

**Diseño de un Sistema Fotovoltaico para la atención de la demanda de energía eléctrica de
comunidades indígenas del Municipio de Teorama, Norte de Santander**

Hugo Chaparro Parra

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Especialización en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica

Bucaramanga

2019

**Diseño de un Sistema Fotovoltaico para la atención de la demanda de energía eléctrica de
comunidades indígenas del Municipio de Teorama, Norte de Santander**

Hugo Chaparro Parra

**Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Sistemas de Distribución de
Energía Eléctrica**

Director

Javier Enrique Solano Martínez

Phd. En Ingeniería Eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Especialización en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica

Bucaramanga

2019

Agradecimientos

A Dios por la vida, por la salud y por todas las bendiciones.

Al resguardo indígena Motilón Barí por preservar lo que es y será Ishtana, la tierra de su territorio y en especial la comunidad indígena Brubucanina, donde se desarrolla este grano de arena para mejorar su calidad de vida.

A la universidad, a los profesores por compartir su conocimiento durante el periodo académico, al ingeniero Javier Solano Martínez como director de este trabajo por su aporte a la calidad de vida de una comunidad Indígena.

Hugo Chaparro Parra

Dedicatoria

A mis padres, por su apoyo incondicional y por su confianza durante este reto tan importante en mi formación profesional y personal.

A Mi familia, por su comprensión, paciencia, por todo el tiempo que no estuve a su lado para compartir los momentos especiales.

Hugo Chaparro Parra

Contenido

	pág.
Introducción	15
1. Generalidades del Estudio	16
1.1 Planteamiento del Problema	16
1.2 Justificación	17
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo General	19
1.3.2 Objetivos Específicos	19
2. Marco de Referencia	19
2.1 Antecedentes Investigativos	20
2.2 Marco Teórico	23
2.2.1 Las energías renovables	23
2.2.2 El sistema fotovoltaico	24
Componentes del sistema fotovoltaico	25
Sistema fotovoltaico autónomo	26
2.3 Marco Conceptual	32
3. Caracterización Comunidad Barí, necesidades de suministro eléctrico	35

*DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ATENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGIA ELECTRICA
DE COMUNIDADES INDÍGENAS DEL MUNICIPIO DE TEORAMA, NORTE DE SANTANDER*

	8
3.1 Comunidad Brubucanina	36
3.2 Perfil de consumo	37
4. Diseño del sistema de generación fotovoltaica, utilizando un software de simulación PVSYST	38
4.1 Software PVSYST V6.84	38
4.1.1 Diseño del proyecto	39
4.1.2 Ubicación geográfica del proyecto	40
4.1.3 Meteonorm 7.1	41
4.1.4 Orientación del plano fotovoltaico	42
4.1.5 Propiedades del Sistema	43
4.1.6 Verificación de los parámetros ingresados	45
4.2 Resultados de la simulación	46
4.2.1 Parámetros de Simulación	46
4.2.2 Evaluación de los perfiles de carga	47
4.2.3 Perfil de carga de vivienda indígena	48
4.2.4 Resultados de la simulación	49
4.2.5 Producciones normalizadas por (kWp instalado)	50
4.2.6 Índice de Rendimiento (PR) y Fracción Solar (SF)	50

*DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ATENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGIA ELECTRICA
DE COMUNIDADES INDÍGENAS DEL MUNICIPIO DE TEORAMA, NORTE DE SANTANDER*

	9
4.2.7 Coeficientes de rendimiento normalizado	52
4.2.8 Diagrama de pérdidas durante todo el año	53
5. Costos económicos de la implementación del sistema	54
6. Conclusiones	59
Referencias Bibliográfica	61

*DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ATENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGIA ELECTRICA
DE COMUNIDADES INDÍGENAS DEL MUNICIPIO DE TEORAMA, NORTE DE SANTANDER*

10

Lista de Tablas

	pág.
Tabla 1. <i>Objetivos de la Ley 1715 de 2014</i>	33
Tabla 2. <i>Cargas de Electrodomésticos</i>	37
Tabla 3. <i>Resultados de la simulación, parámetros PVSYST V6.84</i>	47
Tabla 4. <i>Perfil de Carga de una vivienda de la comunidad Brubucanina</i>	48
Tabla 5. <i>Energía disponible</i>	49
Tabla 6. <i>Coeficientes de Rendimiento Normalizados</i>	52
Tabla 7. <i>Equipos para el sistema fotovoltaico de una vivienda indígena</i>	54
Tabla 8. <i>Equipo y Accesorio</i>	55
Tabla 9. <i>Costo de instalación y transporte</i>	58
Tabla 10. <i>Costos totales instalación sistema fotovoltaico comunidad indígena Brubucanina</i>	59

Lista de Figuras

	pág.
<i>Figura 1.</i> Sistema fotovoltaico autónomo	26
<i>Figura 2.</i> Ángulo óptimo de inclinación del panel	27
<i>Figura 3.</i> Mapa de la radiación solar en Colombia	28
<i>Figura 4.</i> Paneles solares	¡Error! Marcador no definido.
<i>Figura 5.</i> Batería	30
<i>Figura 6.</i> Municipios que comprende la comunidad indígena Barí	35
<i>Figura 7.</i> Ubicación geográfica de la comunidad Brubucanina	36
<i>Figura 8.</i> Interfaz del software PVSYST V6.84	39
<i>Figura 9.</i> Nuevo proyecto PVSYST V6.84	40
<i>Figura 10.</i> Parámetros Geográficos PVSYST V6.84	41
<i>Figura 11.</i> Parámetros de radiación solar durante el año	42
<i>Figura 12.</i> Parámetros de campo PVSYST V6.68.	43
<i>Figura 13.</i> Definición del sistema fotovoltaico Autónomo PVSYST V6.84	44
<i>Figura 14.</i> Interfaz, diseño de sistema PVSYST 6.84	46
<i>Figura 15.</i> Perfil del consumo por hora	49
<i>Figura 16.</i> Producciones Normalizadas Por (kWp Instalado): Potencia Nominal 1650Wp	50
<i>Figura 17.</i> Índice de Rendimiento (Pr) y Fracción Solar (Sf)	51
<i>Figura 18.</i> Diagrama de pérdidas de energía, obtenida vía simulación de desempeño del sistema con el software PVSYST V6.84	53
<i>Figura 19.</i> Costos de equipos y accesorios	56

*DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ATENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGIA ELECTRICA
DE COMUNIDADES INDÍGENAS DEL MUNICIPIO DE TEORAMA, NORTE DE SANTANDER*

12

Figura 20. Comparativo de costos según incentivo de la ley 1715 2014

57

Resumen

Título: DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ATENCIÓN DE LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE COMUNIDADES INDÍGENAS DEL MUNICIPIO DE TEORAMA, NORTE DE SANTANDER*

Autor: HUGO CHAPARRO PARRA**

Palabra Claves: Energía renovables, Zona no interconectada, Sistema fotovoltaico, comunidades indígenas, software PVSYST, costos económicos.

Descripción

El propósito de este trabajo es describir el diseño de un Sistema Fotovoltáico (PVS), para atender la demanda de Energía Eléctrica para ser enfocada en la reserva indígena identificada como Brubucanina, perteneciente a la comunidad motilón Bari, ubicada en Teorema, Norte de Santander Colombia. Este documento incluye informes de antecedentes de proyectos de investigación de otras comunidades indígenas con problemas similares, que evalúa el potencial energético disponible como una posible solución para sus necesidades eléctricas. Los resultados de este diseño son simulados por el software PVSYST, de la familia Bluesol, para el diseño de sistemas fotovoltaicos; Es una herramienta de simulación versátil, ya que permite diseñar y simular los diferentes escenarios fotovoltaicos, como los sistemas aislados y los conectados a la red eléctrica nacional.

Durante la simulación evaluamos las variables de entrada como: curva de demanda, ángulo de inclinación del panel solar y disponibilidad de energía solar del área, lo que permite seleccionar el equipo más óptimo para el sistema fotovoltaico para una vivienda de tipo comunitario. Indígena.

En el último capítulo hacemos una descripción de los costos económicos directos necesarios para su posible implementación en función del tipo de configuración del sistema, estos costos permanecen como información consultable e importante para la comunidad en el manejo de la adquisición de recursos económicos.

* Monografía

**Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Especialización en Sistema de Distribución de Energía Eléctrica. Director: Dr. Javier Enrique Solano Martínez

Summary

Title: DESIGN OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR THE ATTENTION OF THE DEMAND OF ELECTRICAL ENERGY OF INDIGENOUS COMMUNITIES OF THE MUNICIPALITY OF TEORAMA, NORTH OF SANTANDER*

Author: HUGO CHAPARRO PARRA**

Keyword: Renewable energy, Non-interconnected zone, Photovoltaic system, indigenous communities, PVSYST software

Description

The purpose of this paper is to describe the design of a Photovoltaic System (PVS), to attend the demand as a Electric Power need to be focused on the indigenous reservation identified as Brubucanina, belonging to the motilon Bari community, located in Teorama, Norte de Santander. Colombia. This paper includes background reports of research projects from others indigenous communities with similar problematics, which evaluates the energy potential available as a possible solution for their electrical needs. The results of this design are simulated by the PVSYST software, from the Bluesol family, for the design of photovoltaic systems; it is a versatile simulation tool since it allows to design and simulate the different photovoltaic scenarios such as isolated systems and those connected to the national electrical grid.

During the simulation we evaluated the input variables such as: demand curve, the angle of inclination of the solar panel and the availability of the solar power of the area, allowing to select the most optimal equipment for the photovoltaic system for a community-type housing indigenous.

In the last chapter we make a description of the direct economic costs necessary for its possible implementation based on the type of system configuration, these costs remain as consultable and important information for the community in the management of acquisition of economic resources

* Monograph

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. Specialization in Electricity Distribution System. Director: Dr. Javier Enrique Solano Martínez.

Introducción

Se aborda en este estudio de monografía una problemática de falta de suministro de energía de una comunidad indígena ubicada en Norte de Santander, reconociendo la importancia de la energía renovable como alternativa limpia y sostenible para zonas aisladas con características de reserva natural.

La iniciativa se integra dentro de los programas e incentivos que ofrece el Estado colombiano como propuesta para el desarrollo de proyectos con Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), como alternativa para zonas alejadas del Sistema Interconectado Nacional (SIN), donde a través de Planes de Energización Rural Sostenible (PERS) se identifican las necesidades y potencial de cada región, el estudio se desarrolla en la comunidad indígena Brubucanina perteneciente al resguardo motilón Bari asentado en la zona del Catatumbo, Norte de Santander, en este propósito se determina el perfil del consumo básico y prioritario para las necesidades eléctricas de la comunidad propia de un sector rural.

Con la ayuda del software PVSYST se simula la producción y comportamiento de las diferentes variables del sistema fotovoltaico, el software cuenta con una base de datos con valores de radiación para cada zona de la tierra, también permite introducir valores climatológicos o archivos TMY aportados por otras bases de datos.

Igualmente, se describen los costos económicos para la instalación y puesta en marcha del sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta que el mayor costo beneficio. Para la determinación del costo se tuvieron en cuenta los precios actuales del mercado de los materiales que el diseño requiere para suplir la carga de una vivienda de la comunidad indígena.

1. Generalidades del Estudio

1.1 Planteamiento del Problema

El acceso a la energía eléctrica es un factor esencial para el desarrollo de las comunidades (Valeret, 2016), pero hoy día, la producción de energía eléctrica depende en gran medida de los recursos fósiles y de la posibilidad de acceso a la red eléctrica (Rosso & Kafarov, 2015).

Una de las formas de obtención de energía eléctrica son los sistemas fotovoltaicos que generan electricidad de origen renovable obtenido de la radiación solar, mediante un dispositivo semiconductor denominada célula fotovoltaica, de fácil instalación y bajo costo, lo que permite su uso frecuente (Abella, 2016).

A pesar de la diversidad de fuentes de energía existentes, hay muchos municipios y comunidades que carecen del servicio de energía eléctrica o se les presta en muy malas condiciones, y este es el caso del municipio de Teorama, Norte de Santander, allí se encuentran asentadas siete (7) comunidades indígenas: Asacbarincaya, Brubucanina; Ocbabura, Suerera, Yera, Cocacdo y Shubabarina; su población estimada es de 619 personas, organizadas en casas comunes en donde habitan 3 a 4 familias; sus principales ocupaciones son la agricultura, pesca y ganadería; por su ubicación en zona de reserva natural no se encuentra interconectada a la red eléctrica nacional, por lo tanto, no cuenta con suministro eléctrico.

Según información de la Alcaldía de Teorama, los siete resguardos no cuentan con un punto de conexión de energía eléctrica, y solo algunas familias poseen los recursos económicos para

adquirir una planta eléctrica, la cual se enciende solo 3 a 4 horas diarias, debido a que el combustible requerido es muy costoso.

La falta de servicio de energía eléctrica incide negativamente en los resguardos indígenas, en la calidad de vida, dificultando el desarrollo de las actividades domésticas, educativos y productiva agropecuaria, lo que en conjunto contribuye a que las necesidades básicas insatisfechas (NBI), permanezcan sin solución.

1.2 Justificación

El desarrollo energético es una necesidad que no es coyuntural, sino que debe plantearse a corto y mediano plazo, en el cual es importante proponer e implementar las estrategias que, coordinadas desde el Estado, permitan el acceso a energías renovables, consecuentes con los principios de desarrollo sostenible y sustentable.

Los municipios para la prestación de los servicios públicos domiciliarios deben tener en cuenta la normatividad para la protección del medio ambiente y el mejoramiento de la calidad de vida de los ciudadanos, esto exige el diseño y la implementación de energías alternativas y sostenibles en cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible y principios de la Ley 1715 de 2014, sobre energías renovables.

La falta de suministro de energía eléctrica en los resguardos indígenas del municipio de Teorama, Norte de Santander, ha sido una carencia de vieja data, a la cual no se le ha dado solución, desde esta perspectiva problemática, este estudio quiere contribuir, con información

*DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ATENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGIA ELECTRICA
DE COMUNIDADES INDÍGENAS DEL MUNICIPIO DE TEORAMA, NORTE DE SANTANDER*

18

técnica y financiera sobre el diseño de un sistema de suministro eléctrico fotovoltaico para estas comunidades indígenas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General. Diseñar un sistema fotovoltaico para la atención de la demanda de energía eléctrica de las comunidades indígenas del Municipio de Teorama, Norte de Santander.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las necesidades de suministro eléctrico de las comunidades indígenas del Municipio de Teorama.
- Diseñar un sistema de generación fotovoltaica, utilizando el software de simulación PVYST ajustado a las necesidades de suministro eléctrico de la comunidad.
- Cuantificar económicamente los costos de la implementación del sistema fotovoltaico.

2. Marco de Referencia

2.1 Antecedentes Investigativos

Algunos trabajos investigativos sobre el tema de estudio son los siguientes:

“Análisis de los diferentes tipos de energías alternativas y su implementación en Colombia”, estudio propuesto por Beltrán (2016), cuyo objetivo es describir distintos tipos de energía renovables y a la luz de la ley 1715 de 2014, establecer nichos de oportunidad para su implementación. De manera descriptiva presenta las principales características ventajas y beneficios de las energías eólicas, solar o fotovoltaica, y geotérmica, los resultados reportan que la mejor alternativa es la energía eólica, pero para que esto sea viable es necesario que se concreten los incentivos y beneficios económicos que contempla la ley 1715 de 2014.

“Optimización de sistemas híbridos de energía para la electrificación rural de comunidades indígenas de México”, estudio realizado por Pérez, Martínez y Pérez (2010), el objetivo es investigar la gama de opciones de energías convencionales y renovables, utilizando herramientas de análisis y optimización para la generación y suministro de energía eléctrica a comunidades indígenas. A nivel metodológico se dimensionó y optimizó el sistema híbrido de energía, se evaluaron los componentes del sistema como paneles fotovoltaicos, generador eléctrico y

controlador e inversor de carga, igualmente los recursos energéticos disponibles y el patrón de consumo en la comunidad indígena. Los resultados reportan que el sistema híbrido más conveniente para atender la demanda es el fotovoltaico / eólico / baterías, tiene el menor costo de capital y coste de reposición de componentes, de otra parte, de herramienta de optimización Hoga, demostró ser la mejor para establecer por simulación el número de paneles fotovoltaicos, su tipo y número de baterías en paralelo a utilizar.

Una investigación titula “Propuesta de solución al suministro de energía eléctrica para la comunidad indígena U’wa en el departamento de Boyacá”, desarrollada por Núñez y Sarmiento (2019), tuvo como objetivos: caracterizar a la comunidad indígena U’wa del municipio de Cubará (Boyacá); identificar soluciones comerciales para la generación, almacenamiento y consumo de energía eléctrica en zona no intercomunicada, y proponer una solución energética a esta comunidad. Para la escogencia del mejor sistema de suministro se realizaron simulaciones utilizando el software HOMER PRO, el cual permite establecer los componentes del sistema, y evaluaron distintas combinaciones para un sistema a partir de aspectos técnicos, económicos y meteorológicos. Los resultados reportan que el suministro de energía eléctrica es factible pero costoso, y es solución viable, si se siguen las experiencias de otros proyectos desarrollados por la Electrificadora de Santander (ESSA); igualmente se concluye que la energía fotovoltaica no es viable, dado que la radiación solar no tiene la intensidad requerida.

Otro estudio aplicado en comunidades indígenas se denomina “Diseño, instalación, implementación y puesta en servicio de un sistema de energía alternativa fotovoltaico en la

comunidad indígena Wayuu en el departamento de la Guajira”; fue desarrollado por Forero, Vega y Barrero (2016), el objetivo es ofrecer una solución energética basada en paneles solares a 54 unidades habitacionales y a una escuela, en la ciudad de Riohacha, en zona rural no interconectada. El proyecto se implementará a través de la instalación de 299 paneles solares y 55 inversores que convertirán la energía captada de corriente continua a corriente alterna utilizada en electrodomésticos y bombillas en cada vivienda. Los resultados reportan la viabilidad del proyecto para el sistema fotovoltaico, suficiente radiación solar en la región y financiamiento por parte de la Gobernación de la Guajira.

Otra investigación reportada se titula “Perspectivas de los biocombustibles en Colombia”, propuesta por Delgado; Salgado y Pérez (2015), el objetivo es describir los inicios y el desarrollo de los biocombustibles en el país, la situación actual de la producción y las empresas y entidades que lideran este proyecto. En el análisis de este tema se evidencia la tendencia a utilizar menos los combustibles fósiles, con la premisa de que es necesario contar con una matriz energética sostenible que asegure el crecimiento de la industrial, el desarrollo social y la preservación del medio ambiente. Los resultados reportan que Colombia tiene disponibilidad de tierras, mano de obra y políticas internas de consumo y producción para el crecimiento del programa, pero también afronta dificultades internas como desigualdad social, conflictos, monopolios y trabas políticas que pueden impedir la inversión privada y extranjera.

2.2 Marco Teórico

2.2.1 Las energías renovables. Las fuentes de energía que mayoritariamente se utilizan en el mundo, son las no renovables y en su generación se producen impactos contaminantes. Por esta razón, las principales iniciativas ambientales concernientes al sector eléctrico se han centrado en dos ambientes, uno es el fomento de prácticas encaminadas a lograr mayor ahorro y eficiencia energética; y el otro ámbito es buscar la generación de energía mediante alternativas ecoeficientes, amigables con el medio ambiente (Jara, 2016).

El uso de energías provenientes de combustibles fósiles está estrechamente relacionado con el modelo económico y productivo dominante, actualmente un 75% de la energía que se utiliza procede el petróleo y el gas, cuya combustión produce grandes cantidades de contaminantes como CO₂, NO₂, NO, CO y gases sulfurosos, lo cual genera una amenaza de carácter ambiental: cambio climático, deterioro de la calidad del aire, lluvia acida y efecto invernadero por los gases producidos

En este orden de ideas las energías renovables son parte de la solución, por ser limpias y amigables con el medio ambiente, a continuación, se describe la energía solar como la energía renovable y se caracteriza porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento, no se consumen ni se agotan en el tiempo (Cicus, 2016).

- **Energía Solar.** La energía solar ofrece dos formas de producción de electricidad: térmica y fotovoltaica; la primera consiste en la concentración de radiación solar, con el fin de llevar un fluido a suficiente temperatura para accionar turbinas o motores térmicos que van acoplados a

generadores eléctricos. También se han desarrollado sistemas híbridos que combinan el uso de un combustible convencional, más el vapor proveniente de una fuente solar activa de alta temperatura, los cuales forman un ciclo combinado.

La energía solar fotovoltaica consiste en la conversión directa de la radiación solar en electricidad mediante sistemas fotovoltaicos (Pareja, 2014). Un sistema fotovoltaico está formado por las células solares, un acumulador, un regulador de carga y un sistema de adaptación de corriente, las células son fabricadas de silicio monocristalino, policristalino o amorfo; la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos oscila entre un 10% y 15%.

2.2.2 El sistema fotovoltaico. La energía fotovoltaica, es una forma de energía renovable que produce electricidad a partir de la radiación solar, mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica; también, mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominado célula solar de película fina (Aguilar, Aledo y Quiles, 2016).

Las células fotovoltaicas, utilizan semiconductores y son el componente básico del sistema fotovoltaico, las células solares conectadas forman un módulo fotovoltaico, y si un conjunto de estas se conecta en serie o paralelo se obtiene más corriente y potencia (Islam, et. Al, 2016); en los últimos tiempos, la energía fotovoltaica se ha consolidado como una energía ideal y eficiente, por su fácil instalación; mantenimiento y bajo costo (Abella, 2016).

Este tipo de energía puede ser la mejor opción a futuro, porque es el recurso más abundante de energía renovable. El sol emite cerca de 3.8×10^{23} kW; de los cuales 1.8×10^{14} kW llegan a la tierra (Kannan y Vakeesan, 2016); la energía solar llega en forma de luz y calor. Una parte de ella se pierde por dispersión, reflexión y absorción por las nubes (Lewis, 2007). Una razón de su conveniencia es que no tiene un impacto perjudicial en el medio ambiente y no afecta el equilibrio

de los ecosistemas, si se le compara con el impacto negativo que generan las energías de origen fósil. Los paneles solares pueden ser distribuidos y montados en cualquier superficie expuesta al sol, lo cual los hace ideales para su instalación en el medio urbano o rural (Gasparatos, et. Al, 2017).

Componentes del sistema fotovoltaico

- **Bloque de generación.** conformado por paneles fotovoltaicos, el número de estos y tipo de conexión depende de factores como cantidad de irradiación solar del lugar, la carga y la máxima potencia nominal de salida del panel (García, 2016).
- **Bloque de acumulación.** Es la parte del sistema que almacena y controla la carga y descarga del sistema (García, 2016), está conformado por los siguientes elementos:
 - Banco de baterías: son baterías de ciclo profundo, diseñados para soportar niveles de descarga profundos durante muchos ciclos de carga y descarga.
 - Regulador de carga: evita que las baterías se descarguen a través de los paneles, durante la noche, cuando el voltaje de salida es nulo.
 - Fusibles o llaves de protección: protegen las baterías, se incorporan como elemento de seguridad.
 - Medidor de carga: dispositivo que permite saber el estado de la carga.

- **Bloque de carga.** La función es suministrar la energía producida por los paneles solares a los equipos que requieren energía eléctrica (García, 2016), está conformado por:

- El inversor: su función es convertir la corriente continua proveniente de la batería o del panel, en corriente alterna para su aprovechamiento.

- Cableado: es lo más básico del sistema y su selección tiene un rol importante en la reducción de pérdidas de energía.

Sistema fotovoltaico autónomo

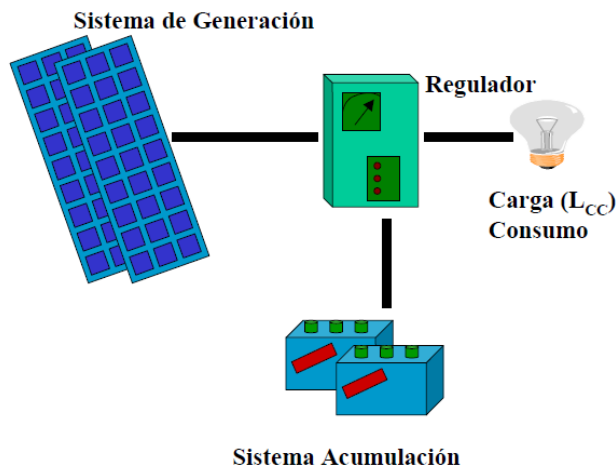


Figura 1. Sistema fotovoltaico autónomo. Pareja, M. (2014). Energía solar. Madrid: Marcombo.

Para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos aislados u autónomos, se consideran los siguientes factores: Estimación del consumo, ángulo óptimo de inclinación del panel, generador fotovoltaico, sistema de acumulación e inversor.

Estimación del consumo. Es necesario saber la carga que se quiere alimentar o estimar, se requiere determinar la potencia de los equipos eléctricos individualmente por el tiempo de uso para calcular la potencia instalada que nos permitirá estimar el inversor a utilizar y el cálculo de la energía requerida para estimación de los paneles y banco de baterías

Ángulo óptimo de inclinación del panel

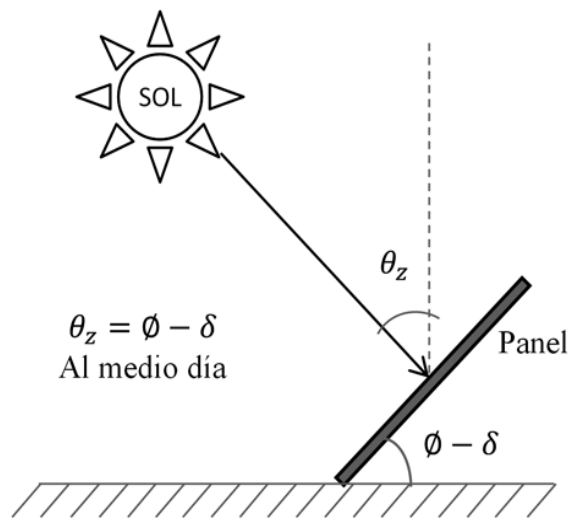


Figura 2. Ángulo óptimo de inclinación del panel. Pareja, M. (2014). Energía solar. Madrid: Marcombo.

La radiación solar incidente en una superficie inclinada sobre la tierra depende de la zona de ubicación del sistema, esta información permite determinar la generación eléctrica mes a mes, durante todo el año y diseñar el sistema considerando el peor escenario.

Para que esta condición se cumpla la posición el sol debe encontrarse lo más cerca de la tierra

con un ángulo perpendicular a ella, esto se debe a que el sol está en una distancia mínima a la superficie y solo ocurre durante 2 horas al día, con tecnología de seguimiento solar se optimiza estos ángulos en todo momento. No obstante, en sistema fotovoltaico es habitual utilizar una estructura fija donde se orienta adecuadamente el ángulo de inclinación del panel, según UPME, se recomienda que el ángulo de inclinación sea mínimo de 10 grados para evitar el estancamiento de agua.

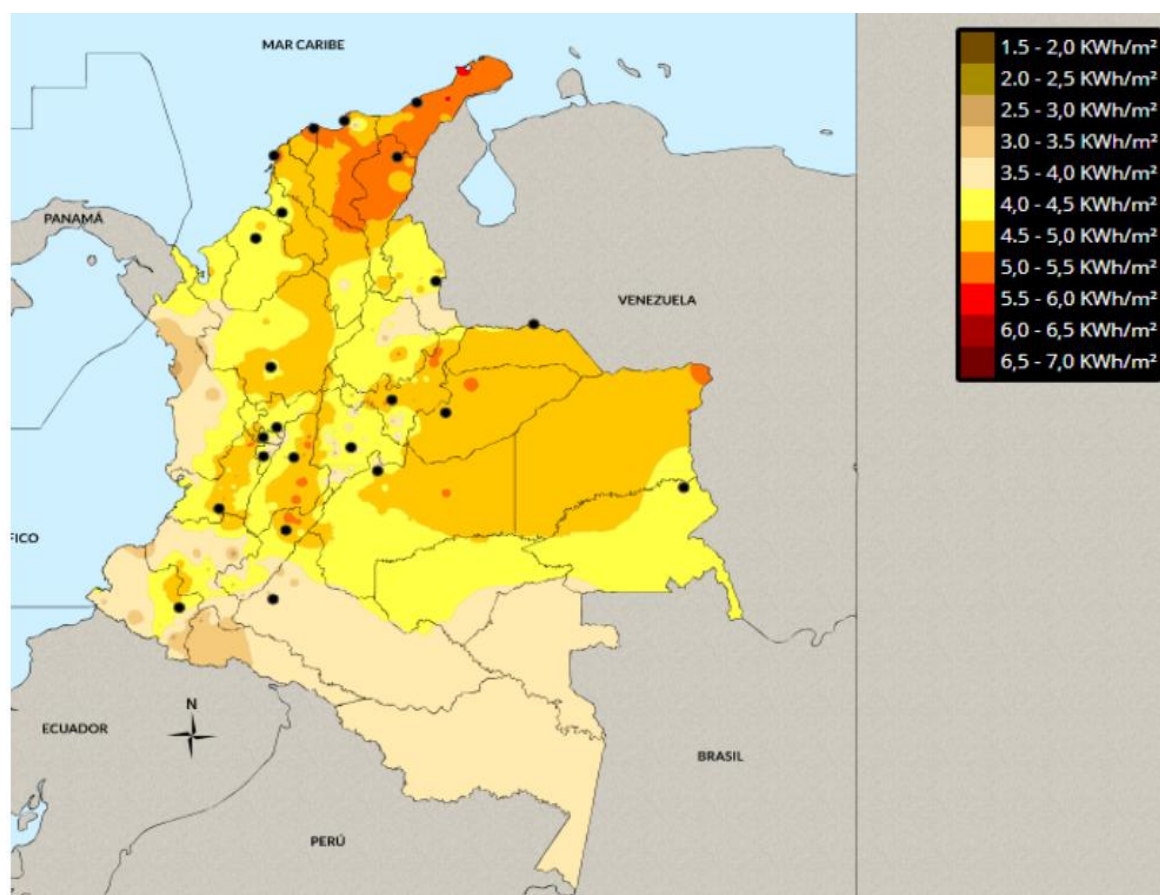


Figura 3. Mapa de la radiación solar en Colombia. Fuente: IDEAM (s.f.). Atlas de radicación solar Colombia. Recuperado de www.atlas.ideam.gov.co

Radiación solar. Por su posición geográfica, Colombia se ubica en la zona ecuatorial, cuenta

con radiación solar constante en determinadas zonas del territorio, uno de los elementos claves para convertirse en generador de energía solar.

Irradiación solar. La irradiación solar en la superficie terrestre es, desde el punto de vista técnico, la adición en un intervalo de tiempo determinado de la radiancia solar filtrada por la interposición de la atmósfera, la mayor eficiencia de esta irradiación depende de la energía concentrada y de lugares con baja nubosidad y el ángulo de inclinación.



Figura 4. Paneles solares. Semana (2015). Inicia la construcción de la mayor planta de energía solar en América Latina. Recuperado de <https://sostenibilidad.semana.com/impacto/articulo/atacama-sera-mayor-planta-energia-solar-america-latina/32481>

Paneles fotovoltaicos. Los paneles fotovoltaicos están compuestos con materiales semiconductores que transforman la radiación solar en energía eléctrica, existen muchos tipos de paneles con diferentes propiedades y su elección depende de necesidad y eficiencia.

Actualmente en el mercado encontramos los monocristalinos fabricados en silicio puro con una elevada eficiencia y los policristalinos con menor pureza y en consecuencia con menor eficiencia.

El número total de módulos fotovoltaicos que se deben instalar se puede calcular a partir de la siguiente formula:

$$NT = ET / (Pp \cdot Gmb \cdot PG)$$

ET: Energía real requerida (Wh)

Pp: Potencia Pico del Módulo (W / kW / m²)

Gmb: Radiación Global sobre una superficie inclinada un ángulo b (kWh /m²)

PG: Factor Global de Pérdidas (suele variar entre 0.65 y 0.9)

Batería. Se utiliza para almacenar la energía eléctrica, para los sistemas solares y eólicas almacenan la energía un tiempo relativamente largo.



Figura 5. Batería. Harper, E. (2018). Instalaciones y sistemas fotovoltaicos. Madrid: Limusa Editores.

Estas baterías de tipo ciclo profundo tienen capas de plomo gruesas que además brindan la ventaja de prolongar su vida. Para hallar la capacidad tanto en Wh (vatios hora) como en Ah (amperios hora), se tiene:

$$C_n (Wh) = ET \cdot N / Pd$$

$$C_n (Ah) = C_n (Wh) / V_{bat}$$

Siendo:

C_n : capacidad nominal de la batería (Wh ó Ah)

ET: Energía real requerida (Wh)

P_d : Máxima Profundidad de descarga de la batería

V_{bat} : tensión nominal de la batería (V)

Regulador o controlador de carga. Su función principal es controlar los procesos de carga y descarga del sistema de almacenamiento, se dimensiona bajo dos (2) criterios: Las corrientes máximas que circularán por el sistema y las corrientes que consume la carga. El regulador se ubica entre el panel y el módulo de almacenamiento, se puede conectar en paralelo o en serie.

Inversor. Es el dispositivo que transforma la corriente continua a corriente alterna, su selección se caracteriza por su potencia nominal (kW), tensión de entrada y salida (kV), frecuencia de operación (Hz) y rendimiento (%).

El inversor se definirá tomando en cuenta la potencia que el sistema demanda como corriente alterna (CA), y puede definirse

$$P_{inv} = P_{AC}$$

Donde P_{inv} es la potencia del inversor; P_{AC} es la potencia que demanda la carga en corriente alterna (CA)

2.3 Marco Conceptual

Fuentes no convencionales de energía renovable. Recursos de energía renovable disponibles a nivel mundial que son ambientalmente sostenibles, pero que en el país no son empleados o son utilizados de manera marginal y no se comercializan ampliamente. Se consideran la biomasa, los pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, la eólica, la geotérmica, la solar y los mares.

Ley 1715 de 2014. El objetivo es promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su integración al mercado eléctrico, su utilización en zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético.

Tabla 1.
Objetivos de la Ley 1715 de 2014

Ítems	Objetivos
1	Estructurar, promover, implementar y hacer seguimiento a los proyectos energéticos sostenibles con el fin de contribuir al acceso y mejoramiento de la calidad y continuidad de la prestación de servicios energéticos en las ZNI.
2	Propender por el uso de fuentes no convencionales de energía en las ZNI como solución energética bajo criterios de gestión eficiente de la energía.
3	Realizar monitoreo y seguimiento a la prestación de servicios energéticos en las ZNI suministrando la información técnica correspondiente.
4	Mejorar la percepción de las partes interesadas del IPSE (clientes, proveedores, contratistas, comunidades, funcionarios y organismos de control) con respecto a los productos y servicios que ofrece el instituto.
5	Mejorar la eficacia, eficiencia y efectividad de los procesos, previniendo y mitigando los impactos ambientales, sociales, previniendo los peligros y controlando los riesgos de seguridad y salud en el trabajo con un equipo humano altamente calificado.
6	Promover la salud y seguridad de los servidores públicos y las partes interesadas del IPSE, previniendo y controlando los factores de riesgos y peligros asociados al trabajo mediante las actividades planeadas y desarrolladas en el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo del Instituto.
7	Prevenir y reducir la contaminación a través del control de los aspectos ambientales significativos del IPSE, para la protección del medio ambiente

Nota. *Ley 1715 de 2014*

Zonas no Interconectadas (ZNI). Se caracterizan por su riqueza natural, étnica y cultural, muchas de ellas son áreas protegidas debido a la presencia de resguardos indígenas y terrenos colectivos están conformadas por 17 departamentos, 5 capitales departamentales, 39 cabeceras municipales, 112 municipios, 1441 localidades, más de 176.000 usuarios atendidos y 94 entes prestadores organizados en 14 grupos territoriales.

Son áreas geográficas que no son atendidas por el Sistema Interconectado Nacional (SIN), ante esta situación a veces se opta por utilizar generadores eléctricos los cuales funcionan con

combustible contaminantes. El gobierno constantemente promueve políticas para el desarrollo y mejoramiento de la calidad de vida de estos habitantes, mediante el apoyo de entidades como el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas No Interconectadas (IPSE), que atiende las necesidades energéticas de los habitantes que no cuentan con este servicio.

Como proyecto el Plan De Energización Rural Sostenible (PERS), plantea soluciones energéticas a corto y mediano plazo, de acuerdo a necesidades identificadas previamente, promoviendo el uso de energía renovables.

3. Caracterización Comunidad Barí

La comunidad Bari es un pueblo ancestral que habita en el Catatumbo, Norte de Santander y se extiende hasta Venezuela, sus descendientes pertenecen a la familia Arawak, a la comunidad se le ha reconocido el resguardo Motilón Barí, con 25 comunidades asentadas en los municipios Carmen, Convención y Teorama y el resguardo Barí Catalaura en el Municipio del Tarra y Tibú.

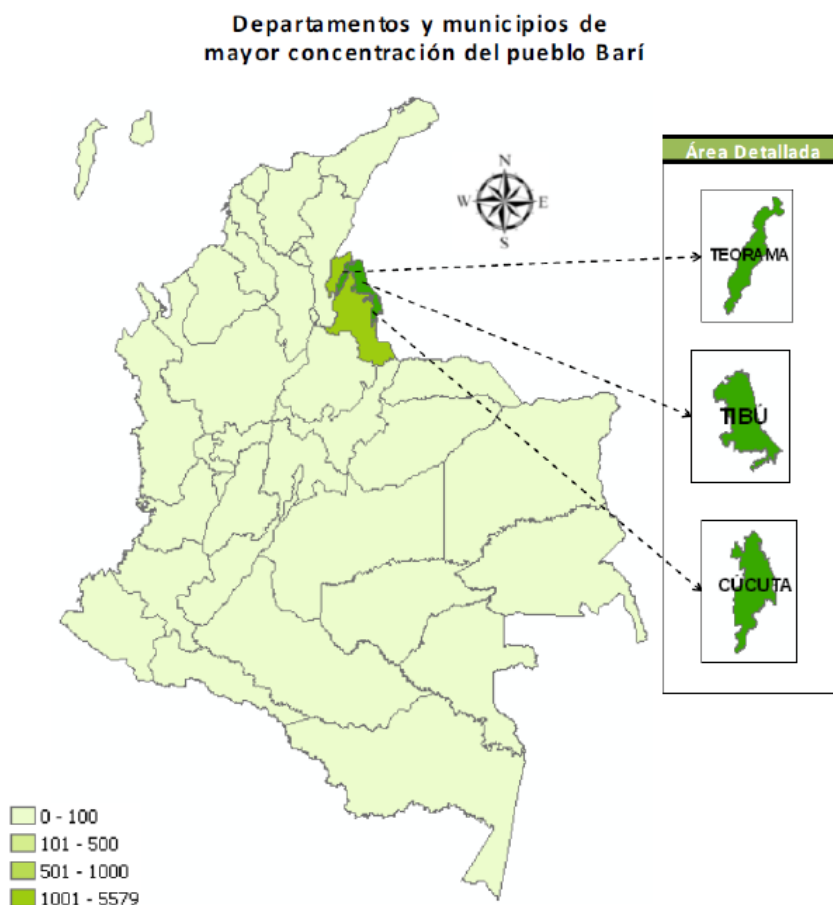


Figura 6. Municipios que comprenden la comunidad indígena Barí. Ministerio de Cultura (s.f.). Caracterizaciones de los pueblos indígenas de Colombia. Bari, hijos de Sabaceba y gente de los ojos limpios. <http://www.mincultura.gov.co/prensa/noticias/Documents/Poblaciones/PUEBLO%20BARI.pdf>

3.1 Comunidad Brubucanina

Para el desarrollo de este estudio de monografía se seleccionó la comunidad indígena Brubucanina asentada en el municipio de Teorema, Norte de Santander, ubicada en la coordenada $9^{\circ}07'16.7''N$ $-73^{\circ}00'26.3''W$, este resguardo está conformado por 32 familias agrupadas en casas comunales de tres a cuatro grupos familiares, actualmente algunas familias cubren sus necesidades de suministro de energía eléctrica mediante plantas de generación diésel y solo pueden acceder el servicio de 3 a 4 horas con costo elevado de combustible.

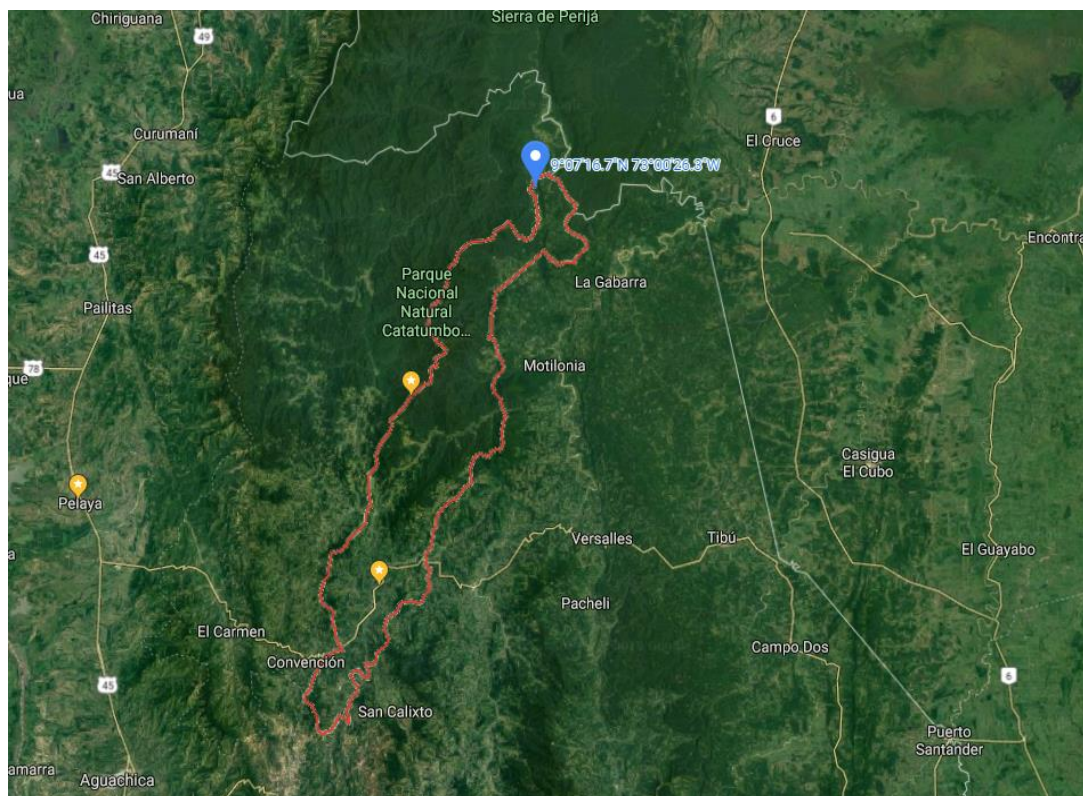


Figura 7. Ubicación geográfica de la comunidad Brubucanina. Fuente: Google Earth

3.2 Perfil de consumo

Debido a la condición que cuenta la comunidad de no hacer parte del Sistema Interconectado Nacional (SIN) no se evidenció un perfil de carga existente que pueda representar la curva de demanda de operación de las necesidades eléctricas de la comunidad, se toma la decisión de diseñar una tabla de carga basada en las necesidades prioritarias que fueron consultadas a la comunidad por medio de un representante para asuntos indígenas de la Alcaldía de Teorema, estas necesidades se presentan en refrigeración, iluminación, entretenimiento, acceso a la información y otros equipos.

La caracterización del estilo de vida de la comunidad indígena se asemeja al estilo de vida de una vivienda aislada tipo rural, por lo tanto, la tabla de carga diseñada se ajusta a la tabla de carga propuesta por el Departamento de Planeación Nacional (DPN), para zonas rurales no interconectadas.

Tabla 2.
Cargas de Electrodomésticos

Electrodomésticos	Potencia (W) por Equipo	Cantidad	Horas de Uso
Nevera 222 l Tipo A	180	1	24
Televisor 2” Led4	120	1	4
Toma para Celular	50	1	5
Bombillos Led	11	5	4
Otros Usos	200	1	5

4. Diseño del sistema de generación fotovoltaica utilizando el software de simulación

PVSYST

4.1 Software PVSYST V6.84

Es un software de la familia Bluesol, para el diseño de sistemas fotovoltaicos, la herramienta de simulación es muy versátil ya que permite diseñar y simular los diferentes escenarios fotovoltaicos como son los sistemas aislados y los conectados a la red. Cuenta con una gran cantidad de bases de datos meteorológicos, que permiten determinar la radiación solar disponible del área seleccionada, horas picos solares, temperaturas, velocidades de viento y demás variables, Además, permite el uso de equipos como paneles solares, inversores, baterías, controladores de carga, que cuentan con las características de diferentes fabricantes actuales, los cuales permiten realizar un estudio más completo y obtener resultados precisos.

La versión de PVSYST utilizada para desarrollar este documento fue la 6.84, la cual permite trabajar con 4 secciones para sistemas fotovoltaicos, dichas secciones son predimensionadas, diseño del proyecto, bases de datos y herramientas como se muestra en la figura 8.



Figura 8. Interfaz del software PVSYST V6.84. Software PVSYST V6.

1.1 Diseño del proyecto. El software permite realizar un estudio completo de un sistema solar fotovoltaico, donde se cuenta con cálculos precisos de la producción del sistema utilizando simulaciones detalladas por hora, se permiten interpretar diversas variantes de la simulación además el análisis detallado de las pérdidas del sistema, así como una evaluación económica con precios reales de los componentes utilizados.

En este paso se asigna el nombre de la comunidad indígena seleccionando en “Diseño del proyecto” junto al tipo de sistema fotovoltaico a desarrollar (autónomo), este archivo queda grabado con la extensión PRJ, el cual se puede consultar cada vez que se desea, según como muestra la figura 9.

*DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ATENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGIA ELECTRICA
DE COMUNIDADES INDÍGENAS DEL MUNICIPIO DE TEORAMA, NORTE DE SANTANDER*

40

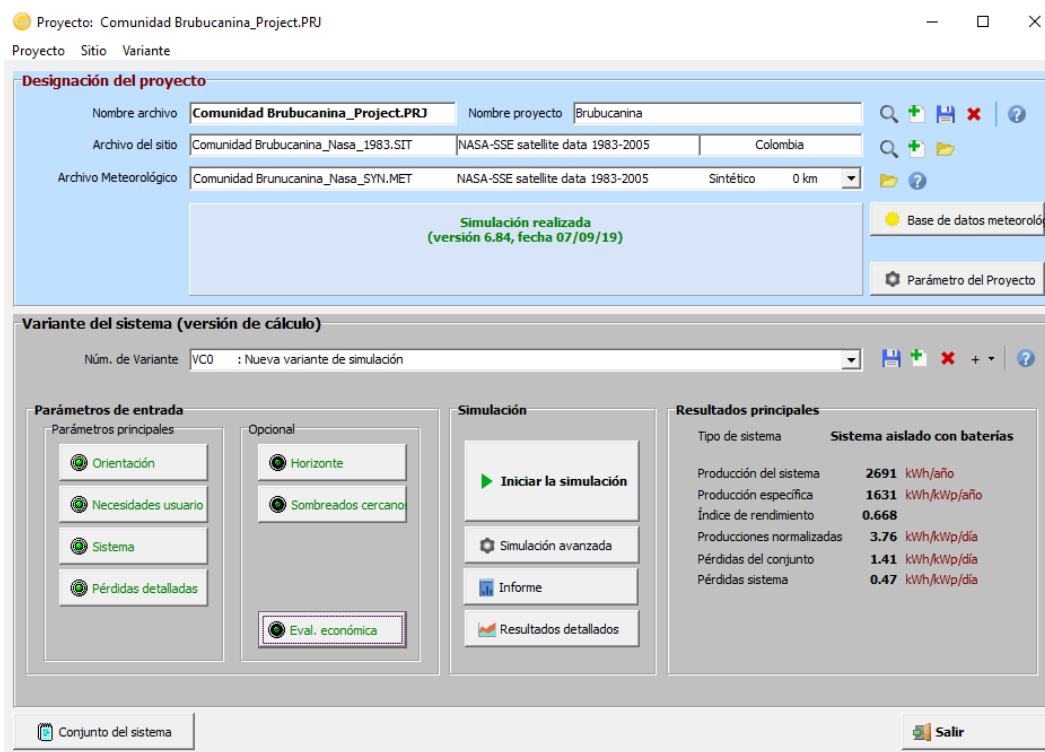


Figura 9. Nuevo proyecto PVSYS V6.84. Software PVSYS V6.84

4.1.2 Ubicación geográfica del proyecto. El software importa la información meteorológica de las bases de datos asociadas y activa las variantes de simulación para empezar el dimensionamiento como se puede observar en la Figura 10.

Figura 9. Parámetros Geográficos PVSYST V6.84. Software PVSYST V6.84

En este paso se ingresa la latitud, longitud y altitud de la comunidad seleccionada para nuestro estudio: 9°07'16.7"N -73° 00'26.3"W, dependiendo de estos datos se gradúa el huso horario el cual depende de la trayectoria del sol, ese huso horario es recomendado por el software en unos rangos determinados, después se importan los datos de radiación.

4.1.3 Meteonorm 7.1. En el software se encuentran las diferentes librerías meteorológicas recogidas al rededor del mundo. Además, permite crear nuevos sitios (mediante las coordenadas)

e importar los datos meteorológicos (archivos mensuales y por hora) por medio de la base de datos de la NASA, como se observa en la Figura 04.

Parámetros del sitio geográfico para Comunidad Brubucanina_Nasamod.SIT (under modification)

Coordenadas Geográficas | Meteorología Mensual | Mapa interactivo

Sitio: **Comunidad Brubucanina (Colombia)**

Origen de datos: NASA-SSE satellite data 1983-2005 (modified by user)

	Irradiación global horizontal kWh/m ² .mes	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² .mes	Temperatura °C
Enero	178.9	44.0	25.5
Febrero	163.5	48.4	26.9
Marzo	186.0	62.0	27.6
Abril	170.4	67.2	26.1
Mayo	167.4	67.9	25.4
Junio	166.5	62.4	25.3
Julio	182.0	62.6	25.4
Agosto	179.5	66.0	25.5
Septiembre	163.2	65.1	24.9
Octubre	156.9	62.3	24.5
Noviembre	152.1	51.9	24.5
Diciembre	164.9	45.9	24.4
Año	2031.3	705.7	25.5

Datos Requeridos:

- ☒ Irradiación global horizontal
- ☒ Temp. Exterior Media

Datos adicionales:

- ☒ Irradiación difusa horizontal
- ☐ Velocidad del viento
- ☐ Linke Turbidity
- ☐ Relative Humidity

Unidades de insolación:

- ☐ kWh/m².día
- ☒ kWh/m².mes
- ☐ MJ/m².día
- ☐ MJ/m².mes
- ☐ W/m²
- ☐ Índice de claridad Kt

Nuevo sitio | Imprimir | Anular | OK

Figura 10. Parámetros de radiación solar durante el año. Fuente: Software PVSYST V6.68

4.1.4 Orientación del plano fotovoltaico. Este parámetro permite definir las sombras presentes en la localización seleccionada, para este caso se asume que los paneles fotovoltaicos se van a ubicar en un lugar donde no haya ninguna sombra para evitar que su rendimiento sea menor, además, permite definir y optimizar el ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos (se recomienda de 10 a 15 grados por el hemisferio que se encuentra ubicada Colombia) y el azimut (Angulo de referencia respecto al Norte), como se muestra en la Figura 12.

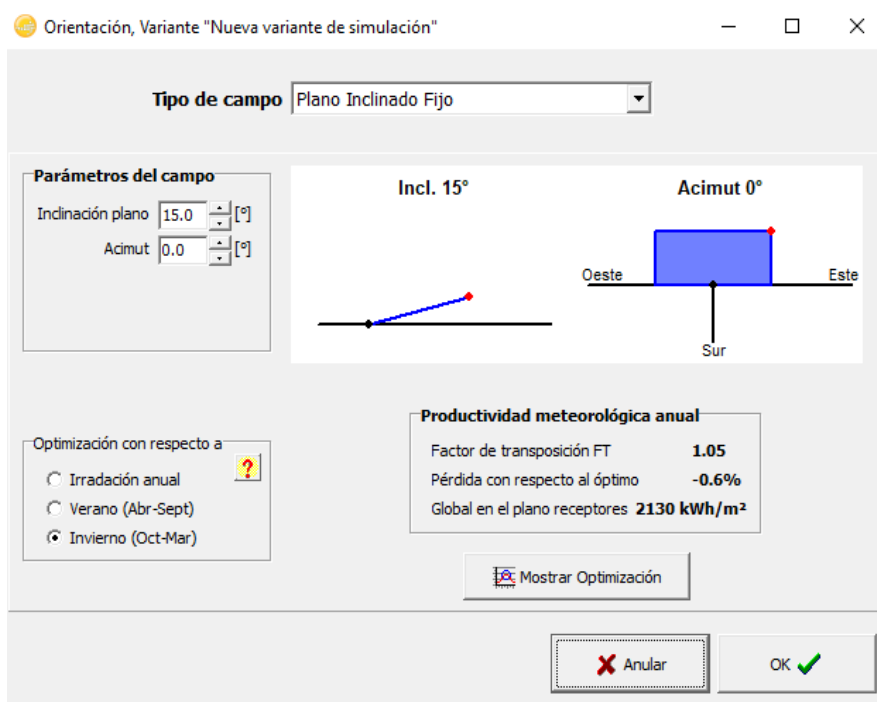


Figura 11. Parámetros de campo PVSYS V6.68. Software PVSYS V6.68

4.1.5 Propiedades del Sistema. En este parámetro de simulación se encuentran las bases de datos de componentes fotovoltaicos con datos de placa suministrados por fabricantes (módulos PV, inversores, baterías, reguladores de carga) además se pueden crear componentes nuevos de ser necesario (ver figura 13).

En la propiedad del sistema se ingresa la demanda prioritaria que se identificó en el perfil de consumo de la comunidad Brubucanina y esta carga representa una vivienda tipo.

**DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ATENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGIA ELECTRICA
DE COMUNIDADES INDÍGENAS DEL MUNICIPIO DE TEORAMA, NORTE DE SANTANDER**

44

Figura 12. Definición del sistema fotovoltaico Autónomo PVSYST V6.84. Software PVSYST V6.84

Para este caso es necesario instalar una potencia de 1.65 kWp, que corresponde a la proyección de carga, representada en los equipos o electrodomésticos que requiere la comunidad para suplir sus necesidades eléctricas básicas de una vivienda tipo; el segundo parámetro es elegir el tipo de panel solar fotovoltaico a utilizar, se seleccionó módulo fotovoltaico Upsolar Up-M330P el cual

se adecua a las necesidades de la zona por su geografía y clima. Además, este tipo de panel tiene características de generar más energía y menos pérdidas en el proceso fotoeléctrico; el tercer parámetro es elegir el banco de baterías, se seleccionó para el sistema aislado Deka PV 8G8D; y el cuarto parámetro es el regulador (es importante tener en cuenta la eficiencia al igual que el panel) se eligió de la librería el regulador (Victron Smartsolar MPPT 100/50 24V).

Después de hacer estos pasos el software calcula el número de paneles que se necesita (5), el área que se requiere para instalarlos (9.7 m²), el número de baterías (6) conectadas en serie paralelo y el inversor-cargador (1) y el diseño del generador fotovoltaico (es la configuración de los paneles en serie y paralelo para conectarlos correctamente al inversores (1 módulos en serie y 5 en paralelo), esta configuración es la más adecuada para conectar todos los paneles al inversor cargador conexión dada por el software, con el objetivo que el sistema funcione a su mayor eficiencia y reducir las mayores pérdidas posible.

4.1.6 Verificación de los parámetros ingresados. El software maneja tres tipos de colores para indicar el diseño del sistema antes de simularlo y obtener los resultados; los parámetros de color verde indican que los datos fueron seleccionados correctamente, los de color naranja indican que los datos son aceptables para la simulación, pero se pueden mejorar (configuración o eficiencia) y los de color rojo indican que hay un error y de esa forma no permite simular el sistema,

Finalizada la simulación se puede acceder al informe y a los resultados especificados en tablas de datos, graficas, diagramas de Sankey los cuales permiten evaluar el sistema fotovoltaico y guardar la variante si se desea, según la figura 14

*DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ATENCIÓN DE LA DEMANDA ENERGIA ELECTRICA
DE COMUNIDADES INDÍGENAS DEL MUNICIPIO DE TEORAMA, NORTE DE SANTANDER*

46

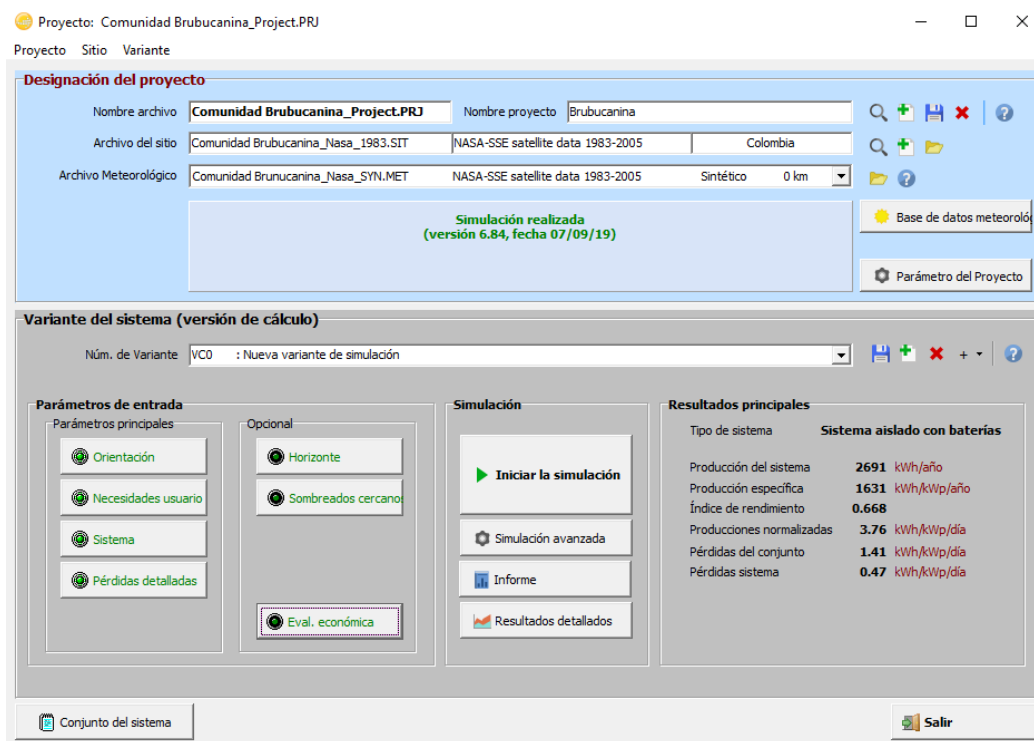


Figura 13. Interfaz, diseño de sistema PVSYST 6.84. Software PVSYST V6.84

4.2 Resultados de la simulación

En esta parte de la simulación obtenemos los resultados del sistema ingresado anteriormente tales como: ubicación geográfica, especificaciones técnicas de los equipos utilizados, graficas de factor de rendimiento, diagrama de pérdida, energía producida durante el año, evaluación económica.

4.2.1 Parámetros de Simulación. En este informe de resultados de simulación se muestran datos importantes como la ubicación o coordenadas del proyecto, latitud 9.07167°N Longitud - 73.00263°W , inclinación de 15° de los módulos fotovoltaicos, acimut, características del panel

UP-M330P un controlador Smart Solar MPPT 100/50 24V y los cinco (5) módulos empleados en el proyecto con una “potencia nominal” de 1650Wp, estimando un área de 9.7 m².

Tabla 3.
Resultados de la simulación,

Características del conjunto FV					
Módulo FV	Si-poly	Modelo	UP-M330P		
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Upsolar		
Número de módulos FV		En serie	1 módulos	En paralelo	5 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos	5	Pnom unitaria	330 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	1650 Wp	En cond. de funciona.	1498 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	34 V	I mpp	44 A
Superficie total		Superficie módulos	9.7 m²	Superficie célula	8.8 m²
Parámetros del sistema	Tipo de sistema		Sistema aislado		
Batería		Modelo	Solar PV 8G8D		
		Fabricante	Deka		
Características del paquete de baterías	Núm. de unidades	2 en serie x 3 en paralelo			
	Voltaje	24 V	Capacidad nominal	624 Ah	
	Descarga: mín. SOC	20.0 %	Energía almacenada	12.0 kWh	
	Temperatura	Temperatura exterior ambiente			
Regulador		Modelo	SmartSolar MPPT 100/50 24V		
		Fabricante	Victron		
		Tecnología	MPPT converter	Coef. temp.	-2.7 mV/°C/elem.
Convertidor	Eficiencias Máx. y EURO	98.0 / 96.0 %			
Umbral de Regulación Baterías	Umbral de mando según	Battery voltage			
	Carga	29.1 / 25.1 V	Corresp. SOC	0.95 / 0.75	
	Descarga	23.2 / 24.4 V	Corresp. SOC	0.17 / 0.45	

Nota. Parámetros PVSYST V6.84

4.2.2 Evaluación de los perfiles de carga. Para el modelado de la carga se genera un perfil de consumo diario de acuerdo al requerimiento eléctrico promedio de los electrodomésticos como la nevera, bombillas, y demás tomas teniendo en cuenta el tiempo en hora de uso para su funcionamiento como se puede observar en la tabla 4.

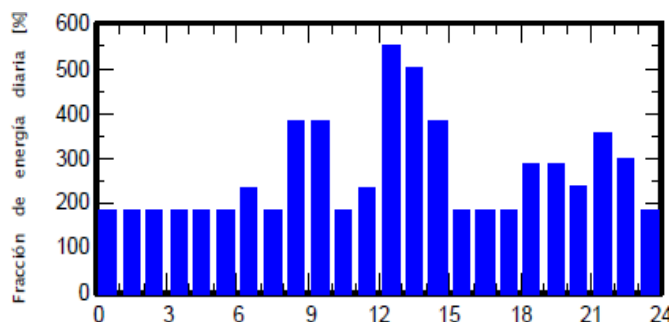
Tabla 4.
Perfil de Carga de una vivienda de la comunidad Brubucanina

valores anuales				
	Número	Potencia	Utilización	Energía
Lamps (Led or fluo)	5	11 W/lámpara	4h/día	220 Wh/día
TV/PC/Mobile	1	120 W/art.	4h/día	480 Wh/día
Otros	1	200W/art.	5h/día	1000 Wh/día
Toma celulares	1	50 W total	5h/día	250 Wh/día
Nevera 222 litros	1	180 W total	24h/día	4320 Wh/día
Consumidores en espera			24h/día, 7días/7	48 Wh/día
Energía toral diaria				6318 Wh/día

Nota. Captura Software PVSYST V6.84

4.2.3 Perfil de carga de vivienda indígena. Aplicando los procedimientos establecidos por el simulador PVSYST 6.84, se calcula la demanda máxima a partir del análisis de carga. Una vez estimado el valor de demanda máxima de la vivienda se establece la proyección de la demanda día, para este caso la carga diaria evaluada es 6318Wh/día.

Se puede evidenciar en la figura 15 el perfil de consumo de un día promedio representativo de una vivienda indígena. La gráfica relaciona la fracción de energía diaria (%) con las horas del día. Las barras azules representan los picos de consumo siendo los más altos en el horario comprendido entre las 7:00 am y las 3:00 pm.



14. Perfil del consumo por hora. Captura Software PVSYST V6.84

4.2.4 Resultados de la simulación. En los resultados principales de la simulación se puede observar la cantidad de energía producida por el sistema fotovoltaico de 2691 kWh/año. Asimismo, el factor de rendimiento entre los paneles FV, los inversores y cableado (PR [66.76%]), Conjuntamente muestra las pérdidas de carga y el envejecimiento del banco de baterías y con una duración de 4.9 años con un estado de desgaste del 79.7%. Como se pude ver en la tabla 5.

Tabla 5.
Energía disponible

Resultados principales de la simulación				
Producción del sistema	Energía disponible	2691 kWh/año	Produc. específica	1631 kWh/kWp/año
	Energía utilizada	2267 kWh/año	Excedente (inutilizado)	226 kWh/año
Pérdida de carga	Índice de rendimiento (PR)	66.76 %	Fracción solar (SF)	98.31 %
	Fracción de tiempo	1.6 %	Energía faltante	39 kWh/año
Envejecimiento de la batería	Estado de desgaste (EDD)	79.7%	EDD estático	92.4%
	Duración de vida de la batería	4.9 años		

Nota. Captura Software PVSYST V6.84

4.2.5 Producciones normalizadas por (kWp instalado). Se describe la producción normalizada (mes a mes) de energía suministrada al usuario de (3.76 kWh/kWp/día), la cual se obtiene de la simulación. Este valor de energía cubre 100% del consumo total diseñado para la comunidad indígena, que corresponde con el gasto energético en horas del día, cuando la radiación solar se encuentra disponible.

Conjuntamente los factores de pérdida de energía en el sistema que está en el orden de 1.88 kWh/kWp/día esto permite determinar la existencia de meses en los que los módulos PV generan más energía de la que se puede almacenar en las baterías, por lo que el regulador de carga simplemente la disipa, como se observa en la figura 16.

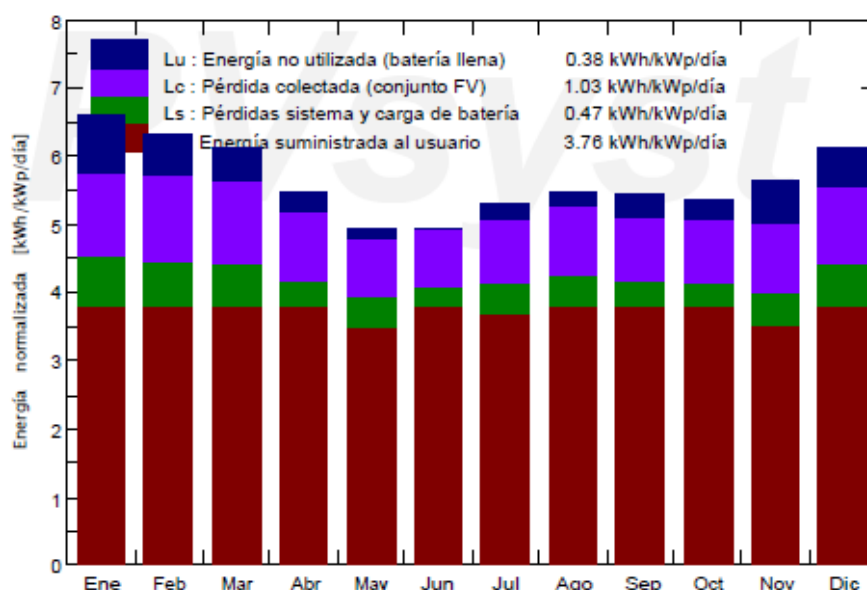


Figura 15. Producciones Normalizadas Por (kWp Instalado): Potencia Nominal 1650Wp . Captura Software PVSYST V6.84

4.2.6 Índice de Rendimiento (PR) y Fracción Solar (SF). El índice de rendimiento PR (barras rojas) es del 0.668 este factor de rendimiento considera las pérdidas energéticas asociadas a los

rendimientos de los equipos en la conversión DC/AC y del seguimiento del punto de máxima potencia (MPP, Maximum Power Point) del inversor, como se observa en la Figura 17. Además, el rendimiento de las celdas solares es inferior al que indica el valor de su potencia nominal, debido a que la temperatura de operación es superior a 25 °C; y es el cociente entre el índice de producción final del sistema FV o “Final Yield”, y el índice de producción de referencia o “Referente Yield”.

La fracción solar FS (barras Verdes) está en el orden del 0.983, esto nos indica que toda la energía oscila entre 0 (ninguna utilización de la energía solar) y 1.0 (toda la energía que se necesita se obtiene del sistema). La fracción solar de un sistema particular depende de muchos factores, como la carga, las dimensiones del sistema PV, los acumuladores, la zona climática, latitud, temperatura ambiente y la radiación.

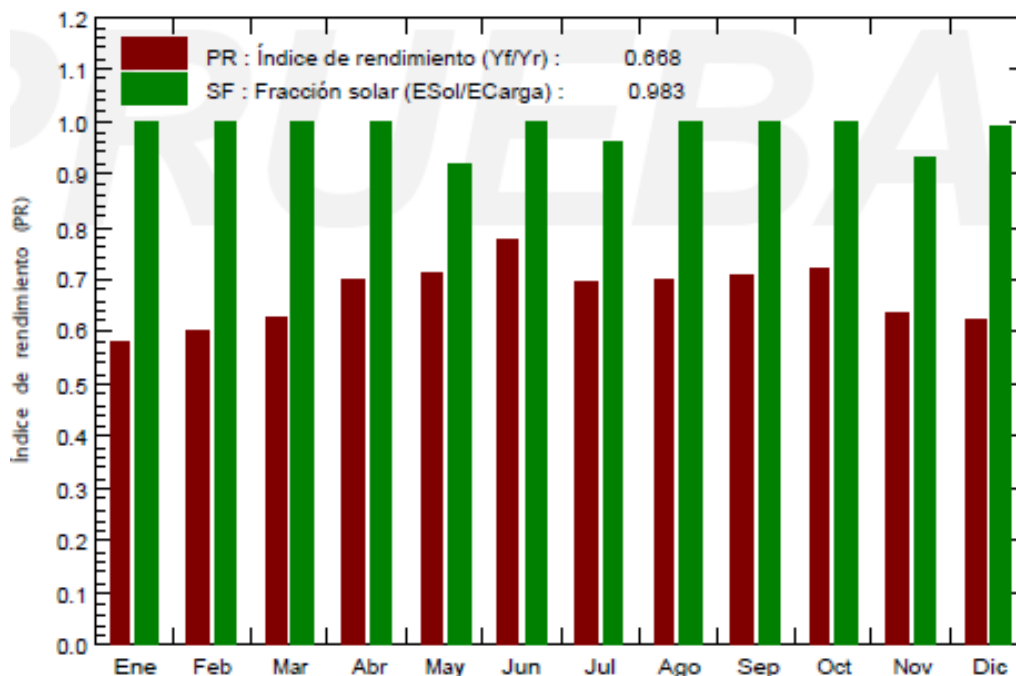


Figura 16. Índice de Rendimiento (Pr) y Fracción Solar (Sf).Captura Software PVSYST V6.84

4.2.7 Coeficientes de rendimiento normalizado. El coeficiente de rendimiento muestra los parámetros característicos normalizados del sistema representado en la tabla 6, de los cuales tenemos: El índice de irradiación global horizontal (GlobHor) obtenido para todo el año es de 2031.2 kWh/m², la necesidad de energía del usuario (E_Load) corresponde a 2306.1 kWh, la cantidad de energía suministrada al usuario (E_User) por el sistema fotovoltaico es de 2267.1 kWh, con una fracción solar de 0.983, que muestra que el sistema en general es óptimo con una variables para algunos meses del año como: Mayo, Julio y Noviembre donde se evidencia unos faltantes mínimos de energía ocasionados por la poca radiación solar que finalmente no afecta la operación del sistema en general.

Tabla 6.

Coeficientes de Rendimiento Normalizados

Nueva variante de simulación Balances y resultados principales								
	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac
Enero	178.9	199.6	267.0	42.19	0.00	195.9	195.9	1.000
Febrero	163.5	172.7	228.4	28.32	0.00	176.9	176.9	1.000
Marzo	186.0	184.5	244.4	25.87	0.00	195.9	195.9	1.000
Abril	170.4	159.5	213.9	14.28	0.00	189.5	189.5	1.000
Mayo	167.4	147.3	201.3	6.71	16.44	179.4	195.9	0.916
Junio	166.5	142.7	196.4	1.08	0.00	189.5	189.5	1.000
Julio	182.0	157.8	215.3	10.84	7.50	188.4	195.9	0.962
Agosto	179.5	163.4	221.7	10.73	0.00	195.9	195.9	1.000
Septiembre	163.2	157.4	213.9	14.19	0.00	189.5	189.5	1.000
Octubre	156.9	160.7	218.6	14.52	0.00	195.9	195.9	1.000
Noviembre	152.1	164.0	221.4	28.23	13.75	175.8	189.5	0.927
Diciembre	164.9	185.0	248.7	29.13	1.32	194.5	195.9	0.993
Año	2031.2	1994.6	2691.0	226.10	39.01	2267.1	2306.1	0.983

Legendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal	E_Miss	Energía faltante
	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	E_User	Energía suministrada al usuario
	E_Avail	Energía solar disponible	E_Load	Necesidad de energía del usuario
	EUnused	Energía sin utilizar (batería llena)	SolFrac	Fracción solar (Eutilizada/Enecesitada)

Nota. Captura Software PVSYST V6.84

4.2.8 Diagrama de pérdidas durante todo el año. PVSYST posee una interesante capacidad de cálculo para simular el desempeño del sistema PV diseñado. Los resultados obtenidos proporcionan excelente información para optimizar el sistema. El diagrama de pérdidas de energía en el sistema, obtenido como resultado de la simulación del desempeño con ayuda de PVSYST; como se observa en la Figura 18. El diagrama identifica la irradiación global horizontal con un valor 2031.2 kW/m^2 y cuantifica pérdidas de radiación, pérdidas en el generador y pérdidas en el sistema de acumulación entre otras, con un valor de energía suministrada al usuario de 2267 kWh donde la mayor pérdida está representada en la temperatura.

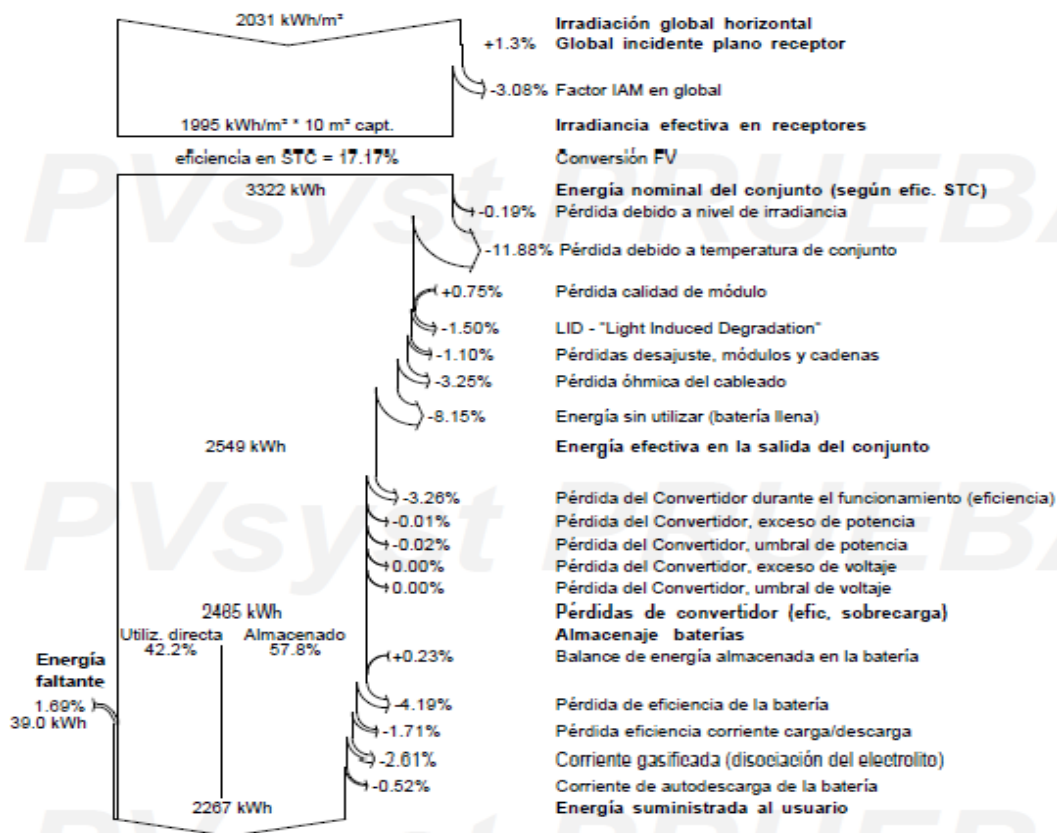


Figura 17. Diagrama de pérdidas de energía, obtenida vía simulación de desempeño del sistema con el software PVSYST V6.84

5. Costos económicos de la implementación del sistema

En esta sección se describe principalmente el costo que involucra la implementación del sistema de energía solar fotovoltaico como es el costo directo.

En aprovechamiento de la exclusión del impuesto del IVA, en la compra de bienes, servicios, equipos, maquinaria y elementos, tal como lo dispone la ley 1715 de 2014, ya sean estos nacionales o importados se hará un comparativo de los costos que beneficia la compra de equipos con y sin exención de IVA.

De acuerdo a los resultados obtenidos con ayuda de software PVSyst, se determinó que la cantidad de equipos necesarios para el diseño del sistema fotovoltaico de una vivienda de la comunidad indígena corresponde la tabla 7 sin incluir accesorio necesario para total implementación.

Tabla 7
Equipos para el sistema fotovoltaico de una vivienda indígena

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD
1	Panel solar monocristalino AE Solar PowerPlus Large PERC 370W	UD	5.00
2	Batería TbPlus GEL 12V/200 Ah	UD	6.00
3	Regulador Victron Smartsolar MPPT 100/50 24V).	UD	1.00

Costos Directos de Equipos y Suministro. Una vez dimensionado el sistema fotovoltaico, la adquisición de los equipos requiere de consultas donde se avalúan precios ver tabla 8, también es importante evaluar garantías, disponibilidad y demás datos técnicos que suministra el fabricante.

Tabla 8
Equipo y Accesorio

COSTOS DE EQUIPOS Y ACCESORIOS						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD	Vr. UNITARIO	Vr. PARCIAL	Vr. TOTAL
1	SISTEMA PARA UNA VIVIENDA TIPO					
1,1	Panel solar monocristalino AE Solar PowerPlus Large PERC 370W	UD	5,00	\$ 390.898	\$ 1.954.488	\$ 1.954.488
1,2	Bateria TbPlus GEL 12V/200 Ah	UD	6,00	\$ 1.261.000	\$ 7.566.000	\$ 7.566.000
1,3	Controlador de carga BlueSolar MPPT 100/30	UD	1,00	\$ 699.234	\$ 699.234	\$ 699.234
1,4	Inversor Off-grid Phoenix Victron energy 24/1400 120V	UD	1,00	\$ 1.432.084	\$ 1.432.084	\$ 1.432.084
1,5	Estructura de instalación para 5 módulos fotovoltaicos	UD	1,00	\$ 850.000	\$ 850.000	\$ 850.000
1,6	Gabinete para Equipos Electricos y Banco de Bateria	UD	1,00	\$ 495.000	\$ 495.000	\$ 495.000
1,7	Acometida	UD	1,00	\$ 476.100	\$ 476.100	\$ 476.100
1,8	Sistema de Puesta a Tierra	UD	1,00	\$ 383.900	\$ 383.900	\$ 383.900
TOTAL COSTO						\$ 13.856.806

Resumen de costo de equipo y suministro. A diferencia de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red con el beneficio de poder entregar sus excedentes de energía a los operadores de red, permitiendo al diseñador obviar el módulo de almacenamiento; Los sistemas fotovoltaicos autónomos no cuenta con este respaldo esto afecta directamente a los costos directos de suministro debido al valor unitario elevado multiplicado por la cantidad de unidad de baterías para el módulo de almacenamiento. Según se observa en la figura 19 el mayor costo está representado en las baterías.



Figura 18. Costos de equipos y accesorios

Con respecto a los beneficios por descuento al IVA algunos equipos que conforma el sistema fotovoltaico, según la ley 1715 de 2014 podemos observar una disminución en los costos de los paneles e inversores y controladores de carga según figura 20.

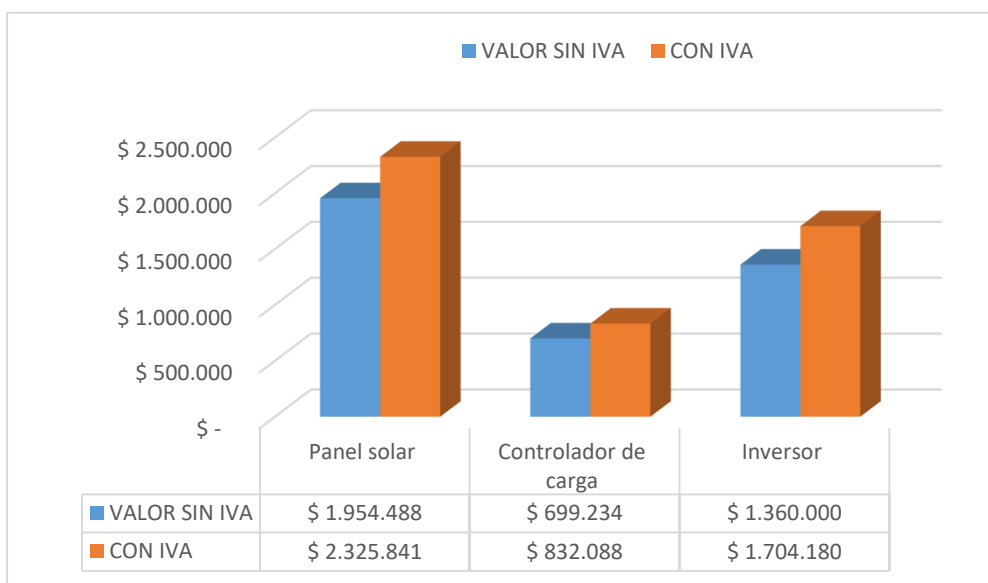


Figura 19. Comparativo de costos según incentivo de la ley 1715 2014. Autor del proyecto

Costos directos de instalación y transporte. La disponibilidad de los equipos y accesorios para la implementación del sistema fotovoltaico en la comunidad indígena afecta los costos directos, se requiere desplazamiento considerable debido a la ubicación rural del resguardo indígena.

Una vez se tenga el suministro total de los equipos y accesorio en la comunidad, se incluyen los costos de instalación que permitirá poner en funcionamiento el sistema diseñado (ver tabla 9).

Tabla 9.
Costo de instalación y transporte

	1,9	Instalación y Transporte				UNIDAD	DIA
TRANSPORTE							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIM	V/DÍA	V/ITEM	V/TOTAL
1	CAMIONETA	DÍA	1	2	\$ 280.000	560.000	560.000
SUBTOTAL TRANSPORTE							560.000
EQUIPO Y HERRAMIENTA							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIM	V/U	V/ITEM	V/TOTAL
1	HERRAMIENTA MENOR	%M.O.	1	200%	\$ 45.000	\$ 90.000	90.000
SUBTOTAL E&H							90.000
MANO DE OBRA							
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	RENDIM	V/U	V/ITEM	V/TOTAL
1	INGENIERO ELECTRICISTA	DÍA	1	1	\$ 150.000	150.000	150.000
2	TECNICO OFICIAL	DIA	1	1	\$ 90.000	90.000	90.000
3	AYUDANTE	DÍA	1	1	\$ 60.000	60.000	60.000
SUBTOTAL M.O.							300.000
VALOR UNITARIO- COSTO DIRECTO							\$ 950.000

Como tercer objetivo de esta monografía se presenta a continuación la totalidad de costos para la implementación de sistema fotovoltaico para una vivienda tipo ubicada en la comunidad indígena Brubucanina según tabla 10.

Tabla 10.

Costos totales instalación sistema fotovoltaico comunidad indígena Brubucanina

PRESUPUESTO GENERAL DE OBRA INSTALACIÓN UNA (1) VIVIENDA TIPO COMUNIDAD INDIGENA BRUBUCANINA						
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UN	CANTIDAD	Vr. UNITARIO	Vr. PARCIAL	Vr. CAPITULO
1	SISTEMA PARA UNA VIVIENDA TIPO					
1,1	Panel solar monocristalino AE Solar PowerPlus Large PERC 370W	UD	5,00	\$ 390.898	\$ 1.954.488	1.954.488
1,2	Batería TbPlus GEL 12V/200 Ah	UD	6,00	\$ 1.261.000	\$ 7.566.000	7.566.000
1,3	Controlador de carga BlueSolar MPPT 100/30	UD	1,00	\$ 699.234	\$ 699.234	699.234
1,4	Inversor Off-grid Phoenix Victron energy 24/1400 120V	UD	1,00	\$ 1.432.084	\$ 1.432.084	1.432.084
1,5	Estructura de instalación para 5 módulos fotovoltaicos	UD	1,00	\$ 850.000	\$ 850.000	850.000
1,6	Gabinete para Equipos Eléctricos y Banco de Batería	UD	1,00	\$ 495.000	\$ 495.000	495.000
1,7	Acometida	UD	1,00	\$ 476.100	\$ 476.100	476.100
1,8	Sistema de Puesta a Tierra	UD	1,00	\$ 383.900	\$ 383.900	383.900
1,9	Instalación y Transporte	UD	1,00	\$ 950.000	\$ 950.000	950.000
TOTAL COSTO DIRECTO						14.806.806

6. Conclusiones

Las necesidades eléctricas de la comunidad indígena Brubucanina son similares a una zona rural donde el consumo básico se basa en refrigeración, iluminación y acceso a la información, esta condición permitió determinar la carga eléctrica instalada como lo plantea el Departamento de Planeación Nacional (DPN) y fue socializada con el representante de la comunidad indígena, la identificación de este carga fue muy importante para cada fase dimensionamiento optimo del sistema fotovoltaico que permitió el cumplimiento de los objetivos planteados.

El uso y versatilidad de software PVSYST permitió conocer aproximaciones durante un año de producción de energía solar necesaria u óptima para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, en aprovechamiento del recurso de energía renovable como alternativa para esta comunidad indígena ubicada en una Zona No Interconectada (ZNI).

La implementación de este tipo proyectos permite aportar a los procesos de masificación y expansión de la energía fotovoltaica, generando un mejor aprovechamiento de los recursos renovables y de costo beneficio social para la comunidad indígena que es contar con más horas de servicio de energía, que podrá emplearla para el desarrollo de otras actividades que mejoran su calidad de vida.

El presupuesto para la implementación del sistema fotovoltaico en la comunidad indígena como planificación del proyecto, mano de obra, materiales y equipos, fueron evaluados con precios actuales del mercado.

Referencias Bibliográficas

- Abello, M.A. (2016). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos. Recuperado de www.api.eoi.es/api
- Agudelo, C.M.; Díaz, O.D. & García, Y.E. (2016). Evaluation of a solar PV tracking prototype on tropic regions. *Revista Electrónica Redes de Ingeniería*, 7(1). p.87-93.
- Asociación de Autoridades Tradicionales del Pueblo Bari (Ñatubaiyibari).
- Carrascal, A.M. & Pardo, F.A. (s.f.). Propuesta para la creación del plan de energización rural y sostenible (PERS) en el departamento de Santander.
- Congreso de Colombia (2014). Ley 1715, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional. Recuperado de http://www.upme.gov.co/normatividad/nacional/2014/ley_1715_2014.pdf
- Energía Solar (s.f.). Irradiación solar. Recuperado de <https://solar-energia.net/definiciones/irradiacion-solar.html>
- Forero, D.; Vega, E. & Barrero, J.F. (2016). Diseño, instalación, implementación y puesta en servicio de un sistema de energía alternativo fotovoltaico en la comunidad indígena Wayuu en el departamento de la Guajira. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- García, M.E. (2016). Energía solar fotovoltaica aislada. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de www.cursofotovoltaico.com
- Gasparatos, A., et. al. (2017). Renewable and Sustainable Energy. *Review* (70). p.161-163
- Islam, et. al. (2016). Energy conversion and management. N.126, p.177.
- Jara, W. (2016). Introducción a las Energías Renovables No Convencionales. Chile: Grupo Endesa.

- Kannan, N. y Vakeesan, D. (2016). Solar energy for future world. A review (62). p.1092.
- La Guía Solar (s.f.). Tipos de baterías solares. Recuperado de <http://www.laguiasolar.com/tipos-de-baterias-solares/>
- Lewis, N. (2007). Toward costs effective solar energy. Science, 315(581)
- Núñez, J.A. & Gutiérrez, R. (2018). Estudio de inclusión de un sistema solar conectado a la red de generación diésel del municipio nuqui departamento del Chocó, Colombia.
- Núñez, J.C. & Sarmiento, S.A. (s.f.). Propuesta de solución al suministro de energía para la comunidad indígena U'WA en el departamento de Boyacá
- Pérez, R.; Pérez, A. & Martínez, J.C. (2011). Optimization of hybrid energy system for rural electrification of indigenous communities in Mexico. Ingeniería Agrícola y Biosistemas, 3(1). p33-39.
- PERS (s.f.). Página de inicio. Recuperado de http://persnds.ufps.edu.co/pers_app/public/
- PVSYST (s.f.). Requerimientos de instalación software PVSyst. Recuperado de <http://www.pvsyst.com/en/software/download>.
- Rosso, A. & Kafarov, V. (2015). Barriers to social acceptance of renewable energy system in Colombia. Current opinion in chemical engineering.
- Salamanca, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica: Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. Revista científica, 30(7). p.263-277.
- Valeref, L. (2016). Variable speed drive in photovoltaic pumping system for irrigation in Brazil. Sustainable Energy Technology.