variedad en solicitud de carga eléctrica para usuarios.
- Utilización de conductores eléctricos en aluminio con acero reforzado (ACSR) y cobre.
- Cargas bifilares, trifilares y trifásicas.
- Posteadura en concreto.
- Cooperación entre los trazados de la red con otras redes como, telefonía, internet etc [14].

### **2.3.2.2 Redes eléctricas rurales**

Las redes eléctricas de la zona rural tienen unas características de diseño y construcción de mayor complejidad debido a su ubicación geográfica, ya que por ser pertenecientes a zonas de difícil acceso se requiere de un alto grado de responsabilidad para ejecutar este tipo de obras. A continuación, se pre describen algunas de las principales características de este tipo de redes [14].

- Usuarios dispersos.
- Cargas monofásicas, principalmente de iluminación, calefacción y pequeños motores.
- Dificultad de acceso con materiales, equipo para construcción y/o reparación.
- Aumento de costos por acceso a la zona de construcción y operación de las redes.
- Posteadura en fibra de vidrio o metal.
- Utilización de conductores eléctricos de aluminio con acero reforzado (ACSR).
- Utilización de transformadores monofásicos [14].

## **2.4 Redes eléctricas de acuerdo al tipo de construcción**

Las redes de distribución eléctrica pueden tener diferentes tipos de construcción como: Redes subterráneas, aéreas o híbridas, en este apartado se hablará acerca de las redes eléctricas aéreas debido a su utilización en el proyecto.



### **2.4.1 Redes eléctricas aéreas**

Para este tipo de construcción, las redes permanecen suspendidas en el aire y soportadas por las estructuras de armado de los postes, que dependiendo la ubicación geográfica serán de concreto, fibra de vidrio o metal. Las redes en media tensión usualmente son en conductor desnudo ACSR, y en baja tensión en conductor recubierto trenzado [14].

Este tipo de redes posee una serie de ventajas y desventajas respecto a las demás, las cuales se especifican a continuación:

Ventajas:

- Costos de construcción bajo
- Tiempo de construcción bajo
- Usualmente las más utilizadas
- Fácil mantenimiento
- Fácil localización de fallas

Desventajas:

- Presentación estética de la instalación eléctrica.
- Susceptibles a daños por efectos de ambiente, lluvia, viento, descargas atmosféricas.
- Inseguridad debido a que las redes se encuentran por encima o en paralelo a construcciones, viviendas o personas.
- Susceptibles a cortes en el servicio, debido a hurto de los dispositivos o conductores eléctricos.
- Susceptible a pérdida de regulación de tensión debido a conexiones ilegales [14].

### **2.4.2 Redes eléctricas de acuerdo al voltaje nominal**

En Colombia las redes eléctricas se dividen en dos tipos dependiendo del voltaje nominal las cuales son, redes de distribución primarias y redes de distribución secundarias [14].

#### **2.4.2.1 Redes eléctricas primarias**

Las redes primarias hacen referencia a las redes de media tensión que se encuentran en la parte más alta de los postes, los valores de tensión de estas redes suelen ser variados 13.200 V, 34.700 V o 57.000 V. dependiendo del requerimiento.

En Colombia se establece un voltaje nominal de 13,2/7,62 KV para diseños eléctricos, con una configuración estrella con un neutro sólido a tierra, ver figura 4 [14].

### **2.4.2.2 Redes eléctricas secundarias**

Las redes secundarias hacen referencia a redes de baja tensión con voltaje variante entre 120 v y 480 v dependiendo de la configuración y el tipo de carga a alimentar.

En la figura 4 se aprecia los distintos tipos de configuración para los sistemas eléctricos secundarios [14].

## **2.5 Clasificación de las redes eléctricas de acuerdo al tipo de carga**

Las redes se clasifican de acuerdo a la carga que consume el usuario, en Colombia existen diferentes tipos de cargas que se clasifican de la siguiente manera [14].

- Cargas residenciales
- Cargas comerciales
- Cargas industriales

### **2.5.1 Cargas residenciales**

Estas cargas contemplan las edificaciones donde residen familias, pueden ser apartamentos, casas, condominios etc, generalmente este tipo de cargas son resistivas las cuales abarcan alumbrado y calefacción, aunque se pueden encontrar en mínima cantidad cargas reactivas, que comprenden motores para frigoríficos, congeladores etc, las cuales generar ruido electromagnético y pérdida en la red eléctrica, finalmente, estos casos se dan dependiendo del estrato socioeconómico del usuario [14].

La carga eléctrica se divide según la clase socioeconómica así:

- Clase alta – estratos 5,6
- Clase media – estratos 3,4
- Clase baja – estratos 0,1,2

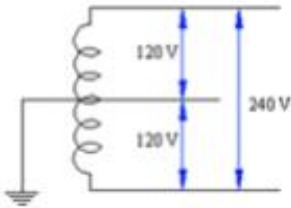
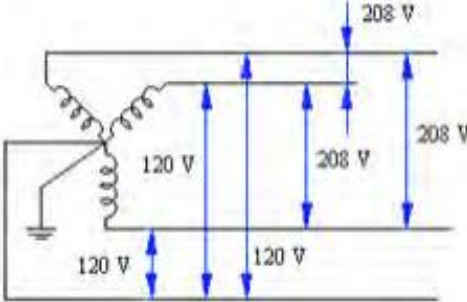
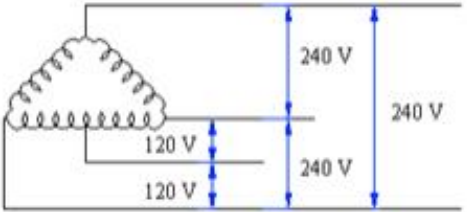
Voltaje secundario y tipo de sistema	Diagrama de conexiones y voltajes secundarios	Utilización y disposición recomendada
120 / 240 V. Monofásico trifilar Neutro sólido a tierra		Zonas residenciales urbanas. Zonas rurales - Alumbrado público. Redes aéreas. Subterránea en zonas residenciales clase alta.
120 / 208 V Trifásico tetrafilar en estrella Neutro sólido a tierra		Zonas comerciales e industriales. Zonas residenciales urbanas. Zonas rurales con cargas trifásicas. Alumbrado público. Redes aéreas. Subterránea en zonas centricas.
120 / 240 V Trifásico tetrafilar en $\Delta$ con devanado partido		Zonas comerciales e industriales. Zonas residenciales urbanas Zonas rurales con cargas trifásicas. Alumbrado público. Redes aéreas. Subterránea según especificaciones.

Figura 4: Configuración para sistemas eléctricos secundarios, Fuente [14]

### 2.5.2 Cargas comerciales

Este tipo de cargas comprenden las edificaciones utilizadas para el trabajo diario o comercio, tales como oficinas y grandes centros comerciales. Generalmente la carga es resistiva, pero en casos poseen un componente inductivo que afecta el factor de potencia [14].

### **2.5.3 Cargas industriales**

Este tipo de cargas son especiales, ya que por ser industriales poseen un importante nivel resistivo debido a la gran cantidad de motores instalados, generalmente son sometidas a correcciones en el factor de potencia, adicionalmente, es necesario independizar las redes de fuerza motriz para no someter a cambio las demás como las de calefacción y alumbrado [14].

### **2.6 Estructuras para el montaje de redes aéreas de distribución eléctrica**

Para el respectivo montaje o construcción de las redes eléctricas aéreas, es necesario conocer las diferentes estructuras o materiales utilizados para tal fin, estos materiales deben cumplir con la normatividad RETIE y así poder garantizar un diseño estructural que cumpla con los requisitos establecidos para su correcto funcionamiento.

- **Postes**

Son las estructuras principales del montaje de las redes, ya que debido a ellos se tiene altura y apoyo para el tendido del conductor. Los postes se seleccionan por longitud, carga de rotura y carga de trabajo (Kgf) o material de fabricación, estos parámetros son de gran ayuda a la hora de ejecutar las obras de construcción de las redes, debido a que los postes pueden ser en fibra de vidrio, metálicos o de concreto, permitiendo así poder seleccionar la opción más viable evaluando variables como terreno de construcción, presupuesto y tiempo [3].

- **Postes de media tensión**

Este tipo de poste es el encargado de transportar el conductor de las redes eléctricas de media tensión, en algunos casos y donde sea necesario se adiciona un centro de transformación o transformador para desplegar una red de baja tensión.

Existen diferentes materiales de construcción para este tipo de postes, esto depende del lugar y tipo de red a instalar, algunos más utilizados son:

- Poste 12 m x 510 Kgf, 12 m x 750 Kgf, 12 m x 1050 Kgf fibra de vidrio
- Poste 12 m x 510 Kgf, 12 m x 750 Kgf, 12 m x 1050 Kgf metálico
- Poste 12 m x 510 Kgf, 12 m x 750 Kgf, 12 m x 1050 Kgf de concreto

- **Postes de baja tensión**

Al igual que los postes de media tensión, estos son encargados de transportar únicamente el conductor de las redes eléctricas de baja tensión.

Existen diferentes materiales de fabricación para este tipo de postes, esto depende del lugar y tipo de red a instalar, algunos más utilizados son:

- Poste 9 m x 510 Kgf en fibra de vidrio
- Poste 9 m x 510 Kgf metálico
- Poste 9 m x 510 Kgf de concreto

- **Conductores**

Los conductores son los encargados de transportar la energía eléctrica desde las subestaciones principales por toda la red hasta el centro de transformación de baja tensión y finalmente al usuario, del estado del conductor depende la calidad de la energía que recibe el usuario final [3].

- **Conductores primarios o de media tensión**

Para el transporte de la energía por el conductor en media tensión se utiliza de tipo ACSR Y AAAC desnudo en calibre generalmente 1/0 AWG, ver figura 5 [3].



*Figura 5: Conductor ACSR. Fuente [15]*

- **Conductores secundarios o de baja tensión**

En la sección de baja tensión se utiliza el conductor de tipo vestido trenzado AAC en fases y AAAC en neutro, esto con el fin de mejorar el servicio de energía cambiando el cable desnudo por uno vestido trenzado más compacto, adicionalmente para evitar las conexiones ilegales y el hurto del mismo, ver figura 6 [3].



Figura 6: Conductor trenzado Tríplex. Fuente [16]

- **Crucetas**

Las crucetas se colocan en los postes para permitir que el conductor se posicione como paso o terminal en el poste, adicionalmente para cumplir con las distancias de seguridad exigidas por la normatividad RETIE, estas son aseguradas con herrajes que cumplan la norma para asegurar el anclaje entre cruceta y poste. Existen muchas combinaciones para el armado de un poste con crucetas, todo depende del tipo de red y lugar de instalación, el material comúnmente utilizado para este tipo de herramientas es el metal [3], en la figura 7 se representa un armado típico con crucetas metálicas.



Figura 7: Crucetas metálicas para armado de postes. Fuente [17].

- **Aisladores**

Los aisladores, como su nombre lo indica se utilizan para aislar los conductores de otro tipo de materiales, especialmente cuando salen, pasan o llegan a un poste.

Los aisladores se utilizan dependiendo del valor de tensión que transporta la red y deben cumplir diferentes normas para garantizar un aislamiento total de la energía con otros materiales. Comúnmente se utilizan aisladores cerámicos o poliméricos, en la figura 8 se observan los tipos de aisladores [3].



*Figura 8: Tipos de aisladores eléctricos. Fuente [18]*

- **Herrajes**

Los herrajes hacen una parte muy importante en el armado de las estructuras, debido a que son estos quienes aseguran el anclaje de los diferentes materiales en el poste y crucetas. Estas herramientas al igual que las demás deben cumplir ciertas características que contempla el RETIE para ser utilizadas en el diseño y construcción de las redes eléctricas, en la figura 9 se representan algunos de los más comunes [3].



Figura 9: Herrajes metálicos eléctricos. Fuente [19]

- **Cortacircuitos**

Los cortacircuitos o seccionadores se encargan de cortar el paso de la corriente dependiendo de la necesidad del operador de red o del comportamiento de la misma en caso de falla, son de gran ayuda para realizar labores de reconexión, ampliación y mantenimiento de la red eléctrica [3].

Actualmente en el mercado existen diferentes tipos de cortacircuitos, los más comunes son los switches, interruptores y reconectores, los más utilizados son los cortacircuitos tipo fusible, ver figura 10.



Figura 10: Cortacircuitos. Fuente [20]



- **Transformadores**

Los transformadores o centros de transformación, son parte importante en una red eléctrica, ya que permite la reducción de la tensión transportada por la red primaria para ser pasada a la red secundaria y finalmente alimentar a los usuarios finales.

Existen transformadores monofásicos, bifásicos y trifásicos, los monofásicos con valores de potencia de 10, 25, 37.5, 50 y 75 KVA y los trifásicos 30, 45, 75, 112.5 y 150 KVA, cada uno de ellos con configuración de 1 fase y 1 neutro, 2 fases y 1 neutro y 3 fases y 1 neutro respectivamente. Su aplicación es dependiendo del tipo de red y usuarios finales. Generalmente en proyectos de electrificación rural se utilizan de tipo monofásico debido a las condiciones de los usuarios, en la figura 11 se representa un transformador monofásico convencional [3].

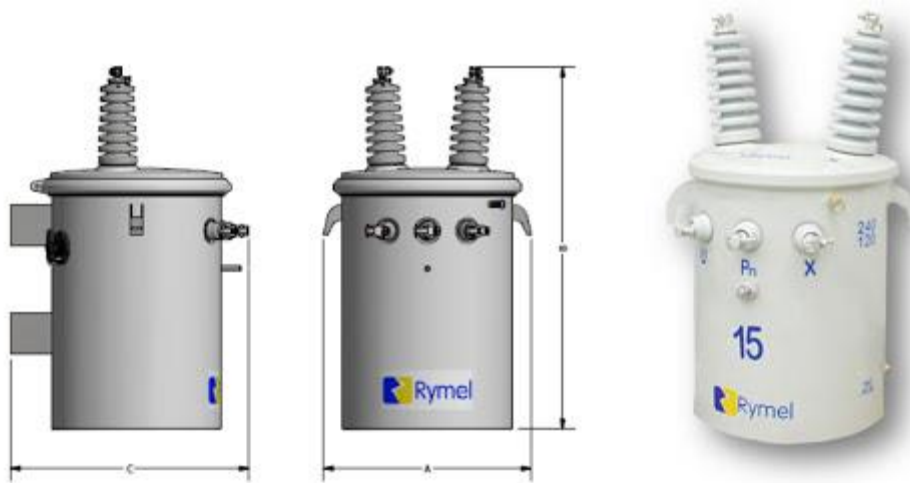


Figura 11: Transformador monofásico convencional. Fuente [21]

## 2.7 Armado de estructuras

Para que una red de distribución eléctrica sea diseñada y construida bajo los estándares de calidad requeridos, se hace necesario el reconocimiento de los tipos de armados de las estructuras que soportan los conductores y centros de transformación, así se tiene claridad de las distintas opciones que tome el tendido de la red dependiendo del terreno y lugar donde va a ser instalada.

### 2.7.1 Armado de estructuras en media tensión

En media tensión estructuras de:

- Estructura de arranque.
- Estructura de paso.
- Estructura de retención.
- Estructura terminal.

Cada una de las estructuras anteriores cuenta con un armado diferente dependiendo el caso donde se requiera, algunas llevan un número más elevado de crucetas y retenidas que otras, también dependiendo de la red, si es trifásica o monofásica y los vanos a los cuales va a ser aplicada. En la figura 12 se especifican los tipos de armado para las estructuras de media tensión.

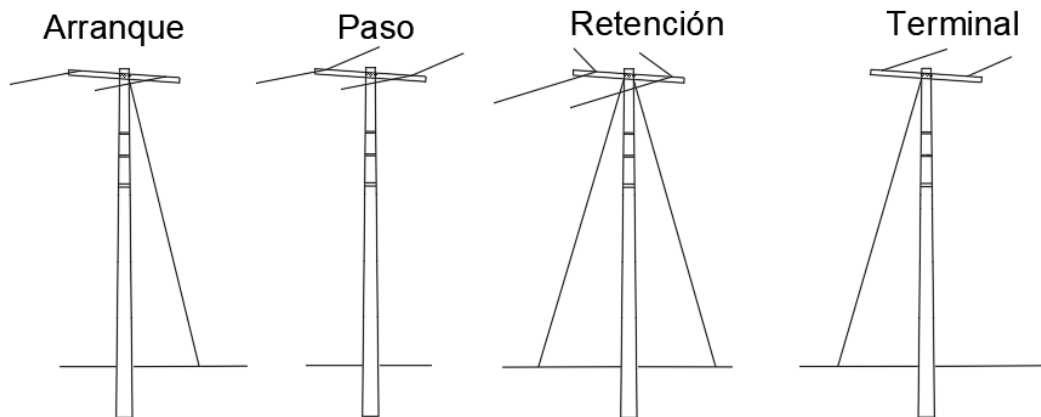


Figura 12: Estructuras media tensión con conductor desnudo. Fuente propia.

### 2.7.1 Armado de estructuras en baja tensión

Al igual que las estructuras de media tensión, estas estructuras requieren:

- Estructura de arranque
- Estructura de paso
- Estructura de retención
- Estructura terminal

Aunque el tipo de armados para baja tensión es un poco más sencillo, cabe resaltar que también aplican las mismas normas de construcción que las de media tensión, siguiendo todos los requerimientos para un diseño y construcción óptimo, así mismo, el armado depende de diferentes factores como el terreno, el tipo de red, etc, donde podrá llevar o no diferentes tipos de herramientas para el armado, ver figura 13.

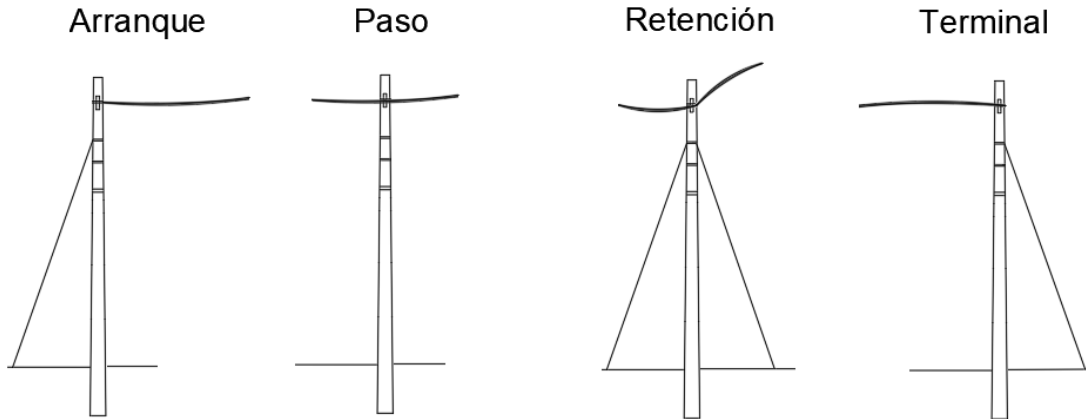


Figura 13: Estructuras baja tensión con conductor desnudo. Fuente propia.

## 2.8 Distancias mínimas de seguridad establecidas en el RETIE.

De acuerdo al reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE, es necesario garantizar la seguridad de las personas en los diferentes casos que se puedan presentar al momento de diseñar o construir redes eléctricas, para ello se exponen las diferentes distancias mínimas de seguridad que deben llevar las redes entre ellas mismas y en zonas habitadas o con construcciones.

A continuación, se presentan las distancias mínimas de seguridad para zonas con construcciones, tabla 1 y 2.

Adicionalmente en la tabla 3, se exponen demás situaciones en las que se debe aplicar distancia de seguridad dependiendo de la tensión en la red.

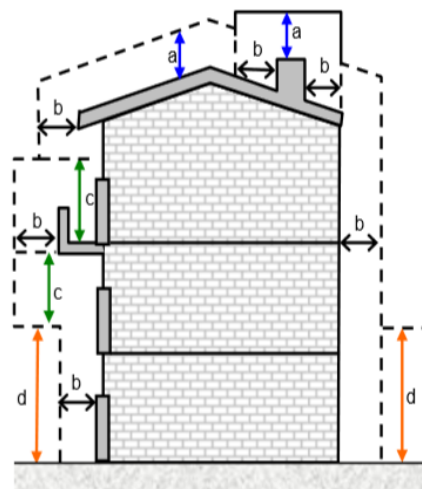
DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD EN ZONAS CON CONSTRUCCIONES		
Descripción	Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)
Distancia vertical "a" sobre techos y proyecciones, aplicable solamente a zonas de muy difícil acceso a personas y siempre que el propietario o tenedor de la instalación eléctrica tenga absoluto control tanto de la instalación como de la edificación (Figura 13.1).	44/34,5/33	3,8
	13,8/13,2/11,4/7,6	3,8
	<1	0,45
Distancia horizontal "b" a muros, balcones, salientes, ventanas y diferentes áreas independientemente de la facilidad de accesibilidad de personas. (Figura 13.1)	66/57,5	2,5
	44/34,5/33	2,3
	13,8/13,2/11,4/7,6	2,3
	<1	1,7
Distancia vertical "c" sobre o debajo de balcones o techos de fácil acceso a personas, y sobre techos accesibles a vehículos de máximo 2,45 m de altura. (Figura 13.1)	44/34,5/33	4,1
	13,8/13,2/11,4/7,6	4,1
	<1	3,5
Distancia vertical "d" a carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular. (Figura 13.1) para vehículos de más de 2,45 m de altura.	115/110	6,1
	66/57,5	5,8
	44/34,5/33	5,6
	13,8/13,2/11,4/7,6	5,6
	<1	5

Tabla 1: Distancias mínimas de seguridad en zonas con construcciones. Fuente [1].

Igualmente, en instalaciones construidas bajo criterio de la norma **IEC 60364**, para tensiones mayores de **1 kV**, se deben tener en cuenta y aplicar las distancias de la **IEC 61936 -1**.

Únicamente se permite el paso de conductores por encima de construcciones (distancia vertical "a") cuando el tenedor de la instalación eléctrica tenga absoluto control, tanto de la instalación eléctrica como de las modificaciones de la edificación o estructura de la planta. Entendido esto como la administración, operación y mantenimiento, tanto de la edificación como de la instalación eléctrica.

En ningún caso se permitirá el paso de conductores de redes o líneas del servicio público, por encima de edificaciones donde se tenga presencia de personas.



**Figura 13.1. Distancias de seguridad en zonas con construcciones**

*Tabla 2: Guía distancias mínimas de seguridad en zona con construcciones. Fuente [1]*

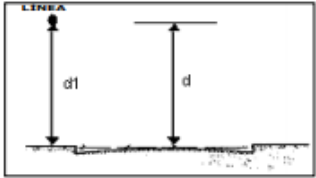
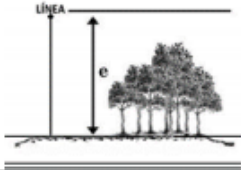
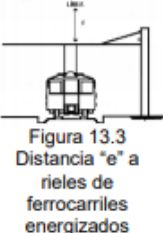
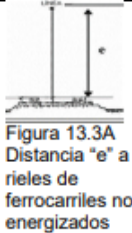
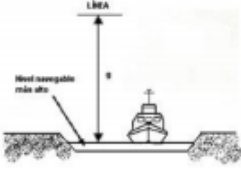
DESCRIPCIÓN		Tensión nominal entre fases (kV)	Distancia (m)	
			(A)	(B)
 <p>Figura 13.2. Distancias "d" y "d1" en cruce y recorridos de vías</p>	(A) Distancia mínima al suelo "d" en cruces con carreteras, calles, callejones, zonas peatonales, áreas sujetas a tráfico vehicular y (B) Distancia mínima al suelo "d1" desde líneas que recorren avenidas, carreteras y calles (Figura 13.2).	500	11,5	11,5
		230/220	8,5	8,0
		115/110	6,1	6,1
		66/57,5	5,8	5,8
		44/34,5/33	5,6	5,6
		13,8/13,2/11,4/7,6	5,6	5,6
		<1	5,0	5,0
		<1	5,6	No aplica
	(A) Distancia mínima vertical al piso en cruce por espacios usados ocasionalmente como campos abiertos para actividades deportivas o recreacionales, siempre y cuando no cuenten con construcciones dentro de la zona de servidumbre. (B) Distancia mínima horizontal en cruce cercano a construcciones asociadas a campos deportivos.	500	14,6	11,1
		230/220	12,8	9,3
		115/110	12	7,0
		66/57,5	12	7,0
		44/34,5/33	12	7,0
		13,8/13,2/11,4/7,6	12	7,0
 <p>Figura 13.2. Distancia "e" en zonas de bosques, huertos, controlados, cultivos</p>	(A) Distancia mínima al suelo "e" en zonas de bosques de arbustos, áreas cultivadas, pastos, huertos, etc. Siempre que se tenga el control de la altura máxima que pueden alcanzar las copas de los arbustos o huertos, localizados en la zona de servidumbre. (B) distancia mínima donde se dificulta el control absoluto del crecimiento de estas plantas y sus copas o ramas puedan ocasionar acercamientos a los conductores capaces de presentar arcos eléctricos, o se requiere la circulación de máquinas agrícolas de gran altura (Figura 13.2).	500	8,6	11,1
		230/220	6,8	9,3
		115/110	6,1	8,6
		66/57,5	5,8	8,3
		44/34,5/33	5,6	8,1
		13,8/13,2/11,4/7,6	5,6	8,1
 <p>Figura 13.3 Distancia "e" a rieles de ferrocarriles energizados</p>  <p>Figura 13.3A Distancia "e" a rieles de ferrocarriles no energizados</p>	(A) Distancia mínima vertical en el cruce "f" a los conductores alimentadores de ferrocarriles electrificados, teleféricos, tranvías y trole-buses. (B) distancia mínima al riel en cruces de ferrocarriles sin electrificar (Figura 13.3A)	500	4,8	12,9
		230/220	3,0	11,3
		115/110	2,3	10,6
		66/57,5	2,0	10,4
		44/34,5/33	1,8	10,2
		13,8/13,2/11,4/7,6	1,8	10,2
		<1	1,2	9,6
		<1	1,2	9,6
 <p>Figura 13.5</p>	(A) Distancia mínima vertical respecto del máximo nivel del agua "g" en cruce con ríos, lagos o canales navegables adecuados para embarcaciones con altura superior a 2 m y menor de 7 m y (B) Distancia mínima vertical respecto del máximo nivel del agua, para embarcaciones con altura menor o igual a 2 m (Figura 13.5)	500	12,9	9,6
		230/220	11,3	7,9
		115/110	10,6	6,3
		66/57,5	10,4	5,6
		44/34,5/33	10,2	5,4
		13,8/13,2/11,4/7,6	10,2	5,2
<1	9,6	5,2		

Tabla 3: Distancias mínimas de seguridad para diferentes situaciones. Fuente [1].

## 2.9 Equipos para la adquisición de información geográfica

Todo proyecto eléctrico parte de un recorrido en la zona, con el objetivo de determinar información geográfica para lograr proyectar el diseño y posteriormente la construcción de las redes eléctricas. Para ello se utilizan equipos GPS que permiten la geolocalización del terreno, usuarios y posibles puntos de conexión para redes proyectadas [22].

En el departamento del Cauca, la empresa, compañía energética de occidente es la encargada de calibrar y certificar los equipos de posicionamiento global GPS de

la marca Trimble, equipos avalados por la misma, en papel de operador de red para la ejecución de proyectos de infraestructura eléctrica, los equipos GPS son:

- **Equipos GPS Trimble**

Estos equipos GPS cuentan con soporte técnico por parte del distribuidor en Colombia y un alto nivel de confiabilidad en la obtención de información en campo, los cuales permiten capturar datos geográficos de manera confiable y oportuna, además de contar con un sistema de post proceso de la información que permite analizar y reducir el error entre la distancia de los puntos tomados en campo y la distancia real de referencia, para así garantizar el posicionamiento de los puntos referenciados durante el trabajo. [23].

En la figura 14 se puede observar las referencias GPS de la marca Trimble que se maneja en la empresa Electroenergizar Ingeniería Ltda.



*Figura 14: Equipo GPS Trimble Juno 3D. Fuente [23]*

Algunas de las características más relevantes de este equipo son:

- Sistema operativo Windows Mobile, con el paquete de office incluido.
- Cámara trasera de 5mp.
- Bluetooth, WIFI.
- Precisión en campo de 2-5 m, con pos proceso de 1-3m.
- 256 MB memoria RAM, 2 GB almacenamiento.
- Batería de 3060 mAh, recargable, hasta 14 horas de uso.
- Integrado con capacidad de datos y voz 3,7 G para simcard [23].

- **Equipos GPS Garmin**

Aunque estos equipos no son certificados por el operador de red, se utilizan normalmente en levantamientos topográficos en la etapa de estudio y diseño de proyectos eléctricos, ya que en la ejecución del proyecto se hace obligatorio la utilización de equipos certificados Trimble para la recolección de la información.

En la figura 15, se puede observar la referencia GPS de la marca Garmin que se maneja en la empresa Electroenergizar Ingeniería Ltda.



*Figura 15: Equipo GPS Garmin 64sc. Fuente [24]*

Algunas de las características más relevantes de este equipo son:

- Receptor GPS y GLONASS de alta sensibilidad con antena quad hélice.
- Bluetooth.
- Batería tipo AA de 1,5 v con duración hasta de 16 horas.
- Compás de 3 ejes con altímetro barométrico.
- Memoria de almacenamiento de 4GB [24].

## **2.10 Software de adquisición y procesamiento de información para el diseño de redes**

Para el procesamiento de la información obtenida en campo se utilizan una serie de programas para lograr manejar y obtener diseños detallados de las redes eléctricas proyectadas. Los programas más utilizados se mencionan a continuación.

- **AutoCAD**

Este software es mundialmente reconocido por ser uno de los programas más potentes para el diseño y trabajo de arquitectos, ingenieros y diseñadores industriales. En el diseño eléctrico, este software es indispensable para la representación de las redes eléctricas, utilizando capas, convenciones y bloques para obtener un control sobre la red diseñada [25].

- **Google Earth Pro**

Este software diseñado para obtener una vista de la superficie terrestre basado en fotografías satelitales, permite obtener información valiosa de puntos específicos sobre el mapa, permitiendo realizar rutas, perfiles geográficos y ubicaciones precisas con ayuda de coordenadas [26]. Para el diseño de redes se hace necesario la utilización de este programa debido a la facilidad de navegación por la tierra de manera virtual sin necesidad de salir del puesto de trabajo.

- **Global Mapper**

Éste es un sistema de información geográfica (SIG) que, debido a sus características de análisis de terreno y procesamiento de datos, permite la obtención de información valiosa en el diseño de redes, tales como curvas de nivel y perfiles de elevación, indispensables para determinar los vanos o tramos del recorrido de una red [27].

- **ArcGIS**

Este software pertenece al grupo de los SIG, debido a los equipos GPS Trimble se hace necesario la utilización de este programa para el post procesamiento de la información obtenida en campo [28].

- **BaseCamp**

Al igual que los equipos Trimble, para los Garmin es necesario la utilización de un software especializado en la marca [29], es por ello que se utiliza este programa para el post procesamiento de la información obtenida en campo.



### **CAPITULO III: DESARROLLO DE ESTUDIOS PARA EL DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE MORALES.**

#### **3.1 DATOS BÁSICOS DEL PROYECTO**

En la siguiente tabla 4 se describen algunos de los detalles más relevantes del macroproyecto de electrificación rural para el municipio de Morales.

ITEM	DETALLE
NOMBRE DEL ESTUDIO:	Estudio previo para el diseño de redes de distribución eléctrica del macroproyecto de electrificación rural denominado: "Construcción, ampliación, mejoramiento de redes eléctricas MT, BT y montaje de subestaciones de distribución tipo poste para habitantes de diferentes veredas del municipio de Morales en el Departamento del Cauca"
FECHA DE PRESENTACIÓN:	Enero de 2020
VALOR CONSULTORIA DEL PROYECTO:	\$ 200.000.000
OBJETIVO:	Construir, ampliar, mejorar redes eléctricas MT, BT para beneficiar habitantes de diferentes veredas del municipio de Morales en el Departamento del Cauca
BENEFICIARIOS DIRECTOS	968 viviendas según levantamiento topográfico realizado en las veredas: La Concordia, La Floresta, La Liberia, Chimborazo, Samaria, Santa Bárbara, Agua Negra.
FASE DEL PROYECTO:	Pre inversión

*Tabla 4: Información básica del proyecto. Fuente propia.*

### 3.1.1 Localización

El municipio de Morales Cauca se encuentra ubicado a 41 kilómetros de la ciudad de Popayán, su extensión es de 265 km<sup>2</sup>, parte de su territorio esta sobre la cordillera occidental, tiene límites con el municipio de Suarez y Buenos Aires al norte, Cajibío al sur, Piendamó y Caldono al oriente, El Tambo y López de Micay al occidente, ver figura 16.

La economía de este municipio se basa en la agricultura, cultivos como el café, maíz, plátano, yuca y caña son algunos de los apoyos económicos para las comunidades.

A continuación, se muestra información de interés.

**Alcalde:** Víctor Félix Sabogal Arboleda (2020-2023)

**Elevación:** 1635 m.s.n.m

**Georreferenciación:** 2.760541, -76.636258

**Gentilicio:** Moralense.

**Habitantes zona rural:** 26.707

**Habitantes zona urbana:** 1.564

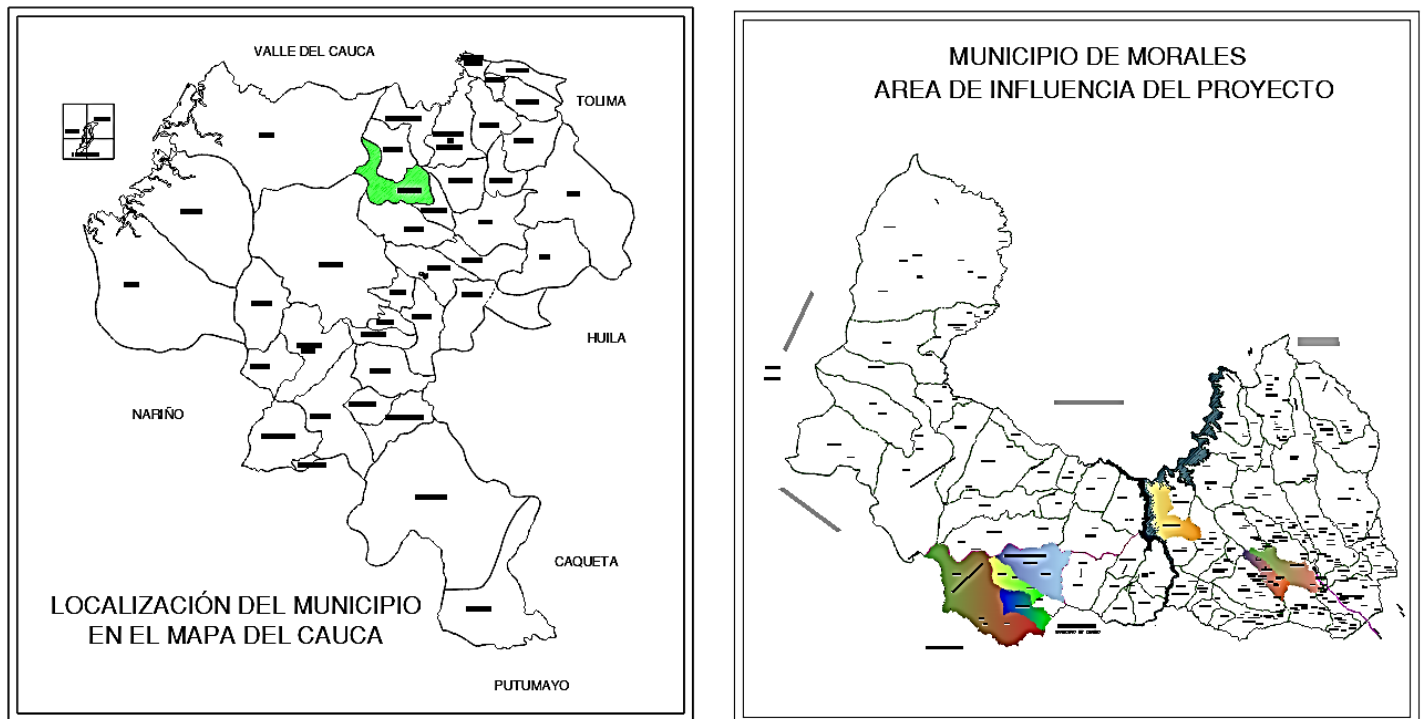


Figura 16: Mapa ubicación del proyecto. Fuente Sedagram Morales.

### **3.1.2 Levantamiento topográfico**

Para el desarrollo de las actividades del proyecto, fue necesario realizar una visita técnica a los lugares que se designaron para ser beneficiados, allí se realizaron distintas reuniones con líderes y la comunidad para la respectiva socialización del mismo, luego de ello la empresa Electroenergizar Ingeniería Ltda junto a su equipo técnico, realizó el levantamiento topográfico a las siete veredas involucradas, para con ello obtener información de suma importancia para el diseño y la estimación presupuestal del proyecto, algunos de los datos se obtenidos fueron:

1. Número de viviendas sin servicio eléctrico.
2. Número de habitantes por vivienda.
3. Coordenadas de ubicación de viviendas proyectadas y existentes.
4. Coordenadas de ubicación de posible instalación de estructuras MT, BT.
5. Coordenadas de ubicación de vías y caminos.
6. Coordenadas de ubicación de accidentes geográficos.
7. Registro fotográfico de terreno, viviendas, cc usuarios.
8. Coordenadas e identificación y de puntos de conexión.

### **3.1.3 Veredas a intervenir**

El macroproyecto de electrificación está proyectado para beneficiar siete veredas del municipio, las cuales son:

1. Vereda La Liberia
2. Vereda Samaria
3. Vereda Chimborazo
4. Vereda Agua Negra
5. Vereda Santa Bárbara
6. Vereda La Concordia
7. Vereda La Floresta

Veredas como La Liberia, Samaria, Chimborazo y Agua Negra hacen parte de la cordillera occidental, zona montañosa de difícil acceso, con población en su mayoría perteneciente a la etnia indígena Nasa con una minoría a campesinos y afros; la vereda Santa Bárbara está ubicada sobre la orilla de la represa salvajina, zona montañosa con población en su mayoría campesina y afro; por ultimo las veredas La Concordia y La Floresta pertenecen a la zona plana del municipio, las cuales cuentan con un población en su mayoría campesina y unas minorías indígenas. En la tabla 5 se encuentran las coordenadas y número de viviendas proyectadas por vereda.

NO.	NOMBRE VEREDA	COORDENADAS		NO. VIVIENDAS PROYECTADAS
		X	Y	
1	La Liberia	299344.3266	302089.5294	178
2	Samaria	300867.1774	303936.1387	158
3	Chimborazo	301381.1179	302531.1567	75
4	Agua Negra	301925.731	305039.021	191
5	Santa Bárbara	310129.864	308613.201	91
6	La Concordia	316590.2819	304153.1313	103
7	La Floresta	317764.223	304451.143	172
<b>TOTAL</b>				968

Tabla 5: Ubicación veredas y número de viviendas proyectadas. Fuente propia

### 3.1.4 Características generales de diseño

La compañía energética de occidente es la encargada de operar las redes eléctricas en el departamento del Cauca, en consecuencia, ha considerado que el desempeño electromecánico de las redes aéreas queda determinado por variables climáticas o meteorológicas de la zona en donde se realicen proyectos de electrificación, las variables a tener en cuenta dada su importancia, relevancia e influencia en el diseño son la temperatura ambiente y la velocidad de viento. Para mayor facilidad al trabajar con estas variables, la compañía energética de occidente ha dividido el departamento en dos zonas en las cuales existen cambios climáticos significativos dada su ubicación geográfica. En la Tabla 6 se evidencian las dos zonas climáticas aplicables y en la tabla 7 se evidencian las cabeceras municipales aplicables a cada zona de cambio climático.

VARIABLE	ZONA I	ZONA II
Velocidad de viento máxima sostenida diez minutas <sup>(1)</sup>	20,25 m/s	24,30 m/s
Temperatura mínima	5 °C	0 °C
Temperatura coincidente	10 °C	10 °C
Temperatura promedio	20 °C	15 °C
Temperatura máxima (ambiente) <sup>(2)</sup>	30 °C	25 °C

(1) Tiene un promedio de ocurrencia de 50 años.

(2) No incluye el incremento de temperatura por flujo de corriente en el conductor

Tabla 6: Características climáticas por zonas. Fuente [3].

ZONA I	ZONA II	
Buenos Aires	Argelia	Popayán
Caloto	Almaguer	Puracé(Coconuco)
Corinto	Balboa	Rosas
Florencia	Bolívar	San Sebastián
Mercaderes	Cajibío	Sotará (Paispamba)
Miranda	Caldono	Silvia
Patía(El Bordo)	El Tambo	Timbío
Piamonte	Inzá	Toribío
Puerto Tejada	Jambaló	Totoró
Suárez	La Vega	Morales
Sucre	La Sierra	Piendamó
Villa Rica		
Santander de Quilichao		

Tabla 7: Cabeceras municipales asociadas a cada zona. Fuente [3].

### 3.1.5 Características climáticas

De acuerdo a que el municipio de Morales se encuentra ubicado en la zona II según las tablas climáticas de la compañía energética de occidente, se requiere realizar el cálculo electromecánico de las redes aéreas, cables y apoyos con la siguiente información, tabla 8.

MUNICIPIO DE MORALES	ZONA II
Velocidad de viento máxima sostenida diez minutil	24,30 m/s
Temperatura mínima	0 °C
Temperatura coincidente	10 °C
Temperatura promedio	15 °C
Temperatura máxima (ambiente)	25 °C

Tabla 8: Características climáticas Morales. Fuente Propia.

### 3.1.6 Rangos de altura para cálculos mecánicos y perfiles longitudinales de terreno

Estas alturas se toman con referencia a la altura sobre el nivel del mar, para ello la compañía energética de occidente contempla tres opciones, las cuales definen unas categorías de terreno respecto al nivel de exposición al viento.

- A. Alturas menores de 1000 msnm.
- B. Alturas entre 1000 y 2000 msnm.
- C. Alturas mayores de 2000 msnm.

La tabla 9. Describe las categorías.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLOS	LIMITACIONES
B	Terreno abierto, plano u ondulado, con pocos obstáculos.	Terreno plano u ondulado con obstrucciones de arbustos o cercas alrededor de los campos, con árboles en algunos sitios y una que otra edificación. Como la mayoría de las zonas cultivadas y áreas rurales con excepción de aquellas partes muy boscosas.	Las obstrucciones tienen alturas de 1.5 a 10 m en una longitud mínima de 1500 m.
C	Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas.	Superficies cubiertas con numerosas obstrucciones de gran tamaño. Se supone que el nivel general de los techos y de los obstáculos es de 10 m, pero esta categoría comprende la mayoría de las áreas urbanas o aquellos terrenos muy boscosos.	Las obstrucciones presentan alturas de 3 a 5 m la longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 10 veces la altura de la construcción la que sea mayor.

Tabla 9: Categoría de terreno según nivel de exposición al viento. Fuente [3].

El municipio de Morales se encuentra a una altura de 1635 metros sobre el nivel del mar, teniendo en cuenta que algunas de las veredas a intervenir se encuentran sobre la cordillera occidental se presenta en la tabla 10 las diferentes alturas para determinar la categoría de terreno.

NO.	VEREDA	A.S.N.M
1	La Liberia	1933 m
2	Samaria	1884 m
3	Chimborazo	1803 m
4	Agua Negra	1939 m
5	Santa Bárbara	1761 m
6	La Concordia	1682 m
7	La Floresta	1668 m

Tabla 10: A.S.N.M veredas a intervenir. Fuente Propia.

De acuerdo a la información anterior, se debe optar por la categoría B para realizar los cálculos mecánicos en las veredas del municipio de Morales.

### **3.2 CRITERIOS DE PROYECCION Y DISEÑO**

Los criterios de proyección de los sistemas de distribución de energía y diseño del proyecto se rigen teniendo en cuenta las normas técnicas, considerando: niveles de tensión, fluctuación permisible, cargabilidad de redes y centros de transformación, adicionalmente requerimientos de calidad como: regulación de tensión y confiabilidad del servicio.

Teniendo en cuenta la posterior construcción y operación de las redes eléctricas, en el presente proyecto se consideran los siguientes criterios de diseño:

1. Tipo de red eléctrica
2. Caracterización de la carga
3. Configuración de la red eléctrica
4. Cálculos eléctricos

Lo anterior, con el objetivo de satisfacer las necesidades del usuario, teniendo en cuenta la seguridad, operación y economía del proyecto.

#### **3.2.1 Tipo de red eléctrica**

Teniendo en cuenta los criterios de diseño para redes eléctricas de la compañía energética de occidente y debido a que es un macroproyecto de electrificación rural, se proyectan redes eléctricas de media tensión (MT) a 13.200 Voltios y redes de baja tensión (BT) a 240/120 Voltios.

#### **3.2.2 Caracterización de la carga**

La caracterización de la carga se define por distintos parámetros que fijan los usuarios de las redes eléctricas, esto se basa en sus costumbres, estrato socioeconómico, zona habitacional y ambiente en general, este proceso es de suma importancia ya que puntualiza sobre el diseño y el análisis de funcionamiento del sistema eléctrico, además de atender el crecimiento de la demanda eléctrica en la zona.

Según el levantamiento topográfico de Electroenergizar Ingeniería, las veredas a intervenir pertenecen a una zona rural dedicada a la agricultura a baja escala y su estrato socioeconómico es de 1.

En la tabla 11 se muestra el valor en KVA de la caracterización de la carga (BT) aplicable a las viviendas de la zona rural del municipio de Morales.

Demanda Máxima Diversificada kVA						
No. Usuarios	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6
1	0,83	1,17	1,67	2,17	4	6,22
2	1,24	1,6	2,28	2,96	5,15	7,7
3	1,61	2,02	2,89	3,75	6,39	8,89
4	1,97	2,43	3,46	4,5	7,59	10,43
5	2,31	2,81	4,02	5,23	8,74	11,92
6	2,64	3,19	4,56	5,92	9,86	13,37
7	2,96	3,55	5,08	6,6	10,95	14,79
8	3,27	3,91	5,59	7,26	12,01	16,16
9	3,57	4,26	6,09	7,91	13,05	17,52
10	3,87	4,6	6,57	8,55	14,07	18,84
11	4,17	4,94	7,06	9,17	15,08	20,14
12	4,46	5,27	7,53	9,79	16,06	21,43
13	4,75	5,6	8	10,39	17,04	22,69
14	5,03	5,92	8,46	10,99	18	23,94
15	5,31	6,24	8,91	11,58	18,95	25,17
16	5,59	6,55	9,36	12,17	19,89	26,39
17	5,86	6,87	9,81	12,75	20,82	27,6
18	6,13	7,17	10,25	13,32	21,74	28,79
19	6,4	7,48	10,69	13,89	22,65	29,97
20	6,67	7,79	11,12	14,46	23,55	31,14
21	6,94	8,09	11,55	15,02	24,45	32,31
22	7,2	8,39	11,98	15,57	25,34	33,46
23	7,46	8,68	12,4	16,13	26,22	34,61
24	7,72	8,98	12,83	16,67	27,1	35,74
25	7,98	9,27	13,24	17,22	27,97	36,87
26	8,24	9,56	13,66	17,76	28,84	37,99
27	8,5	9,85	14,07	18,3	29,7	39,11
28	8,75	10,14	14,49	18,83	30,55	40,22
29	9,01	10,43	14,9	19,36	31,4	41,32
30	9,26	10,71	15,3	19,89	32,25	42,41

Tabla 11: Demanda máxima diversificada KVA. Fuente [30].



### 3.2.3 Configuración de la red eléctrica

Entre los tipos de configuración de sistemas de distribución eléctrica, los de uso común son:

1. sistema radial
2. sistema anillo
3. sistema en malla o mallado

cada uno de ellos está diseñado para cumplir con las diferentes características que podría tomar una red eléctrica de media tensión, tales como, topografía, cantidad de carga en zona rural o urbana, cambios climáticos, etc. Teniendo en cuenta que en el municipio de Morales la zona a intervenir es rural, de difícil acceso y con una carga proyectada razonable, se define la configuración tipo radial para proveer el servicio. Ver figura 17.

A continuación, se exponen las principales características del sistema radial.

- Bajo costo en construcción y mantenimiento.
- Menor cantidad de equipos para construcción y posterior mantenimiento.
- Una sola trayectoria entre la fuente y la carga.
- Fácil distribución en múltiples ramales.

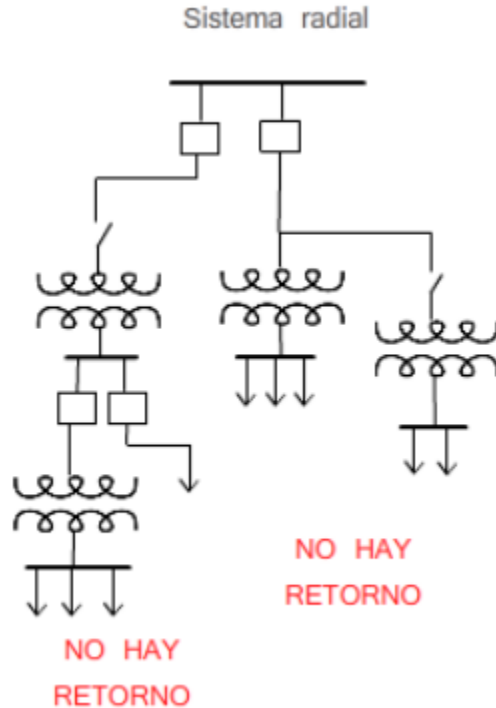


Figura 17: Forma simple de un sistema radial. Fuente [31].

### 3.2.3.1 Red de Media Tensión a 13,2 KV

Tal como se aprecia en el capítulo 3.2.1, la red de media tensión proyectada es de 13,2 KV, adicionalmente esta red debe cumplir con el siguiente criterio de diseño para la zona rural:

- De tipo trifásico trifilar para cargas mayores a 100 KVA.
- En casos puntuales de tipo bifilar con carga menor a 100 KVA.

#### 3.2.3.1.1 Tipo de conductor para red 13,2 KV

Teniendo en cuenta los criterios de diseño de la compañía energética de occidente, el cable a utilizar debe ser tipo Aluminium conductor steel-reinforced (ACSR), ya que su diseño trenzado de aluminio y acero permite un alta resistencia mecánica y alta capacidad de corriente.

En la tabla 12 se especifica la aplicabilidad según la zona de construcción de la red.

TIPO DE CABLE	APLICACIÓN
ACSR 266,8 MCM	Circuitos Cero de Arquitectura de Red
ACSR 4/0 AWG	Circuitos Primarios, Ramales derivados Urbanos
ACSR 1/0 AWG	Ramales derivados , urbanos y rurales

Tabla 12: Aplicabilidad de cable tipo ACSR. Fuente [3].

Para el macroproyecto del municipio de Morales se establece el tipo de cable ACSR 1/0 AWG, en dos o tres hilos dependiendo la carga eléctrica a transportar.

En la tabla 13 se especifican las características dimensionales, eléctricas y mecánicas para el tipo de cable ACSR.

CARACTERÍSTICAS		266,8 kcmil	4/0 AWG	1/0 AWG	
Dimensionales	Diámetro Nominal del Cable (mm)	16,307	14,31	10,11	
	Peso (daN/m)	0,5355	0,4246	0,2118	
	Sección Transversal	Total (mm <sup>2</sup> )	157,22	125,1	62,46
		Aluminio (mm <sup>2</sup> )	135,19	107,22	53,54
Acero (mm <sup>2</sup> )		22,02	17,87	8,92	
Eléctricas	Resistencia Eléctrica en CA a 75°C (Ω/km)	0,2546	0,3868	0,7102	
	Resistencia Eléctrica en CC a 20°C (Ω/km)	0,2092	0,2611	0,5232	
	Intensidad Max. Admisible (A) (*)	480	375	251	
Mecánicas	Carga de Rotura (daN)	≥5028	≥3716	≥1 949	
	Modulo de elasticidad (daN/mm <sup>2</sup> )	≤7 700	≤7 700	≤8 100	
	Coefficiente de dilatación lineal (°C <sup>-1</sup> )	≤ 18,9 x 10 <sup>-6</sup>	≤ 19,1 x 10 <sup>-6</sup>		

\*Valores calculados e(\*)En las siguientes condiciones: T. Ambiente: 20°C, T. Conductor: 75 °C, velocidad del viento: 0,6 m/s y sin radiación solar.

Tabla 13: Características cable tipo ACSR. Fuente [3].

### 3.2.3.2 Red de Baja Tensión 240/120 V

Tal como se aprecia en el capítulo 3.2.1, la red de baja tensión proyectada es de 120/240 V, adicionalmente esta red debe cumplir con el siguiente criterio de diseño para la zona rural:

- De tipo monofásico trifilar para 240 V donde aplique.
- De tipo monofásico bifilar para 120 V.

#### 3.2.3.2.1 Tipo de conductor para red 240/120 V

Teniendo en cuenta los criterios de diseño de la compañía energética de occidente, el cable a utilizar debe ser tipo All Aluminium Conductor (AAC) para las fases y ACSR aislado para el neutro, este conductor ofrece una alta capacidad de transmisión de corriente además de ser altamente resistivo a la corrosión.

En la tabla 14 se especifican las características para los tipos de cable AAC en BT.

TIPO DE CABLE TRENZADO	FASES	NEUTRO
Tríplex No. 2 AWG	2 x 2 AAC	1 x 2 ACSR
Tríplex No. 1/0 AWG	2 x 1/0 AAC	1 x 1/0 ACSR
Tríplex No. 4/0 AWG	2 x 4/0 AAC	1 x 4/0 ACSR
Cuádruplex No. 1/0 AWG	3 x 1/0 AAC	1 x 1/0 ACSR
Cuádruplex No. 4/0 AWG	3 x 4/0 AAC	1 x 4/0 ACSR

Tabla 14: Características tipo de conductor AAC BT. Fuente [3].

Para el macroproyecto del municipio de Morales se establece tipo de cable AAC con neutro en ACSR, tríplex No. 2 AWG y tríplices No. 1/0 AWG dependiendo el caso o ramal de aplicación.

En la tabla 15 se especifican las características dimensionales, eléctricas y mecánicas para el tipo de cable AAC.

PARÁMETROS	TRÍPLEX 2 AWG	TRIPLEX 1/0 AWG	CUÁDRUPLEX 1/0 AWG	TRIPLEX 4/0 AWG	CUÁDRUPLE X 4/0 AWG
Sección de la fase (mm <sup>2</sup> )	33,62	53,54	53,54	107,22	107,22
Sección Total del neutro (mm <sup>2</sup> )	39,22	62,46	62,46	125,1	125,1
No. Alambres de la fase	7	13+6	13+6	13 + 6	13 + 6
No. Alambres del neutro (aluminio + acero)	6 + 1	6 + 1	6 + 1	6 + 1	6 + 1
Diámetro aproximado del haz (mm)	21	27	33	35	40
Peso del haz (daN/m)	0,351	0,631	0,870	1,189	1,570
Carga de rotura del neutro (daN)	1 290	1 949	1 949	3 716	3 716
Resistencia eléctrica en C.C. a 20°C (Ω/km) Conductor de Fase	≤0,856	≤ 0,538	≤ 0,538	≤ 0,269	≤ 0,269
Resistencia eléctrica en C.C. a 60°C (Ω/km) Conductor de Fase	≤ 0,99	≤ 0,63	≤ 0,63	≤ 0,31	≤ 0,31
Intensidad máxima admisible (A) *	150	205	180	300	275

\* Valores calculados en las siguientes condiciones: T. Ambiente: 20°C, T. Conductor: 75 °C, velocidad del viento: 0,6 m/s y sin radiación solar.

Tabla 15: Características eléctricas, dimensionales y mecánicas conductor tipo AAC. Fuente [3].

### 3.2.4 Cálculos eléctricos

Dentro del estudio propuesto para la realización del diseño de las redes de distribución eléctricas se plantean las siguientes variables para sus respectivos cálculos eléctricos en media tensión (MT) y baja tensión (BT).

1. Corriente nominal
2. Regulación de tensión
3. Cálculo de transformador

#### 3.2.4.1 Cálculos eléctricos en media tensión (MT)

En MT, según los criterios de diseño de la compañía energética de occidente, se deben aplicar las siguientes consideraciones:

1. Verificar que la corriente nominal que consume la carga a alimentar no excede la máxima corriente que soporta el conductor.
2. Verificar que no se exceden los límites de caída de tensión (7%).

##### 3.2.4.1.1 Corriente nominal

Para el cálculo de la corriente nominal se utiliza la siguiente expresión:

1. Sistema Trifásico:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * V} \text{ (Ecuación 1)}$$

2. Sistema Bifásico (Monofásico Bifilar):

$$I = \frac{S}{V} \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde:

*I = Intensidad de línea o corriente nominal de operación (A).*

*S = Sumatoria de las demandas máximas (KVA).*

*V = Tensión de línea de fase- fase (KV).*

### 3.2.4.1.2 Regulación de tensión

Para el cálculo de la caída de tensión o regulación de tensión es importante tener en cuenta que estos cálculos se deberán realizar a un tramo de línea, siendo la caída total de tensión la suma de las caídas en cada uno de los tramos intermedios.

Se utiliza el cálculo del momento eléctrico cuyo porcentaje está dado por la siguiente expresión:

$$\% \Delta V = K_v * P * L \text{ (Ecuación 3)}$$

Donde:

$$K_v = \text{Constante de regulación (\%/KVA*m)}$$

$$P = \text{Potencia a transportar (KVA)}$$

$$L = \text{Longitud de la línea (Km)}$$

La constante de regulación será seleccionada de acuerdo a los de los criterios de diseño de la compañía energética de occidente, en la tabla 16 se describen las constantes para las diferentes configuraciones de montaje de la red.

CONDUCTOR	Configuración de la Red 13,2 kV						
	Triangular	Bandera	Bandera (circuito doble)	Vertical	Horizontal	Horizontal (circuito doble)	Compacta
ACSR 1/0 AWG (RAVEN)	0.0005602	0.0005476	0.0005501	0.0005539	0.0005601	0.0005722	0.0005527
ACSR 4/0 AWG (PENGUIN)	0.0003617	0.0003490	0.0003515	0.0003553	0.0003616	0.0003736	0.0003542
ACSR 266,8 kcmil (PARTRIDGE)	0.0002636	0.0002510	0.0002534	0.0002572	0.0002635	0.0002756	0.0002561

Tabla 16: Constantes de regulación red 13,2 KV. Fuente [32].

### 3.2.4.1.3 Calculo de la potencia del transformador

El cálculo de la potencia del transformador se debe realizar dependiendo de la cantidad de usuarios y la carga que se asigna a cada uno, teniendo en cuenta el estrato socioeconómico al que pertenecen, adicionalmente y de acuerdo al proyecto, los transformadores se proyectan a cinco años, razón por la cual el cálculo de la potencia se debe hacer con una tasa de crecimiento anual a cinco años.

Datos de cálculo de la potencia del transformador:

- No se permite la utilización de transformadores de 5 KVA en la infraestructura eléctrica administrada por la compañía energética de occidente (CEO).
- Estrato socioeconómico zona rural municipio de Morales = 1.
- Tasa de crecimiento anual zona del proyecto = 1%.
- Tiempo de proyección transformador = 5 años.

- Sobrecarga permisible para transformador = Entre 10% y 15%.
- Transformadores a utilizar:
  - 10 KVA
  - 15 KVA
  - 25 KVA
  - 37.5 KVA
- Demanda por usuario = 1KVA.
- Porcentaje para cálculo de transformador = 80 % de la demanda del usuario.
- Para esta zona rural no se calcula carga de alumbrado público AP = 0.

Teniendo en cuenta los valores anteriores, el cálculo del transformador está dado por la siguiente expresión:

$$\Delta T = Du * (1 + Tca)^n + AP \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde:

*Du* = Demanda de usuario (KVA)

*Tca* = Tasa de crecimiento anual

*n* = Años a proyectar transformador

*AP* = Carga de alumbrado público

### 3.2.4.2 Cálculos eléctricos en baja tensión (BT)

En baja tensión (BT), según los criterios de diseño de la compañía energética de occidente, se deben aplicar las siguientes consideraciones:

1. Verificar que la corriente nominal que consume la carga a alimentar no excede la máxima corriente que soporta el conductor.
2. Verificar que no se exceden los límites de caída de tensión (3%).
3. Se deben cumplir las tensiones nominales que muestra la tabla 17.

TIPO DE USUARIO	SERVICIO MONOFÁSICO BIFILAR/ TRIFILAR (V)	SERVICIO TRIFÁSICO TETRAFILAR (V)
Residencial Urbano	240/120	208/120
Residencial Rural	240/120	208/120
Residencial Comercial	240/120	208/120
Industrial	-----	208/120

Tabla 17: Tensiones nominales para BT. Fuente [3].

### 3.2.4.2.1 Factor de potencia de diseño

El factor de potencia inductivo de diseño para todas las instalaciones eléctricas de BT será de 0.9.

### 3.2.4.2.2 Corriente nominal

Para el cálculo de la corriente nominal se utiliza la siguiente expresión:

1. Red BT trifásica:

$$I = \frac{1000 * P}{\sqrt{3} * U * \text{Cos } \varphi} \text{ (Ecuación 5)}$$

2. Red BT monofásica:

$$I = \frac{1000 * P}{U * \text{Cos } \varphi} \text{ (Ecuación 6)}$$

Donde:

*P = Potencia a transportar por la red de BT o acometida (Kw).*

*U = Tensión nominal entre fases (V).*

*Cos  $\varphi$  = Factor de potencia igual a 0.9.*

### 3.2.4.2.3 Regulación de Tensión

La regulación de tensión para las redes en baja tensión se hará conforme a lo estipulado en el capítulo 3.2.4.1.2 del presente documento, y se tendrá en cuenta los porcentajes de la tabla 18, como se observa a continuación:



LIMITES	MÁXIMA CAÍDA DE REGULACIÓN URBANA (%)	MÁXIMA CAÍDA DE REGULACIÓN RURAL (%)
Bujes Primarios Transformador – Red BT	3.0	3.0
Acometida de alimentación – Medidor	2.0	3.0*
Medidor – Red Eléctrica Interna del Usuario	3.0	3.0
<b>Total Máxima Caída de Tensión CASO 1</b>	<b>8.0</b>	<b>9.0</b>
Bujes Primarios Transformador – Acometida Exclusiva desde el transformador	3.0	5.0
Medidor – Red Eléctrica Interna del Usuario	3.0	3.0
<b>Total Máxima Caída de Tensión CASO 2</b>	<b>6.0</b>	<b>8.0</b>

\*Siempre que el transformador tenga cambiadores de Taps para regulación de +5 y -2.5%

Tabla 18 : Límites de caída de tensión BT. Fuente [3].

La constante de regulación será seleccionada de acuerdo con los criterios de diseño de la compañía energética de occidente. Como se observa en la tabla 19, se describen las constantes para los tipos de conductor en líneas bifásica o trifásica.

Conductor	Tensión V	Contantes de regulación de tensión para líneas aéreas de B.T. Con FP=0,9	
		(%/(kVA.m))	
Aluminio	<b>Línea Bifásica</b>		
	240	Tríplex No. 2 AWG	$3,8709736 \cdot 10^{-3}$
		Tríplex No. 1/0 AWG	$2,4957997 \cdot 10^{-3}$
		Tríplex No. 4/0 AWG	$1,3312283 \cdot 10^{-3}$
	<b>Línea Trifásica</b>		
	208	Cuádruplex No 1/0 AWG	$1,6595378 \cdot 10^{-3}$
Cuádruplex No 4/0 AWG		$0,8847363 \cdot 10^{-3}$	

Tabla 19: Constantes de Regulación de tensión. Fuente [33].

#### 3.2.4.2.4 Calculo de pérdidas de potencia en la red

Las pérdidas de potencia en la red serán calculadas teniendo en cuenta el efecto joule, para ello se tendrá en cuenta la resistencia que posee el conducto al paso de la corriente.

Se utiliza la siguiente expresión:

Valor resistencia conductor Tríplex No. 2 AWG = 0.964  $\Omega$ /m

Valor resistencia conductor Tríplex No. 1/0 AWG = 0.604  $\Omega$ /m

$$\text{Perdidas de potencia (KW)} = R * I^2 * L * F \text{ (Ecuación 7)}$$

Donde:

$$R = \text{Resistencia del conductor} \left( \frac{\Omega}{\text{Km}} \right)$$

$$I = \text{Corriente nominal (A)}$$

$$L = \text{Longitud de la red (Km)}$$

$$F = \text{Número de fases}$$

Ahora, la potencia transportada por la red depende de la carga a transportar, debemos calcular esta potencia y para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{Potencia transportada (KW)} = V * I * \text{Cos } \varphi \text{ (Ecuación 8)}$$

Donde:

$$V = \text{Voltaje entre fases (V)}$$

$$I = \text{Corriente nominal (A)}$$

$$\text{Cos } \varphi = \text{Factor de potencia} = 0,9$$

Finalmente, el porcentaje de pérdida en la red se representa como el cociente entre la potencia perdida y la potencia transportada por la línea.

Así:

$$\Delta P(\%) = \frac{\text{Perdidas de potencia (Kw)}}{\text{Potencia transportada (Kw)}} \text{ (Ecuación 9)}$$

## **CAPITULO IV: DISEÑO DE LAS REDES DE DISTRIBUCION ELECTRICA PARA LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE MORALES**

Teniendo en cuenta el estudio realizado en el capítulo III, se procede a realizar el diseño de las redes de distribución eléctrica para el macroproyecto de electrificación rural del municipio de Morales.

### **4.1 DIGITALIZACION DE REDES DE BAJA TENSION**

#### **4.1.1 Procesamiento inicial de la información geográfica**

Una vez la información de campo de cada una de las veredas se recibe de los técnicos, se procede a la descarga de los datos de georreferenciación para iniciar la digitalización en AutoCAD de las redes eléctricas existentes y proyectadas.

La información de campo se obtiene de los GPS mediante el programa Base Camp para Garmin y ArcGIS para Trimble.

##### **4.1.1.1 Equipos GPS Trimble y Garmin**

Estos equipos son utilizados para recolectar la ubicación geográfica de las redes eléctricas existentes, postes, puntos de conexión, transformadores, usuarios existentes, proyectados, etc. La empresa Electroenergizar cuenta con dos equipos para este trabajo, TRIMBLE y GARMIN.

El equipo GPS TRIMBLE, gracias a sus atributos, permite descargar la información de los puntos de georreferenciación siguiendo una unión lógica entre ellos, esto es de gran ayuda al momento de representar en el plano el montaje de redes proyectadas y existentes. Por el contrario, el equipo GPS GARMIN no posee esta función y es necesaria la realización de un borrador a mano alzada del montaje de las redes por parte del personal técnico.

En la Figura 18 y 19, se representa el tipo de información de los equipos GPS.

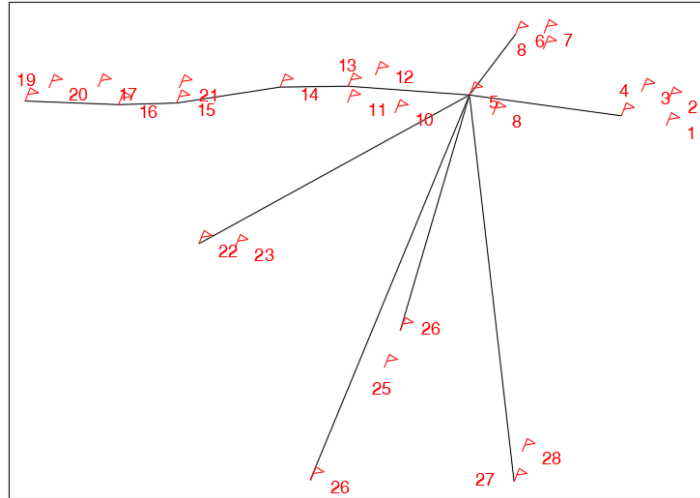


Figura 18: Información geográfica descargada de equipo TRIMBLE. Fuente Electroenergizar ing.



Figura 19: Información geográfica descargada de equipo GARMIN. Fuente Electroenergizar ing.

Una vez la información geográfica se pasa al programa AutoCAD, se inicia la unión de los puntos GPS representando el recorrido y distribución de las redes en campo. Con ayuda del personal técnico que visitó el terreno se logra obtener un plano con información de las redes como: estado (buen estado, mal estado de la red), vanos, ubicación de transformadores, postes, usuarios nuevos, existente, puntos de conexión, entre otros.

La unión de los puntos GPS del equipo GARMIN se realiza con ayuda de los planos a papel y lápiz del personal técnico, la información del equipo TRIMBLE se verifica con ayuda de los técnicos para tener la certeza del trazado correcto de las redes en campo. Finalmente, en AutoCAD se representa la información inicial como se representa en la Figura 18.

### 4.1.1.2 Convenciones

En AutoCAD se definen diferentes capas que se asignan a distintas figuras para crear un cuadro de convenciones, estas son para las redes, postes, transformadores, tanto proyectados como existentes que se encuentren en el plano, tal y como se muestra en las figuras 20,21,22,23,24.

	Calibre MT Existente
	Red BT Existente No. 3 x 2
	Red BT Existente Mal Estado No. 3 x 2
	Red BT para cambio a Tz No. 3 x 1/0
	Red BT TZ Existente No. 2
	Red BT Existente No. 1/0
	Red BT Existente Mal Estado No. 3 x 4

Figura 20: Cuadro de convenciones redes MT, BT existentes. Fuente Electroenergizar ing.

	Calibre No 2x1/0 MT Proyectado
	Calibre No 3x1/0 MT Proyectado
	Red BT TZ Proyectada No. 2
	Red BT TZ Proyectada No. 1/0

Figura 21: Cuadro de convenciones redes MT, BT Proyectadas. Fuente Electroenergizar ing.

	Poste Concreto MT
	Poste Concreto BT 9x510
	Retenida BT Existente
	Retenida MT Existente
	Terminal a Tierra BT Existente
	Usuario Existente

Figura 22: Cuadro de convenciones Postes MT, BT existentes. Fuente Electroenergizar ing.

	Poste FV MT 12x1050
	Poste FV MT 12x50
	Poste FV MT 12x510
	Poste Concreto BT 9x510
	Poste FV BT 9x510
	Retenida MT V Proyectada
	Retenida MT Proyectada
	Retenida BT Proyectada
	Terminal a Tierra BT Proyectada
	Punto Conexion
	Usuario Proyectado

Figura 23: Cuadro de convenciones Postes MT, BT proyectados. Fuente Electroenergizar ing.

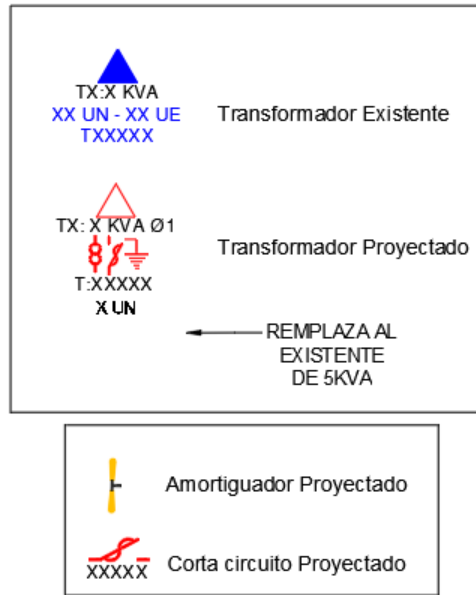


Figura 24: Cuadro de convenciones Transformadores proyectados, existentes. Fuente Electroenergizar ing.

Cada una de las convenciones se crea para dar atributos a los puntos y líneas trazadas GPS en la digitalización del plano, cabe resaltar que esta información geográfica en todo momento se trabaja con coordenadas originales de campo en un plano 2D en AutoCAD.

#### 4.1.1.3 Norma Técnica de estructuras para redes de media y baja tensión

El operador de red posee una serie de códigos para representar los armados de las estructuras de las redes de media y baja tensión, estos armados se utilizan para sostener, transportar y mantener firmes las redes eléctricas.

##### 4.1.1.3.1 Norma Técnica de estructuras para media tensión

Las estructuras de media tensión aplicadas son:

- Conductor eléctrico de aluminio con acero reforzado (ACSR) para redes aéreas de media tensión.
- Postes para redes aéreas de media tensión.
- Retenidas para postes de media tensión.
- Puesta a tierra para redes de media tensión.
- Armado de poste para redes aéreas de media tensión.
- Corta circuitos.
- Centros de transformación (Transformadores).
- Amortiguadores para disipar los fenómenos oscilatorios de las líneas eléctricas de media tensión.

En la tabla 20 se representan los códigos de las estructuras de MT.

MEDIA TENSION < 300 M			MEDIA TENSION > 300 M		
Poste FV 12 x 510 Kg			Poste FV 12 x 750 Kg, 12 x 1050 Kg		
TIPO DE ARMADO	1 Poste	1 Poste	TIPO DE ARMADO	2 Postes	3 Postes
	monofásica	Trifásica		monofásica	Trifásica
ARRANQUE	BSN215C	TSN215C	ARRANQUE	BST215C	TST215C
RETENCION	BSN213PC	TSN213PC	RETENCION	BST213PC	TST213PC
	BSN214PC (90°)	TSN214PC(90°)			
PASO	BSN211P (Recta)	TSN212P	TERMINAL	BST215C	TST215C
	BSN212P (Angulo)				
TERMINAL	BSN215C	TSN215C			
Puesta a tierra		PTCT22	Cortacircuito		CORTAC
			Transformador		CTB21- CT
Retenida MT		RTD2			
Amortiguador		AMORT			

Tabla 20: Codificación N.T de estructuras MT. Fuente basado en [34].

Ver anexo 1. Especificaciones de estructuras media tensión (MT) y baja tensión (BT)

#### 4.1.1.3.2 Norma Técnica de estructuras para baja tensión

La estructuración de la red de baja tensión se realiza para la red existente y proyectada, utilizando en AutoCAD un bloque con dos características, esto para que el operador de red (CEO) logre determinar y presupuestar la red y estructuras que debe cambiar para implementar una renovación total de las redes.

Las estructuras de baja tensión aplicadas son:

- Conductor trenzado para redes de baja tensión.
- Postes para redes aéreas de baja tensión.
- Retenidas para postes de baja tensión.
- Puesta a tierra para redes de baja tensión.
- Armado de poste en baja tensión.

En la tabla 21 se representan los códigos de las estructuras de BT.

<b>BAJA TENSION</b>			
<b>TIPO DE ARMADO</b>	<b>1 poste FV</b>	<b>Puesta a tierra</b>	<b>PTBT22</b>
		<b>Retenida</b>	<b>RTD1</b>
		<b>Conectores de perforación</b>	<b>3x1451102</b>
<b>ARRANQUE</b>	BT03 + 3x1451102		
<b>RETENCIÓN</b>	BT02		
<b>PASO</b>	BT01		
<b>TERMINAL</b>	BT03		

Tabla 21: Codificación N.T de estructuras BT. Fuente basado en [34].

Ver anexo 1. Especificaciones de estructuras media tensión (MT) y baja tensión (BT)

## 4.2 DISEÑO DE REDES EN BAJA TENSION (BT)

Para el diseño de las redes, se cuenta inicialmente con el criterio técnico del personal de campo, ellos son los encargados de tomar y referenciar la información del terreno con un dispositivo GPS, georreferenciando cada uno de los puntos donde posiblemente se ubicará un transformador, poste o red eléctrica.

Debido a la gran cantidad de circuitos en el proyecto, se toma como referencia el transformador número uno de la vereda Agua Negra, esta vereda cuenta con 23 transformadores entre proyectados y existentes. El de referencia es existente por lo que ya tiene red existente y proyectada, según los cálculos eléctricos se determinará el tipo de conductor para la red BT proyectada, además de verificar si es necesario remplazar la existente o el transformador.

Iniciamos con el proceso de digitalización:

Luego de realizar el proceso de ubicación de usuarios nuevos y existentes en el circuito, tenemos que desde el punto de conexión del transformador uno (T1), se proyecta una red de media tensión para el transformador dos de la misma vereda, para ello se debe realizar la digitalización de estos dos transformadores a la vez, en la figura 25 se observa la información inicial del circuito.



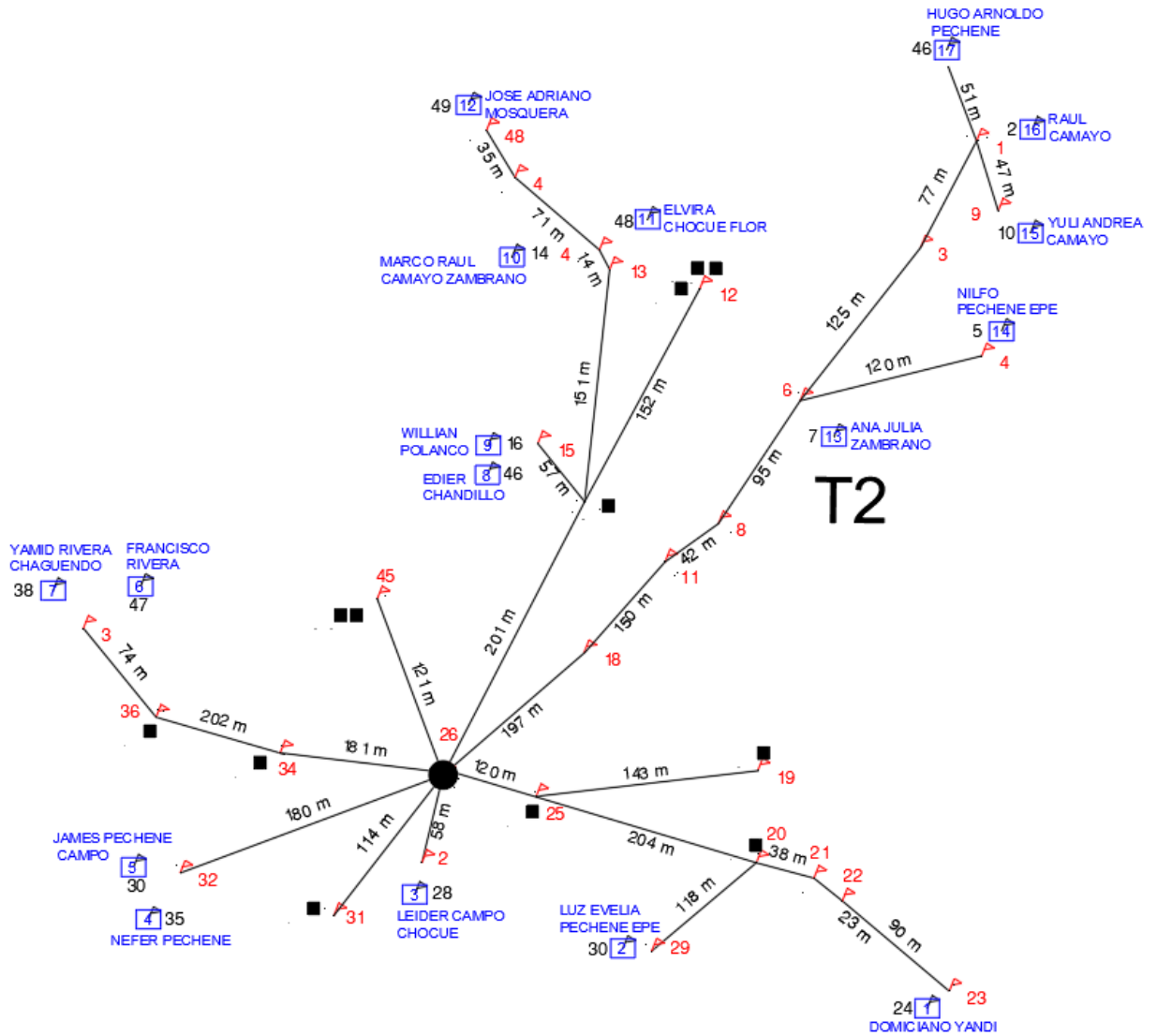


Figura 25: Información inicial transformador 1 y 2 Vda. Agua negra. Fuente Propia.

Ahora, iniciamos con el proceso de identificación de postes, utilizando las capas de Poste Concreto BT 9x510 y Poste concreto MT, para cada uno de los elementos remplazamos (ver figura 22,23). En la figura 26 se observa el resultado de este procedimiento.

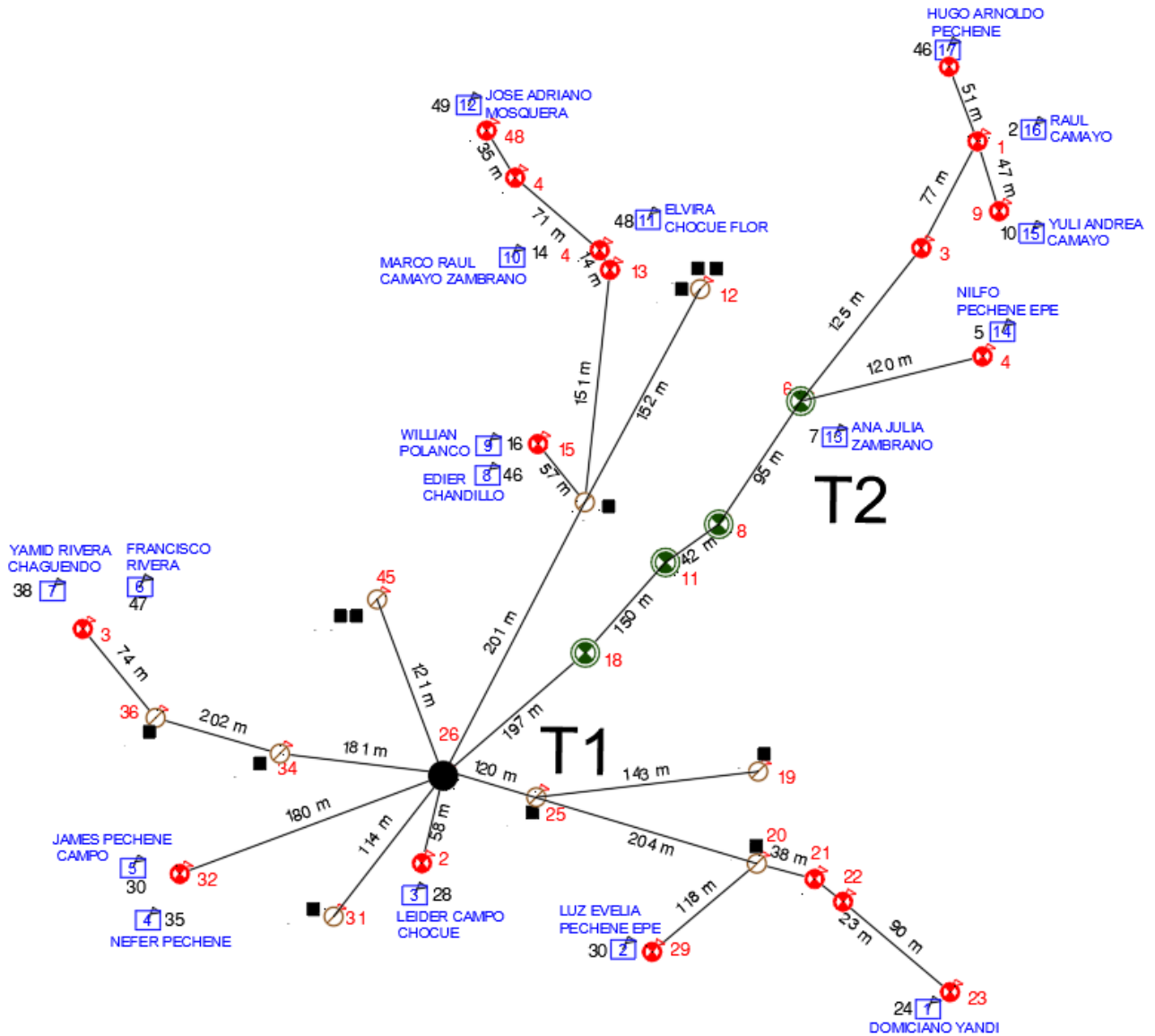


Figura 26: Identificación de postes y transformadores. Fuente Propia.

Ahora, realizamos este mismo procedimiento para la identificación de las redes eléctricas existentes de BT y MT.

Para este procedimiento se utiliza en AutoCAD la capa por defecto Red BT existente No. 3 x 2 y Calibre MT Existente, (ver figura 20), estas capas hacen referencia a red existente en baja tensión y media tensión. En la figura 27 se observa el resultado de este procedimiento en todo el circuito y en la figura 28 se realiza zoom en parte del transformador uno (T1) para una mejor visualización.

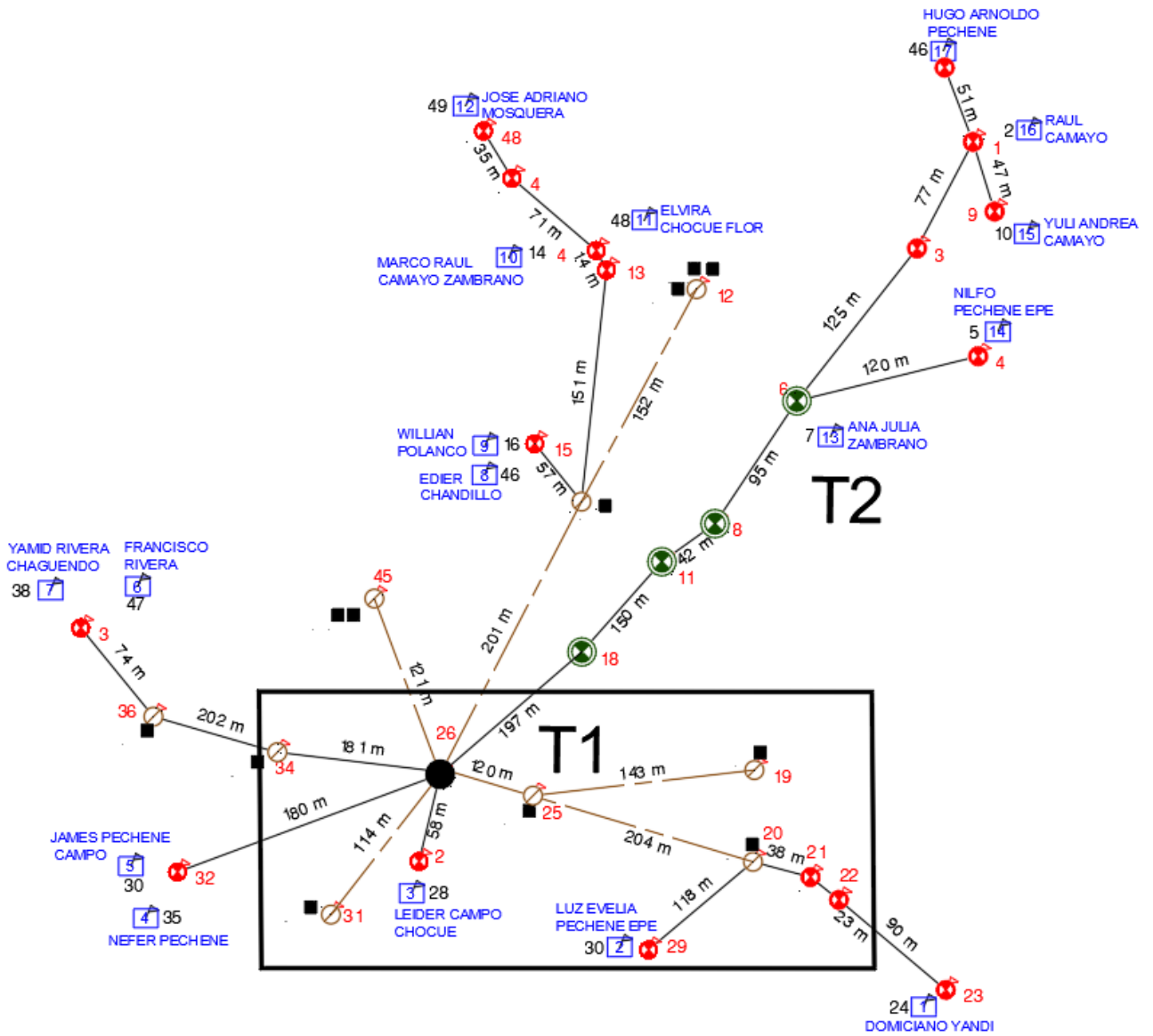


Figura 27: Red existente en todo el circuito. Fuente Propia.

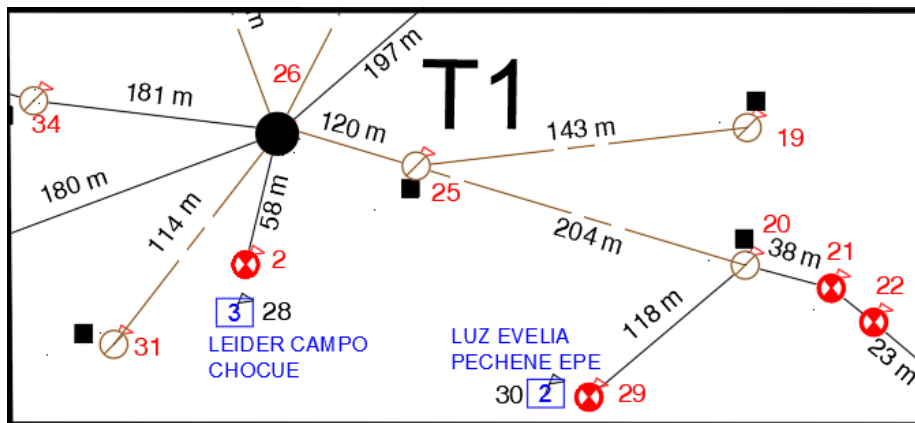


Figura 28: Zoom parte de Red existente transformador 1. Fuente Propia.

El siguiente paso consiste en seleccionar el conductor de la red proyectada, este se obtiene mediante los cálculos eléctricos, así se logra determinar el tipo de conductor el cual resista la cantidad de carga de cada uno de los ramales, cabe resaltar que la red existente no está exenta de cambios en casos donde sea necesario.

#### 4.2.1 Cálculos eléctricos para redes de baja tensión

##### 4.2.1.1 Cálculos de Corriente Nominal

Después del proceso de digitalización de las redes para el transformador uno de la vereda Agua Negra y teniendo la certeza del montaje en campo y los puntos de conexión de redes proyectadas, se procede a realizar los cálculos para cada uno de los ramales, existentes y proyectados, ver figura 29.

En este proceso, el circuito del transformador uno se separa del transformador dos debido a que son circuitos con ramales diferentes.

Adicionalmente se agrega de la figura 24, la convención de transformador existente con su respectivo número de usuarios nuevos, existentes y códigos que lo identifican.

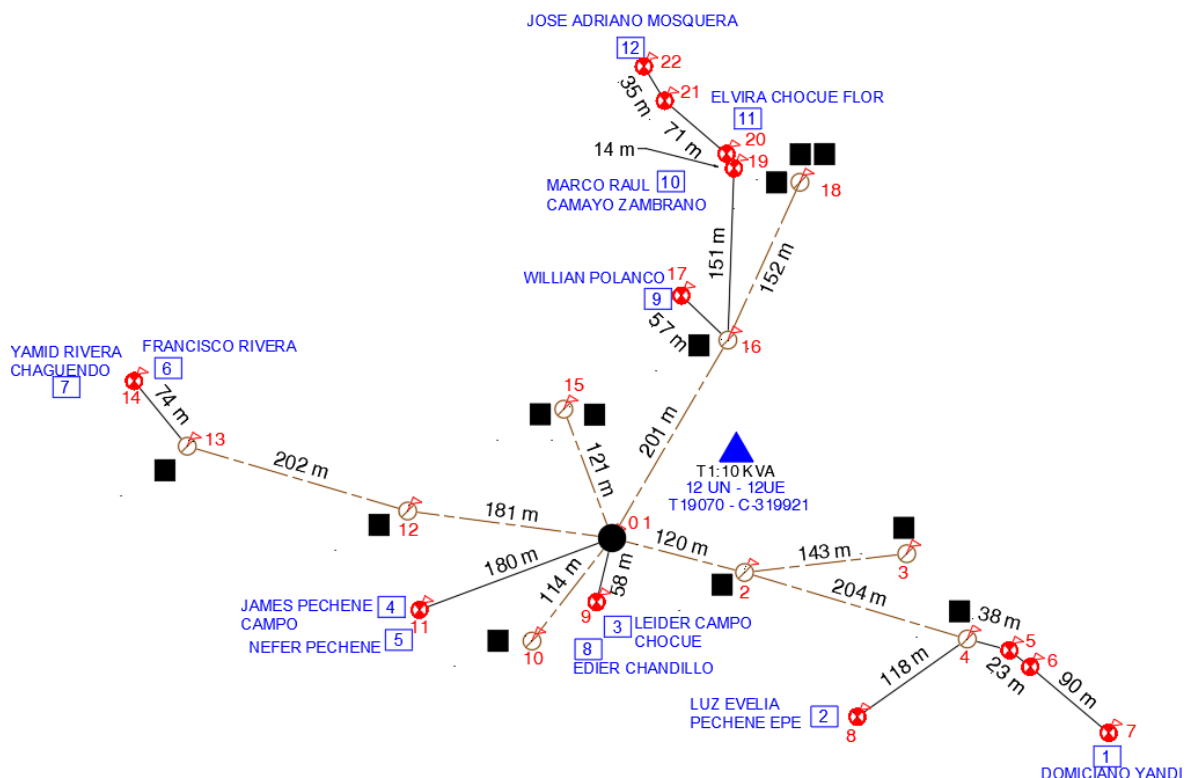


Figura 29: Circuito Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.

En la figura 29, el circuito se encuentra referenciado con números que van desde el cero hasta el 18, esto se hace para poder delimitar los tramos de red para los respectivos cálculos.

De acuerdo a lo anterior tenemos: El tramo (0-1), es el tramo inicial el cual comprende la red que baja desde el transformador (CT) a la red BT, se consideran 6 metros para este tramo.

Tenemos (Tramo 0-1, Red existente):

De la tabla 11, Demanda máxima diversificada KVA.

24 usuarios = 7,72 KVA = Potencia aparente

*Potencia real (KW) = Potencia aparente (KVA) \* Factor de potencia*

*Potencia real (KW) = 7,72 Kva \* 0,9*

*Potencia real (KW) = 6,948 Kw*

Ahora:

$$\text{Corriente Nominal (A)} = \frac{1000 * P}{U * \text{Cos } \emptyset} \text{ (Ecuacion 6)}$$

$$\text{Corriente Nominal (A)} = \frac{1000 * 6,948 \text{ Kw}}{240 \text{ V} * 0.9}$$

$$\text{Corriente Nominal (A)} = \frac{6948}{216}$$

$$\text{Corriente Nominal (A)} = 32,16 \text{ A}$$

Los cálculos para la corriente nominal se realizan para cada uno de los tramos enumerados en la figura 29, estos se realizan siguiendo una línea lógica desde el inicio hasta el final de cada ramal, el resultado de se resume en la tabla 22.

TRAMO	LONGITUD (M)	NÚMERO DE USUARIOS	DEMANDA DE CÁLCULO (KVA)	CORRIENTE NOMINAL (A)
0-1	6	24	7,72	32,17
1-2	120	5	2,31	9,63
2-3	143	1	0,83	3,46
2-4	204	3	1,61	6,71
4-7	151	1	0,83	3,46
4-8	118	1	0,83	3,46
1-9	58	1	0,83	3,46
1-10	114	1	0,83	3,46
1-11	180	1	0,83	3,46
1-12	181	4	1,97	8,21
12-13	202	3	1,61	6,71

13-14	74	2	1,24	5,17
1-15	121	2	1,24	5,17
1-16	201	8	3,27	13,63
16-17	57	1	0,83	3,46
16-20	165	2	1,24	5,17
20-22	106	1	0,83	3,46
16-18	152	3	1,61	6,71

Tabla 22: Corriente nominal para T1. Fuente Propia.

#### 4.2.1.2 Cálculo del momento eléctrico

Para calcular el momento eléctrico se debe tener en cuenta el triángulo de las potencias de la figura 30.

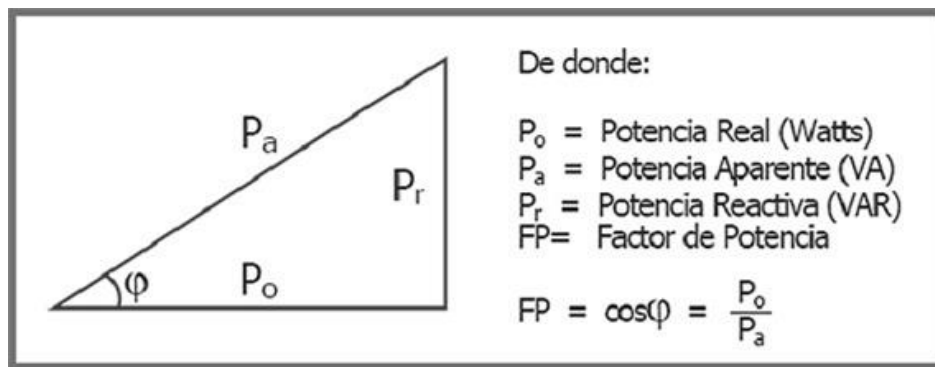


Figura 30: Triangulo de potencias [35].

Sabemos que el consumo de la población beneficiada es bajo teniendo en cuenta que solo utilizan cargas netamente resistivas, por ello:

$$\text{Potencia aparente (Kva)} = \text{Potencia activa (Kw)}$$

$$\text{Factor de Potencia} = 1$$

El momento eléctrico es la unidad de carga eléctrica por metro y se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$\text{Momento (KW * m)} = \text{Demanda de calculo (KW)} * \text{Longitud de la red(m)}$$

Ahora, momento eléctrico para el tramo (0-1)

$$\text{Momento (0 - 1)} = 7,72 * 6$$

$$\text{Momento (0 - 1)} = 46,32 \text{ kva} * m$$

De igual manera que la corriente nominal, el momento eléctrico se calcula para cada uno de los tramos de la red, en la tabla 23 se especifican los resultados de los cálculos del momento eléctrico para el transformador uno de la vereda Agua Negra.

TRAMO	LONGITUD (M)	NÚMERO DE USUARIOS	DEMANDA DE CÁLCULO (KVA)	MOMENTO ELÉCTRICO (KVA*M)
0-1	6	24	7,72	46,32
1-2	120	5	2,31	277,20
2-3	143	1	0,83	118,69
2-4	204	3	1,61	328,44
4-7	151	1	0,83	125,33
4-8	118	1	0,83	97,94
1-9	58	1	0,83	48,14
1-10	114	1	0,83	94,62
1-11	180	1	0,83	149,40
1-12	181	4	1,97	356,57
12-13	202	3	1,61	325,22
13-14	74	2	1,24	91,76
1-15	121	2	1,24	150,04
1-16	201	8	3,27	657,27
16-17	57	1	0,83	47,31
16-20	165	2	1,24	204,60
20-22	106	1	0,83	87,98
16-18	152	3	1,61	244,72

Tabla 23: Cálculos del momento eléctrico T1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.

#### 4.2.1.3 Cálculos de Regulación de Tensión

Para el cálculo de regulación de tensión se seleccionaron dos tipos de conductor de la tabla 14, de acuerdo a ello, existen dos  $K_v$ , en la tabla 19 se especifican las constantes.

Inicialmente los cálculos de regulación se realizan con el tipo de conductor en aluminio Tríplex No. 2 AWG para las redes, ya sean existentes o proyectadas, esto para determinar si se debe cambiar el conductor existente o proyectado, además del transformador.

La constante de regulación a aplicar será:

$$K_v (\text{Tríplex No. 2 AWG}) = 3,8709736 \times 10^{-3}$$

##### 4.2.1.3.1 Regulación parcial

La regulación parcial se aplica a cada tramo de la red, este tramo debe ser independiente de los demás, esta regulación parcial es útil para calcular la regulación total, debido a que existen tramos de red donde se encuentran nodos de red compartidos para diferentes usuarios.

Inicialmente tenemos para el tramo bajante de CT a BT (0-1) una longitud existente de 6m, además de una potencia a transportar de 7,72 KVA, que corresponde a 24

usuarios según la tabla 11, demanda máxima diversificada de la compañía energética de occidente.

Utilizando la ecuación 3:

$$\% \text{ Regulacion parcial} = K_v * P * L \text{ (Ecuación 3)}$$

Tenemos, tramo (0-1) 6m:

$$\% \text{ Regulacion parcial (0 - 1)} = 3,8709736 \times 10^{-3} * 7,72 \times 10^3 * 0,006$$

$$\% \text{ Regulacion parcial (0 - 1)} = 0,18$$

Tramo (1-2) 120m, 5 usuarios 2,31 KVA.

$$\% \text{ Regulacion parcial (1 - 2)} = 3,8709736 \times 10^{-3} * 2,31 \times 10^3 * 0,120$$

$$\% \text{ Regulacion parcial (1 - 2)} = 1,07$$

De igual manera, la corriente nominal y el momento eléctrico, la regulación parcial de tensión se calcula para cada uno de los tramos de la red, en la tabla 24 se especifican los resultados de los cálculos de regulación parcial para el transformador uno de la vereda Agua Negra.

TRAMO	LONGITUD (M)	NÚMERO DE USUARIOS	DEMANDA DE CÁLCULO (KVA)	MOMENTO ELÉCTRICO (KVA*M)	REGULACIÓN PARCIAL (%)
0-1	6	24	7,72	46,32	0,18
1-2	120	5	2,31	277,20	1,07
2-3	143	1	0,83	118,69	0,46
2-4	204	3	1,61	328,44	1,27
4-7	151	1	0,83	125,33	0,49
4-8	118	1	0,83	97,94	0,38
1-9	58	1	0,83	48,14	0,19
1-10	114	1	0,83	94,62	0,37
1-11	180	1	0,83	149,40	0,58
1-12	181	4	1,97	356,57	1,38
12-13	202	3	1,61	325,22	1,26
13-14	74	2	1,24	91,76	0,36
1-15	121	2	1,24	150,04	0,58
1-16	201	8	3,27	657,27	2,54
16-17	57	1	0,83	47,31	0,18
16-20	165	2	1,24	204,60	0,79
20-22	106	1	0,83	87,98	0,34
16-18	152	3	1,61	244,72	0,95

Tabla 24: % de regulación parcial T1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.



#### 4.2.1.3.2 Regulación total

El cálculo de regulación total es la suma de los cálculos de regulación parcial en cada tramo, esta sumatoria aplica para los tramos de red desde el inicio en el transformador hasta el terminal del tramo.

Tomando de la figura 29 el tramo 0 - 3 donde hay red existente se procede a realizar el cálculo de regulación total.

% Regulación total para tramo (0-3):

*% Regulación total de tensión(0 – 3) = % Regulacion parcial acumulada*

*% Regulación total de tensión(0 – 3) = 0,18 + 1,07 + 0,46*

*% Regulación total de tensión(0 – 3) = 1,71*

Ahora, tomando el tramo 0-7 tenemos:

De la tabla 24, % regulación parcial.

*% Regulación total de tensión(0 – 7) = 0,18 + 1,07 + 1,27 + 0,49*

*% Regulación total de tensión(0 – 7) = 3,01*

De igual manera, la corriente nominal y el momento eléctrico, la regulación total de tensión se calcula para cada uno de los tramos de la red, en la tabla 25 se especifican los resultados de los cálculos de regulación de tensión para el transformador uno de la vereda Agua Negra.

TRAMO	LONGITUD (M)	NÚMERO DE USUARIOS	DEMANDA DE CÁLCULO (KVA)	REGULACIÓN PARCIAL (%)	REGULACIÓN TOTAL (%)
0-1	6	24	7,72	0,18	0,18
1-2	120	5	2,31	1,07	1,25
2-3	143	1	0,83	0,46	1,71
2-4	204	3	1,61	1,27	2,52
4-7	151	1	0,83	0,49	3,01
4-8	118	1	0,83	0,38	2,90
1-9	58	1	0,83	0,19	0,37
1-10	114	1	0,83	0,37	0,55
1-11	180	1	0,83	0,58	0,76
1-12	181	4	1,97	1,38	1,56
12-13	202	3	1,61	1,26	2,82
13-14	74	2	1,24	0,36	3,17
1-15	121	2	1,24	0,58	0,76
1-16	201	8	3,27	2,54	2,72
16-17	57	1	0,83	0,18	2,91

16-20	165	2	1,24	0,79	3,52
20-22	106	1	0,83	0,34	3,86
16-18	152	3	1,61	0,95	3,67

Tabla 25: % de regulación total T1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.

De acuerdo a la Tabla 18, la regulación total máxima admisible es del 3% para la zona rural.

Como se puede evidenciar en la tabla 25, en algunos de los tramos del transformador uno de la vereda Agua Negra no se cumple el requerimiento de los criterios de diseño de la compañía energética de occidente para la zona rural (Tabla 18), en estos casos se debe recalculas las diferentes variables para los tramos anteriores a los que no cumplen la regulación, por motivos de diseño, se debe iniciar desde el tramo 0-1, debido a que no se puede pasar de un calibre inferior a uno mayor si no es desde el tramo inicial del transformador, para ello se debe aplicar el cálculo con el conductor Tríplex No. 1/0 AWG. Ver figura 31.

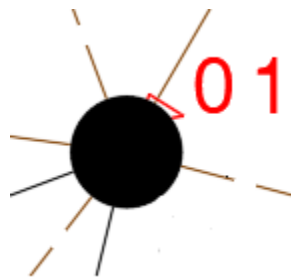


Figura 31: Tramo 0-1 Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.

Según la tabla 19:

$K_v = \text{Constante de regulación } (\%/Kv \cdot m) \text{ para Tríplex No. } 1/0 \text{ AWG.}$

$$K_v = 2,4957997 \cdot 10^{-3}$$

Calculamos regulación parcial para el tramo 0-1:

$$\% \text{ Regulacion parcial } (0 - 1) = K_v \cdot P \cdot L$$

$$\% \text{ Regulacion parcial}(0 - 1) = 2,4957997 \cdot 10^{-3} \cdot 7,72 \cdot 10^3 \cdot 0,006$$

$$\% \text{ Regulacion parcial } (0 - 1) = 0,12$$

En el primer tramo podemos observar una disminución de la regulación del 0,06, la cual afecta las regulaciones parciales y totales siguientes.

Como el tramo 4-7 sobrepasa el valor total de regulación procedemos a recalculas la regulación total del tramo 0-7, tenemos:

$\% \text{ Regulacion total } (0 - 7) = \% \text{ Regulacion parcial acumulada}$

$\% \text{ Regulacion total } (0 - 7) = 0,12 + 1,07 + 1,27 + 0,49$

$\% \text{ Regulacion total } (0 - 7) = 2,95$

Ahora, como el tramo 13-14 también sobrepasa el valor requerido, se procede a recalcular la regulación cambiando el tramo 1-12 por el conductor Tríplex No. 1/0 AWG. Ver figura 32.

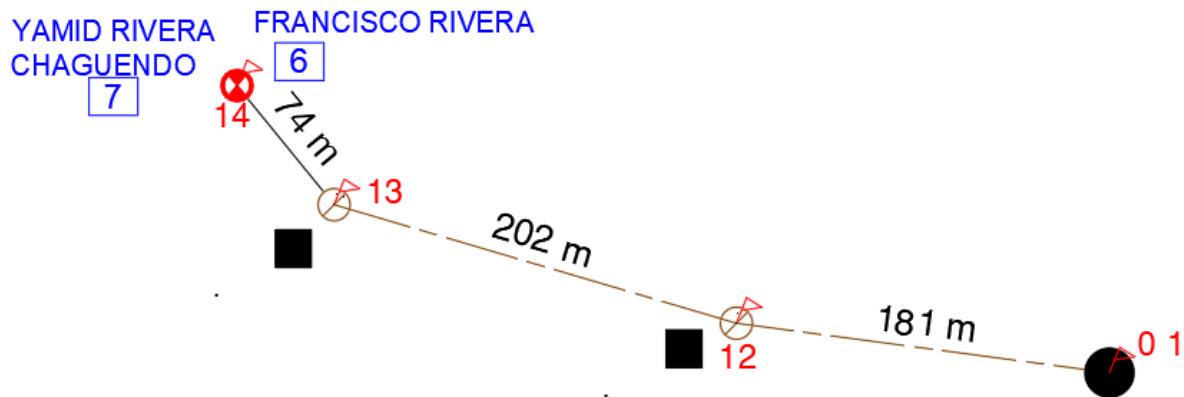


Figura 32: Tramo 1-12 Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.

Tramo (1- 12), 181 metros, cuatro usuarios.

$\% \text{ Regulacion parcial}(1 - 12) = 2,4957997 * 10^{-3} * 1,97 * 10^3 * 0,181$

$\% \text{ Regulacion parcial}(1 - 12) = 0,89$

Con este valor de regulación parcial, se modifica la regulación total del tramo, afectando el tramo parcial (13-14), esto lo comprobamos recalculando la regulación total para el tramo (0-14) así:

$\% \text{ Regulacion total } (0 - 14) = \% \text{ Regulacion parcial acumulada}$

$\% \text{ Regulacion total } (0 - 14) = 0,12 + 0,89 + 1,26 + 0,36$

$\% \text{ Regulacion total } (0 - 14) = 2,62$

Ahora para los tramos siguientes, (16-20), (20-22), (16-18) se procede a recalcular el tramo (1-16) con el conductor Tríplex No. 1/0 AWG. Ver figura 33.

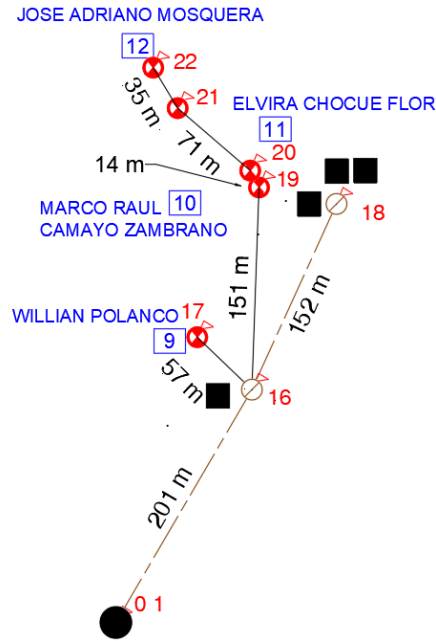


Figura 33: Tramo 0-22, 0-18 Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.

Tramo (1- 16), 201 metros, ocho usuarios.

$$\% \text{ Regulacion parcial}(1 - 16) = 2,4957997 * 10^{-3} * 3,27 * 10^3 * 0,201$$

$$\% \text{ Regulacion parcial}(1 - 16) = 1,64$$

Con el calibre Tríplex No. 2 AWG el porcentaje de regulación era del 2,54 (tramo 0-16), por lo que la regulación total al final de tramo sobrepasaba los límites admitidos. Con el nuevo conductor se tiene una reducción de 0,9 en porcentaje de regulación.

Con este nuevo valor de regulación parcial, se modifica la regulación total del tramo, afectando los tramos parciales siguientes (16-20), (20-22), (16-18), esto lo comprobamos recalculando la regulación total para el tramo (0-18) y (0-22) así:

$$\% \text{ Regulacion total } (0 - 18) = \% \text{ Regulacion parcial acumulada}$$

$$\% \text{ Regulacion total } (0 - 18) = 0,12 + 1,64 + 0,95$$

$$\% \text{ Regulacion total } (0 - 18) = 2,70$$

Y para el tramo (0-22) tenemos:

$$\% \text{ Regulacion total } (0 - 22) = \% \text{ Regulacion parcial acumulada}$$

$$\% \text{ Regulacion total } (0 - 22) = 0,12 + 1,64 + 0,79 + 0,34$$

$$\% \text{ Regulacion total } (0 - 22) = 2,89$$

Con los cálculos hechos nuevamente y garantizando el porcentaje de regulación admitido y corriente nominal (Tabla 22), se procede a integrar la información en la tabla 26 con el respectivo conductor seleccionado.

TRAMO	CONDUCTOR	LONGITUD (M)	NÚMERO DE USUARIOS	DEMANDA DE CÁLCULO (KVA)	REGULACIÓN PARCIAL (%)	REGULACIÓN TOTAL (%)
0-1	Tríplex No. 1/0 Existente	6	24	7,72	0,12	0,12
1-2	Tríplex No. 2 Existente	120	5	2,31	1,07	1,19
2-3	Tríplex No. 2 Existente	143	1	0,83	0,46	1,65
2-4	Tríplex No. 2 Existente	204	3	1,61	1,27	2,46
4-7	Tríplex No. 2 Proyectado	151	1	0,83	0,49	2,95
4-8	Tríplex No. 2 Proyectado	118	1	0,83	0,38	2,84
1-9	Tríplex No. 2 Proyectado	58	1	0,83	0,19	0,30
1-10	Tríplex No. 2 Existente	114	1	0,83	0,37	0,48
1-11	Tríplex No. 2 Proyectado	180	1	0,83	0,58	0,69
1-12	Tríplex No. 1/0 Existente	181	4	1,97	0,89	1,01
12-13	Tríplex No. 2 Existente	202	3	1,61	1,26	2,26
13-14	Tríplex No. 2 Proyectado	74	2	1,24	0,36	2,62
1-15	Tríplex No. 2 Existente	121	2	1,24	0,58	0,70
1-16	Tríplex No. 1/0 Existente	201	8	3,27	1,64	1,76
16-17	Tríplex No. 2 Proyectado	57	1	0,83	0,18	1,94
16-20	Tríplex No. 2 Proyectado	165	2	1,24	0,79	2,55
20-22	Tríplex No. 2 Proyectado	106	1	0,83	0,34	2,89
16-18	Tríplex No. 2 Existente	152	3	1,61	0,95	2,70

Tabla 26: Resumen regulación de tensión y conductor a utilizar transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.

#### 4.2.1.4 Cálculo de pérdidas de potencia en la red de baja tensión

Teniendo en cuenta la ecuación 7 se procede a calcular la pérdida de potencia en cada uno de los tramos delimitados de la figura 29, luego de este proceso, se calcula el porcentaje de pérdidas en el tramo.

Tenemos:

Tramo 0-1, calibre Tríplex No. 1/0 AWG, 6 metros.

De tabla 22,  $I(A) = 32,17$

$$\text{Perdidas de potencia (KW)} = R * I^2 * L * F \text{ (Ecuación 7)}$$

$$\text{Perdidas de potencia (0 - 1)} = 0,000604 * 32,17^2 * 0,006 * 2$$

$$\text{Perdidas de potencia (0 - 1)} = 0,0075$$

Ahora calculamos la potencia transportada por la línea, utilizamos la ecuación 8:

$$\text{Potencia transportada (KW)} = V * I * \text{Cos } \varphi \text{ (Ecuación 8)}$$

$$\text{Potencia transportada (KW)} = 240 * 32,17 * 0,9$$

$$\text{Potencia transportada (KW)} = 6,9487$$

Finalmente, calculamos  $\Delta P(\%)$  con la ecuación 9:

$$\Delta P(\%) = \frac{\text{Perdidas de potencia (Kw)}}{\text{Potencia transportada (Kw)}} \text{ (Ecuación 9)}$$

$$\Delta P(\%) = \frac{0,0075 \text{ KW}}{6,9487 \text{ KW}}$$

$$\Delta P(\%) = 0,0010794 * 100$$

$$\Delta P(\%) = 0,1 \%$$

Como se puede observar, el primer tramo cuenta con una pérdida de potencia del 0,1 %, valor considerablemente bajo y aceptable en este diseño.

Este cálculo se realiza para los demás tramos, en la tabla 27 se resume el valor de pérdida de cada uno de los tramos del circuito del transformador uno de la Vda. Agua Negra.

TRAMO	CONDUCTOR	LONGITUD (M)	NÚMERO DE USUARIOS	DEMANDA DE CÁLCULO (KVA)	PERDIDA PARCIAL (KW)	PERDIDA (%)
0-1	Tríplex No. 1/0 Existente	6	24	7,72	0,0075	0%
1-2	Tríplex No. 2 Existente	120	5	2,31	0,0214	1%
2-3	Tríplex No. 2 Existente	143	1	0,83	0,0033	0%
2-4	Tríplex No. 2 Existente	204	3	1,61	0,0177	1%
4-7	Tríplex No. 2 Proyectado	151	1	0,83	0,0035	0%
4-8	Tríplex No. 2 Proyectado	118	1	0,83	0,0027	0%
1-9	Tríplex No. 2 Proyectado	58	1	0,83	0,0013	0%
1-10	Tríplex No. 2 Existente	114	1	0,83	0,0026	0%
1-11	Tríplex No. 2 Proyectado	180	1	0,83	0,0042	1%
1-12	Tríplex No. 1/0 Existente	181	4	1,97	0,0147	1%
12-13	Tríplex No. 2 Existente	202	3	1,61	0,0175	1%
13-14	Tríplex No. 2 Proyectado	74	2	1,24	0,0038	0%
1-15	Tríplex No. 2 Existente	121	2	1,24	0,0062	1%
1-16	Tríplex No. 1/0 Existente	201	8	3,27	0,0451	2%
16-17	Tríplex No. 2 Proyectado	57	1	0,83	0,0013	0%
16-20	Tríplex No. 2 Proyectado	165	2	1,24	0,0085	1%
20-22	Tríplex No. 2 Proyectado	106	1	0,83	0,0024	0%
16-18	Tríplex No. 2 Existente	152	3	1,61	0,0132	1%

Tabla 27: Resumen % perdidas en tramos de red del Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.

#### 4.2.1.5 Cálculo de la potencia del transformador

En la figura 29, observamos que el circuito tiene un transformador existente de 10 KVA para 12 usuarios existentes, debido a que se proyectaron 12 usuarios más, es necesario recalcular la potencia del transformador para determinar si resiste la carga para 24 usuarios o se requiere un cambio del mismo.

Utilizando la ecuación 4 del capítulo 3.2.4.1.3, tenemos:

$$\Delta T = Du * (1 + Tca)^n + AP \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde:

$$Du = (1Kva * 80\%) * 24 \text{ Usuarios} = 19,2 \text{ Kva}$$

$$Tca = 1\%$$

$$n = 5 \text{ años}$$

$$AP = 0$$

Tenemos:

$$\Delta T = 19,2 * (1 + 1\%)^5 + 0$$

$$\Delta T = 20,17939296$$

Según el cálculo, la potencia del transformador es de 20,2 KVA, este valor se debe acercar al valor de transformador comercial más cercano el cual será 25 KVA.

Finalmente, el transformador uno de la Vereda Agua Negra debe ser remplazado por uno de 25 KVA para poder suplir la necesidad de carga de los usuarios conectados al circuito.

#### 4.2.2 Estructuración y diseño final de la red BT

Teniendo definido el tipo de conductor, el transformador y el número de usuarios conectados al circuito, se procede a estructurar la red con los códigos de la tabla 21, además de identificar el conductor en el plano con las capas de la figura 21 para la red proyectada y de la figura 20 para la red existente.

En la figura 34 se observa el plano final de diseño para el transformador uno de la Vereda Agua Negra.



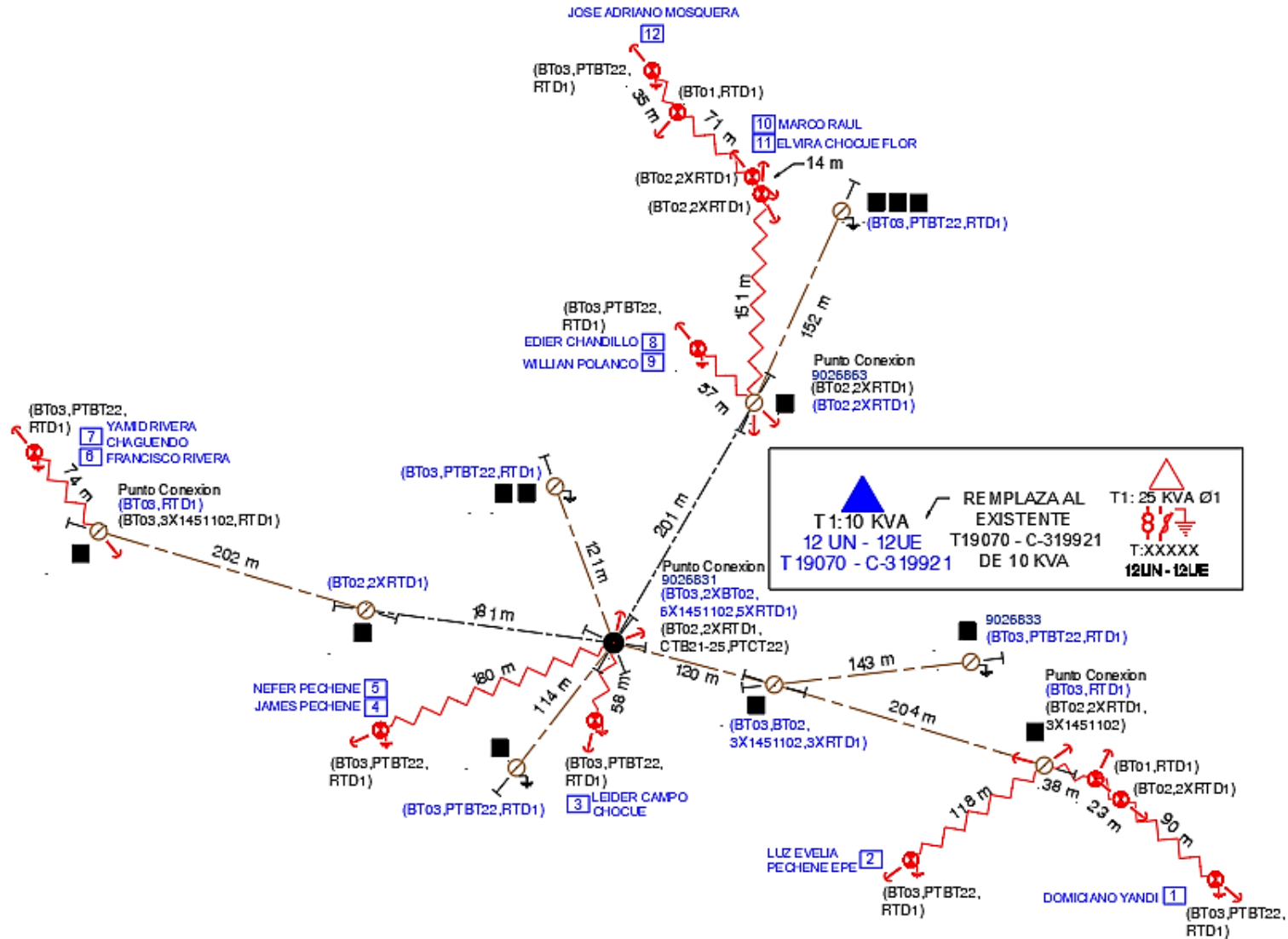
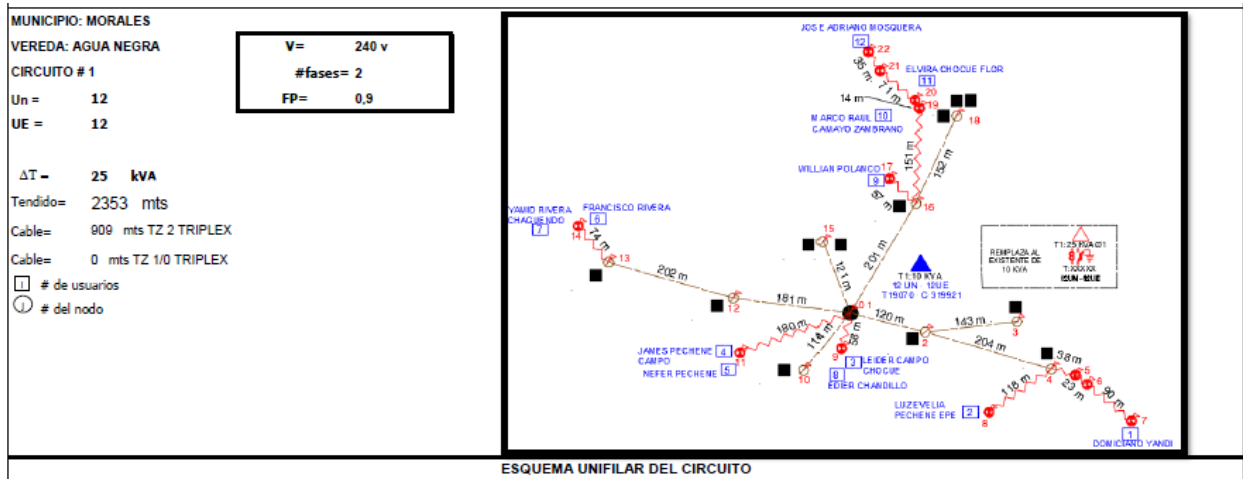


Figura 34: Diseño final Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.

Finalmente, la información de cálculos eléctricos se entrega en el formato de la figura 35, el cual contiene la información de cada uno de los circuitos con sus respectivos transformadores, red y usuarios que componen la vereda.

En el Anexo 2. Formatos de media tensión (MT) y baja tensión (BT), se adjunta un formato de cálculos de media tensión por vereda.



Tramo	Calibre	Longitud m.	Número de usuarios	Demanda de cálculo (Kva)	Momento Kw'm.	Constante de regulación K	Regulación		Corriente (A)	Pérdidas (kW)	
							Parcial	Total		Parcial	(%)
0-1	TZ 1/0-E-TRIPLEX	6	24	7,72	46,32	2,50E-03	0,12	0,12	32,17	0,0075	0%
1-2	TZ 2-E-TRIPLEX	120	5	2,31	277,20	3,87E-03	1,07	1,19	9,63	0,0214	1%
2-3	TZ 2-E-TRIPLEX	143	1	0,83	118,69	3,87E-03	0,46	1,65	3,46	0,0033	0%
2-4	TZ 2-E-TRIPLEX	204	3	1,61	328,44	3,87E-03	1,27	2,46	6,71	0,0177	1%
4-7	TZ 2 TRIPLEX	151	1	0,83	125,33	3,87E-03	0,49	2,95	3,46	0,0035	0%
4-8	TZ 2 TRIPLEX	118	1	0,83	97,94	3,87E-03	0,38	2,84	3,46	0,0027	0%
1-9	TZ 2 TRIPLEX	58	1	0,83	48,14	3,87E-03	0,19	0,30	3,46	0,0013	0%
1-10	TZ 2-E-TRIPLEX	114	1	0,83	94,62	3,87E-03	0,37	0,48	3,46	0,0026	0%
1-11	TZ 2 TRIPLEX	180	1	0,83	149,40	3,87E-03	0,58	0,69	3,46	0,0042	1%
1-12	TZ 1/0-E-TRIPLEX	181	4	1,97	356,57	2,50E-03	0,89	1,01	8,21	0,0147	1%
12-13	TZ 2-E-TRIPLEX	202	3	1,61	325,22	3,87E-03	1,26	2,26	6,71	0,0175	1%
13-14	TZ 2 TRIPLEX	74	2	1,24	91,76	3,87E-03	0,36	2,62	5,17	0,0038	0%
1-15	TZ 2-E-TRIPLEX	121	2	1,24	150,04	3,87E-03	0,58	0,70	5,17	0,0062	1%
1-16	TZ 1/0-E-TRIPLEX	201	8	3,27	657,27	2,50E-03	1,64	1,76	13,63	0,0451	2%
16-17	TZ 2 TRIPLEX	57	1	0,83	47,31	3,87E-03	0,18	1,94	3,46	0,0013	0%
16-20	TZ 2 TRIPLEX	165	2	1,24	204,60	3,87E-03	0,79	2,55	5,17	0,0085	1%
20-22	TZ 2 TRIPLEX	106	1	0,83	87,98	3,87E-03	0,34	2,89	3,46	0,0024	0%
16-18	TZ 2-E-TRIPLEX	152	3	1,61	244,72	3,87E-03	0,95	2,70	6,71	0,0132	1%

Figura 35: Cálculos redes BT, Transformador 1 Vda. Agua Negra. Fuente Electroenergizar ing.

### 4.3 DISEÑO DE REDES DE MEDIA TENSION (MT)

Para el diseño de las redes de media tensión es necesario realizar el proceso de digitalización del capítulo 4.1, cabe aclarar que los diseños en BT se realizan primero para obtener el valor de la potencia del transformador y así poder hacer los cálculos para las redes MT, en la figura 36 se muestra el resultado de este proceso.

Debido a la gran cantidad de transformadores existentes y proyectados en la vereda se toma como ejemplo el transformador dos con red MT proyectada, para este caso en específico, la red entre tramos no supera los 200 metros, además de tener al final un único transformador, es por ello que se eligen las capas de Calibre No 2x1/0 MT Proyectado para el conductor y los postes FV MT 12x510.

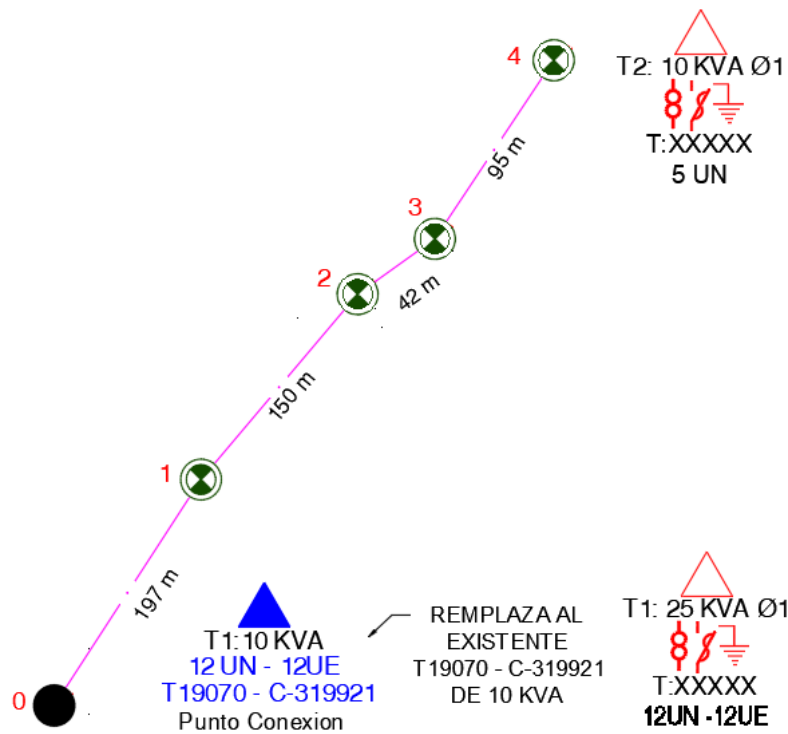


Figura 36: Digitalización Red MT Transformador 2 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.

### 4.3.1 Cálculos eléctricos para redes de media tensión (MT)

Como se puede observar en la figura 27, el punto de conexión del transformador dos es el transformador uno, de allí se proyecta una red Calibre No 2x1/0 para alimentar el transformador dos de 10 KVA para cinco usuarios.

#### 4.3.1.1 Cálculos de corriente nominal

Tomando la Ecuación 2 para un sistema monofásico bifilar, tenemos:

$$I = \frac{S}{V} \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde:

$S$  = Sumatoria de las demandas máximas (KVA).

$V$  = Tensión de línea de fase- fase (KV).

Consideramos que:

$S = 25 \text{ KVA}$ , debido a que solo existe un único transformador para la red proyectada.

$V = 13,2 \text{ KV}$ .

Tenemos:

$$I = \frac{25 \text{ Kva}}{13,2 \text{ Kv}}$$

$$I = 1,89 \text{ A}$$

Dada la baja intensidad de corriente para para un nivel de tensión tan elevado, en este circuito no es necesario calcular la regulación de tensión, sin embargo, se realiza el cálculo para demostrar el método utilizado para las demás veredas del proyecto.

#### 4.3.1.2 Cálculos de regulación de tensión

Tomando la Ecuación 3, tenemos:

$$\% \Delta V = K_v * P * L \text{ (Ecuación 3)}$$

Donde:

$$K_v = \text{Constante de regulación (\%/Kw*m)}$$

$$P = \text{Potencia a transportar (Kw)}$$

$$L = \text{Longitud de la línea (Km)}$$

Consideramos que:

$$K_v = 0,000000941 \text{ \%/Kw*km}$$

$$P = 10 \text{ KVA}$$

$$L = 0,484 \text{ Km}$$

Tenemos:

$$\% \Delta V = 0,000000941 * 10 \times 10^3 * 0,484$$

$$\% \Delta V = 0.005$$

El cálculo de regulación de tensión en MT, se realiza de la misma manera que en BT, sacando los valores parciales para obtener un valor de regulación final dependiendo del tipo de red.

#### 4.3.2 Estructuración y diseño final de la red de media tensión

La red MT tiene el mismo tratamiento que la red BT en cuanto a estructuración y diseño final del plano, se utilizan los códigos para la estructuración de la tabla 20, para este caso el armado de redes MT < 300 m monofásico bifilar y las diferentes convenciones que conforman la red, ver figura 37.

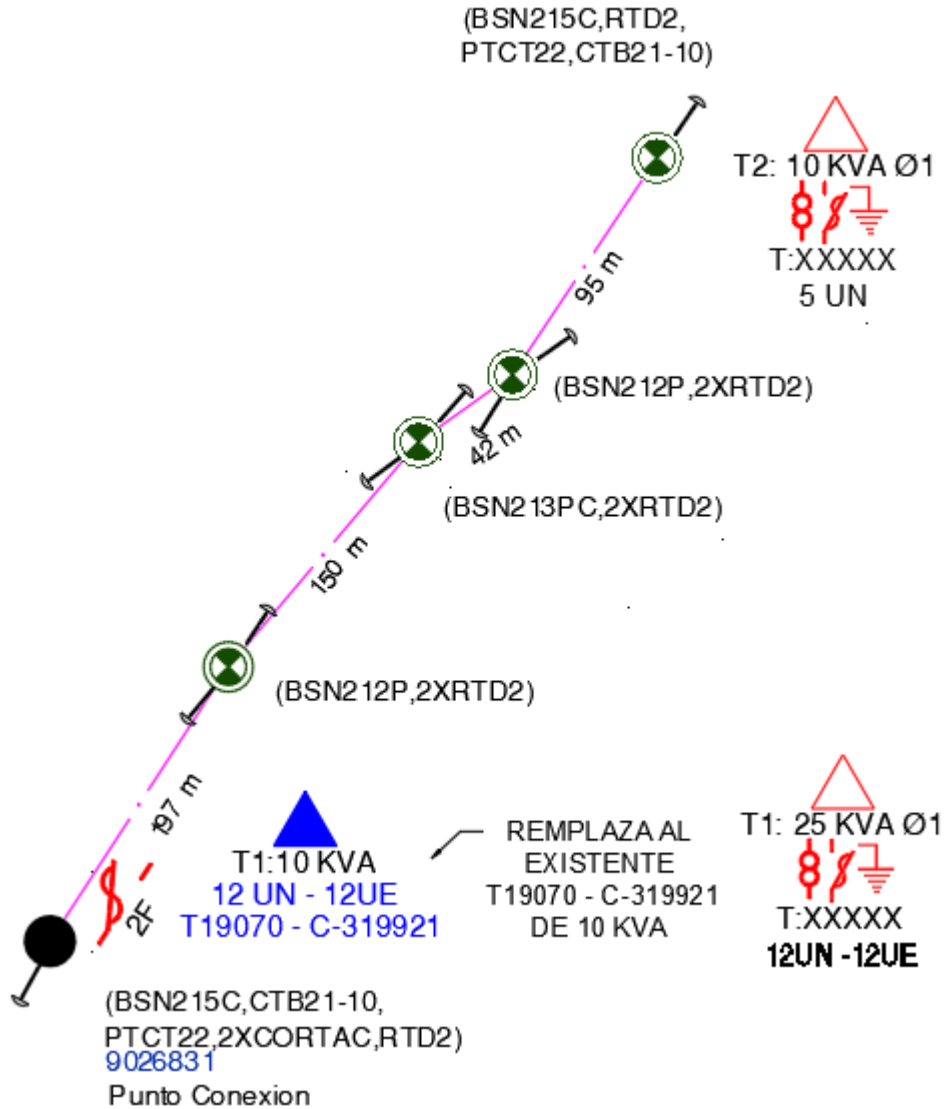
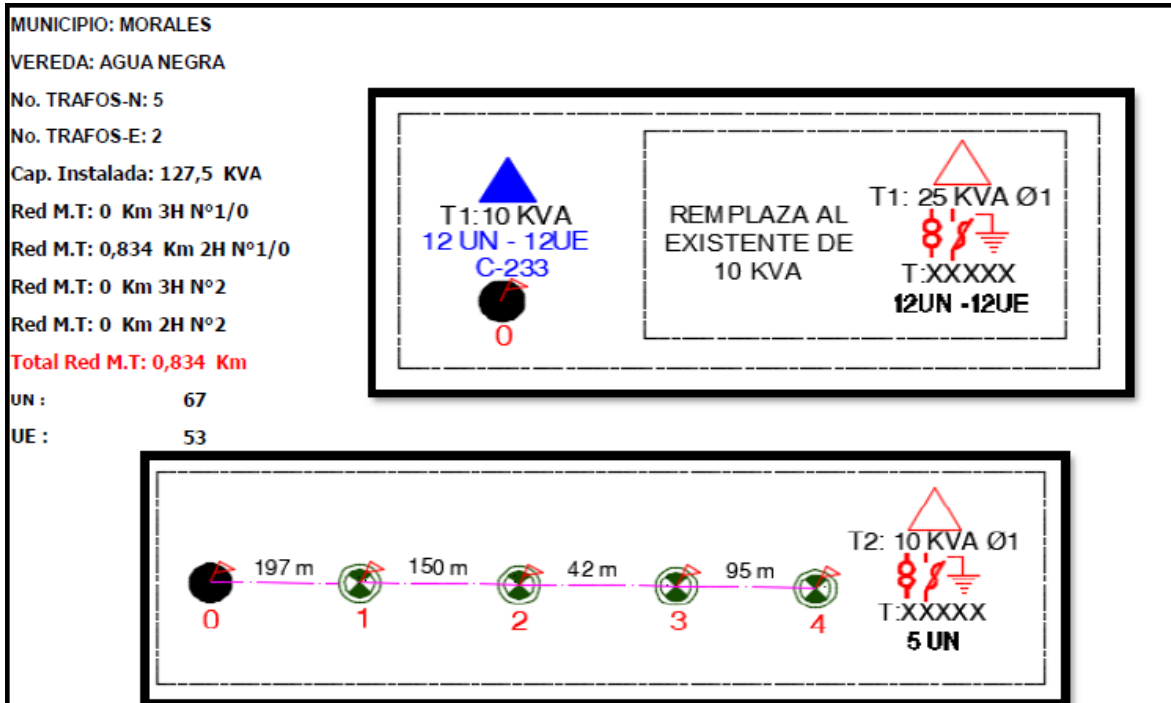


Figura 37: Diseño Final Red MT Transformador 2 Vda. Agua Negra. Fuente Propia.

Finalmente, la información de cálculos eléctricos de media tensión se entrega en el formato de la figura 38 (Imagen de referencia para el transformador uno y dos de la vereda Agua Negra), el cual contiene la información de cada uno de los tramos con sus respectivos transformadores, red y usuarios que componen la vereda.

En el Anexo 2. Formatos de media tensión (MT) y baja tensión (BT), se adjunta un formato de cálculos de media tensión por vereda.



CÁLCULO DE RED PRIMARIA								
ESQUEMA UNIFILAR DEL CIRCUITO								
Tramo	Calibre	Longitud m.	Demanda de Cálculo	cant Usuarios	Momento Kw*m.	Constante de Regulación K	Regulación	
							Parcial	Total
0-0	1/0-1/0-1/0	0	25	24	0,0	4,70E-07	0,000	0,000
0-4	1/0-1/0	484	10	5	4840,0	9,41E-07	0,005	0,005
0-0	1/0-1/0	0	25	11	0,0	9,41E-07	0,000	0,000
0-0	1/0-1/0	0	10	11	0,0	9,41E-07	0,000	0,000
0-0	1/0-1/0	0	10	20	0,0	9,41E-07	0,000	0,000
0-4	1/0-1/0	350	10	4	3500,0	9,41E-07	0,003	0,003
0-0	1/0-1/0	0	37,5	45	0,0	9,41E-07	0,000	0,000

Figura 38: Cálculos redes MT, Transformador 1 y 2 Vda. Agua Negra. Fuente Electroenergizar ing.

#### 4.5 CURVAS DE NIVEL Y PERFILES LONGITUDINALES DE TERRENO

Una vez culminada la digitalización de las redes con todos los atributos de diseño eléctrico, se procede a realizar las curvas de nivel y perfiles longitudinales del terreno donde serán instaladas las redes.

- **Curvas de nivel**

Las curvas de nivel se utilizan para referenciar en el plano digital los puntos más altos del terreno, esta información se observa en 2D y con ello se da una idea del montaje de las estructuras y su futura resistencia. Las curvas se obtienen a partir de las coordenadas originales del terreno donde se proyectan las redes, para obtenerlas se utiliza Global Mapper y AutoCAD. En la figura 39 se observa el plano general de las redes eléctricas de la Vereda Agua Negra y en la figura 40, zoom a una parte del plano con curvas de nivel.



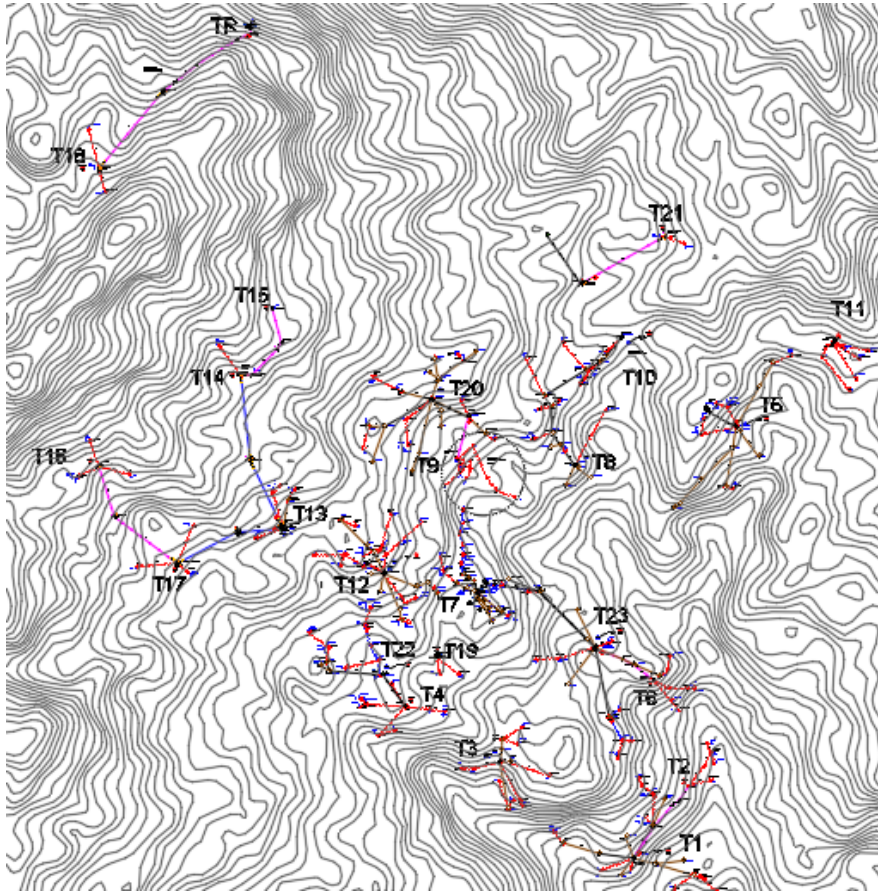


Figura 39: Plano Vda. Agua Negra con Curvas de Nivel. Fuente Propia.

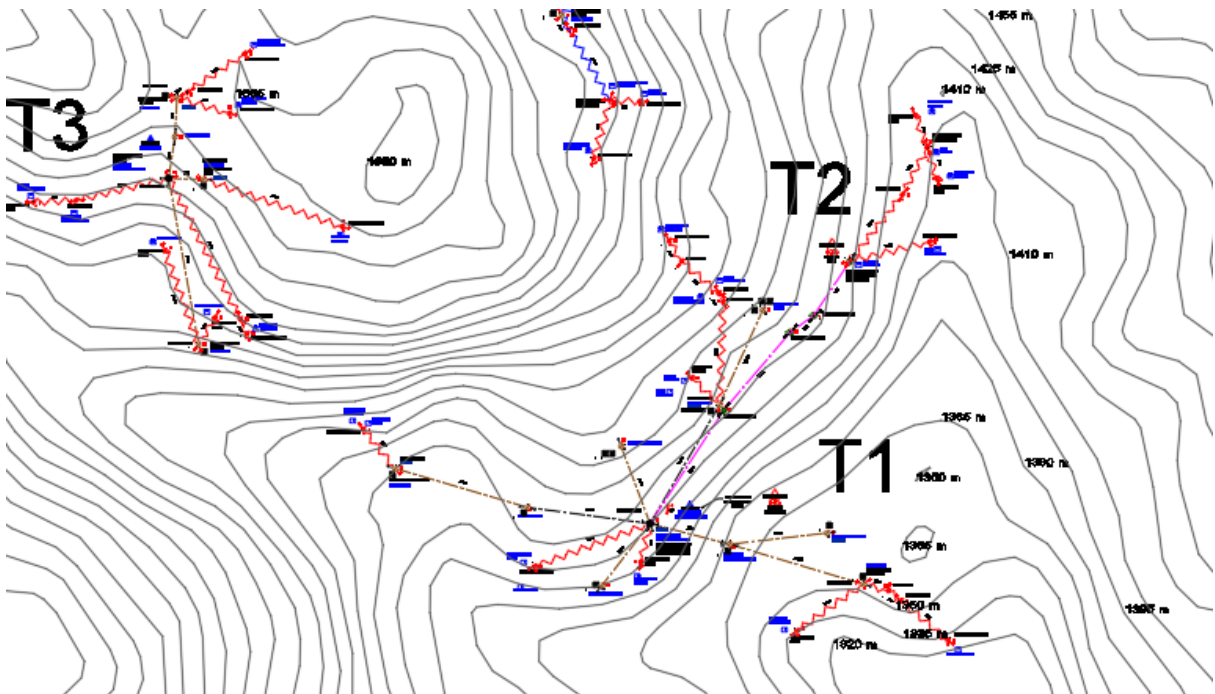


Figura 40: Zoom Plano Vda. Agua Negra con Curvas de Nivel. Fuente Propia.

- **Perfiles Longitudinales**

Los perfiles longitudinales de terreno son de suma importancia para determinar el tipo y resistencia de las estructuras de media tensión proyectadas, además de servir en los cálculos mecánicos de las redes. Para las veredas del proyecto se tomaron tramos de red de 300 metros en adelante, en la figura 41 se observa el perfil longitudinal del tramo de red referenciado como 17-18-19 de la Vereda Agua Negra.

El perfil se compone de distancias entre los tramos seleccionados, altura máxima de la ubicación de las estructuras y una simulación del tendido de la red, respetando las distancias de seguridad requeridas por la normatividad Retie. Estos perfiles se realizan con Global Mapper y AutoCAD.

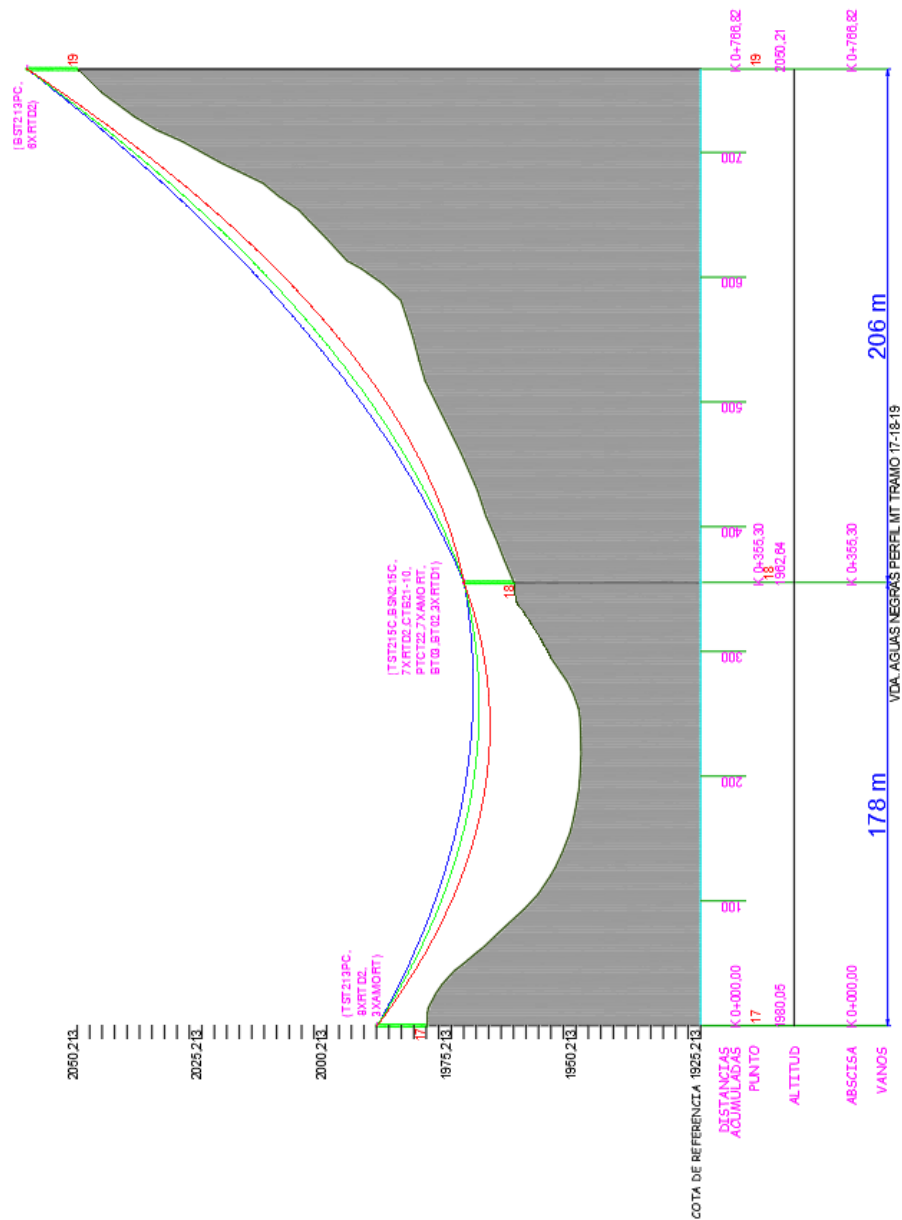


Figura 41: Perfil Longitudinal de terreno Vda. Agua Negra. Fuente Electroenergizar ing.



## **CAPITULO V: RESULTADOS OBTENIDOS**

A continuación, se exponen los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo de pasantía.

### **5.2 DESARROLLO DEL ESTUDIO**

Inicialmente, el estudio permitió determinar información importante de la zona a intervenir con el proyecto, se logró la identificación de la población, terreno, rutas de acceso, estrato socioeconómico y datos básicos preliminares, entre otros, para iniciar con la proyección del diseño. Posteriormente con la información obtenida, se determinaron las características generales del diseño, los criterios de proyección, configuración, caracterización y tipo de red eléctrica, también, parámetros para el cálculo eléctrico, materiales y construcción de la red. Lo anteriormente nombrado, cumpliendo con las características de diseño de la normatividad RETIE y los criterios de diseño de la compañía energética de occidente.

En un principio, el estudio se proyectó para una población de 625 usuarios en las siete veredas, luego del levantamiento topográfico, el número de usuarios ascendió a más de 900, razón por la cual se debieron cambiar algunos parámetros proyectados para el diseño y el cronograma de trabajo en el desarrollo del proyecto.

### **5.3 DESARROLLO DEL DISEÑO**

El diseño inició en base a los parámetros seleccionados en el estudio, se llevó a cabo cumpliendo los criterios de diseño de la compañía energética de occidente y la normatividad RETIE para cada uno de los pasos.

En algunos casos y debido al aumento del número de usuarios, se tuvieron que hacer cambios en las fases de desarrollo, estos cambios abarcaron desde la digitalización hasta el plano final de diseño, para así lograr incluir los nuevos usuarios dentro del proyecto, el cual terminó con 343 adicionales y un total de 968 finales.

Los diseños eléctricos propuestos finalmente fueron presentados y evaluados por el director de la división de ingeniería y proyectos de la empresa, el cual indicó el cumplimiento de las normas y la aceptación del mismo. En el anexo 3, Planos finales de diseño, se adjunta el plano número 1 de cada una de las veredas.

Finalmente, en la tabla 28, se muestra el número de transformadores y red obtenidos del diseño de las siete veredas, y en la tabla 29, los ítems más importantes entregados para la continuación del proceso. Cabe resaltar que el material de obra obtenido de los diseños no se muestra en las tablas debido a la gran cantidad que posee.

NO	VEREDA	USUARIOS	TRANSFORMADORES (KVA)					RED BT		RED MT		
			10	15	25	37.5	Existentes	Tz 2 Tríplex	Tz 1/0 Tríplex	2 x 1/0	3 x 1/0	
1	Agua Negra	191	11	2	5	-	5	13552 m	917 m	3838 m	1451 m	
2	Samaria	158	20	3	3	1	1	14550 m	3170 m	9420 m	7027 m	
3	La Liberia	178	20	7	2	-	4	22371 m	223 m	5531 m	6014 m	
4	Santa Bárbara	91	8	1	1	-	4	5971 m	-	2088 m	-	
5	Chimborazo	75	4	2	-	1	5	5047 m	212 m	879 m	357 m	
6	La Concordia	103	-	3	4	-	2	3354 m	689 m	480 m	-	
7	La Floresta	172	-	2	5	-	3	3630 m	-	662 m	91 m	
<b>Total</b>		<b>968</b>	<b>63</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>2</b>	<b>24</b>	<b>68475 m</b>	<b>5211 m</b>	<b>22898 m</b>	<b>14940 m</b>	
<b>Total Transformadores</b>			<b>129</b>									

Tabla 28: Resumen diseño 7 Veredas. Fuente propia.

ÍTEM	CANTIDAD
Cálculos de regulación Baja Tensión	129 Transformadores
Cálculos de regulación Media Tensión	129 Transformadores
Listado de usuarios 7 veredas	968 usuarios
Lista de chequeo final 7 veredas	1 Lista
Lista de puntos de conexión 7 veredas	195 puntos de conexión
Lista de conteo de materiales 7 veredas	7 Listas
Plano finales de redes, con curvas de nivel y perfiles longitudinales	22 planos
Archivos .DWG planos finales	7 archivos
Archivos .DWG información primaria	7 archivos
Planos .DWG ubicación de veredas	7 archivos
Planos .DWG preliminares sin escala	7 archivos
Ubicación de usuarios nuevos, existentes y estructuras 7 veredas	7 Listas

Tabla 29: Ítems obtenidos del diseño. Fuente Propia.

### **5.3 INTEGRACION DEL DISEÑO**

Una vez evaluados y avalados los diseños eléctricos, se procedió a integrar la información junto con el equipo de ingeniería y proyectos en la construcción final del macroproyecto, aportando desde los diseños información como: planos finales de las redes, cálculos eléctricos, listado final de usuarios, puntos de conexión, perfiles longitudinales y curvas de nivel de terreno, además de cantidades relacionadas con la construcción de las redes, para así, obtener el presupuesto general de la obra y el cronograma de ejecución.

Finalmente, toda la información se estructuró y se obtuvo el producto final el cual fue entregado y aprobado por la alcaldía municipal de Morales Cauca.

## **CAPITULO VI: CONCLUSIONES**

Se logró determinar las características y parámetros adecuados para el diseño de las redes, documentando información sobre la zona a intervenir, tipo de población, estrato socioeconómico, datos climáticos, de terreno, además de la configuración y caracterización de la carga y red eléctrica para el macroproyecto de electrificación rural.

Se realizó el diseño eléctrico de las redes teniendo en cuenta parámetros como, niveles de tensión, cargabilidad en las redes, tipo de transformador, requerimientos de calidad en material para la ejecución de obra, regulación de tensión y confiabilidad del servicio, con el objetivo de cumplir los ítems del RETIE y los criterios de diseño de la compañía energética de occidente.

Se llevó a cabo el proceso de digitalización de las redes eléctricas, obteniendo los planos definitivos del diseño, los cuales contienen, configuración, tipo de red, ubicación geográfica, armado de estructuras, tipo de material y valor de distancia en conductor a utilizar, así como sus respectivos calibres. Cabe resaltar que estos planos son necesarios para la aprobación del macroproyecto por parte entidades externas como el operador de red, interventoría y alcaldía de Morales Cauca.

La aprobación del trabajo realizado por parte de la división de ingeniería y proyectos de la empresa, demostró el cumplimiento de los objetivos planteados en el desarrollo de la pasantía, además, gracias al trabajo en equipo, la empresa logró cumplir satisfactoriamente el compromiso con la alcaldía de Morales Cauca.

De los planos definitivos se obtuvo la información final que permitió realizar el presupuesto de ejecución de obra y materiales, aportando así un ítem muy importante en la estructuración y formulación del macroproyecto.

En el proceso de cálculos eléctricos, se logró evidenciar el impacto negativo que tienen los usuarios conectados ilegalmente a las redes de baja tensión, debido a

que generan una sobre carga a los circuitos y por ende una reducción de la vida útil del transformador, además de pérdidas económicas para el operador de red.

Durante el desarrollo del diseño, se logró evidenciar las difíciles condiciones de terreno en las cuales se encuentran ubicadas las viviendas beneficiadas, en algunos casos se tuvo que evaluar y reubicar diferentes trayectos para el recorrido de las redes de media y baja tensión, con el objetivo de no colocar en riesgo la salud o vida de las personas y el medio ambiente.

Este trabajo aporta a Electroenergizar Ingeniería un modelo de estudios y diseños de las redes eléctricas rurales del Municipio de Morales Cauca, importantes para futuros proyectos de infraestructura eléctrica.

Electroenergizar Ingeniería LTDA, es una empresa con un alto nivel de compromiso con las personas que allí trabajan, permitiendo a sus colaboradores adquirir diversas experiencias en el entorno de proyectos energéticos desde la etapa de diseño y ejecución hasta la terminación de las obras de infraestructura eléctrica. Finalmente, su compromiso llega hasta las comunidades, aportando desarrollo y progreso a las mismas.

## REFERENCIAS

- [1] Reglamento tecnico de instalaciones electricas, «Retie,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.retie.com.co/download/RETIE-EN-PDF-ACTUALIZADO.pdf>. [Último acceso: 1 Marzo 2020].
- [2] Electrica Aplicada, «Electrica Aplicada,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.electricaplicada.com/que-es-el-retie-obligatoria-ntc2050/>. [Último acceso: 1 Marzo 2020].
- [3] Compañía Energetica de Occidente, «Ceoesp,» 2012. [En línea]. Available: [https://www.ceoesp.com.co/cargar\\_imagen.php?id=377&tipo=6&thumbnail=FALSE..](https://www.ceoesp.com.co/cargar_imagen.php?id=377&tipo=6&thumbnail=FALSE..) [Último acceso: 1 Marzo 2020].
- [4] Constitución Política de Colombia, «Secretaria del senado,» [En línea]. Available: [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_0142\\_1994.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0142_1994.html). [Último acceso: 1 Marzo 2020].
- [5] I. D. S. H. Carlos Franco, «Contribución de la energía al desarrollo de comunidades aisladas no interconectadas: un caso de aplicación de la dinámica de sistemas y los medios de vida sostenibles en el suroccidente colombiano,» *Bdigital Universidad Nacional*, vol. 75, nº 154, pp. 199-214, 2007.
- [6] J. F. P. P. Edgar Ortégón, Metodología del marco lógico para la planificación, el seguimiento y la evaluación de proyectos y programas, Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas, 2015.

- [7] Ministerio de Minas y Energía Colombia, «MinEnergía,» [En línea]. Available: <https://www.minenergia.gov.co/mision-y-vision>. [Último acceso: 11 Agosto 2019].
- [8] Sistema de Información Eléctrico Colombiano, «SIEL,» [En línea]. Available: <http://www.siel.gov.co/siel/Home/Fondos/tabid/61/Default.aspx>. [Último acceso: 11 Agosto 2019].
- [9] Unidad de Planeación Minero Energética, «UPME,» [En línea]. Available: <https://cutt.ly/ceWTepY>. [Último acceso: 10 Agosto 2019].
- [10] Instituto colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC, «Norma Técnica Colombiana NTC 2050,» Bogotá DC, 1998.
- [11] Ministerio de minas y energía Colombia, «Alcaldía de Bogotá,» 06 08 2009. [En línea]. Available: <https://cutt.ly/ReWEV8K>. [Último acceso: 05 Marzo 2020].
- [12] Endesa, «Fundación Endesa,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-red-de-distribucion>. [Último acceso: 2 Marzo 2020].
- [13] Centrales Eléctricas del Norte de Santander, «CENS,» 2016. [En línea]. Available: <https://cutt.ly/NeWEK8H>. [Último acceso: 2 Marzo 2020].
- [14] S. R. Castaño, Redes de distribución de energía, Manizales: Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia, 2004.
- [15] Incable, «Incable,» [En línea]. Available: <http://incable.com/producto?id=2>. [Último acceso: 2 Marzo 2020].
- [16] Jytop, «Jytop wire & Cable,» [En línea]. Available: <https://es.vwcable.com/aaac-bare-conductor-xlpe-alambre-triplex-2-0-4-0-service-drop-cable/>. [Último acceso: 2 Marzo 2020].
- [17] Fundiherrajes de Colombia, «Fundiherrajes de Colombia,» [En línea]. Available: <https://www.fundiherrajesdecolombia.com/lineas-de-distribucion>. [Último acceso: 2 Marzo 2020].
- [18] Distrielec, «Gesolarpanel,» 11 Junio 2016. [En línea]. Available: <https://gesolarpanel.wordpress.com/2016/06/11/aisladores-polimericos-de-suspension/>. [Último acceso: 2 Marzo 2020].
- [19] Yokelink, «Yokelink,» [En línea]. Available: [http://www.yokelink.com/index\\_en.html](http://www.yokelink.com/index_en.html). [Último acceso: 2 Marzo 2020].
- [20] S&C Electronic company, «S&C Electronic company,» [En línea]. Available: <https://www.sandc.com/es/productos-y-servicios/productos/cortacircuito-fusible-tipo-xs/>. [Último acceso: 3 Marzo 2020].
- [21] Rymel, «Rymel,» [En línea]. Available: <http://www.rymel.com.co>. [Último acceso: 2 Marzo 2020].
- [22] T. S. M. Jacinto Santamaría Peña, «Publicaciones Unirioja España,» 2005. [En línea]. Available: <https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/online/topografia.pdf>. [Último acceso: 12 Marzo 2020].

- [23] Geomobile Innovations, «Geomobile Innovations,» [En línea]. Available: <http://www.geomobileinnovations.com/products/trimble-juno-3b>. [Último acceso: 3 Marzo 2020].
- [24] Garmin, «Garmin,» [En línea]. Available: <https://www.garmin.com.co/GPSMAP-64SC>. [Último acceso: 3 Marzo 2020].
- [25] AutoCAD, «Autodesk Latinoamerica,» [En línea]. Available: <https://latinoamerica.autodesk.com/products/autocad/included-toolsets/autocad-electrical>. [Último acceso: 12 Marzo 2020].
- [26] Google, «Google Earth,» Google , [En línea]. Available: <https://www.google.com/earth/>. [Último acceso: 12 Marzo 2020].
- [27] Geosoluciones, «Geosoluciones,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.geosoluciones.cl/global-mapper/>. [Último acceso: 13 Marzo 2020].
- [28] Esri, «Esri,» [En línea]. Available: <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-online/overview>. [Último acceso: 13 Marzo 2020].
- [29] Garmin , «Garmin, Software BaseCamp,» [En línea]. Available: <https://www.garmin.com/es-ES/software/basecamp/>. [Último acceso: 13 Marzo 2020].
- [30] Compañía Energetica de Occidente, «Anexo L. Demanda Máxima Diversificada red Baja Tension,» Popayán, 2019.
- [31] Unam Mexico, «Unam Mexico,» [En línea]. Available: <https://vdocuments.site/mantenimiento-en-redes-de-distribucion-aerea1.html>. [Último acceso: 3 Marzo 2020].
- [32] Compañía Energetica de Occidente, «Anexo E. Constantes de regulación para red aérea 13,2 kV,» Popayán , 2019.
- [33] Compañía Energetica de Occidente , «Anexo M. Constantes de regulacón red aérea Baja Tensión,» Popayán, 2019.
- [34] Compañía Energetica de Occidente , «Norma de construcción redes de Media Tensión y Baja Tensión,» Popayán, 2013.
- [35] Prolyt Power Expertise, «Prolyt Power Expertise,» [En línea]. Available: <https://www.prolyt.com/factor-de-potencia/>. [Último acceso: 3 Marzo 2020].