

**ESTRUCTURACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA:
NORTE DE SANTANDER**

LAURA TATIANA MEJIA SANTANDER

YULIET CONSUELO PLATA SALAS

JULIAN DANILO SANTOS HERNANDEZ



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS

**ESCUELAS DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

BUCARAMANGA

2013

ESTRUCTURACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA:
NORTE DE SANTANDER

LAURA TATIANA MEJIA SANTANDER

YULIET CONSUELO PLATA SALAS

JULIAN DANILO SANTOS HERNANDEZ

Práctica Empresarial para optar por el título de Ingeniero Electricista

Director:

Ing. Ciro Jurado Jerez

Codirector:

Dr. Gerardo Latorre Bayona

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELAS DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES

BUCARAMANGA

2013

DEDICATORIA

Primero que todo quiero dar infinitas gracias a Dios por todas las bendiciones recibidas durante el desarrollo de mi carrera.

A mis padres Jorge Eliecer Mejía Bayona por su apoyo incondicional.

A mi madre Lilia E. Santander Lizcano por su amor y apoyo incondicional

A mi tío Luis Felipe Santander Lizcano por su apoyo y gran ayuda durante mi vida y mi carrera

A mi hermano, amigos, compañeros, a tí y demás familiares por su colaboración y constante apoyo.

LAURA TATIANA MEJIA SANTANDER

DEDICATORIA

A Dios, por escucharme siempre.

*A mis padres, familia, amigos... a tí. Sin su constante apoyo y
confianza, nada habría sido posible.*

Gracias por ser parte de mi vida.

YULIET CONSUELO PLATA SALAS

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme en el desarrollo de este logro.

*A mis padres Verónica Hernández y Julio Santos quienes me
han apoyado incondicionalmente durante toda mi vida.*

*A mis amigos y personas conocidas que contribuyeron para el
alcance de esta meta.*

JULIAN DANILO SANTOS HERNANDEZ

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	21
1 ESTADO DEL ARTE EN COLOMBIA DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS A PARTIR DE LOS PROYECTOS IDENTIFICADOS EN NORTE DE SANTANDER	23
2 IDENTIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA.....	27
2.1 IDENTIFICACIÓN	27
2.2 DIAGNÓSTICO.....	28
3 SELECCIÓN DE UNO, DOS O TRES PROYECTOS PRIORITARIOS PARA NORTE DE SANTANDER	29
4 ESTRUCTURACIÓN DE UNO DE LOS PROYECTOS SELECCIONADOS, CUMPLIENDO CON REQUERIMIENTOS TÉCNICOS, AMBIENTALES, SOCIALES Y DEL POSIBLE FONDO DE FINANCIACIÓN	29
4.1 REQUISITOS PREINVERSIÓN	29
4.2 ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO SELECCIONADO.....	38
4.2.1 REQUISITOS PREINVERSIÓN	38
4.2.2 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN DE ELECTRIFICACIÓN RURAL	43
4.2.2.1 CÁLCULOS PARA RED DE MEDIA TENSIÓN.....	44
4.2.2.2 CÁLCULOS PARA RED DE BAJA TENSIÓN	49
4.2.2.3 CÁLCULO DE LOS TRANSFORMADORES.....	52
4.2.2.4 SELECCIÓN DE PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES Y SOBRETENSIONES	54
4.2.2.5 SELECCIÓN DEL PARARRAYOS	55
4.2.2.6 CÁLCULO DEL BARRAJE	56

4.2.2.7	CÁLCULO DEL PRESUPUESTO Y PRECIO DEL kWh ESTÁNDAR PARA ELECTIFICACIÓN RURAL CON RED INTERCONECTADA.....	57
4.2.2.8	CÁLCULO DEL PRESUPUESTO Y PRECIO DEL kWh ESTÁNDAR DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	77
4.2.2.9	CÁLCULO DEL PRESUPUESTO Y PRECIO DEL kWh ESTÁNDAR DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.....	96
4.3	FORMULACIÓN ANTE EL FONDO	114
4.3.1	REQUISITOS PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS AL FONDO DE APOYO FINANCIERO PARA LA ENERGIZACIÓN DE LAS ZONAS RURALES-FAER	114
	OBSERVACIONES.....	117
	CONCLUSIONES	118
	REFERENCIAS.	120
	ANEXOS.....	124

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DEMOGRÁFICAS GENERALES DE LA POBLACIÓN.....	40
TABLA 2. INDICADORES MUNICIPALES	40
TABLA 3. CONSTANTES DE REGULACIÓN PARA CONDUCTORES AL AIRE LIBRE. ALUMINIO CON ALMA DE ACERO (ACSR) PARA 13,2 kV.	45
TABLA 4. REGULACIONES PERMITIDAS.....	45
TABLA 5. CÁLCULOS DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN	48
TABLA 6. ENERGÍA CONSUMIDA EN UN MES POR LOS APARATOS ELÉCTRICOS INSTALADOS EN LA VIVIENDA.	50
TABLA 7. ENERGÍA CONSUMIDA EN UN MES POR LOS APARATOS ELÉCTRICOS INSTALADOS EN LA VIVIENDA.	50
TABLA 8. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE REGULACIÓN Y PÉRDIDAS DE TRANSFORMADORES UNO, DOS Y TRES DE LA RED DE BAJA TENSIÓN.	51
TABLA 9. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE REGULACIÓN Y PÉRDIDAS DE TRANSFORMADORES CUATRO Y CINCO DE LA RED DE BAJA TENSIÓN.	51
TABLA 10. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE REGULACIÓN Y PÉRDIDAS DE TRANSFORMADORES SEIS Y SIETE DE LA RED DE BAJA TENSIÓN.....	52
TABLA 11. CÁLCULO DE LOS TRANSFORMADORES SELECCIONADOS	54
TABLA 12. COSTO SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TORRECILLA METÁLICA DE 8 [M], GALVANIZADA EN CALIENTE, CON ANTIESCALATORIO.....	58
TABLA 13. COSTO DE LA CIMENTACIÓN EN CONCRETO PARA TORRECILLAS METÁLICAS DE 8 [M], GALVANIZADA EN CALIENTE, CON ANTIESCALATORIO.....	59
TABLA 14. COSTO TEMPLETE DIRECTO A TIERRA.	60
TABLA 15. COSTO DE PUESTA A TIERRA ESTRUCTURA TERMINAL.	61
TABLA 16. COSTO SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE RED MONOFÁSICA TRIFILAR CONDUCTOR #2 SENCILLO.	62
TABLA 17. COSTO SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE RED MONOFÁSICA TRIFILAR CONDUCTOR #4 SENCILLO.	63

TABLA 18. COSTO DE LAS ESTRUCTURAS DE PASO Y TERMINALES PARA CABLE TENDIDO SENCILLO.	64
TABLA 19. COSTO ESTRUCTURA DE CAMBIO DE ÁNGULO.	65
TABLA 20. COSTO DIRECTO RED DE BAJA TENSIÓN.	66
TABLA 21. COSTO MONTAJE TRANSFORMADOR MONOFÁSICO 10 kVA 13200/240-120 V	67
TABLA 22. COSTO MONTAJE DE PROTECCIONES.	68
TABLA 23. COSTO TOTAL TRANSFORMADORES Y MONTAJE DE PROTECCIONES.....	69
TABLA 24. COSTO DE SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE TORRECILLA METÁLICA GALVANIZADA EN CALIENTE, CON ANTIESCALATORIO.	70
TABLA 25. COSTO DE SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE CIMENTACIÓN PARA TORRECILLA METÁLICA DE 12 [M], 510 [KG,] GALVANIZADA EN CALIENTE, CON ANTIESCALATORIO.....	71
TABLA 26. COSTO DE SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE HERRAJE DE LA ESTRUCTURA RH.	72
TABLA 27. COSTO SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN CHISPOMETRO PUESTA A TIERRA.	73
TABLA 28. COSTO SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACIÓN DE RED MONOFÁSICA TRIFILAR CONDUCTOR #2.....	74
TABLA 29. COSTO DIRECTO RED DE MEDIA TENSIÓN.	74
TABLA 30. COSTO TOTAL LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN CON RED INTERCONECTADA PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL.	75
TABLA 31. SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL CON RED INTERCONECTADA.	76
TABLA 32. MODELO DE PANELES SELECCIONADOS.	79
TABLA 33. PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS SELECCIONADOS.	81
TABLA 34. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL PANEL SOLAR	81
TABLA 35. CARACTERÍSTICAS DEL REGULADOR PHOCOS CLM-15.....	84
TABLA 36. CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR SUMVERTER SV-2000/24.....	85
TABLA 37. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BATERÍA VICTRON GEL	86

TABLA 38. COSTO UNITARIO DE LOS ELEMENTOS SELECCIONADOS.	88
TABLA 39. COSTO DE LOS ELEMENTOS.	89
TABLA 40. COSTO TOTAL DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO INDIVIDUAL PARA 21 VIVIENDAS.	89
TABLA 41. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA PANEL SOLAR.	91
TABLA 42. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL REGULADOR.	91
TABLA 43. NÚMERO DE PANELES SOLARES, REGULADORES, BATERÍAS E INVERSORES EN LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS CENTRALIZADOS.	92
TABLA 44. ELEMENTOS DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CENTRALIZADO.	93
TABLA 45. COSTO TOTAL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.	94
TABLA 46. SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO.	95
TABLA 47. CARACTERÍSTICAS DEL GENERADOR DIESEL.	98
TABLA 48. CARACTERÍSTICAS DEL RECTIFICADOR FAC 2000P.	100
TABLA 49. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL TRANSFORMADOR.	101
TABLA 50. COSTO DE MONTAJE, SUMINISTRO Y TRANSPORTE DE LAS PROTECCIONES PARA EL TRANSFORMADOR DE 15 kVA.	104
TABLA 51. ESTIMACIÓN DEL PRECIO DEL COMBUSTIBLE CONSUMIDO DESDE EL AÑO 2013 HASTA EL 2027.	107
TABLA 52. COSTO TRANSPORTE POR AÑO.	108
TABLA 53. COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DIESEL.	109
TABLA 54. COSTO DE ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA DE GENERACIÓN DIESEL Y SU COSTO TOTAL.	110
TABLA 55. COSTO TOTAL INVERSIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DIESEL.	111
TABLA 56. SISTEMA DE GENERACIÓN DIESEL.	112

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. POSIBILIDADES DE CONFIGURACIONES DE PANELES SOLARES.	83
FIGURA 2. DIAGRAMA DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO INDIVIDUAL	87
FIGURA 3. DIAGRAMA DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CENTRALIZADO	93
FIGURA 4. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DIESEL CON ALMACENADORES DE ENERGÍA	105

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO.....	125
ANEXO B. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	126
ANEXO C. PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE DISEÑO	127

RESUMEN

TITULO: ESTRUCTURACIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA: NORTE DE SANTANDER.¹

AUTORES: LAURA TATIANA MEJIA SANTANDER, YULIET CONSUELO PLATA SALAS, JULIAN DANILO SANTOS HERNANDEZ.²

PALABRAS CLAVES: Electrificación rural, estado del arte, Estructuración de proyectos, sistema solar fotovoltaico, generación diesel, sistema de distribución con red interconectada.

DESCRIPCIÓN: Éste trabajo pretende aportar a los estudiantes de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER una metodología para estructurar proyectos de electrificación rural, incluyendo el cálculo del kWh de las soluciones energéticas tales como: sistema de distribución mediante red interconectada, sistema solar fotovoltaico y generación diesel.

Como primera etapa del proyecto se realizaron visitas a los diferentes entes territoriales en el departamento de Norte de Santander, con el fin de recibir la información de los proyectos formulados. Los cuales, no han podido ser ejecutados debido a que los municipios no cuentan con recursos económicos que garanticen el desarrollo de los proyectos.

Una vez obtenida la información de los proyectos, se realizó el estado del arte de las alternativas de electrificación rural, según los requerimientos definidos a partir de los proyectos que se identificaron, se diagnosticaron y se seleccionaron.

Se estructuró uno de los tres proyectos seleccionados siguiendo los pasos para estructuración de proyectos de electrificación rural, hasta la etapa de preinversión siendo este el alcance del presente proyecto. Además, se realizó un análisis de las diferentes alternativas de solución que pueden ser desarrolladas en la zona de Norte de Santander, para estimar el precio del kWh estándar de un sistema solar fotovoltaico, generación diesel y un sistema de distribución con red interconectada.

¹ TRABAJO DE GRADO

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: Ing. Ciro Jurado.

ABSTRACT

TITLE: STRUCTURING OF ELECTRIC INFRASTRUCTURE PROJECTS: SANTANDER NORTH.³

AUTHORS: LAURA TATIANA MEJIA SANTANDER, YULIET CONSUELO PLATA SALAS, JULIAN DANILO SANTOS HERNANDEZ.⁴

KEYWORDS: Rural electrification, state of the art, project structuring, solar photovoltaic system, diesel generation, distribution system with interconnected grid.

DESCRIPCIÓN: This work aims to contribute to INDUSTRIAL DE SANTANDER UNIVERSISAD students a methodology to structure rural electrification projects, including the calculation of kWh of energy solutions such as distribution system with interconnected grid, solar photovoltaic system and diesel generation.

As the first stage of the project were done different views from local authorities in the Santander North department, in order to receive information from the projects formulated. Which, they could not be executed because the municipalities do not have financial resources to ensure the projects development.

After obtaining the projects information, was performed the state of the art of rural electrification alternatives, according to the requirements defined from the projects that were identified, diagnosed and selected.

It was structured one of three projects selected following the steps for structuring rural electrification projects, to the preinvestment stage being the scope of this project. Also, was performed an analysis of different possible solutions that can be developed at Santander North, to estimate the standard price about a kWh solar photovoltaic system, diesel generation and a distribution system with interconnected grid.

³ Degree Work.

⁴ Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Electric, Electronic and Telecommunications School. Director: Eng. Ciro Jurado.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento población de las zonas rurales y la baja cobertura energética, ocasionan que los pobladores no cuenten con los elementos necesarios para el desarrollo de su economía. Por lo cual se ven obligados a utilizar métodos poco convencionales para cubrir la falta del servicio, como el uso de velas, linternas, lámparas de combustible entre otros, ya que no cuentan con un sistema de enfriamiento que conserve los productos agrícolas y de consumo.

El Gobierno Colombiano en su Plan Energético Nacional pretende realizar inversiones en infraestructura gestionando proyectos de electrificación rural para las zonas interconectadas y no interconectadas del país. Por esto, en convenio con el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas no Interconectadas (IPSE), la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, estableció un grupo de trabajo, y creó una metodología de trabajo para estructurar proyectos de electrificación rural. Con el fin de dar solución a la necesidad de ampliar la cobertura llevando el servicio de energía eléctrica a la población rural mejorando su calidad de vida.

Este proyecto realiza un análisis de las alternativas de solución que podrían ser utilizadas para la ejecución del proyecto. Se analizan los aspectos técnicos y financieros necesarios, para el costo del kWh estándar de cada alternativa con el fin de escoger la viable tanto para los usuarios como para la entidad que ejecutará el proyecto.

La Universidad Industrial de Santander apoya este tipo de proyectos a beneficio del desarrollo intelectual de la comunidad universitaria, brindando esta información a quienes estén interesados en estructurar proyectos de electrificación rural.

1 ESTADO DEL ARTE EN COLOMBIA DE SOLUCIONES ENERGÉTICAS A PARTIR DE LOS PROYECTOS IDENTIFICADOS EN NORTE DE SANTANDER

Los 17 proyectos seleccionados tienen como solución energética de electrificación, sistemas de distribución con red interconectada. Por lo tanto, se realizó el estado del arte de los sistemas de distribución con red interconectada en Norte de Santander, el cual se presenta a continuación:

- En el año 2006 el Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas, realizó proyectos de electrificación rural en los municipios de Tibu, La Esperanza, Cucutilla, chimacota. Asimismo, en el año 2007 invirtió en proyectos en los municipios de Hacarí, Chitaga y el Toledo. Para obtener esta información se utilizó un mapa en el cual se muestra los municipios en los que el FAER ha invertido en interconexión eléctrica [1].
- En el año 2008 la unidad de planeación minero-energética, aprobó la construcción electrificación rural de las veredas aguas blancas y el cobre, en el municipio de Hacarí, donde se vieron beneficiados 67 usuarios. Este proyecto fue presentado ante el sistema general de regalías, y el valor total de la inversión fue de \$741 624 836 pero el valor solicitado fue de \$556 569 000. Además, aprobó la construcción de electrificación rural de las veredas mesones, Buenos Aires, La Estrella, La Ceiba, Vijagual, Puente rojo, La Ruidosa, Marquetalia, Llana baja, municipio de Teorama, beneficiando a 179 usuarios. El precio solicitado fue de \$1 156 519 000 [2].

- En el año de 2009 la unidad de planeación minero-energética, aprobó la suma de \$2 418 853 790 a través del sistema general de regalías para la construcción de redes eléctricas de interconexión de media y baja tensión en la vereda Aguablanca, se beneficiaron 298 usuarios. [2].
- En noviembre de 2010, la Gobernación de Norte de Santander, Centrales Eléctricas, EPM, la Secretaría de Planeación y la Oficina Departamental de Alcaldes, presentan un programa de electrificación rural en 30 municipios en norte de Santander. El programa cubrirá 98 veredas para un total de 1 539 usuarios pertenecientes al departamento, priorizadas en la construcción de redes eléctricas de media y baja tensión, instalaciones internas y acometidas domiciliarias. Los municipios beneficiados serán los siguientes: Lourdes, Gramalote, San Cayetano, El Zulia, Bucarasica, Sardinata, Villacaro, Villa del Rosario, Cucutilla, Arboledas, Salazar de las Palmas, Chitagá, Silos, Mutiscua, Pamplona, Pamplonita, Durania, Bochalema, Los Patios, Abrego, Ocaña, El Carmen, San Calixto, Labateca, Toledo, Herrán y Ragonvalia [3].
- El costo de electrificación rural del Catatumbo y la Provincia de Ocaña es de 60 mil millones de pesos. El objetivo es mejorar la calidad de vida de 4 400 habitantes en la zona en cerca de 150 veredas. El proyecto busca sumar entre las instituciones 13 mil millones de pesos aproximadamente de los 60 mil millones que cuesta; donde la Gobernación aportará 7 mil millones provenientes del Fondo de Regalías, los municipios de la provincia de Ocaña incluido Tibú sumarán 3 mil millones, y cerca de 3 mil millones de pesos entre Ecopetrol y Centrales Eléctricas EPM como operador del servicio en los estudios de consultoría y actualización del proyecto. (marzo 15 de 2012) [4].

- Entre los proyectos presentados se encuentra el titulado: Programa de electrificación rural zona del Catatumbo y la Provincia de Ocaña, fase III, el cual consiste en aumentar la cobertura del servicio de energía eléctrica de las Veredas El Cauca, Mariquita, La Capilla, Portachuelo, Mata de Calabazo, La Enllanada, Miraflores, San Agustín, Hierbabuena, Filo del Cordón, El Palmar y las Lizcas. Para la implementación de éste proyecto se cuenta con un presupuesto de 150 millones de pesos (julio 13 de 2012) [5] y [9].

En el informe de gestión de Centrales Eléctricas del Norte de Santander S.A.E.S.P-CENS, de diciembre de 2012, se relacionan las siguientes inversiones:

- Construcción de redes eléctricas y acometidas domiciliarias para el proyecto de electrificación rural convenio CENS-EPM-Gobernación del Norte de Santander, Zona 1. Municipios de Zulia, Sardinata, Salazar de las plamas, Arboledas, Buicaraasica y Lourdes (25 de agosto de 2011).
- Construcción de redes eléctricas y acometidas domiciliarias para el proyecto de electrificación rural convenio CENS-EPM-Gobernación del Norte de Santander, Zona 2. Municipios de Cúcuta, Los patios, Durania, Bochañlema y Rangovalia (15 de Diciembre de 2011).
- Construcción de redes eléctricas y acometidas domiciliarias para el proyecto de electrificación rural convenio CENS-EPM-Gobernación del Norte de Santander, Zona 3. Municipios: Silos, Pamplonita, Labateca, Toledo, Mutiscua y Cucutilla (15 de Diciembre de 2011) [6].

- En Julio de 2012, los alcaldes de las provincias de Ocaña y el sur del departamento del cesar, se reunieron y acordaron invertir \$ 74 000 millones de pesos, con la ayuda del FAER del ministerio de minas y energía. El proyecto beneficiará a 5 700 familias, las cuales están distribuidas en 240 veredas de 11 municipios [7].
- En el año 2009, en el municipio de la playa se realizó la estructuración del proyecto: construcción electrificación rural de las veredas Capillania, y La playa de belén, con un costo total de \$82 000 000, de los cuales el departamento aportó \$ 72 000 000, y el municipio \$10 000 000 para un total de 32 usuarios beneficiados [8] y [10].

2 IDENTIFICACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA

2.1 IDENTIFICACIÓN

Para la etapa de identificación de los proyectos el grupo de trabajo encargado de la zona, realizó una reunión en Ocaña, Norte de Santander, en la cual asistieron los representantes de los diferentes municipios y veredas de Norte de Santander y Cesar. En esta visita, se presentó y se dió a conocer el convenio IPSE-UIS. Además, se acordaron visitas a las alcaldías de los diferentes municipios para recolectar la información de los proyectos que por diferentes motivos no se habían estructurado o ejecutado.

Los proyectos identificados fueron 17:

1. Suministro de Energía Eléctrica a las veredas Barcelona, Peralonso y San Miguel.
2. Construcción del Sistema de Electrificación Rural Vereda Cerro Redondo Municipio de Aguachica.
3. Electrificación Rural Vereda San Martin de Loba kilómetro 30.
4. Electrificación Rural Vereda Cumana Parte Baja.
5. Electrificación Rural Vereda El Porvenir.
6. Electrificación Rural a la Vereda La Unión - Aguachica.
7. Electrificación Rural Vereda La Unión-El Tarra.
8. Electrificación Rural Vereda San José Tarra.
9. Electrificación Rural Vereda San Isidro El Paso.
10. Electrificación Rural Vereda La Fortuna.
11. Electrificación Rural Vereda Playita de José.
12. Electrificación Rural Vereda San Antonio.
13. Electrificación Rural Vereda Encantados.
14. Electrificación Rural Vereda La Cristalina.

15. Electrificación Rural Vereda San Luis.
16. Electrificación Rural Vereda El Progreso.
17. Electrificación Rural Vereda El Sinai.

2.2 DIAGNÓSTICO

Para el diagnóstico de los proyectos, se siguieron los criterios de la ficha realizada por la Escuela de ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones E3T.

Teniendo en cuenta la documentación entregada por parte de los entes territoriales, se aplicó la ficha anteriormente mencionada, realizando un “*check list*” de cada uno de los proyectos presentados, verificando la existencia de aspectos relevantes como número de usuarios, estudios técnicos, estudios legales, aval técnico del operador de red, aval financiero del operador de red y cumplimiento de los requisitos ante el fondo. Con el objetivo de establecer cuáles de los proyectos seleccionados se encontraban más desarrollados.

3 SELECCIÓN DE UNO, DOS O TRES PROYECTOS PRIORITARIOS PARA NORTE DE SANTANDER

Para la selección de los proyectos se tuvo en cuenta el tiempo de estructuración según el cronograma establecido, por lo cual se escogieron los proyectos con mayor desarrollo, cobertura y menor costo en estructuración e inversión.

4 ESTRUCTURACIÓN DE UNO DE LOS PROYECTOS SELECCIONADOS, CUMPLIENDO CON REQUERIMIENTOS TÉCNICOS, AMBIENTALES, SOCIALES Y DEL POSIBLE FONDO DE FINANCIACIÓN

En la estructuración de proyectos de electrificación rural se deben realizar una serie de estudios técnicos y financieros. Asimismo, tener en cuenta los aspectos legales necesarios, con los cuales la planificación y el diseño del proyecto se llevan a cabo con la seguridad de que se escogió la mejor alternativa de solución. Por esto, se realizó un resumen de la ficha creada por la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T) de la Universidad Industrial de Santander (UIS), el cual comprende las cuatro fases para estructurar un proyecto: preinversión, inversión, operación y evaluación expost, como se muestra a continuación.

4.1 REQUISITOS PREINVERSIÓN

En esta etapa se realizan los procesos de formulación, identificación y evaluación exante.

- **Formulación**

En esta fase, se especifica de manera organizada y coherente toda la información relacionada con el proyecto. Esta información constituye el punto de partida para evaluar y seleccionar la mejor alternativa de solución.

- **Identificación**

En la identificación se recopila la información sobre las potenciales soluciones energéticas desde el punto de vista administrativo y financiero.

- ✓ **Análisis de contribución del proyecto a la política pública**

El proyecto de electrificación rural debe estar dentro del marco y los estatutos del ente territorial si es de interés público. Si por el contrario, éste es de interés privado deberá estar acorde a los lineamientos y normatividad vigente del territorio colombiano.

- ✓ **Situación actual**

Se realiza una descripción acerca de las condiciones de vida actual de la población que se beneficiará con el proyecto, se analizan aspectos socioeconómicos, consumo energético y capacidad de pago.

Se hace una recopilación de información de la población en la cual se debe indicar el número de viviendas, número de habitantes y promedio de habitantes por vivienda, edad y género; identificando el uso de la misma (vivienda, negocio, otro).

Se debe hacer énfasis en el tipo de cultivos, incluyendo las características geográficas, topológicas y ambientales que incidan en el diseño y construcción de la infraestructura del proyecto. También se deben especificar las vías de acceso

desde el municipio más cercano, indicando las características de las vías principales, caminos, los tipos de carreteras (material de la vía) sus longitudes, tiempo estimado de la llegada a la vereda definiendo el medio de transporte. Además, precisar su interconexión con las principales ciudades, indicando las características más relevantes.

Respecto a la situación energética actual de la vereda, se debe especificar la fuente de suministro de energía, estado de la infraestructura, punto de suministro, tarifa que se aplica en el pago de la energía, estadísticas de consumo (cantidad de aparatos eléctricos y electrónicos en las viviendas).

Para las viviendas que van a ser beneficiadas con el proyecto se debe especificar las fuentes de energía utilizadas para la iluminación, equipos electrónicos, eléctricos y el costo promedio al mes por usuario.

En relación con los servicios se debe determinar el estado actual del alcantarillado, agua potable, gas entre otros.

La información anterior deberá ser constatada con las últimas cifras del DANE, municipales u otra entidad competente.

✓ **Situación esperada**

Se identifican los problemas de la comunidad planteando los objetivos a alcanzar para dar solución a la problemática de la situación actual.

✓ **Análisis de las alternativas de solución**

Con la identificación de las causas y efectos de las necesidades que inciden sobre la población, se procede a plantear soluciones energéticas; las cuales deberán ser debidamente analizadas. Las alternativas deben ser viables técnicamente y comparadas entre sí, considerando especificaciones técnicas y económicas.

• **Preparación-estudios**

Para analizar la viabilidad de un proyecto es necesario realizar una serie de estudios que contemplen los aspectos relevantes al momento de estructurarlo y ejecutarlo.

✓ **Estudio legal**

El formulador del proyecto debe considerar los aspectos legales que lo regulan, teniendo en cuenta la normativa, leyes, decretos, acuerdos y ordenanzas departamentales y territoriales. También se tienen en cuenta las tasas representativas tributarias y retributivas, y aspectos laborales como los salarios, las licencias ambientales y de construcción.

✓ **Estudio de mercado**

El estudio de mercado debe considerar los siguientes aspectos:

Estimar la demanda del bien o servicio de la población beneficiada como lo es el consumo y costo unitario de energía eléctrica por cada tipo de usuario, para valorar la demanda eléctrica proyectada, asumiendo una tendencia creciente del consumo de energía.

Análisis de la oferta: en los casos en donde haya suministro de energía eléctrica se analizan las posibilidades de optimizar los recursos, utilizando la infraestructura existente, para ofrecer el servicio al usuario en las condiciones más adecuadas.

✓ **Estudio de localización**

Este estudio considera aspectos como la identificación de la región, departamento, municipio, tipo de población tales como resguardo indígena y comunidades afroamericanas. También se deben tener en cuenta los costos de los medios de transporte, precios de mano de obra, disponibilidad y valor de los insumos. Adicionalmente, los factores ambientales, disponibilidad de los servicios públicos domiciliarios, tarifa y el valor de las servidumbres.

✓ **Estudio ambiental**

El estudio ambiental recopila información relevante de toda la zona que se pudiera ver afectada ambientalmente. Esta información debe contener un resumen de generalidades, una descripción y caracterización de la zona. Asimismo, se recopilan los datos sobre demanda, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables. Luego de esto se analizan los datos determinando una estrategia de manejo ambiental, seguimiento, monitoreo y estudios complementarios que permitan corroborar las propuestas planteadas.

El estudio de impacto ambiental deberá plantear a priori a la ejecución un plan de contingencia, de abandono y restauración final, así como un plan de inversión para prevenir y atenuar los impactos negativos y fortalecer los impactos positivos, considerando y cumpliendo todas las normas ambientales vigentes en la zona de ejecución del proyecto.

Si la zona de impacto del proyecto se encuentran en reserva forestal y existen comunidades indígenas o afrocolombianas, se deberá tener en cuenta que es una población especial y se deberán respetar su integridad, asimismo sus derechos territoriales, económicos y culturales. Además no se deberá afectar su diversidad étnica y cultural. Para ello, cuando un proyecto tiene influencia en áreas de reserva forestal o de comunidades indígenas y afrocolombianas se deben llevar a cabo las siguientes actividades:

- 1 Certificación Mininterior/INCODER
- 2 Invitación reunión comunidades
3. Reunión con comunidades
4. Acuerdo con comunidades sobre los impactos y PMA

✓ **Estudio técnico**

El estudio técnico analiza los criterios que definen las especificaciones técnicas de las alternativas de solución. Asimismo, busca escoger la más eficiente, sostenible y menos costosa.

➤ **Sistema de generación solar fotovoltaico**

Para desarrollar un análisis completo de la alternativa es necesario formular un presupuesto, teniendo en cuenta el precio y la cantidad de los elementos que componen un sistema solar fotovoltaico individual y centralizado de 21 usuarios, para el cálculo del costo del kWh.

➤ **Sistema de generación diesel**

En esta alternativa de solución se plantea una metodología para el cálculo tipo de un sistema de generación diesel, con el objetivo de obtener el costo del kWh.

➤ **Condiciones generales de un sistema de distribución**

La metodología para estimar el precio del kWh se encuentra en el numeral 4.2.2.7.

✓ **Análisis de riesgos**

En el análisis de riesgos se evidencia que los elementos del sistema eléctrico no estén expuestos a peligros, determinando una adecuada localización. Si la exposición del sistema eléctrico a riesgos es inevitable, plantea mecanismos para reducir el riesgo considerando que el proyecto pueda operar en condiciones mínimas y restablecer su normalidad en un corto plazo

✓ **Estudio de los aspectos comunitarios**

El objetivo principal es dar a conocer a la comunidad los aspectos y estudios relevantes del proyecto de electrificación, se deben realizar visitas a la zona, concretando reuniones con los miembros de la junta de acción comunal, representantes de la entidad territorial y de la empresa prestadora del servicio eléctrico. De esta manera se garantiza la responsabilidad de cada una de las partes en la ejecución y sostenibilidad del proyecto.

• **Estudio financiero**

En la etapa de preinversión se analiza el valor de la reposición de los activos, costo de suministro, montaje y mantenimiento para cada alternativa, el nivel de recaudo, la demanda de energía proyectada, licencias y permisos. Asimismo, el número de usuarios a beneficiar y el costo unitario de la energía, la mano de obra, pagos de servidumbres, interventoría de la obra, y otros.

En la etapa de inversión se elabora un cronograma de inversiones, programa de trabajo, ejecución de financiamiento de todas las inversiones para su ejecución.

También se debe evaluar la capacidad del proyecto para cubrir sus costos de administración, operación y mantenimiento.

- **Evaluación ex ante**

Es el resultado del análisis efectuado durante la fase de diseño del proyecto para asegurarse que con los diseños y ejecuciones se obtienen resultados favorables para la población, produciendo el mayor impacto al mínimo costo, reduciendo al máximo los impactos negativos que se pudieran generar y con base en este análisis se decide la mejor alternativa de solución.

- ✓ **Evaluación financiera**

En la evaluación financiera se busca recopilar información de la oferta, demanda, precio, inversión, así como los costos de producción y operativos, con el objetivo de determinar si el proyecto cumple con el uso eficiente de los recursos, generando ganancias para los consumidores, empleados e inversionistas del proyecto.

En el Anexo A, se observa un formato para realizar el presupuesto y en el Anexo B, un formato para el análisis de los costos unitarios o APU.

- ✓ **Evaluación económica y social**

Se busca el máximo beneficio para la sociedad, asignando de la mejor manera los recursos. Identifica y mide los efectos del proyecto sobre las variables económicas de mano de obra, producción, ahorro, o inversión, entre otras.

Para la evaluación social se incluyen los costos y beneficios desde el punto de vista de la población y se realiza por la metodología costo/beneficio. Los beneficios del proyecto se miden a través del ahorro de recursos y la tarifa que

puede pagar el usuario. Asimismo, dimensiona los aspectos retributivos del proyecto.

- **INVERSIÓN**

En esta etapa se establecen en forma detallada y cronológica las actividades de contratación, provisión de materiales, de equipos, con el fin lograr los medios necesarios para el posterior cumplimiento de los objetivos del proyecto. Va desde la decisión de invertir en el negocio, hasta que está listo para la puesta en marcha.

- ✓ **Ejecución**

Durante la ejecución del proyecto se llevan a cabo las actividades físicas y financieras necesarias para obtener los productos del proyecto. La claridad de las actividades y su programación en el tiempo permitirán estipular el monto de los recursos requeridos anualmente para que el proyecto se lleve a cabo en el tiempo estipulado.

- ✓ **Seguimiento**

El seguimiento se realiza a los insumos, actividades y productos asociados en la cadena de valor del proyecto o a través de indicadores de producto y de gestión, los cuales miden el comportamiento físico del proyecto para determinar si el proyecto está alcanzando o alcanzó lo estimado en la evaluación ex ante.

- **Operación**

Etapa en la que los usuarios beneficiados por el proyecto empiezan a hacer uso del servicio de electrificación. Además, se inicia el recaudo de la inversión a través del pago de la tarifa de energía.

- **Evaluación expost**

Esta etapa determina si las expectativas y planteamientos realizados en la etapa de preinversión están presentes en la operación. Evalúa las actividades que aún se están ejecutando y proporciona alternativas de solución a largo plazo, para posibles inconvenientes en la planificación, programación y decisiones futuras.

Siguiendo la guía anterior, se presenta la estructuración de uno de los proyectos seleccionados.

4.2 ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO SELECCIONADO

Según el alcance de este proyecto de grado, la estructuración del proyecto de electrificación rural se llevó a cabo hasta la fase de preinversión.

4.2.1 REQUISITOS PREINVERSIÓN

De acuerdo al numeral 4.1 se describe a continuación cada uno de los requisitos de la etapa de preinversión con base a lo desarrollado en el proyecto que se estructuró.

- **Formulación**

La formulación del proyecto fue realizada por el ente territorial municipal, con el fin de mejorar las condiciones de vida de los 21 usuarios identificados en la vereda.

- **Identificación**

En la zona en la que se desea ejecutar el proyecto, se encuentra una línea de media tensión de 13.2kV del operador de red de la región, con la cual se podría realizar el montaje de una red de distribución. Los usuarios contarían con un

servicio continuo de energía. Asimismo, la radiación solar presente puede generar la potencia necesaria para abastecer a los usuarios. Las vías de acceso a la vereda también permiten el acceso de combustible a través de transporte terrestre. Por lo cual, la generación diesel es también una posible alternativa de solución.

✓ **Análisis de contribución del proyecto a la política pública**

El proyecto de electrificación rural con red interconectada, se encuentra radicado en el banco de proyectos municipal, está enmarcado dentro del plan de desarrollo municipal, y acorde con el plan de ordenamiento territorial.

✓ **Situación actual**

En la vereda los usuarios carecen del servicio de energía eléctrica, lo cual dificulta el desarrollo económico, el cual se basa en el sector agropecuario, comercial y agroindustrial.

El estrato socioeconómico corresponde en su mayoría a los niveles uno y dos, con algunas familias que poseen extensiones de tierra que los ubican en estrato 3. Lo que dadas las condiciones de vida, la poca presencia de servicios básicos y el ingreso (entre \$300 000 y 2 salarios mínimos en algunos casos, con un promedio general por familia de un salario mínimo legal vigente), hace que el índice de pobreza esté por debajo del índice nacional. Además, es notoria la influencia de los grupos al margen de la ley.

Existe un bajo uso de las actuales tecnologías de comunicación (televisión, radio, internet). La iluminación residencial se basa en velas y lámparas de combustible, lo cual genera un aumento de accidentes caseros, mayor contaminación doméstica y costos significativos en la economía.

La vía de acceso a esta vereda es terciaria y se encuentra en precarias condiciones. Igualmente, la comunidad no cuenta con centros de salud.

La cantidad de usuarios a atender es de 21 en servicio residencial rural, para un promedio de 90 personas.

Las características demográficas generales de la población de la vereda se describen en el siguiente cuadro:

Tabla 1. Características demográficas generales de la población.

Descripción de la Población		Total	Fuente
Edad	0 a 14 años	30	Juntas de Acción Comunal
	15 a 19 años	12	
	20 a 59 años	38	
	Mayor de 60 años	10	
	Total Población por Genero	90	

En la Tabla 2 se muestran los indicadores municipales.

Tabla 2. Indicadores municipales

CARACTERÍSTICAS	INDICADOR	FUENTE
Nro. Habitantes afectados	134 000 (aprox.)	MUNICIPIO
Necesidades básicas insatisfechas (NBI) %	41,25 %	MUNICIPIO
Porcentaje de participación Producto Interno Bruto (PIB) Regional	4,89 %	MUNICIPIO
Tasa de Desempleo Regional	6,5 %	MUNICIPIO

La mayoría de hogares depende de la leña para cocinar, aunque en algunos ya hay uso de gas propano del que se proveen en bombonas que son suministrados por la empresa “*gases industriales de los santanderes*”. Además, el servicio de alcantarillado del sector rural es nulo, el abastecimiento de agua potable es realizado a través de los recursos hídricos cercanos a la vereda y no cuenta con sistema de recolección de basuras.

Finalmente, según la información suministrada por la comunidad, las personas estiman que gastan por hogar un promedio de setenta mil pesos (\$70 000) mensuales en gastos de energía (velas, lámparas de combustible, gas propano, baterías).

✓ **Situación esperada**

Mediante el mejoramiento y la ampliación de cobertura en la infraestructura del servicio público de energía eléctrica, se pretende disminuir el gasto de energía en dinero por parte de los usuarios, puesto que no será necesario el gasto en velas, lámparas de combustible y baterías. Además, mejorar las condiciones de los servicios de salud y educación.

✓ **Análisis de las alternativas de solución**

Para dar solución al problema de la población, se tuvieron en cuenta aspectos como recursos naturales de la zona y presencia de líneas de distribución en media tensión, por lo cual, se escogieron 3 posibles alternativas:

1. Sistema de generación solar fotovoltaico.
2. Sistema de generación diesel.
3. Sistema de distribución con red interconectada.

Alternativas como generación hidráulica y eólica no fueron consideradas por la falta de información técnica (mapas de viento, estudios hidráulicos) y la baja demanda de energía del proyecto.

- **Preparación-estudios**

Los estudios realizados para la estructuración del proyecto se llevaron a cabo de acuerdo a las exigencias de la política pública, la normatividad vigente, necesarias para que el proyecto pueda ser ejecutado sin ningún contratiempo.

- ✓ **Estudio legal**

El proyecto formulado para satisfacer la carencia de energía eléctrica en la vereda, se encuentra del plan de desarrollo territorial tanto del municipio (2012-2015) como del departamento (2012-2015). Asimismo, como del plan de desarrollo nacional (2010-2014).

Debido a que el proyecto se encuentra en un área de reserva forestal, contará con un Plan de Manejo Ambiental (PMA) para identificar los impactos ambientales y formular las medidas de prevención, control, mitigación y compensación a que haya lugar. Por lo tanto, no se necesita de una licencia ambiental.

Sólo será necesaria la tala de 6 árboles y se podarán otros 17.

- ✓ **Estudio de mercado**

El consumo por usuario proyectado a 15 años según el formulador del proyecto es de 1,81kVA y en el costo por usuario de energía eléctrica es de \$ 20 000 pesos mensuales, dicho valor fue pactado con la comunidad en las visitas realizadas a la vereda. A causa de, el bajo estrato socioeconómico de los usuarios.

- ✓ **Estudios de localización**

La alcaldía del municipio constató y certificó que en el área de influencia donde se desarrollará el proyecto, no hay presencia de comunidades indígenas y/o afroamericanas que requieran consulta previa.

La Alcaldía Municipal garantiza y se hace responsable de las servidumbres y de cualquier inconveniente que se pueda presentar en la ejecución del proyecto en cuanto a este tema.

✓ **Estudio ambiental**

El ingeniero ambiental encargado del proyecto realizó un estudio ambiental, en donde a manera general se concluyó:

El proyecto se desarrollará en una zona con bosque seco tropical, y atravesará predios conformados por potreros en los que los impactos negativos son bajos. Además, no se ejecutará en zonas de riesgo y el impacto negativo sobre la flora y la fauna del área es bajo.

El área a intervenir se encuentra en una zona de reserva forestal (ley 2 de 1959), pero según el artículo 2 (literal i) de la Resolución 1527 de 2012, el proyecto se encuentra dentro de las actividades que generan bajo impacto ambiental. Por lo tanto, no se hace necesaria la licencia ambiental puesto que no aplica dentro de las actividades señaladas por la Resolución 2820 de 2010 que reglamenta las actividades que son susceptibles de solicitar licencia ambiental. Sin embargo, el proyecto contará con un Plan de Manejo Ambiental (PMA) que identifica los impactos ambientales y formula las medidas de prevención, control, mitigación y compensación a que haya lugar.

4.2.2 ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN DE ELECTRIFICACIÓN RURAL

El precio del kWh se determina a partir de los resultados obtenidos en el estudio del costo de la inversión total, por ende se presenta un presupuesto estándar del valor de una línea de distribución, un sistema de generación solar fotovoltaica individual y centralizada, y un sistema de generación diesel. Se resalta que no se

desarrollará el diseño exacto de éstos sistemas, sino una metodología de cálculo para el precio de la energía. La cual se aplica y se obtienen unos valores representativos.

Se elige una cantidad de 21 usuarios para determinar la demanda máxima diversificada por usuario y total, además de la energía consumida por vivienda; debido a la ubicación de los usuarios se utilizan 7 transformadores cada uno distribuyendo energía a diferentes usuarios. Los cálculos se muestran a continuación.

4.2.2.1 CÁLCULOS PARA RED DE MEDIA TENSIÓN

A continuación se realizan los cálculos eléctricos para la red de media tensión, teniendo en cuenta las especificaciones de la línea de media tensión presente en la zona y los requisitos técnicos de la norma de la ESSA [12].

▪ CÁLCULOS ELÉCTRICOS

Los cálculos eléctricos son realizados de acuerdo a las distancia entre usuarios y la distancia entre transformadores. Las distancias entre usuarios y transformadores son mostradas en el plano topográfico de la región.

• Nivel de tensión

La tensión de servicio para media tensión es 13,2 kV, ya que en la zona existe una línea con disponibilidad para dicha tensión.

La magnitud del voltaje de fase es:

$$V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{13,2}{\sqrt{3}} = 7,621 \text{ [kV]} \quad (1)$$

- **Cálculo de la regulación**

La regulación viene dada como (ver ecuación C.2):

Con la regulación se calcula el Kg, se consulta la Tabla 3, y se escoge el Kg automáticamente menor al calculado, con este valor se selecciona el calibre del conductor. Para redes de distribución de media tensión en zona rural la regulación máxima permitida es del 3%, según Tabla 4 Regulaciones permitidas.

Tabla 3. Constantes de regulación para conductores al aire libre. Aluminio con alma de acero (ACSR). Para 13,2 kV. [12]

Conductor	Kg
4 AWG	164,76
2 AWG	112,33
1 AWG	93,3
1/0 AWG	78,7
2/0 AWG	66,07
3/0 AWG	56,09
4/0 AWG	48,25

Tabla 4. Regulaciones permitidas

Descripción	%
Redes de distribución B.T., zona urbana	5
Redes de distribución B.T., zona rural	7
Acometida y alimentador (hasta tablero de distribución para cargas concentradas o multiusuarios desde bornes del transformador.	3
Acometida y alimentador (hasta tablero de distribución) desde redes de la empresa	2
Circuito ramal	2
Alumbrado público.	4

Teniendo en cuenta la Tabla 4, el calibre mínimo del conductor para la red rural de media tensión es 2 AWG, según la Tabla 3, la constante generalizada Kg, es de 112.33.

- **Cálculo del momento eléctrico:**

$$M = D_{max} * L \quad (2)$$

$$M_{(0-1)} = 9,60 * 2236,40 = 21\,464,97 \text{ [kWh]}$$

$$M_{(1-2)} = 9,11 * 524,08 = 47\,75,94 \text{ [kWh]}$$

$$M_{(2-3)} = 8,69 * 524,08 = 45\,53,73 \text{ [kWh]}$$

$$M_{(3-4)} = 8,17 * 1294,25 = 10\,574,02 \text{ [kWh]}$$

$$M_{(4-5)} = 6,92 * 410 = 2\,837,20 \text{ [kWh]}$$

$$M_{(5-6)} = 4,64 = 4\,628,47 \text{ [kWh]}$$

Regulación de tensión para cada tramo:

$$\delta_{0-1} = \frac{1 * 21\,464,33 * 112,33}{13,200^2} = 0,014 \text{ [%]}$$

$$\delta_{1-2} = \frac{1 * 47\,75,94 * 112,33}{13,200^2} = 0,003 \text{ [%]}$$

$$\delta_{2-3} = \frac{1 * 45\,553,73 * 112,33}{13,200^2} = 0,003 \text{ [%]}$$

$$\delta_{3-4} = \frac{1 * 10\,574,02 * 112,33}{13,200^2} = 0,007 \text{ [%]}$$

$$\delta_{4-5} = \frac{1 * 2\,837,20 * 112,33}{13,200^2} = 0,002 \text{ [%]}$$

$$\delta_{5-6} = \frac{1 * 4\,628,47 * 112,33}{13,200^2} = 0,003 \text{ [%]}$$

La regulación acumulada es la sumatoria de las regulaciones por cada tramo:

$$\delta_{acum} \% = \sum \delta_{\%} \quad (3)$$

$$\delta_{acum} \% = \delta_{0-1} + \delta_{1-2} + \delta_{2-3} + \delta_{3-4} + \delta_{4-5} + \delta_{5-6}$$

$$\delta_{acum} \% = 0,031 [\%] \quad (4)$$

- **Pérdidas de potencia**

Las pérdidas de potencia vienen dadas como (ver ecuación C.3):

$$Pp\% = \frac{3 * 10^{-4} * It^2 * r * l}{D_{max}/t * fp} [\%]$$

Pérdidas de potencia para cada tramo:

$$Pp0 - 1\% = \frac{3 * 10^{-4} * 0,420^2 * 1,012 * 2\,236,4}{9,598 * 0,95} = 0,013 [\%]$$

$$Pp1 - 2\% = \frac{3 * 10^{-4} * 0,399^2 * 1,012 * 524,080}{9,598 * 0,95} = 0,003 [\%]$$

$$Pp2 - 3\% = \frac{3 * 10^{-4} * 0,380^2 * 1,012 * 524,080}{9,598 * 0,95} = 0,003 [\%]$$

$$Pp3 - 4\% = \frac{3 * 10^{-4} * 0,357^2 * 1,012 * 1\,294,250}{9,598 * 0,95} = 0,006 [\%]$$

$$Pp4 - 5\% = \frac{3 * 10^{-4} * 0,303^2 * 1,012 * 410}{9,598 * 0,95} = 0,002 [\%]$$

$$Pp5 - 6\% = \frac{3 * 10^{-4} * 0,203^2 * 1,012 * 997,730}{9,598 * 0,95} = 0,003 [\%]$$

Perdida de potencia total:

$$P_{pt}\% = \sum P_{p\text{tramo}}\% \quad (5)$$

$$P_{pt}\% = P_{p_{0-1}} + P_{p_{1-2}} + P_{p_{2-3}} + P_{p_{3-4}} + P_{p_{4-5}} + P_{p_{5-6}}$$

$$P_p\% = 0,030 [\%] \quad (6)$$

Según las pérdidas permitidas en la tabla anterior, se observa que las pérdidas de potencia cumplen.

En la Tabla 5 se resume el cálculo de la red de media tensión.

Tabla 5. Cálculos de la red de media tensión

REGULACIÓN Y PÉRDIDAS						
Circuito	1,00					
Tramo	1	2	3	4	5	6
Número de usuarios	2	2	5	5	4	3
Usuarios acumulados	21	19	17	12	7	3
Demanda máxima kVA	9,598	9,113	8,689	8,170	6,920	4,639
Distancia [m]	2 236,400	524,080	524,080	1 294,25	410,000	997,730
Momento [kWm]	21 464,96	4 775,94	4 553,73	10 574,0	2837,200	4628,469
Momento acumulado	48 834,331					
Kg CALCULADO	10 703,945					
Kg REAL	112,330					
Conductor seleccionado	2					
Tensión de servicio [V]	13 200					
Regulación %	0,014	0,003	0,003	0,007	0,002	0,003
Regulación acumulada %	0,031					
Corriente tramo [A]	0,420	0,399	0,380	0,357	0,303	0,203
Resistencia conductor [Ω]	1,012					
Pérdidas de potencia [%]	0,013	0,003	0,003	0,006	0,002	0,003
Pérdidas de potencia acumuladas [%]	0,030					

4.2.2.2 CÁLCULOS PARA RED DE BAJA TENSIÓN

Para el diseño de la red de baja tensión, se tomaron como base los datos reales de los usuarios, pero de acuerdo a los requisitos técnicos de la norma de la ESSA se realizaron los cálculos.

▪ CÁLCULOS ELÉCTRICOS

A continuación se realizan los cálculos eléctricos de la red de baja tensión.

- **Carga instalada, demanda máxima y energía consumida al mes por usuario.**

En la carga instalada por usuario se tienen en cuenta condiciones básicas como la iluminación en los cuartos y los tomacorrientes, tomando como base 32 VA/m². Además, se tiene un circuito ramal para la plancha. Para el cálculo de la carga instalada se dimensiona el área de vivienda en zona rural en 50 m² (tomando como base el área promedio de las casas en zonas rurales).

$$C_{ins} = 32 * 50 + 1200 = 2800 \text{ [VA]} \quad (7)$$

Para el cálculo de la demanda máxima diversificada se siguió la metodología presentada por la norma ESSA para estratos 1 y 2 [12].

$$D_{mx} = C_{mx} + (C_{INS} - C_{mx}) * f_{dmx} \quad (8)$$

D_{mx} Demanda máxima diversificada [kVA].

C_{mx} Carga aparato de mayor potencia [kVA].

C_{INS} Carga Instalada [kVA].

F_{dmx} Factor de demanda [%].

$$D_{mx} = 1\,200 + (2\,800 - 1\,200) \times 0,5 = 2\,000 \text{ [VA]} \quad (9)$$

A causa de que 2 000 VA no son utilizados en todo momento, ya que la carga de mayor potencia (plancha) no es continua, se emplea el método que consiste en describir la potencia de los aparatos que normalmente son utilizados en el hogar y cuanta energía consumen cada uno de ellos durante un mes.

Tabla 6. Energía consumida en un mes por los aparatos eléctricos instalados en la vivienda.

Aparato eléctrico	Potencia del aparato [W]	Horas al mes: h/día x día/mes	Energía consumida kWh
Plancha	1 200	3 x 4 = 12	14,4
Televisor	200	5 x 30 = 150	30
Nevera	300	8 x 30 = 240	72
8 luminarias	15	4 x 30 = 120	1,8
Otras cargas	80	2 x 30 = 60	4,8
Energía total consumida por usuario en un mes			123 kWh

La energía total consumida en un mes por usuario es de 123 kWh.

Tabla 7. Energía consumida en un mes por los aparatos eléctricos instalados en la vivienda.

Valores de Kg para red de baja tensión

Conductor	Kg
8 AWG	371,46
6 AWG	245,14
4 AWG	161,01
2 AWG	108,58
1 AWG	89,49
1/0 AWG	74,42
2/0 AWG	62,32
3/0 AWG	52,35
4/0 AWG	42,50

A continuación, se presenta la Tabla 8 los cálculos eléctricos red de baja tensión

Tabla 8. Cálculos eléctricos de regulación y pérdidas de transformadores uno, dos y tres de la red de baja tensión.

REGULACIÓN Y PERDIDAS									
Transformador	1		2		3				
Circuito	1	2	1	2	1	2	3	4	5
Número de usuarios	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Demanda máxima [kVA]	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Distancia	548,6	184,1	410,8	268,4	287,7	569,6	325,0	400,4	403,6
Momento	1 097,2	368,3	821,6	536,9	575,4	1 139,3	650,1	800,9	807,3
Kg calculado	183,7	547,3	245,3	375,4	350,3	176,9	310,09	251,70	249,72
Kg real	108,58	161,01	161,01	161,01	161,01	108,58	161,01	161,01	161,01
Conductor seleccionado	2	4	4	4	4	2	4	4	4
Tensión de servicio	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00	240,00
Regulación	4,14	2,06	4,59	3,00	3,22	4,30	3,63	4,48	4,51
Corriente [A]	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33	8,33
Resistencia conductor [Ω]	1,01	1,57	1,57	1,57	1,57	1,01	1,57	1,57	1,57
Pérdidas de potencia %	4,06	2,11	4,70	3,07	3,29	4,21	3,72	4,58	4,62

Tabla 9. Cálculos eléctricos de regulación y pérdidas de transformadores cuatro y cinco de la red de baja tensión.

REGULACIÓN Y PERDIDAS				
Transformador	4		5	
Circuito	1	2	1	2
Número de usuarios	1	1	1	1
Demanda máxima kVA	2	2	2	2
Distancia [m]	212,13	368,74	351,56	219,19
Momento [kWm]	424,26	737,48	703,12	438,38
Kg calculado	475,18	273,36	286,72	459,87
Kg real	161,01	161,01	161,01	161,01
Conductor seleccionado	4,00	4,00	4,00	4,00
Tensión de servicio	240,00	240,00	240,00	240,00
Regulación %	2,37	4,12	3,93	2,45
Corriente [A]	8,33	8,33	8,33	8,33
Resistencia conductor [Ω]	1,57	1,57	1,57	1,57
Pérdidas de potencia %	2,43	4,22	4,02	2,51

Tabla 10. Cálculos eléctricos de regulación y pérdidas de transformadores seis y siete de la red de baja tensión.

Regulación y pérdidas							
Transformador	6			7			
Circuito	1		2	3	1		2
Tramo	1	2	1	1	1	2	1
Número de usuarios	2	1	1	1	2	1	1
Demanda maxima [kVA]	3,51	2,00	2,00	2,00	3,51	2,00	2,00
Distancia [m]	180,00	185,10	510,00	195,19	266,04	69,26	167,73
Momento [kWm]	631,44	370,20	1 020,0	390,38	933,27	138,52	335,46
Momento acumulado [kWm]	1 001,64	370,20	1 020,0	390,38	1 071,7	138,52	335,46
Kg calculado	201,27		197,65	516,42	188,10		600,97
Kg real	108,58		108,58	161,01	108,58		161,01
Conductor seleccionado	2		2	4	2		4
Tensión de servicio [V]	240,00		240,00	240,00	240,00		240,00
Regulación [%]	3,78	1,40	3,85	2,18	4,04	0,52	1,88
Regulación acumulada [%]	5,17		3,85	2,18	4,56		1,88
Corriente tramo [A]	14,62	8,33	8,33	8,33	14,62	8,33	8,33
Resistencia conductor [Ω]	1,01		1,01	1,57	1,01		1,57
Pérdidas de potencia [%]	2,34	1,37	3,77	2,23	3,45	0,51	1,92
Pérdidas de potencia acumulada [%]	3,70		3,77	2,23	3,96		1,92

4.2.2.3 CÁLCULO DE LOS TRANSFORMADORES

Para el cálculo de los transformadores se hace necesario conocer el número de usuarios y el número de luminarias a instalar para aplicar la formula correspondiente y encontrar un valor aproximado al verdadero.

Para calcular la potencia de los transformadores se tuvo en cuenta la demanda máxima de las viviendas, y el número de usuarios.

Demanda del transformador:

$$D_{Traf0} = D_{\max Diver} + D_{mxlu \min arias} \quad (10)$$

Al obtener la demanda máxima de la red se busca un transformador con potencia comercial. Se sugiere dejar un espacio libre de potencia para instalaciones futuras. A continuación se presenta el cálculo tipo para un transformador que abastece de energía a 4 usuarios.

- **Cálculo de Demanda máxima diversificada para 4 usuarios.**

Conociendo la demanda máxima por usuario se aplica el factor de diversidad para estratos 1 y 2. La metodología para realizar el cálculo se presenta en la norma ESSA [12], por lo tanto el factor de diversidad viene dado por la fórmula (ver ecuación C.1 del Anexo C):

$$f_{div.} = \frac{1}{0,2+0,8 \times e^{\frac{1-4}{6}}} \quad (11)$$

En donde N es el número de usuarios (4) con el cual se tiene un factor de diversidad de 1,4593.

La demanda máxima diversificada viene dada en la siguiente formula:

$$D_{max-div.} = \frac{D_{max} \times N}{f_{div.}} \quad (12)$$

Donde:

N : Número de usuarios.

$f_{div.}$: Factor de diversidad.

D_{max} : Demanda máxima por usuario la cual corresponde a 2 kVA:

$$D_{max-div.} = \frac{2kVA \times 4}{1,4593} = 5,48 \text{ kVA} \quad (13)$$

La demanda máxima diversificada para 4 usuarios es 5,48 kVA

A continuación, se presenta la Tabla 11 donde se resume el cálculo de los transformadores seleccionados.

Tabla 11. Cálculo de los transformadores seleccionados

TRAFO	1	2	3	4	5	6	7
Número de usuarios	2	2	5	3	2	4	3
numero de luminarias	2	2	5	3	2	4	3
Factor de diversidad	1,14	1,14	1,64	1,29	1,14	1,46	1,29
Demanda máxima diversificada	3,51	3,51	6,11	4,64	3,51	5,48	4,64
Luminarias [kVA]	0,18	0,18	0,45	0,27	0,18	0,36	0,27
Demanda máxima trafo.	3,69	3,69	6,56	4,91	3,69	5,84	4,91
Trafo. Seleccionado [kVA]	10	10	10	10	10	10	10
Tensión Primaria [V]	13 200	13 200	13 200	13 200	13 200	13 200	13 200
Fusible M.T. en [A]	1	1	1	1	1	1	1
Cortacircuitos seleccionado [kV]	15	15	15	15	15	15	15
Pararrayos seleccionado [kV]	15	15	15	15	15	15	15
Tensión en B.T. [V]	240	240	240	240	240	240	240
Corriente secundaria [A]	41,67	41,67	41,67	41,67	41,67	41,67	41,67

4.2.2.4 SELECCIÓN DE PROTECCIONES CONTRA SOBRECORRIENTES Y SOBRETENSIONES

- **Selección del fusible**

Se calcula la corriente primaria de los transformadores:

$$I_p = \frac{S_N}{V_{lp}} = [A] \quad (14)$$

$$I_p = \frac{10\,000}{13\,200} = 0,7576 [A] \quad (15)$$

La corriente del fusible está dada por:

$$I_f = 1,25 * I_p = [A] \quad (16)$$

$$I_f = 1,15 * 0,7576 = 0,8712 \text{ [A]} \quad (17)$$

Se seleccionaron dos fusibles tipo K (Rápido) de 1 [A], el cual es empleado para distribución en la red de media tensión.

- **Protección para baja tensión**

Se calcula la corriente secundaria de los transformadores:

$$I_s = \frac{S_N}{V_{Ls}} \text{ [A]} \quad (18)$$

$$I_p = \frac{10\,000}{240} = 41,67 \text{ [A]} \quad (19)$$

Por lo cual se selecciona para cada transformador 2 fusibles de 50[A].

4.2.2.5 SELECCIÓN DEL PARARRAYOS

La tensión del pararrayos está dada por:

$$V_p = F_{PT} * V_{Lmax} \quad (20)$$

Donde:

V_p : Voltaje del pararrayos.

F_{PT} : Factor de puesta a tierra, que es igual a 0,8 según la Tabla 4.1 de la ESSA.

V_{Lmax} : Voltaje máximo.

$$V_{Lmax} = 1,1 * V_{nom} = 1,1 * 13,2 \text{ kV} = 14,52 \text{ [kV]} \quad (21)$$

$$V_p = 0,8 * 14,52 = 11,6 \text{ [kV]} \quad (22)$$

Se seleccionan pararrayos para cada fase un pararrayos-Descargador de protecciones contra sobretensiones (DPS) de 12 [kV] normalizados con una capacidad de descarga de 10 [kA] ZnO.

4.2.2.6 CÁLCULO DEL BARRAJE

Para las subestaciones de poste o aéreas, el calibre del conductor de aluminio ACSR, se calcula de acuerdo con la corriente nominal secundaria del transformador. El bajante de conexión del transformador al barraje se debe hacer en conductor de aluminio aislado. Se debe tomar la corriente secundaria del transformador como factor determinante para la selección del conductor que conformara el barraje, por tanto se procede a determinar dicha corriente:

$$I_{SN} = \frac{S_N}{V_N * \left(\frac{100 - U_z}{100} \right)} \text{ [A]} \quad (23)$$

$$I_{SN} = \frac{10 * 10^3}{240 * \left(\frac{100 - 2,3}{100} \right)} = 42,65 \text{ [A]} \quad (24)$$

La corriente máxima que soportará el barraje está dada por:

$$I_b \geq 1,25 * I_{SN} \geq 53,31 \text{ [A]} \quad (25)$$

Según la Tabla 3.14 de la norma ESSA, un conductor de aluminio calibre 8 AWG THWN a 75°C soporta dicha corriente.

4.2.2.7 CÁLCULO DEL PRESUPUESTO Y PRECIO DEL kWh ESTÁNDAR PARA ELECTIFICACIÓN RURAL CON RED INTERCONECTADA

Con el fin de estimar el precio de kWh estándar se realizó el cálculo del presupuesto de la red de distribución.

- **Red de baja tensión**

Para la instalación de la red de baja tensión se pueden utilizar postes de concreto, torrecillas metálicas y postes en fibra de vidrio. En este caso se seleccionaron las torrecillas metálicas, ya que están divididas en secciones y facilita su transporte mediante camionetas. En cambio los postes de concreto son muy pesados y se necesita un vehículo de mayor tamaño (camión) para su transporte. Los postes de fibra de vidrio son livianos, pero debido a que es carga larga también se hace necesario el uso de carro grande. Teniendo en cuenta el difícil acceso a las veredas se decide utilizar torrecilla metálica.

- **Costos unitarios de los elementos de la red de baja tensión**

Las Tablas 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 presentan el costo de cada uno de los elementos usados en el montaje de una red de baja tensión. Además, la Tabla 20 muestra el costo directo de la línea. Los precios de cada uno de los elementos se obtuvieron de un sistema de información de obras de la ESSA [13].

Tabla 12. Costo suministro, transporte e instalación de torrecilla metálica de 8 [m], galvanizada en caliente, con antiescalatorio.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Torrecilla metálica de 8 m 510 Kg	Und	1	900 000	900 000
			SUBTOTAL (A)	900 000
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	40 000	40,000
			SUBTOTAL (B)	40 000
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	100 000	100 000
			SUBTOTAL (C)	100 000
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	140 000	100%	140 000
			SUBTOTAL (D)	140 000
COSTO DIRECTO				1 280 000

Cada torrecilla metálica contará con cimentación en concreto, para reforzar su estructura.

Tabla 13. Costo de la cimentación en concreto para torrecillas metálicas de 8 [m], galvanizada en caliente, con antiescalatorio.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Cemento	gl	1,00	15 000	15 000
Triturado	m3	0,6	40 000	24 000
Arena lavada	m3	0,2	25 000	5 000
			SUBTOTAL (A)	132 000
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	10 000	10 000
			SUBTOTAL (B)	10 000
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	20 000	20 000
			SUBTOTAL (C)	20 000
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	30 000	100%	30 000
			SUBTOTAL (D)	30 000
COSTO DIRECTO				104 000

Tabla 14. Costo templete directo a tierra.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Cable acerado ¼" extra alta resistencia	m	13	1 800	23 400
Varilla de anclaje 5/8"x1.50 m	und	1	20 000	20 000
Prensahilos 4 pernos	und	4	8 000	32 000
Guardacabos 1¼	und	1	2 000	2 000
Arandela cuadrada 2x2x5/8"	und	1	2 500	2 500
Aislador tensor 3 ½" ANSI 54-1	und	1	10 000	10 000
Vigüeta de concreto AT	und	1	7 000	7 000
			SUBTOTAL (A)	96 900

B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	5 000	5 000
			SUBTOTAL (B)	5 000

C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	20 000	20 000
			SUBTOTAL (C)	20 000

D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	45 000	100%	45 000
			SUBTOTAL (D)	45 000

COSTO DIRECTO	166 900
----------------------	----------------

Tabla 15. Costo de puesta a tierra estructura terminal.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Varilla cobre solido 5/8 * 1.8 m	Und	1	95 000	95 000
Cable cobre # 2 desnudo	m	8	8 500	68 000
Tubo galvanizado 1/2" 3 m	Und	1	15 000	15 000
Conector cobre # 2 AWG	Und	1	10 000	10 000
Cinta bandit 5/8"	m	2	2 500	5 000
Hebilla bandit 5/8"	Und	2	100	200
SUBTOTAL (A)				193 200
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramientas y equipos.	1	100%	10 000	10 000
SUBTOTAL (B)				10 000
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	20 000	20 000
SUBTOTAL (C)				20 000
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	40 000	100%	40 000
SUBTOTAL (D)				40 000
COSTO DIRECTO				263 200

Según los cálculos de regulación y de pérdidas de potencia, se utilizan los conductores en aluminio con alma de acero ACSR de calibres #4 AWG y #2 AWG.

Tabla 16. Costo suministro, transporte e instalación de red monofásica trifilar conductor #2 sencillo.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Conductor ACSR # 2 desnudo	m	1,15	2 928	3 367
Conductor Aluminio THHN 2 x #2 90°C – 600V	m	2,30	6 300	14 490
			SUBTOTAL (A)	17 857

B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	550	550
			SUBTOTAL (B)	550

C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	700	700
			SUBTOTAL (C)	700

D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo B	1	1 100	100%	1 100
			SUBTOTAL (D)	1 100

COSTO DIRECTO			20 157
----------------------	--	--	---------------

El valor del conductor es proporcionado por la empresa Centelsa [14].

Tabla 17. Costo suministro, transporte e instalación de red monofásica trifilar conductor #4 sencillo.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Conductor ACSR # 4 desnudo	m	1,15	1 958	2 252
Conductor Aluminio THHN 2 x #4 90°C – 600V	m	2,30	4 305	9 902
			SUBTOTAL (A)	12 154
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	550	550
			SUBTOTAL (B)	550
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	700	700
			SUBTOTAL (C)	700
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo B	1	1 100	100%	1 100
			SUBTOTAL (D)	1 100
COSTO DIRECTO				14 504

Tabla 18. Costo de las estructuras de paso y terminales para cable tendido sencillo.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Percha TP s 3 puestos	Und	1	22 000	22 000
Aislador carrete 3 ½"	Und	3	2 200	6 600
Cinta de Acero ¾	m	18	2 500	45 000
Hebillas de acero ¾	Und	3	1 000	3 000
SUBTOTAL (A)				76 600
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	20 000	20 000
SUBTOTAL (B)				20 000
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	25 000	25 000
SUBTOTAL (C)				25 000
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	20 000	100%	20 000
SUBTOTAL (D)				20 000
COSTO DIRECTO				141 600

Tabla 19. Costo estructura de cambio de ángulo.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Percha TP s 3 puestos	Und	2	22 000	44 000
Aislador carrete 3 1/8"	Und	6	2 200	13 200
Cinta de Acero 3/4	m	18	2 500	45 000
Hebillas de acero 3/4	Und	3	1 000	3 000
SUBTOTAL (A)				105 200
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	20 000	20 000
SUBTOTAL (B)				20 000
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	25 000	25 000
SUBTOTAL (C)				25 000
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	20 000	100%	20 000
SUBTOTAL (D)				20 000
COSTO DIRECTO				170 200

La Tabla 20 muestra el costo total de la red de baja tensión para 21 usuarios.

Tabla 20. Costo directo red de baja tensión.

DETALLE	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Suministro, transporte e instalación de torrecilla metálica de 8 [m], galvanizada en caliente, con antiescalatorio	\$ 1 280 000	23,00	\$ 29 440 000
Cimentación en concreto para torrecillas metálicas de 8 [m], galvanizada en caliente, con antiescalatorio	\$ 104 000	23,00	\$ 2 392 000
Templete directo a tierra	\$ 166 900	23,00	\$ 3 838 700
Puesta a tierra estructura terminal	\$ 263 200	20,00	\$ 5 264 000
Suministro, transporte e instalación de red monofásica trifilar conductor #2 sencillo	\$ 20 157	3921,62	\$ 79 048 094
Suministro, transporte e instalación de red monofásica trifilar conductor #4 sencillo	\$ 14 504	3794,95	\$ 55 041 955
Estructuras de paso y terminales para cable tendido sencillo	\$ 141 600	20,00	\$ 2 832 000
Estructura de cambio de ángulo	\$ 170 200	3,00	\$ 510 600
Luminaria alumbrado público de 70W	\$ 114 850	21,00	\$ 2 411 850
COSTO TOTAL ELEMENTOS			\$ 180 779 199

El precio de la luminaria se presenta en [15].

- **Transformadores y protecciones.**

Se escogieron transformadores monofásicos ya que en las zonas rurales se acostumbra poner este tipo de transformadores, esto es debido a que la carga no acostumbra a ser trifásica y al costo de los transformadores trifásicos, que comparados con los monofásicos son más costosos.

- **Costo de los transformadores y el montaje de las protecciones.**

Las tablas 21 y 22 presentan los valores del montaje de los transformadores y de las protecciones.

Tabla 21. Costo montaje transformador monofásico 10 kVA 13200/240-120 V

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Transformador 10 kVA 13.2k/ 120-240V	und	1	3 800 000	3 800 000
			SUBTOTAL (A)	3 800 000
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	70 000	70 000
			SUBTOTAL (B)	70 000
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	150 000	150 000
			SUBTOTAL (C)	150 000
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	300 000	100%	300 000
			SUBTOTAL (D)	300 000
COSTO DIRECTO				4 320 000

El precio del transformador es proporcionado por la empresa ABB [16].

Tabla 22. Costo montaje de protecciones.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Pararrayos 12 KV 10 kA	Und	2	140 000	280 000
Cortacircuitos 15 kV	Und	2	150 000	300 000
Hilo fusible 1 A	Und	2	3 500	7 000
Fusible 1X50A B.T	Und	2	7 915	15 830,32
Varilla cooperweld 2.4 m	Und	1	95 000	95 000
Hidrosolta Bolsa 15 Kg	Und	2	75 000	150 000
Tubo galvanizado ½" 3 m	Und	2	15 000	30 000
Cable aluminio # 8 desnudo m	m	25	1 100	27 500
Cinta bandit 3/4"	m	4	2 500	10 000
Hebilla bandit 3/4"	Und	2	1 000	2 000
			SUBTOTAL (A)	917 330,32
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	35 000	35 000
			SUBTOTAL (B)	35 000
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	75 000	75 000
			SUBTOTAL (C)	75 000
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	170 000	100%	170 000
			SUBTOTAL (D)	170 000
COSTO DIRECTO				1 197 330,32

La tabla 23 muestra el costo total de los transformadores y el montaje de protecciones.

Tabla 23. Costo total transformadores y montaje de protecciones

DETALLE	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Montaje transformador monofásico 10 kVA 13200/240-120 V	\$ 4 320 000	7	\$ 30 240 000
Montaje de protecciones	\$ 1 197 330	7	\$ 8 381 312
COSTO TOTAL ELEMENTOS			\$ 38 621 312

- **Red de media tensión.**

A continuación se presenta el costo de los elementos utilizados comúnmente en la red de media tensión. Asimismo, el costo del transporte y la mano de obra.

- **Costo de los elementos de la red de media tensión**

Las Tablas 24, 25, 26, 27 y 28 muestran el costo de suministro, transporte e instalación de los elementos de media tensión. La Tabla 29 el costo directo de la inversión y la tabla 30 el costo total de electrificación rural mediante un sistema de distribución.

Tabla 24. Costo de suministro, transporte e instalación de torrecilla metálica galvanizada en caliente, con antiescalatorio.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Torres metálicas 12 m	und	1	1 550 000	1550 000
			SUBTOTAL (A)	1 550 000
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	60 000	60 000
			SUBTOTAL (B)	60 000
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	150 000	150 000
			SUBTOTAL (C)	150 000
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	170 000	100%	170 000
			SUBTOTAL (D)	170 000
COSTO DIRECTO				1 930 000

Tabla 25. Costo de suministro, transporte e instalación de cimentación para torrecilla metálica de 12 [m], 510 [kg,] galvanizada en caliente, con antiescalatorio.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Cemento	gl	1,50	15 000	22 500
Triturado	m3	0,80	40 000	32 000
Arena lavada	m3	0,40	25 000	10 000
			SUBTOTAL (A)	64 500
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	10 000	10 000
			SUBTOTAL (B)	10 000
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	40 000	40 000
			SUBTOTAL (C)	40 000
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	60 000	100%	60 000
			SUBTOTAL (D)	60 000
COSTO DIRECTO				174 500

Tabla 26. Costo de suministro, transporte e instalación de herraje de la estructura RH.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Cruceta metal 3x3x¼"x 2 m	Und	2	90 000	180 000
Cruceta metal 3x3x¼"x 3 m	Und	2	110 000	220 000
Perno ¾"x10" Rosca Corrida	Und	3	7 000	21 000
Perno ½"x1 ½ " galvanizado	Und	8	2 500	20 000
Grapa de retención en Aluminio de 2/0	Und	6	17 500	105 000
Aislador Suspensión de 6"	Und	9	20 000	180 000
Conector Aluminio Ranuras paralelas 1 perno 2/0 AWG	Und	6	7 500	45 000
Tuerca de ojo ¾" alargada galvanizada	Und	6	10 000	60 000
Collarín dos salidas 6-7"	Und	2.	18 000	36 000
			SUBTOTAL (A)	867 000
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	18 000	18 000
			SUBTOTAL (B)	18 000
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	40 000	40 000
			SUBTOTAL (C)	40 000
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	90 000	100%	90 000
			SUBTOTAL (D)	90 000
COSTO DIRECTO				1 015 000

Tabla 27. Costo suministro, transporte e instalación chispometro puesta a tierra.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Varilla de cobre Solido 5/8* 1.8 m	Und	2	95 000	190 000
Cable cobre # 4 desnudo	m	10	6 000	60 000
Tubo galvanizado ½" 3 m	Und	1	15 000	15 000
Conector cobre # 4	Und	2	8 000	16 000
Cinta bandit 3/4"	m	2	3 500	7 000
Hebilla bandit 3/4"	Und	2	1 500	3 000
			SUBTOTAL (A)	291 000

B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	10 000	10 000
			SUBTOTAL (B)	10 000

C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	30 000	30 000
			SUBTOTAL (C)	30 000

D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	40 000	100%	40 000
			SUBTOTAL (D)	40 000

COSTO DIRECTO	371 000
----------------------	----------------

Tabla 28. Costo suministro, transporte e instalación de red monofásica trifilar conductor #2.

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Conductor desnudo 3 ACSR # 2	m	3,45	2 928	10 101
			SUBTOTAL (A)	10 101
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	550	550
			SUBTOTAL (B)	550
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	700	700
			SUBTOTAL (C)	700
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo B	1	1,100	100%	1 100
			SUBTOTAL (D)	1 100
COSTO DIRECTO				12 451

El costo del conductor se presenta en [14]

La Tabla 29 muestra el costo directo de la red de media tensión.

Tabla 29. Costo directo red de media tensión.

DETALLE	COSTO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Suministro, transporte e instalación de torrecilla metálica galvanizada en caliente, con antiescalatorio.	\$ 1 930 000	38	\$ 73 340 000
Suministro, transporte e instalación de cimentación para torrecilla metálica de 12 [m], 510 [kg,] galvanizada en caliente, con antiescalatorio.	\$ 174 500	19	\$ 3 315 500
Suministro, transporte e instalación de herraje de la estructura RH.	\$ 1 015 000	12	\$ 12 180 000
Suministro, transporte e instalación chispometro puesta a tierra.	\$ 371 000	7	\$ 2 597 000
suministro, transporte e instalación de red monofásica trifilar conductor #2.	\$ 12 451	6 671,11	\$ 83 061 991
COSTO TOTAL ELEMENTOS			\$ 174 494 491

- **Presupuesto total línea de distribución.**

El presupuesto debe contar con los costos directos que comprenden el valor de los elementos a utilizar en el montaje de la línea de distribución; y los costos indirectos como imprevistos (3%), utilidad (7%) e IVA sobre utilidad (16% de utilidad). Además, el porcentaje de interventoría (entre 8 % y 10 %).

Tabla 30. Costo total línea de distribución con red interconectada para electrificación rural.

DETALLES		VALOR
Costo directo red de media tensión		\$ 174 494 491,00
Costo directo red de baja tensión		\$ 180 779 199,00
Costo directo transformadores y protecciones		\$ 38 621 312,00
COSTO DIRECTO		\$ 393 895 002,00
Imprevistos	3%	\$ 11 816 850,06
Utilidad	7%	\$ 27 572 650,14
Iva sobre utilidad	16%	\$ 4 411 624,02
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		\$ 43 801 124,22
Interventoría	8%	\$ 35 015 690,10
COSTO TOTAL		\$ 472 711 816,32

El mantenimiento de la red de distribución será realizado por el operador de red Centrales eléctricas de Norte de Santander (CENS).

- **Precio del kWh en electrificación rural mediante un sistema de distribución.**

El precio del kWh es \$ 348,21 (tarifa suministrada por Centrales Eléctricas del Norte de Santander para zona rural estrato 2) [17].

Tabla 31. Sistema de distribución para electrificación rural con red interconectada.

TECNOLOGÍA	COSTOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO
DISTRIBUCIÓN	Red de baja tensión \$ 180 779 199,00	Los costos de administración, operación y mantenimiento (AOM) son garantizados por el operador de red.	La implementación de infraestructura eléctrica va directamente relacionada con el uso de predios para las servidumbres, impactando negativamente en la flora y fauna de la zona.	los cálculos de regulación de tensión y pérdidas de potencia se realizaron para cada transformador, con su respectivo número de usuarios.
	Red de media tensión \$ 174 494 491,00	Existe personal calificado para el diseño y construcción de este tipo de sistema.	Se hace necesario realizar estudios ambientales y verificar que la zona del proyecto no se encuentre en un área de reserva forestal	Las distancias para calcular la red de media tensión y la red de baja tensión fueron tomadas del proyecto seleccionado para estructurar.
	Transformadores y protecciones \$38 621 312	Es un servicio de alta confiabilidad.	Las distancias entre los usuarios generan pérdidas por regulación lo cual hace que los conductores utilizados sean más costosos.	
	Precio kWh: \$348, 1	Los elementos que componen el sistema son de fácil acceso en el mercado.	El transporte de los materiales se ve afectado por el difícil acceso a la zona.	
			Las fallas en el sistema son frecuentes, debidas a descargas atmosféricas, vientos, contacto con cuerpos extraños, vandalismo entre otras..	

Fuente [42].

4.2.2.8 CÁLCULO DEL PRESUPUESTO Y PRECIO DEL kWh ESTÁNDAR DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

A continuación se mostrará una metodología para estimar el presupuesto y precio estándar para un sistema solar fotovoltaico individual y un sistema solar fotovoltaico centralizado.

- **Sistema solar fotovoltaico aislado individual**

Para determinar el presupuesto y precio del kWh de un sistema solar fotovoltaico individual, es necesario seleccionar los equipos en el diseño, el costo de éstos y tener en cuenta los costos indirectos y de interventoría.

- **Selección de los componentes de generación Solar Fotovoltaica**

- ✓ **Carga**

Según la ecuación 12, la demanda máxima diversificada por usuario es de 2 [kVA], y la energía consumida en 1 mes es de 123 [kWh] (Tabla 8).

- ✓ **Selección de los paneles solares**

Para la selección de los paneles solares se sigue la metodología presentada en [24]. La metodología presenta una serie de pasos con el fin de obtener las características técnicas del panel fotovoltaico.

✓ **Definición de las marcas comerciales**

Se realizó una investigación de las marcas más conocidas en el mercado de paneles fotovoltaicos, éstas son las siguientes:

- KYOCERA
- EVERGREEN
- SOLAR REC
- SOLAR WORLD
- SUNTECH
- SUNPOWER
- SCHOTT
- SHARP

✓ **Selección de modelos de paneles**

Se realizó una búsqueda de los diferentes modelos en las páginas de internet de las marcas listadas anteriormente, se escogieron paneles con potencia mayor a 180 W con el fin de reducir el costo de la inversión en el número de paneles. En la Tabla 32 se relacionan los paneles [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26].

Tabla 32. Modelo de paneles seleccionados.

MARCA	MODELO	[W]
KYOCERA	KD215GX-LPU	215
KYOCERA	KD225GX-LPB	225
EVERGREEN	ES-210-fa3b	210
EVERGREEN	ES-215-fa3b	215
SOLAR REC	REC215 PE-US	215
SOLAR REC	REC225 AE-US	225
SOLAR WORLD	SW 225	225
SOLAR WORLD	SW 230	230
SUNTECH	STP210-18.Ub-1	210
SUNTECH	STP225-24.Vb-1	225
SUNPOWER	SPR-205.BLK	205
SUNPOWER	SPR-238E.WHT-D	238
SUNPOWER	SPR-305-WHT-U	305
SCHOTT	POLY.225	225
SHARP	NT-175UC1	175
SHARP	ND-198UC1	198
SHARP	ND-U224C1	224
SHARP	UN-U230F3	230

- **Valoración Técnico – Comercial**

Las características escogidas corresponden a la composición poli-cristalina o Mono-cristalina en celdas y tensión de salida nominal 24 [V]. Para depurar la lista de paneles fotovoltaicos, se analizan tres aspectos importantes: costo, oferta comercial y área por configuración de generación.

- **Costo**

En el momento de la selección del panel, el costo corresponde a un factor de alta importancia, ya que éste garantiza la viabilidad del desarrollo del proyecto. Generalmente, se realiza un análisis de precios en el mercado haciendo una

comparación entre el costo y la eficiencia. En el mercado existen paneles de alta eficiencia (valores entre 16% y 20%) a un costo muy elevado, por lo cual es más factible utilizar paneles de menores eficiencias (valores entre 13% y 14%) ya que presentan un valor moderado para la implementación [27].

Cabe resaltar que la mejor estrategia de compra de un panel es establecer un rango determinado del costo, pues no necesariamente el de menor precio será el adecuado, ya que el valor en el mercado varía con el tiempo; por lo tanto, al momento de realizar la compra éste puede no ser el más económico [27].

➤ **Oferta comercial**

En este criterio se analiza la disponibilidad comercial que tienen los fabricantes al ofrecer su servicio para adquirir el panel por medio de un distribuidor en Colombia y así evitar los costos e impuestos de importación directa del mismo.

➤ **Area de configuración por generación**

Aunque la ubicación de los paneles es un aspecto importante en el criterio de selección, en este caso no se hace indispensable ya que se cuenta con un amplio terreno en los alrededores de las viviendas de los usuarios para posicionarlos.

Las configuraciones de paneles en serie y en paralelo son requeridas para poder suministrar la corriente y la tensión necesaria para el correcto funcionamiento del inversor. Estas configuraciones se diseñan con tensión de circuito abierto (U_{oc}) la cual debe ser considerablemente alta para poder obtener una reducción del número de paneles conectados en serie y así alcanzar la condición de operación del inversor [28].

✓ **Selección del panel.**


Según las especificaciones del proyecto se seleccionaron paneles de 225 [W], los cuales se encontraron en varios modelos comerciales, vistos en la Tabla 32; donde se observa que hay 6 paneles que poseen especificaciones similares. En la Tabla 33 se presentan las características de los paneles de 225 [W].

Tabla 33. Paneles solares fotovoltaicos seleccionados.

	Marca	Modelo	[W]	η [%]	Largo [m]	Ancho [m]	V_{oc}	I_{sc}	Peso [Kg]
1	SUNTECH	STP225-24-Vb-1	225	13,42	1,675	1,001	37,30	8,13	21,2
2	KYOCERA	KD225GX-LPV	225	15,04	1,662	0,900	36,9	8,18	21,0
3	SOLAR REC	REC225 AE-US	225	13,64	1,665	0,991	36,6	8,40	22,0
4	SOLAR WORLD	SW 225	225	13,64	1,665	0,991	36,7	8,15	22,5
5	SCHOTT	POLY- 225	225	13,45	1,685	0,993	36,70	8,24	23,0
6	SHARP	ND-U224C1	224	13,74	1,640	0,994	36,90	8,07	20,0

✓ **Panel seleccionado**

Tabla 34. Características técnicas del panel solar [26].

	Marca	Schott
	Modelo	Poly-225
	Potencia [W]	225
	Eficiencia %	13,45
	Largo	1,685
	Ancho	0,993
	Tensión de circuito abierto [V]	33,7
	Corriente de corto circuito [A]	8,24
	Tension de máxima potencia [V]	29,8
	Corriente de máxima potencia [A]	7,55
	Peso [kg]	23

➤ **Configuración de paneles**

Para el cálculo de número de paneles es indispensable conocer la radiación solar promedio de los últimos años. Este dato fue proporcionado gracias a los mapas de radiación solar presentados por la UPME (unidad de planeación minero energética) [29] y al software presentado por los consultores de CORPOEMA: Fabio Gonzales y Humberto Rodríguez, mediante el cual se puede calcular la radiación solar en cualquier superficie de orientación arbitraria en Colombia [30]. Según la investigación realizada la radiación solar en la vereda es de 5,77 kW/m²/día.

La eficiencia del regulador y del inversor debe incluirse en el cálculo de la energía, ya que éstas forman parte de la eficiencia del sistema. Teniendo en cuenta la eficiencia de estos dos elementos, la energía que deben proporcionar los paneles mensualmente es de:

$$\frac{123 \text{ kWh/mes}}{0,92 \times 0,97} = 137,83 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{mes}} \right] \quad (26)$$

➤ **Cálculo de la energía utilizada diariamente**

$$\frac{137,83 \text{ kWh/mes}}{30 \text{ día/mes}} = 4,59 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{día}} \right] \quad (27)$$

➤ **Cálculo de Carga en [A-h]**

$$\frac{4,59 \text{ kWh/día}}{24 \text{ V}} = 191,4 \left[A - \frac{h}{\text{día}} \right] \quad (28)$$

Teniendo en cuenta la radiación solar diaria en la vereda, la energía proporcionada por el sol en una hora es 5,77 [kWh/m²]. Según las características del panel solar el cual con una radiación de 1 [kW/m²] produce 225 [W], se tendrá esa potencia por un tiempo diario de:

$$\frac{5,77 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ día}}}{1 \text{ kW/m}^2} = 5,77 \left[\frac{h}{\text{día}} \right] \quad (29)$$

➤ Cálculo de paneles solares

Primero se debe calcular la carga en [A]

$$\frac{191,43 \text{ A-h/día}}{5,77 \text{ h/día}} = 33,17 \text{ [A]} \quad (30)$$

Existen 2 opciones de conexión de paneles solares, conexión en serie y conexión en paralelo, como se muestra en la Figura 1.

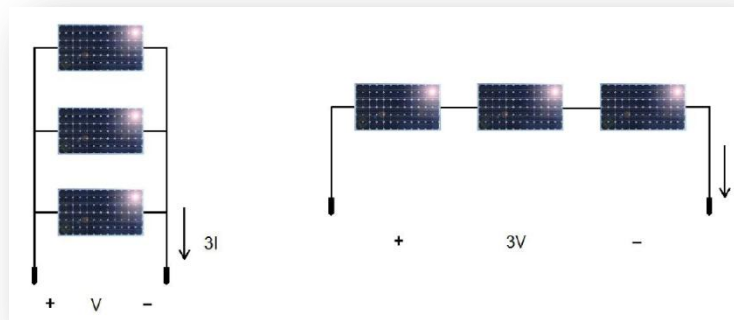


Figura 1. Posibilidades de configuraciones de paneles solares.

La conexión en paralelo es la más favorable, ya que al ocurrir una falla en cualquiera de los elementos, los demás no se verán afectados.

Se calcula el número de paneles conectados en paralelo, con el dato de corriente de máxima potencia del panel.

$$\frac{33,17 \text{ A}}{7,55 \text{ A}} = 4,39 . \quad (31)$$

Se debe tomar el valor entero inmediatamente mayor a 4,39. Por lo tanto, el número total de paneles a utilizar es de 5.

➤ **Selección de regulador**

La metodología utilizada para la selección del regulador corresponde en determinar la intensidad máxima admisible de los paneles en DC. Para esto se necesita conocer la corriente de corto circuito del panel solar y la cantidad de paneles conectados en paralelo. Además, se debe conocer la tensión de servicio en DC, la cual para este caso es de 24 [V] y soportar la potencia de los cinco paneles.

$$I_{sc} = 8,24 [A] \times 5 \text{ paneles} \quad (32)$$

$$I_{sc} = 41,2 [A] \quad (33)$$

Se pondrán 3 reguladores de carga en paralelo de 15 [A]

➤ **Especificaciones técnicas del regulador [31]**

Tabla 35. Características del regulador Phocos CLM-15



Tensiones nominales de baterías	12-24V (seleccionable)
Corriente máxima de salida	15A
Tipo de baterías admitidas	Plomo abiertas, gel y AGM
Eficiencia	97,5 %

➤ **Selección del inversor**

La entrada del convertidor será de 24 [V] y la salida 120[V], el convertidor se utilizará para los electrodomésticos de los usuarios que funcionen a 120 [V] y su

elección se realiza con la potencia máxima, la cual corresponde a 2 000 [VA] (ver ecuación 9).

- Especificaciones técnicas del inversor [31]

Tabla 36. Características del inversor Sumverter SV-2000/24



Tensión nominal	24 VDC
Potencia nominal a 25 OC	2000 VA
Tensión AC / Frecuencia	120 VAC / 60 Hz
Corriente nominal salida CA	20.8 A AC
Eficiencia	86% < η < 92%
Distorsión armónica máxima	$\leq 3\%$
Corriente máxima de salida	50 A AC (RMS)
Rango de tensión de entrada en CC	20 – 32

✓ Selección de baterías

Para seleccionar las baterías se debe calcular el valor de capacidad [A-h], en donde se tendrá en cuenta el valor de energía consumida mensualmente y la tensión del sistema.

$$Carga = \frac{137,83 \text{ kWh/mensuales}}{30 \text{ días al mes}} = 4,59 \left[\frac{\text{kWh}}{\text{diario}} \right] \quad (34)$$

$$Carga \text{ Bateria} = \frac{4 \text{ 590Wh/día}}{24 \text{ V}} = 191,43 \left[A - \frac{h}{\text{día}} \right] \quad (35)$$

Para el correcto dimensionamiento de las baterías se debe asignar un valor de días de autonomía. Este valor es de 2 días, ya que se tiene en cuenta un día soleado y uno nublado.

De esta manera, la capacidad amperimétrica del sistema se calcula así.

$$191,43 [A - h] \times 2 = 382,86 [A - h] \quad (36)$$

➤ Especificaciones técnicas de las baterías

Actualmente en el mercado existen acumuladores de tipo gel, AGM, tubular estacionaria y de arranque. Las baterías de gel suelen ser las más utilizadas debido a su bajo mantenimiento y por presentar un ciclo de carga y descarga profunda. Las baterías tipo tubular estacionaria y AGM tienen la cualidad de poseer ciclos de carga y descarga profunda, pero con la gran desventaja de tener un costo elevado y de difícil acceso en el mercado. Por último, las baterías de arranque se descartan pues no están diseñadas para ciclo de carga y descarga profunda, además son de corto tiempo de vida útil [27].

Tabla 37. Características técnicas de la Batería Victron GEL [31].



Modelo	Victron GEL 12 / 220
Tensión [V]	12
Capacidad [Ah]	200
Tipo	GEL

Numero de baterías en paralelo.

$$N \text{ de baterías en paralelo} = \frac{382,86 A-h}{200 A-h} = 1,96 \approx 2 \text{ baterías} \quad (37)$$

Numero de baterías en serie

$$N \text{ de baterías en serie} = \frac{\text{Tension del sistema}}{\text{Tension Batería}} = \frac{24}{12} = 2 \text{ baterías} \quad (38)$$

Con el modelo seleccionado de batería, se requiere utilizar 2 baterías en serie y 2 en paralelo para un total de 4 baterías.

La figura 2 muestra cómo está compuesto el sistema solar fotovoltaico individual.

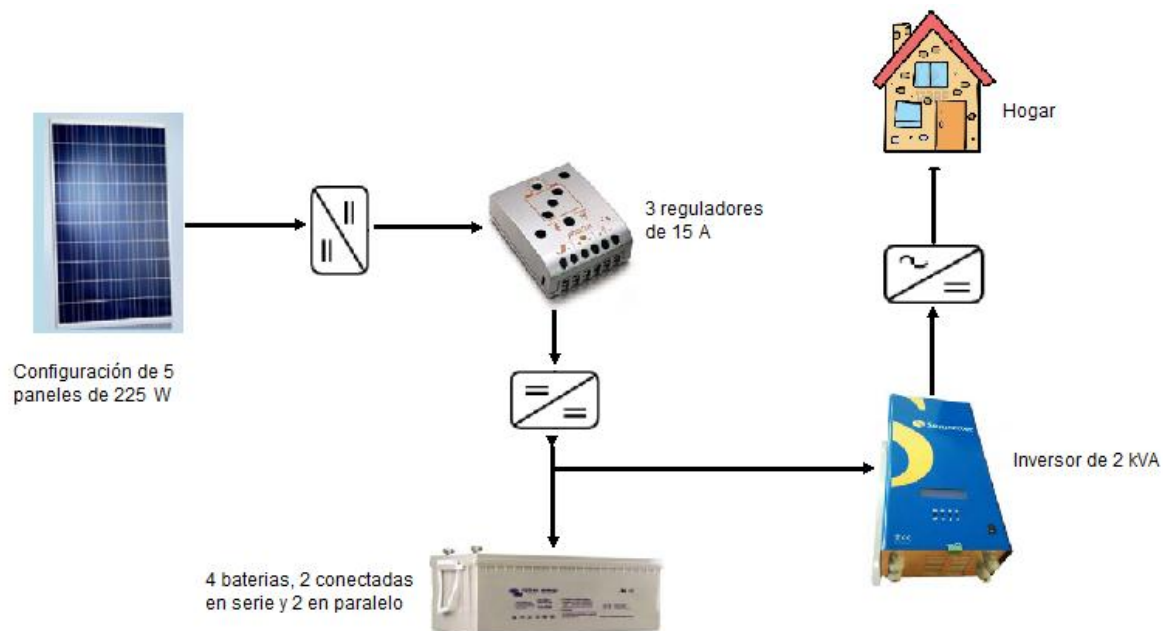


Figura 2. Diagrama del sistema solar fotovoltaico individual [42].

- **Costo unitario de los elementos seleccionados para el sistema solar fotovoltaico por usuario [33]**

Tabla 38. Costo unitario de los elementos seleccionados.

Elemento	Costo
Panel solar	\$ 1 037 740,00
Regulador	\$ 441 588,00
Inversor	\$ 2 308 296,00
Batería	\$ 1 253 672,00

- **Cálculo costo de la inversión.**

El método más común para determinar el precio del kWh es la suma de cada uno de los costos de los equipos utilizados en un sistema de generación solar fotovoltaico (panel solar, regulador, batería e inversor). Además, los costos indirectos e interventoría. Los paneles solares serán posicionados en el techo de las viviendas, por lo tanto no existe costo de terreno para la ubicación de ellos.

Teniendo en cuenta que se seleccionaron baterías de gel, las cuales constan de un tiempo de vida útil entre 5 a 8 años dependiendo de su uso, éstas deben ser cambiadas 2 veces basándose en la condición de duración de 7 años. Para llegar a esta conclusión se tiene en cuenta que el tiempo de vida útil propuesto por los fabricantes de los paneles solares escogidos es de 20 años [31].

La Tabla 39 muestra el costo total de los elementos seleccionados.

Tabla 39. Costo de los elementos.

Elementos Sistema Solar Fotovoltaico	Número de elementos	\$ Costo Unitario	Costo de los elementos
Panel solar	5	\$1 037 740.00	\$ 5 188 700
Batería	12	\$1 253 672.00	\$ 15 044 064
Regulador	3	\$441 588.00	\$ 1 324 764
Inversor	1	\$2 308 296.00	\$ 2 308 296
costo total			\$ 23 865 824

En la Tabla 40 se presentan los costos directos de los elementos utilizados en un sistema solar fotovoltaico individual para las 21 viviendas. Además se presentan los costos indirectos y de interventoría.

Tabla 40. Costo total de un sistema solar fotovoltaico individual para 21 viviendas.

DETALLES		VALOR
Costo directo de los elementos de los 21 viviendas		501 182 304,00
COSTO DIRECTO		501 182 304,00
Imprevistos	3%	\$15 035 469,12
Utilidad	7%	\$35 082 761,28
Iva sobre utilidad	16%	\$5 613 241,80
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		\$55 731 472,20
Interventoría	8%	\$44 553 102,10
COSTO TOTAL		\$601 466 878,30

El costo de inversión por usuario es de

$$\text{Costo total por usuario} = \frac{\$601\,466\,878,30}{21} = \$28\,641\,279,92 \quad (39)$$

- **Precio del kWh anual**

Para determinar el precio del kWh anual se divide el valor total de la inversión en 20 años, debido a que es el tiempo de vida útil de los paneles solares, inversores y reguladores. Las baterías tienen un tiempo de vida útil de aproximadamente 7 años sin requerir de mantenimiento, por lo tanto se realizan 2 cambios de baterías durante los 20 años.

$$kWh = \frac{\$28\,641\,279,92}{123 \frac{kWh}{mes} \times 12 \frac{meses}{año} \times 20 \text{ años}} = \$970,23 /kWh \quad (40)$$

- **Sistema solar fotovoltaico centralizado.**

Siguiendo la metodología presentada en Sistema solar fotovoltaico aislado individual, se establece ahora el precio del kWh para un sistema solar centralizado. Éste consiste en 7 sistemas de generación solar fotovoltaica, cada uno con el mismo número de usuarios por transformador presentado en el numeral 4.2.2.3 De esta manera, se puede realizar una comparación adecuada con el sistema de distribución con red interconectada.

A continuación se muestran los elementos utilizados en los sistemas solares fotovoltaicos centralizados.

- **Selección de los componentes de generación Solar Fotovoltaica**

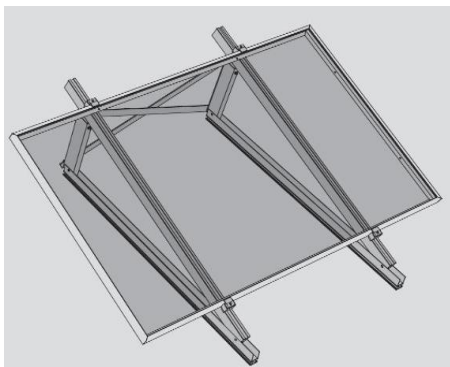
- ✓ **Selección panel solar**

Ver Tabla 34.

- ✓ **Selección estructura de soporte para el panel solar**

- Especificaciones técnicas estructuras de soporte panel solar [33]

Tabla 41. Características técnicas estructura de soporte para panel solar.

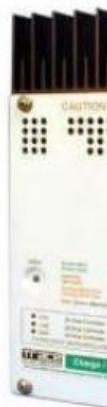


Estructura para cualquier módulo solar fotovoltaico
Estructura de aluminio a base de carriles
Fácil instalación
Tornillería en acero inoxidable
Gran resistencia contra viento y cargas de nieve
Incluye cartucho de resina de taco químico HILTI para el anclaje
Fijación de placas solares independientemente de los Wp de la placa solar.

✓ **Selección regulador**

- Especificaciones técnicas del regulador [31]

Tabla 42. Características técnicas del regulador.



Tensiones nominales de baterías	12-24-48 V (seleccionable)
Corriente máxima de salida	40A
Tipo de baterías admitidas	Plomo abiertas, gel y AGM
Eficiencia	97 %

✓ **Selección inversor**

- Especificaciones técnicas del inversor

Ver Tabla 36.

✓ **Selección baterías**

➤ Especificaciones técnicas de las baterías

Ver Tabla 37

En la Tabla 43 se presenta el número de paneles solares, baterías, reguladores e inversores de acuerdo a las características técnicas anteriormente listadas.

Tabla 43. Número de paneles solares, reguladores, baterías e inversores en los sistemas solares fotovoltaicos centralizados.

Sistema solar Fotovoltaico centralizado	1	2	3	4	5	6	7
Demanda por usuario [kVA]	2	2	2	2	2	2	2
Factor de diversidad	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
Demanda máxima [kVA]	3,51	3,51	8,77	5,26	3,51	7,02	5,26
Energía por usuario [kWh]	123	123	123	123	123	123	123
número de usuarios	2	2	5	3	2	4	3
Energía total [kWh]	246	246	615	369	246	492	369
Eficiencia regulador %	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Eficiencia inversor %	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92	0,92
Energía paneles [kWh]	275,7	275,7	689,15	413,49	275,7	551,32	413,49
Energía diaria [kWh]	9,19	9,19	22,97	13,78	9,19	18,38	13,78
Carga en [A-h]	382,9	382,9	957,16	574,29	382,9	765,73	574,29
Paneles solares							
Carga en [A]	66,35	66,35	165,89	99,53	66,35	132,71	99,53
Numero de paneles	9	9	22	14	9	18	14
Reguladores							
Corriente	74,16	74,16	181,28	115,36	74,16	148,32	115,36
Numero de reguladores	2	2	5	3	2	4	3
Baterías							
Carga baterías	382,9	382,9	957,16	574,29	382,9	765,73	574,29
Carga baterías con 2 días de autonomía	765,7	765,7	1 914	1 148	765,7	1 531	1 148
Baterías en paralelo	4	4	10	6	4	8	6
Baterías en serie	2	2	2	2	2	2	2
Baterías totales	8	8	20	12	8	16	12
Inversores.							
Potencia inversores [kVA]	3,51	3,51	8,77	5,26	3,51	7,02	5,26
Número de inversores	2	2	5	3	4	8	3
Estructuras de soporte para panel solar							
Numero de estructuras	9	9	22	14	9	18	14

La figura 3 muestra cómo están distribuidos los elementos que conforman el sistema solar fotovoltaico centralizado..

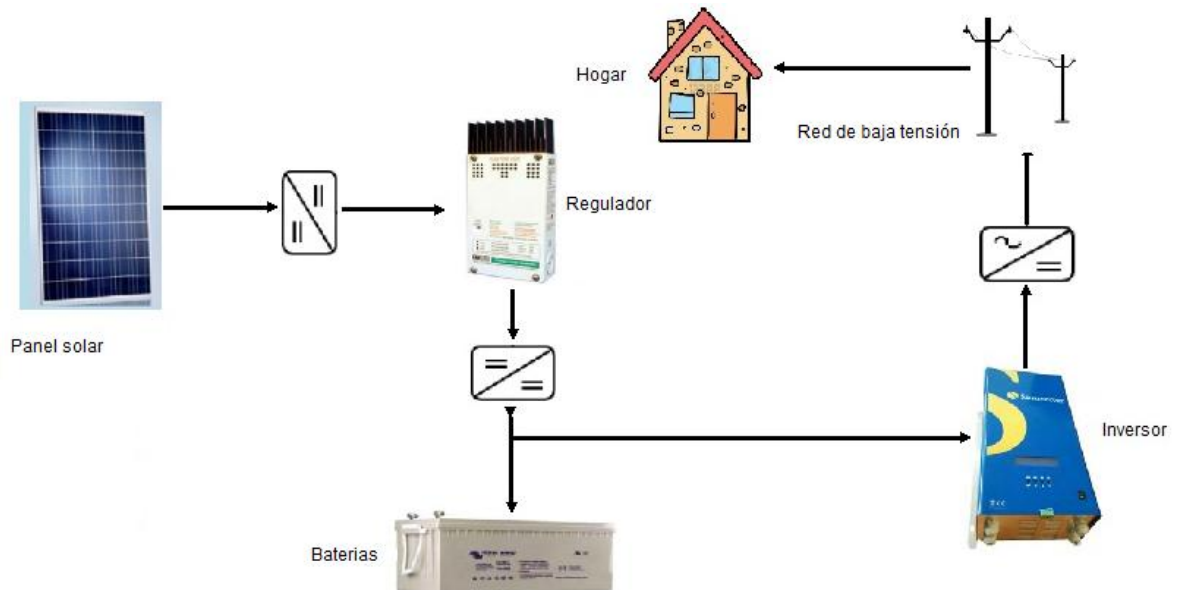


Figura 3. Diagrama del sistema solar fotovoltaico centralizado [42].

La Tabla 44 muestra el costo unitario y total de los elementos a usar en los sistemas solares fotovoltaicos centralizados.

Tabla 44. Elementos del sistema solar fotovoltaico centralizado.

Elemento	Número de elementos	Costo unitario	Costo total elementos
Panel Schott Poly-225	95	\$1 037 740,00	\$98 585 300
Regulador Xantrex C-40.	21	\$398 745,00	\$8 373 645
Inversor Sumverter SV-2000/24	27	\$2 308 296,00	\$62 323 992
Baterías Victron GEL	252	\$1 253 672,00	\$315 925 344
Estructuras de soporte para paneles solares	95	\$215 043,00	\$20 429 085
Terreno [m2]	250	\$2 000,00	\$500 000
Costo total de los elementos para 21 usuarios			\$506 137 366

Para determinar el precio del kWh del sistema se requiere añadir el presupuesto estándar de la línea de distribución monofásica trifilar 120/240[V], ya que ésta es la forma de llevar la energía generada por el sistema solar a los usuarios.

Tabla 45. Costo total sistema solar fotovoltaico.

DETALLES		VALOR
Costo directo de los elementos		\$506 137 366,00
Costo directo red de baja tensión		\$180 799 199
COSTO DIRECTO		\$686 936 565,00
Imprevistos	3%	\$20 608 096,95
Utilidad	7%	\$48 085 559,55
Iva sobre utilidad	16%	\$7 693 689,53
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		\$76 387 346,03
Interventoría	8%	\$61 065 912,88
COSTO TOTAL INVERSIÓN		\$824 389 823,91

- **Cálculo del precio del kWh del sistema solar fotovoltaico centralizado.**

El costo total de la inversión debe ser dividido en la energía consumida por el número total de viviendas (21) durante los 20 años de carga proyectada.

$$Precio kWh = \frac{\$824\,389\,823,91}{123 \frac{kWh}{mes} \times 21 usuarios \times 12 \frac{meses}{año} \times 20 años} = 1\,329,83 \$/kWh \quad (41)$$

Tabla 46. Sistema Solar Fotovoltaico.

FOTOVOLTAICA	Panel solar COP \$ 1 037 740 SOLAR SCHOTT. para sistema solar fotovoltaico por usuario y centralizado	Por ser proveniente del sol es una alternativa de energía renovable e inagotable.	Es necesario un sistema de almacenamiento.	En el mercado existen paneles de alta eficiencia (valores entre 16 y 20%) a un costo muy elevado, por lo cual es más factible utilizar paneles de menores eficiencias (valores entre 13y 14%) ya que presentan un valor moderado para la implementación.
	Batería COP \$1 253 672. BateríaVictron GEL para el sistema fotovoltaico por usuario y centralizado.	La energía generada puede ser combinada con otras fuentes de energía.	La eficiencia de un panel solar oscila alrededor de un 14% de la energía solar recibida por el panel.	El lugar de instalación de los paneles debe ser lo más perpendicular posible a la radiación directa del sol
	Regulador COP \$ 441 588 Phocos CLM-15, para el sistema fotovoltaico por usuario.	La vida útil es prolongada ya que los paneles pueden durar entre 20 y 30 años.	En la actualidad para el montaje y mantenimiento del sistema no se cuenta con personal calificado.	El dimensionamiento de las baterías permite que el sistema que proporciona energía a la carga tenga autonomía de operación para dos días, lo cual permite que pueda operar independiente a la red, siempre que las condiciones climáticas lo permitan.
	Inversor COP \$ 2 308 296 Sumverter SV-2000/24 para el sistema fotovoltaico por usuario.	Evita el uso de infraestructura reduciendo costos.	La vida útil de las baterías varía entre 5 y 8 años.	Para la selección de los inversores se debe tener en cuenta la tensión de servicio en D.C y A.C
	Regulador Xantrex C-40 \$ 461 409, para el sistema fotovoltaico centralizado.	La potencia del sistema puede ser aumentada con la adición de nuevos módulos.	Debido a los avances de la electrónica, los aparatos pueden quedar obsoletos en menos tiempo que la duración de su vida útil.	Para el cálculo del regulador se utiliza la corriente máxima nominal de corto circuito del panel y la tensión en D.C.
	Inversor COP \$ 2 308 296 Inversor Sumverter SV-2000/24, para el sistema fotovoltaico centralizado.	Bajo costo en operación.	La mayoría de los elementos deben ser importados ya que en Colombia no hay empresas que los fabriquen.	La eficiencia del panel no es un aspecto importante en la selección, ya que ésta se puede compensar con una mayor área instalada.
	Red de baja tensión para sistema fotovoltaico por usuario \$ 180 799 199	Bajo costo del mantenimiento en los paneles solares.	La eficiencia del panel se ve afectada por la temperatura del lugar donde se va a instalar.	
	250 metros cuadrados para sistema fotovoltaico centralizado	Altas eficiencias en los reguladores e inversores.	Debido a las condiciones climáticas puede haber días en donde el sistema no pueda proveer la energía necesaria para la carga instalada.	
	Precio del kWh sistema Centralizado: \$ 1 329,83	Es el único sistema que puede brindar un servicio sin interrupción.	Durante el proceso de carga las baterías liberan al ambiente hidrógeno en cantidades moderadas.	
	Precio del kWh sistema individual: \$ 970,23	Gracias a que no poseen partes con movimientos mecánicos, estos sistemas no contaminan sonoramente	Inversión significativa , especialmente si la disponibilidad es muy alta	

Fuente [42]

4.2.2.9 CÁLCULO DEL PRESUPUESTO Y PRECIO DEL kWh ESTÁNDAR DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

Se realiza el diseño de un sistema de generación diesel con capacidad de suministrar energía a 21 usuarios. Por lo tanto, se seleccionan los elementos que componen el sistema de generación diesel; la línea de distribución para proveer la energía a cada hogar y el costo de la inversión.

- **Costo de la instalación de un generador diesel con baterías de reserva de energía**

El costo de la implementación de un generador diesel se basa en los costos fijos y costos variables, éstos se dividen en costos individuales que determinan el valor total de ellos.

Los costos fijos corresponden al valor total de la planta diesel, tanque de almacenamiento rectificador, baterías e inversor a utilizar. Además, de la red de baja tensión; en ocasiones que no se tenga el espacio o el lugar para posicionar la planta, se debe agregar el valor del predio.

Los costos variables son aquellos que a futuro cambian, como lo son el precio del combustible; el transporte; el almacenamiento del diesel y el costo del AOM (administración, operación y mantenimiento).

- **Cálculo de Demanda máxima diversificada**

Conociendo la demanda máxima por usuario se aplica el factor de diversidad para estratos 1 y 2. La metodología para realizar el cálculo se presenta en la norma ESSA [12], por lo tanto el factor de diversidad viene dado por la fórmula:

$$f_{div.} = \frac{1}{0,2+0,8 \times e^{\frac{1-21}{6}}} \quad (42)$$

En donde N es el número de usuarios (21) con el cual se tiene un factor de diversidad de 4,3756.

La demanda máxima diversificada viene dada por la ecuación 12:

Donde N es el número de usuarios y $f_{div.}$ es el factor de diversidad, siendo D_{max} la demanda máxima por usuario la cual corresponde a 2 kVA:

$$D_{max-div.} = \frac{2kVA \times 21}{4,3756} = 9,598 \text{ kVA} \quad (43)$$

La demanda máxima diversificada para 21 usuarios es 9,598 kVA. Aplicando el factor de potencia de 0,95 en atraso, la demanda máxima diversificada es de 9,11 kW.

- **Selección de los componentes de generación diesel**

- ✓ **Selección de planta diesel**

La planta diésel se escoge de una potencia inmediatamente mayor a 9,598 kVA-9,11 kW. Por lo tanto, la planta diesel será de 15 kVA-12kW, marca EDO.

La Tabla 47 muestra características importantes del generador diesel.

➤ Características técnicas del generador diésel [34]

Tabla 47. Características del generador diesel.



Detalle	Cantidad
Potencia activa	12 kW
Potencia aparente	15 kVA
RPM	1800
Capacidad de aceite	3,1 gl
Combustible	Diesel
Consumo a plena carga	4,9 l/h – 1,3 gl/h
Voltaje	208/120 V
Frecuencia	60 hz
Número de fases	3

El precio de la planta incluyendo el transporte es de \$ 22 568 987,84

✓ **Cálculo de la eficiencia del sistema.**

Se calculará la eficiencia del sistema con el generador diesel trabajando a plena carga. Para desarrollar este cálculo se debe conocer el poder calorífico del diesel, y el equivalente de la unidad de calor (BTU) a kWh, teniendo en cuenta la cantidad de galones de combustible que se consuman para generación de electricidad.

Poder calorífico diesel : 138 000 BTU/gl [35]

1 kWh equivale a 3414 BTU [36]

Potencia generada por el poder calorífico del diesel a plena carga.

$$138\,000 \frac{BTU}{gl} \times \frac{1 kWh}{3414 BTU} \times 1,3 gl = 52,55 kWh \quad (44)$$

La eficiencia del sistema viene dada por:

$$\eta \% = \frac{\text{Energía de salida del sistema}}{\text{Energía de entrada del sistema}} \times 100 = \frac{12 kWh}{52,55 kWh} \times 100 = 22,8 \% \quad (45)$$

Por lo tanto la eficiencia que tiene la planta diesel es de 22,8 %

✓ **Tanque de almacenamiento**

Se requiere de un tanque de almacenamiento de 5 000 litros de la compañía Cavos de Margarita. Es fabricado en acero inoxidable, el cual tiene un precio de \$ 27 105 000 [37].

✓ **Selección de los rectificadores**

Se requiere del uso de 2 rectificadores de 2 kW conectados en paralelo por fase, para un total de 6 rectificadores. De esta manera, transformar la corriente alterna que sale de la planta diesel en corriente continua y cargar las baterías que suplen el suministro de energía en horas de la noche.

➤ Características técnicas del rectificador [38]

Tabla 48. Características del Rectificador FAC 2000P.



Potencia nominal	2000 W
Tensión de entrada AC	230 VAC
Factor de potencia	0.99
Corriente de entrada nominal	24.8 A AC
Eficiencia	>82%
Tensión nominal DC	12-24-36-48-60-110-125-216-220
Corriente nominal de salida	25,24,18,14,8,7,4 A

✓ **Selección de las baterías**

Para la selección de las baterías se realiza el procedimiento descrito para generación fotovoltaica; en el modelo seleccionado de batería, se requiere utilizar 21 baterías en paralelo y 2 en serie para un total de 42 baterías. En la tabla A.39 se muestra las características técnicas. Teniendo en cuenta el tiempo de implementación de la planta, se debe realizar un cambio de batería a los 7 años. Por lo tanto, el número total de baterías en los 15 años de implementación de la planta diesel es de 84.

➤ Características técnicas de las baterías.

Ver tabla 37.

✓ **Selección del Inversor**

La entrada del inversor será de 24 [V], la salida 120[V] y la potencia de 2 kVA .

Será necesaria la aplicación de 3 inversores conectados en paralelo por fase, para un total de 9 inversores. Esto es debido a que la potencia de la planta es de 15 kVA por.

- Características técnicas del Inversor

Ver tabla 36.

✓ **Transformador trifásico de potencia**

Debido a que se debe suministrar la energía mediante una línea de distribución, se hace necesario elevar la tensión del sistema producida por la planta (208 V) a 13,200 kV.

Teniendo en cuenta la potencia de la planta diesel (15 kVA), es necesario un transformador trifásico de 15 kVA.

Se selecciona un transformador trifásico de 15 kVA marca ABB.

- Características técnicas del transformador [16]

Tabla 49. Características técnicas del transformador.

Tensión en el lado de A.T [V]	Tensión en el lado de B.T [V]	
	Plena carga	En vacío
13 800 – 13 200	208-120	214-124

✓ **Selección de protecciones contra sobrecorrientes y sobretensiones**

➤ **Selección del fusible**

Se calcula la corriente primaria de los transformadores:

$$I_p = \frac{S_N}{\sqrt{3} * V_{lp}} [A] \quad (46)$$

$$I_p = \frac{15\,000}{13\,200 * \sqrt{3}} = 0,66 [A] \quad (47)$$

La corriente del fusible está dada por:

$$I_f = 1,25 * I_p \text{ [A]} \quad (48)$$

$$I_f = 1,15 * 0,66 = 0,75 \text{ [A]} \quad (49)$$

Se sugiere seleccionar un fusible tipo K (Rápido) que es el empleado para distribución, de 1 [A].

➤ **Protección para baja tensión**

Se calcula la corriente secundaria de los transformadores:

$$I_s = \frac{S_N}{\sqrt{3} * V_{Ls}} \text{ [A]} \quad (50)$$

$$I_p = \frac{15000}{\sqrt{3} * 240} = 36,08 \text{ [A]} \quad (51)$$

Por lo cual se selecciona para cada transformador 3 fusibles de 50 [A].

✓ **Selección del pararrayos**

La tensión del pararrayos está dada por:

$$V_p = F_{PT} * V_{Lmax} \quad (52)$$

Dónde:

V_p : Voltaje del pararrayos [kV].

F_{PT} : Factor de puesta a tierra, que es igual a 0,8 según la Tabla 4,1 de la ESSA.

V_{Lmax} : Voltaje máximo [kV].

$$V_{Lmax} = 1,1 * V_{nom} = 1,1 * 13,2 \text{ [kV]} = 14,52 \text{ [kV]} \quad (53)$$

$$V_p = 0,8 * 14,52 = 11,6 [kV] \quad (54)$$

Se seleccionan pararrayos para cada fase un pararrayos-Descargador de protecciones contra sobretensiones (DPS) de 12 [kV] normalizados con una capacidad de descarga de 10[kA] ZnO.

✓ Cálculo del barraje

Para las subestaciones de poste o aéreas, el calibre del conductor de aluminio ACSR, se calcula de acuerdo con la corriente nominal secundaria del transformador. El bajante de conexión del transformador al barraje se debe hacer en conductor de aluminio aislado. Se debe tomar la corriente secundaria del transformador como factor determinante para la selección del conductor que conformara el barraje, por tanto se procede a determinar dicha corriente:

$$I_{SN} = \frac{S_N}{V_N * \left(\frac{100 - U_z}{100} \right)} [A] \quad (55)$$

En donde:

V_N es la tensión nominal (208 V).

U_z es la tensión de corto circuito [%].

$$I_{SN} = \frac{15 * 10^3}{208 * \left(\frac{100 - 2,8}{100} \right)} = 74,19 [A] \quad (56)$$

La corriente máxima que soportará el barraje está dada por:

$$I_b \geq 1,25 * I_{SN} \geq 74,19 [A] \quad (57)$$

Según la Tabla 3.14 de la norma ESSA, un conductor de aluminio calibre 6 AWG

THWN a 75°C soporta dicha corriente.

La tabla 50 muestra el costo unitario de las protecciones para el transformador de 15 [kVA].

Tabla 50. Costo de montaje, suministro y transporte de las protecciones para el transformador de 15 kVA

A. MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL
Pararrayos 12 KV 10 kA	Und	3	140 000	420 000
Cortacircuitos 15 kV	Und	3	150 000	450 000
Hilo fusible 1 A	Und	3	3 500	10 500
Fusible 1X50A B.T	Und	3	7 915	23 745
Varilla cooperweld 2.4 m	Und	1	95 000	95 000
Hidrosolta Bolsa 15 Kg	Und	2	75 000	150 000
Tubo galvanizado ½" 3 m	Und	2	15 000	30 000
Cable Aluminio # 6 desnudo	m	25	1 500	37 500
Cinta bandit 3/4"	m	4	2 500	10 000
Hebilla bandit 3/4"	Und	2	1 000	2 000
			SUBTOTAL (A)	1 228 745
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Herramienta y Equipos	1	100%	35 000	35 000
			SUBTOTAL (B)	35 000
C. TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL
Transporte	1	100%	75 000	75 000
			SUBTOTAL (C)	75 000
D. MANO DE OBRA				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL
Cuadrilla eléctrica tipo b	1	170 000	100%	170 000
			SUBTOTAL (D)	170 000
COSTO DIRECTO				1 508 745

La figura 4 muestra el sistema de generación diesel con almacenadores de energía.

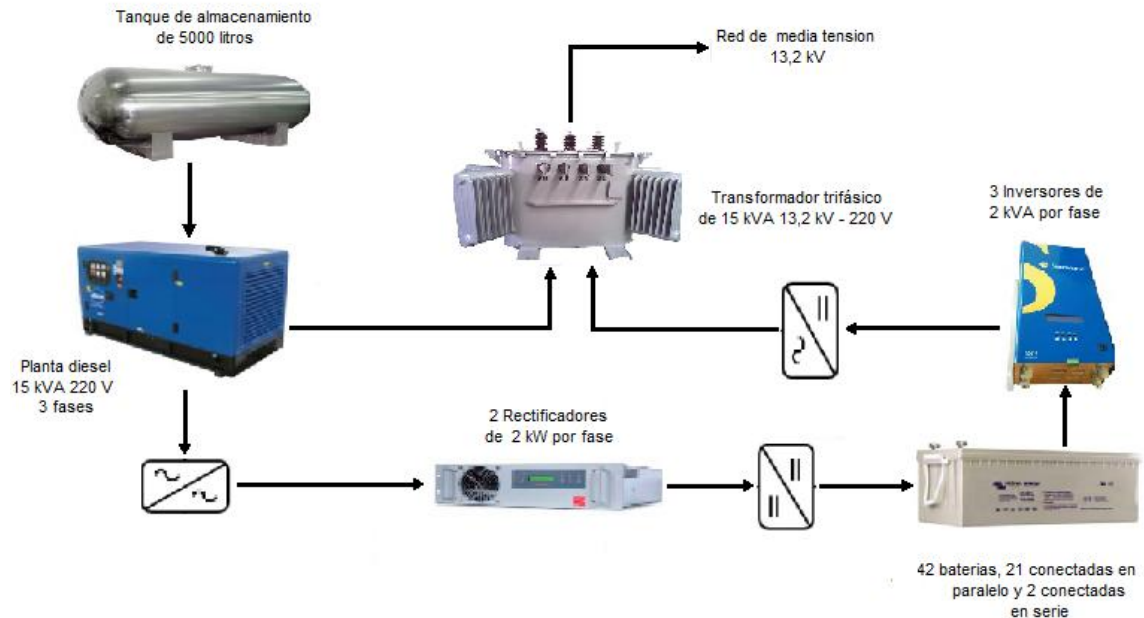


Figura 4. Diagrama del sistema de generación diesel con almacenadores de energía [42].

✓ Combustible y transporte

Para estimar el precio del combustible es necesario conocer la tasa promedio de crecimiento anual o una gráfica que muestre el precio del combustible diésel a una proyección futura [39].

La Tabla 51 muestra el valor total de combustible a usar desde el año 2013 hasta el 2027 estimada por [39]. Para calcular este valor se debe conocer la cantidad de galones necesarios para que el generador funcione a plena carga durante todo el año, cuatro (4) horas diarias.

El número total de galones consumidos por la planta diesel anualmente es:

$$\text{galones por año} = 1,3 \times 4 \times 365 = 1\,898 \text{ galones} \quad (58)$$

Para calcular el valor del transporte se debe tener en cuenta:

- La cantidad de galones de combustible que se van a llevar al sitio de la implementación de la planta por cada viaje.
- Determinar el número de viajes necesarios para realizar el llenado del tanque durante el tiempo estimado.
- El alquiler del medio de transporte y la tasa de crecimiento anual en él.

Teniendo en cuenta los pasos anteriores se prosigue a calcular la cantidad de galones que se deben llevar al lugar en donde se encuentra la planta, por cada viaje. Para esto se debe conocer cuánto combustible puede ser almacenado. En este caso, se tiene un tanque de 5000 litros que equivalen a 1320 galones en total.

Para determinar el número total de viajes por año se debe proseguir con los siguientes pasos:

- Cálculo de la cantidad de galones requeridos en un año (Ver ecuación 58).
- Dividir el número de galones requeridos en un año por la cantidad de galones por cada viaje.

$$\text{numero de viajes} = \frac{1\,898}{1\,320} = 1,43 \text{ equivalente a 2 viajes en el año} \quad (59)$$

En cada viaje serán transportados 949 galones (la mitad de galones necesarios al año). De esta manera, se realizan 2 viajes con la misma cantidad de galones al año.

La tabla 51 muestra la estimación del precio del combustible consumido.

Tabla 51. Estimación del precio del combustible consumido desde el año 2013 hasta el 2027.

Año	Precio Combustible	Precio Combustible consumido
2013	7900	\$14,994,200.00
2014	8000	\$15,184,000.00
2015	8200	\$15,563,600.00
2016	8800	\$16,702,400.00
2017	9200	\$17,461,600.00
2018	9900	\$18,790,200.00
2019	10100	\$19,169,800.00
2020	10400	\$19,739,200.00
2021	10800	\$20,498,400.00
2022	11000	\$20,878,000.00
2023	11500	\$21,827,000.00
2024	12000	\$22,776,000.00
2025	12100	\$22,965,800.00
2026	12700	\$24,104,600.00
2027	13000	\$24,674,000.00

Llevar el combustible hasta el sitio de aplicación requiere la contratación de camionetas de estaca, las cuales van a transportar 4 pimpinas de 55 galones cada una, para un total de 220 galones por camioneta. Por lo tanto, si se contratará una sola camioneta se necesitarían 5 viajes de ella, para llevar 949 galones. Como metodología para disminuir tiempo en el transporte se contratan 5 camionetas, así el tiempo de llenado del tanque es de 1 día.

El precio por viaje del medio de transporte (camioneta) inicialmente es de \$100 000 pero debe tenerse en cuenta la tasa de crecimiento en el costo del transporte. Según el índice del consumidor, en el año 2012 hubo un incremento del 3,08 % en comparación con el 2011 [40]. Por lo tanto, se desea estimar un valor promedio de transporte durante los 15 años, para esto se aplica la fórmula:

$$p_{i+n} = p_i \times (1 + T_c)^n \quad (59)$$

En donde n representa el año empezando en 0 y terminando en 15.

p_i el valor inicial de monto (\$100 000).

p_{i+n} el valor para cada año.

T_c la tasa de crecimiento (3,08%).

La Tabla 52 muestra el valor del transporte estimado para cada año.

Tabla 52. Costo transporte por año.

Año	Costo contratación camioneta	Costo transporte
2013	\$100 000,00	\$1 000 000,00
2014	\$103 080,00	\$1 030 800,00
2015	\$106 254,86	\$1 062 548,60
2016	\$109 527,51	\$1 095 275,10
2017	\$112 900,96	\$1 129 009,60
2018	\$116 378,31	\$1 163 783,10
2019	\$119 962,76	\$1 199 627,60
2020	\$123 657,62	\$1 236 576,20
2021	\$127 466,27	\$1 274 662,70
2022	\$131 392,23	\$1 313 922,30
2023	\$135 439,11	\$1 354 391,10
2024	\$139 610,64	\$1 396 106,40
2025	\$143 910,64	\$1 439 106,40
2026	\$148 343,09	\$1 483 430,90
2027	\$152 912,06	\$1 529 120,60

✓ Costo de mantenimiento

La metodología para el mantenimiento de una planta diesel consiste en realizar el cambio de aceite, cambio del filtro de aceite, filtro de aire, filtro del combustible, y correa de transmisión de movimiento, dependiendo del uso continuo de la planta. Además, se debe contar con la mano de obra para el reapriete de las tapas de cilindros [41] y revisar el nivel de agua del radiador. Asimismo, se realiza mantenimiento al generador eléctrico, éste consiste en ajuste de borneras de relés, ajuste de los bornes de potencia y revisión del circuito de control.

Según el fabricante de la planta diesel, el aceite debe ser cambiado después de 200 horas de uso. Al mismo tiempo se realiza el cambio del filtro de aceite, aire y combustible. La correa de transmisión deberá cambiarse cada año [41].

Teniendo en cuenta lo anterior y el funcionamiento de la planta, el cambio de aceite y de filtros se realiza 7 veces al año.

En la Tabla 53 se muestra el costo anual de mantenimiento para la planta diésel.

Tabla 53. Costo anual de mantenimiento de la planta diesel.

Tipo de mantenimiento	Costo unitario	Mano de obra	Mantenimiento al año	Costo mantenimiento por planta
Cambio de aceite	\$ 30 000	\$ 12 000	7	\$ 294 000
Cambio de filtro de aceite	\$ 50 000	\$ 12 000	7	\$ 434 000
Cambio de filtro de aire	\$ 95 000	\$ 12 000	7	\$ 749 000
Cambio de filtro de combustible	\$ 55 000	\$ 12 000	7	\$ 469 000
Correo de trasmisión	\$ 35 000	\$ 15 000	1	\$ 50 000
Reapriete tapa de cilindros y revisión nivel de agua del radiador.		\$ 20 000	7	\$ 140 000
Mantenimiento generador eléctrico	\$ 50 000	\$ 100 000	7	\$ 1 050 000
Costo total				\$ 3 136 000

- **Costo inversión de un generador diésel.**

La Tabla 54 muestra el costo y la cantidad de elementos que componen el sistema de generación diesel y el valor total de ellos. Además, se establece un área para la implementación de 100 m² para la ubicación de la planta diesel, baterías, reguladores, inversores y rectificadores.

Tabla 54. Costo de elementos que componen el sistema de generación diesel y su coste total.

Elemento	Número de elementos	Costo unitario	Costo total
Generador diesel EDO de 15 kVA	1	\$22 568 987,84	\$22 568 987,84
Tanque de almacenamiento	1	\$27 105 000,00	\$27 105 000,00
Rectificador	6	\$5 936 666,67	\$35 620 000,02
Baterías	84	\$1 253 672,00	\$105 30 448,00
Inversor	9	\$6 072 991,00	\$54 656 919,00
Transformador 15 kVA.	1	\$7 456 000,00	\$7 456 000,00
Montaje protecciones para Trafo de 15 kVA	1	\$1 508 745,00	\$1 508 745,00
Combustible para 15 años		\$295 328 800,00	\$295 328 800,00
Transporte de combustible 15 años		\$18 708 360,00	\$18 708 360,00
Red de baja tensión		\$180 779 199,00	\$180 779 199,00
Red de media tensión		\$174 494 491,00	\$174 494 491,00
Transformadores y protecciones de línea de distribución.		\$38 621 312,00	\$38 621 312,00
Terreno [m2]	100	\$2 000	\$200 000,00
Mantenimiento plantas para 15 años	15	\$3 136 000,00	\$47 040 000,00
Costo Total Elementos			\$1 009 396 261,86

La Tabla 55 muestra el costo total de electrificación rural mediante generador diesel con baterías de reserva de energía.

Tabla 55. Costo total inversión de un sistema de generación diesel.

DETALLES		VALOR
Costo directo de los elementos		\$ 1 009 396 261,86
COSTO DIRECTO		\$ 1 009 396 261,86
Imprevistos	3%	\$30 281 887,86
Utilidad	7%	\$70 657 738,33
Iva sobre utilidad	16%	\$11 305 238,13
TOTAL COSTOS INDIRECTOS		\$112 244 864,32
Interventoría	8%	\$89 731 290,09
COSTO TOTAL INVERSIÓN		\$1 211 372 416,27

- **Cálculo del precio del kWh del sistema de generación diesel**

El costo total de la inversión debe ser dividido en la energía consumida por el número total de viviendas (21) durante los 15 años de carga proyectada.

$$Precio kWh = \frac{\$1\,211\,372\,416,27}{123 \frac{kWh}{mes} \times 21 usuarios \times 12 \frac{meses}{año} \times 15 años} = 2\,605,43 \left[\frac{\$}{kWh} \right] \quad (61)$$

Tabla 56. Sistema de generación diesel.

TECNOLOGÍA	COSTOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO
DIESEL	Planta generación diesel de 15 kVA marca EDO \$22 568 987,84	El sistema de generación diesel puede ser cuatro veces mayor a la eficiencia de un sistema solar fotovoltaico.	La principal desventaja de este sistema es el alto costo del combustible y su transporte	Para seleccionar la planta diesel se tiene en cuenta la demanda máxima diversificada.
	Tanque de almacenamiento \$ 27 105 000,00	Este sistema requiere de menor área para su implementación.	El combustible contiene cera de parafina que se solidifica en temperaturas muy frías, necesita aditivos de operatividad en temperaturas bajas.	El tanque de almacenamiento se selecciona con una capacidad alta y coste moderado ya que para muy altas capacidades de almacenamiento este tiene un costo muy elevado; se utiliza para disminuir el costo del transporte
	Combustible generación diesel con baterías \$ 295 328 800	El costo de mantenimiento es relativamente menor que otros generadores.	Alta contaminación sonora.	El combustible debe ser llevado en camionetas debido a que el sitio en donde se implementara la planta diesel posee carreteras destapadas con curvas muy cerradas por lo tanto vehículos de mayor tamaño no tendrían acceso.
	Transporte de combustible generación diesel con baterías \$ 18 708 360.	El combustible se puede almacenar en grandes tanques.	Liberan gases nocivos y peligrosos durante el funcionamiento.	El rectificador cumple la función de cargador de baterías y es necesario ya que la tensión del sistema es en corriente alterna y las baterías cargan en corriente continua.
	Red de baja tensión \$ 180 770 199 , red de media tensión \$ 174 494 491 ; transformadores y protecciones \$ 38 621 312.	Es menos inflamable que otros combustibles y es el más seguro.	En sitios con altas temperaturas el combustible puede verse afectado por evaporación a la hora de su uso, es decir se necesita de más combustible para generar la misma potencia.	Las baterías son utilizadas para suministrar energía durante la noche.
	Baterías Victron GEL \$ 1 253 672. Rectificadores FAC 2000P \$ 5 936 666,67	Comprende una función de larga duración.		El mantenimiento de la planta diesel debe realizarse cada año para mantener la eficiencia del sistema .
	Inversores Sumverter SV-2000/24 \$ 6 072 991			
	Transformador trifásico de 15 KVA \$ 7 456 000 , protecciones \$ 1, 08 745			
	Inversores Sumverter SV-2000/24 \$ 6 072 991			

Fuente [42].

✓ **Análisis de riesgos**

En las visitas realizadas al municipio y a la vereda, se constató con el jefe de planeación y el ingeniero ambiental, que no existe ningún riesgo de orden público, o debidos a la localización para la infraestructura eléctrica.

✓ **Estudio de los aspectos comunitarios**

En las actas de concertación con la comunidad se evidencian los acuerdos, deberes y derechos, establecidos entre la comunidad, el operador de red y la alcaldía municipal.

- **Estudio financiero**

En el aval técnico y financiero el operador de red se compromete a administrar, operar, mantener y a la reposición a nuevo de la infraestructura eléctrica de la red. Asimismo, se compromete a realizar la comercialización de la energía eléctrica requerida por los nuevos clientes de acuerdo con la regulación vigente.

- **Evaluación ex ante**

Con base al análisis realizado de las diferentes alternativas de solución analizadas en el numeral 4.2.1.3.5, se evidencia que la mejor alternativa es la de electrificar mediante un sistema de distribución de red interconectada, puesto que existe una red de media tensión que pasa cerca de la vereda. Asimismo, el precio del kWh es el más económico para la población, siendo este, el establecido por el operador de red.

✓ **Evaluación financiera**

La evaluación financiera se realizó en el numeral 4.2.1.3.5, para cada alternativa de solución, y en los anexos A, y B se muestran los formatos del presupuesto y el análisis de los precios unitarios respectivamente.

✓ **Evaluación económica y social**

La evaluación económica y social fue realizada respectivamente por el economista y el sociólogo del grupo de trabajo.

4.3 FORMULACIÓN ANTE EL FONDO

A continuación se describirán los requerimientos exigidos para la financiación de un proyecto ante el **Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas-FAER**.

Este fondo fue creado por la ley 788 de 2002 y reglamentado por el decreto 3652 de 2003. Su objetivo es ampliar la cobertura y procurar la satisfacción de la demanda de energía en las zonas rurales interconectadas, conforme con los planes de ampliación de cobertura que estructurarán cada uno de los operadores de red y que deberá contar con la viabilidad de la UPME.

4.3.1 Requisitos para la presentación de Proyectos al Fondo De Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales-FAER

1. Carta de presentación a la UPME, en ésta carta se especifica la entidad ejecutora del proyecto, el valor y los tipos de recursos solicitados, certificar que los documentos adjuntos son auténticos y que la información presentada sea veraz.
2. Metodología General Ajustada del DNP diligenciada y los archivos generados en la inscripción del proyecto en el Banco de Proyectos de la

Entidad Territorial, ésta una ayuda informática utilizada para el desarrollo de proyectos de inversión, la cual está conformada por cuatro (4) módulos (pre-inversión, inversión, operación y evaluación expot), en los cuales se debe incluir toda la información del proyecto de inversión a la hora de ser formulado.

3. Ficha EBI3, diligenciada, es un formato que está compuesto por dos partes, la parte uno contiene información básica producto del proceso de formulación tales como población, descripción del problema y justificación, localización geográfica, objetivos, metas, observaciones, flujo financiero del proyecto y la parte dos el concepto de viabilidad.
4. Certificado de cofinanciación de las entidades participantes en el proyecto, son aquellos recursos que vienen representados en materiales o en dinero.
5. Certificado de inclusión del proyecto en el respectivo Plan de Desarrollo.
6. Fotocopia del Acta de Posesión y de la Cédula de Ciudadanía.
7. Acta de concertación o acuerdo entre el Municipio o Departamento, la comunidad y el Operador de Red.
8. Certificado de la entidad ambiental competente que avala la ejecución del proyecto.
9. Aval técnico y Financiero del operador de red (concepto de viabilidad y disponibilidad del servicio de la empresa distribuidora de energía).
10. Estudios técnicos: memorias de cálculo, planos técnicos (planta y perfil), especificaciones de materiales, equipos eléctricos y de obras civiles.
11. Fotocopia de la cédula de ciudadanía y de la matrícula profesional del ingeniero diseñador del proyecto.
12. Plano de localización y acceso del proyecto.
13. Estudio de mercado (impacto social, económico y ambiental).
14. Estudio de sostenibilidad del proyecto.
15. Presupuesto general de obras.
16. Análisis de precios unitarios.

- 17.** Cronograma y flujo de caja, es una herramienta que muestra el desarrollo monetario del proyecto a través de sus etapas y realiza una comparación con el presupuesto total del proyecto.
- 18.** Certificado de predios y/o negociación de servidumbre.

OBSERVACIONES

- Para el diseño de la línea de distribución se utilizó una demanda máxima por usuario de 2 [kVA], con el fin de satisfacer la carga promedio en la vereda. Para dicho cálculo, se tuvo en cuenta el área promedio de la vivienda y un circuito para la plancha. Mientras que, en el proyecto estructurado anteriormente, se utilizó una demanda máxima por usuario de 800 [VA], lo que impide que un usuario pueda hacer uso de al menos una plancha o usar elementos eléctricos como nevera, luminarias y televisor al mismo tiempo.
- La guía para estructuración de proyectos de electrificación rural presenta la descripción de cada una de las etapas, fases y tópicos que se deben tener en cuenta en el desarrollo de proyectos. Asimismo, ayuda con el crecimiento intelectual de la comunidad universitaria, tanto estudiantes como docentes, brindándoles este tipo de información.

CONCLUSIONES

- Se determinó que en el departamento Norte de Santander se han desarrollado proyectos de infraestructura eléctrica para impulsar el desarrollo de las comunidades. Pero, estos proyectos no cubren la totalidad de la población que carece del servicio de energía eléctrica.
- Se concluye que las necesidades de una población rural, se pueden cuantificar, con el fin de satisfacerlas. Por lo cual, se formulan proyectos que sean técnica y económicamente viables para que su ejecución sea efectiva.
- Al realizar el análisis económico del precio del kWh entre sistemas de generación solar fotovoltaica individual y concentrada se llega a la conclusión que el sistema individual es el más económico. Esto se debe a que se no cuenta con una red de baja tensión para la distribución de energía eléctrica, disminuyendo así el costo de elementos y de implementación.
- Los sistemas de generación diesel propuestos para electrificación rural no son viables económicamente. Esto es debido principalmente al alto costo del combustible. Por lo tanto, es factible el desarrollo de un sistema de distribución con red interconectada, ya que existe una red de media tensión cercana al sitio de aplicación del proyecto.

- Observando el precio estándar del kWh de un sistema de distribución, generación solar fotovoltaica y generación diesel, se determina que económicamente es factible realizar el diseño exacto de una línea de distribución con red interconectada para electrificación rural. Debido a que existe una red de distribución cercana a la zona de influencia del proyecto.
- Del análisis de las alternativas de soluciones energéticas se obtuvo que el precio del kWh para electrificación rural mediante un sistema de distribución con red interconectada es de \$ 348,21, con un sistema de generación solar fotovoltaico individual es de \$ 970,23, con un sistema de generación solar fotovoltaico centralizado es de \$ 1 329,83 y con un sistema de generación diesel es de \$ 2 605,43. Por lo tanto, se concluye que económicamente es factible electrificar los 21 usuarios con un sistema de distribución con red interconectada.

REFERENCIAS.

- [1]. Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas Rurales Interconectadas.
<http://190.90.10.157/FAER/>
22/02/2013
- [2]. SIEL. Proyectos presentados por el Fondo Nacional de Regalías.
http://www.siel.gov.co/siel/Documentos/documentacion/Fondos/ESTADO_PROYECTOS_ACTUALIZADO_16_ABR_2010.pdf
22/02/2013
- [3]. PAMPOMAX. Presentado programa de electrificación rural en 30 municipios de Norte de Santander.
<http://www.pamplomax.com/2010/11/10/presentado-programa-de-electrificacion-rural-en-30-municipios-de-norte-de-santander/>
22/02/2013
- [4]. EMETROPOLITANO. 60 mil millones de pesos costará electrificación rural del Catatumbo y Provincia de Ocaña.
<http://semanarioelmetropolitano.blogspot.com/2012/03/60-mil-millones-de-pesos-costara.html>
22/02/2013
- [5]. OCAÑA. Programa de electrificación rural zona del Catatumbo y la Provincia de Ocaña, fase III.
<http://ocana-nortedesantander.gov.co/mapa.shtml?apc=Mfxx-2814153&x=2836527>
22/02/2013
- [6]. SUPERSERVICIOS. Informe de gestión. Centrales Eléctricas del Norte de Santander.
http://www.superservicios.gov.co/home/c/document_library/get_file?uuid=c7aca6a2-ad11-4322-93f6-c0470b7ac8b4&groupId=2791679
22/02/2013
- [7]. VOLTIMUM. Crearán agenda de inversión social en la provincia de Ocaña.
<http://www.voltimum.com.co/noticia/crearan-agenda-inversion-social-la-provincia-ocana>
23/02/2013
- [8]. NORTE DE SANTANDER, GOBERNACIÓN. Un norte pa'lante.
<http://www.nortedesantander.gov.co/proyectohis.php>
22/02/2013
- [9]. MINIMINAS. Proyectos de gestión energética Norte de Santander .
http://www.minminas.gov.co/minminas/energia.jsp?cargaHome=50&id_seccion=865&id_subcategoria=276&id_categoria=71

23/02/2013

[10]. NORTE DE SANTANDER, GOBERNACIÓN. Un norte pa'lante. Sectores rurales de Norte de Santander tendrían ampliación en electrificación rural.
<http://www.nortedesantander.gov.co/noticia.php?id=704>

23/02/2013

[11]. EL TIEMPO. Crece electrificación rural.
<http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-190742>

23/02/2013

[12]. NORMAS PARA CÁLCULO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.
ESSA Electrificadora de Santander S.A E.S.P

[13]. SISTEMA DE INFORMACIÓN DE OBRAS, LISTADO DE ACTIVIDADES.
ESSA Electrificadora de Santander S.A. E.S.P. Febrero de 2012

[14]. CENTELSA. Lista de precios 288.
<http://www.centelsa.com.co/archivos/ddb993f5.pdf>

25/01/2013

[15]. INTER ELECTRICAS. Lista de precios.
<http://www.interelectricas.com.co/subcatego.php?idcategoria=6&idsubcategoria=132&subcategoria=Iluminaci%EF%BF%BDn>

22/02/2013

[16]. ABB. Transformadores de distribución monofásicos y trifásicos tipo poste o estructura similar serie 15kV.

<http://www.interelectricas.com.co/pdf/ABB-Lista%20de%20Precios.pdf>

25/01/2013

[17]. CENS. Tarifas para usuarios.
<http://www.cens.com.co/tarifasini.asp>

05/02/2013

[18]. WHOLESALE SOLAR. Kyocera solar panels.
<http://www.wholesalesolar.com/kyocera-solar-panels.html>

26/01/2013

[19]. GREENERENERGY. Lista de precios paneles solares
http://www.greenerenergy.ca/Solar_REC_Solar.html

26/01/2013

[20]. GREENERENERGY. Lista precios paneles solares marca Evergreen.
http://www.greenerenergy.ca/Solar_Evergreen_Solar.html

26/01/2013

[21]. GREENERENERGY. Lista de precios paneles solares SolarWord.
http://www.greenerenergy.ca/Solar_World.html

26/01/2013

- [22]. GREENERENERGY. Lista de precios paneles solares marca Sharp.
http://www.greenerenergy.ca/Solar_SHARP.html
26/01/2013
- [23]. SUNPOWER. 205 solar panel.
<http://www.enersafe.it/public/8469295722415381.pdf>
26/01/2013
- [24]. SUNPOWER. E19/238 solar panel.
http://solar.ypsi.com/documents/403Huron/SunPower_238E_Data_Sheet.pdf
26/01/2013
- [25]. POSHARP.SPR-305-WHT-U solar panel from sunpower.
http://www.posharp.com/spr-305-wht-u-solar-panel-from-sunpower_p163743177d.aspx
26/01/2013
- [26]. SOLARDESIGNTOOL. Schott solar poly 225 W solar panel.
<http://www.solardesigntool.com/components/module-panel-solar/Schott-Solar/246/Poly-225/specification-data-sheet.html>
26/01/2013
- [27]. OSMA PINTO, Germán Alfonso. Uso racional de la energía a partir del diseño de aplicaciones sostenibles en el edificio eléctrica II de la Universidad Industrial de Santander. Trabajo de investigación para optar por el título de Magister en Ingeniería Eléctrica. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. 2011. Director: Ph.D. Gabriel Ordóñez Plata.
- [28]. REY LÓPEZ, Juan Manuel. VERGARA BARRIOS, Pedro Pablo. Diseño de una microred de baja tensión par el laboratorio de integración energética del parque tecnológico de Guatiguará. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Electricista e Ingeniero Electrónico. Universidad industrial de Santaner. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y telecomunicaciones. 2012. Director: Ph.D. Gabriel Ordóñez Plata.
- [29]. ATLAS DE RADIACIÓN SOLAR EN COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía. Unidad de planeación minero energética UPME. 2005.
- [30]. CORPOEMA. Software para el cálculo de la radiación solar en Colombia.
http://www.corpoema.com/CDenergia/software_datos.htm
15/01/2013
- [31]. SUMSOL ENERGÍA SOLAR. Catálogos de productor (fichas técnicas).
http://sumsol.es/wpcontent/uploads/pdfs/Catalogo_fotovoltaica_COMPLETO_ED1109.pdf
15/01/2013

- [32]. SUMSOL. Energía solar fotovoltaica tarifa P.V.P. Noviembre de 2012-PVP.
<http://www.sumsol.es/wp-content/uploads/clearspace/one/2012/12/001-Tarifa-fotovoltaica-PVP-ED1211.pdf>
15/01/2013
- [33]. SUPERTIENDASOLAR. Estructura completa para cubierta plana
<http://www.supertendasolar.es/solaronline/eshop/1-1.../120-3-SCHOTT/5/541-ESTRUCTURA-COMPLETA-PARA-CUBIERTA-PLANA/description#anch1>
22/02/2013
- [34]. FEDEGAN ALMAGAN. Planta eléctrica EDO de 15
KVA <http://www.almagan.com.co/Sistema/Productos/Productos.aspx?IdProducto=003935>
23/02/2013
- [35]. GUÍA DE EQUIVALENCIAS ENERGÉTICAS Y VOLUMÉTRICAS DE
COMBUSTIBLES.
<http://www.slideshare.net/juanjosepes/tablas20equivalencias20energeticas>
20/01/2013
- [36]. CONVERSIÓN DE UNIDADES BTU-kWh.
<http://www.unitsconversion.com.ar/esp/conversionunidadesenergia/btu-kilowatt-hora.htm>
20/01/2013
- [37]. CARROCERÍA Y REMOLQUES LOERA.
<http://www.solostocks.com.mx/venta-productos/logistica-empaquetado-ensasad/almacenamiento/tanques-en-acero-inoxidable-nuevos-acabado-sanitario-o-industrial-1453>
20/01/2013
- [38]. DIRECT INDUSTRY. Catalog search.
http://pdf.directindustry.es/pdf/salicru/ficha-de-producto-serie-fac-p/12333-31762-_2.html
29/01/2013
- [39]. PROYECCIÓN DE DEMANDA DE ENERGÍA EN COLOMBIA. República de Colombia. Ministerio de minas y Energía. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). 2010
- [40]. DANE. Índice de precios del consumidor- Septiembre de 2012.
http://www.dane.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=2009:indice-de-precios-al-consumidor-septiembre-de-2012-&catid=144:noticias
22/01/2013
- [41]. CURSO DE MOTORES DIESEL. Centro Nacional de educación a distancia. Envío 1.
- [42]. Autores: Yuliet Consuelo Plata, Laura Tatiana Mejía y Julián Danilo Santos.

ANEXOS

Anexo A. PRESUPUESTO GENERAL DEL PROYECTO.

PRESUPUESTO GENERAL DE OBRAS					
CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE ELECTRIFICACION RURAL PARA LA VEREDA XX DEL MUNICIPIO DE XX - DEPARTAMENTO DE XX					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	CANT	UNITARIO	TOTAL
1	RED DE MEDIA TENSIÓN				
1,1					
1,2					
1,3					
1,4					
1,5					
1,6					
1,7					
1,8					
1,9					
1,10					
SUBTOTAL DESCRIPCIÓN					
2	RED BAJA TENSIÓN				
2.1					
2.2					
2.3					
2.4					
2.5					
2.6					
2.7					
2.8					
2.9					
2,10					
SUBTOTAL RED BAJA TENSIÓN					
3	TRANSFORMADORES Y PROTECCIONES				
3.1					
3,2					
3,3					
SUBTOTAL DE TRANSFORMADORES Y PROTECCIONES					
COSTO DIRECTO					
ADMINISTRACIÓN				20%	
IMPREVISTOS				3%	
UTILIDAD				7%	
IVA SOBRE UTILIDAD				16%	
TOTAL COSTOS INDIRECTOS					
INTERVENTORIA				8%	
COSTO TOTAL					

Anexo B. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

REPÚBLICA DE COLOMBIA

Departamento de XXX

Municipio de XXX

PROYECTO _____

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ITEM _____ Valor A + B + C + D

CAPITULO:	RED DE MEDIA TENSIÓN				
ÍTEM: 1.1					
CANTIDAD:					
UNIDAD:	UND				
A. MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNITARIO	PARCIAL	
				SUBTOTAL (A)	0
B. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL	
Herramienta y Equipos					
				SUBTOTAL (B)	0
C. TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	RMIENTO	TARIFA/DÍA	PARCIAL	
Transporte					
				SUBTOTAL (C)	0
D. MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	SALARIO/HR	REND/DÍA	PARCIAL	
CUADRILLA ELECTRICA TIPO B					
				SUBTOTAL (D)	0
COSTO DIRECTO					A+B+C+D

Anexo C. PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE DISEÑO

- **Tipo de usuario**

Residencial rural con estrato socioeconómico 1.

- **Nivel de tensión de servicio**

Según la Tabla 2.2 de la norma ESSA [12], la tensión de servicio para media y baja tensión es 13,2 kV y 120/240 [V], respectivamente.

- **Factor de potencia**

Para el diseño expuesto se tomó un factor de potencia de 0,95 en atraso.

- **Factor de demanda**

Para electrificación rural, con usuarios de estrato socioeconómico bajo (1), se utiliza el aparato de mayor potencia al 100% y el restante al 50%.

- **Factor de diversidad**

Para calcular el factor de diversidad se aplicó la norma ESSA, debido a que ésta fue la pionera en Colombia. Por lo tanto, las normas de las diferentes electrificadoras en el país se despliegan de ella.

La Tabla 2.16 de la norma ESSA [12], define la siguiente expresión para el cálculo del factor de diversidad para el estrato socioeconómico 1:

$$f_{div.} = \frac{1}{0,2+0,8 \times e^{\frac{1-N}{6}}} \quad (C.1)$$

Donde:

N: número de usuarios.

- **Regulación de tensión**

Teniendo el cálculo de la constante de regulación se escoge en la Tabla 3 un conductor con dicha constante de regulación o menor y se calcula la regulación del tramo para comprobar que cumpla la regulación de diseño.

La regulación viene dada como:

$$\delta = \frac{F_c * M * K_g}{V_L^2} \quad [\%] \quad (C.2)$$

Donde:

F_c : Factor de corrección según la norma ESSA (Tabla 3.26) [12]. Como la red es trifásica, el factor de corrección es 1.

V_L : Tensión de línea en este caso la red es de 13,2kV.

M : Momento eléctrico [kWm].

K_g : Constante generalizada de regulación, según la norma ESSA (Tabla 3.23) [12].

- **Pérdidas de potencia**

Las pérdidas de potencia vienen dadas como

$$P_p\% = \frac{3 * 10^{-4} * I_t^2 * r * l}{D_{max}/t * f_p} \quad (C.3)$$

Dónde:

I_t : Corriente por tramo [A].

r : Resistencia del conductor [Ω].

Dmax/t: Demanda máxima del por tramo [kVA].

L: Longitud del tramo [m].

La pérdida de potencia total será la suma de la potencia perdida en cada tramo y debe cumplir con la pérdida de potencia permitida por la ESSA [12] que es de 0,8%

Tabla C.1. Pérdidas de potencia permitidas

Componente	Potencia (%)
Línea de distribución (34,5 kV)	2,7
Alimentadores primarios (hasta 13,2 kV)	0,8
Transformadores	*
Redes de baja tensión	5,5

Las pérdidas totales de potencia para transformadores se tomarán de acuerdo a las normas NTC 818, NTC 819 y NTC 1954.

Nota: en todo caso las pérdidas totales de energía en el nivel 1 (transformador y red de baja tensión), no deben superar el 4,9 %.

- **Tipo de conductor (calibre mínimo)**

En la Tabla 3.13 de la norma ESSA están estipulados los valores mínimos de calibres para los conductores según su utilización e instalación, los valores de interés para este proyecto se mostraran a continuación.

Tabla C.2. Calibres mínimos de los conductores.

RED	UTILIZACIÓN	INSTALACIÓN	MATERIAL	CALIBRE MINIMO (AWG)
M.T	Rural	Aérea	ACSR	2
B.T	Rural	Aérea	ACSR	4