

Diseño de la Red De Distribución para 30 Usuarios Rurales en el Municipio de
Floridablanca

Diego Fabian Toloza Torres y Johan Mateo Ardila Rojas

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingenieros Electricistas

Director

Rolando Andrés Rincón Saravia
Magister en Dirección de Empresas

Codirector

Rodolfo Villamizar Mejía
Doctor en Tecnologías de la información

Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica, y Telecomunicaciones
Bucaramanga

2025

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	8
1. Conceptos Previos.....	10
1.1 Marco Teórico.....	10
1.1.1 Definiciones.	10
1.1.2 Parámetros Eléctricos de Diseño.	13
2. Desarrollo de la Solución.....	16
2.1 Información General de la Vereda Vericute Parte Alta	16
2.2 Levantamiento de Información de Campo.....	17
2.2.1 Infraestructura Existente	17
2.2.2 Condiciones del Terreno y Accesibilidad	20
2.2.3 Localización y Proyección de Usuarios.....	22
2.2.4 Trazado Preliminar de la Red de Distribución.....	23
2.3 Diseño y Análisis de Alternativas.....	24
2.3.1 Estimación de Demanda Eléctrica	25
2.3.2 Alternativa 1: Red de distribución con un Transformador	25
2.3.3 Alternativa 2: Red de distribución con dos Transformadores.	28
2.3.4 Alternativa 3: Red en Media y Baja Tensión con Tres Transformadores.....	31
2.4 Selección de Alternativa	33
2.5 Analisis de Costos de Materiales	36
3. Conclusiones	37
4. Recomendaciones	38
Referencias.....	39

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Carga mínima instalada por usuario	25
Tabla 2 Dimensionamiento transformador alternativa 1.....	26
Tabla 3 Dimensionamiento de conductores alternativa 1	27
Tabla 4 Dimensionamiento transformador 1 alternativa 2.....	29
Tabla 5 Dimensionamiento transformador 2 alternativa 2.....	30
Tabla 6 Dimensionamiento conductores alternativa 2.....	30
Tabla 7 Dimensionamiento transformador 1 alternativa 3.....	32
Tabla 8 Dimensionamiento transformador 2 alternativa 3.....	32
Tabla 9 Dimensionamiento transformador 3 alternativa 3.....	32
Tabla 10 Dimensionamiento de conductores alternativa 3	32
Tabla 11 Ítems exigidos por el RETIE para diseño detallado.....	35
Tabla 12 Análisis de costos de materiales	36

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Mapa de ubicación de la Vereda Vericute Parte Alta.	17
Figura 2 Transformador existente.....	18
Figura 3 Fotografía red de baja tensión cruzando entre árboles.	19
Figura 4 Red de baja tensión a través de la carretera.....	19
Figura 5 Red de distribución eléctrica actual.....	20
Figura 6 Estado de la carretera principal.	21
Figura 7 Condiciones de la vía de acceso a la zona de interés.	21
Figura 8 Mapa de la vía principal y de acceso a la zona de interés.	22
Figura 9 Ubicación de usuarios existentes y proyección de nuevos usuarios.	23
Figura 10 Trazado preliminar de la red de distribución.....	24
Figura 11 Trazado alternativa 1	26
Figura 12 Diagrama unifilar alternativa 1.....	28
Figura 13 Trazado alternativa 2	29
Figura 14 Diagrama unifilar alternativa 2.....	30
Figura 15 Trazado alternativa 3	31
Figura 16 Diagrama unifilar alternativa 3.....	33

Lista de Anexos

Anexo A Memorias de calculo

Anexo B Unifilar alternativa 1

Anexo C Vista de planta alternativa 1

Anexo D Unifilar alternativa 2

Anexo E Vista de planta alternativa 2

Anexo F Unifilar alternativa 3

Anexo G Vista de planta alternativa 3

Anexo H Vista de perfil alternativa 3

Anexo I Análisis de Costos de Materiales

“Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS”

Resumen

Título: Diseño de la red de distribución para 30 usuarios rurales en el municipio de Floridablanca *

Autor: Diego Fabian Toloza Torres, Johan Mateo Ardila Rojas**

Palabras Clave: Electrificación rural, red de distribución, diseño eléctrico

El presente trabajo de grado desarrolla el diseño de una red de distribución eléctrica para la vereda Vericute parte alta, ubicada en el municipio de Floridablanca, Santander, con el propósito de resolver las limitaciones de la infraestructura actual que, debido al crecimiento poblacional, presenta sobrecargas, fluctuaciones de tensión y restricciones de mantenimiento por el paso de la red por propiedades privadas. Estos problemas afectan directamente la calidad y continuidad del servicio eléctrico, limitando el desarrollo de la comunidad y su acceso a un suministro confiable.

El proyecto se centra en proponer una solución técnica conforme con la normativa de la ESSA para sistemas de electrificación rural, priorizando la seguridad, la eficiencia y la capacidad de expansión futura. Para ello, se evaluaron alternativas de diseño en media y baja tensión, analizando aspectos técnicos, topográficos y económicos, con el fin de seleccionar la opción más adecuada para garantizar estabilidad en el nivel de tensión y minimizar las pérdidas de energía.

Los resultados obtenidos incluyen el diseño de una red de distribución optimizada, considerando la selección de transformadores y conductores que cumplan con las condiciones técnicas requeridas, garantizando un servicio eléctrico estable en la zona. Además, se elaboraron los planos, memorias de cálculo y una estimación de costos de materiales necesarios para la implementación del proyecto.

La implementación de este diseño permitirá a la comunidad de Vericute contar con una red eléctrica confiable y segura, mejorando las condiciones de vida de sus habitantes y facilitando el crecimiento del sector, contribuyendo de manera significativa al desarrollo rural sostenible de la región.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica, y Telecomunicaciones. Director: Nombres y Apellidos completos. Título académico completo de mayor rango. Codirector: Nombres y Apellidos completos. Título académico completo de mayor rango

Abstract

Title: Design of the Distribution Network for 30 Rural Users in the Municipality of Floridablanca *

Author: Diego Fabian Toloza Torres, Johan Mateo Ardila Rojas **

Key Words: Rural electrification, distribution network, electrical design

This project develops the design of an electrical distribution network for the Vericute parte alta rural area, located in the municipality of Floridablanca, Santander, with the aim of addressing the limitations of the existing infrastructure, which, due to population growth, presents overloads, voltage fluctuations, and maintenance restrictions due to the network crossing private properties. These issues directly affect the quality and continuity of the electrical service, limiting community development and access to a reliable power supply.

The project focuses on proposing a technical solution in accordance with the ESSA standards for rural electrification systems, prioritizing safety, efficiency, and future expansion capacity. To this end, design alternatives in medium and low voltage were evaluated, analyzing technical, topographic, and economic aspects to select the most suitable option to ensure voltage stability and minimize energy losses.

The results include the design of an optimized distribution network, considering the selection of transformers and conductors that meet the required technical conditions, ensuring stable electrical service in the area. Additionally, plans, calculation reports, and a cost estimate for the materials necessary for project implementation were prepared.

The implementation of this design will allow the Vericute community to have a reliable and safe electrical network, improving the living conditions of its inhabitants and facilitating sector growth, thus contributing significantly to the sustainable rural development of the region.

* Degree Work

** Faculty of Engineering School of physicomechanical Electrical, Electronic and Telecommunications

Introducción

El acceso a un servicio de energía eléctrica confiable y de calidad constituye un pilar esencial para el desarrollo social y económico de las comunidades rurales. La vereda Vericute parte alta, ubicada en el municipio de Floridablanca, Santander, enfrenta actualmente limitaciones en su infraestructura de distribución eléctrica, las cuales se han visto acentuadas por el crecimiento poblacional y el aumento en la demanda energética de sus habitantes. Esta situación ha generado sobrecargas en el sistema existente, fluctuaciones de tensión y dificultades de mantenimiento, debido a que la red atraviesa terrenos privados, afectando la calidad y continuidad del suministro eléctrico y limitando las oportunidades de progreso para sus habitantes.

En el pasado, el suministro de energía en esta zona se ha sostenido mediante una infraestructura que inicialmente fue diseñada para atender un número limitado de usuarios, dependiente de un transformador del Centro Nacional de Investigaciones del Café. Sin embargo, dicha solución ha resultado insuficiente, sin responder de manera efectiva a las condiciones actuales ni garantizar una proyección de crecimiento ordenado, sostenible y seguro.

Este proyecto de grado propone el diseño de una nueva red de distribución eléctrica para la vereda Vericute parte alta, en cumplimiento con las normas técnicas de ESSA para sistemas de electrificación rural, priorizando la eficiencia, la seguridad y la escalabilidad del sistema. Para ello, se evaluaron alternativas de diseño en media y baja tensión, considerando aspectos técnicos, normativos, topográficos y económicos, con el fin de identificar la solución más adecuada que permita minimizar las pérdidas de energía, garantizar la estabilidad del nivel de tensión y optimizar la infraestructura existente.

Como resultado, se presenta un diseño de red de distribución optimizado que incluye la selección adecuada de transformadores, conductores y dispositivos de protección, acompañado de planos, memorias de cálculo y presupuesto, asegurando la viabilidad técnica y económica de la propuesta. Este proyecto no solo atiende la problemática actual, sino que también aporta una solución integral con impacto positivo en la calidad de vida de la comunidad, contribuyendo al desarrollo rural sostenible de la región y permitiendo una expansión futura del servicio con estándares de confiabilidad y eficiencia.

1. Conceptos Previos

1.1 Marco Teórico

1.1.1 Definiciones.

De acuerdo con la Norma Técnica de Electrificación Rural NTG-01 de la Electrificadora de Santander – ESSA (2025), se enuncian las siguientes definiciones:

Acometida: derivación de la red local de distribución que llega hasta el elemento de corte del inmueble o, en propiedad horizontal, hasta el elemento de corte general.

Capacidad o potencia instalada: suma de las cargas continuas y no continuas previstas en una instalación de uso final, expresada en kVA. También se refiere a la potencia nominal de una central de generación, subestación, línea de transmisión o circuito de distribución.

Capacidad nominal: conjunto de características eléctricas y mecánicas asignadas por el diseñador a un equipo eléctrico, que definen su funcionamiento continuo bajo condiciones específicas. En un sistema, está determinada por la capacidad nominal del elemento limitador.

Carga: potencia requerida para el funcionamiento de uno o varios equipos o la que transporta un circuito.

Carga de diseño: carga considerada para el diseño de una salida.

Cargabilidad: límite térmico de capacidad de corriente en líneas, transformadores y equipos.

Circuito ramal en baja tensión: conductores entre el dispositivo final de protección y las salidas internas.

Demanda: carga promedio en terminales de recepción, usualmente en intervalos de 15 minutos.

Demanda máxima: mayor demanda registrada en un periodo determinado.

Descargador de sobretensiones (DPS): dispositivo que protege equipos limitando la sobretensión al absorber la energía transitoria, desviando el excedente a la red.

Factor de carga: razón entre la demanda promedio y la demanda máxima en un periodo.

Factor de demanda: razón entre la demanda máxima y la carga instalada de un sistema.

Factor de diversidad: razón entre la suma de las demandas máximas individuales de varias subdivisiones de un sistema y la demanda máxima del sistema completo.

Factor de potencia: razón entre la potencia activa (kW) y la potencia de dimensionamiento (kVA).

Factor de utilización: razón entre la demanda máxima del sistema y su capacidad instalada.

Factor de seguridad: razón entre el esfuerzo máximo permisible y el esfuerzo de trabajo de un componente.

Factor de seguridad mínimo de aislamiento: razón entre el nivel básico de aislamiento al impulso (BIL) del equipo protegido y el nivel de protección de los pararrayos. permanece energizado durante el servicio normal.

Fusible: dispositivo que abre un circuito por la fusión de uno o varios de sus componentes al presentarse sobrecorriente.

Interruptor automático: dispositivo que abre un circuito automáticamente al presentarse una sobrecorriente predeterminada, sin dañarse.

Puesta a tierra: conjunto de elementos conductores equipotenciales en contacto con el suelo o con una masa metálica de referencia, para distribuir corrientes de falla. Incluye electrodos, conexiones y cables enterrados.

Ramal: derivación de la red principal que se forma cada vez que un elemento de corte abre una derivación.

Red de distribución: conjunto de conductores que transporta energía desde una subestación hasta el área de consumo.

Red principal: fracción del circuito que constituye su eje principal, desde el interruptor del circuito hasta los elementos de corte de transferencia hacia otros circuitos.

Red pública: red utilizada por dos o más personas naturales o jurídicas, independientemente de su propiedad.

Zona de servidumbre: franja de terreno libre de obstáculos a lo largo de una línea de transporte de energía, destinada a garantizar la seguridad en su construcción, operación y mantenimiento.

1.1.2 Parámetros Eléctricos de Diseño.

1.1.2.1 Tensiones nominales del sistema de distribución de ESSA. El sistema de distribución eléctrico de ESSA opera con los siguientes niveles de tensión (ESSA, 2025, p. 10):

- Tensión primaria (M.T.): 34500 V, 14400V, 13200 V, 11400, 7160 V, y 4160 V.
- Tensión secundaria (B.T.) sistema monofásico bifilar: 120 V.
- Tensión secundaria (B.T.) sistema monofásico trifilar: 120/240 V.
- Tensión secundaria (B.T.) sistema trifásico tetrafililar: 3 X 120/208 V.

1.1.2.3 Tipo de Red. La red de distribución aérea en media tensión se implementa, por lo general, en configuración trifilar (tres fases) o bifilar (dos fases), según las características de la carga a alimentar. Cuando la red troncal de media tensión es trifásica y se requiere una derivación para la instalación de varios transformadores monofásicos, se proyectará la expansión de la red en configuración trifásica hasta la estructura que permita el balanceo de cargas de forma adecuada. Las estructuras empleadas en media tensión deben, en lo posible, corresponder a las homologadas por el Grupo EPM para redes de electrificación rural, disponibles en la página oficial de ESSA.

No se permite la instalación de transformadores en los circuitos principales o alimentadores, conformados usualmente por tres fases en todo su recorrido. Las derivaciones en

media tensión deben realizarse como mínimo con cajas cortacircuito, conforme al numeral 6.10 de la norma vigente de ESSA.

En baja tensión, la red de distribución aérea debe construirse en cable trenzado o en cable múltiplex con chaqueta exterior. De manera excepcional, cuando se superen los esfuerzos mecánicos de los conductores, se podrá emplear cable ACSR del calibre adecuado, previa justificación técnica por parte del diseñador y autorización de ESSA.

1.1.2.4 Regulación de Tensión. Existen criterios de regulación de tensión establecidos para asegurar que el nivel de tensión en el usuario final se mantenga dentro de los rangos adecuados. Los porcentajes de regulación utilizados se toman de la tabla 4 de la norma NTG-01 NORMA ELECTRIFICACIÓN RURAL (ESSA, 2025, p. 12).

- Redes de distribución en baja tensión (B.T) para zona rural: 3%
- Acometida de baja tensión: 3%

1.1.2.5 Uso del Transformador. La capacidad del transformador se selecciona de acuerdo con la demanda diversificada proyectada para el sector rural. Para proyectos de electrificación rural desarrollados por ESSA o mediante convenios interadministrativos, se utilizarán transformadores de alta eficiencia (clase A o B), aislados en aceite dieléctrico vegetal y completamente autoprotegidos (CSP), equipados con fusible y DPS en media tensión, así como con interruptor y DPS en baja tensión, siempre que exista disponibilidad en el mercado.

En transformadores de 3 y 5 kVA, se mantendrá la alta eficiencia y el aislamiento en aceite vegetal, pero podrán omitirse los interruptores en baja tensión debido a limitaciones térmicas en su operación; no obstante, deberán contar con DPS en alta y baja tensión.

De manera excepcional, en zonas de difícil acceso y con restricciones de transporte, se podrá autorizar el uso de transformadores convencionales con pérdidas estándar (clase C o D), sumergidos en aceite mineral y equipados con DPS en alta y baja tensión, previa autorización de ESSA.

Los clientes particulares podrán optar entre transformadores de alta eficiencia con CSP o transformadores convencionales, según sus necesidades y condiciones de instalación (ESSA, 2025, p. 19).

1.1.2.6 Calibre mínimo de los conductores de la red de distribución (ESSA, 2025, p. 21).

- **Redes de media tensión (M.T.):** ACSR No. 1/0 AWG para redes monofásicas y 2/0 AWG para redes trifásicas.
- Redes de baja tensión (B.T.) bifilar a 120 V: Dúplex No. 2 AWG.
- Redes de baja tensión (B.T.) trifilar a 240/120 V: Tríplex No. 2 AWG.

1.1.2.7 Apoyos. En las redes de electrificación rural se deben cumplir estrictamente las disposiciones del RETIE, especialmente en lo relacionado con distancias de seguridad y esfuerzos mecánicos en las estructuras. Para soportar las redes de distribución, se utilizan postes de concreto armado o pretensado, metálicos y de fibras poliméricas reforzadas (PRFV), con dimensiones estandarizadas entre 8 y 22 metros y tolerancias de ± 50 mm, garantizando las distancias de seguridad exigidas.

Los postes deben cumplir con cargas mínimas de rotura que oscilan entre 510 kgf y 2000 kgf, debiendo contar con certificación RETIE de conformidad de producto. Para cargas superiores

a 2000 kgf, se utilizarán postes metálicos o de concreto conforme a la norma ASCE 48 para postes metálicos y NTC 1329 para postes de concreto. Los diseños deben incluir análisis mecánicos de los apoyos en redes primarias y secundarias con el fin de optimizar los materiales y garantizar la estabilidad de las estructuras.

ESSA recomienda el uso de postes PRFV en zonas rurales por sus ventajas en peso, facilidad de transporte, durabilidad y propiedades de aislamiento eléctrico, siendo de uso obligatorio en proyectos de electrificación rural de ESSA y convenios interadministrativos, siempre que se cumplan los requisitos de cálculo mecánico y se cuente con certificación RETIE (ESSA, 2025, p. 18).

2. Desarrollo de la Solución

2.1 Información General de la Vereda Vericute Parte Alta

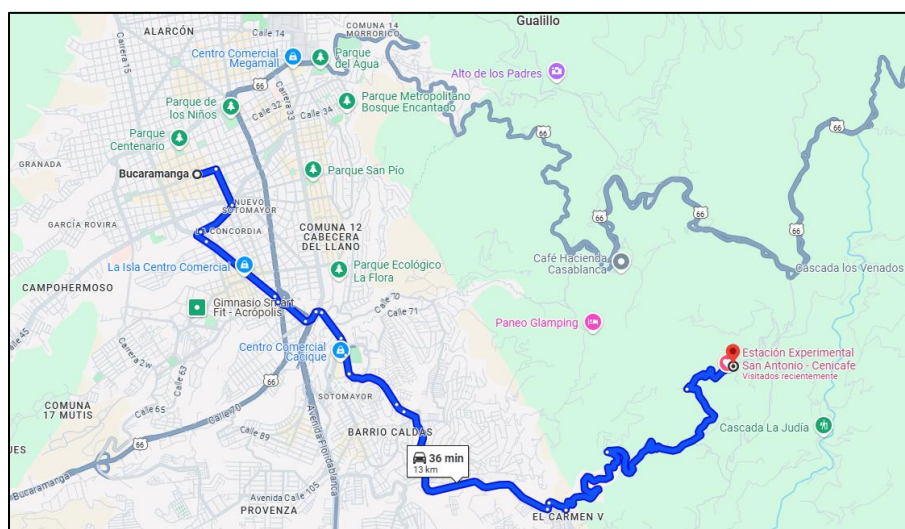
La vereda Vericute parte alta se encuentra ubicada en el municipio de Floridablanca, departamento de Santander, a aproximadamente 12 kilómetros del casco urbano, según Google maps (2025), se localiza en las coordenadas 7.099118° de latitud norte y -73.065674° de longitud oeste. Forma parte del área metropolitana de Bucaramanga, integrada por Bucaramanga, Girón y Piedecuesta, beneficiándose de su cercanía con estos centros de actividad económica y social.

Esta vereda se localiza a una altitud aproximada de 1.350 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas promedio que oscilan entre los 18°C y 22°C , y una humedad relativa cercana al 75%. Su extensión territorial está conformada por terrenos montañosos, con zonas de pendiente moderada y caminos rurales que facilitan parcialmente el acceso a las viviendas dispersas en la zona.

La economía de la vereda Vericute parte alta se basa principalmente en actividades agrícolas de pequeña escala, destacándose cultivos de café, plátano, caña panelera y frutales, que constituyen la fuente de ingreso para la mayoría de sus habitantes. La distribución de las viviendas es dispersa y muchas carecen de infraestructura de servicios públicos de calidad, incluyendo el suministro eléctrico confiable, lo que limita las oportunidades de desarrollo productivo y social de la comunidad. Esta situación evidencia la necesidad de fortalecer la infraestructura energética como componente esencial para mejorar la calidad de vida y apoyar el crecimiento económico sostenible en la zona.

Figura 1

Mapa de ubicación de la Vereda Vericute Parte Alta.



Nota. Tomado de Google Maps, 2025.

2.2 Levantamiento de Información de Campo

2.2.1 Infraestructura Existente

La vereda Vericute parte alta cuenta con un sistema de distribución eléctrica que depende de un transformador instalado por el Centro Nacional de Investigaciones de Café, con relación de 13.200/220 V y una capacidad nominal de 30 kVA, el cual no fue dimensionado para atender la demanda de carga actual en la zona. El sistema fue implementado inicialmente para un número

limitado de usuarios, situación que genera limitaciones frente al crecimiento de viviendas y actividades productivas en la vereda.

La red de distribución se compone de conductores en baja tensión con configuración aérea, distribuidos en trayectos que cruzan propiedades privadas, lo que dificulta las actividades de mantenimiento y limita la expansión del servicio. Existen viviendas sin conexión a la red actual y, en algunos sectores, la distancia entre el transformador y los usuarios genera caídas de tensión que afectan la calidad del suministro. Además, se identifican tramos donde la red no cumple con las distancias mínimas de seguridad establecidas por la normativa, representando un riesgo para las personas y las instalaciones.

Figura 2

Transformador existente.



Nota. Fotografía tomada por el autor.

Figura 3

Fotografía red de baja tensión cruzando entre árboles.



Nota. Fotografía tomada por el autor.

Figura 4

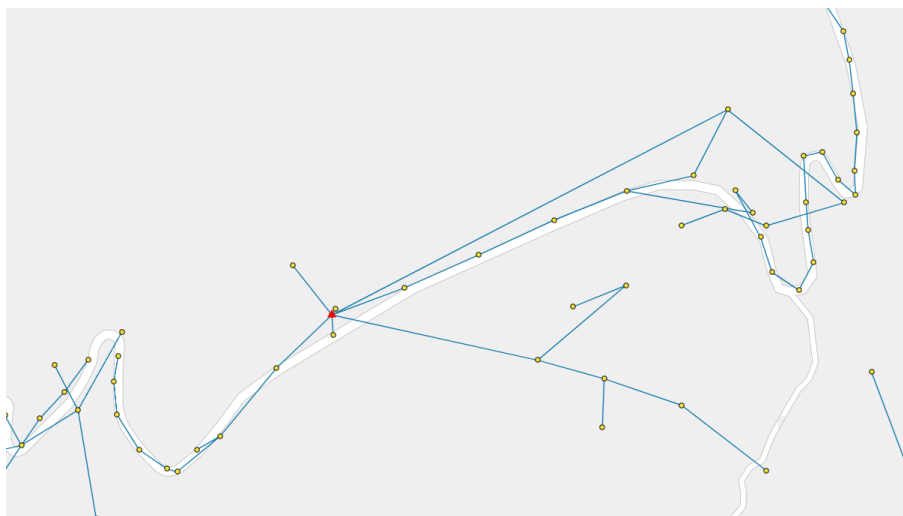
Red de baja tensión a través de la carretera.



Nota. Fotografía tomada por el autor.

Figura 5

Red de distribución eléctrica actual.



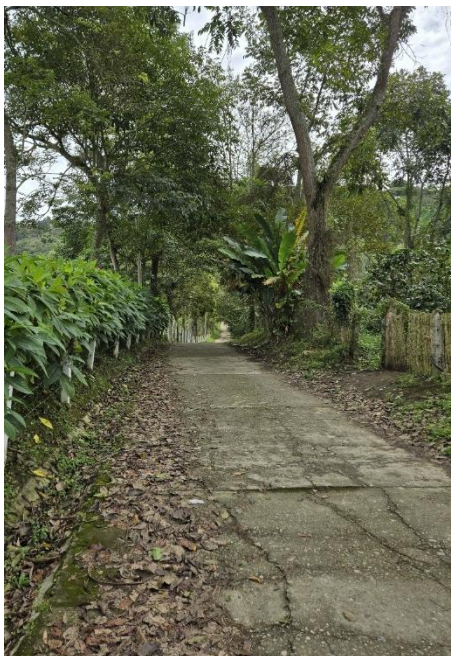
Nota. Tomado de ESSA (Empresa Electrificadora de Santander), <https://geoportal.api-essa-electrosoftware.xyz/>.

2.2.2 Condiciones del Terreno y Accesibilidad

La vereda Vericute parte alta presenta un terreno con topografía variable, predominando pendientes moderadas y zonas de mayor inclinación en ciertos tramos, lo que influye en la disposición de las estructuras de soporte de la red de distribución proyectada. La vereda cuenta con una carretera principal pavimentada, en algunos tramos en mal estado, de la cual se desprenden vías secundarias en condiciones variables que permiten el acceso a las viviendas dispersas en la zona. Estos caminos son transitables principalmente por motocicletas y, en menor medida, por vehículos de tracción.

Figura 6

Estado de la carretera principal.



Nota. Fotografía tomada por el autor.

Figura 7

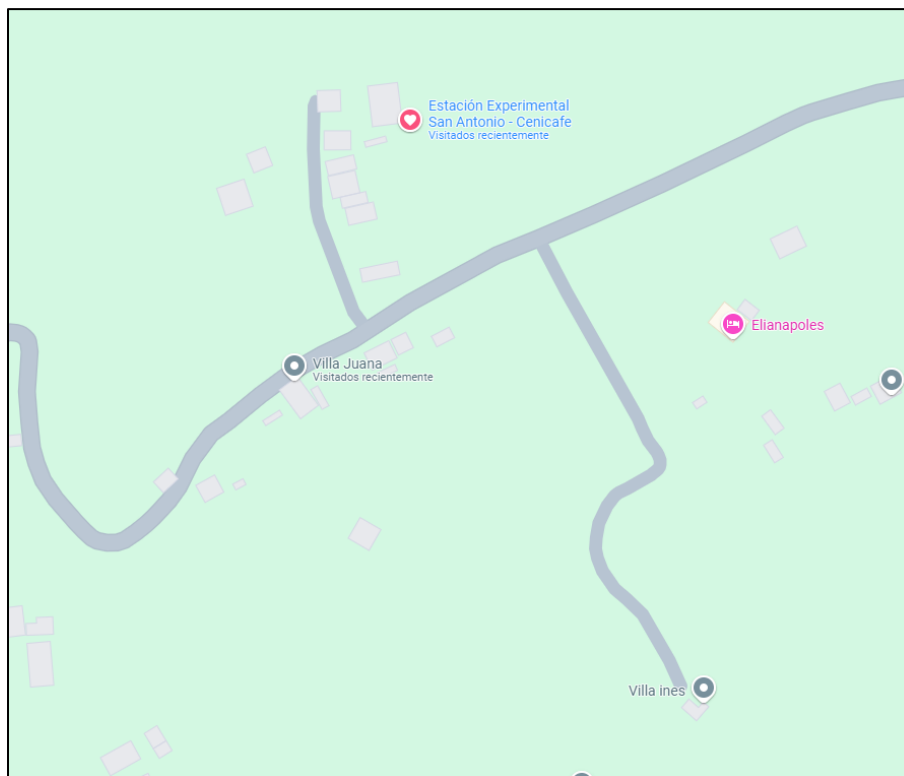
Condiciones de la vía de acceso a la zona de interés.



Nota. Fotografía tomada por el autor.

Figura 8

Mapa de la vía principal y de acceso a la zona de interés.



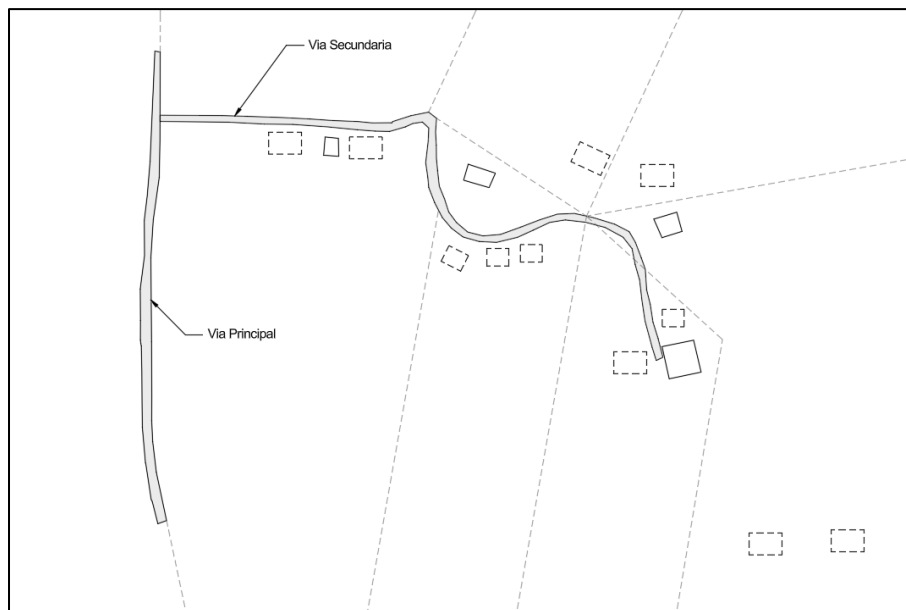
Nota. Tomado de Google Maps, 2025.

2.2.3 Localización y Proyección de Usuarios

La vereda Vericute parte alta presenta una distribución dispersa de viviendas, las cuales se localizan principalmente a lo largo de la carretera secundaria que conecta la zona de interés con la vía principal de acceso. Durante el levantamiento de la infraestructura existente se identificaron ocho predios que concentran a los usuarios actuales, permitiendo establecer una proyección de usuarios futuros a partir de la parcelación ya conformada en la zona y de la información suministrada por los habitantes. A continuación, se presenta un plano con la ubicación de los usuarios actuales y proyectados en la zona de estudio.

Figura 9

Ubicación de usuarios existentes y proyección de nuevos usuarios.



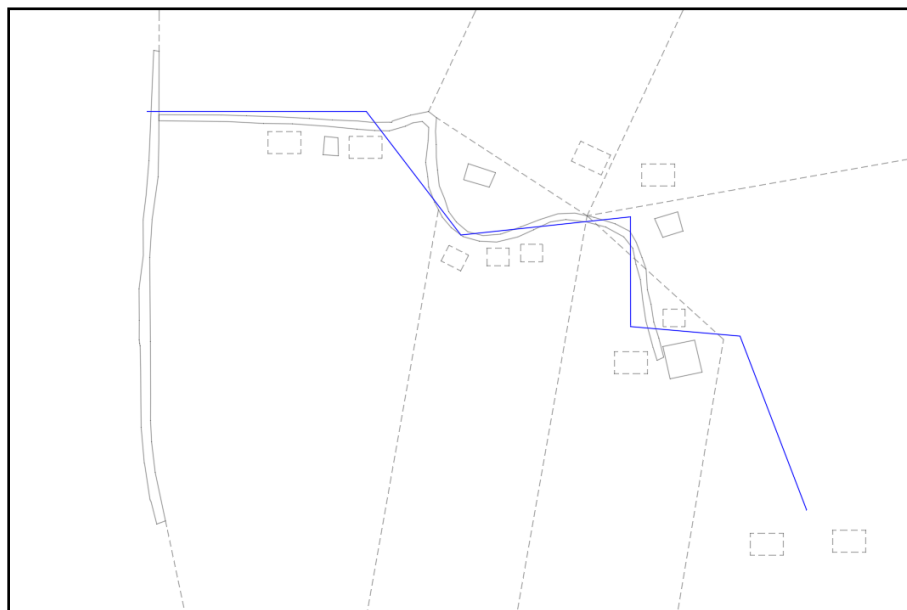
Nota. Elaboración propia.

2.2.4 Trazado Preliminar de la Red de Distribución

El trazado preliminar de la red de distribución eléctrica en la vereda Vericute parte alta se definió considerando la ubicación de los usuarios actuales y proyectados, así como las condiciones topográficas y de accesibilidad de la zona. La red sigue la carretera secundaria existente y se extiende a lo largo del trazado previsto para la futura continuidad de esta vía, permitiendo alcanzar de forma ordenada a los usuarios más distantes dentro del área de influencia del proyecto.

Figura 10

Trazado preliminar de la red de distribución.



Nota. Elaboración propia.

2.3 Diseño y Análisis de Alternativas

El diseño de la red de distribución eléctrica para la vereda Vericute parte alta contempla la evaluación de diferentes escenarios de configuración, con el propósito de identificar la alternativa que garantice eficiencia, confiabilidad y cumplimiento normativo, considerando las condiciones particulares de demanda y topografía de la zona de estudio.

Para cada escenario, se realiza el dimensionamiento de conductores y transformadores de acuerdo con la estimación de la demanda eléctrica actual y proyectada, asegurando niveles de tensión dentro de los rangos permitidos y minimizando las pérdidas de energía en la red. Asimismo, se efectúa el trazado preliminar y la elaboración de diagramas unifilares para visualizar la configuración de la red, identificando las longitudes de los tramos, los puntos de conexión y las posiciones de estructuras de soporte.

Los cálculos de caídas de tensión y pérdidas se desarrollan empleando las metodologías establecidas en la normativa NTC 2050 y la guía de electrificación rural NTG 01 de la ESSA,

permitiendo verificar que las condiciones de operación cumplan con los límites de calidad del servicio requeridos para zonas rurales.

2.3.1 Estimación de Demanda Eléctrica

Se consideró la carga actual de los usuarios existentes, compuesta principalmente por viviendas rurales con consumos típicos de iluminación, lavandería, pequeños electrodomésticos y equipos de trabajo agrícola. De manera complementaria, se incorporó la proyección de nuevos usuarios en función de la parcelación y crecimiento habitacional identificado en la zona, asegurando que el sistema tenga la capacidad de atender la demanda prevista en un horizonte de diseño de 15 a 20 años.

Tabla 1

Carga mínima instalada por usuario

CARGA MÍNIMA INSTALADA POR USUARIO				
TIPO	DESCRIPCIÓN	CARGA [VA/m ²]	AREA [m ²]	S _I [VA]
A	Carga de Alumbrado y Uso General	33	130	4,290
	Lavado y planchado			1,500
	Circuitos artefactos cocina			1,500
	Otras cargas			1,500
	TOTAL			8,790

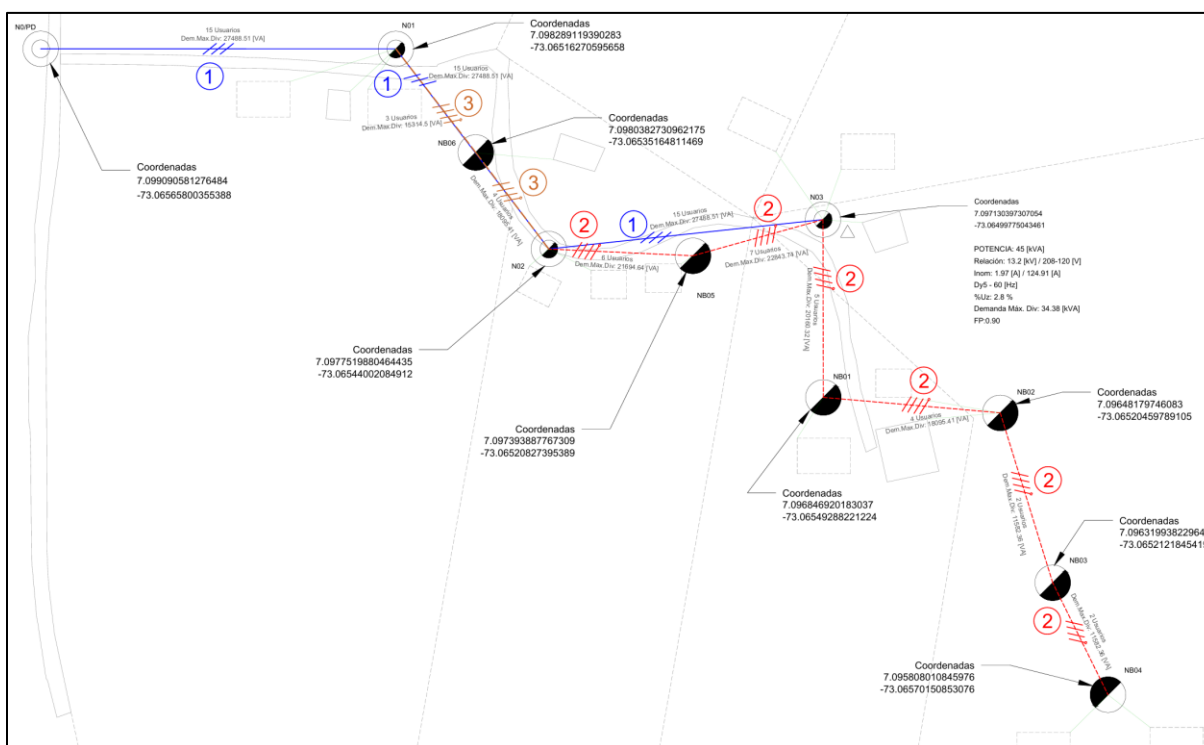
Nota. Elaboración propia.

2.3.2 Alternativa 1: Red de distribución con un Transformador

La alternativa 1 consiste en el diseño de una red con un único transformador centralizado para abastecer toda la zona de interés. Esta opción permite simplificar la configuración de la red y facilita su operación y mantenimiento. El transformador se dimensionó con capacidad suficiente para cubrir la demanda actual y proyectada, garantizando márgenes para la conexión de usuarios futuros sin afectar la calidad del servicio.

Trazado preliminar. A continuación, se presenta el trazado preliminar de la red de distribución eléctrica para esta alternativa, donde se indica la ubicación del transformador y el recorrido de los alimentadores propuestos en la vereda.

Figura 11
Trazado alternativa 1



Nota. Elaboración propia.

Dimensionamiento de transformador y conductores. En la siguiente tabla se resumen los cálculos de dimensionamiento de transformadores y conductores para esta alternativa, considerando la demanda proyectada y las distancias de los alimentadores en la zona de estudio.

Tabla 2
Dimensionamiento transformador alternativa 1

CARGA DEMANDADA PARA SECTOR RESIDENCIAL						
TIPO	DESCRIPCIÓN	CARGA INST. [VA]	DEMANDA INL. [VA]	CANTIDAD	S_R [KVA]	
A	Casa Rural	8,790	6,602	15	27.51	
TOTAL DEMANDA DIVERSIFICADA					27.51	Estrato socioeconómico
TOTAL DEMANDA DIVERSIFICADA 125%					34.38	Cantidad Unidades Residenciales
TRANSFORMADOR SELECCIONADO					45.00	Factor de diversidad
					2	
					15	
					3.6	

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3
Dimensionamiento de conductores alternativa 1

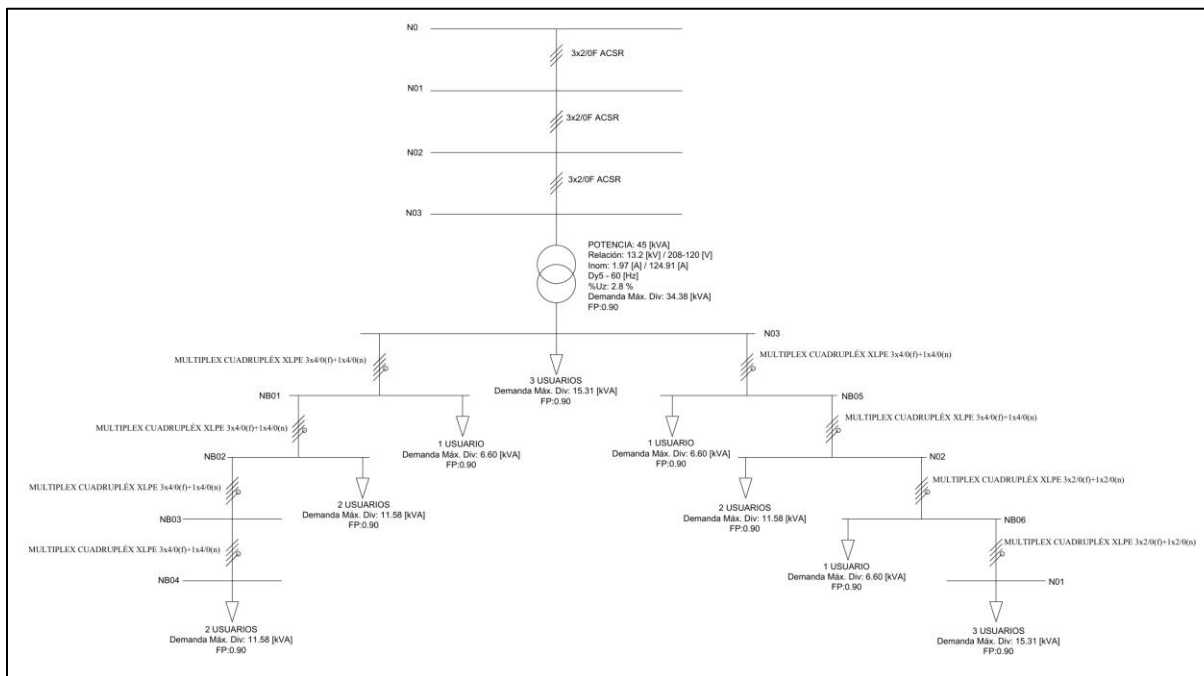
	Tramo	Fases	Carga Instalada [VA]	Demanda Maxima [VA]	Dem. Máx. Diversificada	Número de usuarios	Factor Diversidad	Factor de Potencia	Voltage de Línea [V]	Corriente de Línea [A]	Corriente 125% [A]	Conductor [AWG/Kcmil]	Distancia Tramo [m]	Momento Eléctrico [kVA*km]	Regulación de Tensión Parcial	Regulación de Tensión Acumulada	Pérdida de Potencia	Tipo de conductor seleccionado
MT ALT - 01	N0PD - N01	3	131850	99030	27489	15	3.60	0.9	13200	1.20	1.50	2.0	100	2749	1.1372%	1.1372%	0.0005%	ASCR 3x2/0(f)
	N01-N02	3	131850	99030	27489	15	3.60	0.9	13200	1.20	1.50	2.0	70.86	1948	0.0008%	1.1380%	0.0004%	ASCR 3x2/0(f)
	N02-N03	3	131850	99030	27489	15	3.60	0.9	13200	1.20	1.50	2.0	77.62	2134	0.0009%	1.1389%	0.0004%	ASCR 3x2/0(f)
BT L1 ALT - 01	N03-NB01	3	42950	33010	20160	5	1.64	0.9	208	55.96	69.95	4.0	50	1008	0.7956%	1.9345%	0.4144%	MULTIPLEX CUADRUPLÉX XLPE 3x4/0(f)-1x4/0(n)
	NB01-NB02	3	35160	26408	18095	4	1.46	0.9	208	50.23	62.78	4.0	50	965	0.7141%	2.6487%	0.3719%	MULTIPLEX CUADRUPLÉX XLPE 3x4/0(f)-1x4/0(n)
	NB02-NB03	3	17580	13204	11582	2	1.14	0.9	208	32.15	40.19	4.0	50	579	0.4571%	3.1057%	0.2381%	MULTIPLEX CUADRUPLÉX XLPE 3x4/0(f)-1x4/0(n)
	NB03-NB04	3	17580	13204	11582	2	1.14	0.9	208	32.15	40.19	4.0	35.17	407	0.3215%	3.4273%	0.1675%	MULTIPLEX CUADRUPLÉX XLPE 3x4/0(f)-1x4/0(n)
BT L2 ALT - 01	N03 - NB05	3	61530	46214	22844	7	2.02	0.9	208	63.41	79.26	4.0	38	868	0.6852%	0.6852%	0.3569%	MULTIPLEX CUADRUPLÉX XLPE 3x4/0(f)-1x4/0(n)
	NB05-N02	3	52740	39612	21695	6	1.83	0.9	208	60.22	75.27	4.0	40.64	882	0.6959%	1.3811%	0.3624%	MULTIPLEX CUADRUPLÉX XLPE 3x4/0(f)-1x4/0(n)
	N02-NB06	3	35160	26408	18095	4	1.46	0.9	208	50.23	62.78	2.0	34.07	617	0.7386%	2.1196%	0.3847%	MULTIPLEX CUADRUPLÉX XLPE 3x2/0(f)-1x2/0(n)
	NB06-N01	3	26370	19806	15314	3	1.29	0.9	208	42.51	53.14	2.0	36.79	563	0.6750%	2.7946%	0.3516%	MULTIPLEX CUADRUPLÉX XLPE 3x2/0(f)-1x2/0(n)

Nota. Elaboración propia.

Diagrama unifilar.

Figura 12

Diagrama unifilar alternativa 1



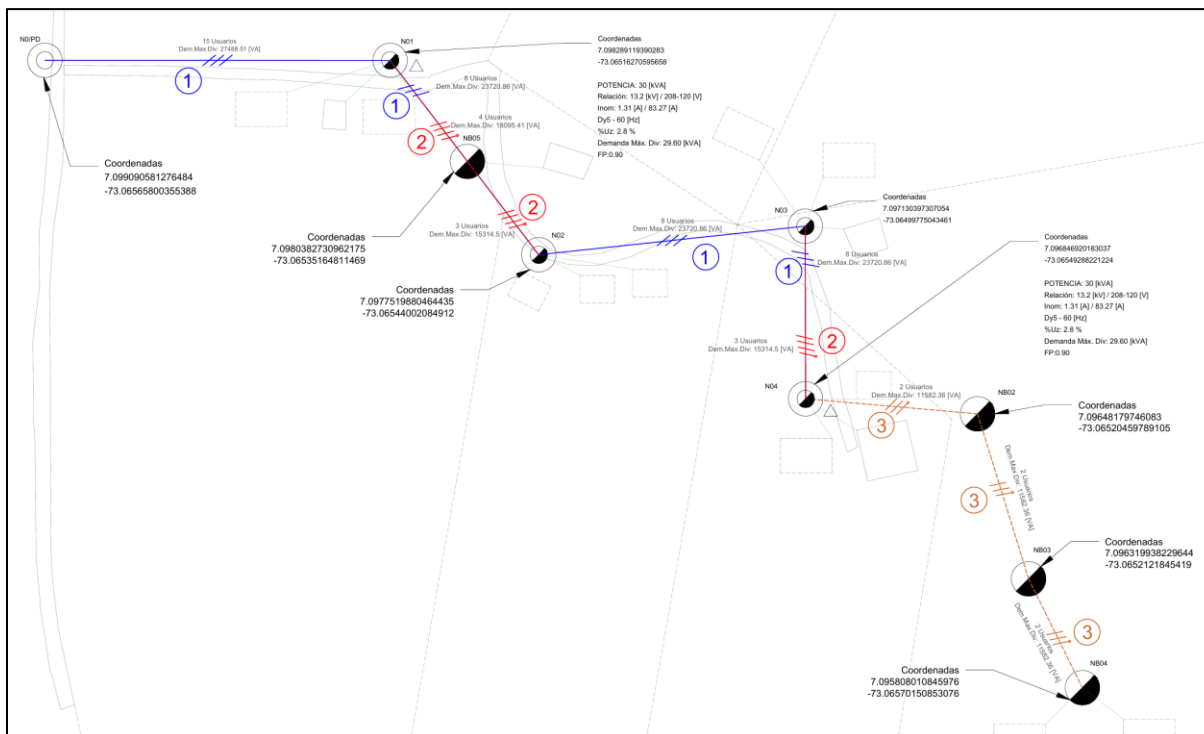
Nota. Elaboración propia.

2.3.3 Alternativa 2: Red de distribución con dos Transformadores.

La alternativa 2 propone el diseño de la red mediante la instalación de dos transformadores distribuidos estratégicamente en la vereda. Esta configuración busca reducir la longitud de los alimentadores en baja tensión, optimizar la regulación de tensión y disminuir las pérdidas técnicas, conservando márgenes adecuados para el crecimiento de la demanda proyectada en cada sector de la zona de interés.

Trazado preliminar. A continuación, se presenta el trazado preliminar de la red de distribución eléctrica para esta alternativa, donde se indica la ubicación de los dos transformadores y el recorrido de los alimentadores propuestos en la vereda.

Figura 13
Trazado alternativa 2



Nota. Elaboración propia.

Dimensionamiento de transformador y conductores. En la siguiente tabla se resumen los cálculos de dimensionamiento de transformadores y conductores para esta alternativa, considerando la demanda proyectada y las distancias de los alimentadores en la zona de estudio.

Tabla 4
Dimensionamiento transformador 1 alternativa 2

CARGA DEMANDADA PARA SECTOR RESIDENCIAL 1						
TIPO	DESCRIPCIÓN	CARGA INST. [VA]	DEMANDA INL. [VA]	CANTIDAD	S_R [kVA]	
A	Casa Rural	8,790	6,602	7	22.88	
TOTAL DEMANDA DIVERSIFICADA					22.88	Estrato socioeconómico
TOTAL DEMANDA DIVERSIFICADA 125%					28.60	Cantidad Unidades Residenciales
TRANSFORMADOR SELECCIONADO					30.00	Factor de diversidad
						2
						7
						2.02

Nota. Elaboración propia.

Tabla 5

Dimensionamiento transformador 2 alternativa 2

CARGA DEMANDADA PARA SECTOR RESIDENCIAL 2							
TIPO	DESCRIPCIÓN	CARGA INST. [VA]	DEMANDA INL. [VA]	CANTIDAD	S_R [KVA]		
A	Casa Rural	8,790	6,602	8	23.68		
TOTAL DEMANDA DIVERSIFICADA					23.68	Estrato socioeconómico	2
TOTAL DEMANDA DIVERSIFICADA 125%					29.60	Cantidad Unidades Residenciales	8
TRANSFORMADOR SELECCIONADO					30.00	Factor de diversidad	2.23

Nota. Elaboración propia

Tabla 6

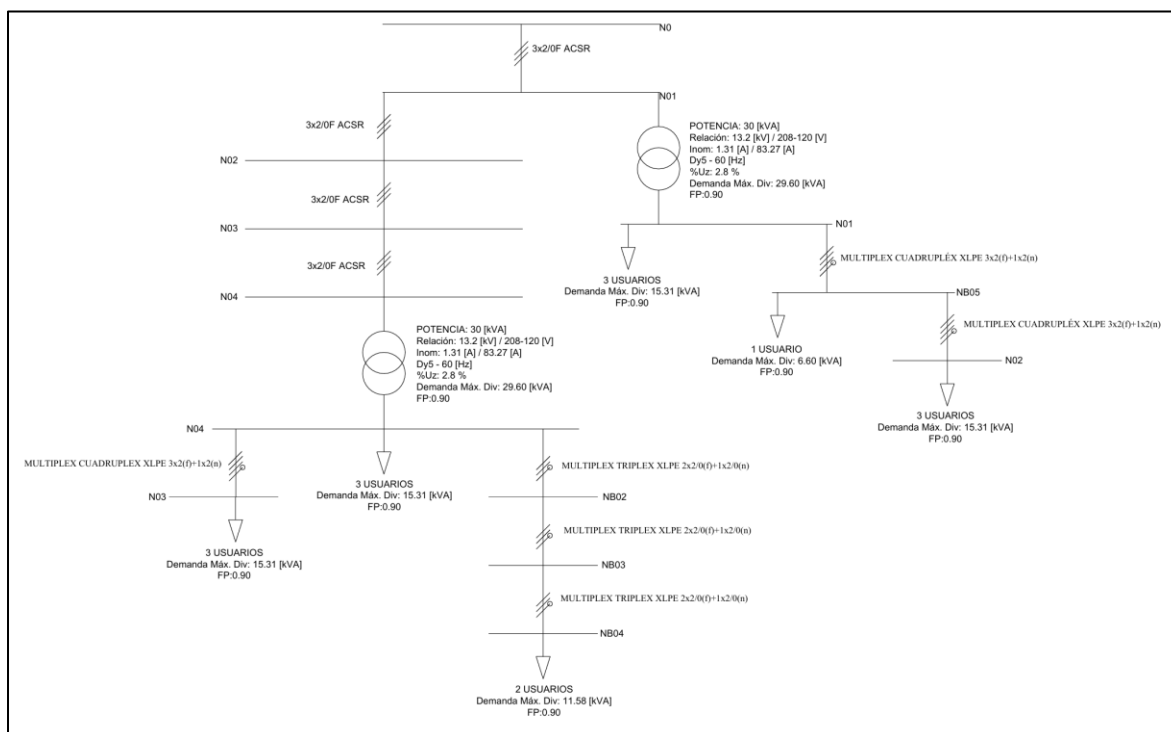
Dimensionamiento conductores alternativa 2

	Tramo	Fases	Carga Instalada [VA]	Demanda Máxima [VA]	Dem. Máx. Diversificada	Número de usuarios	Factor Diversidad	Factor de Potencia	Voltage de Línea [V]	Corriente de Línea [A]	Corriente 125% [A]	Conductor [AWG/Kcmil]	Distancia Tramo [m]	Momento Eléctrico [KVA*m]	Regulación de Tensión Parcial	Regulación de Tensión Acumulada	Pérdida de Potencia	Tipo de conductor seleccionado
MT ALT-02	N0PD-N01	3	131850	99020	27489	15	3.60	0.9	13200	1.20	1.50	2/0	100	2749	0.0011%	0.0011%	0.0005%	ASCR 3x2/0(f)
	N01-N02	3	70520	52816	23721	8	2.23	0.9	13200	1.04	1.30	2/0	70.86	1681	0.0007%	0.0018%	0.00033%	ASCR 3x2/0(f)
	N02-N03	3	70520	52816	23721	8	2.23	0.9	13200	1.04	1.30	2/0	77.82	1847	0.0008%	0.0019%	0.0004%	ASCR 3x2/0(f)
BT L1 ALT-02	N03-N04	3	70520	52816	23721	8	2.23	0.9	13200	1.04	1.30	2/0	50	1186	0.0005%	0.0023%	0.0002%	ASCR 3x2/0(f)
	N04-N03	3	26370	19806	15314	3	1.29	0.9	208	42.51	53.14	2	50	766	1.8416%	1.8439%	0.6381%	MULTIPLEX CUADRUPLÉX XLPE 3x2(f)+1x2(n)
BT L2 ALT-02	N04-NB02	2	17580	13204	11582	2	1.14	0.9	208	48.22	60.28	2/0	50	579	1.0407%	1.0407%	0.5717%	MULTIPLEX TRIPLEX XLPE 2x2(f)+1x2(n)
	NB02-NB03	2	17580	13204	11582	2	1.14	0.9	208	48.22	60.28	2/0	50	579	1.0407%	2.0813%	0.5717%	MULTIPLEX TRIPLEX XLPE 2x2(f)+1x2(n)
BT L3 ALT-02	NB03-NB04	2	17580	13204	11582	2	1.14	0.9	208	48.22	60.28	2/0	55.17	407	0.7320%	2.8134%	0.4021%	MULTIPLEX TRIPLEX XLPE 2x2(f)+1x2(n)
	N01-NB05	3	35160	26408	18095	4	1.46	0.9	208	30.23	62.78	2	56.81	666	1.6020%	1.6020%	0.5519%	MULTIPLEX CUADRUPLÉX XLPE 3x2(f)+1x2(n)
ALT-02	NB05-N02	3	26370	19806	15314	3	1.29	0.9	208	42.51	53.14	2	54.05	921	1.2841%	2.8561%	0.4348%	MULTIPLEX CUADRUPLÉX XLPE 3x2(f)+1x2(n)

Nota. Elaboración propia.

Diagrama unifilar.**Figura 14**

Diagrama unifilar alternativa 2



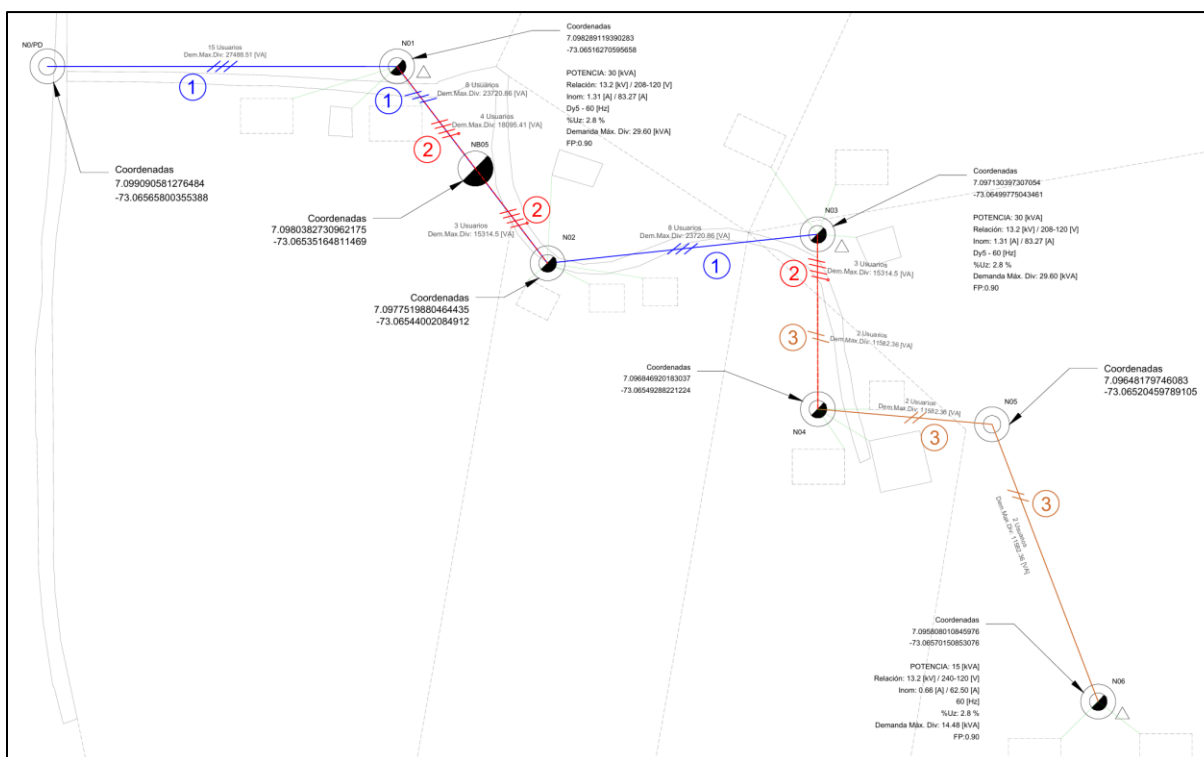
Nota. Elaboración propia.

2.3.4 Alternativa 3: Red en Media y Baja Tensión con Tres Transformadores.

La alternativa 3 contempla el diseño de la red utilizando tres transformadores distribuidos en puntos clave de la vereda, con el objetivo de cubrir de manera más eficiente las áreas de usuarios actuales y proyectados. Esta opción permite minimizar caídas de tensión y pérdidas en las líneas, favoreciendo una operación más equilibrada de la red y facilitando futuras expansiones conforme crezca la demanda local.

Trazado preliminar. A continuación, se presenta el trazado preliminar de la red de distribución eléctrica para esta alternativa, donde se indica la ubicación de los tres transformadores y el recorrido de los alimentadores propuestos en la vereda.

Figura 15
Trazado alternativa 3



Nota. Elaboración propia.

Dimensionamiento de transformador y conductores. En la siguiente tabla se resumen los cálculos de dimensionamiento de transformadores y conductores para esta alternativa, considerando la demanda proyectada y las distancias de los alimentadores en la zona de estudio.

Tabla 7

Dimensionamiento transformador 1 alternativa 3

CARGA DEMANDADA PARA SECTOR RESIDENCIAL 1							
TIPO	DESCRIPCIÓN	CARGA INST. [VA]	DEMANDA INL. [VA]	CANTIDAD USUARIOS	S_R [KVA]		
A	Casa Rural	8,790	6,602	7	22.88		
TOTAL DEMANDA DIVERSIFICADA					22.88	Estrato socioeconómico	2
TOTAL DEMANDA DIVERSIFICADA 125%					28.60	Cantidad Unidades Residenciales	7
TRANSFORMADOR SELECCIONADO					30.00	Factor de diversidad	2.02

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8

Dimensionamiento transformador 2 alternativa 3

CARGA DEMANDADA PARA SECTOR RESIDENCIAL 2							
TIPO	DESCRIPCIÓN	CARGA INST. [VA]	DEMANDA INL. [VA]	CANTIDAD USUARIOS	S_R [KVA]		
A	Casa Rural	8,790	6,602	6	21.64		
TOTAL DEMANDA DIVERSIFICADA					21.64	Estrato socioeconómico	2
TOTAL DEMANDA DIVERSIFICADA 125%					27.06	Cantidad Unidades Residenciales	6
TRANSFORMADOR SELECCIONADO					30.00	Factor de diversidad	1.83

Nota. Elaboración propia.

Tabla 9

Dimensionamiento transformador 3 alternativa 3

CARGA DEMANDADA PARA SECTOR RESIDENCIAL 3							
TIPO	DESCRIPCIÓN	CARGA INST. [VA]	DEMANDA INL. [VA]	CANTIDAD USUARIOS	S_R [KVA]		
A	Casa Rural	8,790	6,602	2	11.58		
TOTAL DEMANDA DIVERSIFICADA					11.58	Estrato socioeconómico	2
TOTAL DEMANDA DIVERSIFICADA 125%					14.48	Cantidad Unidades Residenciales	2
TRANSFORMADOR SELECCIONADO					15.00	Factor de diversidad	1.14

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10

Dimensionamiento de conductores alternativa 3

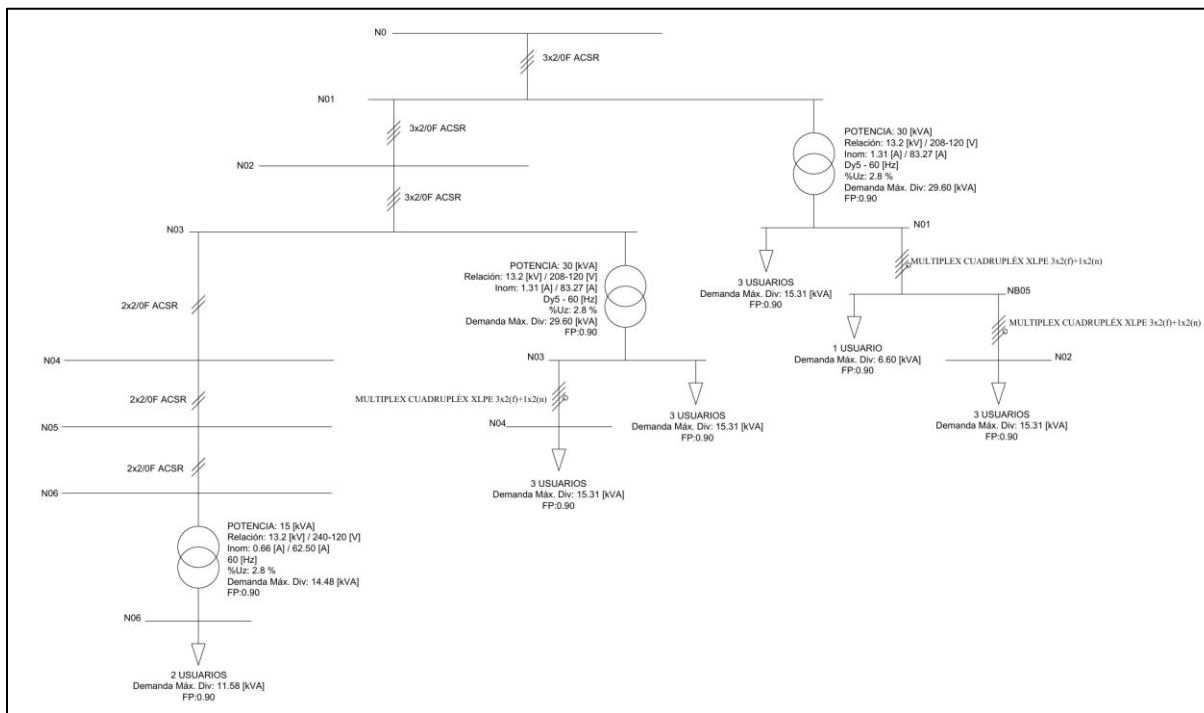
	Tramo	Fases	Carga Instalada [VA]	Demanda Máxima [VA]	Dem. Mx. Diversificada	Número de usuarios	Factor Diversidad	Factor de Potencia	Voltage de Línea [V]	Corriente de Línea [A]	Corriente 125% [A]	Conductor [AWG/Kcmil]	Distancia Tramo [m]	Momento Eléctrico [KVA*m]	Regulación de Tensión Parcial	Regulación de Tensión Acumulada	Pérdida de Potencia	Tipo de conductor seleccionado
MT ALT-03	N0PD - N01	3	131880	99030	27489	15	3.60	0.9	13200	1.20	1.50	2/0	100	2749	0.0011%	0.0011%	0.0005%	ASCR 3x2/0(0)
	N01-N02	3	70320	52816	23721	8	2.23	0.9	13200	1.04	1.30	2/0	70.86	1481	0.0007%	0.0018%	0.00033%	ASCR 3x2/0(0)
	N02-N03	3	70320	52816	23721	8	2.23	0.9	13200	1.04	1.30	2/0	77.85	1847	0.0008%	0.0026%	0.0004%	ASCR 3x2/0(0)
	N03-N04	2	17580	13204	11582	2	1.14	0.9	13200	0.88	1.10	2/0	50	579	0.0004%	0.0030%	0.0003%	ASCR 2x2/0(0)
	N04-N05	2	17580	13204	11582	2	1.14	0.9	13200	0.88	1.10	2/0	50	579	0.0004%	0.0033%	0.0003%	ASCR 2x2/0(0)
	N05-N06	2	17580	13204	11582	2	1.14	0.9	13200	0.88	1.10	2/0	84.91	983	0.0006%	0.0039%	0.0006%	ASCR 2x2/0(0)
BT L1 ALT-03	N03-N04	3	26370	19806	15314	3	1.29	0.9	208	42.51	53.14	2	35.17	539	1.2954%	1.2954%	0.4488%	MULTIPLÉX CUADRUPLÉX XLPE 3x2(0)+1x2(0)
BT L2 ALT-03	N01-NB05	3	35160	26408	18095	4	1.46	0.9	208	50.23	62.78	2	36.81	666	1.6020%	1.6020%	0.5551%	MULTIPLÉX CUADRUPLÉX XLPE 3x2(0)+1x2(0)
ALT-03	NB05-N02	3	28770	19806	15314	3	1.29	0.9	208	42.51	53.14	2	34	521	1.2523%	2.8542%	0.4339%	MULTIPLÉX CUADRUPLÉX XLPE 3x2(0)+1x2(0)

Nota. Elaboración propia.

Diagrama unifilar.

Figura 16

Diagrama unifilar alternativa 3



Nota. Elaboración propia.

2.4 Selección de Alternativa

Tras el análisis de las tres alternativas evaluadas, se selecciona la tercera alternativa, que contempla la instalación de tres transformadores distribuidos estratégicamente en la zona de interés de la vereda. Esta opción garantiza el cumplimiento de los criterios de regulación de tensión establecidos por la normativa vigente, manteniendo los niveles de tensión dentro de los rangos permitidos para todos los usuarios, incluso para aquellos ubicados a mayores distancias.

La tercera alternativa ofrece mayor flexibilidad operativa y técnica, permitiendo una mejor distribución de cargas y una proyección más ordenada del crecimiento de usuarios en el área de influencia del proyecto. Además, se identificó que las dos alternativas restantes, al utilizar un menor número de transformadores, no cumplen con la regulación de tensión en varios puntos de

la red. Para corregir esta deficiencia, se requeriría el uso de conductores de mayor calibre, lo cual incrementaría significativamente los costos de implementación, haciendo estas opciones económicamente inviables frente a la alternativa seleccionada.

La alternativa seleccionada constituye la base para el desarrollo del diseño detallado de la red de distribución eléctrica, el cual se elaboró conforme a lo establecido en el Artículo 3.3.1.1 del RETIE 2024. Esta alternativa representa la propuesta definitiva de construcción y responde a una necesidad real de la comunidad, con miras a su implementación futura.

El diseño detallado abarca todos los aspectos técnicos, normativos y de seguridad requeridos para garantizar la correcta operación de la red, que se configura como un sistema radial en media y baja tensión. Las memorias de cálculo correspondientes se desarrollaron con base en la normatividad eléctrica colombiana vigente, incluyendo el RETIE 2024, la NTC 2050, normas y guías técnicas del operador de red, lo cual asegura la alineación del proyecto con los estándares exigidos para este tipo de instalaciones.

A continuación, se presenta una descripción técnica y resumida de los ítems exigidos por el RETIE (RETIE, 2024, p. 12, Libro 3) en el marco del diseño detallado, junto con las principales normas y documentos técnicos utilizados para su desarrollo. Las memorias completas se anexan en el Anexo del presente documento.

Tabla 11*Ítems exigidos por el RETIE para diseño detallado*

Ítem	Descripción técnica general	Normas y documentos aplicados
a	Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas de mitigación.	RETIE 2024, Libro 1, Capítulo 5 y Tabla 1.2.1.4.1.a
b	Evaluación del riesgo por descargas atmosféricas (rayos) y selección de medidas de protección.	Guía Metodológica N.º 08 (Grupo EPM, 2019), Anexo A (Grupo EPM, 2019)
c	Cálculo de cargas iniciales y futuras, incluyendo factor de potencia.	NTC 2050, artículos 210.11 y 220
d	Coordinación del aislamiento eléctrico en redes aéreas.	Norma Electrificación Rural ESSA (2025), GM-03 EPM, Guía EPM (2019), Tabla 10 NTG-01
e	Cálculo de cortocircuito, falla a tierra y análisis de arco eléctrico si aplica.	Guía Metodológica: Análisis de cortocircuito y falla a tierra GM-10 del grupo EPM
f	Definición del nivel de tensión requerido para garantizar la calidad del servicio.	
g	Evaluación de campos electromagnéticos en caso de requerirse.	RETIE 2024, Art. 3.11.1 y 3.11.2, Guía Metodológica N.º 07 (EPM)
h	Selección y cálculo de transformadores considerando armónicos y factor de carga.	NTG-02 (ESSA, 2021)
i	Diseño del sistema de puesta a tierra y verificación de resistencia de puesta a tierra.	RA6-010 (EPM, 2021), NTG-01 (ESSA)
j	Cálculo económico de conductores basado en pérdidas y costo de energía.	NT-01, Cálculo de conductor económico
k	Selección de conductores considerando capacidad de corriente y cortocircuito.	NTG-01 (ESSA)
l	Cálculo mecánico de estructuras y elementos de soporte para redes aéreas.	GM-012, Guía Arboleda y Mejía, Anexo B
m	Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorrientes.	RETIE 2024, NTC 2050, IEC 60947-2
n	Cálculo de canalizaciones y volumen de encerramientos (si aplica).	N/A
o	Cálculo de regulación de tensión en condiciones máximas de carga.	Guía GM-02 (Grupo EPM)
p	Verificación de clasificación del área. En este proyecto, no se considera peligrosa.	NTG-01 (ESSA, 2025)
q	Elaboración de diagramas unifilares de la red proyectada.	RETIE 2024, Artículo 3.28.3.1
r	Planos eléctricos detallados para construcción en campo.	N/A
s	Especificaciones complementarias a los planos: equipos, materiales, condiciones técnicas.	N/A
t	Determinación de distancias de seguridad y franjas de servidumbre.	NT-06 (ESSA, Grupo EPM)
u	Justificación de desviaciones técnicas, en caso de haberse requerido (no aplicó).	N/A
v	Estudios especiales según condiciones térmicas, sísmicas, acústicas o mecánicas (no requeridos).	N/A
w	No aplica selección de equipos de generación, dado el alcance del proyecto.	N/A

Nota. Elaboración propia.

2.5 Análisis de Costos de Materiales

A continuación, se presenta el análisis de costos de materiales necesarios para la ejecución del proyecto de electrificación rural en la vereda Vericute parte alta. Este análisis incluye los elementos requeridos para la construcción de la red eléctrica, tales como postes, conductores, transformadores, herrajes y accesorios asociados al montaje de la infraestructura.

Es importante precisar que este análisis corresponde exclusivamente a la estimación de costos directos de adquisición de materiales, por lo que no contempla gastos relacionados con mano de obra, excavaciones, transporte ni actividades complementarias necesarias para la instalación completa de la red de distribución eléctrica.

Tabla 12
Análisis de costos de materiales

Análisis de Costos de Materiales					
Proyecto	Red de Distribución en Media y Baja Tensión				
Ubicación	Vereda Vericute, Floridablanca, Santander. 7°05'56.9"N 73°03'56.4"W				
ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDA	UND	METRADO	PRECIO UNITARIO COP	PARCIAL COP
	RED DE DISTRIBUCIÓN				62,250,142.00
1.00	POSTES				22,458,873.00
1.01	POSTE DE POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV) 12m 1350 kgf	Und.	6.00	\$ 3,452,012.00	20,712,072.00
1.02	POSTE DE POLIESTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO (PRFV) 8m 1050 kgf	Und.	1.00	\$ 1,746,801.00	1,746,801.00
2.00	CABLES Y CONDUCTORES				8,771,920.00
2.01	CABLE DESNUDO 2/0 AWG ACSR	m	1,200.00	\$ 5,250.00	6,300,000.00
2.02	CABLE MULTIPLEX AUTOSOPORTADO XLPE 3x2 + 2 AWG	m	110.00	\$ 22,472.00	2,471,920.00
3.00	FERRETERIA Y ACCESORIOS PARA POSTES				8,678,744.00
3.01	CRUCETA METÁLICA 2400mm 3" x 3" x 14"	Und.	6.00	\$ 206,750.00	1,240,500.00
3.02	CRUCETA METÁLICA 1500mm 3" x 3" x 14"	Und.	6.00	\$ 62,900.00	377,400.00
3.02	ESLABÓN EN U 5/8" FROJADO GALVANIZADO	Und.	48.00	\$ 12,750.00	612,000.00
3.03	GRAPA DE RETENCIÓN ALUMINIO RECTA 2/0 AWG a 266.8 kcmil	Und.	48.00	\$ 48,800.00	2,342,400.00
3.04	TRONILLO DE MÁQUINA CABEZA HEXAGONAL ACERO GALVANIZADO 5/8" X 1 1/2"	Und.	8.00	\$ 1,600.00	12,800.00
3.05	AISLADOR TENSOR PORCELANA 15kV 4 1/4" ANSI C29.4 CLASE 54-2	Und.	12.00	\$ 6,150.00	73,800.00
3.06	ESPARRAGO 5/8" x 12"	Und.	21.00	\$ 6,100.00	128,100.00
3.07	ALAMBRE DE AMARRE DE ALUMINIO 2 AWG DESNUDO	Und.	24.00	\$ 3,900.00	93,600.00
3.08	AISLADOR SUSPENSIÓN PORCELANA 15 kV 6 1/2" ANSI C29.2 CLASE 52-1 CLEVIS LENGÜETA.	Und.	64.00	\$ 36,350.00	2,326,400.00
3.09	VIENTO CONVENCIONAL A SUELO O POSTE AUXILIAR CABLE DE ACERO EXTRA RESISTENTE DIÁMETRO 1/4"	m	80.00	\$ 2,000.00	160,000.00
3.10	VARELLA DE ANCLAJE 5/8" x 1800mm	Und.	16.00	\$ 28,650.00	458,400.00
3.11	GRAPA PREFORMADA ACERO GALVANIZADO 3/8" CABLE ACERO GALVANIZADO	Und.	16.00	\$ 37,550.00	600,800.00
3.12	BLOQUE DE ANCLAJE POLIMÉRICO DE 400 mm x 300 mm x 100 mm	Und.	8.00	\$ 31,568.00	252,544.00
6.00	TRANSFORMADORES				22,340,605.00
6.01	TRANSFORMADOR MONOFÁSICO 15 KVA 13.2 120/240 PLENA CARGA	Und.	1.00	\$ 5,680,073.00	5,680,073.00
6.02	TRANSFORMADOR TRIFÁSICO 30 KVA 13.2 120/208 PLENA CARGA	Und.	2.00	\$ 8,330,266.00	16,660,532.00
COSTO DIRECTO					62,250,142.00
GASTOS GENERALES 10%					6,325,014.20
SUB TOTAL					68,475,156.20
IVA 19%					13,010,279.68
TOTAL					81,485,435.88

Nota. Elaboración propia.

3. Conclusiones

El diseño de la red de distribución en media y baja tensión para la vereda Vericute parte alta cumplió con los objetivos planteados, proponiendo una solución técnica que resuelve las limitaciones identificadas en la infraestructura existente. El análisis de alternativas evidenció que la opción con tres transformadores distribuidos resulta la más adecuada para garantizar la regulación de tensión, optimizar la distribución de carga y asegurar la escalabilidad del sistema, superando las deficiencias de la red original, dimensionada para un menor número de usuarios y sin proyección de crecimiento.

Durante el desarrollo del proyecto se evidenció que, en zonas rurales con viviendas dispersas y terrenos de topografía variable, es fundamental considerar configuraciones de red flexibles que faciliten futuras expansiones de carga, reduzcan el uso de conductores de gran calibre y optimicen los recursos materiales y de infraestructura. La evaluación de las alternativas permitió identificar la solución más viable, evidenciando que configuraciones con un menor número de transformadores no resultan eficientes, ya que generan incumplimiento de los niveles de tensión establecidos y costos elevados por la necesidad de utilizar calibres superiores en los conductores.

El proyecto ofrece como contribución principal una base técnica para la electrificación rural sostenible en la zona de estudio, alineada con los lineamientos normativos de ESSA y del RETIE. Las lecciones aprendidas destacan la relevancia de contemplar escenarios de expansión desde la fase de diseño e incluir márgenes de capacidad adecuados en la infraestructura seleccionada, asegurando que la red pueda adaptarse a incrementos de demanda futuros sin incurrir en sobrecostos ni comprometer el cumplimiento normativo.

4. Recomendaciones

Para futuros proyectos de electrificación rural, se recomienda contemplar desde la fase de planificación un análisis detallado de la topografía y la dispersión de los usuarios, permitiendo proyectar redes de distribución flexibles y escalables que faciliten la integración de nuevos usuarios sin comprometer la regulación de tensión ni la calidad del servicio. Este enfoque contribuirá a optimizar recursos y a garantizar el cumplimiento de la normativa técnica en zonas rurales con condiciones de acceso y crecimiento variables.

Adicionalmente, se sugiere evaluar alternativas de integración con sistemas de generación distribuida, tales como soluciones fotovoltaicas, que puedan complementar el suministro convencional y mejorar la sostenibilidad energética de las comunidades rurales. Esta opción resulta particularmente pertinente en áreas de difícil acceso, donde las extensiones de red representan un costo significativo y un desafío técnico en el mantenimiento.

Finalmente, se recomienda realizar estudios de demanda eléctrica con proyecciones a mediano y largo plazo, considerando la dinámica de crecimiento poblacional y productivo de las comunidades rurales. Estos estudios permitirán dimensionar de manera adecuada los transformadores y conductores, asegurando que las redes puedan responder a incrementos de carga futuros sin afectar la eficiencia y confiabilidad del servicio, contribuyendo al desarrollo sostenible de las zonas de intervención.

Referencias

Electrificadora de Santander - ESSA. (2025). *NTG-01: Norma técnica de electrificación rural*.

Electrificadora de Santander - ESSA. (2021). *NTG-02: Marco General Norma Urbana*.

Google. (2025). *Ubicación Vereda Vericute, Floridablanca, Santander [Google Maps]*. Google.

<https://maps.app.goo.gl/fyfDBaj3SSkjhXs8>

Ministerio de Minas y Energía. (2024). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas –*

RETIE. Ministerio de Minas y Energía de Colombia. [Reglamento Técnico de](#)

[Instalaciones Eléctricas - RETIE](#)