



Universidad de Nariño

INGEN^oERÍA
ELECTRÓNICA

upme
Unidad de Planeación Minero Energética

USAID
FROM THE AMERICAN PEOPLE

IPSE
Instituto de planificación y promoción
de Soluciones Energéticas para las
zonas No Interconectadas

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO COMO ESTRATEGIA ALTERNATIVA Y SOSTENIBLE DE ENERGIZACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SANTACRUZ DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO



pers
Nariño

Plan de Energización Rural Sostenible

**PROYECTO A NIVEL DE FACTIBILIDAD:
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICO COMO ESTRATEGIA
ALTERNATIVA Y SOSTENIBLE DE ENERGIZACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SANTACRUZ DEL
DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

COORDINADOR Y FORMULADOR:

John Barco Jiménez

Ing. Electrónico, Magíster en Ingeniería Electrónica y de Computadores

ASISTENTES DE INVESTIGACIÓN:

Juan Carlos Cabrera

Fredy Dulce

Daniel Cortés

COLABORADORES:

Ángela Castillo

Economista, Mg.

Mauricio Cabrera

Ing. Ambiental, Mg.

PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

PERS-Nariño

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

UPME

USAID

IPSE

San Juan de Pasto – Nariño

Colombia

2016

Tabla de contenido

1.	FICHA DEL PROYECTO.....	4
2.	RESUMEN DEL PROYECTO	5
3.	IDENTIFICACIÓN	9
3.1.	Diagnóstico de la Situación Actual	9
3.1.1.	Diagnóstico del Área Influenciada por el Proyecto	11
3.1.2.	Participantes.....	19
3.1.3.	Diagnóstico del Servicio	21
3.2.	Marco de Referencia	25
3.2.1.	Contribución a la Política Pública	25
3.2.2.	Antecedentes	26
	<i>Fuente:</i> Esta Investigación.....	28
3.2.3.	Estado del Arte	28
3.3.	Problema Central, Causas y Efectos	51
4.	FORMULACION DE LA ALTERNATIVA	57
4.1.	Nombre de la Alternativa	57
4.2.	Resumen de la Alternativa	57
4.3.	Objetivos	58
4.3.1.	Objetivo General	59
4.3.2.	Objetivos Específicos	59
4.4.	Productos, Actividades y Personal Requerido.....	60
4.5.	Identificación y Descripción de la Innovación Propuesta	64
4.6.	Metodología y Distribución de Responsabilidades	67
4.7.	Indicadores de Objetivo General, de Producto y de Gestión.....	70
4.8.	Fuentes de Verificación y Supuestos.....	73
4.9.	Bienes y/o Servicios.....	77
4.10.	Beneficios e Ingresos.....	78
4.11.	Horizonte del Proyecto.....	79
4.12.	Impactos Esperados	80
4.13.	Efectos Ambientales.....	81
4.14.	Análisis de Riesgos.....	86
4.15.	Análisis de Sostenibilidad	87
4.16.	Cronograma.....	92

4.17.	Presupuesto.....	98
5.	Bibliografía	99

1. FICHA DEL PROYECTO

Título del proyecto:	Implementación de un Sistema de Energía Solar Fotovoltaico como Estrategia Alternativa y Sostenible de Energización en el Municipio de Santacruz del Departamento de Nariño	
Entidad formuladora:	Universidad de Nariño	
Entidad beneficiaria:	Comunidad de la Vereda El Sande, 54 Viviendas, 364 Habitantes, 40,5 kw instalados.	
Entidad ejecutora:	Universidad de Nariño	
Otras instituciones participantes:	Resguardo indígena de El Sande	
Duración del proyecto (meses):	12	
Costo total del proyecto:	\$ 830.580.171	
Monto solicitado:	\$ 802.080.171	
Monto total de la contrapartida:	\$ 28.500.000	
Contrapartida de la entidad beneficiaria:	En efectivo:	En especie: \$ 500.000,00
Lugar de ejecución del proyecto: Municipio de Santacruz	Ciudad: San Juan de Pasto	Departamento: Nariño
Persona responsable del proyecto:	Empresa/Institución: Universidad de Nariño	Cargo: Investigador

2. RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto presenta una solución alternativa a la falta de cobertura del servicio de energía eléctrica en las zonas no interconectadas (ZNI) en el departamento de Nariño. En este caso, la población objeto de estudio es la perteneciente a la vereda El Sande del municipio de Santacruz, la cual presenta un servicio deficiente de energía eléctrica en sus viviendas debido a que no cuentan con interconexión a la red dada su ubicación geográfica.

El municipio de Santacruz se ubica en la parte central del departamento de Nariño con extensión de 53.400 hectáreas y con una población total, según el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), que asciende a 10.143 habitantes (hasta el 2011), los cuales se distribuyen en un 23% en la zona urbana y un 77% en la zona rural. Actualmente, el servicio de energía eléctrica tiene una cobertura completa sobre la zona urbana, sin embargo, 26 de las 54 veredas de la zona rural no están conectadas a la red y carecen completamente del servicio, afectando a 1655 viviendas que conforman la mayor parte del municipio [1].

Una de las 26 veredas sin conexión a la energía eléctrica es El Sande que pertenece al Resguardo Indígena del Sande, cuya población de 364 habitantes ubicados en 54 viviendas [1] han tratado de solventar la problemática energética por medio del uso plantas eléctricas a base de combustibles fósiles, permitiendo así que parte de la población pueda realizar algunas actividades a un costo ambiental de 6.469 toneladas de CO₂ al año (como se describe en la sección 4.15. Cálculo de sostenibilidad). Esta solución además de contaminante, está lejos de ser permanente y de favorecer a la mayoría de la población ya que el costo del combustible y transporte son bastante altos, dejando sin opciones a las familias de bajos recursos.

De esta manera, la gran parte de los habitantes han tenido limitaciones para realizar sus actividades productivas, de recreación y de acceso a la información. Lo anterior ha llevado a que surjan efectos desfavorables tales como el estancamiento en el desarrollo local, los altos índices de necesidades básicas insatisfechas (NBI del 68% [1]), la baja calidad de vida y el atraso tecnológico.

Otras razones por las cuales no se ha podido ampliar la cobertura del servicio en la zona rural son la amplia distancia de la red eléctrica del casco urbano hasta las zonas afectadas, el alto costo que implica ampliar la red y el mínimo número de viviendas. Además, las autoridades locales no han puesto en marcha planes para atender este tipo de necesidades y no se han realizado los estudios técnicos pertinentes que permitan identificar alternativas de energización. Esto último se debe en gran parte a la restricción presupuestal que tiene el municipio.

En este orden de ideas y considerando la opinión de los habitantes, un sistema de energización alternativo para sus viviendas contribuiría con el mejoramiento de su situación actual, lo cual les permitiría tener mejores e igualitarias condiciones de vida, para propender por el desarrollo de su región.

En este sentido, el estudio de alternativas basadas en Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE) podría brindar una solución de energización aprovechando los recursos renovables abundantes en la región y que a la vez sea amable con el medio ambiente. Particularmente, la Energía Solar Fotovoltaica (ESF) ha tenido gran acogida y ha sido probada exitosamente en países como Alemania, España, Estados Unidos, Italia y Corea del Sur [2], donde se han utilizado como generación alternativa de energía en áreas alejadas de la red principal, o para mitigar el fenómeno del calentamiento global y contribuir a la reducción de los gases de efecto invernadero.

En Colombia, la capacidad instalada de ESF es aún muy reducida, sin embargo existen antecedentes exitosos sobre el uso de sistemas aplicados a la iluminación, las actividades de bombeo de agua y electrificación rural independiente, entre ellos el sistema híbrido solar-diesel en Titumate-Unguía, Chocó; implementación de refrigeración solar en Isla Fuerte, Guajira [3] [4] [5]; siendo el sector rural donde más se ha hecho uso las celdas solares, ya que es una alternativa económica frente a la ampliación de la red eléctrica nacional.

En la zona de estudio, la radiación muestra un nivel medio y constante con buen potencial de generación. Las mediciones realizadas corroboran el promedio de los datos de radiación registrados en el Mapa Solar [6], con un promedio diario de 3,5kWh/m² (Datos tomados los días 13 y 14 de septiembre del 2013 a cargo del Coordinador del Proyecto) que permitirá generar energía eléctrica suficiente para abastecer una vivienda típica de la zona que consume en promedio 1,020 kWh por día según las encuestas de demanda realizadas.

Esta solución, incluye además un esquema sostenible con beneficios ambientales y económicos, que permiten reducir gastos en combustibles fósiles y la disminución de producción de CO₂ tal y como se muestra en Tabla 1 (los cálculos se describen en la sección 4.15).

Tabla 1. Beneficios Ambientales y Económicos.

Beneficio	Valor
Disminución de producción de CO ₂ [Ton CO ₂]*	6.469
Disminución en consumo de combustible [Gal.]*	641
Ahorro de gastos en combustibles [\$]*	6.415.200
Ahorro en sustitutos: pilas y velas [\$]*	1.814.400

***Anual**

Fuente: Esta investigación.

Considerando lo anterior, en este proyecto se ha considerado pertinente mejorar el servicio de energía eléctrica de la vereda El Sande en el municipio de Santacruz de Guachavés, haciendo uso de la energía solar como estrategia alternativa de energización sostenible, debido a la abundancia del recurso, como también los beneficios ambientales y económicos que representa.

Teniendo en cuenta lo anterior, la realización del proyecto se organiza en las siguientes etapas:

1. Implementar un sistema de energía solar fotovoltaico que satisfaga los requerimientos de demanda de todas las viviendas de la comunidad beneficiada.
2. Capacitar a los miembros de la comunidad beneficiada sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento preventivo del sistema de energía fotovoltaica instalado.
3. Lograr un esquema de sostenibilidad ambiental y administrativo que involucre a los beneficiarios como participantes activos que procure por la durabilidad de la estrategia de energización implementada.

La primera etapa consiste en implementar un sistema de energía solar fotovoltaico que satisfaga los requerimientos de oferta y demanda de todas las viviendas de la comunidad beneficiada. En primera instancia, para dar inicio al proyecto se realizará una socialización del mismo a la comunidad beneficiada, informando con mayor detalle el proceso de ejecución del proyecto, dando a conocer los beneficios, ventajas, responsabilidades y limitaciones de un sistema de energización, motivando el acompañamiento de la comunidad y sus líderes en el desarrollo de esta iniciativa. Posteriormente se debe realizar la compra de materiales y equipos que conforman el sistema de fotovoltaico y la red de distribución. La compra de materiales se realizará con la previa petición de cotizaciones en diferentes distribuidores nacionales teniendo en cuenta factores tales como: precio, soporte, capacitación en el manejo de equipos, garantía, disponibilidad y tiempos de entrega. Es muy importante que el proveedor seleccionado cumpla con los tiempos de entrega para no comprometer el cronograma del proyecto.

En el proceso de instalación del sistema fotovoltaico y de la red de distribución, se debe identificar las posibles zonas donde instalarán los paneles solares considerando la ubicación de las cargas, después se procede a fijar la estructura y los paneles en los puntos seleccionados. Posteriormente se inicia con la instalación de los elementos auxiliares del sistema fotovoltaico como son las baterías, controladores, inversores y protecciones. Después, se realiza el cableado y el tendido de la red de distribución desde los paneles hacia el controlador, baterías e inversor y hacia el cuadro de cargas. Finalmente, se realizan pruebas de funcionamiento y ajustes finales en los casos que así lo requieran.

La segunda etapa consiste en capacitar a los miembros de la comunidad beneficiada sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento preventivo del sistema de energía fotovoltaica instalado. Inicialmente se elaborará un guía didáctica de operación y mantenimiento de un sistema fotovoltaico por parte de un diseñador gráfico asesorado por los Ingenieros Eléctrico y Electrónico. Con ayuda de la guía se realizará una jornada de capacitaciones dirigidas a la

comunidad beneficiada abordando temáticas tales como: definición y funcionamiento de los elementos que conforman el sistema, funcionamiento y puesta en marcha de un sistema fotovoltaico, límites de potencia del sistema, autonomía de funcionamiento, precauciones del manejo de sistemas fotovoltaicos, corrección de posibles fallos, tareas de mantenimiento preventivo, etc.

La tercera etapa consiste en lograr un esquema de sostenibilidad ambiental y administrativo que involucre a los beneficiarios como participantes activos que procure por la durabilidad de la estrategia de energización implementada. El desarrollo de este objetivo comprende dos procesos diferentes que se pueden trabajar de manera independiente: i) lograr un esquema de sostenibilidad socioeconómico, y ii) lograr una guía ambiental de desarrollo del proyecto.

3. IDENTIFICACIÓN

3.1. Diagnóstico de la Situación Actual

Santacruz es un municipio de la subregión Abades del departamento de Nariño, localizado en la parte central del departamento, es un municipio en el cual aproximadamente el 80% de su población vive en áreas rurales. El municipio se encuentra dividido en 54 veredas, en el territorio habitan los pueblos indígenas más representativos del Departamento: los Awá y los Pastos, los cuales se distribuyen alrededor de los resguardos indígenas “El Sande” y “Guachavés”. La población indígena representa un 65% del total de la población del municipio [1].

Las proyecciones de población del DANE señalan que para el año 2013 en el municipio existen un total de 26.489 personas de las cuales 13.471 son hombres y 13.018 son mujeres, representando un 50,9% y 49,1% respectivamente [1] [7]. Santacruz es un territorio que en múltiples ocasiones ha sido afectado por los problemas de conflicto armado que afronta el departamento de Nariño y el país en general. Esta situación ha desatado problemas sociales de gran impacto como el desplazamiento forzado y el desarraigo de tierras.

La problemática social evidenciada ha repercutido en la exclusión y pobreza que afronta actualmente la población del municipio de Santacruz. El nivel de pobreza medido a través de NBI¹ indica que el 68% de las viviendas tienen al menos una necesidad básica insatisfecha; este porcentaje es superior al de NBI departamental el cual se ubica en 43,6%, los servicios inadecuados en las viviendas es una de las principales causas por las cuales el municipio presenta niveles de pobreza elevados [1].

Las principales actividades económicas del municipio se ubican principalmente en el sector primario, destacándose la agricultura y la ganadería. Los productos derivados de la agricultura se destinan principalmente para el autoconsumo de los hogares, un bajo porcentaje se destina a la comercialización [1]; para fomentar dicha actividad en el territorio hace falta el fortalecimiento técnico tanto a nivel de equipamiento como el fortalecimiento de capacidades y conocimientos en la población local. En el territorio se ha identificado un potencial para desarrollar actividades mineras, no obstante, este es un aspecto que se encuentra en constante discusión y análisis por los impactos socio ambientales que puede causar dicha actividad en el territorio.

En la zona rural del municipio, la cobertura del acueducto es de apenas 43,46%, sin embargo, el acueducto existente no se encuentra en condiciones óptimas para su funcionamiento [1]. Debido a

¹El índice de Necesidades Básicas Insatisfechas - NBI está compuesto por tres indicadores relacionados con la vivienda, uno relacionado con asistencia escolar y un último relacionado con la alta dependencia económica.

esta situación el 43,13% de la población rural se abastece de agua en forma directa de las fuentes como ríos o manantiales sin tratamiento, un 5,42% se abastece de pozos y aljibes sin bomba, un 1,27% de pila pública u otra fuente y el 0,02% recibe el agua por distribución de carro tanque² [1] [7]. En el Municipio de Santacruz no existe distribución de agua potable, lo cual es grave porque incide negativamente en la salud pública de las comunidades, por tal razón, garantizar el acceso a agua salubre es un gran aporte para prevenir y disminuir las enfermedades en la población de Santacruz.

En la actualidad el servicio de energía eléctrica tiene una cobertura de un 100% en la zona urbana del municipio de Santacruz, como se muestra en la Tabla 3. Sin embargo, en la zona rural, 26 de las 54 veredas que componen el municipio son zonas no interconectadas a la red eléctrica (ver Tabla 2), por lo tanto carecen completamente del servicio de energía, situación que afecta 1655 viviendas en total [1], como lo especifica la Tabla 3.

Tabla 2. Veredas con cobertura de la red eléctrica de energía.

Veredas	Cantidad	%
Con cobertura	28	51,85%
Sin cobertura	26	48,15%

Fuente: Plan de Desarrollo Municipio de Santacruz 2012 – 2015.

Tabla 3. Viviendas con cobertura de la red eléctrica de energía.

Viviendas	Cantidad	%
Zona urbana	455	100%
Zona rural	1655	65%

Fuente: Plan de Desarrollo Municipio de Santacruz 2012 – 2015.

El Sande es una de las 26 veredas sin conexión a la energía eléctrica, la cual pertenece al Resguardo Indígena del Sande y cuenta con una población de 364 habitantes ubicados en 54 viviendas [1]. Los habitantes de esta región han tratado de resolver esta problemática de falta de energía por medio del uso plantas eléctricas a base de combustibles derivados del petróleo, de tal manera que algunos habitantes pueden realizar actividades de ocio y laborales, sin embargo, esta solución tiene como consecuencia la emisión de 6.469 toneladas de CO₂ al año. Por otro lado, esta solución además de contaminante, está lejos de ser permanente y de favorecer a la mayoría de la población ya que el costo del combustible y transporte son bastante altos, dejando sin opciones a las familias de bajos recursos.

De esta forma, los habitantes de la región sufren de grandes dificultades para realizar sus actividades productivas, de ocio y de acceso a la información. Lo cual ha derivado en impactos

² Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Santacruz 2008-2011.

negativos como son: el estancamiento en el desarrollo local, baja calidad de vida y atraso tecnológico y altos índices de necesidades básicas insatisfechas, en este caso un NBI del 68% [1].

Otras razones por las cuales no se ha podido ampliar la cobertura del servicio en la zona rural son la amplia distancia de la red eléctrica del casco urbano hasta las zonas afectadas, el alto costo que implica ampliar la red y el mínimo número de viviendas. Además, las autoridades locales no han puesto en marcha planes para atender este tipo de necesidades y no se han realizado los estudios técnicos pertinentes que permitan identificar alternativas de energización. Esto último se debe en gran parte a la restricción presupuestal que tiene el municipio.

En este orden de ideas y considerando la opinión de los habitantes, un sistema de energización alternativo para sus viviendas contribuiría con el mejoramiento de su situación actual, lo cual les permitiría tener mejores e igualitarias condiciones de vida, para propender por el desarrollo de su región. De esta forma, fomentar el acceso de la población del municipio de Santacruz a servicios básicos es un aspecto que permitiría disminuir la pobreza y la brecha de desigualdad en términos de bienestar social. Cualquier esfuerzo encaminado a lograr mejoras en dicha temática, es pertinente, más aún cuando la población vulnerable ha sido en su mayoría las comunidades indígenas que habitan el territorio.

Ante esta situación y por la violación de derechos que sufren los pueblos indígenas de la región, la Corte Constitucional determinó un plan de protección y salvaguarda para los pueblos indígenas, con el cual se pretende defender a cabalidad los derechos fundamentales y fomentar el desarrollo integral de las comunidades.

La problemática del territorio mencionada anteriormente y el marco social en el que se encuentra enmarcada, son las razones que motivan y respaldan el desarrollo de un estudio de alternativas de electrificación para la ampliación de la cobertura y mejoramiento del servicio de energía eléctrica en la vereda El Sande en el municipio de Santacruz. A continuación se presenta las características del área influenciada por el proyecto, de los participantes y del servicio que actualmente se presta en el municipio.

3.1.1. Diagnóstico del Área Influenciada por el Proyecto

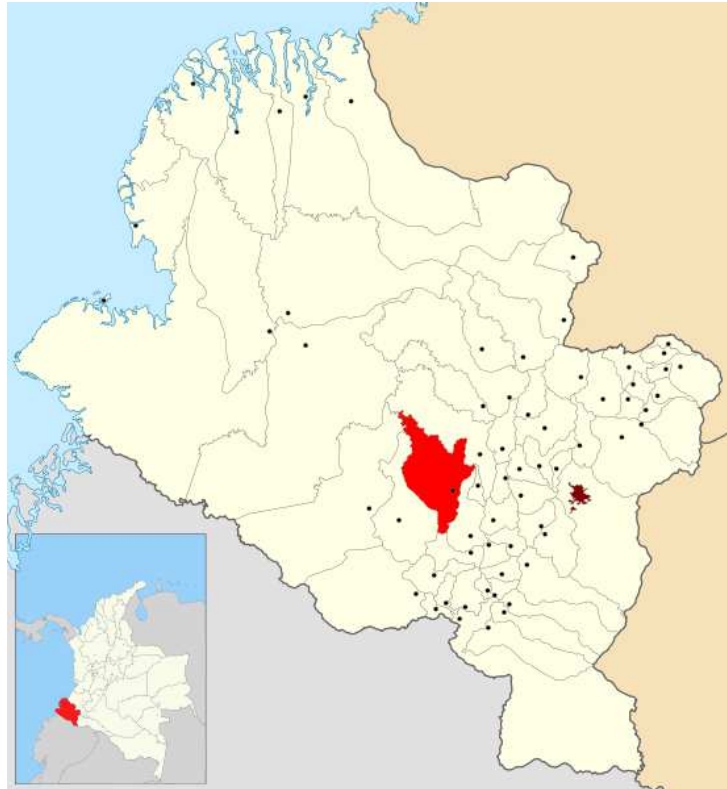
El área en la que se desarrollará el proyecto se conoce como la vereda El Sande, la cual se ubica dentro del resguardo Indígena del Sande en el municipio de Santacruz. A continuación se presenta los datos más importantes del área influenciada correspondiente al municipio de Santacruz, al resguardo Indígena del Sande y la vereda El Sande.

El municipio de Santacruz se localiza en el centro del departamento de Nariño y al occidente de la ciudad de Pasto, como muestra la Figura 1. Este municipio se encuentra a una distancia de 108 km, en línea recta, de Pasto, su acceso se hace por carretera pavimentada pasando por Samaniego

hasta el sitio de Balalaica, y finalmente hasta el corregimiento del municipio de Santacruz. Sus coordenadas geográficas son:

- Latitud 1°13'20.7" Norte.
- Longitud: 77°40'36.6" Oeste.

Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Santacruz en el departamento de Nariño.



Fuente: <http://www.santacruz-narino.gov.co/>

El municipio de Santacruz limita por el norte con el municipio de Samaniego, teniendo como división principal el río Cristal y las quebradas Concordia y Bonete. Por el sur con el municipio de Sapuyes. Por el oriente con los municipios de Túquerres y Providencia, sirviendo como división principal el río Pacual. Por el occidente con los municipios de Mallama y Ricaurte, sirviendo de división principal los ríos Blanco, Telembí y las estribaciones del Cerro Gualcalá, hasta el volcán Azufra.

El municipio tiene una extensión de 53,4 hectáreas, que representan el 1,6% de la superficie total del departamento de Nariño. El área urbana de Santacruz cuenta con 11,7 hectáreas, lo que indica que en su mayoría el municipio es de carácter rural representado por una extensión equivalente al 78% del área del municipio.

En el municipio de Santacruz se encuentra el resguardo Indígena de El Sande, en donde se ubica la vereda El Sande que constituye el área influenciada del proyecto. Específicamente, el resguardo está ubicado en la parte noroccidental del municipio de Santacruz, como muestra la Figura 2. Sus coordenadas geográficas son: latitud 1°13'16" norte y longitud 77°41' 00" oeste. De acuerdo a Instituto Colombiano para la Reforma Agraria (INCORA), el resguardo ocupa un área de 8.825 hectáreas y tiene los siguientes límites. Al norte: Con el municipio de Samaniego, puntos del 1 al 7. Al Sur: con el municipio de Santacruz de Guachavés, puntos del 9 al 14. Al oriente: con el municipio de Santacruz de Guachavés, puntos 14 al 17 y el 1 Occidente: Con los municipios de Ricaurte y Mallama puntos del 7 al 10.

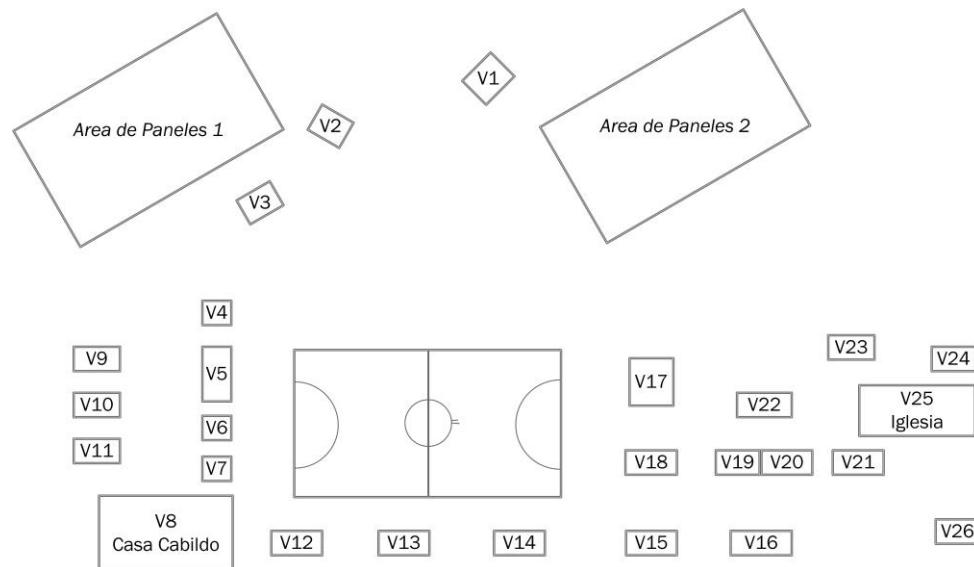
Específicamente la vereda El Sande (como se puede observar en la Figura 2), se encuentra ubicada en la parte noroccidental del municipio de Santacruz, con coordenadas geográficas: latitud 1°13'16" norte y longitud 77°41' 00" oeste, territorio que pertenece al resguardo indígena "El Sande", el cual encierra un área total de 8.825 hectáreas, según el Instituto Colombiano de la Reforma Agraria (INCORA) [1]. El acceso a la vereda, se realiza desde Samaniego, tres horas vía terrestre no pavimentada y luego dos horas de camino por trocha, la cuales se puede realizar a caballo o a pie.

La vereda El Sande es una de las 26 veredas sin conexión de energía eléctrica y la más poblada de todas, como lo muestra la Tabla 4. En esta vereda existe una población de 364 habitantes distribuidos en 54 viviendas que, en su mayoría, carecen completamente del servicio de energía eléctrica [1] (quienes serían la población directamente beneficiada con la ejecución del proyecto). Actualmente, solamente el 30% de la vereda cuenta con energía a partir de plantas eléctricas a base de combustibles fósiles, sin embargo, esta solución tiene un alto costo que la deja fuera de alcance para las familias menos favorecidas.

Tabla 4. Distribución de habitantes del Resguardo El Sande.

Vereda	Habitantes	%
Zabaleta	113	4.0%
El Sande	364	13%
Madroño	243	8.7%
La Florida	124	4.4%
Charco largo	188	6.7%
Chagüi	81	2.9%
Campoalegre	98	3.5%
Barazón	171	6.1%
Imbapi	101	3.6%
Recodo	48	1.7%
Vista	115	4.1%
Arrayanal	45	1.6%

Figura 3. Esquema del casco urbano de la vereda el Sande.



Fuente: Proyecto PERSN. Levantamiento de Información realizado en Septiembre de 2013.

A continuación se presenta los aspectos más relevantes del municipio de Santacruz, entre ellos: climatología, temperatura, hidrología y aspectos socioeconómicos.

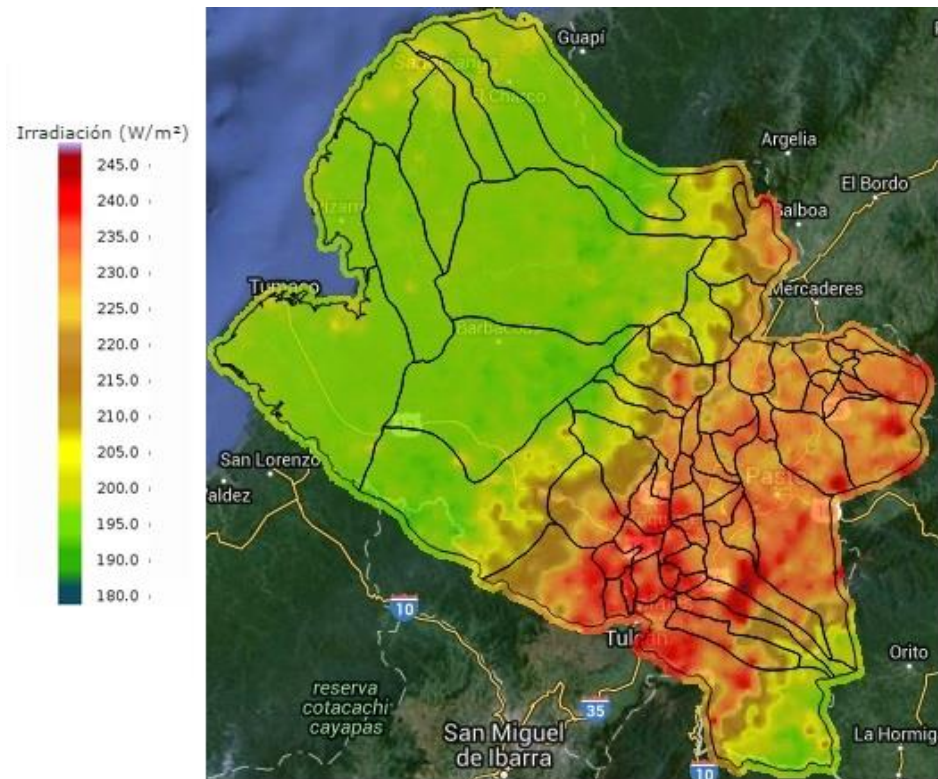
Climatología

El territorio del municipio de Santacruz goza con una diversidad de climas. Esto ocurre ya que se encuentra influenciado por la verticalidad de los rayos del sol, y además cuenta con la presencia de las montañas de la cordillera occidental, que constituyen una influencia importante proveniente de la zona intertropical y de las masas húmedas provenientes del Océano Pacífico. A continuación se describen las variables climáticas relevantes en consideración del proyecto.

Radiación Solar: Utilizando información recopilada en el proyecto ALTERNAR³ se analiza la incidencia de los rayos del sol en las coordenadas específicas de ubicación de la vereda El Sande. En la Figura 4 se muestra el mapa de radiación solar para el departamento de Nariño, de acuerdo a mediciones realizadas por Landsat de la NASA y 3TIER. A partir del mapa se analizó la radiación solar específicamente en las coordenadas de la vereda El Sande que registra un índice de radiación solar con valores comprendidos entre 230 a 235 W/m² o 5,52 a 5,64 kWh/ m² promedio en el año, lo cual se puede interpretar como la existencia de 5 horas solares pico a una irradiancia promedio de 1000 W/m² indicando que el recurso solar es abundante y por lo tanto una buena alternativa para que sea utilizado como alternativa en esquemas de energización.

³ Análisis de Oportunidades Energéticas con Fuentes Alternativas en el Departamento de Nariño.
En línea: <http://alternar.udenar.edu.co/>

Figura 4. Mapa de radiación solar en el departamento de Nariño.



Fuente: Alternar.

Temperatura: a nivel general territorial, como el municipio tiene alturas que van desde los 500 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar) en la desembocadura del río Cristal al río Telembí, hasta los 4000 m.s.n.m. en el volcán Azufral, situación que permite la presencia de temperaturas medias que oscilan entre los 24° C y 4° C., presentando de esta forma una alta diversidad climática. Las temperaturas altas es en los meses de junio, julio y agosto [1].

Hidrología

hidrográficamente todo el territorio de Santacruz hace parte básicamente de la gran Vertiente (hoya) de río Patía, la cual en el municipio se subdivide principalmente en dos grandes vertientes (Vertiente Oriental, aguas que confluyen a la Cuenca del río Pacual, con el 20,7% del área total del municipio y la vertiente occidental, aguas que confluyen principalmente a la Cuenca del río Telembí, que comprende el 76,6% del área total del municipio y una pequeña parte que confluye al río Güiza afluente del río Mira y que corresponde al 2,7% del área total del municipio, de esta forma territorialmente el municipio se ha dividido en 3 cuencas y subdividido en 15 micro cuencas y/o zonas de escurrimiento [1].

Balance hídrico: desafortunadamente no se cuenta con estaciones climatológicas dentro del territorio del municipio, ya que las estaciones de Guachavés y Sande, son pluviométricas, lo que no

permite calcular convenientemente el balance hídrico del suelo de la región, para conocer, deficiencias, excesos y escorrentía.

Aspectos socioeconómicos y culturales

Población y Demografía

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE) tiene una tendencia creciente puesto que en el año 1993 la población fue de 10.143, para el censo de 2005 la población llegó a 16.869 y se ha proyectado que para el 2011, el municipio tendrá una población de 24.886 habitantes, es decir implica un crecimiento superior al 5% anual, cifra muy superior al promedio nacional que es del 1,18% y de 1,23% en el departamento de Nariño [1].

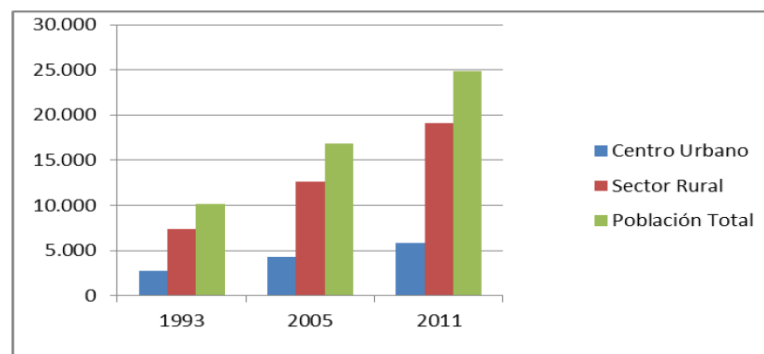
La población del municipio de Santacruz ha mantenido una tendencia creciente en los últimos 8 años. Como se muestra en la Figura 4, según el DANE, la población presenta un crecimiento del 4% en el periodo de 2006-2007, una disminución del 2% en 2007-2008, seguida de una disminución del 1% en 2008-2009, luego un incremento del 2% al año 2010 y finalmente una disminución del 2% en 2011. La población allí reportada para este último el año es de 24.886 personas [1].

Tabla 5. Distribución de la población en Santacruz.

Población / Año	1993	%	2005	%	2011	%
Urbana	2.737	26,98%	4.275	25,34%	5.813	23,36%
Rural	7.406	73,02%	12.594	74,66%	19.073	76,64%
Total	10.143		16.869		24.886	

Fuente: Plan de Desarrollo Municipio de Santacruz 2012 – 2015.

Figura 4. Cambio en el tamaño de la población de Santacruz.



Fuente: Plan de Desarrollo Municipio de Santacruz 2012 – 2015.

Respecto a la distribución de la población, como puede apreciarse en la Tabla 1, en el año 1993, el 26,98% de la población del municipio habita en el casco urbano, para el año 2005 el 25,34% y para el 2011 el 23,36%, significa entonces que viene descendiendo la población urbana, al contrario de lo que sucede con la población rural, que viene en ascenso, del 73,02 % en 1993 a 76,64% en el 2011, contrario a la tendencia que se presenta a nivel nacional y departamental en donde se muestra una alta concentración en las grandes ciudades. Estas cifras nos muestran el carácter eminentemente rural del municipio de Santacruz.

Para continuar con el análisis demográfico y especificar en detalle la información sobre la vereda El Sande, es necesario tener en cuenta la división política y la clasificación de los grupos étnicos.

División Política: el municipio de Santacruz está dividido en zona urbana y rural, en la zona urbana se encuentra dividido por barrio y en la zona rural por corregimiento y veredas, además cuenta con dos resguardos indígenas, el de El Sande y el de Guachavés, como entes territoriales de carácter especial los cuales que se han convertido en entes dinámicos del desarrollo local y defensores del territorio como base fundamental para la vida. En la zona rural se ubican 54 veredas pertenecientes a 9 corregimientos, central de Guachavés, Balalaika, el Edén, Manchag, Piaramag, Santa Rosa, Zabaleta, Chapuesquer, y El Sande [1].

Grupos Étnicos: es notable que el municipio de Santacruz tiene un carácter eminentemente indígena puesto que sus raíces y antepasados así lo definen. Las comunidades indígenas están dispersas en todo el territorio municipal con la presencia de dos resguardos el de Guachavés situado en la zona andina del municipio que pertenece a la etnia de los pastos y el resguardo de El Sande ubicado en el sector montañoso perteneciente a la etnia inkal – Awa, los cuales corresponden al 64% de la población total del municipio.

Específicamente, la población del resguardo del Sande es de 2.804 y representa el 11. 27% [1], además, el resguardo está dividido en 21 veredas y su población se encuentra distribuida tal como muestra la Tabla 4. En esta se puede apreciar que la mayor población se concentra en la vereda del Sande, Madroño y Claraal y las veredas menos pobladas son: la ceiba, Chapilal y el recodo.

Economía

Las actividades económicas del municipio de Santacruz se clasifican principalmente en el sector primario, siendo la agricultura y la ganadería los mayores generadores de ingresos. Sin embargo, existe un gran interés en fortalecer el sector secundario por medio de la minería y buscar alternativas para expandir el comercio de la región. A continuación se presenta un análisis detallado de cada una de las actividades económicas de esta región.

Sector Agropecuario: la vocación económica en el municipio está determinada en gran medida por las actividades agropecuarias de la agricultura y ganadería, pues estas son los mayores

generadores de empleo e ingresos si consideramos el número de personas que se dedican a esta actividad, ocupando aproximadamente un 80% de la población económicamente activa.

Ello está relacionado con las grandes fortalezas que posee el municipio que tiene que ver con factores bióticos como la gran diversidad de climas que van desde el páramo hasta clima tropical húmedo, que permite la implementación de una gran variedad de cultivos. Sin embargo existen grandes debilidades en el sector agropecuario relacionado con la producción, si bien el municipio es favorecido con buenas tierras, existen otros factores que no han permitido que el sector agropecuario impulse la economía del municipio. Aspectos como la calidad de los suelos originados por las altas pendientes, la existencia de minifundios y la falta de capital de trabajo necesario para implementar cultivos comerciales o generadores de ingresos son factores que no han permitido la consolidación del sector agropecuario. Por el contrario los cultivos que se implementan en la actualidad son cultivos de “pancoger” o cultivos que satisfacen las necesidades de una población específica, los cuales no generan excedentes para la comercialización ya que generalmente se utilizan para el autoconsumo.

Sector Minero: la actividad minera se constituye en la segunda actividad generadora de empleo e ingresos para los habitantes del municipio. Esta actividad se relaciona con las potencialidades que posee el municipio, pues en los suelos existen depósitos filonianos principalmente asociados con cuerpos intrusivos del terciario superior constituidos por diorita y cuarzo diorita. La gran mayoría de estos depósitos auríferos de tipo filoniano están estrechamente relacionados con el batolito de piedrancha y con un conjunto de intrusiones menores de tipo cuarzodiorítico. En el sector sur en torno a la masa intrusiva principal se encuentran las minas el Diamante, La Sonrisa, El Salado, el Desquite y Santa Lucía, entre otras.

El potencial minero del municipio de Santacruz es inmenso, es quizá la actividad con mayor potencial; si bien se ha adelantado estudios, es necesario realizar un análisis sobre sus potencialidades y la manera como se debe explotar esta riqueza.

3.1.2. Participantes

A continuación se presentan los participantes que intervendrán en el desarrollo del proyecto: La población de la vereda El Sande, la Alcaldía del municipio de Santacruz, la Universidad de Nariño, la Gobernación de Nariño y las instituciones IPSE y UPME. Cada uno de los anteriores cumple un rol específico y tienen un grado de importancia en la toma de decisiones durante la ejecución del proyecto.

La población de la vereda el Sande se reconoce como los beneficiarios, hacia quienes va dirigido el proyecto y son afectados positivamente tras el desarrollo del mismo. Entre la población general de la vereda se distingue al gobernador del Cabildo y el líder comunitario, quienes cumplen un papel fundamental en la toma de decisiones sobre las actividades que se requieren realizar en la zona.

Por otro lado se debe tener en cuenta a la Alcaldía de Santacruz y la Gobernación de Nariño, la primera conformada por la secretaría de planeación e infraestructura y desarrollo económico y el Alcalde de Santacruz y, la gobernación representada en su mayoría por la oficina de gestión ambiental rural y urbana. Estos participan en el proyecto en calidad de cooperantes y pueden aportar tanto en recursos como infraestructura.

La Universidad de Nariño actúa como entidad formuladora del proyecto, por lo tanto es el cooperante que debe estar intercambiando información entre todos y mantener al tanto del proyecto a los interesados. Finalmente, se tiene a las instituciones IPSE y UPME en calidad de cooperantes, los cuales pueden aportar en recursos y además en experiencia en la realización de este tipo de proyectos. En la Tabla 6, se resume los participantes del proyecto y su calidad de participante.

Tabla 6. Participantes.

Participante	Posición	Tipo de Contribución
Cabildo Indígena	Beneficiario	Mano de obra
Alcaldía del municipio de Santacruz	Cooperante	Recursos
Gobernación de Nariño	Cooperante	Recursos
Universidad de Nariño	Cooperante	Formulación y ejecución del proyecto.
IPSE	Cooperante	Recursos
UPME	Cooperante	Recursos

Fuente: Esta Investigación.

Se debe resaltar que la Alcaldía del municipio de Santacruz, como también la Gobernación Nariño están en el proceso de planeación y posterior desarrollo de proyectos relacionados con energías renovables dentro del municipio de Santacruz, tal es el caso del proyecto “Diseño e implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica para la energización de la vereda Guadualito en el resguardo indígena del Sande municipio de Santacruz” el cual se desarrolla con ayuda del IPSE, la Udenar y la Alcaldía de Santacruz. Por otro lado las instituciones IPSE y UPME tienen un amplio historial en el desarrollo de proyectos que hacen uso de energías renovables. Algunos de los proyectos que se han desarrollado son: Construcción sistemas de energía solar fotovoltaica para 451 viviendas de la zona rural sin energía eléctrica en el Departamento del Guaviare, ver [8] y [9]. Proyecto piloto para un sistema de producción de hielo por *adsorción* operada mediante energía solar destinado para la conservación de alimentos. Poligeneración Nazareth - Redes - Aerogeneradores - Seguidores Solares – diesel. Energías renovables-Titumate

departamento del Chocó [5]. De tal manera, que son cooperantes que tienen la experiencia y pueden brindar las recomendaciones para asegurar el éxito de este proyecto.

3.1.3. Diagnóstico del Servicio

El servicio de energía en el municipio de Santacruz es ofertado por Centrales Eléctricas de Nariño (CEDENAR). Existe una capacidad instalada de 1.334 kVA de los cuales 640 kVA corresponden al sector urbano y al sector rural, respectivamente. Sin embargo, en el casco urbano se consume 190 KVA, es decir el 30% de la capacidad instalada y en la zona rural se consume 497 kVA, es decir el 72% de las capacidades asignadas a cada sector, lo cual significa que existe el 70% y el 28% de subutilización en los sectores urbano y rural respectivamente.

De acuerdo a la información estadística se puede observar que no existe cubrimiento total de energía en el municipio, ya que solo el 42,9% dispone de este servicio, en tanto que el 57,1% no lo tiene, acudiendo a otras fuentes de energía como son la utilización de kerosene, petróleo, gasolina en porcentajes del 43,74% en el sector rural y 0,63% en lo urbano y la utilización de velas u otros en porcentajes del 12,45% sector rural y 0,28% en lo urbano [1].

La situación comentada del uso de plantas eléctricas a base de combustibles fósiles, ha generado un costo ambiental de 6.469 toneladas de CO₂ al año (cálculo que se describe en la sección 4.15. Cálculo de sostenibilidad). No obstante, esta solución además de contaminante, está lejos de ser permanente en el tiempo y de favorecer a la mayoría de la población ya que el costo del combustible y transporte son bastante altos. Por lo tanto, solamente las familias que pueden pagar por el servicio se ven beneficiadas, dejando sin opciones a las familias de bajos recursos.

a. Demanda de Energía en el Municipio de Santacruz según Mediciones

Por otro lado, es de interés analizar el comportamiento del consumo de energía en el municipio de Santacruz. A continuación se muestra el análisis de demanda energética en la zona, la cual se realizó utilizando datos recopilados por medio de la instalación de equipos de medida de potencia en 8 zonas del municipio de Santacruz.

El análisis de la demanda energética se basó en una serie de curvas recopiladas por los equipos de medición durante 6 días en el mes de julio de 2013, estas indican la cantidad de energía consumida por hora a lo largo del día. De esta manera, con todas las mediciones se hizo un promedio por zona y un promedio con todas las zonas obteniendo los datos mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. Consumo de energía para 8 zonas en el municipio de Santacruz.

Demanda energética (kWh/día)

Día\Zona	1	2	3	4	5	6	7	8
	Guachavés	Guarango	San José	Santa Rosa	Arrayan	Balalaika	San José	Guachavés
1	0,296	0,044	0,339	1,531	0,810	1,195	0,373	1,987
2	0,465	0,172	0,358	2,667	0,942	1,177	0,306	1,244
3	0,658	0,090	0,372	6,293	1,422	1,228	0,412	2,334
4	0,020	0,120	0,167	6,539	-	-	0,156	1,764
5	-	0,038	-	3,009	-	-	-	-
6	-	0,067	-	-	-	-	-	-
Promedio	0,360	0,089	0,309	4,008	1,058	1,200	0,312	1,832

Fuente: Esta Investigación.

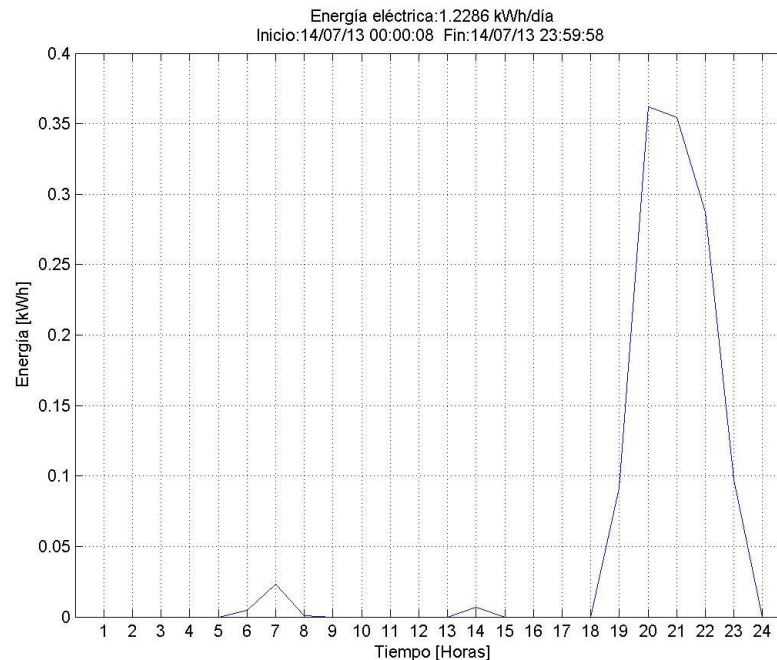
Promedio de zonas = 1,446 kWh/día

De la anterior tabla, se puede observar que el consumo promedio de las zonas es de 1,446 kWh/día, lo que evidencia un consumo promedio aún pequeño de una región que se está extendiendo. Otro aspecto a tener en cuenta, es el intervalo de horas de uso de la energía eléctrica para cada una de las zonas. De las curvas registradas, se nota que en las zonas 1, 2, 3 y 7 tiene curvas muy similares, presentado uso del suministro eléctrico durante horas de la mañana y en horas de la noche. Por otro lado, las demás zonas presentaron curvas con la misma tendencia pero en menor medida, es decir, un consumo permanente de energía a lo largo del día.

Adicionalmente, se puede caracterizar el servicio de energía respecto a horas de cobertura y capacidad necesaria específicamente para la zona de interés, en esta caso la vereda el Sande. A continuación se presenta la situación de estos dos aspectos. Las horas de cobertura se refiere a la cantidad de horas que el usuario podrá tener disponible el servicio de energía.

Para determinar un promedio adecuado de horas de cobertura, se analizó los registros de mediciones de consumo de las veredas en el municipio de Santacruz, específicamente la zona de mayor similitud con la vereda El Sande. Del análisis de estos registros se pudieron construir curvas de demanda de energía características de la región de estudio. Por ejemplo, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.5** se muestra una curva de demanda donde se evidencia un comportamiento típico de consumo. En este caso se observa que la demanda pequeña al iniciar el día, debida a electrodomésticos de bajo consumo (e.g., radios, grabadoras, licuadora, entre otros), y en la noche el consumo se incrementa considerablemente debido al uso de luminarias y otros electrodomésticos (e.g., televisor, plancha, entre otros). Por otro lado, a partir de estas curvas se puede calcular el tiempo promedio de uso de energía en horas. Para esta región, el análisis de los datos arroja que los habitantes de las viviendas en estas veredas hacen uso del servicio de energía durante 8 horas promedio al día. No obstante, el análisis de datos se hizo sin tener en cuenta domicilios comerciales donde pueden existir electrodomésticos de uso permanente tales como neveras y otros de bajo consumo.

Figura 5. Curva de demanda característica de consumo de energía en la región de Abades.



Fuente: Esta investigación.

b. Demanda de Energía en el Municipio de Santacruz según Cuadro de Carga

Por otro lado, la capacidad necesaria por vivienda se refiere a la cantidad de potencia que necesita cada vivienda llevar a cabo las actividades diarias que requieran dispositivos eléctricos y electrónicos, esta se dimensiona de acuerdo a los electrodomésticos que posee cada domicilio. Para determinar la capacidad a instalar se analizaron las encuestas realizadas en la vereda el Sande y en la región de Abades, sobre los dispositivos eléctricos disponibles, su potencia y horas de uso. Los resultados muestran que, en su mayoría los domicilios de la vereda el Sande cuentan con las siguientes cargas: 2 bombillos incandescentes que podrían reemplazarse por ahorradores, radio o grabadora, licuadora, y otras cargas estimadas que podrían adicionarse en la medida que la comunidad aproveche la energía eléctrica. De esta forma, según la Tabla 8, una vivienda promedio de la vereda el Sande podría consumir 1500 kWh a día con una potencia de 0,6kW.

Tabla 8. Dispositivos eléctricos, potencia y horas de uso al día.

CUADRO DE CARGAS PARA UNA VIVIENDA SFV 1KWp

Ítem	Descripción	Cantidad	Horas de uso	Potencia [W]	Potencia total [W]	Energía [Wh]
1	Bombillos ahorradores	5	4	30	150	600
2	Portatil	1	3	100	100	300
3	Televisor	1	4	100	100	400
4	Licuada	1	0,2	200	200	40
5	Cargador de celular	1	2	5	5	10
6	Radios o grabadora	1	3	50	50	150
				TOTAL	605	1500

Fuente: Esta investigación.

c. Proyección de Demanda de acuerdo al Crecimiento de la Población

Se debe tener en cuenta que la demanda de energía en la región no permanece constante y tiende a crecer por la expansión de la región y conexión de nuevas cargas. En este sentido, es necesario proyectar el aumento de la demanda en el tiempo de acuerdo a un porcentaje de incremento anual. En este caso el porcentaje de crecimiento anual de demanda se toma igual al porcentaje de crecimiento anual de población, el cual se calcula a partir de la estimación y proyección realizadas por el DANE para un periodo de 10 años entre 2010 y 2020 (ver la siguiente tabla).

Tabla 9. Estimación y Proyección de Población 2005 - 2020 en el Municipio de Santacruz - Nariño

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total	24.130	24.886	25.679	26.489	27.315	28.171	29.065	29.963	30.900	31.856	32.832
Urbano	5.602	5.813	6.019	6.221	6.418	6.611	6.800	6.984	7.164	7.340	7.511
Resto	18.528	19.073	19.660	20.268	20.897	21.560	22.265	22.979	23.736	24.516	25.321

Fuente: Información Estadística DANE – Estimación y Proyección de Población 2005 - 2010

De acuerdo a las proyecciones de demanda del DANE, la población en el municipio de Santacruz tiene un crecimiento aproximado del 3% respecto al año anterior para la población en el casco urbano y en las zonas rurales, este cálculo se muestra en la siguiente Tabla.

Tabla 10. Crecimiento porcentual de población respecto al año anterior en el Municipio de Santacruz – Nariño

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Total	-	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Urbano	-	4%	4%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	2%	2%
Resto	-	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%

Considerando lo anterior y una demanda inicial de 0,6 kW (de acuerdo a la estimación de demanda según el cuadro de carga), la demanda para el año 2025 en el municipio de Santacruz será de aproximadamente 0,8kW con un crecimiento anual como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 11. Proyección de Demanda de acuerdo al Aumento de Población en el periodo 2015 - 2025

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Demanda (W)	600	618	637	656	675	696	716	738	760	783	806

3.2. Marco de Referencia

3.2.1. Contribución a la Política Pública

El estudio de alternativas de electrificación para la ampliación de la cobertura y mejoramiento del servicio de energía eléctrica en la vereda El Sande en el municipio de Santacruz, está directamente relacionado y enmarcado dentro de las políticas públicas a nivel nacional, departamental y municipal, teniendo en cuenta que debe existir una relación dinámica entre las mismas para que exista una estabilidad en los marcos normativos y regulatorios.

Dentro del fortalecimiento, la consolidación y la expansión del sector eléctrico a nivel nacional existen recursos de los Fondos especiales del Ministerio de Minas y Energía, que respaldan a los proyectos que estén dirigidos a mejorar la cobertura y calidad del servicio de energía a la población más vulnerable, orientado principalmente a criterios que promuevan la equidad regional. El Gobierno Nacional en la actualidad apoya en la implementación de esquemas sostenibles y financia proyectos viables que permitan la prestación del servicio para los usuarios más vulnerables [10].

Dentro de las políticas públicas nacionales se reconoce que existen problemáticas de subnormalidad y de pérdidas de energía por lo que desde el Ministerio de Minas y Energía, se da vía y garantiza a programas de expansión de manera concertada con las autoridades y organizaciones indígenas para que se desarrollen proyectos de usos de energías renovables como la energía solar y alternativas, como la utilización de paneles solares [11], lo que hace más estrecha la relación con el proyecto que se plantea en el presente documento.

El Ministerio de Minas y Energía propone que este tipo de estudios sean realizados con recursos de empresas de energía de su jurisdicción, con fondos del Instituto de Planeación de Soluciones Energéticas (IPSE) y el Fondo Nacional de Regalías. Además se hace un énfasis en cuanto a la contribución al medio ambiente a través de estos proyectos transversales y el aprovechamiento de energías por la caída de agua, para minimizar el impacto de contaminación ambiental.

Según el Artículo 105 de Energías Renovables [11], el Gobierno Nacional diseñará e implementará una política nacional encargada de fomentar la investigación, el desarrollo y la innovación en las energías solar, eólica, geotérmica, mareomotriz, hidráulica, undimotriz y demás alternativas ambientalmente sostenibles.

A nivel departamental, dentro del plan de desarrollo “Nariño Mejor” 2012 – 2015 [10], el presente estudio se articula con los siguientes dos programas. El programa 1: Sostenibilidad de la Biodiversidad y de los Recursos Naturales Mirada Estratégica del eje estratégico Nariño Sostenible, en el cual uno de los subprogramas denominado *Gestión ambiental, urbana y rural* propone fortalecer la gestión, apoyando proyectos de uso de energías alternativas. El programa 2: Desarrollo productivo del eje estratégico Nariño productivo y competitivo, en el cual se propone la ampliación de la cobertura y gestión de proyectos estratégicos energéticos del Departamento en el Subprograma *Minería Sostenible y Producción Energética*.

Finalmente, desde el ámbito municipal específicamente dentro del Plan de Desarrollo “Minga por Santacruz” 2012 – 2015 [1], se arrojan datos con respecto a la conexión eléctrica domiciliar, dejando conocer que en el casco urbano el 100% de las viviendas se encuentran con instalación eléctrica, no obstante, en el sector rural solo el 65% de las viviendas tienen instalación domiciliar, faltando por cubrir un 35%. El mayor número de familias que carecen de este servicio se encuentran radicadas en el sector montañoso. Con respecto a esta situación la alcaldía apoya proyectos relacionados con energías alternativas que puedan abastecer a estos sectores con el fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes.

3.2.2. Antecedentes

En Colombia instituciones del sector energético como el IPSE y la UPME han llevado a cabo varios proyectos de generación de energía para las ZNI. Muchas de las soluciones de energización ejecutadas se han logrado por medio de FNCE, gracias a la gran facilidad de ubicación de este tipo de sistemas en zonas que son de difícil acceso.

Inicialmente, las FNCE se utilizaron para mitigar los efectos del cambio climático reduciendo los gases de efecto invernadero y la dependencia a fuentes derivadas de combustibles fósiles. Sin embargo, su uso también se ha extendido hacia otras aplicaciones, como la energización en áreas alejadas de la red principal con fuentes limpias y amables con el medio ambiente. En este sentido, la energía solar fotovoltaica como ha tenido gran acogida y ha demostrado ser una solución apropiada para resolver problemas de energización, prueba de ello es que la conexión de sistemas fotovoltaicos a la red ha crecido a una tasa del 60% entre el año 2004 y 2009, según la UPME . Siendo Alemania, España, Estados Unidos, Italia y Corea del sur los países con mayor capacidad instalada a nivel mundial.

En Colombia, la capacidad instalada de ESF es aún muy reducida, sin embargo, existen antecedentes sobre el uso de sistemas solar fotovoltaicos para iluminación, sistemas independientes de generación de energía, telecomunicaciones, actividades bombeo y electrificación rural independiente.

En el sector rural es donde más se ha aplicado la energización utilizando celdas solares, ya que es una alternativa económica frente a la ampliación de la red eléctrica nacional. A nivel nacional con ayuda de instituciones como el IPSE y el fondo de apoyo financiero para la energización de zonas no interconectadas (FAZNI) se han desarrollado proyectos piloto exitosos de energización con fuentes alternativas. A continuación, se presentan casos de proyectos de ESF y la información correspondiente a capacidad de energía y costo de los proyectos.

Tabla 12. Proyectos de energización basados en fuentes alternativas ejecutados en Colombia.

Nombre del Proyecto	Localización	Descripción	Costo
Construcción sistemas de energía solar fotovoltaica para 451 viviendas de la zona rural sin energía eléctrica en el Departamento del Guaviare. Ver [8] y [9].	48 Veredas del departamento del Guaviare.	Aporte Programa MFE: \$1.918.344.510.00, correspondientes al 24.33 % del valor del proyecto.	\$7.884.687.670.00
Proyecto piloto para un sistema de producción de hielo por <i>adsorción</i> operada mediante energía solar destinado para la conservación de alimentos.	Departamento de Bolívar, Isla Fuerte. En operación 100% para abril de 2011. Ver [3] y [4].	Potencia instalada: 300 kW, con dos sistemas de seguidores solares fotovoltaicos de 12.5 kW c/u.	
Poligeneración Nazareth - Redes - Aerogeneradores - Seguidores Solares – diesel.	Departamento de la Guajira, Nazareth. En ejecución 80% para abril de 2011. Ver [8] y [4].	Potencia instalada: 650 kW, con 8 sistemas de seguidores solares fotovoltaicos de 12,5 kW c/u.	
Energías renovables- Titumate departamento del Chocó [5].	Chocó.	Capacidad de generación: 15 kWp.	\$ 1.500.000.000.00
Ampliación capacidad de generación –hibrido solar	Chocó.	Campo Solar Fotovoltaico: 110kWp.	\$ 800.000.000.00

diesel [5].			
Implementación aulas bioclimáticas en la ZNI. Departamentos de Chocó, Antioquia, Bolívar y Guajira [5].	Chocó, Antioquia, Bolívar y Guajira.	Campo Solar Fotovoltaico: 1.2 kWp.	Costo por unidad: \$ 50.000.000.00
Generación hibrido solar-eólico- diesel. Flor del paraíso (Alta Guajira) [5].	Guajira.	Campo Solar Fotovoltaico: 2.9 Kwp.	\$ 200.000.000.00
Generación Solar Fotovoltaica en El Retorno-Guaviare [5].	Guaviare.	Capacidad de generación por solución: 100wp.	Costo del proyecto: \$ 428.000.000.00 millones de pesos. Costo por solución año 2013: \$2.600.000.00

Fuente: Esta Investigación.

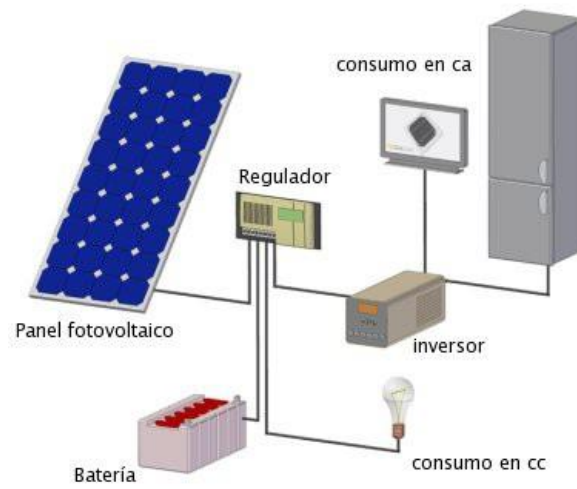
3.2.3. Estado del Arte

La función de un sistema de energía solar fotovoltaico (ESF) es transformar la energía luminosa procedente del sol en energía eléctrica, para almacenarla y posteriormente utilizarla en procesos de consumo o producción. Como se observa en la Figura 6, un sistema de ESF está compuesto por los siguientes componentes:

- Paneles Solares
- Baterías
- Controlador de Carga
- Inversor

Los cuales se describen a continuación.

Figura 6. Esquema de un sistema generador de ESF.



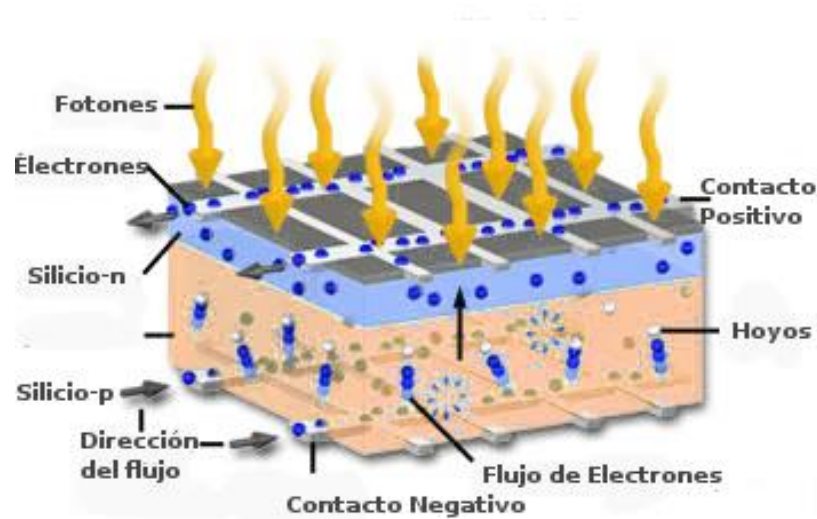
Fuente: <http://ecodatahousing.wordpress.com/>

3.2.3.1. Paneles Solares

Son elementos captadores de energía, que recogen la radiación solar y la transforman en energía eléctrica. Estos están conformados por un conjunto de celdas solares que permiten la generación de corrientes eléctricas cuando entran en contacto con la radiación solar. Estas celdas están construidas a partir de materiales semiconductores, básicamente por 2 capas, una capa semiconductor tipo P y otra tipo N. Estos materiales se caracterizan por su capacidad de permitir o no el flujo de electrones, es decir, bajo ciertas condiciones permiten el paso de la corriente eléctrica, pero bajo otras se comporta como un material aislante.

La generación de corriente en las celdas solares se produce gracias al efecto fotovoltaico, en el cual las ondas electromagnéticas incidentes en la celda producen el movimiento de electrones que se encuentran en las orbitas exteriores del material semiconductor. Cuando la onda que llega al material contiene la suficiente energía se genera movimiento de cargas y si se crea un campo eléctrico al interior del material, las cargas positivas y negativas serán separadas por él, lo que establecerá una diferencia de potencial entre 2 zonas del material, de lo contrario, las cargas de signos opuestos se neutralizaran al combinarse. El material más utilizado del que se construyen las celdas fotovoltaicas es el silicio, el cual es el segundo elemento más abundante en la tierra después del oxígeno [12]. En la Figura 7, se muestra gráficamente el proceso del efecto fotovoltaico.

Figura 7. Efecto fotovoltaico.



Fuente: <http://www.empresaeficiente.com/>

Existen 3 tipos de celdas fotovoltaicas, clasificadas de acuerdo a la forma del silicio, estos tipos son: celdas monocristalinas, policristalinas y amorfas.

Celdas monocristalinas: se construyen con planchas de silicio de una pureza muy elevada y deben tener una estructura cristalina casi perfecta. Estas se elaboran a una temperatura de 1400 °C, proceso que resulta muy costoso [12]. Sin embargo este tipo de celdas proporcionan la mayor eficiencia en la transformación de energía [13].

Celdas policristalinas: su proceso de construcción es menos cuidadoso que el de las celdas monocristalinas, permitiendo reducir los costos de fabricación sin disminuir significativamente la eficiencia de las celdas, motivo por el cual son el tipo de celdas más utilizadas [12], [13].

Las celdas amorfas: se caracterizan por no tener una estructura cristalina y su bajo costo respecto a los tipos cristalinos. Es un material muy absorbente por lo cual capta fácilmente la luz solar, sin embargo, las celdas amorfas no tienen una eficiencia tan alta, de hecho, presentan los valores de eficiencia más bajos, por lo que no son de mucho uso [12], [13].

Figura 8. Panel Solar.



Fuente: <http://ecodatahousing.wordpress.com/>

Como se muestra en la Figura 8, los paneles solares fotovoltaicos están compuestos por un arreglo matricial de celdas interconectadas entre sí, las cuales permiten caracterizar al panel respecto a generación de voltaje y corriente. Existe una gran variedad de paneles solares respecto a tecnología de fabricación y características técnicas, las cuales deben ser consideradas en el proceso de selección para garantizar que se cumplan los requerimientos de generación de energía. A continuación se presentan las principales características que describen un panel.

Potencia pico o nominal: es la potencia máxima que el panel puede entregar en condiciones estándar, i.e., radiación solar = 1000 W/m^2 ; temperatura = 25°C ; A.M. = 1.5.

Corriente de máxima potencia: es la corriente que el panel entrega cuando se encuentra operando en el punto de máxima transferencia de potencia, el cual puede encontrar a partir de las curvas características del panel.

Tensión de máxima potencia: al igual que la corriente de máxima potencia, este es el valor de voltaje que entrega el panel operando en el punto de máxima transferencia de potencia.

Tensión de circuito abierto: valor de voltaje máximo en los terminales del panel sin carga.

Corriente de corto circuito: es la máxima corriente que puede entregar el panel cuando se cortocircuitan sus terminales, es decir con una tensión igual a 0 V.

Otro concepto relevante respecto a los sistemas de ESF es el de radiación solar, el cual nos permite cuantificar la potencia de generación del panel con respecto a la energía proveniente del sol.

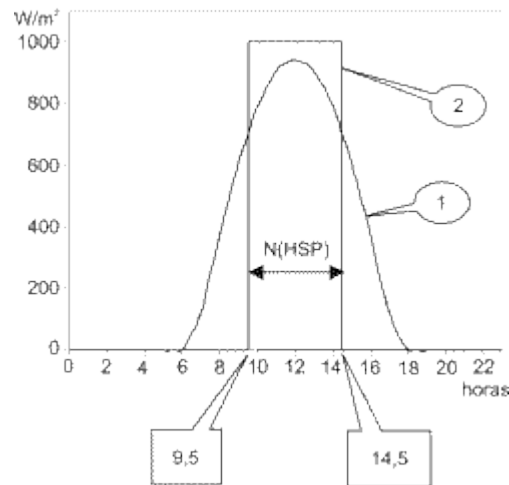
Radiación solar: La radiación solar es la energía que transmite el sol, la cual permite la generación de electricidad a partir del efecto fotovoltaico ocasionado en el panel. Esta radiación proveniente del sol es filtrada por las capas de la atmosfera, por lo cual solamente algunas longitudes de onda llegan a la Tierra. La magnitud de la radiación solar se conoce como **irradiación o irradiancia**, la cual se expresa en vatios por metro cuadrado [W/m^2] [6].

Otro parámetro importante es la **constante solar**, la cual es la medida de la radiación solar que incide perpendicularmente sobre una superficie de área unitaria colocada afuera de la atmósfera terrestre, a una distancia promedio de 15×10^6 km del Sol. El valor que actualmente se utiliza es de $1370 \text{ W}/\text{m}^2$, sin embargo, debido a que no toda la radiación llega a la superficie de la tierra, se toma $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ como el valor que alcanza en la superficie terrestre [12] y [6].

Por otro lado, se debe tener en cuenta el factor de **Horas Pico de Sol (HPS)**, el cual hace referencia al número de horas de luz a una irradiancia igual la constante solar ($1 \text{ kWh}/\text{m}^2$) [13]. Este factor, como los anteriores, son característicos de la geografía de la zona donde se instalaría el sistema de ESF, además, son relevantes en el proceso de dimensionamiento del sistema, específicamente del número de paneles solares.

En la Figura , se muestra la equivalencia gráfica entre el número de horas de sol reales y horas pico. Como se puede observar, las HPS se describe por medio de dos curvas: la primera es una campana de gauss y la segunda es un rectángulo. De la misma gráfica, se puede notar que la segunda curva permite encontrar la fácilmente el factor HPS, a diferencia de la segunda curva donde el cálculo es más complejo debido a la forma de campana. Sin embargo, el factor HPS es equivalente para ambos casos, ya que el área de las dos curvas es equivalente. Por lo tanto, para realizar el cálculo de HPS, se puede utilizar el número de horas que delimitan el rectángulo. Para el caso de la Figura 9, el número de horas está entre 9,5 y 14,5 lo que representa 5 HPS.

Figura 9. Horas pico de sol (HPS).



Fuente: <http://ecodatahousing.wordpress.com/>

En este orden de ideas, el cálculo de la irradiación para la curva 2 se hace multiplicando la magnitud de la radiación (1 kW/m^2) por el número de horas HPS (5). Por otro lado, se debe resaltar que el valor de HPS siempre será igual al valor de la irradiación, debido a que la magnitud de la radiación igual a 1 kW/m^2 es una constante.

Para Colombia, el ministerio de minas y energía ha realizado el atlas de radiación solar donde se encuentran consignados los valores de la radiación solar promedio por mes para todo el año. En este podemos encontrar que Colombia tiene potencial para la generación de energía eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos, teniendo los valores de radiación más altos en el norte del país, en los departamentos de la Guajira, Atlántico, Magdalena, Cesar, Bolívar, Sucre, Córdoba y San Andrés y Providencia con una radiación de hasta 7 kW/m^2 . Sin embargo, algunas zonas de Nariño cuenta con buen potencial de generación con valores de irradiancia de hasta 5 kW/m^2 . En la Figura 6 se presenta el mapa de radiación de Colombia para el mes de julio [6].

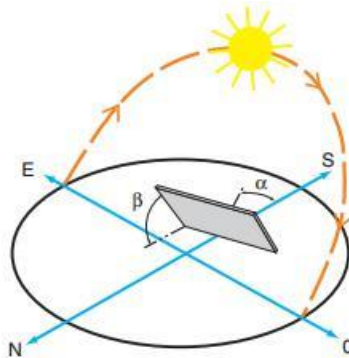
Orientación de los Paneles: Para tener un máximo aprovechamiento del recurso solar es indispensable analizar cómo se orientaran los paneles ya que si no se realiza de forma adecuada se pueden llegar a tener pérdidas significativas en la generación de energía. Los paneles solares deben estar posicionados de tal manera que se pueda aprovechar al máximo la energía proveniente del sol, para esto se definen el ángulo azimut y el ángulo de inclinación [14].

El azimut (α) es el ángulo que forma la dirección en la cual está orientado el panel, con el plano Norte-Sur. Los paneles deben estar orientados al ecuador en la dirección Norte-Sur [15].

La inclinación (β) es el ángulo que forma el panel con la superficie horizontal, tangente a la tierra. Este afecta el ángulo de incidencia del sol. El mejor aprovechamiento del recurso solar se obtiene

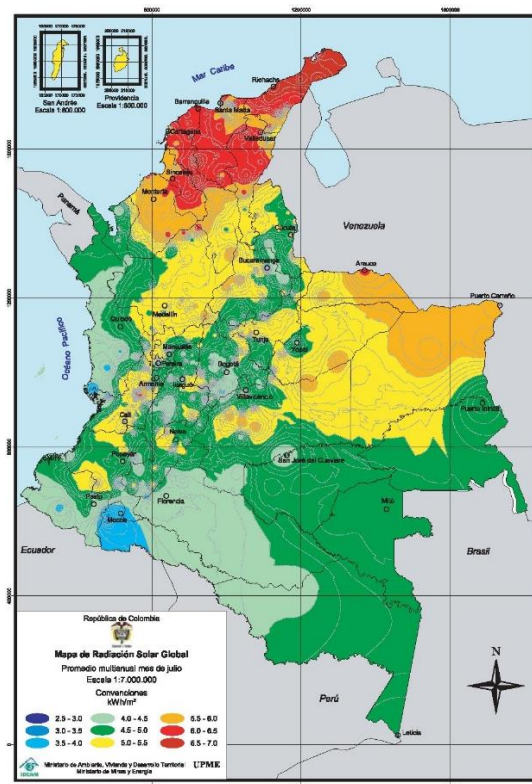
cuando la radiación incide perpendicularmente al panel [15]. La Figura 10 muestra la forma como se debe orientar el panel.

Figura 10. Orientación del panel fotovoltaico.



Fuente: <http://www.cleanergysolar.com/>

Figura 61. Mapa de radiación solar en el mes de julio para Colombia.



Fuente: <http://www.upme.gov.co/>

3.2.3.2. Baterías

Los baterías o arreglos de baterías denominadas bancos, son los que permiten almacenar la energía generada por los paneles durante el día para su posterior uso en horas de la noche o en días nublados cuando los paneles no generan la suficiente energía. Estos se puede describir principalmente por dos componentes: la celda y el electrólito.

Celda: Es la unidad básica electroquímica de una batería, consiste en dos electrodos o placas, de un material específico, unidas por un electrolito almacenadas en una coraza o cubierta que evita golpes y derrames.

Electrólito: Es la solución conductora distribuida entre los electrolitos, la cual suministra iones en la reacción electroquímica que genera el flujo de corriente. Dicho de otra forma, la batería es capaz de convertir la energía química en eléctrica (irreversible) o viceversa (reversible), la cual cuenta con un conjunto de celdas unidas en serie o paralelo según sea el voltaje de operación requerido y la capacidad para una cierta carga [16].

En aplicaciones de sistemas de ESF, se recomienda usar baterías de descarga profunda, entre las cuales se distinguen principalmente 3 tecnologías: AGM (Material de vidrio absorbente), Gel y LiFePo4 (Litio Fosfato de Hierro). A continuación se describen sus características, así como también, ventajas y desventajas las cuales proporcionan un marco de referencia para elegir la tecnología más adecuada de acuerdo a las condiciones requeridas de funcionamiento.

AGM (Material de Vidrio Absorbente): Junto con las baterías de gel, se establecen en la categoría de secas PARV (Plomo – Ácido Reguladas por Válvula). La característica principal de éste tipo de baterías es que el electrolito se encuentra inmovilizado en una estera de fibra de vidrio ultra absorbente permitiendo la casi ausencia de mantenimiento durante su vida útil y la tolerancia a trabajar en cualquier posición. En caso de ruptura o volcamiento no existen preocupaciones de derramamiento de electrolito [17].

Tabla 13. Ventajas y Desventajas de las Baterías AGM.

Ventajas	Desventajas
○ Su resistencia interna es prácticamente nula. ○ Permite Retener la carga durante amplios periodos. ○ Proceso de recarga con muy bajo o ningún grado de emisión. ○ Mayor seguridad respecto a las baterías liquidas, puesto que se evitan los derramamientos del electrolito siendo amigables con el medio ambiente.	○ Densidad de energía baja – de peso insuficiente a los límites de relación de uso de la energía para aplicaciones estacionarias y de ruedas. ○ No se puede almacenar en una condición de alta carga – el voltaje de la célula no debe caer por debajo de 2.10V. ○ Permite sólo un número limitado de ciclos de descarga completa – adecuado para aplicaciones de espera que requieren

○ No requiere mantenimiento. ○ La recarga es más rápida y eficiente. ○ Capaz de alta tasa descarga.	○ descargas profundas sólo ocasional. ○ Contenido de plomo y el electrolito de la batería hostiles para el medio ambiente. ○ Restricciones de transporte de plomo-ácido inundadas, hay preocupaciones ambientales sobre los vertidos.
---	---

Fuente: Fabricante de Baterías VICTRON ENERGY.

Gel: En esta tecnología el electrolito se inmoviliza en forma de gel agregando ácido silícico, en ciertos casos, al ácido sulfúrico procedimiento que evita el derrame de agentes contaminantes al medio ambiente. La característica gelificada del electrolito permite ubicar las baterías en cualquier ángulo, además, presenta una baja gasificación por lo que se encuentran en la categoría de VRLA o (Valve Regulated Lead Acid), es decir, de plomo ácido regulada por válvula, en donde la válvula actúa para compensar la presión de gases en caso de presentarse gasificación por sobre tensión en la recarga [18].

Las baterías de gel de ciclo profundo son baterías selladas, libres de mantenimiento, que proporcionan energía superior ante la demanda de aplicaciones de energía renovable. Su sobresaliente desempeño y larga vida ayudan a un número importante de características de diseño que proveen ventajas significativas sobre otras tecnologías. El electrolito gelificado ofrece un rendimiento constante y extiende radicalmente el ciclo de vida útil de la batería. Las rejillas de aleación de plomo proveen mayor vida útil y una resistencia superior a la corrosión, así como una energía más concentrada a los terminales. Sus separadores de doble aislamiento de nivel Premium permiten flujo de carga máxima entre las placas para óptimo desempeño.

Las reacciones químicas internas a la batería obedecen al voltaje y a la temperatura. Cuanto más elevada sea la temperatura, más rápidas serán las reacciones químicas que se generen. Mientras que las temperaturas más altas pueden ofrecer un mejor rendimiento de descarga, el aumento de reacciones químicas producirá una correspondiente pérdida de la vida útil de la batería. Como regla general, por cada 10 °C de aumento en la temperatura, la velocidad de reacción se duplica. De esta forma, un mes de funcionamiento a 35 °C equivale a dos meses a 25 °C respecto a la vida de la batería. El calor es enemigo de todas las baterías de ácido-plomo, FLA, AGM y gel por igual, e incluso pequeños aumentos de temperatura tendrán una influencia determinante en su vida útil.

Tabla 14. Ventajas y Desventajas de las Baterías Gel.

Ventajas	Desventajas
○ Alta resistencia a ciclos de carga y descarga. ○ Reducida gasificación. ○ Ausencia de mantenimiento.	○ Malas propiedades de arranque en frío. ○ Precio alto. ○ Incapaz de trabajar a altas temperaturas.

Fuente: Fabricante de Baterías TROJA BATTERIES.

LiFePO₄ (Litio Fosfato de Hierro): La batería de litio fosfato de hierro es un tipo de batería recargable de iones de Litio que utiliza FePO₄ como material catódico. Se proponen como reemplazo de las baterías que se utilizan en vehículos eléctricos, motocicletas, inversores de poder, y todo tipo de aplicaciones en donde por lo general se utilizan baterías de gran tamaño.

Entre sus características principales tenemos: que es posible aplicar sobretensión a la batería LiFePO₄ sin peligro de recalentamiento, puede ser cargada en un solo paso de corriente continua para alcanzar el 95% de su estado de carga (SOC), su comportamiento es similar al de las baterías de ácido de plomo en cuanto a la seguridad de carga forzada [19].

Debido a sus características, estas baterías son muy adecuadas para una gran variedad de aplicaciones, i.e., para cargas rápidas de bicicletas eléctricas, vehículos eléctricos, para herramientas eléctricas (e.g., motor eléctrico, etc), UPS, alumbrado de emergencia y sistemas de energía solar. En la siguiente tabla se presentan sus ventajas y desventajas más relevantes.

Tabla 15. Ventajas y Desventajas de las Baterías LiFePo₄.

Ventajas	Desventajas
○ Durante toda la vida de la batería, no hay que darle mantenimiento. ○ Mantienen toda su potencia hasta el mismo momento de la descarga. Las baterías tradicionales por lo general fluctúan según se les agota su energía. Este tipo de baterías mantiene en el 100% de los casos toda su potencia hasta que ya no pueda más. ○ Son bastante seguras, ya que no explotan o incendian con sobrecargas. ○ Entre 2,000 y 3,000 ciclos durante 6 a 7 años de vida útil. ○ Contienen el doble de la capacidad de energía que baterías de ácido de plomo de tamaño comparable. ○ Pueden dejarse a medio cargar por largos períodos de tiempo sin arriesgar arruinar la batería. ○ Si se dejan sin darle uso, se descargan extremadamente lentas, por lo que se pueden dejar sin utilizar por largos períodos	○ La densidad de energía de una batería nueva LiFePo₄ es un 14% menor que la de una batería nueva LiCoO₂. Además, muchas marcas de LiFePo₄s tienen una tasa de descarga más baja que las de plomo-ácido o LiCoO₂. Dado que la tasa de descarga es un porcentaje de la capacidad de la batería, una tasa más alta se puede lograr mediante el uso de una batería más grande.

de tiempo y volver a utilizarlas inmediatamente sin tener que recargarlas. ○ Funcionan hasta a 60 grados Celsius (140 grados Fahrenheit) sin disminuir su rendimiento. ○ Se pueden instalar en cualquier orientación. ○ No contiene metales tóxicos. ○ Las vibraciones no le afectan, y por tanto no son frágiles como las baterías tradicionales. ○ En tan solo 15 minutos se pueden recargar al 90% de su potencia.	
--	--

Fuente: Fabricante de Baterías EEMB.

Funcionamiento de una batería: En su etapa de funcionamiento se describen dos estados conocidos como carga y descarga los cuales influyen en la durabilidad de la batería. Una forma de definir la durabilidad es a través de los ciclos de vida. Se define como ciclo de vida de una batería al proceso de carga descarga a un determinado porcentaje. El porcentaje de descarga se conoce como ciclo de descarga o DOD por sus siglas en inglés, lo que significa que la batería se descarga a un determinado porcentaje y tiene un remanente del porcentaje restante; es decir, si una batería tiene un DOD del 20%, tiene una carga almacenada de 80%, referenciado al valor en carga completa.

Descarga: En las tecnologías de plomo, se refiere al proceso donde el material de la placa positiva dióxido de plomo (PbO_2) y el de la placa negativa (Pb) reaccionan con el electrolito o ácido sulfúrico para producir sulfato de plomo ($PbSO_4$), agua y la energía que se libera durante dicho proceso.

Para que dicha reacción se lleve a cabo se debe cerrar el circuito con una carga a través de la cual se realice el consumo de la energía almacenada en forma química.

Dentro de las especificaciones, una célula o celda de batería indica su capacidad nominal en la unidad Amperios hora (Ah). Los Ah son el producto de la intensidad en amperios (A) por el tiempo en horas (h). Este valor suele estar acompañado por el régimen de descarga correspondiente que se indica con la letra (C) y un número que nos indica el tiempo de la descarga. Las indicaciones más habituales de la capacidad se hacen en los regímenes C5 (descarga con intensidad constante durante 5 horas), C10 (10 horas), C20 (20 horas) o C100 (100 horas).

Por ejemplo, si tenemos una batería que nos indica en su ficha 600 Ah C10, esto nos quiere decir que dispone de 600 Ah en un régimen de descarga con intensidad constante durante 10 horas. La intensidad de descarga correspondiente es: $600 \text{ Ah} / 10 \text{ h} = 60 \text{ A}$. Si descargamos la batería con 60 A de intensidad nos va a durar 10 horas y por lo cual nos dará 600 Ah de capacidad. La misma

batería da mayor capacidad cuanto más lentamente se descarga. Al contrario, si se descarga más rápidamente (respectivamente con mayor intensidad), nos va a dar menos capacidad.

Carga: Durante el proceso de carga la reacción se reversa, es decir, el sulfato de plomo y el agua son nuevamente convertidos electroquímicamente en ácido sulfúrico, lo cual libera a su vez el plomo y dióxido de plomo, que retornan a sus respectivas placas. Dicho proceso se realiza gracias a una fuente externa o cargador [20]. En general, la carga consiste en 4 etapas, las cuales de describen a continuación en su orden ocurrencia.

a. Bulk: Es la etapa de carga más eficiente, comprende el proceso de carga entre los estados de carga nula hasta llegar al primer límite de voltaje (e.g., 12.6 V para una batería de 12 V y 2.4 V por celda). En la fase bulk no hay limitaciones de la corriente de carga, se aprovecha toda la potencia que puede entregar el regulador de carga.

b. Absorción: El proceso de absorción inicia cuando se alcanza el voltaje de gaseamiento (e.g., 2.4V por celda). En esta fase, la corriente de carga se limita para que la tensión no suba más y se mantenga en 2.4 V por celda. De esta forma, la corriente disminuye poco a poco hasta que la batería se carga completamente y finalmente se mantiene constante. Ya que, en su mayoría, los reguladores de carga no cuentan con la función de detección de carga completa, este proceso se realiza de forma programada por tiempo.

c. Flotación: En esta etapa de carga, el regulador se encarga de mantener la batería cargada, compensando la autodescarga de la batería. El regulador limita la intensidad de carga para mantener la tensión de celda constante. La tensión de flotación suele estar en un rango de 2.2 V – 2.3 V por célula y depende del tipo de batería, fabricante y modelo.

d. Ecualización: Esta etapa de carga es opcional y sirve para realizar mantenimiento a la batería. La ecualización (también llamada igualación o carga de mantenimiento) es una sobrecarga de la batería, elevando la tensión de carga por encima de la tensión de gaseamiento provocando un efecto de gaseamiento fuerte de la batería, lo cual permite: romper estratificaciones de ácido dentro de las células, igualar el estado de carga de los elementos y la limpieza de placas positivas.

3.2.3.3. Regulador

La función básica del regulador o controlador de carga es prevenir la sobrecarga y la descarga profunda de la batería.

La sobrecarga ocurre cuando el arreglo de paneles solares proporciona una corriente extra al banco de baterías cuando estos están casi o completamente cargados, lo que podría ocasionar una reducción en la vida útil de las baterías. Para evitar la sobrecarga, los controladores cuentan con funciones que les permiten realizar la desconexión de las baterías, funciones preventivas con alarmas de nivel o por medio de reportes remotos.

Como se mencionó arriba, el controlador también tiene la tarea de prevenir las descargas profundas (DOD) del banco de baterías, dicha prevención se realiza teniendo en cuenta el nivel de carga de la batería por medio de los voltajes de desconexión de carga y de reconexión de carga [13]. En el primero, el suministro de energía a las cargas se interrumpe cuando el voltaje de la batería cae sobre un cierto límite. En el segundo, el suministro de energía a las cargas se reanuda una vez superado este nivel.

Teniendo en cuenta dichos criterios de protección existe un punto crucial entre el mantener un servicio satisfactorio al consumidor y el proteger la durabilidad del sistema de almacenamiento, por lo cual es recomendable que cada regulador cuente con un sistema de alarma de desconexión que prevenga al usuario de riesgo de interrupción del suministro de energía. Los voltajes de conexión y desconexión de carga, deben adaptarse a cada tipo de batería. No es posible establecer una relación universal entre voltaje y estado de la carga en la batería, porque éstos varían dependiendo de las características de la misma. Aunque ésta idea de voltajes universales se ha empleado en numerosos programas de energización fotovoltaica, su uso no es recomendado.

A continuación, se describen las especificaciones de configuración de un regulador de carga respecto a la protección contra descargas profundas.

- El voltaje de desconexión de carga debe corresponder al valor máximo de la profundidad de descarga (DOD) definido en el sistema (e.g., 70%).
- El voltaje de reconexión de carga debe ser 0,08 V/vaso (ó 0,5 V para 12 V) superior al voltaje de desconexión de carga.
- Deben incluirse elementos de señalización y alarma previos a la desconexión.
- El voltaje de alarma (estado de carga bajo) debe ser 0.2 V (para sistemas de 12 V) superior a la tensión de desconexión del consumo.
- Los voltajes de desconexión, reconexión y alarma deben tener una precisión de $\pm 1\%$ (± 120 mV/batería de 12 V) y permanecer constantes en todo el rango de posible variación de la temperatura ambiente.

Es necesario también proteger las baterías contra sobrecargas, por lo que debe limitarse la corriente de carga cuando el voltaje alcanza un cierto límite, llamado voltaje de fin de carga. Dicha corriente no debe restablecerse hasta que el voltaje caiga por debajo de otro límite, denominado voltaje de reposición. Existen básicamente dos clases de reguladores de carga, la diferencia principal entre ellos es la posición del dispositivo de corte empleado para limitar la sobrecarga en la batería. Los reguladores "serie" interrumpen la conexión entre el generador solar y la batería, mientras que los reguladores "paralelo" (o "shunt") cortocircuitan al generador solar.

Hay además, dos tipos básicos de estrategias de control. En los controladores "on-off" se interrumpe totalmente la corriente de carga cuando se alcanza el voltaje de fin de carga. En los controladores con "modulación del ancho de pulso" (o PWM), se recurre a reducir gradualmente

la corriente de carga cuando se alcanza el voltaje de fin de carga, manteniendo así el voltaje constante, y precisamente igual a este valor.

Para evitar la descarga de la batería a través del generador fotovoltaico durante la noche, se emplea una protección contra el paso de corriente inversa. Esta descarga normalmente no es severa, pero evitarla ayuda a mejorar el comportamiento energético del sistema. La protección contra corriente inversa es muy fácil de implementar tanto en reguladores “paralelo” como en reguladores “serie”.

Tipos de Reguladores: Teniendo en cuenta el número de paneles fotovoltaicos, la tecnología de las baterías y el control de carga y descarga de baterías requerido, se pueden considerar dos posibilidades a implementar tecnología MPPT o PWM.

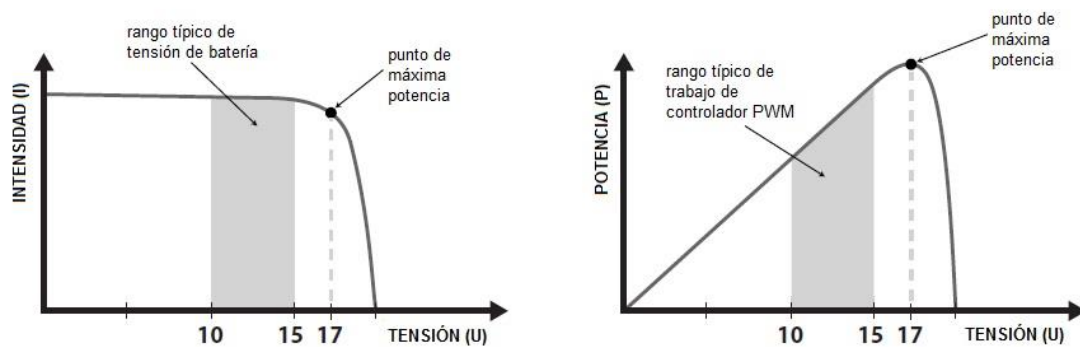
Reguladores PWM: Un regulador PWM es un regulador sencillo que actúa como un interruptor entre los módulos fotovoltaicos y la batería. Conectados a un regulador PWM, los módulos fotovoltaicos están forzados a trabajar a la tensión de la batería (por ejemplo cuando cargamos una batería a 13,5 V, los módulos también dan 13,5 V), lo que resulta en pérdidas de rendimiento respecto al punto de máxima potencia (MPP) de los módulos. En cuanto llegamos a la fase de absorción de la batería, el regulador empieza a cortar parte de la posible producción de los módulos, modificando la anchura de los pulsos (es decir cortando muchas veces por segundo el contacto entre módulos y batería), para que no se sobrecargue la batería.

Las ventajas de este tipo de regulador son la sencillez, reducido peso y el precio. La desventaja principal es la pérdida de rendimiento con respecto a reguladores MPPT, es decir un regulador PWM va a extraer menos energía de un campo fotovoltaico que un regulador MPPT, por lo cual se necesitan más módulos fotovoltaicos para sacar la misma producción [21].

Reguladores MPPT: Un regulador MPPT lleva incorporado un seguidor del punto de máxima potencia (Maximum Power Point Tracking) y un convertidor CC-CC (transformador de corriente continua de más alta tensión a corriente continua de más baja tensión - para la carga de la batería). El MPPT se encarga de trabajar en la entrada de los módulos fotovoltaicos a la tensión que más conviene (para sacar la máxima potencia o para limitar la potencia en fases de absorción y flotación) [20].

La siguiente figura muestra las curvas U-I (tensión - intensidad) y U-P (tensión - potencia) de un módulo fotovoltaico típico para un sistema de 12 V:

Figura 72. Curvas tensión – Intensidad (izq.) y tensión – potencia (der).



Fuente: <http://www.solarhome.ru>.

En la Figura 7 (izq), se muestra el comportamiento de intensidad y tensión en el módulo fotovoltaico. Podemos observar que la intensidad, desde el rango típico de tensión de la batería (área gris), baja muy poco mientras la tensión es considerablemente más alta. Cuando multiplicamos intensidad (I) y tensión (U) para cada punto de la curva obtenemos la potencia (P) resultante para cada punto de trabajo. La curva en el Figura 7 (der) nos muestra la potencia en función de la tensión que da el módulo fotovoltaico. Se ve claramente que la potencia en el punto de máxima potencia, en el cual trabaja un regulador MPPT, es bastante mayor que la potencia que se obtiene en el rango de trabajo de un regulador PWM.

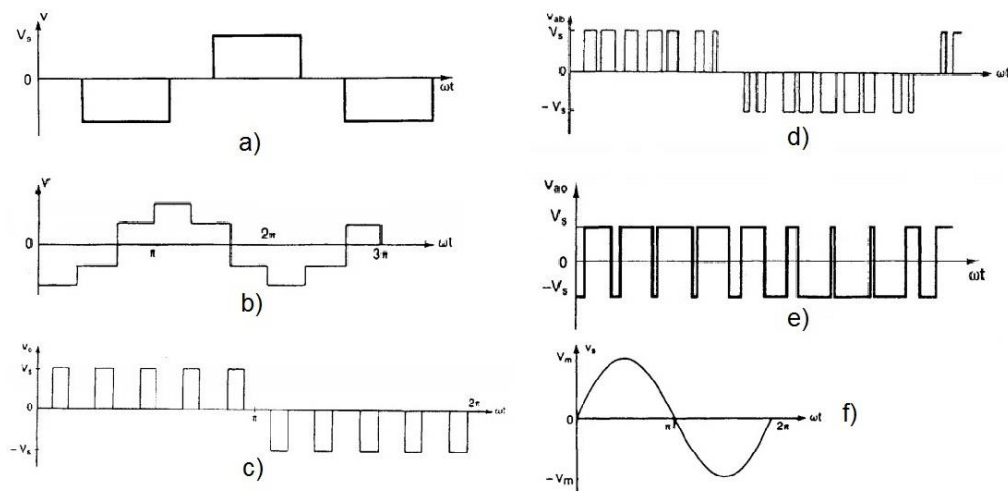
Ventajas de un regulador MPPT frente a uno PWM: Obtiene más rendimiento de los módulos fotovoltaicos, permite emplear módulos fotovoltaicos que no se pueden emplear con reguladores PWM (por cuestiones de incompatibilidad de la tensión del panel con la de la batería), permite trabajar a mayor tensión en el campo fotovoltaico disminuyendo caídas de tensión respectivamente permitiendo emplear cables de menor sección.

3.2.3.4. Inversores

La función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada directo (CD) a un voltaje simétrico de salida en alterno (CA), con la magnitud y frecuencia deseadas. Tanto el voltaje de salida como la frecuencia pueden ser fijos o variables. Si se modifica el voltaje de entrada de CD y la ganancia del inversor se mantiene constante, es posible obtener un voltaje variable de salida. Por otra parte, si el voltaje de entrada en CD es fijo y no es controlable, se puede obtener un voltaje de salida variable, si se varía la ganancia del inversor; esto por lo general se hace controlando la modulación del ancho de pulso (PWM) dentro del inversor. La ganancia del inversor se puede definir como la relación entre el voltaje de salida en CA y el voltaje de entrada en CD [22]. La Figura 8 muestra las señales de salida características.

Como se observa en la Figura 83, la mayoría de ondas de salida son de tipo cuadrado u onda senoidal modificada, las señales a) y b) tratan de asemejarse en cuando a la forma de la onda senoidal que se ve en f) pero no es igual. Las ondas c), d) y e) funcionan modificando el ancho del pulso y tratando de asemejarse al valor promedio que se mide debido a los pulsos. También existen inversores que ofrecen señales de salida en forma senoidal pura como se observa en 5-f) pero estos elevan su valor más que los inversores de onda modificada.

Figura 83. Tipos de onda de salida inversor.



Fuente: <http://www.sfe-solar.com>.

3.2.3.5. Dimensionamiento de un sistema ESF

Para hacer un apropiado dimensionamiento del sistema de ESF es necesario seguir una serie de pasos y realizar algunos cálculos que involucran la demanda de energía, el índice de radiación solar, perdidas de transmisión y número de días de independencia del sistema, entre otros. Para mayor información sobre el proceso de dimensionamiento, se remite al lector a [13], [6] y [23].

Primero, se inicia por definir la demanda de la zona como indican las Ecuaciones 1 y 2, donde, C_d denota el consumo de energía promedio de cada aparato, d , del conjunto total de aparatos D . P es la potencia de cada aparato, t es el número de horas que el aparato permanece conectado en un día, y n es en número de aparatos del mismo tipo. E_t denota la energía total requerida por el sistema, la cual se calcula sumando la energía consumida por cada dispositivo del conjunto D , tal como muestra la Ecuación 2. Además, E_t está sobredimensionada un factor, $f_c \geq 1$, el cual representa el crecimiento porcentual esperado de la demanda al finalizar la vida útil del sistema.

$$C_d = P \cdot n \cdot t, \quad \forall d \in D \quad (1)$$

$$E_t = f_c \sum_{d \in D} C_d \quad (2)$$

Generalmente, estas ecuaciones se utilizan cuando se tienen encuestas con información sobre los aparatos eléctricos y el número de horas que se conectaran a la red. Por otro lado, si se tienen mediciones de la demanda de energía entonces se debe calcular el área de la energía obteniendo de forma directa E_t .

En seguida, y por medio de la Ecuación 3, se calcula la demanda de energía efectiva E .

$$E = \frac{E_t}{R} \quad (3)$$

Donde, R representa las pérdidas debido a conductores, rendimiento por la conversión de energía y rendimiento en el proceso de carga y descarga de las baterías. Esta se calcula como indica la ecuación 4, definida en seguida.

$$R = (1 - k_b - k_c - k_v) \left(1 - \frac{k_a N}{DOD_i} \right) \quad (4)$$

Donde:

k_b es el coeficiente de pérdidas debidas al rendimiento del acumulador (0,05 en sistemas que no se producen descargas intensas y 0,1 en sistemas con descargas profundas).

k_c es el coeficiente de pérdidas en el inversor (0,005 para inversores de salida senoidal pura, en condiciones óptimas y 0.1 para otros inversores).

k_v es el coeficiente de pérdidas varias (transmisión, efecto Joule, etc.), siendo el intervalo de referencia igual a $0.05 < k_v < 0.15$.

k_a es el coeficiente de autodescarga diaria de las baterías, algunos valores típicos son:

- 0,002 para baterías de baja auto descarga (Ni-Cd).
- 0,005 para baterías estacionarias de plomo ácido (las más usuales).
- 0,012 para baterías de alta autodescarga.

N es el número de días de autonomía del sistema, típicamente de 3 a 10.

DOD_i es la profundidad de descarga diaria de la batería, la cual no debería exceder el 60% de la capacidad nominal del banco de baterías.

Siguiendo con el proceso de dimensionamiento, se debe calcular las horas pico de sol (HPS), las cuales se determinan a partir de la irradiancia, H , y la constante de irradiación I , como indica la Ecuación 5.

$$HPS = \frac{H}{I} \quad (5)$$

Como se mencionó anteriormente, la constante de irradiancia tiene un valor constante de 1 kW por lo que las horas pico de sol, HPS , y la radiación, H , expresada en kW tendrán el mismo valor.

Finalmente, a partir de las variables determinadas anteriormente, se calcula el número de paneles por medio de la Ecuación 6 y la capacidad necesaria del banco de baterías por medio de la Ecuación 10.

El número de paneles, N_p , se calcula a como indica la siguiente ecuación.

$$N_p = \frac{E}{0.9 \cdot W_p \cdot HPS} \quad (6)$$

Donde, W_p es la potencia que es capaz de suministrar el panel solar a utilizar y 0.9 es un parámetro de eficiencia.

Además, con las Ecuaciones 7, 8 y 9 se determina la configuración de los paneles, número de paneles en serie (N_{ps}) y paralelo (N_{pp}).

$$N_{ps} = \frac{Vn}{Vm} \quad (7)$$

$$N_{pp} = \frac{N_p}{N_{ps}} \quad (8)$$

$$N_{pt} = N_{ps} \cdot N_{pp} \quad (9)$$

Donde, Vn es el voltaje del regulador de carga, Vm es el voltaje que entregan los paneles y N_{pt} es el número total de paneles.

Finalmente, la Ecuación 10 permite calcular la capacidad (C) que debe tener el banco de baterías para poder cubrir la demanda durante el número de días de autonomía.

$$C = \frac{E \cdot N}{V \cdot P_d} \quad (10)$$

Donde, la variable denotada como V , es el valor del voltaje nominal de las baterías que formaran parte del acumulador o banco de baterías.

A continuación, se muestra un ejemplo del dimensionamiento de un sistema de ESF utilizando las ecuaciones anteriormente descritas. En este ejemplo se utilizan datos de demanda reales obtenidos por medio de encuestas realizadas a los habitantes de las viviendas de la vereda El Sande. En este caso se considera que la demanda promedio de una vivienda muestra es de 1,020

kWh por día. Además, se utiliza el dato de radiación promedio de la zona según el mapa de radiación de la UPME [6], el cual es de 3,5kWh/m². Adicionalmente, en la Tabla 16, se dan los siguientes valores de los coeficientes de rendimiento y parámetros que permiten especificar la configuración deseada del sistema de ESF.

Tabla 16. Coeficientes y parámetros de configuración.

Coeficiente o Parámetro	Valor
N	3
k_a	0,002
k_b	0,05
k_c	0,1
k_v	0,15
P_d	0,7
V	12
V_m	12
W_p	200
HPS	3,5
R	0,694

Fuente: Esta Investigación.

Los resultados del dimensionamiento se presentan en la siguiente tabla. En los resultados se muestra el dimensionamiento tanto para una vivienda como para las 54 viviendas que componen la vereda; según lo obtenido se necesitan 147 paneles y un banco de baterías con capacidad aproximada de 33kAh para energizar las 54 viviendas de la vereda de El Sande.

Tabla 17. Dimensionamiento del sistema.

Características / Caso	Vereda (54 Viviendas)	Vivienda individual
Consumo por casa [kWh]	1,020	1,020
Consumo total [kWh]	55,080	1,020
Carga por casa [kW]	0,20	0,20
Carga total instalada [kW]	10,8	0,20
N_{pt}	147	3
C [Ah]	33025,02	611,57

Fuente: Esta investigación.

Por otro lado, Según los resultados de la Tabla 17, para cubrir la demanda de una vivienda solamente es necesario 3 paneles de 200W y un banco de batería de 611,57 Ah que proporcionaría una autonomía de 3 días.

3.2.3.6 Criterios para la valorización del impacto ambiental

Para la evaluación de impactos se aplicó la metodología de Forenses (1972) y Coles (1978), cuya combinación de métodos permite establecer una matriz de evaluación, como una herramienta de análisis cualitativo y cuantitativo de los impactos esperados, elementos afectados y elementos del proyecto que generaron mayor impacto. Además, estos permiten la comparación y jerarquización para obtener el orden de importancia de las medidas ambientales a implementar.

La escala de valoración para la caracterización de impactos se realizaron de acuerdo a los criterios de calificación propuestos por Coles (1987), estos son: duración, intensidad, probabilidad de ocurrencia, tendencia, reversibilidad, área de influencia, magnitud, carácter del efecto y grado de confiabilidad (ver Tabla 18 a continuación).

Dicho cuadro presenta los criterios de evaluación con su respectiva categoría de calificación y la asignación de valores subjetivos. De acuerdo a una escala de valoración de los parámetros que oscila entre 0 y 3, teniendo en cuenta el valor 0 como no impacto. Por otra parte se determina el tipo de impacto (directo o indirecto) y se designa el carácter del impacto si es positivo o negativo, de esta forma se detectan las actividades que causan mayores efectos, los elementos ambientales más afectados y los impactos más significativos que requieren un manejo ambiental.

La magnitud del impacto (*MI*) resulta de promediar los seis valores dados a los parámetros de caracterización anteriores (duración, intensidad, probabilidad de ocurrencia, tendencia, área de influencia y reversibilidad) y su valor se aproximará al entero más próximo.

$$MI = \frac{D + I + Po + T + Ai + R}{6}$$

Tabla 18. Escala de valoración para la caracterización de impactos.

Criterio de calificación	Categoría	Valor
1. Duración	Largo plazo	3
	Mediano plazo	2
	Corto plazo	1
2. Intensidad	Alta	3
	Moderada	2
	Baja	1
3. Posibilidad o probabilidad de ocurrencia	Alta	3
	Media	2
	Baja	1
4. Tendencia	Deterioro	3

	Estabilidad	2
	Mejoramiento	1
5.área de influencia	Regional	3
	Local	2
	Puntual	1
6.reversibilidad	Recuperable a largo plazo	3
	Recuperable a mediano plazo	2
	Recuperable a corto plazo	1
7. Magnitud del impacto	Alto	2.5 a 3.0= 3
	Medio	1.6 a 2.4= 2
	Bajo	< de 1.5= 1

Fuente: Esta Investigación.

Identificación de los impactos esperados

A partir de la identificación de las actividades generadoras y los elementos o componentes del medio, se aplica el método del árbol de impacto (Sorensen, 1973), el cual mediante una relación causa-efecto, determina los impactos tipo primario (impacto directo) y secundario (indirecto).

Caracterización de los impactos esperados

Aplicando el método de Coles (1987), se realiza una asignación de valores numéricos subjetivos a los criterios en el cuadro 2, estos impactos se evalúan de acuerdo a:

a. Duración: se identifica teniendo en cuenta el tiempo durante el cual se manifiestan y permanecen los efectos o alteraciones que sufre el medio posterior a la ejecución de una acción específica, las categorías son:

Largo plazo: Esta categoría se asigna a un impacto, cuando el efecto sobre el medio permanece aún después de finalizar la acción, se califica con un valor de 3.

Mediano plazo: Cuando el efecto sobre el medio permanece únicamente durante el tiempo de duración de la acción, se califica con un valor de 2.

Corto plazo: Cuando el efecto sobre el medio es transitorio y permanece solo en un lapso de tiempo entre la recepción del impacto y la finalización de la acción. Tiene una calificación de 1.

b. Intensidad: Determina la dimensión o tamaño de cambio que causa el impacto sobre el elemento afectado. Las categorías asignadas son:

Alta: Cuando una propiedad esencial del elemento es afectada por una acción o el impacto varía las características del elemento en más de un 70%, su valoración es de 3.

Moderada: Cuando solo se varía algunas de las características del elemento, o su porcentaje de variación está entre 35 y 70%, se le asigna un valor de 2.

Baja: Cuando sólo una característica no esencial del elemento es afectada o cuando el porcentaje de variación de las características es inferior al 35%, su valor es de 1.

c. Posibilidad de ocurrencia: Hace referencia a la posibilidad de ocurrencia de los impactos, basados en el tipo de actividad y la sensibilidad del medio ambiente. Las categorías de la probabilidad del impacto se califican como:

Alta: se asigna cuando existe la certeza que el impacto va a ocurrir o por lo menos un 70% de probabilidad de ocurrencia, se califica con un valor de 3.

Media: cuando la probabilidad de ocurrencia varía entre 35 y 70%, el valor asignado es de 2.

Baja: Cuando la probabilidad de ocurrencia del impacto es baja (menor del 35% de probabilidad) o casi nula, se asigna un valor de 1.

d. Tendencia: Con este criterio se pretende determinar la evolución del elemento del medio después de sufrir alteraciones al efectuarse actividades que causan impactos tanto positivos como negativos, estableciéndose para su calificación tres categorías a saber:

Deterioro: Esta categoría se asigna a los impactos que ocasionen cambios tan fuertes sobre los elementos del medio, que traen como consecuencia un deterioro paulatino de estos. La calificación para los impactos negativos es de 3.

Estabilidad: Se usa para calificar los impactos que no ocasionan cambios posteriores sobre el medio, es decir que los elementos después del impacto tienden a permanecer en su estado actual. La calificación es de 2.

Mejoramiento: Esta categoría se utiliza para calificar los impactos de tipo positivo, que ocasionan mejoramiento en los elementos, generalmente se usa cuando se aplican las medidas de corrección y compensación necesarias. Se califica como 3 en los impactos positivos.

e. Área de influencia: Hace referencia al área en donde se desarrolla determinado impacto. Las categorías de calificación son las siguientes:

Regional: aquellos impactos que afectan a nivel de región, generalmente cubren el área de influencia indirecta del proyecto. Se valora con 3.

Local: Aquellos que involucran los impactos que limitan su efecto sólo a los alrededores donde se realiza el proyecto. Su calificación es de 2.

Puntual: Se refiere a los impactos que presentan sus efectos dentro del área donde se ejerce la acción directa. Su calificación es de 1.

f. Reversibilidad: Este aspecto mide el grado de recuperación de los elementos en cada uno de los Ecosistemas, después de haberse implementado las acciones correctivas para los efectos causados por los diferentes impactos durante la realización de las actividades específicas. Dentro de este aspecto se establecieron las siguientes categorías de clasificación:

Recuperable a largo plazo: Este aspecto sugiere que los ecosistemas pueden lograr su recuperación, después de haberse desarrollado sobre él labores de corrección, compensación y recuperación de los elementos afectados durante la realización de las actividades específicas. Se supone un tiempo aproximado no inferior de 18 meses, su calificación es de 3.

Recuperable a mediano plazo: Se presenta cuando después de aplicar las labores pertinentes, los ecosistemas afectados inician su recuperación en un término de seis a 18 meses, dependiendo de cada uno de los elementos del medio. Se califica con 2.

Recuperable a corto plazo: En esta categoría de calificación el tiempo necesario para la recuperación de los elementos de cada ecosistema afectado es de aproximadamente 3 a 6 meses. Se califica con 1.

Magnitud (MGI): La magnitud global del impacto es el resultado de promediar los valores dados los parámetros de calificación, por lo tanto determina el grado de afectación del elemento dependiendo de su duración, probabilidad de ocurrencia, tendencia, extensión, y capacidad de recuperación del elemento afectado. Matemáticamente se expresa con la siguiente relación:

$$MGI = \frac{VCi \dots n}{Np}$$

Dónde:

MGI = Magnitud global del impacto

VC = Valor de calificación para cada parámetro por impacto

Np = Número de parámetros evaluados

Su rango de calificación sería:

Alta: Cuando el promedio oscila entre 2,5 y 3, aproximándose a 3

Media: Cuando el promedio oscila entre 1.6 y 2.4, aproximándose a 2

Baja: Cuando el promedio es inferior a 1.5, aproximándose a 1

La valoración de los impactos ambientales para el presente estudio, parte de un análisis multidisciplinario constituido por los componentes biótico, abiótico y social. Las matrices obtenidas, son el resultado de la valoración cuantitativa que se construyó bajo las categorías planteadas y registradas como información primaria en las salidas de campo. A continuación se presenta las matrices y las gráficas de tendencia considerando las siguientes categorías:

1. Impactos ambientales negativos componente
2. Impactos ambientales positivos componente

Impactos ambientales negativos componente

Se valoraron tres componentes generales, de los cuales se consideraron las categorías pertinentes y constantes para cada una de las subestaciones, de tal manera que se cruzó en total la información de 14 impactos, cuya información de entrada se presenta en la matriz 1 y se expone la valoración de 0-3 por cada etapa y cada una de las actividades que ella (Tabla 19).

Tabla 19. Categorías valoradas para Impactos ambientales negativos.

Componente	Categorías	Número de Impactos
Biótico	1. Pérdida cobertura vegetal (PCV) 2. Fragmentación de vegetación (FV) 3. Alteración corredores biológicos (ACB) 4. Destrucción hábitats (DH) 5. Desplazamiento de poblaciones (DP) 6. Erosión del suelo (ES)	6
Abiótico	1. Producción de ruido (PR) 2. Alteración del paisaje (AP) 3. Generación de residuos sólidos (GRS) 4. Generación de residuos aceitosos (GRA) 5. Generación de emisiones atmosféricas (GEA)	5
Social	1. Variación demográfica (VD) 2. Alteración cultural (AC) 3. alteración de la calidad de vida (ACV)	3
Total Impactos valorados		14

Fuente: Esta Investigación.

La valoración de la magnitud total de los impactos negativos por componente, permiten determinar cuál es la tendencia de impactos en cada una de las etapas del proyecto (Tabla 19), cuyos valores finales pueden registrarse como impactos bajos, medios, críticos y no determinados.

3.3. Problema Central, Causas y Efectos

Con base al diagnóstico de la situación actual y del servicio explicados en las secciones anteriores, a continuación se exponen las causas de la problemática evidenciada que explican las razones por las cuales no se ha podido ampliar la cobertura en la zona rural, entre ellas: la amplia distancia de la red eléctrica del casco urbano hasta las zonas afectadas, el alto costo que implica ampliar la red, mínimo número de viviendas en las zonas rurales. Adicionalmente, no han existido programas específicos a nivel departamental o municipal para colocar en marcha planes que permitan atender este tipo de necesidades e identificar alternativas de energización, esta situación se explica en gran medida por la restricción presupuestal que tienen las instituciones públicas de la zona de estudio.

A continuación, se presenta las situaciones problemáticas identificadas y se clasifican en las siguientes categorías generales ordenadas en numeración alfabética:

- a) Deficiente servicio de energía eléctrica.
 - Desconocimiento y bajo aprovechamiento de sistemas alternativos de energización.
 - Estudios deficientes sobre el diseño e implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico.
 - Estudios insuficientes sobre la oferta de energía eléctrica a partir del recurso solar.
 - Estudios insuficientes sobre la demanda de energía en la región.
 - Estudio técnico insuficiente sobre el dimensionamiento de un sistema de energía solar fotovoltaico.
 - Estudios insuficientes de sostenibilidad económicos y ambientales sobre un sistema de energía solar fotovoltaico.
 - Bajo aprovechamiento del recurso hídrico como alternativa de energización.
 - Estudios insuficientes sobre el diseño de una central hidroeléctrica como alternativa de energización.
- b) Baja productividad y competitividad.
 - La insuficiencia de energía limita el desarrollo de actividades productivas de trabajo y de acceso a la información.
 - Escaso desarrollo tecnológico.
- c) Baja calidad de vida y bienestar.
 - Altos índices de necesidades básicas insatisfechas.
 - Desplazamiento de los jóvenes hacia otras regiones.
 - Limitación de actividades de recreación y acceso a la información.
 - Falta de oportunidades laborales.
- d) Incremento en la contaminación ambiental por el uso de plantas de energía eléctrica a base de uso de combustibles fósiles (diésel y gasolina).
- e) Escasez de programas específicos a nivel departamental o municipal para atender la problemática de baja cobertura de energía
 - Desconocimiento de las autoridades locales sobre las políticas, planes o programas para la aplicación de sistemas alternativos de energización.
 - No se considera una soluciones a largo o mediano sobre el problema de energización.
- f) Recursos limitados
 - Alto costo de ampliación e implementación de la red eléctrica hasta la vereda.
 - Restricción presupuestal de las autoridades del resguardo para realizar los estudios pertinentes sobre sistemas alternativos de energía.
 - Alto costo de operación y mantenimiento de las plantas eléctricas a base de combustibles fósiles.
- g) Ubicación geográfica distanciada y dispersa
 - Amplia distancia entre la zona de estudio y el casco urbano.
 - Mínimo número de viviendas y amplia distancia entre la zona y la red eléctrica.

Identificación de variables: En la Tabla 20, se muestra la identificación de variables generales, resultado de clasificar las situaciones problémicas del listado antes mencionado.

Tabla 20. Identificación de Variables.

Variable	Situaciones problémicas
Energética	a
Productividad	b
Social	c
Ambiental	d
Institucional	e
Recursos	f
Geográfica	g

Fuente: Esta investigación.

Ya identificadas las variables donde se clasifican las situaciones problemáticas, se puede crear la matriz de VESTER (Tabla 21) para priorizar los problemas y determinar sus causas y efectos. Recordemos que la matriz de VESTER se llena con:

- 0 si un problema no es causa de otra.
- 1 si un problema es causa indirecta de otra.
- 2 si un problema es causa medianamente directa de otra.
- 3 si un problema es causa directa de otra.

Tabla 21. Matriz de VESTER.

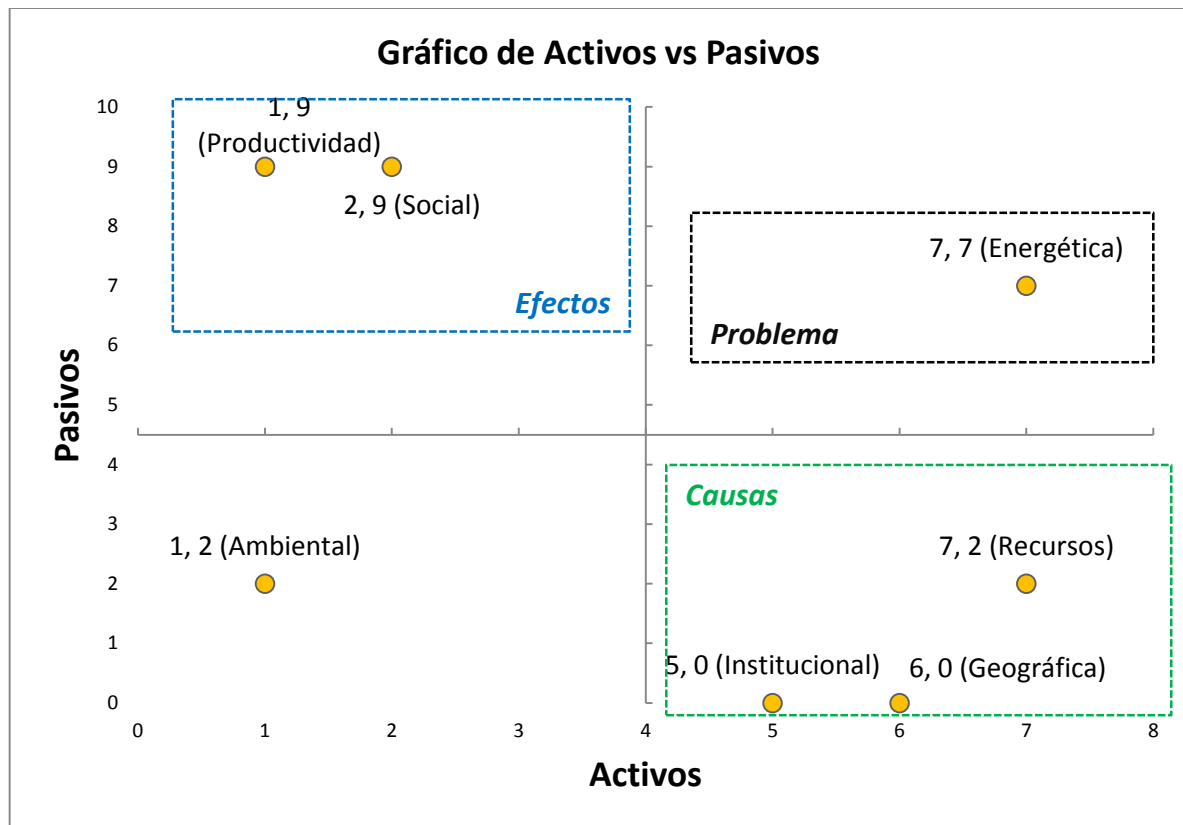
	Energética	Productividad	Social	Ambiental	Institucional	Recursos	Geográfica	Activos	Eje activos
Energética	-	3	3	1	0	0	0	7	4
Productividad	0	-	1	0	0	0	0	1	
Social	0	1	-	0	0	1	0	2	
Ambiental	0	0	1	-	0	0	0	1	
Institucional	1	1	1	1	-	1	0	5	
Recursos	3	2	2	0	0	-	0	7	
Geográfica	3	2	1	0	0	0	-	6	
Pasivos	7	9	9	2	0	2	0		
Eje pasivos	4.5								

Fuente: Esta Investigación.

A partir de la matriz de VESTER se construye el gráfico de clasificación de problemas (Figura 9). En este se grafican activos vs. pasivos, en el eje horizontal y vertical, respectivamente.

En la Figura 94 se muestra la identificación de la problemática principal, sus causas y efectos, los cuales se ubican en los cuadrantes, superior derecho, inferior derecho y superior izquierdo, respectivamente. Además, se ha identificado que la problemática central está relacionada con la variable **energética** la cual, a su vez, se relaciona con el inadecuado servicio de energía eléctrica.

Figura 9. Clasificación de Problemas.



Fuente: Esta investigación.

Por otro lado las causas identificadas han sido:

- Recursos limitados (**Recursos**).
- Consideraciones geográficas (**Geográfica**).
- Falta de programas específicos a nivel departamental o municipal para atender la problemática de baja cobertura de energía (**Institucional**).

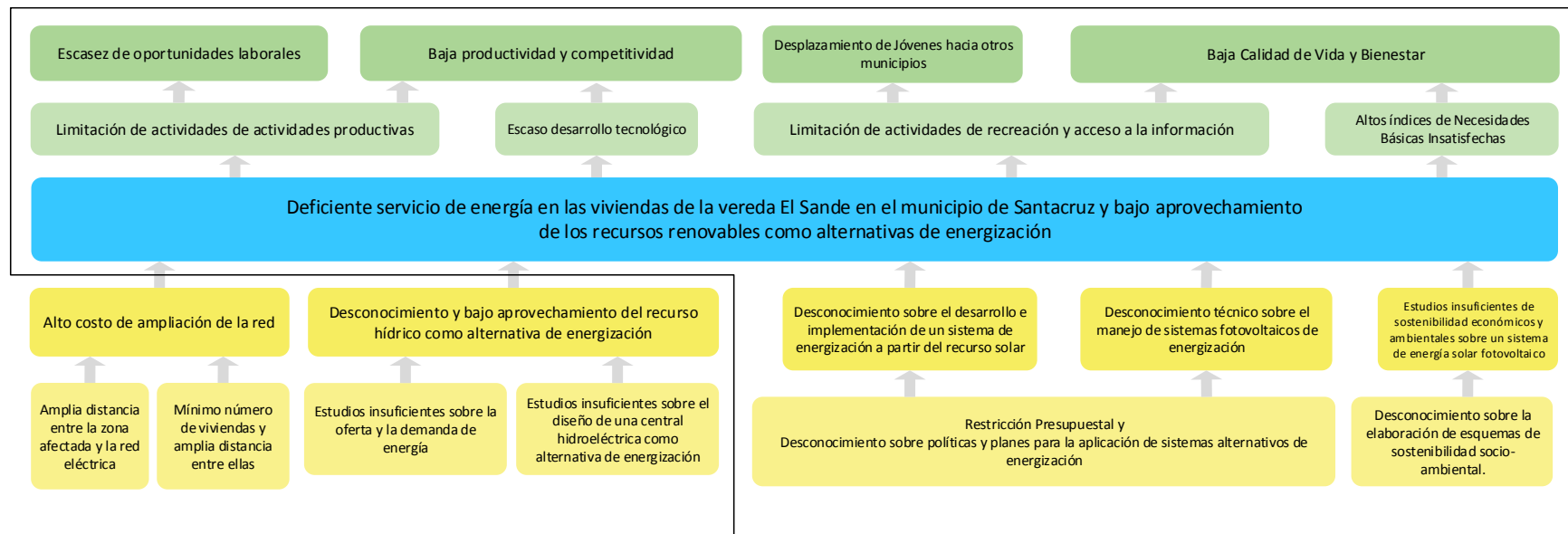
Finalmente, los efectos identificados son:

- Baja productividad y competitividad (**Productividad**).
- Baja calidad de vida y bienestar (**Social**).

Construcción Del Árbol Del Problema

Partiendo de la anterior priorización del problema, se organiza el siguiente esquema que tiene como punto de partida la problemática principal, en la parte inferior se ubican las causas del problema organizadas en directas e indirectas y en la parte superior los efectos que produce el problema.

Figura 10 Árbol del Problema (Causas, Efectos y Problema principal).



Fuente: Esta investigación.

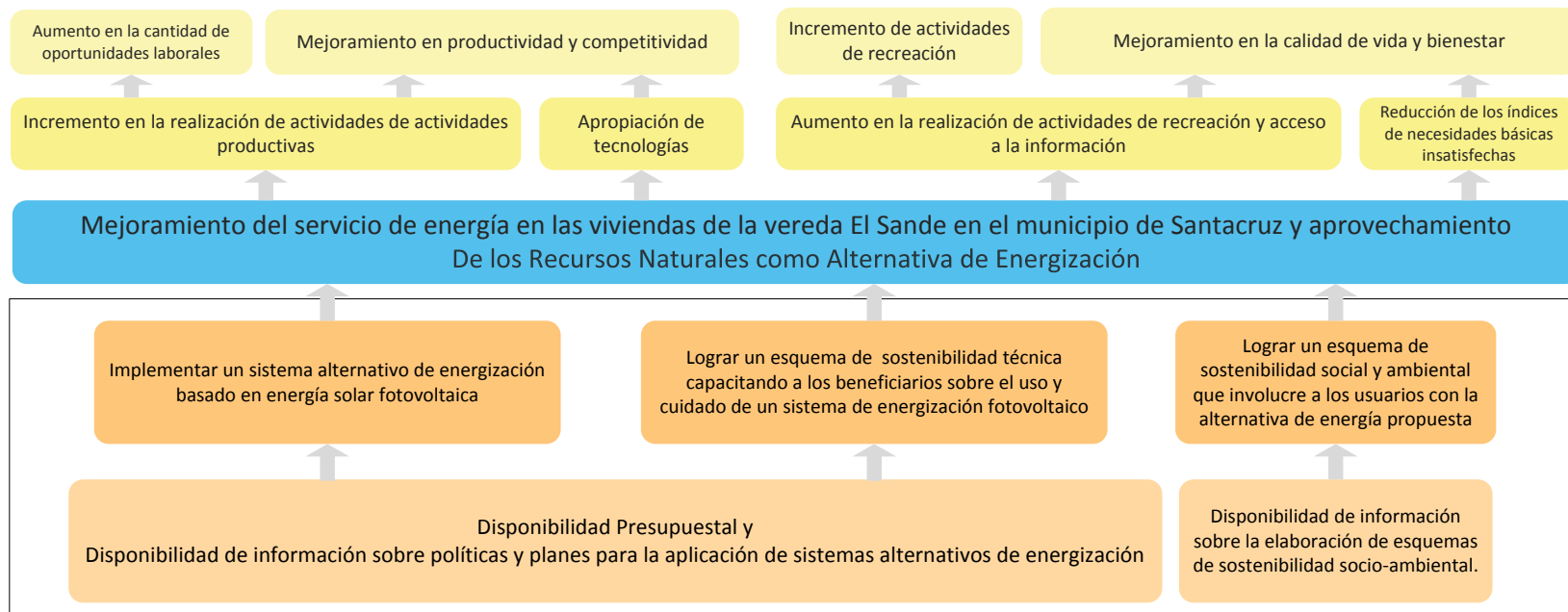
Construcción del árbol de objetivos

Se describe la situación futura que se quiere alcanzar mediante medios y fines. Se elabora a partir del árbol de problema formulando las condiciones negativas en forma positiva y que sean realizables. Además, se revisa que los medios y fines sean coherentes entre sí.

En este caso particular, se descartan dos alternativas: la ampliación de la red y la alternativa basada en recursos hídricos (se ubican afuera del recuadro de la Figura 105), ya que son alternativas con gran capacidad de oferta de energía que sobrepasarían las necesidades de la región, que además tienen un alto costo de implementación, lo que las hace no viables económicamente para la región que se está estudiando.

De abajo hacia arriba el árbol se organiza como medios, situación que se quiere alcanzar y fines.

Figura 11. Árbol del Objetivos (Medios y Fines).



Fuente: Esta investigación.

4. FORMULACION DE LA ALTERNATIVA

4.1. Nombre de la Alternativa

Desarrollo de un sistema de energía solar fotovoltaico como alternativa sostenible de energización en la vereda El Sande del municipio de Santacruz.

4.2. Resumen de la Alternativa

Considerando la priorización de las situaciones problemáticas mencionadas, en este proyecto se ha identificado la necesidad de mejorar el servicio de energía eléctrica en las zonas rurales del municipio de Santacruz, específicamente en la vereda El Sande. Para lograr esto se propone plantear una estrategia de energización basada en una fuente de energía renovable que sea abundante en la zona, como lo es la energía solar, y que además, cumpla con los requerimientos de sostenibilidad técnica, ambiental y económica garantizando la perdurabilidad del servicio por medio de un esquema de organización eficiente y que involucre la participación activa de la población.

En este sentido, el proyecto tiene el propósito de diseñar una estrategia de energización sostenible basada en un sistema de generación fotovoltaico para la vereda, la cual pretende contribuir con el mejoramiento de cobertura de energía por medio de 3 productos u etapas:

- 1) Implementación de un sistema de energización fotovoltaico,
- 2) Capacitación de beneficiarios sobre el uso y mantenimiento de un sistema fotovoltaico.
- 3) Desarrollo de guías de sostenibilidad en relación a los aspectos económico y ambiental.

La primera etapa consiste en implementar una solución de energización fotovoltaica previamente diseñada que permita satisfacer la demanda de energía eléctrica para todas las viviendas de la zona de estudio. Se debe mencionar que en este documento se adjunta el análisis del recurso solar y de la demanda de energía eléctrica de la zona de estudio que se realizaron en etapas previas a este proyecto. Respecto al análisis del recurso solar,

se recopiló información desde la plataforma GEOALTERNAR⁴ para estimar la radiación solar en la zona objetivo promedio y así verificar la viabilidad del uso de energía solar como estrategia de energización. De la misma forma, se recopiló información a través de encuestas acerca del tipo de cargas y su tiempo de uso en las viviendas. Adicionalmente, se complementó el estudio de la demanda realizando mediciones que permitieron construir un perfil de demanda representativo de la región. Finalmente, se realizó un análisis de proyección de la demanda considerando el crecimiento demográfico y la posible conexión de nuevas cargas.

En la segunda etapa, se realizarán varias capacitaciones sobre el uso y mantenimiento del sistema de energización implementado para garantizar la apropiación de la tecnología instalada por parte de la comunidad beneficiada. En esta etapa es muy importante que la comunidad sea parte activa del desarrollo del proyecto para que se familiarice con la tecnología de energización solar desde la etapa de instalación.

Principalmente se realizarán capacitaciones a la comunidad sobre el funcionamiento del sistema para que comprendan el funcionamiento de cada componente del sistema y del conjunto que conforman, desarrollando habilidades suficientes para realizar tareas de sencillas como son: encendido y apagado del sistema, lectura y monitoreo de variables, realizar reportes de funcionamiento y corrección de fallas de funcionamiento simples. De igual forma, se debe capacitar a la comunidad sobre el mantenimiento preventivo del sistema de energización para lograr en la comunidad beneficiada una autonomía técnica en el manejo y operación del sistema mencionado. En última instancia, la comunidad será capacitada sobre el uso del sistema de tal manera que se expliquen sus ventajas y limitaciones, de tal manera que se garantice un aprovechamiento y buen uso del sistema por parte de la comunidad.

En la tercera etapa se realizarán las guías respecto a los aspectos económico y ambiental. En el aspecto ambiental es necesario considerar los efectos que puede producir la instalación y el uso del sistema de energía sobre el medio ambiente, en este caso se debe describir un plan de reciclaje sobre las baterías y paneles solares, ya que una vez cumplido su ciclo de vida pueden llegar a convertirse en residuos contaminantes. Por otro lado, respecto al esquema de sostenibilidad, es necesario diseñar un plan de administración que permita generar las condiciones de operación de tal forma que la comunidad pueda sustentar el funcionamiento del sistema de energización propuesto.

4.3. Objetivos

El análisis del árbol de objetivos nos permite darle una dirección específica al proyecto por medio de la definición del objetivo general y específicos (Recuadro de la Figura 11).

⁴ Cuantificación de recursos energéticos en el Departamento de Nariño. En línea: <http://geoalternar.udenar.edu.co/>

4.3.1. Objetivo General

Desarrollar una estrategia de energización sostenible basada en un sistema de generación fotovoltaico aplicada al mejoramiento del servicio de energía eléctrica en la vereda El Sande del municipio de Santacruz.

4.3.2. Objetivos Específicos

1. Implementar un sistema de energía solar fotovoltaico que satisfaga los requerimientos de demanda de todas las viviendas de la comunidad beneficiada.
2. Capacitar a los miembros de la comunidad beneficiada sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento preventivo del sistema de energía fotovoltaica instalado.
3. Lograr un esquema de sostenibilidad ambiental y administrativo que involucre a los beneficiarios como participantes activos que procure por la durabilidad de la estrategia de energización implementada.

Productos, Actividades y Personal Requerido

Tabla 22. Productos, Actividades y Personal Requerido, Objetivo Específico 1.

Producto	Cód. Actividad	Actividad	Personal Requerido
Informe de compra de materiales con soporte multimedia	A1-1	Apertura y socialización del proyecto a la comunidad beneficiada por parte de los ejecutores. <i>Duración: 1 mes</i>	- Coordinador - Administrador - Asistente de Investigación - Ing. Eléctrico - Ing. Electrónico
	A1-2	Compra de materiales y equipos que conforman el sistema de fotovoltaico y la red de distribución, operación logística de almacenamiento y capacitación sobre el manejo e instalación de los materiales adquiridos. <i>Duración: 3 meses</i>	- Coordinador - Administrador - Asistente de investigación - Ing. Eléctrico - Ing. Electrónico - 2 Técnicos en Eléctrica o Electrónica.
Informe de instalación del sistema de energización y acta de entrega con soporte multimedia de pruebas de funcionamiento	A1-3	Transporte y entrega de equipos y materiales que conforman el sistema de energización a la comunidad beneficiada, y operación logística de almacenamiento en la zona objetivo. <i>Duración: 4 meses</i>	- Coordinador - Administrador - Asistente de investigación - Ing. Eléctrico - Ing. Electrónico - 2 Técnicos en Eléctrica o Electrónica.
	A1-4	Instalación del sistema de energización, realización de pruebas de funcionamiento y ajustes finales. <i>Duración: 4 meses</i>	- Coordinador - Administrador - Asistente de investigación - Ing. Eléctrico - Ing. Electrónico - Ing. Civil - 6 Técnicos en Eléctrica o

			Electrónica. - Auxiliar de servicios en Ing. Civil
--	--	--	--

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 23. Productos, Actividades y Personal Requerido, Objetivo Específico 2.

Producto	Cód. Actividad	Actividad	Personal Requerido
Guía de operación y manuales de funcionamiento del sistema fotovoltaico	A2-1	Elaboración de una guía de operación del sistema fotovoltaico y entrega de manuales de funcionamiento de los elementos que conforman el sistema de energización. <i>Duración: 2 meses.</i>	- Coordinador - Administrador - Asistente de investigación - Ing. Eléctrico - Ing. Electrónico - Diseñador Gráfico
Listas de asistentes y registro fotográfico de las jornadas de práctica y capacitación	A2-2	Capacitación a la población beneficiada sobre el mantenimiento y operación del sistema fotovoltaico considerando aspectos de eficiencia energética y limitaciones del mismo. <i>Duración: 2 meses</i>	- Coordinador - Administrador - Asistente de investigación - Ing. Eléctrico - Ing. Electrónico - Socióloga
	A2-3	Realización de una jornada práctica sobre la operación de un sistema fotovoltaico, mantenimiento y simulación de posibles fallos, dirigida a la comunidad de beneficiados como actores principales. <i>Duración: 1 mes</i>	- Coordinador - Administrador - Asistente de investigación - Ing. Eléctrico - Ing. Electrónico - Sociólogo

Fuente: Esta investigación.

Tabla 24. Productos, Actividades y Personal Requerido, Objetivo Específico 3.

Producto	Cód. Actividad	Actividad	Personal Requerido
Documento de análisis de la normativa y fijación del precio y/o tarifas generadas para la prestación del servicio	A3-1	Análisis de la normatividad respecto al préstamo del servicio de energía y fijación de precios considerando las políticas y condiciones de la región beneficiada. <i>Duración: 2 mes</i>	- Coordinador - Administrador - Asistente de investigación - Ing. Eléctrico - Economista - Profesional en Derecho
Documento del modelo organizacional y de operación sostenible con metodologías participativas que involucren a la comunidad de beneficiarios para realizar el préstamo del servicio de energía	A3-2	Elaboración de un modelo organizacional y de operación auto sostenible para realizar el préstamo del servicio de energía que involucre a la comunidad beneficiaria como actores principales. <i>Duración: 2 mes</i>	- Coordinador - Administrador - Asistente de investigación - Economista - Profesional en Derecho
Documento con la evaluación del impacto ambiental y	A3-3	Diagnóstico ambiental del área de influencia, identificación, caracterización y valoración de impactos. <i>Duración: 2 mes</i>	- Coordinador - Administrador - Asistente de investigación - Ing. Ambiental

plan de manejo ambiental	A3-4	Elaboración de un plan de manejo ambiental. <i>Duración: 2 mes</i>	- Coordinador - Administrador - Asistente de investigación - Ing. Ambiental
--------------------------	------	---	--

4.4. Identificación y Descripción de la Innovación Propuesta

Uno de los componentes de mayor importancia en un sistema de ESF son las baterías. Ya que es uno de los componentes más sensibles al desgaste y que generalmente representa un costo considerable alto del sistema que conforma [24], [25]. En este sentido, los estudios acerca de las problemáticas de las baterías ha sido temas que han ganado relevancia dentro de la comunidad científica; algunos de estos son: modelado de ciclo de vida, modelos de degradación, desarrollo de tecnologías de almacenamiento, modelos de programación de la recarga, entre otros.

Actualmente, uno de los problemas de mayor interés respecto al uso de baterías, es la reducción de vida útil de la batería en función de la programación de la recarga. Como se mencionó anteriormente, su interés se impulsa en el hecho de que el sistema de almacenamiento representa una gran parte del costo de todo el sistema, por ejemplo, para un sistema de ESF como para un EV el costo de las baterías corresponde aproximadamente a un 50% del costo total.

En este sentido, el cuidado del estado de salud del sistema de almacenamiento se han venido manejando por medio del modelado de baterías que permiten proyectar la vida útil remanente en función de los parámetros de uso, tales como: ciclos de carga y descarga, tasa de carga y descarga y temperatura de funcionamiento. De esta manera, el modelado de la batería permite determinar los tiempos de carga y descarga más apropiados y se puede delimitar una profundidad de descarga (DOD) que permita maximizar la vida útil de la batería [26]. Aunque el proceso mencionado se puede aplicar en la programación de carga/descarga de vehículos eléctricos gracias a la flexibilidad del sistema, en sistemas de ESF la programación de la carga y descarga no presentan la misma flexibilidad, ya que la carga depende del recurso solar y la descarga de la forma de consumo de los usuarios, los cuales son de naturaleza estocástica. No obstante, se pueden definir parámetros sobre el uso del sistema de almacenamiento que permitan conservar la vida útil de la batería y aprovechar el sistema de almacenamiento. En este caso, se propone un dimensionamiento óptimo de acuerdo al modelo de *rendimiento de energía* [27], el cual se presenta en la sección de 4.6 de Metodología, para aprovechar el máximo de energía de la batería. Este dimensionamiento consiste en determinar el valor apropiado del parámetro de profundidad de descarga (DOD) diaria, de tal manera, que el sistema de almacenamiento pueda brindar la mayor cantidad de energía durante su vida útil.

A continuación se presenta el cálculo de parámetro DOD utilizando el modelo de rendimiento de energía para un tipo de batería de plomo-ácido. En la Figura 127, se muestra la curva de ciclos de falla de la batería, de la cual se puede calcular la energía de rendimiento utilizando la Ecuación 11, la cual se muestra en la siguiente tabla.

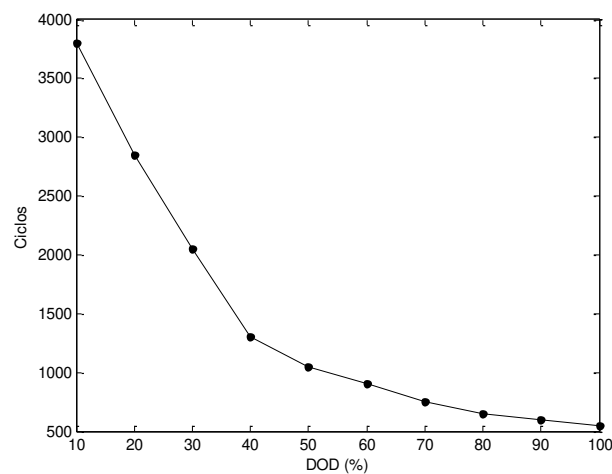
Tabla 25. Cálculo de la Energía de Rendimiento.

DOD (%)	# C_f	E_T (kWh)
10	3800	798
20	2850	1197

30	2050	1292
40	1300	1092
50	1050	1103
60	900	1092
70	750	1103
80	650	1092
90	600	1134
100	550	1155

Fuente: Esta investigación.

Figura 127. Ciclos de falla vs DOD.

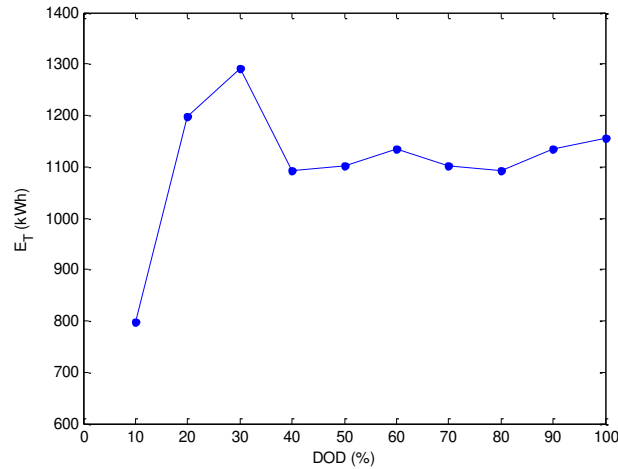


Fuente: Esta investigación.

Adicionalmente, utilizando la Ecuación 12, se puede calcular el parámetro DOD^* que maximiza la curva de energía de rendimiento. En este caso, el resultado indica que un $DOD = 30\%$ permite liberar el máximo de energía durante toda la vida útil de la batería.

Esto se puede observar de manera clara en la siguiente Figura 138, donde se muestra la gráfica del energía de rendimiento (E_T), la cual indica la cantidad de energía que puede ser extraída de la batería, durante toda su vida útil, en función del parámetro de descarga profunda. Este caso se observa que el máximo ocurre cerca del 30% de la descarga profunda.

Figura 138. Energía de Rendimiento.



Fuente: Esta investigación.

Después del análisis de la energía de rendimiento para este tipo de batería de tecnología de plomo-acido, el resultado indica que el parámetro óptimo de diseño es operar a un 30% de descarga profunda, el cual puede programar en el controlador o regulador de carga y también se usa en el proceso de dimensionamiento en la Ecuación 4. De esta manera, se garantiza que se podrá aprovechar al máximo la capacidad de almacenamiento de la batería en términos de energía.

Modelo de rendimiento de energía: En este modelo, se asume que una cantidad de energía constante se puede obtener de la batería en función de los ciclos de profundidad, es decir, si se mantiene un DOD igual durante todo el periodo de operación de la batería, se puede calcular la cantidad energía que puede drenada de la batería antes de que esta sea reemplazada. Esta cantidad de energía se puede calcular a partir de la curva de DOD vs. ciclos, la cual se puede obtener de la hoja de datos que proporciona el fabricante.

A continuación, se describe el proceso para determinar la energía de rendimiento (E_T) que puede proveer la batería, a partir de la curva de ciclos de falla. En la Ecuación 11, se describe el cálculo de E_T .

$$E_T = E[(B \cdot DOD_{avg})C_f] \quad (11)$$

Donde, $E[\cdot]$ es el operador de valor esperado, B denota la capacidad de la batería en kWh, C_f es la curva de ciclos de falla, que proporciona el fabricante y DOD_{avg} es el parámetro de descarga profunda promedio, la cual se calcula como indica la siguiente ecuación.

$$DOD_{avg} = \frac{\sum_i DOD_i}{i}$$

Donde DOD_i es la descarga profunda alcanzada en el i -ésimo día de operación.

Finalmente, se calcula el parámetro de descarga profunda óptimo (DOD^*) que permita maximizar la curva de rendimiento E_T , i.e,

$$DOD^* = \arg \max(E_T) \quad (12)$$

4.5. Metodología y Distribución de Responsabilidades

En este proyecto se propone el desarrollo de una estrategia de energización sostenible basada en generación fotovoltaica. Como se mencionó en la descripción de la alternativa (sección 4.1.), el propósito del proyecto se pretende alcanzar por medio del desarrollo de 3 objetivos evidenciados por la elaboración de 7 productos, organizados así:

Tabla 26. Relación entre Objetivos Específicos y Productos.

Objetivos Específicos	Productos
1. Implementar un sistema de energía solar fotovoltaico que satisfaga los requerimientos de oferta y demanda de todas las viviendas de la comunidad beneficiada.	a. Informe de compra de materiales con soporte multimedia. b. Informe de instalación del sistema de energización y acta de entrega con soporte multimedia de pruebas de funcionamiento.
2. Capacitar a los miembros de la comunidad beneficiada sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento preventivo del sistema de energía fotovoltaica instalado.	a. Guía de operación y manuales de funcionamiento del sistema fotovoltaico. b. Listas de asistentes y registro fotográfico de las jornadas de práctica y capacitación.
3. Lograr un esquema de sostenibilidad ambiental y administrativo que involucre a los beneficiarios como participantes activos que procure por la durabilidad de la estrategia de energización implementada.	a. Documento de análisis de la normativa y fijación del precio y/o tarifas generadas para la prestación del servicio. b. Documento del modelo organizacional y de operación sostenible con metodologías participativas que involucren a la comunidad de beneficiarios para realizar el préstamo del servicio de energía. c. Documento con la evaluación del impacto ambiental y plan de manejo ambiental.

Fuente: Esta Investigación.

En este orden de ideas, a continuación se describe la metodología para desarrollar cada objetivo y sus productos.

El primer objetivo consiste en implementar un sistema de energía solar fotovoltaico que satisfaga los requerimientos de oferta y demanda de todas las viviendas de la comunidad beneficiada. En primera instancia, para dar inicio al proyecto se realizará una socialización del mismo a la comunidad beneficiada, informando con mayor detalle el proceso de ejecución del proyecto, dando a conocer los beneficios, ventajas, responsabilidades y limitaciones de un sistema de energización, motivando el acompañamiento de la comunidad y sus líderes en el desarrollo de esta iniciativa. Posteriormente se debe realizar la compra de materiales y equipos que conforman el sistema de fotovoltaico y la red de distribución. La compra de materiales se realizará con la previa petición de cotizaciones en diferentes distribuidores nacionales teniendo en cuenta factores tales como: precio, soporte, capacitación en el manejo de equipos, garantía, disponibilidad y tiempos de entrega. Es muy importante que el proveedor seleccionado cumpla con los tiempos de entrega para no comprometer el cronograma del proyecto.

Después de adquirir los materiales se realizará la operación de logística de almacenamiento que consiste en recibir, hacer inventario y almacenar los materiales en donde se disponga de espacio para hacerlo. Posteriormente se debe programar una capacitación en el manejo e instalación de equipos por parte de los proveedores dirigida al grupo de instalación que implementarán el sistema de energización en la zona objetivo.

Posteriormente se realizará el transporte y entrega de materiales y equipos a la comunidad beneficiada en la zona de estudio. Es importante que la comunidad disponga previamente un sitio y tome las medidas de seguridad necesarias para almacenar los elementos entregados hasta que el periodo de instalación de inicio.

Finalmente, se da inicio al proceso de instalación del sistema fotovoltaico y de la red de distribución. Inicialmente, se debe identificar las posibles zonas donde instalarán los paneles solares considerando la ubicación de las cargas, después se procede fijar la estructura y los paneles en los puntos seleccionados. Posteriormente se inicia con la instalación de los elementos auxiliares del sistema fotovoltaico como son las baterías, controladores, inversores y protecciones. Después, se realiza el cableado y el tendido de la red de distribución desde los paneles hacia el controlador, baterías e inversor y hacia el cuadro de cargas. Finalmente, se realizan pruebas de funcionamiento y ajustes finales en los casos que así lo requieran.

El segundo objetivo consiste en capacitar a los miembros de la comunidad beneficiada sobre el funcionamiento, operación y mantenimiento preventivo del sistema de energía fotovoltaica instalado. Para desarrollar este objetivo inicialmente se elaborará un guía didáctica de operación y mantenimiento de un sistema fotovoltaico por parte de un diseñador gráfico asesorado por los Ingenieros Eléctrico y Electrónico. Con ayuda de la guía se realizará una jornada de capacitaciones dirigidas a la comunidad beneficiada abordando temáticas tales como: definición y funcionamiento de los elementos que conforman el sistema, funcionamiento y puesta en marcha de un sistema fotovoltaico, límites de potencia del sistema, autonomía de funcionamiento,

precauciones del manejo de sistemas fotovoltaicos, corrección de posibles fallos, tareas de mantenimiento preventivo, etc.

Finalmente, se realizará una jornada práctica de operación del sistema en la cual la comunidad beneficiada deberá realizar tareas de puesta en marcha y operación del sistema fotovoltaico instalado con la supervisión de los Ingenieros Eléctrico y Electrónico.

El tercer objetivo consiste en lograr un esquema de sostenibilidad ambiental y administrativo que involucre a los beneficiarios como participantes activos que procure por la durabilidad de la estrategia de energización implementada. El desarrollo de este objetivo comprende dos procesos diferentes que se pueden trabajar de manera independiente: i) lograr un esquema de sostenibilidad socioeconómico, y ii) lograr una guía ambiental de desarrollo del proyecto.

En el desarrollo del primer proceso se requiere analizar la demanda, oferta y precio del servicio de energía desde el punto de vista socioeconómico. Respecto a la demanda del servicio de energía en la vereda El Sande se debe realizar el diseño y la aplicación de encuestas a las 54 viviendas identificadas que permitan determinar las características de cada hogar a nivel social, económico y de uso energético. Seguido de esa actividad se debe realizar una planificación del trabajo de campo, en la cual se precise los cronogramas de trabajo, la logística y las capacitaciones correspondientes a los encuestadores. Las encuestas brindarán información primaria sobre la composición de cada hogar en las viviendas, variables como: edad, niveles de educación, ocupación, nivel de ingresos, uso de la vivienda, hábitos, costumbres, usos de la energía e intenciones de nuevos usos de la energía evidenciando un escenario con proyecto, entre otras variables que permitirán caracterizar quiénes son los beneficiarios reales y potenciales del proyecto.

Partiendo de la caracterización anterior, se identificará la voluntad de los beneficiarios del proyecto sobre el pago por el servicio de energía, aspecto que permitirá evidenciar si existe o no un riesgo financiero, ya que indica el nivel de prioridad que la satisfacción de esa necesidad tiene para la población. La capacidad de pago que tengan los usuarios va a indicar la disponibilidad de recursos financieros que la familia puede tener para cubrir el pago del servicio de energía, aspecto que puede resultar del ahorro logrado al sustituir otros satisfactores, o de mejoras en el nivel de ingresos de la familia debido a la ejecución del proyecto. Adicionalmente, el documento de análisis debe complementarse con la recopilación y el estudio de la información primaria y secundaria que otorguen las autoridades locales del territorio, comprendiendo las dinámicas de crecimiento de la población y de migración, y demás características que posibiliten estudiar la demanda del servicio con todos sus componentes.

Para analizar la oferta del servicio se realizarán visitas en terreno con expertos en energía solar y fotovoltaica con el fin de obtener una valoración descriptiva sobre las oportunidades y capacidades existentes en el territorio para generar un sistema de energía. Posteriormente se realizarán las pruebas técnicas recomendadas por los expertos para precisar el potencial de generación de energía, fruto de la irradiación solar y la capacidad de los equipos que se pueden instalar en la vereda. Para analizar cuál será el precio o la tarifa que los usuarios paguen por el

servicio, se deberá realizar un documento en el cual se considere la normativa actual para la fijación del precio del servicio de energía en zonas rurales, conjuntamente con las posibilidades de que pueda existir un subsidio en la tarifa. En el análisis se incluirá la capacidad de pago identificada en el estudio de demanda, para determinar la posibilidades reales que tienen los usuarios para costear el servicio con ingresos propios. El precio debe caracterizarse dependiendo del uso que se le dé a la vivienda: residencial, comercial o institucional. Con el cálculo de un precio o tarifa pertinente se procede a realizar el punto de equilibrio de la operación y funcionamiento del proyecto, lo cual posteriormente será un insumo importante para tener en cuenta en la evaluación financiera de la iniciativa. Una vez concluido el documento se realizará un taller de socialización con los actores involucrados en el proyecto, cuyo fin será ajustar la información y elaborar una lluvia de ideas para ir esbozando los mecanismos de cobro y periodicidad para la recolección de la tarifa pagada por el usuario.

Para desarrollar las actividades relacionadas con la evaluación del impacto ambiental, primero, se debe realizar una caracterización del área del proyecto por medio de registros fotográficos, toma de información de fuentes primarias y secundarias. Segundo, se recopila información sobre los equipos a instalar y la zona donde se instalaran los mismos, para determinar la afectación de los recursos o el impacto que puede tener la zona. En esta actividad se realizará un cruce de matrices de recursos naturales afectados y se cuantificara el impacto. Finalmente se elaborará un plan de manejo de ambiental, social, físico-abiótico según la situación lo requiera.

4.6. Indicadores de Objetivo General, de Producto y de Gestión

Tabla 27. Indicador del Objetivo General.

Indicador	Meta	Unidad de Medida
Beneficiarios del proyecto de energización en la vereda El Sande en el Municipio de Santacruz	364	Habitantes
Capacidad de potencia instalada en la vereda El Sande en el Municipio de Santacruz	40,5	Kilovatios
Mejoramiento en el número de horas del servicio de energía eléctrica	24	Horas

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 28. Indicadores de Productos, Objetivo Específico 1.

Producto	Indicador	Unidad	Fórmula	Meta	Año
Informe de compra de materiales con soporte multimedia.	Equipos adquiridos y puestos en servicio para	Número		1	2016

	generación de energía				
	Empleados Capacitados	Número		1	2016
	Gestores del conocimiento y la innovación capacitados	Número		1	2016
Informe de instalación del sistema de energización y acta de entrega con soporte multimedia de pruebas de funcionamiento.	Capacidad o Potencia Total Anual Instalada en ZNI	Número		1	2016
	Equipos adquiridos y puestos en servicio para generación de energía generación y consumo.	Número		1	2016
	Nueva Capacidad de Generación Instalada en ZNI	Numero		1	2016
	Nuevos Usuarios con servicio de energía eléctrica en las ZNI	Número		1	2016
	Porcentaje de Ampliación de la capacidad de almacenamiento	Número		1	2016
	Porcentaje de Incremento en la cobertura del servicio de energía eléctrica de las ZNI	Número		1	2016
	Redes de Distribución y/o líneas de interconexión veredal construidas en las ZNI	Número		1	2016

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 29. Indicadores de Productos, Objetivo Específico 2.

Producto	Indicador	Unidad	Fórmula	Meta	Año
Guía de operación y manuales de funcionamiento del sistema fotovoltaico.	Material de capacitación elaborado	Número	DE	1	2016
	Comunidades Capacitadas	Número	DE	1	2016
Listas de asistentes y registro fotográfico de las jornadas de práctica y capacitación.	Comunidades Capacitadas	Número	DE	1	2016

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 30. Indicadores de Productos, Objetivo Específico 3.

Producto	Indicador	Unidad	Formula	Meta	Año
Documento de análisis de la normativa y fijación del precio y/o tarifas generadas para la prestación del servicio.	Documentos sectoriales elaborados	Número	DE	1	2016
Documento del modelo organizacional y de operación sostenible con metodologías participativas que involucren a la comunidad de beneficiarios para realizar el préstamo del servicio de energía.	Documentos sectoriales elaborados	Número	DE	1	2016
Documento con la evaluación del impacto ambiental y plan de manejo ambiental.	Documentos sectoriales elaborados	Número	DE	1	2016

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 31. Indicadores de Gestión.

Indicador	Unidad	Fórmula	Meta	Año
Porcentaje de Personal Calificado Contratado	Porcentaje	$Pcc = \frac{Pcct}{Pctc} * 100$	100	2016
Producción de Energía Eléctrica	Número		1	2016
Informes Técnicos y Financieros de Ejecución Presentados	Número		1	2016
Equipos de Hardware Adquiridos	Número		1	2016
Equipos e Insumos Adquiridos	Número		1	2016

Fuente: Esta Investigación.

4.7. Fuentes de Verificación y Supuestos

Tabla 32. Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo 1.

Cod. Act.	Actividad	Fuente de Verificación	Supuestos
A1-1	Apertura y socialización del proyecto a la comunidad beneficiada por parte de los ejecutores.	- Listas de asistencias - Registro Fotográfico	- La comunidad muestra interés y participa activamente en el desarrollo de la actividad
A1-2	Compra de materiales y equipos que conforman el sistema de fotovoltaico y la red de distribución, operación logística de almacenamiento y capacitación sobre el manejo e instalación de los materiales adquiridos.	- Facturas de Pago - Registro fotográfico	- El proveedor no tiene contratiempos en la entrega de equipos.
A1-3	Transporte y entrega de equipos y materiales que conforman el sistema de energización a la comunidad beneficiada, y operación logística de almacenamiento en la zona objetivo.	- Acta de recibido de elementos firmada por un representante de la comunidad. - Registro fotográfico	- No se dan problemas de orden público. - No se dan obstrucciones en las vías de acceso.
A1-4	Instalación del sistema de energización, realización de pruebas de funcionamiento y ajustes finales.	- Sistema de energización fotovoltaico instalado.	- Todos los elementos del sistema fotovoltaico operan correctamente y no presentan fallas de funcionamiento.

Tabla 33. Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo 2.

Cod. Act.	Actividad	Fuente de Verificación	Supuestos
A2-1	Elaboración de una guía de operación del sistema fotovoltaico y entrega de manuales de funcionamiento de los elementos que conforman el sistema de energización.	- Manuales de funcionamiento. - Guía de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico instalado.	
A2-2	Capacitación a la población beneficiada sobre el mantenimiento y operación del sistema fotovoltaico considerando aspectos de eficiencia energética y limitaciones del mismo.	- Listas de asistencia - Registro fotográfico	- La comunidad muestra interés y participa activamente en el desarrollo de la actividad
A2-3	Realización de una jornada práctica sobre la operación de un sistema fotovoltaico, mantenimiento y simulación de posibles fallos, dirigida a la comunidad de beneficiados como actores principales.	- Listas de asistencia - Registro fotográfico	- La comunidad muestra interés y participa activamente en el desarrollo de la actividad

Tabla 34. Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo 3.

Cod. Act.	Actividad	Fuente de Verificación	Supuestos
A3-1	Análisis de la normatividad respecto al préstamo del servicio de energía y fijación de precios considerando las políticas y condiciones de la región beneficiada.	Documentos elaborados	
A3-2	Elaboración de un modelo organizacional y de operación auto sostenible para realizar el préstamo del servicio de energía que involucre a la comunidad beneficiaria como actores principales.	Documentos Elaborados	
A3-3	Diagnóstico ambiental del área de influencia, identificación,	Documentos Elaborados	

	caracterización y valoración de impactos.		
A3-4	Elaboración de un plan de manejo ambiental.	Plan de manejo ambiental	

Tabla 35. Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo Específico 1.

Producto	Indicador	Fuente de Verificación	Supuestos
Informe de compra de materiales con soporte multimedia.	Cantidad de elementos de generación adquiridos Empleados Capacitados Gestores del conocimiento y la innovación capacitados	- Listas de asistencia - Registro fotográfico - Factura de Pago	
Informe de instalación del sistema de energización y acta de entrega con soporte multimedia de pruebas de funcionamiento.	Capacidad o Potencia Total Anual Instalada en ZNI Equipos adquiridos y puestos en servicio para generación de energía generación y consumo. Nueva Capacidad de Generación Instalada en ZNI Nuevos Usuarios con servicio de energía eléctrica en las ZNI Porcentaje de Ampliación de la capacidad de almacenamiento	- Acta de recibido de elementos firmada por un representante de la comunidad. - Registro fotográfico completo del sistema instalado. - Sistema de energización fotovoltaico instalado	- No se dan problemas de orden público. - No se dan obstrucciones en las vías de acceso. - Todos los elementos del sistema fotovoltaico operan correctamente y no presentan fallas de funcionamiento.

	Porcentaje de Incremento en la cobertura del servicio de energía eléctrica de las ZNI Redes de Distribución y/o líneas de interconexión veredal construidas en las ZNI		
--	--	--	--

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 36. Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo Específico 2.

Producto	Indicador	Fuente de Verificación	Supuestos
Guía de operación y manuales de funcionamiento del sistema fotovoltaico.	Material de capacitación elaborado	- Manuales de funcionamiento. - Guía de operación y mantenimiento del sistema fotovoltaico instalado.	
	Comunidades Capacitadas	- Listas de asistencia - Registro fotográfico	- La comunidad muestra interés y participa activamente en el desarrollo de la actividad
Listas de asistentes y registro fotográfico de las jornadas de práctica y capacitación.	Comunidades Capacitadas	- Listas de asistencia - Registro fotográfico	- La comunidad muestra interés y participa activamente en el desarrollo de la actividad

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 37. Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo Específico 3.

Producto	Indicador	Fuente de Verificación	Supuestos
Documento de análisis de la normativa y fijación del precio y/o tarifas	Documentos sectoriales elaborados	Documentos elaborados	

generadas para la prestación del servicio.			
Documento del modelo organizacional y de operación sostenible con metodologías participativas que involucren a la comunidad de beneficiarios para realizar el préstamo del servicio de energía.	Documentos sectoriales elaborados	Documentos elaborados	
Documento con la evaluación del impacto ambiental y plan de manejo ambiental.	Documentos sectoriales elaborados	Documentos elaborados	

Fuente: Esta Investigación.

4.8. Bienes y/o Servicios

Este proyecto tiene como finalidad contribuir al mejoramiento de la cobertura del servicio de energía eléctrica en la vereda El Sande en el municipio de Santacruz, de tal manera que se alcance un 100% de cobertura brindando el servicio de energía a las 54 viviendas de la zona. Esto se piensa lograr por medio de una estrategia de energización basada en energía solar la cual permitirá prestar un servicio de acuerdo a las necesidades de la región. En este sentido, el servicio de energía cuenta con las siguientes características:

Hora de cobertura: Según lo mencionado en la sección de 3.1.3 de Diagnóstico del Servicio, las horas de cobertura que debe tener el servicio de energía para la vereda El Sande, debe ser de 8 horas diarias para que puedan realizar sus actividades productivas, de acceso a la información y de ocio.

Capacidad Instalada por vivienda: Según lo mencionado en la sección de 3.1.3 de Diagnóstico del Servicio, la capacidad necesaria es de 1,500 kWh-día para una vivienda promedio de la vereda el Sande. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la demanda de energía en la región no permanece constante y tiende a crecer por la expansión de la región y conexión de nuevas cargas. En este sentido, es necesario proyectar el aumento de la demanda en el tiempo de acuerdo a un porcentaje de incremento anual.

Para la región de Abades y según el análisis de los registros históricos de demanda, el porcentaje de crecimiento es de 3% anual, es decir, si la demanda de energía actual es de 1.020, para los dos años siguientes serán: 1,545 y 1,591 kWh-día.

De esta manera, la proyección de demanda se hace para un periodo igual a los años de vida de un sistema de ESF, el cual es de 15 años aproximadamente. Tal valor de demanda proyectada, se toma como el requerimiento de energía actual que se utiliza para dimensionar el sistema de ESF en el año de instalación. De esta forma, el sistema se dimensiona para proveer una demanda de energía de 2,000 kWh-día, correspondientes a una potencia instalada de 750 W aproximadamente.

4.9. Beneficios e Ingresos

La valoración y cuantificación de los beneficios del proyecto se calculan de acuerdo al documento “Manual de Valoración y Cuantificación de Beneficios del Departamento Nacional de Planeación (2006)”, siendo los beneficios del proyecto derivados de las causas y efectos directos e indirectos en la identificación del problema.

De acuerdo con el problema planteado, los beneficios del proyecto son:

1. Beneficios por generación de un mayor número de mano de obra calificada.
2. Beneficios por generación de empleo con la implementación de un programa.
3. Beneficio por aumento en la eficiencia en la búsqueda y procesamiento de la información.

El resumen de la valoración de los beneficios del proyecto se presenta en la Tabla 19 y luego se describe la valoración de cada beneficio:

Tabla 38. Valoración de Beneficios.

Resumen de Valoración de Beneficios	
Ítem	Valor
a. Beneficios por generación de un mayor número de mano de obra calificada.	\$ 38.509.992,00
b. Beneficios por generación de empleo con la implementación de un programa.	\$ 177.145.946,00
c. Beneficio por aumento en la eficiencia en la búsqueda y procesamiento de la información.	\$ 10.942.499,96
TOTAL	\$ 226.598.437,96

Fuente: Esta Investigación.

a. Beneficios por generación de mano de obra calificada: se calcula con el ingreso promedio anual que devengaría un egresado más competente en el momento de ingresar al mercado laboral. Para

esto, se tiene en cuenta el número de estudiantes de especialización de último año que se tiene presupuestado en el proyecto, y que gracias a su ejecución, culminarían sus estudios.

El detalle de esta valoración se presenta en la Tabla 20, donde el beneficio total se calcula como el número de estudiantes multiplicado por su salario promedio anual.

Tabla 39. Beneficios por Generación de Mano de Obra Calificada⁵.

Generación de Mano de Obra Calificada				
Año 1				
Formación	Número	Salario mensual	Salario promedio	Beneficios
Pregrado	2	\$ 1.604.583,00	\$ 19.254.996,00	\$ 38.509.992,00
TOTAL				\$ 38.509.992,00

Fuente: Esta Investigación.

b. Beneficios por generación de empleo con la implementación del proyecto: se contratará mano de obra calificada a nivel de expertos, estudiantes de especialización. El beneficio se valora con el salario anual que se cotiza en el presupuesto de este proyecto en el año 2012, con base en la cantidad de salarios mínimos estipulados para cada una de las categorías.

El detalle de esta valoración se presenta en la Tabla 21, donde el beneficio total se calcula como el número de personas contratadas multiplicado por su salario y dedicación mensual.

Tabla 40 . Beneficios por generación de empleo con la implementación del proyecto

Generación de Empleo con la Ejecución del Proyecto		
Año 1		
Formación	Número de Personas	Beneficios
Estudiante de Pregrado	2	\$ 17.061.353,00
Técnico	2	\$ 16.057.744,00
Pregrado	6	\$ 59.867.940,00
Maestría	2	\$ 84.158.909,00
TOTAL		\$ 177.145.946,00

Fuente: Esta Investigación.

4.10. Horizonte del Proyecto

⁵ Información obtenida de las estadísticas del Observatorio Laboral del Ministerio de Educación Nacional. Enlace: <http://www.graduadoscolombia.edu.co/html/1732/article-195068.html>. (Consultados el 20 de Enero de 2014).

Este proyecto en su etapa de prefactibilidad tiene previsto una duración de 12 meses, como etapa de transición a factibilidad. En este periodo se piensa realizar los estudios necesarios (radiación y demanda) para elaborar un diseño de solución energética a nivel de ingeniería de requerimiento, basado en energía solar fotovoltaica.

Tabla 41. Horizonte del Proyecto.

Horizonte del Proyecto						
Etapas del proyecto de Prefactibilidad	Estudio del Recurso Solar	Estudio de la demanda de energía en la región	Pruebas con el sistema de ESF Piloto	Diseño del sistema de ESF para las viviendas de la región	Elaboración del documento del proyecto de Factibilidad	Elaboración del esquema de sostenibilidad socio-ambiental
Tiempo (meses)	3	3	3	1	2	3

Fuente: Esta Investigación.

4.11. Impactos Esperados

La instalación de un sistema de energización en la vereda El Sande traería consigo un mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, repercusiones positivas a los beneficiarios del servicio, tales como: mejoramiento de los niveles de subsistencia, aprovechamiento de la producción económica y fomento de las actividades de ocio. Estos se pueden listar como una serie de impactos positivos los cuales se listan a continuación.

- Impactos tecnológicos
 - Formación del recurso humano en nuevas tecnologías al poder acceder a dispositivos electrónicos (computador).
 - Mejoramiento de la oferta de servicios tecnológicos entre otros. Tras la instalación del sistema de energización se acerca a la comunidad a las nuevas tecnologías facilitando la instalación y uso de equipos de informática, de tal manera que se puedan proveer servicios de informática, de internet e impresión entre otros.
- Impactos sobre la productividad y competitividad
 - Empleo generado.
 - Mejoramiento de la productividad y la calidad.
 - Desarrollo tecnológico de proveedores.
- Impacto sobre el medio ambiente y la sociedad
 - Reducción en el consumo de combustibles fósiles.

- Reducción en el consumo de recursos naturales (leña).
- Reducción en la generación de emisiones por el uso de plantas eléctricas.
- Eliminación o reducción de riesgos para la salud humana.
- Aprovechamiento sostenible de nuevos recursos naturales.
- Mejoramiento de la calidad de vida.

Por otro lado, la implementación de un sistema de ESF en una comunidad trae consigo una serie de cambios que van más allá de la solución técnica al problema del servicio deficiente de energía. Estos cambios son sociales y culturales que deben perseguirse en la medida en que inciden en el desarrollo social de la comunidad. Algunos de estos efectos son:

- La iluminación de espacios propende por la existencia colectiva y la comunicación. De esta manera, se potencia distintos ritmos de la vida cotidiana. Así como también, brinda mayor confianza y seguridad al ambiente de la comunidad.
- El acceso a los medios de comunicación como la radio, televisión y teléfono red, reducen las deficiencias de comunicación con el exterior y como tal el aislamiento social. La comunidad se siente parte de una comunidad más grande al identificarse con situaciones que se desarrollen en el país.
- La introducción y funcionamiento de un sistema de ESF puede generar autosuficiencia respecto a la situación energética, de tal manera que ellos sean artífices de su propio desarrollo posibilitando cierto grado de organización local y eliminando la dependencia del exterior.
- La descentralización puede cambiar el esquema tradicional de distribución de energía, donde todo parte de un sistema descentralizado.
- Incide en el entretenimiento permitiendo realizar actividades de ocio, fundamentalmente en el entretenimiento por medio de animación comunitaria y eventos musicales.

4.12. Efectos Ambientales

Mediante la evaluación ambiental se pretende identificar y calificar los impactos que podría generar la ejecución del proyecto. De tal manera que se pueda dar algunas pautas y elaborar un plan de manejo ambiental acorde con las necesidades y problemas presentados en el área, de tal forma que se minimice y se mitigue los impactos que podrían surgir en un futuro. A continuación se presenta el informe de impacto ambiental obtenido aplicando la metodología de la sección de 3.2.3.6 Criterios para la evaluación del impacto ambiental.

Tabla 42. Impactos ambientales negativos subestaciones.

Etapas (actividad)	Pcv	Fv	Acb	Dh	Dp	Es	Pr	Ap	Grs	Gra	Gea	Vd	Ac	Acv
--------------------	-----	----	-----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	----	----	-----

Operación		Construcción			Preparación del sitio	
Mantenimiento	Generación de energía	Instalación de paneles solares	Caseta para panel de control	Caseta para baterías	Desmonte y excavaciones	Área para paneles solares
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
3	3	3	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0



Cierre y/o abandono	Desmantelamiento de instalaciones y equipos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Adecuación de instalaciones	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 43. Magnitud del impacto.

Magnitud del impacto	
Alto	3
Medio	2
Bajo	1
No determinado	0

Fuente: Esta Investigación.

Tabla 44. Valoración Total de la magnitud de los impactos negativos.

ETAPA (ACTIVIDAD)		MICB	MICAB	MICS	Tipo de Impacto
Preparación del sitio	Área para paneles solares	ND	Bajo	ND	INL
	Desmonte y Excavaciones	ND	Bajo	ND	INL
Construcción	Caseta para baterías	ND	ND	ND	INL
	Caseta para Panel de Control	ND	ND	ND	INL

	Montura de paneles solares	ND	Medio	ND	INL
Operación	Generación de energía eléctrica	ND	Medio	ND	INL
	Mantenimiento	ND	Medio	ND	INL
Cierre y/o abandono	Desmantelamiento de instalaciones y equipos	ND	ND	ND	INL
	Adecuación de Instalaciones	ND	ND	ND	INL

Fuente: Esta Investigación.

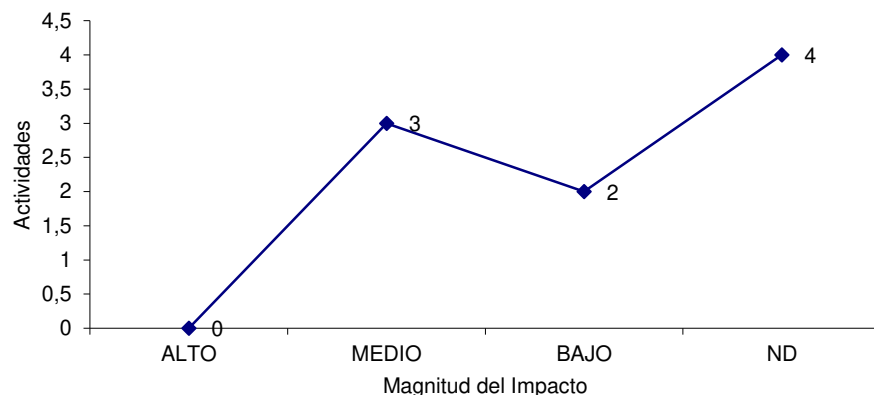
Tabla 45. Tabla de Definiciones.

Tabla de Definiciones.	
MICB: Magnitud del Impacto Componente Biótico	INCr: Impacto negativo critico
MICAB: Magnitud del Impacto Componente Abiótico	INL: Impacto negativo leve
MICS: Magnitud del Impacto Componente social	INF: Impacto negativo fuerte
ND: Impacto no determinado	

Fuente: Esta Investigación.

Con los resultados obtenidos en la Tabla 44 y haciendo una comparación del cuadro de valoración total de la magnitud de impactos negativos, se obtuvieron resultados como no determinados (ND), para los dos componentes Biótico y Social pudiéndose destacar únicamente en el componente Abiótico magnitudes con niveles bajos (Figura 149) que los paneles pueden generar molestias óptico-estéticas es decir una alteración al paisaje natural del área.

Figura 149. Relación de actividades y magnitud del impacto negativo sobre el componente



Abiótico.

Fuente: Esta investigación.

La incrustación de este tipo de tecnología en zonas predominantemente boscosas o carente de infraestructura pueden impactar negativamente a nivel paisajístico puesto que primeramente se despeja el área dejándola libre de todo tipo de obstáculo con el fin de tener una óptima recepción de los rayos solares. El tamaño del área despejada depende de las dimensiones y número de paneles a usar que en este caso no ocupara un área mayor a 4 metros cuadrados por instalación por tanto, las medidas de mitigación pueden ser puntuales resolviéndose a través de una integración de las instalaciones a su ambiente; las reflexiones molestas disminuyen si se elimina el espejado u opacando los elementos.

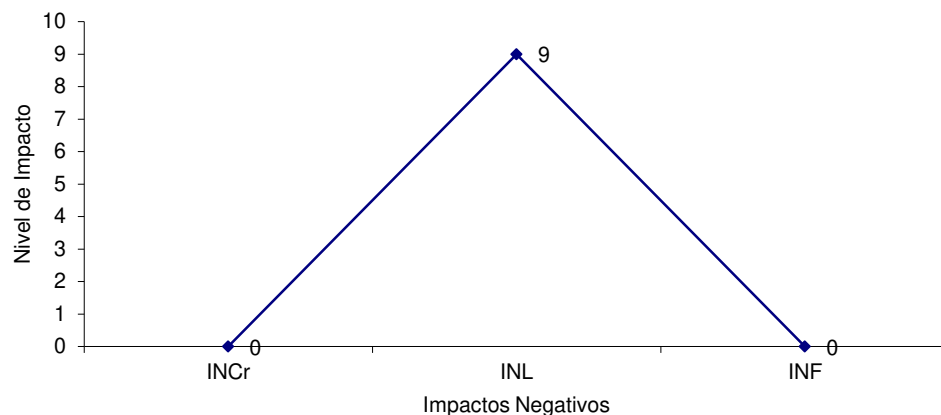
Otro de los puntos a matizar dentro del componente Biótico es cuando se aprovecha la energía solar no se genera contaminación directa por sustancias de los colectores o de las células fotovoltaicas, pero los sistemas colectores contienen a menudo sustancias para la transmisión térmica que pueden producir contaminaciones si acceden al medio ambiente, teniendo para la disposición tanto de este tipo de sustancias y demás materiales que cumplen su vida útil dentro del proyecto en lugares permitidos o avalados por las entidades ambientales pertinentes.

A pesar de que los impactos anteriormente mencionados no tienen una probabilidad alta de ocurrir, dada la magnitud del proyecto, fueron resaltadas y tenidas en cuenta con el único objetivo de ser contemplados para un futuro lejano del mismo.

Se identificó como una magnitud de impacto medio la alteración al paisaje, este proyecto contempla la implantación de paneles solares en áreas desprovistas de estructuras y con predominancia de espacios naturales de flora y fauna considerables es por ello que se deben tomar medidas paisajísticas ambientales para la incorporación de la infraestructura de electrificación al medio natural que deben ser ejecutadas a partir de la entrada y operación del proyecto correspondiente al sistema fotovoltaico, así como en las estructuras ya implementadas, para establecer un mejor ambiente y una mejor aceptación del medio natural con la infraestructura.

En la Figura 20 se aprecia la relación total de los impactos, que tiene como predominancia un nivel leve en impacto ambiental en la zona a desarrollar el proyecto e indudablemente se cabe mencionar que las consecuencias que la utilización de energía solar proporciona al ambiente no pueden ser otra cosa más que un beneficio para el mismo, primeramente debido a la disminución de las emisiones de gases contaminantes como el dióxido de carbono, dióxidos de azufre u óxidos de nitrógeno, consecuentemente el beneficio es en el agua pues al generarse una menor proporción de lluvias ácidas se deja de contaminar aguas y suelos, que al no estar contaminados, su flora y fauna respectiva se ve beneficiada, todo esto ayudando finalmente a nuestro planeta mismo.

Figura 20. Relación total de impactos negativos.



Fuente: Esta investigación.

4.13. Análisis de Riesgos

A partir de los supuestos mencionados en la subsección 4.8., se realiza un análisis de los riesgos que pueden ocurrir en el desarrollo del proyecto y se propone las medidas de mitigación necesarias.

Tabla 46. Análisis de Riesgos y Medidas de Mitigación.

Descripción del Riesgo	Probabilidad	Efectos	Impacto	Medida de Mitigación
Obstrucciones en las vías de acceso y problemas de orden público.	Poco probable	Retraso en las visitas programadas para la realización de actividades, tales como: socialización, aplicación de encuestas, instalación de equipos.	Alto	Programación de actividades con espacios para reprogramación.
Desinterés y falta de participación por parte de la comunidad en el desarrollo del proyecto.	Poco probable	Dificultad para realizar actividades a desarrollarse en la zona objetivo y retraso en las mismas, entre ellas tenemos: colaboración para que autoricen la instalación equipos en las viviendas de la zona, colaboración en el cuidado de los equipos	Moderado	- Reuniones para socializar los avances del proyecto. - Mantener un enlace de comunicación activa con la comunidad. - Asignación de

		instalados en la zona, colaboración en facilitar la información requerida de aspectos sociales y económicos de la zona, acompañamiento de los profesionales que lleguen a la zona.		responsabilidades a los beneficiarios.
Falta de disponibilidad de equipos de medición y material requerido en los almacenes a nivel nacional.	Probable	Retraso en las actividades de adquisición de material y las que son prerequisite de estas.	Bajo	- Cotización anticipada de elementos. - Búsqueda anticipada de equipos y material en el mercado internacional.

Fuente: Esta Investigación.

4.14. Análisis de Sostenibilidad

En este caso, el esquema de sostenibilidad del proyecto aportará en su estructuración, para el desarrollo de la Metodología General Ajustada (PE-02 Estudio de Mercado: Bienes y Servicios), teniendo en cuenta el consumo por usuario al año, el precio referencia de la tonelada de CO₂ y el consumo de combustible promedio al día.

A continuación se muestra un resumen de la reducción de gastos y beneficios ambientales que se podrían obtener tras la implementación del sistema de energización, en una etapa posterior, y que aportarían a la sostenibilidad del proyecto.

Tabla 47. Reducción de Gastos y Beneficios Ambientales.

Reducción de gastos y beneficios ambientales	
a. Disminución de gasto en combustibles fósiles al evitar el uso de plantas eléctricas	\$ 6.415.200.00
b. Ahorro de sustitutos pilas y velas	\$ 1.814.400
c. Ahorro en mitigación ambiental por reducción de emisiones de CO₂	6.469 Ton CO₂/Año

En seguida se muestra el cálculo de cada uno de los componentes asociados a la sostenibilidad.

a. Disminución de gasto en combustibles fósiles al evitar el uso de plantas eléctricas: El consumo de galones por día para una vivienda rural se puede dedicar a diferentes fines, en este caso, para el abastecimiento de plantas eléctricas con un consumo típico de 0.11Gal/día (en Colombia). Siendo únicamente 30% de las viviendas las que hacen uso de algún tipo de combustible. Teniendo en cuenta lo anterior el cálculo de gasto en combustibles se realiza así:

$$\text{Volumen_Combustible_Año} = 12[\text{meses}] \times 30[\text{días}] \times 0.3[\%] \times \text{Viviendas} \times 0.11[\text{Gal/día}]$$

$$\text{Volumen_Combustible_Año} = 641 \text{ Galones/Año}$$

$$\text{Ahorro_Combustible_Año} = \text{Volumen_Combustible_Año} \times \text{Precio_Combustible}^*$$

$$\text{Ahorro_Combustible_Año} = \$ 6.415.200.00$$

*Considerando que la zona de estudio, la vereda El Sande, se compone de 54 vivienda. Y por otro lado, el precio del galón más el costo del transporte es de \$10.000.00.

b. Ahorro de sustitutos pilas y velas: Para este cálculo se parte del consumo de aproximadamente una pila o vela mensual por usuario (\$1400 al mes), en el caso una vivienda de 2 habitaciones y por 12 meses, de esta manera, el consumo en ahorro por consumo de pilas y velas sería:

$$\text{Ahorro_pilas_velas} = \text{Viviendas} \times 1400[\$/\text{mes}] \times 2[\text{habitaciones}] \times 12[\text{meses}]$$

$$\text{Ahorro_pilas_velas} = \$ 1.814.400$$

c. Ahorro en mitigación ambiental por reducción de emisiones de CO₂: La quema de cada galón de combustible produce 10,084 kg de CO₂. De esta forma, las emisiones de CO₂ se calculan así:

$$\text{Emisiones_CO}_2_\text{año} = 10,084[\text{kg}] \times 641[\text{gal/año}]$$

$$\text{Emisiones_CO}_2_\text{año} = 6469 \text{ Ton CO}_2_\text{Año}$$

Otro tema de importancia acerca de la sostenibilidad es desarrollar proyectos productivos que se puedan apoyar a partir del proyecto de energización propuesto en este documento. En este sentido, como fase previa al estudio de factibilidad, se han identificado actividades productivas que se podrían desarrollar en la región de El Sande, de forma complementaria, se describe un tipo de modelo empresarial que se puede aplicar para realizar el préstamo del servicio de energía en la región.

En el municipio de Santacruz y en la vereda de El Sande las principales actividades económicas del municipio se ubican principalmente en el sector primario, destacándose la agricultura, acuicultura y la ganadería. Los derivados de estas actividades se destinan principalmente para el autoconsumo de los hogares, y solamente un bajo porcentaje se destina a la comercialización [1]. Sin embargo,

varias de estas actividades se pueden fortalecer con la mejora de los equipos técnicos para sacar mayor provecho de ellas. De este forma, se puede fortalecer el nivel de equipamiento de tal manera que se incremente la productividad y los beneficios económicos.

A continuación se presentan algunas actividades productivas que se identificaron en la vereda El Sande y que pueden ser mejoradas mediante el apoyo tecnológico basado en energía solar:

- Cadena de frio para el almacenamiento de los derivados de la ganadería y acuicultura.
- Mejoramiento de servicios tales como el de telefonía celular y de internet aumentando las horas del préstamo del servicio.
- Mejoramiento del servicio en negocios locales tales como: restaurantes, cafeterías, sitios de ocio y recreación aumentando la capacidad y horas del servicio de energía.

La cadena de frio se puede implementar haciendo uso de congeladores o neveras solares, los cuales presentan grandes ventajas de eficiencia energética respecto a los convencionales, sin embargo, requieren de la instalación paneles solares y baterías para su funcionamiento. De esta manera, se puede hacer uso del sistema de ESF para energizar un refrigerador que permita almacenar los productos derivados de la acuicultura y ganadería. Por lo tanto, se puede mejorar la cantidad de oferta a los usuarios, y adicionalmente se garantiza que el producto de consumo se mantiene dentro del intervalo de temperatura adecuando durante las etapas de producción, almacenamiento, transporte y venta.

Estos equipos tienen un costo aproximado de 6, 9 y 11 millones para un tamaño de 50, 166 y 260 litros, respectivamente. Incluyendo el conjunto panel y baterías para un funcionamiento de 24 horas.

Por otro lado, se puede mejorar el servicio de telefonía y de internet que se presta en la vereda El Sande. En este sentido, el sistema de ESF permitiría mejorar la oferta de servicios tecnológicos permitiendo a la comunidad aumentar la conexión de dispositivos electrónicos y por un periodo de tiempo mayor. El apoyo a los servicios de comunicaciones supone un impacto sobre la competitividad y la productividad al permitir el fácil acceso de este tipo de servicios.

Adicionalmente, se puede mejorar el servicio de otros negocios locales establecidos en la vereda, entre los cuales están: restaurantes, cafeterías, bares y sitios de ocio y recreación en general. El apoyo que se le puede brindar a estos negocios consiste en la ampliación de la capacidad y horas del servicio de energía suponiendo un mejoramiento en la productividad del empresario y un aumento en la calidad de vida de la población en general.

Respecto al préstamo del servicio de energía para la comunidad, se tiene que buscar un modelo organizacional que permita una administración del servicio, el cual permita obtener ingresos para sustentar los costos de mantenimiento y de la inversión de los equipos eléctricos en servicio. Adicionalmente, el modelo organizacional para prestar el servicio debe ser acorde con las políticas establecidas y que rigen la vereda El Sande.

En este sentido, una de las alternativas consiste en las asociaciones mutuales, las cuales son organizaciones privadas y sin ánimo de lucro que están constituidas para fomentar la ayuda

recíproca entre sus miembros, satisfaciendo sus necesidades mediante la prestación de servicios que contribuyan al mejoramiento de su calidad de vida [28]. Una asociación mutual se rige por el decreto 1480 de 1989, la ley 454 de 1998 y demás normas aplicables a su condición de empresa privada. A continuación se listan algunas de las características principales de una asociación mutual para dar una descripción detallada.

- Funcionar de conformidad con los principios de autonomía, adhesión voluntaria, participación democrática, neutralidad política, religiosa, ideológica y racial, solidaridad, ayuda mutua e integración.
- Establecer contribuciones económicas a sus asociados para la prestación de los servicios.
- El patrimonio y número de asociados es variable e ilimitado.
- Realizar permanentemente actividades de educación mutual.
- Garantizar la igualdad de derechos y obligaciones de los asociados.
- Establecer la no devolución de las contribuciones de los asociados y la irrepartibilidad del remanente patrimonial en caso de liquidación.
- Tienen una duración indefinida en los estatutos.
- Promover la participación e integración con otras entidades que tengan como fin motivar el desarrollo integral del hombre.

La constitución de una asociación mutual consiste en 5 etapas que se describen a continuación: cumplimiento de requisitos, procedimiento, registro ante cámara de comercio, control de legalidad y solicitud ante la DIAN.

Cumplimiento de requisitos:

- Contar con un mínimo de veinticinco personas para la constitución de la asociación mutual.
- Nombrar un comité organizador.
- Definir el valor de afiliación, la cuota de sostenimiento y el nombre de la asociación mutual.
- Elaborar los estatutos, el acta de la asamblea y definir las contribuciones.
- Tomar el curso básico mutual mínimo de diez horas, para obtener la certificación de una organización acreditada. Podemos encontrar información sobre éstas en el portal Web de organizacionesolidariassolidarias.gov.co , en el link de trámites - acreditación – listado de acreditadas.

Procedimiento:

- Nombrar el presidente y secretario de la asamblea.
- Realizar la asamblea y en ella se eligen los miembros de junta directiva, revisor fiscal, junta de control social y el gerente.
- Aprobar los estatutos.
- Elaborar el acta de constitución, con la firma del presidente y secretario de la asamblea y de todos los asociados fundadores.

Registro ante Cámara de Comercio: para obtener el registro de Empresa Sin Ánimo de Lucro, ESAL y registrar la asociación mutual ante la Cámara de Comercio, es necesario tener los siguientes documentos:

- Actas de la asamblea de constitución, aportes y aceptación de cargos suscritos por presidente y secretario de la asamblea y de todos los que conforman la asociación mutual.
- Copia de los estatutos, firmados por los asociados, el presidente y secretario de la asamblea.
- Diligenciar el formulario del Registro Único Empresarial, de la Cámara de Comercio.
- Diligenciar el formulario adicional de registro con otras entidades.
- Diligenciar el formulario pre-Rut que se puede encontrar en la página de Internet de la DIAN o reclamarlo allí.

Control de legalidad: el control de legalidad se tramita para las asociaciones mutuales ante la Superintendencia de la Economía Solidaria, con los siguientes documentos:

- Petición firmada por el representante legal y presidente de la junta de control social en el formato de trámites.
- Original del acta de la asamblea de constitución y estatutos firmados por presidente y secretario de la asamblea.
- Certificado general del curso básico, de diez horas, dictado por una organización acreditada.
- Constancia de pago de los aportes iniciales, suscritos por los asociados fundadores.
- Certificado de antecedentes disciplinarios del revisor fiscal.
- Certificado de existencia y representación legal, expedido por la Cámara de Comercio.
- Certificación del representante Legal en la cual conste que el -revisor fiscal no es asociado.

Solicitud ante la DIAN: En la DIAN el representante legal debe solicitar el Registro Único Tributario RUT, al igual que la autorización de facturación. Para este trámite se debe llevar el certificado de existencia y representación legal expedido por la Cámara de Comercio.

4.15. Cronograma

	Obj. Específico	Cod. Actividad	Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14
1	Evaluar las posibilidades de generación de energía fotovoltaica a través de la caracterización del recurso solar respecto a intensidad y disponibilidad en la zona objetivo.	A1-1	Revisión de las características del recurso de energía solar en la zona objetivo, respecto a intensidad y horas de disponibilidad, en los registros históricos del atlas de radiación solar de Colombia.														
		A1-2	Adquisición, instalación y puesta en marcha de los equipos para realizar mediciones de radiación solar.														
		A1-3	Recopilación de los registros de medición y análisis para determinar el índice de radiación promedio y las horas de disponibilidad del recurso solar.														
2	Caracterizar la demanda de	A2-1	Recopilación de la información y análisis														

	energía eléctrica a corto y largo plazo en las viviendas de la región a partir de mediciones, encuestas y registros históricos de consumo.		para caracterizar el consumo de energía en las viviendas de la región objetivo.													
		A2-2	Análisis de los registros históricos de consumo de energía para realizar proyecciones a largo plazo en el municipio de Santacruz.													
		A2-3	Análisis de la demanda del servicio basado en las encuestas acerca de las prioridades de energización y sobre aspectos económicos y sociales.													
3	Lograr el diseño de un sistema de energía solar fotovoltaico que satisfaga los requerimientos	A3-1	Diseño de un sistema prototipo de energía solar fotovoltaico para una vivienda de la región objetivo, para realizar el análisis del sistema respecto a generación y consumo.													

de oferta y demanda del servicio de energía de forma viable y sostenible.																	
		A3-2	Adquisición e Instalación de los elementos que componen el sistema prototipo de energización en la vereda el Sande.														
		A3-3	Registro y análisis de datos de generación y consumo de energía del sistema prototipo que permita realizar un diseño más apropiado de acuerdo a las condiciones de la vereda El Sande.														
		A3-4	Análisis geográfico de la región objetivo para determinar la topología de la red de distribución de energía para las viviendas.														
		A3-5	Diseño detallado de la red de distribución de energía del sistema de energía solar fotovoltaico de														

			acuerdo a las condiciones de la zona objetivo.														
		A3-6	Dimensionamiento de los elementos del sistema de energía solar fotovoltaico (paneles, baterías, controlador de carga, e inversor de energía) de acuerdo a los datos de generación y demanda obtenidos del sistema prototipo en la vereda el Sande.														
		A3-7	Recopilación de la información de las demás actividades para organizarlas en el formato establecido.														
		A3-8	Estructuración y redacción del documento con los soportes técnicos y económicos requeridos.														
4	Lograr un esquema de sostenibilidad social y ambiental que involucre a los usuarios con la alternativa de	A4-1	Análisis la normativa para la fijación del precio del servicio de energía en zonas rurales.														

[illegible]

			organización social o empresarial para la ejecución y funcionamiento de la iniciativa.															
		A4-8	Diagnóstico ambiental del área de influencia															
		A4-9	Identificación, caracterización y valoración de impactos															
		A4-10	Elaboración de un plan de manejo ambiental															

4.16. Presupuesto

Se presenta como anexo digital en el archivo “Presupuesto_Santacruz.xlsx”

5. Bibliografía

- [1] Alcaldía Municipal de Santacruz. Plan de desarrollo municipal “Minga por Santacruz” 2012 – 2015, Municipio de Santacruz – Nariño.
- [2] UPME. Formulación de un plan de desarrollo para las fuentes no convencionales de energía en Colombia. 2011. [En línea]
http://www.upme.gov.co/Sigic/DocumentosF/Vol_1_Plan_Desarrollo.pdf
- [3] IPSE. *PLAN DE ENERGIZACIÓN 2006-2010 DEPARTAMENTO DE BOLIVAR*. 2010.
- [4] IPSE. *ENERGÍA SOCIAL PARA LA PROSPERIDAD*. [En línea]
http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-300444_archivo_pdf_ipse.pdf.
- [5] Subdirección de Planificación Energética. *ENERGIAS RENOVABLES EN LAS ZNI*. [En línea]
<http://www.minminas.gov.co/minminas/downloads/archivosEventos/9988.pdf>.
- [6] Administración Municipal. Esquema de ordenamiento Territorial del Municipio de Santacruz periodo 2008 - 2011.
- [7] Gobernación de Nariño. Plan de Desarrollo Departamental “Nariño Mejor” periodo 2012 - 2015.
- [8] Plan de Desarrollo Nacional “Prosperidad para todos” periodo 2010 - 2014.
- [9] IPSE. *PLAN DE ENERGIZACIÓN 2006-2010 DEPARTAMENTO DEL GUAVIARE*. 2010. [En línea]
http://www.ipse.gov.co/ipseactual2013/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=257&Itemid=201&lang=es.
- [10] IPSE. *PRESENTACIÓN CONSEJO COMUNAL Nº 263 SAN JOSE DEL GUAVIARE*. San José del Guaviare, 2010.
- [11] R. Guadiola, L.G. Pequer. *Diseño y Cálculo de una Instalación Fotovoltaica de 1,1MW*. Universitat Rovira i Virgili, España . 2008.
- [12] C.R. Prado. *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada*. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería. 2008.
- [13] SIAC. *Atlas de Radiación Solar de Colombia*. 2005. [En línea]
<https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=668&conID=1293>.

- [14] M. Paternina, L.C. Olmos, J.L. Izquierdo, R.A. Alvarez. *Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares*. 2012.
- [15] European Photovoltaic Industry Association (EPIA). *Dimensionado de una sistema fotovoltaico*.
- [16] S. Vazquez, S. Lukic, E. Galvan, L. Franquelo, J. Carrasco, Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications, IEEE Transactions on Industrial Electronics 57 (12) (2010) 3881 –3895, ISSN 0278-0046, doi: 10.1109/TIE.2010.2076414.
- [17] VICTRON ENERGY Fabricante de Baterías. [En Línea]
<http://www.victronenergy.com.es/>.
- [18] Trojan Fabricante de Baterías. [En Línea]
<http://www.trojanbatteryre.com/>.
- [19] EEMB Fabricante de Baterías. [En Línea]
<http://www.eemb.com/>.
- [20] Desulfatador. [En Línea]
<http://desulfatador.com/funcionamiento.html>.
- [21]. ERAECO. [En Línea]
<http://www.eraeco.es/index.php/informacion/faq/reguladores-de-carga>.
- [22] M.H. Rashid. *Electrónica de Potencia: Circuitos, Dispositivos y Aplicaciones*. Prentice Hall Hispanoamérica.
- [23] Cuba Solar. [En línea]
<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/energia22/html/articulo03.htm>.
- [24] L. Gaines, R. Cuenca, Cost of Lithium-Ion Batteries for Vehicles, Tech. Rep., Center for Transportation Research, Energy Systems Division., 2000.
- [25] T. Markel, K. Smith, A. Pesaran, Improving Petroleum Displacement Potential fo PHEV's Using Enhanced Charging Scenarios, in: EVS-24 International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium, 2009.
- [26] H. Bindner, T. Cronin, P. Lundsager, J. Manwell, U. Abdulwahid, I. Baring-Gould, I. *Lifetime Modeling of Lead Acid Batteries*.

[27] A. Millner, Modeling Lithium Ion battery degradation in electric vehicles, in: IEEE Conference on Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply (CITRES), 349–356, doi:10.1109/CITRES.2010.5619782, 2010.

[28] Unidad Especial de Organizaciones Solidarias. [En Línea]
<http://www.dansocial.gov.co/>

[29] A. Hoke, A. Brissette, D. Maksimovic, A. Pratt, K. Smith, Electric vehicle charge optimization including effects of lithium-ion battery degradation, in: IEEE Conference on Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), ISSN Pending, 1–8, doi:10.1109/VPPC.2011.6043046, 2011.

**Plan de Energización Rural Sostenible para el
Departamento de Nariño
(PERS-NARIÑO)**

Convenio Interinstitucional 110 de 2012

Universidad de Nariño

José Edmundo Calvache
RECTOR

Andrés Pantoja
COORDINADOR TÉCNICO PERS

Darío Fajardo
COORDINADOR ADMINISTRATIVO PERS

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)

Ángela Cadena
DIRECTORA GENERAL

Olga Leandra Rey
COORDINADORA TÉCNICA PERS

Brenda Roncancio
COORDINADORA ADMINISTRATIVA PERS

**USAID, Programa de Energías Limpias para
Colombia (CCEP)**

José Eddy Torres
DIRECTOR GENERAL
COORDINADOR TÉCNICO PERS

Catalina Álvarez
SUBDIRECTORA
COORDINADORA ADMINISTRATIVA PERS

**Instituto de Planificación y Promoción de
Soluciones Energéticas para las Zonas no
Interconectadas (IPSE)**

Carlos Neira
DIRECTOR

Jairo Quintero
COORDINADOR TÉCNICO PERS