



Universidad de Nariño

INGEN<sup>ERÍA</sup>  
ELECTRÓNICA



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

# ESTUDIO DEL DISEÑO E 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 PREFACTIBILIDAD:  
ESTUDIO DEL DISEÑO E 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:**

**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



Universidad de **Nariño**

**INGENIERÍA**  
ELECTRÓNICA



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

2014



Universidad de **Nariño**

**INGENIERÍA**  
ELECTRÓNICA



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

### 1. FICHA DEL PROYECTO

Título del proyecto:	Estudio del Diseño e 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:		
Entidad ejecutora:	Universidad de Nariño	
Otras instituciones participantes:	Resguardo indígena de El Sande	
Duración del proyecto (meses):	14	
Costo total del proyecto:	\$ 340.295.519,88	
Monto solicitado:	\$ 311.795.519,88	
Monto total de la contrapartida:	\$ 28.500.000,00	
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:



## 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 CO<sub>2</sub> 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.



Universidad de Nariño

**INGENIERÍA**  
ELECTRÓNICA



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

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/m<sup>2</sup> (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 CO<sub>2</sub> tal y como se muestra en Tabla 1.

**Tabla 1.** Beneficios Ambientales y Económicos.

Beneficio	Valor
Disminución de producción de CO <sub>2</sub> [Ton CO <sub>2</sub> ]*	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



Universidad de Nariño



*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 (7).

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

- 1) Estudio del recurso solar en la zona objetivo.
- 2) Estudio de la demanda de energía en las viviendas de la zona.
- 3) Dimensionamiento del sistema de ESF y red de distribución.
- 4) Guías de sostenibilidad en relación a los aspectos económico, social y ambiental.

En la primera y segunda etapa se realizará un seguimiento del recurso solar a través de mediciones. Como también, la recopilación de información y medidas sobre la demanda de energía para construir un perfil de consumo y proyectar la demanda ante el crecimiento demográfico y la posible conexión de nuevas cargas.

En la tercera etapa, se abordará el diseño del sistema de ESF considerando las condiciones de la región. Lo cual implica el dimensionamiento de paneles y baterías, el diseño de la red de distribución de baja potencia y la ubicación de los elementos. Por otro lado, como componente innovador, se propondrá un esquema de optimización basado en un algoritmo de control de carga y descarga para maximizar la vida útil de las baterías.

En el aspecto ambiental, se propone realizar un plan de reciclaje para las baterías y paneles evitando que se conviertan en residuos contaminantes al finalizar su ciclo de vida. Respecto al esquema de sostenibilidad, es necesario diseñar un plan de administración del servicio para que la comunidad pueda sustentar el funcionamiento del sistema.



Universidad de Nariño

**INGENIERÍA**  
ELECTRÓNICA



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

### 3. FORMULACION DE LA ALTERNATIVA

#### 3.1. Nombre de la Alternativa

Estudio del diseño e implementación de un sistema de energía solar fotovoltaico como alternativa sostenible de energización en la vereda El Sande del municipio de Santacruz.

#### 3.2. 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 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 (8).

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 4 productos u etapas:

- 1) estudio del recurso solar;
- 2) estudio de la demanda de energía en las viviendas de la zona;
- 3) dimensionamiento del sistema de ESF;
- 4) guías de sostenibilidad en relación a los aspectos económico y ambiental.

La primera etapa consiste en determinar el potencial de generación de energía eléctrica que tiene la zona a partir del recurso solar, para esto se realizaran mediciones en el sitio y además se analizaran los datos históricos registrados en el atlas de radiación solar de Colombia.

Respecto al estudio de la demanda, se hace necesario recopilar información a través de encuestas, a cerca del tipo de cargas y su tiempo de uso en las viviendas. De tal manera que se pueda construir un perfil de demanda representativo de la región. Además se debe realizar un análisis de proyección de la demanda considerando el crecimiento demográfico y la posible conexión de nuevas cargas.

En la tercera etapa, se realizará el dimensionamiento de los elementos que componen el sistema, entre ellos la cantidad de paneles solares, cantidad y tamaño de las baterías, potencia de los inversores y reguladores. Además, se efectuará el diseño de la red de distribución de baja potencia y la ubicación de los elementos de tal manera que se satisfaga la demanda propuesta y los requerimientos de potencia. Por otro lado, en este proyecto se propone un esquema de



optimización para maximizar la vida útil de la batería, ya que es uno de los elementos más costosos y sensibles a las acciones de carga y descarga.

En la cuarta 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. 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.

### **3.3. Objetivos**

#### **3.3.1. Objetivo General**

Diseñar una estrategia de energización sostenible basada en un sistema de generación fotovoltaico para la vereda El Sande del municipio de Santacruz.

#### **3.3.2. Objetivos Específicos**

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.
2. Caracterizar la demanda de energía eléctrica a corto y largo plazo en las viviendas de la región a partir de mediciones, encuestas y registros históricos de consumo.
3. Lograr el diseño de un sistema de energía solar fotovoltaico que satisfaga los requerimientos de oferta y demanda del servicio de energía de forma viable y sostenible.
4. Lograr un esquema de sostenibilidad social y ambiental que involucre a los usuarios con la alternativa de energía propuesta.

#### **3.3.3. 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.

#### 4. 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](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](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.

**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