

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EN LAS VEREDAS  
BOCAGRANDE Y EL NARANJO UTILIZANDO GENERACIÓN DISTRIBUIDA**



**PRESENTADO POR:  
CARLOS ANDRES PORTILLO BUCHELI  
SANDRA MATILDE YAQUENO MORA**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2016**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EN LAS VEREDAS  
BOCAGRANDE Y EL NARANJO UTILIZANDO GENERACIÓN DISTRIBUIDA**



**PRESENTADO POR:  
CARLOS ANDRES PORTILLO BUCHELI  
SANDRA MATILDE YAQUENO MORA**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO  
ELECTRÓNICO**

**ASESOR:  
M.Sc. WAGNER GERMÁN SUERO PÉREZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2016**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

“La Universidad de Nariño no se hace responsable por las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Acuerdo 1. Artículo 324. Octubre 11 de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma Jurado 1

---

Firma Jurado 2

San Juan de Pasto, 26 de noviembre de 2016

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco a:*

*Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio. A mis padres y hermanas por su apoyo y consejos en todo momento. A mi novio por ser una parte muy importante de mi vida, por su amor, paciencia y apoyo incondicional.*

*Sandra Matilde Yaqueno Mora*

*Agradezco a:*

*Mi familia y amigos por ser un apoyo constante e incondicional en toda mi vida y más aún en el largo camino de mi formación profesional, y en especial a mis padres por ser mis guías en cada etapa de mi vida*

*Carlos Andrés Portillo Bucheli*

*A nuestro asesor Ing. Wagner Suero por todo su apoyo y motivación para culminar este proyecto con éxito.*

*Al departamento de ingeniería electrónica de la Universidad de Nariño y al proyecto ALTERNAR por permitirnos ser parte de esta investigación.*

## ÍNDICE GENERAL

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                       | 17 |
| 1.1. Definición del problema .....                                        | 17 |
| 2. OBJETIVOS .....                                                        | 18 |
| 2.1. Objetivo general .....                                               | 18 |
| 2.2. Objetivos específicos.....                                           | 18 |
| 3. LEVANTAMIENTO DE LA RED ELÉCTRICA ACTUAL .....                         | 19 |
| 3.1. Descripción de las etapas.....                                       | 19 |
| 3.1.1. Etapa de Pre-levantamiento .....                                   | 19 |
| 3.1.2. Metodología básica para el Levantamiento de redes eléctricas ..... | 20 |
| 3.1.3. Digitalización de la información .....                             | 20 |
| 3.2. Estado actual red eléctrica vereda El Naranjo. ....                  | 20 |
| 3.2.1. Alimentación Principal .....                                       | 20 |
| 3.2.2. Topología, Cableado y Carga Instalada.....                         | 21 |
| 3.2.3. Estructuras de soporte, medidores, protecciones e iluminación..... | 21 |
| 3.3. Estado actual red eléctrica vereda Bocagrande-El Rompido .....       | 23 |
| 3.3.1. Alimentación principal.....                                        | 23 |
| 3.3.2. Topología, Cableado y Carga Instalada.....                         | 23 |
| 3.3.3. Estructuras de soporte, medidores, protecciones e iluminación..... | 23 |
| 3.3.4. Red eléctrica Vereda el Rompido .....                              | 24 |
| 3.4. Diagnóstico actual de las redes eléctricas .....                     | 24 |
| 3.4.1. Cálculo de demanda máxima diversificada para el diagnóstico .....  | 24 |
| 3.4.2. Cálculo de regulación y pérdidas.....                              | 26 |
| 3.4.3. Resultados del cálculo de regulación y pérdidas .....              | 26 |
| 4. SIMULACIÓN DE LAS REDES ELÉCTRICAS ACTUALES.....                       | 30 |
| 4.1. Simulación red eléctrica vereda El Naranjo .....                     | 30 |
| 4.1.1. Descripción Buses de carga y Generación .....                      | 30 |
| 4.1.2. Líneas .....                                                       | 31 |
| 4.1.3. Cargas.....                                                        | 31 |
| 4.1.4. Resultados de simulación- Flujo de potencia.....                   | 32 |
| 4.2. Simulación red eléctrica Bocagrande.....                             | 35 |
| 4.2.1. Descripción Buses de carga y Generación .....                      | 36 |

|         |                                                      |    |
|---------|------------------------------------------------------|----|
| 4.2.2.  | Líneas .....                                         | 36 |
| 4.2.3.  | Cargas.....                                          | 37 |
| 4.2.4.  | Resultados de simulación- Flujo de potencia.....     | 37 |
| 5.      | REDISEÑO REDES ELÉCTRICAS .....                      | 40 |
| 5.1.    | Cálculo de demanda máxima diversificada.....         | 40 |
| 5.2.    | Cargas futuras .....                                 | 41 |
| 5.3.    | Rediseño red eléctrica de la vereda El Naranjo ..... | 42 |
| 5.3.1.  | Red eléctrica primaria.....                          | 42 |
| 5.3.1.1 | Alternativa de rediseño 1 .....                      | 42 |
| 5.3.1.2 | Alternativa de rediseño 2 .....                      | 43 |
| 5.3.2.  | Centro de transformación .....                       | 49 |
| 5.3.2.1 | Cálculo capacidad de los transformadores .....       | 49 |
| 5.3.2.2 | Cálculo de protecciones .....                        | 49 |
| 5.3.2.3 | Balance general de las fases del transformador. .... | 50 |
| 5.3.3.  | Sala de máquinas y control .....                     | 50 |
| 5.3.4.  | Sistema de puesta a tierra (SPT).....                | 52 |
| 5.3.4.1 | Calculo de resistencia de puesta a tierra .....      | 52 |
| 5.3.5.  | Diseño alumbrado publico .....                       | 54 |
| 5.3.5.1 | Diagnóstico actual Alumbrado Vereda El Naranjo ..... | 54 |
| 5.3.5.2 | Zonas Oscuras a impactar.....                        | 54 |
| 5.3.5.3 | Diseño de iluminación .....                          | 56 |
| 5.3.5.4 | Cálculos Fotométricos con Software Dialux Evo.....   | 56 |
| 5.3.5.5 | Luminarias utilizadas para simulación .....          | 56 |
| 5.3.5.6 | Resultados de simulación.....                        | 58 |
| 5.3.5.7 | Selección de Luminarias.....                         | 59 |
| 5.3.5.8 | Selección de Fuente de suministro de energía .....   | 60 |
| 5.4.    | Rediseño red eléctrica Bocagrande-El Rompido.....    | 61 |
| 5.4.1.  | Red eléctrica primaria Bocagrande-El Rompido .....   | 61 |
| 5.4.2.  | Centros de transformación .....                      | 65 |
| 5.4.2.1 | Balance general de las fases del transformador ..... | 65 |
| 6.      | SIMULACIÓN DEL REDISEÑO REDES ELÉCTRICAS.....        | 66 |
| 6.1.    | Simulación vereda El Naranjo.....                    | 66 |

|         |                                                       |    |
|---------|-------------------------------------------------------|----|
| 6.1.1.  | Descripción Buses de carga y Generación .....         | 67 |
| 6.1.2.  | Líneas .....                                          | 67 |
| 6.1.3.  | Cargas.....                                           | 67 |
| 6.1.4.  | Resultados de simulación- Flujo de potencia.....      | 68 |
| 6.2.    | Simulación red eléctrica Bocagrande-El Rompido .....  | 72 |
| 6.2.1.  | Descripción Buses de carga y Generación .....         | 73 |
| 6.2.2.  | Líneas .....                                          | 74 |
| 6.2.3.  | Cargas.....                                           | 74 |
| 6.2.4.  | Resultados de simulación- Flujo de potencia.....      | 75 |
| 6.3.    | Estudios de casos .....                               | 78 |
| 6.3.1.  | Red eléctrica de El Naranjo .....                     | 78 |
| 6.3.1.1 | Caso 0: Red actual .....                              | 78 |
| 6.3.1.2 | Caso 1: Inclusión de un hotel .....                   | 78 |
| 6.3.1.3 | Caso 2: Aumento de 30% en todas las cargas .....      | 79 |
| 6.3.2.  | Red eléctrica Bocagrande .....                        | 79 |
| 6.3.2.1 | Caso 1: Red externa queda inactiva .....              | 79 |
| 7.      | PRESUPUESTO DEL PROYECTO .....                        | 80 |
| 8.      | METODOLOGÍA PARA EL REDISEÑO DE REDES ELÉCTRICAS..... | 82 |
| 8.1.    | Levantamiento y Diagnóstico de la red eléctrica ..... | 82 |
| 8.2.    | Dimensionamiento de la red eléctrica .....            | 82 |
| 8.3.    | Sincronización de la red eléctrica .....              | 83 |
| 8.4.    | Ubicación de los generadores .....                    | 84 |
| 8.5.    | Rediseño de la red eléctrica .....                    | 84 |
| 9.      | DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....                        | 86 |
| 10.     | <b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....                             | 88 |
| 11.     | <b>ANEXOS</b> .....                                   | 90 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Localización geográfica veredas El Naranjo-Bocagrande .....             | 19 |
| Figura 2. Foto vereda El Naranjo .....                                            | 22 |
| Figura 3. Panorámica General Vereda El Naranjo .....                              | 22 |
| Figura 4. Foto vereda Bocagrande. ....                                            | 24 |
| Figura 5. Tramo de red caída vereda El Naranjo. ....                              | 27 |
| Figura 6. Hongos en los postes vereda El Naranjo .....                            | 27 |
| Figura 7. Circuito eléctrico simulado para la vereda El Naranjo .....             | 30 |
| Figura 8. Curva de demanda general de la población El Naranjo .....               | 32 |
| Figura 9. Perfil de voltaje nodos críticos en el sistema El Naranjo .....         | 33 |
| Figura 10. Curva de pérdidas por horas El Naranjo .....                           | 33 |
| Figura 11. Factor de desbalance en nodo de generación .....                       | 35 |
| Figura 12. Circuito eléctrico simulado para la vereda Bocagrande.....             | 36 |
| Figura 13. Curva de demanda general de la población Bocagrande .....              | 37 |
| Figura 14. Perfiles de voltaje red Bocagrande .....                               | 38 |
| Figura 15. Pérdidas activas totales red Bocagrande .....                          | 39 |
| Figura 16. Factor de desbalance en nodo de generación .....                       | 39 |
| Figura 17. Dimensiones Sala de máquinas Vereda El Naranjo .....                   | 51 |
| Figura 18. Sistema de Puesta a Tierra Sala de Maquinas .....                      | 54 |
| Figura 19. Vista general Vereda El Naranjo- Zonas a Iluminar.....                 | 55 |
| Figura 20. Características Luminarias utilizadas en simulación .....              | 57 |
| Figura 21. Vista Vereda El Naranjo Colores Falsos .....                           | 59 |
| Figura 22. Circuito eléctrico simulado para la vereda El Naranjo (rediseño). .... | 66 |
| Figura 23. Curvas de demanda por carga.....                                       | 68 |
| Figura 24. Curva de demanda general a) potencia activa b) potencia reactiva ..... | 69 |
| Figura 25. Factor de potencia .....                                               | 70 |
| Figura 26. Perfiles de voltaje en nodos críticos.....                             | 71 |
| Figura 27. Pérdidas activas totales .....                                         | 71 |
| Figura 28. Factor de desbalance en nodos de baja tensión .....                    | 72 |
| Figura 29. Circuito eléctrico simulado para la vereda Bocagrande (rediseño). .... | 73 |
| Figura 30. Curva de demanda por tipo de carga.....                                | 74 |
| Figura 31. Curva de demanda general a) potencia activa b) potencia reactiva ..... | 76 |
| Figura 32. Perfil de voltajes en nodos críticos.....                              | 76 |
| Figura 33. Pérdidas activas totales de la red .....                               | 77 |
| Figura 34. Factor de desbalance .....                                             | 77 |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Demanda máxima diversificada calculada para ZNI.....                          | 25 |
| Tabla 2. Cálculo de Regulación y pérdidas Vereda El Naranjo para Diagnóstico.....      | 28 |
| Tabla 3. Cálculo de Regulación y pérdidas Vereda Bocagrande para Diagnóstico .....     | 29 |
| Tabla 4. Tabla de Demanda Máxima Diversificada. ....                                   | 40 |
| Tabla 5.Descripción tipo de cargas para cada vereda .....                              | 41 |
| Tabla 6. Cálculo de Regulación y pérdidas Vereda El Naranjo Rediseño Alternativa 1.... | 46 |
| Tabla 7. Cálculo de Regulación y pérdidas media tensión Alternativa 2 .....            | 47 |
| Tabla 8. Cálculo de Regulación y pérdidas Transformador T-3 Alternativa 2 .....        | 47 |
| Tabla 9. Cálculo de Regulación y pérdidas Transformador T-2 Alternativa 2 .....        | 48 |
| Tabla 10. Demanda de la red para cálculo de capacidad transformadores .....            | 49 |
| Tabla 11. Conexiones internas Gabinete Principal.....                                  | 51 |
| Tabla 12. Zonas a iluminar Vereda El Naranjo.....                                      | 55 |
| Tabla 13. Niveles mínimos exigidos por RETILAP .....                                   | 56 |
| Tabla 14. Ubicación de luminarias para Simulación .....                                | 57 |
| Tabla 15. Resultados de Iluminancia Horizontal- Dialux .....                           | 58 |
| Tabla 16. Cuadro Cargas Iluminación Vereda El Naranjo .....                            | 60 |
| Tabla 17. Cálculo regulación y pérdidas media tensión. ....                            | 63 |
| Tabla 18. Cálculo regulación y pérdidas baja tensión El Rompido. ....                  | 63 |
| Tabla 19. Cálculo regulación y pérdidas baja tensión Bocagrande .....                  | 64 |
| Tabla 20. Resumen de costos Vereda El Naranjo.....                                     | 80 |
| Tabla 21. Resumen de costos Vereda Bocagrande – El Rompido .....                       | 81 |
| Tabla 22. Resumen de costos iluminación Vereda El Naranjo .....                        | 81 |

## LISTA DE ANEXOS

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ANEXO 1. ESQUEMAS ELÉCTRICOS REDES ACTUALES.....                                   | 90 |
| ANEXO 2. ESQUEMAS ELÉCTRICOS PROPUESTOS PARA EL REDISEÑO .....                     | 90 |
| ANEXO 3. TOPOLOGÍA EN SIMULACIÓN DE LAS REDES ELÉCTRICAS.....                      | 90 |
| ANEXO 4. DESCRIPCIÓN DE BUSES DE CARGA, GENERACIÓN Y LÍNEAS EN<br>SIMULACIÓN ..... | 90 |
| ANEXO 5. DISTRIBUCIÓN DE CARGAS PARA BALANCE DE LAS REDES .....                    | 90 |
| ANEXO 6. ESQUEMA ELÉCTRICO SALA DE MAQUINAS .....                                  | 90 |
| ANEXO 7. CASOS DE ESTUDIO EN SIMULACIÓN .....                                      | 90 |
| ANEXO 8. PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....                                             | 91 |
| ANEXO 9. PRESUPUESTO DE ILUMINACIÓN .....                                          | 91 |

## **RESUMEN**

En este documento se presenta el rediseño de las redes eléctricas de las veredas El Naranjo y Bocagrande-El Rompido, situadas en la zona costera del departamento de Nariño, con la inclusión de generación distribuida.

En primer lugar, se busca conocer el estado actual por medio del levantamiento de las redes eléctricas y evaluarlo de acuerdo a la normativa eléctrica vigente; una vez evaluada, se procede a dar un diagnóstico principal de las redes en donde se evidencia las diferentes anomalías existentes, para así, finalmente, realizar un nuevo diseño que cumpla con los parámetros técnicos estipulados en las Normas de Diseño y construcción de sistemas de distribución eléctricos CEDENAR S.A. [1], el RETIE [2] y la Norma Técnica Colombiana NTC 2050 [3].

Además, se realiza un modelo simulado de estas redes eléctricas que facilita la visualización de perfiles de voltaje y corriente, curvas de demanda y desbalances tanto de la red actual como del diseño propuesto, así como también evaluar el uso de generadores distribuidos y su impacto.

De otra parte, con este estudio se intenta contribuir, desde el proyecto ALTERNAR, a mejorar la calidad del servicio de energía eléctrica de dichas veredas; así como también contribuir al desarrollo y progreso de la comunidad, además de fortalecer nuevas líneas de investigación alrededor de la gestión energética.

## **ABSTRACT**

This paper presents the redesign of the electrical networks of the villages of El Naranjo and Bocagrande-El Rompido, located in the coastal area of Nariño Department, with the inclusion of distributed generation.

This paper intends to know first the current state of the networks by mapping and evaluate them according to the current electricity regulations. Once the assessment is carried out, a main diagnosis follows to give a primary analysis where various anomalies are evident; and then finally, to make a new design, in which technical parameters stipulated in the regulation of designing and construction of electrical distribution systems stipulated by CEDENAR SA E.S.P. [1], the RETIE [2] and the Colombian Technical Standard NTC 2050 [3] are met. Moreover, a model of these networks is simulated, which facilitates the visualization of profiles of current and voltage curves of demand and imbalances, for both current and the proposed design network, and also evaluating the use of distributed generators and their impact.

This study aims to contribute, to the ALTERNAR project, with the inhabitants of these villages to improve the quality of electricity, contribute to the development and progress of the community and strengthen new lines of research about energy management.

## INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es una fuente esencial para mover el desarrollo de los países, en la actualidad el mundo tiene una fuerte dependencia hacia ésta ya que su suministro hace confortable la vida cotidiana de los hogares, mueve efectivamente el comercio y hace posible el funcionamiento de la industria de la producción. El sistema eléctrico está constituido por un conjunto de subsistemas que funcionan a distintos niveles de tensión y que tienen como finalidad asegurar el suministro de energía eléctrica a todos los usuarios con las menores pérdidas y la mayor calidad posibles, para ello es necesario disponer de la capacidad de generación suficiente y entregarla con eficiencia y de manera segura hacia el usuario final, requiriendo así inversiones grandes de capital, así como estudios y diseños apropiados los cuales se rigen por las distintas normas nacionales e internacionales [4].

Por lo anterior, las líneas de transporte y distribución de energía eléctrica deben cumplir con ciertos requisitos de seguridad, calidad y economía. En cuanto a la calidad existen limitaciones y parámetros técnicos relacionados con la tensión e intensidad que circula por las líneas los cuales no deben sobrepasar valores preestablecidos por las diferentes normas que rigen la infraestructura. Estas condiciones obligan a realizar comprobaciones de los diferentes parámetros más característicos los cuales por norma nunca deben sobrepasarse, entre ellos se destacan la caída de tensión y las pérdidas de potencia [5].

A partir de la crisis energética vivida por el Sector Eléctrico Colombiano en los años 1991-1992, debido al déficit de la generación, se observó una vez más la importancia que tiene la planificación de los sistemas energéticos, resultado de estas necesidades de gestión para hacer más eficiente los desarrollos de infraestructura eléctrica en Colombia, se crearon diferentes leyes que permitieron direccionar la expansión y la operación de la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica que cumpla con los parámetros de eficiencia económica y técnica. Si bien el sector eléctrico colombiano ha evolucionado hacia un esquema interconectado nacional, aún presenta una gran región donde los recursos energéticos y la infraestructura eléctrica están por desarrollarse, como lo representan las regiones del litoral pacífico nariñense en donde se encuentran Zonas No Interconectadas (ZNI), que cuentan con suministro de energía a través de pequeñas plantas de generación Diésel, que muchas veces no cuentan con mantenimientos preventivos necesarios ni niveles de confiabilidad que garanticen los requerimientos de la demanda de dichas poblaciones [6]. Con el fin de suplir

esta demanda se han desarrollado investigaciones hacia otras tecnologías de generación, transmisión, distribución y comercialización.

Los recientes avances obtenidos en el campo de la generación a pequeña escala y almacenamiento eléctrico implican cambios en la forma en que en las últimas décadas se había concebido la generación y distribución de energía, retomando vigencia el concepto de Generación Distribuida (GD), entendiéndose como el proceso de producción (ó generación) y distribución de energía eléctrica a pequeña o mediana escala con una cercanía a los centros finales de consumo y con posibilidad de interactuar con las redes de interconexión eléctrica, teniendo ventajas en aspectos de eficiencia, flexibilidad, interconexión con redes de distribución e inversiones por instalación y costos de mantenimiento y funcionamiento, los cuales identifican a la GD como una alternativa que centra la atención en aquellas zonas rurales apartadas, para las cuales el acceso a la interconexión eléctrica con las tecnologías de generación, transporte y distribución tradicionales, resulta una inversión elevada tanto para capitales públicos como privados.

Es así, como la Universidad de Nariño, a través del Departamento de Ingeniería Electrónica, actualmente adelanta estudios desde el proyecto denominado “Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño –ALTERNAR–”, los cuales contribuyan a mejorar la cobertura en estas zonas apartadas y/o no interconectadas de Nariño, aprovechando los recursos locales para la generación de energías alternativas mediante investigaciones enfocadas hacia redes inteligentes y micro redes aplicadas a zonas rurales para así brindar solución a las necesidades socioeconómicas propias de cada región.

Es por esto que la presente investigación, que se desarrolla en el marco del proyecto mencionado, busca contribuir en el desarrollo de procesos de levantamiento y diagnóstico de redes eléctricas para conocer su estado actual, y proponer un posible diseño que cumpla con las normas y garantice el acceso a la energía eléctrica en estas ZNI del departamento de Nariño.

Este documento viene organizado por las siguientes secciones: En la sección 1 y 2 se presenta el planteamiento y definición del problema, así como, los objetivos planteados en el anteproyecto. En la sección 3 se tratan los procesos realizados en el trabajo de campo y el tratamiento de los datos obtenidos en este, además de realizar un diagnóstico mediante el cual se presenta las principales anomalías e ineficiencias que existen en la red de acuerdo a la normativa de CEDENAR S.A [7]. Con los datos obtenidos en la sección anterior se realiza un análisis de la red

mediante la simulación de ésta en un software especializado, PowerFactory de Digsilent. Los resultados de esto se consignan en la sección 4. En la sección 5 se presenta el rediseño planteado para dar solución a las problemáticas presentadas en las redes eléctricas de estas regiones con el cumplimiento de la normativa vigente. La sección 6 presenta la simulación realizada a las nuevas redes con la inclusión de los nuevos generadores y cargas proyectadas, mediante esta se realiza un análisis al comportamiento que presentaría en la realidad. En la sección 7 se da a conocer el presupuesto planteado para ejecución del proyecto y por último en la sección 8, se presenta como producto final, una metodología para el rediseño de redes eléctricas.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la actualidad existen varias localidades aisladas en el departamento de Nariño que no cuentan con energía eléctrica continua, sino con horarios limitados, esto ocurre principalmente porque sus características geográficas impiden que se puedan conectar al Sistema Interconectado Nacional (SIN), teniendo así que ser abastecidas por horas y con fuentes de energía que resultan costosas. Son justamente en estas comunidades aisladas, que a su vez cuentan con numerosos recursos naturales, en donde proyectos de energización con fuentes renovables tienen aplicación, considerándose como una alternativa sistemas de micro-redes basados en energías renovables [8].

Un caso puntual de estas comunidades aisladas son las veredas de El Naranjo y Bocagrande-El Rompido, ubicadas en la costa pacífica nariñense, en los municipios de Mosquera y Tumaco respectivamente. Al ser dos poblaciones de difícil acceso geográfico no hacen parte del Sistema Interconectado Nacional (SIN), por lo que no cuentan con un servicio que le suministre energía de forma continua, tal es el caso de El Naranjo que tan solo cuenta con cuatro horas de energía a primeras horas de la noche generadas por una planta diésel [9], Bocagrande que cuenta con energía alrededor de 3 a 5 horas en la noche generados, de igual forma, a través de una planta diésel que no logra satisfacer las necesidades de esta población y El Rompido ubicado a 1 Km de Bocagrande, el cual no cuenta con suministro de energía eléctrica. En este proyecto se plantea un diseño de la red eléctrica que cumpla con la normativa vigente, con la inclusión de fuentes no convencionales de energía.

### **1.1. Definición del problema**

¿Cuál sería un diseño adecuado de una red eléctrica que soporte la inclusión de generación distribuida y que logre generar energía durante 24 horas continuas en las veredas Bocagrande-El Rompido y El Naranjo?

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Diseñar y simular la red eléctrica de las veredas Bocagrande-El Rompido y El Naranjo involucrando generación distribuida con diferentes fuentes no convencionales de energía.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Realizar el levantamiento de la red eléctrica actual en las veredas Bocagrande-El Rompido y El Naranjo que permita describir y dar un diagnóstico inicial de su estado.
- Diseñar un modelo de red eléctrica en las veredas Bocagrande-El Rompido y El Naranjo incluyendo generación distribuida y el uso de fuentes alternativas.
- Simular la red actual y la nueva red diseñada mediante la utilización de software especializado para evaluar las ventajas y desventajas de la nueva red frente a la red actual.
- Generar una metodología para el diseño de nuevas redes eléctricas que incluya el uso de la generación distribuida.

### 3. LEVANTAMIENTO DE LA RED ELÉCTRICA ACTUAL

Se utilizó la metodología desarrollada en [10] con el fin de realizar el levantamiento de las redes eléctricas, la cual proporciona las instrucciones necesarias y establece los criterios técnicos que deben seguirse para realizar un correcto trabajo de campo.

#### 3.1. Descripción de las etapas

##### 3.1.1. Etapa de Pre-levantamiento

El presente trabajo se encuentra enfocado en las veredas El Naranjo y Bocagrande-El Rompido ubicadas en la zona pacífico Nariñense, en los municipios de Mosquera y Tumaco respectivamente, su ubicación geográfica se puede observar en la figura 1.

Como primera etapa se procedió a realizar el levantamiento de las redes eléctricas en dichas veredas. En vista de que no se tenía ninguna información acerca de la red eléctrica existente de las veredas de El Naranjo y El Rompido, se llevó un plano borrador en el cual se plasmaron las características principales de la red eléctrica a levantar. Para la localidad de Bocagrande-El Rompido, se tomó como base un trabajo realizado en una visita de campo realizada anteriormente.

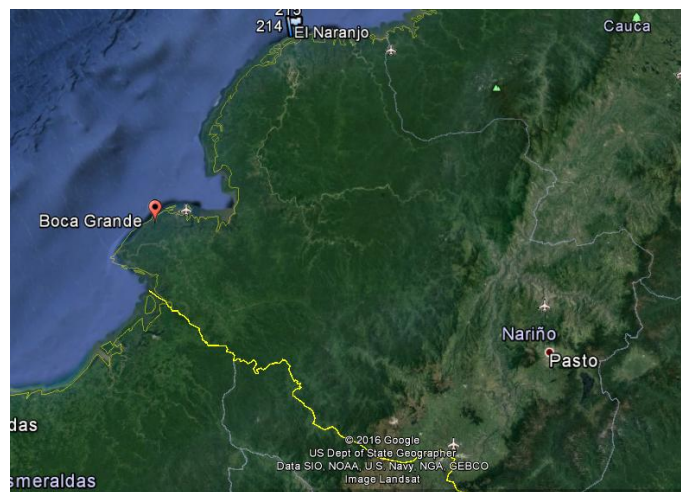


Figura 1. Localización geográfica veredas El Naranjo-Bocagrande

### **3.1.2. Metodología básica para el Levantamiento de redes eléctricas**

Se inició el levantamiento de la red desde la planta principal de generación, de la cual se tomó la información principal de su placa característica. En este punto se identificaron los puntos de conexión, tipo de alimentación, voltaje nominal y sistema de protecciones. En seguida, con ayuda del GPS se recorrió la trayectoria que sigue el cableado tomando nota en el plano borrador, el levantamiento consistió en una inspección visual realizada para identificar y ubicar la red de alimentación primaria, la localización de la planta generadora principal, identificación de acometidas y longitud de cableado, georreferenciación de postes, identificación de alumbrado público, determinación de estructuras de soporte de baja tensión, además de realizar un reconociendo georreferenciado de las cargas que conforman la red.

### **3.1.3. Digitalización de la información**

Con los datos recopilados en el proceso de levantamiento, se procedió a digitalizar toda la información obtenida utilizando el programa AutoCAD, en donde se realizaron los siguientes planos:

- Plano Red eléctrica vereda El Naranjo
- Plano Red eléctrica vereda Bocagrande
- Plano Red eléctrica vereda El Rompido

Además, se realizaron los respectivos diagramas unifilares y cuadros de regulación utilizados para el diagnóstico actual de la red.

Para visualizar los planos mencionados consultar el anexo 1.

## **3.2. Estado actual red eléctrica vereda El Naranjo.**

### **3.2.1. Alimentación Principal**

La vereda El Naranjo tiene como alimentación principal una planta Diésel Marca ALGESA, con una potencia Nominal de 30 KVA y un factor de potencia de 0.8. En cuanto al voltaje nominal, presenta una tensión trifásica de 220V a 60 Hz. Esta planta satisface la demanda de energía eléctrica de toda esta población todos los días desde las 6:00 pm hasta las 11:00 pm.

Además, cuenta con una planta privada tipo Diésel con una capacidad instalada de 12.5 KVA y factor de potencia 0.8. Este generador es trifásico a 220/127V con una frecuencia de 60Hz. Cabe aclarar que el uso de esta planta es cuando la planta pública no está en buenas condiciones de operación y es de uso exclusivo de cinco casas del total que existen en El Naranjo.

### **3.2.2. Topología, Cableado y Carga Instalada**

La red eléctrica de El Naranjo es tipo radial y aérea con dos puntos de generación diferentes, los cuales no pueden operar simultáneamente. Cada planta de generación Diésel tiene su propio circuito. En cuanto a la planta pública, el 80% de la red primaria saliendo desde su punto de generación es tetrafilar con calibres: (2No. 1/0+1No.2) ACSR para las tres fases y con 1No.4ACSR para cable de neutro, el restante es tipo monofásica con conductores No.4 ACSR.

Por otra parte, las líneas de la red privada se manejan con cables No. 4ACSR. Las cargas activas que hacen parte de la red son 34 casas residenciales, 1 iglesia, 1 escuela primaria y 1 pescadería. Las acometidas domiciliarias presentan diversos tipos de alambrado como los siguientes: cable de cobre No. 10 AWG THW o No.8 AWG THW, cable de aluminio No. 10 o 8 AWG THW, como también cable dúplex No. 10 o 12.

### **3.2.3. Estructuras de soporte, medidores, protecciones e iluminación**

Dentro del levantamiento se identificaron los siguientes elementos y situaciones relacionadas con el estado actual de la red: todo el cableado va soportado sobre herrajes y aisladores en postes de madera de 8 metros que recorren toda la población de El Naranjo, como se observa en la figura 2. En cuanto a alumbrado público, tan solo se cuenta con una lámpara de sodio de 70W ubicada cerca a la costa, en la figura 3 se puede apreciar una panorámica general de la vereda El Naranjo.



**Figura 2. Foto vereda El Naranjo**



**Figura 3. Panorámica General Vereda El Naranjo**

Por otra parte, la red no cuenta con equipos de medición de energía en ningún punto y el 85% de las casas no tienen sistemas de protecciones contra sobrecargas o

sobretensiones. Algunas de las residencias tienen cuchillas ON-OFF como sistema de protección principal. Existe un único interruptor termoelectrico (Totalizador) de 50A en la salida de la planta pública principal.

### **3.3. Estado actual red eléctrica vereda Bocagrande-El Rompido**

#### **3.3.1. Alimentación principal**

La vereda Bocagrande tiene como alimentación principal una planta Diésel con una potencia Nominal de 50 KVA, una tensión trifásica de 208/120V a 60 Hz y un factor de potencia de 0.8. Esta planta satisface la demanda de energía eléctrica de toda la población todos los días desde las 6:00 pm hasta las 11:00 pm.

#### **3.3.2. Topología, Cableado y Carga Instalada**

La red eléctrica de Bocagrande es tipo radial y aérea que se expande a lo largo de la población. El 100% la red primaria saliendo desde su punto de generación es trifilar (Dos fases y un neutro) en calibre No 4 ACSR para las dos fases y el neutro.

Las cargas activas que hacen parte de la red son 10 casas residenciales. La escuela y dos casas no presentan acometida, sin embargo, una de estas tiene planta propia. Además, un sector de 90 metros de la red se encuentra caído.

#### **3.3.3. Estructuras de soporte, medidores, protecciones e iluminación**

En el levantamiento se encontró que todo el cableado va soportado sobre herrajes y aisladores en postes de madera de 8 metros, los cuales recorren toda la población de Bocagrande, como se puede observar en la figura 4.

La red no cuenta con equipos de medición de energía en ningún punto, las casas no tienen sistemas de protecciones contra sobrecargas o sobretensiones. Algunas de las residencias tienen cuchillas ON-OFF como sistema de protección principal. Existe un único interruptor termoelectrico (Totalizador) de 120A en la salida de la planta.



**Figura 4. Foto vereda Bocagrande.**

#### **3.3.4. Red eléctrica Vereda el Rompido**

Esta localidad cuenta tan solo con el tendido de las redes para el futuro sistema eléctrico. Este cableado cuenta con dos cables con calibre No 4 ACSR los cuales van soportados sobre herrajes y aisladores en postes de madera de 8 m. Hasta la fecha, esta población no cuenta con planta de Generación ni con acometidas domiciliarias.

### **3.4. Diagnóstico actual de las redes eléctricas**

#### **3.4.1. Cálculo de demanda máxima diversificada para el diagnóstico**

Antes de realizar el cálculo de regulación y pérdidas para el diagnóstico, se ve la necesidad de adaptar la tabla de demanda máxima diversificada (DMD) dada por CEDENAR S.A E.S.P para esta clase de zonas que además de ser consideradas como rurales son no interconectadas. Se consultaron varias normas técnicas y tablas de demanda máxima diversificada de electrificadoras Nacionales como: CENS, CHEC, CODENSA, EPM, ESSA Y ENERTOLIMA [11] [5] [7] [12] [13] [14], con el fin de encontrar un consenso de consumo de energía típico para este tipo de usuarios. En vista de que varias tablas de demanda máxima de dichas empresas diferenciaban entre un usuario Rural y un usuario de estrato 1 o 2, se determinó

utilizar la tabla de demanda máxima diversificada de CEDENAR pero acoplarla de acuerdo a la demanda máxima registrada en las mediciones realizadas en las salidas de campo ejecutadas por el proyecto ALTERNAR.

La tabla 1 muestra la demanda máxima diversificada calculada para zonas no interconectadas que cuentan con un servicio de energía eléctrica entre 4 a 5 horas diarias. El pico de consumo utilizado para calcular la tabla fue de 600VA para un usuario, que por la diversificación presente en la carga a medida que se aumenta el número de usuarios este valor de consumo disminuye

**Tabla 1. Demanda máxima diversificada calculada para ZNI**

| # USUARIOS                 | ZNI CALCULADA                     |                                  |                               | # USUARIOS | ZNI CALCULADA                     |                                  |                               |
|----------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------|-----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|
|                            | Estrato bajo bajo KVA por usuario | Estrato bajo bajo KW por usuario | Estrato bajo bajo KVA TOTALES |            | Estrato bajo bajo KVA por usuario | Estrato bajo bajo KW por usuario | Estrato bajo bajo KVA TOTALES |
| 1                          | 0,600                             | 0,588                            | 0,600                         | 21         | 0,475                             | 0,466                            | 9,983                         |
| 2                          | 0,591                             | 0,579                            | 1,182                         | 22         | 0,471                             | 0,461                            | 10,357                        |
| 3                          | 0,582                             | 0,570                            | 1,745                         | 23         | 0,471                             | 0,461                            | 10,828                        |
| 4                          | 0,572                             | 0,561                            | 2,289                         | 24         | 0,466                             | 0,457                            | 11,188                        |
| 5                          | 0,563                             | 0,552                            | 2,815                         | 25         | 0,462                             | 0,452                            | 11,538                        |
| 6                          | 0,558                             | 0,547                            | 3,351                         | 26         | 0,457                             | 0,448                            | 11,880                        |
| 7                          | 0,549                             | 0,538                            | 3,845                         | 27         | 0,457                             | 0,448                            | 12,337                        |
| 8                          | 0,545                             | 0,534                            | 4,357                         | 28         | 0,438                             | 0,430                            | 12,277                        |
| 9                          | 0,535                             | 0,525                            | 4,818                         | 29         | 0,448                             | 0,439                            | 12,983                        |
| 10                         | 0,531                             | 0,520                            | 5,308                         | 30         | 0,448                             | 0,439                            | 13,431                        |
| 11                         | 0,526                             | 0,516                            | 5,788                         | 31         | 0,443                             | 0,434                            | 13,735                        |
| 12                         | 0,517                             | 0,507                            | 6,203                         | 32         | 0,438                             | 0,430                            | 14,031                        |
| 13                         | 0,512                             | 0,502                            | 6,660                         | 33         | 0,438                             | 0,430                            | 14,469                        |
| 14                         | 0,508                             | 0,498                            | 7,108                         | 34         | 0,434                             | 0,425                            | 14,751                        |
| 15                         | 0,503                             | 0,493                            | 7,546                         | 35         | 0,434                             | 0,425                            | 15,185                        |
| 16                         | 0,498                             | 0,488                            | 7,975                         | 36         | 0,443                             | 0,434                            | 15,951                        |
| 17                         | 0,494                             | 0,484                            | 8,395                         | 37         | 0,425                             | 0,416                            | 15,711                        |
| 18                         | 0,489                             | 0,479                            | 8,806                         | 38         | 0,425                             | 0,416                            | 16,135                        |
| 19                         | 0,485                             | 0,475                            | 9,208                         | 39         | 0,420                             | 0,412                            | 16,380                        |
| 20                         | 0,480                             | 0,470                            | 9,600                         | 40         | 0,420                             | 0,412                            | 16,800                        |
| Fuente: Esta investigación |                                   |                                  |                               |            |                                   |                                  |                               |

### **3.4.2. Cálculo de regulación y pérdidas**

Una vez realizada la tabla de demanda máxima diversificada (Tabla 1), se realizaron los gráficos de regulación correspondientes en donde se ubicó número de nodos de usuarios existentes, cantidad de usuarios ligados a ese nodo y su longitud, estos gráficos se pueden observar en el anexo 1. Se prosigue a realizar el cálculo de regulación y pérdidas de acuerdo a la metodología aplicada por la empresa CEDENAR en su norma técnica [1].

### **3.4.3. Resultados del cálculo de regulación y pérdidas**

Las tablas 2 y 3 presentan los cálculos de regulación y pérdidas para la red eléctrica actual de las veredas estudiadas en donde se muestra el cálculo nodo a nodo tanto del porcentaje de regulación de voltaje y las pérdidas tramo a tramo.

Los valores de las constantes de regulación para los diferentes calibres de conductor ACSR, se tomaron del numeral 8.3.4 de la norma “NORMAS DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE SISTEMAS DE DISTRIBUCION ELECTRICOS DE CEDENAR S.A. E.S.P” [1], los valores para la demanda se toman de acuerdo al número de usuarios en KVA consignada en la tabla 1 de este documento.

Los valores estipulados de regulación de voltaje y pérdidas para una red de baja tensión según la norma de CEDENAR S.A. E.S.P. no deben exceder un máximo de 5%, teniendo en cuenta esto, la red eléctrica actual de la vereda El Naranjo tiene un valor de 11,46% en regulación y un 4,85 % en pérdidas y para el caso de la vereda Bocagrande se tiene un valor de 5,57 % en regulación y un 1,22 % en pérdidas. Partiendo de este hecho, El Naranjo no cumple con la regulación mínima y está al borde en pérdidas por cableado, en cuanto a Bocagrande, no se cumple con la regulación requerida, pero si con los límites de pérdidas. Para este caso es posible hacer la siguiente consideración: existen varias viviendas y dos hoteles que no consumen energía de la red eléctrica analizada, por lo tanto, es posible que estos porcentajes incrementen mucho más si son tenidos en cuenta dentro del consumo de la población. Además de esto, todo el cableado, herrajes y aisladores de las redes eléctricas están dispuestos en postes de madera, los cuales presentan un apreciable nivel de deterioro a causa de las condiciones ambientales y por hongos figura 6, además, existen tramos de red caídos como se puede apreciar en la figura 5. Los calibres de las acometidas varían entre No 10 y No 12 AWG y ninguno de los usuarios cuenta con sistema de protección contra sobre corriente o sobretensiones. Adicionalmente, la población no cuenta con un sistema de iluminación mínimo en

corredores peatonales. En la actualidad, la vereda El Naranjo cuenta con una lámpara de sodio que ilumina la playa. Por esta clase de situaciones presentes en la actualidad, no es posible llevar a cabo este tipo de proyectos de cobertura eléctrica 24/7 con energías renovables sin antes realizar un rediseño de la red eléctrica primaria ya que se debe garantizar que lo planeado y lo proyectado dentro de ALTERNAR este acorde a los lineamientos técnicos y económicos que cuiden los intereses tanto de la población como del proyecto en sí.



**Figura 5. Tramo de red caída vereda El Naranjo.**



**Figura 6. Hongos en los postes vereda El Naranjo**

**Tabla 2. Cálculo de Regulación y pérdidas Vereda El Naranjo para Diagnóstico**

| <b>CÁLCULO DE REGULACIÓN VEREDA EL NARANJO</b> |              |              |              |               |                |                |              |                  |                |                |              |                 |                  |              |              |
|------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|--------------|------------------|----------------|----------------|--------------|-----------------|------------------|--------------|--------------|
| <b>NODO</b>                                    | <b>NODO</b>  | <b>LONG.</b> | <b>USU</b>   | <b>DEMAND</b> | <b>MOMENTO</b> | <b>REG.</b>    | <b>REG.</b>  | <b>KVA TOTAL</b> | <b>FACTOR</b>  | <b>VOLTAJE</b> | <b>PERD.</b> | <b>PERD.</b>    | <b>PERD.</b>     | <b>PERD.</b> | <b>COND.</b> |
| <b>Iniclal</b>                                 | <b>Final</b> | <b>[m]</b>   | <b>[No.]</b> | <b>[KVA]</b>  | <b>KVA*m</b>   | <b>Parcial</b> | <b>Total</b> | <b>Tramo</b>     | <b>CORREC.</b> | <b>CORREG.</b> | <b>[KW]</b>  | <b>ACUM[KW]</b> | <b>ACU [KVA]</b> | <b>%</b>     | <b>ACSR</b>  |
| 0                                              | 1            | 10           | 37           | 15.71         | 157.11         | 0.33           | 0.33         | 157.87           | 1              | 219.28         | 0.0569       | 0.7468          | 0.7621           | 4.85%        | 2            |
| 1                                              | 2            | 55           | 15           | 7.54          | 414.73         | 0.86           | 1.19         | 414.91           | 1              | 217.38         | 0.0733       | 0.1763          | 0.1799           | 1.15%        | 2            |
| 2                                              | 3            | 33           | 14           | 7.11          | 234.56         | 0.49           | 1.68         | 234.67           | 1              | 216.31         | 0.0395       | 0.1030          | 0.1051           | 0.67%        | 2            |
| 3                                              | 4            | 17           | 13           | 6.66          | 113.22         | 0.24           | 1.91         | 113.28           | 1              | 215.79         | 0.0179       | 0.0635          | 0.0648           | 0.41%        | 2            |
| 4                                              | 5            | 20           | 11           | 5.79          | 115.76         | 0.24           | 2.15         | 115.81           | 1              | 215.26         | 0.0160       | 0.0456          | 0.0465           | 0.30%        | 2            |
| 5                                              | 6            | 33           | 9            | 4.82          | 158.99         | 0.33           | 2.48         | 159.02           | 1              | 214.53         | 0.0184       | 0.0296          | 0.0302           | 0.19%        | 2            |
| 6                                              | 7            | 18           | 8            | 4.36          | 78.43          | 0.16           | 2.65         | 78.44            | 1              | 214.18         | 0.0083       | 0.0111          | 0.0114           | 0.07%        | 2            |
| 7                                              | 8            | 15           | 5            | 2.82          | 42.23          | 0.09           | 2.74         | 42.23            | 1              | 213.98         | 0.0029       | 0.0029          | 0.0029           | 0.02%        | 2            |
|                                                |              |              |              |               |                |                |              |                  |                |                |              |                 |                  |              |              |
| 1                                              | 9            | 44           | 22           | 10.36         | 455.71         | 0.95           | 1.27         | 456.23           | 1              | 217.20         | 0.1109       | 0.5136          | 0.5241           | 3.34%        | 2            |
| 9                                              | 12           | 26           | 21           | 9.98          | 259.56         | 0.54           | 1.81         | 259.97           | 1              | 216.01         | 0.0615       | 0.4028          | 0.4110           | 2.62%        | 2            |
| 12                                             | 10           | 19           | 3            | 1.75          | 33.16          | 0.63           | 2.44         | 33.16            | 6              | 214.63         | 0.0005       | 0.0010          | 0.0010           | 0.01%        | 4            |
| 10                                             | 11           | 44           | 2            | 1.18          | 52.01          | 0.99           | 3.43         | 52.01            | 6              | 212.46         | 0.0005       | 0.0005          | 0.0005           | 0.00%        | 4            |
| 12                                             | 13           | 41           | 18           | 8.81          | 361.05         | 0.75           | 2.57         | 361.39           | 1              | 214.36         | 0.0767       | 0.3403          | 0.3472           | 2.21%        | 2            |
| 13                                             | 14           | 64           | 17           | 8.40          | 537.28         | 1.12           | 3.68         | 537.55           | 1              | 211.90         | 0.1113       | 0.2636          | 0.2690           | 1.71%        | 2            |
| 14                                             | 15           | 29           | 14           | 7.11          | 206.13         | 0.43           | 4.11         | 206.29           | 1              | 210.95         | 0.0365       | 0.1523          | 0.1554           | 0.99%        | 2            |
| 15                                             | 16           | 48           | 12           | 6.20          | 297.74         | 0.62           | 4.73         | 297.86           | 1              | 209.59         | 0.0311       | 0.1158          | 0.1182           | 0.75%        | 2            |
| 16                                             | 17           | 12           | 11           | 5.79          | 69.46          | 0.14           | 4.88         | 69.54            | 1              | 209.27         | 0.0102       | 0.0848          | 0.0865           | 0.55%        | 2            |
| 17                                             | 18           | 26           | 10           | 5.31          | 137.93         | 0.29           | 5.16         | 138.01           | 1              | 208.64         | 0.0186       | 0.0746          | 0.0761           | 0.48%        | 2            |
| 18                                             | 22           | 30           | 9            | 4.82          | 144.60         | 0.30           | 5.46         | 144.66           | 1              | 207.98         | 0.0179       | 0.0560          | 0.0571           | 0.36%        | 2            |
| 22                                             | 23           | 27           | 1            | 0.60          | 16.20          | 0.31           | 5.77         | 16.20            | 6              | 113.08         | 0.0003       | 0.0003          | 0.0003           | 0.00%        | 4            |
| 22                                             | 19           | 57           | 8            | 4.36          | 248.52         | 4.71           | 10.17        | 248.56           | 6              | 107.79         | 0.0344       | 0.0378          | 0.0386           | 0.25%        | 4            |

|                                   |    |    |   |      |       |      |       |       |   |        |        |        |        |       |   |
|-----------------------------------|----|----|---|------|-------|------|-------|-------|---|--------|--------|--------|--------|-------|---|
| 19                                | 20 | 24 | 3 | 1.75 | 42.00 | 0.80 | 10.97 | 42.00 | 6 | 106.83 | 0.0024 | 0.0034 | 0.0034 | 0.02% | 4 |
| 20                                | 21 | 22 | 2 | 1.18 | 25.96 | 0.49 | 11.46 | 25.96 | 6 | 106.24 | 0.0010 | 0.0010 | 0.0010 | 0.01% | 4 |
| <i>Fuente: Esta investigación</i> |    |    |   |      |       |      |       |       |   |        |        |        |        |       |   |

**Tabla 3. Cálculo de Regulación y pérdidas Vereda Bocagrande para Diagnóstico**

| <b>CÁLCULO DE REGULACIÓN VEREDA BOCAGRANDE</b> |              |              |              |               |                |                |              |                  |                |                |              |                 |                  |              |              |
|------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|--------------|------------------|----------------|----------------|--------------|-----------------|------------------|--------------|--------------|
| <b>NODO</b>                                    | <b>NODO</b>  | <b>LONG.</b> | <b>USU</b>   | <b>DEMAND</b> | <b>MOMENTO</b> | <b>REG.</b>    | <b>REG.</b>  | <b>KVA TOTAL</b> | <b>FACTOR</b>  | <b>VOLTAJE</b> | <b>PERD.</b> | <b>PERD.</b>    | <b>PERD.</b>     | <b>PERD.</b> | <b>COND.</b> |
| <i>Inicial</i>                                 | <i>Final</i> | <i>[m]</i>   | <i>[No.]</i> | <i>[KVA]</i>  | <i>KVA*m</i>   | <i>Parcial</i> | <i>Total</i> | <i>Tramo</i>     | <i>CORREC.</i> | <i>CORREG.</i> | <i>[KW]</i>  | <i>ACUM[KW]</i> | <i>ACU [KVA]</i> | <i>%</i>     | <i>ACSR</i>  |
| 0                                              | 1            | 10           | 10           | 5.35          | 53.51          | 0.43           | 0.43         | 53.57            | 2.25           | 207.11         | 0.0076       | 0.0633          | 0.0646           | 1.22%        | 4            |
| 1                                              | 2            | 92           | 3            | 1.75          | 160.54         | 1.28           | 1.70         | 160.55           | 2.25           | 204.46         | 0.0077       | 0.0091          | 0.0093           | 0.17%        | 4            |
| 2                                              | 3            | 143          | 1            | 0.60          | 85.80          | 0.68           | 2.38         | 85.80            | 2.25           | 203.04         | 0.0014       | 0.0014          | 0.0015           | 0.03%        | 4            |
|                                                |              |              |              |               |                |                |              |                  |                |                |              |                 |                  |              |              |
| 1                                              | 4            | 32           | 7            | 3.85          | 123.04         | 0.98           | 1.40         | 123.09           | 2.25           | 205.08         | 0.0129       | 0.0466          | 0.0475           | 0.90%        | 4            |
| 4                                              | 5            | 26           | 6            | 3.35          | 87.13          | 0.69           | 2.10         | 87.16            | 2.25           | 203.64         | 0.0081       | 0.0337          | 0.0344           | 0.65%        | 4            |
| 5                                              | 6            | 129          | 4            | 2.29          | 295.28         | 2.35           | 4.45         | 295.31           | 2.25           | 198.75         | 0.0196       | 0.0256          | 0.0262           | 0.49%        | 4            |
| 6                                              | 7            | 60           | 3            | 1.75          | 104.70         | 0.83           | 5.28         | 104.71           | 2.25           | 197.02         | 0.0054       | 0.0060          | 0.0062           | 0.12%        | 4            |
| 7                                              | 8            | 62           | 1            | 0.60          | 37.20          | 0.30           | 5.57         | 37.20            | 2.25           | 196.41         | 0.0007       | 0.0007          | 0.0007           | 0.01%        | 4            |
| <i>Fuente: Esta investigación</i>              |              |              |              |               |                |                |              |                  |                |                |              |                 |                  |              |              |

#### 4. SIMULACIÓN DE LAS REDES ELÉCTRICAS ACTUALES

Esta sección presenta la topología, datos técnicos y simulación de la red eléctrica de las veredas antes mencionadas, las cuales fueron estructuradas en el programa PowerFactory 15.1 de Digsilent

##### 4.1. Simulación red eléctrica vereda El Naranjo

En la figura 7 se muestra la topología de la red eléctrica actual de la vereda El Naranjo montada en el software Digsilent 15.1. Esta estructura es una réplica de la red eléctrica actual de la localidad manteniendo las configuraciones del sistema, es decir, la red primaria se maneja trifásica y las acometidas son de carácter monofásica asignado las cargas correspondientes a cada fase tal y como se identificó durante el proceso de levantamiento de redes eléctrica.

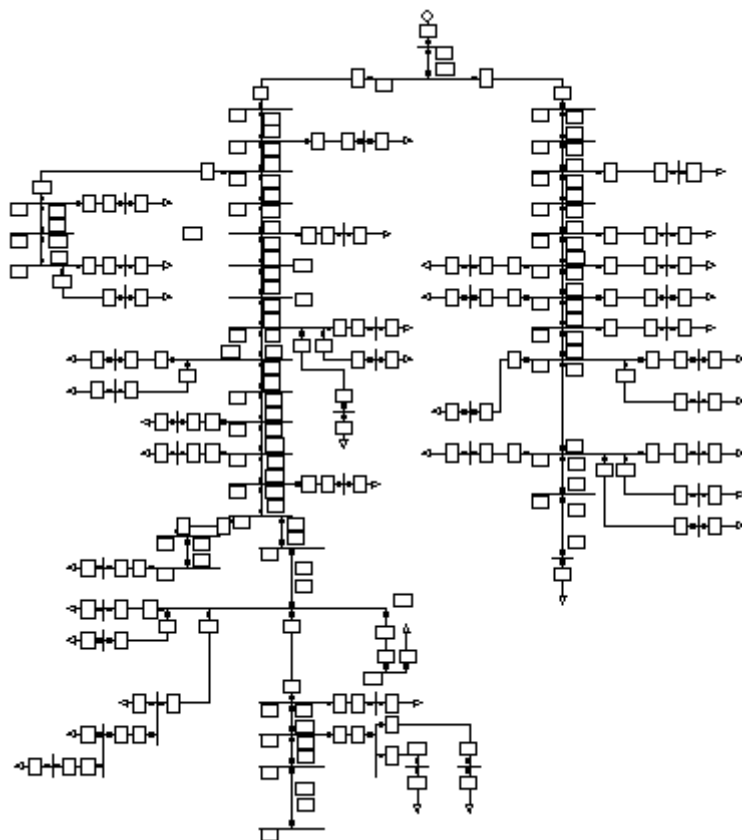


Figura 7. Circuito eléctrico simulado para la vereda El Naranjo

##### 4.1.1. Descripción Buses de carga y Generación

El sistema eléctrico de El Naranjo esta alimentado por una planta Diésel trifásica de 30KVA con un voltaje de salida de 220 V a 60 Hz, la cual fue tomada en simulación como un generador síncrono para mantener la naturaleza del mismo. La red es tipo tetrafilar y está conformada por 50 nodos en baja tensión. La tabla que muestra la designación de cada nodo en el software de simulación con su respectivo nivel de voltaje se encuentra en el anexo 4, tabla 1

#### **4.1.2. Líneas**

El circuito simulado cuenta con 94 líneas en su red primaria y está conformada en su mayoría por cable (2No.1/0+ 1No.2) ACSR para las tres fases y con 1No.4 ACSR para el neutro, el restante está conformado por calibre No 4 ACSR y para la planta privada en calibre No 6 ACSR. La tabla 2 del anexo 4 muestra las características de las líneas, sus puntos de conexión, el calibre y su longitud.

#### **4.1.3. Cargas**

Para esta simulación, se tomaron la totalidad de las cargas activas de la red, que para este caso son 37 cargas que representan las viviendas de la localidad de El Naranjo. Además, se simuló cada acometida como un circuito monofásico a 110V.

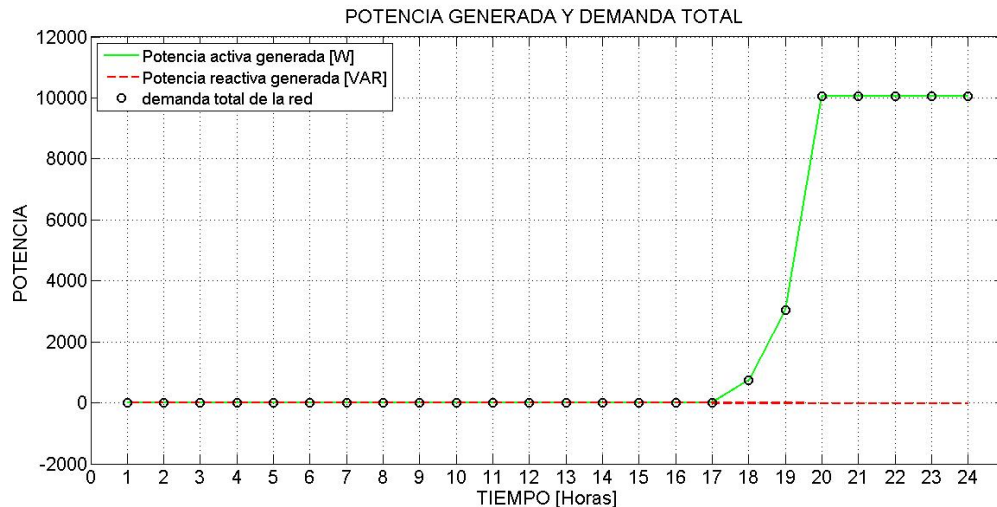
Como se quiere mostrar el comportamiento actual de la red, se realizó una simulación quasi-dinámica en donde la curva de demanda de cada carga varia hora-hora. Tanto para este caso como para Bocagrande y el Rompido se asume que solo existe demanda de energía eléctrica entre las 6:00pm y las 11:59 pm momento en el cual la planta generadora está encendida, por otro lado, entre las 12:00am y las 6:00pm la potencia demanda es nula (Planta diésel apagada).

Para el caso de El Naranjo se asume que cada casa mantiene una demanda constante de 268.6 W ya que, por ausencia de interruptores, las cargas básicas de consumo en las casas se activan inmediatamente la planta diésel entra en funcionamiento. La cantidad de 268.6W sale de promediar el valor promedio de los métodos 1 y 2 de la demanda calculada por el grupo encargado de caracterizar las curvas de demanda de las localidades dentro de la ejecución del proyecto ALTERNAR.

#### 4.1.4. Resultados de simulación- Flujo de potencia

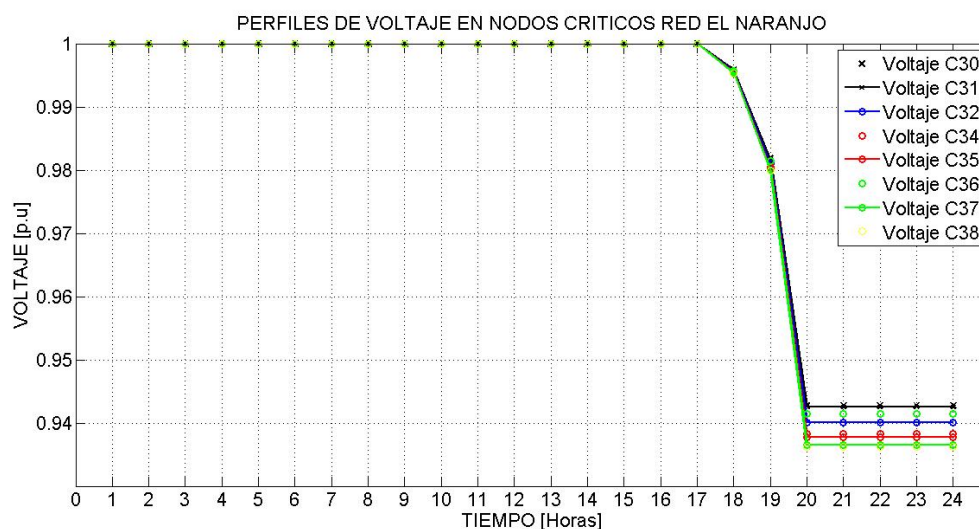
Se simuló el comportamiento de la red eléctrica durante un día común, que no cuenta con suministro completo de energía durante todo el día, para ello se realizó variaciones de potencia en las cargas con intervalo de variación de una hora a partir del suministro de energía de la planta como se explicó anteriormente.

La **figura 8** muestra las potencias totales consumidas y la demanda total de las cargas para la red eléctrica de la vereda de El Naranjo. En esta grafica se puede observar que la demanda se presenta a partir de las 6:00 p.m. como era de esperarse ya que es la hora en la cual es encendida la planta y, que además, después de las 8:00 p.m. se presenta un consumo máximo aproximado de 10 KW el cual es constante hasta las 12:00 a.m.



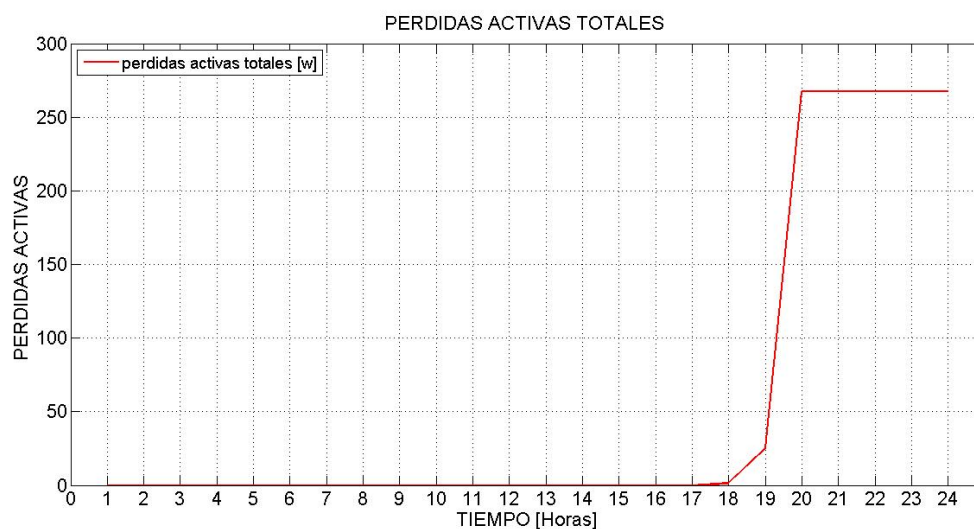
**Figura 8. Curva de demanda general de la población El Naranjo**

La norma **IEEE ESTADAR 1159-2009** [15] establece los límites para variaciones de larga duración ( $>1$  min) en el valor RMS de la tensión entre **0.8 - 0.9 [p.u]** para subtensión y **1.1 - 1.2 [p.u]** para sobretensión; dentro de estos límites las caídas o subidas de tensión no son consideradas críticas. Como se observa en la figura 9 los nodos con mayor caída de tensión no supera los 0.93 [p.u] por lo que no se consideran nodos inestables, para esta red no se presentan sobretensiones.



**Figura 9. Perfil de voltaje nodos críticos en el sistema El Naranjo**

Por otra parte, la **figura 10** muestra los valores de pérdidas que se presentan en la red eléctrica de la vereda, el valor máximo de pérdidas esta alrededor de 255 W, lo que representa un 2.55% de pérdidas.



**Figura 10. Curva de pérdidas por horas El Naranjo**

La **figura 11** indica el factor de desbalance presente en la red actual medido en el nodo de acople común (nodo de generación) según lo establece las normas **IEC-61000-4-30** [16] e **IEEE 1159-2009** [15].

**IEC-61000-4-30** [16]: De acuerdo a esta norma el grado de desequilibrio se expresa usualmente como lo muestra la ecuación 1, donde  $V_n$  corresponde a la componente de secuencia negativa de la tensión de línea y  $V_p$  corresponde a la componente de secuencia positiva de la tensión de línea.

$$FDV = \left| \frac{V_n}{V_p} \right| * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

**IEEE 1159-2009** [15]: Esta norma define el desbalance en un sistema trifásico como la máxima desviación de la tensión de una de las fases de la tensión promedio, dividido por la tensión promedio de las tres fases.

$$FDV = \frac{\max [|V_a - V_{prom}|; |V_b - V_{prom}|; |V_c - V_{prom}|]}{V_{prom}} * 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

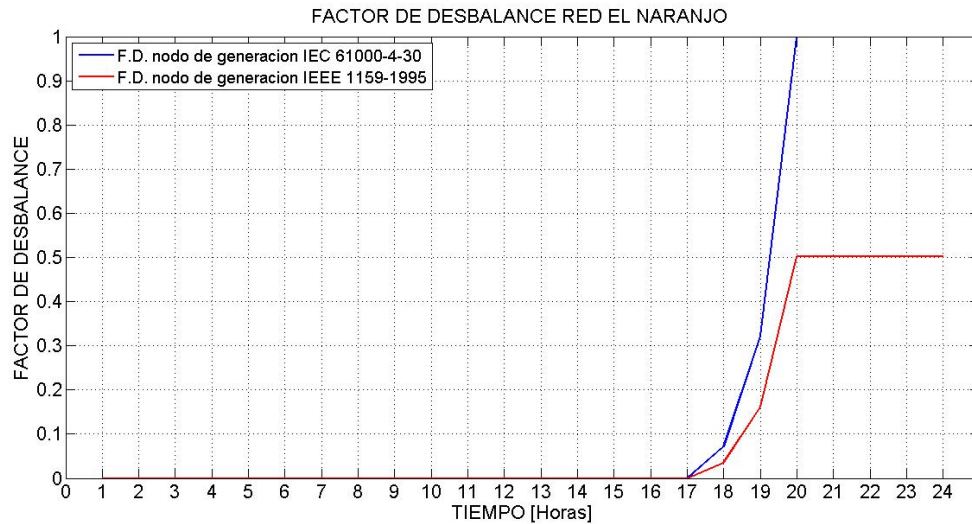
$$V_{prom} = \frac{V_a + V_b + V_c}{3} \quad \text{Ecuación 3}$$

El reglamento de calidad de servicio en Colombia adopta explícitamente las recomendaciones de la norma **IEEE 1159-2009** [17] en cuanto al desbalance de tensión, sin embargo el error relativo que se deriva al aplicar esta norma puede llegar a ser alto para algunos ángulos de desfase, en caso contrario al aplicar la fórmula planteada por la norma **IEC-61000-4-30** se obtiene un resultado exacto para cualquier ángulo de desfase entre las componentes de secuencia [17]. Por tal motivo se optó por calcular dicho índice aplicando las dos normas con el fin de tener un punto de comparación.

De acuerdo a la norma IEEE 1159 los límites recomendados para el factor de desbalance de tensión se encuentran entre 0.5 % y 2% [15]; la IEC-61000 establece que el factor no debe superar el 2% [17], sin embargo diferentes normas como ANSI C50.41.4.2 establece que un desbalance superior a un 1% es una condición inusual que debe eliminarse [18], dada esta razón se considerara como valor óptimo para el factor de desbalance valores menores al 1%.

Para la red actual de El Naranjo el índice de desbalance en el nodo de acople común, figura 11, se encuentra aproximado al 1% según IEEE 1159 y 0.5 % según IEC 61000-4-30 este valor se encuentra dentro del rango establecido por cada norma sin embargo si se proyecta un crecimiento en la demanda en las condiciones

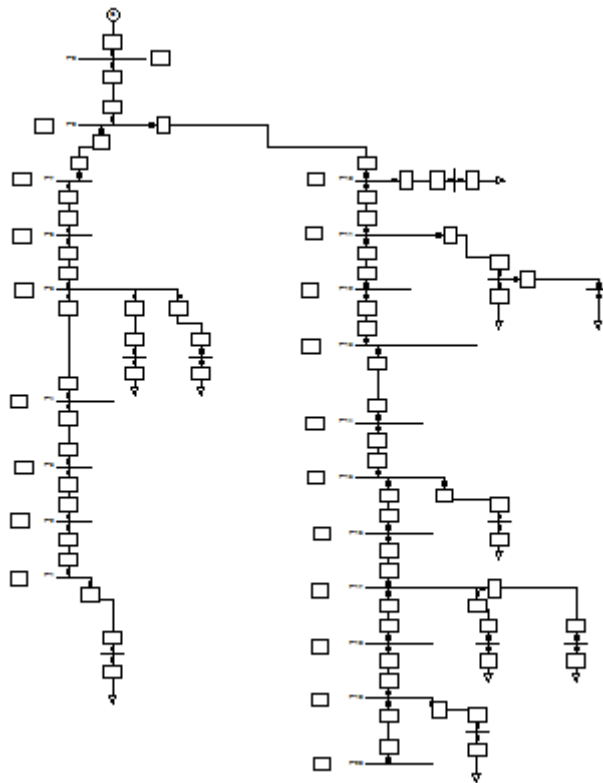
actuales en la cual se encuentra la red el índice de desbalance tiende a aumentar sobrepasando el límite establecido anteriormente.



**Figura 11. Factor de desbalance en nodo de generación**

#### 4.2. Simulación red eléctrica Bocagrande

En esta sección se presenta la topología, datos técnicos y simulación de la red eléctrica actual de la vereda Bocagrande, figura 12. De la misma forma, se montó en el simulador lo identificado en el proceso de levantamiento de redes realizado previamente, respetando la topología de la red real tratando de emular su comportamiento.



**Figura 12. Circuito eléctrico simulado para la vereda Bocagrande**

#### **4.2.1. Descripción Buses de carga y Generación**

El sistema eléctrico de Bocagrande está alimentado por una planta Diésel trifásica de 50KVA con un voltaje de salida de 208-120 V, sin embargo, solo están activas dos fases, la fase A y fase B. La red está conformada por 30 nodos en baja tensión. La tabla 3 del anexo 4 muestra la designación de cada nodo en el software de simulación con su respectivo nivel de voltaje.

#### **4.2.2. Líneas**

El circuito simulado cuenta con 30 líneas en su red primaria. La totalidad de la red está dispuesta en calibre No.4 ACSR y las acometidas en Alambre No.10-12 AWG THW AL. La tabla 4 del anexo 4 muestra las características de las líneas, sus puntos de conexión, calibres, longitud e impedancias.

#### 4.2.3. Cargas

Para esta simulación, se tomaron la totalidad de las cargas activas de la red, que para este caso son 10 cargas que representan las viviendas de la localidad de El Naranjo. Aunque la escuela y dos casas no registran acometida. Se simuló cada acometida como un circuito monofásico a 110V.

La forma de la curva de demanda para cada carga se mantiene igual que para la simulación de El Naranjo, pero ahora con una potencia constante de 235.7W. Este valor sale promediando el promedio de los métodos 1 y 2 de la demanda calculada por el grupo encargado de caracterizar las curvas de demanda de las localidades dentro de la ejecución del proyecto ALTERNAR.

#### 4.2.4. Resultados de simulación- Flujo de potencia

Para esta simulación, se realizó el flujo de potencia llevando a cabo una simulación quasi-dinámica de las cargas. Siguiendo la misma metodología para el análisis de resultados de El Naranjo.

En la figura 13 se observa en color verde la potencia activa total generada y en color negro la demanda total de las cargas. Como era de esperarse la mayor demanda se da a partir de las 6:00 p.m., hora en la cual es encendida la planta diésel, y a partir de las 8:00 p.m. aproximadamente se presenta un consumo constante alrededor de los 2.4 KW.

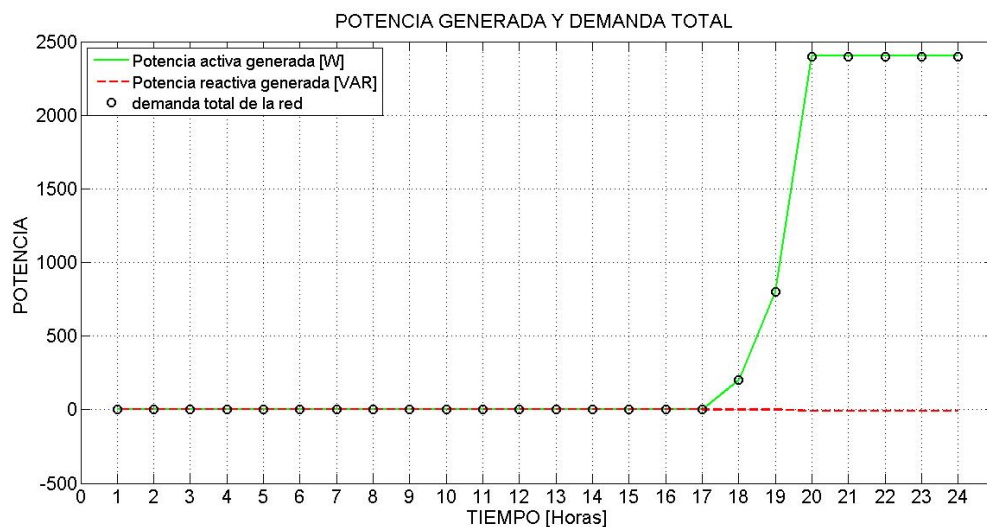
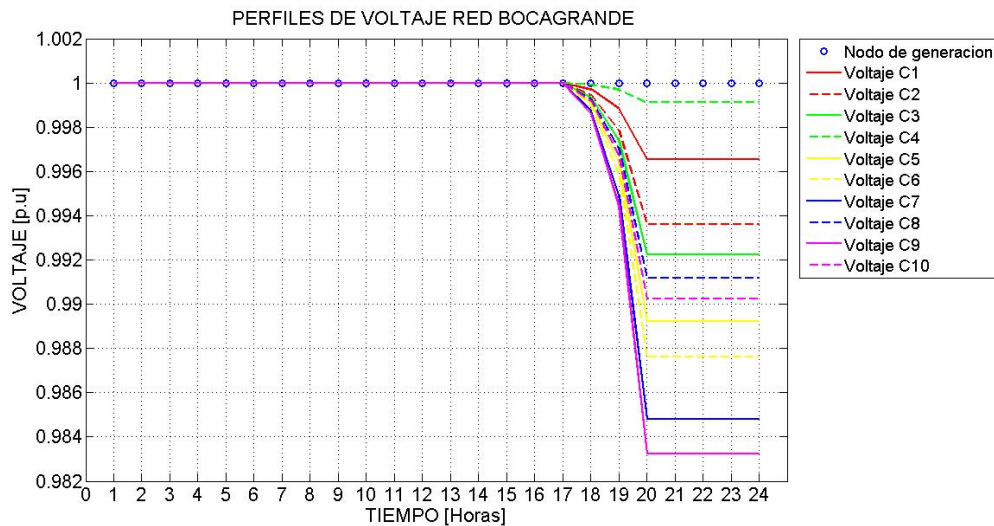


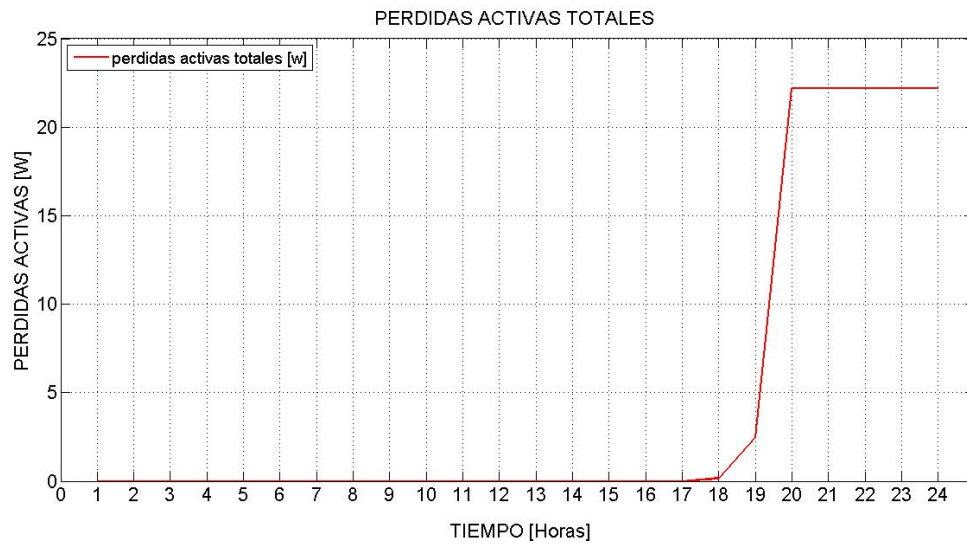
Figura 13. Curva de demanda general de la población Bocagrande

En la gráfica de la figura 14 se observa que no existen nodos en los cuales se superen los límites **0.8 - 0.9 [p.u]** para subtension establecidos en la norma **IEEE ESTADAR 1159-2009** [15] para variaciones de larga duración, de hecho, la mayor caída de tensión no supera los 0.982 [p.u] por lo que no existen nodos con fuertes variaciones de voltaje.



**Figura 14. Perfiles de voltaje red Bocagrande**

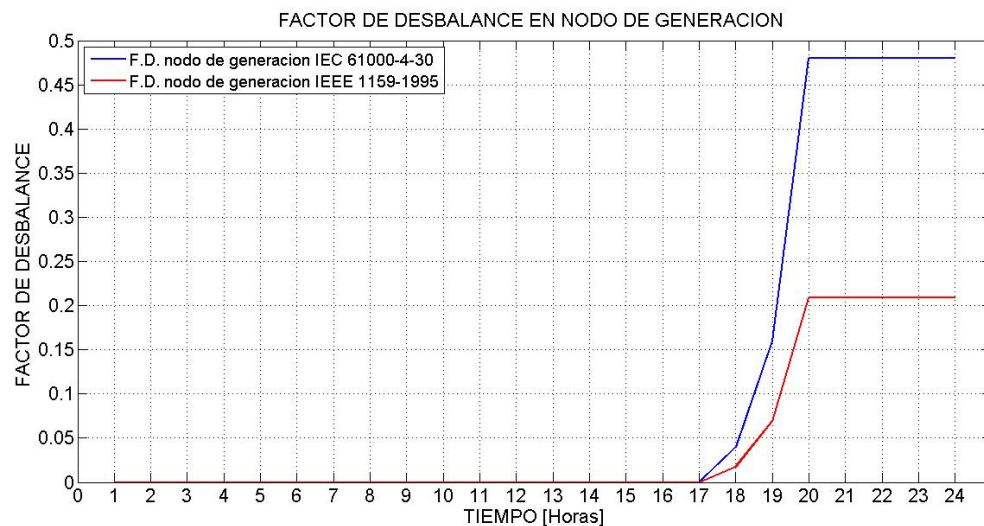
Por su parte la figura 15 indica la curva de pérdidas activas para esta red eléctrica, como era de esperarse el valor máximo se presenta durante la demanda máxima, sin embargo, el porcentaje de pérdidas es bajo, El valor pico de pérdidas esta alrededor de 22 W que representan el 0.92%.



**Figura 15. Pérdidas activas totales red Bocagrande**

En la figura 16 muestra el factor de desbalance para la red actual obtenido mediante las formulas planteadas en las normas IEC-61000-4-30 e IEEE 1159-2009 las cuales fueron explicadas para la red de El Naranjo.

En la figura se observa que el índice de desbalance en ninguno de los dos casos supera el 1%, sin embargo, proyectando un crecimiento de la demanda conservando las condiciones de la red actual el porcentaje de desbalance tiende a aumentar superando los límites recomendados en la norma IEEE 1159-2009, en la cual se rige la calidad de la energía en Colombia.



**Figura 16. Factor de desbalance en nodo de generación**

## 5. REDISEÑO REDES ELÉCTRICAS

De acuerdo al diagnóstico realizado anteriormente, las redes eléctricas de las dos localidades presentan problemas y se requiere adecuarlas con la intención de garantizar su correcto funcionamiento operativo, una vez estas poblaciones gocen de un suministro de energía eléctrica las 24 horas del día.

Para el presente rediseño se tuvo en cuenta la Norma “Diseño Y Construcción De Sistemas De Distribución Eléctricos DE CEDENAR S.A. E.S.P” [1], se modificaron las tablas de cálculos de regulación de voltaje y pérdidas de tal manera que cumplan los porcentajes máximos exigidos.

### 5.1. Cálculo de demanda máxima diversificada

Utilizando la misma metodología descrita en el numeral 1.4.1, se debe adaptar la tabla de demanda diversificada debido a que el rediseño está proyectado para 15 años y para una población que contará con 24 horas de energía eléctrica. La tabla 1 es apta para una ZNI con un promedio de 4 a 5 horas de electricidad, por lo tanto, la tabla 4 muestra la demanda máxima diversificada adaptada cuyo pico máximo de consumo es de 756VA para un usuario. Este valor de potencia, es tomado de las mediciones realizadas por el personal de ALTERNAR en el municipio de Mosquera-Nariño, que es una población que en la actualidad cuenta con 24 horas de energía los 7 días de la semana. Por lo tanto, se toma como hipótesis que el consumo energético tanto para la vereda El Naranjo como para Bocagrande-El rompido tendrá un comportamiento muy similar a la curva demanda del municipio de Mosquera una vez cuenten con energía continuamente.

**Tabla 4. Tabla de Demanda Máxima Diversificada.**

| <b>ZNI 24 HORAS</b>   |                                    |                        |                       |                                    |                        |                       |                                    |                             |
|-----------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| <b>#<br/>USUARIOS</b> | <b>KW<br/>por<br/>usuari<br/>o</b> | <b>KVA<br/>TOTALES</b> | <b>#<br/>USUARIOS</b> | <b>KW<br/>por<br/>usuari<br/>o</b> | <b>KVA<br/>TOTALES</b> | <b>#<br/>USUARIOS</b> | <b>KW<br/>por<br/>usuari<br/>o</b> | <b>KVA<br/>TOTALE<br/>S</b> |
| <b>1</b>              | 0,741                              | 0,757                  | <b>18</b>             | 0,605                              | 11,105                 | <b>35</b>             | 0,536                              | 19,148                      |
| <b>2</b>              | 0,730                              | 1,490                  | <b>19</b>             | 0,599                              | 11,611                 | <b>36</b>             | 0,548                              | 20,114                      |
| <b>3</b>              | 0,719                              | 2,200                  | <b>20</b>             | 0,593                              | 12,106                 | <b>37</b>             | 0,525                              | 19,811                      |
| <b>4</b>              | 0,707                              | 2,887                  | <b>21</b>             | 0,587                              | 12,589                 | <b>38</b>             | 0,525                              | 20,347                      |
| <b>5</b>              | 0,696                              | 3,550                  | <b>22</b>             | 0,582                              | 13,060                 | <b>39</b>             | 0,519                              | 20,655                      |
| <b>6</b>              | 0,690                              | 4,225                  | <b>23</b>             | 0,582                              | 13,654                 | <b>40</b>             | 0,519                              | 21,185                      |
| <b>7</b>              | 0,679                              | 4,848                  | <b>24</b>             | 0,576                              | 14,108                 | <b>41</b>             | 0,516                              | 21,603                      |
| <b>8</b>              | 0,673                              | 5,494                  | <b>25</b>             | 0,570                              | 14,550                 | <b>42</b>             | 0,513                              | 21,994                      |

|                                   |       |        |           |       |        |           |       |        |
|-----------------------------------|-------|--------|-----------|-------|--------|-----------|-------|--------|
| <b>9</b>                          | 0,662 | 6,076  | <b>26</b> | 0,565 | 14,981 | <b>43</b> | 0,510 | 22,378 |
| <b>10</b>                         | 0,656 | 6,693  | <b>27</b> | 0,565 | 15,557 | <b>44</b> | 0,507 | 22,755 |
| <b>11</b>                         | 0,650 | 7,298  | <b>28</b> | 0,542 | 15,481 | <b>45</b> | 0,504 | 23,127 |
| <b>12</b>                         | 0,639 | 7,822  | <b>29</b> | 0,553 | 16,372 | <b>46</b> | 0,500 | 23,491 |
| <b>13</b>                         | 0,633 | 8,398  | <b>30</b> | 0,553 | 16,936 | <b>47</b> | 0,497 | 23,849 |
| <b>14</b>                         | 0,627 | 8,963  | <b>31</b> | 0,548 | 17,320 | <b>48</b> | 0,494 | 24,201 |
| <b>15</b>                         | 0,622 | 9,516  | <b>32</b> | 0,542 | 17,693 | <b>49</b> | 0,491 | 24,546 |
| <b>16</b>                         | 0,616 | 10,057 | <b>33</b> | 0,542 | 18,246 | <b>50</b> | 0,488 | 24,885 |
| <b>17</b>                         | 0,610 | 10,587 | <b>34</b> | 0,536 | 18,601 |           |       |        |
| <i>Fuente: Esta investigación</i> |       |        |           |       |        |           |       |        |

La tabla 4 es utilizada para hacer el cálculo de regulación y pérdidas en el rediseño tanto para El Naranjo como para Bocagrande- El rompido.

## 5.2. Cargas futuras

Como se mencionó anteriormente, el nuevo diseño de la red eléctrica está proyectado a 15 años, por lo cual el personal del proyecto ALTERNAR encargado de la proyección y demanda para las zonas a impactar determino un aumento poblacional además de otras cargas particulares, así, se tiene en total un aumento de 19 cargas para la vereda El Naranjo, pasando de 40 a 59 cargas en total. Para el caso de Bocagrande se involucró una vereda cercana llamada el Rompido ubicada a 1 km de distancia en dirección sur occidente la cual no cuenta con suministro de energía eléctrica; se interconecto con Bocagrande pasando así de 17 a 46 cargas en total. La tabla 5 muestra las cargas actuales y proyectadas para las veredas los cuales fueron utilizados para el rediseño de la red eléctrica y las diferentes simulaciones.

**Tabla 5.Descripción tipo de cargas para cada vereda**

| <i>Vereda El Naranjo</i>  |                 |                           |                 | <i>Vereda Bocagrande -El Rompido</i> |                   |                   |                           |                 |
|---------------------------|-----------------|---------------------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|-----------------|
| <b>CARGAS ACTUALES</b>    |                 | <b>CARGAS PROYECTADAS</b> |                 | <b>CARGAS ACTUALES</b>               |                   |                   | <b>CARGAS PROYECTADAS</b> |                 |
| <b>TIPO DE CARGA</b>      | <b>Cantidad</b> | <b>TIPO DE CARGA</b>      | <b>Cantidad</b> | <b>TIPO DE CARGA</b>                 | <b>Cantidad</b>   |                   | <b>TIPO DE CARGA</b>      | <b>Cantidad</b> |
|                           |                 |                           |                 |                                      | <b>Bocagrande</b> | <b>El Rompido</b> |                           |                 |
| Residencial               | 33              | Residencial               | 13              | Residencial                          | 12                | 14                | Residencial               | 9               |
| Residencial/<br>comercial | 5               | Residencial<br>/comercial | 2               | Comercial/<br>Institucional          | 1                 | 2                 | Residencial<br>/comercial | 0               |
| Comercial                 | 1               | Comercial                 | 1               | Residencial/                         | 0                 | 1                 | Comercial                 | 3               |

|                            |    |               |    |           |    |    |             |    |
|----------------------------|----|---------------|----|-----------|----|----|-------------|----|
| Institucional              | 1  | Institucional | 1  | comercial |    |    |             |    |
|                            |    | Acueducto     | 1  | Hotel     | 2  | 0  | Acueducto   | 1  |
|                            |    | Cuarto Frio   | 1  |           |    |    | Cuarto Frio | 1  |
|                            |    |               |    |           |    |    |             |    |
| SUBTOTAL                   | 40 | SUBTOTAL      | 19 | SUBTOTAL  | 15 | 17 | SUBTOTAL    | 14 |
| TOTAL                      |    |               | 59 | TOTAL     |    |    |             | 46 |
| Fuente: Esta investigación |    |               |    |           |    |    |             |    |

### 5.3. Rediseño red eléctrica de la vereda El Naranjo

#### 5.3.1. Red eléctrica primaria

Para la vereda El Naranjo se realizó dos rediseños los cuales cumplen con la norma en cuanto a los límites de regulación de voltaje y pérdidas, las dos alternativas se exponen detalladamente a continuación.

##### 5.3.1.1 Alternativa de rediseño 1

Con base en los resultados obtenidos en el cálculo de regulación y pérdidas, esta alternativa establece que la red eléctrica principal se debe disponer en su totalidad en cable trenzado tetrafilar en calibres No. 4/0 y 2/0 a un nivel de tensión de 220V, el grafico de regulación para esta alternativa se puede consultar en el anexo 2, los valores obtenidos de regulación de voltaje tienen un valor máximo del 3.95 % y un porcentaje de pérdidas de 2.51%, estos valores se observan en la tabla 6.

Esta configuración propuesta para la red cumple con niveles máximos permitidos en cuanto a regulación y pérdidas, pero se debe aclarar que para alcanzar estos valores se debe redistribuir algunas cargas futuras como el acueducto, cargas comerciales y algunas viviendas residenciales. Estos usuarios se tienen que ubicar cerca al punto de alimentación para garantizar unos buenos niveles de tensión en toda la red, esta situación es posible identificarla en el plano general vereda El Naranjo anexo 2. Además de este tipo de restricciones, se aumenta el hecho, de que el cableado quedaría en calibres altos como lo es el No. 4/0, situación que requiere esfuerzos mayores en mano de obra y montaje. Por tal motivo se buscó una alternativa para mitigar las restricciones técnicas de ubicación de las cargas y la utilización de calibres gruesos. La alternativa 2 presenta mayor robustez y confiabilidad para la localidad de El Naranjo y por ende fue la seleccionada como el diseño que más se adapta a esta localidad. Todos los cálculos eléctricos de aquí en

adelante son basados en la Alternativa 2 que se describe a continuación y se aclara que la alternativa 1 es descartada por no ofrecer buenas garantías técnicas.

#### **5.3.1.2 Alternativa de rediseño 2**

La segunda alternativa de diseño, cuenta con una red en media tensión (M.T) y dos circuitos en baja tensión (B.T) independientes entre sí. La red de M.T está constituida por un transformador elevador trifásico de 75 KVA y 440 V /13.2 KV (T-1) ubicado a la salida del punto de generación común (sala de máquinas) y 2 transformadores reductores trifásicos de 30 KVA con relación de transformación 13200/220 V (T-2 y T-3) ubicados en los extremos de la vereda El Naranjo. Los emplazamientos del transformador elevador (T-1) y los transformadores reductores (T-2 y T-3) son las posiciones P-1, P-9 y P-22 respectivamente de acuerdo al Plano general (Anexo 2).

Como fue anticipado anteriormente, esta alternativa de rediseño no presenta restricciones para la ubicación de las cargas futuras, los niveles de regulación en toda la red presentan mejores niveles y no existen restricciones por aumento en la demanda proyectada.

Para ubicar el transformador T-2 (30KVA), es necesario realizar una extensión de redes de media tensión desde el poste P-1 donde se encuentra el T-1 (75KVA) al poste P-9; este ramal presenta un valor máximo de regulación del 0.00277% y está dispuesto en calibre No 2 ACSR. Para el transformador T-3 (30KVA) se realiza también una extensión desde el poste P-1 al P-22 con una regulación máxima del 0,00239% dispuesto también en un calibre No 2 ACSR. Por su parte, los porcentajes de pérdidas para cada tramo en media tensión son 0,99% y 1,88% para el T-2 y T-3 respectivamente. Todos los valores tanto para regulación y pérdidas se encuentran dentro de los valores permitidos según [1].

Una vez realizados los cálculos de regulación y pérdidas para los tramos de baja tensión se obtuvo un valor máximo de regulación del 3.38 % y unas pérdidas acumuladas del 1.31% para el transformador T-3. Para el T-2 se presenta una regulación máxima de 2.44% y pérdidas totales de 0,61%. Resultados que ratifican que el tipo y calibre de cable propuesto para este diseño de red eléctrica cumplen con los valores permitidos en regulación y pérdidas exigidas en la norma técnica [1]. Por lo tanto, se selecciona cable cuádruplex No.2 Aluminio con neutro ACSR de igual calibre para toda la red de la población El Naranjo. Los cálculos completos de regulación y pérdidas para baja tensión, se pueden observar en las tablas 7,8 y 9, para consultar los gráficos de regulación de esta alternativa remitirse al anexo 2.

Para las veredas se pretende ubicar postes metálicos seccionados ya que por ser zonas de difícil acceso este tipo de postes son ideales por sus secciones livianas facilitando su transporte e instalación. Se seleccionaron estructuras de líneas aéreas de CODENSA [19] para cableado de red trenzada y para las subestaciones aéreas las estructuras llamadas CTU 500, igualmente proporcionadas por normativa CODENSA [20]. Las acometidas para las diferentes cargas presentes en la población, se eligieron en cable concéntrico aluminio con calibre No.6 para garantizar regulación de tensión.

Por otra parte, se realizaron estudios para seleccionar los equipos necesarios para el monitoreo del consumo eléctrico, tanto en la salida de la planta generadora, como en cada casa de las poblaciones.

Se seleccionó el analizador de redes CVM NET, el cual se usa en aplicaciones de control en cuadros de distribución y acometidas de baja y media tensión, posee control de alarmas, tiene un valor máximo, mínimo y retardo programable. La lectura de la corriente se realiza mediante transformadores externos 5 A y 250 mA y su comunicación es por medio de puerto RS-485 con protocolo (Modbus/RTU). Estos equipos de medida pueden ser controlados o supervisados por medio del software Power Studio o mediante un gestor EDS que facilita al usuario la consulta de cualquier variable eléctrica al permitir conectar equipos de medida a su bus RS-485.

Para el monitoreo de las viviendas se escogió los contadores residenciales B200RCP / B410RCP, que pertenecen a la familia de CIRCUTOR, las principales características de este tipo de equipos son las siguientes:

- Medida de energía activa y reactiva, pudiendo diferenciar entre la consumida y la generada con comunicación PLC (Power Line Carrier) a través de la red eléctrica.
- Captura la información de los consumos de energía de forma remota, eliminando los errores asociados a las lecturas manuales y haciendo desaparecer la necesidad de hacer estimaciones.
- Incorporación de un elemento de corte con dos grandes funciones. Gracias a la primera, de forma remota, la compañía eléctrica puede desconectar y reconectar el suministro eléctrico de cualquier medidor a través del sistema SCADA Power Studio. La segunda, está asociada a la limitación de potencia, pudiendo programar en cada contador la potencia contratada y en caso de

que el consumo supere este valor, el propio contador será el encargado de interrumpir el suministro eléctrico.

- El equipo dispone de una memoria interna que permite registrar una curva de carga, con una profundidad de hasta tres meses con una cadencia horaria. Con esta información la compañía eléctrica puede conocer los hábitos de consumo y adaptar su capacidad de generación a la demanda real. [21]

**Tabla 6. Cálculo de Regulación y pérdidas Vereda El Naranjo Rediseño Alternativa 1**

| <b>CÁLCULO DE REGULACIÓN VEREDA EL NARANJO</b> |              |              |                      |               |                |                |              |                  |                |                |              |                 |                  |              |              |
|------------------------------------------------|--------------|--------------|----------------------|---------------|----------------|----------------|--------------|------------------|----------------|----------------|--------------|-----------------|------------------|--------------|--------------|
| <b>NODO</b>                                    | <b>NODO</b>  | <b>LONG.</b> | <b>USU</b>           | <b>DEMAND</b> | <b>MOMENTO</b> | <b>REG.</b>    | <b>REG.</b>  | <b>KVA TOTAL</b> | <b>FACTOR</b>  | <b>VOLTAJE</b> | <b>PERD.</b> | <b>PERD.</b>    | <b>PERD.</b>     | <b>PERD.</b> | <b>COND.</b> |
| <b>Inicial</b>                                 | <b>Final</b> | <b>[m]</b>   | <b>[No.]</b>         | <b>[KVA]</b>  | <b>KVA*m</b>   | <b>Parcial</b> | <b>Total</b> | <b>Tramo</b>     | <b>CORREC.</b> | <b>CORREG.</b> | <b>[KW]</b>  | <b>ACUM[KW]</b> | <b>ACU [KVA]</b> | <b>%</b>     | <b>ASC</b>   |
| 0                                              | 1            | 9            | 46R+7CR+2C+2I+1A+1CF | 36,374        | 327,37         | 0,28           | 0,28         | 328,28           | 1              | 219,39         | 0,0813       | 0,8962          | 0,9144           | 2,51%        | 4/0          |
| 1                                              | 2            | 53           | 23R+5CR+1C           | 17,763        | 941,43         | 0,80           | 1,07         | 941,81           | 1              | 217,64         | 0,1160       | 0,3772          | 0,3849           | 1,06%        | 4/0          |
| 2                                              | 3            | 26           | 21R+5CR+1C           | 16,698        | 434,14         | 0,37           | 1,44         | 434,41           | 1              | 216,83         | 0,0507       | 0,2612          | 0,2665           | 0,73%        | 4/0          |
| 3                                              | 4            | 25           | 18R+5CR+1C           | 15,214        | 380,34         | 0,32           | 1,76         | 380,56           | 1              | 216,12         | 0,0407       | 0,2105          | 0,2148           | 0,59%        | 4/0          |
| 4                                              | 5            | 25           | 16R+4CR+1C           | 13,605        | 340,12         | 0,42           | 2,19         | 340,29           | 1              | 215,19         | 0,0328       | 0,1698          | 0,1733           | 0,48%        | 4/0          |
| 5                                              | 6            | 25           | 12R+4CR+C            | 11,370        | 284,25         | 0,24           | 2,43         | 284,39           | 1              | 214,66         | 0,0367       | 0,1369          | 0,1397           | 0,38%        | 2/0          |
| 6                                              | 7            | 23           | 9R+4CR+C             | 9,624         | 221,35         | 0,27           | 2,70         | 221,45           | 1              | 214,06         | 0,0243       | 0,1003          | 0,1023           | 0,28%        | 2/0          |
| 7                                              | 8            | 19           | 8R+4CR+C             | 9,042         | 171,80         | 0,21           | 2,91         | 171,87           | 1              | 213,59         | 0,0178       | 0,0760          | 0,0775           | 0,21%        | 2/0          |
| 8                                              | 9            | 30           | 7R+3CR+C             | 7,815         | 234,45         | 0,29           | 3,20         | 234,51           | 1              | 212,95         | 0,0211       | 0,0582          | 0,0594           | 0,16%        | 2/0          |
| 9                                              | 10           | 30           | 5R+3CR+C             | 6,517         | 195,51         | 0,24           | 3,45         | 195,55           | 1              | 212,42         | 0,0148       | 0,0371          | 0,0378           | 0,10%        | 2/0          |
| 10                                             | 11           | 28           | 5R+2CR+C             | 5,917         | 165,66         | 0,21           | 3,65         | 165,68           | 1              | 211,97         | 0,0114       | 0,0223          | 0,0228           | 0,06%        | 2/0          |
| 11                                             | 12           | 30           | 4R+1CR+C             | 4,633         | 138,98         | 0,17           | 3,82         | 138,99           | 1              | 211,59         | 0,0075       | 0,0109          | 0,0112           | 0,03%        | 2/0          |
| 12                                             | 13           | 20           | CR                   | 0,640         | 12,80          | 0,02           | 3,84         | 12,80            | 1              | 211,55         | 0,0001       | 0,0001          | 0,0001           | 0,00%        | 2/0          |
| 12                                             | 14           | 34           | 4R                   | 2,887         | 98,15          | 0,12           | 3,95         | 98,15            | 1              | 211,32         | 0,0033       | 0,0033          | 0,0034           | 0,01%        | 2/0          |
|                                                |              |              |                      |               |                |                |              |                  |                |                |              |                 |                  |              |              |
| 1                                              | 15           | 35           | 23R+2CR+2I+A+CF+C    | 23,360        | 817,59         | 0,69           | 0,97         | 818,03           | 1              | 217,87         | 0,1323       | 0,4376          | 0,4465           | 1,23%        | 4/0          |
| 15                                             | 16           | 35           | 21R+2CR+2I+A+C       | 17,745        | 621,06         | 0,53           | 1,50         | 621,37           | 1              | 216,71         | 0,0771       | 0,3053          | 0,3116           | 0,86%        | 4/0          |
| 16                                             | 17           | 34           | 6R+A+C               | 6,861         | 233,28         | 0,29           | 1,78         | 233,31           | 1              | 216,07         | 0,0179       | 0,0245          | 0,0250           | 0,07%        | 2/0          |
| 17                                             | 18           | 30           | 4R+A                 | 4,417         | 132,50         | 0,16           | 1,95         | 132,51           | 1              | 215,71         | 0,0066       | 0,0066          | 0,0067           | 0,02%        | 2/0          |
| 16                                             | 19           | 32           | 15R+2CR+2I           | 12,635        | 404,33         | 0,50           | 2,00         | 404,54           | 1              | 215,61         | 0,0574       | 0,2037          | 0,2079           | 0,57%        | 2/0          |
| 19                                             | 20           | 66           | 13R+CR+2I            | 10,898        | 719,24         | 0,89           | 2,89         | 719,39           | 1              | 213,65         | 0,0897       | 0,1463          | 0,1493           | 0,41%        | 2/0          |
| 20                                             | 21           | 29           | 9R+CR+2I             | 8,575         | 248,69         | 0,31           | 3,20         | 248,75           | 1              | 212,97         | 0,0246       | 0,0565          | 0,0577           | 0,16%        | 2/0          |
| 21                                             | 22           | 25           | 8R+CR+I              | 7,240         | 181,00         | 0,22           | 3,42         | 181,03           | 1              | 212,48         | 0,0152       | 0,0320          | 0,0326           | 0,09%        | 2/0          |
| 22                                             | 23           | 30           | 7R+CR                | 5,954         | 178,62         | 0,22           | 3,64         | 178,64           | 1              | 211,99         | 0,0124       | 0,0168          | 0,0171           | 0,05%        | 2/0          |
| 23                                             | 24           | 35           | 4R                   | 2,887         | 101,04         | 0,13           | 3,77         | 101,04           | 1              | 211,71         | 0,0034       | 0,0044          | 0,0045           | 0,01%        | 2/0          |
| 24                                             | 25           | 40           | 2R                   | 1,490         | 59,60          | 0,07           | 3,84         | 59,60            | 1              | 211,55         | 0,0010       | 0,0010          | 0,0011           | 0,00%        | 2/0          |
| Fuente: Esta investigación                     |              |              |                      |               |                |                |              |                  |                |                |              |                 |                  |              |              |

**Tabla 7. Cálculo de Regulación y pérdidas media tensión Alternativa 2**

| CÁLCULO DE REGULACIÓN MEDIA TENSIÓN VEREDA EL NARANJO |       |       |       |        |          |         |         |           |         |           |        |          |           |       |
|-------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|---------|-----------|---------|-----------|--------|----------|-----------|-------|
| NODO                                                  | NODO  | LONG. | USU   | DEMAND | MOMENTO  | REG.    | REG.    | KVA TOTAL | FACTOR  | VOLTAJE   | PERD.  | PERD.    | PERD.     | PERD. |
| Inicial                                               | Final | [m]   | [No.] | [KVA]  | KVA*m    | Parcial | Total   | Tramo     | CORREC. | CORREG.   | [KW]   | ACUM[KW] | ACU [KVA] | %     |
| 0                                                     | 1     | 196   | 28    | 17,361 | 3.402,82 | 0,00227 | 0,00227 | 3.403,18  | 1       | 13.199,70 | 0,0004 | 0,3521   | 0,3592    | 0,99% |
| 0                                                     | 2     | 172   | 25    | 20,810 | 3.579,42 | 0,00239 | 0,00239 | 3.579,42  | 1       | 13.199,68 | 0,0005 | 0,6688   | 0,6825    | 1,88% |

Fuente: Esta investigación

**Tabla 8. Cálculo de Regulación y pérdidas Transformador T-3 Alternativa 2**

| CÁLCULO DE REGULACION EN BAJA TENSION T-3 |       |      |               |        |         |         |       |           |        |         |        |          |           |       |       |
|-------------------------------------------|-------|------|---------------|--------|---------|---------|-------|-----------|--------|---------|--------|----------|-----------|-------|-------|
| NODO                                      | NODO  | LONG | USU           | DEMAND | MOMENTO | REG.    | REG.  | KVA TOTAL | FACTOR | VOLTAJE | PERD.  | PERD.    | PERD.     | PERD. | COND. |
| Inicial                                   | Final | [m]  | [No.]         | [KVA]  | KVA*m   | Parcial | Total | Tramo     | CORREC | CORREG  | [KW]   | ACUM[KW] | ACU [KVA] | %     | ASC   |
| 0                                         | 1     | 29   | 9R+2I+1CR+1CF | 13.125 | 380.64  | 0.87    | 0.87  | 381.12    | 1      | 218.08  | 0.1101 | 0.4679   | 0.4775    | 1.31% | 2     |
| 1                                         | 2     | 25   | 8R+1I+1CR+1CF | 11.790 | 294.75  | 0.67    | 1.55  | 294.98    | 1      | 216.60  | 0.0777 | 0.2244   | 0.2290    | 0.63% | 2     |
| 2                                         | 3     | 30   | 7R+1CR+1CF    | 10.038 | 301.14  | 0.69    | 2.24  | 301.29    | 1      | 215.08  | 0.0685 | 0.1468   | 0.1498    | 0.41% | 2     |
| 3                                         | 4     | 35   | 4R+1CF        | 7.437  | 260.29  | 0.60    | 2.83  | 260.37    | 1      | 213.77  | 0.0444 | 0.0783   | 0.0799    | 0.22% | 2     |
| 4                                         | 5     | 40   | 2R+1CF        | 6.040  | 241.60  | 0.55    | 3.38  | 241.63    | 1      | 212.55  | 0.0339 | 0.0339   | 0.0345    | 0.09% | 2     |
|                                           |       |      |               |        |         |         |       |           |        |         |        |          |           |       |       |
| 0                                         | 6     | 66   | 10R+1CR+1A    | 8.863  | 584.96  | 1.34    | 1.34  | 585.16    | 1      | 217.05  | 0.1154 | 0.2004   | 0.2045    | 0.56% | 2     |
| 6                                         | 7     | 32   | 8R+1A         | 7.024  | 224.77  | 0.51    | 1.85  | 224.86    | 1      | 215.92  | 0.0355 | 0.0851   | 0.0868    | 0.24% | 2     |
| 7                                         | 8     | 34   | 6R+1A         | 5.755  | 195.68  | 0.45    | 2.30  | 195.73    | 1      | 214.93  | 0.0256 | 0.0468   | 0.0477    | 0.13% | 2     |
| 8                                         | 9     | 30   | 4R+1A         | 4.417  | 132.50  | 0.30    | 2.61  | 132.52    | 1      | 214.27  | 0.0212 | 0.0212   | 0.0217    | 0.06% | 2     |
| 7                                         | 10    | 35   | 2R            | 1.490  | 52.15   | 0.12    | 1.97  | 52.15     | 1      | 215.66  | 0.0028 | 0.0028   | 0.0028    | 0.01% | 2     |

|                            |    |    |   |       |      |      |      |      |   |        |        |        |        |       |   |
|----------------------------|----|----|---|-------|------|------|------|------|---|--------|--------|--------|--------|-------|---|
| 10                         | 11 | 35 | 0 | 0.000 | 0.00 | 0.00 | 1.97 | 0.00 | 1 | 215.66 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.00% | 2 |
| Fuente: Esta investigación |    |    |   |       |      |      |      |      |   |        |        |        |        |       |   |

**Tabla 9. Cálculo de Regulación y pérdidas Transformador T-2 Alternativa 2**

| CÁLCULO DE REGULACION EN BAJA TENSION T-2 |       |       |           |        |         |         |       |           |        |         |        |          |           |       |       |
|-------------------------------------------|-------|-------|-----------|--------|---------|---------|-------|-----------|--------|---------|--------|----------|-----------|-------|-------|
| NODO                                      | NODO  | LONG. | USU       | DEMAND | MOMENTO | REG.    | REG.  | KVA TOTAL | FACTOR | VOLTAJE | PERD.  | PERD.    | PERD.     | PERD. | COND. |
| Inicial                                   | Final | [m]   | [No.]     | [KVA]  | KVA*m   | Parcial | Total | Tramo     | CORREC | CORREG  | [KW]   | ACUM[KW] | ACU [KVA] | %     | ASC   |
| 1                                         | 2     | 19    | 13R+1CR   | 9.038  | 171.73  | 0.39    | 0.40  | 171.86    | 1      | 219.13  | 0.0339 | 0.1334   | 0.1361    | 0.37% | 2     |
| 2                                         | 3     | 24    | 12R+1CR   | 8.462  | 203.09  | 0.46    | 0.86  | 203.19    | 1      | 218.11  | 0.0379 | 0.0995   | 0.1015    | 0.28% | 2     |
| 3                                         | 4     | 23    | 9R+1CR    | 6.716  | 154.47  | 0.35    | 1.21  | 154.53    | 1      | 217.33  | 0.0366 | 0.0616   | 0.0629    | 0.17% | 2     |
| 4                                         | 5     | 25    | 5R+1CR    | 4.190  | 104.76  | 0.24    | 1.45  | 104.78    | 1      | 216.80  | 0.0156 | 0.0250   | 0.0255    | 0.07% | 2     |
| 5                                         | 6     | 25    | 4R        | 2.887  | 72.17   | 0.17    | 1.62  | 72.18     | 1      | 216.44  | 0.0074 | 0.0095   | 0.0097    | 0.03% | 2     |
| 6                                         | 7     | 26    | 2R        | 1.490  | 38.74   | 0.09    | 1.71  | 38.74     | 1      | 216.25  | 0.0021 | 0.0021   | 0.0021    | 0.01% | 2     |
| 7                                         | 8     | 28    | 0         | 0.000  | 0.00    | 0.00    | 1.71  | 0.00      | 1      | 216.25  | 0.0000 | 0.0000   | 0.0000    | 0.00% | 2     |
|                                           |       |       |           |        |         |         |       |           |        |         |        |          |           |       | 2     |
| 1                                         | 9     | 30    | 9R+2C+3CR | 9.796  | 293.89  | 0.67    | 0.67  | 294.11    | 1      | 218.52  | 0.0632 | 0.2183   | 0.2228    | 0.61% | 2     |
| 9                                         | 10    | 30    | 7R+2C+3CR | 8.568  | 257.05  | 0.59    | 1.26  | 257.21    | 1      | 217.22  | 0.0489 | 0.1551   | 0.1583    | 0.44% | 2     |
| 10                                        | 11    | 28    | 7R+1C+2CR | 7.214  | 202.00  | 0.46    | 1.72  | 202.11    | 1      | 216.21  | 0.0519 | 0.1062   | 0.1083    | 0.30% | 2     |
| 11                                        | 12    | 30    | 6R+1C+1CR | 5.971  | 179.14  | 0.41    | 2.13  | 179.19    | 1      | 215.30  | 0.0384 | 0.0542   | 0.0553    | 0.15% | 2     |
| 12                                        | 13    | 20    | 1CR       | 0.640  | 12.80   | 0.03    | 2.16  | 12.80     | 1      | 215.24  | 0.0003 | 0.0003   | 0.0003    | 0.00% | 2     |
| 12                                        | 14    | 34    | 5R        | 3.550  | 120.71  | 0.28    | 2.44  | 120.72    | 1      | 214.63  | 0.0155 | 0.0155   | 0.0158    | 0.04% | 2     |
| Fuente: Esta investigación                |       |       |           |        |         |         |       |           |        |         |        |          |           |       |       |

### 5.3.2. Centro de transformación

#### 5.3.2.1 Cálculo capacidad de los transformadores

Para el cálculo de la capacidad de los transformadores reductores se tomó en cuenta la demanda máxima diversificada de cada circuito de la red, la cual se puede observar en la tabla 10 de acuerdo al tipo de usuario. Cada tramo tiene una demanda máxima de 21.988 y 18.835 KVA, por tal motivo se seleccionan dos transformadores trifásicos de 30 KVA tipo convencional, 13200/220-127 V, 60Hz, refrigeración ONAN sumergidos en aceite.

De igual manera, el transformador elevador se escogió de 75 KVA tipo convencional, 13200/440-254 V, 60Hz, refrigeración ONAN sumergido en aceite. El valor de transformación en el lado de baja tensión para el transformador T-1, se eligió de 440V debido a que el rango de tensión de los inversores seleccionados para hacer el despacho de energía eléctrica ubicados en la sala de máquinas maneja un rango de tensión de 400V a 528V y el valor de 440V es el más comercial a nivel nacional.

Las capacidades de los transformadores fueron elegidos para tener un rango permitido en el factor de utilización de los mismos y por tener valores comerciales.

**Tabla 10. Demanda de la red para cálculo de capacidad transformadores**

| CIRCUITO TRANSFORMADOR T-3 |          |          |        |
|----------------------------|----------|----------|--------|
| USUARIOS                   | CANTIDAD | POTENCIA | DEMAND |
| Und                        | Und      | [KVA]    | [KVA]  |
| RESIDENCIAL                | 23       | 13.654   | 23.226 |
| INSTITUCIONAL              | 2        | 1.106    |        |
| COMERCIAL-RESIDENCIAL      | 2        | 0.64     |        |
| CUARTO FRIO                | 1        | 4.55     |        |
| ACUEDUCTO                  | 1        | 1.53     |        |
| CIRCUITO TRANSFORMADOR T-2 |          |          |        |
| USUARIOS                   | CANTIDAD | POTENCIA | DEMAND |
| Und                        | Und      | [KVA]    | [KVA]  |
| RESIDENCIAL                | 23       | 13.654   | 19.066 |
| COMERCIAL-RESIDENCIAL      | 5        | 0.64     |        |
| COMERCIAL                  | 2        | 1.106    |        |
| Fuente: Esta investigación |          |          |        |

#### 5.3.2.2 Cálculo de protecciones

Para media tensión se calcula lo siguiente:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{30 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 13200 \text{ V}} = 1.3 \text{ A} \text{ Ecuación 4}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{75 \text{ KVA}}{\sqrt{3} \cdot 13200 \text{ V}} = 3.28 \text{ A} \text{ Ecuación 5}$$

Entonces se toma un fusible de 2 A tipo dual (uno por fase) para los transformadores de 30KVA y uno de 4 A (uno por fase) para el transformador de 75 KVA con iguales características.

Para baja tensión, según norma CTU500 de CODENSA [20], se seleccionan fusibles NH 00 125A-120KA para los transformadores T-2 y T-3 de 30KVA.

### 5.3.2.3 Balance general de las fases del transformador.

Las tablas del anexo 5 muestran La repartición de las cargas para los transformadores reductores de 30 KVA con las características de las acometidas de cada carga, en ellas se aprecia que se garantiza el balance de cargas para ambos transformadores. Se tiene en total que el T-2 alimentara 30 cargas y el T-3 29 cargas distribuidas equivalentemente entre las fases A, B y C de los transformadores.

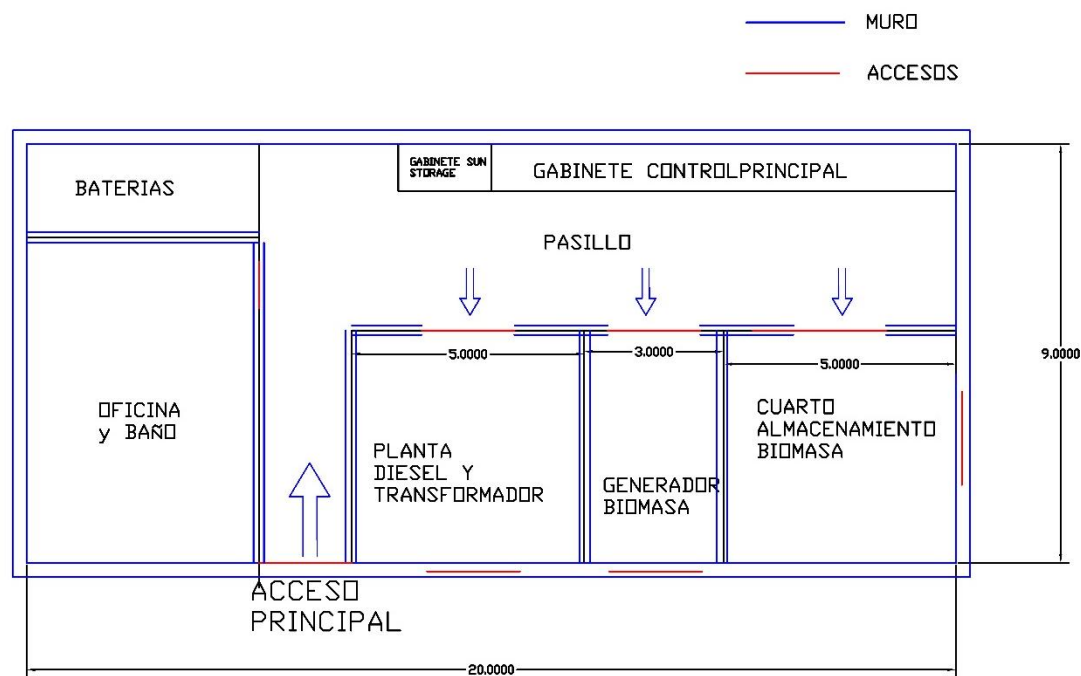
### 5.3.3. Sala de máquinas y control

En esta sala se almacenarán los equipos necesarios utilizados por las diferentes fuentes de energía como: paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, sistema de almacenamiento de energía (Baterías), generador Diésel y gasificador. La capacidad instalada de cada fuente generadora fue calculada por el grupo de investigación encargado dentro del proyecto ALTENAR. La planta diésel trifásica existente de 30 KVA a 220V, es el único generador que se conservará y se utilizará en conjunto con los nuevos generadores propuestos.

Los equipos como inversores, rectificadores, resistencias de disipación y convertidores vinculados con cada tecnología serán empotrados en la pared sin gabinete por recomendación propia del fabricante.

La sala de máquinas tendrá unas dimensiones aproximadas de 20m x 9m. La figura 17 es un esquema general de la organización interna de este cuarto de control. Las distancias en la figura 17 están en metros. En general toda la sala deberá tener ventilación natural y los cuartos donde serán almacenadas la planta diésel, las baterías y el generador de biomasa deberán tener una ventilación adicional que garantice el flujo de aire.

Los muros deberán ser resistentes al fuego y los accesos deberán ser puertas-rejillas con chapa antipático y llave de seguridad. Los espacios están diseñados para tener facilidad de maniobra y permitir el acceso y mantenimiento de todos los equipos instalados en este recinto.



**Figura 17. Dimensiones Sala de máquinas Vereda El Naranjo**

En el gabinete de control principal de 1,9m x 1,6m se albergará tanto el barraje de acople común como las protecciones para cada acometida de las fuentes generadoras. La tabla 11 muestra los resultados de cálculo para el calibre y protecciones para cada acometida al interior del gabinete de control. El detalle de las conexiones y esquema de protecciones está dispuesto en el anexo 6.

**Tabla 11. Conexiones internas Gabinete Principal**

| GABINETE PRINCIPAL SALA MAQUINAS |          |       |         |             |                   |                        |                             |                    |
|----------------------------------|----------|-------|---------|-------------|-------------------|------------------------|-----------------------------|--------------------|
| ACOMETIDA                        | POTENCIA |       | VOLTAJE | CORRIENTE   | CORRIENTE<br>*25% | PROTECCIÓN<br>ESCOGIDA | CONDUCTOR<br>ESCOGIDO<br>Cu | AMPACIDAD<br>CABLE |
|                                  | [KW]     | [KVA] |         |             |                   |                        |                             |                    |
| GENERADOR BIOMASA                |          | 28500 | 440     | 37,39655153 | 46,7456894        | 3X50                   | 8                           | 50                 |
| INVERSOR SOLAR1                  | 30000    | -     | 440     | 39,36479108 | 49,2059889        | 3X50                   | 8                           | 50                 |

|                                   |       |       |     |             |            |       |       |     |
|-----------------------------------|-------|-------|-----|-------------|------------|-------|-------|-----|
| <b>INVERSOR SOLAR2</b>            | 29000 | -     | 440 | 38,05263138 | 47,5657892 | 3X50  | 8     | 50  |
| <b>INVERSOR AEROGEN.1</b>         | 15000 | -     | 440 | 19,68239554 | 24,6029944 | 3X30  | 10    | 35  |
| <b>INVERSOR AEROGEN.2</b>         | 15000 | -     | 440 | 19,68239554 | 24,6029944 | 3X30  | 10    | 35  |
| <b>INVERSOR AEROGEN.3</b>         | 15000 | -     | 440 | 19,68239554 | 24,6029944 | 3X30  | 10    | 35  |
| <b>PLANTA DIESEL</b>              |       | 30000 | 440 | 39,36479108 | 49,2059889 | 3X50  | 8     | 50  |
| <b>INVERSOR PRINCIPAL</b>         |       | 75000 | 440 | 98,4119777  | 123,014972 | 3X150 | 2No.2 | 205 |
| <b>INVERSOR SUN STORAGE</b>       | -     | -     | 440 | 98,4119777  | 123,014972 | 3X125 | 1/0   | 150 |
| <i>Fuente: Esta investigación</i> |       |       |     |             |            |       |       |     |

#### 5.3.4. Sistema de puesta a tierra (SPT)

En un Sistema de Puesta a Tierra, la malla es el eje central, esta determina la resistencia final de todo el sistema. Un correcto diseño de la malla de puesta a tierra es fundamental para asegurar la correcta conducción de la descarga eléctrica producida por una falla interna o externa. Para ello, debemos asegurarnos que el conjunto del sistema de puesta a tierra tenga una resistencia menor a los valores definidos para cada tipo de Sistema. De acuerdo a la norma IEEE 80-2000, los valores admisibles de resistencias de puesta a tierra para Subestaciones de media tensión son de 10 [ $\Omega$ ].

Basados en la norma mencionada anteriormente el calibre del conductor para el diseño de mallas de puesta a tierra debe enmarcarse dentro del rango entre 2/0 AWG y 500 MCM.

Como los inversores limitan la corriente de falla, al realizar el cálculo del conductor a utilizar este se encuentra por debajo del límite exigido, por lo cual se escogió el mínimo sugerido por norma, establecido en calibre 2/0 AWG de cobre de siete hilos, esto con el fin de mejorar la rigidez mecánica de la malla y soportar la corrosión.

##### 5.3.4.1 Calculo de resistencia de puesta a tierra

Los cálculos realizados se basan en la norma IEEE 80-2000. Se comienza calculando la longitud total del conductor.

$$L_T = L_C + N * L_V \text{ Ecuación 6}$$

$$\text{Donde, } L_C = \left(\frac{L_1}{D} + 1\right) * L_2 + \left(\frac{L_2}{D} + 1\right) * L_1 \text{ Ecuación 7}$$

$$L_C = 33.6 \text{ m}$$

$$L_T = 48 \text{ m}$$

$$L_1 = \text{largo de la malla [m]} = 9.6 \text{ m}$$

$$L_2 = \text{Ancho de la malla [m]} = 4.8 \text{ m}$$

$$N = \text{Numero de electrodos tipo varilla} = 6$$

$$L_V = \text{Longitud de un electrodo tipo varilla} = 2.4 \text{ m}$$

$$A = L_1 * L_2 = 46.08 \text{ m}^2 \text{ Ecuación 8}$$

$$R_g = \rho * \left[ \frac{1}{L_T} + \frac{1}{\sqrt{20 * A}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h * \sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right] \text{ Ecuación 9}$$

$$R_g = 7.85 \Omega$$

Además se calculó el valor de paso tolerable para una persona de 70 Kg, como no se realizaron mediciones de la resistividad del suelo se tomó valores nominales para tierra arcillosa húmeda, establecido en  $100 \Omega m$  y se obtuvo los siguientes valores:

$$V_{\text{paso tolerable}} = 251.2 \text{ V}$$

$$V_{\text{Contacto tolerable}} = 180.55 \text{ V}$$

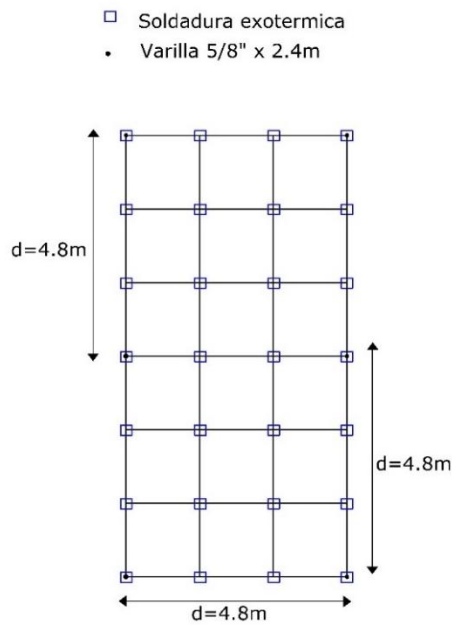
Por su parte los cálculos de tensión de malla y de paso son:

$$V_{\text{malla}} = 10.26 \text{ V}$$

$$V_{\text{Paso}} = 35.22 \text{ V}$$

Como  $V_{\text{malla}} < V_{\text{Contacto tolerable}}$  y  $V_{\text{Paso}} < V_{\text{paso tolerable}}$ . Se tiene que el diseño de puesta a tierra es adecuado

Entonces la sala contará con un sistema de puesta a tierra conformado por una malla de seis varillas de 5/8" x 2,4 metros de largo, interconectadas por cable de cobre desnudo No. 2/0 utilizando soldadura exotérmica en cada cruce y esquina de la malla, tal y como se presenta en el siguiente esquema.



**Figura 18. Sistema de Puesta a Tierra Sala de Maquinas**

Esta malla a tierra estará conectada sólidamente tanto al barraje de tierra y encerramiento metálico del gabinete como a la estructura metálica de la casa de máquinas propuesta.

### **5.3.5. Diseño alumbrado publico**

Dentro del rediseño de la red eléctrica de la vereda El Naranjo se contempla los cálculos fotométricos para el dimensionamiento del alumbrado público en dicha población.

#### **5.3.5.1 Diagnóstico actual Alumbrado Vereda El Naranjo**

Una vez realizado el levantamiento de redes eléctricas de identificó, que actualmente dicha comunidad solo presenta una luminaria tipo sodio ubicada en la zona limítrofe con el Océano Pacífico. Por tal motivo se ve la necesidad de diseñar un sistema de iluminación que brinde a la comunidad unos niveles mínimos para llevar a cabo las actividades visuales cotidianas.

#### **5.3.5.2 Zonas Oscuras a impactar**

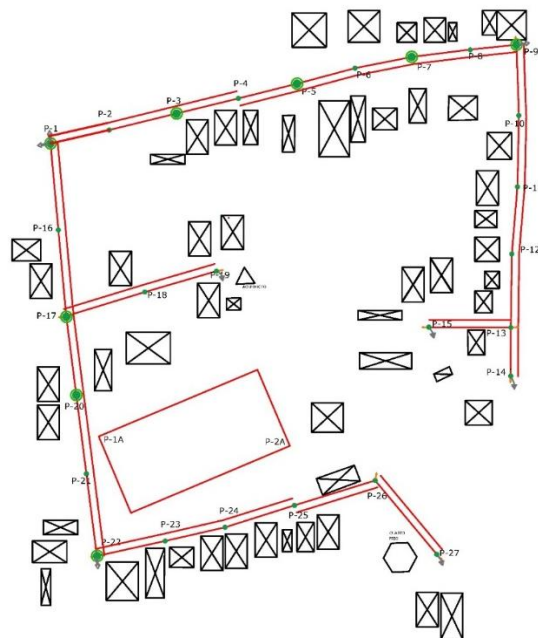
Para la correcta identificación de las zonas a impactar, se identificaron las siguientes zonas a iluminar (Tabla 12) de acuerdo al plano eléctrico general de la Vereda El Naranjo (Figura 19). Esta figura muestra la topología de la zona, en donde las áreas

delimitadas por las líneas de color rojo son los senderos peatonales más utilizados por los habitantes

**Tabla 12. Zonas a iluminar Vereda El Naranjo**

| <b>CORREDORES PEATONALES</b>        |                        |                           |
|-------------------------------------|------------------------|---------------------------|
| <b>COORDENADAS PLANO</b>            | <b>DIMENSIONES [m]</b> | <b>NOMBRE AREA DIALUX</b> |
| De punto P-1 hasta P-4              | 80x3                   | P1-P4                     |
| De punto P-4 hasta P-9              | 115x3                  | P4-P9                     |
| De punto P-1 hasta P-17             | 71x3                   | P1-P17                    |
| De punto P-17 hasta P-19            | 64x3                   | P17-P19                   |
| De punto P-17 hasta P-22            | 99x3                   | P17-P22                   |
| De punto P-22 hasta P-25            | 84x3                   | P22-P25                   |
| De punto P-25 hasta P-26            | 35x3                   | P25-P26                   |
| De punto P-26 hasta P-27            | 39x3                   | P26-P27                   |
| De punto P-9 hasta P-14             | 155x3                  | P9-P14                    |
| De punto P-13 hasta P-15            | 34x3                   | P13-P15                   |
| <b>CANCHA RECREATIVA Y SENDEROS</b> |                        |                           |
| <b>COORDENADAS PLANO</b>            | <b>DIMENSIONES [m]</b> | <b>NOMBRE AREA DIALUX</b> |
| De punto P-1A hasta P-2A            | 34x70                  | CANCHA                    |

*Fuente: Esta investigación*



**Figura 19. Vista general Vereda El Naranjo- Zonas a Iluminar**

### 5.3.5.3 Diseño de iluminación

El presente diseño de iluminación, se ha realizado de acuerdo a los requerimientos exigidos por el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público -RETILAP- [22] con el fin de cumplir los niveles de permitidos por esta normativa.

Por lo tanto, una vez se establecieron las áreas a iluminar, se identificó que estas vías eran destinadas para tráfico peatonal y de ciclistas, por tal motivo, los corredores peatonales son iluminación clase P4 y la zona de la cancha por sus características y sus senderos perimetrales se clasificó en clase C3.

La tabla 13 muestra los requisitos mínimos exigidos por el RETILAP para cada clase de iluminación:

**Tabla 13. Niveles mínimos exigidos por RETILAP**

| <i>Clase de Iluminación</i>                                                    | <i>Iluminancia Promedio [lx]</i> | <i>Iluminancia mínima [lx]</i> | <i>Uniformidad [Emin/Eprom]</i> |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| P4                                                                             | 5                                | 1                              | -                               |
| C3                                                                             | 15                               | -                              | 0.33                            |
| <i>Fuente: Reglamento Técnico De Iluminación Y Alumbrado Público (RETILAP)</i> |                                  |                                |                                 |

### 5.3.5.4 Cálculos Fotométricos con Software Dialux Evo

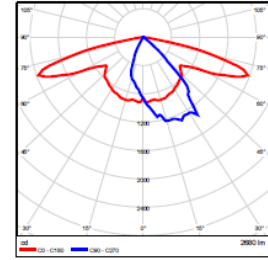
Utilizando el software Dialux Evo 6 se realizaron los cálculos de iluminancia (E) promedio, mínima, máxima y los valores de Uniformidad para la vereda El Naranjo. De acuerdo a las exigencias de la norma, solo se realizaron cálculos de Iluminancia Horizontal determinando la ubicación, altura montaje, ángulo y avance adecuados para cumplir con los requerimientos básicos.

### 5.3.5.5 Luminarias utilizadas para simulación

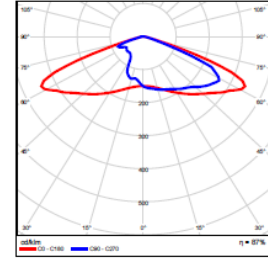
Las luminarias mostradas a continuación (Figura 20) son las que se obtuvieron del catálogo de Dialux y se escogieron por tener características semejantes a las luminarias utilizadas en Colombia para alumbrado público común.

Luminaria (Emisión de luz)

GE Lighting 529118 OD L/1/C/B/31/40/N/ST/C2/N/S60  
Emisión de luz 1  
Lámpara: 1xLED  
Fotometría absoluta  
Flujo luminoso de las luminarias: 2680 lm  
Potencia: 31.0 W  
Rendimiento lumínico: 86.5 lm/W  
Temperatura de color: 3000 K  
Índice de reproducción de color: 100



Philips Lighting BVP650 G2 28K 1xEco/730 OFR6  
Emisión de luz 1  
Lámpara: 1xEco/730/-  
Grado de eficacia de funcionamiento: 86.86%  
Flujo luminoso de lámparas: 28000 lm  
Flujo luminoso de las luminarias: 24321 lm  
Potencia: 244.0 W  
Rendimiento lumínico: 99.7 lm/W  
Temperatura de color: 3000 K  
Índice de reproducción de color: 100



**Figura 20. Características Luminarias utilizadas en simulación**

En la tabla 14 se exponen la ubicación y los valores de parámetros utilizados en el programa de simulación para el estudio realizado.

**Tabla 14. Ubicación de luminarias para Simulación**

| Zona Iluminada | Tipo Luminaria                             | Avance [m] | Angulo [°] | Cantidad | Interdistancia* [m] | Altura montaje [m] |
|----------------|--------------------------------------------|------------|------------|----------|---------------------|--------------------|
| <b>P1-P4</b>   | General Electric Lighting 5291118 tipo LED | 0.8        | 1.5        | 4        | 25-35               | 8,021              |
| <b>P4-P9</b>   | General Electric Lighting 5291118 tipo LED | 0.8        | 1.5        | 3        | 25-35               | 8,021              |
| <b>P1-P17</b>  | General Electric Lighting 5291118 tipo LED | 0.8        | 1.5        | 1        | 25-35               | 8,021              |
| <b>P17-P19</b> | General Electric Lighting 5291118 tipo LED | 0.8        | 1.5        | 3        | 25-35               | 8,021              |
| <b>P17-P22</b> | General Electric Lighting 5291118 tipo LED | 0.8        | 1.5        | 2        | 25-35               | 8,021              |
| <b>P22-P25</b> | General Electric Lighting 5291118 tipo LED | 0.8        | 1.5        | 4        | 25-35               | 8,021              |

|                                                                                                                                                                                                                               |                                            |     |     |   |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----|-----|---|-------|-------|
| <b>P25-P26</b>                                                                                                                                                                                                                | General Electric Lighting 5291118 tipo LED | 0.8 | 1.5 | 1 | 25-35 | 8,021 |
| <b>P26-P27</b>                                                                                                                                                                                                                | General Electric Lighting 5291118 tipo LED | 0.8 | 1.5 | 1 | 25-35 | 8,021 |
| <b>P9-P14</b>                                                                                                                                                                                                                 | General Electric Lighting 5291118 tipo LED | 0.8 | 1.5 | 4 | 25-35 | 8,021 |
| <b>P13-P15</b>                                                                                                                                                                                                                | General Electric Lighting 5291118 tipo LED | 0.8 | 1.5 | 1 | 25-35 | 8,021 |
| <b>CANCHA</b>                                                                                                                                                                                                                 | Philips Lighting BVP650 G2 28K tipo LED    | 0.5 | 20  | 8 | 5     | 12    |
| <p>* La interdistancia en los corredores peatonales entre las luminaria varía entre 25 a 35 metros, y en la cancha, dos reflectores están separado 5 metros sobre un mismo apoyo</p> <p><i>Fuente: Esta investigación</i></p> |                                            |     |     |   |       |       |

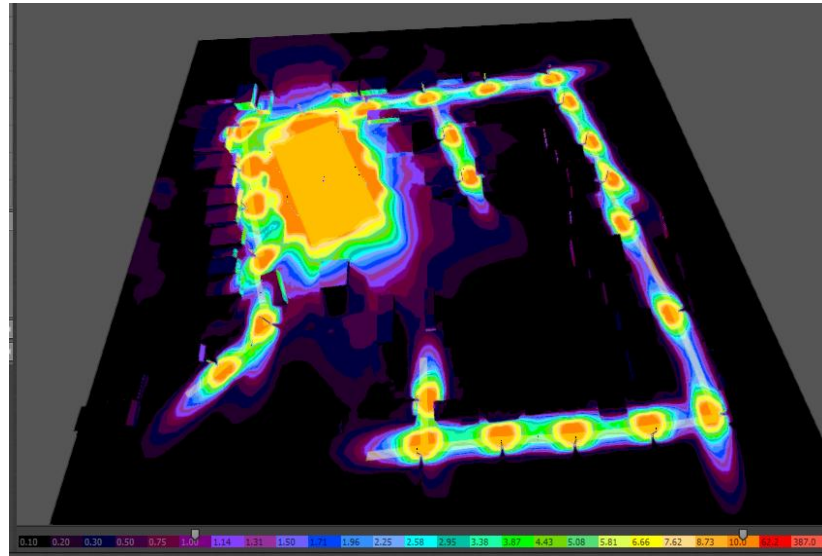
### 5.3.5.6 Resultados de simulación

Una vez realizada la importación del plano de la vereda El Naranjo en el software, montadas las luminarias, identificadas las áreas de influencia del flujo luminoso y realizado la topología básica de la zona, se obtuvieron los siguientes resultados dados por la tabla 15.

**Tabla 15. Resultados de Iluminancia Horizontal- Dialux**

| <b>AREA</b>                       | <b>Iluminancia Promedio [lx]</b> | <b>Iluminancia Mínima [lx]</b> | <b>Uniformidad (Emin/Eprom)</b> |
|-----------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <b>P1-P4</b>                      | 8,33                             | 1,84                           | 0,22                            |
| <b>P4-P9</b>                      | 6,04                             | 1,36                           | 0,23                            |
| <b>P1-P17</b>                     | 5,59                             | 1,80                           | 0,32                            |
| <b>P17-P19</b>                    | 6,67                             | 1,71                           | 0,26                            |
| <b>P17-P22</b>                    | 7,60                             | 2,27                           | 0,3                             |
| <b>P22-P25</b>                    | 8,7                              | 3,25                           | 0,37                            |
| <b>P25-P26</b>                    | 6,09                             | 1,74                           | 0,29                            |
| <b>P26-P27</b>                    | 6,51                             | 1,34                           | 0,21                            |
| <b>P9-P14</b>                     | 6,21                             | 2,42                           | 0,39                            |
| <b>P13-P15</b>                    | 7,26                             | 1,61                           | 0,22                            |
| <b>CANCHA</b>                     | 26,5                             | 9,21                           | 0,35                            |
| <i>Fuente: Esta investigación</i> |                                  |                                |                                 |

La figura 21 muestra la vista general de la zona en donde se muestra el plano de Colores Falsos de la iluminación propuesta para este diseño. Esta figura tiene la siguiente escala en luxes: color morado equivale a 1 lx y el color naranja representa 10 lx, tal y como muestra la barra de colores en la parte inferior de la imagen.



**Figura 21. Vista Vereda El Naranjo Colores Falsos**

#### **5.3.5.7 Selección de Luminarias**

Con base en las tablas 13 y 14 se concluye que todas las zonas a iluminar entre ellas los corredores peatonales y la cancha cumplen con los valores de iluminancia horizontal y uniformidad exigida por el RETILAP [22] como se le aplica a su correspondiente clase de iluminación.

Por tal motivo, se elige entre las factibles opciones en el mercado colombiano la luminaria y reflector que mejor se acoplan a la simulación realizada. Las siguientes modelos fueron los escogidos:

- Luminaria LED Voltana 1 marca Schröder que presenta las siguientes características:  
 POTENCIA: 29W  
 FLUJO LUMINIOSO: 2400 lm  
 EFICACIA LUMINICA: 83lm/W  
 INDICE IP: 66  
 INDICE IK: 08

- Reflector FH-IL-SPL 210A Tecnología LED marca Philips que presenta las siguientes características:  
 POTENCIA: 210W  
 FLUJO LUMINIOSO: 23664 lm  
 EFICACIA LUMINICA: 124lm/W  
 INDICE IP: 65

Se realizará un circuito exclusivo para esta iluminación, independiente de la red eléctrica proyectada para la vereda. El conductor a utilizar será aluminio aislado calibre No. 2 las luminarias se dispondrán sobre los respectivos brazos con el avance y ángulo previamente definido sobre los postes proyectados en el diseño de la red primaria. Las luminarias ubicadas en las zonas P26-P27 y P14-P15 requieren de un apoyo de 8 metros adicional para su emplazamiento.

Para el montaje de los reflectores en la Cancha, se necesitan 4 apoyos adicionales de 12 metros cada uno. Por cada poste se dispondrán 2 reflectores sujetos a una cruceta galvanizada de 3 x 1/4 x 6 m

#### 5.3.5.8 Selección de Fuente de suministro de energía

La tabla 16 muestra la potencia y energía necesaria requerida por las luminarias y reflectores totales con el fin de dimensionar el sistema fotovoltaico aislado para suplir estas cargas.

**Tabla 16. Cuadro Cargas Iluminación Vereda El Naranjo**

| <i>Descripción</i>                             | <i>Cantidad</i> | <i>Potencia</i> | <i>Tiempo</i> | <i>Potencia [W]</i> | <i>Energía [Wh]</i> |
|------------------------------------------------|-----------------|-----------------|---------------|---------------------|---------------------|
| <b><i>Luminarias LED Voltana 1 /2400lm</i></b> | 24              | 29              | 10            | 696                 | 6960                |
| <b><i>Reflectores LED 200W</i></b>             | 8               | 210             | 4             | 1680                | 6720                |
| <b><i>TOTAL</i></b>                            |                 |                 |               | <b>2376</b>         | <b>13680</b>        |

Por tal motivo se selecciona un arreglo de 12 paneles solares de 325W con un uso efectivo de 4,3 horas al día y un banco de 24 baterías de una capacidad total de 1000 Ah, esto con el fin de garantizar los requerimientos energéticos de las cargas. La capacidad del sistema será de 15,6 KWh/día, valor suficiente para suplir la demanda de 13,68 KWh/día de las luminarias y reflectores con su tiempo de uso definido en la tabla anterior.

El voltaje de alimentación será de 220V suministrados por un equipo multifuncional que funciona como inversor y controlador del sistema.

#### **5.4. Rediseño red eléctrica Bocagrande-El Rompido**

##### **5.4.1. Red eléctrica primaria Bocagrande-El Rompido**

Para la vereda Bocagrande se realizó el rediseño de la red incluyendo la interconexión con la localidad del Rompido, la cual se encuentra a una distancia de 1Km aproximadamente por lo que su interconexión se realizó en media tensión. Esta extensión de redes se realizó en cable calibre No 1/0 ASCR, para tal fin, se ubicó dos transformadores; uno elevador de 208/13200 V, ubicado en el poste P-49 de la vereda Bocagrande y el otro un transformador reductor de 13200/208-120 V, ubicado en el poste P-44 de la vereda el Rompido, tal y como se muestra en el plano vereda Bocagrande contenido en el Anexo 2.

Los resultados de regulación y pérdidas para media tensión se muestran en la tabla 17, obteniendo un valor máximo de 0,01 % en regulación y 0,0029 % en pérdidas, cumpliendo con los valores reglamentados en la normativa y validando la utilización de conductores ACSR No. 1/0 para esta conexión.

Los gráficos de regulación de la localidad Bocagrande y el Rompido se presentan en el anexo 2, los cuales se utilizaron para realizar el cálculo de regulación y pérdidas en baja tensión.

Una vez realizados los cálculos de regulación y pérdidas para la red eléctrica proyectada en baja tensión para cada vereda se obtuvo un valor máximo de regulación del 3.73 % y unas pérdidas máximas del 2,11% para la población de Bocagrande. Por su parte, para la vereda El Rompido se presenta una regulación máxima de 2.60% y pérdidas acumuladas de 2,05%. Resultados que hacen válido la utilización de conductores en aluminio No. 2/0 y 1/0 para estas veredas ya que se cumple con los valores permitidos en regulación y pérdidas exigidas en la norma técnica de CEDENAR S.A [1]. Por lo tanto, se selecciona cable cuádruplex No.2/0 y 1/0 Aluminio con neutro mensajero ACSR de igual calibre para ambos tendidos eléctricos.

Los cálculos completos de regulación y pérdidas para baja tensión se muestran en las tablas 18 y 19 para las localidades tratadas anteriormente.

Para estas redes se escogió como apoyos postes metálicos seccionados, para el tendido del cableado, se optaron por las estructuras de líneas aéreas de CODENSA, e igualmente, las acometidas para las diferentes cargas presentes en la población, se eligieron en cable concéntrico aluminio con calibre No.6 para garantizar regulación de tensión.

**Tabla 17. Cálculo regulación y pérdidas media tensión.**

| <b>CÁLCULO DE REGULACIÓN MEDIA TENSIÓN BOCAGRANDE</b> |              |              |              |               |                |                |              |                  |                |                |              |                 |                  |              |
|-------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|--------------|------------------|----------------|----------------|--------------|-----------------|------------------|--------------|
| <b>NODO</b>                                           | <b>NODO</b>  | <b>LONG.</b> | <b>USU</b>   | <b>DEMAND</b> | <b>MOMENTO</b> | <b>REG.</b>    | <b>REG.</b>  | <b>KVA TOTAL</b> | <b>FACTOR</b>  | <b>VOLTAJE</b> | <b>PERD.</b> | <b>PERD.</b>    | <b>PERD.</b>     | <b>PERD.</b> |
| <b>Inicial</b>                                        | <b>Final</b> | <b>[m]</b>   | <b>[No.]</b> | <b>[KVA]</b>  | <b>KVA*m</b>   | <b>Parcial</b> | <b>Total</b> | <b>Tramo</b>     | <b>CORREC.</b> | <b>CORREG.</b> | <b>[KW]</b>  | <b>ACUM[KW]</b> | <b>ACU [KVA]</b> | <b>%</b>     |
| <b>17</b>                                             | Rompido      | 1310         | 18           | 13,62         | 17.848,17      | 0,01           | <b>0,01</b>  | 17.848,17        | 1              | 13.199,12      | 0,0010       | 0,0010          | 0,0010           | 0,0029%      |
| <i>Fuente: Esta investigación</i>                     |              |              |              |               |                |                |              |                  |                |                |              |                 |                  |              |

**Tabla 18. Cálculo regulación y pérdidas baja tensión El Rompido.**

| <b>CÁLCULO DE REGULACION EN BAJA TENSION EL ROMPIDO</b> |              |             |              |               |                |                |              |                  |               |                |              |                 |                  |              |              |
|---------------------------------------------------------|--------------|-------------|--------------|---------------|----------------|----------------|--------------|------------------|---------------|----------------|--------------|-----------------|------------------|--------------|--------------|
| <b>NODO</b>                                             | <b>NODO</b>  | <b>LONG</b> | <b>USU</b>   | <b>DEMAND</b> | <b>MOMENTO</b> | <b>REG.</b>    | <b>REG.</b>  | <b>KVA TOTAL</b> | <b>FACTOR</b> | <b>VOLTAJE</b> | <b>PERD.</b> | <b>PERD.</b>    | <b>PERD.</b>     | <b>PERD.</b> | <b>COND.</b> |
| <b>Inicial</b>                                          | <b>Final</b> | <b>[m]</b>  | <b>[No.]</b> | <b>[KVA]</b>  | <b>KVA*m</b>   | <b>Parcial</b> | <b>Total</b> | <b>Tramo</b>     | <b>CORREC</b> | <b>CORREG</b>  | <b>[KW]</b>  | <b>ACUM[KW]</b> | <b>ACU [KVA]</b> | <b>%</b>     | <b>ASC</b>   |
| <b>0</b>                                                | <b>1</b>     | 30          | 18           | 13,62         | 408,74         | 0,51           | 0,51         | 409,02           | 1             | 206,95         | 0,0680       | 0,2731          | 0,2787           | 2,05%        | 2/0          |
| <b>1</b>                                                | <b>2</b>     | 36          | 11           | 9,20          | 331,14         | 0,41           | 0,92         | 331,27           | 1             | 206,09         | 0,0375       | 0,1296          | 0,1322           | 0,97%        | 2/0          |
| <b>2</b>                                                | <b>3</b>     | 17          | 9            | 7,98          | 135,59         | 0,17           | 1,08         | 135,69           | 1             | 205,74         | 0,0134       | 0,0921          | 0,0940           | 0,69%        | 2/0          |
| <b>3</b>                                                | <b>4</b>     | 120         | 6            | 6,13          | 735,04         | 0,91           | 2,00         | 735,12           | 1             | 203,85         | 0,0566       | 0,0787          | 0,0803           | 0,59%        | 2/0          |
| <b>4</b>                                                | <b>5</b>     | 24          | 4            | 4,79          | 114,88         | 0,17           | 2,17         | 114,90           | 1             | 203,49         | 0,0087       | 0,0221          | 0,0226           | 0,17%        | 1/0          |
| <b>5</b>                                                | <b>6</b>     | 22          | 4            | 4,17          | 91,67          | 0,14           | 2,31         | 91,68            | 1             | 203,20         | 0,0061       | 0,0134          | 0,0136           | 0,10%        | 1/0          |
| <b>6</b>                                                | <b>7</b>     | 32          | 4            | 2,89          | 92,38          | 0,14           | 2,45         | 92,38            | 1             | 202,91         | 0,0043       | 0,0073          | 0,0074           | 0,05%        | 1/0          |
| <b>7</b>                                                | <b>8</b>     | 25          | 3            | 2,20          | 55,00          | 0,08           | 2,53         | 55,00            | 1             | 202,74         | 0,0019       | 0,0030          | 0,0031           | 0,02%        | 1/0          |
| <b>8</b>                                                | <b>9</b>     | 30          | 2            | 1,49          | 44,70          | 0,07           | 2,60         | 44,70            | 1             | 202,60         | 0,0011       | 0,0011          | 0,0011           | 0,01%        | 1/0          |
|                                                         |              |             |              |               |                |                |              |                  |               |                |              |                 |                  |              |              |
| <b>1</b>                                                | <b>10</b>    | 63          | 7            | 5,49          | 345,75         | 0,52           | 1,03         | 345,82           | 1             | 205,86         | 0,0295       | 0,0756          | 0,0772           | 0,57%        | 1/0          |
| <b>10</b>                                               | <b>11</b>    | 70          | 6            | 4,87          | 340,57         | 0,51           | 1,54         | 340,62           | 1             | 204,79         | 0,0260       | 0,0461          | 0,0471           | 0,35%        | 1/0          |
| <b>11</b>                                               | <b>12</b>    | 35          | 6            | 4,23          | 147,89         | 0,22           | 1,77         | 147,91           | 1             | 204,32         | 0,0099       | 0,0201          | 0,0205           | 0,15%        | 1/0          |
| <b>12</b>                                               | <b>13</b>    | 70          | 4            | 2,89          | 202,07         | 0,31           | 2,07         | 202,08           | 1             | 203,69         | 0,0093       | 0,0102          | 0,0105           | 0,08%        | 1/0          |
| <b>13</b>                                               | <b>14</b>    | 28          | 2            | 1,49          | 41,72          | 0,06           | 2,14         | 41,72            | 1             | 203,56         | 0,0010       | 0,0010          | 0,0010           | 0,01%        | 1/0          |
| <i>Fuente: Esta investigación</i>                       |              |             |              |               |                |                |              |                  |               |                |              |                 |                  |              |              |

**Tabla 19. Cálculo regulación y pérdidas baja tensión Bocagrande**

| <b>CÁLCULO DE REGULACION EN BAJA TENSION BOCAGRANDE</b> |              |             |              |               |                |                |              |                  |               |                |              |                 |                  |              |              |
|---------------------------------------------------------|--------------|-------------|--------------|---------------|----------------|----------------|--------------|------------------|---------------|----------------|--------------|-----------------|------------------|--------------|--------------|
| <b>NODO</b>                                             | <b>NODO</b>  | <b>LONG</b> | <b>USU</b>   | <b>DEMAND</b> | <b>MOMENTO</b> | <b>REG.</b>    | <b>REG.</b>  | <b>KVA TOTAL</b> | <b>FACTOR</b> | <b>VOLTAJE</b> | <b>PERD.</b> | <b>PERD.</b>    | <b>PERD.</b>     | <b>PERD.</b> | <b>COND.</b> |
| <i>Inicial</i>                                          | <i>Final</i> | <i>[m]</i>  | <i>[No.]</i> | <i>[KVA]</i>  | <i>KVA*m</i>   | <i>Parcial</i> | <i>Total</i> | <i>Tramo</i>     | <i>CORREC</i> | <i>CORREG</i>  | <i>[KW]</i>  | <i>ACUM[KW]</i> | <i>ACU [KVA]</i> | <i>%</i>     | <i>ASC</i>   |
| 0                                                       | 1            | 10          | 35           | 35,10         | 351,01         | 0,43           | 0,43         | 351,75           | 1             | 207,10         | 0,1501       | 0,7267          | 0,7415           | 2,11%        | 2/0          |
| 1                                                       | 2            | 30          | 6            | 14,97         | 448,96         | 0,68           | 1,11         | 449,23           | 1             | 205,68         | 0,1046       | 0,2644          | 0,2698           | 0,77%        | 1/0          |
| 2                                                       | 3            | 62          | 6            | 10,33         | 640,17         | 0,97           | 2,08         | 640,33           | 1             | 203,67         | 0,1050       | 0,1598          | 0,1630           | 0,46%        | 1/0          |
| 3                                                       | 4            | 26          | 4            | 8,99          | 233,65         | 0,35           | 2,43         | 233,71           | 1             | 202,94         | 0,0336       | 0,0548          | 0,0559           | 0,16%        | 1/0          |
| 4                                                       | 5            | 24          | 0            | 0,64          | 15,36          | 0,02           | 2,46         | 15,36            | 1             | 202,89         | 0,0002       | 0,0002          | 0,0002           | 0,00%        | 1/0          |
| 4                                                       | 6            | 30          | 4            | 4,40          | 131,90         | 0,20           | 2,63         | 131,92           | 1             | 202,52         | 0,0093       | 0,0211          | 0,0215           | 0,06%        | 1/0          |
| 6                                                       | 7            | 23          | 3            | 3,71          | 85,33          | 0,13           | 2,76         | 85,34            | 1             | 202,25         | 0,0051       | 0,0118          | 0,0120           | 0,03%        | 1/0          |
| 7                                                       | 8            | 71          | 2            | 2,36          | 167,55         | 0,25           | 3,02         | 167,56           | 1             | 201,73         | 0,0064       | 0,0067          | 0,0068           | 0,02%        | 1/0          |
| 8                                                       | 9            | 29          | 1            | 0,76          | 21,94          | 0,03           | 3,05         | 21,94            | 1             | 201,66         | 0,0003       | 0,0003          | 0,0003           | 0,00%        | 1/0          |
| 1                                                       | 10           | 32          | 11           | 10,13         | 324,10         | 0,49           | 0,92         | 324,37           | 1             | 206,08         | 0,0509       | 0,2551          | 0,2603           | 0,74%        | 1/0          |
| 10                                                      | 11           | 26          | 10           | 9,52          | 247,60         | 0,37           | 1,30         | 247,81           | 1             | 205,30         | 0,0369       | 0,2042          | 0,2084           | 0,59%        | 1/0          |
| 11                                                      | 12           | 24          | 2            | 1,49          | 35,76          | 0,05           | 1,35         | 35,76            | 1             | 205,19         | 0,0008       | 0,0008          | 0,0009           | 0,00%        | 1/0          |
| 11                                                      | 13           | 34          | 8            | 8,32          | 283,02         | 0,43           | 1,73         | 283,19           | 1             | 204,41         | 0,0371       | 0,1665          | 0,1699           | 0,48%        | 1/0          |
| 13                                                      | 14           | 62          | 7            | 7,68          | 476,04         | 0,72           | 2,45         | 476,17           | 1             | 202,91         | 0,0585       | 0,1294          | 0,1320           | 0,38%        | 1/0          |
| 14                                                      | 15           | 33          | 7            | 7,04          | 232,26         | 0,35           | 2,80         | 232,33           | 1             | 202,18         | 0,0263       | 0,0709          | 0,0724           | 0,21%        | 1/0          |
| 15                                                      | 16           | 28          | 5            | 5,74          | 160,73         | 0,24           | 3,04         | 160,77           | 1             | 201,67         | 0,0149       | 0,0446          | 0,0455           | 0,13%        | 1/0          |
| 16                                                      | 17           | 32          | 4            | 5,08          | 162,46         | 0,25           | 3,29         | 162,49           | 1             | 201,16         | 0,0134       | 0,0296          | 0,0302           | 0,09%        | 1/0          |
| 17                                                      | 18           | 62          | 2            | 3,68          | 228,16         | 0,34           | 3,63         | 228,17           | 1             | 200,45         | 0,0138       | 0,0162          | 0,0165           | 0,05%        | 1/0          |
| 18                                                      | 19           | 31          | 0            | 2,19          | 67,89          | 0,10           | 3,73         | 67,89            | 1             | 200,23         | 0,0024       | 0,0024          | 0,0025           | 0,01%        | 1/0          |
| 1                                                       | 19           | 25          | 18           | 13,62         | 340,61         | 0,42           | 0,86         | 340,67           | 1             | 206,22         | 0,0570       | 0,0570          | 0,0582           | 0,17%        | 2/0          |
| <i>Fuente: Esta investigación</i>                       |              |             |              |               |                |                |              |                  |               |                |              |                 |                  |              |              |

#### **5.4.2. Centros de transformación**

Como se detalló previamente, la red eléctrica primaria para ambas localidades se realizará en baja tensión a 208-120V, pero como la fuente generadora de energía eléctrica únicamente estará en la Vereda Bocagrande, se diseñó la interconexión con El Rompido. Para llevar a cabo esto, se debe elegir un transformador que sea capaz de cumplir la demanda de esta localidad. Para el caso del Rompido, la demanda máxima diversificada es de aproximadamente 15 KVA, por lo tanto, se elige un transformador comercial que no conlleve gastos adicionales por fabricación especial. Las máquinas seleccionadas fueron dos transformadores tipo convencional trifásicos; uno elevador y el otro reductor de 30 KVA con relación de transformación 13200/208-120 V, 60Hz, refrigeración ONAN sumergidos en aceite.

Con base en los cálculos realizados en la sección anterior de la Vereda El Naranjo, para las protecciones en media tensión se utilizarán fusibles de 2 A tipo dual (uno por fase) para este tipo de transformadores de 30 KVA. Y para baja tensión se seleccionan fusibles NH 00 125A-120KA basándose en la normativa [20].

##### **5.4.2.1 Balance general de las fases del transformador**

La repartición de las cargas para las dos localidades con las características de las acometidas de cada carga se puede consultar en el anexo 5, en dichas tablas se verifica que cada red presenta un muy buen balance de carga en las tres fases.

## 6. SIMULACIÓN DEL REDISEÑO REDES ELÉCTRICAS

Esta sección presenta la topología, datos técnicos y simulación de la red eléctrica de las veredas antes mencionadas, las cuales fueron estructuradas en el programa Digsilent 15.1.

### 6.1. Simulación vereda El Naranjo

La figura 22, muestra la topología de la red eléctrica rediseñada para la vereda El Naranjo montada en el software Digsilent 15.1. Esta estructura mantiene las características planteadas en el rediseño, es decir, la red primaria se maneja trifásica en media y baja tensión con el uso de dos transformadores reductores y un elevador, las acometidas son de carácter monofásico asignado las cargas correspondientes a cada fase de forma balanceada. En la simulación se tuvo en cuenta la inclusión de nuevos generadores y la proyección de las cargas de tipo residencial, comercial-residencial e institucional así como la demanda de un cuarto frío y acueducto.

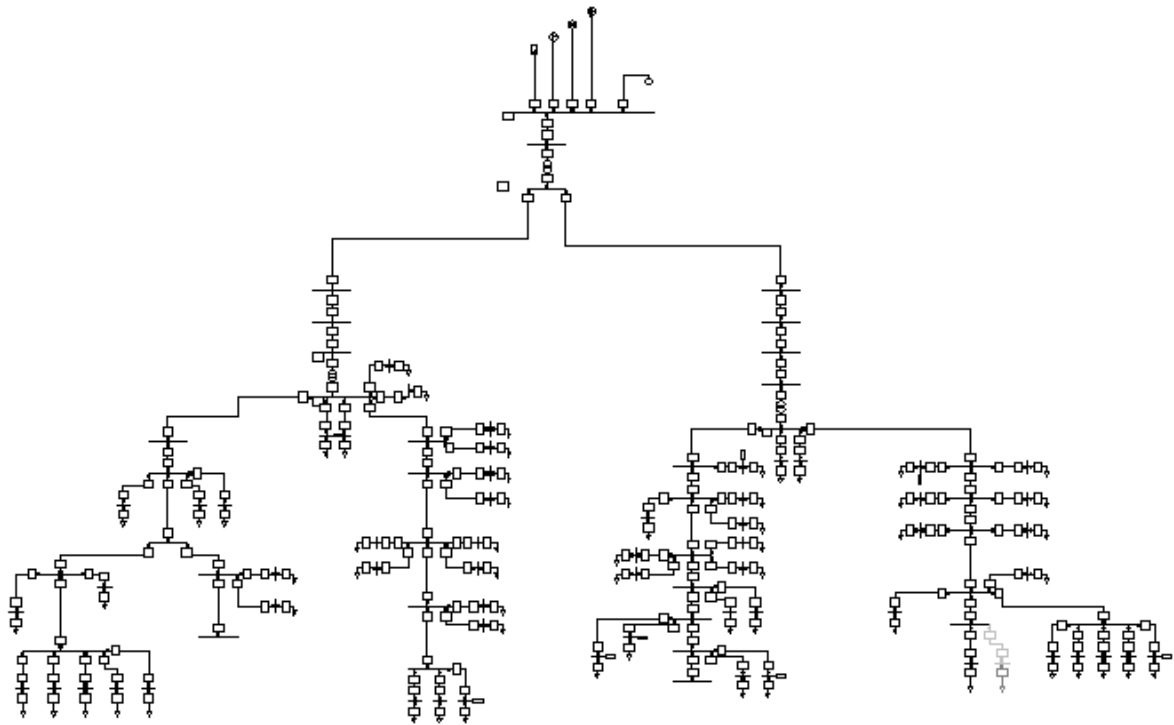


Figura 22. Circuito eléctrico simulado para la vereda El Naranjo (rediseño).

### **6.1.1. Descripción Buses de carga y Generación**

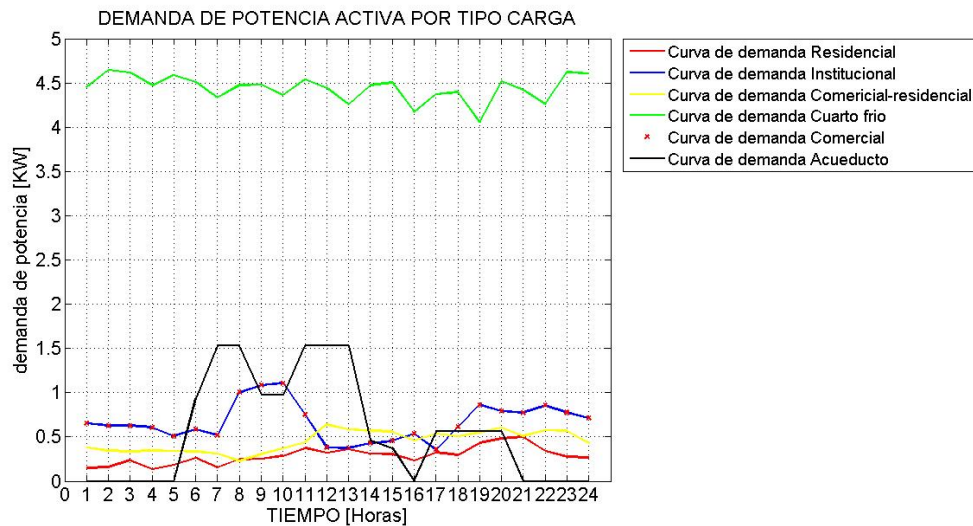
Para el sistema eléctrico de El Naranjo se prevé va estar alimentado por un sistema fotovoltaico de 58,6 KW, un sistema eólico de 15KW compuesto por tres turbinas, un gasificador de 20 KW y un generador Diésel trifásico de 25KW además de un banco de 24 baterías, el generador diésel fue tomado en simulación como un generador síncrono para mantener la naturaleza del mismo. En el nodo de generación se tiene un voltaje de salida de 400 V a 60 Hz el cual es elevado a 13,2 KV por un transformador (T-1) trifásico de 75 KVA ubicado a 9 metros del nodo de generación (P-0). En el nodo (P-9) y (P-22) se ubican los transformadores reductores (T-2) Y (T-3) respectivamente ambos de 30 KVA reduciendo el voltaje de 13.2 KV a 220 V. La tabla 5 del anexo 4 muestra la designación de cada nodo de la red principal en el software de simulación con su respectivo nivel de voltaje.

### **6.1.2. Líneas**

El circuito simulado cuenta con 33 líneas en su red primaria de las cuales 7 son en media tensión de calibre No.2 ACSR y 25 en baja tensión de calibre No.2 ASC y una línea del nodo (P-0) al nodo (P-1) en calibre No. 2/0 ASC para las tres fases y el neutro, para las líneas monofásicas de las acometidas se utilizó cable ASC antifraude. La tabla 6 del anexo 4 muestra el nombre de la línea utilizado en la simulación, sus puntos de conexión, el calibre y su longitud.

### **6.1.3. Cargas**

Para esta simulación, se tomaron la totalidad de las cargas activas de la red más las cargas proyectadas entre estas el cuarto frio y el acueducto, para este caso son 46 cargas que representan las viviendas de la localidad de El Naranjo (Cargas Residenciales), 7 cargas residencial-comerciales, 2 cargas comerciales, 2 cargas institucionales además del acueducto y cuarto frio. Cada acometida se simulo como un circuito monofásico a 110V a excepción de las cargas que representa el cuarto frio y acueducto; La siguiente figura muestra las curvas de demanda por tipo de carga.



**Figura 23. Curvas de demanda por carga**

Como se quiere mostrar el comportamiento de la nueva red diseñada, se realizó una simulación quasi-dinámica en donde la curva de demanda de cada carga varía hora-hora. Tanto para este caso como para Bocagrande y el Rompido para las cargas residenciales se asumió las curvas de demanda diversificada y para el resto de cargas se tomaron las curvas de demanda de las localidades calculadas por el grupo encargado de caracterizarlas dentro de la ejecución del proyecto ALTERNAR.

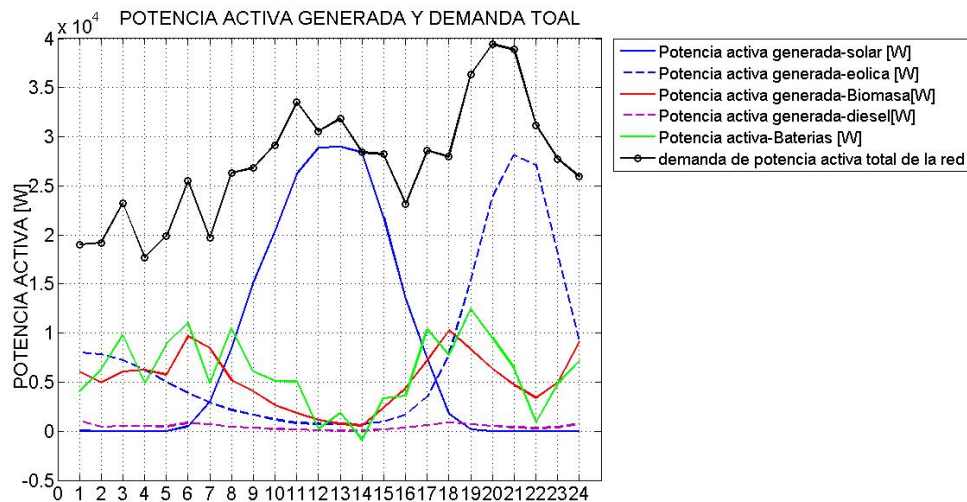
#### 6.1.4. Resultados de simulación- Flujo de potencia

Se simuló el comportamiento de la red eléctrica durante un día común, para ello se realizó variaciones de potencia en las cargas con intervalo de variación de una hora como se explicó anteriormente. Para los generadores se utilizó las curvas de generación suministradas desde el grupo encargado dentro del proyecto ALTERNAR.

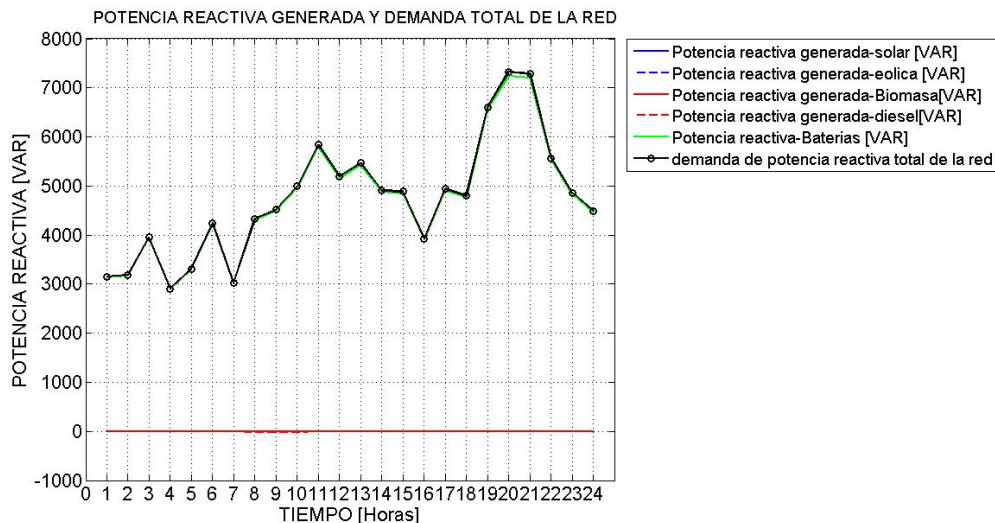
La figura 24.a muestra las curvas de generación de potencia activa que se mencionó anteriormente para cada sistema y la demanda total de las cargas para la red eléctrica de la vereda de El Naranjo. Se destaca de la gráfica que en las horas de mayor demanda, de 9 a.m. a 3 p.m. y de 7 p.m. a 10 p.m., son los sistemas de generación solar y eólico respectivamente los que aportan mayor suministro de energía para ayudar a suplir la demanda, además se observa que la potencia aportada por la planta diésel es mínima comparada con los demás generadores por lo que este puede llegar a ser subutilizada.

En verde se observa la curva característica de las baterías en la cual se puede ver que a las 14 horas presenta una potencia negativa; la cual indica que se está almacenando energía en éstas. Esto se debe a que la demanda es suplida por el generador solar y la producida por los demás generadores es almacenada.

La figura 24.b muestra las curvas de generación de potencia reactiva y la demanda de esta potencia producida por la red con un pico máximo de 7.2 KVAR aproximadamente suministrada en su totalidad por las baterías.



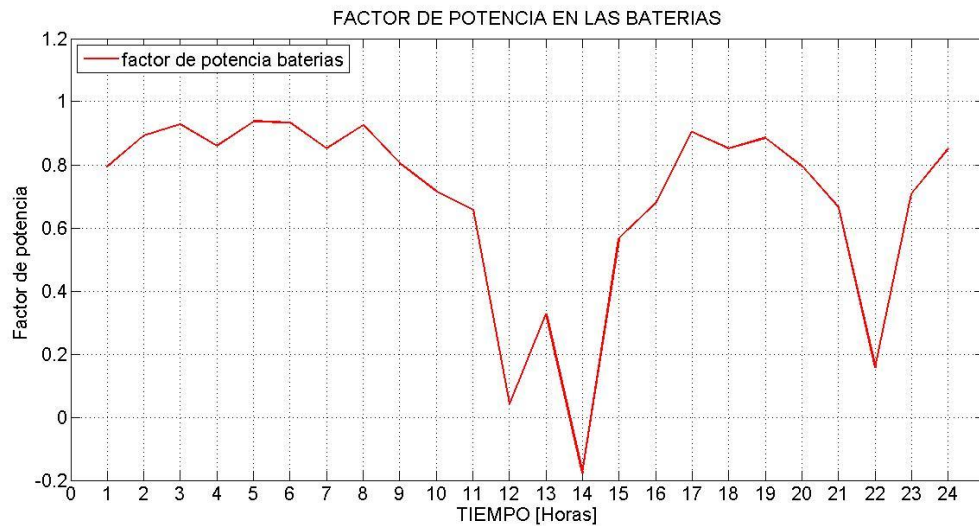
a.



b.

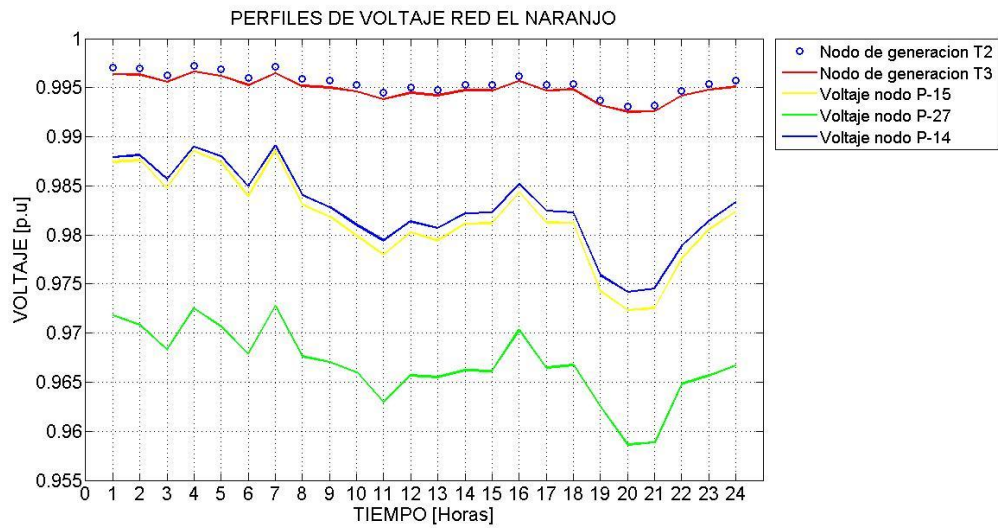
**Figura 24. Curva de demanda general a) potencia activa b) potencia reactiva**

la figura 25 indica el factor de potencia medido en el punto de generación, para efectos de simulación se utilizó las baterías como el generador de referencia, se observa en la figura 24.a como la potencia activa suministrada por las baterías entre las 8 y las 17 horas empieza a disminuir y la potencia reactiva se mantiene (figura 24.b, esto repercute en el factor de potencia presentado por el inversor que controla a las batería como se observa en la figura 25 llegando hacer incluso negativo (Carácter Capacitivo) a las 14 horas en la cual las baterías almacenan energía restante.

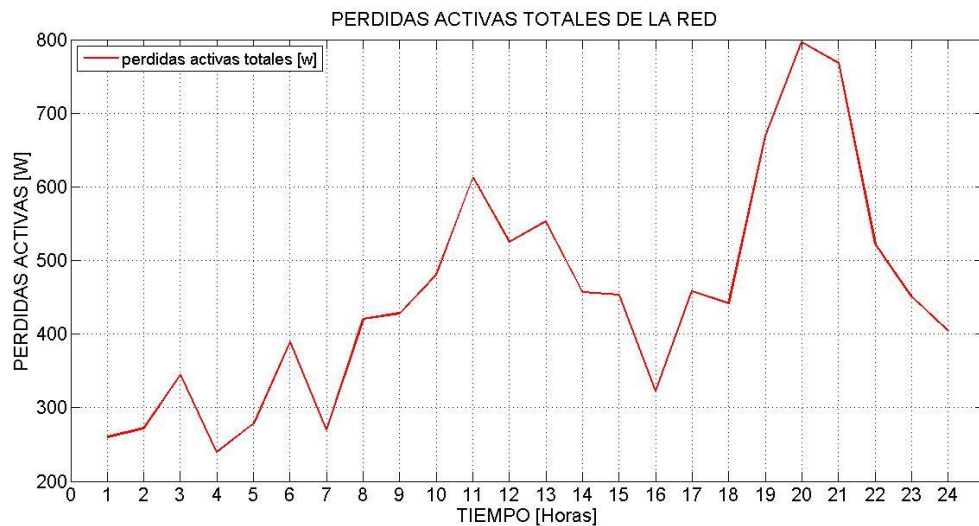


**Figura 25. Factor de potencia**

La figura 26 presenta el perfil de voltajes en los nodos más críticos así como en los nodos donde se ubican los transformadores reductores. Los nodos con mayor caída de tensión no supera los 0.955 [p.u] por lo que no se consideran nodos inestables como lo establece la norma [15].



**Figura 26. Perfiles de voltaje en nodos críticos**

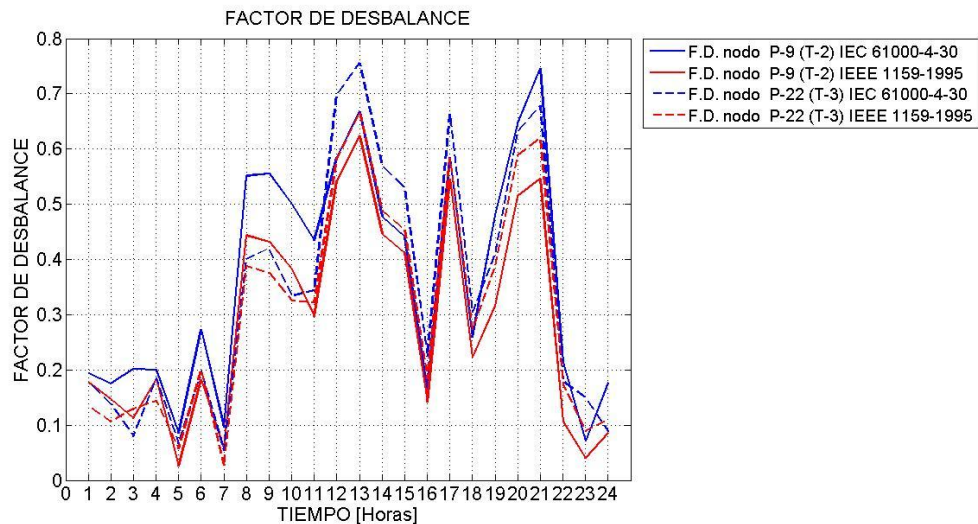


**Figura 27. Pérdidas activas totales**

Por otra parte, la figura 27 muestra los valores de pérdidas que se presentan en la red eléctrica, el valor máximo de pérdidas activas totales esta alrededor de 800 W, lo que representa el 1.98 %.

La figura 28 indica el factor de desbalance presente en la red; de acuerdo a la normativa, este se debe medirse en los puntos de acople común, para la red eléctrica de El Naranjo este punto está ubicado el nodo P-1 MT pero también se lo proyecto a los bornes de baja tensión P-22 BT Y P-9 BT de los transformadores reductores.

El índice de desbalance para la red de El Naranjo en el nodo acople común P-1 MT, según las dos normativas [15] [16], está alrededor del 0.65% para los picos máximos, y para el nodo P-22 y P-9 de baja tensión, figura 28, los picos máximos no superan los 0.75 % siendo mayor el desbalance en P-9 BT del transformador 2, por lo cual cumple con los criterios establecidos en la sección 2.1.4 para la red actual.

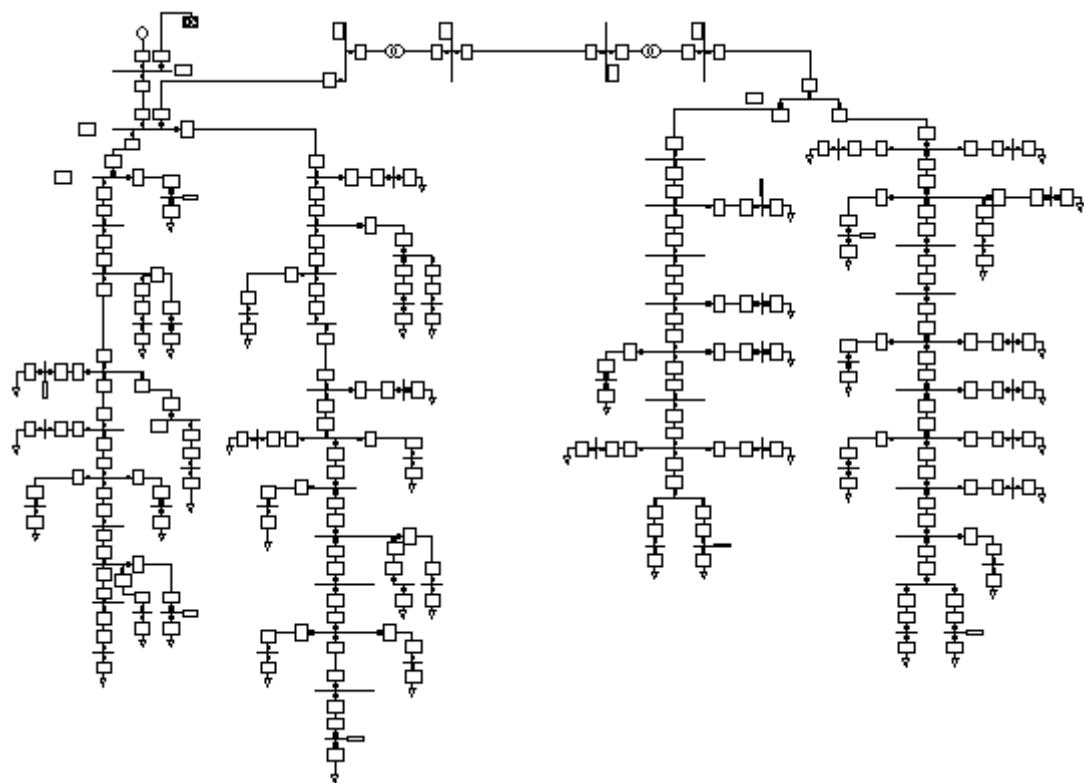


**Figura 28. Factor de desbalance en nodos de baja tensión**

En las tablas del anexo 5 se puede consultar la repartición de fases que se realizó para lograr un factor de desbalance que se encuentre en el rango óptimo de la norma [15] y [16]

## 6.2. Simulación red eléctrica Bocagrande-El Rompido

La figura 29, muestra la topología de la red eléctrica rediseñada para las veredas Bocagrande-rompido montada en el software Digsilent 15.1. Esta estructura mantiene las características planteadas en el rediseño, es decir, la red primaria en ambas veredas se maneja trifásica en baja tensión y media tensión para realizar la interconexión de estas para lo cual se hizo uso de dos transformadores, las acometidas son de carácter monofásico asignado las cargas correspondientes a cada fase de forma balanceada. Se contemplan las cargas de tipo residencial, comercial-residencial e institucional así como la demanda de dos hoteles, cuarto frío y acueducto.



**Figura 29. Circuito eléctrico simulado para la vereda Bocagrande (rediseño).**

Este montaje, emula la existencia de una red eléctrica manejada por un operador de red proponiendo además la inclusión de un generador a base de biomasa que interactúa de manera dinámica con la red principal.

### **6.2.1. Descripción Buses de carga y Generación**

El sistema eléctrico de Bocagrande-El rompido esta alimentado por un gasificador trifásico de 20KW con un voltaje de salida de 208-120V además de la conexión a un sistema eléctrico externo como se expresó anteriormente. El punto de generación o suministro de energía se hace desde Bocagrande y mediante una interconexión en media tensión se alimenta a la red eléctrica del Rompido. El gasificador fue tomado en simulación como un generador síncrono para mantener la naturaleza del mismo el cual se sincroniza con la red tanto en voltaje como en frecuencia. La red está conformada por 45 nodos en baja tensión incluidos los de la vereda El Rompido y 2 nodos en media tensión. La tabla 7 del anexo 4 muestra detalladamente la designación de cada nodo en el software de simulación con su respectivo nivel de voltaje.

### 6.2.2. Líneas

El circuito simulado cuenta con 44 líneas en su red primaria de las cuales 1 es en media tensión de calibre No.1/0 ACSR. La red principal de Bocagrande está conformada por 24 líneas en baja tensión dos de ellas en calibre No.2/0 ASC y el resto en calibre No.1/0 ASC para las tres fases y el neutro, La red principal del rompido está conformada por 19 líneas en baja tensión 6 de ellas en calibre No.2/0 ASC y el resto en calibre No.1/0 ASC para las tres fases y el neutro. Para las líneas monofásicas de las acometidas se utilizó ASC antifraude en las redes de ambas veredas. La tabla 8 del anexo 4 muestra el nombre de la línea utilizado en la simulación, sus puntos de conexión, el calibre y su longitud.

### 6.2.3. Cargas

Para esta simulación, se tomaron la totalidad de las cargas activas de la red más las cargas proyectadas entre estas el cuarto frio, acueducto y dos hoteles, para este caso son 35 cargas que representan las viviendas de la localidad de Bocagrande y el Rompido (Cargas Residenciales), 4 cargas residencial-comercial, 3 comercial-institucional, 2 hoteles además del acueducto y cuarto frio, este último y los dos hoteles se consideraron como carga trifásica el resto de acometidas se simulo como un circuito monofásico a 120V; la siguiente grafica muestra la curva de demanda diaria para cada tipo de carga.

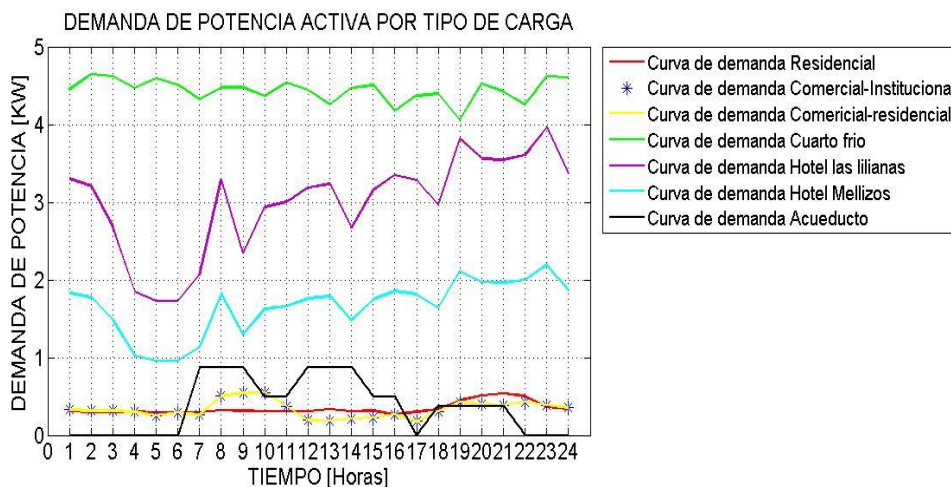


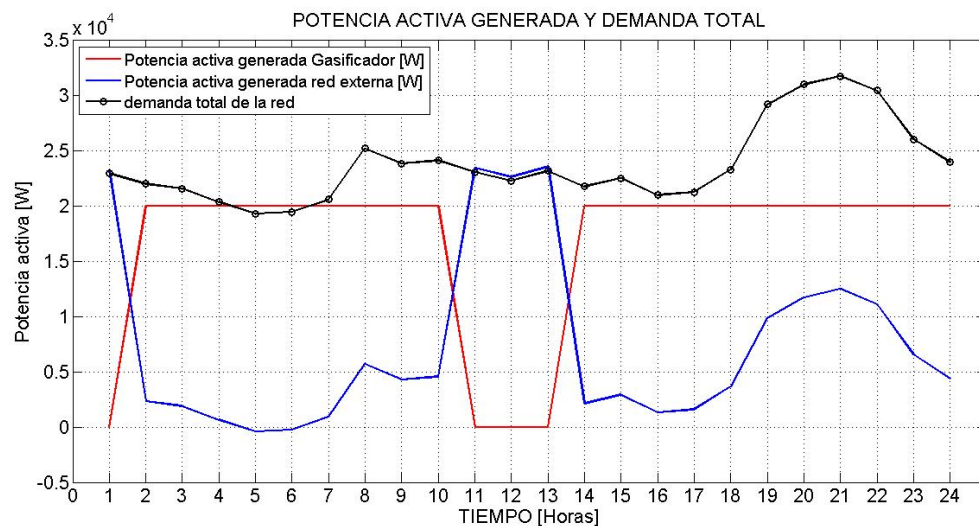
Figura 30. Curva de demanda por tipo de carga

#### 6.2.4. Resultados de simulación- Flujo de potencia

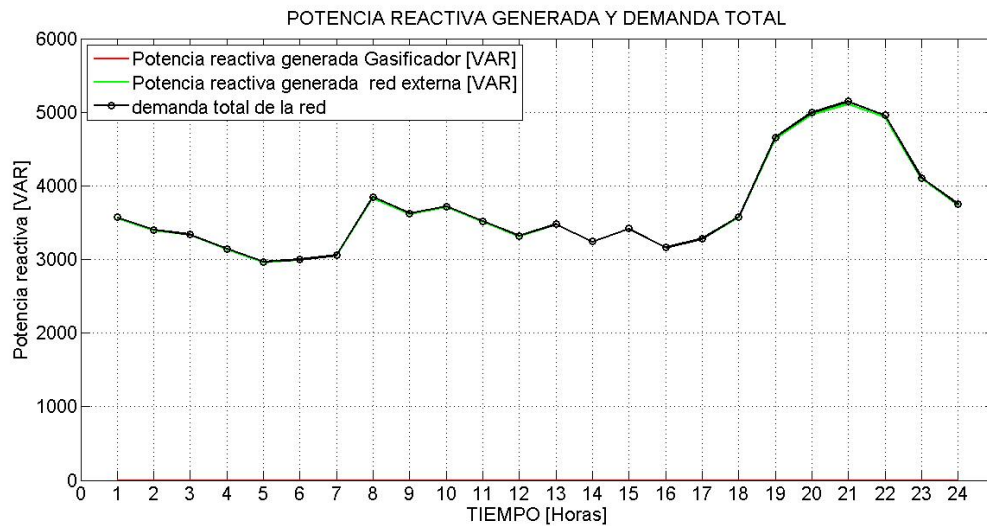
Para esta simulación, se realizó el flujo de potencia llevando a cabo una simulación quasi-dinámica de la cargas. Siguiendo la misma metodología para el análisis de resultados de El Naranjo.

En la figura 31.(a) se observa en color rojo (línea continua) la potencia activa total generada por el gasificador y en color azul (línea continua) la potencia activa total generada por la red externa y en color negro la demanda total de las cargas. El gasificador el cual es encendido entre la 1 y las 2 horas entrega energía el 79% del día, el 21% restante este se encuentra inactivo; en el intervalo de las 11 a las 13 horas la inactividad del generador se debe a la limpieza de este, aquí la potencia para suplir la demanda debe ser entregada en su totalidad por la red externa al igual que entre las 1 y 2 horas. En el pico mínimo de demanda, entre las 4 y 7 horas, la potencia suministrada es entregada por el gasificador siendo en este caso nula la potencia proveniente de la red externa.

La figura 31. (b) muestra la potencia reactiva generada y la demanda de esta la cual presenta un pico máximo aproximado de 5100 [VAR] el cual es suplido en su totalidad por la red externa. Para efectos de simulación se utiliza la red externa como el generador de referencia.



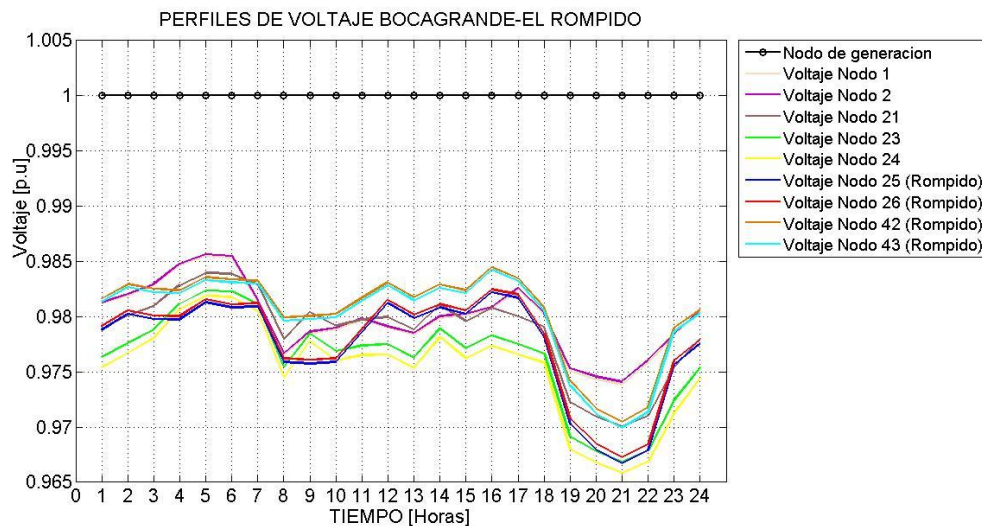
a.



b.

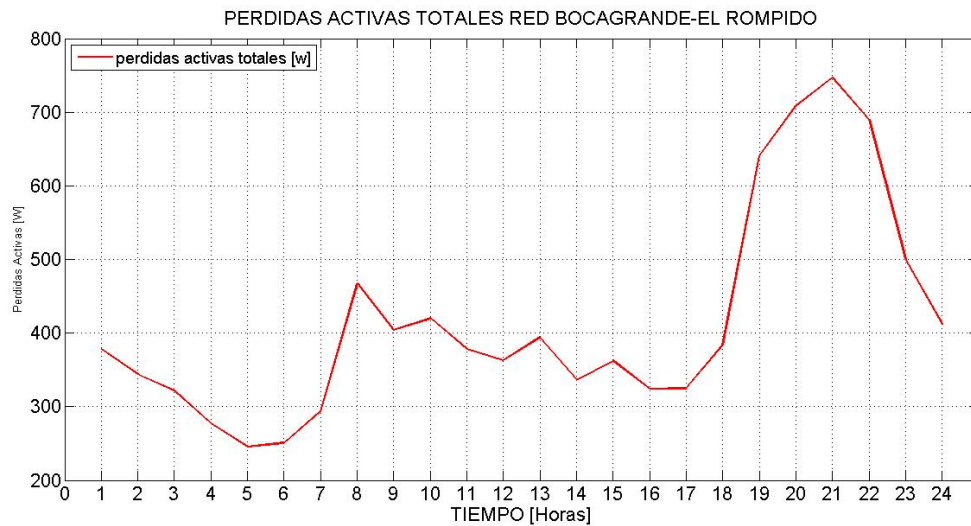
**Figura 31. Curva de demanda general a) potencia activa b) potencia reactiva**

La figura 32 presenta el perfil de voltajes en los nodos más críticos y en el nodo de generación. En la gráfica se observa que para los nodos más críticos no existen caídas de tensión mayores al 0.965 [p.u], por lo que cumple con lo establecido en [15].



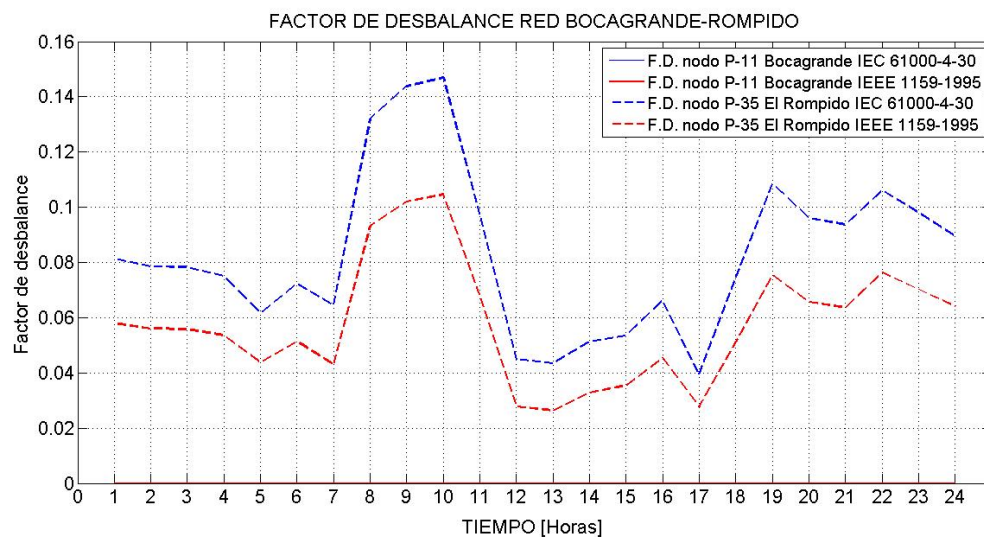
**Figura 32. Perfil de voltajes en nodos críticos**

Por su parte la figura 33 indica la curva de pérdidas activas cuyo valor pico esta alrededor de 720 W, que representa el 2.3 %.



**Figura 33. Pérdidas activas totales de la red**

La figura 34 muestra el factor de desbalance para la red, obtenido mediante las formulas planteadas en las normas IEC-61000-4-30 [16] he IEEE 1159-2009 [15] las cuales fueron explicadas en secciones anteriores. De acuerdo a la normativa, este se debe medir en los puntos de acople común, para la red eléctrica de Bocagrande este punto está ubicado el nodo P-11 el cual es el nodo de generación de esta, y para el rompido se lo proyecto a los bornes de baja tensión (P-35) de la interconexión con Bocagrande. Como se observa en la gráfica el factor de desbalance es mayor en el nodo P-35 de la red El Rompido, sin embargo los valores en los cuales se encuentra este intervalo está dentro del rango establecido en las normas ya mencionadas.



**Figura 34. Factor de desbalance**

### **6.3. Estudios de casos**

A continuación se describe brevemente cada uno de los casos. En el anexo 7 se hace un estudio detallado de cada caso analizado así como los resultados de simulación de estos para cada una de las redes.

#### **6.3.1. Red eléctrica de El Naranjo**

##### **6.3.1.1 Caso 0: Red actual**

Para este caso de estudio se realizó la simulación de la nueva red diseñada pero considerando solo las cargas existentes en la actualidad, es decir se eliminan las cargas proyectadas tanto residenciales, comerciales, institucionales, así como el cuarto frío y acueducto, pero se mantienen los perfiles de generación.

Debido a que las baterías a través de su inversor suministrar la potencia reactiva que el sistema requiere e inyectar la potencia activa producida en exceso por los demás generadores a las baterías, se produce un proceso de regeneración originando un factor de potencia capacitivo, que en muchos casos podría ser perjudicial para el sistema. Este fenómeno se observa en la figura 4 Anexo 7.

Con la distribución de fases hecha para la red eléctrica de El Naranjo y al eliminar las cargas proyectadas se genera un factor de desbalance en los nodos P-9 y P-22 de baja tensión superiores a los límites establecidos en las normas IEC-61000-4-30 [16] e IEEE 1159-2009 [15], esta situación se muestra en la figura 5 Anexo 7. Por esta razón se recomienda adoptar una distribución más apropiada para los primeros años del proyecto una vez se implemente. Dicha repartición se muestra en la tabla 1 anexo 7.

##### **6.3.1.2 Caso 1: Inclusión de un hotel**

Para el estudio de este caso se incluyó una carga que representa la demanda de un hotel, esta se ubicó en el nodo P-14 BT. La carga se simuló como trifásica balanceada con una acometida de 15 metros; para efectos de simulación se tomó la demanda del hotel las lilianas de Bocagrande, con esto se corrió el flujo de potencia obteniendo un aumento en la demanda de potencia activa total de aproximadamente 12.3 % en su pico máximo y de 31 % en las pérdidas activas, lo que ocasiona una mejora en el factor de potencia.

### **6.3.1.3 Caso 2: Aumento de 30% en todas las cargas**

Para el análisis del flujo de potencia de este caso se aumentó en 30% la curva de demanda de todas las carga provocando un aumento de 75% en las pérdidas activas totales de la red con respecto a la red original. El aumento en la demanda obliga a las baterías a entregar más potencia activa esto hace que el factor de potencia de estas mejore notoriamente en los puntos máximos de generación de las fuentes renovables (sol-viento), como se observar en la figura 12 del anexo 7, cerca del 60% del día el factor de potencia se mantiene con valores encima de 0.9 y las 24 horas es de carácter inductivo.

Este aumento en la carga lleva a un aumento en el porcentaje de cargabilidad de los transformadores siendo mayor en el transformador T3, el cual tiene su pico máximo de 110% a las 20 horas. De acuerdo a la norma “diseño y construcción de sistemas de distribución eléctricos” de Cedenar S.A. E.S.P [1]. El porcentaje máximo óptimo de cargabilidad para un transformador de 30 KVA está en 110% es decir el transformador T3 se encuentra cerca de este límite pero no lo supera por lo que no supondría un problema para este.

## **6.3.2. Red eléctrica Bocagrande**

### **6.3.2.1 Caso 1: Red externa queda inactiva**

Para este caso de estudio se analiza el comportamiento de la red eléctrica de Bocagrande- El Rompido cuando la red eléctrica externa se encuentra inactiva.

Al quitar el suministro de energía de la red eléctrica externa la potencia suplida por el gasificador es insuficiente para satisfacer la demanda, por esta razón es necesario la inclusión del generador diésel para que en conjunto con el gasificador se pueda satisfacer la demanda, figura 22.a anexo 7.

## 7. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Finalmente se realizó el presupuesto para cada uno de los rediseños propuestos en este documento comenzando por un análisis de precios unitarios (A.P.U.), el cual consiste en desagregar cada actividad del presupuesto en recursos, cantidades y rendimientos necesarios para obtener físicamente una actividad por unidad de medida, en él se tiene en cuenta costos directos como transporte, materiales, mano de obra entre otros, se utilizó la tabla salarial de Colciencias proyectada para el 2018 para los salarios de mano de obra, equipos, herramientas y transporte, finalmente se realizaron cotizaciones de los materiales necesarios en la empresa UNIFORCE, con estos datos se procedió a calcular el presupuesto final de cada uno de los proyectos, así como su respectivo cronograma.

En las tablas 19 20 y 21 se muestra un resumen del presupuesto final para cada uno de los diseños propuestos, para consultar a más detalle además de su respectivo cronograma remitirse al anexo 8 para los diseños generales y al anexo 9 para el diseño de iluminación.

**Tabla 20. Resumen de costos Vereda El Naranjo**

| <b>RESUMEN DE COSTOS VEREDA EL NARANJO</b> |                      |
|--------------------------------------------|----------------------|
| RED DE BAJA TENSION                        | \$177'882'388        |
| TRANSFORMACION                             | \$42'842'577         |
| RED DE MEDIA TENSION                       | \$63'028'602         |
| GRUPO ELECTROGENO                          | \$31'113'780         |
| <b>COSTOS DIRECTOS</b>                     | <b>\$314'867'347</b> |
| ADMINISTRACIÓN                             | \$47'230'102         |
| IMPREVISTOS                                | \$31'486'735         |
| UTILIDAD                                   | \$15'743'367         |
| IVA SOBRE LA UTILIDAD                      | \$2'518'939          |
| <b>COSTOS INDIRECTOS</b>                   | <b>\$96'979'143</b>  |
| CERTIFICACION RETIE                        | \$3'148'673          |
| PROYECTO Y APROBACION CEDENAR              | \$3'148'673          |
| <b>TOTAL PROYECTO</b>                      | <b>\$418'143'836</b> |
| <i>Fuente: Esta investigación</i>          |                      |

**Tabla 21. Resumen de costos Vereda Bocagrande – El Rompido**

| <b>RESUMEN DE COSTOS VEREDA BOCAGRANDE EL ROMPIDO</b> |                      |
|-------------------------------------------------------|----------------------|
| RED DE BAJA TENSION                                   | \$ 31'751'795        |
| TRANSFORMACION                                        | \$ 19'051'983        |
| RED DE MEDIA TENSION                                  | \$ 82'284'418        |
| GRUPO ELECTROGENO                                     | \$ 16'619'609        |
| <b>COSTOS DIRECTOS</b>                                | <b>\$435'707'805</b> |
| ADMINISTRACIÓN                                        | \$65'356'171         |
| IMPREVISTOS                                           | \$43'570'781         |
| UTILIDAD                                              | \$21'785'390         |
| IVA SOBRE LA UTILIDAD                                 | \$3'485'662          |
| <b>COSTOS INDIRECTOS</b>                              | <b>\$134'198'004</b> |
| CERTIFICACION RETIE                                   | \$4'357'078          |
| PROYECTO Y APROBACION CEDENAR                         | \$4'357'078          |
| <b>TOTAL PROYECTO</b>                                 | <b>\$578'619'966</b> |
| <i>Fuente: Esta investigación</i>                     |                      |

**Tabla 22. Resumen de costos iluminación Vereda El Naranjo**

| <b>RESUMEN DE COSTOS ILUMINACIÓN VEREDA EL NARANJO</b> |                      |
|--------------------------------------------------------|----------------------|
| MONTAJE LUMINARIAS                                     | \$60'182'108         |
| VESTIDA / ARMADA POSTES                                | \$5'681'938          |
| APOYOS                                                 | \$15'352'584         |
| CIMENTACION                                            | \$26'408'668         |
| TABLEROS DE CONTROL ELECTRICO                          | \$10'622'898         |
| TENDIDO RED                                            | \$5'938'948          |
| SISTEMA SOLAR                                          | \$138'281'237        |
| <b>COSTOS DIRECTOS</b>                                 | <b>\$262'468'381</b> |
| ADMINISTRACIÓN                                         | \$39'370'257         |
| IMPREVISTOS                                            | \$26'246'838         |
| UTILIDAD                                               | \$13'123'419         |
| IVA SOBRE LA UTILIDAD                                  | \$2'099'747          |
| <b>COSTOS INDIRECTOS</b>                               | <b>\$80'840'261</b>  |
| CERTIFICACION RETIE                                    | \$2'624'684          |
| PROYECTO Y APROPACION CEDENAR                          | \$2'624'684          |
| <b>TOTAL PROYECTO</b>                                  | <b>\$348'558'010</b> |
| <i>Fuente: Esta investigación</i>                      |                      |

## **8. METODOLOGÍA PARA EL REDISEÑO DE REDES ELÉCTRICAS**

En esta sección se plantea como producto final, una metodología que puede servir de guía para el diseño de redes eléctricas, en las cuales se involucra generación distribuida con fuentes no convencionales de energía.

### **8.1. Levantamiento y Diagnóstico de la red eléctrica**

Como primera etapa, se debe realizar el levantamiento de la red eléctrica en la zona a impactar, en donde se involucren parámetros importantes como alimentación principal, topología, cableado, carga instalada y estructuras de soporte de media y baja tensión. Para el levantamiento de la red en las localidades escogidas se utilizó para este proyecto la metodología descrita en [10].

Recolectada esta información, se procede a realizar un diagnóstico actual de la red eléctrica, comenzando para ello en estimar una demanda máxima diversificada DMD con el fin de determinar un consumo de energía para un número de usuarios. Para las poblaciones de El Naranjo y Bocagrande, consideradas zonas no interconectadas, se utilizó la tabla de DMD de CEDENAR S.A E.S. P [1], pero se la acoplo de acuerdo a la demanda máxima registrada en las mediciones realizadas en salidas de campo, ejecutadas por el proyecto ALTERNAR, estos valores se registran en la tabla 1 de este documento, para zonas que cuentan con 4 a 5 horas de servicio de energía. Para zonas que cuentan con 24 horas de servicio se utiliza la tabla 4.

Una vez establecida la tabla de DMD, se deben realizar cálculos de regulación y pérdidas de acuerdo a la metodología aplicada por la empresa CEDENAR en su norma técnica [1]. Finalmente se evalúa estos valores de acuerdo a la norma y se determina las anomalías presentes en la red eléctrica.

### **8.2. Dimensionamiento de la red eléctrica**

En esta etapa se debe realizar una estimación de la demanda para las zonas a impactar, para ello se realiza una caracterización de la demanda la cual debe incluir, las características socioeconómicas y de consumo particulares de la zona a impactar. Si se cuenta con información de la curva de carga con perfil horario promedio mensual de un año de la demanda, no es necesario realizar el proceso de caracterización.

Para determinar la caracterización de la demanda los datos requeridos son:

- Conocer si la zona a impactar requiere una energización total o parcial, esto depende de las necesidades particulares de esta.
- Es necesario incluir en la demanda el ingreso de nuevos proyectos productivos en caso de existir factibilidad de crearlos, sin sobredimensionamientos o carencias. Además, analizar si algún sector (Comercial, Comunitario y Alumbrado público y Pequeña Industria y agroindustrial) podría ingresar una vez se logre la energización y cuál sería su aporte a la curva de carga de la localidad promedio mensual.

Por otra parte en Colombia la unidad de planeación minero energética, Ha desarrollado mapas de generación. Sin embargo si la información disponible no es suficiente, se recomienda hacer estudios de potencial energético en la zona a impactar para conocer las soluciones más viables con fuentes no convencionales de energía.

Una vez realizados estos estudios, se procede a realizar un análisis del dimensionamiento adecuado para la zona a impactar, para ello, existen diferentes herramientas entre la cual se destaca HOMER, la cual permite la simulación y optimización técnico económica de soluciones energéticas híbridas incorporando fuentes no convencionales de energía como solar, eólica y biomasa especialmente para sistemas aislados como son las ZNI.

### **8.3. Sincronización de la red eléctrica**

Establecidas las soluciones de generación, se procede a realizar un análisis de los equipos o tecnologías disponibles en el mercado, las cuales permitan una correcta sincronización de los generadores a implementar en la red, una vez definidos estos parámetros, se realiza su respectivo control mediante la creación de una sala de máquinas, en donde se almacenarán los equipos necesarios utilizados por las diferentes fuentes de energía, tales como paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, generadores diésel, entre otros, teniendo en cuenta consideraciones de ventilación de equipos, manipulación y mantenimiento de equipos por personal capacitado, además de realizar cálculos adecuados de calibres y protecciones para las acometidas del gabinete de control.

Para el la interconexión de generación distribuida con sistemas de energía eléctrica, el estándar IEEE 1547, establece las especificaciones técnicas y los requerimientos

para poder realizar la interconexión, sin embargo el alcance de este proyecto no contempla la aplicación de este estándar.

Para las obras civiles de adecuación de la sala de máquinas, según se requiera, esta se realizará por medio de un contratista el cual suministrara los planos y especificaciones para una correcta instalación de acuerdo con el objetivo que se persigue.

#### **8.4. Ubicación de los generadores**

Para esta etapa se debe analizar los lugares disponibles para la instalación de los generadores, teniendo en cuenta que las zonas de ubicación sean aptas y cumplan requisitos tales como:

- Estudio de suelos que garanticen la estabilidad de este.
- Garantizar la correcta operación de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores, es decir, que no existan obstáculos que interfieran en la correcta operación de los mismos. Para el caso de los aerogeneradores, estos deben disponer de una distancia adecuada entre ellos de tal manera que no se interfieran entre si desde el punto de vista aerodinámico, y para optimizar el uso del terreno disponible en función de la exposición al viento.

#### **8.5. Rediseño de la red eléctrica**

Definido el diagnóstico actual de la red eléctrica y el dimensionamiento de la demanda, se realiza el nuevo diseño de la red eléctrica para lo cual se debe tener en cuenta:

- Cálculo de la nueva demanda máxima diversificada, ya que esta varía debido a la proyección estimada de la demanda de las cargas.
- Estimación de cargas futuras, en donde se tiene en cuenta el crecimiento poblacional, empresarial y productivo a una proyección no inferior a 15 años.

Una vez definida la demanda y las cargas futuras de la red, se procede a definir los tipos de conductores a utilizar, para realizar una comprobación de la caída de tensión y pérdidas de potencia de la red eléctrica con dichos conductores, las cual deben cumplir con los valores establecidos en las normas Norma ICONTEC NTC

2050 [3], el Reglamento Técnico de instalaciones Eléctricas (RETIE) [2] y las Normas de diseño y construcción de sistemas de distribución eléctricos de CEDENAR S.A. ESP [1].

Finalmente, se debe realizar el cálculo de la capacidad de los transformadores a instalar, el cálculo de protecciones y una repartición general de las fases de los transformadores para garantizar un balance adecuado de la red.

## **9. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES**

Con los resultados y productos entregados en esta investigación, se destaca que los procesos de levantamiento de redes eléctricas, su diagnóstico, así como el diseño propuesto y las diferentes simulaciones ofrecen un estudio detallado centrado en el proceso de diseño de nuevas redes eléctricas, cumpliendo con los objetivos propuestos en el trabajo de grado y aportando significativamente en el desarrollo de los objetivos del proyecto Análisis de oportunidades con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño.

El levantamiento de las redes eléctricas de las dos localidades se llevó a cabo con éxito a pesar de contar con inconvenientes durante su desarrollo, como la falta de energía en el municipio de Mosquera que dificultó la toma de mediciones de consumo en esta localidad, por lo que se tuvo que tomar en cuenta mediciones realizadas anteriormente.

Al realizar el levantamiento de las redes eléctricas de las localidades se pudo observar que la red se encontraba en mal estado. Realizando el diagnóstico respectivo existente se encontró que el sistema no cumplía con los porcentajes de regulación de voltajes y pérdidas exigidos por norma, por lo que se hace necesario que este sea sustituido por un nuevo diseño que se ajuste a la normativa vigente.

En el rediseño de las redes eléctricas se tuvo en cuenta como criterio principal la adecuada selección de conductores, contemplándose paso a paso las exigencias de las normativas vigentes, permitiendo el cumplimiento de parámetros de regulación de voltaje y pérdidas de potencia, asegurando así un servicio eficiente, seguro y confiable.

El empleo de postes metálicos y el uso de cable trenzado fue indispensable en el proyecto, a pesar de tener un costo mayor, los postes metálicos solucionan el problema a corrosión y hongos que presentan los postes actuales de madera, además se debe contemplar que las zonas a impactar son de difícil acceso por lo que se debe tener en cuenta el transporte de los materiales, por otra parte, el cable trenzado permite dar solución a los problemas de regulación que se tenía con la red abierta.

Se vio la necesidad de realizar un cálculo adecuado de la demanda máxima diversificada para los usuarios, ya que las demandas consultadas de diferentes electrificadoras nacionales diferenciaban entre usuario rural y usuarios de estrato 1 o 2, por lo que se determinó acoplar la tabla de demanda máxima diversificada de

CEDENAR de acuerdo a la demanda máxima registrada en las mediciones realizadas en salidas de campo ejecutadas por el proyecto ALTERNAR.

Para el nuevo diseño de la vereda El Naranjo se planteó como primera posible solución un cambio de red abierta por un conductor trenzado utilizando el máximo calibre permitido, aunque los valores de regulación mejoraron quedaban al límite de los permitidos y su costo de inversión es menor, se vio la necesidad de dividir la red utilizando tres transformadores y empleando conductor trenzado el cual se ajusta mejor a la demanda de la red, sin embargo, la inversión económica es mayor.

Se concluye que la red eléctrica simulada mantiene un comportamiento similar a la red real lo que permitió validar los resultados obtenidos mediante los cálculos de regulación y pérdidas planteados en la normativa de CEDENAR S.A. Además, el software de simulación permite observar variaciones que surgen en la red con la inclusión de generación distribuida con lo cual se pudo analizar los diferentes casos de estudio de situaciones que se pueden presentar.

## 10.BIBLIOGRAFÍA

- [1] Centrales eléctricas de Nariño S.A. E.S.P., *Normas de diseño y construcción de sistemas de distribución eléctricos de CEDENAR S.A. E.S.P.*, San Juan de Pasto, 2010.
- [2] Departamento Nacional de Planeación., *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE.*, Bogotá. D.C.: Unidad de Planeación Minero Energética., 2006.
- [3] Norma Técnica Colombiana, *Código Eléctrico Colombiano*, Bogotá. D.C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998.
- [4] S. Ramirez Castaño , *Redes de Distribución de Energía*, Tercera ed., Manizales: Centro de Publicaciones Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, 2004.
- [5] Central Hidroeléctrica De Caldas S.A. E.S.P., *Manual De Normas De Diseño Y Construcción*, Manizales, 2016.
- [6] El Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas. IPSE, *Criterios de planificación y diseño de sistemas de distribución de las zonas no interconectadas (ZNI) del país.*, Bogotá. D.C., 2002.
- [7] CODENSA S.A. ESP, *Norma técnica diseño y construcción- Carga Maxima para sector Residencial*, Bogotá D.C. , 2010.
- [8] J. D. R. Llanos Proaño, *Método para la Generación de Perfiles de Demanda en Comunidades Aisladas y Predicción de Demanda de Corto Plazo, para Micro-redes Basadas en Energías Renovables*, Santiago de Chile: Departamento De Ingeniería Eléctrica, Universidad de Chile, Enero de 2009.
- [9] Alternar, «Alternar,» Universidad de Nariño, 2015. [En línea]. Available: <http://190.254.4.127:90/alternar/index.php/noticias/30-investigadores-de-alternar-realizaron-estudios-de-estimacion-de-demanda-energetica-y-analisis-de-biomasa-en-zonas-no-interconectadas-zni-de-la-costa-pacifica-de-narino>. [Último acceso: 19 Febrero 2016].
- [10] D. A. Andrade Rosero, «Levantamiento, análisis y diagnóstico de la red eléctrica actual de la Universidad de Nariño como base de una microred,» Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, 2015.
- [11] Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A. E.S.P, *Norma técnica diseño y construcción de Sistemas de Distribución*, Cucuta, 2013.
- [12] Empresa Pública de Medellín. EPM, *Criterios de diseño de la red de electrificación rural*, Medellín, 2009.
- [13] Electrificadora Santander S.A. E.S.P, *Norma para cálculo y diseño de sistemas de distribución de la electrificadora de santander s.a esp - criterios técnicos para las instalaciones eléctricas rurales*, Bucaramanga, 2014.

- [14] Compañía Energética del Tolima S.A E.S.P, *Criterios de diseño y normas para construcción de instalaciones de distribución y uso final de la energía*, Ibagué, 2011.
- [15] Institute of Electrical and Electronics Engineers IEEE., «IEEE Std. 1159-Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.,» vol. 2009, 2009.
- [16] International Electrotechnical Commission., «Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods.,» *electromagnetic compatibility (EMC)*, pp. 4-30.
- [17] G. Casaravilla y V. Echinope, «Desbalances - Estudio de alternativas para su estimación,» 2005.
- [18] M. A. de Armas Teyra, J. R. Gomez Sarduy , P. R. Viego Felipe y C. Perez Tello , «Análisis de sistema de potencia desbalanceado con el empleo de herramientas estadísticas, coeficientes complejos y redes neuronales artificiales,» *Energética* , vol. XXIX, nº 1, pp. 9-14, 2008.
- [19] CODENSA S.A E.S.P, «Normas de construcción redes aéreas urbanas de distribución,» Bogotá, 2009.
- [20] CODENSA S.A. E.S.P, «Norma Técnica Centros de transformación para redes aéreas urbanas y rurales,» Bogotá D.C., 2015.
- [21] B. Bravo Velásquez , *Estrategia de gestión de energía con respuesta de la demanda para una micro-red aislada del pacífico nariñense*, San Juan de Pasto: ALTERNAR, 2016.
- [22] Ministerio de Minas y Energía de Colombia, «REGLAMENTO TÉCNICO DE ILUMINACIÓN Y ALUMBRADO PÚBLICO RETILAP,» Bogotá, 2010.
- [23] A. R. Hernández, *La generación distribuida y su posible integración al sistema interconectado nacional*, Bogotá, DC: Comisión de regulación de energía y gas, Noviembre 2009.

## **11.ANEXOS**

Estos archivos se presentan en medio magnético en un archivo externo llamado anexos que está subdividido por carpetas correspondientes a los nombres adoptados en este documento.

### **ANEXO 1. ESQUEMAS ELÉCTRICOS REDES ACTUALES**

En la carpeta Anexo 1, se encuentran dos subcarpetas en donde se ubican los esquemas tanto del plano general y de los diagramas de regulación actuales de las veredas El Naranjo y Bocagrande.

### **ANEXO 2. ESQUEMAS ELÉCTRICOS PROPUESTOS PARA EL REDISEÑO**

En la carpeta anexo 2, se encuentran dos subcarpetas en donde se ubican los esquemas tanto del plano general y de los diagramas de regulación propuestos para el rediseño eléctrico de las veredas El Naranjo y Bocagrande.

### **ANEXO 3. TOPOLOGÍA EN SIMULACIÓN DE LAS REDES ELÉCTRICAS**

La carpeta Anexo 3 se encuentra las topologías de simulación para redes eléctricas de El Naranjo y Bocagrande actuales y rediseñadas.

### **ANEXO 4. DESCRIPCIÓN DE BUSES DE CARGA, GENERACIÓN Y LÍNEAS EN SIMULACIÓN**

La carpeta Anexo 4, se encuentra la descripción de buses de carga y generación además de detalles de las líneas utilizadas en las simulaciones.

### **ANEXO 5. DISTRIBUCIÓN DE CARGAS PARA BALANCE DE LAS REDES**

La carpeta Anexo 5, contiene dos archivos PDF en donde se presenta las cargas futuras de las veredas El Naranjo y Bocagrande, así como la repartición de las cargas para las dos localidades con las características de las acometidas de cada carga.

### **ANEXO 6. ESQUEMA ELÉCTRICO SALA DE MAQUINAS**

El anexo 6, presenta un archivo PDF con el plano del esquema eléctrico de conexión de sala de maquinas

### **ANEXO 7. CASOS DE ESTUDIO EN SIMULACIÓN**

En el anexo 7, se encuentra un archivo PDF el cual contiene un informe detallado de los casos de estudio analizados para las redes de El Naranjo y Bocagrande.

### **ANEXO 8. PRESUPUESTO DEL PROYECTO**

En el anexo 8, se encuentra un archivo EXCEL con información detallada con el presupuesto del proyecto así como su respectivo cronograma

### **ANEXO 9. PRESUPUESTO DE ILUMINACIÓN**

En el anexo 9, se encuentra un archivo EXCEL con información detallada con el presupuesto para iluminación de la vereda El Naranjo, además de su respectivo cronograma